

## РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен “доктор” по научна специалност 02.04.13 „Електротехнологии” в професионално направление 5.2. „Електротехника, електроника и автоматика”

Автор на дисертационния труд: маг. инж. Александър Веселинов Гайдарджиев

Тема на дисертационния труд:

*“ПОДОБРЯВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА КОНТАКТИ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ АПАРАТИ ЧРЕЗ ПРИЛОЖЕНИЕ НА ЕЛЕКТРОВАКУУМНИ ТЕХНОЛОГИИ.”*

Рецензент: доц. д-р инж. Петко Христов Машков

### **1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем.**

Актуалността на проблемите, разработвани в дисертационния труд, предоставен ми за рецензиране, може да бъде разглеждана в два аспекта. Първо, тя е свързана с развитието на науката и технологиите в областта на наноматериалите и нанотехнологиите. Трябва да се отбележи, че това е една от най-бурно развиващите се области на науката в последното десетилетие и е свързана с разработката на материали с непознати до сега свойства и разкриване на нови технологични възможности, неизвестни до момента.

Вторият аспект, отнасящ се до актуалността на настоящата разработка е свързан с приложението на разработените наноматериали за подобряване на функционалните характеристики на известни апарати и съоръжения.

Основната цел на дисертационния труд е разработване и приложение на многослойни наноструктурирани покрития, получени чрез електродъгово изпаряване с цел повишаване функционалните възможности на електрическите контакти на електромагнитен контактор.

Без съмнение може да се твърди, че разглежданият в дисертацията проблем е много важен и актуален.

### **2. Познаване на състоянието на проблема.**

Маг. инж. Александър Гайдарджиев е запознат много добре със състоянието на проблема. Това личи както от изложението, така и от количеството и актуалността на ползваната литература – 110 позиции на литературни източници и адреси в Интернет на български, руски и английски езици, които са надлежно цитирани в дисертацията. Информацията от литературните източници е използвана творчески при решаване на разнообразните технологични задачи, разработени в дисертационния труд.

### **3. Съответствие на избраната методика на изследване на поставените задачи и достоверност на получените резултати.**

В изследователската част на дисертационния труд, инж. Гайдарджиев е показал уменията и знанията си в използване на различни методики, част от които носят белега на оригиналност, както и такива, които са стандартни, но са адаптирани към конкретните условия и параметри на изследване.

Избраните методики на изследване безусловно отговарят на изискванията на поставените задачи. Чрез теоретични и експериментални изследвания убедително е показано, че избраните методи са подходящи, а получаваните с тях резултати са достоверни.

### **4. Кратка характеристика на материала, изложен в дисертационния труд.**

Дисертационният труд е с обем от 142 страници (около 40 реда по 75 знака), както и 7 приложения на 38 страници.

Материалът е систематизиран в 5 глави.

Глава 1 представлява литературно проучване в което основно внимание е обърнато на методите за вакуумно нанасяне на наноструктурирани покрития. Разгледани са възможностите за нанасяне на многослойни, наноструктурирани и градиентни покрития с повишени функционални свойства. Проучването е фокусирано върху използването на електродъгово изпаряване за получаването на многослойни покрития от титан -Ti, титанов нитрид -TiN, титанов карбид -TiC и др., с различни дебелини и свойства.

В глава 2 е направено описание на инсталация ТИТАН 1-4 за отлагането на многослойни наноструктурирани покрития чрез електродъгово изпаряване. Описани са разработените технологични особености на процеса. Върху контактни тела от метален композит Ag – CdO на електрически апарати контактори К6Е, са отложени наноструктурирани покрития с различна дебелина, брой на слоевете и състав на покритието – от еднослойни покрития (Ti) до шест- и осемслойни покрития от типа Ti/TiN/Ti/TiN/Ti/TiN; Ti/TiC/Ti/TiC/Ti/TiC; Ti/TiN/Ti/TiC/Ti/TiN. При изследване на влиянието на технологичните фактори върху характеристиките на нанасяните покрития са формирани три групи експериментални образци. Режимите на получаване на образците от всяка следваща група са избрани на базата на най-добрите показатели, получени при изследването на отделните образци от предните групи.

Резултатите са систематизирани в таблици и илюстрирани със снимки на металографски шлифове (Приложение 1).

Глава 3 е посветена на резултатите от изследванията на свойствата на нанесените покрития. Използвани са много и разнообразни изследователски методи, което е безспорен плюс за работата на докторанта. Изследвани са микротвърдостта и адхезията на покритията, като експериментите са проведени в Централната лаборатория по приложна физика към БАН – Пловдив;

рентгеноструктурни анализи и изследване на топографията на покритията са извършени в Научно-изследователския център по вакуумни технологии и системи – РУ „А. Кънчев“; за шестслойно покритие от типа Ti/TiN/Ti/TiN/Ti/TiN е проведен тест за абразивна изнosoустойчивост, като е използван “Ball – wear” метод с уред CSEM – Calotest Швейцария. Изпитвания за корозионна устойчивост на образците са проведени в "Лаборатория за анализ и изпитване на материали и калибриране на средства за измерване" (ЛИМК) към Институт по металознание "Акад. Ангел Балевски" на БАН – София. Резултати от топографските изследвания на образците са представени в Приложение 2.

В глава 4 са представени резултатите от сравнителни изпитания на електрически показатели на контактори с нанесени различни наноструктурирани покрития върху контактите. Създаден е лабораторен стенд и е изследвано електрическото износване на контактни тела на електромагнитни контактори К6Е; изследвани са измененията на контактното съпротивление на образци на електрически контакти без покритие и с нанесени различни видове покрития в зависимост от броя комутации. За контактни тела с нанесени покрития от трета група (от типа Ti/TiN/Ti/TiN/Ti/TiN; Ti/TiC/Ti/TiC/Ti/TiC и Ti/TiN/Ti/TiC/Ti/TiN) е използван съвременен метод за комплексна оценка на качествата на електротехнически съоръжения – термографски анализ на топлинното натоварване на контактите по време на експлоатация. В глава 4 са описани разработената методика и опитна установка за изследване на времето за горене на електрическата дъга, при отваряне на контактите на контактори К6Е. Представени са резултатите от сравнителните изследвания на времето за горене на електрическата дъга за образци с нанесени вакуумни покрития и образци без покрития.

В края на всяка глава са направени съответните изводи.

Последната глава 5 съдържа общи изводи и заключения от разработките, предмет на дисертационния труд.

След нея са изложени претенции за научно-приложни и приложни приноси, посочена е използваната литература, направен е списък на публикациите на автора, свързани с дисертационния труд.

#### **5. Приноси на дисертационния труд.**

Приносите, които считам, че присъстват в дисертационния труд, могат да бъдат систематизирани по следния начин:

**5.1. Формулиране или обосноваване на нов научен проблем (област) или на нова теория (хипотеза).** По мое мнение в приносната си част дисертационният труд не съдържа подобни претенции.

**5.2. Доказване с нови средства на съществени нови страни в съществуващи научни проблеми и теории.**

- В дисертационния труд са разработени научни и технологични въпроси относно приложението на наноструктурирани покрития от типа Ti/TiN, Ti/TiC и Ti/TiN/TiC върху контакти на електрически апарати за подобряване на тяхната електрическа износоустойчивост и корозионна устойчивост.

- На база изследванията са получени нови факти относно вида и особеностите в състава, структурата и свойствата на нанесените покрития и свръхрешетки от типа Ti/TiN, Ti/TiC и Ti/TiN/TiC върху електрически контакти от метална композиция Ag/CdO.

### **5.3. Създаване на нови класификации, методи на изследване, нови конструкции, технологии, препарати и др.**

- Създадена и успешно експериментирана е нова технология за отлагане на наноструктурирани покрития (от 1 до 3 слоя) и наноструктурирани свръхрешетки (от 4 до 10 слоя) с различна дебелина, брой слоеве, състав на покритието (Ti/TiN, Ti/TiC или Ti/TiN/TiC) върху контактни тела от композит Ag/CdO на контакти на електрически апарати (контактори тип К6Е).

- Получени са резултати за влиянието на технологичните фактори върху характеристиките на изследваните образци, което дава възможност да се управлява процеса на отлагане на покрития и да се определят количествените и качествените показатели на отложените покрития.

- Разработена е методика и е създаден лабораторен стенд за изследване на електрическата износоустойчивост на получените опитни образци контакти на електрически апарати (контактори К6Е).

- Разработена е методика и е създадена лабораторна установка за сравняване на температурата на контактите на електрически апарати в установено работно състояние.

### **5.4. Получаване и доказване на нови факти.**

- Експериментално е доказано, че съществува тенденция (макар и слаба) твърдостта на получените покрития да намалява с увеличаване на броя на слоевете. Причините за това се търсят в химичния състав и коефициента на текстурованост на отложените слоеве, както и в тяхното дялово участие в общата дебелина на покритието.

- Експериментално е доказано, че получената по-висока грапавост на образците с нанесени покрития не оказва негативно влияние върху поведението на контактите поради характера на контактуване на контактите (многоточков) и факта, че за по-ниско контактено съпротивление на прехода е необходимо контактите да са с грапавост в определени граници.

- Доказано е, че отложените върху образците покрития са с микродифузионна връзка към подложката.

### **5.5. Получаване на потвърдителни факти.**

- Получени са потвърдителни факти за известната от литературата висока корозионна устойчивост на покрития от типа Ti/TiN. Експериментално е доказано, че всички изследвани образци са устойчиви на солена мъгла за време 100 часа и напълно отговарят на изискванията на стандарт БДС EN ISO 10289:2006 – Методи за изпитване на корозия на метални и други неорганични покрития върху метални подложки. Оценка на образци и продукти, подложени на корозионни изпитвания (ISO 10289:1999).

- Установено е незначителното електросъпротивление на електрическите контакти свързано с минималната дебелина на покритията (до 230 nm).

#### **5.6. Характер на приносите за внедряване.**

Оригиналноста на разработените електрически контакти е потвърдена с патент за полезен модел:

Апрахамян Б., А. Гайдарджиев, Контактно тяло на електрически контакт, патент за полезен модел, рег. No 1438, заявка No 001879 / 04.11.2010, публикуван в Официален бюлетин на Патентното ведомство, бр. 4, 2011, с. 57.

#### **6. Личен принос на докторанта за получените резултати.**

Една от публикациите, свързани с дисертацията е самостоятелна, в други три публикации съавтори са само научният ръководител и докторанта, а в останалите четири публикации съавторите са различни. В получения патент за полезен модел съавтори са само научният ръководител и докторанта. Всичко това ми дава основание да приема, че маг. инж. Александър Гайдарджиев има определящ принос за получаване на резултатите, отразени в дисертационния труд.

#### **7. Публикации по дисертационния труд.**

По материала на дисертационния труд са направени 8 публикации, от които: 4 са на английски език и 4 са на български език; 3 са в списание, издание на Българската Академия на Науките, 1 е в списание, издание на университета в Констанца, Румъния, 4 са в научни трудове и в сборник с доклади от научни конференции,

Информация за цитиране от други автори не е представена.

Представено е Свидетелство за регистрация на полезен модел 1438 на Патентното ведомство на Република България.

Тези факти показват, че резултатите от дисертационния труд са значими за науката и практиката.

#### **8. Автореферат.**

Авторефератът е оформен съгласно изискванията за такъв род публикации и дава достатъчно пълна и ясна картина за цялостния труд. Всички основни моменти са отразени подходящо.

#### **9. Критични забележки и препоръки към дисертационния труд.**

Съществени грешки и пропуски в дисертационния труд не съм забелязал. Въпреки това имам някои забележки и препоръки, които имат редакционен характер. Тук ще изложа само част от тях:

- Сравнението на данните, представени в табл. 2.3.4 (стр. 46) и снимките, показани на фиг. 2.3.3 (стр.49) поражда съмнението, че снимките са разменени;

- На стр. 47 са представени данни, отнасящи се за режими 21, 22 и 23, които са класифицирани в трета група; на стр. 48 същите режими са отнесени към втора група;

- За измерване на масата на контактите преди и след определения брой комутации е използвана аналитична везна KERN ABJ 80-4M - глава 4. Тази везна работи с точност до четвъртия знак след десетичната запетая (до  $10^{-4}$  g). Недоумение буди наличието на представени резултати (измерени на тази везна) с точност до шестия знак след десетичната запетая (до  $10^{-6}$  g) – табл.4.1.1, 4.1.2.

- Към несъмнените достойнства на дисертационната разработка причислявам използването на термографските изследвания на работата на електрическите контакти. Това са съвременни методи, които позволяват експресна оценка на състоянието на електротехнически апарати и съоръжения по време на експлоатация. Достоверността на получените резултати обаче силно зависи от начина на определяне на някои оптични характеристики на изследваните обекти – степента на чернота (emissivity). По този въпрос в дисертацията не е споменато нищо.

- Не е ясен принципът на подреждане на цитираната литература и др.

## 10. Заключение.

От направения по-горе анализ може да се направи извода, че със своята актуалност и значимост на съдържащите се приноси, дисертационният труд отговаря на изискванията на Закона за развитието на академичния състав в Република България и на Правилника за неговото прилагане. Това ми дава основание да дам **положителна оценка** на дисертационния труд *“Подобряване параметрите на контакти на електрически апарати чрез приложение на електровакуумни технологии”* и препоръчам на членовете на уважаваното жури да гласуват за придобиване от маг. инж. Александър Веселинов Гайдарджиев на образователна и научна степен „доктор” по научна специалност 02.04.13 „Електротехнологии” в професионално направление 5.2. Електротехника, електроника и автоматика.

Русе, 14 юли, 2014 г.

Рецензент:

/доц. д-р инж. Петко Машков/