

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Производне технологије

Број индекса: 94/2008

Ненад М. Шоргић

МЕРЕЊЕ ДЕБЉИНЕ ПРЕВЛАКА

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Богдан Недић - ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

Истакне значај превлака уз појашњење основних поступака и технологија наношења превлака. Такође, потребно је да уз основну поделу, опише најзаступљеније типове превлака и укаже на подручје њихове примене.

У практичном делу рада кандидат треба да опише начин функционисања уређаја за мерење дебљине превлака EXTECH CG204 и да на реалним примерима илустративно прикаже како се уређајем рукује.

Препоручена литература:

- [1] **Васиљевић Б., Недић Б.:** *Модификовање површина*, Машински факултет, Крагујевац, 2003.
- [2] <http://www.extech.com/> (*упутство за употребу уређаја*)

Крагујевац, датум

ментор:

Др Богдан Недић, ред. професор

Резиме: У раду се разматрају поступци наношења превлака као и њихови ефекти на промену физичких, механичких, структурних и технолошких карактеристика контактних слојева, уз практичну примену и опис уређаја за мерење дебљине превлака. Најпре је извршена основна подела превлака уз класификацију метода депозиције превлака. Затим је дат осврт на основне методе за директно и индиректно мерење дебљине превлака, након чега је детаљно описан и илустративно приказан начин функционисања уређаја за мерење дебљине превлака EXTECH CG204.

Кључне речи: Превлака, дебљина, опрема, мерење.

Abstract: In this work are considered coating deposition procedures as well as their effects on physical, mechanical, structural and technological characteristics of contact layers, with practical application and a description of the device for measuring the thickness of coating. At first the basic coating partition has done, with classification of coating deposition methods. Then, an overview of the basic methods for direct and indirect measurement of coating thickness is given, followed is described in detail and illustrated the device for measuring the thickness of EXTECH CG204.

Key words: coating, thickness, equipment, measuring.

САДРЖАЈ:

1. УВОД	1
2. ВРСТЕ ПРЕВЛАКА	2
2.1 АНТИХАБАЈУЋЕ ПРЕВЛАКЕ	2
2.2 ЗАШТИТНЕ ПРЕВЛАКЕ	3
2.2.1. Металне заштитне превлаке	3
2.2.2. Неметалне заштитне превлаке	5
2.3 ТЕРМАЛНЕ БАРИЈЕРЕ	5
2.4 ОПТИЧКЕ ПРЕВЛАКЕ	6
3. ОСНОВНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ НАНОШЕЊА ПРЕВЛАКА	7
3.1 CVD – ХЕМИЈСКО ТАЛОЖЕЊЕ ПРЕВЛАКА ИЗ ГАСОВИТЕ ФАЗЕ	7
3.2 PVD – ФИЗИЧКО ТАЛОЖЕЊЕ ПРЕВЛАКА ИЗ ГАСОВИТЕ ФАЗЕ	8
3.3 ТЕРМАЛНИ ПОСТУПЦИ НАНОШЕЊА ПРЕВЛАКА	9
3.4 НАНОШЕЊЕ ПРЕВЛАКА ГАЛВАНИЗАЦИЈОМ	10
3.5 НАНОШЕЊЕ ЗАШТИТНИХ ПРЕВЛАКА ЕЛЕКТРОФОРЕЗОМ	11
3.6 НАНОШЕЊЕ ЗАШТИТНИХ ПРЕВЛАКА ПЛАСТИФИКАЦИЈОМ	11
3.7 TD ПОСТУПЦИ НАНОШЕЊА ПРЕВЛАКА	11
3.8 ПРЕВЛАКЕ ЧВРСТИХ МАЗИВА	12
3.9 НАНОШЕЊЕ НЕОРГАНСКИХ И ОРГАНСКИХ ПРЕВЛАКА	12
3.9.1 Поступци наношења неорганских превлака	12
3.9.2 Технологије наношења органских превлака	12
4. ДЕБЉИНА ПРЕВЛАКЕ	14
4.1 ДИРЕКТНЕ МЕТОДЕ	14
4.1.1 Металографија	14
4.1.2 Електрични микроскоп за скенирање – SEM	15
4.1.3 Калотест	15
4.1.4 Магнетне методе	16
4.1.5 Метода вртложних струја	17
4.2 ИНДИРЕКТНЕ МЕТОДЕ	17
4.2.1 Метод мерења масе	17
4.2.2 Кварцни кристал	17
5. МЕРАЧ ДЕБЉИНЕ ПРЕВЛАКА ЕХТЕСН CG204	19
5.1 ОПИС УРЕЂАЈА ЕХТЕСН CG204	19
5.2 СОФТВЕР ЗА АНАЛИЗУ ПОДАТАКА	28
5.3 КАЛИБРИСАЊЕ УРЕЂАЈА	30
5.3.1 Пример нулте калибрације на железном металу	30
5.3.2 Пример калибрације у једној тачки на нежелезном металу	30
5.4 МЕРЕЊЕ ДЕБЉИНЕ ПРЕВЛАКА НА ПОЦИНКОВАНИМ ПЛОЧИЦАМА	31
5.5 МЕРЕЊЕ ДЕБЉИНЕ ПРЕВЛАКА НА АУТОМОБИЛУ	33
6. ЗАКЉУЧАК	35
7. ЛИТЕРАТУРА	36

1. УВОД

Изузетно строги експлоатациони захтеви у погледу механичких и триболошких карактеристика појединих елемената у индустрији, условили су развој мноштва технологија модификовања површина и наношења превлака различитог типа.

Превлаке, које имају потпуно другачије физичке и механичке карактеристике од основног материјала (субстрата), понекад су пресудан фактор за реализацију функције циља реалних техничких система, јер у зависности од типа, омогућују повећану отпорност на: хабање, корозију, топлоту, поспешују процес подмазивања али служе у декоративне сврхе.

У појединим случајевима један од битних параметара успешне експлоатације неког елемента са нанешеном превлаком, јесте и сама дебљина превлаке као и континуалност предвиђене дебљине. Управо из тог разлога развијен је читав сет уређаја и метода који служе за директно или индиректно мерење дебљине превлака.

Рад је конципиран тако да, након увода, у другом поглављу даје основну поделу и кратак опис појединих врста превлака које се најчешће примењују. У трећем поглављу дат је преглед најбитнијих поступака и технологија наношења превлака који се данас срећу. Четврто поглавље односи се на главне методе мерења дебљине превлака, док је у петом поглављу детаљно описан уређај за мерење дебљине превлака EXTECH CG204 који функционише на принципу вртложних струја и магнетне индукције. У закључку је дат осврт на значај превлака и значај примене уређаја за мерење дебљине превлака.

2. ВРСТЕ ПРЕВЛАКА

Карактеристике и отпорност на хабање површинских слојева искључиво зависи од њихових физичко-хемијских особина. Један од начина за побољшање квалитета површина је и наношење превлака на основни материјал. У основи, превлака је танак слој другог материјала (једнослојан или вишеслојан) дебљине неколико микрометара, нанет на основни материјал. Основни материјал превлачењем добија нове експлоатационе – естетске карактеристике. Наношењем превлака може се значајно утицати на топографију површине. Неки од поступака наношења превлака (*elektro – plating* и сл.) обезбеђују fine (глатке) површине, док други поступци (поједини термо спреј и сл.) образују грубе површине или специфичне и веома различите типове топографија. Све карактеристике превлака могу се разврстати на:

- основне карактеристике превлака:
 - топографија површина превлака,
 - дебљина превлаке,
 - тврдоћа превлаке,
 - адхезиона чврстоћа превлака,
 - хемијски састав превлаке,
- физичко-хемијске особине превлака и
- триболошке карактеристике превлака.

Превлаке се могу поделити на основу различитих критеријума класификације. Према тврдоћи превлаке се деле на „тврде“ и „меке“, а према намени на:

- антихабајуће превлаке,
- заштитне и декоративне превлаке,
- термалне баријере (ТВС превлаке),
- оптичке превлаке и
- регенеративне превлаке [1].

2.1 АНТИХАБАЈУЋЕ ПРЕВЛАКЕ

Антихабајуће превлаке треба да задовоље следеће захтеве:

- низак коефицијент трења,
- отпорност на хабање (механичко: абразивно и микрорезање; физичко-хемијско: трибохемијско, адхезионо, дифузионо, оксидационо и хабање услед замора),
- отпорност на оптерећења (статичко, динамичко, ударно).

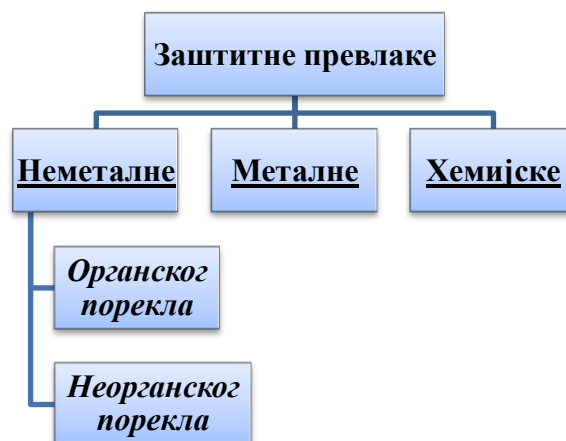
Наведене захтеве најбоље испуњавају карбиди, нитриди и бориди прелазних метала. Савремени поступци наношења тврдох антихабајућих превлака могу се разврстати у четири основне групе:

- 1) CVD (*Chemical vapor deposition*) или хемијско таложење из гасовите фазе,
- 2) PVD (*Physical vapor deposition*) или физичко таложење из гасовите фазе,
- 3) TD поступак и
- 4) Термални поступци (гасни, електролучни, плазма и ласерски).

2.2 ЗАШТИТНЕ ПРЕВЛАКЕ

Основна улога заштитних превлака је да површину предмета штити од корозије и утицаја спољашње средине. Заштита се огледа у изолацији материјала предмета од спољашње средине и спречавању деловања микроелемената на површини метала. Заштитне превлаке су често декоративне или подлога за наношење боја, лакова или премаза.

Избор начина и врсте наношења превлака зависи од услова у којима се налази метал. Код предмета у домаћинству најчешће се врши наношење једнослојних превлака лака, боје или хемијске обрада као што су: калаисање, фосфатирање гвожђа или оксидација алуминијума. За заштиту челичних конструкција (као што су нпр. железнички мостови, вагони, делови аутомобила и др.) примењују се премази лак – бојом сложеног састава. У циљу заштите металних предмета и њихове декоративне обраде користе се превлаке никла или хрома, често и превлаке сребра, злата или платине. За металне делове намењене раду у тешким условима (вода, раствори соли, киселина, алкалија и др.) користе се превлаке органског и неорганског порекла. Код делова изложених сумпорној киселини примењује се пооловљавање. За приборе у домаћинствима користе се превлаке никла и калаја [1].



Слика 1. Основна класификација заштитних превлака

Заштита метала и других материјала од агресивног физичко-хемијског дејства околине врши се наношењем заштитних (меких) превлака. Према врсти материјала, заштитне превлаке се деле на:

- металне и
- неметалне превлаке.

2.2.1 Металне заштитне превлаке

Металне заштитне превлаке могу да се наносе:

- термо-хемијским поступцима (хемијско таложење) и
- галванским путем (коришћењем једносмерне електричне струје).

Термо-хемијским поступцима наношења превлака припада поступак хемијског таложења, најчешће метала никла и хрома. Ове превлаке су намењене заштити од атмосферских утицаја. У посебним случајевима у декоративне сврхе могу се наносити превлаке сребра, злата, платине и родијума.

Галванске превлаке се добијају тако што се кроз раствор соли метала који се наноси као превлака, пропушта једносмерна електрична струја. Поступак наношења металних заштитних превлака овим начином познат је под називом **гальванизација** [3].

Најчешће се за заштитне превлаке користе следећи материјали:

Цинк припада металима са нормалним потенцијалом негативнијим од потенцијала гвожђа, тако да цинк штити гвожђе механички и електрохемијски. За предмете од гвожђа, који се употребљавају у релативно сувом ваздуху и у затвореним просторијама, довољна је дебљина слоја од $10 - 15 \mu m$. За предмете који се користе на отвореном простору и на ваздуху који није загађен индустријским гасовима, дебљина слоја се повећава до $20 - 25 \mu m$, а за предмете намењене за коришћење у индустријским рејонима, као и оне које си изложене дејству влаге, дебљина превлаке цинка се повећава на $50 \mu m$.

Никл је сребрно бели метал који се добро глача електричним потенцијалом електрично позитивнијим од потенцијала гвожђа. Због тога превлаке никла штите гвожђе од корозије само механички. Превлака од никла показује велику стабилност на ваздуху и кад је углачана, задржава сјајан изглед. По правилу никловањем се тежи да се штите делови од корозије и истовремено обезбеђује декоративни изглед.

Хром је најшире примењиван материјал за галвански процес превлачења челика и легура. Превлака је сјајно сребренасто-челичне боје са плавичастом нијансом. Хром је електрично позитивнији од челика, па је хромна превлака само механички заштитник. Хромне превлаке су шупљикаве, чак и у дебелом слоју. Због тога се хромирање, за заштиту од корозије, врши после наношења међупревлака (међуслојева) од других метала, на пример, бакра, никла. У том случају, хром само, штити слој од механичких оштећења и обезбеђује декоративни изглед предмета.

Кадмијумове превлаке примењују се за заштиту од корозије предмета и делова машина који су у додиру са морском водом и хлоридним растворима (осим киселина), као и остварење херметичности навојних елемената и смањење трења.

Калајне електролитичке превлаке се примењују за антикорозиону заштиту објеката и опреме у прехранбеној индустрији, контаката, карика клипа и локалну заштиту челичних делова код нитрирања.

Бакарне превлаке се примењују као подслој за превлаке никла, хрома и друге заштитно-декоративне превлаке челичних делова, за локалну заштиту челичних делова код цементације, израде биметала, пре оксидације површине делова, за повећање коефицијента трења делова и за антикорозиону заштиту контаката и хемијских апаратура.

Сребрене превлаке се примењују за антикорозиону заштиту делова у додиру са алкалним растворима (хемијске апаратуре), повећавање моћи рефлексије код фарова и пројектора и електропроводљивости површина контакта, као и у заштитно-декоративне сврхе предмета широке потрошње.

Златне превлаке се примењују за заштиту од корозије различитих лабораторијских уређаја, на пример, калориметријских бомби, алатичких тегова и др., у декоративне сврхе код јувелирских предмета, делова сата, различитих украса, уметничких и историјских споменика.

Гвоздене превлаке повећавају отпор на механичка трошења контактних делова и примењују се за повећање тиража штампарских елемената у полиграфској

индустрији. Користе се и за репарацију истрошених делова машина, апарата итд., а некада и као подслој на деловима од ливеног гвожђа, пре накнадног поолавања или цинковања.

Вишекомпонентне и вишеслојне превлаке. За заштиту од корозије и у декоративне сврхе могу се користити вишеслојне и вишекомпонентне превлаке: бакар–цинк, бакар–калај, калај–никл, олово–калај, калај–цинк, кадмијум–цинк, цинк–никл, никл–кобалт, злато–бакар и др.

Родмијумове превлаке дају рефлективну способност површини делова, повећавају површинску тврдоћу и постојаност на хабање контактних делова.

Индијумове превлаке повећавају антикорозивну способност и спречавају механичка оштећења (локално скидање материјала, бразде и сл.) површина делова од антифрикционих легура. Као антифрикциона превлака, индијум се користи и у облику легуре са оловом (3 – 4 % индијума) и бакром (око 8 % индијума).

2.2.2 Неметалне заштитне превлаке

Неметалне превлаке по саставу могу бити **неорганске** или **органске**, односно органска или неорганска једињења и њихове смеше. Карактеришу их добра моћ покривања и висока постојаност.

Неорганске заштитне превлаке представљају одговарајући заштитни слој хемијског једињења на површини метала. Слој се може формирати природним или вештачким путем. Основна карактеристика заштитних превлака је постојан слој, чврсто везан уз основни материјал, мања порозност и отпорност на спољашње утицаје. Неорганске заштитне превлаке се, поред примене за заштиту од корозије, користе и у друге сврхе, као нпр. декоративне или подлога за наношење других превлака (органских превлака и сл.). У последње време ове превлаке све се више користе и у техници подмазивања као носиоци уљног филма. Неорганским превлакама припадају оксидне и фосфатне превлаке, превлаке хрома и његових легура и емајли.

Органске заштитне превлаке се користе за заштиту површина металних делова од корозије, а дрвених од влаге и труљења. Често се користе и у декоративне сврхе у циљу остварења бољег естетског изгледа. Основне органске превлаке су превлаке гуме, боја и лакова.

2.3 ТЕРМАЛНЕ БАРИЈЕРЕ – ТВС ПРЕВЛАКЕ

Термалне баријере (*TBC – termal barrier coating*) представљају посебну врсту превлака предвиђену за заштиту површина које раде на високим температурама и у хемијски агресивним срединама. Доминантну улогу у развоју ових врста превлака има васионска и авиоиндустрија. Услови који владају у унутрашњости гасно турбинских и ракетних мотора су екстремни у погледу температура, брзина, високотемпературне корозије, хемијског дејства агресивне средине и абразивног дејства продуката сагоревања. У зони примарног сагоревања горива која обухвата комору за сагоревање, систем за убризгавање горива и лопатице турбине, радна температура достиже вредност 1200°C, а у неким случајевима чак и до 1700°C. Основни материјали на које се наносе термалне баријере су најчешће суперлегуре на бази никла са граничном радном температуром топљења никла од 1453°C [1].

2.4 ОПТИЧКЕ ПРЕВЛАКЕ

Наглим развојем оптоелектронике и квантне електронике обogaћени су облици оптичких елемената и знатно пооштрени критеријуми квалитета израде. Квалитет обрађених површина оптичких елемената изражава се у деловима таласних дужина светлосног зрачења које пролази или се одбија од њих. Димензије оптичких елемената и углови између појединих равни су толерисани у границама микрона и угловних секунди. Могућности избора оптималног решења реализације одговарајућег оптичког система су многобројне, обзиром на врло велики број комбинација различитих оптичких елемената.

Према геометријском облику и намени оптички елементи се могу поделити на: сочива, призме, заштитна стакла, оптичке прозоре, оптичке клинове, кончанице, модулационе дискове, танке слојеве, филтре, ласерске компоненте и специјалне елементе оптоелектронике.

Оптички полирана површина има најнижи степен микронеравнина површине у односу на друге врсте обраде. Високим квалитетом обраде грешке у преносу светлосног зрака, кроз оптички систем, свде се на минимум [1, 4].

Основана функција оптичких превлака је да побољшају карактеристике оптичких елемената и омогући исправно функционисање оптичког инструмента и система. У зависности од намене оптичке превлаке се деле на:

- антирефлексне слојеве,
- оптичке филтре,
- огледала,
- делиоце светлости (полуогледала),
- заштитне прозирне слојеве и
- електропроводљиве слојеве (загревне слојеве)

Основне карактеристике оптичких превлака су:

- хемијска стабилност,
- отпорност на корозију,
- механичка и термичка отпорност и
- оптичка својства.

3. ОСНОВНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ НАНОШЕЊА ПРЕВЛАКА

Технологије наношења превлака се непрекидно усавршавају и развијају. Такав тренд је условио појаву мноштва различитих технологија које је тешко разврстати, јер је могуће применити много различитих критеријума (врста превлаке, поступак наношења итд.). Ипак, не улазећи у прецизнију класификацију технологија наношења превлака, могу се навести најчешће коришћене технологије:

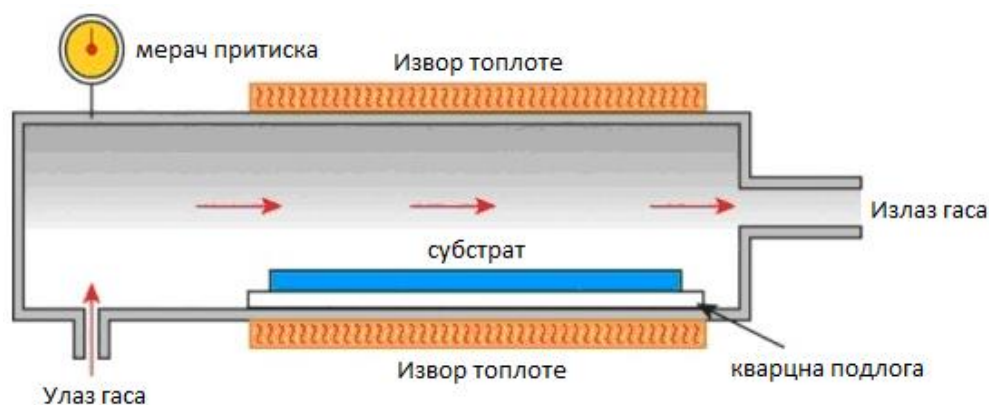
- CVD – хемијско таложење превлака из гасовите фазе,
- PVD – физичко таложење превлака из гасовите фазе,
- термални поступци наношења превлака,
- галвански поступци наношења превлака,
- наношење превлака електрофорезом,
- наношење превлака пластификацијом,
- TD поступци наношења превлака,
- превлаке чврстих мазива,
- технологије наношења неорганских и органских превлака итд.

3.1 CVD – ХЕМИЈСКО ТАЛОЖЕЊЕ ПРЕВЛАКА ИЗ ГАСОВИТЕ ФАЗЕ

Хемијско таложење превлака из гасовите фазе је процес познат у свету као CVD поступак (*chemical vapor deposition*). CVD поступак се одвија таложењем у гасовитој фази при одређеном притиску (вакуум).

CVD поступак има релативно дугу историју примене. Први пут је примењен код превлачења жице за сијалице, једињењима чистих метала (W, Ti, Ta, Cr, Zr, Hf) и неметала (B, Si итд.). Крајем педесетих година прошлог века започиње интензивни развој и примена, пре свега у производњи полупроводника.

CVD поступак карактеришу високе температуре процеса (900 - 1000°C), тако да се углавном користи за превлачење тврдог метала. Наношење TiN превлака CVD поступком је класична метода, са доста расположивих литературних података, дефинисаном зависношћу брзине депозиције TiN од температуре и објашњењем утицаја састава и протока гасне средине итд.



Слика 2. Изглед типичног CVD реактора [7]

У литератури се указује на важност чврстине везе превлаке и основног материјала, а дат је и преглед утицајних фактора којима се може деловати на побољшање адхезије између превлаке и субстрата.

Најважнији утицајни фактори су:

- квалитет субстрата (садржај угљеника, садржај легирајућих елемената склоних формирању карбида као што су: W, Cr, Мо итд., заостали напони у површинском слоју).
- припрема основног материјала (механичка обрада и храпавост површинског слоја, чишћење и прање – одмашћивање).
- технолошки параметри процеса (температура и време трајања поступка депозиције, притисак и проток гаса, садржај нечистоћа у радном простору).
- физичке особине депонованог слоја (дебљина и храпавост слоја, распоред и вредност унутрашњих напона, коефицијент топлотног ширења, присуство трагова оксидације на површинском слоју).
- третман радног предмета након депозиције (накнадна термичка обрада основног материјала, механичка дорада полирањем или леповањем) [1].

3.2 PVD – ФИЗИЧКО ТАЛОЖЕЊЕ ПРЕВЛАКА ИЗ ГАСОВИТЕ ФАЗЕ

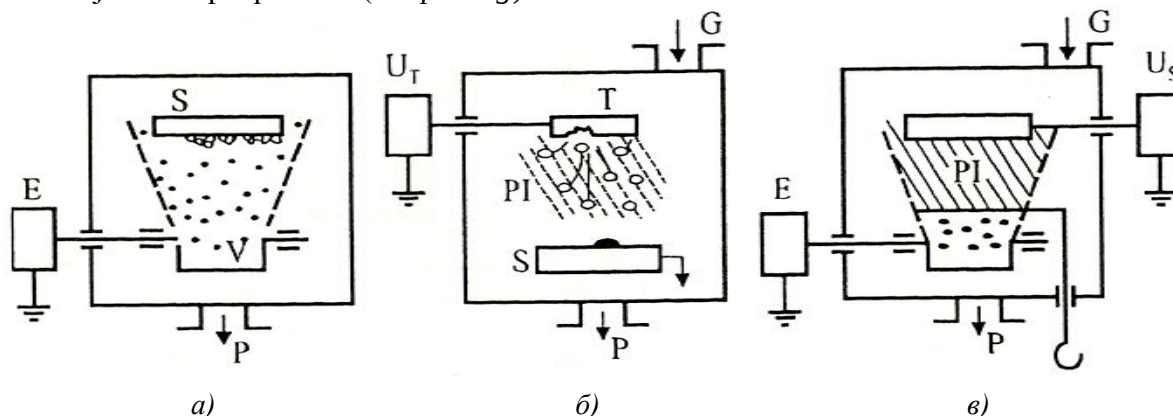
PVD поступци су засновани на наношењу тврдих превлака путем физичке депозиције из гасовите фазе. Поступак депозиције обухвата следеће фазе:

- превођење материјала који се депонује на субстрат, из чврсто у гасовито стање,
- транспорт материјала превлаке до субстрата, уз активирање реактивног и носећег гаса,
- депоновање материјала на субстрат. На субстрату се одигравају термохемијске површинске реакције при много нижим температурама, услед повећане енергије честица које реагују међусобно.

У оквиру PVD технологија наношења превлака постоји читав низ поступака и метода, које, с обзиром на обимност овог рада, неће бити детаљније разматране.

С обзиром на процес који се користи за превођење материјала из чврстог у стање паре могу се издвојити три основна поступка:

- вакуумско испаравање (*vacuum evaporation*),
- распршивање (*sputtering*),
- јонско прекривање (*ion plating*).



Слика 3. Принципијална схема PVD поступка

а) вакуумско испаравање, б) распршивање, в) јонско прекривање [1]

Поступци омогућавају превлачење ма ког субстрата неорганским превлакама свих врста. За добијање неких врста превлака испарени материјал ступа у реакцију са реактивним гасом формирајући материјал превлаке (реактивно распршивање и реактивно јонско прекривање). Код реактивног распршивања хемијске реакције се одигравају на површини подлоге, на којој долази до формирања и раста филма – слоја превлаке. У случају депозиције распршивањем материјал за депоновање се преводи из чврстог у стање гасне плазме.

Код пражњења у инертном гасу честице материјала, распршеног са мете, не реагују са честицама гаса. Зато је то неактивни процес.

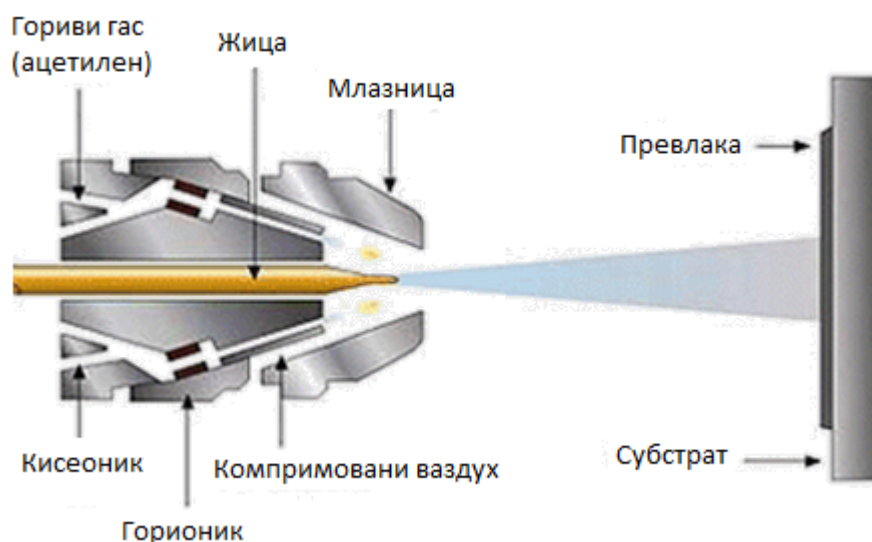
Јонско прекривање је процес у коме се формирање и раст танког слоја на површини одвија у условима бомбардовања честица плазме. Бомбардовање субстрата, се остварује његовим довођењем на негативан потенцијал у односу на плазму.

3.3 ТЕРМАЛНИ ПОСТУПЦИ НАНОШЕЊА ПРЕВЛАКА

Термални методи наношења превлака заснивају се на топљењу материјала превлаке и његовом стапању са основним материјалом топлотним дејством:

- пламена (гасно)
- електричног лука,
- плазме,
- ласера или
- комбинације неких од наведених метода.

Сви термални спреј поступци наношења превлака се заснивају на истом принципу. Прво се топлотним дејством (гас, електрични лук, плазма, ласер) топи материјал превлаке дозиран у зону растапања у виду жице, траке или праха. Затим се растопљени материјал убрзава до формирања млаза честица велике брзине. Млаз удара у површину основног материјала, честице млаза се деформишу, нагло хладе и стапају са субстратом.



Слика 4. Класични гасни поступак [1]

Како се овим поступцима могу наносити превлаке велике дебљине (неколико милиметара) и одличне везе са основним материјалом, идеални су за побољшање експлоатационих карактеристика нових и репарацију похабаних или оштећених

делова. Оно што је карактеристично за ову методу је да се материјал превлаке доводи у процес у виду праха, жице или траке. Како је примена термалних метода веома распрострањена, посебно при репарацији, на тржишту постоји читав спектар готових мешавина прахова, жица и трака за превлаке различитих карактеристика и намена.

3.4 НАНОШЕЊЕ ПРЕВЛАКА ГАЛВАНИЗАЦИЈОМ

Процес галванизације представља електролитичко издвајање метала на катоди. Карактер превлаке (структура, тврдоћа, сјај, унутрашња напрезања...) зависи од великог броја фактора као што су: густина струје, концентрација електролита, природа електролита, температура, мешање и присуство површински активних супстанци у електролиту итд.

За сврхе галванотехнике, потребна је једносмерна струја, малог напона од 1 до 12 V, а у изузетним случајевима напон може бити и 25 V. Јачина струје може бити велика и она зависи од величине ћелије за електролизу, а може се кретати и до неколико хиљада ампера [3].

Превлаке добијене галванским методама деле се према намени на следеће основне групе:

- заштитне превлаке,
- заштитно декоративне превлаке,
- превлаке за повећање отпорности на хабање и површинске тврдоће,
- превлаке за повећање димензија дела.



Слика 5. Приказ опреме за галванизацију [6]

Превлаке добијене галванизацијом се одликују високом чистоћом и хемијском стабилношћу, а недостатак им је нехомогеност и порозност. Дебљина галванских превлака се одређује у зависности од врсте, намене и услова рада делова.

Технолошки процес наношења превлака састоји се из следећих операција:

- припреме површина (механичком, хемијском и електро-хемијском методом),
- наношења превлаке и
- обраде површине после наношења.

Да би се адекватно одредила дебљина превлаке, од које највише зависи век у експлоатацији, бирају се одговарајући параметри процеса:

- параметри електричне струје (густина, напон и јачина електричне струје),

- време наношења превлаке,
- састав купатила (одређује се у зависности од метала који се издваја и наноси).

3.5 НАНОШЕЊЕ ЗАШТИТНИХ ПРЕВЛАКА ЕЛЕКТРОФОРЕЗОМ

Један од најзначајнијих поступака лакирања је наношење органских превлака, на металним предметима, поступком електрофорезе.

Процес електрофорезе представља кретање органских честица под дејством електричног поља и њихово депоновање на предмету уз образовање нерастворљиве превлаке. Наношење заштитних органских превлака овим поступком карактерише истовремено одвијање три процеса:

- електрофорезе,
- електролизе и
- електроосмозе.

Процес електролизе се одиграва у присуству примеса које проводе електричну струју и тече паралелно са електрофорезом. Не сме се дозволити да се концентрација примеса, које проводе струју у купатилима за електрофорезу, повећа до те мере да процес електролизе постане примаран. Ако је овај процес заступљен у већој мери формира се некавалитетна превлака.

С обзиром на начин издвајања, разликују се електрофорезни поступци са: анодним и катодним издвајањем (анафореза и катафореза) [1].

3.6 НАНОШЕЊЕ ЗАШТИТНИХ ПРЕВЛАКА ПЛАСТИФИКАЦИЈОМ

Пластифицирање је последњих година готово потпуно потиснуло класичне методе фарбања. Основне предности метода су економичност и еколошки аспект примене. Технологија наношења органских заштитних превлака пластификацијом подразумева следеће фазе:

- површинска припрема,
- покретање и позиционирање пиштоља,
- електростатичко наношење праха,
- враћање вишка праха и
- печење праха.

3.7 TD ПОСТУПЦИ НАНОШЕЊА ПРЕВЛАКА

TD (*Toyota Diffusion*) процес спада у најједноставније и најјефтиније комплексне методе модификовања површина. У основи, процес спада у термо дифузионе поступке обогаћивања и прекривања површине карбидима. У поређењу са CVD и PVD поступцима захтева једноставнију опрему и сировине тако да су трошкови процеса минимални. Поступак је развила и патентирала, под називом TD процес, Тојотина централна лабораторија за истраживање и развој. TD процес је веома једноставан и јефтин поступак формирања глатке и танке карбидне превлаке од WC, NbC или CR₇C₃. Процес не захтева компликовану опрему, нема отровних гасова, врши се само потапање делова у соно купатило са раствором боракса и једињења која са угљеником из челика формирају карбиде ванадијума, ниобијума или хрома [1].

3.8 ПРЕВЛАКЕ ЧВРСТИХ МАЗИВА

Развој савремених техничких система захтева специфичне услове експлоатације у погледу радних температура, притисака и века трајања средства за подмазивање, што ограничава применљивост традиционалних врста мазива. При ниским температурама долази до стврдњавања уља и масти, а при високим до њиховог разлагања и испаравања.

Последњих година се, због појефтињења чврстих мазива, шири област њихове примене и на остале гране индустрије (металопраћивачка, аутомобилска, машиноградња итд.). Најчешће су чврста мазива израђена на бази:

- молибден дисулфата (MoS_2),
- политетра-флуоретилена (PTFE),
- волфрам дисулфида (WS_2) и
- графита.

Такође, постоји велики број превлака и композита са подмазујућом компонентом од чврстих мазива у матрици. Најраспрострањеније превлаке чврстих мазива су на бази сулфида молибдена, волфрама и цинка.

3.9 НАНОШЕЊЕ НЕОРГАНСКИХ И ОРГАНСКИХ ПРЕВЛАКА

3.9.1 Поступци наношења неорганских превлака

Процес наношења неорганских превлака је процес идентичан процесу оксидације, односно корозије. У новије време формирање заштитних неорганских превлака се тумачи електрохемијским појавама преласка електрона са спољашње површине метала на спољашњи површински слој средства за израду заштитне превлаке.

Три основна поступка формирања неорганских заштитних превлака су:

- термички,
- хемијски и
- електрохемијски.

Неорганске хемијске превлаке настају у реакцији метала и хемијског средства у релативно кратком временском периоду. Прекривају површину метала у виду танког слоја металног оксида или соли. Равномеран, једноличан слој, уједначене храпавости са мат изгледом, се добија при одговарајућој квалитетној припреми површина и обезбеђењу услова наношења погодних за формирање кристалне структуре што мање порозности.

Неорганске заштитне превлаке представљају добру заштиту у одређеним условима. Нису отпорне на концентроване растворе киселина и база. Зато имају ограничену примену на неутралне, слабо киселе или базне растворе, влажну атмосферу и благо корозиону средину [1].

3.9.2 Технологије наношења органских превлака

Гумирање

Гумирањем се назива процес превлачења металне површине гумом у циљу заштите од корозионог разарања. Међу материјалима који се употребљавају у металопраћивачкој индустрији гума заузима посебно место, захваљујући великој

еластичности (способности да амортизује вибрације) и доброј отпорности на хабање. Гума, такође, има високе изолационе способности у електричном смислу и хемијску стабилност у низу агресивних средина.

Облагањем хемијске апаратуре гумом знатно се повећава век трајања апаратуре. Главна компонента гуме је каучук. Каучук улази у састав сока латекса, који се добија од каучуковог дрвета при његовом загревању. Чист каучук се добро раствара у бензину, бензолу и бубри у води, еластичан је и добро се растеже.

Ако се чист каучук загрева заједно са сумпором (процес вулканизације), особине каучука се нагло мењају: повећава се истегљивост и еластичност, расте отпорност на кидање. При великом садржају сумпора (више од 15%) добија се тврда гума или ебонит, која се одликује великом отпорношћу на кидање, врло малим коефицијентом издужења и малом еластичношћу.

Заштита корозије гумирањем може бити извршена меком гумом или ебонитом у зависности од намене и услова рада делова. Гумирање челичних делова који раде на повишеним температурама, врши се наношењем двослојне превлаке: горњег слоја ебонита дебљине 3 – 5 *mm* и доњег слоја меке гуме дебљине 1,5 – 2 *mm*. Таква превлака обезбеђује велику хемијску стабилност и отпорност на ударна оптерећења. Осим оваквог вида превлака постоје и трослојне превлаке које се често употребљавају за облагање када за нагризање.

Бојење и лакирање

Боје и лакови су најраспрострањенија и, у многим случајевима, незаменљива средства дуготрајне заштите од корозије металних уређаја изложених атмосферским утицајима. Служе и за заштиту апарата и других делова од деловања различитих реагенса. Често се употребљавају и за декоративну обраду, а такође и за специјалне намене. Данас се бојом формира око 65% свих заштитних превлака.

Боје представљају суспензију неорганичких (минералних) материја у уљима. Уља имају улогу везивног материјала. Осим главних састојака (везивна материја и пигмент), боје садрже пуниоце (повећање чврстоће), помоћне материје, силикате (убрзање процеса сушења) и раствараче.

Лакови представљају колоидне растворе уља, смола и целулозе (одвојено или њихову комбинацију) у органским растварачима.

Боје и лакови, као посебни *антикорозивни претходни премази*, садрже специфичне пигменте за спречавање електрохемијских и корозионих процеса на металним површинама. Боје и лакови као *завршни премази* треба да испуне најстроже захтеве отпорности на све утицајне средине, јер од њихових карактеристика зависи ефикасност и трајност површине делова [1].

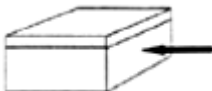
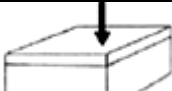
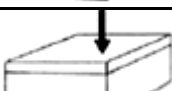
4. ДЕБЉИНА ПРЕВЛАКА

Дебљину превлаке је тешко дефинисати. Основни разлог је остваривање специфичне везе између основног материјала и превлаке, њихове појединачне тврдоће и својства адхезије. Дебљине превлака, добијених класичним поступцима наношења на основни материјал, могу износити и до неколико десетина микрометара. Одређивање дебљине превлаке се може класификовати на:

- директне методе одређивања дебљине превлаке (на самој превлаци),
- индиректне методе одређивања дебљине превлаке.

4.1 ДИРЕКТНЕ МЕТОДЕ

Табела 1. Методе одређивања дебљине превлака [4]

Оптичке методе		Металографија СЕМ Холографија
Методе одношења		Калометрија Сонда
Електромагнетне методе		Магнетни флуks Вртложне струје Капацитет
Методе расејања		Ултразвук
Методе екситације		X - зраци

4.1.1 Металографија

Принцип рада *оптичких микроскопа* заснива се на усмеравању и пропуштању светлосног зрака кроз систем сочива, призми, филтера, пропусних огледала и одбијању зрака од припремљене површине узорка ка објективу и окулару, где се уочава увећана слика структуре. Могуће је и фото снимање структуре. Користи се за увећања до 2000 пута.



Слика 6. Оптички микроскоп



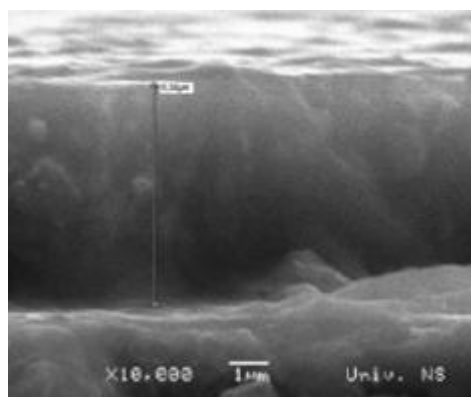
Слика 7. Сто за израду избрусака

4.1.2 Електрични микроскоп за скенирање - SEM

За посматрање објеката чија је величина далеко испод границе видљивости оптичких микроскопа користе се електронски микроскопи.



Слика 8. Изглед SEM микроскопа [4]



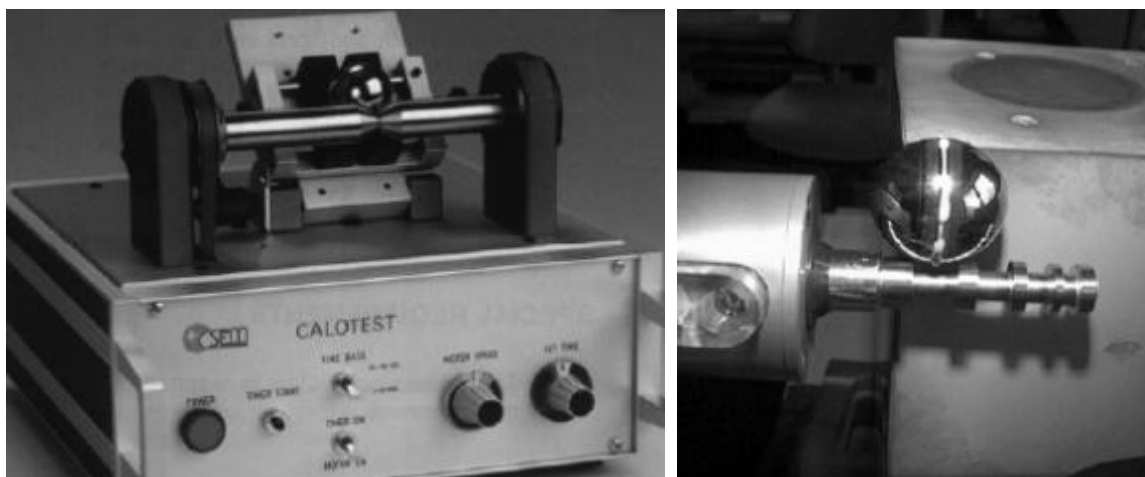
Слика 9. SEM слика TiN превлаке [4]

Електрични микроскоп за скенирање (SEM) користи се за прегледање и анализу површине чврстих узорака. Поседује могућност увећања 20000 пута. Добија се 3D слика узорка. Користи фокусирани сноп електрона да скенира површину узорка.

4.1.3 Калотест

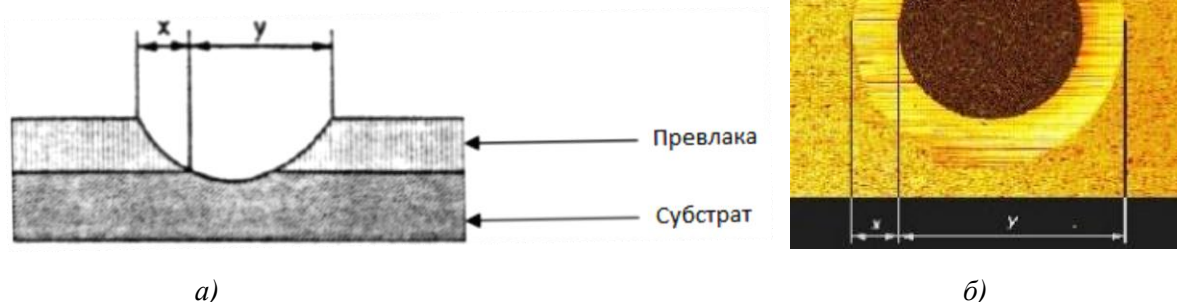
За мерење дебљине превлака користи се, са веома високом тачношћу, метода *калотеста*, јер је једноставна и лако се примењује. Предности оваквог начина мерења дебљине превлака је:

- веома јефтина опрема,
- једноставност поступка и
- поузданост [1, 4].



Слика 10. Изглед уређаја и профил утискивача за калотест [4]

Користи се челична кугла пречника $R=25,4 \text{ mm}$ премазана пастом са дијамантским честицама гранулације $1 \mu\text{m}$. Ротацијом кугле превлака се на месту контакта абразивно хаба и уклања. Просторно, траг хабања има облик калоте. У погледу нормално на површину превлаке, траг хабања се пројектује у два концентрична круга. Круг већег пречника представља пресек калоте и површине филма, а круг мањег пречника пресек калоте и површине субстрата. Дебљина превлаке се одређује на основу ове пројекције.



Слика 11. Схема профила кратера на површини превлаке (а) и профила кратера на реалном узорку превлаке TiN (б) [4]

Дебљина превлаке се одређује према изразу:

$$\text{Дебљина} = \frac{xy}{R}$$

4.1.4 Магнетне методе

Мерење магнетним методама је могуће ако се магнетна својства превлаке и подлоге довољно разликују. Уређаји за мерење дебљине премаза са перманентним магнетом могу се употребљавати за одређивање дебљине филмова премаза који су нанесени на магнетичне подлоге као што су челик, железо, магнетични нерђајући челик, итд. осигуравајући да је премаз немагнетичан. Материјали као што су никал и кобалт који су природно магнетични требају се посебно третирати, док боје које садрже магнетичне честице као што су магнетични железни оксид могу узроковати

грешку уколико се употребљавају уређаји за мерење дебљине са перманентним магнетом.

Ови једноставни магнетни уређаји за мерење дебљине премаза користе принцип да је привлачна сила између перманентног магнета и магнетичне металне подлоге обрнуто пропорционална с удаљеношћу међу њима. Основна ограничења код примене ових уређаја су:

- филм мора бити довољно чврст да се спречи урезивање и
- филм не сме бити лепљив тако да задржи магнет за површину премаза.

4.1.5 Метода вртложних струја

Мерење дебљине филма методом вртложних струја темељи се на разлици у електричној проводљивости између превлаке и подлоге. Метода вртложних струја за мерење дебљине филма превлаке се примењује на превлакама немагнетичних метала. Не може се користити за мерење дебљине филма на неравним површинама.

Базира се на ефекту да високо фреквентно, наизменично поље (3 MHz) постаје електрично проводљива површина узрокујући врло локализован струјни ток вртложних струја. Ове струје креирају своју властиту импедансу у завојници стварајући високо фреквентно поље. Величина импедансе је функција удаљености мерне сонде од површине метала, односно дебљине премазног филма. Скала инструмента је калибрисана у јединицама дебљине премаза. Приликом испитивања узорак се не оштећује.

4.2 ИНДИРЕКТНЕ МЕТОДЕ

Оно што одликује овај начин мерења дебљине превлаке јесте непоузданост поступака у односу на директне методе. Најзначајније методе су:

- мерење масе,
- кварцни кристал.

4.2.1 Метод мерења масе

Спада у „*ex-situ*“ методе мерења. Мери се маса узорка пре и после депозиције. Узимањем у обзир површину прекривену превлаком и средњу специфичну густину превлаке, одређује се дебљина. Дакле, прецизност мерења зависи од више фактора и то:

- од прецизности осталих мерења (маса узорка, површине превлаке, густине превлаке)
- густина превлаке варира по дебљини филма.

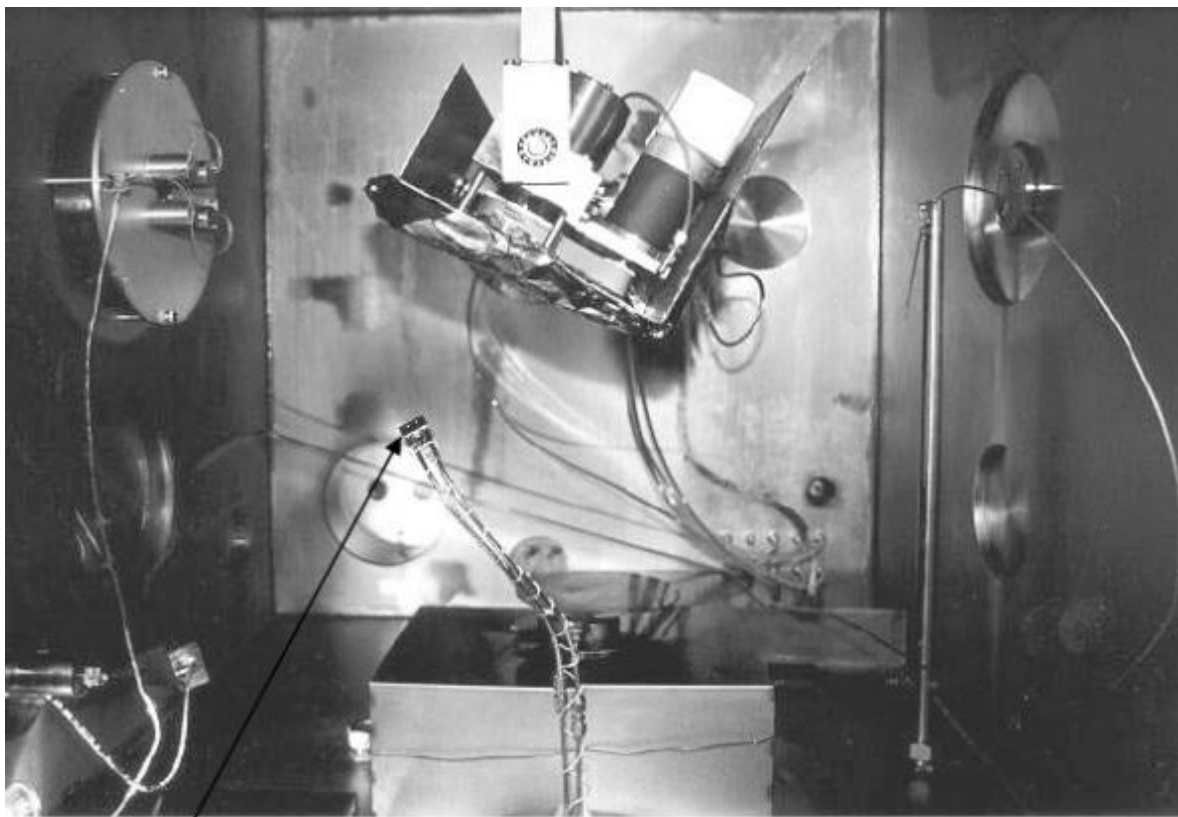
4.2.2 Кварцни кристал

„*In-situ*“ метод мерења дебљине превлаке. На једну од две половине кристала се депонује превлака и поређењем електричних својстава та два тела, може се са високом тачношћу одредити дебљина превлаке.

Пример услова рада једног таквог уређаја:

- користи се кварцни кристал превучен златом,
- преко осцилатора се побуђује осциловање кварца,

- радни опсег фреквенције осциловања кварца је од 5 до 6 MHz,
- повећањем дебљине превлаке умањује се фреквенција осциловања (промену фреквенције осциловања за исту побуду уређај претвара у дебљину) [4].



сензорска глава
кварцног кристала

*Слика 12. Изглед уређаја за мерење дебљине превлаке
методом кварцног кристала [4]*

Коришћење оваквог уређаја за мерење дебљине превлаке изискује и поштовање одређених услова, и то:

- исправно постављање сензорске главе (сваки уређај има упутство за правилно позиционирање главе),
- заклоњеност од свих извора који доводе до промене фреквенције осциловања кристала (топлота, електрична и магнетна поља...),
- поштовање захтеваних услова околине за уређај (нпр. температура од 10 до 40°C, влажност ваздуха мања од 30%, изузетно ниска загађеност ваздуха).
- поштовање радних услова за кварц (нпр. -40 до 110°C, проток воде за хлађење 0,5 l/min),
- правилно калибрисање.

Ово је само метод за оријентационо праћење раста филма у току депозиције. Код депозиција у плазми постоји низ тешкоћа за правилно монтирање сензорске главе [4].

5. МЕРАЧ ДЕБЉИНЕ ПРЕВЛАКА EXTECH CG204

Мерач CH204 је преносни мерач дебљине превлака за мерење без разарања. Користи две методе за мерење:

- магнетну индукцију (за мерење дебљине превлаке на железним металима) и
- методу вртложних струја (за мерење дебљине превлаке на нежелезним металима).

У комплекту се налази:

- две калибрационе плочице (од гвожђа и од алуминијума),
- пет пластичних плочица одређених дебљина које служе за проверу тачности мерача и калибрацију.
- УСБ кабл,
- диск са софтвером за читавање резултата на рачунару и
- торбица за ношење уређаја.



Слика 13. Мерач EXTECH CG204 са пратећом опремом

5.1 ОПИС УРЕЂАЈА EXTECH CG204

Карактеристике уређаја:

- мерење дебљине превлака: немагнетне превлаке (нпр боја, цинк на гвожђу), изолационе превлаке (нпр. боја, анодни премази) на немагнетним материјалима,
- једноставни, интуитивни водич кроз мени,
- 2 мода мерења: континуално (*continous*) и појединачни (*single*),
- 2 мода рада: директни (*direct*) мод и групни (*group*) мод (4 групе),
- статистички приказ: AVG, MAX, MIN, NO, SDEV,
- појединачна калибрација у једној или две тачке за сваки мод рада,
- једноставна калибрација нуле,

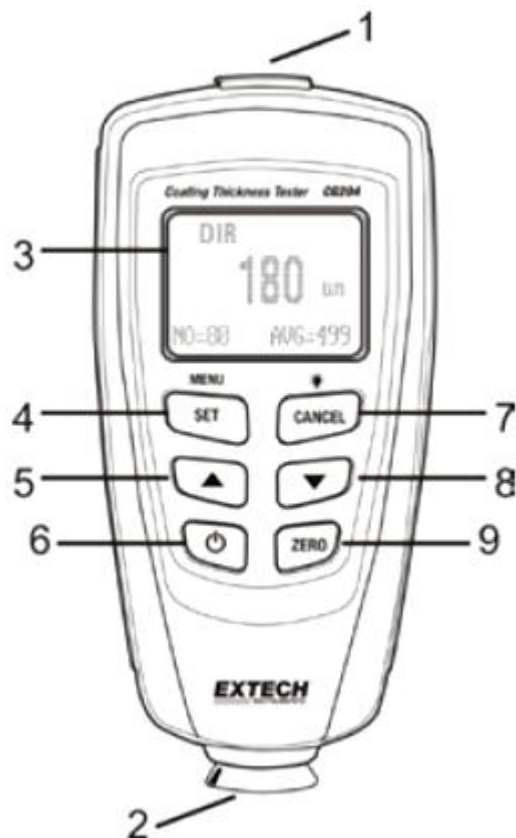
- меморија за 320 мерних вредности (80 по групи),
- све запамћене вредности могу се једноставно обрисати (појединачно или све),
- алармна функција када се прекорачи горња и доња максимална вредност (ради у свим модовима рада),
- УСБ интерфејс за прикључак на рачунар због анализе добијених резултата,
- аутоматско искључивање уређаја.

Табела 2. Спецификација мерача [2, 5]

СЕНЗОР	F	N
ПРИНЦИП РАДА	Магнетна индукција	Вртложне струје
МЕРНИ ОПСЕГ	0~1250 μm	0~1250 μm
	0~49,21 mils	0~49,21 mils
ТОЛЕРАНЦИЈА	0~850 μm : $\pm(3\% + 1\mu m)$ 850 μm ~1250 μm : ($\pm 5\%$)	0~850 μm : $\pm(3\% + 1.5\mu m)$ 850 μm ~1250 μm : ($\pm 5\%$)
	0~33.46 mils $\pm(3\% + 0.039 mils)$ 33,46 mils~49,21 mils ($\pm 5\%$)	0~33.46 mils $\pm(3\% + 0.059 mils)$ 33,46 mils~49,21 mils ($\pm 5\%$)
ТАЧНОСТ	0~50 μm (0.1 μm) 50 μm ~850 μm (1 μm) 850 μm ~1250 μm (0,01 μm)	0~50 μm (0.1 μm) 50 μm ~850 μm (1 μm) 850 μm ~1250 μm (0,01 μm)
	0~1,968 mils (0,001 mils) 1,968 mils~33,46 mils (0,01 mils) 33,46 mils~49,21 mils (0,1 mils)	0~1,968 mils (0,001 mils) 1,968 mils~33,46 mils (0,01mils) 33,46 mils~49,21 mils (0,1 mils)
МИНИМАЛНИ РАДИЈУС САВИЈАЊА	1.5 mm	3 mm
ПРЕЧНИК МИНИМАЛНОГ МЕРНОГ ПОДРУЧИЈА	7 mm	5 mm
КРИТИЧНА ДЕБЉИНА ОСНОВНОГ СЛОЈА	0,5 mm	0, 3 mm
РАДНА ТЕМПЕРАТУРА	32°F~104°F (0°C~40°C)	
РАДНА РЕЛАТИВНА ВЛАЖНОСТ	20%~90%	
ДИМЕНЗИЈЕ	4,3 x 2,0 x 1, 0'' (110 x 50 x 23 mm)	
ТЕЖИНА	100 g	

1. USB порт
2. Мерни сензор
3. Екран са позадинским осветљењем
4. SET/OK/YES/MENU/SELECT дугме
5. UP/LEFT (горе/лево) дугме
6. Тастер за укључење и искључење (ON/OFF)
7. CANCEL/ESC/NO/BACK дугме (у менију)
- и дугме за осветљење екрана при мерењу
8. DOWN ARROW / RIGHT (доле/десно) дугме
9. ZERO дугме (за калибрацију)

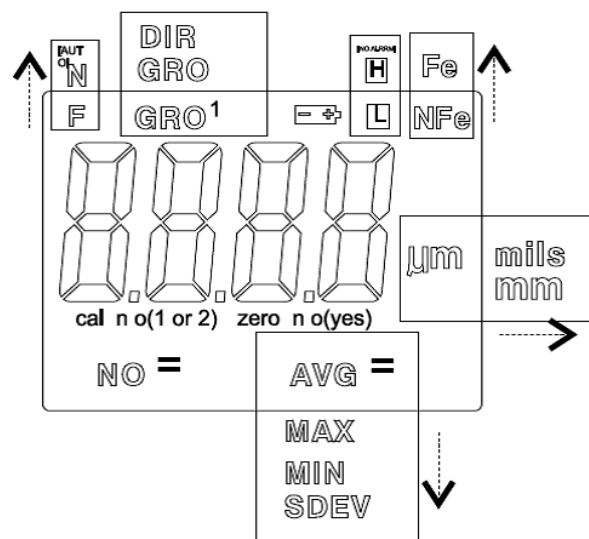
На полеђини мерача налази се отвор за батерије.



Слика 14. Изглед предње стране мерача

Опис иконица на екрану

NFe.....	Нежелезни метали
Fe.....	Железни метали
AUTO.....	Аутоматско препознавање метала
F или N.....	Иконица за калибрацију
DIR.....	Директно мерење - <i>direct</i>
GRO1- 4.....	Групно мерење - <i>group</i>
µm.....	Јединица мерења микрометри
mm.....	Јединица мерења милиметри
mils.....	mils = mm * 2.54/100
AVG.....	Средња вредност свих читавања
MIN.....	Минимална вредност свих читавања
MAX.....	Максимална вредност свих читавања
SDEV.....	Стандардно одступање читавања
NO.....	Број читавања
	Празна батерија
	УСБ конекција



Слика 15. Изглед екрана

Иконица за јединицу мерења трепери када је укључен *continuous* (непрекидан) начин мерења, а када не трепери укључен је *single* (појединачно) мерење.

Сензор

Сензор је постављен на контактну опругу која се налази у чаури. Намена опруге и чауре је да обезбеди правилно позиционирање сензора и да увек има исти константни притисак на површину. Жлеб у облику латининог слова В у чаури обезбеђује да је мерење које се врши на малом цилиндричном делу поуздано и тачно. Врх сензора направљен је од тврдог и дуготрајног материјала. Приликом мерења потребно је да се уређај притисне на мерни објекат тако да сензор потпуно налегне на мерно место.

Укључивање и искључивање мерача

Притиском на  укључује се мерач, екран се пали и уређај је спреман за мерење. Поновним притиском на дугме искључује се мерач. Мерач има опцију за аутоматско искључивање, ако се не користи дуже од три минута. По фабричким подешавањима ова опција је укључена, али по потреби може да се искључи у менију избором опције *auto power off*.

Пример и поступност мерења

Препоручује се (није неопходно) да се изврши пробно мерење на еталонима који се добијају уз мерач, да би се боље упознали са мерачем и проверили тачност тј. да се утврди да ли је потребна калибрација. Еталон округлог облика је од железних (магнетних) метала и еталона правоугаоног облика од нежелезних (немагнетних) метала. Мерач аутоматски препознаје да ли је метал железни или нежелезни.

1. На пример, постави се пластична плочица од $250\text{ }\mu\text{m}$ на еталон од железног метала.
2. Постави се сензор мерача на површину која се мери.
3. У појединачном моду мерења јавиће се звучни сигнал који означава да је мерење извршено.
4. Код непрекидног мерења на екрану ће се мењати резултати који се добијају у том тренутку.
5. На средини екрана исписаће се читавање, које у овом случају износи $250\text{ }\mu\text{m}$.
6. На екрану ће бити приказано :
 - NO=1 (број читавања) у доњем левом углу екрана.
 - AVG=250 μm (средња вредност читавања) у доњем десном углу екрана.
 - DIR - (директно мерење) у горњем левом углу екрана.
 - Fe - (железни метал) у горњем десном углу екрана.



Слика 16. Пример мерења

Дугме за позадинско осветљење екрана



Екран има позадинско осветљење за лакше читавање резултата, што је изузетно корисно код мерења у слабо осветљеним просторијама. Када је мерач у режиму мерења притиском на дугме *cancel* пали се позадинско светло екрана, поновним притиском гаси се осветљење екрана. Такође, у подешавањима може да се пали или гаси позадинско осветљење.

Ресетовање на фабричка подешавања

Ресет брише све податке у меморији, укључујући све податке у свим радним модовима са одговарајућим статистичким, калибрационим и граничним вредностима.

Поступак ресетовања на фабричка подешавања:

1. Мерач мора бити искључен.
2. Док се мерач пали потребно је притиснути и држати *zero* дугме.
3. Када се мерач упали на екрану се појављује порука „*Sure to reset*“.
4. Потребно је притиснути дугме *set* за ресетовање или *cancel* дугме за поништавање ресетовања [2].

Систем менија и основна подешавања

Када је мерач укључен, притиском на тастер *мени*, улази се у опције мерача и тада је могуће извршавати подешавања.

За кретање кроз мени користи се:

- UP/DOWN.....за кретање горе/доле кроз мени,
- SELECTза селектовање,
- BACK /ESC.....за враћање или излаз из менија.

Табела 3. Преглед опција менија [2, 5]

ГЛАВНИ МЕНИ	ПОДМЕНИ 1	ПОДМЕНИ 2	ОБЈАШЊЕЊЕ
STATISTICAL VIEW	AVG* ¹		Приказ средње вредности
	MIN		Приказ минималне вредности
	MAX		Приказ максималне вредности
	NO		Приказ броја мерења
	SDEV		Приказ стандардног одступања
OPTIONS	Measure mode	Single*	Појединачно читавање
		Continuous	Континуално читавање
	Working mode	Direct*	Читавање се не снима у групе
		Group 1...4	Снимање читавања у групе
	Probe used	Auto*	Мерач аутоматски препознаје материјал
		Fe	Мерење железних (магнетних) метала
		No Fe	Мерење нежелезних (немагнетних) метала
	Unit settings	µm*	Микрометри
		mils	mils = mm * 2.54 / 100
		mm	Милиметри
	Backlight	ON*	Упаљено позадинско светло
		OFF	Угашено позадинско светло
	LCD Statistics	AVG*	Средња вредност читавања
		MAX	Максимална вредност читавања
		MIN	Минимална вредност читавања
		SDEV	Стандардно одступање читавања
LIMIT	Limit settings	High Limit	Горња гранична вредност аларма
		Low Limit	Доња гранична вредност аларма
	Delete Limits		Брисање граничних вредности
DELETE	Current Data		Брисање тренутног податка
	All Data		Брисање свих података
	Group Data		Брисање групе података
MEASUREMENT VIEW			Приказ мерених вредности
CALIBRATION	Enable		Омогућена калибрација
	Disable		Онемогућена калибрација
	Delete Zero N		Брисање нуле N
	Delete Zero F		Брисање нуле F

¹ Фабричка подешавања означена су звездицом

Подешавање опција

Statistical view (статистички приказ)

1. Притиском на *menu* дугме приступамо опцијама.
2. Притиском на дугме *select* улази се у подешавања за *statistical view* (статистички приказ)
3. Користећи стрелице за горе и доле на екрану се приказују *avg* (средња вредност), *min* (минимална вредност), *max* (максимална вредност), *no* (број читавања) и *sdev* (стандардно одступање) за читавања која су извршена.
4. Порука *no data* појавиће се ако на мерачу нису извршена мерења. Ако се мерења врше у директном моду (*direct mod*), читавања ће се избрисати после гашења мерача. У групном моду (*group mod*) читавања се неће брисати после гашења мерача, читавања ће се снимити у групу која је изабрана.
5. Притиском на дугме *back*, па на дугме *esc* враћамо се у режим мерења.

Options (опције)

1. Притиском на *menu* дугме приступа се опцијама.
2. Притиском на стрелицу за доле или горе селекују се опције.
3. Притиском на дугме *select* улази се у опције.
4. Притиском на стрелицу за горе и доле листају се параметри *measure mode*, *working mode*, *probe used*, *unit settings*, *backlight*, *lcd statistics*, and *auto power off*.
5. За избор опције користи се дугме *select*.

Measure modes (мерни мод)

Ако се изабере *continuous* (континуални) мерни мод на екрану ће се приказивати тренутне вредности дебљине превлаке. Код овог мода мерења се врше континуално, није потребно подизати мерач од подлоге коју меримо. Код овог мода искључен је звучни сигнал који означава да је мерење готово. Ако се изабере *single* (појединачни) мерни мод извршаваће се једно мерење, да би се извршило друго мерење сонда се подигне да не би имала додира са подлогом, поновним успостављањем контакта са подлогом врши се друго мерење. Када је мерење завршено јавља се звучни сигнал. По фабричким подешавањима изабран је појединачни мод.

Working modes (модови рада)

Ако се изабере *direct* (директни) радни мод сва читавања ће се снимити у меморију мерача, када се мерач искључи или се пребаци у групни мод сва снимљена читавања се бришу из меморије. Међутим, анализе статистичких података ће остати. Статистичка анализа може да израчуна до осамдесет читавања. Када се меморија напуни на екрану ће се појавити порука *full* и нова читавања ће заменити стара читавања. За овај радни мод може да се подеси аларм за граничне вредности и да се изврши калибрација за овај радни мод. По фабричким подешавањима укључен је овај мод. Ако се изабере *group* (групни) радни мод сва читавања се смештају у групе. Подаци читавања се не бришу искључивањем мерача, ни мењањем радног мода. Може да се бира између четири групе, свака група може да сними до осамдесет читавања и пет статистичких анализа. Калибрација и аларм за граничне вредности може да се подеси за сваку групу посебно. Када се меморија напуни, може да се настави са мерењем дебљине превлака, али подаци се неће снимати у меморију и неће

утицати на статистичке анализе. Сви подаци у групи могу да се обришу у менију користећи опцију *delete*.

Probe used (коришћени сензор)

Сензор може да ради у три режима рада *auto*, *Fe* и *No Fe*. По фабричким подешавањима сензор је постављен да ради у *auto* (аутоматском) режиму. У аутоматском режиму сензор аутоматски одабира метод рада сензора на основу подлоге коју мери. Када се сензор постави на магнетну подлогу сензор врши мерење преко магнетне индукције, када се постави на немагнетну подлогу сензор користи методу вртложних струја. У *Fe* моду сензор користи методу магнетне индукције и може да мери само магнетне (железне) метале. У *No Fe* моду сензор користи методу вртложних струја и може да мери само немагнетне (нежелезне) метале.

Unit settings (јединице мерења)

Може се бирати између метричких јединица (μm , mm) или империјалне јединице мере ($mils = mm * 2.54 / 100$). Уколико је мерна јединица μm , уређај се аутоматски пребацује на mm уколико мерена вредност пређе $850 \mu m$. По фабричким подешавањима мерна јединица је μm .

Backlight (позадинско осветљење екрана)

Ако се позадинско светло подеси на *off* онда ће на екрану бити онемогућено позадинско осветљење. Ако се укључи *on* онда је позадинско светло омогућено и може се укључити односно искључити позадинско светло притиком на дугме за позадинско осветљење (*cancel*). По фабричким подешавањима је подешено на *on*.

LCD Statistics (приказ статистике на екрану)

Избором *average* (средња вредност), *minimum* (минимална вредност), *maximum* (максимална вредност) или *sdev* (стандардно одступање) бира се статистичка вредност која ће се приказивати у режиму мерења у доњем десном углу екрана. По фабричким подешавањима подешено је на *average* (средњу вредност читавања).

Auto Power OFF (аутоматско искључивање)

Опција има два режима рада *enable* или *disable*. Избором *enable* омогућујемо аутоматско искључивање, ако се мерач не користи три минута. Избором *disable* онемогућујемо гашење мерача ако се не користи и мерач се искључује само притиском на дугме. Аутоматско искључивање је по фабричким подешавањима омогућено, због уштеде батерије препоручљиво је да се остави како је било по фабричким подешавањима тј. да се омогући аутоматско искључивање.

Limit (граничне вредности)

У главном менију избором опције *limit* могу се подешавати граничне вредности. Може се подесити *high* (горња гранична вредност) и *low* (доња гранична вредност). За сваку мерену вредност која није у подешеним границама на екрану се исписује *H* (за прекорачење горње граничне вредности) или *L* (за прекорачење доње граничне вредности). По фабричким подешавањима доња гранична вредност је подешена на $0 \mu m$, а горња $1250 \mu m$. Граничне вредности се могу брисати опцијом *delete*.

Delete (опција брисања)

У опцији *delete* може се брисати *current data* (тренутни податак), *group data* (групе података) и *all data* (све податке).

Брисање тренутног података:

Уколико је последње мерење некоректно, може се избрисати коришћењем функције *delete current data*. Брише се тренутни податак и ажурира се статистика.

Брисање свих података:

Брисање свих података у одабраном моду рада може се извршити функцијом *delete*. Бришу се и све статистичке вредности одабраног мода.

Брисање групе података:

Ова функција омогућена је одабиром *delete all data*. Овом функцијом се бришу сви подаци, горња и доња гранична вредност и калибрација.

Measurement view (приказ мерења)

Избором опције *measurement view* могу се видети сва мерења у одговарајућим групама. Користећи стеллице за доле и горе листају се измерена читавања.

Calibration (калибрација)

У калибрационом менију меже се омогућити (*enable*) или онемогућити (*disable*) калибрација и брисати калибрационе вредности. Калибрација може да се изврши за железне (*Zero F*) и нежелезне метале (*Zero N*). Мерач је фабрички калибрисан, препоручује се калибрација због повећања тачности мерног урађаја.

Постиге три типа калибрација:

- калибрација нулте тачке (препоручује се, ако је мерна грешка већа од $\pm 3\%$),
- калибрација у једној тачки (калибрација уз помоћ калибрационог филма),
- калибрација у више тачака (калибрација уз помоћ два или више калибрационих филмова).

Да би се калибрација извршила правилно неопходно је да сензор буде чист и да у близини нема јаких магнетних поља.

Грешке

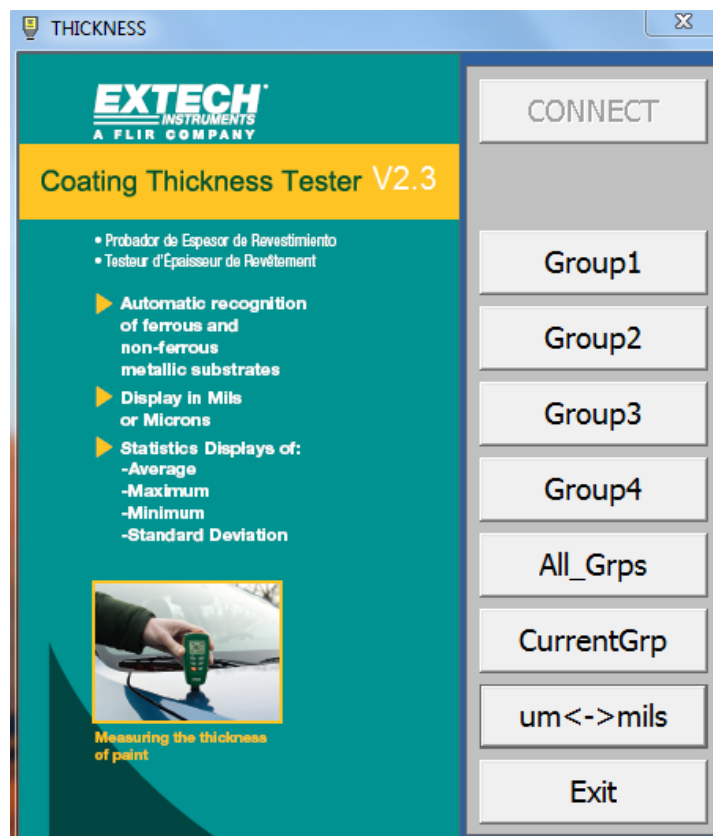
Табела 4. Грешке које се приказују на екрану и њихов опис [2].

КОД ГРЕШКЕ	ОПИС ГРЕШКЕ
Err1	Грешка сензора вртложних струја (сензор је неправилно постављен)
Err2	Грешка сензора магнетне индукције (сензор је неправилно постављен)
Err3	Грешка сензора магнетне индукције и вртложних струја
Err4, Err5, Err6	Резервисано
Err7	Грешка у дебљини слоја

5.2 СОФТВЕР ЗА АНАЛИЗУ ПОДАТАКА

Због лакшег и прегледнијег очитавања резултата уз мерач долази софтвер. Софтвер може да прикаже резултате графички и као листу. Резултати се могу снимати на рачунар. Инсталација је врло једноставна. Убацивањем инсталационог диска, инсталација се аутоматски покреће.

Када се мерач прикључи на рачунар, мерач мора да се укључи. Потом треба да се покрене програм, програм се покреће двоструким кликом на иконицу програма. Ако је дугме *connect* сиво онда је уређај правилно прикључен, а ако је дугме црно онда је потребно кликнути на дугме да би се остварила конекција са уређајем.



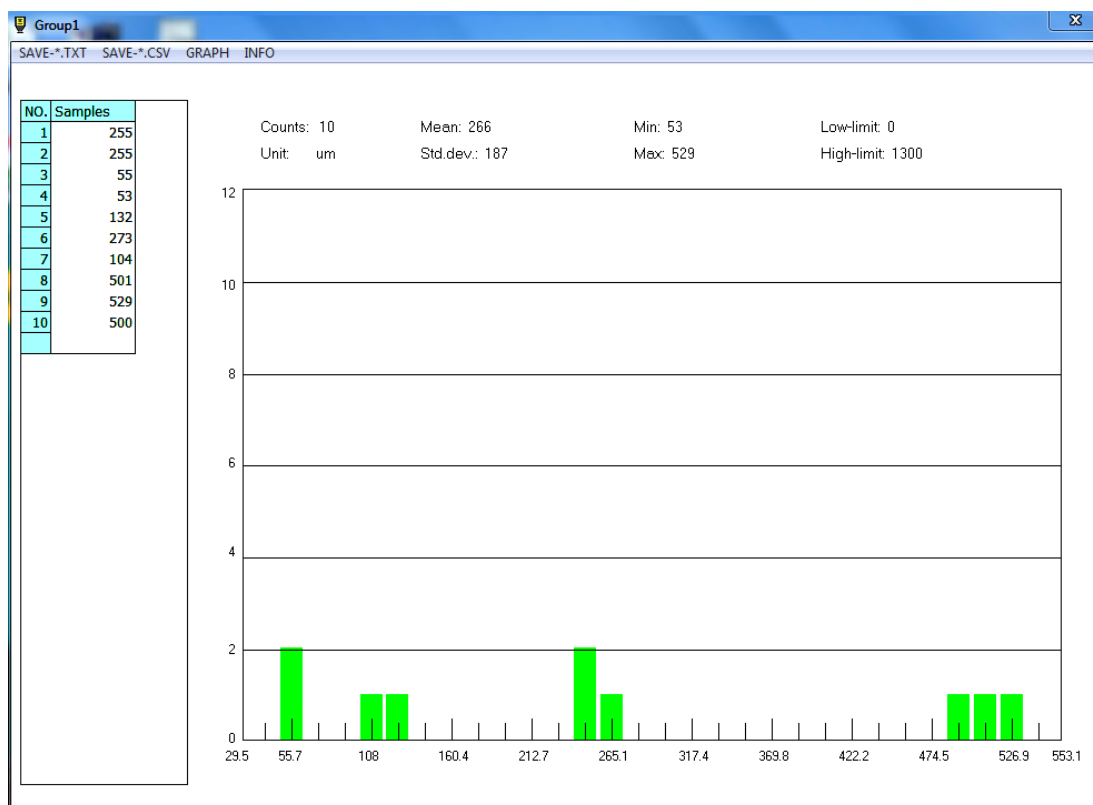
Слика 17. Изглед програма

У главном менију доступне су следеће опције:

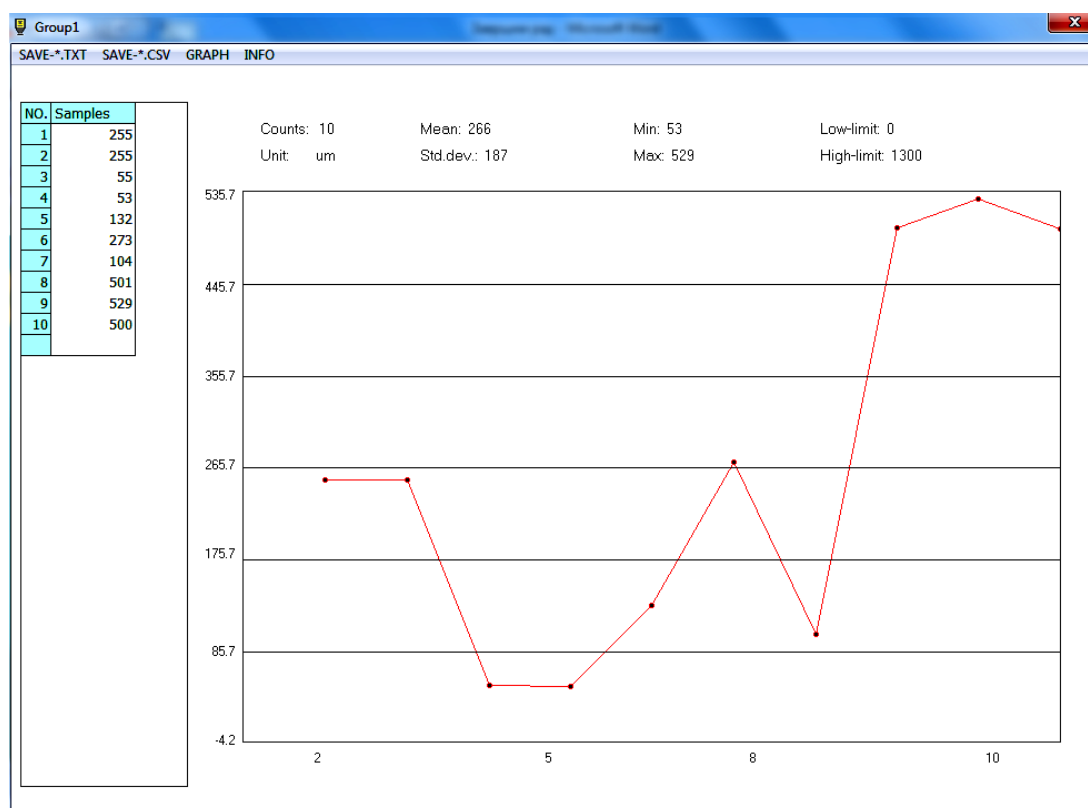
- *CONNECT* (Ако је дугме *connect* сиво онда је уређај правилно прикључен, а ако је дугме црно онда је потребно кликнути на дугме да би се остварила конекција са уређајем),
- *GROUP 1-4* (избором неке од група, приказује се график резултата те групе),
- *All_Grps* (отвара график резултата свих група),
- *CurrentGrp* (отвара график тренутних резултата),
- *mm< - >mils* (мењају се мерне јединице),
- *Exit* (затвара програм).

График резултата

Избором опција *GROUP1-4*, *All_Grps* или *CurrentGrp* отвара се график. Кликом на опцију *graph* може се бирати између два модела графика *trend* или *histogram*.



Слика 18. График типа "histogram"



Слика 19. График типа "trend"

Избором опције *SAVE *.TXT* или *SAVE *.CSV*, резултати ће се снимити на рачунар у облику текста.

Уз график се приказују следећи подаци:

- листа броја читавања и њихових вредности,
- *Counts* (број читавања),
- *unit* (јединица мерења),
- *mean* (срдња вредност читавања),
- *std. dev.* (сандардно одступање),
- *min* (минимална вредност читавања),
- *max* (максимална вредност читавања),
- *low-limit* (доња вредност граничне вредности),
- *high-limit* (горња вредност граничне вредности).

5.3 КАЛИБРИСАЊЕ УРЕЂАЈА

5.3.1 Пример нулте калибрације на железном металу

За нулту калибрацију није неопходно укључити опцију *enable* у менију *calibration*.

Да би се извршила калибрација потребно је да се мерач постави на калибрациону плочицу од железног метала. Када се изврши мерење, потребно је притиснути дугме *zero* и држати две секунде, док се не чује звучни сигнал. Када се огласи звучни сигнал калибрација је извршена. За калибрацију нулте тачке нежелезног метала исти је поступак на калибрационој плочици од нежелезног метала.



Слика 20. Калибрација нулте тачке

5.3.2 Пример калибрације у једној тачки на нежелезном металу

На калибрациону плочицу од нежелезног метала се постави калибрациони филм (у овом примеру је од $50 \mu m$). За ову калибрацију је неопходно укључити опцију *enable* у менију *calibration*. Када се омогући ова опција, притиском на дугме *cancel* мерач се враћа у мерни мод. Ако се добијени резултат не поклапа са дебљином калибрационог филма, потребно је повећати или смањити добијену вредност са дугмићима за горе или доле на вредност коришћеног калибрационог филма. У овом примеру измерена вредност је износила $55 \mu m$, коришћењем тастера за доле изједначена је вредност са дебљином калибрационог филма. Потом је потребно искључити мерач, тиме је калибрација завршена. Исти поступак је и за калибрацију тачке железног метала, али уместо калибрационе плочице од нежелезног метала користи се калибрациона плочица од железног метала.



Слика 21. Калибрација у једној тачки

За калибрацију у више тачака поступак је исти, али се мора поновити на више калибрационих филмова.

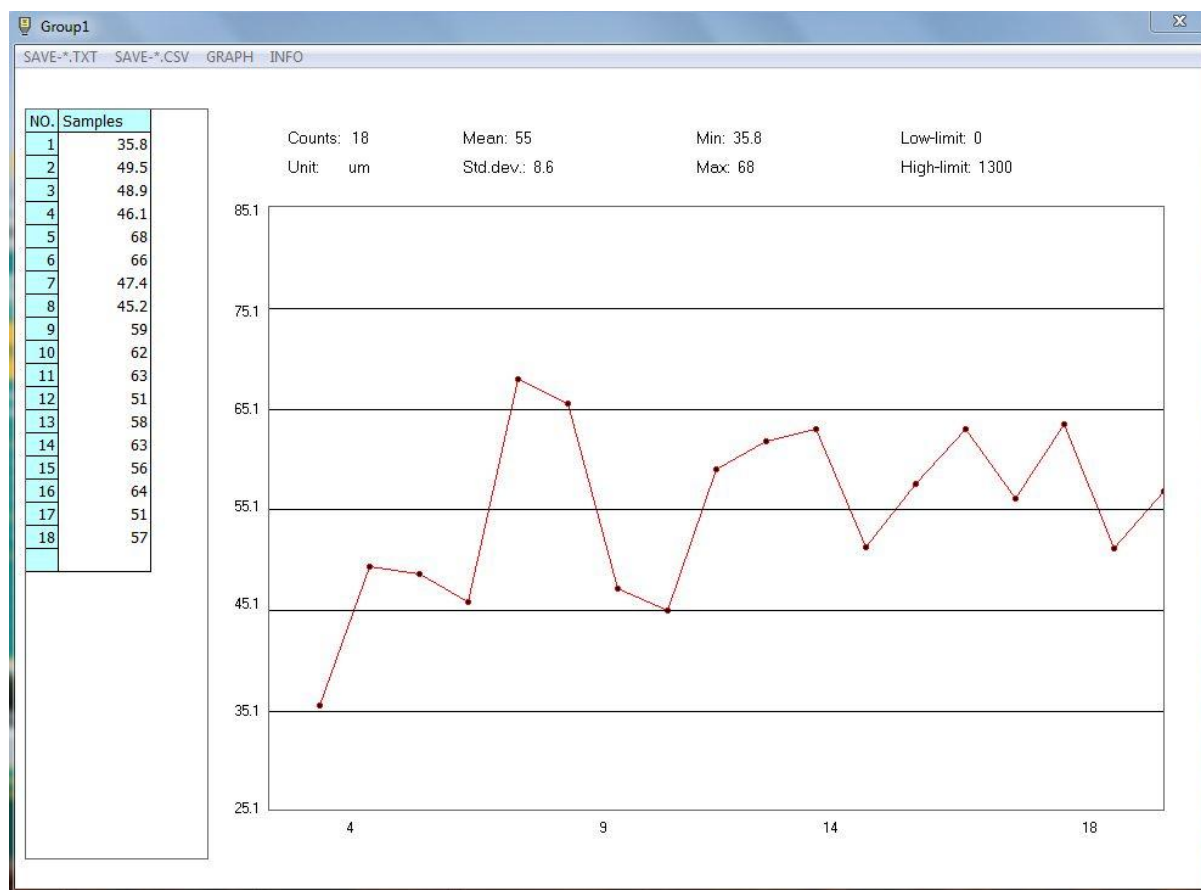
5.4 МЕРЕЊЕ ДЕБЉИНЕ ПРЕВЛАКА НА ПОЦИНКОВАНИМ ПЛОЧИЦАМА



Слика 22. Поцинковане плочице



Слика 23. Мерење дебљине превлаке на поцинкованој плочици број 4



Слика 24. Дијаграм добијених резултата

Табела 5. Резултати мерења

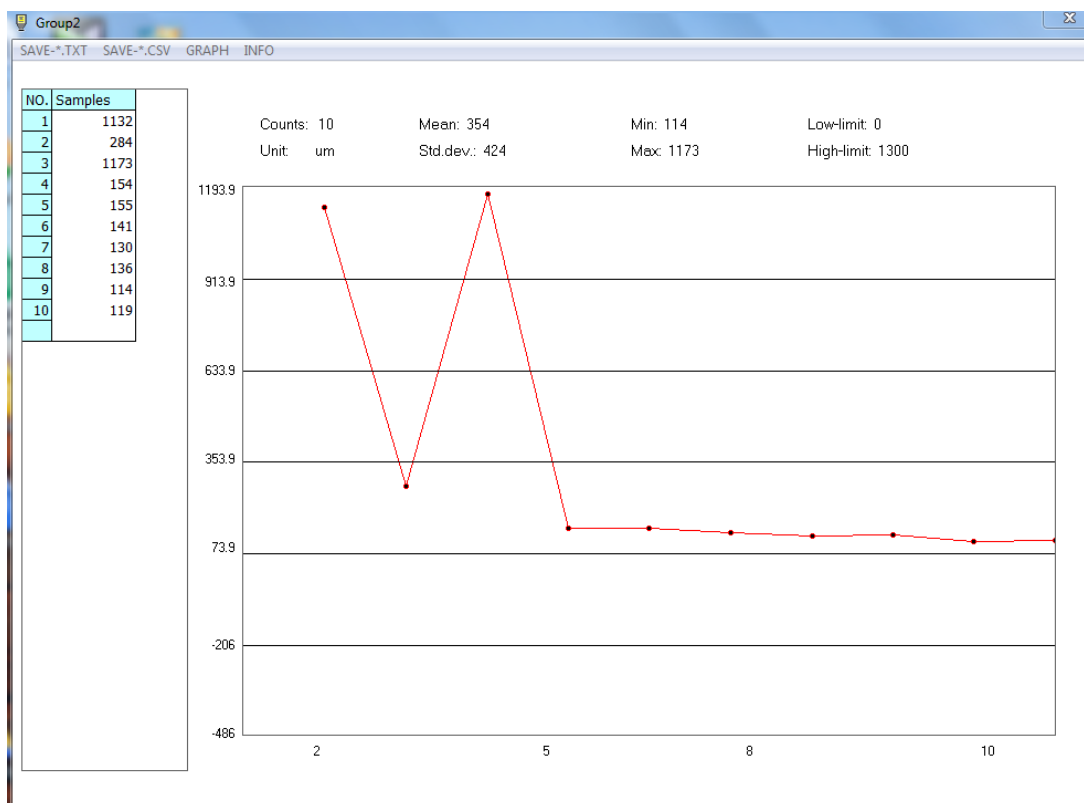
Ознака плочице	Редни број мерења	Измерена вредност
4	1	35,8 μm
	2	49,5 μm
10	3	48,9 μm
	4	49,5 μm
12	5	68 μm
	6	66 μm
19	7	47,4 μm
	8	45,2 μm
23	9	59 μm
	10	62 μm
31	11	63 μm
	12	51 μm
33	13	58 μm
	14	63 μm
49	15	56 μm
	16	64 μm
72	17	51 μm
	18	57 μm

Мерење је извршено на поцинкованим плочицама, које служе за триболошка испитивања. Мерење је извршено у моду *Fe*, коришћена метода магнетне индукције. Коришћен је појединачни мод мерења (*single*) и добијени резултати приказани су на дијаграму (Сл. 24) и табели 5. На свакој плочици извршена су два мерења. Средња вредност мерења је $55 \mu\text{m}$. Максимална измерена вредност је $68 \mu\text{m}$, а минимална вредност је $35,8 \mu\text{m}$.

5.5 ПРИМЕР МЕРЕЊА ДЕБЉИНЕ ПРЕВЛАКА НА АУТОМОБИЛУ



Слика 25. Мерење дебљине превлака на аутомобилу



Слика 26. Дијаграм добијених резултата

Табела 6. Резултати мерења

Број мерења	Измерена вредност	Место на коме је извршено мерење
1	1132 μm	Возачева врата
2	284 μm	Возачева врата
3	1173 μm	Возачева врата
4	154 μm	Сувозачева врата
5	155 μm	Сувозачева врата
6	141 μm	Задња десна врата
7	130 μm	Задња лева врата
8	136 μm	Врата гепека
9	114 μm	Кров аутомобила
10	119 μm	Хауба

Као предмет мерења узет је путнички аутомобил марке RENAULT (Сл. 25). Мерена је дебљина заштитне превлаке (превлака на бази цинка + заштитна фарба). Мерење је извршено на комплетној каросерији аутомобила ради утврђивања континуалности дебљине превлаке тј. да би се утврдило да ли је негде вршена накнадна репарација која би се у том случају разликовала од фабрички нанешене превлаке.

Мерење је извршено у моду Fe , што указује да је коришћена метода магнетне индукције. Коришћен је појединачни мод мерења (*single*) и добијени резултати приказани су на дијаграму (Сл. 26) и табели 6.

Са дијаграма се јасно види да се поједина мерења (1 и 3), која су извршена на возачевим вратима, значајно разликују од резултата мерења извршених на остатку каросерије, што указује да је највероватније извршена накнадна преправка, односно накнадна репарација превлака на тим вратима. У неким зонама на вратима износила је чак 1132 μm (Сл. 25) док просечна дебљина превлака на остатку шасије износи око 130 μm .

6. ЗАКЉУЧАК

Вишеструк значај превлака испољава се кроз заштиту појединих елемената од: корозије, хабања и различитог штетног утицаја у експлоатационим условима. Дебљина превлаке у великом броју случаја има пресудну улогу за функционалност депонованог слоја (превлаке). Осим саме дебљине превлаке, битна је континуалност дебљине али и хомогеност структуре нанешеног слоја. У раду су детаљније разматране технологије наношења превлака као и технике мерења дебљине превлака.

Једна од најједноставнијих и најчешће коришћених метода за мерење дебљине превлака јесте помоћу преносивих уређаја, какав је EXTECH CG204. Овај уређај, у зависности од основног материјала, користи два принципа за мерење дебљине превлака и то: магнетну индукцију и вртложне струје.

На практичном примеру мерења показан је принцип рада уређаја и софтверска анализа података. У овом примеру коришћен је принцип магнетне индукције, а мерни објекат био је путнички аутомобил. Резултати мерења дебљине превлака показали су да је аутомобил имао оштећења на појединим сегментима шасије, конкретно на вратима, где је дебљина превлаке драстично одступала од просечне дебљине остатка шасије.

Ово је пример практичне примене уређаја за мерење дебљине превлака који може решити недоумице о стварном стању шасије приликом куповине половног аутомобила.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] **Васиљевић Б., Недић Б.:** *Модификовање површина*, Машински факултет, Крагујевац, 2003.
- [2] <http://www.extech.com/> (приступљено септембра 2013)
- [3] **Ђорђевић С.:** *Металне превлаке*, Техничка књига, Београд, 1970.
- [4] **Какаш Д.** *Инжењерство површина – вежбе*, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2010.
- [5] <http://www.trotec-online.de/> (приступљено септембра 2013)
- [6] <http://www.metalac-cacak.com.rs/> (приступљено септембра 2013)
- [7] <http://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=3432> (приступљено септембра 2013)