

Laborator la disciplina
Obținerea pieselor turnate prin procedee speciale
-O.P.T.P.S.-

LUCRAREA 1

TURNAREA ÎN ATMOSFERĂ INERTĂ A REPERELOR UTILIZATE ÎN TEHNICA STOMATOLOGICĂ

1. Scopul

Cunoașterea tehnicilor de elaborare, retopire și turnare a metalelor și aliajelor utilizate în producerea reperelor utilizate în tehnica stomatologică, în cuptoare cu inducție cu atmosferă inertă sau depresurizată.

2. Considerații teoretice generale

Ritmul intens de dezvoltare și diversificare a producției de mașini și instalații medicale, stomatologice solicită industriei metalurgice nu numai o creștere cantitativă ci mai ales una calitativă a pieselor realizate din diverse metale și aliaje. Unele piese din aceste aliaje trebuie să aibă rezistențe mecanice de peste 250 daN/mm² cu regim de lucru în medii agresive și la temperaturi de aproximativ 1500-2000°C. În aceste condiții se ivește desigur necesitatea folosirii metodelor moderne de topire, care asigură îmbunătățirea calității aliajelor nu numai pe seama compoziției chimice, ci mai ales ca urmare a creșterii gradului de puritate și a finisării structurii cristaline a acestuia.

Dintre multiplele procedee de topire folosite în prezent, topirea prin inducție în atmosferă inertă sau depresurizată, a cunoscut o dezvoltare deosebită ca urmare a experienței bogate acumulate de-a lungul anilor prin exploatarea cuptoarelor electrice prin inducție ce funcționează la presiunea atmosferică și în prezența aerului din mediul ambiant.

Avantajele topirii în cuptoare electrice cu inducție cu atmosferă inertă sau depresurizată, sunt următoarele:

- permite degazarea metalului, separarea și îndepărtarea incluziunilor nemetalice, datorită menținerii și amestecării acestuia în atmosferă inertă sau depresurizată;
- realizează îndepărtarea prin evaporare a componentilor ușor fuzibili;
- oferă posibilitatea topirii aliajelor cu compoziție chimică complexă pe bază de materii prime greu fuzibile;
- productivitate mare;

- asigură turnarea unor piese de mare complexitate.

Există însă și o serie de dezavantaje, printre care pot fi enumerate:

- la contactul dintre metalul lichid și creuzetul cuptorului are loc micșorarea efectului de rafinare în vid, ca urmare a impurificării cu incluziuni nemetalice și gazoase;
- durabilitatea redusă a căptușelii creuzetelor înrăutățește condițiile de lucru și indicatorii tehnico-economici ai cuptorului;
- instalațiile sunt foarte complicate, au dimensiuni mari și un cost ridicat.

Prin această metodă se pot elabora cu succes: aliaje utilizate în tehnica dentară, oțeluri inoxidabile; oțeluri refractare; oțeluri și aliaje electrotehnice;

3. Modul de lucru

3.1. Specificațiile echipamentului

În cadrul laboratorului se va utiliza pentru elaborare un echipament de turnare prin inducție cu incintă depresiurizată/controlată de argon - Enterprise UltraCast, ale cărui date tehnice sunt cuprinse în tabelul 1.

Acest sistem poate fi utilizat pentru turnarea tuturor metalelor și aliajelor, inclusiv titan, metale prețioase și neprețioase, detinând un bun control asupra pericolului oxidării.

Tehnologia nu folosește creuzete sau modele metalice. Injecția topiturii sub presiune conduce la turnări rapide, precise și repetabile.

Topirile se realizează fără forță centrifugală, lipsa acesteia însemnând de fapt eliminarea pierderilor de metal.

În figura 1 sunt prezentate comenzile principale ale UltraCast pentru partea din față a echipamentului:

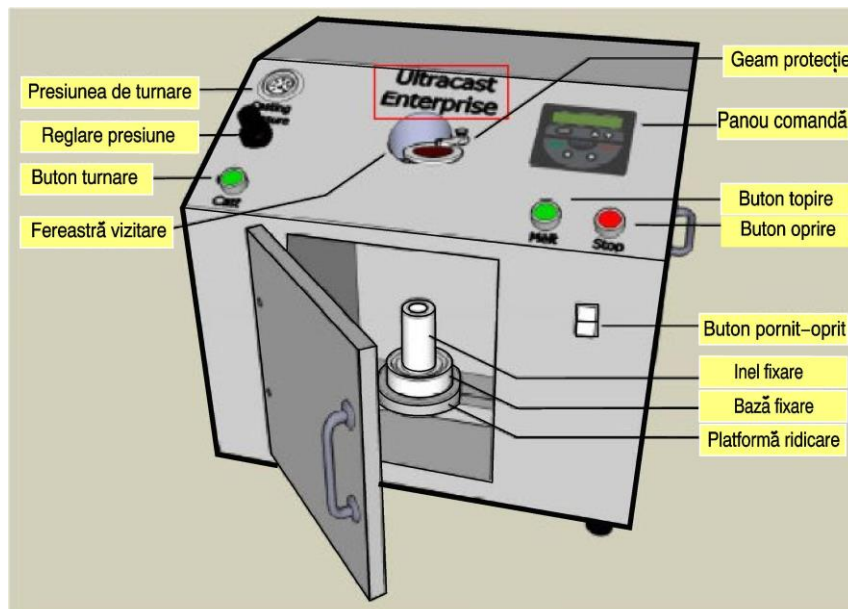


Figura 1. Butoanele de comandă pentru partea din față.

Tabelul 1. Date tehnice

Putere de alimentare	98 – 264 VAC (50Hz)
Curent maxim	22 ^a
Putere maximă	4.8 kVA
Sursă de gaz	Ar
Sistem de răcire	Apă
Timp de topire	2 min
Dimensiuni L/B/H	22x19x19 “
Greutate echipament fără apa de răcire	<56 kg
Greutate echipament cu apa de răcire	Aprox. 70 kg

Încălzirea se face rapid și în condiții de siguranță prin inducție de mare putere. Enterprise UltraCast are un sistem integrat de răcire care permite un număr de 15 topiri secvențiale la 100% (putere maxima). După un astfel de număr de cicluri de activitate trebuie efectuată o pauză a ciclului de lucru, astfel încât apa de răcire din rezervor să ajungă la temperatura camerei.

3.2. Considerații teoretice privind operațiile

Sunt utilizați algoritmi avansați de control implementați într-un microprocesor pentru a controla debitul de argon, sistemul de vacuum, sistemul de topire sau de turnare și cel de presiune. Înainte de încălzire, microprocesorul realizează mai multe cicluri de purjare cu argon la joasă presiune și vid de mai multe ori pentru a se asigura că nu este prezent oxigenul în timpul turnării. Acest lucru asigură lipsa oxidării.

În figura de mai jos este prezentată schema tehnologică a echipamentului.

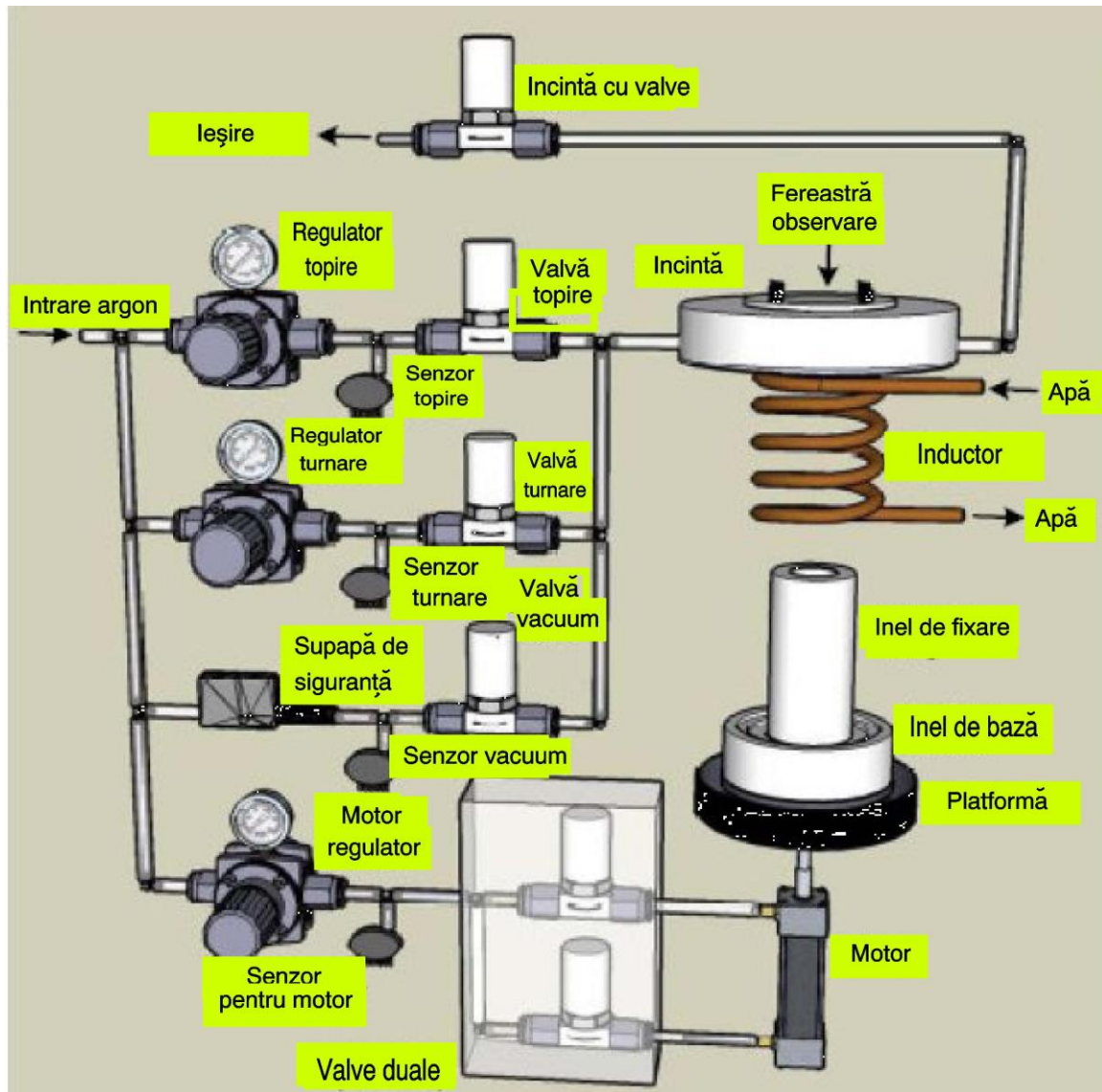


Figura 2. Schema tehnologică a echipamentului de turnare Enterprise UltraCast

După ce metalul este topit, echipamentul de turnare folosește noi valuri sub presiune de argon pentru a reduce oxidarea.

Presiunile motorului și de topire sunt setate din fabricație. Presiunea de turnare poate fi ajustată prin panoul frontal pentru a oferi turnări perfecte pentru mulaje de toate tipurile de metale. Toate presiunile de gaze sunt monitorizate de controale electronice sofisticate.

3.3 Realizarea creuzetelor și a formelor de turnare

Turnarea se realizează în forme unice, obținute din amestecuri de formare specifice fiecărui tip de aliaj elaborat. Aceste forme unice se obțin prin amestecul componentei solide refractare cu un liant lichid și turnarea într-o formă special proiectată în acest scop. (figura 3)

Pentru a putea fi utilizat, forma obținută se supune unui proces de sinterizare care să asigure rezistența necesară conducerii ulterioare în bune condiții a procesului de turnare.

În continuare este prezentat un exemplu de realizare a procesului de sinterizare:

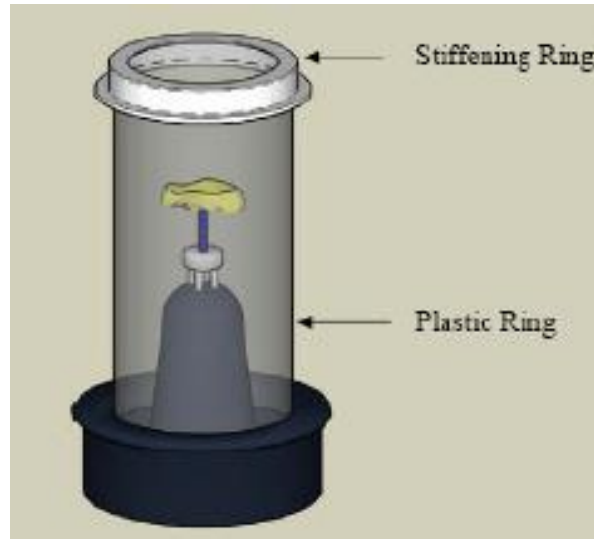


Figura 3. Formă de turnare

- forma obținută se introduce în cuptorul aflat la temperatura camerei (figura 5);
- se crește temperatura cu $0,33\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{min}$ până la $315\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- se menține temperatura la $315\text{ }^{\circ}\text{C}$ pentru 30 de minute;
- se crește temperatura cu $11\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{min}$ până la $870\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- se menține temperatura la $870\text{ }^{\circ}\text{C}$ timp de 1 oră, plus 10 minute suplimentare pentru fiecare formă suplimentară (până la un maxim sau $1 - \frac{1}{2}$ ore).

Procesul se conduce conform graficului de sinterizare prezentat în figura 4.

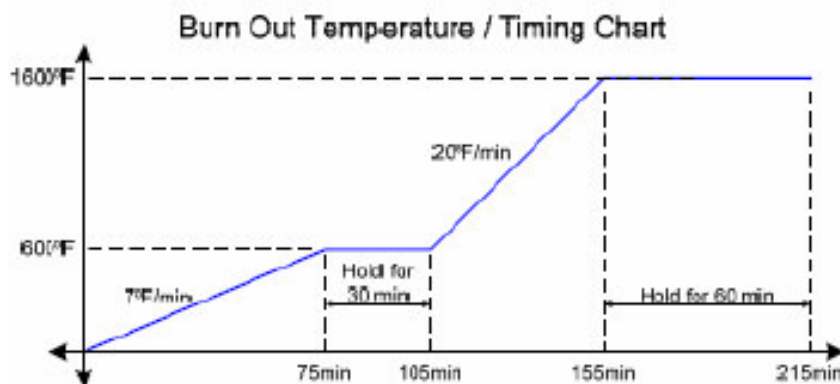


Figura 4. Grafic de sinterizare

În cazul în care cuptorul de ardere nu reglementează rampa de timp, se încălzește cât de lent este posibil până la $315\text{ }^{\circ}\text{C}$ și se crește timpul de așteptare la 60 de minute.

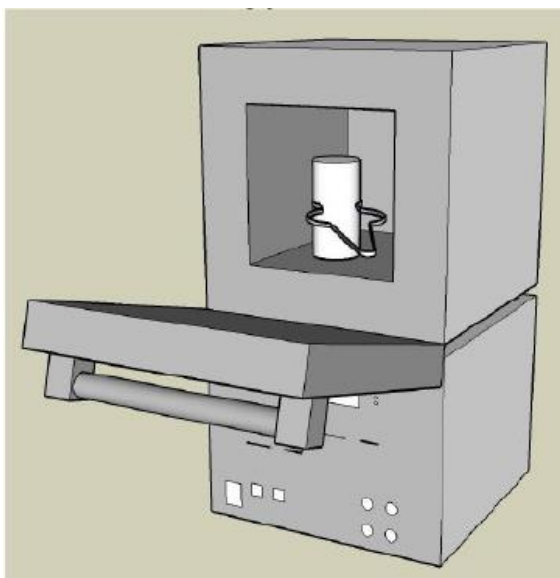


Figura 5. Modul de manipulare a formei în cuptorul de sinterizare

3.4. Modalități de control și operații

1. Se pornește echipamentul prin comutarea întrerupătorului de circuit pe ON (deplasat în sus). Acesta este plasat pe partea din spate a unității. Se rotește comutatorul ON-OFF pentru alimentarea sistemului.

Pe ecran va apare scris:

Inițializare

După 5 secunde de la inițializare

Enterprise
Ultra Cast Rev-2.1

În acest timp partea de control intern rulează platforma în poziția cea mai joasă. În mod normal, platforma este în partea de jos după ultimul ciclu de operațiuni anterioare, astfel încât acesta va rămâne în acea poziție. Această acțiune este necesară pentru a garanta poziția de bază a platformei (de exemplu, după un eșec al presiunii gazului).

Este recomandată pornirea echipamentului Enterprise UltraCast cu ușa camerei închisă pentru a evita eventuala mișcare a platformei.

După inițializare, unitatea este gata pentru utilizare și pe ecran apar intermitent ambele ferestre:

Load Crucible (Încărcați creuzetul)
Press Melt (Apăsați butonul Melt)

MELT = XX.X PSI
Recommend (Recomandat) 8-10 PSI

2. Se verifică presiunea de turnare: 30 psi (2 bar) pentru metale ne-prețioase, 25 psi (1,7 bar) pentru metale prețioase (aur, platină, argint, etc).

3. Pentru încărcare: se îndepărtează forma fierbinte din cuptorul de ardere. Se încarcă metalul brut în formă și se așează pe inelul de bază de poziționare. Se închide ușa.

4. Pentru topire: se apasă butonul MELT. Se monitorizează etapa de încălzire a metalului prin fereastra de vizualizare. Un obiectiv de protecție este prevăzut pentru a vizualiza în condiții de siguranță metalul topit. Atunci când metalul lichefiază, este gata de turnare.

Pe ecran va apare scris:

Raising platform
(Ridicarea platformei)

După 2 secunde de ridicare

Platform is raised
Successfully (Platforma a fost
ridicată cu succes)

Și

X.X to Melt
Vacuum = xxx mbar

Perioada de timp de 5 sec se scurge aici pentru pregătirea și stabilizarea mediului de gaz inert și vid. După 5 sec:

Increasing Pressure (creșterea
presiunii)
Time Left: X.X sec (timp rămas)

După 2 secunde controlul intern pornește etapa de încălzire.

MELTING X.X PSI (topirea)
CAST when Ready (turnare când
este gata)

6. Turnarea: se apasă butonul **Cast** când metalul este lichefiat. Enterprise UltraCast va turna automat folosind ca gaz de presiune argonul. Când turnarea este completă, platforma se va reveni în poziția inițială, iar materialul poate fi scos.

Apăsați butonul CAST

CASTING (turnarea) = XX Sec

Pressure (presiunea) = X.X PSI

Echipamentul Enterprise Ultracast oprește automat încălzirea și deasemenea automat va realiza turnarea sub presiune de argon. Atunci când turnarea este încheiată platforma se va retrage și suportul de material poate fi îndepărtat.

Lowering Platform (coborârea
platformei)

Caution Hot Crucible (**ATENȚIE**
creuzet fierbinte)

După 2 secunde

Cast Complete (Turnarea
completă)

Caution Hot Crucible (**ATENȚIE**
creuzet fierbinte)

Deschideți ușa și îndepărtați suportul de material.

Toate acțiunile, descrise mai sus, cu excepția plasamentului și a eliminării de suporturi de materiale sunt posibile numai prin ușa camerei închise. Orice încercare de folosire a echipamentului cu ușa deschisă duce la încetarea pasului curent (a procesului în desfășurare) și pornirea unui mesaj de alarmă:

ALARM

Chamber Door Open (Ușa incintei
deschisă)

Lumina de alarmă roșie se aprinde și luminile butonului STOP se activează.

NOTĂ! După încetarea procesului platforma rulează până la poziția inferioară. În timpul mișcării sale butonul STOP și lumina de alarmă sunt pornite. Starea de alarmă poate fi anulată prin apăsarea butonului STOP după ce platforma ajunge în poziția de jos.

Procesul poate fi întrerupt în orice moment, dacă este necesar, prin apăsarea butonului STOP. După încetarea procesului platforma rulează în jos la cea mai redusă poziție (poziția de siguranță). Atunci când platforma este acolo, pe ecran se afișează:

Process is Canceled (Procesul a fost anulat)
Caution Hot Crucible (**ATENȚIE** creuzet fierbinte)

În acest moment ușa camerei poate fi deschisă și se pot lua măsurile corespunzătoare pentru a rezolva problema apărută. Când se închide ușa, unitatea este gata de utilizare.

În cazul în care platforma nu este ridicată în timp de 5 secunde după apăsarea butonului MELT, unitatea termină procesul și următoarele mesaje de avertizare sunt afișate:

Platform is NOT
Raising (Platforma nu se ridică)

Process is Canceled
Caution Hot Crucible (Procesul a fost anulat)
(**ATENȚIE** creuzet fierbinte)

Motivul ar putea fi presiunea slabă a gazului sau lipsa acestuia, sau lipsa suportului de material.

Uneori suportul de material ar putea fi plasat în mod greșit - excentric față de poziție sau într-o anumită pantă. UltraCast Enterprise are un sistem personal de blocare pentru siguranță cu scopul de a evita daunele echipamentelor și/sau a utilizatorilor. În acest caz, prin ridicarea platformei, unitatea detectează faptul că situația nu este în regulă și se termină procesul. Un mesaj de alarmă apare pe ecran:

ALARM
Wrong Crucible Pos. (Poziția creuzetului greșită)

Deschideți ușa și rezolvați problema. Opriți alarma prin apăsarea butonului STOP.

3.5. Controlul procesului

Afișajul panoului de control va indica nivelul de putere (0-100%) și timpul de turnare în secunde. Turnările normale folosesc puterea de 100% și 60 secunde timp de topire.

UltraCast Enterprise monitorizează următoarele presiuni:

- platforma - presiunea recomandată este de 40-45PSI (2,75 - 3,1 bar);
- turnare - presiunea recomandată este de 25-30PSI (1,7 - 2 bar);
- topire - presiunea recomandată este de 8-10PSI (0,55 - 0,7 bar).

În cazul în care presiunile de mai sus sunt în afara presiunii recomandate, echipamentul Enterprise UltraCast va indica un avertisment. Ecranul va afișa valorile normale și recomandate pentru acestea. Vor fi necesare ajustări de presiune pentru funcționarea normală a echipamentului.

UltraCast Enterprise va indica un avertisment în cazul în care debitul de apă este sub 0,4 GPM (<1,5 LPM). Butonul MELT (topește) nu va funcționa decât dacă fluxul de apă este mai mare de 0.4 GPM (> 1,5 LPM).

UltraCast Enterprise va indica un avertisment pentru înlocuirea garniturii de etanșare la fiecare 5 mulaje. În cazul în care garnitura este înlocuită, apăsați butonul STOP pentru a reseta avertizarea. Enterprise UltraCast se va opri în cazul în care temperatura apei de ieșire depășește 60 °C.

4. Interpretarea rezultatelor

Pe parcursul elaborării studenții vor consemna ordinea de încărcare a componentelor, masa și modul de pregătire a acestora, temperaturile măsurate, compoziția chimică - înainte de corecție și după corecție (în cazul în care există și un aparat de analiză rapidă). Se cântărește cantitatea de aliaj obținută și se calculează indicele de scoatere (*I_s*). Se fac aprecieri asupra pierderilor de material cauzate de vaporizarea și oxidarea elementelor de aliere, comparând compoziția chimică calculată cu compoziția chimică obținută prin analiza spectrală.

$$I_s = \frac{Q_f}{Q_i} \cdot 100 \quad [\%],$$

unde: Q_i – masa componentelor introduse, [g] ,

Q_s – masa aliajului elaborat, [g].

În final, se analizează structura aliajului obținut și se identifică constituenții utilizând diagrama de echilibru termodinamic.

Laborator la disciplina
Obținerea pieselor turnate prin procedee speciale
-O.P.T.P.S.-

LUCRAREA 2

**TURNAREA CENTRIFUGĂ A UNOR ALIAJE
NEFEROASE**

Aliajele neferoase de turnătorie prezintă o serie de caracteristici proprii, astfel că la turnarea centrifugă pot să apară rezultate diferite, chiar în condițiile păstrării constante a parametrilor tehnologici. Aceste caracteristici se referă la natura componentelor aliajului, temperatura de topire și de solidificare, mărimea intervalului bifazic, compoziția chimică a aliajelor, reacția aliajului față de oxigen și alte gaze din atmosferă, tensiunea superficială, contracția, tendința de segregare etc.

De aceea s-a considerat util ca în prezenta lucrare să se evidențieze unele particularități ale tehnologiei de turnare centrifugă, în ideea că vor prezenta interes în practică.

1. Turnarea centrifugă a bronzurilor

Bronzurile sunt aliaje cu bază de cupru ce conțin ca element principal de aliere Sn, Al, Pb, Si, Mn, Be și o serie de elemente însoțitoare ca Zn, P, Ni etc. Aliajele Cu–Sn se numesc bronzuri obișnuite, iar aliajele cuprului cu celelalte elemente se numesc bronzuri speciale.

1.1. Turnarea centrifugă a bronzurilor binare Cu-Sn și a bronzurilor ternare sau polinare pentru construcții mecanice.

1.1.1. Considerații teoretice

Bronzurile cu staniu sunt aliaje ale cuprului cu staniul, cu un cost relativ ridicat din cauza staniului care este deficitar și scump, dar au rezistență mare la coroziune, comportare bună la alunecare (antifricțiune) și conductibilitate electrică mare. Interes practic prezintă bronzurile cu max.

25...30% Sn, procent peste care devin dure și fragile. În general, conținutul de staniu pentru bronzurile tehnice este de 18...20%.

Proprietățile mecanice ale bronzurilor cu staniu depind de proporția relativă a fazelor α și δ . Ele au rezistență mecanică mare ($R_m = 170...460$ N/mm²) și o bună plasticitate până la 14% Sn (bronzuri monofazice) deoarece se pot deforma atât la rece, cât și la cald. Bronzurile monofazice prin deformare plastică la rece se ecruesează puternic, când își măresc mult duritatea și elasticitatea. În bronzurile turnate creșterea concentrației în staniu duce la mărirea durității și a rezistenței de rupere la tracțiune, dar și la micșorarea alungirii. Plasticitatea maximă se atinge la un conținut de 5...6% Sn la bronzurile luminabile, după care plasticitatea scade mult. Rezistența la rupere atinge un maxim pentru 15% Sn, apoi din nou la 23% Sn, aproape de compoziția eutectoidă. Rezistența la uzare este foarte bună, capacitatea de ungere foarte bună și coeficientul de frecare mic. Calitățile antifricțiune sunt superioare la bronzurile turnate și se pot îmbunătăți prin adăugare de până la 5% Pb.

Proprietățile tehnologice ale bronzurilor depind de compoziția chimică, de condițiile de solidificare și de răcire, precum și de tratamentele termice aplicate.

Bronzurile monofazice care conțin soluție solidă α sunt plastice și se pot deforma chiar la temperatura ambiantă. Din cauza intervalului mare de solidificare ele prezintă o tendință accentuată spre *segregare*, iar procesele de difuzie în stare solidă a staniului în cupru au loc cu viteze mult mai mici decât difuzia zincului, deoarece factorul de volum atomic este defavorabil, deci omogenizarea soluției solide se produce foarte greu. Intervalul mare de solidificare determină fluiditatea mică a bronzurilor și creșterea porozității pieselor turnate.

Bronzurile ternare și polinare conțin pe lângă Cu și Sn o serie de elemente de aliere care asigură obținerea unor anumite proprietăți necesare în construcția de mașini.

Pentru a se îmbunătăți proprietățile de turnare și a se mări compactitatea pieselor turnate, în bronzurile de turnătorie se introduc de obicei mici cantități de *zinc* (2...5%) care micșorează intervalul de cristalizare și tendința de saturare cu gaze, deci reduc tendința de segregare și porozitatea.

Fosforul (în adaosuri mici de 0,1...0,3%) introdus sub formă de prealiaj Cu-P la dezoxidare, reduce tendința de absorbție a gazelor în topitură, mărește intervalul de solidificare, fluiditatea aliajului și sudabilitatea.

Nichelul micșorează grăunții, îmbunătățește rezistența mecanică și mai ales duritatea la temperatură normală și la temperaturi înalte, dar la conținuturi mai mari de 4% face să crească duritatea atât de mult încât prelucrarea prin așchiere devine dificilă.

Plumbul mărește proprietățile antifricțiune, fiind un constituent moale cu proprietăți de ungere.

Proprietățile chimice ale bronzurilor se manifestă printr-o bună rezistență la coroziune în atmosferă și în apă de mare. Stabilitatea la coroziune în acizi crește prin adăugare de plumb.

Din punct de vedere al utilizării, bronzurile cu staniu se împart în șase grupe:

- grupa I – bronzuri cu conținut redus de staniu (sub 7...8% Sn), monofazice, care se folosesc pentru executarea monedelor, a resorturilor, a aripilor de turbine;
- grupa a II-a – bronzuri cu conținut redus de staniu (sub 7...8% Sn), însă și cu alte elemente de aliere ca Zn și Pb, fiind bronzuri ternare care fac trecerea spre alamele speciale;
- grupa a III-a – bronzuri cu un conținut de 8...10% Sn pentru construcții mecanice;
- grupa a IV-a – bronzuri fosforoase cu 6...14% Sn și 0,1...0,6% P în care se adaugă eventual Ni și Pb, folosite pentru executarea cuzineților și angrenajelor, precum și în construcțiile navale, datorită caracteristicilor mecanice bune și a rezistenței la coroziune în apa de mare [49];
- grupa a V-a – bronzuri cu conținut mare de staniu (10...14% Sn) și conținut mare de plumb (8...20% Pb) pentru cuzineți;
- grupa a VI-a – bronzuri cu conținut foarte mare de staniu (până la 30% Sn) și mici conținuturi de plumb, pentru turnarea clopotelor.

În bronzurile cu staniu cele mai dăunătoare impurități sunt oxigenul, fierul, siliciul, aluminiul stibiul, arseniul și bismutul.

Oxidarea bronzului are implicații asupra calității suprafețelor piesei turnate. Astfel la turnarea țevilor mari din bronz pe suprafața interioară apare un strat subțire de metal crăpat și puternic oxidat, care ulterior trebuie îndepărtat prin prelucrare mecanică.

Pentru evitarea acestui defect se pot crea perdele de aer cald la capetele formei, pentru a înlătura curentul de aer care parcurge golul piesei și care produce oxidarea suprafeței interioare.

1.1.2. Modul de lucru

Procesul tehnologic de turnare centrifugă a bronzurilor cu staniu presupune parcurgerea următoarelor etape:

a) *Pregătirea formelor* constă în aplicarea vopselei refractare pe bază de grafit și uscarea stratului de vopsea. De regulă după primele turnări pe suprafața formelor se formează o rețea de arsuri și atunci se aplică vopseaua doar pe peretele posterior al cochilei.

b) *Elaborarea bronzului.*

Elaborarea unei mărci de bronz cu staniu se poate realiza fie pornind de la elementele metalice pure (cupru electrotehnic, cupru catozi, staniu tehnic), fie pornind de la diferite sorturi de bronz cu staniu (piese ce provin de la demontări, deșeuri proprii, șpan de bronz, prealiaje ale cuprului). La topire se utilizează flacăra neutră sau ușor oxidantă, iar topitura se protejează cu flux de protecție.

c) *Turnarea aliajului* se realizează cu ajutorul oalelor de turnare al căror tip se alege în funcție de masa aliajului necesar pentru una sau mai multe piese.

- *Temperatura oalelor* înainte de turnare trebuie să fie de 500...600°C, deoarece în caz contrar pe suprafața interioară se formează cruste.

- *Temperatura de turnare* se alege din tabele, dar la bronzurile cu staniu această temperatură poate fi mai mică decât la turnarea în forme staționare, întrucât la turnarea centrifugă lipsește rețeaua de turnare, deci metalul se răcește mai puțin.

- *Debitul de turnare* a metalului depinde de masa bușei așa cum se arată în tabelul 1.

Tabelul 1.

Debitele de alimentare a formei în cazul turnării centrifuge a bronzului.

Masa bușei, [kg]	0,4	0,8	1,2	2,0	2,8	3,6
Debitul masic de turnare [kg/s]	0,3...0,5	0,6...0,9	0,9...1,3	1,1...1,9	1,3...2,4	1,4...2,5

- *Turația formei* la începutul turnării trebuie să fie mare pentru a asigura distribuția uniformă a aliajului lichid pe suprafața interioară. La început viteza de deplasare a frontului de solidificare este mare și depășește pe cea de creștere a stratului de aliaj lichid și de aceea pot să apară suduri reci sau deformarea suprafeței libere. Ulterior turația poate să crească pentru a se asigura eliminarea incluziunilor gazoase sau oxidice din aliajul centrifugat.

- *Solidificarea pieselor turnate* cu pereții groși de 10...12 mm durează maximum 4...6 secunde. La studierea schimbului de căldură dintre aliajul lichid și formă, în cazul bronzului CuSn10Pb2Ni3 se arată că acesta devine mai intens odată cu creșterea presiunii aliajului lichid pe cochilă, deoarece scade rezistența de contact la interfața aliaj lichid-formă. Sub acțiunea presiunii, aliajul lichid pătrunde adânc în microadânciturile suprafeței formei, măbind suprafața totală de schimb de căldură, în timp ce după solidificare, în timpul contracției, dispar multe din punctele de contact cu forma.

d) *Îndepărtarea pieselor turnate* are loc după oprirea formei din mișcarea de rotație și îndepărtarea capacului frontal. Operația se realizează cu ajutorul unui clește extensibil.

1.2. Turnarea centrifugă a bușelor din bronz pentru producția de unicate

1.2.1. Considerații teoretice

La producerea diferitelor utilaje noi sau în cazul producției de piese de schimb este necesară producerea bușelor de diferite dimensiuni, dar în loturi mici.

Executarea unor forme metalice pentru o anumită dimensiune nu este economică și de aceea este oportună folosirea *insertiilor* metalice sau din grafit. Piesele turnate se pot grupa pe diferite dimensiuni, apoi pentru fiecare grupă se proiectează o formă, iar în cadrul fiecărei grupe dimensiunile dorite se realizează cu ajutorul insertiilor.

La turnarea bușelor din bronz cu grosimea de perete de 38 mm se produce o neomogenitate chimică, așa cum se observă în tabelul 2.

Tabelul 2

Neomogenitatea chimică a unor bușe din bronz.

Aliajul	Zona piesei	Compoziția chimică, %							
		Cu	Fe	Ni	Mn	Sn	Pb	Zn	P
CuSn6Pb2	interioară	88,29	urme	0,25	0,01	6,83	1,32	3,20	0,02
	exterioară	87,80	urme	0,24	0,01	6,98	1,62	3,25	0,02
CuSn8Zn5	interioară	87,20	0,06	0,26		7,86	0,11	3,36	0,02
	exterioară	87,06	0,06	0,28		7,96	0,13	3,41	0,02

Din tabel rezultă că proporția de plumb și staniu crește în direcția suprafeței exterioare a piesei turnate, iar conținutul de cupru crește spre suprafața interioară.

Superioritatea turnării centrifuge este evidentă în tabelul 3., unde este făcută o comparație între proprietățile mecanice ale pieselor din diferite bronzuri turnate centrifugal în cochile și gravitațional în forme confecționate din amestec de formare.

Tabelul 3.

Comparație între proprietățile mecanice ale pieselor din diferite bronzuri turnate centrifugal în cochile și turnate gravitațional în forme din amestec de formare

Marca bronzului	Turnarea centrifugă			Turnarea gravitațională		
	Rezistența la tracțiune Rm, [N/mm ²]	Alungirea la rupere, A ₅ [%]	Duritatea Brinell HB5/250/30	Rezistența la tracțiune Rm, [N/mm ²]	Alungirea la rupere, A ₅ [%]	Duritatea Brinell HB5/250/30
CuSn20	330	0	220	150	0	180
CuSn14	320	8	115	20	3	90
CuSn10	300-400	25-30	90	200	15	60
CuSn10Zn4	300-400	10	95-100	200	10	65
CuSn9Zn6	250-300	10	90	200	12	60
CuSn5Zn7	250-320	20	80	150	10	60
CuSn10Pb4	300	14	80	180	15	70

Se observă că la turnarea centrifugă crește rezistența la tracțiune și duritatea, proprietăți foarte importante la construcția lagărelor de alunecare.

Turnarea centrifugă a coroanelor pentru roți melcate se realizează pe mașini cu axă verticală de rotație (în acest scop se poate folosi un strung carusel pe a cărui masă se fixează forma). Pentru turnarea centrifugă a coroanelor melcate se folosesc forme combinate alcătuite dintr-o cochilă (pentru părțile masive și miezuri pentru părțile mai subțiri (fig. 1).

În partea centrală a cochilei 1 se montează miezul interior 2, pe a cărui suprafață superioară se montează o căramidă refractară din șamotă pentru a-l proteja de acțiunea erozivă a jetului de aliaj lichid. Partea inferioară a coroanei melcate este profilată și de aceea necesită un miez exterior 3 care se montează în aceeași cochilă 1. Partea cu nervuri a butucului se realizează cu ajutorul miezului suspendat 4, care se fixează cu piulițe de capacul 5. Pentru o bună rezistență mecanică, toate miezurile sunt prevăzute cu armături din oțel.

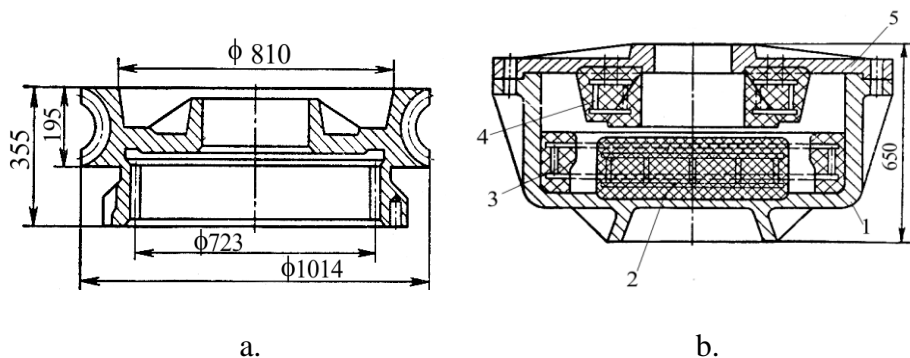


Fig. 1. Coroana roții melcate (a) și forma (b) pentru turnarea acesteia:
 1 – cochilă; 2 – miez interior; 3 – miez exterior; 4 – miez suspendat; 5 – capac.

Turația formei este de 190 rot/min, ceea ce corespunde unui coeficient gravitațional $K=5,3$ la diametrul interior și $K=21,5$ la diametrul exterior. Pentru realizarea unei bune compactități a piesei turnate, pe măsura producerii contracției se adaugă metal lichid. Durata de menținere în formă a metalului este de 45 min., apoi are loc dezbaterea. Prin acest procedeu s-a realizat o economie de metal de 530 kg pentru o piesă și, în comparație cu turnarea în forme clasice, nu s-a rebutat nici o piesă.

Din practica turnării centrifuge a pieselor mari din bronz a rezultat că pentru obținerea pieselor de calitate trebuie respectate următoarele condiții:

- menținerea mașinilor și accesoriilor în bune condiții de funcționare (să nu se admită *bătaia* formei până la 1...2 mm);
- turnarea metalului numai în cochile curățite de rugină și preîncălzite,
- menținerea temperaturii optime de turnare a metalului;
- absența răcirilor locale intense în interiorul piesei turnate.

Turnarea centrifugă a rotoarelor pentru pompe

Inițial rotoarele pentru pompe s-au executat din tablă prin nituire, dar acest procedeu era prea greoi și nu avea o productivitate corespunzătoare. Pornind de la necesitatea unor piese cu pereți subțiri, ușoare și rezistente, s-a trecut la turnarea centrifugă a acestor rotoare din bronz $CuSn3Zn7Pb5Ni$. Piesele cu masa cuprinsă între 5...18 kg/buc. au avut rezistența mecanică în secțiunile groase de 25 daN/mm^2 .

Forma (fig. 2) este alcătuită din două bucăți 1 și 6 care se introduc și se centrează într-o port-cochilă 4, fixată pe arborele mașinii. În partea inferioară se montează miezul inferior 5 pentru a se atenua șocul produs de aliajul lichid, iar în semiforma 6 se montează miezul 2, care formează canalul și paletel rotorului.

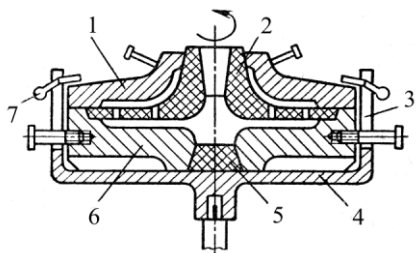


Fig. 2. Forma pentru turnarea centrifugă a rotoarelor de pompe:

1 – semiforma superioară (capac); 2 – miez;
3 – degajare; 4 – port-cochilă; 5 – miez inferior;
6 – semiformă inferioară; 7 – închizătoare centrifugale.

Peste miezul 2 se așază capacul 1, care se asigură cu închizătoarele centrifugale 7, situate în degajările 3. Aliajul lichid se toarnă prin pâlnia de turnare executată în miezul 2. Acest miez se execută prin împușcare, folosind amestecuri termoreactive, pentru a se putea realiza o rezistență mecanică suficient de ridicată de 25...27 daN/mm². Permeabilitatea la gaze a miezului este de 200 unități. Înainte de asamblare cochila se curăță cu o perie de sârmă, apoi se preîncălzește la 100...150⁰C, după care se montează miezul vopsit prin imersie și uscat. Temperatura de turnare a aliajului este de 1100⁰C, iar turația formei este de 160 rot/min pentru rotoarele cu diametrul de 250...400 mm și de 300 rot/min pentru rotoarele cu diametrul de 150...200 mm.

1.2. Turnarea centrifugă a bronzurilor binare Cu-Pb

Bronzurile cu plumb sunt aliaje antifricțiune caracteristice, tipice pentru cuzineții lagărelor de alunecare.

În bronzurile cu plumb se introduc o serie de elemente de aliere pentru a se îmbunătăți proprietățile tehnologice și cele de exploatare.

Staniul se introduce ca adaos în unele bronzuri cu plumb pentru ca acestea să capete o rezistență mecanică suficientă, fără a mai fi necesară folosirea suportului din oțel.

Stibiul în cantități de 1...2% se introduce în bronzurile cu plumb turnate pe un suport din oțel pentru creșterea rezistenței la oboseală.

Fosforul se folosește ca dezoxidant și uneori pentru a îmbunătăți caracteristicile mecanice. În cantități mai mari de 0,3% fosforul înrăutățește separarea uniformă a plumbului.

Bronzurile cu plumb industriale se pot împărți în trei grupe:

- *bronzuri cu plumb binare* (simple) – aliaje Cu-Pb, folosite la construcția lagărelor pe carcase din oțel pentru motoare cu ardere internă, lagăre pentru turbine, locomotive, pompe etc.;

- *bronzuri cu plumb ternare* – aliaje Cu-Pb-Sn, utilizate pentru construcția lagărelor cu sau fără carcasă din oțel, pentru presiuni specifice ridicate, pentru piese turnate din industria chimică, lagăre masive pentru bolțurile pistoanelor etc.;

- *bronzuri cu plumb speciale* – aliaje Cu-Pb-Sn, cu adaos de nichel, zinc, folosite la construcția lagărelor masive pentru solicitări foarte puternice, la turnarea pieselor din industria chimică și de aparate, la executarea lagărelor cu și fără carcasă din oțel pentru mașini-unelte etc.

În cazul aliajelor binare Cu-Pb, în piesele turnate se produc stratificări sub formă de inele concentrice, astfel că secțiunea apare *în dungii* conducând la realizarea unor proprietăți mecanice diferite pe secțiune. În aceste condiții, interesul pentru stabilirea unor parametri tehnologici care să asigure obținerea unor piese cu structură și proprietăți uniforme apare justificat, mai ales când ele lucrează în condiții de uzare sau când fac parte din instalațiile folosite în tehnica reactivilor ori în aparatura pentru carburanți.

1.2.1. Influența turației cochilei asupra omogenității chimice a pieselor turnate centrifugal din bronzuri binare Cu-Pb, cu conținut foarte mare de plumb.

Turnarea centrifugă a aliajelor Cu-Pb s-a efectuat cu o mașină cu axă orizontală de rotație care a avut posibilitatea realizării mai multor turații, fiind acționată de un electromotor cu curent continuu. S-au turnat bușe cu diametrul exterior de 50...100 mm și cu grosimea de perete de 15...35 mm din aliaje cu 30% Pb și 35% Pb care au greutatea specifică cea mai mare și care, în stare lichidă, formează aliaje tip *emulsie*. Astfel, s-au turnat centrifugal aliajul CuPb30 la turații de 320 și 745 rot/min și aliajul CuPb35 la turația de 745 rot/min, păstrând constantă viteza de răcire prin folosirea aceluiași raport între masa cochilei m_c și masa piesei m_p ($R = m_c / m_p = 7$).

Bronzurile speciale CuPb30 și CuPb35, au avut compoziția chimică medie prezentată în tabelul 4.

Tabelul 4

Compoziția chimică standardizată a aliajelor studiate.

Marca aliajului	Compoziția chimică, [%]									
	Cu	Pb	Sn	Zn	Al	Fe	P	Si	Ni	impurități
CuPb25	rest	20-30	-	0,05	0,1	0,3	0,1	-	-	-
CuPb30	rest	28-32	-	0,05	0,1	0,3	0,1	-	-	-

CuPb35	rest	32-40	-	0,05	0,1	0,3	0,1	-	-	-
--------	------	-------	---	------	-----	-----	-----	---	---	---

S-a observat că la piesele turnate la turații de 320 rot/min., se obține o distribuție uniformă a plumbului pe toată secțiunea transversală.

La creșterea turației până la 745 rot/min, păstrând egale celelalte condiții (dimensiunile pieselor, temperatura de turnare etc.), s-a constatat vizual o creștere a separărilor de plumb spre interiorul piesei (spre suprafața liberă), deci plumbul se separă la granița fiecărui strat elementar solidificat sub forma unui inel, dar are predispoziție de a se separa în cantitate mai mare la suprafața liberă (interioară) a piesei. În urma analizei chimice a stratificărilor la piesele din bronz CuPb35 s-a confirmat această observație, deoarece conținutul de plumb a fost de 42% în interior, 35% în zona mijlocie și de 29% la exteriorul piesei turnate.

1.2.2. Influența turației cochilei asupra macrostructurii și microstructurii pieselor turnate centrifugal din bronzuri binare Cu-Pb, cu conținut foarte mare de Pb

Macrostructura piesei turnate la $n = 320$ rot/min a prezentat cristale echiaxiale pe toată secțiunea transversală, însă la piesele turnate cu turația $n = 745$ rot/min, s-au constatat la exterior cristale columnare, înclinate în sens invers față de sensul de rotație a cochilei și cristale echiaxiale la interior.

În fig. 3 sunt reprezentate microstructurile secțiunilor transversale ale pieselor turnate centrifugal din bronzuri Cu-Pb la diferite turații.

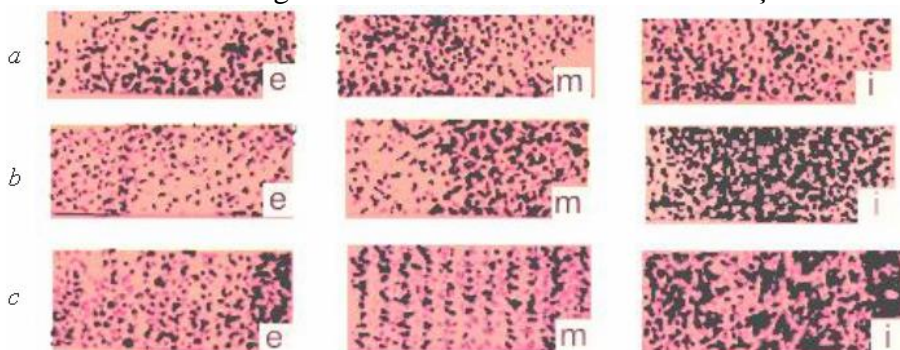


Fig. 3. Microstructurile pieselor turnate centrifugal cu diferite turații ($\times 50$):
a – CuPb30 turnat la $n=320$ rot/min; *b* – CuPb30 turnat la $n=745$ rot/min; *c* – CuPb35
turnat la $n=745$ rot/min (e – zona exterioară; m – zona mijlocie; i – zona interioară).

Piesa turnată la o turație $n = 320$ rot/min, a prezentat o distribuție uniformă a plumbului în masa metalică de bază formată din cupru, pe toată secțiunea transversală. La creșterea turației până la $n = 745$ rot/min, păstrând egale celelalte condiții (raportul R , temperatura de turnare), microstructura piesei se modifică astfel: la exterior (fig. 3,b, zona e) prezintă separări de plumb de dimensiuni aproximativ egale și distribuite după direcția cristalelor columnare, apoi devine mai grosolană în mijloc și spre interior (fig. 3, b, zonele m , i), prezentând o creștere a dimensiunilor separărilor de plumb.

La piesa turnată din bronz CuPb35 (fig.3,c) turația de 745 rot/min produce o segregare în dungă a plumbului atât în zona exterioară e , cât și în zona mijlocie m , iar în zona interioară i determină creșterea dimensiunilor separărilor de Pb. În aceste cazuri separarea plumbului după greutatea specifică s-a produs sub acțiunea frontului de solidificare care s-a deplasat spre suprafața liberă a piesei și nu sub influența forței centrifuge care se exercită de la centru spre periferie.

Rezultă că la aliajele Cu-Pb influența vitezei de solidificare este mai mare decât cea a forței centrifuge, chiar la o turație mai mare a cochilei ($n = 745$ rot/min). Acest fapt este confirmat de microstructura probei c , unde s-a constatat că la aliajul cu conținutul cel mai mare de Pb (35%), turnat la o turație de 745 rot/min, plumbul se separă la granița fiecărui strat de cupru solidificat, dar are predispoziția de a se separa în cantitate mai mare la suprafața interioară a piesei.

Așa cum s-a arătat anterior, analiza chimică a arătat că cel mai mare conținut de plumb apare în zona i , adică la suprafața liberă (interioară) a piesei turnate centrifugal.

1.2.3. Influența temperaturii de preîncălzire a formei asupra microstructurii pieselor turnate centrifugal din bronzuri binare cu conținut foarte mare de plumb

a. Metodologia de cercetare

Din aliajul CuPb25 s-au turnat bușe cu diametrul exterior de 50...100 mm și cu grosimea de perete de 15...30 mm la o mașină de turnare centrifugă cu axă orizontală de rotație. Piesele s-au turnat la o turație constantă $n = 400$ rot/min, iar forma a fost preîncălzită la 40, 100 și 200°C. Temperatura de turnare a aliajului s-a menținut, de asemenea, constantă la valoarea de 1050°C. Din bușele turnate în diferite condiții tehnologice s-au prelevat prin tăiere longitudinală eşantioane, care apoi s-au secționat în trei

bucăți, reținându-se pentru observații microscopice doar bucățile din zona a II-a eșantioanelor, pentru a elimina influența vitezelor diferite de răcire care apar pe lungimea piesei.

b. Rezultate experimentale și interpretarea lor

În fig. 4 sunt redate microstructurile zonelor mijlocii ale pieselor turnate centrifugal în forme cu diferite temperaturi de preîncălzire.

Se constată că odată cu creșterea temperaturii de preîncălzire a formei T_f la 100°C și la 200°C segregarea plumbului în zona mijlocie s-a accentuat brusc. Aceasta se explică prin încetinirea schimbului de căldură dintre aliajul lichid și formă și printr-o deplasare mai lentă a frontului de solidificare dinspre peretele cochilei spre suprafața liberă a piesei. În acest fel separările de plumb au avut timp să se aglomereze fără a fi expulzate spre suprafața liberă a piesei, așa cum se întâmplă la viteze mai mari de deplasare a frontului de solidificare, în condițiile unui schimb de căldură mai intens provocat de temperatura redusă de preîncălzire.

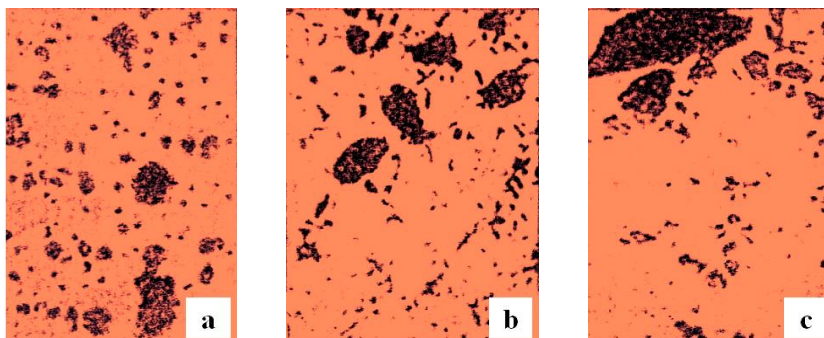


Fig. 4. Microstructurile zonelor mijlocii ale pieselor turnate centrifugal în forme cu diferite temperaturi de preîncălzire ($\times 150$):

a – distribuire egală a Pb la $T_f = 40^\circ\text{C}$; *b* – aglomerări ale separărilor de Pb la $T_f = 100^\circ\text{C}$; *c* – aglomerări grosolane de Pb la $T_f = 200^\circ\text{C}$.

Concluzii:

- Cercetările asupra aliajului CuPb25 au arătat că distribuția plumbului fără segregarea sa este posibilă numai la turnarea metalului la temperatura de 1050°C în forma preîncălzită doar până la 40°C .

- În acest context, viteza de răcire a piesei, influențată la rândul ei de temperatura de preîncălzire a formei și de temperatura de turnare a aliajului, devine un parametru important în comparație cu turația cochilei, care are doar rol ajutător, realizând antrenarea aliajului lichid în mișcare de rotație, cu toate consecințele pozitive ce decurg din aceasta.

1.3. Turnarea centrifugă a bronzurilor Cu-Pb-Sn cu conținut

mare de plumb și conținut redus de staniu

1.3.1. Influența turației cochilei asupra neomogenității chimice a pieselor turnate din bronzuri cu conținut mare de plumb și conținut redus de staniu

La turnarea centrifugă a bușelor cu flanșă din bronz cu plumb, marca Cu Pb17Sn4Zn4, s-au stabilit condițiile pentru obținerea unei segregării cât mai puțin pronunțate. La o valoare a coeficientului gravitațional $K = 80 \dots 90$, piesele turnate având o grosime a pereților de 36 mm, iar la flanșă de 60 mm și lungimea de 140 mm (fig.5.), s-a constatat o repartizare destul de uniformă a plumbului pe toată lungimea și grosimea bușei, așa cum se observă în tabelul 5.

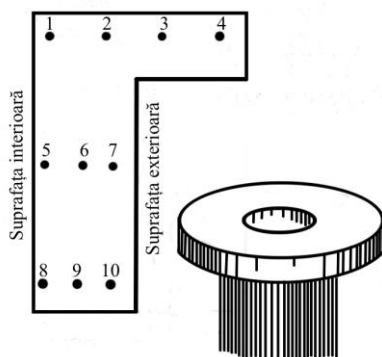


Fig. 5. Zonele analizate chimic într-o bușă cu flanșă.

Tabelul.5 .

Analiza chimică a unor probe din bronz cu plumb Cu Pb17Sn4Zn4 turnate centrifugal [110].

Nr. piesei	Compoziția chimică, [%]					
	Cu	Sn	Pb	Fe	Ni	Zn
1	77,30	3,70	14,81	0,04 - 1,0	0,2 - 0,3	3,5 - 3,65
2	76,90	3,80	15,49			
3	76,50	3,85	16,02			
4	-	3,62	14,55			
5	78,75	3,72	14,31			
6	78,15	-	14,46			
7	74,00	4,33	18,00			
8	76,50	3,78	15,76			
9	75,18	4,02	17,15			
10	73,90	4,35	18,35			

Pentru comparație, în tabelul 6 este dată repartizarea plumbului în bronzul turnat în cochilă staționară și în cel turnat centrifugal.

Tabelul 6.

Repartizarea plumbului într-un bronz turnat în cochilă staționară și într-un bronz turnat centrifugal.

Nr. crt.	Metoda de turnare	Temperatura cochilei, [°C]	Temperatura aliajului, [°C]	Conținutul de Pb, [%]		
				Zona exterioră	Zona mijlocie	Zona interioară
1	În cochilă staționară	50	980	19,90	19,62	19,77
2	Centrifugă	50	1050	22,71	20,86	20,05
3	Centrifugă	20	1050	18,85	20,48	17,85
4	Centrifugă	20	1050	17,50	19,80	18,97

S-au turnat centrifugal bușe din aliaj Cu-Pb-Sn cu conținut mare de Pb (10...25%) folosite la lagăre greu încărcate pentru arbori verticali cu volanți, la mecanismele de transmisie ale locomotivelor, la bușele de ghidare a supapelor etc. Aceste aliaje au matricea formată din soluție solidă α și eutectoid ($\alpha + \delta$), care asigură duritate, rezistență și conductivitate termică, iar grăunții de plumb (component parțial solubil în stare lichidă și insolubil în stare solidă) conferă proprietăți de alunecare și de rodare.

Sub aspectul turnării centrifuge aceste aliaje sunt interesante, deoarece au un interval foarte mare de solidificare (peste 700°C) și, în consecință, tendință puternică spre segregare zonală, care însă poate fi micșorată prin răcire rapidă, prin turnare centrifugă sau prin introducerea unor adaosuri de 1...2 % Ni.

La experimentări s-au turnat piese din aliajul CuPb25Sn5, având compoziția chimică medie: Cu = 68,8679%; Pb = 25,3513%; Sn = 5,6325%; Zn = 0,0223%; Al = 0,017%; Fe = 0,042%; P = 0,067%. Bușele cu diametrul exterior de 50...100 mm și cu grosimea de perete de 15...35 mm, s-au turnat la o mașină de turnare centrifugă cu axă orizontală, care realizează o variație continuă a turației, deoarece este acționată de un electromotor cu curent continuu.

Pentru studierea influenței vitezei de rotație a formei asupra uniformității compoziției chimice, s-a turnat același aliaj la turații diferite.

Tabelul 7.

Valorile parametrilor de turnare centrifugă a aliajului CuPb25Sn5.

Diametrul piesei exterior/interior, [mm]	Turația formei n, [rot/min]	Viteza de rotație, [m/s]	Presiunea aliajului, [daN/cm ²]	Coefficientul gravitațional K = 0,0011 R n ²
90/50	320	1,5	0,770	5,0
90/50	425	2,0	0,128	9,0
90/50	530	2,5	0,218	14,0

90/50	640	3,0	0,290	20,0
90/50	745	3,5	0,374	27,0

Piesele s-au obținut cu o structură omogenă doar la turnarea cu o turație de 320 rot/min. La turații mai mari de 320 rot/min au apărut inelele concentrice de segregare care au creat dificultăți în determinarea exactă a compoziției chimice a unui inel și a zonei dintre inele. Totuși, macrostructurile probelor au prezentat inele de culoare cenușie alternând cu zone interinelare de culoare galbenă. Cu alte cuvinte plumbul s-a separat de matrice în straturi alternative de grosime mai redusă la turația de 425 rot/min, crescând în grosime odată cu turația. În mod corelativ, macrostructura omogenă observată la piesele turnate la turația de 320 rot/min a fost înlocuită treptat, odată cu creșterea turației, de o macrostructură din ce în ce mai grosolană și de formarea unor cristale columnare din ce în ce mai mari spre interior.

Din observarea macrostructurii a rezultat clar că la mărirea turației formei crește neomogenitatea macrostructurală în secțiune transversală și se accentuează separarea plumbului spre interiorul piesei (suprafața liberă). Cu toate că era de așteptat ca plumbul, fiind greu, să se separe spre exterior, s-a constatat o segregare mai puternică spre suprafața interioară (liberă) a piesei.

1.3.2. Influența turației cochilei asupra macrostructurii pieselor turnate centrifugal din bronz cu conținut mare de plumb și conținut redus de staniu (CuPb25Sn5)

Având în vedere faptul că proprietățile mecanice și de exploatare ale pieselor turnate centrifugal sunt mult influențate de dimensiunile zonei cristalelor columnare și ale zonei cristalelor echiaxiale mari dinspre suprafața liberă, constructorul și proiectantul de mașini trebuie să-și aleagă aliajul nu numai după aceste proprietăți, ci și după proprietățile tehnologice (în grupul acestora intrând și dimensiunile zonelor macrostructurale).

În cazul bronzului înalt aliat cu Pb, marca CuPb25Sn5, cu compoziția chimică menționată anterior, turnat la diferite turații cu o mașină cu axă orizontală de rotație, s-au obținut macrostructuri diferite. Parametrii de turnare centrifugă sunt redați în tabelul 8.

Tabelul 8.

Macrostructurile probelor din aliaj CuPb25Sn5 turnate la diferite turații

Diametrul piesei	Turația cochilei	Viteza de	Coeficientul	Figura
------------------	------------------	-----------	--------------	--------

exterior/interior [mm]	n , [rot/min]	rotație, [m/s]	gravitațional $K = 0,0011R \cdot n^2$	
90/50	320	1,5	5,0	5.7. a
90/50	425	2,0	9,0	5.7. b
90/50	530	2,5	14,0	5.7. c
90/50	640	3,0	20,0	5.7. d
90/50	745	3,5	27,0	5.7. e

La creșterea turației peste 425 rot/min calitatea pieselor s-a înrăutățit brusc din cauza apariției *stratificării în dungi* (inele concentrice de segregare), așa cum se observă în fig. 6. a – e.

Mărind turația cochilei peste 745 rot/min, piesele s-au obținut cu stratificări și mai evidente ale aliajului, prezentând o mare neomogenitate chimică și structurală.

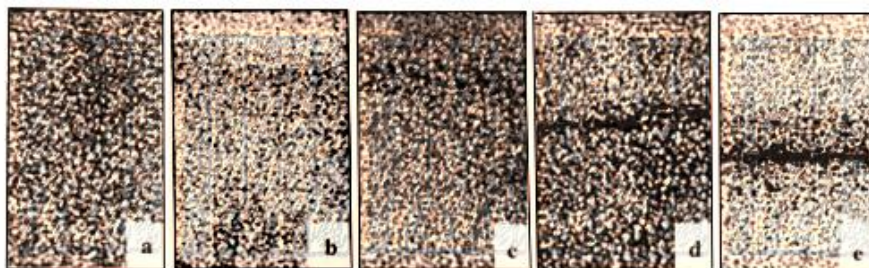


Fig. 6. Macrostructurile secțiunilor transversale ale pieselor turnate centrifugal din bronz special, marca CuPb25Sn5, la diferite turații ($\times 3$):
a – structură fină, echiaxială, din care lipsește segregarea; *b* – structură fină, echiaxială, cu mici incluziuni de Pb; *c* – apariția structurii columnare la suprafața exterioară a piesei și incluziuni mari de Pb; *d* – formarea clară a structurii columnare și a stratificării bronzului; *e* – formarea structurii columnare și a stratificării puternice a bronzului.

Această neomogenitate se explică prin alunecarea puternică a straturilor de lichid față de cele solidificate, care a condus la împiedicarea desfășurării normale a procesului de solidificare, fapt confirmat și în lucrarea.

În cazul când aliajul se rotește cu aceeași viteză ca a cochilei, numărul de inele i pe macrosecțiune trebuie să fie egal cu numărul rotațiilor n pe care le execută forma în timpul t , adică:

$$i = \frac{n \cdot t}{60}.$$

În acest caz numărul inelelor (de concentrație diferită de cea a matricei) este mare, diferențele între inele și zonele dintre inele sunt

inesizabile și structura se obține aproape omogenă, fiind dependentă de condițiile de răcire.

În realitate, aliajul lichid în primele momente după turnare are o viteză mai redusă decât a cochilei, deci apare o alunecare a sa față de formă și ca urmare scade n_a , deci și numărul inelelor i . În consecință, concentrația plumbului va fi mai mare în inel decât în zona dintre inele.

1.3.3. Influența turnării centrifuge asupra proprietăților mecanice ale bronzului cu conținut mare de plumb

În cazul turnării centrifuge a unor bușe cu flanșe din bronz cu conținut mare de plumb (CuPb17Sn4Zn4), ale căror cote sunt indicate în fig. 7, iar valorile cotelor sunt date în tabelul 9., s-a observat că proprietățile mecanice sunt mult mai ridicate comparativ cu turnarea în forme din amestec (tabelele 10 și 11).

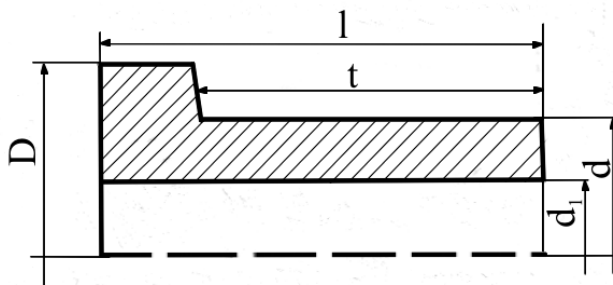


Fig. 7. Cotele bușelor cu flanșă corespunzătoare tabelului 9.

Tabelul 9.

Valorile dimensiunilor bușelor cu flanșă din fig. 10.

Dimensiunea	d_1 [mm]	D [mm]	d [mm]	L [mm]	t [mm]	Masa piesei [kg]
Valoarea	95	190	150	140	108	14
dimensiunii	180	250	300	225	193	48

Din tabelul 10 rezultă că turnarea centrifugă îmbunătățește proprietățile mecanice ale metalului față de turnarea în forme staționare confecționate din amestec de formare. În cazul turnării în forme staționare reburile cauzate de porozități și retasuri ajung până la 50% și chiar mai mult, pe când la turnarea centrifugă a bușelor din bronz CuPb17Sn4Zn4 reburul a scăzut la zero.

Tabelul 10.

Comparație între proprietățile mecanice ale bușelor turnate centrifugal și cele ale bușelor turnate în forme staționare din amestec de formare.

Nr. crt.	Turnare centrifugă			Turnare în forme staționare, din amestec de formare		
	Rezistența la tracțiune R_m [N/mm ²]	Alungirea la rupere A_5 [%]	Duritatea Brinell HB5/250/30	Rezistența la tracțiune R_m [N/mm ²]	Alungirea la rupere A_5 [%]	Duritatea Brinell HB5/250/30
1	210,0	13,0	57	180,0	16,0	44
2	210,6	22,6	59,5	160,8	15,8	44,6
3	210,3	18,6	59,5	140,3	11,8	42
4	210,4	20,0	59,5	160,6	13,8	-
5	200,9	20,0	59,5	180,1	16,2	-
6	-	-	-	170,3	13,6	-

Duritatea bușelor din bronz CuPb17Sn4Zn4 turnate gravitațional în forme confecționate din amestec de formare și turnate centrifugal este dată în tabelul 11., în conformitate cu fig.8.

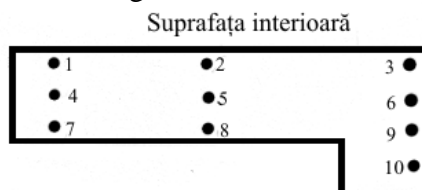


Fig. 8. Schema amplasării punctelor de determinare a durității Brinell.

Tabelul 11.

Duritatea pieselor din bronz CuPb17Sn4Zn4 turnate centrifugal în cochile din fontă și gravitațional în forme din amestec de formare.

Procedeul de turnare	Duritatea Brinell, HB 10/500/									
	Punctele conform fig. 8.11									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Centrifugă	58,6	56,8	60,5	62,5	60,5	62,5	56,8	60,5	64,6	64,6
Gravitațională	44,9	43,6	43,6	40,2	43,6	44,9	46,1	44,9	43,6	43,6

Având în vedere cele expuse mai sus, la turnarea centrifugă a bronzurilor cu aluminiu este necesară o protejare efectivă a metalului contra oxidării la turnarea directă în formă, cu încălzirea suprafeței interioare a piesei în timpul solidificării. Această protecție se realizează prin intermediul unui strat de zgură care trebuie să se afle pe suprafața liberă a piesei. Inițial forma metalică 1 se protejează cu un strat refractar din nisip 2, care se

preîncălzește la 120...150⁰ C, apoi se toarnă un strat de zgură sintetică (fig. 9).

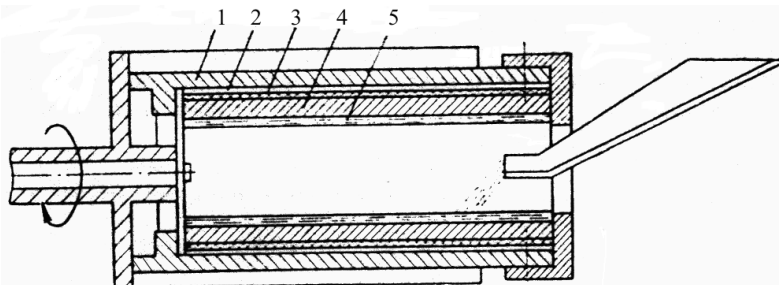


Fig. 9. Protejarea cu zgură sintetică a suprafeței libere a piesei turnate centrifugal din bronz cu aluminiu:

1 – forma metalică; 2 – căptușeală refractară din nisip, 3 – zgură sintetică turnată înaintea metalului; 4 – piesa turnată; 5 – strat de zgură format la suprafața liberă a piesei.

Zgura sintetică se poate introduce înainte sau concomitent cu metalul. Dacă zgura se introduce *înaintea* metalului, atunci pereții formei 1 se acoperă cu un strat uniform de zgură 3, care la turnarea metalului se topește în mare parte și se îndepărtează spre suprafața liberă 5 a piesei 4, pe baza diferenței între greutatea specifice ale celor două materiale, iar o altă parte rămâne pe stratul refractar 2. În această situație stratul de zgură 5 încălzește și protejează contra oxidării suprafața liberă și în același timp întârzie formarea frontului de solidificare spre axa termică, favorizând separarea incluziunilor oxidice și gazoase.

Tabelul 20.

Diferite fluxuri de protecție folosite la turnarea centrifugă a bronzurilor cu aluminiu

Nr. flux	Dimensiunile semifabricatului, $\varnothing_e/\varnothing_i/L$, [mm]	Temperatura de turnare a aliajului, [⁰ C]	Temperatura de turnare a fluxului, [⁰ C]	Compoziția fluxului [% masă]
1	$\varnothing 870/\varnothing 710/8500$	1170	1200	51% CaF ₂ , 17% CaO, 26% SiO ₂ , 6% Na ₂ O
2	$\varnothing 870/\varnothing 710/8500$	1160	1200	60% CaF ₂ , 20% CaO, 20% Na ₃ AlF ₆
3	$\varnothing 450/\varnothing 360/450$	1150	1190	80% Na ₃ AlF ₆ , 20% CaO
4	$\varnothing 450/\varnothing 360/450$	1160	1210	80% Na ₃ AlF ₆ , 20% CaO
5	$\varnothing 450/\varnothing 360/450$	1170	-	50% Na ₃ AlF ₆ , 35% NaF, 15% CaF ₂

LABORATOR LA DISCIPLINA
OBȚINEREA PIESELOR TURNATE PRIN PROCEDEE SPECIALE
-O.P.T.P.S.-

LUCRAREA 4

OBȚINEREA MATERIALELOR POROASE PRIN TURNARE CENTRIFUGĂ

1. Scopul

Materialele poroase au multiple aplicații în industrie și în uzul casnic, personal. Ele sunt utilizate ca amortizoare de zgomot, schimbătoare de căldură, opritoare de flacără și ca elemente filtrante. Aplicațiile filtrante se bazează pe prezența porilor intercomunicanți în structura materialului, ce permit trecerea fluidului dintr-o parte în cealaltă parte a elementului suferind anumite transformări.

2. Considerații teoretice generale

Metodele folosite în practică și cunoscute în literatură de obținere a materialelor metalice poroase sunt:

1. Introducerea unui gaz sub formă de bule în topitura metalică;
2. Prin amestecarea unui agent de spumare într-un aliaj topit și controlul presiunii în timpul răcirii.
3. Amestecul unei pulberi metalice cu un agent spumant, urmat de încălzirea într-o formă vâscoasă și eliberarea hidrogenului de către agentul spumant, producând expandarea materialului.
4. Fabricarea unei matrițe ceramice dintr-o ceară sau un precursor de polimer-spumă, urmată de arderea precursorului și infiltrarea sub presiune cu o suspensie de metal topit sau pulbere metalică care este apoi sinterizată
5. Depunerea în fază de vapori sau electrodepunerea metalului pe un precursor de spumă polimeric care este ulterior ars, și se obțin marginile celulelor cu miezuri goale.
6. Captarea gazului inert sub presiune în pori prin presare izostatică sub formă de pulbere (HIPing), urmată de expansiunea gazului la temperatură ridicată.
7. Sinterizarea sferelor goale, realizate printr-un proces de atomizare modificat sau din sfere de oxid sau hidruri de metal, urmat de reducere sau de deshidratare sau prin depunerea de vapori de metal pe sfere de polimer.

8. Presarea unei combinații de pulberi metalice cu o pulbere ce poate fi dizolvată, sau infiltrarea sub presiune a unui strat de particule solubilizabile într-un metal lichid, urmată de dizolvare pentru a lăsa un schelet de spumă metalică.

9. Dizolvarea unui gaz (de obicei hidrogen), într-un metal lichid, și eliberarea lui într-un mod controlat în timpul solidificării.

În tehnica actuală sunt utilizate în domenii foarte variate – inclusiv ca biomateriale – produse metalice poroase obținute prin metalurgia pulberilor ori ca materiale compozite. Produsele se obțin din pulberi metalice (amestecate uneori și cu pulberi nemetalice) prin procedee de presare și încălzire fără topire (sinterizare). Țesutul viu se ancorează și se dezvoltă în condiții mai favorabile pe suprafețe poroase decât pe cele lustruite și dense, motiv pentru care produsele metalice poroase sunt larg utilizate ca biomateriale.

Biomaterialele metalice poroase sunt utilizate în protezare ca straturi superficiale ce se depun pe suprafețe metalice rigide în scopul facilitării ancorării și dezvoltării țesutului viu pe suprafața implantului. Metalele poroase se obțin din pulberi metalice, prin **sinterizare**, sub forma de straturi sau piese.

În esență, procedeul tehnologic constă în a supune pulberea metalică influenței presiunii și temperaturii, ceea ce conduce la obținerea unor compoziții structurale cu proprietăți ce nu pot fi obținute prin metodele convenționale de topire și turnare.

Pentru obținerea produselor sau straturilor poroase se fac amestecuri omogene din pulberi care sunt apoi compactate prin presare într-o matriță și legate fizic prin operația numită sinterizare, tratament ce are loc la o temperatură mai scăzută decât temperatura de topire a componentului principal. În cursul sinterizării particulele metalice se sudează superficial, porozitatea se reduce semnificativ, realizându-se creșterea proprietăților de rezistență. Sinterizarea este apoi urmată de operații finale ca: tratamente termice sau termodinamice, prelucrări mecanice, impregnare, etc..

Modul de aranjare reciprocă în spațiu al particulelor dintr-o pulbere este numit mod de împachetare. Gradul de împachetare poate fi caracterizat cantitativ prin densitatea aparentă și mărimile conexe ca: volumul specific aparent, densitatea relativă, volumul relativ și porozitatea.

-Densitatea aparentă este raportul între greutatea unei cantități de pulbere în stare vărsată și volumul ocupat (care include și porii):

$$\rho_a = \frac{G}{V}, \quad \text{g/cm}^3$$

-Volumul specific aparent V_a este volumul unității de masă al pulberii în stare vărsată și este egal cu inversul densității aparente:

$$V_a = \frac{1}{\rho_a}, \quad \text{cm}^3/\text{g}$$

- Densitatea relativă este raportul între densitatea aparentă a pulberii și densitatea materialului compact, caracteristica numită și fracție de împachetare f :

$$\rho_r = f = \frac{\rho_a}{\rho}$$

- Volumul relativ V_r este inversul densității relative și exprima de câte ori volumul ocupat de materialul pulverulent este mai mare decât volumul ocupat de aceeași cantitate de material compact:

$$V_r = \frac{1}{\rho_r} = \frac{\rho}{\rho_a}$$

- Porozitatea sau fracția de goluri V reprezintă raportul între volumul golurilor V_g și volumul aparent al pulberii V_a (care include atât volumul golurilor V_g cât și volumul particulelor de pulbere V_p):

$$V = \frac{V_g}{V_a} \text{ sau } V = 1 - \rho_r$$

Toate mărimile prezentate, care caracterizează gradul de împachetare al particulelor de pulbere, depind de forma și de dimensiunile particulelor, precum și de starea suprafeței lor. Particulele sferice de aceeași dimensiune se împachetează în mod compact, la fel ca atomii în rețele cristaline de maximă compactitate (CFC, HC), porozitatea teoretică fiind de 26%. Practic, modul de împachetare este mai puțin compact, porozitatea atingând valori de 35-45%. Această discrepanță se datorează rugozității suprafeței libere a particulelor de pulbere și a reactivității lor superficiale, care favorizează adeziunea între particule, cu împiedicarea mișcării reciproce libere, care să le permită aranjarea în modul cel mai compact.

Tehnologia utilizată în cadrul laboratorului se poate încadra în metoda 8 de obținere a spumelor metalice, (infiltrarea sub presiune a unui strat de particule solubilizabile într-un metal lichid, urmată de dizolvare pentru a lăsa un schelet de spumă metalică).

Spre deosebire de procedeele de infiltrare cunoscute în literatură s-a utilizat o metodă simplă, inovativă, iar de această dată metalul topit a fost infiltrat prin presiune între particule. Tehnologia se folosește de forța centrifugă pentru a crea presiunea necesară de introducere a metalului topit printre particule de material ce urmează să fie extrase prin dizolvare. După eliminarea particulelor va rezulta o structură cu un schelet metalic și goluri interioare comunicante.

Această tehnologie de obținere a materialelor metalice poroase se numește turnare centrifugală a materialelor metalice poroase. Această tehnologie se află încă în faza de cercetare-dezvoltare. S-au realizat experimente pe materiale metalice ușor fuzibile (aliaj de aluminiu) și pe materiale de parafină.

3. Materiale, aparatura și mod de lucru

3.1. Materiale

Pentru acest laborator este nevoie de următoarele materiale:

1. Aliaj de aluminiu - 230g.
2. Clorură de sodiu, granulație 1-4mm – 200g.
3. Parafină – 150g.

Aliajul de aluminiu folosit este siluminul. Conform standard ASTM International B 26/B 26M – 05 conținutul de siliciu în siluminurile standardizate comerciale se află între 5-23%. Aliajele cunoscute sub denumirea de siluminuri sunt cele mai importante materiale metalice pe baza de aluminiu, utilizate în turnatorii. Siluminurile se caracterizează prin proprietăți foarte bune de turnare, și caracteristici mecanice satisfăcătoare, în același timp au o rezistență bună la coroziune, se prelucrează bine prin așchiere și posedă o sudabilitate bună. Nu sunt permeabile pentru lichide și gaze, sunt insensibile față de fisurile la cald.

Conform diagramei de echilibru a sistemului Al-Si, între aceste elemente se formează un eutectic cu temperatura de topire de 577 C, cu un conținut de 11,7 % Si, și o soluție solidă. Conținutul de siliciu în soluția solidă variază în funcție de temperatura. La temperatura eutectică solubilitatea siliciului în aluminiu este de 1,65 % , iar la temperatura mediului ambiant se micșorează la 0,005 %.

Clorura de sodiu (denumită sare de bucătărie) este sarea sodiului cu acidul clorhidric și are formula NaCl. Clorura de sodiu se obține prin reacția dintre acidul clorhidric și hidroxidul de sodiu. Este o substanță solidă, ionică, cristalină (structură cubică cu fețe centrate); punctul de fierbere este 1413°C iar punctul de topire 801°C. Este foarte solubilă în apă - 360,9 g/l la 20°C. Sarea este higroscopică. Densitatea sării este 2,165 g/cm³ (toate datele se referă la sarea pură). Duritatea sa este de 2,5 pe scara Mohs, adică între gips și calcit.

Parafina este o substanță solidă, albă, formată dintr-un amestec de hidrocarburi saturate obținute la distilarea țițeiului și întrebuințată la fabricarea lumânărilor, la impregnarea hârtiei și a țesăturilor, ca materie primă în industria chimică. Cel mai răspândit alcan care intră în componența parafinei este C₃₁H₆₄, iar cel mai simplu compus este eicosanul (C₂₀H₄₂). Ceara parafinică are temperatura de topire între 48 - 68 °C și densitatea de aproximativ 900 kg/m³. Nu este solubilă în apă, dar este solubilă în eter, benzen și anumiți esteri.

3.2. Aparatură

Pentru această lucrare se utilizează următoarele aparate și instalații:

1. Cuptor pentru topirea aliajului de aluminiu.
2. Plită cu rezistență pentru topirea parafinei.
3. Mașină de turnare centrifugală cu axa verticală de rotație și turație constantă.

1. Cuptorul pentru topirea aliajului de aluminiu este un cuptor electric cu bare de silită de tip KO 14, cu putere de 10kW, temperatura maximă 1000°C, sistem de reglaj și de menținere a temperaturii în intervalul necesar.

2. Plita cu rezistență electrică pentru topirea parafinei se încălzește la aproximativ 70-75 °C și menține temperatura constantă pe parcursul topirii.

3. Mașina de turnare centrifugală cu axă verticală de rotație și turație constantă este o mașină relativ simplă, ce poate fi utilizată la producția de unicate și serie mare, când se stabilesc de la bun început dimensiunile pieselor, natura aliajului, coeficientul gravitațional, masa formei și a elementelor sale constructive. De regulă asemenea mașini se pot monta pe un conveier deservit de mai multe posturi de lucru (pregătirea formei pentru turnare, turnarea aliajului lichid, solidificarea și răcirea piesei, extragerea piesei). În fig. 1 este prezentată mașina construită de turnare centrifugă cu axă verticală de rotație și turație constantă. Ea este

compusă din forma metalică de turnare, cochila (3), montat (prindere cu șuruburi) coaxial cu arborele vertical pentru antrenarea în mișcarea de rotație (1), care este cuplat cu electromotorul (4) prin intermediul unei curele de transmisie, a cărei viteză de rotație este măsurată cu ajutorul tahogeneratorului (1).

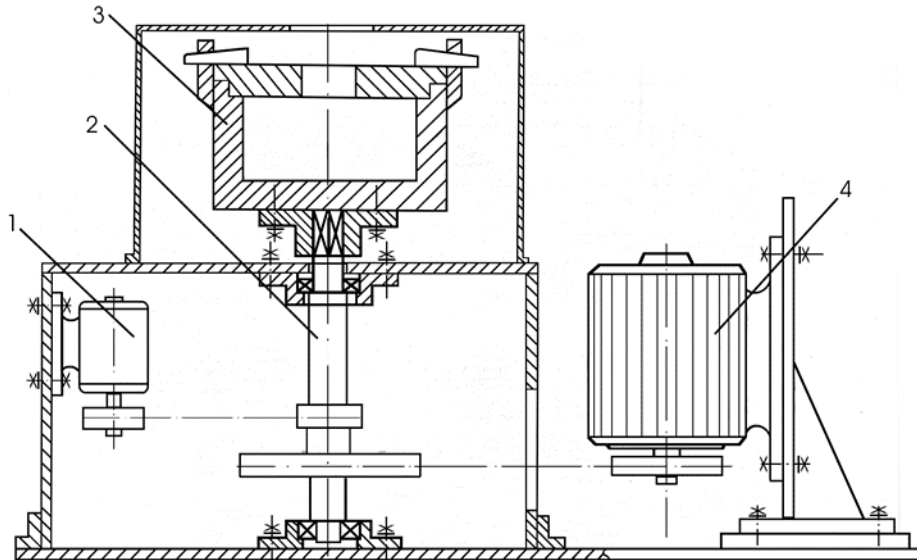


Fig. 1. Schema constructivă a mașinii de turnare centrifugă cu axă verticală de rotație și turație constantă: 1- tahogenerator; 2- arbore vertical pentru antrenarea în mișcarea de rotație; 3 – forma metalică de turnare (cochila); 4 – electromotor.

Viteza de rotație a mașinii de turnare centrifugală este de 1390 rot/min. Motorul care antrenează mașina de turnare centrifugal este de curent alternativ, cu o putere de 0.55kW.



Fig. 2. Instalație de turnare centrifugă, cu axă verticală de rotație și turație constantă: 1 – butoane de comandă; 2 – electromotor de curent alternativ, trifazat; 3 – placă de bază; 4 –

carcasa de protecție; 5 – corpul mașinii de turnare centrifugă; 6 – forma metalică; 7 – capacul forme și sistemul de închidere;

3.3. Modul de lucru

Materialele poroase care se pot obține prin această tehnică de turnare centrifugală trebuie să țină seama de temperatura de topire a particulelor ce trebuie eliminate (dizolvate). Particulele (clorura de sodiu) are temperatura de topire de aproximativ 800°C. La acest laborator se utilizează aliajul de aluminiu și/sau parafina. Pentru scop didactic se poate turna cu mai multă ușurință parafina, însă trebuie să se țină cont de timpul mai lung de solidificare a acesteia deoarece este un material izolator. Apoi se realizează următorii pași:

1. Se cântăresc 200g clorură de sodiu și se plasează într-un recipient.
2. Se cântăresc 150 g parafină sau 230 g de aliaj de aluminiu.
3. Se încălzește în recipient metalic parafina până când se topește întreaga masă, sau se folosește cuptorul electric pentru topirea aliajului de aluminiu și pregătirea pentru turnare.
4. În cazul turnării aliajului de aluminiu clorura de sodiu va fi deshidratată în prealabil la 200 °C pentru a elimina cantitatea de apă ce a fost absorbită.
5. Se îndepărtează carcasa de protecție (4) și capacul (7) forme și a sistemului de închidere cu care este prevăzută instalația de turnare centrifugă.
6. Se introduce clorura de sodiu în interiorul forme (7) și apoi se închide și se blochează capacul forme.
7. Se montează carcasa de protecție (4) și apoi se pornește instalația de turnare centrifugă.
8. Se toarnă aliajul folosit în pâlnia de pe capacul carcasei de protecție.
9. Se menține pornită instalația până la solidificarea aliajului.

4. Rezultate obținute și discuții

Cele mai importante caracteristici ale materialelor poroase sunt: natura materialului, densitatea relativă ρ/ρ_s (densitatea spumei metalice, raportată la densitatea materialului din care este realizată) și dacă are celule închise sau deschise.

Dimensiunile piesei obținute cu cantitățile de materiale specificate anterior sunt prezentate în figura

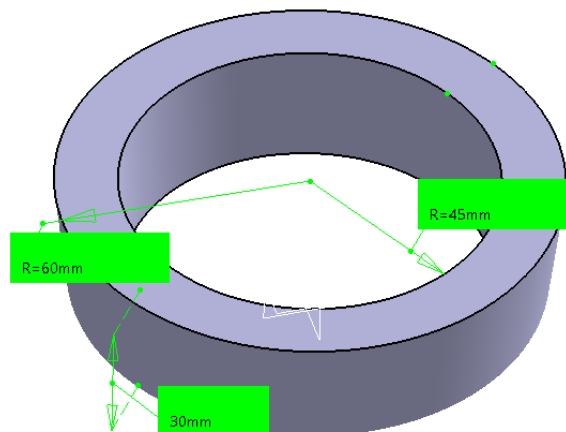


Fig.3. Dimensiunile piesei turnate

Densitatea relativa calculată: $\rho/\rho_s = 1.66/2.7=0.61$ [g/cm³].

Comparativ cu densitatea aluminiului 2,7g/cm [g/cm³], materialul poros obținut este aproximativ de 2 ori mai ușor.

Analiza macroscopica,



Fig. 3. a) Piesa turnata centrifugal; b) detaliu pe suprafata exterioară după turnare; c) detaliu pe suprafata interioară a piesei după dizolvarea clorurii de sodiu.

Materialul poros obținut prezintă pori deschiși, cu distribuție uniformă datorită forței centrifuge, și vibrației care apare în arborele mașinii ce presează și forțează particulele să ocupe poziția cea mai favorabilă, la un volum cât mai mic al golurilor dintre ele. Cunoscând faptul că particulele reprezintă de fapt topologia golurilor rezultate după dizolvare, putem spune că prin această metodă obținem un factor bun al indicelui de densitate relativă. Acest indice exprimă și gradul de utilizare al materialului.

În imaginea 3.b. se observă particulele de clorură de sodiu incluse în topitura solidificată la peretele forme de turnare. În imaginea 3.c. este prezentată piesa turnată în casură, pe o secțiune radială. Observând aceste imagini putem spune că la porii sunt de tip deschis.

În figurile următoare sunt prezentate macrografiile optice (fig. 4) și electronice (fig. 5) SEM, (fig. 5.) care unde se observă în detaliu și relieful casurii.

5. Interpretarea rezultatelor

Comparativ cu metodele de obținere anterioare:

- prezintă un grad ridicat de siguranță în utilizare deoarece nu necesită substanțe periculoase (gaz introdus în topitura,)
- timpii afectați operațiilor pregătitoare sunt minime, deoarece nu sunt necesare pregătirea unor preforme (precursori)
- costuri reduse pentru materii prime, energie.
- instalația este ușor de întreținut și nu necesită operații și piese costisitoare.
- nu este necesară controlarea parametrilor de lucru cum ar fi presiuni, viteze de răcire,
- metoda permite obținerea unor pori cu dimensiuni variate, însă uniform distribuiți în volumul piesei.
- pentru aplicații industriale agentul de spumare poate fi recuperat. După dizolvarea sării, saramura se poate recicla prin evaporarea apei.

- tehnologia de turnare centrifugă este în general o tehnologie cunoscută și foarte bine studiată pe plan global, de aceea se poate greșa pe ea această nouă tehnică de obținere a materialelor poroase, tocmai prin folosirea documentației existente.

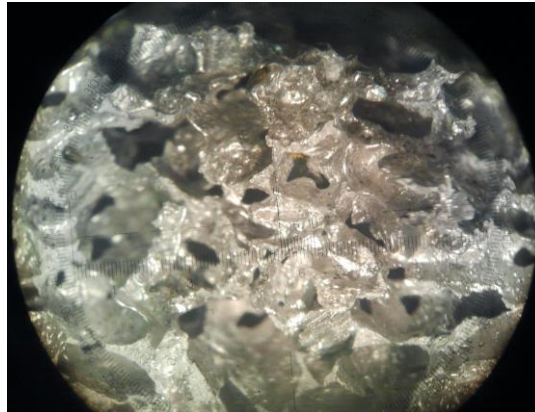


Fig. 4 Material poros din aliaj de aluminiu, macrografie obținută la o mărire de 10x.

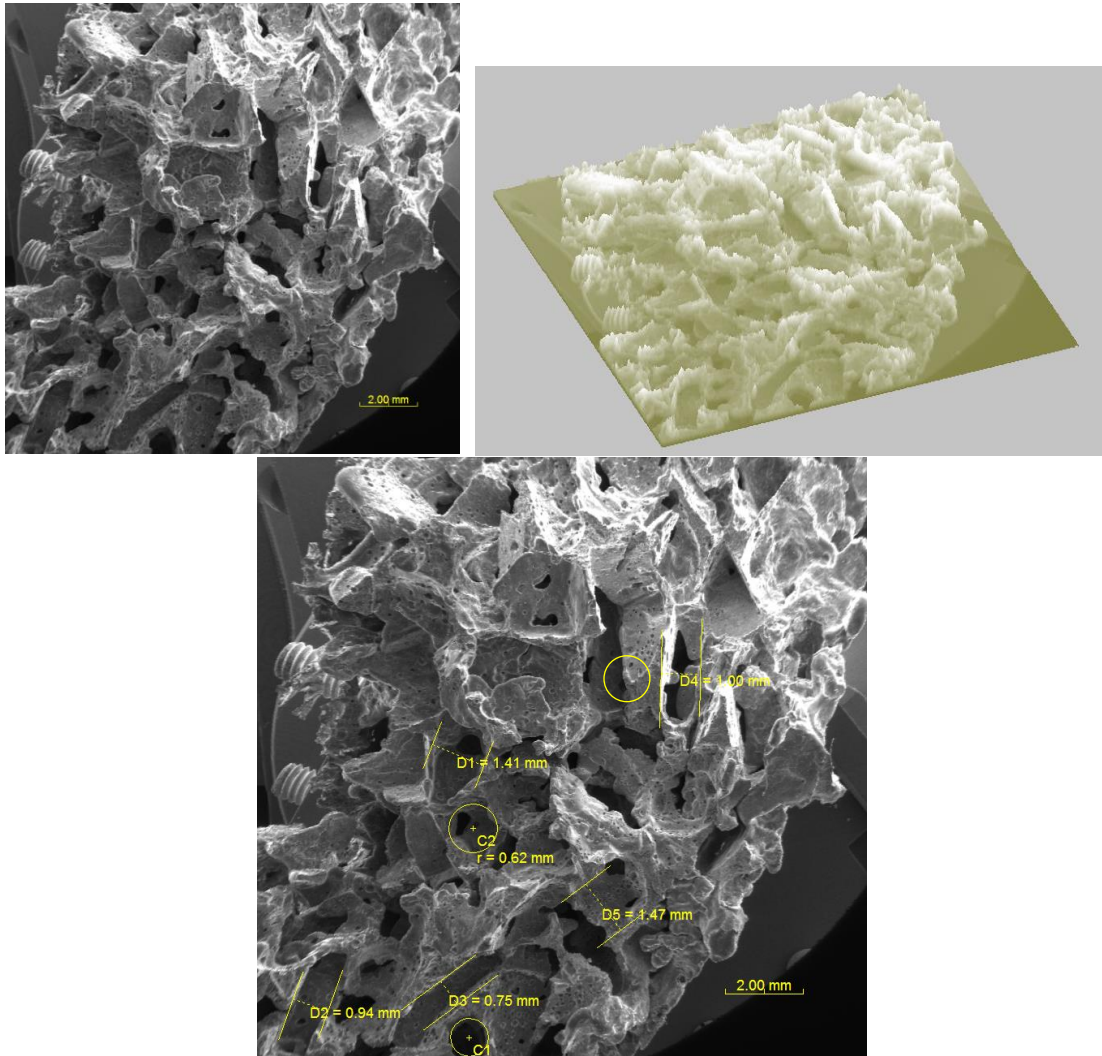


Fig.5. Imagine SEM a structurii materialului poros obținut prin turnare centrifugala: a) Imagine SEM la cu scara de de 2mm vizibilă; b) relieful 3D obținut din scanarea cu electroni. c) Diferite măsurători ale golurilor obținute cu particulele de clorură de sodiu.