



Universitatea Națională
de Știință și Tehnologie
POLITEHNICA BUCUREȘTI

ȘCOALA DOCTORALĂ ȘTIINȚA ȘI
INGINERIA MATERIALELOR
DEPARTAMENTUL DE ȘTIINȚA
MATERIALELOR METALICE,
METALURGIE FIZICĂ



Rezumat al tezei de doctorat

**Contribuții privind tehnologiile de obținere și procesare a
aliajelor Co-Cr utilizate în restaurări metalo-ceramice**

**Contributions regarding technologies for obtaining and
processing Co-Cr alloys used in metal-ceramic restorations**

Doctorand: DAWOD NAZEM

Conducător de doctorat: Prof.Univ.Habil.Dr.Ing. ANTONIAC VASILE-IULIAN

București 2023



Universitatea Națională
de Știință și Tehnologie
POLITEHNICA BUCUREȘTI

ȘCOALA DOCTORALĂ ȘTIINȚA
ȘI INGINERIA MATERIALELOR
DEPARTAMENTUL DE ȘTIINȚA
MATERIALELOR METALICE,
METALURGIE FIZICĂ



TEZĂ DE DOCTORAT

**Contribuții privind tehnologiile de obținere și procesare a
aliajelor Co-Cr utilizate în restaurări metalo-ceramice**

**Contributions regarding technologies for obtaining and
processing Co-Cr alloys used in metal-ceramic restorations**

Doctorand: DAWOD NAZEM

Conducător de doctorat: Prof.Univ.Habil.Dr.Ing. ANTONIAC VASILE-IULIAN

Comisia de doctorat

Președinte	Prof.Dr.Ing. Semenescu Augustin	Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica din București
Conducător de doctorat	Prof.Habil.Dr.Ing. Antoniac Vasile Iulian	Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica din București
Referenți științifici	Prof.Dr.Ing. Bejinariu Costică	Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi din Iași
	Conf.Dr.Med. Ciocan Toma Lucian	Universitatea de Medicină și Farmacie Carol Davila București
	Prof.Dr.Ing. Ghiban Brândușa	Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica din București

București 2023

Mulțumiri

Această teză ar fi fost imposibilă fără ajutorul, sprijinul și îndrumarea unor oameni minunați care, prin modul lor de a fi, au contribuit la formarea mea ca om, însuflându-mi dorința de a o finaliza. Le mulțumesc încă o dată pentru toate acele lecții de viață oferite de-a lungul timpului și pentru exemplul pe care l-au constituit pentru mine.

În primul rând, vreau să mulțumesc conducătorului științific al acestei teze de doctorat, domnului prof. univ. habil. dr. ing. Vasile Iulian Antoniac de la Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica din București, pentru încredere, profesionalism și calitatea științifică oferită, dar mai ales pentru timpul, răbdarea și înțelegerea de care a dat dovadă tot timpul.

Această teză de doctorat nu ar fi fost completă fără sprijinul și ajutorul esențial al unor cadre didactice de la Facultatea de Știința și Ingineria Materialelor, Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica din București, respectiv prof.univ.habil.dr.ing. Florin Miculescu, prof.univ.habildr.ing. Marian Miculescu, conf.dr.ing. Cosmin-Mihai Cotruț, S.L.dr.ing. Alina Robu și S.L.dr.ing. Ana Iulia Bița. Le mulțumesc pentru timpul, ajutorul și sfaturile științifice prețioase acordate.

Le mulțumesc membrilor comisiei de doctorat, respectiv prof.dr.ing. Bejinariu Costică de la Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi din Iași, conf.dr.med. Ciocan Toma Lucian de la Universitatea de Medicină și Farmacie Carol Davila din București și prof.dr.ing. Brândușa Ghiban de la Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica București, pentru timpul acordat evaluării tezei de doctorat. De asemenea, le mulțumesc membrilor comisiei de îndrumare doctorală, respectiv prof.habil.dr.ing. Marian Miculescu, Ș.L.dr.ing. Octavian Trante și Ș.L.dr.ing. Vasilescu Marius pentru timpul alocat și sugestiile utile primite pe toată perioada stagiului doctoral.

Doresc să le mulțumesc tuturor profesorilor care de-a lungul timpului mi-au însoțit și călăuzit pașii, dar și pentru însuflarea dorinței de a cunoaște și de a experimenta.

Mulțumiri tuturor colegilor doctoranzi, cadrelor didactice din Departamentul Știința Materialelor Metalice Metalurgie Fizică, Facultatea de Știința și Ingineria Materialelor, Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica București, tuturor prietenilor care m-au încurajat și susținut.

Vă mulțumesc!

*Cu considerație,
DAWOD NAZEM*

Cuprins

Capitolul 1 Introducere	7
Capitolul 2 Materialele utilizate în restaurările protetice dentare de tip metal-ceramică.....	7
2.1. Aspecte specifice privind utilizarea și funcționalitatea restaurărilor protetice dentare.....	10
2.2. Materiale metalice utilizate în restaurările protetice dentare	13
2.3. Materiale ceramice utilizate în restaurările protetice dentare	26
Capitolul 3 Tehnologii și metode privind obținerea, caracterizarea și testarea restaurărilor protetice dentare de tip metal-ceramică	32
3.1. Tehnologia de obținere a componentei metalice	Error! Bookmark not defined. 32
3.2. Tehnologia de obținere a componentei ceramice	Error! Bookmark not defined. 35
3.3. Factori care influențează adeziunea ceramicii dentare la suprafața materialului metalic.....	37
3.4. Metode de caracterizare și testare a restaurărilor protetice dentare de tip metal-ceramică	44
Capitolul 4 STUDIUL 1 - Identificarea limitelor existente privind obținerea componentei metalice a restaurărilor protetice dentare de tip metal-ceramică, din aliaje Co-Cr comerciale, prin tehnologia de turnare .	54
4.1. Obiectivul studiului experimental 1	54
4.2. Materiale și metode utilizate în studiul experimental 1	55
4.3. Rezultate și discuții privind studiul experimental 1	64
4.4. Concluzii privind studiul experimental 1	66
Capitolul 5.....	67
STUDIUL 2 – Obținerea experimentală a unor noi aliaje Co-Cr aliate cu metale prețioase, prin tehnologia de turnare, pentru componenta metalică a restaurărilor protetice dentare de tip metal-ceramică	
5.1. Obiectivul studiului experimental 2	67
5.2. Materiale și metode utilizate în studiul experimental 2	68
5.3. Rezultate și discuții privind studiul experimental 2	70
5.4. Concluzii privind studiul experimental 2	Error! Bookmark not defined.
Capitolul 6.....	76
STUDIUL 3 - Analiza cu element finit a stării de tensiuni și deformație în restaurări protetice dentare de tip metal-ceramică, cu suport metalic din aliaje Co-Cr obținute prin tehnologii de fabricație diferite	
6.1. Obiectivul studiului experimental 3	76

6.2. Materiale și metode utilizate în studiul experimental 3	76
6.3. Rezultate și discuții privind studiul experimental 3	80
6.4. Concluzii privind studiul eperimental 3	89
Capitolul 7.....	90
STUDIUL 4 - Studiu privind compatibilitatea componentelor în cazul unor restaurări protetice dentare de tip metal-ceramică, cu suport metalic din aliaje Co-Cr obținute prin tehnologii de fabricație diferite	
7.1. Obiectivul studiului experimental 4	90
7.2. Materiale și metode utilizate în studiul experimental 4	90
7.3. Rezultate și discuții privind studiul experimental 4	97
7.4. Concluzii privind studiul experimental 4	114
Capitolul 8 Concluzii, contribuții proprii și direcții viitoare de cercetare	115
8.1. Concluzii	22
8.2. Contribuții proprii	119
8.3. Direcții viitoare de cercetare	120
Valorificarea rezultatelor cercetării.....	121
Bibliografie	124
Lista figurilor	130
Lista Tabelelor	130

ABSTRACT

Restaurările metalo-ceramice sunt restaurări protetice care îmbină rezistența mecanică și fizionomia formate dintr-o substructură metalică care susține o structură ceramică. Sistemele metalo-ceramice sunt utilizate pentru restaurările dentare care urmăresc să combine proprietățile aliajelor metalice, precum rezistența la tracțiune, rezistența la compresiune, rezistența la uzură, respectiv rezistența la coroziune, cu aspectul estetic, deținut în mod natural de materialele ceramice. Sistemele obținute din aceste două tipuri de materiale, au avut un succes semnificativ în ultimii ani, mulțumită capacității lor de a îndeplini cerințele funcționale ale restaurărilor dentare, oferind în același timp și rezultate estetice excelente. Comportamentul bun la coroziune, mai ales sub influența lichidelor din cavitatea bucală, dar și biocompatibilitatea cu țesuturile orale, le-au făcut să devină una dintre cele mai cerute opțiuni de pe piață.

În ceea ce privește vasta aplicabilitate în domeniul stomatologic, una dintre principalele aplicații ale sistemelor metalo-ceramice în stomatologie este utilitatea lor în fabricarea coroanelor și punților dentare. Aliajul metalic subadiacent oferă stabilitate structurală și un caracter robust, în timp ce stratul ceramic, prin diverse combinații de nuanțe, reproduce aspectul natural al dinților, rezolvând problema din punct de vedere estetic. Combinația dintre metal și ceramică permite un control precis asupra nuanței, translucidității și texturii suprafeței restaurării, făcând ca rezultatul restaurării să se îmbine perfect cu dentiția naturală a pacientului.

O altă aplicație satisfăcută de aceste sisteme este construcția de proteze pe implanturi. Substructura metalică oferă rezistența necesară pentru a rezista forțelor ocluzale, în timp ce stratul ceramic oferă un aspect natural, imitând proprietățile optice ale dinților vecini. Pe lângă aceste beneficii, biocompatibilitatea metalo-ceramicelor minimizează riscul de reacții alergice și răspunsuri adverse ale țesuturilor, asigurând succesul pe termen lung și satisfacția pacientului.

Legătura dintre metal și ceramică asigură funcționarea simultană a celor două materiale pentru a oferi rezistența și durabilitatea necesare unei restaurări dentare, pentru ca aceasta să poată fi supusă forțelor de tăiere și masticăție din cavitatea bucală. O legătură puternică previne ciobirea sau fisurarea ceramicii, ceea ce poate duce la eșecul restaurării în timp.

În plus, legătura dintre metal și ceramică conferă un aspect natural și adecvat din punct de vedere estetic. Atunci când aceasta este puternică, ceramica poate fi stratificată și modelată pentru a se potrivi perfect cu dinții naturali din jur. Acest lucru este esențial pentru a crea o restaurare realistă și atractivă din punct de vedere vizual, care se îmbină armonios cu restul dentiției pacientului.

Un aspect important de luat în calcul pentru o funcționare bună a sistemelor metalo-ceramice, dar și pentru succesul pe termen lung al restaurării depinde de rezistența legăturii dintre cele două materiale.

Retenția sau adeziunea metalului la diferite substraturi precum smalț, dentină, ceramică, rășini vechi și alte metale este crucială în asigurarea unei restaurări de succes, iar în practica stomatologică de astăzi, axată pe estetică, clinicienii solicită grunduri sau adezivi multifuncționali care pot oferi o aderență puternică și durabilă.

Capitolul 1

Introducere

Restaurările metalo-ceramice sunt restaurări protetice care îmbină rezistența mecanică și fizionomia formate dintr-o substructură metalică care susține o structură ceramică. Sistemele metalo-ceramice sunt utilizate pentru restaurările dentare care urmăresc să combine proprietățile aliajelor metalice, precum rezistența la tracțiune, rezistența la compresiune, rezistența la uzură, respectiv rezistența la coroziune, cu aspectul estetic, deținut în mod natural de materialele ceramice. Sistemele obținute din aceste două tipuri de materiale, au avut un succes semnificativ în ultimii ani, mulțumită capacității lor de a îndeplini cerințele funcționale ale restaurărilor dentare, oferind în același timp și rezultate estetice excelente. Comportamentul bun la coroziune, mai ales sub influența lichidelor din cavitatea bucală, dar și biocompatibilitatea cu țesuturile orale, le-au făcut să devină una dintre cele mai cerute opțiuni de pe piață.

Legătura dintre metal și ceramică asigură funcționarea simultană a celor două materiale pentru a oferi rezistența și durabilitatea necesare unei restaurări dentare, pentru ca aceasta să poată fi supusă forțelor de tăiere și masticăție din cavitatea bucală. O legătură puternică previne ciobirea sau fisurarea ceramicii, ceea ce poate duce la eșecul restaurării în timp [3].

În plus, legătura dintre metal și ceramică conferă un aspect natural și adecvat din punct de vedere estetic. Atunci când aceasta este puternică, ceramica poate fi stratificată și modelată pentru a se potrivi perfect cu dinții naturali din jur. Acest lucru este esențial pentru a crea o restaurare realistă și atractivă din punct de vedere vizual, care se îmbină armonios cu restul dentiției pacientului.

În prezent, cele mai utilizate aliaje metalice nenobile pentru restaurările metalo-ceramice sunt materialele nichel-crom (Ni-Cr). Dar potențialele probleme de sănătate asociate cu nichelul au condus la dezvoltarea preponderentă a cercetărilor în privința aliajelor cobalt-crom (Co-Cr) [8, 10].

Capitolul 2

Materialele utilizate în restaurările protetice dentare de tip metal-ceramică

În stomatologie, aliajele metalice pot fi clasificate în funcție de numărul de elemente constitutive, atunci când acest număr de componente implică doar două elemente combinate în proporții diferite, se numesc sisteme binare, iar când implică trei sau mai multe elemente, se numesc sisteme ternare [5, 6].

În funcție de compoziția chimică a aliajelor dentare nobile se identifică trei categorii: aliaje ultra-nobile (HN), aliaje nobile (N) și aliaje predominante metale de bază (PB). Această clasificare este prezentată în Tabelul 2.2. [9]. Metalele nobile cuprind un grup de șapte metale care sunt rezistente la mediul puternic coroziv din cavitatea bucală. În ordinea creșterii temperaturii de topire, acestea includ: aur, paladiu, platină, rodiu, ruteniu, iridiu și osmiu. Doar aurul, paladiul și platina, care au cele mai scăzute temperaturi de topire dintre cele șapte metale nobile, sunt în prezent de importanță majoră în aliajele dentare [10, 11]. Metalele nobile amintite și argintul sunt uneori numite metale prețioase, datorită valorilor economice ridicate, termenul prețios nefiind sinonim cu nobil. Argintul este reactiv în cavitatea bucală și nu este considerat un metal nobil.

Tabelul 2.2. Clasificarea aliajelor dentare în funcție de conținutul de metale nobile [9]

Tipul de aliaj dentar	Conținutul de metale nobile
Ultra-nobil (HN)	$\geq 40\%$ Au și $\geq 60\%$ din greutatea totală a aliajului
Nobile (N)	$\geq 25\%$ din greutatea totală a aliajului
Pe bază de metal (PB)	$< 25\%$ din greutatea totală a aliajului

În protetica dentară, aliajele Cr-Co au fost folosite de Prange și Renge în anul 1933 sub denumirea de Vitalium, datorită calităților sale deosebite anticorozive și a unei bune fluidități, ideale pentru osteosinteză. Au aplicații în confecționarea carcaselor metalice turnate, a protezelor scheletate, punților, dar și în imobilizarea dinților. În prezent se utilizează peste 100 de varietăți ale acestor aliaje și se elaborează altele noi cu calități îmbunătățite [26, 27, 28]. Toate aliajele utilizate în decursul timpului s-au dovedit a fi în conformitate cu cerințele ISO 6871-1:1994, [10] care dictează că suma procentelor masice de Co, Cr și Ni nu trebuie să fie mai mică de 85 (%wt, procente masice), pe când cea a Cr și Mo nu ar trebui să fie mai puțin de 25%.

Tabelul 2.7. Compoziția elementară a aliajelor comerciale [7]

Elemente	Wironit LA	Wironium plus	Suprachrome	Vitalium	BrealloyF400
Co	63,5	62,5	63,6	63,4	64,7
Cr	5,0	29,5	28,5	29,0	29,0
Mo	1,2	5,0	6,0	5,2	5,0
Si	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	0,5
Mn	-	<1,0	<1,0	<1,0	0,4
Fe	<1,0	<1,0	-	-	-
Ta	<1,0	<1,0	-	-	-
C	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	0,4
N	<1,0	<1,0	-	<1,0	-

Masele ceramice utilizate inițial în medicina dentară, respectiv portelanul dentar, au revoluționat acum câteva zeci de ani protetica dentară. Componentii de baă ai porțelanului dentar sunt: caolin, feldspat, quartz, ce se folosesc în proporții diferite. Pe lângă acești componenți de bază, în compoziția ceramicii dentare se mai adaugă o serie de alte substanțe, ca: fondantul, oxizii metalici, agenții adiționali sau de flux [10, 11, 12, 22, 23].

Capitolul 3

Tehnologii și metode privind obținerea, caracterizarea și testarea restaurărilor protetice dentare de tip metal-ceramică

În prezent, componentele metalice din aliaje Co-Cr ale restaurărilor protetice dentare tip metalo-ceramică pot fi fabricate folosind, în principal, trei tehnologii de obținere diferite: turnare convențională, frezare sau topirea selectivă cu laser (SLM). Cu toate acestea, mai există și alte metode de obținere a aliajelor dentare disponibile și utilizate în protetica dentară. Fiecare

modalitate prezintă atât avantaje cât și dezavantaje, fiind aleasă în raport cu posibilitățile fiecărui laborator.

Capitolul 4: STUDIUL 1 - Identificarea limitelor existente privind obținerea componentei metalice a restaurărilor protetice dentare de tip metal-ceramică, din aliaje Co-Cr comerciale, prin tehnologia de turnare

O primă metodă de evaluare a corectitudinii lucrărilor protetice turnate este reprezentată de analiza macroscopică a probelor obținute. Examenul macroscopic a fost realizat cu ochiul liber și cu lupa, în condiții de iluminare a suprafețelor examinate, cu surse care să permită orientarea luminii perpendicular pe acestea.

Am urmărit în primul rând ca scheletul metalic să nu fie modificat în raport cu macheta realizată inițial. Acest defect ar putea să apară în cazul în care metoda de realizare a machetei a generat contracții importante ale cerii după răcire sau nu s-a realizat etapa de detensionare (Figura 4.11.).



Figura 4.11. Identificarea de defecte la nivelul coletului

Un alt aspect care se poate observa la nivelul suprafeței este reprezentat de defectele de omogenitate macroscopică, respectiv incluziuni de gaze, sulfuri sau masă de ambalat. Piesele turnate obținute în laboratoarele de tehnică dentară sunt realizate după tehnologii de înaltă precizie, ceea ce are drept efect eliminarea acestor incluziuni; nerespectarea unor parametrii tehnologici poate duce uneori la apariția unor incluziuni de gaze, cunoscute sub numele de pori. Porii sunt microcavități de formă sferică, umplute sau nu cu gaze, dispuse în interiorul masei metalice sau la suprafața lucrării protetice.

Porii sunt determinați de următoarele cauze: supraîncălzirea aliajul, sursă de căldură inefficientă, rezervorul de aliaj topit cu diametrul mic neputând să asigure cantitatea necesară de aliaj în tipar, istmul dintre rezervorul de aliaj lichid și cavitatea tiparului cu diametru mai mic de 2,2 – 2,5 mm, rezervorul de aliaj topit plasat incorect în centrul tiparului, forța de turnare a aliajului topit în tipar redusă ca intensitate și durată (Figura 4.12.).



Figura 4.12. Decelarea prezenței porilor

Forma și volumul piesei turnate pot fi modificate din cauza *lipsurilor*, care sunt parțiale sau totale.

Lipsurile parțiale sunt determinate de cantitatea insuficientă de aliaj utilizată pentru topire, forța de turnare inefficientă, sursa de caldură nu a topit în mod corespunzător aliajul, tiparul nu a fost încălzit la temperatura optimă astfel încât să favorizeze curgerea aliajului fluid, tiparul a prezentat o zonă cu dimensiuni foarte reduse ceea ce a constituit un obstacol în calea aliajului lichid, prezența gazelor în tipar ca urmare a nerealizării sau aplicării incorecte a canalelor de evacuare (Figura 4.13.).



Figura 4.13. Lipsuri parțiale de la nivelul scheletelor metalice turnate

Forma și volumul piesei protetice modificată din cauza plusurilor prin prezența unei cantități reduse de aliaj, solidificată pe suprafețele piesei poate avea diferite forme: sferice, lamelare sau conuri aciforme, acestea reprezentând defectul numit plus de material.

Aceste modificări apar în două momente diferite ale procesului tehnologic: la ambalarea machetei și la încălzirea tiparului pentru turnare.

După forma pe care o prezintă plusul, se deduce cauza ce a determinat defectul. Forma sferică a plusului este consecința neaplicării intime a masei de ambalat pe suprafața machetei sau prezenței incluziunilor de aer în timpul obținerii tiparului (Figura 4.14.).



Figura 4.14. Plusuri sferice de la nivelul scheletelor metalice turnate

Capitolul 5: STUDIUL 2 – Obținerea experimentală a unor noi aliaje Co-Cr aliate cu metale prețioase, prin tehnologia de turnare, pentru componenta metalică a restaurărilor protetice dentare de tip metal-ceramică

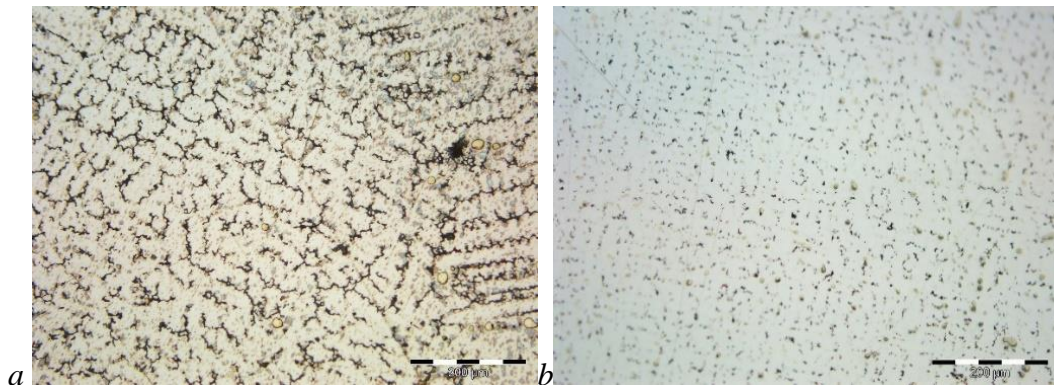
5.3. Rezultate și discuții privind studiul experimental 2

Rezultatele investigațiilor de microscopie optică sunt prezentate în Figura 5.4.

Aliajele experimentale au o structură dendritică formată din soluția solidă de Co, iar, în spațiul interdendritic, se poate observa prezența eutecticului. Aceste aspecte sunt specifice aliajelor Co-Cr turnate. Elementele de aliere sunt poziționate în general în spațiile interdendritice.

Toate aliajele experimentale au prezentat o structură dendritică, din punct de vedere microstructural.

Compușii microstructurali pe bază de aur au un aspect globular și o distribuție relativ uniformă.



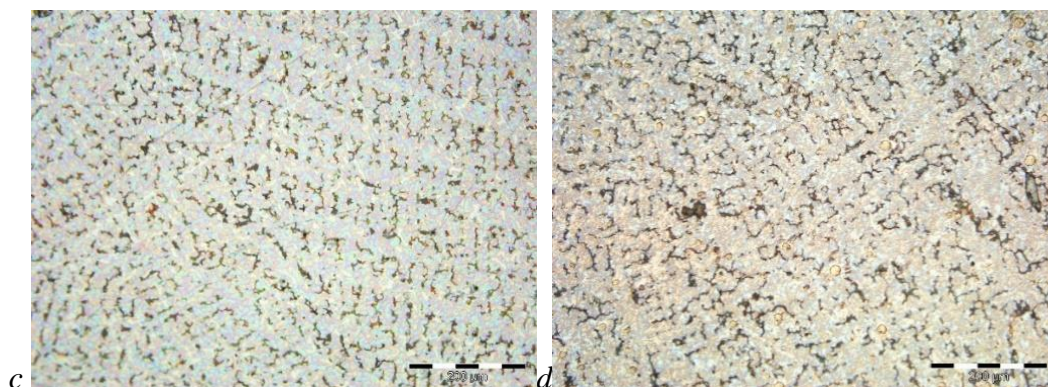
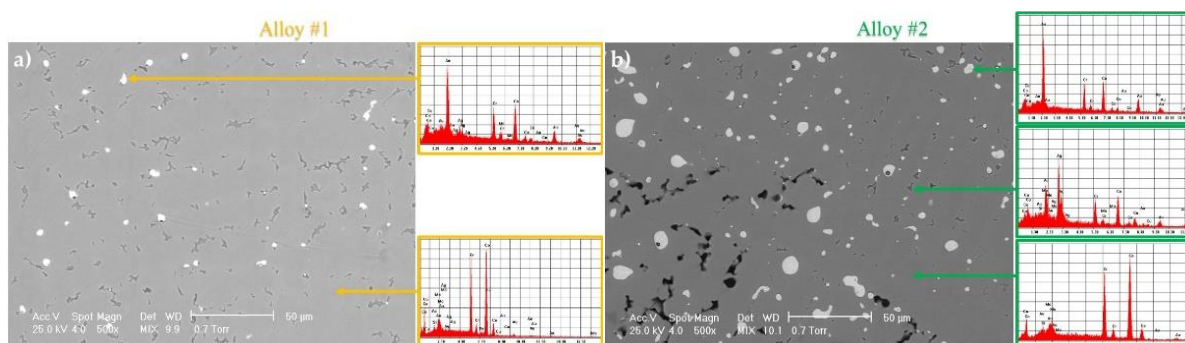


Figura 5.4. Aspecte microstructurale obținute cu ajutorul microscopiei optice, corespunzătoare fiecărui aliaj dentar experimental pe bază de Co-Cr: a) Aliaj #1, b) Aliajul #2, c) Aliajul #3, d) Aliajul #4

În Figura 5.4.b, adăugarea elementelor de aliere rafinează dimensiunea dendritelor dar menține un grad scăzut de porozitate. În Figura 4.c, structura dendritică este uniformă, iar în Figura 5.4.d, structura dendritică este perturbată, porozitățile fiind mai mici dar mai voluminoase.

În cazul aliajelor dentare experimentale, deosebit de complexe din punct de vedere compozițional și microstructural, se recomandă utilizarea microscopiei electronice de baleiaj SEM cuplată cu spectrometria de raze X prin dispersie de energie (EDS) pentru punerea în evidență a detaliilor microstructurale. În Figura 5.5., sunt prezentate rezultatele experimentale obținute pentru cele 4 aliaje experimentale.

După cum se poate observa în Figura 5.5., în Aliajul #1 și Aliajul #4, cu conținut de 7% Au și 14% Au, acesta nu este distribuit uniform, generând incluziuni globulare (evidențiate în Figura 5.5a și Figura 5.5d) și pot influența proprietățile mecanice ale biomaterialului. Aceste zone sunt compuse în primul rând din aur conform analizelor chimice. În Figura 5.5.b, aliajul cu un conținut de 2% Ag și 5% Au nu prezintă structură dendritică specifică structurii aliajelor de tip Co-Cr. Eșantionul #3 (Figura 5.5.c) arată cea mai bună structură omogenă, iar elementele de aliere sunt distribuite uniform. Figura 5.5.c (Aliajul #3) prezintă o formațiune globulară care (conform spectrului indicat de săgeată) are o compoziție predominantă de Zr și Nb.



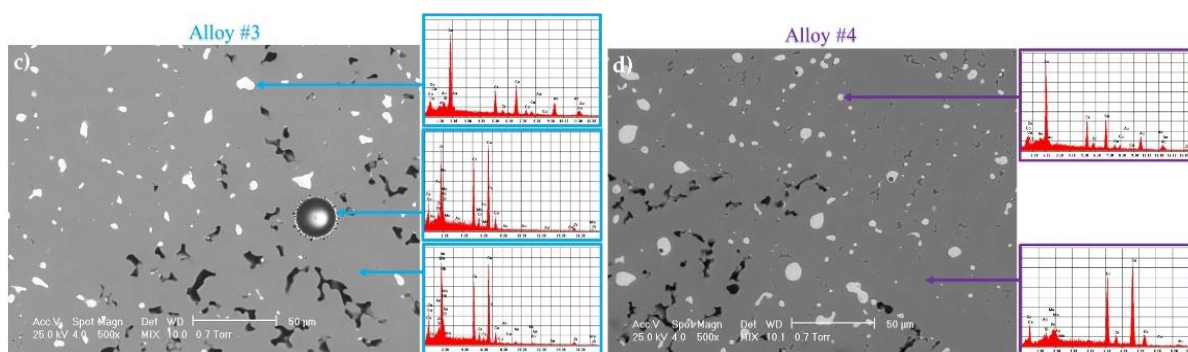


Figura 5.5. Aspecte microstructurale obținute prin SEM asociate cu EDS la fiecare aliaj experimental dentare pe bază de Co-Cr: a) Aliajul #1, b) Aliajul #2, c) Aliajul #3, d) Aliajul #4

Tabelul 5.2. Compozițiile nominale ale probelor (% în greutate) ale aliajelor experimentale obținute

	Referința Co-Cr	Aliaj #1	Aliaj #2	Aliaj #3	Aliaj #4
Co	60,51	55,36	56,07	36,15	57,39
Cr	28,66	25,96	26,62	16,23	25,26
Mo	4,89	8,66	7,83	14,85	-
Si	2,61	1,15	0,89	1,13	1,01
Au	-	7,41	5,39	7,68	14,81
Ag	-	-	2,07	-	-
Zr	-	-	-	20,59	-
Nb	-	-	-	1,97	-
Cu, Fe	Balance				

În urma analizei, aceeași compoziție a fost identificată ca fiind cea estimată inițial pentru formarea aliajelor dentare optimizate experimentale din sistemul Co-Cr.

Rezistența bună la coroziune a materialului implică o valoare electropozitivă a potențialului de coroziune (E_{corr}). Din acest punct de vedere, se poate observa că Aliajul #4 are cea mai electropozitivă valoare a curentului de coroziune. Densitatea curentului de coroziune (i_{corr}) este cel mai important parametru electrochimic, comportamentul mai bun corespunzând valorii mai pozitive. Dintre aliajele testate, se poate observa că Aliajul #3 are cea mai mică valoare a acestui parametru ($44,65 \text{ nA/cm}^2$), evidențiind un caracter anticoroziv mai bun decât celelalte aliaje testate.

Tabelul 5.4. Principalii parametri ai procesului de coroziune electrochimică

Nr.	Codificarea probelor	E_{corr} (mV)	i_{corr} (nA/cm ²)	β_c (mV)	β_a (mV)	R_p (kΩxcm ²)
1	Aliaj #1	105.16	76.75	113.72	350.59	486.41
2	Aliaj #2	54.21	532.43	215.48	556.83	126.86
3	Aliaj #3	66.08	44.65	172.46	76.87	517.71
4	Aliaj #4	118.48	259.48	285.54	101.47	125.44

Din punct de vedere al rezistenței la polarizare (R_p), se poate observa că materialul cu cea mai mare valoare este Aliajul #3 ($517,71 \text{ kΩxcm}^2$), demonstrând astfel că are cel mai bun comportament la coroziune dintre aliajele testate.

Aliajul care prezintă cea mai bună rezistență la coroziune este Aliajul #3 (cu 7% Au, 20% Zr și 2% Nb) - cu i_{cor} de 44,65 nA/cm² și R_p de 517,71 kΩxcm² urmat de Aliajul #1 (cu 7% Au) cu i_{cor} de 76,75 nA/cm² și R_p de 486,41kΩxcm².

Celelalte două aliaje au valori i_{cor} mult mai mari, respectiv 259,48 nA/cm² Aliajul #4 și 535,43 nA/cm² Aliajul #2 și valori mult mai mici ale R_p (125,44 kΩxcm² pentru aliajul #4 și 126,86 kΩxcm² pentru Aliajul #2).

Capitolul 6: STUDIUL 3 - Analiza cu element finit a stării de tensiuni și deformație în restaurări protetice dentare de tip metal-ceramică, cu suport metalic din aliaje Co-Cr obținute prin tehnologii de fabricație diferite

6.3. Rezultate și discuții privind studiul experimental 3

Deplasarea punții dentare sub acțiunea sollicitării mecanice

Deplasarea punții pune în evidență în mod calitativ și cantitativ modul în care structura încărcată cu sollicitare și fixată prin intermediul inserturilor metalice se va deforma. Sunt prezentate în cele ce urmează două tipuri de deplasări ale structurii: deplasarea pe direcția verticală (Z) în Figura 6.8. și deplasarea totală în Figura 6.9.

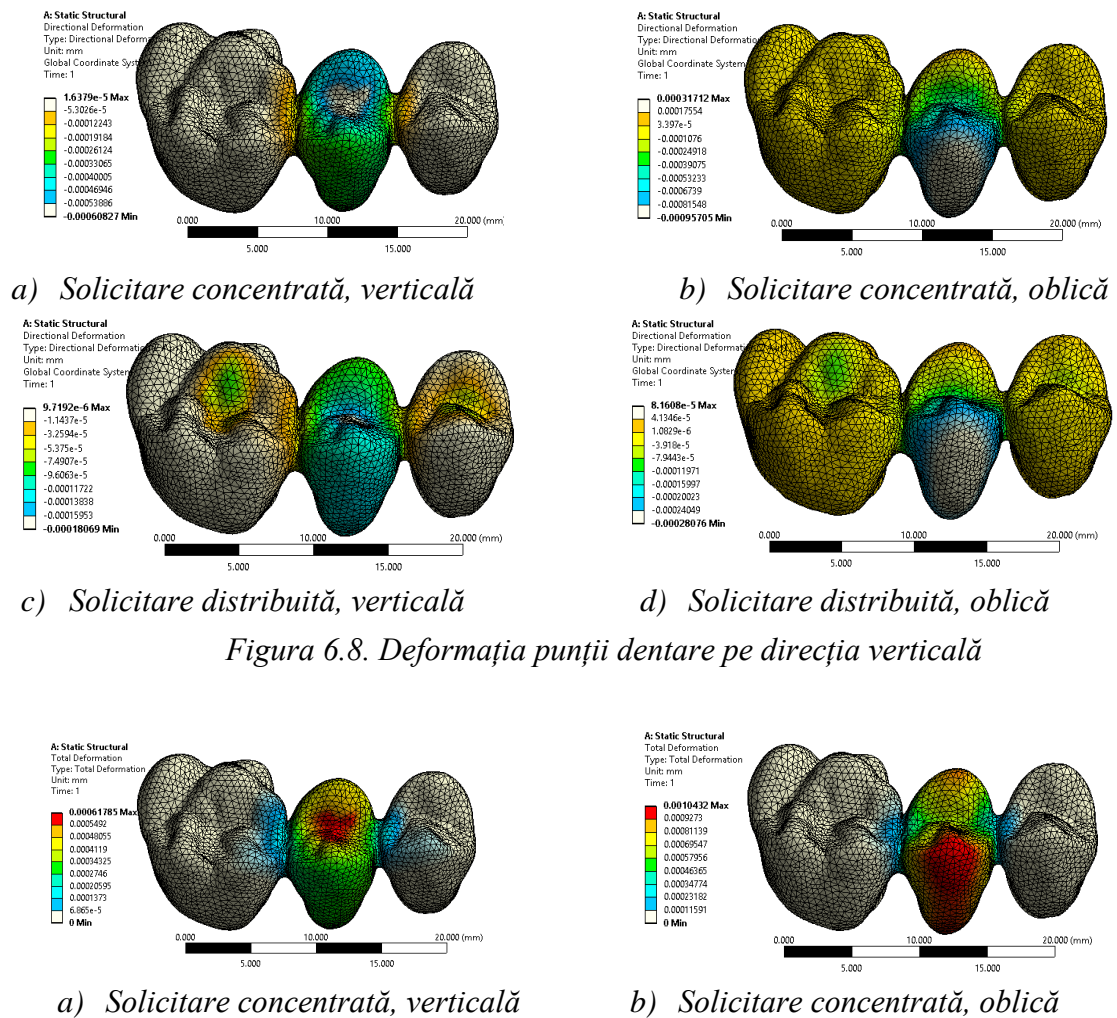
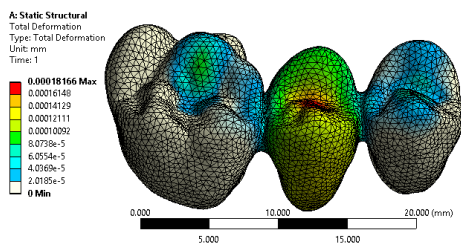
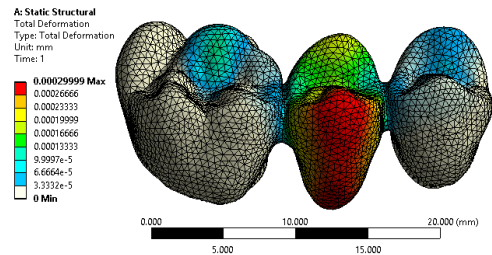


Figura 6.8. Deformația punții dentare pe direcția verticală



c) Solicitare distribuită, verticală



d) Solicitare distribuită, oblică

Figura 6.9. Deformația totală a punții dentare

În ceea ce privește deplasarea direcțională a insertului, aceasta este la valori de ordinul 10^{-5} - 10^{-6} mm, adică foarte reduse (Figura 6.11.). Valorile acestea se constată indiferent de tipul de obținere al aliajului de Co-Cr deoarece în orice modalitate de obținere (turnat, sinterizat sau frezat CAM), rigiditatea acestuia este asemănătoare și la un nivel foarte ridicat. La aceasta mai contribuie și faptul că insertul metalic este captiv între coroana ceramică și suprafața simulată a structurii dentare.

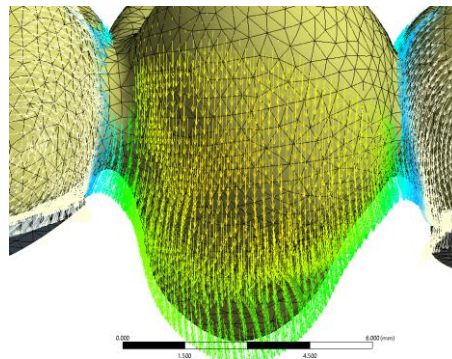


Figura 6.10. Deformația totală, vedere vectorială

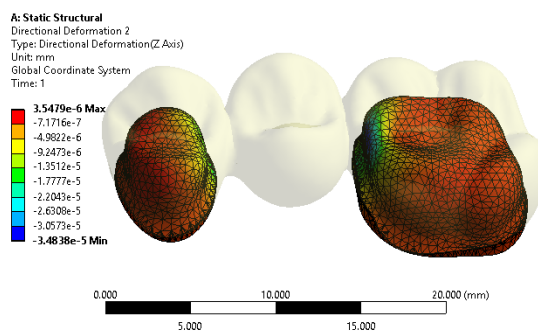


Figura 6.11. Deplasarea direcțională a insertului metalic

Tensiunile echivalente și de forfecare ale punții dentare

Tensiunile de forfecare se referă la tensiunile care apar în structură pentru a se opune tendinței de mișcare de rotație relativă sau alunecare a două suprafețe. În Figura 6.12. se observă modul de distribuție al acestor tensiuni în strânsă legătură cu direcția de solicitare și modul de distribuție. Valorile maxime înregistrate la nivelul întregii structuri variază între 1 și 12 MPa, ceea ce reprezintă puțin prin comparație cu rezistența mecanică a ceramicii dentare și a aliajului

Co-Cr. Acest lucru indică faptul că structura va rămâne integră pentru valori de solicitare fiziologice, atât din punct de vedere al insertului dar și din punct de vedere al ceramicii.

Tensiunile maxime principale se urmăresc deoarece acestea reprezintă un element de predicție al fracturării unei suprafețe. Astfel, dacă un model cu proprietăți de material fragil este supus unei stări multiaxiale de tensiune, atunci ruperea va apărea când tensiunile principale maxime oriunde în componentă depășesc rezistența mecanică locală [10].

În Figura 6.14. se prezintă tensiunile principale maxime din suprafețele elementelor de angajare (insertul metalic). Se observă o distribuție circulară a acestora în cazul solicitării uniform distribuite, cu valori crescute spre extremitățile secțiunilor. În cazul forțelor punctiforme efectul încovoietor conduce la o încărcare a inserturilor cu orientare spre coroana mediană. Valorile tensiunilor sunt foarte reduse comparativ cu limita de curgere și R_m aliajului Co-Cr și deci structura nu prezintă nici un risc de cedare mecanică.

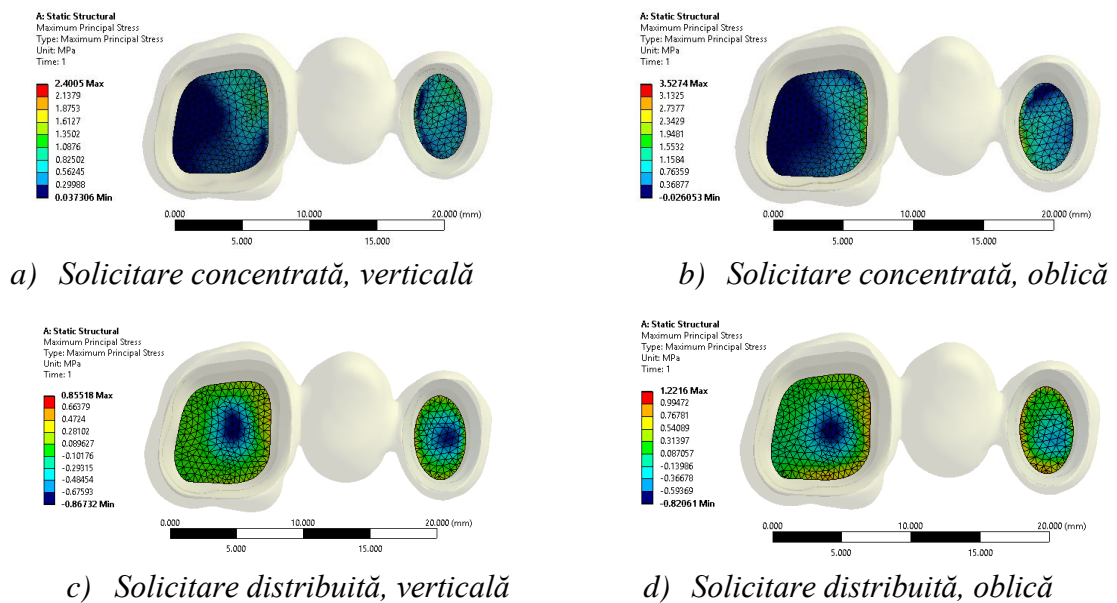


Figura 6.14. Tensiunile principale maxime din suprafața elementelor de angajare

Performanța punții în funcție de modul de obținere al aliajului Co-Cr

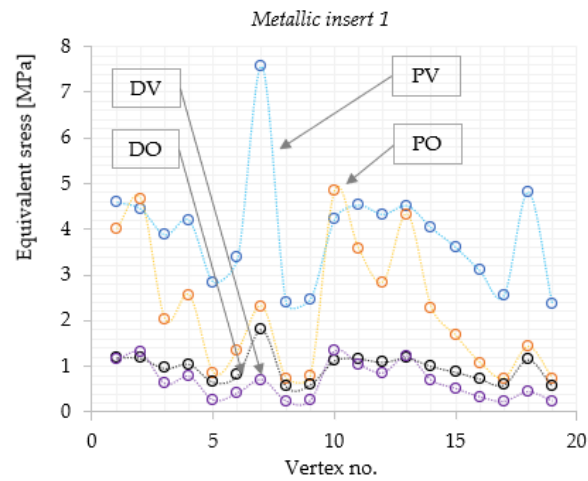
Performanța punții dentare sub aspectul tipului de aliaj Co-Cr utilizat este prezentată în cele ce urmează, ca valori ale tensiunii maxime din insertul metalic.

La compararea valorilor de tensiune în conformitate cu cele 3 tipuri de materiale se observă un trend de similitudine indiferent de modul de solicitare. Astfel, aliajul Co-Cr sinterizat apare cu valorile de tensiune cele mai mari, urmat de aliajul frezat CAM și finalizând cu cel turnat. Acest lucru indică faptul că rigiditatea aliajului sinterizat este superioară, acesta putând prelua mai bine solicitarea.

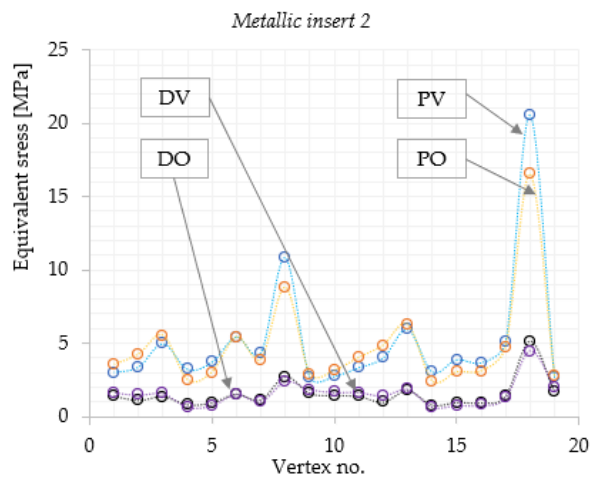
Oricum, diferențele de variație a tensiunii sunt foarte mici între cele 3 aliaje, de ordinul de mărime $< 1\text{MPa}$, ceea ce ne conduce la concluzia că din punct de vedere al modului de preluare și transmitere a sarcinii cele 3 aliaje sunt foarte similare. În Figura 6.16. sunt prezentate variațiile valorilor de tensiune din zona de maximă solicitare a elementelor metalice.

Figura 6.17. prezintă sub formă de reprezentare circulară valorile din 12 noduri prelevate circular și echidistant pe cele două contururi ale elementului ceramic al punții. Și în zona secțiunilor din ceramică dependența decisivă a tensiunilor este în legătură cu tipul de

solicitare și nu cu tipul materialului din care este confecționat insertul. Cele mai mici valori de tensiune se înregistrează pentru solicitarea uniform distribuită.



a) *Insertul metalic 1*



b) *Insertul metalic 2*

Figura 6.16. Variația tensiunilor din insertul metalic pe linia de maximă solicitare

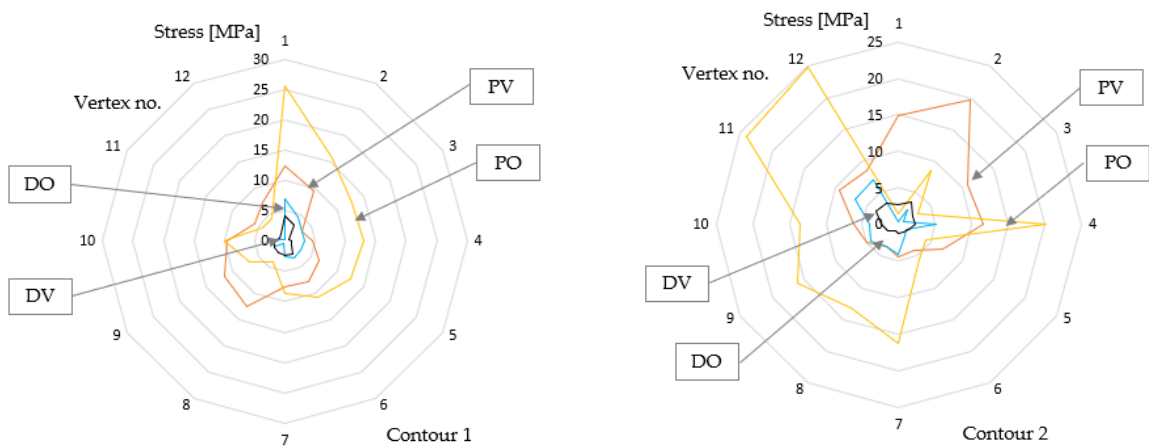


Figura 6.17. Variația tensiunilor din contururile coroanei dentare

6.4. Concluzii privind studiul experimental 3

Simularea numerică s-a realizat pe un model 3D de punte dentară construită pe un suport (insert) metalic de Co-Cr. Coroana materializează 3 molari și a fost simulată cu proprietățile mecanice generice ale ceramicii dentare. Condițiile de simulare au fost de tip fiziologic atât din punct de vedere al modulelor și direcțiilor de încărcare dar și din punct de vedere al constrângerilor.

Rezultatele analizei se referă la starea de tensiune și deformație din coroana dentară și din insertul metalic în cazul a 3 proprietăți mecanice diferite ale insertului de Co-Cr, corespunzătoare tehnologiei de fabricație a acestuia: sinterizat, frezat CAM și turnat. În urma analizei numerice se pot sublinia următoarele concluzii:

- Inserul metalic joacă un rol decisiv în obținerea unui comportament mecanic de tenacitate al ansamblului punții dentare;
- Diferențele de rezistență mecanică ale unei construcții de punte dentară pe un insert de Co-Cr sinterizat, turnat sau frezat CAM sunt ne semnificative din punct de vedere al rezistenței mecanice;
- Rigiditatea unei construcții care utilizează Co-Cr sinterizat este cu 2-3% mai mare decât în cazul aliajului obținut prin celelalte două tehnologii de fabricație;
- Modalitatea de obținere a insertului metalic este deosebit de importantă în ceea ce privește inițierea și propagarea de fisură, acest lucru influențând în mod direct comportamentul la oboseală al structurii.
- Prezența insertului metalic reduce riscul de fracturare al coroanei dentare, datorită tenacității aliajului.

Capitolul 7: STUDIUL 4 - Studiu privind compatibilitatea componentelor în cazul unor restaurări protetice dentare de tip metal-ceramică, cu suport metalic din aliaje Co-Cr obținute prin tehnologii de fabricație diferite

7.3. Rezultate și discuții privind studiul experimental 4

Rezultate obținute prin stereomicroscopie

Setul 1 de rezultate – analize de suprafață

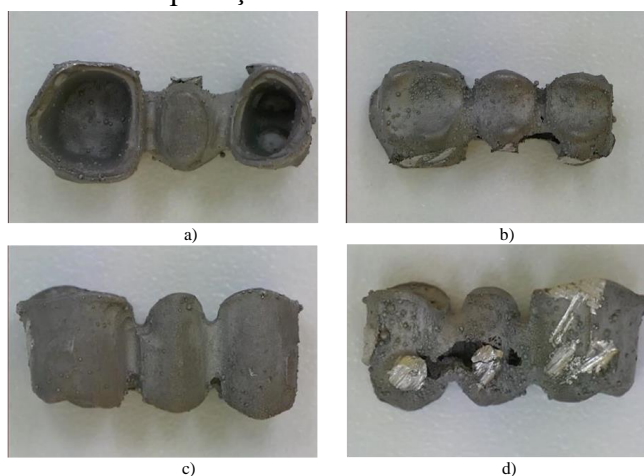


Figura 7.8. Imagine macroscopică a eșantionului experimental obținut prin turnare clasică: a)vedere superioară; b)vedere inferioară; c),d)vedere laterală

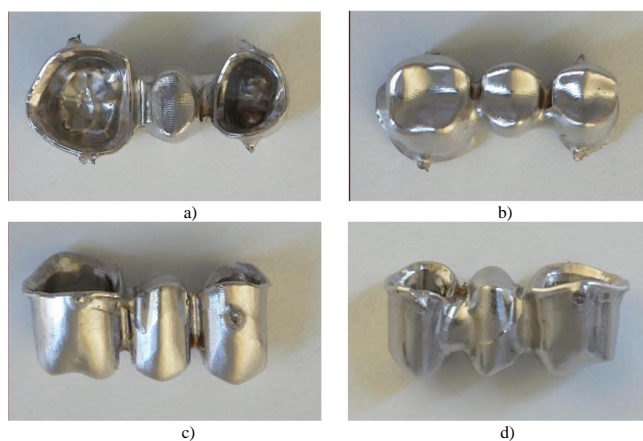


Figura 7.9. Imagine macroscopică a eșantionului experimental obținut prin frezare: a)vedere superioară; b)vedere inferioară; c),d)vedere laterală

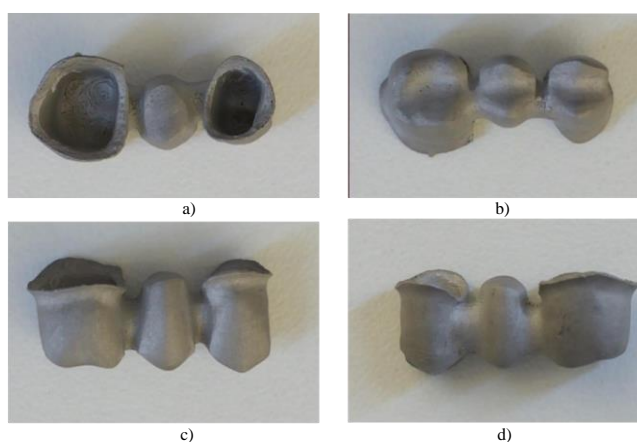


Figura 7.10. Imagine macroscopică a eșantionului experimental obținut prin topire selectivă cu laser: a)vedere superioară; b)vedere inferioară; c),d)vedere laterală

Tot cu ajutorul stereomicroscopiei, s-au putut efectua, pe lângă imagini ale suprafețelor, și măsurători ale probelor experimentale în vederea analizelor dimensionale.

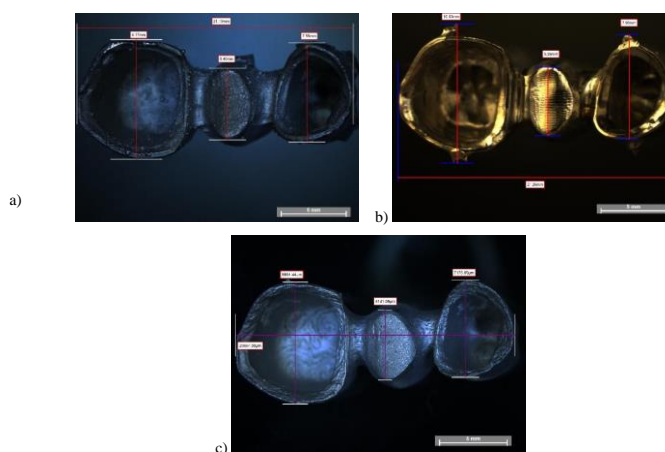


Figura 7.11. Imagine macroscopică reprezentând analiza dimensională a eșantioanelor experimentale obținute prin: a)turnare clasică; b) frezare; c)topire selectivă cu laser – vedere superioară

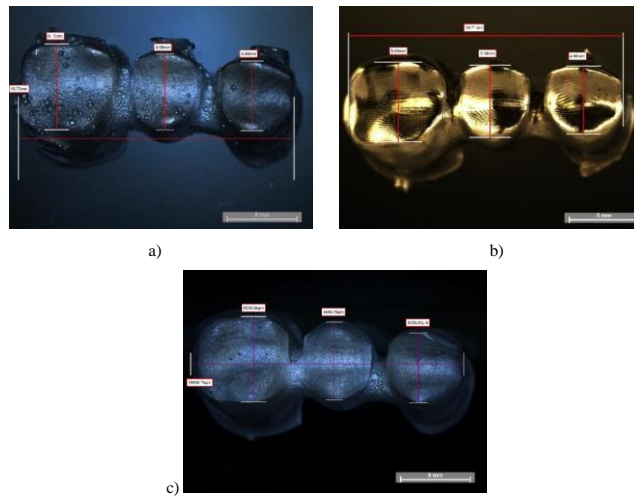


Figura 7.12. Imagine macroscopică reprezentând analiza dimensională a eşantioanelor experimentale obținute prin: a)turnare clasică; b)frezare; c) topire selectivă cu laser – vedere inferioară

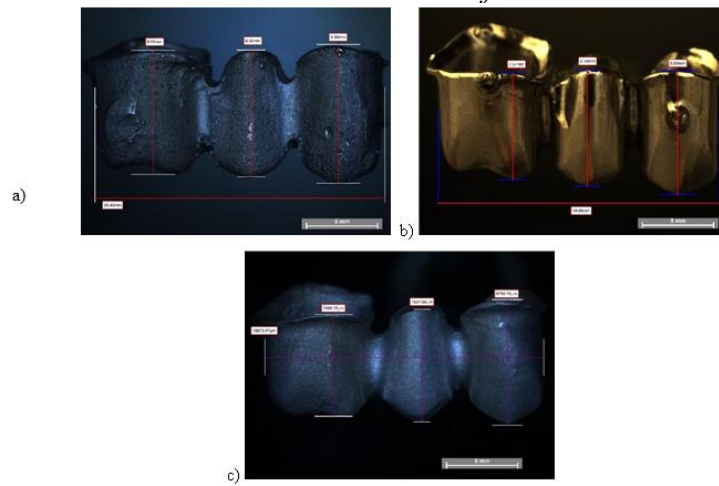


Figura 7.13. Imagine macroscopică reprezentând analiza dimensională a eşantioanelor experimentale obținute prin: a)turnare clasică; b)frezare; c)topire selectivă cu laser – vedere laterală

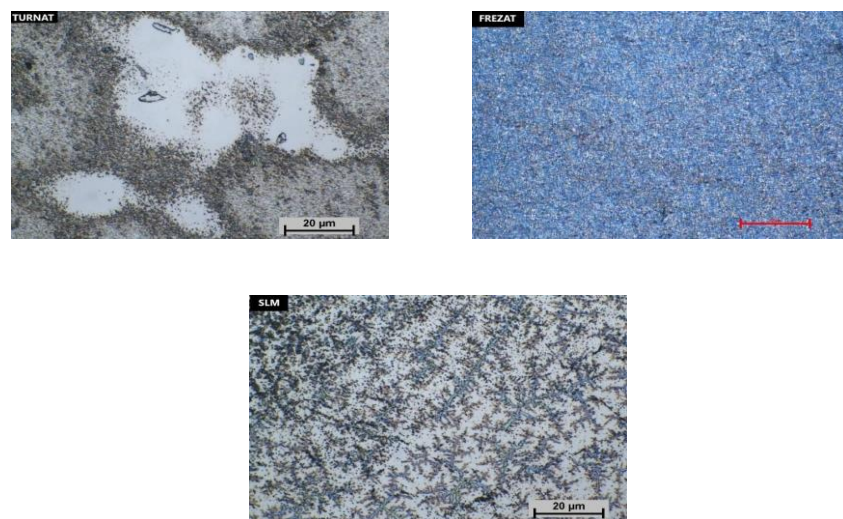


Figura 7.18. Imagini de microscopie optică pentru eşantioanele experimentale obținute prin turnare clasică, frezare și topire selectivă cu laser, 100x

În cazul epruvetelor obținute prin turnare, se constată o microstructură eterogenă, dendritică, cu o multitudinea de defecte, în urma procedurii de obținere. De asemenea, se remarcă și un volum mare de pori, care poate fi precursor al unor tensiuni interne, care să determine ca rezistența la încovoiere a aliajului Co-Cr în stare turnată să fie mică.

Pentru epruvetele obținute prin frezare, se observă o îmbunătățire a aspectului micrografiei, printr-o structură puțin mai omogenă, față de cea a probelor turnate. Se păstrează, însă același aspect dendritic, însoțit de puncte negre aleatorii ce marchează prezența de microretasuri.

Atacul chimic la limita de particulă (n.a. nu sunt grăunți, ci particulele sinterizate) este cel mai ușor de vizualizat în cazul aliajelor sinterizate (posibil ca parametrii atacului să fi fost estinși, limitele de particule sunt ușor supra-atacate). Dimensiunile particulelor sunt complet neuniforme, acestea variază între 20 și 150 microni. Datorită sinterizării particulele ocupă un volum mai mic, se prezintă conglomerate, dar se observă și câteva zone nesinterizate complet, sub aspect de goluri.

Rezultate obținute prin testul de încovoiere în 3 puncte

S-au obținut module de elasticitate ale aliajelor Co-Cr cu valori reduse, în urma studierii pantelor, ceea ce le conferă un caracter mai elastic.

În funcție de tehnologia de obținere s-a operat cu câte trei seturi de date, curbele având diferențe destul de mici între ele.

Rezultatele testelor de încovoiere în 3 puncte au fost redade sub formă de curbe forță-deplasare, conform Figurii 7.22. și comparate conform Figurii 7.23. Prin nuanțele de roșu au fost redade cele corespunzătoare pieselor obținute prin metoda convențională de turnare, prin nuanțe de albastru s-au marcat curbele aferente pieselor obținute prin frezare, iar nuanțele de verde caracterizează piesele obținute prin sinterizarea selectivă cu laser.

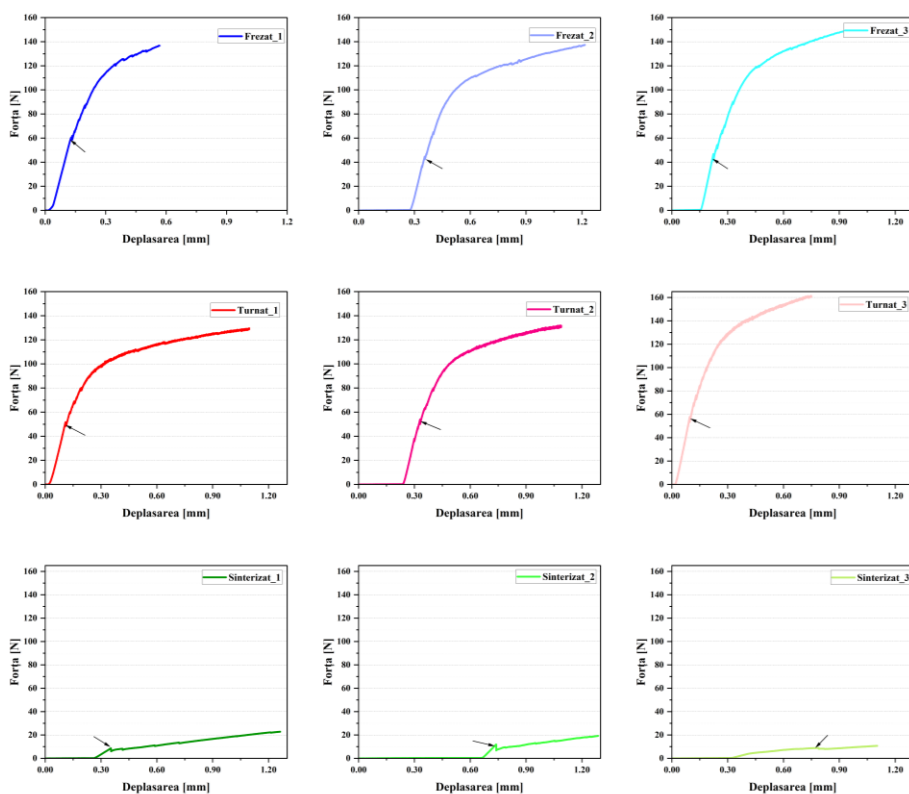


Figura 7.22. Grafițele testului de încovoiere în 3 puncte

Capitolul 8

Concluzii, contribuții proprii și direcții viitoare de cercetare

8.1. Concluzii

Concluziile emise în cadrul prezentului studiu, intitulat "Contribuții privind tehnologiile de obținere și procesare a aliajelor Co-Cr utilizate în restaurări metalo-ceramice," reflectă o abordare comprehensivă și integrativă a cercetărilor științifice din domeniul protezelor dentare. Analiza amănunțită a studiilor și experimentelor teoretice și practice relevă o atenție deosebită acordată golurilor informaționale existente la intersecția dintre domeniile medical și de inginerie.

Rezultatele obținute și interpretarea acestora indică nu doar o consolidare a cunoștințelor existente, ci și o extindere a frontierei cunoașterii prin contribuții originale semnificative. Prin orientarea atentă a cercetărilor teoretice și experimentale, s-a urmărit nu doar obținerea de înțelegere teoretică, ci și aducerea unor contribuții practice de substanță. Aceste contribuții se pot contura astfel:

- Contribuții la conținutul cercetărilor la nivel mondial și național privind restaurările metalo-ceramice și materialele utilizate.
- Contribuții privind stabilirea programului experimental și metodologiei de cercetare, conform standardelor Uniunii Europene și metodelor neconvenționale.
- Contribuții la înțelegerea proceselor la interfața metal-ceramică.
- Contribuții la identificarea posibilităților de realizare și modificare a caracteristicilor suportului metalic.

Într-o perspectivă sintetică și teoretică, această lucrare se distinge prin contribuții originale ale autorului, înglobând problematica abordată într-un context mai amplu al cunoștințelor în domeniul ingineriei medicale. Astfel, această teză de doctorat nu numai completează lacunele informaționale, ci și consolidează baza teoretică și practică a cercetărilor din domeniul protezelor dentare, contribuind astfel la progresul științific și aplicativ în această inter disciplină.

STUDIUL 1 - Identificarea limitelor existente privind obținerea componentei metalice a restaurărilor protetice dentare de tip metal-ceramică, din aliaje Co-Cr comerciale, prin tehnologia de turnare

Importanța Critică a Tehnologiei de Turnare: Studiul evidențiază că procesul de turnare reprezintă un aspect esențial în obținerea componentei metalice a restaurărilor protetice dentare de tip metal-ceramică, realizate din aliaje Co-Cr comerciale. Rezultatele indică că utilizarea sursei de fuziune cu temperatură reglabilă este imperativă pentru obținerea unei fuziuni precise și a unei structuri convenabile, esențiale pentru durabilitatea și calitatea finală a construcțiilor protetice.

Rolul Determinant al Alegerii Aliajului Dentar: Studiul subliniază importanța alegerii adecvate a aliajului dentar în funcție de caracteristicile esențiale, cum ar fi rezistența mecanică, stabilitatea chimică, conductibilitatea termică redusă, biotoleranța și costul accesibil. Aceste criterii influențează direct performanța și durabilitatea restaurărilor metalo-ceramice, consolidând astfel relevanța selecției aliajului în contextul restaurărilor protetice mixte.

Nivele Complexe de Studiu în Proprietățile Mecanice ale Aliajelor: Studiul aduce în atenție complexitatea evaluării proprietăților mecanice ale aliajelor folosite în elementele protetice. Aprecierea acestor proprietăți nu se limitează la nivelul superficial de observație, ci necesită înțelegerea reacțiilor interne și interacțiunilor la nivel microscopic, subliniind astfel importanța unui studiu detaliat și multidimensional al aliajelor utilizate.

Factorii Cheie în Calitatea Restaurărilor Protetice Turnate: Studiul identifică o serie de factori cheie care influențează calitatea restaurărilor protetice turnate, inclusiv modul de conservare și preparare a maselor de ambalat, precizia dimensională a tiparului, compoziția și temperatura de turnare a aliajului, precum și conduita procesului de solidificare și răcire. Acești factori, atunci când sunt gestionați corespunzător, contribuie semnificativ la evitarea defectelor în scheletul metalic și asigură integritatea restaurărilor protetice.

Convergența Necesară a Esteticii și Durabilității: Prin menționarea construcțiilor protetice mixte, studiul subliniază necesitatea unei abordări convergente între rezistența oferită de infrastructura metalică și componenta estetică realizată din ceramică sau compozit. Această sinergie este esențială pentru a asigura atât longevitatea în timp, cât și o refacere estetică optimă, în conformitate cu cerințele funcționale și estetice ale sistemului stomatologic.

STUDIUL 2 – Obținerea experimentală a unor noi aliaje Co-Cr aliate cu metale prețioase, prin tehnologia de turnare, pentru componenta metalică a restaurărilor protetice dentare de tip metal-ceramică

Inovație în Compoziția Aliajelor Co-Cr: Studiul demonstrează o abordare inovatoare în obținerea componentei metalice a restaurărilor protetice dentare de tip metal-ceramică, prin dezvoltarea și testarea unor noi aliaje Co-Cr aliate cu metale prețioase. Această inițiativă evidențiază direcția în continuă schimbare și adaptare a compoziției chimice a aliajelor dentare pentru a îmbunătăți rezistența la coroziune și prelucrabilitatea.

Beneficii ale Adăugării de Nb și Zr: Studiul subliniază avantajele adăugării de niobiu (Nb) și zirconiu (Zr) la aliajele Co-Cr, evidențiind îmbunătățiri semnificative în ceea ce privește coroziunea, microstructura și proprietățile mecanice. Cercetarea evidențiază, de asemenea, că adăugarea de Nb poate contribui la osteogeneză, oferind astfel o perspectivă integrată asupra beneficiilor multiple ale noilor formulări ale aliajelor dentare.

Relevanța Particulelor Globulare în Comportamentul la Coroziune: Observația privind prezența particulelor globulare și distribuția neuniformă a aurului în aliajele testate sugerează o corelație directă cu comportamentul la coroziune. Această constatare aduce un aport semnificativ în înțelegerea fenomenelor la nivel microscopic care influențează durabilitatea și stabilitatea aliajelor Co-Cr în medii corozive.

Optimizarea Performanței Corozive a Aliajelor: Concluziile relevă că aliajul #3, conținând 7% Au, prezintă o rezistență superioară la coroziune în comparație cu celelalte probe studiate. Această optimizare a performanței corozive, evidențiată prin cea mai scăzută densitate de curent și cea mai bună rezistență la polarizare, reprezintă un pas semnificativ în direcția îmbunătățirii durabilității aliajelor dentare utilizate în restaurările protetice.

Contribuție Semnificativă la Progresul Tehnologic: Studiul aduce o contribuție semnificativă la progresul tehnologic în domeniul materialelor dentare, evidențiind că aliajele Co-Cr cu adăugări specifice, cum ar fi 7% Au sau 7% Au, 20% Zr și 2% Nb, reprezintă o îmbunătățire semnificativă a comportamentului la coroziune comparativ cu aliajele convenționale Co-Cr. Acest rezultat oferă noi perspective pentru dezvoltarea și implementarea materialelor dentare mai performante în practica stomatologică.

STUDIUL 3 - Analiza cu element finit a stării de tensiuni și deformație în restaurări protetice dentare de tip metal-ceramică, cu suport metalic din aliaje Co-Cr obținute prin tehnologii de fabricație diferite

Rolul Decisiv al Inserției Metalice: Analiza cu element finit relevă că inserția metalică are un rol crucial în determinarea comportamentului mecanic de tenacitate al ansamblului punții dentare metal-ceramică. Această constatare subliniază importanța inerentă a suportului metalic în influențarea integrității și rezistenței ansamblului protetic.

Similarități Semnificative în Rezistența Mecanică: Rezultatele analizei indică faptul că diferențele de rezistență mecanică între construcțiile de punți dentare pe insert de Co-Cr sinterizat, turnat sau frezat prin tehnologia CAM sunt ne semnificative. Această constatare sugerează că, din punct de vedere al rezistenței mecanice, toate cele trei tehnologii de fabricație a suportului metalic Co-Cr sunt comparabile.

Rigiditatea Crescută în Cazul Co-Cr Sinterizat: Studiul evidențiază că rigiditatea unei construcții care utilizează Co-Cr sinterizat este cu aproximativ 2-3% mai mare decât în cazul aliajului obținut prin celelalte două tehnologii de fabricație (turnat și frezat prin CAM). Această observație subliniază avantajele specifice ale procesului de sinterizare în ceea ce privește rigiditatea ansamblului protetic.

Condiții Fiziologice și Implicațiile: Simularea numerică s-a desfășurat în condiții fiziologice, atât din perspectiva modulelor și direcțiilor de încărcare, cât și din punctul de vedere al constrângerilor. Această abordare asigură relevanță clinică și transferabilitate a rezultatelor în contextul funcțional al sistemului stomatognat, subliniind astfel aplicabilitatea concluziilor în practica stomatologică.

Perspective Echivalente în Eficiența Construcțiilor Protetice: În ansamblu, concluziile indică faptul că, din punct de vedere al rezistenței mecanice, construcțiile de punți dentare pe baza de Co-Cr, indiferent de tehnologia de fabricație (turnat, sinterizat sau frezat prin CAM), prezintă eficiență echivalentă. Această echivalență poate servi ca ghid pentru alegerea tehnologiei de fabricație în funcție de considerente practice și economice.

STUDIUL 4 - Studiu privind compatibilitatea componentelor în cazul unor restaurări protetice dentare de tip metal-ceramică, cu suport metalic din aliaje Co-Cr obținute prin tehnologii de fabricație diferite

Importanța Compatibilității Mecanice și Chimice: Studiul relevă că compatibilitatea mecanică, chimică și distribuția adecvată a tensiunilor în sistemele metal-ceramică sunt factori esențiali pentru integrarea reușită a diferitelor materiale în restaurările protetice dentare de tip metal-ceramic. Această compatibilitate este esențială pentru a asigura o coexistență fără interacțiuni adverse semnificative între componenta metalică și cea ceramică.

Evaluarea Modulelor de Elasticitate: Testul de încovoiere în trei puncte relevă faptul că modulele de elasticitate ale aliajelor Co-Cr au prezentat valori reduse. Această constatare subliniază necesitatea adaptării sistemelor metal-ceramică pentru a obține o rezistență la încovoiere superioară, esențială pentru a face față solicitărilor mecanice și a asigura durabilitatea în contextul forțelor de masticație.

Eficiența Diferitelor Tehnologii de Fabricație: Rezultatele experimentelor indică că metoda de obținere prin turnare oferă cele mai bune rezultate în ceea ce privește rezistența la încovoiere în trei puncte, urmată de frezare și, în cele din urmă, de sinterizare. Această ierarhie

a eficienței tehnologiilor de fabricație furnizează informații valoroase pentru alegerea metodei potrivite în funcție de cerințele specifice ale restaurărilor protetice dentare metal-ceramice.

8.2. Contribuții proprii

Cercetările experimentale efectuate au adus o serie de contribuții originale obținute și prin interpretarea lor teoretică. Contribuțiile originale și cele mai importante rezultate obținute sunt:

- Contribuții privind stabilirea posibilităților aplicative de realizare și modificare a caracteristicilor aliajelor metalice utilizate la execuția restaurărilor dentare metalo-ceramice.
- Contribuții privind proiectarea protocolului de lucru în determinare coeficienților de dilatare termică liniară pentru componentele sistemului metalo-ceramic.

Cercetările efectuate au adus o serie de contribuții cu titlu de noutate prin rezultatele originale obținute și prin interpretarea lor teoretică. Contribuțiile originale vor fi prezentate în cele ce urmează împreună cu cele mai importante rezultate obținute:

- S-a efectuat o sinteză complexă a documentației științifice, care a condus la obținerea multor rezultate și interpretări noi, unele dintre ele fiind inedite și originale.
- A fost concepută și verificată experimental tehnologia de realizare a placărilor cu ceramică a aliajelor experimentale;
- Caracteristicile structurale ale aliajelor metalice experimentale au fost puse în evidență prin cercetări minuțioase realizate prin microscopie optică și microscopie electronică de baleiaj.
- Utilizarea ansamblului de metode imagistice și termice în evaluarea comportamentului cuplului metalo-ceramic la restaurările protetice dentare;
- Determinarea variației coeficienților de dilatare termică liniară pentru aliajele experimentale; observarea și determinarea variației cu temperatura a coeficientului mediu de dilatare termică;
- Analiza datelor experimentale privind dilatarea termică și prelucrarea acestora;
- Corelarea proprietăților termofizice ale materialelor suport și ale ceramicelor cu procesul standard de fabricare a depunerilor ceramice;
- Evidențierea și interpretarea unor aspecte microstructurale legate de aliajele Co-Cr studiate.
- Influența structurii asupra reproductibilității dilatării termice a aliajelor selecționate.
- S-a obținut o sinteză a avantajelor și dezavantajelor utilizării sistemelor metalo-ceramice, prezentate în cele ce urmează.

8.3. Direcții viitoare de cercetare

Restaurările metalo-ceramice au fost și sunt considerate o bună opțiune pentru repararea dinților deteriorați, datorită faptului că au proprietăți mecanice bune, calități estetice satisfăcătoare și o interacțiune acceptabilă cu țesuturile dentare.

Ca o direcție viitoare de cercetare, vor fi evaluate posibilitățile de transfer tehnologic spre cabinetele de tehnică dentară a tehnologiilor de obținere și procesare a aliajelor dezvoltate în prezenta teză de doctorat.

Una dintre principalele provocări ale acestor sisteme metalo-ceramice utilizate în stomatologie o reprezintă realizarea unei aderențe puternice și fiabile între cele două materiale. Ceramica are o natură fragilă, ceea ce face dificilă legarea perfectă de materialul metalic utilizat

ca suport, mai ales în condiții de încărcare ocluzală continuă. Produse chimice precum agenți de cuplare silan și fluorură de hidrogen au fost examinate pentru tratarea suprafețelor ceramice pentru a îmbunătăți aderența, dar cu succes limitat. Diferiți factori pot afecta rezistența și fiabilitatea aderenței în sistemele dentare metalo-ceramice, inclusiv pregătirea suprafeței, amorsele sau adezivii utilizați, mecanismele de lipire, compatibilitatea materialelor, nepotrivirea termică între metale și ceramică și condițiile clinice precum contaminarea cu saliva sau igiena orală. De asemenea, nepotrivirea coeficientului de dilatare termică și prezența unui strat de oxid pe suprafața metalului pot compromite rezistența adeziunii materialului ceramic la suportul din material metalic. Vor fi studiate în viitor, diferite soluții de modificare a suprafeței suportului protetic executat din materiale metalice din categoria aliajelor Co-Cr, pentru îmbunătățirea adeziunii.

Testarea și evaluarea funcțională a restaurărilor dentare este o provocare, iar o direcție viitoare va fi dezvoltarea unor sisteme de testare funcțională a restaurărilor protetice dentare de tip metal-ceramică.

Valorificarea rezultatelor cercetării

Articole (4):

1. **Dawod N**, Miculescu M, Antoniac IV, Miculescu F, Agop-Forna D, *Metal-Ceramic Compatibility in Dental Restorations According to the Metallic Component Manufacturing Procedure*, Materials 16(16):5556, 2023.
2. **Dawod N**, Stoia D, Focșăneanu S, Antoniac A, Robu A, Dura H, Cârstoc D, Dragomir B, *Shear Stress Analysis by Finite Elements of a Metal-Ceramic Dental Bridge on a CoCr Alloy Support*, U.P.B. Sci. Bull., Series B, 85(3), 2023.
3. **Dawod N**, Florescu A, Antoniac IV, Stoia DI, Hancu V, Biclesanu FC, *The FEA Study of the Biomechanic Behavior of Canine Reconstructed with Composite Resin*, Rev. Chim.; 70(7):2456-2462, 2019.
4. **Dawod N**, Antoniac A, Antoniac I, Miculescu M, Robu A, Ungureanu E, Agop-Forna D, Cârstoc I, Dura H, Dragomir BR, *Corrosion behavior and microstructural analysis of some Co-Cr alloys used for metal-ceramic restorations in dentistry*, U.P.B. Sci. Bull., Series B, 85(4), 2023.

Brevete (2)

1. Brevet RO134131B1 din 29.09.2023 (BOPI nr.9/2023)

Aliaj dentar tip Co-Cr cu rezistență la coroziune și biocompatibilitate ridicată
Antoniac Vasile Iulian; Rau Julietta; Semenescu Augustin; **Dawod Nazem**; Geantă Victoraș;
Voiculescu Ionelia; Mateș Ileana Mariana; Șolea Marina Roxana

2. Brevet RO134132B1 din 29.09.2023 (BOPI nr.9/2023)

Aliaj tip Co-Cr aliat cu ruteniu, pentru proteze dentare metalo-ceramice
Antoniac Vasile Iulian; Rau Julietta; Semenescu Augustin; **Dawod Nazem**; Geantă Victoraș;
Voiculescu Ionelia; Mateș Ileana Mariana; Șolea Marina Roxana

Participări la conferințe internaționale (1):

Nazem Dawod, Iulian Antoniac, Marian Miculescu, Aurora Antoniac, Alina Robu, Elena Ungureanu, *Influence of alloying with precious metals on the microstructure and corrosion*

Bibliografie selectivă

- [1]. Forna N.C., Teodoriu T, Ghid de practică în protetica dentară, București, 2010.
- [2]. Okushko V., Zagnat V., Aspecte de fiziologia dintelui, Chișinău, Tipogr. “T-Par”, 2018.
- [3]. Dumitru D., Morfologie dentară – curs, Universitatea De Medicină Și Farmacie, Carol Davila“, Facultatea De Stomatologie, București, 2003.
- [4]. Akasapu A., Hegde U., Murthy P. S., Enamel surface morphology: an ultrastructural comparative study of anterior and posterior permanent teeth, *Journal of Microscopy and Ultrastructure*, p.160, 2018.
- [5]. Shen K. J., Rawls H. R., Phillips' Science Of Dental Materials, Elsevier Health Sciences, Anusavice, 2012.
- [6]. ISO 22674 Dentistry — Metallic materials for fixed and removable restorations and appliances, 2022.
- [7]. Chethan Hegde, K. P., Implant restoration materials: an overview, *International Journal Of Oral Implantology And Clinical Research*, 2016.
- [8]. Lyman T., *Metals Handbook*, ed 8, vol 1, Cleveland OH, American Society for Metals, 1964.
- [9]. Manaranche C., Hornberger H., A Proposal For The Classification Of Dental Alloys According To Their Resistance To Corrosion, *Dental Materials*, 23(11), p.1428-1437, 2007.
- [10]. Wataha, J. C., Biocompatibility Of Dental Casting Alloys: A Review, *The Journal Of Prosthetic Dentistry*, p 233-234, 2000.
- [11]. Mocanu A. C., Miculescu F., Stan G. E., Tite T., Miculescu M., Țierean, M. H., Ciocan L. T., Development of ceramic coatings on titanium alloy substrate by laser cladding with pre-placed natural derived-slurry: Influence of hydroxyapatite ratio and beam power, *Ceramics International*, 49(7), 10445-10454, 2023.
- [12]. Ciocan L. T., Miculescu F., Miculescu M., Patrascu I., biological reactions to dental implants. in *implant dentistry-a rapidly evolving practice*, Intechopen, 2011.
- [13]. Miculescu F., Ciocan L. T., Meghea D., Miculescu M., Morphologic characterization of ceramic-ceramic dental systems failure, *Key Engineering Materials*, Vol. 614, p. 140-143, Trans Tech Publications Ltd, 2014.
- [14]. Sakaguchi R. L., Powers J. M., *Craig's restorative dental materials-e-book*, Elsevier Health Sciences, 2011.
- [15]. Lohbauer U., Dental glass ionomer cements as permanent filling materials? — Properties, limitations, future trends, *Materials*, 2009.
- [16]. Doeller J., Kraus W., Lucas L.C. , An investigation of fibroblast mitochondria enzyme activity and respiration in response to metallic ions released from dental, *Journal Of Biomedical Materials Research*, 50(4),p. 598–604, 2000.
- [17]. Schmalz G., Arenholt-Bindslev D., *Biocompatibility of dental materials*, Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2009.

LISTA FIGURILOR

Figura 2.1. Structura dintelui

Figura 2.2. Sus: structura smalțului dentar – prismele cristaline în secțiune transversală și orientarea cristalelor de hidroxiapatită (imagini microscopice); jos: a) secțiune la nivelul ameloblastelor cu exemplificarea structurii prismatice; b) modalitatea de întrepătrundere a prismelor de smalț

Figura 2.3. Diagrama de echilibru a aliajului Co-Cr

Figura 2.4. Aspecte tehnologice privind aliajele dentare Co-Cr: a) aliaje comerciale, b) creuzet de topire, c) poziționarea aliajelor în creuzet

Figura 2.5. Efectul galvanic în cavitatea bucală

Figura 2.6. a) structura restaurării metalo-ceramice; b) grosimea minimă a fiecărei componente a restaurării dentare

Figura 3.1. Designul și dimensiunile coroanelor standardizate

Figura 3.2. Exemple de componente metalice din aliaje Co-Cr ale restaurărilor protetice dentare tip metalo-ceramică fabricate folosind tehnologii de obținere diferite

Figura 3.3. Compatibilitatea legăturii metalo-ceramice

Figura 3.4. Clasificarea tipurilor de fractură ale sistemului metalo-ceramic (O'Brien)

Figura 3.5. Tipuri de fracturi: a) fractură adezivă prin joncțiunea metalo-ceramică; b) fracturi multiple coezive (cervical) și adezive (proximal distal) ale piesei protetice; c) componentă metalică supraoxidată; d) traiecte fisurale datorate suprasinterizării

Figura 3.6. Descrierea schematică a diferitelor tipuri și caracteristice ale interacțiunilor adezive: a) forțe ale interacțiunilor adezive, b) legături de material, c) interblocarea mecanică prin efectul dimensional

Figura 3.7. Efectul dilatării termice liniare

Figura 3.8. Schema durtății Vickers

Figura 3.9. Comparație schematică a testelor de încovoiere

Figura 3.10. Reprezentare schematică a condițiilor de lucru

Figura 3.11. Dimensiunea forma standard a probelor

Figura 4.1. Machete ale infrastructurilor metalice

Figura 4.2. Aplicarea tijelor de turnare

Figura 4.3. Aplicarea canalelor de evacuare a gazelor

Figura 4.4. Ambalarea machetelor

Figura 4.5. Preîncălzirea și încălzirea tiparului

Figura 4.6. Aparatul de topire și turnare a aliajului

Figura 4.7. Dezambalarea infrastructurii metalice

Figura 4.8. Sablarea scheletului metalic

Figura 4.9. Secționarea tijelor de turnare

Figura 4.10. Piese metalice după prelucrare

Figura 4.11. Identificarea de defecte la nivelul coletului

Figura 4.12. Decelarea prezenței porilor

Figura 4.13. Lipsuri parțiale de la nivelul scheletelor metalice turnate

Figura 4.14. Plusuri sferice de la nivelul scheletelor metalice turnate

Figura 5.1. Compoziția aliajelor dentare experimentale

Figura 5.2. Aspectul materiilor prime utilizate la elaborarea aliajelor dentare experimentale din sistemul de aliaje Co-Cr

Figura 5.3. Aspecte din timpul elaborării aliajelor dentare experimentale din acest studiu

Figura 5.4. Aspecte microstructurale obținute cu ajutorul microscopiei optice, corespunzătoare fiecărui aliaj dentar experimental pe bază de Co-Cr: a) aliaj #1, b) aliajul #2, c) aliajul #3, d) aliajul #4

Figura 5.5. Aspecte microstructurale obținute prin SEM asociate cu EDS la fiecare aliaj experimental dentare pe bază de Co-Cr: a) aliajul #1, b) aliajul #2, c) aliajul #3, d) aliajul #4

Figura 5.6. Grafice Tafel obținute la testarea aliajelor experimentale

Figura 6.1. Etapele transformării reverse engineering a punții dentare

Figura 6.2. Itinerarul simulării FEA

Figura 6.3. Tensorul tensiunilor (Cauchy)

Figura 6.4. Discretizarea structurii punte dentară

Figura 6.5. Definirea contactelor între elementele geometrice

Figura 6.6. Definirea stării de solicitare mecanică: a) forță concentrată verticală, b) forță concentrată oblică, c) forță verticală distribuită, d) forță oblică distribuită

Figura 6.7. Zonele de eșantionare ale tensiunilor: a) din coroana ceramică; b) din suprafețele de angajare ale insertului metalic; c) din zona cea mai solicitată a insertului metalic

Figura 6.8. Deformația punții dentare pe direcția verticală

Figura 6.9. Deformația totală a punții dentare

Figura 6.10. Deformația totală, vedere vectorială

Figura 6.11. Deplasarea direcțională a insertului metalic

Figura 6.12. Tensiunile de forfecare din puntea dentară

Figura 6.13. Tensiunea echivalentă din puntea dentară

Figura 6.14. Tensiunile principale maxime din suprafața elementelor de angajare

Figura 6.15. Tensiunile maxime din insertul metalic în funcție de tipul aliajului Co-Cr

Figura 6.16. Variația tensiunilor din insertul metalic pe linia de maximă solicitare

Figura 6.17. Variația tensiunilor din contururile coroanei dentare

Figura 7.1. Eșantioanele experimentale pe bază de aliaj Co-Cr-Mo obținute prin: a) Turnare clasică, b) Frezare, c) Topire selectivă cu laser

Figura 7.2. Schemă a epruvetelor de testare

Figura 7.3. Diagrama de flux standard pentru evaluarea legăturii metal-ceramică, pentru componenta metalică din aliaj Co-Cr, la restaurările protetice dentare

Figura 7.4. Comparatie între rezultatele experimentale din literatură obținute în urma testelor pentru evaluarea proprietăților mecanice, respectiv rezistenței legăturii

Figura 7.5. Comparatie între rezultatele experimentale din literatură obținute în urma testelor pentru evaluarea proprietăților mecanice, respectiv rezistenței legăturii.

Figura 7.6. Aspecte din timpul procesului de înglobare a eșantioanelor experimentale

Figura 7.7. Aspecte din timpul proceselor de șlefuire și lustrire a eșantioanelor experimentale

Figura 7.8. Imagine macroscopică a eșantionului experimental obținut prin turnare clasică: a) vedere superioară b) vedere inferioară c) vedere laterală d) vedere laterală

Figura 7.9. Imagine macroscopică a eșantionului experimental obținut prin frezare: a) vedere superioară b) vedere inferioară c) vedere laterală d) vedere laterală

Figura 7.10. Imagine macroscopică a eșantionului experimental obținut prin topire selectivă cu laser: a) vedere superioară b) vedere inferioară c) vedere laterală d) vedere laterală

Figura 7.11. Imagine macroscopică reprezentând analiza dimensională a eșantioanelor experimentale obținute prin: a) turnare clasică; b) frezare; c) topire selectivă cu laser – vedere superioară

Figura 7.12. Imagine macroscopică reprezentând analiza dimensională a eșantioanelor experimentale obținute prin: a) turnare clasică; b) frezare; c) topire selectivă cu laser – vedere inferioară

- Figura 7.13.** Imagine macroscopică reprezentând analiza dimensională a eşantioanelor experimentale obținute prin: a) turnare clasică; b) frezare; c) topire selectivă cu laser – vedere laterală
- Figura 7.14.** Imagini de microscopie optică pentru eşantioanele experimentale obținute prin turnare clasică, frezare și topire selectivă cu laser, 5x
- Figura 7.15.** Imagini de microscopie optică pentru eşantioanele experimentale obținute prin turnare clasică, frezare și topire selectivă cu laser, 10x
- Figura 7.16.** Imagini de microscopie optică pentru eşantioanele experimentale obținute prin turnare clasică, frezare și topire selectivă cu laser, 20x
- Figura 7.17.** Imagini de microscopie optică pentru eşantioanele experimentale obținute prin turnare clasică, frezare și topire selectivă cu laser, 50x
- Figura 7.18.** Imagini de microscopie optică pentru eşantioanele experimentale obținute prin turnare clasică, frezare și topire selectivă cu laser, 100x
- Figura 7.19.** Imagini de microscopie optică ale componentei metalice
- Figura 7.20.** Imagini de microscopie optică ale interfețelor metalo-ceramice, în funcție de metoda de obținere.
- Figura 7.21.** Analiză comparativă în urma testelor de duritate Vickers.
- Figura 7.22.** Graficele testului de încovoiere în 3 puncte
- Figura 7.23.** Grafice forță-deplasare comparative pentru cele trei metode de obținere
- Figura 7.24.** Analiză comparativă dilatograme componentă metalică, intervalul 200-1400°C
- Figura 7.25.** Analiză comparativă dilarograme componentă ceramică, intervalul 200-1400°C
- Figura 7.26.** Comparație dilatograme componente metalo-ceramice, intervalul 200-1400°C

LISTA TABELELOR

- Tabelul 2.1.** Tipuri de aliaje metalice și principalele aplicații în stomatologie
- Tabelul 2.2.** Clasificarea aliajelor dentare în funcție de conținutul de metale nobile
- Tabelul 2.3.** Compoziții tipice ale aliajelor
- Tabelul 2.4.** Clasificarea în funcție de conținutul de metale nobile
- Tabelul 2.5.** Altă clasificare a materialelor metalice pentru aplicații dentare - ISO22674 (2006)
- Tabelul 2.7.** Proprietăți fizice ale materialelor metalice
- Tabelul 2.8.** Compozițiile chimice ale aliajelor metalelor de bază
- Tabelul 2.10.** Proprietăți ale aliajelor metalelor de bază
- Tabelul 2.11.** Valori tipice din literatură ale coeficienților de dilatare termică
- Tabelul 2.12** Caracteristici ale aliajelor metalice utilizate în restaurări dentare permanente
- Tabelul 2.13.** Compoziția elementară a aliajelor comerciale
- Tabelul 2.14.** Caracteristicile biomaterialelor ceramice
- Tabelul 2.15.** Compoziția chimică și funcțiile atribuite ceramicii dentare
- Tabelul 2.16.** Proprietățile fizice și mecanice ale ceramicii dentare
- Tabelul 3.1.** Intervalele de temperatură de sintetizare și aplicațiile corespunzătoare
- Tabelul 3.2.** Specificații ale procesului de depunere a masei ceramice
- Tabelul 3.3.** Comparație între microscopul optic (MO) și microscopul electronic cu baleiaj (SEM)
- Tabelul 3.4.** Analiza comparativă a celor două tipuri de testare
- Tabelul 3.5.** Coeficienții de dilatare termică pentru diferite materiale comerciale
- Tabelul 3.6.** Variația proprietăților materialelor ceramice/metalice (săgeata cu vârful în sus-tendință de creștere, săgeata cu vârful-tendință de scădere)
- Tabelul 4.1.** Aliaje pe bază de Co-Cr supuse cercetărilor experimentale

- Tabelul 4.2.** Compoziția chimică a aliajelor pe bază de Co-Cr studiate
- Tabelul 4.3.** Proprietăți fizice ale aliajelor pe bază de Co-Cr selectate
- Tabelul 4.4.** Proprietăți mecanice ale aliajelor pe bază de Co-Cr selectate
- Tabelul 5.1.** Compoziția chimică a aliajelor dentare experimentale din sistemul Co-Cr-MP
- Tabelul 5.2.** Compozițiile nominale ale probelor (% în greutate) ale aliajelor experimentale obținute
- Tabelul 5.3.** Compoziția chimică a salivei artificiale Fusayama Meyer
- Tabelul 5.4.** Principalii parametri ai procesului de coroziune electrochimică
- Tabelul 7.1.** Compoziția chimică a componentei metalice utilizate în programul experimental
- Tabelul 7.2.** Valorile proprietăților mecanice ale aliajelor Co-Cr
- Tabelul 7.3.** Metode Summet specifice pentru aliajele pe bază de cobalt
- Tabelul 7.4.** Specificații ale atacului chimic pentru aliajele cobalt-crom
- Tabelul 7.5.** Centralizarea rezultatele testelor de duritate Vickers
- Tabelul 7.6.** Indentările epruvetelor în urma testării durtății Vickers
- Tabelul 7.7.** Coeficienții de dilatare termică specifici ai aliajelor Co-Cr
- Tabelul 7.8.** Coeficienții de dilatare termică specifici ai ceramici dentare