

SAT-1.202-1-RR-06

## **Analysis of The Electrolyte Used for the Deposition of Iron and Preventive Coatings**

Plamen Kangalov, Kristina Dyakova-Dimitrova

## **Анализ на електролитите използвани за нанасяне на превантивни и възстановителни железни покрития**

Пламен Кангалов, Кристина Дякова-Димитрова

**Analysis of electrolytes used for applying preventive and restorative iron coatings:** In this article are considered promising methods to recover the details - the application of electrolytic recovery coatings. An analysis of electrolytes used for applying preventive and restoration iron coatings. Discussed are the most widely used restorative coatings obtained from various electrolytes for iron plating used to restore worn parts of the agricultural, forestry, transport, road construction and quarry equipment.

**Keywords:** Electrolytic Coating, Repair Coating, Electrodeposition of Metals and Alloys

### **ВЪВЕДЕНИЕ**

Съвременното ремонтно възстановително производство разполага с различни методи, технологии и технически средства за възстановяване на износени детайли. Възстановяването на геометричните размери и (или) формата на работните повърхности на износените детайли може да се извършва с различни методи: нанасяне на различни метални и неметални покрития (наваръчни, електролитни, електрофизични, полимерни и други покрития) или посредством ремонтни размери, допълнителни детайли, преразпределение на материала на износените детайли и други.

В процеса на производственото използване настъпват изменение на основните свойства на детайлите като в повечето случаи то представлява по-малко от 0,1 % от масата на тези детайли. Абсолютната големина на износването се намира в границите от 0,1 ÷ 0,5 mm и в редки случаи достига до 1 ÷ 2 mm. От съществено значение за намаляване себестойността при поддържането в работоспособно състояние е прилагането на съвременни ремонтно-възстановителни технологии. Чрез подходящ избор на възстановително покритие е възможно значително повишаване на трайността и безотказността на възстановените детайли. При възстановяването на детайли се постига удължаване на жизнения цикъл на изделията и това е едно перспективно направление за постигането на значителни икономии на материали, енергия и опазване на околната среда.

Електрохимичните процеси за нанасяне на покрития са едни от алтернативите на възстановителния процес. По своите технически възможности те се припокриват с останалите методи и процеси при значителна, а може би и преобладаваща част на детайлите. Има и една област от специфични случаи, при която те нямат алтернатива, но тази област не е голяма и при нея галванотехниката се е наложила.

### **ИЗЛОЖЕНИЕ**

Електрохимичните покрития представляват метални покрития върху твърди повърхности, получени при протичане на електрически ток. Освен за декоративни и корозионно устойчиви нужди, намират широко приложение в машиностроенето за подобряване характеристиките на работни повърхности като: твърдост; износоустойчивост; антифрикционност; задържане на смазващо вещество в условията на гранично триене и др. Електрохимичното нанасяне на метали е най-удобният метод за получаване на покрития от метали с висока температура на топене, като хром, никел, желязо, мед, сребро, злато [3].

Нанасянето възстановителни електролитни покрития е перспективен метод за възстановяване на износени детайли и в сравнение с другите методи има редица предимства:

- възможност за нанасяне на възстановителни покрития с точно определена дебелина и голяма равномерност;
- възможност за нанасяне на възстановителни покрития върху детайли от различни материали;
- възможност за възстановяване размера на детайла без последваща механична обработка;
- не предизвиква термични деформации и фазови превръщания в детайлите;
- възможност за едновременно възстановяване на група от детайли;
- възможност за нанасяне на многослойни покрития от различни метали и сплави без междинна обработка;
- възможност за нанасяне на покрития върху детайли със сложна конфигурация.

Възстановителните електролитни покрития се използват за защита на детайлите от корозия, за защитно-декоративни цели; за възстановяване на размерите и формата на износени детайли и подобряване на трибологическите и физико-химичните им свойства.

Електролита е изработен главно от сол или друго разтворимо във вода съединение на отлагания метал.

Исторически, при възстановяването на износени детайли, първо приложение са използвани покрития от чисти метали хром, желязо, никел, цинк, мед (Cr, Fe, Ni, Zn, Cu и др.).

Хромирането е един от най старите галванични процеси използвани при възстановяването на детайли. Електролитния хром има превъзходни експлоатационни свойства ( висока твърдост достигаща 10000 ... 13000 МПа, висока износоустойчивост, нисък коефициент на триене, висока корозионна устойчивост. Покритията се получават от хроматни, бихроматни и тетраchromатни електролити (табл.1). Концентрацията на хромовия триокис в електролита е 150 ... 300 g/l [1]. Задължителен компонент на електролита за хромиране са сулфатните йони внесени чрез сярната киселина. Друга особеност е, че ваната работи с неразтворими (оловни) аноди. Основни технологични параметри с които се управлява процеса за получаване на хромови покрития това са плътността на тока ( $Dk, A/dm^2$ ) и температурата на електролита ( $t, ^\circ C$ ). В зависимост от използвания електролит и режим на електроотлагане могат да се получат блестящи, млечни, сиви и порести покрития с желаните от нас трибологически свойства. Най- подходящи за възстановяване на износени детайли са блестящите покрития при 45 ... 60  $^\circ C$  с най-висока твърдост. Те притежават висока износоустойчивост и здрава връзка с основата, но се появяват високи вътрешни напрежения на опън, които пораждат появяването на микропукнатини, т.е. получава се поресто покритие, което е също и преимущество на електролитното покритие. Млечните покрития (65 ... 80  $^\circ C$ ) имат относително по-малка твърдост, но се отличават с по-голяма еластичност и намират приложение при възстановяване на детайли работещи при ударно динамично натоварване. При ниски температури до 30 ... 40  $^\circ C$  се отлагат сиви покрития с ниска твърдост. Скоростта на напластяване при процеса на хромиране е сравнително ниска (0.02 ... 0.05 mm/h), поради ниската използваемост на тока (13 ... 18 %), като максималната дебелина на възстановителното покритие е сравнително малка (0.1 ... 0.3 mm). Особен интерес представлява получаването на т.н. порест хром, който много добре задържа в порите си масления слой и предпазва детайлите от сухо и гранично триене и се препоръчва за възстановяване на детайли работещи в условията на гранично триене. Порестия хром се получава при съчетаването на голяма токова плътност и ниска температура. Количеството на микропорите може да бъде увеличено изкуствено чрез допълнителна анодна обработка на покритието в електролита използван за получаването му.

Пожеляването също е намерило широко приложение при възстановяването на детайли. Железните възстановителни покрития притежават висока твърдост (6500 ... 7000 МПа) и износоустойчивост особено в условията на гранично мазане. Това се обяснява с игловидната кристална структура и бързото образуване на окисни филми в процеса на триене. Електролитното желязо може да се навъглеродява, борира или азотира, заварява се лесно и може да се отлага върху чугун, стомана, мед и др., като върху него лесно могат да се отлагат покрития от други метали. Скоростта на отлагане на желязото е една от най-високите между електрохимичните метални

покрития 0,2 ... 0,4 mm/h, поради високата използваемост на тока (до 90 %). Максималната дебелина на покритието достига 2 ... 3 mm. За нанасянето на електролитно желязо се използват основно хлоридни и сулфатни електролити. При хлоридните електролити (табл.2) се използва желязният дихлорид ( $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), а при сулфатните – желязният сулфат ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ). Сулфатните електролити са по-устойчиви срещу окисляване, отколкото хлоридните, а корозионното им въздействие, както и парите им, върху технологичната екипировка е по-слабо [4]. Но основно предимство на хлоридните електролити се дължи на възможността за употреба на по-големи токови плътности, което обуславя висока производителност на напластяването и по-голяма твърдост и износоустойчивост на покритията. Флуорборатните електролити дават твърди, плътни и еластични покрития и по-слабо се окисляват, но не допускат големи токови плътности и изискват употребата на дефицитната борфлуороводородна киселина ( $\text{HBF}_4$ ) за приготвяне и поддържане. Електролитите се получават от достъпни материали и с малко разходи - 6 ... 7 пъти по-ниски от хромирането. От тях най-широко приложение намират средно концентрираните хлоридни електролити  $\text{FeCl}_2$  200...300 g/l [1]. За да се осъществи отлагане на покрития, подходящи за възстановяване на износени детайли в електролита се добавя и солна киселина. Друго предимство на пожелезяването е значително по-малката вредност на електролитите, което се дължи на намалената опасност от присъствието на желязни йони във отпадните води, тъй като те могат да присъстват в разтворено състояние само в кисела среда. Типичната киселинност на отпадните води, води до образуване на утайки от хидроокиси на желязото, което позволява лесното им отделяне, чрез утаяване и филтруване. Физикохимичните и експлоатационни свойства на желязните възстановителни покрития могат да се променят в широки граници в зависимост от условията и средата на електролизата. Като основни управляеми параметри на процеса на пожелезяване се използват: плътност на тока ( $D_k$ , A/dm<sup>2</sup>); температурата на електролита ( $t$ , °C); киселинност на електролита (pH); концентрация на желязните йони в електролита (CFe). Ако киселинността на електролита нарастне над 1.6, покритието става крехко, с висока грапавост, ниска адхезия. Влиянието на  $\text{Fe}^{3+}$  силно намалява, ако количеството им е по-ниско от 3g/l. За да се избегне получаването на тривалентни желязни йони следва да се избегне и сведе скоростта на анодната електрохимична реакция до минимални стойности, като може да стане ако анодната плътност на тока е по-малка от 15A/dm<sup>2</sup>. С увеличаване на плътността на тока, нараства твърдостта на покритието, докато нарастването на температурата оказва обратно влияние. Високата скорост на отлагане на желязо съчетана с ниски работни температури са условия за получаване на дребнозърнеста и игловидна метална структура с повишени вътрешни напрежения на опън. Тези покрития имат високи противозадирни качества и се използват успешно при възстановяване на износени детайли, работещи в тежки условия на работа. Те не са подходящи за напластяване на повърхности с високо специфично контактно натоварване. Началният период на напластяване започва с понижена плътност на тока 1 ... 5 A/dm<sup>2</sup>, която нараства до номиналната в продължение на 5 ... 15 min. При тези условия се получава ненапрегнато покритие с подобрена еластичност, което може да понесе натоварването и напреженията от работния слой и външните натоварвания без отслояване. При малки плътности на тока, висока температура и концентрация на електролита се получават меки и еластични покрития. Режима на напластяване трябва да бъде избран в зависимост от условията на работа на възстановявания детайл. Особено перспективно направление за управление на физико-химичните и експлоатационни свойства на получените покрития това е използването на променлив и импулсен ток, с изменението на параметрите на който могат да се получават покрития с необходимата (зададена) структура и свойства.

Електролитните покрития от никел, цинк и мед се използват за защитно-декоративни цели и като технологични подслоеове при възстановяването на детайлите. За нанасянето на тези покрития най-често се използват прости електролити на основата на минерални киселини. Електролитите обикновено съдържат следните компоненти: метална сол (хлорид, сулфат, борфлуорид и т.н.) (табл.3), вещества повишаващи електропроводимостта на електролита, вещества стабилизиращи киселинността на електролита, вещества подобряващи разтворимостта на анодите и бляскообразователи.

Таблица 1

**Състав на електролитите за хромиране**

Вид електролит	Състав на електролита (g/l)	Свойства на покритието
Саморегулиращ се електролит	CrO <sub>3</sub> (250-300); SrSO <sub>4</sub> (5,5-6,5); KaSiF <sub>6</sub> (18-20)	Блестящи покрития; за възстановяване на износени детайли; висока твърдост
	CrO <sub>3</sub> (230-250); SrSO <sub>4</sub> (5,5-6,5); CaF <sub>2</sub> (8-10)	Сиви покрития; ниска твърдост;
	CrO <sub>3</sub> (230-250); KaSiF <sub>6</sub> (18-20); CaF <sub>2</sub> (8-10)	Млечни покрития; малка твърдост; висока еластичност; подходящи за възстановяване на детайли работещи при ударно динамично натоварване;
Тетрахроматен електролит	CrO <sub>3</sub> (350-400); NaOH(40-60); H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (2.5-2.7); Cr <sup>3+</sup> (10-15);	За защитно-декоративни покрития; има висока разсейваща способност; без порести покрития;

Таблица 2

**Състав на електролитите за пожелезване**

Вид електролит	Според концентрацията на Fe g/l	Състав на електролита (g/l)	Свойства на покритието
Хлориден електролит	Нискоконицентриран електролит (200-220)	FeCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O(200-220); H <sub>2</sub> Cl (1.5-2)	Плътни и гладки покрития; висока твърдост
	Оптимално концентриран (300-350)	FeCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O(450-500);	Износоустойчиво покритие;
	Средноконицентриран електролит (400-450)	FeCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O(400-450); CaCl <sub>2</sub> (150-190)	За възстановяване на детайли с високо износване и сравнително ниска твърдост;
	Висококоницентриран електролит (600-680)	FeCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O(600-680); MnCl <sub>2</sub> (20-30);H <sub>2</sub> Cl (0.5-1)	Много ниска твърдост, но по-голяма дебелина на слоя;
Сулфатен електролит		FeSO <sub>4</sub> (325); MgSO <sub>4</sub> (250);	Сиви покрития; по-висока твърдост от хлоридните и по-крехки покрития;
Флуороборатен електролит		Fe(BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (300); HBF <sub>4</sub> (1-2); HBO <sub>3</sub> (15-20)	Твърди, плътни и еластични покрития и по-слабо се окисляват.
Сулфаматен електролит	Fe(SO <sub>3</sub> NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (250);	Fe (56.3); H SO <sub>3</sub> NH <sub>2</sub> (195.73);	Блестящи покрития с голяма дебелина и ниски вътрешни напрежения.

Таблица 3

**Състав на електролитите за никелиране, поцинковане и помедняване**

Вид покритие	Вид електролит	Състав на електролита (g/l)	Свойства на покритието
Никелиране	Сернокисел електролит	NiSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O(180-200); H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (40-45); NiCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O(25-30); NaH <sub>2</sub> PO <sub>2</sub> (5-10); H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (20-30)	Твърди и износоустойчиви покрития, съдържащи до 10% фосфор
	Сулфатен електролит	Ni(H <sub>2</sub> NSO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (550-650); NiCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O (3-7); H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (10-40);	Получават се покрития с висока якост и пластични без вътрешни напрежения.
	Борфлуориден електролит	Ni(BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (300-400) NiCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O (10-15); H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (10-15);	За скоростно отлагане на никел, като се получават бляскави и еластични покрития.
Поцинковане	Хлорист електролит	ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O (450-700) Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .18H <sub>2</sub> O (25-30)	висока разсейвателна способност; отлагат се равномерни ситно кристални покрития;
	Цианиден електролит	Zn(CN) <sub>2</sub> (40-90); NaCN (23-45); NaOH (53-90);	Получават се ситно кристални покрития и полублестящи.
	Цинкатен електролит	ZnO (25-35); NaOH (80-100); Триетаноламин (20-30); Моноетаноламин (60-80)	Блестящи покрития с малки вътрешни напрежения, с повишена еластичност и силно сцепление с основата.
Помедняване	Прост електролит	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O (200-250); H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (35-70); Блясъко-образувател Б-7211 (3-5); Cl <sup>-</sup> (0,030-0,075)	Относителна добра разсейваща способност за покрития с висок блясък

Сулфатните електролити са прости по състав, не са токсични, имат голяма производителност и стабилност, но поради малката поляризация тяхната разсейвателна способност е ниска, което води до получаване на покрития с по-еднокристална структура.

Никеловите покрития, въпреки високия си блясък, твърдост и добрата износоустойчивост, не се използват самостоятелно за защитно декоративни цели, тъй като образуват много пори и не защитават детайлите от черни метали от електрохимична корозия. Дебелината на никеловото покритие, при която се получава без порест слой, зависи от много фактори (грапавост на детайла, вид на електролита и др.) и обикновено трябва да бъде повече от 20 ... 30  $\mu\text{m}$ . За икономия на скъпия и дефицитен никел, обикновено се нанася многослойно покритие в комбинация с медта, която образува без порести покрития. Най-често използваните варианти са: Ni-Cu-Ni (3  $\mu\text{m}$  - 25  $\mu\text{m}$  - 10  $\mu\text{m}$ ); Ni-Cu-Ni-Cr (3  $\mu\text{m}$  - 25  $\mu\text{m}$  - 10  $\mu\text{m}$  - 1  $\mu\text{m}$ ). Никеловото покритие с висока твърдост има добра износоустойчивост и се използва за възстановяване на износени детайли.

Цинковите покрития се прилагат основно за защита на детайли от черни метали от корозия (болтове, гайки, оборудване работещо в агресивна среда, като подслой преди нанасяне на ЛБП и др.). За повишаване на корозионната устойчивост на Zn, покритията могат да бъдат хроматирани или фосфатирани. Предимствата на електрохимичното нанасяне на цинкови покрития в сравнение с другите методи (потопяне в разтопен Zn, термодифузионен, газопламен) са следните: висока чистота на Zn; по-висока корозионна устойчивост, дължаща се на високата чистота; малък разход на материали и възможност за точно регулиране дебелината на покритието; добри механични свойства. *Електрохимично поцинковане на стомана.* Извършва се в кисели и алкални електролити, които биват цианидни и цинкатни. Цианидните електролити имат висока разсейвателна способност и от тях се отлагат равномерни ситнокристални покрития, включително и върху силно профилирани детайли, но те са токсични. Основният компонент на киселия електролит за поцинковане е солта  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . Поради високото свръхнапрежение на водорода върху цинка и високата концентрация на цинкови йони в електролита на катода се отделя главно цинк.

Медните покрития, по принцип, самостоятелно не се използват за защитно-декоративни цели, а в комбинация с други покрития. Недостатък на сулфатните електролити за помедняване е, че при потопяне на железни детайли в електролита протича контактното отделяне на Cu, която има много лошо сцепление с основата. За предотвратяване на този процес обикновено се нанася тънък подслой от никел или се използва цианиден или борфлуориден електролит за помедняване. Медните покрития могат да се използват: за защита на детайлите от навъгледяване при циментация (48 ... 60  $\mu\text{m}$ ); като подслой преди нанасяне на лаково-бойджийски покрития (15 ... 25  $\mu\text{m}$ ); като подслой при възстановяване на детайли от бронз (0.1 ... 3.0  $\mu\text{m}$ ) с последващо нанасяне на антифрикционно покритие; за защита на детайлите от фретинг износване (15 ... 25  $\mu\text{m}$ ) и др.

Едно от съвременните направления при възстановяване на детайлите с електролитни покрития, това е получаването на възстановителни сплавни покрития. При получаването на електролитни сплави ние можем да управляваме в значително по-голям диапазон физикохимичните и механични свойства на покритията, което трудно бихме достигнали при нанасянето на другите видове покрития. Много често свойствата на получените електролитни покрития се различават от тези на металургично получените сплави. В настоящия момент са известни над 100 сплави. В зависимост от броя на металите те могат да бъдат: двойни, тройни и много-компонентни сплави. Свойствата на много от сплавите за които са известни рецептури за получаването им, са недостатъчно изучени, което възпрепятства тяхното широко приложение при възстановяването и превантивното напластяване на детайли. Съставът на получената сплав зависи от: концентрацията на металните йони в електролита; концентрацията на ПАВ; киселинността; режима на отлагане; вид на тока; химическия състав на анодите и др. За получаване на сплав с желан от нас състав е необходимо строго да се спазва и контролира съставът на електролита и режимът на отлагане, в противен случай съставът и свойствата на сплавта може съществено да се различават от очакваните.

В зависимост от тяхното предназначение (табл.4) те могат да бъдат:

- износоустойчиви (Fe-Ni, Ni-Cr, Fe-Cr, Co-Cr и др.);
- антифрикционни (Pb-Sn, Pb-In, Pb-Cu, Pb-Ag, Sn-Sb, Sn-Cu, Zn-Fe и др.);
- антикорозионни (Zn-Cd, Cu-Zn, Cu-Sn, Zn-Fe, Zn-Ni, Pb-Sn и др.);
- защитно-декоративни (Ni-Co, Ni-Zn, Ni-Cd, Au-Cu; Au-Ni и др.);
- сплави притежаващи магнитни свойства (Ni-Co, Ni-Fe, Fe-Co и др.)

Композиционните електрохимични покрития са съставени обикновено от метална матрица с включени в нея (до 30...40%): метални прахове, окиси, карбиди, нитрити, бориди, сулфиди, съединения със слоеста структура (сляда, графит), полимерни прахове и др. (Табл. 5) Доказано е, че праховете, включени в металната матрица значително повишават износоустойчивостта и антифрикционността на покритията.[1] Предимство е нискотемпературния режим на нанасяне на покритията, при което практически не се изменя структурата на основния метал. Те се нанасят от електролитни суспензии, които се получават от при смесването на електролит с прахообразен материал. Особеност при тези покрития е необходимостта от разбъркване на електролита, с цел постигане на равномерна концентрация на прахообразните частици в обема на суспензията и предотвратяване на тяхното утаяване. Композиционните покрития намират приложение за възстановяване и повишаване ресурса на износени детайли, работещи при триене при плъзгане, а също така и за превантивно напластяване на работните повърхнини на детайлите, с цел увеличаване на тяхната трайност.

Таблица 4

Състав на електролитите за възстановителни сплавни покрития

Вид покритие	Вид електролит	Състав на електролита (g/l)		Свойства на покритието
Износоустойчиво	Fe-Ni, Ni-Cr, Fe-Cr, Co-Cr	Ni-Cr	CrO <sub>3</sub> (250); NiSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O (250); H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (25)	Износоустойчиви покрития, полублестящи
		Fe-Cr	Хромов сулфат (160); FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O(30-50); NH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH(150); CrO <sub>3</sub> (0.5)	Покрития подходящи за възстановяване и повишаване на износоустойчивостта.
		Fe-Ni	FeCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O(100); NiCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O(120); 2Na <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>7</sub> .11H <sub>2</sub> O(46);	За възстановяване и повишаване на ресурса на детайлите.
Антифрикционно	Pb-Sn, Pb-In, Pb-Cu, Pb-Ag, Sn-Pb, Sn-Cu, Zn-Fe	Sn-Pb	Sn(52); Pb(30); HBF <sub>4</sub> (120); H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (25); пептон (5);	Антифрикционни свойства
		Pb-Sn	Pb(BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (50-60); Sn(BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (5-11); HBF <sub>4</sub> (100-140); Желатин (1);	За повишаване на антифрикционните свойства.
Антикорозионно	Zn-Cd, Cu-Zn, Cu-Sn, Zn-Fe, Zn-Ni, Pb-Sn	Cu-Zn	CuCN(32-45); ZnCN(32-45); NaCNсв(15-23)	За защитно-декоративни цели
		Cu-Sn	CuCN(43); Na <sub>2</sub> SnO <sub>3</sub> .3H <sub>2</sub> O(11); NaCNоб(41); NaCNсв(15); NaOH(7.5)	Бронзови покрития за защитно-декоративни цели
		Zn-Ni	Zn (3-5); Ni (0.15-0.75); NaCN (85-100); NaOH (60-70)	Повишава корозионната устойчивост
Защитно-декоративно	Ni-Co, Ni-Zn, Ni-Cd, Au-Cu; Au-Ni	Ni-Co	NiSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O(20-25); CoSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O (10-15); NaHCO <sub>3</sub> (30-35);H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (30-40); (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (2.5)	Устойчиви при корозия и имат декоративен вид с повишена твърдост и износоустойчивост
		Ni-Zn	NiSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O(50-200); NiCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O (10-150); NH <sub>4</sub> Cl (50-250); CH <sub>3</sub> COOH (5-40)	Добро сцепление с основата и блясък с повишени защитни свойства
С магнитни свойства	Ni-Co, Ni-Fe, Fe-Co	Ni-Fe	FeCl <sub>3</sub> (1.7); NiCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O (72); Натриев силициад (17); K <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (330)	Като подслоя с антикорозионна и декоративна функция и с магнитни свойства.

**Състав на електролитите за нанасяне на композиционни покрития**

Вид електролит	Състав на електролита (g/l)	Свойства на покритието
Ni-SiC	NiSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O (300); NiCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O (60); H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (30); SiC (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , WC и др.) (30-50);	За повишаване на ресурса на износени детайли, работещи на триене при плъзгане.
Ni-SiC	Ni(NH <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (250-400); NiCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O (40-60); H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (30-40); SiC (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , WC и др.) (30-50);	За повишаване на ресурса на износени детайли, работещи на триене при плъзгане.
Fe-SiC	FeCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O(600); SiC (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , WC и др.) (30-50);	За превантивно напластяване на детайлите и увеличаване на трайността им.
Cu-MoS <sub>2</sub>	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O (200); H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (100); Диетаноламин (1); MoS <sub>2</sub> (графит, S и др.) (30-60);	За превантивно напластяване на детайлите и увеличаване на трайността им.

## ИЗВОДИ

1. Електролитите се отличават с голямо разнообразие могат да бъдат класифицирани по различни признаци и се използват за възстановяване на широка номенклатура от износени детайли;
2. Особено перспективни, но недостатъчно изучени са сплавните и композиционните електролити, които дават възможност за значително подобряване на физико-механичните и трибологическите свойства на възстановените детайли.
3. В литературата има противоречива информация за свойствата и показателите на покритията получени чрез различните методи и условия за тяхното нанасяне.
4. При оценката на свойствата и показателите на възстановителните покрития са използвани различни методики, поради което сравняването им е затруднено.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Василев В. С., Кангалов Пл. Г. и др. Технология на възстановяване на детайлите. Русе: РУ "Ан.Кънчев", 1996.
- [2] Галваническите покрития в машиностроени. Справочник. М.: Машиностроение, 1985.
- [3] Кангалов Пл. Състояние и развитие на електролитните методи за възстановяване на износени детайли. Русе, Научни трудове на Русенския Университет, 2014, том 54, серия 1.1, 223 с.
- [4] Стойков С.Н. Технология на ремонта на автомобилите. Русе : ВТУ , 1986.- 348 с.
- [5] Стойков Ст., В. Стоянов, Възстановяване на детайлите чрез пожелявяване. Русе, ВТУ „Ангел Кънчев”, 1988.
- [6] Тончев Г., Ст. Стойков, Ив. Митев и др. Съвременни технологии за възстановяване на детайли. Русе, ВТУ „Ангел Кънчев”, 1986

## За контакти:

Проф. д-р инж. Пламен Ганчев Кангалов, катедра "РНММЛХТ", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.:082 888 701, e-mail: kangalov@uni-ruse.bg  
 Инж. Кристина Дякова-Димитрова, катедра „РНММЛХТ”, Русенски университет „Ангел Кънчев”, GSM: 0887/825 638, e-mail: kdimitrova@uni-ruse.bg