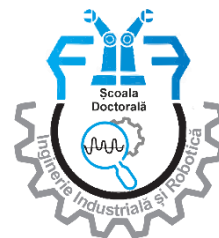




Ministerul Educației
Universitatea Națională de Știință și Tehnologie
Politehnica București
Școala doctorală de Inginerie Industrială și
Robotică



Marina Roxana IORDĂCHESCU (ȘOLEA)

Rezumatul Tezei de Doctorat
IDENTIFICAREA SOLUȚIILOR OPTIME
PENTRU ÎNTREȚINEREA ȘI MENȚINEREA ÎN
BUNĂ FUNCȚIONARE A INSTRUMENTARULUI
MEDICAL

Prof coordonator,

Prof. univ.dr.ing.mat. Augustin SEMENESCU (POLITEHNICA București)

2025

Table of Contents

Introducere	3
I.1 Considerații generale privind instrumentele chirurgicale.....	6
I.2 Clasificarea instrumentelor chirurgicale	7
I.5 Concluzii.....	9
Capitolul II Tipuri de deteriorări în probele de oțel	10
II.1. Degradare chimică	10
II.1.1 Coroziunea chimică directă	10
II.1.2 Degradarea indusă de solubilizare	10
Capitolul III Decontaminarea instrumentelor medicale reutilizabile.....	13
III.1 Introducere	13
III.3 Stadiile decontaminării	13
III.3 Concluzii.....	15
Chapitolul IV Rezultate experimentale	18
IV.1 Studiul acoperirilor TiN și TiCN pentru instrumente chirurgicale din oțel inoxidabil	18
IV.1.1 Introducere.....	18
IV.1.2 Materiale și metode	18
IV.1.3 Rezultate și discuții.....	19
IV.2 Energia liberă de suprafață a oțelului inoxidabil	26
IV.2.1 Introducere.....	26
IV.2.2. Materiale și metode	26
IV.3 Concluzii.....	32
Capitolul V Plan de afaceri "INSTRUMENTE ALE VIITORULUI"	33
Prezentare Generală a Companiei	33
Misiune.....	33
Produse și Servicii	33
Oportunitate de Piață	33
Proiecții Financiare.....	34
Capitolul VI-Calcul de cost	35
Capitolul VII Concluzii, contribuții personale și cercetări viitoare	38

Introducere

Întreținerea și menținerea în bună stare de funcționare a instrumentarului medical sunt esențiale pentru asigurarea funcționalității, siguranței și fiabilității acestuia în cadrul serviciilor de sănătate. Pe măsură ce dispozitivele medicale devin tot mai complexe, o întreținere corespunzătoare devine din ce în ce mai importantă pentru a evita complicațiile procedurale, a garanta siguranța pacientului și a menține standarde ridicate ale actului medical. Totuși, provocări precum degradarea materialelor, uzura, coroziunea și procesele dure de sterilizare pot afecta performanța și durata de viață a instrumentarului.

Această cercetare se concentrează pe identificarea factorilor care influențează durabilitatea și performanța instrumentarului medical, inclusiv materialele utilizate, tipurile de acoperiri și metodele de sterilizare. De asemenea, sunt analizate strategiile de îmbunătățire a practicilor de întreținere. O problemă-cheie o reprezintă lipsa unor abordări standardizate și cuprinzătoare în ceea ce privește îngrijirea instrumentelor, ceea ce poate conduce la riscuri pentru siguranță și la costuri ridicate în domeniul sănătății. În plus, studiul subliniază necesitatea unor soluții de întreținere care să fie atât eficiente din punct de vedere economic, cât și durabile din punct de vedere ecologic, răspunzând astfel preocupărilor tot mai mari legate de deșeurile medicale și de povara financiară a înlocuirii frecvente a instrumentarului.

Întreținerea instrumentarului medical este esențială pentru asigurarea siguranței, funcționalității și fiabilității acestuia în sistemul de sănătate. Odată cu creșterea complexității tehnologiilor medicale, o întreținere adecvată contribuie la prevenirea complicațiilor, protejarea pacienților și îmbunătățirea calității actului medical. Cu toate acestea, instrumentele medicale se confruntă cu provocări precum uzura, coroziunea și deteriorarea cauzată de procesele de sterilizare, ceea ce le poate reduce durata de viață.

Această cercetare analizează modul în care materialele, acoperirile și metodele de sterilizare influențează durabilitatea instrumentarului. Este evidențiată lipsa unei abordări standardizate în întreținerea acestuia și necesitatea adoptării unor practici eficiente din punct de vedere al costurilor și prietenoase cu mediul. Obiectivul este dezvoltarea unor strategii mai bune care să îmbunătățească performanța instrumentelor, să reducă costurile din domeniul sănătății și să sprijine sustenabilitatea.

Studiul subliniază rolul esențial al întreținerii instrumentarului medical în asigurarea siguranței pacientului și a calității serviciilor medicale. Instrumentele chirurgicale trebuie să rămână funcționale și durabile, mai ales în contextul în care sistemele de sănătate se confruntă cu presiuni financiare și de mediu. Cercetarea oferă strategii bazate pe dovezi pentru îmbunătățirea practicilor de întreținere, având ca scop eficiența economică și sustenabilitatea. Totodată, contribuie științific prin explorarea modului în care materialele, acoperirile și metodele de sterilizare influențează longevitatea instrumentarului.

Teza este organizată în 7 capitole:

- **Capitolul I:** Prezintă tipurile și funcțiile instrumentarului chirurgical, materialele utilizate și proprietățile necesare acestora.
- **Capitolul II:** Analizează tipurile de deteriorări întâlnite la instrumentele din oțel, inclusiv uzura și coroziunea.
- **Capitolul III:** Discută metodele de decontaminare și efectele acestora asupra integrității instrumentarului.
- **Capitolul IV:** Prezintă rezultatele experimentale privind compararea diferitelor tipuri de acoperiri și clase de oțel pentru a evalua durabilitatea și performanța.
- **Capitolul V:** Propune un plan de afaceri pentru implementarea unor practici îmbunătățite de întreținere în unitățile medicale.
- **Capitolul VI:** Analizează costurile diferitelor strategii de întreținere, evidențiind beneficiile economice ale unei îngrijiri optimizate.
- **Capitolul VII:** Încheie studiul, sintetizează concluziile și evidențiază contribuțiile personale ale autorului în cercetare și practică.

În ansamblu, teza oferă un cadru cuprinzător pentru îmbunătățirea îngrijirii instrumentarului chirurgical prin perspective științifice, practice și economice.

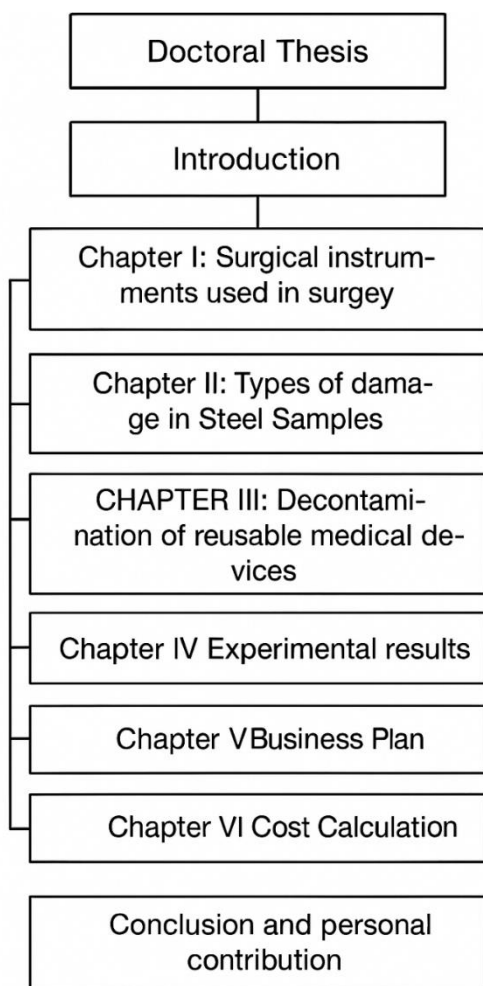


Fig I Reprezentarea schematică a structurii tezei de doctorat

Partea I.

Stadiul curent al cercetării pentru teza

***IDENTIFICAREA SOLUȚIILOR OPTIME
PENTRU ÎNTREȚINEREA ȘI MENȚINEREA ÎN
BUNĂ FUNCȚIONARE A INSTRUMENTARULUI
MEDICAL***

Capitolul I. Instrumente chirurgicale utilizate în chirurgie

I.1 Considerații generale privind instrumentele chirurgicale

Instrumentele medicale sunt unelte esențiale utilizate de profesioniștii din domeniul sănătății pentru diagnosticare, tratament și prevenirea bolilor. Acestea variază de la instrumente de diagnostic simple până la dispozitive chirurgicale complexe și echipamente de susținere a vieții. Curățarea, depozitarea și sterilizarea corespunzătoare a acestor instrumente sunt vitale pentru menținerea igienei, asigurarea siguranței pacientului și prevenirea infecțiilor sau a complicațiilor.

Pandemia de COVID-19 a evidențiat rolul crucial al instrumentelor medicale precum trusele de testare și ventilatoarele. Progresele tehnologice au îmbunătățit, de asemenea, precizia și siguranța instrumentelor, introducând inovații precum chirurgia robotică, monitoarele portabile de sănătate și instrumentele de realitate virtuală pentru formare și educație. Cu toate acestea, costurile ridicate și accesul limitat în zonele cu resurse reduse rămân provocări semnificative.

Instrumentele medicale pot fi clasificate după:

1. Riscul de infecție:

- Instrumentele critice (de exemplu, scalpetele, acele) pătrund în corp și necesită sterilizare strictă.
- Instrumentele semi-critice (de exemplu, endoscoapele) intră în contact cu mucoasele și necesită dezinfectare la nivel înalt.
- Instrumentele non-critice (de exemplu, stetoscoapele) vin în contact cu pielea intactă și necesită dezinfectare de bază.

2. Scop:

- Instrumentele de diagnostic includ stetoscoape, termometre, ciocănele pentru reflexe și diapazoane.
- Instrumentele pentru injecții și puncții, precum seringile și acele, sunt folosite pentru administrarea sau extragerea fluidelor.
- Instrumentele pentru tratamente de rutină, cum ar fi pensele, foarfecele, scalpetele și clemele, ajută la procedurile generale.
- Dispozitivele pentru îngrijirea pacientului includ catetere, sisteme de irigare, kituri de resuscitare și recipiente sterile.

3. Compoziția materială:

- Instrumentele din cauciuc și plastic includ mănuși, catetere, tuburi de drenaj, seturi de perfuzie și saci de colectare.
- Instrumentele metalice constau în unelte chirurgicale, instrumente pentru os și kituri specializate din oțel inoxidabil.

4. Aplicare:

- Instrumentele cu utilizare generală sunt folosite în proceduri standard.
- Instrumentele specializate sunt adaptate pentru domenii specifice, cum ar fi ortopedia, oftalmologia și neurochirurgia.

Per ansamblu, acest capitol evidențiază rolul esențial al instrumentelor medicale în asistența medicală modernă, clasificarea lor, necesitatea unei manipulări corecte și importanța progreselor tehnologice, precum și a accesului echitabil.

I.2 Clasificarea instrumentelor chirurgicale

Chirurgia este o specialitate medicală esențială care abordează o gamă largă de afecțiuni prin intervenții operative. Procedurile chirurgicale reușite depind nu doar de expertiza medicală, ci și de utilizarea instrumentelor chirurgicale specializate, concepute pentru precizie, siguranță și eficiență. Aceste instrumente sunt clasificate în funcție de rolul lor în procesul chirurgical.

Prima categorie include instrumentele de tăiere, precum scalpetele și foarfecele chirurgicale, care sunt esențiale pentru incizarea țesuturilor moi și dure. Forma și tehnicile de utilizare variază în funcție de tipul de țesut și de procedură. Scalpetele există în diverse forme — drepte, curbate sau în formă de seceră — și sunt manevrate diferit în funcție de cerințele inciziei. Foarfecele diferă prin forma lamelor și a vârfurilor, având utilizări specifice, de la tăierea țesuturilor până la îndepărtarea bandajelor.

Trocarele, folosite pentru punșionarea cavităților corporale, sunt compuse dintr-un stylet și o canulă și sunt deosebit de utile în procedurile ce implică evacuarea de lichide sau gaze.

A doua categorie include instrumentele pentru fixarea și protejarea țesuturilor, cum ar fi pensele și retractoarele. Pensele sunt adaptate fie pentru țesuturi moi, fie pentru țesuturi ferme și pot avea designuri anatomice sau chirurgicale. Retractoarele sunt folosite pentru a reține țesuturile și a îmbunătăți vizibilitatea câmpului operator, unele fiind auto-reținute.

Instrumentele de explorare, cum ar fi sondele metalice, formează a treia categorie. Aceste unelte sunt utilizate pentru investigarea ductelor, fistulelor sau cavităților interne, servind adesea ca ghiduri pentru protejarea țesuturilor înconjurătoare în timpul inciziilor.

A patra categorie cuprinde instrumentele hemostatice, inclusiv pensele hemostatice, care ajută la controlul sângerării prin clamparea vaselor sanguine. Acestea variază în design și sunt adaptate la diferite rezistențe ale țesuturilor.

În al cincilea rând, instrumentele pentru restaurarea țesuturilor, precum acele, port-acele, capsele și pensele, sunt folosite pentru sutură și repararea țesuturilor. Acele pot fi drepte sau curbate, traumatiche sau atraumatice, cu designuri potrivite pentru diferite tipuri de țesuturi. Capsule și acele specializate, precum cele Reverdin sau Deschamp, au aplicații unice în închiderea chirurgicală.

A șasea categorie include instrumentele pentru chirurgia osoasă, concepute pentru proceduri ce implică tăierea, modelarea și fixarea oaselor. Unelte precum ciocane chirurgicale, ferăstraie, dălți, burghie și fixatoare externe asigură manipularea sigură și stabilizarea fragmentelor osoase sau a implanturilor în timpul intervențiilor ortopedice.

A șaptea categorie se concentrează pe instrumentele oftalmice utilizate în chirurgia oculară. Acestea includ atât instrumente de diagnostic (de exemplu, lămpi cu fantă, oftalmoscoape, tonometre), cât și instrumente chirurgicale (de exemplu, microscopie, pense, lasere, foarfece, cârlige), care susțin proceduri delicate precum îndepărtarea cataractei sau tratamentul glaucomului.

În final, sondele chirurgicale au multiple utilizări în diverse specialități — de la diagnostic și drenaj până la aspirație și sutură. Aceste instrumente sunt foarte variate, incluzând sonde specializate precum cateterul Foley, tubul Sengstaken-Blakemore și sonda de drenaj Kehr, adaptate pentru funcții anatomice specifice.

În concluzie, instrumentele chirurgicale sunt diverse și foarte specializate, adaptate cerințelor tehnicilor chirurgicale moderne. Utilizarea corectă, întreținerea și sterilizarea lor sunt esențiale pentru asigurarea siguranței pacientului, minimizarea complicațiilor și îmbunătățirea rezultatelor chirurgicale.

I.3. Biomateriale utilizate în fabricarea instrumentelor medicale

Acest capitol analizează rolul esențial al biomaterialelor în fabricarea instrumentelor chirurgicale, concentrându-se pe proprietățile acestora, precum biocompatibilitatea, rezistența mecanică, rezistența la coroziune și capacitatea de a suporta sterilizarea. Biomaterialele sunt materiale proiectate special pentru utilizare medicală, concepute să interacționeze în siguranță cu țesuturile biologice, fără a provoca reacții adverse.

Capitolul începe prin a face o distincție între biomateriale și materialele biologice naturale. Biomaterialele sunt dezvoltate pentru aplicații care implică contact direct sau indirect cu corpul uman și sunt esențiale pentru susținerea, repararea sau înlocuirea funcțiilor corporale în timpul intervențiilor chirurgicale.

Sunt prezentate mai multe sisteme de clasificare a biomaterialelor. În funcție de interacțiunea lor cu țesuturile biologice, biomaterialele pot fi clasificate ca bioinerte, bioactive, biotolerante, bioresorbabile sau materiale hibride. Conform aplicației medicale, ele pot fi intra-corporale, para-corporale sau extra-corporale. O altă clasificare ia în considerare utilizarea lor în aplicații pe țesuturi dure sau moi și dacă sunt soluții temporare sau permanente.

Biomaterialele sunt, de asemenea, categorisite după compoziția chimică: metale și aliaje, polimeri, materiale ceramice și compozite. Mai mult, ele pot fi de origine naturală sau sintetică. Fiecare clasă de biomateriale prezintă avantaje și limitări specifice, iar alegerea depinde de utilizarea și mediul destinat.

În fabricarea instrumentelor chirurgicale, oțelul inoxidabil este cel mai frecvent utilizat material. Acesta este preferat datorită excelentei rezistențe la coroziune, durabilității mecanice și biocompatibilității. Oțelul inoxidabil conține crom, care formează un strat pasiv de oxid ce protejează împotriva ruginii și degradării. De asemenea, oferă o bună prelucrabilitate și ușurință în sterilizare.

Diferite tipuri de oțel inoxidabil sunt folosite pentru aplicații chirurgicale specifice. Oțelul inoxidabil martensitic este ales pentru duritatea și rezistența la uzură. Oțelurile inoxidabile aliat cu molibden oferă o rezistență îmbunătățită la coroziune. Oțelurile inoxidabile întărite prin precipitare oferă rezistență mare și durabilitate la oboseală. Oțelurile inoxidabile austenitice, cunoscute pentru ductilitatea și proprietățile lor nemagnetice, sunt adesea utilizate pentru instrumente de precizie, cum ar fi acele și canulele.

Capitolul se încheie subliniind faptul că selecția biomaterialelor potrivite este crucială pentru performanța, durabilitatea și siguranța instrumentelor chirurgicale. Aceste materiale trebuie să reziste la sterilizări repetate, să opună rezistență degradării chimice și biologice și să fie adecvate pentru utilizarea în medii clinice unde precizia și igiena sunt vitale.

I.4. Exemple de instrumente medicale și materialele din care sunt fabricate

1. Materiale pentru acele de biopsie:

- Oțelul inoxidabil austenitic oferă o excelentă rezistență la coroziune în majoritatea mediilor, dar poate suferi de coroziune localizată (pitting) și fisurare sub stres în condiții de cloruri ridicate și temperaturi înalte. Este rezistent la apa potabilă cu niveluri limitate de cloruri.
- Oțelul inoxidabil austenitic aliat cu molibden (Mo) asigură o rezistență îmbunătățită la coroziune, în special în medii cu cloruri, tolerând concentrații mai mari de cloruri în apa potabilă.
- Oțelul inoxidabil austenitic aliat cu Mo, topit în vid și cu rezistență ridicată, prezintă puritate mare și uniformitate structurală, oferind o excelentă rezistență generală, intergranulară, la pitting și coroziune în crăpături. Este utilizat pe scară largă în implanturi și dispozitive medicale.
- Oțelul inoxidabil martensitic este cunoscut pentru capacitatea sa de întărire și plasticitatea la rece; după tratament termic oferă o foarte bună rezistență la coroziune și este folosit în instrumente chirurgicale precum ace de sutură și burghie.
- Oțelul inoxidabil aliat cu Mo combină o excelentă prelucrabilitate, rezistență la uzură și rezistență la coroziune, făcându-l potrivit pentru instrumente de precizie, cum ar fi uneltele dentare și componentele de ceasuri..

2. Materiale pentru capse:

- Oțelul inoxidabil martensitic (X35Cr14) este utilizat frecvent datorită rezistenței și rezistenței la coroziune.
- Oțelul inoxidabil aliat cu molibden (X22CrMoNiSi13-1) oferă o rezistență sporită la coroziune și o bună prelucrabilitate.
- Oțelul inoxidabil întărit prin precipitare oferă rezistență ridicată, ductilitate bună, rezistență la coroziune comparabilă cu oțelurile austenitice și o bună sudabilitate. Acesta combină caracteristicile oțelurilor austenitice și ferritice.

3. Materiale pentru lamele de bisturiu:

- Oțelul inoxidabil aliat cu molibden (X22CrMoNiSi13-1) oferă o bună rezistență la coroziune și prelucrabilitate.
- Oțelul inoxidabil pentru arcuri asigură o rezistență mecanică ridicată, o microstructură nemagnetică, o excelentă capacitate de stocare a energiei, rezistență la coroziune similară cu gradele ASTM 301-304 și o anumită vulnerabilitate la fisurarea prin coroziune sub stres în medii bogate în cloruri.
- Oțelul inoxidabil martensitic, după tratament termic, atinge o duritate ridicată, cu o excelentă rezistență la coroziune și uzură. Este folosit și în lame de ras și diverse cuțite.

4. Materiale pentru acele de sutură:

- Oțelul inoxidabil martensitic (X35Cr14) oferă durabilitate și rezistență la coroziune.
- Oțelul inoxidabil aliat cu molibden (X22CrMoNiSi13-1) prezintă o bună rezistență la coroziune și proprietăți mecanice.
- Oțelul inoxidabil întărit prin precipitare (S46910) asigură rezistență ridicată și rezistență la coroziune.
- Oțelul inoxidabil austenitic aliat cu molibden, topit în vid, are o rezistență superioară la tracțiune și oboseală, excelentă rezistență la coroziune și funcționează într-un interval larg de temperaturi; este folosit și pentru ace dentare și de acupunctură.

I.5 Concluzii

Acest capitol oferă o privire de ansamblu cuprinzătoare asupra instrumentelor chirurgicale și rolul lor esențial în procedurile medicale moderne. Se evidențiază clasificarea acestor unelte după funcție — tăiere, prindere, retractare și suturare — și se subliniază importanța înțelegerii utilizărilor lor specializate pentru a spori precizia chirurgicală, siguranța pacientului și rezultatele intervențiilor. Selectarea, manipularea și sterilizarea corectă a instrumentelor sunt vitale pentru succesul chirurgical, proprietățile materialelor și designul ergonomic având roluri cheie.

Progresele tehnologice, inclusiv chirurgia asistată robotic și integrarea inteligenței artificiale, au revoluționat practica chirurgicală prin îmbunătățirea preciziei și reducerea invazivității, deși provocări precum costurile și instruirea rămân prezente. Capitolul analizează și impactul alegerii materialelor, precum oțelul inoxidabil, titanul și materialele compozite, asupra durabilității și funcționalității instrumentelor. Metodele de sterilizare sunt examinate ca esențiale pentru menținerea siguranței pacientului.

Evoluția instrumentelor chirurgicale, de la unelte simple la dispozitive sofisticate, subliniază progresul continuu al științei chirurgicale. Se pune accent pe necesitatea educației și instruirii continue prin simulare și practică directă pentru a ține pasul cu tehnologiile emergente și a asigura performanța optimă în chirurgie. Inovațiile viitoare pot include instrumente inteligente, biodegradabile și îmbunătățite prin AI, menite să îmbunătățească precizia, accesibilitatea și accesibilitatea financiară în domeniul sănătății.

Capitolul II Tipuri de deteriorări în probele de oțel

Oțelul este vulnerabil la diferite forme de degradare care pot afecta structura, performanța și durabilitatea sa. Aceste tipuri de degradare pot fi încadrate în categorii chimice, mecanice, termice sau electrochimice. Mai jos sunt principalele moduri în care probele de oțel pot fi afectate:

II.1. Degradare chimică

Acest lucru se întâmplă atunci când oțelul interacționează direct cu substanțele chimice din mediul său, fără a implica o reacție electrochimică.

II.1.1 Coroziunea chimică directă

Corodarea chimică directă apare atunci când metalele reacționează cu substanțe chimice agresive în medii uscate sau la temperaturi ridicate, fără a implica umiditate sau procese electrochimice. Exemple tipice includ oxidarea oțelului, care formează oxizi de fier (FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4) în prezența oxigenului, și coroziunea cauzată de compuși ai sulfului precum dioxidul de sulf și hidrogenul sulfurat, frecvent întâlnite în industria petrochimică. Această coroziune are loc și în condiții acide, cu substanțe precum acidul clorhidric sau sulfuric, conducând la degradarea rapidă a metalului.

Cauzele principale includ:

- Oxidarea la temperaturi ridicate: Oțelul expus la oxigen la temperaturi înalte dezvoltă straturi de oxid care slăbesc metalul, fenomen comun în cuptoare și cazane.
- Coroziunea indusă de sulf (sulfidarea): Reacția cu gaze conținând sulf formează sulfizi de fier, compromițând rezistența, în special în rafinării și centrale electrice.
- Degradarea legată de azot (nitridarea): Formarea nitrurilor de fier la temperaturi înalte duce la fragilizare, întâlnită în componente aerospațiale și ale cuptoarelor.
- Coroziunea indusă de halogeni: Contactul cu clorul sau fluorul produce halogenuri volatile de metal, deteriorând suprafețele în industriile chimice și de incinerare.
- Coroziunea acidă: Expunerea la acizi puternici accelerează degradarea materialelor în uzine chimice și medii industriale. The effects of direct chemical corrosion include surface scaling, material weakening, brittleness, and increased risk of fractures and failure. To prevent this, industries use protective coatings (such as aluminum or chromium oxide layers), corrosion-resistant materials (stainless steel, advanced alloys like Inconel), and control environmental factors by reducing exposure to corrosive gases and neutralizing harmful chemicals. Heat treatments and passivation are also employed to improve resistance.

În concluzie, gestionarea coroziunii chimice directe prin selectarea adecvată a materialelor, aplicarea măsurilor de protecție și controlul mediului este esențială pentru menținerea integrității și prelungirea duratei de viață a componentelor metalice în medii industriale dure.

II.1.2 Degradarea indusă de solubilizare

Capitolul II.1.2 se concentrează pe degradarea indusă de solubilizare, un mecanism de coroziune în care dizolvarea componentelor materiale are loc din cauza interacțiunii cu solvenți sau agenți chimici agresivi. Acest proces conduce la degradarea treptată a metalelor și aliajelor, pe măsură ce se formează compuși solubili care sunt îndepărtați de pe suprafață, slăbind integritatea structurală a materialului. Factorii care influențează solubilizarea includ compoziția chimică a mediului, nivelul pH-ului, temperatura și prezența agenților complexanți care sporesc solubilitatea.

Capitolul analizează modul în care diferite materiale, în special metalele utilizate în aplicații industriale, reacționează la solubilizare în diverse medii chimice. Se discută rolul filmelor de suprafață și al stratului protector de oxid, care pot fi compromise, accelerând degradarea. De asemenea, este analizat impactul solubilizării asupra proprietăților mecanice, precum rezistența și rezistența la oboseală.

Măsurile preventive prezentate includ selecția materialelor cu rezistență îmbunătățită la coroziune, tratamentele de suprafață pentru sporirea proprietăților de barieră și controlul mediului pentru limitarea expunerii la solvenți agresivi. Capitolul subliniază și importanța monitorizării și întreținerii pentru detectarea timpurie a semnelor de degradare indusă de solubilizare, asigurând durabilitatea pe termen lung a componentelor critice.

Capitolul II.1.3 analizează degradarea indusă de solubilizare specifică oțelului, concentrându-se pe modul în care expunerea la medii chimice agresive conduce la dizolvarea treptată a elementelor de aliere din matricea oțelului. Acest mecanism de degradare slăbește materialul prin modificarea compoziției chimice și a microstructurii sale, făcându-l mai vulnerabil la cedări mecanice și coroziune.

Capitolul evidențiază cum factori precum pH scăzut, temperaturi ridicate și prezența agenților complexanți (de exemplu, cloruri, acizi sau compuși chelatori) accelerează procesul de solubilizare. În special, este discutată lixivierea elementelor critice precum cromul, nichelul și molibdenul din oțelurile inoxidabile și aliajele de oțel, ceea ce compromite rezistența la coroziune și performanța structurală a acestora.

Sunt identificate mai multe medii industriale cu risc ridicat pentru acest tip de degradare, inclusiv uzine chimice, facilități petrochimice și sisteme de tratare a apelor reziduale. Capitolul subliniază, de asemenea, consecințele solubilizării, cum ar fi reducerea rezistenței la tracțiune, atacul intergranular și cedarea prematură a componentelor din oțel.

Pentru a atenua aceste efecte, sunt recomandate strategii precum utilizarea oțelurilor cu conținut ridicat de aliaje, aplicarea de straturi de protecție și menținerea unor condiții de mediu controlate. Capitolul se încheie prin sublinierea importanței inspecțiilor regulate, întreținerii predictive și selecției materialelor adaptate condițiilor specifice de utilizare pentru a asigura integritatea pe termen lung a structurilor din oțel expuse la medii solubilizante.

II.3 Concluzii

Acest capitol oferă o prezentare cuprinzătoare a principalelor mecanisme de deteriorare care afectează oțelul, incluzând degradarea mecanică, termică și chimică. Prin clasificarea acestor forme de deteriorare și examinarea cauzelor lor, capitolul oferă o înțelegere structurată a modului în care oțelul se deteriorează în diferite medii. Astfel de informații sunt esențiale pentru îmbunătățirea performanței și durabilității oțelului printr-o selecție informată a materialelor, procese adecvate și întreținere corespunzătoare.

Discuția pune accent pe importanța practică a înțelegerii deteriorării oțelului în sectoare industriale precum construcții, automotive, aerospațial și energie. Strategiile preventive — precum aplicarea straturilor de protecție, alegerea aliajelor potrivite și optimizarea condițiilor de solicitare — sunt esențiale pentru minimizarea defectelor și creșterea siguranței și rentabilității.

Capitolul explorează, de asemenea, interacțiunile complexe dintre diferitele tipuri de deteriorare, care acționează adesea simultan în aplicațiile din lumea reală. Se subliniază valoarea tehnicilor avansate de caracterizare, precum microscopie electronică și testări mecanice, în analiza degradării și în prezicerea cedărilor.

În ciuda progreselor, persistă provocări în anticiparea precisă a degradării pe termen lung în condiții complexe de exploatare. Eforturile viitoare ar trebui să se concentreze pe dezvoltarea de modele predictive folosind instrumente computaționale și inteligență artificială, precum și pe inovarea materialelor cu rezistență sporită la deteriorare.

În final, capitolul evidențiază rolul analizei deteriorării în promovarea sustenabilității. Extinderea duratei de viață a componentelor din oțel prin îmbunătățirea designului și strategiilor de reparație contribuie la reducerea deșeurilor, utilizarea mai eficientă a resurselor și un impact ambiental mai redus în industriile intensive în oțel.

Capitolul III Decontaminarea instrumentelor medicale reutilizabile

III.1 Introducere

Acest capitol subliniază importanța critică a sterilizării instrumentelor chirurgicale reutilizabile pentru menținerea condițiilor aseptice în timpul procedurilor medicale. Sterilizarea cu abur rămâne cea mai fiabilă și răspândită metodă, capabilă să atingă un nivel de asigurare a sterilității (SAL) de 10^{-6} , ceea ce înseamnă că probabilitatea ca un microorganism să supraviețuiască este de cel mult unu la un milion. De asemenea, sterilizarea trebuie să elimine reziduurile biologice, în special proteinele, pentru a reduce riscul transmiterii unor boli precum boala Creutzfeldt-Jakob varianta (vCJD), iar standardele de curățenie limitează proteina reziduală la sub 5 mg de BSA pe suprafață.

În ciuda protocoalelor bine stabilite de sterilizare, apar încă defecțiuni care pun în pericol siguranța pacientului. Institutul de Cercetare pentru Îngrijire de Urgență (ECRI) a identificat în 2017 instrumentele sterilizate incorect ca fiind un pericol major pentru sănătate. Spitalele mari pot reprocessa zilnic zeci de mii de instrumente chirurgicale, care sunt adesea reutilizate de multe ori înainte de a fi eliminate din cauza uzurii vizibile sau deteriorării. Totuși, nu există linii directoare universale care să definească limitele sigure de reutilizare.

Decontaminarea cuprinde curățarea, dezinfectarea și sterilizarea, având scopul de a asigura siguranța instrumentelor atât pentru pacienți, cât și pentru personalul medical. Dispozitivele medicale reutilizabile acoperă o gamă largă, inclusiv instrumente chirurgicale, proteze, echipamente spitalicești și dispozitive de mobilitate — făcând decontaminarea eficientă esențială pentru siguranța generală în îngrijirea sănătății.

Tabelul III.1 Clasificarea Bazată pe Riscul de Infecție și Recomandările de Decontaminare pentru Dispozitivele Medicale Reutilizabile











Nivelul de risc	Utilizarea dispozitivului	Recomandări
Înalt	<ul style="list-style-type: none">• În contact direct cu zone în care continuitatea pielii sau a mucoaselor este întreruptă• Penetrare în țesuturi sau cavități sterile	Sterilizare
Mediu	<ul style="list-style-type: none">• În contact cu mucoase contaminate cu microorganisme foarte virulente sau ușor transmisibile• Înainte de utilizare la pacienți imunocompromiși	Sterilizare la nivel înalt sau dezinfectare
Scăzut	În contact cu piele sănătoasă	Curățare

III.3 Stadiile decontaminării

Următorul tabel prezintă semnificația simbolurilor grafice întâlnite pe ambalajele dispozitivelor medicale. Aceste simboluri trebuie recunoscute de personalul medical, care trebuie să ia în considerare metoda de decontaminare adecvată pentru fiecare dispozitiv medical.

Tabelul III.2 Semnificația simbolurilor grafice întâlnite pe ambalajele dispozitivelor medicale

Simbol grafic	Semnificația simbolului	Simbol grafic	Semnificația simbolului
---------------	-------------------------	---------------	-------------------------

	Data expirării		Data producției
	Semnul comunității Europene		Numărul lotului
	Numărul seriei		Produs steril
	Sterilizat termic		Sterilizat cu oxid de etilenă
	Sterilizat cu radiații gamma		Utilizare unică, nu utilizați a doua oară

Dispozitivele medicale reutilizabile trebuie procesate conform unui ciclu de decontaminare. Etapele ciclului sunt evidențiate în figura de mai jos (Fig. III.1) și vor fi analizate în detaliu..



Fig.III.1 Ciclul de decontaminare

Ciclul de decontaminare este un proces sistematic și esențial în unitățile medicale, conceput pentru a asigura că instrumentele medicale și chirurgicale reutilizabile sunt sigure pentru utilizarea pe pacienți. Acesta începe cu faza de pregătire, în care instrumentele sunt inspectate cu atenție, sortate și înregistrate. Această etapă asigură eliminarea instrumentelor deteriorate din circuit și clasificarea corectă a fiecărui obiect în funcție de utilizarea și nivelul necesar de decontaminare. Pregătirea corespunzătoare facilitează trasabilitatea și ajută la prevenirea contaminării încrucișate între instrumentele folosite în proceduri diferite.

Odată pregătite, instrumentele trec la faza de curățare. Aceasta implică îndepărtarea tuturor murdăriei vizibile, a materiei organice precum sânge sau țesut, și a altor contaminanți de pe suprafața instrumentelor. Curățarea poate fi

efectuată manual sau cu sisteme automate, cum ar fi curățătoarele cu ultrasunete sau mașinile de spălat-dezinfectat. Eficiența acestei etape este crucială, deoarece prezența oricărui material organic, chiar și microscopic, poate proteja microorganismele de dezinfectarea și sterilizarea ulterioară. Detergenții și soluțiile enzimatică sunt frecvent utilizate pentru descompunerea reziduurilor biologice complexe și pentru asigurarea unei curățări temeinice.

După curățare, instrumentele sunt supuse procesului de dezinfectare, care implică utilizarea agenților chimici pentru distrugerea majorității microorganismelor patogene. Dezinfectarea nu garantează eliminarea tuturor sporilor bacterieni, însă reduce semnificativ numărul microbilor viabili și scade riscul de infecție. Această etapă este deosebit de importantă pentru instrumentele semi-critice care vin în contact cu mucoasele sau pielea neintactă, dar nu pătrund în zone sterile ale corpului. În anumite cazuri, se aplică dezinfectarea la nivel înalt pentru instrumentele care nu pot suporta temperaturile ridicate ale sterilizării.

Ultima și cea mai importantă etapă a ciclului de decontaminare este sterilizarea. Aceasta are ca scop eliminarea tuturor formelor de viață microbiană, inclusiv bacterii, viruși, fungi și spori bacterieni foarte rezistenți. Sterilizarea cu abur, cunoscută și sub denumirea de autoclavare, este metoda cea mai utilizată datorită fiabilității, eficienței și capacității de a pătrunde în suprafețe complexe ale instrumentelor. Alte tehnici de sterilizare includ gazul de oxid etilenic, plasma de peroxid de hidrogen și căldura uscată, folosite pentru dispozitive sensibile la temperaturi ridicate. Obiectivul acestei etape este atingerea unui nivel de siguranță a sterilității (SAL) de 10^{-6} , ceea ce înseamnă că probabilitatea ca un microorganism viabil să supraviețuiască este de cel mult unu la un milion.

După sterilizare, instrumentele sunt lăsate să se răcească și sunt apoi ambalate sau depozitate în medii sterile până la momentul utilizării. Integritatea sistemului de barieră sterilă trebuie menținută pe tot parcursul manipulării și depozitării pentru a preveni recontaminarea. De asemenea, personalul medical trebuie să monitorizeze și să valideze fiecare etapă a procesului de decontaminare folosind indicatori, întreținere de rutină și respectarea strictă a protocoalelor.

În ansamblu, ciclul de decontaminare constituie o bază critică pentru controlul infecțiilor și siguranța pacientului. Eșecul în orice etapă poate compromite eficacitatea întregului proces și poate crește riscul de infecții asociate asistenței medicale. Respectând riguros acest ciclu și menținând standarde înalte, unitățile medicale pot asigura că instrumentele reutilizabile rămân sigure, funcționale și conforme cu reglementările sanitare.

III.3 Concluzii

Concluziile prezentate în acest capitol subliniază importanța crucială a procedurilor corecte de decontaminare a dispozitivelor medicale pentru asigurarea siguranței pacienților și prevenirea infecțiilor asociate asistenței medicale. Un proces de decontaminare cuprinzător și structurat, care include curățarea, dezinfectarea și sterilizarea, este esențial pentru eliminarea tuturor contaminanților și menținerea sterilității instrumentelor utilizate în mediile medicale. Fiecare etapă a acestui proces are un rol specific, iar neglijarea oricăreia dintre ele poate compromite eficacitatea controlului infecțiilor.

Curățarea este identificată ca pasul fundamental, deoarece elimină materialul biologic care ar putea împiedica sterilizarea ulterioară. Utilizarea agenților și metodelor adecvate de curățare, cum ar fi detergenții enzimatici și sistemele automate de spălare, sporește eficiența acestei etape și previne formarea biofilmelor. Nivelul necesar de decontaminare depinde de modul de utilizare al instrumentului. Dispozitivele non-critice necesită o dezinfectare de bază, cele semi-critice cer dezinfectare la nivel înalt sau sterilizare, iar instrumentele critice trebuie să fie sterilizate complet pentru a elimina toate formele de viață microbiană.

După sterilizare, depozitarea corespunzătoare, folosind ambalaje de protecție, asigură menținerea sterilității până la utilizarea instrumentelor. Instrumentele de monitorizare, precum indicatorii chimici și biologici, împreună cu audituri de rutină și documentare, sunt necesare pentru a verifica eficacitatea procesului. Adoptarea tehnologiilor avansate de sterilizare, cum ar fi vaporii de peroxid de hidrogen, sterilizarea cu plasmă și lumina UV-C, contribuie la practici de decontaminare mai eficiente și mai sigure.

Instruirea personalului joacă un rol vital în menținerea standardelor înalte, deoarece lucrătorii din domeniul sănătății bine pregătiți sunt mai capabili să respecte corect procedurile de control al infecțiilor. Respectarea ghidurilor și protocoalelor internaționale stabilite de autorități de sănătate precum OMS, CDC și AAMI asigură conformitatea și îmbunătățește siguranța pacienților.

În concluzie, o strategie eficientă de decontaminare — susținută de proceduri stricte, controlul calității, tehnologii moderne și personal calificat — reduce semnificativ riscul de infecție și contribuie la rezultate mai bune în îngrijirea sănătății.

Partea II

Contribuții personale la teza
IDENTIFICAREA SOLUȚIILOR OPTIME
PENTRU ÎNTREȚINEREA ȘI MENȚINEREA ÎN
BUNĂ FUNCȚIONARE A INSTRUMENTARULUI
MEDICAL

Capitolul IV Rezultate experimentale

IV.1 Studiul acoperirilor TiN și TiCN pentru instrumente chirurgicale din oțel inoxidabil

IV.1.1 Introducere

Capitolul subliniază importanța reglementărilor stricte din spitale și clinici medicale privind utilizarea instrumentelor chirurgicale pentru a asigura siguranța atât a pacienților, cât și a personalului medical. Deoarece majoritatea instrumentelor chirurgicale sunt reutilizate, ele trebuie să treacă prin cicluri repetate de curățare și sterilizare. Aceste instrumente sunt, de regulă, fabricate din materiale durabile precum oțelul inoxidabil austenitic, care poate rezista condițiilor dure de sterilizare, ce implică temperaturi ridicate, umiditate și presiune. Totuși, aceste condiții pot conduce la coroziune, defecte de suprafață și scăderea performanțelor mecanice, sporind riscul de contaminare microbiană cauzată de reziduuri reținute.

Oțelul inoxidabil austenitic este utilizat pe scară largă în diverse industrii datorită rezistenței la coroziune, rezistenței mecanice și ductilității sale. Cu toate acestea, suprafața acestuia poate suferi deteriorări atunci când este expusă unor medii agresive, compromițând proprietățile sale de protecție. Pentru a contracara aceste probleme, tehnicile de modificare a suprafeței au devenit tot mai importante pentru îmbunătățirea proprietăților fizice, mecanice și tribologice ale materialului. Una dintre cele mai promițătoare metode este utilizarea unor straturi subțiri (thin film coatings) care să creeze o barieră protectoare împotriva coroziunii și uzurii.

Depunerea filmelor subțiri, în special cu compuși pe bază de titan, oferă beneficii semnificative pentru aplicațiile medicale. Acoperirile precum TiN (nitrură de titan), TiC (carbură de titan), TiCN (un compozit format din TiN și TiC) și alte straturi pe bază de titan îmbunătățesc rezistența la coroziune, durabilitatea și performanța mecanică a instrumentelor medicale. Aceste acoperiri oferă o rezistență superioară, stabilitate termică, biocompatibilitate și rezistență la uzură, făcându-le ideale pentru instrumentele chirurgicale și implanturi.

Cercetarea prezentată se concentrează pe o analiză comparativă a utilizării acoperirilor TiN și TiCN pentru îmbunătățirea suprafeței oțelului inoxidabil austenitic. TiCN, ca material hibrid, este anticipat să combine avantajele ambelor materiale TiN și TiC, oferind o protecție și performanță îmbunătățite. Aceste progrese în ingineria suprafețelor contribuie nu doar la prelungirea duratei de viață a instrumentelor chirurgicale, ci și la practicile medicale mai sigure, printr-un control mai eficient al contaminării..

IV.1.2 Materiale și metode

Oțelurile inoxidabile sunt utilizate pe scară largă în producția instrumentelor chirurgicale, în principal datorită rezistenței excelente la coroziune și proprietăților mecanice diverse, care le fac potrivite pentru o gamă largă de aplicații. Ghiduri precum ASTM F899 și ISO 7153 oferă recomandări detaliate pentru selectarea și aplicarea oțelurilor inoxidabile în fabricarea atât a instrumentelor chirurgicale tăietoare, cât și a celor fără funcție de tăiere, precum și în componente precum fittinguri și ansambluri.

Oțelurile inoxidabile austenitice — în special tipurile 302, 303, 304 și 316 — sunt printre cele mai frecvent utilizate materiale în producția instrumentelor tăietoare (cum ar fi cuțite, dălți, dălțițe și curete) și a instrumentelor sau componentelor fără funcție tăietoare (inclusiv canule, pensete, retractor, specule, tuneluri și sonduri). Aceste aliaje oferă cea mai ridicată rezistență la coroziune dintre toate clasele de oțel inoxidabil; totuși, rezistența lor mecanică este relativ scăzută. Prin urmare, îmbunătățirea proprietăților suprafeței ar putea conduce la o rezistență sporită la uzură..

Tabel IV.1 Parametrii de depunere

Parametrii	TiN	TiCN
Catod	Ti 99.99% puritate	Ti 99.99% puritate
Presiune	3×10^{-4} mbar	3×10^{-4} mbar
Flux de Argon	10cc/min	10cc/min
Flux de Nitrogen	110cc/min	80cc/min
Flux de Metan	-	30cc/min

Intensitate curentă	90A	90A
Potențialul de polarizare al substratului	-150V	-150V
Durate de depunere	30min	30min

Pentru a crea două tipuri diferite de straturi — nitrură de titan (TiN) și carbonitrură de titan (TiCN) — un substrat din oțel inoxidabil 304 a fost acoperit folosind tehnica de evaporare prin arc catodic, urmând parametrii stabiliți în cercetări anterioare. Principalul obiectiv al acestei investigații a fost evaluarea și compararea topografiei suprafeței și a caracteristicilor mecanice ale acestor straturi, pentru a identifica opțiunea mai potrivită pentru utilizare comercială. Depunerea a fost realizată utilizând un sistem convențional cu arc catodic, având ca substrat o bandă din oțel inoxidabil 304 (parametrii specifici de procesare sunt prezentați în Tabelul IV.1).

Înainte de procesul de depunere, substratul a fost degresat și curățat ultrasonic în tricloretilenă, apoi uscat cu zăpadă de dioxid de carbon. Pregătirea suprafeței a fost finalizată prin bombardament cu ioni de argon timp de cinci minute, la o tensiune de accelerare de 950 V. Pentru analiza straturilor, morfologia și topografia suprafeței au fost investigate cu un microscop electronic de baleiaj HITACHI TM3030Plus (SEM). Rugozitatea suprafeței și grosimea stratului au fost măsurate cu un profilometru Dektak 150 Veeco-Brucker. În plus, au fost efectuate teste de microdurețe Vickers folosind un sistem TriboLab UMT de la Bruker, aplicând o sarcină de 100 grame..

IV.1.3 Rezultate și discuții

Experimentul a folosit trei instrumente de înaltă precizie pentru a analiza modificările suprafeței și caracteristicile materialului: microscopul electronic de baleiaj (SEM), profilometrul Dektak 150 Veeco-Bruker și sistemul TriboLab UMT de la Bruker.

1. Microscop electronic de baleiaj (SEM)

SEM oferă imagini cu rezoluție înaltă ale suprafețelor materiale folosind un fascicul de electroni focalizat. Permite analiza detaliată prin semnale precum electronii secundari (pentru morfologia suprafeței), electronii împrăștiați înapoi (pentru contrast atomic) și razele X (pentru compoziția elementară prin EDS). Folosit pe scară largă în știința materialelor, medicină, nanotehnologie și criminalistică, SEM oferă mărituri de până la 10 milioane de ori și este esențial pentru analiza microstructurilor. Totuși, necesită condiții de vid și straturi conductoare pentru probele nemetalice.

2. Profilometru Dektak 150 Veeco-Bruker

Acest profilometru cu stilou măsoară topografia suprafeței cu precizie la nivel nanometric. Folosind un stilou cu vârf de diamant, evaluează înălțimea treptelor, grosimea filmelor, rugozitatea suprafeței (R_a , R_q , R_z) și tensiunile din straturile subțiri. Acceptă diverse dimensiuni ale probelor și lungimi de scanare (50 μm până la 55 mm), funcționând cu software-ul Vision 64 pentru cartografiere 2D/3D și analize statistice. Este indispensabil în domeniile semiconductorilor, științei materialelor, opticii și aplicațiilor MEMS.

3. TriboLab UMT de la Bruker

TriboLab UMT este un tester mecanic modular pentru evaluarea frecării, uzurii, durității, aderenței și altor proprietăți tribologice în condiții de mediu personalizabile. Suportă multiple tipuri de mișcare și moduri de testare, cu senzori de forță și deplasare cu rezoluție înaltă. Aplicațiile sale includ industria auto, aerospațială, biomedicală, electronică și ingineria materialelor, ajutând la optimizarea straturilor de acoperire, lubrifianților și tratamentelor de suprafață. Software-ul său versatil permite achiziția de date în timp real și testări avansate în mai mulți pași.

Rezumatul metodelor: Evaporarea prin arc catodic

Evaporarea prin arc catodic este o tehnică larg utilizată de depunere fizică în vid pentru obținerea peliculelor subțiri de înaltă calitate, cu proprietăți adaptate. Procesul începe prin selectarea unui material corespunzător pentru catod

— de obicei metale precum titan, crom, aluminiu sau aliajele acestora — în funcție de caracteristicile dorite ale stratului, cum ar fi duritatea, rezistența la uzură și stabilitatea chimică.

Un arc electric este inițiat pe suprafața catodului, generând un plasma foarte energetică compusă din ioni, electroni și particule neutre. Această plasmă vaporizează atomii materialului catodic, care se deplasează apoi către substrat. Depunerea are loc atunci când aceste particule vaporizate se condensează pe substrat, formând un strat subțire și dens. Particulele ionizate din plasmă sunt accelerate de câmpurile electrice, rezultând astfel pelicule cu aderență și densitate îmbunătățite.

Parametri critici, precum curentul arcului, tensiunea de polarizare (bias), compoziția și presiunea gazului, temperatura substratului și distanța catod-substrat sunt controlați cu atenție pentru optimizarea calității, grosimii și microstructurii filmului. Pregătirea substratului — inclusiv curățarea și finisarea suprafeței — este esențială pentru asigurarea unei bune aderențe a stratului.

Modificări avansate, cum ar fi evaporarea prin arc catodic filtrat (FCAD) și evaporarea în pulsuri (PAE), contribuie la reducerea contaminării cu macroparticule și la îmbunătățirea uniformității stratului. Pentru caracterizarea peliculelor se utilizează metode precum microscopia electronică de scanare (SEM), difracția razelor X (XRD) și spectroscopia dispersivă în energie (EDS) pentru a evalua morfologia, compoziția și proprietățile structurale.

În ansamblu, evaporarea prin arc catodic permite depunerea diverselor straturi pe bază de nitruri (ex. TiN, CrN, AlTiN, AlCrN) cu proprietăți mecanice, termice și chimice excelente, făcând această metodă ideală pentru aplicații industriale în scule de tăiere, piese auto, componente aerospațiale și altele.

IV.1.4. Proprietățile straturilor utilizate în experiment

Titanium Nitride (TiN) este un strat ceramic durabil, cunoscut pentru culoarea sa aurie caracteristică, fiind frecvent utilizat pentru a îmbunătăți rezistența la uzură, protecția anticorozivă și duritatea suprafeței diverselor materiale. TiN are o duritate de aproximativ 2400 HV (duritate Vickers), semnificativ mai mare decât a oțelului. Acesta prelungește durata de viață a uneltelor prin reducerea frecării și abraziunii și protejează împotriva oxidării și degradării chimice. Stratului îi este caracteristică stabilitatea termică până la aproximativ 600 grade Celsius și conductivitatea electrică, ceea ce îl face util în microelectronică. În plus, TiN este biocompatibil și sigur pentru utilizare în implanturi medicale, cum ar fi proteze de șold și instrumente dentare. De asemenea, reduce aderența și zgârieturile în aplicații de formare a metalelor și oferă un finisaj atractiv, asemănător aurului, fiind popular pentru acoperiri decorative.

Straturile TiN sunt aplicate de obicei prin metode de depunere precum Depunerea Fizică în Vid (Physical Vapor Deposition – PVD) și Depunerea Chimică în Vid (Chemical Vapor Deposition – CVD). Procesul PVD presupune vaporizarea titanului într-un mediu vidat, urmată de introducerea unui gaz reactiv de azot, care reacționează cu vaporii de titan pentru a forma TiN pe suprafața substratului. Straturile PVD sunt subțiri, dense și uniforme, cu grosimi cuprinse în general între 1 și 5 micrometri. Această metodă produce pelicule cu aderență puternică pe substratele metalice și operează la temperaturi relativ scăzute, între 400 și 500 grade Celsius. TiN obținut prin PVD este folosit frecvent pe scule de tăiere, precum burghie și freze, implanturi medicale (proteze de șold, scalpuri) și obiecte decorative (carcase de ceasuri, bijuterii).

Pe de altă parte, CVD implică o reacție chimică între tetraclorura de titan (TiCl_4) și gazul azot la temperaturi ridicate, în jur de 900 grade Celsius. Această reacție produce un strat TiN mai gros, tipic între 5 și 10 micrometri, cu aderență superioară datorită difuziei mai profunde în substrat. Totuși, temperatura înaltă limitează utilizarea acestei metode pe materiale sensibile la căldură. Straturile TiN obținute prin CVD sunt des întâlnite în aplicații aerospațiale și în piese cu performanțe ridicate, rezistente la uzură, unde grosimea și aderența sunt esențiale. O altă metodă de depunere, evaporarea prin arc catodic (Arc-PVD), folosește un arc electric pentru a vaporiza titanul, producând straturi extrem de dure, cu o rată mare de depunere. Deși straturile TiN obținute prin Arc-PVD sunt foarte dure, acestea pot genera o rugozitate de suprafață cauzată de formarea de picături în timpul procesului, fiind recomandate în special pentru aplicații ce necesită suprafețe foarte dure.

Straturile de Nitrură de Titan (TiN) au o gamă largă de aplicații în diverse industrii. În prelucrarea prin așchiere și unelte de tăiere, inclusiv burghie, freze și pumnuri, TiN crește semnificativ durata de viață a uneltelor — adesea de două până la zece ori — și reduce frecarea și acumularea de căldură în timpul utilizării. În domeniul medical, straturile TiN sunt folosite pentru implanturi de șold, instrumente chirurgicale și implanturi dentare datorită biocompatibilității, rezistenței la coroziune și statutului non-toxic, aprobat de FDA. Sectorul auto și aerospațial utilizează straturile TiN pe componente de motoare și rulmenți de aeronave pentru a reduce uzura și a îmbunătăți performanța la temperaturi ridicate. În microelectronică și fabricarea semiconductoarelor, TiN servește ca barieră conductivă de difuzie în circuite integrate și dispozitive MEMS. TiN este larg utilizat și în produse decorative și bunuri de consum, oferind un finisaj durabil și atractiv, asemănător aurului, pentru ceasuri, stilouri de lux și arme de foc.

Avantajele straturilor TiN includ o creștere semnificativă a rezistenței la uzură și a duratei de viață a uneltelor prin reducerea frecării, excelentă rezistență la coroziune, biocompatibilitate, non-toxicitate și un aspect estetic plăcut, auriu, pentru scopuri decorative. Totuși, straturile TiN nu sunt ideale pentru aplicații ce implică oxidare la temperaturi foarte ridicate, peste 600 grade Celsius, unde straturi precum Nitru de Titan-Aluminiu (TiAlN) sau Carbonitru de Titan (TiCN) pot oferi performanțe mai bune. În plus, straturile TiN implică costuri mai mari comparativ cu uneltele neacoperite și necesită echipamente specializate pentru depunere.

În concluzie, straturile TiN oferă o soluție versatilă și eficientă pentru îmbunătățirea durabilității suprafeței, performanței și aspectului în numeroase domenii, cu metode de depunere adaptate cerințelor specifice ale aplicațiilor.

Comparativ cu TiN, straturile de Carbonitru de Titan (TiCN) prezintă mai multe avantaje. TiCN are o duritate superioară, situându-se în general între 3000 și 4500 HV, ceea ce conferă o rezistență mai mare la uzură. De asemenea, are o tenacitate mai bună decât TiN, reducând riscul de fisurare sau cedare a stratului în timpul utilizării. Coeficientul de frecare al TiCN este mai mic, în jur de 0,4, contribuind la reducerea uzurii uneltei și îmbunătățirea performanței generale. Stratul oferă o bună rezistență la coroziune și este compatibil cu materiale uzuale pentru unelte, cum ar fi oțelul rapid și carburile. Totuși, TiCN are o stabilitate termică mai scăzută decât TiAlN, făcându-l mai puțin potrivit pentru aplicații la temperaturi foarte ridicate.

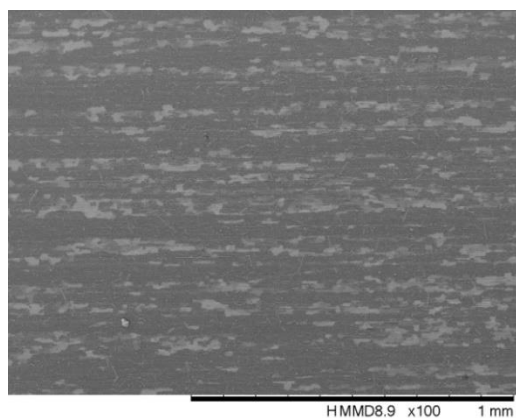
Straturile TiCN sunt utilizate pe scară largă pe unelte de tăiere și deformare, cum ar fi freze cilindrice, burghie, tarozi, pumnuri și matrițe, unde rezistența la uzură și tenacitatea îmbunătățesc performanța, în special la prelucrarea materialelor dificile precum oțelul inoxidabil, oțelul călit și fonta. De asemenea, ele sunt aplicate pe matrițe și piese rezistente la uzură, inclusiv unelte pentru turnare prin injecție și rulmenți mecanici, pentru a reduce frecarea și a extinde durata de viață a echipamentelor. În domeniul medical, straturile TiCN sunt folosite pe instrumente chirurgicale și implanturi datorită biocompatibilității și rezistenței la coroziune. Sectorul aerospațial și cel auto utilizează TiCN pentru a reduce uzura și frecarea pe componente de motoare și rulmenți, sporind eficiența și fiabilitatea.

Straturile TiCN sunt depuse prin metode de depunere în vid, cum ar fi depunerea fizică în vid (PVD) sau depunerea chimică în vid (CVD). Metoda PVD folosește sputtering sau evaporare prin arc pentru a vaporiza titanul într-un plasma de carbon și azot, creând straturi subțiri, netede, de aproximativ 1 până la 5 micrometri grosime. PVD funcționează la temperaturi mai scăzute, între 400 și 500 grade Celsius, fiind ideală pentru unelte de precizie și materiale sensibile la căldură. Procesul CVD implică o reacție chimică între tetraclorură de titan, gaze care conțin carbon și azot la temperaturi între 800 și 1000 grade Celsius, producând straturi mai groase (3 până la 10 micrometri) cu o excelentă rezistență la uzură și tenacitate. TiCN obținut prin CVD este utilizat pentru unelte de tăiere grele și aplicații industriale solicitante.

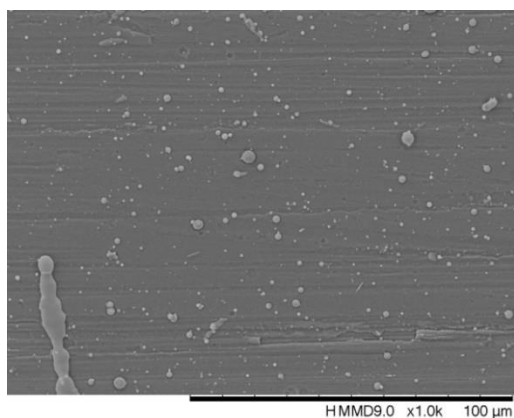
În concluzie, straturile TiCN oferă o combinație echilibrată între duritate, tenacitate, rezistență la uzură și coeficient scăzut de frecare, ceea ce le face potrivite pentru o varietate de aplicații industriale, biomedicale și mecanice. Deși TiCN oferă o rezistență la uzură superioară față de TiN, stabilitatea sa termică este mai redusă comparativ cu TiAlN, ceea ce limitează utilizarea în medii cu temperaturi foarte ridicate. Alegerea între metodele de depunere PVD și CVD depinde de cerințele aplicației, PVD fiind preferată pentru unelte de precizie și medicale, iar CVD pentru piese industriale cu solicitări mari. Per ansamblu, atât straturile TiN, cât și TiCN rămân esențiale în producția avansată și inginerie pentru îmbunătățirea performanței și durabilității uneltelor.

IV.1.5 Rezultate experimentale

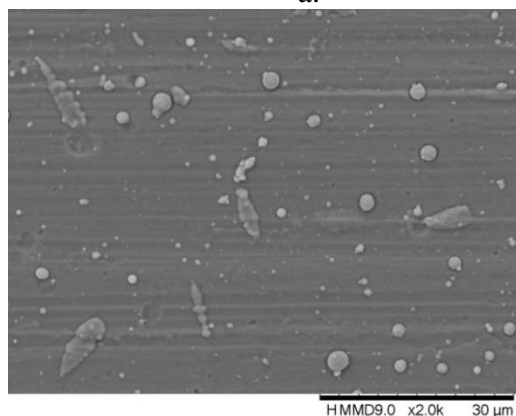
Micrografiile SEM prezentate în figura IV.1 ilustrează topografia stratului de TiN.



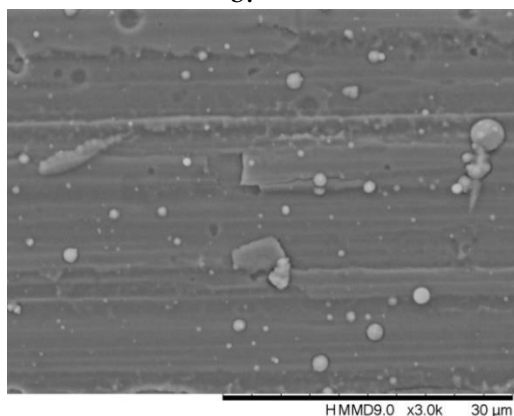
a.



b.



c.



d.

Fig. IV.1 Topografia stratului de TiN

Micrografiile din fig. IV.1.a arată că stratul de acoperire prezintă o textură influențată de finisajul substratului. Acoperirea este omogenă, continuă, fără goluri sau exfolieri. În fig. IV.1.b, iar mai ales la mărituri mai mari, în fig. IV.1.c și IV.1.d, apar structuri circulare caracteristice metodei utilizate. Aceste caracteristici de tip „splatter” au un diametru mediu Feret de $0,93 \pm 0,56 \mu\text{m}$, iar distribuția lor în frecvență este ilustrată în fig. IV.2.

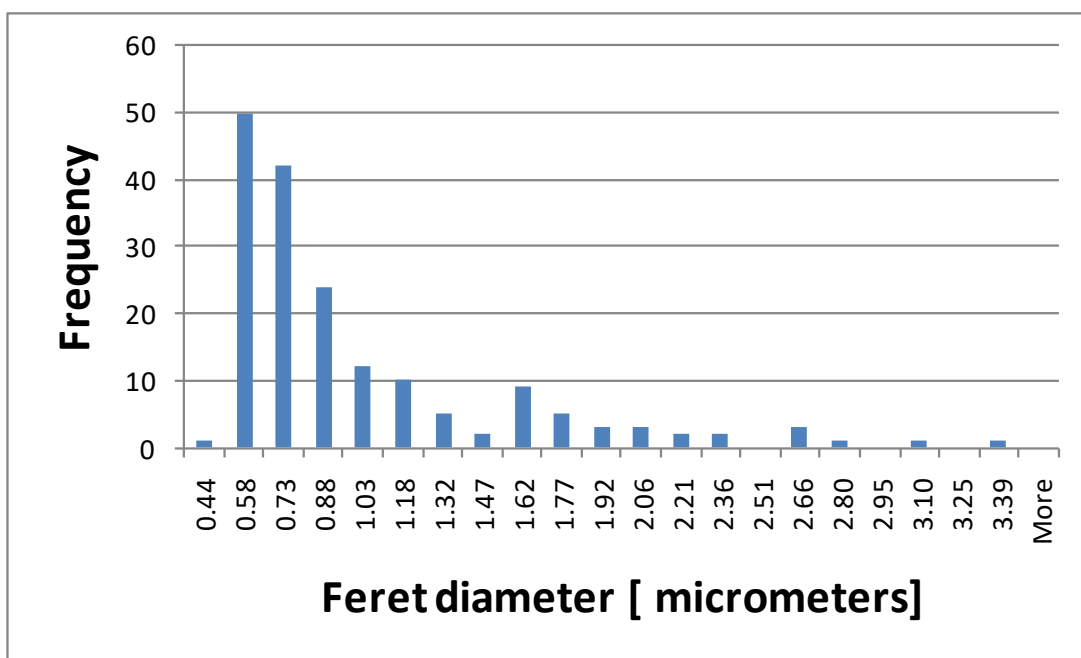


Fig. IV.2 Frecvența distribuției diametrului Feret

Distribuția evidențiază un număr mare de particule cu diametru Feret mic; 94,32% dintre particulele numărate au un diametru Feret de până la 2,06 μm .

Maparea elementală realizată prin spectrometrie dispersivă de energie (EDS), prezentată în fig. IV.3, indică o distribuție uniformă a azotului (N) și titanului (Ti) pe suprafață, confirmând uniformitatea stratului de acoperire.

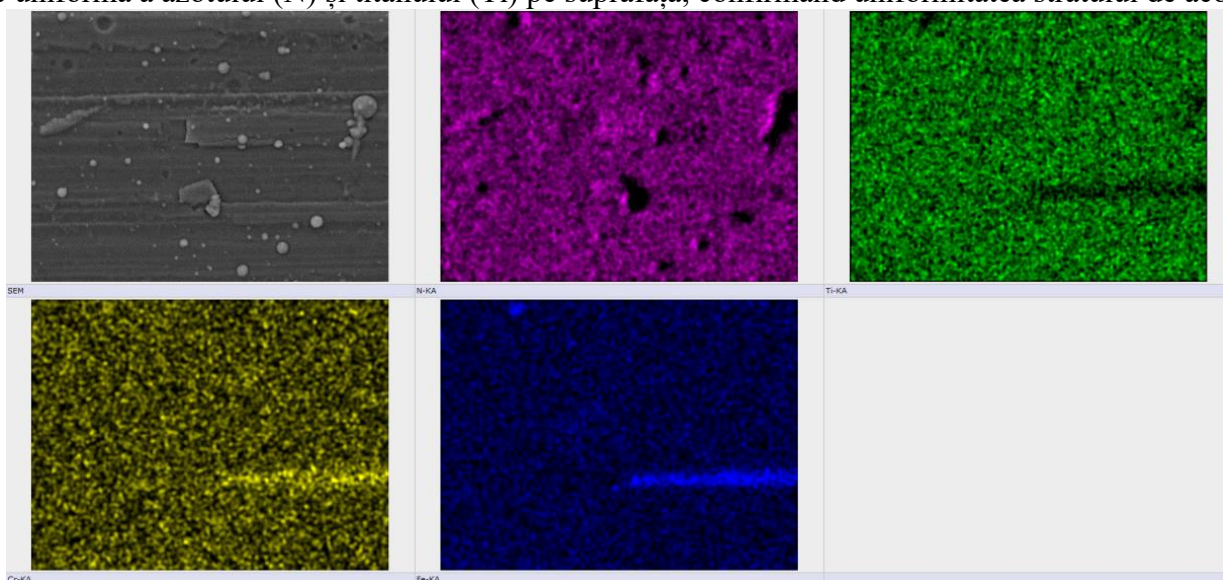


Fig. IV.3 Cartografierea elementală a stratului de TiN

Se observă stropi circulați de titan pur, împreună cu elemente provenite din substrat (Fe, Cr), mai concentrați într-o zonă unde rugozitatea substratului modifică grosimea stratului.

Topografia stratului de TiCN este prezentată în fig. IV.4.

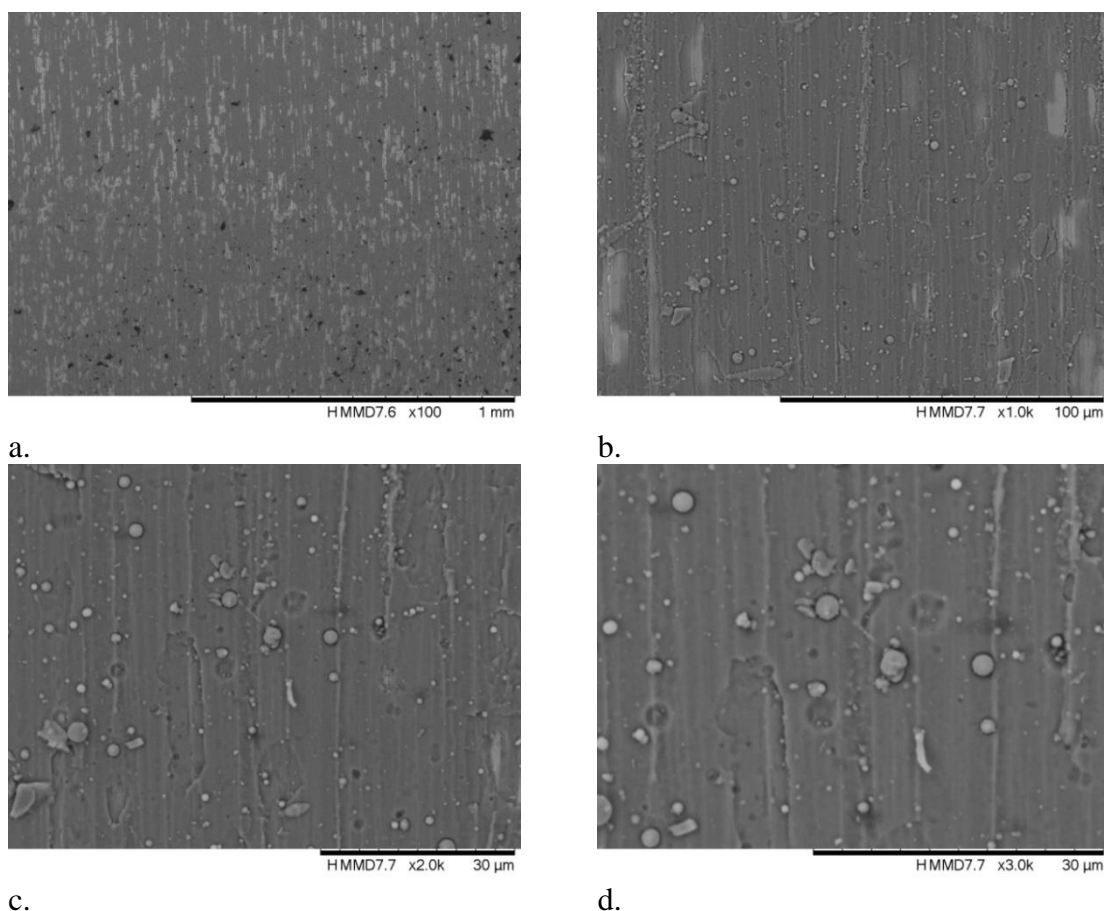


Fig. IV.4 Topografia stratului de TiCN

Similar cu stratul de TiN, în fig. IV.4.a poate fi observată o textură indusă de rugozitatea substratului, iar în fig. IV.4.b, c și d apar aceleași caracteristici circulare cauzate de stropirea catodică. Diametrul mediu Feret al acestor caracteristici este de $0,85 \pm 0,35 \mu\text{m}$, ușor mai mic decât cel al stratului de TiN.

Distribuția frecvenței în funcție de diametrul Feret este prezentată în fig. IV.5..

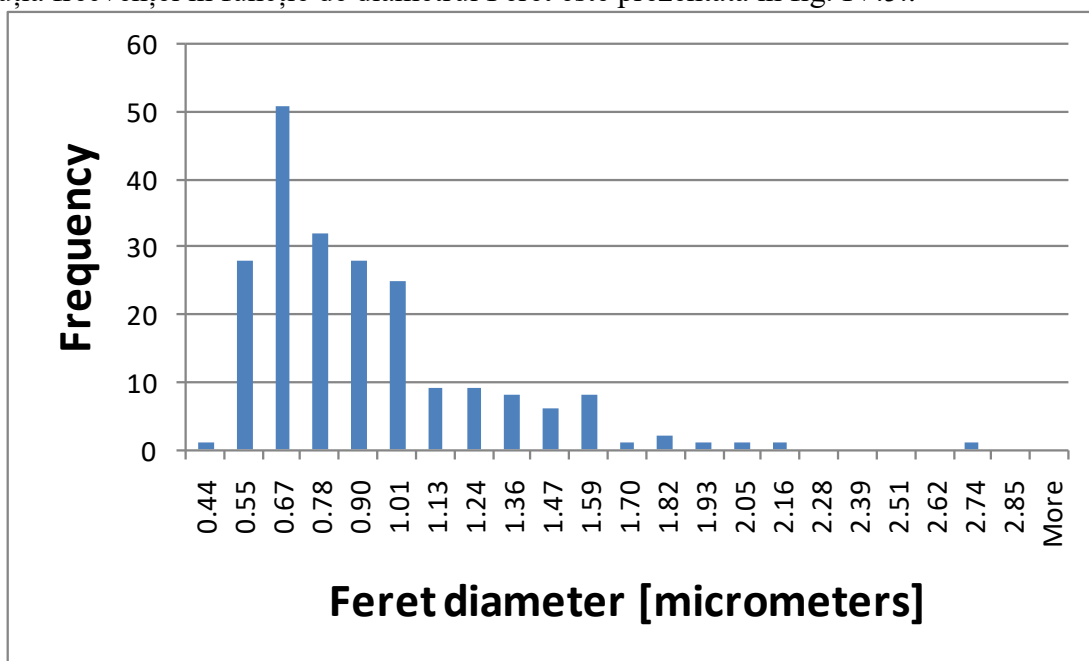


Fig. IV.5 Frecvența distribuției diametrului Feret

Distribuția frecvenței pentru stratul de TiCN seamănă foarte mult cu cea pentru stratul de TiN, prezentând un număr mai mare de particule mai mici; totuși, în acest caz, 99,06% din particulele numărate au un diametru Feret de până la $2,05 \mu\text{m}$.

Cartografierea elementală prezentată în fig. 6 arată o distribuție aproximativ uniformă a elementelor Ti, C și N pe suprafață, cu excepția unei regiuni unde, datorită naturii subcotate a șanțului din substrat, stratul nu este prezent.

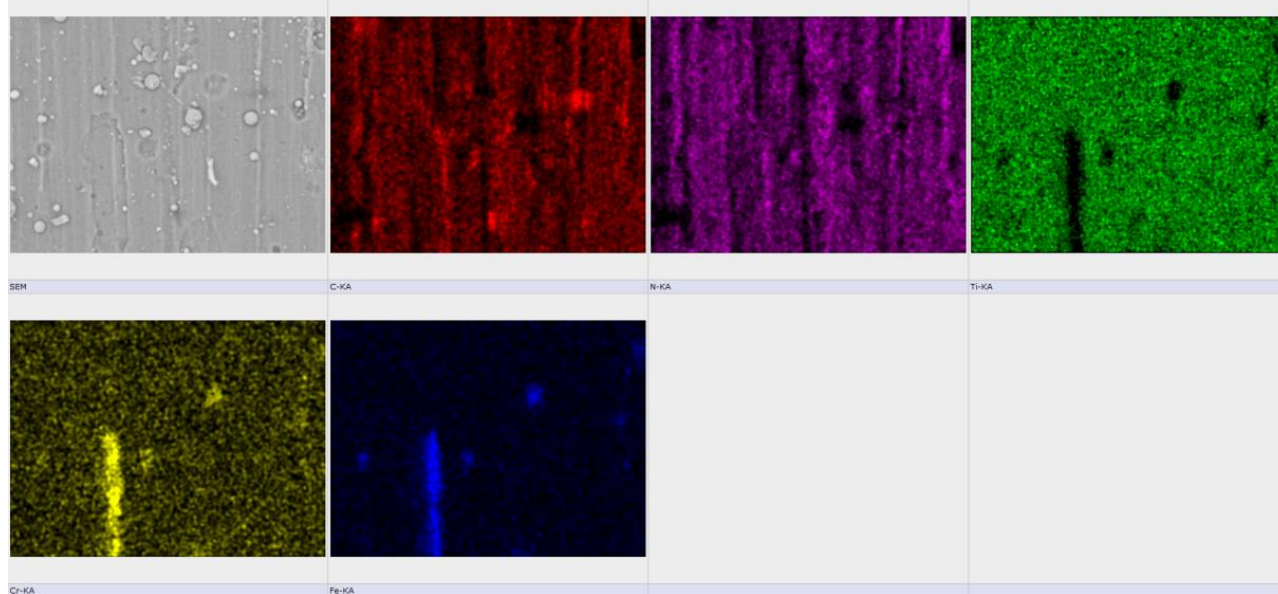
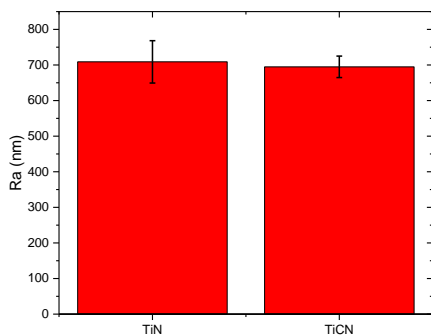


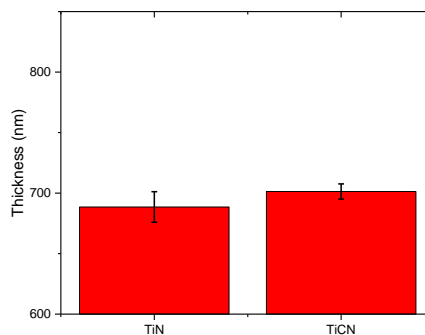
Fig. IV.6 Cartografiere elementală pentru stratul de TiCN

Elementele din substrat, Fe și Cr, au fost identificate și apar în concentrații mai mari în regiunea fără strat de acoperire.

Rugozitatea suprafeței a fost determinată în trei regiuni, iar o comparație a rugozității medii (R_a) obținute pentru cele două probe este prezentată în fig. IV.7.a.



a.



b.

Fig. IV.7 Compararea: a. rugozitatea medie (R_a) b. grosimea stratului de acoperire

Rugozitatea medie a probelor este de $708,78 \pm 59,42$ nm pentru TiN și $694,77 \pm 30,17$ nm pentru TiCN, valori care pot fi considerate egale din punct de vedere statistic; testul t aplicat rezultatelor sugerează că mediile sunt egale.

În ceea ce privește grosimea stratului de acoperire, se poate afirma că valorile medii, $688 \pm 12,67$ nm pentru TiN și $701,34 \pm 6,25$ nm pentru TiCN, pot fi considerate egale din punct de vedere statistic. Rezultatul testului t indică o egalitate a mediilor.

O comparație a rezultatelor microdureții Vickers este prezentată în fig. IV.8..

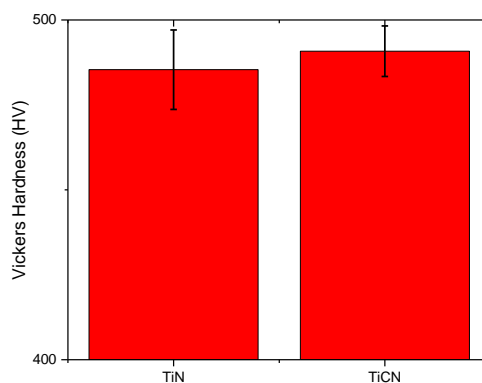


Fig. IV.8 Comparație a durității Vickers

Duritatea acoperirii TiCN ($490,8 \pm 7,44$ HV) pare ușor mai mare decât cea a acoperirii TiN ($485,67 \pm 11,69$ HV), dar datorită variației valorilor, un test t sugerează că valorile medii ale durității sunt statistic egale. În mod tipic, TiN are o duritate medie de aproximativ 2300 HV, în timp ce TiCN este așteptat să atingă în jur de 3000 HV. Totuși, în acest studiu, duritatea măsurată este mai mică deoarece duritatea compozită reflectă influența combinată a proprietăților substratului și a grosimii stratului de acoperire. În ciuda acestui fapt, există o creștere semnificativă a durității suprafeței; oțelul inoxidabil 304 recojit are o duritate medie de 129 HV, iar după acoperire, duritatea aproape se cvadrulează.

IV.2 Energia liberă de suprafață a oțelului inoxidabil

IV.2.1 Introducere

IV.2.2. Materiale și metode

Pentru acest studiu, a fost selectată o colecție de instrumente chirurgicale uzate, etichetate ca S1 (daltă), S2 (pensetă), S3 (daltă), S4 (retractor) și S5 (foarfece).



S1



S2



S3



S4



S5

Fig. IV.9. Imagini macroscopice ale instrumentelor chirurgicale investigate: S1 - Daltă, S2 - forceps, S3 - daltă, S4 - retractor and S5 – foarfece

Pentru acest studiu, probele au fost mai întâi analizate pentru compoziția chimică folosind Spectroscopia Dispersivă în Energie (EDS) cu un sistem JEOL JED-2300. Ulterior, au fost realizate măsurători ale unghiului de contact

cu un analizor KRÜSS DSA30 Drop Shape Analyzer, utilizând ca lichide apă, diiodometan și glicol pentru a determina energia liberă de suprafață (SFE) prin aplicarea modelelor Fowkes, Wu și Owens–Wendt–Rabel–Kaelble (OWKR).

Teste inițiale au fost efectuate pe probele netratate. Un alt set a fost lustruit oglindă, pasivat în acid nitric (marcat „P”) și măsurat din nou. Acestea au fost apoi corodate în soluție de NaCl 3,5% la 400 mV pentru 8 ore, înainte de ultimele măsurători ale unghiului de contact.

Modelele Fowkes, Wu și OWKR estimează energia liberă de suprafață pe baza tratării diferite a interacțiunilor polare și dispersive. Utilizarea tuturor celor trei modele oferă o evaluare completă, esențială pentru analiza rezistenței la coroziune.

Sistemul JEOL JED-2300 este un sistem avansat EDS integrat cu microscopie electronice, echipat cu un detector cu derivație de siliciu uscat (fără azot lichid), cu funcții automate de cartografiere și analiză a particulelor.

Analizorul KRÜSS DSA30 măsoară unghiurile de contact cu precizie, folosind dozare controlată a lichidului, funcții automate și opțiuni de control al temperaturii și umidității, fiind util pentru evaluarea tratamentelor de suprafață și a aderenței.

Buehler Phoenix Beta este un dispozitiv manual pentru șlefuire și lustruire, cu viteză reglabilă și construcție robustă, potrivit pentru pregătirea probelor metalurgice, cu posibilitatea de upgrade la operare semi-automată.

Energia liberă de suprafață nu poate fi măsurată direct, ci este estimată pe baza unghiurilor de contact prin utilizarea unor modele:

Modelul Fowkes separă forțele dispersive și polare folosind o medie geometrică, fiind potrivit pentru materiale nepolare.

Modelul Wu îmbunătățește metoda Fowkes utilizând o medie armonică, crescând acuratețea pentru suprafețe cu caracter mixt.

Modelul Owens–Wendt–Rabel–Kaelble (OWKR) rafinează și mai mult calculul, necesitând utilizarea mai multor lichide și acoperind un spectru mai larg de materiale.

IV.2.3. Rezultate

Compoziția chimică și clasele de oțel. Așa cum s-a menționat, probele au fost analizate inițial în starea lor originală, folosind EDS, pentru a identifica compoziția chimică. Tabelul IV.2 prezintă compoziția chimică împreună cu clasa corespunzătoare de oțel.

Tabelul IV.2 prezintă compoziția chimică a probelor testate, exprimată în procente în greutate, restul fiind reprezentat de fier..

ID Probă	Carbon (C) %	Mangan (Mn) %	Siliciu (Si) %	Crom (Cr) %	Nichel (Ni) %	Elemente Adăugate	Tipul de oțel
S1	0.11 ± 0.02	1.52 ± 0.14	0.56 ± 0.10	18.50 ± 0.70	9.23 ± 0.63	0.52 ± 0.12 Mo	303
S2	0.05 ± 0.002	1.73 ± 0.22	0.76 ± 0.13	17.95 ± 0.63	8.63 ± 0.68	None	304
S3	0.065 ± 0.004	1.68 ± 0.27	0.66 ± 0.18	18.23 ± 0.33	7.95 ± 0.48	0.43 ± 0.06 Mo	304
S4	0.18 ± 0.026	0.92 ± 0.08	0.49 ± 0.05	13.65 ± 0.68	0.96 ± 0.05	None	420A

S5	0.32 ± 0.063	0.92 ± 0.06	0.63 ± 0.086	12.96 ± 0.35	0.68 ± 0.08	None	420B
----	------------------	-----------------	------------------	------------------	-----------------	------	------

Compozițiile chimice ale oțelurilor respectă standardele ASTM F899 pentru oțeluri inoxidabile prelucrate utilizate în instrumentar chirurgical și sunt conforme cu aplicațiile prevăzute în ISO 7153. Folosind valorile medii din Tabelul 1, au fost calculați echivalenții de crom și nichel, iar punctele corespunzătoare au fost reprezentate în diagrama Schaeffler, prezentată în Figura IV.10.

Probele S1, S2 și S3 sunt prevăzute să aibă o microstructură constituită atât din ferită (F), cât și din austenită (A), în timp ce se anticipa o structură complet austenitică. Diagrama Schaeffler prevede un amestec de martensită (M) și ferită (F) pentru proba S4, iar pentru proba S5 un amestec de martensită (M) și austenită (A). Structura așteptată pentru ambele ar fi una martensitică.

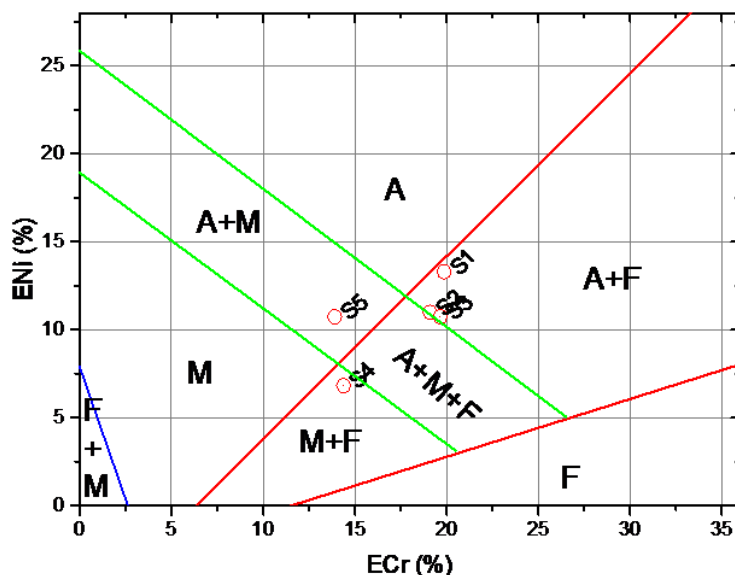


Fig. IV.10 Diagrama Schaeffler care arată echivalenții de crom și nichel reprezentați pentru probele experimentale

Diagrama Schaeffler estimează eficient structura oțelurilor inoxidabile austenitice cu o precizie bună. Măsurătorile unghiului de contact au fost utilizate pentru a evalua calitativ umezirea suprafeței pe probele netratate (U), pasivate (P) și corodate (C). Unghiurile de contact cu apa au fost cele mai mici pe suprafețele netratate, indicând o umezire puternică, ceea ce este nedorit pentru instrumentele chirurgicale. Pasivarea a crescut unghiul de contact, făcând suprafețele mai hidrofobe, în timp ce coroziunea a redus ușor unghiul, sporind hidrofilia. Această tendință a fost consecventă în toate probele, arătând că coroziunea și uzura în timpul utilizării normale reduc hidrofobia suprafeței și trebuie luate în considerare.

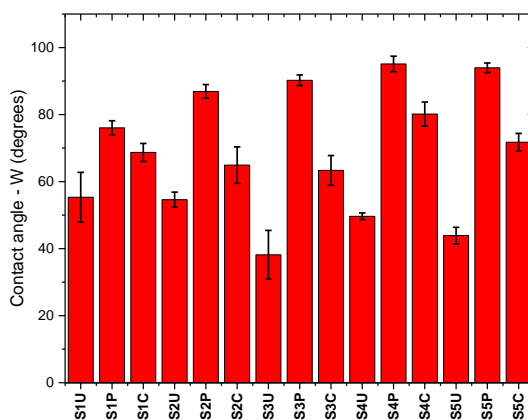


Fig. IV.11. Comparția unghiurilor de contact pentru apă

Rugozitatea suprafeței influențează comportamentul de umezire, astfel că probele în starea „as received” prezintă cea mai hidrofilă suprafață, cauzată de un efect cumulativ al coroziunii și modificării rugozității suprafeței.

Influența combinată a coroziunii și a rugozității suprafeței poate fi dedusă din intervalul larg de valori ale unghiului de contact observate pe suprafața „as received”. Cinci măsurători realizate în puncte aleatorii — în special pe zona considerată cea mai activă în timpul utilizării — au arătat o variabilitate semnificativă a rezultatelor unghiului de contact.

De exemplu, pentru proba S1U, unghiurile de contact măsurate au variat între $42,36^\circ$ și $63,89^\circ$, iar box-plot-ul și picătura de apă prezentate în fig. IV a. și b. reflectă această situație..

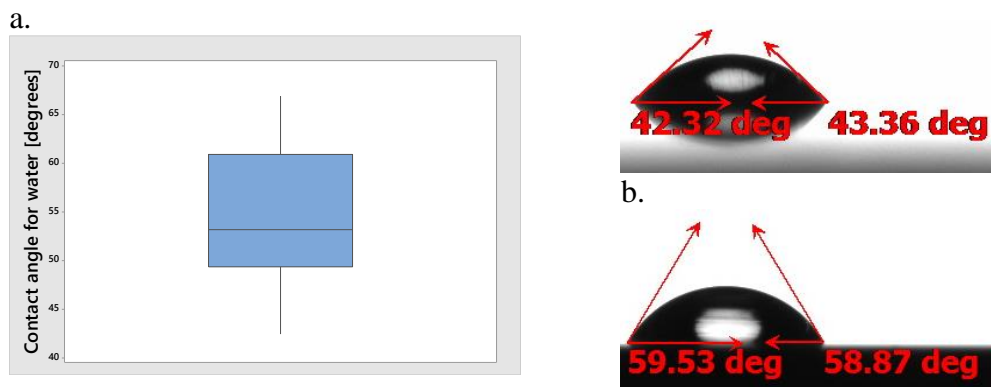


Fig.IV.12 Dispersia valorilor unghiului de contact pentru apă, proba S1U, prezentând:

a. diagrama box-plot;

b. picături de apă care ilustrează unghiuri mari și mici.

Analizând comportamentul suprafeței față de diiodometan (D), așa cum este prezentat în fig. IV.12, se poate afirma că apare un trend similar cu cel observat pentru apă, însă variația valorilor unghiului de contact este mai redusă.

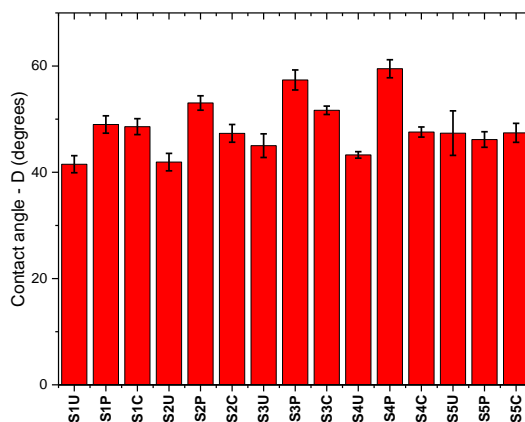


Fig. IV.12 Compararea unghiurilor de contact pentru diiodometan

Probele pasivate prezintă, în general, o reducere a umeziri cu diiodometan, similar cu comportamentul observat la apă, cu excepția probei S5, care nu a prezentat o schimbare statistic semnificativă. O analiză comparativă a unghiurilor de contact pentru glicol etilenic (E) este prezentată în Figura IV.13.

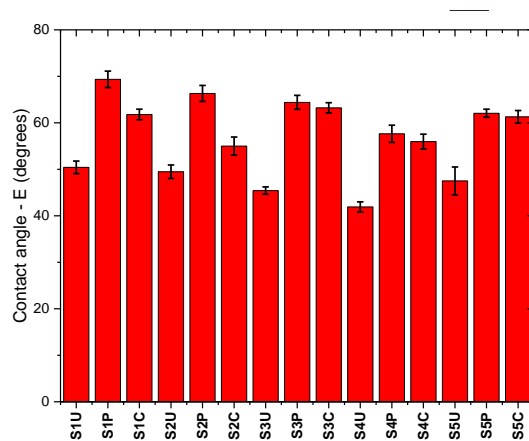


Fig. IV.13 Compararea unghiurilor de contact pentru glicol etilenic

Comportamentul glicolului etilenic este foarte asemănător cu cel al apei: probele pasivate prezintă o umezire mai redusă decât cele corodate, iar cele mai mici unghiuri de contact se observă pe suprafețele neprelucrate (as received), indicând o umezire crescută.

Referitor la umezirea suprafeței, bazată pe valorile unghiului de contact, se observă că probele recent pasivate manifestă o umezire mai redusă, iar pe măsură ce suprafața este tot mai afectată de coroziune și modificări ale rugozității, valorile unghiului de contact scad, favorizând umezirea, un aspect nedorit.

Energia liberă de suprafață

Energia liberă de suprafață este direct legată de măsurătorile unghiului de contact, deoarece aceasta se derivă din acestea. Pentru evaluarea energiei libere de suprafață a probelor, au fost aplicate trei metode larg utilizate — Fowkes, Wu și OWKR. Fiecare metodă se bazează pe principii teoretice diferite, ceea ce poate conduce la diferențe în valorile calculate ale energiei de suprafață. Rezultatele energiei libere de suprafață obținute prin metoda Fowkes sunt prezentate în Figura IV.14.

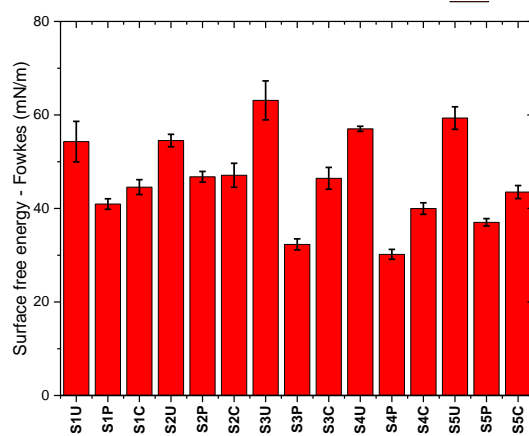


Fig. IV.14 Valorile energiei libere de suprafață obținute folosind metoda propusă de Fowkes

Cele mai ridicate energii de suprafață sunt observate la probele în stare „as received” (așa cum au fost primite), în timp ce cele mai scăzute apar la probele recent pasivate. Probe corodate prezintă valori intermediare. Se observă discrepanțe mari pentru probele S3, S4 și S5 — respectiv dălda, retractoarele și foarfeca.

Pentru S4 și S5, variația semnificativă este de așteptat, având în vedere că sunt oțeluri martensitice, cu conținut redus de Cr și conținut crescut de C. În schimb, pentru S3, care este un oțel 304, s-ar fi așteptat un comportament similar cu S1 și S2.

În prezent, inferența noastră leagă aceste variații de tensiunile și deformațiile de la suprafață cauzate de utilizarea intensă.

Rezultatele obținute pentru energia liberă de suprafață determinate conform metodei Wu sunt prezentate în figura IV.15.

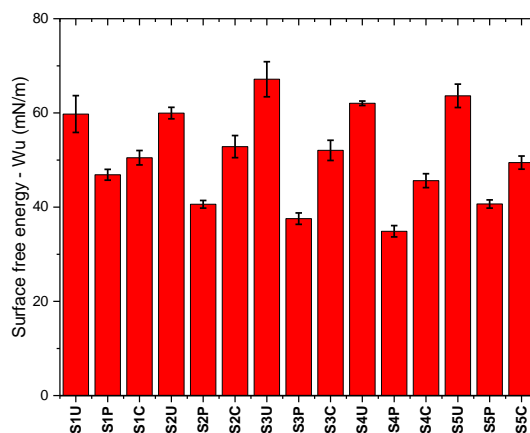


Fig. IV.15 Valorile energiei libere de suprafață obținute prin metoda propusă de Wu sunt prezentate în figura IV.15.

Valorile energiei libere de suprafață determinate prin metoda Wu prezintă o tendință similară cu cele determinate prin metoda Fowkes. Suprafețele pasivate au cele mai scăzute valori ale energiei libere de suprafață, suprafețele corodate au valori intermediare, iar cele în stare „as received” prezintă cele mai ridicate valori.

Conform acestei metode, valorile energiei libere de suprafață sunt, în general, mai mari față de cele estimate prin metoda Fowkes, cu excepția probei S2, unde suprafața pasivată are o energie liberă de suprafață mai mică. În ansamblu, tendința rămâne neschimbată, diferențele dintre valori fiind de maximum 5 mN/mm.

Rezultatele privind energia liberă de suprafață obținute prin aplicarea metodei OWKR sunt prezentate în figura IV.16.

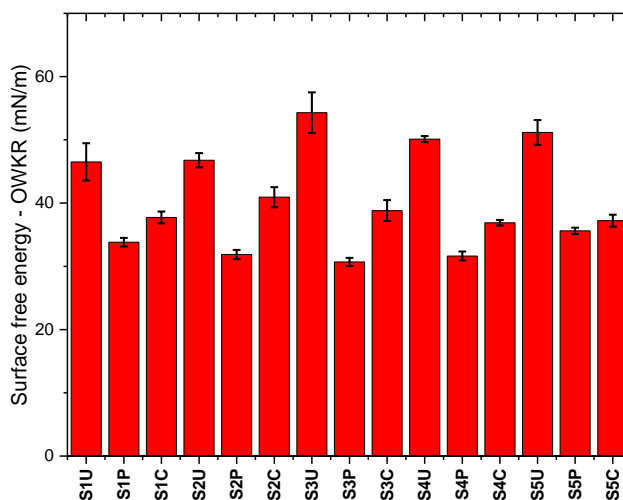


Fig. IV.16 Valorile energiei libere de suprafață obținute prin metoda OWKR

Aceeași tendință pentru energia liberă de suprafață este obținută folosind metoda OWKR. Mostrele pasivate prezintă cele mai scăzute valori ale energiei libere de suprafață, iar acestea încep să crească pe măsură ce suprafața devine tot mai degradată. Ca valori, metoda OWKR prezice valori mai scăzute comparativ cu metodele anterioare;

o comparație globală este prezentată în figura IV.17.

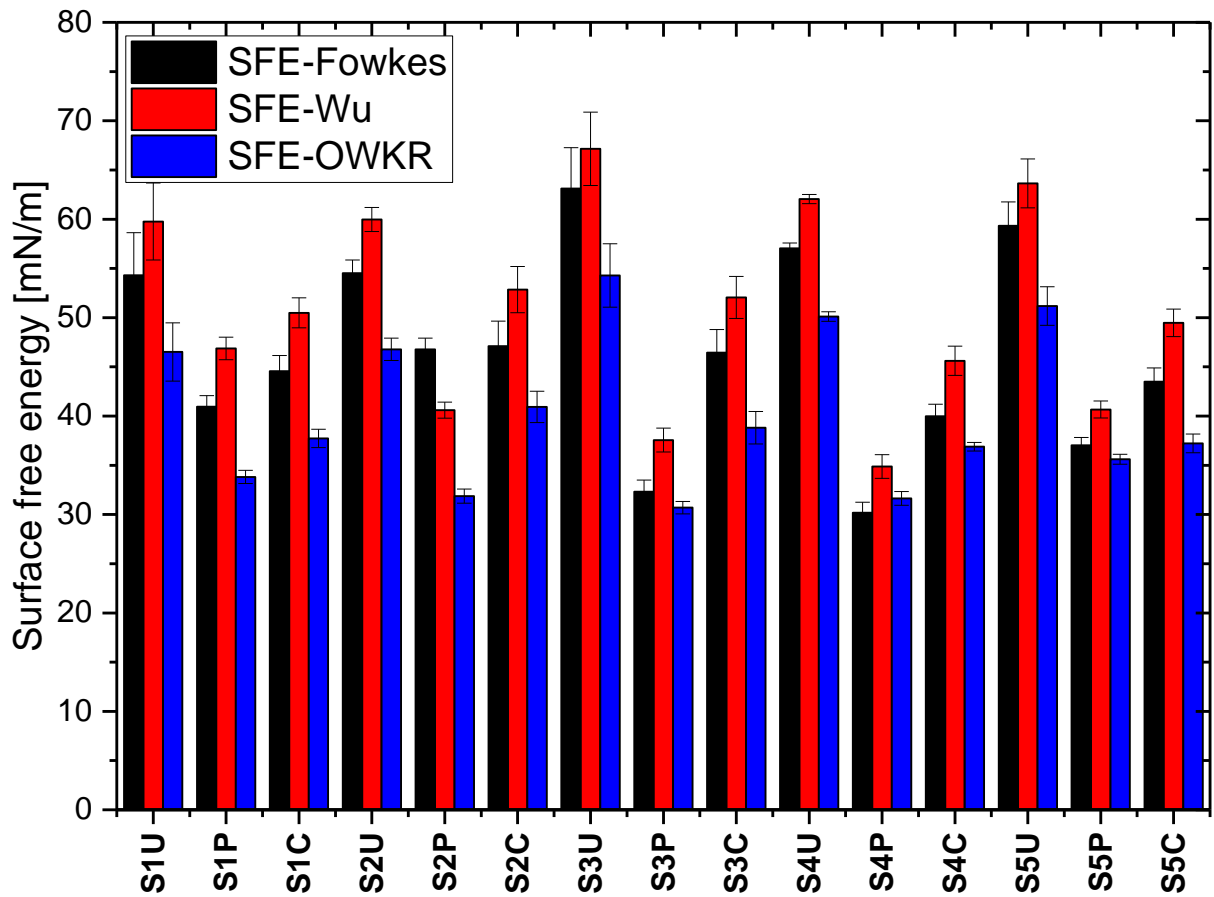


Fig. IV.17 Comparației a energiei libere de suprafață determinată prin cele 3 metode

Indiferent de metoda utilizată, s-a observat o tendință similară în variație: pe măsură ce suprafața devine tot mai degradată, energia liberă de suprafață tinde să crească.

IV.3 Concluzii

Energia liberă de suprafață este un factor esențial în rezistența la coroziune, deoarece suprafețele cu energie mai mare tind să interacționeze mai intens cu mediul înconjurător. Studiul a analizat instrumente chirurgicale fabricate din oțeluri inoxidabile austenitice și martensitice, constatând că suprafețele proaspăt pasivate au cea mai mică energie liberă de suprafață. Pe măsură ce suprafețele se degradează prin coroziune și uzură (precum zgârieturile), energia liberă de suprafață crește semnificativ. Această tendință a fost consistentă în toate metodele de calcul utilizate (Fowkes, Wu, OWKR), indicând că modificările în compoziția chimică au un impact redus asupra estimărilor. Principalul factor care determină creșterea energiei libere de suprafață este efectul cumulat al coroziunii și al creșterii rugozității suprafeței, mai degrabă decât coroziunea în sine.

Capitolul V Plan de afaceri "INSTRUMENTE ALE VIITORULUI"

Instrumente ale Viitorului, cu sediul în București, România, este o companie specializată în producerea de instrumente medicale de înaltă calitate, îmbunătățite prin utilizarea avansată a straturilor de acoperire cu TiN și TiCN. Misiunea companiei este de a îmbunătăți durabilitatea, performanța și biocompatibilitatea instrumentelor chirurgicale, răspunzând astfel problemelor frecvente legate de uzura și defectarea acestora — factori care pot influența negativ rezultatele intervențiilor medicale.

Compania oferă o gamă variată de instrumente medicale și stomatologice cu acoperiri speciale, precum și soluții personalizate, livrate direct către unități medicale sau prin parteneriate din industrie. Totodată, „Instrumente ale Viitorului” pune un accent puternic pe inovație continuă în domeniul tehnologiilor de acoperire și optimizarea performanței echipamentelor medicale

Prezentare Generală a Companiei

Instruments of the Future este o companie medicală românească specializată în fabricarea de instrumente chirurgicale și de diagnostic acoperite cu tehnologii avansate de **Nitrat de Titan (TiN)** și **Carbonitrură de Titan (TiCN)**. Aceste acoperiri sporesc semnificativ durabilitatea, rezistența și biocompatibilitatea instrumentelor medicale, contribuind la îmbunătățirea performanței chirurgicale și a rezultatelor pentru pacienți.

Misiune

Să revoluționăm instrumentele medicale oferind profesioniștilor din domeniul sănătății **instrumente inovatoare, fiabile și de lungă durată**, care pun pe primul loc **siguranța pacientului și satisfacția clinicianului**.

Produse și Servicii

- **Instrumente chirurgicale de înaltă calitate** cu acoperiri TiN/TiCN (bisturie, foarfece, pense etc.)
- **Instrumente de diagnostic și stomatologice** cu rezistență crescută la uzură
- **Servicii personalizate** de proiectare și acoperire a instrumentelor, adaptate nevoilor fiecărui client

Oportunitate de Piață

Cererea pentru **instrumente medicale durabile și performante** este în continuă creștere, pe fondul:

- Numărului tot mai mare de intervenții chirurgicale la nivel global
- Costurilor ridicate generate de defectarea și înlocuirea frecventă a instrumentarului
- Necesității tot mai mari de precizie și siguranță în sistemele de sănătate publice și private

Instruments of the Future își propune să răspundă acestor nevoi atât pe piața locală din România, cât și pe piețele internaționale.

Proiecții Financiare

- **Investiția inițială** va fi alocată achiziției de echipamente, dezvoltării produselor și lansării campaniei de marketing.
- **Creșterea veniturilor** este estimată să provină din vânzările locale în primul an, cu extindere pe piețele internaționale începând cu al treilea an.
- **Punctul de rentabilitate** este anticipat în decurs de **2–3 ani**, cu o **profitabilitate în creștere** odată cu extinderea cotei de piață.
- **Reinvestirea** în activitățile de cercetare-dezvoltare (R&D) și modernizarea facilităților va asigura un **avantaj competitiv sustenabil** și inovație continuă în produse.

Concluzii:

Instruments of the Future este pregătită să devină un lider pe piața instrumentelor medicale, valorificând tehnologii avansate de acoperire, un accent puternic pe satisfacția clienților și soluții inovatoare pentru a răspunde nevoilor esențiale ale furnizorilor de servicii medicale și pentru a îmbunătăți îngrijirea pacienților la nivel global.

Capitolul VI-Calcul de cost

Costul fabricării instrumentelor medicale depinde în mare măsură de alegerea materialelor și a acoperirilor utilizate. Materialele de bază comune, precum aliajele de titan (de exemplu, Ti-6Al-4V), au un cost cuprins între 50 și 150 USD per kilogram, fiind apreciate pentru rezistența și biocompatibilitatea lor.

Materialele de acoperire, cum ar fi Nitratul de Titan (TiN), adaugă un cost suplimentar de 2 până la 10 USD per piesă pentru forme simple, însă acest cost poate crește până la 100–500 USD în cazul geometriei complexe.

Acoperirile cu Carbonitrură de Titan (TiCN) sunt mai costisitoare, având un preț tipic de 5 până la 15 USD per piesă, datorită durității sporite.

Procesul de aplicare a acoperirii, de obicei Depunerea Fizică în Fază de Vapor (PVD), are un cost de 50 până la 200 USD per lot (acoperind 50–100 de piese) și este preferat în utilizările medicale. Depunerea Chimică în Fază de Vapor (CVD) este mai puțin folosită din cauza temperaturilor ridicate implicate și a costurilor mai mari, situate între 30 și 150 USD per lot.

Table VI.1 comparație a costurilor între acoperirile cu TiN și TiCN

Tipul stratului	Cost pe bucată	Duritate (HV)	Aplicații
TiN	\$2–\$10	2,400	Lame chirurgicale, implanturi ortopedice
TiCN	\$5–\$15	3,500	Freză dentară, ferăstraie osoase

Acoperirile TiCN extind semnificativ durata de viață a instrumentelor prin îmbunătățirea rezistenței la uzură cu 50–70% și prin creșterea duratei de utilizare de 3 până la 10 ori. Acoperirile TiN reduc frecarea, sporind precizia și performanța, în special în cazul instrumentelor chirurgicale. TiCN oferă, de asemenea, o stabilitate termică ridicată, fiind potrivit pentru aplicații la viteză mare, cum ar fi frezele dentare. Deși acoperirea adaugă un cost suplimentar de 5–10%, aceasta poate genera economii de până la 100 de ori prin reducerea frecvenței înlocuirii instrumentelor.

Din punct de vedere medical, acoperirile TiN și TiCN trebuie să respecte certificările precum ISO 13485, Marcajul CE și FDA 510(k), care asigură biocompatibilitatea și rezistența la sterilizare. TiN este aprobat de FDA și este netoxic, iar TiCN este, de asemenea, inert și potrivit pentru instrumente chirurgicale.

Ambele acoperiri sporesc duritatea și reduc frecarea, ajutând la menținerea ascuțimii instrumentelor și la minimizarea leziunilor tisulare în timpul intervențiilor. Se recomandă încheierea de parteneriate strategice cu experți în tehnologii de acoperire și investiții în cercetare-dezvoltare pentru acoperiri avansate și procese sustenabile. În ansamblu, aceste acoperiri îmbunătățesc precizia chirurgicală, durabilitatea și siguranța instrumentelor medicale.

Table VI.2 Performanța tribologică în medii biologice

Tipul stratului	Proprietate tribologică cheie	Impact clinic
TiN	Coeficient de frecare (COF) moderat, hidrofilie ridicată	Aderență redusă a țesuturilor
TiCN	Coeficient de frecare ultra-scăzut, duritate ridicată	Operare mai fluidă a instrumentului

Acoperirile TiN și TiCN cresc semnificativ durabilitatea și durata de viață a instrumentelor medicale și a implanturilor, reducând necesitatea înlocuirilor frecvente. Instrumentele de tăiere acoperite cu TiCN pot rezista de 2 până la 8 ori mai mult decât cele neacoperite și depășesc performanțele acoperirilor TiN de 2 până la 4 ori. Ambele tipuri de acoperiri pot fi îndepărtate și aplicate din nou într-un mod eficient din punct de vedere al costurilor, prelungind astfel durata de utilizare a instrumentelor. În cazul implanturilor, aceste acoperiri reduc uzura și complicațiile, scăzând riscul intervențiilor chirurgicale de revizie. Ele sunt aprobate de FDA, rezistente la coroziune și netoxice. În plus, acoperirile îmbunătățesc performanța instrumentelor chirurgicale, mențin ascuțimea și sporesc aspectul dispozitivelor, conducând la economii de costuri și rezultate mai bune pentru pacienți.

Matrițele acoperite cu TiCN, utilizate în procesele de injecție, rezistă de 2 până la 10 ori mai mult decât matrițele neacoperite, reducând semnificativ perioadele de nefuncționare și costurile de producție pentru componentele dispozitivelor medicale. De asemenea, acoperirile aplicate pe componentele cu frecare intensă din echipamentele medicale contribuie la extinderea duratei lor operaționale, reducând astfel cheltuielile de întreținere și îmbunătățind fiabilitatea utilajelor.

Prin minimizarea necesității de înlocuire a instrumentelor, facilitarea re-acoperirii cost-eficiente și creșterea durabilității implanturilor și echipamentelor, acoperirile TiN și TiCN contribuie la economii substanțiale în producția de echipamente medicale, precum și în practicile chirurgicale.

Costuri pentru Acoperire și Îndepărtare

Acoperirile TiN sunt relativ ieftine, costurile de acoperire începând de la aproximativ 2,00 USD per instrument pentru instrumentele mai mici. Îndepărtarea acoperirii TiN costă în general în jur de 40% din prețul inițial al acoperirii. Acoperirile TiCN, deși mai scumpe, variază între 8 și 16 USD per instrument, în funcție de dimensiune și complexitate. Costurile de îndepărtare pentru acoperirile TiCN sunt de asemenea aproximativ 40% din costul inițial al acoperirii.

Extinderea Duratei de Viață a Instrumentelor

Acoperirile TiN pot extinde durata de viață a instrumentelor de 2 până la 7 ori comparativ cu instrumentele neacoperite. Acoperirile TiCN oferă o durabilitate chiar mai mare, depășind performanțele TiN de 2 până la 4 ori, cu o îmbunătățire totală de 2 până la 8 ori față de instrumentele neacoperite. De exemplu, un instrument tip "dovetail" din carbură brazată acoperit

cu TiCN a atins o durată de funcționare de 8 ore, față de doar 15 minute pentru un echivalent neacoperit, și putea fi ascuțit și acoperit din nou de până la 8 ori fără pierdere de performanță.

Reacoperirea vs. Înlocuirea

Atât acoperirile TiN, cât și cele TiCN pot fi îndepărtate chimic și rePLICATE pe substraturi din aliaje de oțel, precum oțel inoxidabil sau oțeluri scule. Acest lucru permite producătorilor să evite costurile mari asociate cu înlocuirea instrumentelor, menținând același instrument prin multiple cicluri de ascuțire și reacoperire. Deoarece costurile de îndepărtare sunt semnificativ mai mici decât cele pentru fabricarea unor instrumente noi, această strategie oferă posibilitatea unei durate de viață „infinite” a instrumentelor, cu respectarea unor protocoale adecvate de întreținere.

Recomandări Strategice

TiCN este recomandat pentru instrumentele medicale cu uzură intensă, care necesită duritate maximă și frecare redusă, deoarece costul inițial mai ridicat este compensat de intervale de utilizare mult mai lungi și o durabilitate sporită. TiN rămâne o opțiune rentabilă pentru instrumentele mai mici sau pentru aplicații cu cerințe moderate de uzură, mai ales acolo unde biocompatibilitatea este esențială. Indiferent de tipul acoperirii ales, includerea unor cicluri regulate de îndepărtare și reacoperire poate reduce dramatic costurile totale pe durata de viață a instrumentelor, în special pentru instrumentele chirurgicale de valoare mare.

Limitări

Îndepărtarea acoperirii nu este, în general, fezabilă pentru substraturile din carbură, deoarece procesul poate ataca chimic liantul de cobalt din instrument, ducând la degradarea structurală. De asemenea, temperaturile ridicate necesare pentru depunerea TiCN (până la 450°C) pot impune verificări de compatibilitate pentru a se asigura că materialul substratului nu se deformează sau degradează în timpul acoperirii.

Capitolul VII Concluzii, contribuții personale și cercetări viitoare

Această cercetare abordează o provocare esențială în domeniul sănătății: optimizarea întreținerii și fiabilității instrumentelor medicale printr-un cadru strategic bazat pe date. Prin combinarea evaluării riscurilor, monitorizării condiției și modelării costurilor pe durata de viață, studiul promovează o tranziție de la întreținerea reactivă la cea predictivă, îmbunătățind siguranța și eficiența operațională în mediile medicale. Validarea în medii reale a demonstrat că întreținerea bazată pe condiție și monitorizarea avansată, aliniată cu standarde precum ISO 13485, sporesc semnificativ performanța.

Cercetarea include, de asemenea, un studiu comparativ al acoperirilor TiN și TiCN aplicate pe instrumente chirurgicale din oțel inoxidabil prin metoda de evaporare cu arc catodic. Ambele acoperiri îmbunătățesc considerabil duritatea, rezistența la uzură și biocompatibilitatea, sporind durabilitatea și funcționalitatea instrumentelor. Cu toate acestea, TiCN nu a depășit TiN în ceea ce privește duritatea, ceea ce indică necesitatea unei optimizări suplimentare a procesului.

În plus, studiul investighează rolul energiei libere a suprafeței, coroziunii și rugozității asupra duratei de viață a instrumentelor chirurgicale. S-a constatat că o rugozitate crescută a suprafeței, combinată cu coroziunea, accelerează degradarea și mărește energia suprafeței, ceea ce poate afecta negativ rezistența la coroziune. Diverse metode de măsurare au confirmat aceste efecte, subliniind importanța gestionării condiției suprafeței.

Cercetările viitoare ar trebui să exploreze diferite tipuri de oțel, tratamente de suprafață și utilizarea clinică pe termen lung pentru a înțelege mai bine și a îmbunătăți rezistența la coroziune și durabilitatea instrumentelor chirurgicale. În ansamblu, studiul aduce contribuții valoroase pentru îmbunătățirea performanței, siguranței și duratei de viață a instrumentelor medicale prin acoperiri, strategii de întreținere și știința suprafețelor.