

STUDII ȘI CERCETĂRI PRIVIND CONSTRUCȚIA ȘI FUNCȚIONAREA MOTOARELOR CU ARDERE INTERNĂ CU SCAUNE DE SUPAPĂ SINTERIZATE

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea "Politehnica" din Timișoara
în domeniul INGINERIE MECANICĂ
de către

fiz. Adela Filip

Conducători științifici: prof.univ.dr.ing. Ioan Nicoară
prof.univ.dr.ing. Viorel Șerban
Referenți științifici: prof.univ.dr.ing. Ioan Vida-Simiti
prof.univ.dr.ing. Mircea Bădescu
conf.univ.dr.ing. Mircea Nicoară

Ziua susținerii tezei: 17.12.2009

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|------------------------|---|
| 1. Automatică | 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații |
| 2. Chimie | 8. Inginerie Industrială |
| 3. Energetică | 9. Inginerie Mecanică |
| 4. Ingineria Chimică | 10. Știința Calculatoarelor |
| 5. Inginerie Civilă | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 6. Inginerie Electrică | |

Universitatea „Politehnica” din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2006

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității „Politehnica” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221
e-mail: editura@edipol.upt.ro

Cuvânt înainte

Teza de doctorat a fost elaborată pe parcursul activității mele în cadrul Departamentului de Mecanică al Universității „Politehnica” din Timișoara.

Autoarea își exprimă recunoștința față de regretatul prof. Dan Virgiliu Negrea, alături de care a proiectat și elaborat etape importante în realizarea lucrării. Domnului prof. dr. Viorel Șerban, cel care a acceptat cu multă bunăvoință și disponibilitate continuarea proiectului, se cuvine a-i mulțumi pentru rolul decisiv în definitivarea lucrării. Alese aprecieri tuturor profesorilor care, pe acest drum plin de obstacole pentru un căutător solitar, dar perseverent, au fost mâna întinsă, suportul moral și implicarea competentă: prof. dr.ing. Ioan Vida-Simiti, conf.dr.ing. Mircea Nicoară, prof. Fiz. dr. Nicolae Jumate, dr. ing. George Dragomir, ing. Vasile Lazăr, ing. Voloș Ciprian.

Gânduri de profundă considerație și gratitudine se îndreaptă spre conducătorul științific al lucrării, dl. prof. dr. ing. Ioan Nicoară, a cărui deschidere, interes, exigență și răbdare au făcut posibilă finalizarea tezei.

Timișoara, 17,12,2009

Filip Adela

Filip, Adela

**STUDII ȘI CERCETĂRI PRIVIND CONSTRUCȚIA ȘI
FUNȚIONAREA MOTOARELOR CU ARDERE INTERNĂ CU
SCAUNE DE SUPAPĂ SINTERIZATE**

Teze de doctorat ale UPT, Seria 9, Nr. 71, Editura Politehnica,
2009, 204 pagini, 39 figuri, 27 tabele.

ISSN: 1842-4937

ISBN: 978-606-554-040-8

Cuvinte cheie: scaun de supapă, sinterizare, dilatare, diagrama
indicată

Rezumat,

Lucrarea de față își propune să evidențieze câteva dintre avantajele utilizării scaunelor de supapă sinterizate în industria constructoare de mașini, pornind de la compoziția proiectată și proprietățile fizice determinate pentru materialul sinterizat, în scopul creșterii fiabilității motoarelor termice și în scopul economisirii de materii prime și materiale. Scopul lucrării este: cercetări fundamentale și aplicative privind comportarea în exploatare a scaunului de supapă de admisie pentru motoare cu ardere internă, realizat după rețeta autoarei tezei. S-a ales rețeta pulberilor și tehnologia de fabricație în vederea sinterizării unor variante de scaune de supapă, destinate îmbunătățirii performanțelor motoarelor termice.

CUPRINS

1. Evaluarea temperaturii gazelor din cilindru prin metoda ciclului real de funcționare a motorului Diesel.....	15
1.1 Algoritmi de calcul pentru evaluarea termogazodinamicii motoarelor cu aprindere prin comprimare în regim permanent de funcționare și în regimuri variabile.	15
1.2 Calculul elementelor geometrice ce variază în timpul funcționării motorului	21
Fig 1.6. Secțiuni ale supapei	22
1.3 Sistemul de evacuare.....	23
AT - secțiunea echivalentă	24
1.4 Sistemul de admisie.....	25
1.5 Concluzii și contribuții personale	27
2. Materiale și tehnologii utilizate la fabricarea scaunelor de supapă	29
2.1. Descrierea sistemului de distribuție și a scaunului de supapă.	29
2.2. Condiții termomecanice de funcționare a supapelor și a scaunului de supapă.	39
2.3. Materiale utilizate la fabricarea supapelor și a scaunelor de supapă.	41
2.4. Tehnologia de fabricare a supapei și a scaunului de supapă	44
2.5. Concluzii preliminare.....	47
3. Tehnologia de fabricare a pieselor metalice prin metalurgia pulberilor	48
3.1 Etapele procesului tehnologic de fabricație a pieselor sinterizate.....	48
3.1.1 Obținerea pulberilor metalice	48
3.1.2 Prepararea amestecurilor de pulberi.....	56
3.1.3 Presarea	59
3.1.4 Sinterizarea	67
3.1.5 Operații suplimentare	73
3.2 Proprietățile materialelor sinterizate	80
3.3 Avantajele economice ale utilizării scaunelor de supapă sinterizate pentru motoarele cu ardere internă.....	87
3.4 Concluzii preliminare.....	90
4. Proprietăți de exploatare a materialelor pentru scaune de supapă	92
4.1. Considerații generale.	92
4.2. Proprietăți fizice.	92
4.2.1 Stabilitatea dimensională.	93
4.2.2 Conductivitatea termică	95
4.3. Proprietăți chimice.....	96
4.4. Proprietăți mecanice	97
4.5. Proprietăți tehnologice	106
4.6. Proprietăți de exploatare	108
4.7. Concluzii preliminare.....	112
5. Cercetări experimentale privind fabricarea și caracterizarea scaunelor de supapă sinterizate	116
5.1. Cercetări experimentale privind fabricarea prin sinterizare a scaunelor de supapă	116
5.1.1. Considerații generale	116

5.1.2.	Programul experimental	118
5.1.3.	Tehnologia de fabricație a scaunelor de supapă. Condiții de experiment	119
5.2.	Caracterizarea aliajelor elaborate destinate fabricării scaunelor de supapă 121	
5.2.1	Structura	121
5.2.2	Proprietăți mecanice	137
5.2.3	Proprietăți termice	145
5.3.	Concluzii preliminare.....	174
6.	Echipe și instalații experimentale pentru ridicarea diagramei indicate și determinarea proprietăților termomecanice de funcționare a motorului echipat cu scaune de supapă sinterizate.....	176
6.1	Ridicarea teoretică a diagramei indicate în coordonate p-V și p- α cu ajutorul programului UNIER	176
	Posibilitățile oferite de programul UNIER	176
6.2	Ridicarea experimentală a diagramei indicate în coordonate p-v și p- α cu standul de testare cu motor model - Robin-EH 17-2D Tip - TD 211	181
6.3	Calculul variației strângerii.....	186
6.4	Concluzii preliminare.....	193
7.	Concluzii finale și contribuții personale.....	195

Introducere

Studiul privind influența proiectării sistemului de distribuție a motoarelor cu ardere internă asupra performanțelor termomecanice ale acestor motoare înregistrează o îndelungată istorie și o îndelungată experiență ceea ce a permis dezvoltarea unei bogate activități de cercetare și a condus la metode de proiectare noi, precum și la utilizarea unor materiale mai puțin convenționale, cum ar fi, de exemplu obținerea de subsansambluri ale motoarelor prin sinterizare din pulberi metalice.

Asamblarea materiei prin condensarea în gaz a unor „clusteri atomici” reprezintă, probabil, o metodă ivită odată cu Universul însuși, când, în perioadele de răcire, după „Big Bang”, au apărut primele corpuri.

Sinteza acestor particule multiatomice din metale prin metoda condensării în gaz, urmată de consolidarea in situ, în condiții de vid înalt, a condus la obținerea unor clase noi de materiale cu grăunți ultrafini.

Aceste materiale posedă proprietăți deosebite și adesea îmbunătățite față de materialele convenționale. Din acest motiv, în ultimii 30 de ani s-a dezvoltat o adevărată știință a metalurgiei pulberilor atât metalice cât și nemetalice.

Prin metode adecvate de obținere puse la punct se poate furniza o gamă largă de materiale: incluzând metale, aliaje metalice, compuși intermetalici, materiale ceramice care pot avea o structură cristalină, cvasicristalină sau amorfă.

Pe parcursul ultimilor ani s-au realizat multe studii asupra acestor materiale deoarece posedă proprietăți mecanice, termice, optice, magnetice, electronice noi și interesante.

Obținerea de piese din pulberi s-a dovedit a nu fi ușoară. Una dintre metode este aplicarea tehnicilor de sinterizare, forjare și presare la temperaturi înalte.

A doua metodă este adăugarea de dopanți pentru a modifica procesele de difuzie, migrația și creșterea grăunților.

Cea de a treia metodă se folosește pentru pulberi în fază metastabilă din punct de vedere cristalografic și constă în introducerea unui germene de cristalizare în faza finală.

Cele mai recente cercetări au căutat să folosească pulberi foarte fine și pure compactizate prin cicluri de sinterizare, atmosferă controlată pentru a limita creșterea grăunților.

Metalurgia pulberilor este o ramură nouă și importantă a tehnicii și tehnologiei moderne, a cărei apariție a fost determinată de necesitatea de a obține materiale cu anumite caracteristici deosebite care nu se pot realiza prin procedeele clasice.

Este demn de remarcat că, în prezent, industria de automobile, industria aparatelor electrocasnice, a instrumentelor electrice de măsurare, a televizoarelor și chiar a rachetelor nu pot fi concepute fără utilizarea pieselor și materialelor speciale obținute din pulberi metalice.

Procesul tehnologic de fabricație a produselor sinterizate este fundamental deosebit de tehnologia metalurgiei clasice, unde semifabricatele obținute prin turnarea metalelor și aliajelor topite sunt prelucrate prin laminare, forjare, matrișare, așchiere etc. ajungându-se astfel la piese realizate printr-un număr mare de operații pretențioase, costisitoare și de lungă durată. Prin metalurgia pulberilor, piesele sunt obținute, de regulă, fără ca materialele și aliajele să treacă prin faza

topită. Procesul tehnologic de fabricație a pieselor sinterizate poate cuprinde următoarele faze:

- obținerea materiilor prime sub formă de pulberi de fier, cupru, staniu, plumb, grafit, lubrifianți și lianți
- omogenizarea pulberii sau a unui amestec de pulberi cu compoziția dorită
- obținerea prin presare sau alte metode a comprimatelor din pulberi metalice
- presinterizarea și sinterizarea comprimatelor la temperaturi înalte, într-o atmosferă protectoare
- calibrarea pieselor sinterizate
- prelucrarea mecanică sau alte prelucrări de finisare a pieselor sinterizate
- impregnarea cu uleiuri sau aliaje ușor fuzibile a pieselor sinterizate
- controlul și recepția produselor sinterizate.

Meturgia pulberilor asigură produselor și materialelor sinterizate o compoziție precisă și uniformă, cu o mare constantă a proprietăților. Astfel, devine posibilă înlocuirea unor materiale scumpe sau deficitare cu altele mai ieftine și ușor de procurat, iar prin această tehnologie se obțin materiale și produse metalice care nu pot fi elaborate prin procedeele clasice, cum ar fi: wolframul, pseudoaliajele wolfram-cupru și wolfram-cupru-argint. Tehnologia materialelor, ca și elementul cultural apare aproximativ în anul 8000 î.H., când oamenii au realizat primele materiale ceramice și au transformat materia de origine anorganică într-un material nou, cu proprietăți diferite.

Șapte mii de ani mai târziu, în timpul epocii Ionice, s-a încercat o interpretare a lumii înconjurătoare pe baza ipotezelor atomice privind structura materiei.

În următorii 2000 de ani filosofia naturală și știința s-au dezvoltat independent dând naștere fizicii stării solide, care a progresat pe măsură ce s-au dezvoltat metodele cercetării experimentale.

În 1665 *Robert Hooke* a lansat ipoteza organizării ierarhice a materiei, pornind de la structura internă a materiei.[R3]

Isaac Newton a fost primul care a stabilit legătura dintre structură și proprietăți.[R3]

Weisskopf a pus bazele fizice ale conceptului structurii cuantice, nivelelor energetice cuantice privind structura materiei.[W1]

Încă din antichitate erau cunoscute proprietățile deosebite ale materialelor compozite. Primele materiale naturale formate după tipul compozitelor au fost cele din lumea vegetală și animală în condițiile selecției și dezvoltării speciilor.

De exemplu structura bambusului îi oferă acestuia caracteristici de mare rezistență. Cel mai bun exemplu de material compozit în lumea vie este *Radiolaria*. [W2]

Pe parcursul miilor de ani omeni au acumulat experiență în utilizarea materialelor compozite. Eskimoșii din Groenlanda au observat că gheața din apă de mare, (compusă și din cristale de sare) este mai rezistentă decât gheața din apă dulce.

Din timpuri imemorabile, casele din lut erau construite din argilă cu fibre care să-i mărească rezistența: paie, pleavă, nuiete.

Un exemplu tipic de material compozit este oțelul de Damasc format din oțel feritic sărac în carbon, întărit prin fibre de incluziuni de zgură și de lame de oțel eutectic.

O problemă importantă a metalurgiei pulberilor în prezent și în viitor o reprezintă metode noi de preparare a semifabricatelor policristaline cu porozitate redusă sau fără pori, formate din substanțe cu legături interatomice puternice.

Primele studii teoretice privind structurile formate din pulberi, analizau comportamentul individual al particulelor și interacțiunile dintre ele.

Zhdanovich a fost cel care a dezvoltat o elegantă teorie statistică a pulberilor presate. Încercările cercetătorilor de a descrie teoretic presarea pulberilor pornind de la ipotezele continuității materiei au fost mai puțin eficiente.[S7]

Teorii statistice riguroase au fost puse la punct în lucrările cercetătorilor: *Kontorova și Frenkel, Weibull, Fisher și Holloman, Volkov, Yagn, Balandin, Pisarenko, Troshchenko*. [B1][W3] [F6]

Bazele teoretice ale tehnologiei materialelor sinterizate au fost puse cu 70 de ani în urmă de *Frenkel, Pines și Kuczynski* și dezvoltate în cercetările recente ale lui *Bockstiegel, Clark, Herring, Alexander and Balluffi, Gegusin, Fedorchenko și Skorokhod*. [S5]

Eremenko și Naidich, Rhines, Kingery, Greenwood și Lennel au studiat sinterizarea în prezența fazei lichide, iar *Murray, Rodgers și Williams, Rhines și Kennon, Arthur, Samsonov și Kovalchenko* s-au ocupat de presarea la cald, în probleme fundamentale din fizica solidului și a fenomenelor capilare. [K1]

Huppmann și Riegger, Skorokhod și Solonin au examinat fenomenul de creștere a porozității între clusteri odată cu formarea clusterilor, în condiții de sinterizare. [J1][A1]

Dezvoltarea teoriilor mecanicii cuantice și statisticii din ultimii 40 de ani au stimulat dezvoltarea teoriilor privind descrierea proceselor mecanice și a proprietăților sistemelor disperse formate din pulberi metalice.

Prin publicațiile lui *Radomysel'skii în 1969-1970*, s-a demonstrat posibilitatea realizării de oțeluri preparate prin diferite metode ale metalurgiei pulberilor, cu structura uniformă și granulație fină.[R1] [R2]

Așa cum arăta *Kiffer* se pot îmbunătăți proprietățile oțelului cu un conținut scăzut de tungsten dacă se adaugă particule disperse cum ar fi: carburi, nitruri sau boruri.[K2]

În 1994 *Capus* a prezentat tehnologia compactizării la cald, iar în 1995 au fost demonstrate de *Howard și Francis* avantajele acestei tehnologii din punct de vedere al costurilor și productivității.[B2]

În 1997 *Luk* și colaboratorii au arătat că creșterea temperaturii consolidează duritatea, rezistența porțiunii compactizate mai bine decât presiunea de compactizare.[L2]

Din 1998 a fost adoptată compactizarea la cald cu ulei fierbinte pentru preîncălzire.

Se poate spune că progresele în metalurgia pulberilor au determinat realizarea la scară industrială a complexului metalurgic fără furnal.

Materialele compozite se deosebesc de aliajele obișnuite prin aceea că, de regulă, sunt formate din faze nemiscibile (stabile sau metastabile) pe întreg intervalul de temperatură al regimului de lucru și, în cele mai bune condiții până la temperatura de topire. Una dintre faze este matricea, în interiorul căreia este conținută cea de a doua sau o colecție de alte faze componente. În interiorul matricei sunt dispersate incluziuni sub formă de particule, fibre, griduri bi sau tridimensionale, structuri eutectice etc. Matricea este un mediu de dispersie care are rolul de bază pentru orice material compozit. Această bază poate fi metal, aliaje, polimeri, substanțe nemetalice, ceramice etc.

În prezent metalurgia pulberilor stă la baza obținerii următoarelor tipuri de materiale:

- metale și aliaje utilizate în electrotehnică
- materiale dure pe bază de carburi metalice, nitruri, siliciuri

- materiale sinterizate poroase cu caracteristici autolubrifiante
- materiale și aliaje de mare puritate, cu o structură fină și omogenă, lipsită de defecte, practic imposibil de obținut prin topire și turnare
- materiale cu compoziție foarte variată, fără a lua în considerare solubilitatea reciprocă a constituenților metal-compuși ai metalelor (carbura de wolfram - cobalt, cermenți), metal - metaloizi (cupru - grafit), metal - mase plastice (fier-bachelita, bronz-teflon).

Avantajele metalurgiei pulberilor sunt:

- posibilitatea obținerii unor materiale și produse poroase, cu o porozitate fină, uniformă și dirijabilă, după nevoie, între limite largi
- utilajele necesare în tehnologia de fabricație a produselor sinterizate sunt universale, la schimbarea reperului sau a produsului fiind necesară numai înlocuirea matriței de presare și de calibrare
- datorită simplității operațiilor, mecanizarea, automatizarea și robotizarea fabricației sunt ușor realizabile și duc la creșterea productivității muncii
- completează nomenclatorul produselor fabricate în industrie
- oferă, în anumite cazuri, unica soluție rațională, avantajoasă, la elaborarea unor materiale și produse cu proprietăți speciale, care nu pot fi obținute prin procedee tehnologice clasice
- se obțin piese la o calitate superioară, cu un conținut minim de metal, cu o productivitate ridicată
- se pot realiza metale și aliaje cu o temperatură de topire înaltă
- constituie un pas important în domeniul studiului structurii materialelor metalice.

Eficiența economică a metalurgiei pulberilor se manifestă pe mai multe planuri, antrenând pe lângă economiile directe sau indirecte de metal sau energie și următoarele aspecte:

- ❖ îmbunătățirea performanțelor și parametrilor funcționali ai utilajelor pe care sunt montate piese sinterizate
- ❖ mărirea productivității unor procese tehnologice care folosesc produse ale metalurgiei pulberilor
- ❖ recondiționarea produselor masive și complexe
- ❖ recuperarea unor deșeuri sub formă de pulberi metalice (oxizi de fier, deșeuri de cupru tehnic)
- ❖ valorificarea superioară a metalului.

Pentru o înțelegere completă a avantajelor economice ale metalurgiei pulberilor trebuie să se ia în considerare costurile materialelor și energiei, costurile de fabricație, manopera, regia și beneficiile.

Reducerea costurilor de fabricație la piesele fabricate prin această tehnologie depinde de complexitatea pieselor. La serii de fabricație de peste 20000 de bucăți de piese elaborate prin metalurgia pulberilor, elementele costului se reduc astfel:

- cu 75% cheltuielile materiale
- cu 30% la costul utilajelor
- cu 32% la timpul de fabricație
- cu 96% la forța de muncă
- cu 94% cheltuielile pentru întreținerea utilajelor

Totalul cheltuielilor se reduce cu peste 40%.

Costurile de fabricație pentru piesele sinterizate sunt determinate în special de costurile sculelor. Complexitatea și costul sculelor sunt un rezultat direct al configurației. O pondere importantă în costul sculelor o are materialul. În mod

normal pentru o producție de serie mare, sculele sunt făcute din carbură de wolfram pentru a fi rezistente la uzură. Pentru serii mici este mai rentabil să se utilizeze scule din oțel, al căror cost reprezintă doar (25...50)% din costul sculelor de carbură.

Metalurgia pulberilor reduce consumurile de materii prime și energie, coeficientul de utilizare a pulberilor metalice fiind de (98...99)%. Tendințele pe plan mondial se pot grupa astfel: reciclarea deșeurilor, dezvoltarea noilor tehnologii ale metalurgiei pulberilor și reducerea consumurilor de metale.

Aplicații ale pulberilor metalice în diferite domenii:

- tehnica spațială:
 - ecrane termice (pulberi de beriliu, wolfram)
 - filtre pentru combustibil (pulberi de bronz, oțel inoxidabil, nichel)
 - piese pentru motoare cu reacție (pulberi de aliaje superioare, zinc)
 - combustibil pentru rachete (pulberi de aluminiu, magneziu).
- tehnica militară:
 - muniții (pulberi de grafit)
 - miezuri de străpungere a blindajului (pulberi de wolfram, cupru, nichel, cobalt)
 - bombe (pulberi de fier)
 - amestecuri de aprindere, capse (pulberi de grafit, aluminiu)
 - proiectile incendiare (pulberi de fier, plumb)
 - elemente detonatoare (pulberi de alama, oțel inoxidabil)
 - bombe incendiare, trasoare, torpile (pulberi de fier, aluminiu, cupru, magneziu, zinc)
 - capse detonatoare (pulberi de nichel)
 - combustibil solid pentru rachete (pulberi de aluminiu, magneziu).
- tehnica nucleară:
 - bare de comandă și reflectoare (pulberi de zirconiu, beriliu, uraniu)
 - filtre pentru gaz și apa grea (pulberi de oțel inox, aliaje de nichel)
 - ecranare raze gama (pulberi de wolfram, nichel, cupru, plumb)
 - ecranare pentru neutroni (pulberi de bor, nichel, fier, plumb).
- medicină:
 - amalgam dentar (pulberi de argint, aur, aliaje ale acestora)
 - ace chirurgicale (pulberi de tantal și zirconiu)
 - implanturi chirurgicale (pulberi de aliaje de nichel și cobalt)
 - tratamente de silicoză (pulberi de aluminiu)
 - producția de insulină (pulberi de zinc).
- prelucrări mecanice:
 - prelucrări prin electroeroziune (pulberi de wolfram, cupru, argint)
 - prelucrări electrochimice (electrozi pulberi din cupru, argint, wolfram)
 - tratamente termice (tuburi de protecție din pulberi de aliaje de platina; ecrane pentru cuptoare din pulberi de aluminiu,

wolfram; termocuple din aliaje de wolfram, molibden, platina, rhodiu)

- Echipament industrial:
 - lagăre și bucșe (pulberi de cupru, fier, crom)
 - frâne placate cu azbest (pulberi de zinc, grafit)
 - cuțite de așchiere (pulberi de wolfram, cobalt)
 - filtre (pulberi de bronz, nichel, oțel inoxidabil)
 - materiale de fricțiune (pulberi de cupru, zinc, fier, plumb, grafit).

Academicianul I.V. *Tananaev* a afirmat că dezvoltarea pe scară largă a materialelor compozite, care sunt în general o combinație de metal și piatră, reprezintă din punct de vedere istoric și ca importanță în progresul umanității ceea ce a reprezentat și perioada de trecere de la epoca de piatră la cea a fierului.[T6]

Omul încearcă să imite și să continue opera Creatorului prin această genetică a tehnologiei materialelor, care este sinterizarea și obținerea de noi materiale.

Lucrarea de față își propune să evidențieze câteva dintre avantajele utilizării scaunelor de supapă sinterizate în industria constructoare de mașini, pornind de la compoziția proiectată și proprietățile fizice determinate pentru materialul sinterizat, în scopul creșterii fiabilității motoarelor termice și în scopul economisirii de materii prime și materiale.

Scopul lucrării este: Cercetări fundamentale și aplicative privind comportarea în exploatare a scaunului de supapă de admisie pentru motoare cu ardere internă, realizat după rețeta autoarei tezei.

Obiectivele concrete ale tezei sunt formulate în cele ce urmează:

- proiectarea rețetei pulberilor și a tehnologiei de fabricație în vederea sinterizării unor variante de scaune de supapă destinate îmbunătățirii performanțelor motoarelor termice
- evaluarea proprietăților termice și mecanice ale materialelor sinterizate prin metode de laborator în scopul proiectării jocului termic
- creșterea fiabilității la interfața supapă – scaun de supapa prin creșterea la uzură în strânsă conectivitate cu procentul de cupru conținut, respectiv tratamentul termic aplicat
- reducerea costurilor de producție și economia de materiale prin procedeele metalurgiei pulberilor

Conținutul lucrării, pe capitole, poate fi rezumat după cum urmează:

În prima parte, *Introducere*, este prezentat contextul general în care se încadrează subiectul tezei și sunt formulate obiectivele acesteia. Este motivată utilitatea temei și se evidențiază îndelungata tradiție de cercetare în domeniul creșterii performanțelor motoarelor termice la Facultatea de Mecanică din Timișoara.

Capitolul unu, *Evaluarea temperaturii gazelor din cilindru prin metoda ciclului real de funcționare a motorului Diesel*, se axează pe calculul proceselor termogazodinamice care au loc la motoarele cu ardere internă, cu precădere studiul curgerii prin ajutorajul laval creat de geometria supapă – scaun de supapă, precum și determinarea legilor de variație a principalilor parametri termodinamici.

În capitolul al doilea, *Materiale și tehnologii utilizate la fabricarea scaunelor de supapă*, este evidențiat locul și importanța scaunului de supapă în cadrul mecanismului de distribuție al motoarelor cu ardere internă. Sunt descrise comparativ tehnologii de fabricație a supapelor și scaunelor de supapă, materiale utilizate la fabricarea scaunelor de supapă, precum și condițiile termomecanice de funcționare a acestora. Se prezintă prin exemple ilustrate de imagini elementele

componente ale mecanismului de distribuție, precum și stadiul actual al cercetărilor privind jocul termic și importanța acestuia în fiabilitatea mecanismului de distribuție.

Cel de al treilea capitol, *Tehnologia de fabricare a pieselor metalice prin metalurgia pulberilor*, se constituie într-o trecere în revistă a principalelor metode de obținere a pulberilor metalice, precum și a metodelor de sinterizare a acestor materiale. Tehnologia de fabricare a scaunului de supapă sinterizat din pulberi metalice după o rețetă în 9 variante în care diferă procentul de Cu și tratamentul termic aplicat este prezentată urmărind fișa tehnologică și etapele sinterizării acestuia. Se prezintă date concrete și grafice sugestive privind economia de materii prime, materiale și costuri de producție în procesul tehnologic de fabricare a scaunelor de supapă sinterizate din pulberi metalice.

Capitolul al patrulea, *Proprietăți de exploatare a materialelor pentru scaune de supapă*, prezintă principalele proprietăți fizice și tehnologice pe care trebuie să le dețină materialele din care sunt confecționate supapele și scaunele de supapă în vederea utilizării lor în condiții optime. Sunt descrise și comentate amănunțit proprietățile ce vizează stabilitatea dimensională, coeficientul de dilatare termică, conductivitatea termică, rezistența la uzură, prin calcule, grafice și studii comparative.

În capitolul cinci, *Cercetări experimentale privind fabricarea și caracterizarea scaunelor de supapă sinterizate*, sunt prezentate metodele de investigare și rezultatele determinărilor experimentale realizate asupra scaunelor de supapă sinterizate.

În prima parte sunt ilustrate câteva considerente generale privind studiul proprietăților acestor materiale.

În continuare este prezentat programul experimental, tehnologia de fabricație și condițiile experimentale.

În următoarea parte a acestui capitol este prezentat standul experimental și microscopul metalografic utilizate în analizarea structurii celor nouă variante de scaune de supapă, precum și interpretările, ilustrate de fotografiile ale structurii microscopice a fiecărui material în parte. Sunt evidențiate, astfel, influența tratamentului termic aplicat, a presiunii de compactizare, precum și a procentului de Cu în structura materialului.

Capitolul cinci continuă cu ilustrarea prin grafice comparative a influenței diferiților factori (tratamentul termic, procentul de cupru) asupra durității materialului sinterizat.

Partea ce urmează a capitolului cinci este consacrată determinării coeficientului de dilatare termică și rezultatele determinărilor de rezistență la strivire.

Sunt descrise standul experimental, modul de lucru și rezultatele determinărilor pe standul experimental. Sunt evidențiate prin grafice sugestive curbele de dilatare pentru fiecare material în parte, precum și diverse corelări între dilatare și procentul de cupru conținut în fiecare probă.

În partea a patra au fost grupate rezultatele determinărilor experimentale privind conductivitatea termică, tabele, calcule și grafice care ilustrează influența procentului de cupru asupra conductivității termice.

În capitolul șase *Echipamente și instalații experimentale pentru ridicarea diagramei indicate și determinarea proprietăților termomecanice de funcționare a motorului echipat cu scaune de supapă sinterizate* sunt prezentate standul experimental și programul Unier cu rezultatele finalizate prin trasarea diagramei indicate în diferite regimuri de funcționare și pentru diferite valori pentru ridicarea supapei de admisie, evidențind pentru diferite temperaturi în partea supapei de

admisie, coeficientul de transfer termic și avantajul utilizării unora dintre variantele de scaune de supapă propuse pentru îmbunătățirea performanțelor motorului. Datele din calcule, ilustrate prin grafice sunt interpretate în juxtapunere cu datele experimentale obținute pe standul cu motor de la Oradea. Următoarea parte conține determinarea jocului termic supapă, scaun de supapă, în vederea proiectării jocului funcțional.

Ultimul capitol, *Concluzii finale și contribuții personale*, face o sinteză a lucrării și evidențiază observațiile și recomandările care au rezultat în urma studiilor efectuate. Sunt reiterate obiectivele tezei, apoi se prezintă în interconexiune logică suma concluziilor extrase din studiile efectuate pe parcursul lucrării.

Autoarea își exprimă recunoștința față de regretatul prof. Dan Virgiliu Negrea, alături de care a proiectat și elaborat etape importante în realizarea lucrării. Domnului prof. dr. Viorel Șerban, cel care a acceptat cu multă bunăvoință și disponibilitate continuarea proiectului, se cuvine a-i mulțumi pentru rolul decisiv în definitivarea lucrării. Alese aprecieri tuturor profesorilor care, pe acest drum plin de obstacole pentru un căutător solitar, dar perseverent, au fost mâna întinsă, suportul moral și implicarea competentă: prof. dr. ing. Ioan Vida Simiti, conf. dr. ing. Mircea Nicoară, prof. Fiz. dr. Nicolae Jumate, dr. ing. George Dragomir, ing. Vasile Lazăr, ing. Voloș Ciprian.

Gânduri de profundă considerație și gratitudine se îndreaptă spre conducătorul științific al lucrării, dl. prof. dr. ing. Ioan Nicoară, a cărui deschidere, interes, exigență și răbdare au făcut posibilă finalizarea tezei.

1. Evaluarea temperaturii gazelor din cilindru prin metoda ciclului real de funcționare a motorului Diesel

1.1 Algoritmi de calcul pentru evaluarea termogazodinamicii motoarelor cu aprindere prin comprimare în regim permanent de funcționare și în regimuri variabile.

În Fig. 1.1 se prezintă schema de calcul pentru procesele din cilindru. Variațiile mărimilor de stare cum ar fi presiunea p , temperatura T și masa m , se vor stabili prin calcul pas cu pas cu ajutorul acestui model numit și **modelul ciclului real**. [H6]

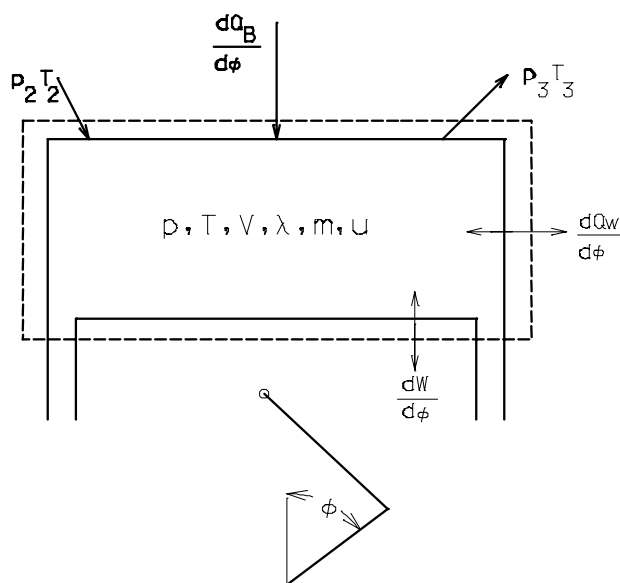


Fig 1.1 Schema de calcul a proceselor din cilindru

Cilindrul se consideră ca un sistem netaționar deschis. Masa m și energia internă u din cilindru se modifică cu masa elementară m_g respectiv energia elementară E_g , transferate spre sau de la cilindru prin frontierele sistemului (reprezentate punctat în schema de calcul).

$$dm = dm_g \tag{1.1}$$

$$dU = dE_g \tag{1.2}$$

16 Evaluarea temperaturii gazelor din cilindru prin metoda ciclului real de funcționare a motorului Diesel -1

Lucrul mecanic W cedat pistonului este:

$$\frac{dW}{d\phi} = -p \cdot \frac{dV}{d\phi} \quad (1.3)$$

unde: p - presiunea din cilindru
 V - volumul descris de piston
 Φ - unghiul RAC corespunzător

Fluxul de căldură cedat peretelui se calculează ca suma fluxurilor parțiale prin corpul pistonului ($i=1$), chiulasă ($i=2$) și prin cămașa cilindrului ($i=3$), A_i reprezentând suprafața de contact, iar T_{Wi} temperaturile la perete corespunzătoare.

Coefficientul de schimb de căldură α rezultă din relația lui *Woschini*, [N10] dependent de starea gazului din cilindru, viteza pistonului și de procedeul de ardere:

$$a = 0,12793 \cdot D^{-0,2} p^{0,8} \gamma^{-0,59} \left(c_1 c_m + c_2 (p - p_0) \frac{V_{11} T_{11}}{p_{11} V} \right)^{0,8} \quad (1.4)$$

c_1 - factor de proporționalitate între viteza gazului și viteza medie a pistonului c_m , luând în considerare viteza periferică c_u produsă prin admisia dirijată:

- pentru partea de înaltă presiune:

$$c_1 = 1,26 + 0,306 \cdot \frac{c_u}{c_m} \quad (1.5)$$

- pentru partea de încărcătură:

$$c_1 = 6,13 + 0,417 \cdot \frac{c_u}{c_m} \quad (1.6)$$

c_2 - factor pentru procedeul de ardere:

- pentru partea de înaltă presiune: $c_2 = 3,24 \cdot 10^{-3}$

- pentru motoarele cu antecameră: $c_2 = 6,22 \cdot 10^{-3}$

T_{11} , p_{11} , V_{11} - temperatura, presiunea și volumul la începutul comprimării;

p_0 - presiunea din cilindru la motorul antrenat;

p - presiunea din cilindru corespunzătoare ciclului motor.

Presiunea p_0 este dată de relația politropei:

$$\frac{p_0}{p_{11}} = \left(\frac{V_{11}}{V} \right)^n \quad (1.7)$$

unde exponentul politropic n se calculează înaintea arderii. Termenul al doilea din partea dreaptă a relației (1.4) reprezintă influența arderii și lipsește, deci, în timpul întregii faze de comprimare și destindere respectiv la schimbul de gaze. [H5]

Energia combustibilului pe ciclu este dată de relația:

$$Q_{BO} = m_B \cdot H_U \cdot \eta_u \quad (1.8)$$

unde:

m_B - reprezintă cantitatea de combustibil introdusă pe ciclu;

H_U - reprezintă puterea calorifică inferioară;

1.1. Algoritmi de calcul pentru evaluarea termogazodinamicii motoarelor cu aprindere prin comprimare în regim permanent de funcționare și în regimuri variabile. 17

η_U - randamentul arderii ce ține seama de procedeul de ardere și de imperfecțiunea ei.

Dacă începutul injecției se cunoaște, întârzierea la injecție propriuzisă se calculează pentru cazul staționar ținând seama de propagarea undei de combustie și de turația motorului.

Întârzierea la injecție, adică unghiul dintre declanșarea injecției și injecția propriuzisă se calculează după relația:

$$\Delta\phi_{EV} = \Delta\phi_{EV_0} \cdot \left(\frac{n}{n_0}\right) \quad (1.9)$$

În faza dintre începutul injecției și cea a arderii intervine pulverizarea, vaporizarea și reacțiile pregătitoare arderii. Pentru evaluarea acestor procese și a influențelor lor se folosesc relații mai generale cu caracter experimental, proprii procesului de aprindere în ansamblu. [J2]

Întârzierea la aprindere adică timpul între începutul injecției și cel al arderii se poate calcula cu relația:

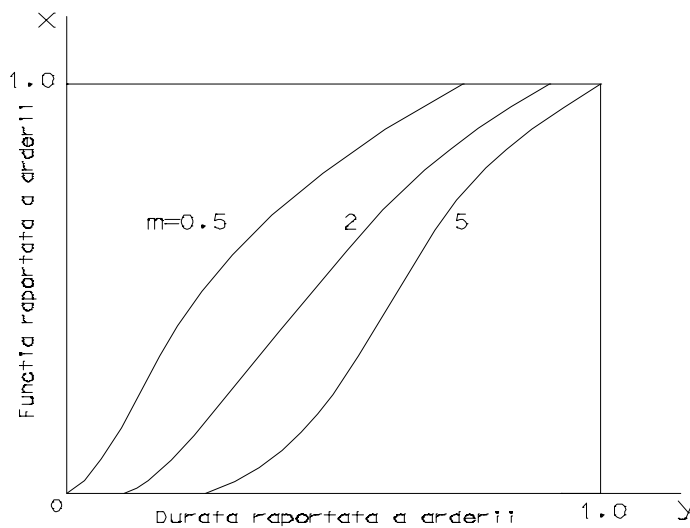


Fig 1.2. Funcția de ardere [N3]

$$\tau_{ZV} = 0,5 + 0,135 \frac{e^{\frac{32,657 \cdot 10^6}{kT}}}{\left(\frac{p}{\frac{kp}{m^2} \cdot 10^4}\right)^{0.7}} + \frac{e^{\frac{32,657 \cdot 10^6}{kT}}}{\left(\frac{p}{\frac{kp}{m^2} \cdot 10^4}\right)^{1.8}} 4,8 \cdot 10^{-3} \quad (1.10)$$

18 Evaluarea temperaturii gazelor din cilindru prin metoda ciclului real de funcționare a motorului Diesel -1

Pentru presiunea p și temperatura T se vor adopta valorile medii proprii fazei de întârziere la procesul de autoaprindere.

Procesul se calculează cu legea lui *Wibe* folosindu-se relația:

$$x = 1 - e^{-a \cdot y^{(m+1)}} \quad (1.11)$$

x este căldura cedată de combustibil, funcție de unghiul RAC, $Q_B(\phi)$ va reprezenta partea din căldura totală Q_{B0} furnizată de combustibil iar y este raportul dintre diferența $\Delta\phi_{VB} = \phi_{VE} - \phi_{VA}$, a fiind un factor constant și m parametrul de formă al arderii.

La stabilirea factorului a s-a pus condiția ca la sfârșitul arderii să avem $y=1$, $x=1$, obținându-se valoarea $a=6.9$.

Parametrul de formă m definește practic caracterul arderii, prin el se poate acorda foarte bine legea lui *Wibe* cu legile de ardere obținute experimental. [C5] Derivata funcției de propagare a arderii redă evoluția arderii (Fig 1.3):

$$\frac{dx}{dy} = a \cdot (m+1) \cdot y^m \cdot e^{-ay^{m+1}} \quad (1.12)$$

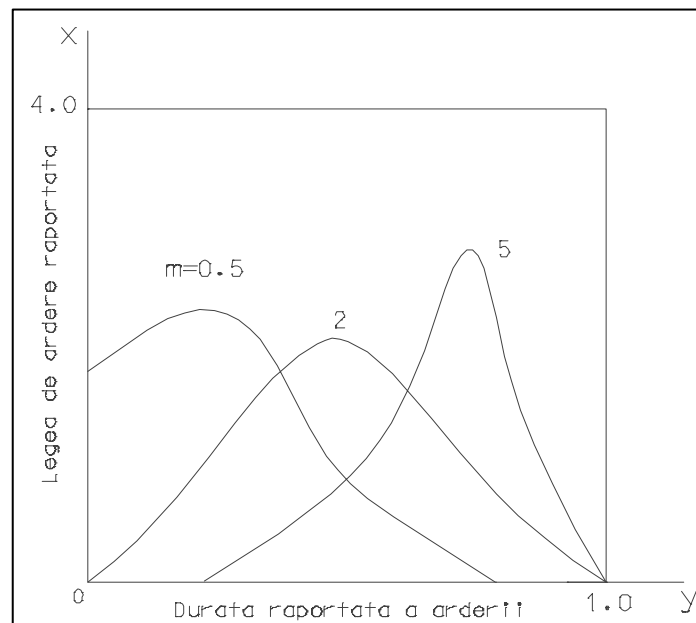


Fig 1.3. Legea de ardere [N2]

Pentru m se obțin, pe baza alurii legii de ardere la motoarele diesel valori între 0.1 și 1.2.

În aceste condiții, se obține pentru legea de ardere următoarea relație:

$$\frac{dQ_b}{d\phi} = \frac{Q_{B0}}{\Delta\phi_{VB}} a(m+1) \left(\frac{\phi - \phi_{VA}}{\Delta\phi_{VB}} \right)^m e^{-a \left(\frac{\phi - \phi_{VA}}{\Delta\phi_{VB}} \right)^{m+1}} \quad (1.13)$$

Din această relație se constată că legea de ardere, pe lângă energia combustibilului furnizat pe ciclu mai depinde de încă trei parametri:

1.1. Algoritmi de calcul pentru evaluarea termodinamicii motoarelor cu aprindere prin comprimare în regim permanent de funcționare și în regimuri variabile. 19

- începutul arderii
- durata arderii
- parametrul de formă m

Începutul arderii depinde de întârzierea la aprindere amintită.

După *Woschni* și *Anisits* s-a dezvoltat o metodă de evaluare a variațiilor legii de ardere *Wibe* în condiții de funcționare variabile. Presupunând cunoscută legea de ardere *Wibe* pentru un anumit punct de funcționare urmează să se obțină parametrul de forma m pentru un alt punct de funcționare astfel:

$$m = m_0 \cdot \left(\frac{\Delta\phi_{2V_0}}{\Delta\phi_{2V}} \right)^{0,6} \cdot \left(\frac{n_{m_0}}{n_m} \right)^{0,8} \cdot \frac{p_{11}}{p_{11_0}} \cdot \frac{T_{11}}{T_{11_0}} \quad (1.14)$$

Variația duratei de ardere $\Delta\phi_{VB}$ obținându-se din:

$$\Delta\phi_{VB} = \Delta\phi_{VB_0} \cdot \left(\frac{\lambda_0}{\lambda} \right)^{0,6} \cdot \left(\frac{n_m}{n_{m_0}} \right)^{0,5} \quad (1.15)$$

Variația masei din cilindru la motorul diesel în partea de înaltă presiune se va calcula numai din cea a masei de combustibil având în vedere legea de ardere, neglijând pierderile prin segmenți sau supape.

Fluxul masic în timpul schimbului de încărcătură prin frontierele libere ale sistemului (supapa de evacuare-A și de admisie-E) rezultă din:

$$\frac{dm}{d\phi} E, A = \pm \frac{1}{\omega_m} \cdot \mu_{A,E} \cdot A_{V_{A,E}} \cdot \sqrt{2P_I P_{II}} \cdot \Psi \quad (1.16)$$

unde Ψ este funcția de debit:

$$\Psi = \sqrt{\frac{k}{k-1}} \cdot \sqrt{\left(\frac{p_{II}}{p_I} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_{II}}{p_I} \right)^{\frac{k+1}{k}}} \quad (1.17)$$

Semnul \pm din relația (1.16) depinde de direcția fluxului (fluxul de intrare pozitiv).

Indicele „I” este pentru „în fața supapei” (în direcția fluxului) iar „II” pentru „după supapă”. Secțiunile efective oferite de supape se stabilesc după curba de ridicare a supapelor, geometria supapelor și coeficienții de debit stabiliți experimental $\mu_{A,E}$.

Pe lângă legile de conservare a masei și energiei mai putem folosi și ecuația de stare:

$$P \cdot V = m \cdot R \cdot T \quad (1.18)$$

Cu u s-a notat energia internă specifică pentru a cărei evaluare se utilizează o ecuație de forma:

$$u = u(T, \lambda) \quad (1.19)$$

De unde se obține variația energiei interne specifice:

$$\frac{du}{d\phi} = \frac{\partial u}{\partial T} \cdot \frac{\partial T}{d\phi} + \frac{\partial u}{\partial \lambda} \cdot \frac{d\lambda}{d\phi} \quad (1.20)$$

Coefficientul excesului de aer se calculează din:

20 Evaluarea temperaturii gazelor din cilindru prin metoda ciclului real de funcționare a motorului Diesel -1

$$\lambda = \frac{m_L}{m_B} \cdot \frac{1}{L_{\min}} \quad (1.21)$$

Variația coeficientului de exces de aer în funcție de unghiul RAC se obține din:

$$\frac{d\lambda}{d\phi} = \frac{1}{L_{\min}} \cdot \left(\frac{1}{m_B} \cdot \frac{dm_L}{d\phi} - \frac{m_L}{m_B} \cdot \frac{dm_B}{d\phi} \right) \quad (1.22)$$

Se obține astfel un sistem de două ecuații diferențiale:

$$\frac{dm}{d\phi} = \frac{dm_B}{d\phi} + \frac{dm_E}{d\phi} + \frac{dm_A}{d\phi} \quad (1.23)$$

$$\frac{dT}{d\phi} = \frac{1}{mc_v} \left(\frac{dQ_B}{d\phi} + \frac{dQ_W}{d\phi} - p \frac{dV}{d\phi} + \frac{dm_E}{d\phi} h_E + \frac{dm_A}{d\phi} h \right) - \frac{1}{mc_v} \left(u \frac{dm}{d\phi} + m \frac{\partial u}{\partial \lambda} \frac{d\lambda}{d\phi} \right) \quad (1.24)$$

la care unii din termenii ecuațiilor (1.23) și (1.24) nu se consideră în anumite etape ale funcționării motorului.

Este necesar stabilirea temperaturii gazelor de evacuare T_A , care se calculează utilizând variația căldurii în galeria de evacuare.

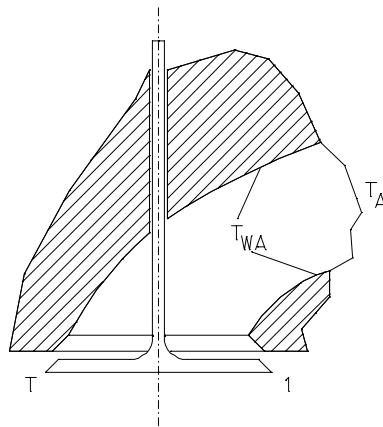


Fig 1.4. Canal de evacuare

Pentru aceasta se poate folosi următoarea relație (conform Fig.1.4):

$$\frac{dQ_{AK}}{d\phi} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_A - T) \cdot \frac{1}{\omega_M} \quad (1.25)$$

Temperatura la capătul canalului de evacuare T_A se stabilește după cum urmează:

$$\frac{d\dot{Q}}{dA} = \alpha_{AK} \cdot (T_{WA} - T) = \dot{m}_A \cdot c_p \cdot \frac{dT}{dA} \quad (1.26)$$

1.1. Algoritmi de calcul pentru evaluarea termogazodinamicii motoarelor cu aprindere prin comprimare în regim permanent de funcționare și în regimuri variabile. 21

Prin transformări se obține:

$$\frac{dT}{dQ} = \frac{dQ}{dA} \cdot \frac{1}{m_A \cdot c_p} = \alpha_{AK} \cdot (T_{WA} - T) \cdot \frac{1}{m_A \cdot c_p} \quad (1.27)$$

$$\int_T^{T_A} \frac{dt}{T_{WA} - T} = \int_{(A)} dA \frac{\alpha_{AK}}{m_A \cdot c_p} \quad (1.28)$$

După integrare și transformare se obține pentru T_A următoarea relație:

$$T_A = (T - T_A) \cdot e^{\frac{A_{AK} \cdot \alpha_{AK}}{m_A \cdot c_p}} \quad (1.29)$$

Coeficientul de transfer de căldură la temperatura T se obține din relația:

$$\alpha_{AK} = 0,00179102 \left(1 - 0,79 \frac{R_{VA}}{d_{iA}} \right) \dot{m}_A^{0,5} \cdot \frac{T^{0,41}}{D_{AK}^{1,5}} \quad (1.30)$$

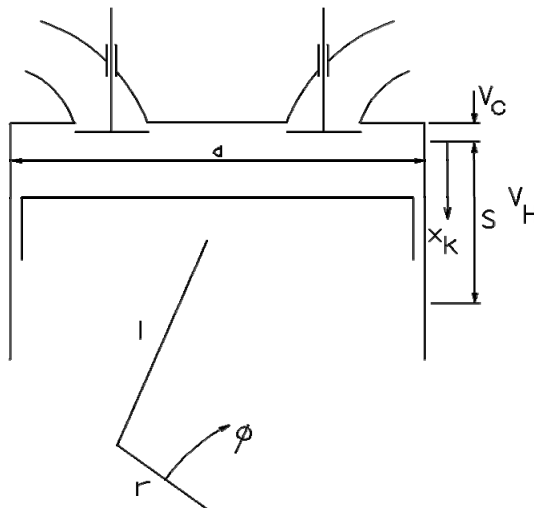
unde:

R_{VA} - reprezintă deplasarea supapei de evacuare

d_{iA} - diametrul interior al scaunului supapei.

1.2 Calculul elementelor geometrice ce variază în timpul funcționării motorului

Urmărirea prin calcul a variațiilor mărimilor de stare ale gazului de lucru din cilindru presupune cunoașterea datelor geometrice ale motorului. În Figura 1.5 se prezintă geometria motorului, utilizându-se notațiile: d - alezajul, s - cursa, l - lungimea bielei, r - raza manivelei, V_c , nM , volumul camerei de ardere respectiv turația motorului:



22 Evaluarea temperaturii gazelor din cilindru prin metoda ciclului real de funcționare a motorului Diesel -1

Fig 1.5. Geometria motorului

Volumul cilindrului și raportul de comprimare se calculează cu relațiile:

$$V_H = \frac{\pi d^2}{4} s \quad (1.31)$$

$$\varepsilon = \frac{V_H + V_C}{V_C} \quad (1.32)$$

Pentru unghiul φ valorile în *p.m.i.* sunt multipli de 2π , iar în *p.m.e.* el ia valori din șirul $(2k+1)\pi$. Deplasările pistonului și volumul cilindrului în funcție de unghiul RAC sunt definite prin:

$$x_k = \frac{s}{2} \left(1 - \cos \varphi + \frac{\lambda_s}{2} \sin^2 \varphi \right) \quad (1.33)$$

$$V = V_C + \frac{V_H}{2} \left(1 - \cos \varphi + \frac{\lambda_s}{2} \sin^2 \varphi \right) \quad (1.34)$$

unde $\lambda_s = \frac{r}{l}$ (1.35)

De unde se obține variația volumului cilindrului prin derivare. Pentru calculul schimbului de încărcătură între gazul de lucru și pereții cilindrului trebuie cunoscute suprafețele cu care acesta se află în contact, suprafețe constante ale: capului pistonului și chiulasei (în care se iau în considerare inclusiv suprafețele talerelor supapelor) precum și suprafața variabilă a cămășii cilindrului. [V2]

Pentru calculul fenomenelor de schimb de încărcătură se calculează secțiunile oferite de supape în conformitate cu schema din figură:

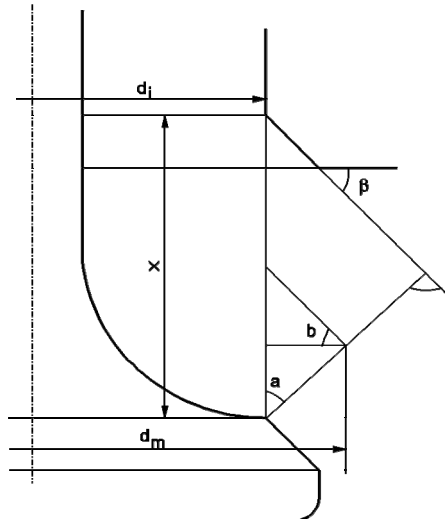


Fig 1.6. Secțiuni ale supapei

S-a notat cu x - înălțimea de ridicare momentană a supapei, cu d_i și β diametrul interior al scaunului supapei respectiv unghiul scaunului, cu z - numărul

de supape și cu indicii A respectiv E admisiunea respectiv evacuarea. Cu aceste notații avem:

$$b = \frac{x}{2} \sin \beta \quad (1.36)$$

$$a = b \cos \beta \quad (1.37)$$

$$d_{m,A,E} = d_i + x_{A,E} \sin \beta \cos \beta \quad (1.38)$$

$$A_{A,E} = \pi z_{A,E} (d_{i,A,E} + x_{A,E} \cos \beta \sin \beta) \cos \beta \quad (1.39)$$

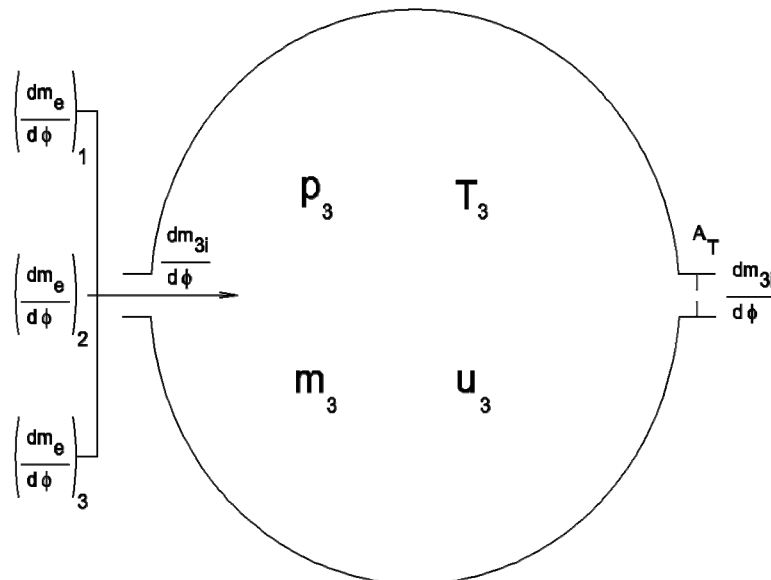
$$A_{ef,A,E} = A_{A,E} \mu_{A,E} \quad (1.40)$$

Cu indicele ef , s-a notat secțiunea efectivă de curgere care depinde de coeficienții de debit μ ce se determină experimental sau se calculează. Curbele de ridicări ale supapelor se determină prin măsurători sau se calculează din geometria sistemului de distribuție. Aceste relații definesc modificările geometrice ale motorului în timpul funcționării și permit calculul mărimilor de stare ale gazului din cilindru.

1.3 Sistemul de evacuare

Pentru calculul fenomenelor din sistemelor de evacuare se folosește metoda umplerii și golirii, în care fiecare conductă se umple intermitent și se golește continuu. Aceasta înseamnă că se iau în considerare oscilațiile globale ale presiunii în timp, dar se neglijează diferențele de presiune locale. [M8] Putem afirma că această metodă dă rezultate foarte bune la un motor diesel semirapid și satisfăcătoare la un motor diesel rapid:

Sistemul de evacuare se concepe ca un rezervor definit prin volum și arie laterală. Notăm cu 3 indicele ce desemnează sistemul de evacuare și se vor aplica legile de conservare a masei și energiei. [F4]



24 Evaluarea temperaturii gazelor din cilindru prin metoda ciclului real de funcționare a motorului Diesel -1

Fig 1.7. Sistemul de evacuare

Aceste ecuații sunt de forma:

$$\frac{dm_3}{d} = \sum_{i=1}^k \left(\frac{dm}{d} \right)_i + \frac{dm_{3e}}{d} \quad (1.41)$$

$$\frac{d(u_3 m_3)}{d} = \sum_{i=1}^k \left(\frac{dm}{d} \right)_i (h)_i + \frac{dQ_{W3}}{d} + h_3 \frac{dm_{3e}}{d} \quad (1.42)$$

$$\frac{dH_{3i}}{d} = \sum_{i=1}^k \left(\frac{dm}{d} \right)_i (h)_i \quad (1.43)$$

$$\frac{dm_{3,i}}{d} \sum \left(\frac{dm_E}{d} \right)_i \quad (1.44)$$

unde: k - numărul de cilindri conectați la rezervor;
 I - numărul cilindrului din care intră masa în rezervor;
 e - indicele ce desemnează masa ieșită;
 u - energia internă;
 m - masa;
 Q - cantitatea de căldură pierdută prin pereți.
 Ecuațiile (1.43) și (1.44) exprimă fluxul de entalpie intrată respectiv cel de masă. Pentru calculul fluxului de căldură prin pereți se utilizează ecuația [N1]:

$$\frac{dQ_{W3}}{d} = \frac{1}{\omega_M} A_3 \sigma (T_{W3} - T_3) \quad (1.45)$$

unde ω - reprezintă viteza de rotație a motorului;
 A - aria rezervorului;
 σ - coeficientul de schimb de căldură;
 T - temperatura (indicele $W3$ desemnează temperatura pereților iar indicele 3 cea a gazelor din rezervorul de evacuare).
 Pentru calculul coeficientului de schimb de căldură se utilizează modelul curgerii turbulente:

$$Nu = \frac{\sigma d}{\xi} = 0,024 \left[1 + \left(\frac{d}{L} \right)^{\frac{2}{3}} \right] Re^{0,786} Pr^{0,45} \quad (1.46)$$

$$Re = \frac{Wd\rho}{\mu} \quad (1.47)$$

$$\xi = 3,65182 \cdot 10^{-4} T^{0,748} \left[\frac{W}{m} \right] \quad (1.48)$$

$$\mu = 5,17791 \cdot 10^{-7} T^{0,62} \left[\frac{Ns}{m^2} \right] \quad (1.49)$$

unde ξ este coeficientul de conducție termică, iar vâscozitatea dinamică μ se

calculează după (1.48) și (1.49).

La calculul debitului de masă evacuat din rezervorul de evacuare, se consideră un droșel [B4] cu secțiunea redusă depinzând de coeficienții de debit ai turbinei:

$$A_{T_{red}} = A_T \mu_T \quad (1.50)$$

A_T - secțiunea echivalentă

μ_T - coeficientul de debit

Debitul de masă evacuat prin turbină se calculează cu formula:

$$\frac{dm_{3e}}{d} = -\frac{dm_T}{d} = -\frac{1}{\omega_M} A_{T_{red}} \sqrt{2p_3 \rho_3} \sqrt{\frac{k_3}{k_3 - 1} \left[\left(\frac{p_4}{p_3} \right)^{\frac{2}{k_3}} - \left(\frac{p_4}{p_3} \right)^{\frac{k_3 + 1}{k_3}} \right]} \quad (1.51)$$

$$\psi = \sqrt{\frac{k_3}{k_3 - 1} \left[\left(\frac{p_4}{p_3} \right)^{\frac{2}{k_3}} - \left(\frac{p_4}{p_3} \right)^{\frac{k_3 + 1}{k_3}} \right]} \quad (1.52)$$

Variația temperaturii în sistemul tubulaturii de evacuare este dată de ecuația:

$$\frac{dT_3}{d} = \frac{1}{m_3 C_{v3}} \left[\frac{dm_{3e}}{d} (h_{3e} - u_3) + \frac{dQ_{W3}}{d} + \frac{dm_{3e}}{d} RT_3 - m_3 \frac{\partial u_3}{\partial \lambda} \frac{\partial \lambda_3}{d} \right] \quad (1.53)$$

$$\text{Presiunea rezultă din ecuația de stare: } P_3 V_3 = m_3 R T_3 \quad (1.54)$$

1.4 Sistemul de admisie

La calculul punctelor de funcționare staționară a motoarelor diesel în patru timpi, se pot considera pentru admisie parametrii aproximativi constanți, neglijându-se efectul de întârziere la stabilirea parametrilor de intrare în cilindru, efect introdus de volumul admisiei. [P5]. Pentru regimurile dinamice acest efect nu mai poate fi neglijat, el fiind luat în considerare prin utilizarea metodei umplerii și golirii în care sistemul de admisie se consideră că este format din rezervorul de admisie și din răcitorul intermediar de aer de supraalimentare conform figurii 1.8:

26 Evaluarea temperaturii gazelor din cilindru prin metoda ciclului real de funcționare a motorului Diesel -1

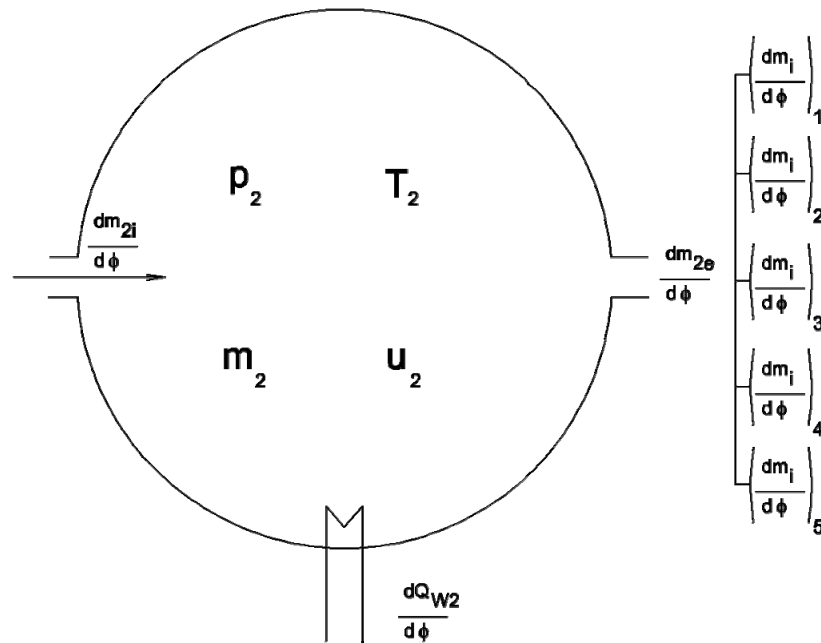


Fig 1.8 Sistemul de admisie

Debitul de masă intrată este furnizat de compresor și poate fi aflat din caracteristica acestuia (indicele 2 desemnează mărimile din sistemul de admisie), iar debitul de masă ieșită se obține din suma debitelor de mase intrate în fiecare cilindru:

$$\frac{dm_{2i}}{d} = -\frac{dm_c}{d} \quad (1.55)$$

$$\frac{dm_{2e}}{d} = \sum_{q=1}^k -\left(\frac{dm_{ci}}{d}\right)_q \quad (1.56)$$

Din caracteristica răcitorului intermediar se poate stabili căldura evacuată [P4]:

$$\frac{dQ_R}{d} = \frac{1}{\omega_M} (T_{ai} - T_{2i}) \phi \quad (1.57)$$

Unde puterea de răcire specifică ϕ este dependentă de debitul de aer și apă iar temperaturile care apar reprezintă: prima temperatură a apei la intrare și cea de-a doua temperatura aerului la intrare. Rezultă astfel un sistem de două ecuații diferențiale pentru descrierea evoluției stărilor din sistemul de admisie:

$$\frac{dm_2}{d\phi} = \frac{dm_{2i}}{d\phi} + \frac{dm_{2e}}{d\phi} \quad (1.58)$$

$$\frac{dT_2}{d} = \frac{1}{m_2 C_{v2}} \left(\frac{dm_{2i}}{d} h_{2i} + \frac{dQ_R}{d} + \frac{dm_{2e}}{d} h_2 - \frac{dm_2}{d} u_2 \right) \quad (1.59)$$

Entalpia aerului proaspăt de intrare se stabilește pe baza relației izentropiei și a relației de definiție a randamentului adiabatic al compresorului:

$$\frac{T_{2is}}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (1.60)$$

$$\eta_{isc} = \frac{h_{2is} - h_1}{h_{2a} - h_1} \quad (1.61)$$

Presiunea din sistemul de admisie se calculează tot cu ajutorul ecuației de stare:

$$p_2 = \frac{m_2 RT_2}{V_2} \quad (1.62)$$

Pierderile de presiune pe admisiune se pot aproxima cu o relație de forma:

$$(\Delta p)_2 = f_2 \rho w^2 \quad (1.63)$$

Factorul f se determină după relația

$$\Delta p_2 = f_2 \frac{m_2^2}{\rho_2} \quad (1.64)$$

1.5 Concluzii și contribuții personale

Materialul prezentat în primul capitol al acestei lucrări conduce la următoarele observații și concluzii:

- Termogazodinamica motoarelor cu aprindere prin comprimare se evaluează prin algoritmi de calcul specifici, în regim permanent de funcționare și în regimuri variabile;
- **Modelul ciclului real** de funcționare este un model fizic care permite calculul pas cu pas, a variației mărimilor de stare pentru procesele din cilindru;
- Conform modelului ciclului real, cilindrul se consideră ca un sistem nestaționar deschis, masa și energia internă a sistemului fiind variabile;
- Factorii care influențează coeficientul de schimb de căldură sunt starea gazului din cilindru, viteza pistonului și procedeul de ardere;
- Pentru evaluarea proceselor care intervin între injecție și ardere s-au dezvoltat proceduri cu caracter experimental proprii procesului de aprindere în ansamblu;
- S-au definit parametri, printre care și parametrul de formă prin care se pot corela foarte bine legea lui Wibe cu legile de ardere obținute experimental;
- Calculul analitic, îmbunătățit prin corecții rezultate din practica funcționării conduce la constatarea că legea de ardere depinde de energia combustibilului furnizat pe ciclu, începutul arderii, durata arderii și parametrul de formă;

28 Evaluarea temperaturii gazelor din cilindru prin metoda ciclului real de funcționare a motorului Diesel -1

- Secțiunile efective oferite de supape se pot stabili după curba de ridicare a supapelor, în funcție de geometria supapelor și coeficienții de debit stabiliți experimental;
- Viteza de curgere a gazelor prin secțiunea controlată de supapă este influențată de geometria supapă – scaun de supapă, între care se creează un ajutor laval;
- Curbele de ridicări ale supapelor se determină prin măsurători sau se calculează din geometria sistemului de distribuție;
- Coeficientul de transfer de căldură se obține în corelație cu ridicarea supapei și diametrul interior al scaunului supapei;
- Pentru trasarea diagramei indicate se va stabili relația dintre volumul cilindrului și unghiul RAC;
- Pentru calculul fenomenelor din sistemul de evacuare se folosește metoda umplerii și golirii, în care fiecare conductă se umple intermitent și se golește continuu;
- Randamentul motorului este influențat de posibilitatea de a proiecta jocul termic, în corelație cu dilatometria scaunului de supapă.

Contribuții personale:

- Sinteza și analiza unui material bogat relativ la calculul parametrilor fizici care se modifică în timpul funcționării motorului Diesel;
- Sistematizarea ecuațiilor, formulelor și coeficienților necesari în determinarea parametrilor care sunt influențați de geometria supapă-scaun de supapă;
- Efectuarea calculelor de termogazodinamică pentru a putea ridica diagrama indicată cu ajutorul programului UNIER;
- Proiectarea condițiilor de lucru pentru ridicarea experimentală a diagramei indicate pe standul cu motor.

BIBLIOGRAFIE

[V2], [N2], [P4], [P5], [N1], [F4], [B4], [M8], [N10], [H6], [C5], [H5]

2. Materiale și tehnologii utilizate la fabricarea scaunelor de supapă

2.1. Descrierea sistemului de distribuție și a scaunului de supapă.

Sistemul de distribuție a gazelor reprezintă ansamblul tuturor organelor care permit umplerea periodică a cilindrului cu gaze proaspete și evacuarea periodică a gazelor de ardere din cilindrul motorului. [A2]

Pentru a fi eficient sistemul de distribuție trebuie să asigure:

- un grad de umplere η_v , respectiv η_{ev} ridicat;
- distribuția uniformă a fluidului proaspăt între cilindri (la M.A.S.);
- silențiozitatea schimbului de gaze (să reducă zgomotele produse de curgerea gazelor);

Sub aspect constructiv și funcțional sistemul de distribuție trebuie să fie:

- ❖ silențios (reducerea zgomotului produs de piesele în mișcare și de jocurile funcționale);
- ❖ simplu de fabricat și de întreținut;
- ❖ ieftin;
- ❖ fiabil.

Sistemul de distribuție este alcătuit din trei părți:

- conductele de gaze (colectoarele) care transportă și distribuie fluidul proaspăt între cilindri, respectiv colectează și transportă gazele de ardere în atmosferă;
- mecanismul care comandă deschiderea și închiderea periodică a orificiilor de admisie - evacuare ale cilindrilor;
- amortizorul sau amortizoarele de zgomot care limitează intensitatea zgomotelor produse de evacuarea gazelor de ardere sau de admisie a fluidului proaspăt.

Se disting trei procedee de comandă a închiderii și deschiderii orificiilor de admisie și evacuare, denumite: distribuție prin supape, distribuție prin sertare, respectiv, distribuție prin lumini. Primele două pretind un mecanism special de comandă. Ultimul procedeu asigură comanda cu ajutorul mecanismului bielă-manivelă, prin intermediul pistonului. Distribuția prin supape este universală la motoarele în patru timpi. Distribuția prin sertare s-a adoptat numai pentru unele motoare destinate mașinilor de curse. Distribuția prin lumini este caracteristică la motoarele în doi timpi. Unele motoare în doi timpi utilizează distribuția mixtă: prin supape și lumini. [C5]

Elementele fundamentale ale mecanismului de distribuție (figura 2.1) sunt: *supapa 1*, care obturează orificiile de schimbare a gazelor; *arcu 2*, care menține supapa pe scaun sau împiedică desprinderea ei de sistemul de comandă a mișcării; *arborele de distribuție 3* cu *cama 4* care comandă mișcarea supapei; *sistemul de împingători* – tchetul 5, tija 6 și culbutorul 7 – când arborele este așezat lateral

(față de cilindru) și nu acționează direct supapa; *sistemul de transmitere a mișcării* de la arborele cotit la arborele de distribuție.

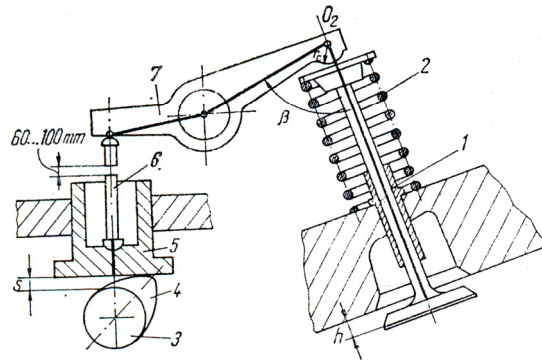


Fig 2.1. Sistemul de comandă a supapei așezată în chiulasă [G6]

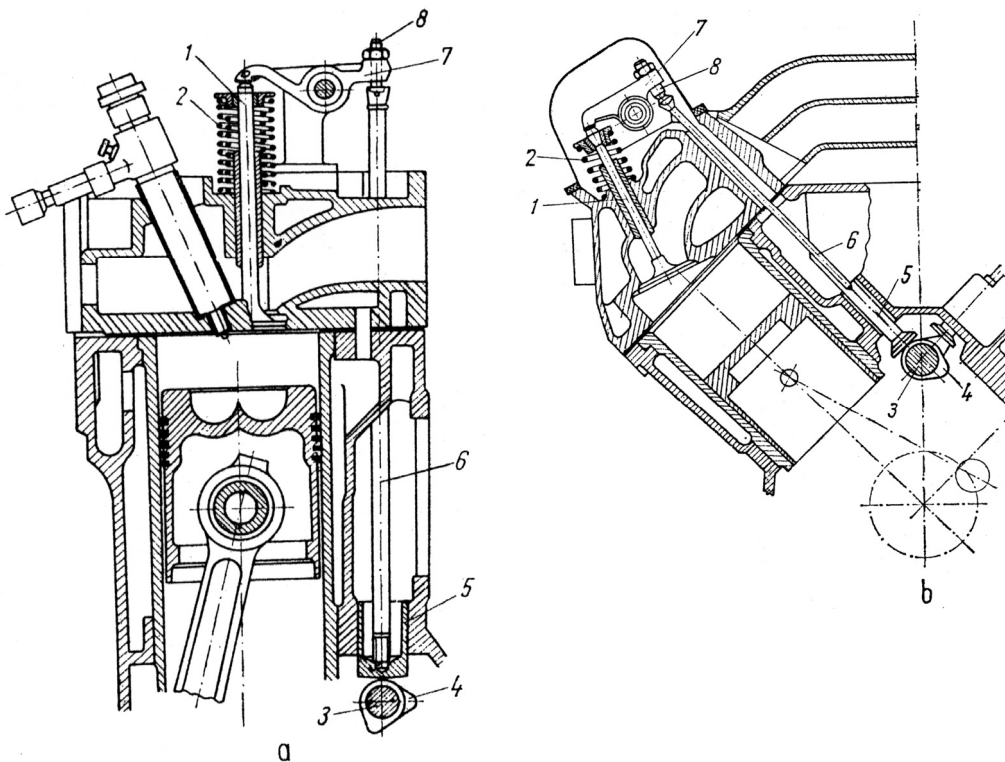


Fig 2.2. Soluții constructive pentru mecanismul de distribuție de la motoarele fabricate în România [G6]

Amplasarea supapelor în chiulasă este soluția curentă pentru motoarele de autovehicule. Soluțiile constructive întâlnite la motoarele fabricate în România se arată în figurile 2.2.

Pentru a mări durabilitatea camelor și frecvența proprie a arcului sau ansamblului de piese în mișcare se reduc forțele de inerție, prin eliminarea unor piese din mecanismul de comandă. [M1]

În acest scop, arborele de distribuție se așază în chiulasă – soluție care se răspândește astăzi la motoarele de turism cu turație sporită, peste 5500 rot/min. Dacă supapele sunt așezate pe aceeași linie, se utilizează un singur arbore de distribuție care antrenează direct supapa (figura 2.3 - a); când supapele sunt înclinate, mișcarea se transmite printr-un culbutor (b) sau o pârghie (c). Dacă se prevăd mai mult de două supape se utilizează doi arbori de distribuție (d) când supapele de admisie și cele de evacuare sunt așezate fiecare pe aceeași linie sau un singur arbore de distribuție când supapele de același fel se așază alăturat; în ultimul caz antrenarea se efectuează prin intermediul unor traverse, ghidate într-o bucușă.

Sistemul de transmitere a mișcării de la arborele cotit este format din două roți dințate (figura 2.4 - a), când arborele de distribuție este amplasat lateral, la partea inferioară a cilindrului. Una dintre roți se fixează pe arborele cotit și se confecționează din oțel, cealaltă se fixează pe arborele de distribuție, se confecționează din fontă, mase plastice sau textolit (pentru atenuarea zgomotelor) și are, la motorul în patru timpi, un număr dublu de dinți, pentru a reduce la jumătate turația arborelui de distribuție.[H5]

Se obține o funcționare silențioasă dacă roțile dințate cilindrice se confecționează cu dinți înclinați.

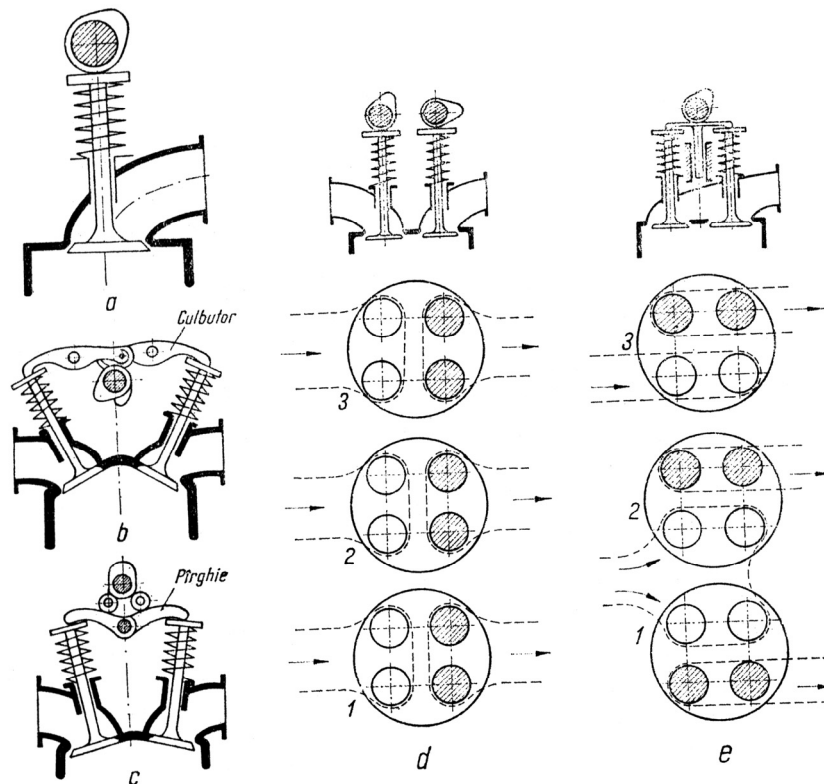


Fig 2.3. Scheme de mecanisme de distribuție în raport cu numărul și poziția supapelor [A2]

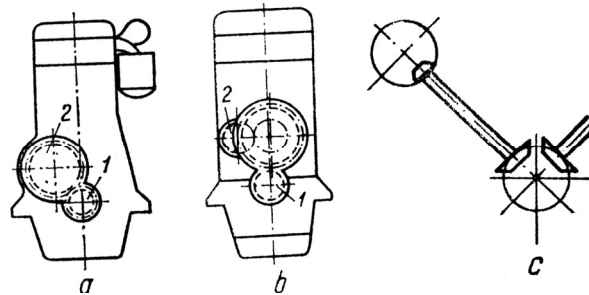


Fig 2.4. Scheme de antrenare a arborelui de distribuție [A2]

Supapa este alcătuită din două părți:

- *talerul supapei*, care obturează orificiul din chiulasă;
- *tija supapei*, care primește mișcarea, servește pentru ghidare și evacuează o parte din căldura primită de taler.

În figura 2.5 este redată o supapă în stare montată. Talerul 1 se reazemă cu suprafața conică în locașul 2 (scaunul supapei) practicat în chiulasă sau bloc-carter; tija 3 se deplasează în bușca de ghidare 4; arcurile 5 se reazemă cu un capăt pe discul inferior 6 iar cu celălalt pe discul superior 7 care se fixează cu bușca conică 8, secționată în două părți [I6]

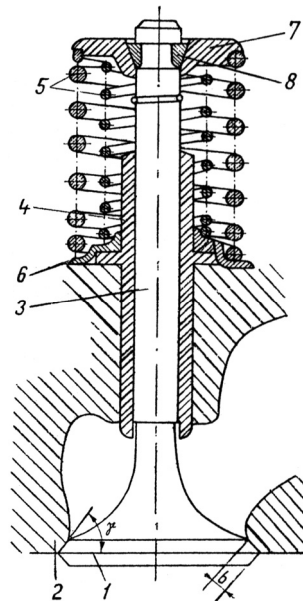


Fig 2.5. Supapa montată [G6]

Având în vedere condițiile de lucru, față de construcția supapei se impun următoarele cerințe:

- rezistență mecanică ridicată, care să se mențină și la temperaturi înalte;
- rigiditate superioară;
- materialul să fie rezistent la oxidare și coroziune;
- duritate mare a suprafeței de etanșare și a suprafeței de acționare a supapei.

Pentru cazul general, forma și dimensiunile caracteristice sunt arătate în figura 2.6.

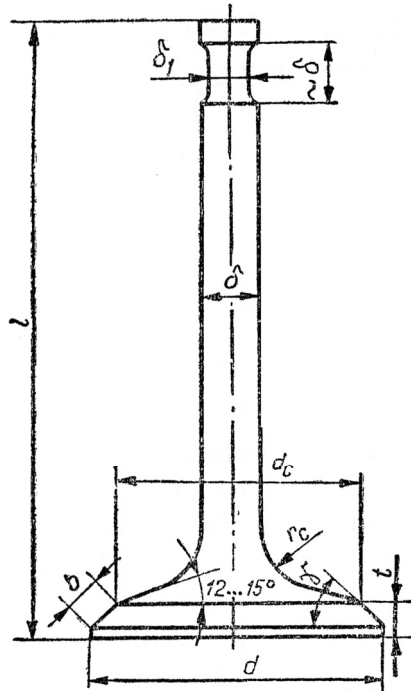


Fig 2.6. Elemente dimensionale pentru supape [G6]

După forma talerului, supapele sunt de trei feluri (figura 2.7):

- cu taler plat (a);
- cu taler sferic (b);
- cu taler în formă de lăea (c).

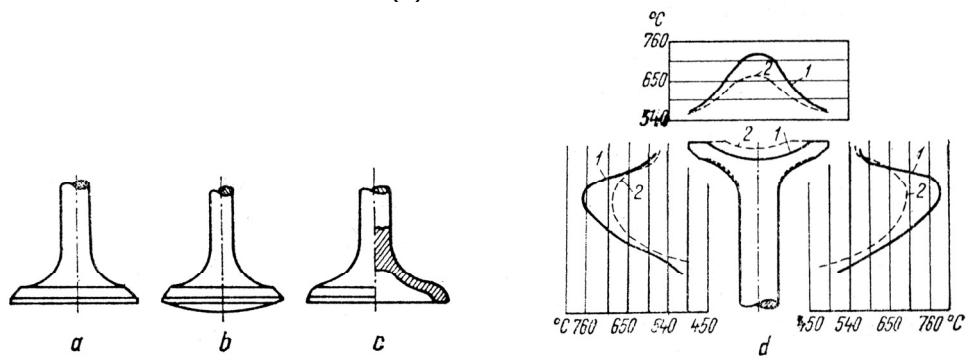


Fig 2.7. Forme ale talerului supapei și influența lor asupra temperaturii supapei [G6]

Supapa cu taler plat are o mare răspândire, deoarece se prelucrează ușor, iar rigiditatea este satisfăcătoare.

Supapa cu taler sferic se utilizează îndeosebi ca supapă de evacuare deoarece are o rigiditate sporită. [M5]

Supapa cu taler în formă de lăea se utilizează ca supapă de admisie deoarece permite o racordare mai largă cu tija odată cu reducerea masei prin evazare, ceea ce asigură formă aerodinamică, masă mică și rigiditate mare; ea are

34 Materiale și tehnologii utilizate la fabricarea scaunelor de supapă-2

o suprafață mare de contact cu gazele fierbinți și evacuează greu fuxul termic (*d*), nefiind potrivită ca supapă de evacuare. Acest tip de supapă se utilizează la motoarele rapide de putere mare, deoarece asigură o formă bună pentru curgerea gazelor și masă mică. [M6]

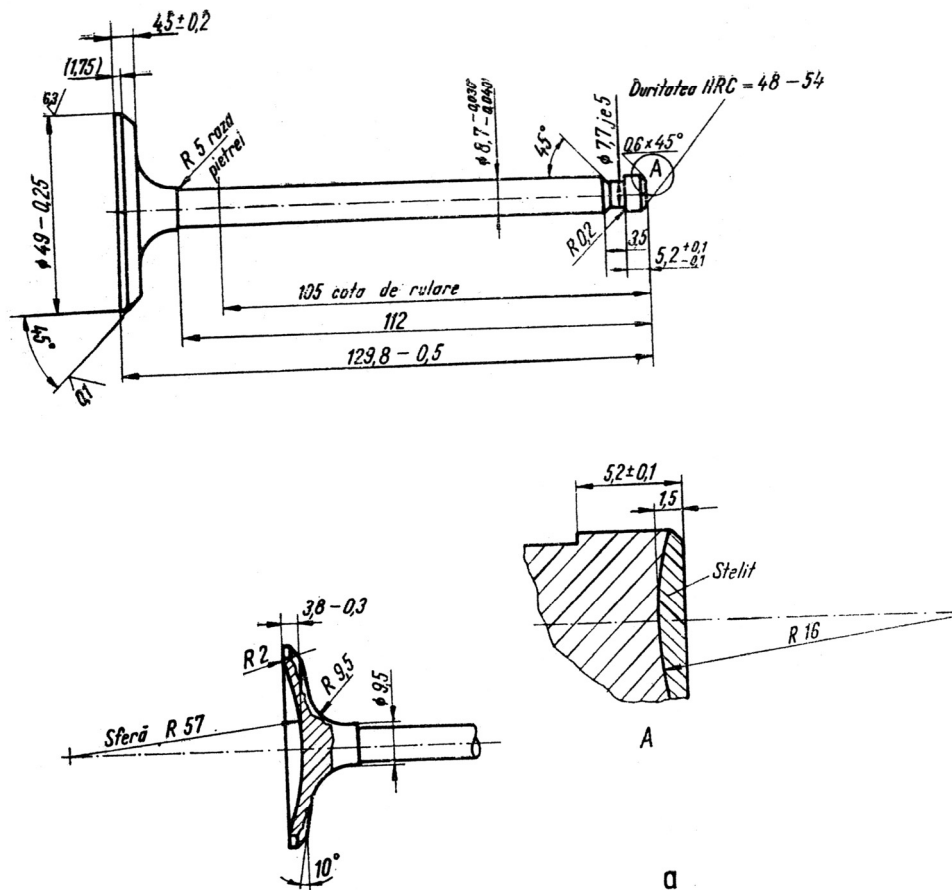


Fig 2.8. Tipuri de supape. a. Supapa de admisie. [G6]

Condiții tehnice:

- Bătaia diametrului $\Phi 7,7$ je 5 față de $\Phi 8,7$ max 0,1;
- Pe suprafața supapei nu se admit știrbiri, tăieturi, fisuri, iar pe suprafețele rectificade nu se admit nici pete negre;
- Bătaia conului ciupercii față de $\Phi 8,7$ max 0,035;
- Bătaia suprafeței frontale "A" față de $\Phi 8,7$ max 0,03 în punctele extreme;
- Abaterea tijei supapei de la rectiliniaritate nu trebuie să depășească 0,015 pe 100mm.

Compoziția chimică	Material	Caracteristici
C=0,085-1,0% Mn=0,7% Cr=17-19% Ni=1,5-2,5% V=0,3-0,6% Si=2,75-3,50% Fe=rest	Oțel aliat de supape X80 CrNiSi 20 (W.No. 1.4747), AISI HNV6	Călit și revenit $\sigma_r=(95-105)9,8\text{MPa}$ HB=285-315 Rezistența la tracțiune=102-118 · 9.8MPa Rezistența la încovoiere=(87-94)9,8MPa Alungire 15% Limita de curgere la 800°C=11 · 9.8MPa

Tabelul 2.1.Caracteristici de material ale supapei de admisie

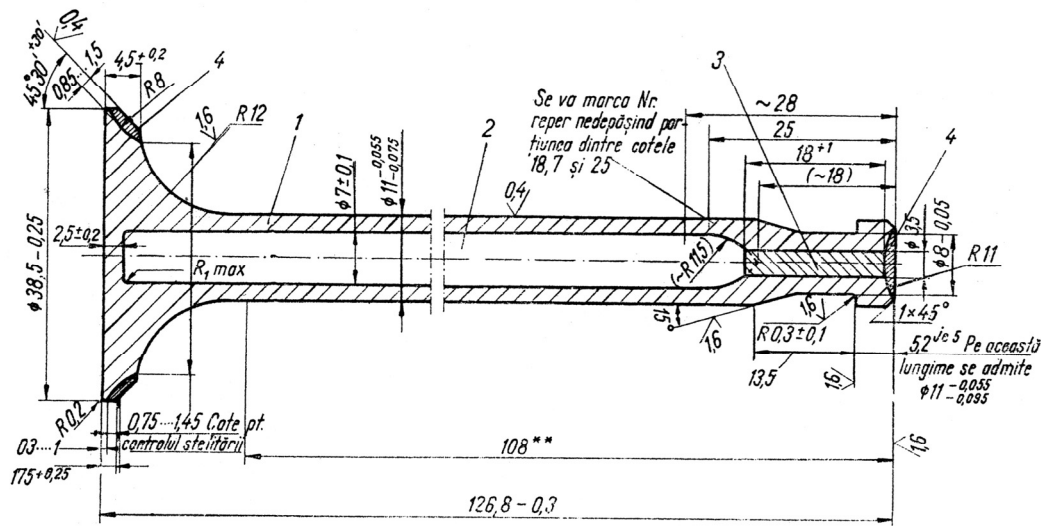


Fig 2.9. Tipuri de supape. a. Supapa de evacuare

Condiții tehnice:

Supapa gata stelitată și umplută cu sodiu (poz 2) va fi supusă unei probe de control de etanșare la temperatura de (500...550)°C;

Bătaia suprafeței cilindrice $\Phi 8-0,05$ față de suprafața cilindrică a tijei $\Phi 11-0,075-0,055$ max 0,1 mm. Bătaia conului ciupericii față de $\Phi 11$ max 0,035mm

Abaterea tijei supapei de la rectiliniaritate nu trebuie să depășească 0.015 pe 100mm;

Abaterea de la coaxialitate a diametrului $\Phi 7+-0,1$ față de $\Phi 11-0,075-0,055$

Pe suprafața supapei nu se admit știrbiri, tăieturi, crăpături și fisuri, iar pe suprafața rectificată nu se admit pete negre.

Stratul de stelit trebuie să fie după rectificare fără nici un fel de defecte (incluziuni, fisuri).

Poz. 1 și 3 oțel X39Cr13 oțel termorezistent C=(0,85..1)%; Ni=(1,5..2,5)%; Cr=(17..19)%; V=(0,3..0,6)%; Fe=rest; Si=(2,75..3,50)%; Mn<=0,7%.

Smax=0,03%; Pmax=0,035% tratat la $\sigma_r=(95..105)9,8\text{MPa}$.

Poz. 4 stelit95

Cr=27%; W=17%; Co=16%; Ni=34%; Fe=4%; ε0=2%; 40...45 HRC.

Rezistența la alungire=15%; la tracțiune=(102..118)9.8MPa; la încovoiere=(87..94)9.8MPa;

Limita la curgere la $800^{\circ}\text{C}=(11 \cdot 9.8)\text{MPa}$.

Notă: Porțiunea tijei cuprinsă în cota 108** se va cromă dur, grosimea stratului de crom pe suprafața finită va fi de 0,005..0,008mm. [M8]

Evacuarea de căldură de la talerul supapei la bucașa de ghidare se îmbunătățește printr-o racordare largă a tijei, ceea ce mărește însă masa supapei. Temperatura supapei de evacuare se micșorează prin răcire artificială. În acest scop supapa se confecționează sub formă tubulară, iar (40..60)% din volumul cavității interioare se umple cu substanțe cu punct de topire coborât (sodiu metallic, azotat de sodiu sau potasiu). În funcționare substanța se topește, se agită energic prin mișcarea alternativă a supapei și ușurează trecerea de căldură de la taler la tijă și la bucașa de ghidare. Se obține o reducere a temperaturii cu (100..150) $^{\circ}\text{C}$. [N6]

Descărcarea termică a supapei se obține prin utilizarea a două supape de evacuare. Dacă Q_p și Q_c sunt fluxul de căldură primit, respectiv cedat de supapă,

atunci Q_p este proporțional cu aria talerului de supapă $Q_p \approx \frac{\pi d_{SC}^2}{4}$, iar al doilea cu

aria scaunului de supapă $Q_c \approx \pi d_{SC} b$; rezultă că $\frac{Q_c}{Q_p} \approx \frac{1}{d_{SC}}$, ceea ce arată că la

reducerea diametrului talerului (când se utilizează două supape) crește raportul $\frac{Q_c}{Q_p}$, deci se reduce nivelul de temperatură a supapei.

Descrierea scaunului de supapă, condiții tehnice:

Pentru a obține un contact bun între suprafața conică și scaun se prevede o diferență de 30o..1o între unghiurile de înclinare ale celor două fețe (de exemplu, 45o cu 44o sau 29o cu 30o), astfel încât partea îndreptată spre camera de ardere să fie imediat etanșă prin atingere liniară, împiedicând trecerea gazelor de ardere. (figura 2.10).

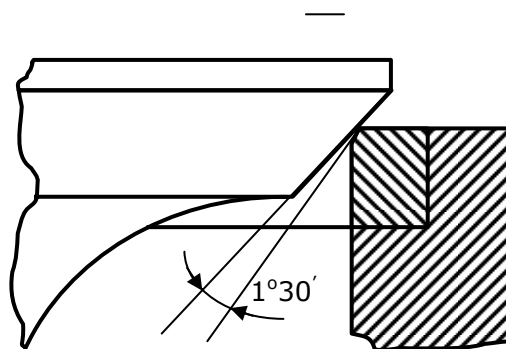


Fig 2.10. Execuția unghiului fațetei talerului și a scaunului supapei. [G6]

Suprafața de etanșare se execută conic, cu unghiul fațetei $\gamma = 45^{\circ}$ sau $\gamma = 30^{\circ}$. Supapa cu $\gamma = 45^{\circ}$, la aceeași înălțime de ridicare, are o secțiune mai mică de trecere decât supapa cu $\gamma = 30^{\circ}$, în schimb asigură formă mai bună a curentului de gaze, pierderi gazodinamice mai mici, rigiditate mare; de aceea supapele cu $\gamma = 45^{\circ}$ au cea mai mare utilizare. Rezultă, astfel, optimizarea **cronosecțiunii** care este

caracteristica funcțională a mecanismului de distribuție al unui motor cu ardere internă exprimată prin raportul dintre volumul de gaze care circulă pe lângă oricare dintre supape și viteza de curgere a acestora. [O1]

Lungimea fațetei b trebuie să fie suficientă pentru ca presiunea de contact să fie cât mai mică, în vederea reducerii uzurii și pentru ca fluctuațiile termice și efectele acestora să fie minime.

Motorul de tractor M511 produs de Aerostar Bacău este un motor Diesel monocilindru, care are următoarele caracteristici funcționale: [N6]

- motor diesel cu injecție directă în patru timpi;
- puterea maximă: 12 CP (8,82 KW);
- număr de cilindri: 1;
- raportul de compresie: 1/17,5;
- alezajul: 85 mm;
- cursa: 90 mm;
- cilindree: 510 cm³;
- lungimea bielei: 145 mm;
- număr de supape de admisie: 1;
- număr de supape de evacuare: 1;
- pompa de injecție: Aerostar, tip 511.10;
- injector: ROKBAL 79S64, Hidrojet S.A. Breaza;
- pompa de ulei: cu roți dințate;
- sistem de răcire: cu aer.

Dimensiunile scaunului de supapă de admisie pentru motorul Diesel monocilindric M511 sunt, conform schiței din figură, următoarele:

- diametrul interior: Φ 30mm;
- diametrul exterior: Φ 35mm;
- înălțimea: 6,28mm;
- unghi de așezare:
 - partea către supapă: 1,5x45o;
 - partea către chiuloasă: 0,45x45o;

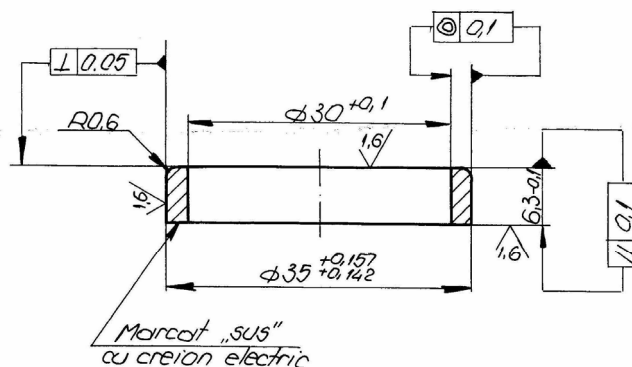


Fig 2.11. Scaun de supapă de admisie pentru motorul Diesel monocilindric M511

Pentru a asigura condiții optime procesului umplerii supapa de admisie se face cu un diametru maxim posibil. Din date experimentale, diametrul acesteia ajunge în medie la (42-50)% din diametrul alezajului și la 1,15 ori diametrul

canalului. Supapele de evacuare au aproximativ (82-88)% din diametrul supapei de admisie.

Datele statistice arată că, în medie, cursa supapei de admisie atinge 23% din diametrul capului supapei, iar cursa supapei de evacuare, 26% din diametrul capului supapei. Tija supapei se execută plină sau tubulară. Pentru scăderea temperaturii supapei de evacuare se mărește diametrul tijei și se lungește bucșa de ghidaj, apropiind-o spre talerul supapei. În scopul evitării depunerilor pe tijă în porțiunea care pătrunde în canalul de gaze se prevede o muchie de raclare (figura 2.12) prin îngustarea tijei; astfel muchia de raclare a supapei și muchia ascuțită a alezajului ghidului se curăță reciproc. [U1]

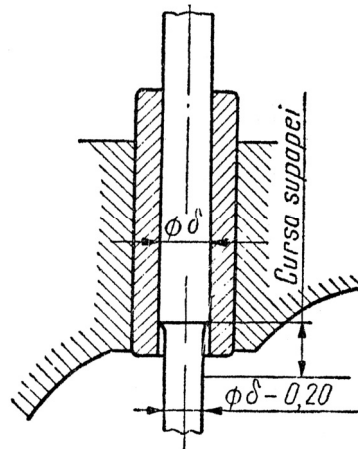


Fig 2.12. Execuția muchiei de raclare [A2]

Căldura primită de talerul supapei este evacuată parțial prin suprafața de contact cu scaunul supapei și parțial prin tijă. Temperatura în centrul supapei este întotdeauna mai mare decât la periferie, diferența ajungând, pentru supapa de evacuare, la 150°C. Tensiunile provocate de variația fluxului termic depășesc 200N/mm² într-o supapă de evacuare de dimensiuni medii. De aceea, pentru a evita suprasarcini de natură termică, se va acorda o atenție deosebită răcirii supapei. O soluție în acest sens o reprezintă supapa tubulară, (fig 2.13).

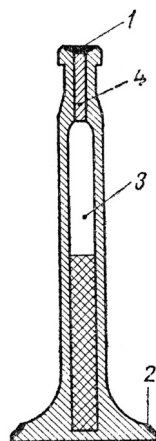


Fig.2.13 Supapă tubulară

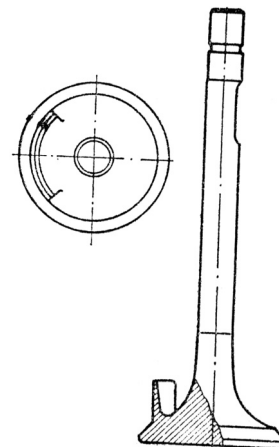


Fig 2.14 Supapa cu ecran[G6]

Unde, 1 și 2-strat protector de stelit, 3-cavitatea cu sodiu, 4-dop.

În interiorul supapei se introduce în proporție de 60% din volumul cavității, o substanță cu punct de topire coborât (sodiu metallic, azotat de sodiu, azotat de potasiu). Acesta, la o temperatură de aproximativ 97°C, se topește și transmite căldura de la taler la tijă. Temperatura talerului se reduce astfel cu (80-120)°C. Supapele răcite cu sodiu sunt avantajoase când rezistența la cald a materialului este la limită sau când apar defecțiuni care se datorează eroziunii, arderii, ruperii, sau fisurării suprafeței prin tensionare termică. [V4]

O construcție particulară o reprezintă supapa cu ecran utilizată la m.a.c. cu injecție directă, în vederea intensificării turbulenței aerului la admisie. Deoarece fabricarea acestora este substanțial mai scumpă decât a unei supape obișnuite și deoarece turbulența poate fi asigurată prin construcția adecvată a canalului de admisie, acest tip de supapă se folosește din ce în ce mai puțin.

2.2. Condiții termomecanice de funcționare a supapelor și a scaunului de supapă.

Supapele sunt piesele mecanismului de distribuție care, prin mișcarea lor asigură introducerea încărcăturii proaspete în cilindru, menține un timp determinat etanșeitatea spațiului în care evoluează fluidul motor și permit evacuarea gazelor de ardere în urma destinderii.

Aceste funcțiuni trebuie îndeplinite fără zgomot și fără uzuri anormale.

Secțiunile de trecere trebuie să asigure umplerea maximă la nivelul dorit al performanțelor motorului, iar etanșeitatea orificiilor trebuie să fie perfectă.

Pentru a mări eficiența etanșării, supapa se deschide în interiorul cilindrului astfel încât să fie aplicată pe suprafața de reazem de forța de presiune a gazelor. Suprafața de reazem este conică, deoarece se obține un efect de autocentrare și o presiune sporită pe scaun, când lungimea b a suprafeței conice se micșorează; b scade cu γ la aceeași grosime a talerului. Reducerea valorii b micșorează suprafața de contact dintre taler și scaun, ceea ce împiedică evacuarea de căldură și sporește temperatura de regim a supapei.

În timpul funcționării, talerul supapei este supus acțiunii:

- forței de presiune a gazelor;
- sarcinilor dinamice datorate forței elastice (tensiune) a arcului;

forțelor de inerție a pieselor de acționare, care produc eforturi unitare ridicate în fibra exterioară (σ_e) și interioară (σ_i), distribuite neuniform (fig.2.14 *a* și *b*), variabile, funcție de forma talerului și valoarea presiunii (fig.2.15, *a*). O solicitare mecanică suplimentară – solicitare dinamică, de șoc, produsă de forța arcului și de forța de inerție – apare la așezarea supapei pe scaun (șoc pe suprafața conică) sau la acționarea ei (șoc pe capătul tijei). Astfel, se pretinde o duritate superficială sporită pentru suprafețele de sprijin și de acționare. Deformarea supapei perturbă contactul perfect pe scaun, ceea ce compromite etanșarea; de aceea, trebuie să posede nu numai rezistență mecanică înaltă ci și rigiditate superioară.

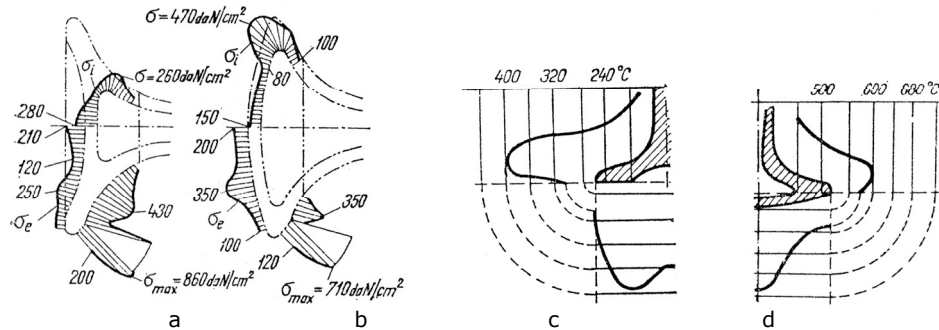


Fig 2.15. Distribuția eforturilor unitare și a temperaturilor în talerul de supapă lalea (a, c) și bombat (b, d) (σ_e , σ_i - eforturile unitare în fibrele exterioră și interioră).[G6]

În timpul funcționării, supapa – mai ales cea de evacuare – se încălzește puternic. Distribuția de temperatură (măsurări cu termocuple) este neuniformă pe talerul supapei (fig.2.14, c și d) și depinde de felul supapei (admisie sau evacuare), de forma și modul de răcire a supapei. În fig.2.15, b este redată distribuția temperaturilor pentru supapa de evacuare. Aceasta lucrează în condițiile existenței temperaturilor ridicate și a acțiunii corozive a gazelor de ardere.

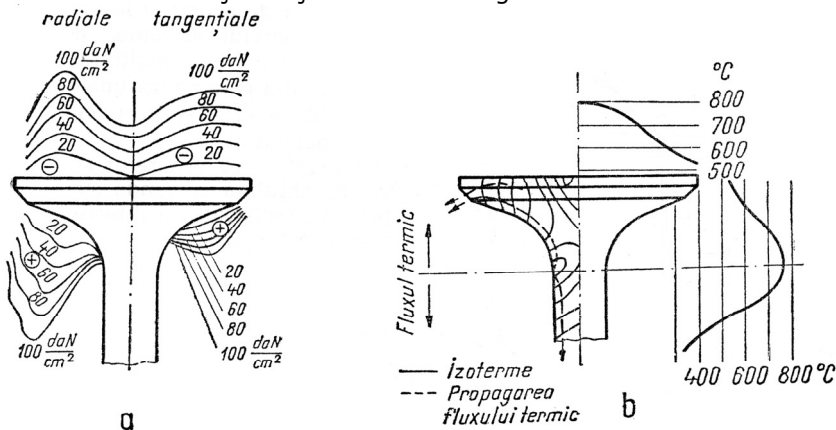


Fig 2.16 Distribuția eforturilor unitare și a temperaturilor pe talerul supapei de evacuare. [G6]

Temperatura maximă a supapei de evacuare, udată de gazele fierbinți ajunge la (750...800)°C, iar a supapei de admisie la (300...400)°C și variază cu regimul de funcționare (sarcină, turație), cu tipul motorului (MAS, MAC), cu procedeul de răcire (lichid, aer), (fig.2.16).

Temperatura ridicată a supapei de evacuare reduce rezistența mecanică și duritatea materialului, sporește dilatarea talerului. Se compromite astfel contactul perfect pe scaun și se intensifică uzura corozivă a supapei (la creșterea temperaturii supapei de evacuare cu numai 200 – de la 730°C la 750°C – pierderea de masă din cauza uzării corozive se dublează, iar la creșterea cu încă 10°C devine de patru ori mai mare).

Fluxul termic primit de talerul supapei se evacuează prin fața conică a talerului și prin tija supapei (fig.2.17, a)

2.2. Condiții termomecanice de funcționare a supapelor și a scaunului de supapă. 41

Solicitările mecanice și temperaturile ridicate înrăutățesc proprietățile materialului supapei, provoacă deformarea talerului și, deci, așezarea neetanșă pe locașul său, precum și deformarea tijei, favorizând griparea motorului. Acțiunea gazelor de ardere provoacă coroziunea supapei datorită prezenței substanțelor agresive în compoziția acestora.

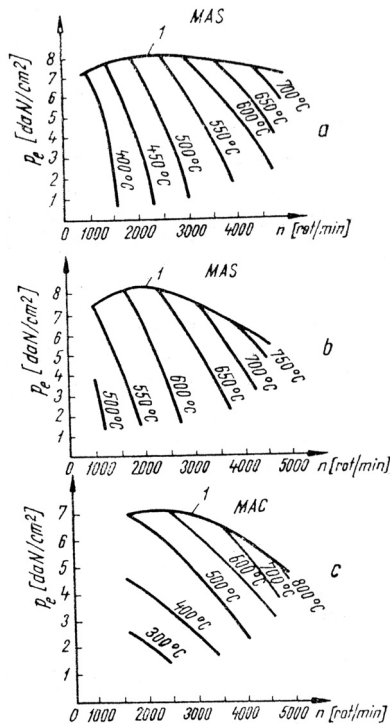


Fig 2.17 Curbele izoterme ale feței conice a supapei, pentru un M.A.S. răcit cu apă (a), cu aer (b) și pentru M.A.C. (c). [G6]

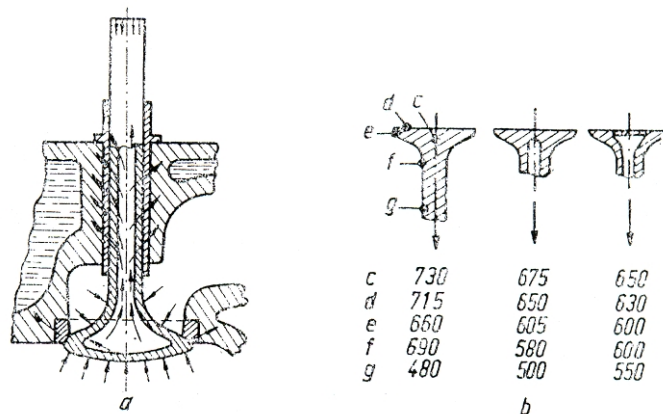


Fig 2.18 Fluxul de căldură prin supapă (a) și efectele răcirii (b). [G6]

2.3. Materiale utilizate la fabricarea supapelor și a scaunelor de supapă.

Pentru construcția supapelor, datorită condițiilor de lucru, se recomandă oțeluri speciale termorezistente și anticorozive, întrucât acestea trebuie să satisfacă o serie de condiții:

- rezistență superioară la solicitări dinamice și temperaturi ridicate
- rezistență sub sarcină prelungită
- menținerea durității la temperatura de regim
- rezistență crescută la coroziune în diverse medii (oxid de plumb, acid sulfuric)
- coeficient de frecare redus

42 Materiale și tehnologii utilizate la fabricarea scaunelor de supapă-2

- coeficient redus de dilatare (joc minim între supapă și culbutor)
- bună conductibilitate termică
- cost mic.

Față de condițiile deosebite impuse pentru materialul supapelor, cea mai bună comportare o au oțelurile aliate, unde cromul este elementul principal pentru mărirea rezistenței la oxidare și coroziune.

În cazul *supapelor de admisie*, unde condițiile de lucru sunt mai puțin severe, se utilizează oțeluri martensitice Cr sau Cr-Ni (X30Cr13, X39Cr13 (EN 10088-1), X33CrNiMnN23-8 (EN 10090)).

O bună utilizare o au oțelurile Cr-Si (X45CrSi9-3 (EN 10090)). Cromul și siliciul favorizează formarea unui strat de oxid la suprafața supapei, care rezistă la acțiunea gazelor.

Acestea sunt relativ ieftine, se călesc și pot fi utilizate și pentru supape de evacuare cu încălzire termică moderată. Oțelul pentru supape are structură feritică sau austenitică, un conținut de carbon de (0,4...0,8)% și este înalt aliat (elemente de aliere: Cr, Ni, Si, W, V, Ti, Al, Co).

În tabelul următor se dau caracteristicile unor materiale de supape.

Materia lul	S630 21 (SAE J 775)	34CrNiMo 6 (EN 10083-3) oțel de îmbunătă țire	41Cr4 (EN 10083-3) oțel de îmbunătă țire	X45Cr Si9-3 EN 10090	X85Cr MoV1 8-2 EN 10090	X45CrNiW18-9 (W.No. 1.4873)
Compoz iția	chimi că	în %				
C	0,36- 0,44	0,30-0,38	0,85-1,0	0,48	0,85	0,45
Si	0,17- 0,37	0,17-0,37	2,75-3,5	3,10	-	2,50
Mn	0,50- 0,80	0,40-0,70	0,7	0,45	1,25	1,20
Cr	0,80- 1,10	1,40-1,70	17-19	9,00	17,50	18,00
Ni		1,40-1,70	1,5-2,5	-	-	9,00
Mo		0,15-0,30	-	-	2,36	-
V		-	0,3-0,6	-	0,50	-
W		-	-	-	-	1,00

Tabelul 2.2. Caracteristicile unor oțeluri pentru supape

Pentru a mări rezistența la uzare asupra fațetei și a capătului tijeii supapei, în unele cazuri, acestea se acoperă cu un strat de oțel dur din categoria stelit, eatonit, nicrom, cu conținut ridicat de Cr, Ni, Co, W pe grosimea de 1,5-2,5 mm. Aceste materiale se caracterizează prin duritate ridicată la cald, rezistență la uzare, la coroziune și oxidare. Materialul X53CrMnNiN21-9 este propriu pentru acoperirea capătului tijeii având rezistența maximă la șoc și uzare.

În timpul funcționării, supapele, tijeile, pârghiile din sistemul de acționare se dilată. Dacă sistemul de acționare nu este prevăzut cu o posibilitate de preluare a dilatărilor, arcul nu mai așează supapa pe scaun, supapa rămâne aplicată direct (sau prin sistemul de împingători) pe cercul primitiv al camei. Acest neajuns se înlătură

2.3. Materiale utilizate la fabricarea supapelor și a scaunelor de supapă. 43

prevăzând un joc în sistemul de acționare, numit *joc termic* (Δ), care se determină de uzină prin încercare (figura 2.19)

Materialul	Stellite95	Stellite® 6B	Stelit 17	Eatonite (SAE J 775)	NiCr60 15 (DIN EN 50112	X53CrM nNiN21 -9 (EN 10090)
Compoziția	chimică	[%]				
C	2	1,25	1,75	2,4	0,2	2,60
Si	-	2,00	1,10	1,0	0,3	1,75
Mn	-	-	-	-	0,8	0,7
Cr	27	27	25	29	20	27,0
Ni	34	-	22	39	rest	-
Co	16	65	37	15	-	-
W	17	4,5	12	10	-	-
Fe	4	rest	1,5 max	8	1,0	rest

Tabelul 2.3. Materiale pentru acoperiri dure la supapă și scaune de supapă

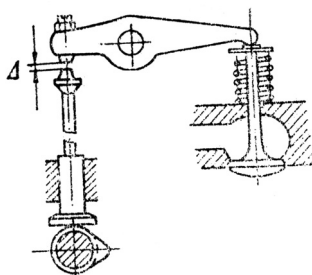


Fig 2.19 Schemă pentru ilustrarea jocului termic.[A2]

Jocul termic variază între (0,05..0,5)mm și este mai mare la supapa de evacuare. Jocul termic reprezintă o cauză de solicitare cu șoc a pieselor și de aceea trebuie redus la strictul necesar. În plus, un joc termic sporit reduce performanța de silențiozitate a motorului.

Jocul stabilit inițial de uzina constructoare (jocul optim) se mărește în timpul exploatării din cauza uzurii pieselor. De aceea, jocul termic se reface periodic cu ajutorul șurubului de reglaj prevăzut pe culbutor. Când cama atacă direct supapa, jocul termic se reglează cu ajutorul unor discuri așezate direct între camă și coada supapei. Dacă prin reglare s-a stabilit un joc mai mic decât cel recomandat, în timpul funcționării supapa nu se mai așază pe scaun, ceea ce compromite nu numai etanșarea, dar și siguranța în funcționare: talerul supapei și scaunul sunt arse de gazele fierbinți care scapă prin interstiții. Dacă jocul termic este prea mare, se intensifică uzura prin șoc, se modifică fazele de distribuție și se amplifică zgomotul.

2.4. Tehnologia de fabricare a supapei și a scaunului de supapă

Tija supapei este ghidată într-o bucsă separată, demontabilă, introdusă cu strângere în locașul din chiulasă (figura 2.20). Cuplul tija supapei – bucsa de ghidare lucrează în condiții deosebite. Pentru a ușura evacuarea căldurii din supapă, jocul trebuie redus la minim, dar, din cauza dilatării tijei, un joc mic provoacă pericolul de gripaj. Jocurile medii dintre tijă și bucsă se înscriu în intervalul (20..50) μm la supapa de admisie și (50..70) μm la supapa de evacuare; mai mari la supapa de evacuare deoarece se dilată mai mult.

Pentru a micșora frecarea și a reduce gripajul cuplului tijă-bucșă, acesta trebuie uns. Ungerea se realizează prin ceață de ulei și stropire. La o ungere prea abundentă și un joc prea mare consumul de ulei se poate dubla din cauza depresiunii din galeria de admisie (mai ales la MAS). Pentru a reduce consumul, accesul uleiului între tijă și bucsă se limitează (prin reducerea jocului, cu o garnitură de protecție). O soluție eficientă se obține confecționând bucsile cu suprafața interioară tronconică, ceea ce satisface condiția de dilatare inegală în lungul tijei. În acest caz se poate reduce jocul la marginea superioară a bucsii la (7,5..15) μm și se reduce sensibil consumul de ulei.

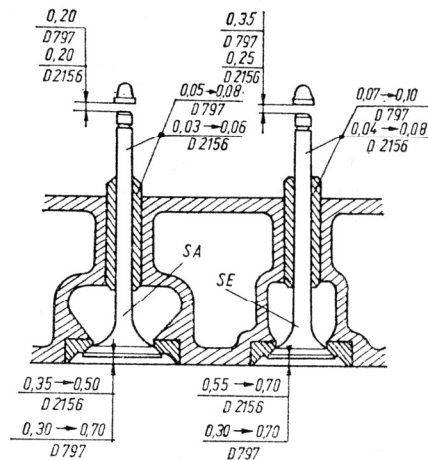


Fig 2.20 Jocurile funcționale ale supapelor motoarelor[A2]

Pentru a proteja supapa de evacuare de acțiunea gazelor fierbinți bucsa de ghidare se coboară până aproape de talerul supapei de evacuare; dacă se coboară și cămașa de apă la nivelul bucsii de ghidare eficiența soluției este mult sporită.

Eliminarea bucsii de ghidare reduce temperatura supapei cu 100°C..120°C, deoarece facilitează transferul de căldură; în schimb locașul de ghidare nu se poate înlocui după uzare. Bucșile se confecționează din materiale cu proprietăți antifricțiune, rezistente la temperatură înaltă: fontă refractară, bronz refractar.

Scaunul supapei se confecționează separat, pentru a mări rezistența la uzare, sub forma de inele care se presează în locașuri. Se realizează din materiale cu rezistență mare la coroziune, având totodată duritate ridicată la temperaturi înalte (fontă refractară sau oțel refractar). Prin depunerea unui strat de stelit pe

suprafața conică de așezare a supapei durabilitatea scaunului crește de 4-5 ori ceea ce asigură la MAC un parcurs de (300.000..350.000)km parcurși.

Forma constructivă și caracterul producției, în serie mare sau de masă, fac posibilă automatizarea procesului de prelucrare mecanică. Tehnologiile moderne prevăd obținerea unor semifabricate foarte precise, cu adaosuri mici, astfel încât ulterior să fie necesare numai operații de rectificare.

Condiția principală ce trebuie îndeplinită la prelucrarea supapei este realizarea unei concentricități cât mai perfecte a conului de așezare al capului supapei cu porțiunea de ghidare a tijei. În caz general, supapele se prelucrează prin strunjire și rectificare. Când se obțin semifabricate precise, prelucrarea supapelor se face numai prin rectificare.

Principalele operații de prelucrare mecanică a supapei depind de procesul tehnologic principal adoptat.

În cazul prelucrării prin strunjire și rectificare se execută următoarele grupe de operații: operații de profilare a supapei; tratament termic; operații de finisare; operații de control.

Profilarea supapei se execută prin strunjire, cu cuțite a căror geometrie asigură forma canalelor pentru siguranțe, precum și a porțiunii de racordare dintre capul supapei și tijă. După obținerea profilului supapei în stare semifinită se aplică tratamentul termic de durificare a suprafeței capului tijei, prin curenți de inducție. Operațiile de finisare se execută prin rectificare.

Rectificarea tijei supapei se face pe o mașină de rectificat fără vârfuri. Principiul de prelucrare se poate vedea în figura 2.21. Supapa 1 se rotește între discul abraziv 2, a cărui viteză tangențială este de (30-40)m/s, și discul de antrenare 3, a cărui viteză tangențială, pe care o imprimă și piesei, este de (0,2-0,5)m/s. Diferența de viteze este tocmai viteza de așchiere a discului 2. Supapa este menținută în poziție convenabilă de rigleta 4. Mașina lucrează cu avans radial. Suprafața de prelucrat este în același timp și bază de așezare.

Unele procese tehnologice cuprind și operația de roluire a tijei, în vederea obținerii unei suprafețe de înaltă calitate.

Când supapele sunt prevăzute cu acoperiri din materiale dure pe capul tijei și pe fața conică, în procesul tehnologic sunt cuprinse și operațiile de aplicare a acestor materiale.

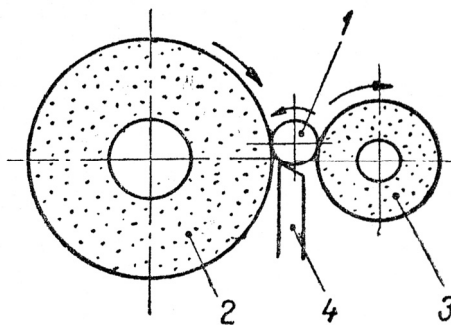


Fig 2.21. Principiul rectificării tijei supapei.[G6]

Caracterul de masă al producției supapelor, precum și geometria acestora, permit automatizarea procesului tehnologic de fabricație.

Pe linia automată se execută două tipuri de control al producției: control selectiv efectuat de controlor cu instrumente de măsurare manuale și controlul 100% al parametrilor principali pe instalația automată de control. În afară de

aceasta, controlul calității se efectuează cu instrumente de măsură instalate pe mașinile automate.

În procesul de prelucrare a supapei numai prin rectificare, față de procesul tehnologic descris, apar deosebiri în ceea ce privește degroșarea profilului supapei. Deoarece semifabricatul este foarte precis, numărul de operații este mic, ceea ce constituie un avantaj deosebit. Operațiile se execută pe mașini de rectificat plan, mașini de rectificat fără vârfuri sau mașini speciale.

Metoda de realizare a semifabricatului trebuie să țină seama de asigurarea unei înalte stabilități dimensionale și unei rezistențe la oboseală ridicată, la un cost minim.

Pentru satisfacerea acestor cerințe semifabricatele se obțin prin deformare plastică, electrorefulare, urmată de matrițarea de precizie și extrudare. Primul procedeu, aplicat și în țara noastră, este mai economic și permite obținerea unui fibraj satisfăcător (fig.2.22, a).

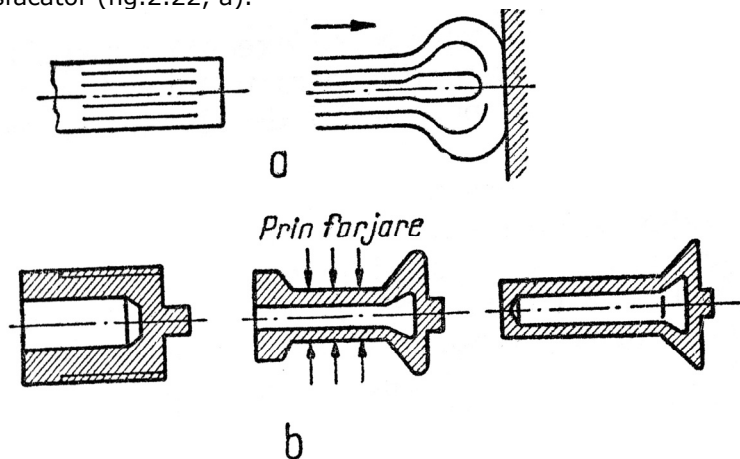


Fig 2.22. Obținerea semifabricatelor pentru supape:
a-supapă plină; b-supapă tubulară.[A2]

Se pornește de la o secțiune de bară cu diametrul de $\frac{2}{3}$ din diametrul talerului finit și o lungime corespunzătoare volumului piesei brute. Bara, încălzită prin inducție, este matrițată, obținându-se piese brute cu dimensiunile și fibrajul corespunzător.

Supapele tubulare cu răcire interioară se forjează ca un pahar (figura 2.22, b). Golul se umple cu sodiu, după care se astupă ermetic cu un capac sudat electric. Într-o altă variantă, se aplică găurirea tubulară, procedeu care asigură o precizie mai mare.

Piesa brută se supune tratamentului termic de recoacere și revenire. Oțelurile austenitice au caracteristici de alunecare inferioare și au tendințe de gripare în ghidul supapei. Acest fenomen poate fi evitat prin cromarea tijelor. Principal există două procedee pentru cromare.

Primul procedeu, cromarea la dimensiune, prevede aplicarea unui strat subțire cu grosime de $10\mu\text{m}$. În acest caz, cromarea poate fi precisă și tija nu mai trebuie rectificată.

Al doilea procedeu, cromarea totală, se referă la aplicarea unui strat cu grosimea de $20\mu\text{m}$ și mai mult, în care caz nu mai poate fi garantată o cromare uniformă. De aceea, tija va mai trebui rectificată. Procedeu este mai scump decât cromarea la dimensiune.

Pentru ridicarea rezistenței la coroziune rezultate satisfăcătoare s-au obținut prin aluminizarea suprafețelor expuse. Aluminiul este metalizat prin pulverizare și apoi difuzat prin incandescență pe materialul de bază. Soluția este relativ ieftină și ridică fiabilitatea.

Pentru obținerea scaunului de supapă din acest semifabricat au fost aplicate operații de strunjire, frezare, alezare și finisare.

2.5. Concluzii preliminare.

Materialul prezentat în al doilea capitol al acestei lucrări conduce la următoarele observații și concluzii:

- Subansamblele sistemului de distribuție sunt larg utilizate în construcția unor mașini și motoare cu ardere internă fabricate în producție de serie, în condițiile în care cerințele de calitate, eficiență și fiabilitate sunt impuse de piață la un nivel tot mai înalt;
- Condițiile tehnice de realizare, natura materialului precum și forma supapelor și a scaunelor de supapă sunt orientate spre îmbunătățirea evacuării de căldură, rezistență sporită la uzură, reducerea pierderilor gazodinamice și rigiditate mare;
- Solicitățile mecanice și temperaturile ridicate înrăutățesc proprietățile materialului supapei, provoacă deformarea talerului și, deci, așezarea neetansă pe locașul său, precum și deformarea tijei, favorizând griparea acestuia;
- La fabricarea supapelor și a scaunelor de supapă, datorită condițiilor de lucru se utilizează oțeluri speciale, termorezistente și anticorosive, față de care se impun anumite cerințe termomecanice;
- Scaunul supapei se confecționează separat, pentru a mări rezistența la uzare, sub forma de inele care se presează în locașuri, din materiale cu rezistență mare la coroziune și duritate ridicată la temperaturi înalte;
- Jocul termic reprezintă o cauză de solicitare cu șoc a pieselor și de aceea trebuie redus la strictul necesar;

În capitolul al doilea al prezentei lucrări se regăsesc unele contribuții ale autoarei, printre care și următoarele:

- Sistematizarea cunoștințelor existente referitoare la materialele și tehnologiile utilizate la fabricarea supapelor și scaunelor de supapă;
- Sinteza și analiza unui material bogat, relativ la materialele și tehnologiile aplicate la fabricarea subansamblelor pentru motoarele cu ardere internă;
- Studiul critic al materialelor utilizate până în prezent, la nivel mondial la fabricarea scaunelor de supapă.

BIBLIOGRAFIE

[A2], [G6], [M1], [C5], [H5], [I6], [M5], [M6], [M8], [N6], [O1], [U1], [V4]

3. Tehnologia de fabricare a pieselor metalice prin metalurgia pulberilor

3.1 Etapele procesului tehnologic de fabricație a pieselor sinterizate

Procesul tehnologic de fabricație a unei piese metalice obținute prin metalurgia pulberilor poate cuprinde următoarele faze:

- obținerea materiilor prime sub formă de pulberi (de fier, cupru, staniu, plumb, grafit, etc.) la care se adaugă ulterior lubrifianți și lianți
- omogenizarea pulberii sau a unui amestec de pulberi cu compoziția dorită împreună cu lubrifianți și lianți;
- obținerea prin presare sau alte metode a comprimatelor din pulberi metalice;
- presinterizarea și sinterizarea comprimatelor la temperaturi înalte, într-o atmosferă protectoare;
- calibrarea pieselor sinterizate;
- prelucrarea mecanică sau alte prelucrări de finisare a pieselor sinterizate;
- impregnarea cu uleiuri sau aliaje ușor fuzibile a pieselor sinterizate;
- controlul și recepția produselor sinterizate. [I1]

3.1.1 Obținerea pulberilor metalice

Materiile prime pentru metalurgia pulberilor sunt:

- ❖ pulberi metalice;
- ❖ pulberi nemetalice;
- ❖ lubrifianți și aditivi.

Prin pulberi metalice se înțeleg ansamblurile de granule de metale pure, de aliaje, de compuși intermetalici, de compuși chimici ai metalelor sau de amestecuri mecanice ale mai multor componente, cu dimensiuni de până la maximum 1 mm. Pentru ca o pulbere metalică să fie ideală pentru utilizarea în metalurgia pulberilor, trebuie să posede următoarele caracteristici:

- compresibilitate înaltă;
- să confere produsului format o înaltă rezistență mecanică;
- să aibă proprietăți bune de curgere;
- să prezinte variații dimensionale minime în timpul sinterizării;
- rezistențe mecanice înalte și o alungire mare.

În practică se folosesc numeroase metode de fabricare a pulberilor metalice. Acestea pot fi grupate în metode mecanice și metode fizico-chimice. [D2]

3.1.1.1 Fabricarea pulberilor prin metode mecanice

Principalele procedee de obținere a pulberilor metalice sunt dezintegrarea prin așchiere, măcinarea în mori cu bile, pulverizare din fază lichidă (prin atomizare)

a. Dezintegrarea prin așchiere

Dezintegrarea prin așchiere este o metodă a pulberilor utilizată foarte rar, deoarece prin măcinarea așchiilor nu se poate fabrica o pulbere metalică de foarte bună calitate, din mai multe motive: compoziția chimică a diferitelor sorturi de așchii este variabilă și inconstantă în timp; colectarea, sortarea și transportul așchiilor sunt greoaie și necesită timp; măcinarea așchiilor de oțel cu conținut scăzut de carbon este dificilă; prin măcinarea relativ ușoară a așchiilor de fontă se obține o pulbere care, datorită conținutului ridicat de carbon, siliciu și fosfor, nu permite fabricarea unor piese sinterizate de bună calitate.

b. Măcinarea în mori cu bile.

Prin utilizarea morilor cu bile de tip obișnuit (*Figura 3.1*) pulberea fabricată se impurifică cu materiale desprinse din corpurile de măcinare și captușeala morii, iar la măcinarea metalelor și aliajelor cu o afinitate mare de oxigen, în timpul funcționării morii, apare un pericol accentuat de explozie, datorită încălzirii pulberii și formării unei suspensii de particule foarte fine în atmosfera închisă a morii (moara planetară cu bile).

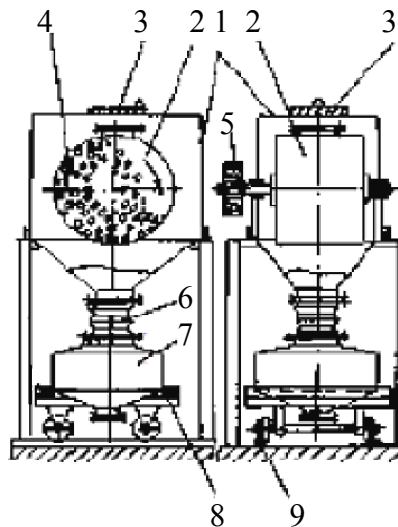


Fig 3.1. Mori cu bile [I1]

1. carcasa închisă; 2. tambur de măcinare; 3. ușa de închidere; 4. bilele și încărcătura morii; 5. roata dințată de antrenare; 6. burduf de pânză cauciucată; 7. container de transport; 8. cărucior; 9. șină

c. Pulverizare din fază lichidă (prin atomizare)

Principiul unei instalații de pulverizare este prezent în *Figura 3.2*. Jetul subțire de metal topit care curge printr-o duză ceramică refractară este atacat de aerul de mare viteză (300m/s..500m/s) care părăsește duza inelară sub acțiunea presiunii de $(5,09 \cdot 10^{-5} \dots 30,59 \cdot 10^{-5})$ (Pa) și sub acțiunea acestuia este pulverizat

(atomizat) în picături foarte fine. Acestea se solidifică și cad în apa de la baza turnului de pulverizare, de unde se îndepărtează periodic sub forma unui nămol fin. Pentru evitarea oxidării particulelor, aerul sub presiune este de multe ori înlocuit de argon sau un alt gaz neutru, respectiv reducător. [D3]

Prin această metodă pot fi fabricate atât pulberi din metale pure și aliaje, cât și din pseudoaliaje, ale căror componente sunt miscibile numai în stare lichidă (cupru-plumb, cupru-fier, argint-plumb etc.)

Cantitățile cele mai mari de pulberi se fabrică din fier, oțeluri slab și înalt aliate, oțeluri inoxidabile și din superaliaje.

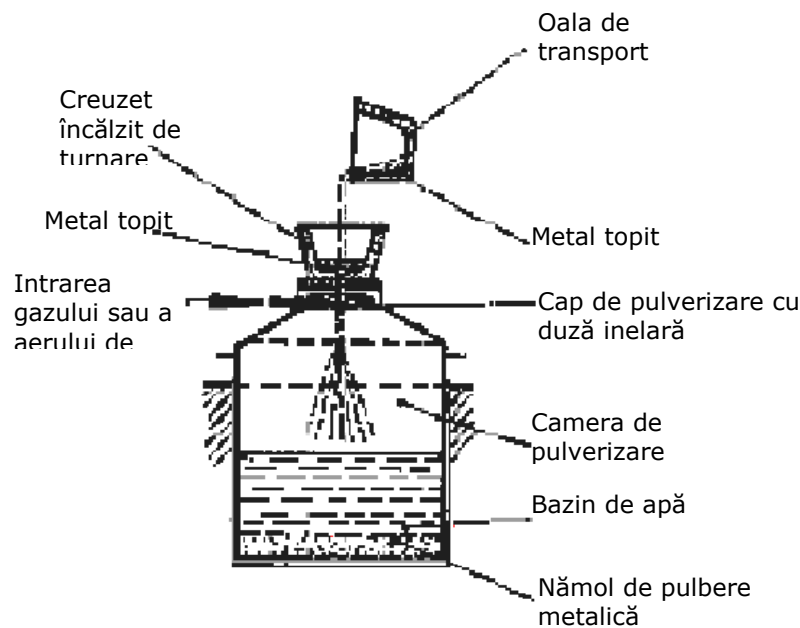


Fig 3.2. Schema de principiu a unei instalații de pulverizare din fază lichidă [I1]

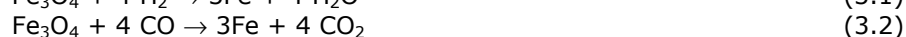
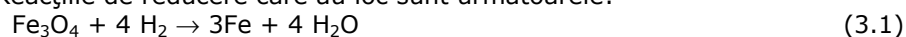
3.1.1.2 Fabricarea pulberilor prin metode fizico-chimice

Sunt metode de obținere a pulberilor frecvent utilizate. Cele mai răspândite procedee se descriu în continuare.

a. Reducerea oxizilor la temperaturi ridicate cu reducători solizi sau gazoși

Este un procedeu foarte răspândit la fabricarea pulberilor de fier și la majoritatea sortimentelor de pulberi de nichel, cupru, cobalt, wolfram, molibden, etc. Fluxul tehnologic de fabricare a pulberilor metalice prin reducere cu gaze este prezentat în *Figura 3.3*.

Reacțiile de reducere care au loc sunt următoarele:



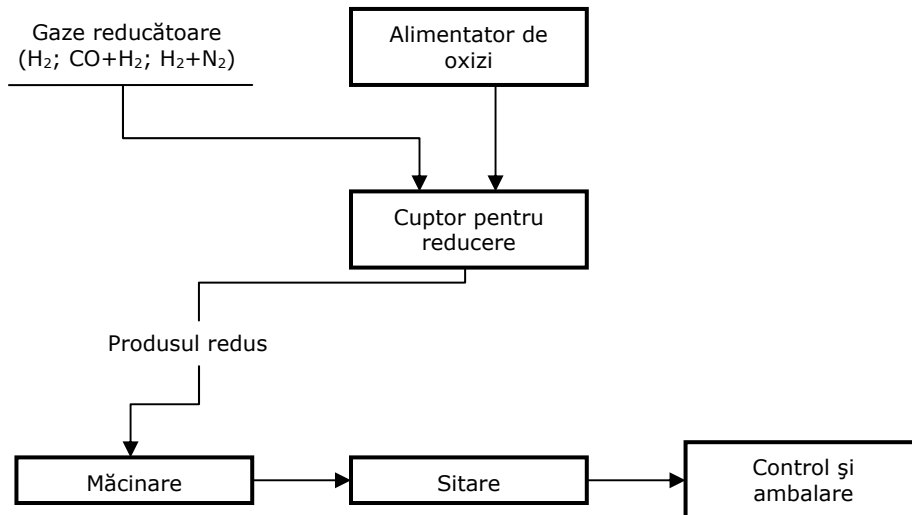


Fig. 3.3 Fluxul tehnologic de fabricare a pulberilor metalice prin reducere cu gaze [I1]

b. Metoda electrochimică (electrolitică)

Trecând curentul electric continuu prin soluțiile apoase ale sărurilor metalelor sau prin topitură, la înaltă temperatură a acestor săruri, metalul sau aliajul se depune la catod sub formă de pulbere. Prima variantă se aplică la fabricarea pulberilor de cupru, fier, argint, staniu, iar a doua pentru obținerea pulberilor de tantal, uraniu, niobiu, titan, zirconiu. [F3]

Reacțiile chimice care au loc sunt:



Proprietățile pulberilor metalice electrolitice pot fi influențate în direcția dorită prin alegerea valorilor optime ale condițiilor electrolizei: compoziția și concentrația electrolitului, temperatura acestuia, densitatea de curent, agitarea permanentă a electrolitului, mișcarea sau vibrarea electrozilor. Metalul care se depune la catod poate să aibă o structură compactă, fiind totuși fragilă, ușor măcinabilă sau o structură poroasă (în cazul folosirii unor densități medii de curent) sau să apară o depunere direct în formă de pulbere (dacă densitatea de curent este foarte mare).

Aceste pulberi se caracterizează printr-o puritate deosebit de ridicată și prin proprietăți de presare și de sinterizare foarte bune. Consumul de curent la electroliză este între (1,5..4) kWh/kg pulbere fabricată. [G5]

c. Metoda carbonil

Prin această metodă se permite obținerea unor pulberi de mare puritate și cu o granulație foarte fină, din metalele care formează cu oxidul de carbon compoziții chimice numite carbonili (fier, nichel, cobalt, crom, molibden, wolfram etc.)

În cazul fabricării pulberii de fier carbonil, în reactoare umplute cu fier spongios, cu aşchii de fier sau alte deşeuri de fier, la temperaturi cuprinse între $(93..204)^{\circ}\text{C}$ şi la presiuni foarte ridicate de $(150..200)10^3\text{N/m}^2$, sub acţiunea monoxidului de carbon se obţine carbonilul de fier, conform reacţiei:



Carbonilul de fier este un lichid gălbui, care fierbe la temperatura de 102°C şi este foarte toxic. Formarea pulberii de fier are loc din faza gazoasă, prin descompunerea termică a carbonilului în prealabil evaporat, temperatura menţinându-se la valori de $(150..388)^{\circ}\text{C}$ şi presiunea fiind egală cu cea atmosferică.

Reacţia chimică este:



Oxidul de carbon rezultat în urma reacţiei este refolosit la sinteza carbonilului de fier. În timpul descompunerii apar germeii de cristalizare din fază gazoasă, pe care se depun apoi concentric straturi succesive, formându-se granule sferice cu diametrul între $(1..10)\text{mm}$ şi cu o structură stratificată. Pulberea obţinută mai trebuie supusă unui tratament termic de recoacere reducătoare şi decarburantă în atmosferă de hidrogen, la temperatura de $(500..650)^{\circ}\text{C}$. Concomitent, durezza iniţială a pulberii (circa 850 unităţi Vickers) scade mult, uşurând operaţia de presare. [A1]

3.1.1.3 Obţinerea pulberilor metalice prealiate

Fabricarea pulberilor metalice prealiate a fost impusă de următoarele cerinţe:

- obţinerea unor compoziţii de pulberi care să ofere pieselor, prin sinterizare, rezistenţe mecanice înalte şi variaţii dimensionale scăzute în timpul sinterizării;
- creşterea caracteristicilor mecanice ale pieselor prin tratamente termice obişnuite;
- reducerea segregărilor elementelor de aliere adăugate în timpul operaţiilor tehnologice, cu scopul de a preveni variaţiile dimensionale;
- obţinerea unor compoziţii de pulberi cu compresibilitate înaltă care să confere pieselor mecanice densităţi ridicate.

Există trei căi principale de a introduce elementele de aliere în pulberile de fier înainte de presare:

- amestecarea pulberii de fier cu pulbere de elemente de aliere sub formă de granule de diferite mărimi, forme şi densităţi;
- alierea prealabilă completă a pulberilor, obţinându-se în final particule relativ dure;
- crearea unor legături între pulberea de fier şi elementele de aliere, ceea ce determină un efect minim al segregării.

Pulberile prealiate sunt fabricate prin următoarele metode: pulverizarea unor aliaje topite, reducerea amestecurilor de oxizi, măcinarea unor prealiaje casante, electroliza, amestecuri de săruri dizolvate în apă, amestecuri topite la temperaturi ridicate → pulberi aliate de Fe-Ni, Fe-Mo, Fe-Cr etc, descompunerea amestecurilor de carbonili, coroziunea intercristalină a deşeurilor de aliaje (pulberi oţeluri inox, oţeluri Cr-Ni).

3.1.1.4 Obținerea pulberilor metalice speciale

Pulberile metalice prezintă uzual o structură cristalină cu un grad înalt de finețe. O serie de aplicații în domenii de înaltă tehnicitate au condus la necesitatea obținerii unor structuri noi (amorse, cvasiamorse, nanocristaline) ce au impus astfel la dezvoltarea unor procedee speciale. În condițiile unor compoziții chimice favorabile s-au elaborat astfel pulberi metalice cu structuri amorse și materiale nanofazice pulverulente.

a) Obținerea pulberilor metalice amorse prin aliere mecanică

În ultimul timp s-a constatat că aliaje amorse și cvasiamorse, sub formă de pulbere, pot fi obținute printr-o reacție de tipul: amestec de pulberi metalice cristaline – măcinare mecanică – aliaj amorf.

Procesul de amorfizare care are loc în stare solidă se realizează prin procedeul cunoscut în literatură sub denumirea de aliere mecanică. Acest procedeu este folosit, de exemplu, în prezent pentru obținerea superaliajelor, care se obțin greu prin procedee metalurgice convenționale, a aliajelor superparamagnetice, materiale pentru magneți permanenți pe bază de pământuri rare, compozite cu matrice metalică, aliaje nanocristaline și cvasicristaline.

Pentru obținerea pulberilor metalice amorse, materialele prime cristaline, sub formă de pulbere, sunt măcinate în mori cu bile de mare energie, de tipul morilor planetare cu bile, a morilor vibratoare cu bile.

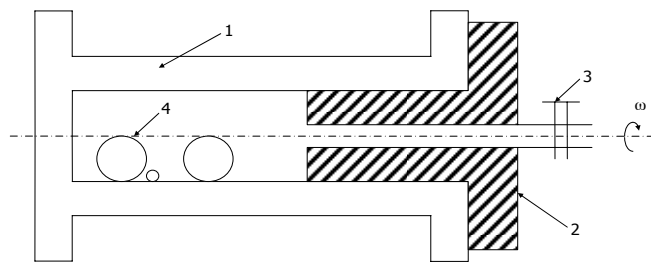


Fig 3.4 Schema morii cu bile utilizate în obținerea nanostructurilor

1. cuvă metalică cilindrică; 2. capac etanș; 3. robinet de vidare și umplere cu argon; 4. bile din carbură de wolfram

Cuvele morilor și bilele trebuie să fie rezistente la uzură, pentru a împiedica impurificarea pulberilor care urmează a fi obținute. De regulă, cuvele morilor sunt confecționate din oțel manganos, iar bilele din carbură de wolfram. Pentru evitarea oxidării pulberilor, măcinarea trebuie să se efectueze în atmosferă protectoare de argon.

Cuva 1 este rotită în jurul unei axe. În interiorul cuvei se introduce pulberea cristalină primară, care este măcinată succesiv prin ciocnirile care le produc aceste bile. Această metodă de aliere mecanică se bazează pe reacția de interdifuzie, rezultând particule ultrafine, compozite, în timpul procesului de măcinare. Particulele fine de metal se lipesc de bilele introduse în moară și sunt puternic deformate prin ciocnirea bilelor. Astfel, are loc un proces de sudare la rece într-o structură lamelară de particule.

După măcinări succesive structura lamelară se rafinează, se finisează.

În funcție de termodinamica sistemului aliat, de prelucrabilitatea pulberilor inițiale și de condițiile de măcinare, reacția de interdifuzie poate avea loc în timpul măcinării, respectiv în timpul tratamentelor termice ulterioare. Avantajul metodei constă în faptul că această metodă evită o serie de limite ale metodelor

convenționale de aliere și conduce la obținerea unor aliaje metalice (compozite) care sunt dificil sau imposibil de obținut prin metodele clasice.

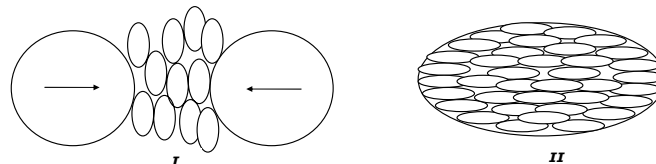


Fig 3.5 Formarea structurii lamelare prin sudare la rece în timpul măcinării mecanice

Mecanismul alierii mecanice, prin care se produc aliaje metalice cu microstructură controlată, constă în procesul de *sudare la rece* a pulberilor elementelor componente, urmat de sfărâmarea acestora în componente fine. Rezultate încurajatoare, privind producerea de aliaje amorse, nanocristaline și cvasicristaline prin aliere mecanică, au fost semnalate în anul 1981, de către *Ermakov* și colaboratorii săi. [S1]

Prima descriere a mecanismului producerii prin aliere mecanică a structurilor amorse a fost făcută de *Koch*, pentru aliajul amorf *Ni60Nb40*. [K1]

Astfel, structura amorfă se poate obține prin aliere mecanică, dacă se folosesc drept componenți inițiali, atât pulberi cristaline cât și pulberi de compuși intermetalici de echilibru. Având în vedere acest fapt vom da, mai jos, o descriere a mecanismului de formare a structurii amorse prin aliere mecanică.

Aprecieri cu privire la acest mecanism se pot face dacă analizăm curbele de variație a energiei libere, cu concentrația unui component, în cadrul unui sistem de aliaje binare, așa cum au arătat *Koch* și *Schwarz*. [J1]

După *Bhattacharya* și *Artz*, reacția de difuzie în stare solidă este puternic influențată de deformarea plastică la rece a amestecului de pulberi, proces care însoțește alierea mecanică. Prin deformarea plastică la rece densitatea de dislocații crește, ceea ce intensifică procesul de difuzie în volumul pulberii. Datorită acestui proces, în fiecare particulă concentrația de defecte cristaline, de tipul atomilor interstițiali și a vacanțelor crește. Deoarece mobilitatea atomilor interstițiali este mai mare decât a vacanțelor apar zone care pot să fie suprasaturate în vacanțe. Dacă zone bogate în atomi interstițiali ai unei particule se sudează cu zone bogate în vacanțe ale altei particule, procesul de difuzie în această zonă va fi puternic.

În urma măcinării mecanice a acestor amestecuri s-au obținut pulberi a căror dimensiune este cuprinsă între 0,5 μm și 0,08 μm . În acest caz, raportul masic, bile – material de măcinat a fost 39:1, iar măcinarea a avut loc în atmosferă normală (aer).

b) Obținerea de nanostructuri prin metoda condensării din gaz

Nanostructurile se consideră a fi structuri cu grad de finețe înalt a căror granulatie nu depășește în diametru 100 nm, ceea ce induce în material proprietăți cu totul excepționale. Sunt o multitudine de tehnologii moderne de obținere de pulberi metalice nanocristaline. Spre exemplificare se prezintă schematic în *Figura 3.6* o instalație pentru sinteza materialelor nanofazice prin metoda condensării din gaz. [S5]

Instalația cuprinde un sistem de vid ultra-înalt cu două surse de evaporare încălzite rezistiv, un dispozitiv de colectare a grupului de particule (prin sonda rece cu azot lichid) și instalația de compactare „in situ” pentru consolidarea pulberilor produse.

3.1. Etapele procesului tehnologic de fabricație a pieselor sinterizate 55

Înainte de pulverizare, sistemul UHV este, mai întâi, evacuat cu o pompă „turbomoleculară” până la 10^{-5} Pa și apoi reumplut cu o atmosferă controlată de gaz de înaltă puritate la presiuni de aproximativ câteva sute de Pascali.

Gazul folosit la producerea pulberii metalice este, de obicei, un gaz inert, de exemplu He, dar poate fi uneori un gaz reactiv sau un amestec de gaze, dacă, de exemplu, se urmărește obținerea unor compuși ceramici.

În timpul evaporării materialului precursor (sau a materialelor precursoare) din care va fi sintetizat materialul nanofazic, atomii se condensează în regiunea suprasaturată din apropierea sursei și sunt transportați prin convecție în gaz către sonda răcită cu azot lichid, unde aceștia sunt colectați. Tipul, presiunea gazului și rata de evaporare a precursorului, care sunt ușor de controlat, determină distribuția dimensională a particulelor rezultante. Cele mai mici dimensiuni ale clusterilor, pentru un material dat se obțin pentru o rată scăzută de evaporare a precursorului și pentru condensare la presiune joasă în gaz inert ușor (He). Aceste condiții duc la o suprasaturare mai rapidă a atomilor precursori în gaz, la o pierdere mai lentă de energie de la atomii evaporati și un flux de convecție mai rapid. Aspectul din urmă este important deoarece garantează o extragere mai rapidă a clusterilor condensati din regiunea suprasaturată, unde, dacă rămân, ei pot crește în continuare.

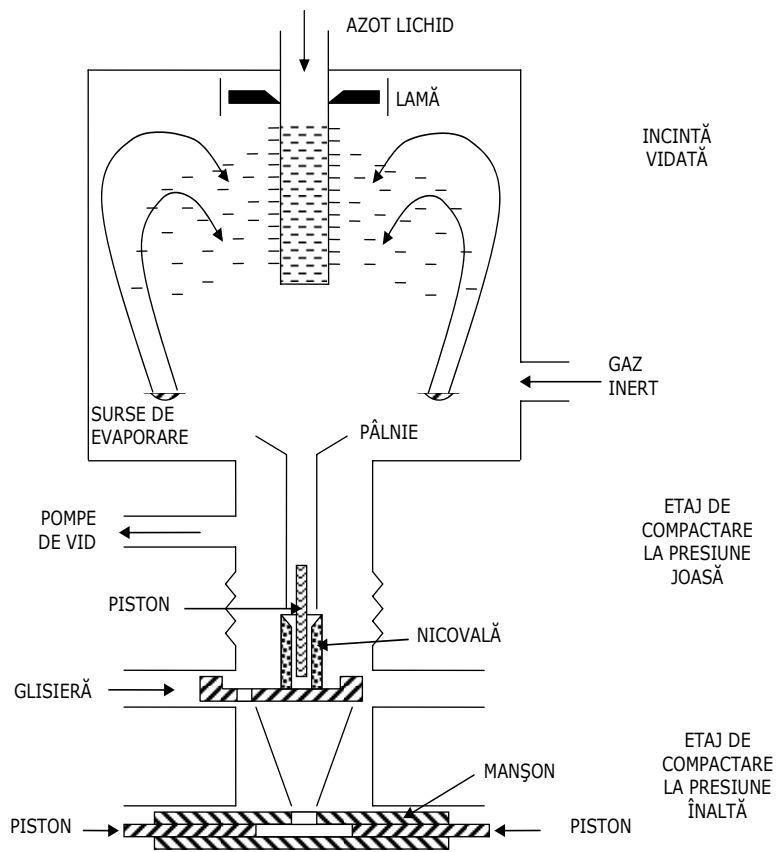


Fig 3.6 Schema instalației de sinteză a materialelor nanofazice prin condensare din gaz

Materialul precursor evaporat din sursele A și/sau B se condensează și este transportat prin convecție către sonda rece umplută cu azot lichid. Pulberea este

colectată ulterior de pe sonda rece, transportată prin pâlnie și consolidată mai întâi prin metoda compactării la presiune scăzută și apoi prin procedeul compactării la presiune înaltă. Toate aceste procese au loc în vid.

Clusterii colectați pe suprafața sondei reci pot fi observați prin microscopie electronică în transmisie (TEM). Clusterii pot fi scoși cu ușurință de pe această suprafață colectoare prin intermediul unei lame de teflon și colectați într-un dispozitiv piston – nicovală, în care presiunea de compactare este de peste (1–2) GPa. În acest dispozitiv, sistemele nanofazice compactate se formează la temperatura camerei. Tableta (discul) are dimensiuni de aproximativ 9 mm diametru și 0,2 mm până la 0,5 mm grosime.

Răzuirea și consolidarea se desfășoară în condiții de vid ultraînalt după ce gazele inerte sau reactive sunt extrase din incintă cu scopul de a rafina suprafețele particulei și interfețele formate ulterior, reducându-se posibilitatea înglobării moleculelor de gaz în materialul nanofazic compactat.

Folosind metoda convențională de condensare din gaz descrisă aici, ce utilizează flux convectiv de gaz, dimensiunile medii ale clusterilor produși sunt cuprinse între (5–25) nm, rezultând materiale magnetice nanofazice moi. Transportul de clusteri atomici condensați prin convecție în gaz poate fi îmbunătățit folosind deplasarea gazului sub presiune.

Pe lângă sursele de evaporare încălzite prin efect Joule, ce au fost frecvent utilizate la producerea clusterilor pentru sinteza materialelor nanofazice, mai există și alte metode de obținere a acestor materiale, prin care se pot controla mai bine parametrii de evaporare:

- metoda pulverizării;
- metoda bombardării cu electroni;
- metoda evaporării în plasmă;
- metoda iradierii cu laser.

Această varietate de metode de evaporare va permite, de asemenea, folosirea unor precursori refractari sau reactivi pentru clusteri și, în mod special, sunt utile în sinteza unor materiale nanofazice complexe.

3.1.2 Prepararea amestecurilor de pulberi

Operația de preparare presupune amestecarea a două sau mai multor tipuri de pulberi sau a mai multor sorturi din același tip de pulbere cu ingrediente nemetalici. Aceștia sunt adăugați pentru creșterea rezistenței pieselor sau pentru lubrifierea particulelor metalice, pentru a diminua frecarea internă din masa pulberii, frecarea pulberii de suprafața interioară a sculelor și uzura sculelor.

Lubrifiantii sunt substanțe chimice utilizate în metalurgia pulberilor pentru a determina o distribuție uniformă a presiunii în timpul compactării pulberilor și pentru a ușura ejecția presatului din matriță. Ei sunt utilizați în proporție de (0,2..1)% în greutate și determină următoarele efecte la presarea pulberilor metalice:

- creșterea ușoară a compresibilității pulberilor;
- reducerea presiunii de ejecție (extracție);
- eliminarea defectelor fizice în comprimate (fisuri, densități neuniforme etc.);
- reducerea frecărilor între particulele pulberii, între poanson și matriță, între comprimat și pereții matriței la scoaterea presatului;
- reducerea uzurii sculelor;
- eliminarea gripării matrițelor.

3.1. Etapele procesului tehnologic de fabricație a pieselor sinterizate 57

Lubrifiantii cei mai utilizați la fabricarea pulberilor metalice sunt prezentați în *Tabelul 3.1*. Tipul lubrifiantului și cantitatea adăugată trebuie selectate cu grijă deoarece afectează densitatea aparentă și viteza de curgere a pulberii și comportarea lubrifiantului la sinterizare.

În *Tabelul 3.2* sunt date comparativ, câteva caracteristici pentru stearatul de litiu și stearatul de zinc. Lianții se adaugă în pulberile metalice în proporție de (1..5)% pentru a mări adeziunea între particulele de pulberi deci prin aceasta coeziunea comprimatului și pentru a elimina defectele fizice din materialul compact.

Adăugarea lianților și lubrifiantilor în pulberile metalice se face sub formă de: pulbere, prin amestecarea uscată cu pulberea metalică; lichid, prin amestecare la temperatura camerei sau la temperaturi înalte cu pulberea metalică; soluții în apă sau solvenți organici, prin amestecare cu pulberile metalice, urmată de evaporarea solventului.

Efectele secundare care apar datorită utilizării lubrifiantilor și lianților sunt: carbonul rezidual afectează proprietățile fizice, mecanice și chimice ale pieselor sinterizate; oxizii influențează proprietățile tehnologice ale pieselor sinterizate; în zona de răcire a cuptorului, în timpul eliminării lubrifiantilor se formează reziduuri solide sau lichide.

Tabelul 3.1 Lubrifiantii cei mai utilizați la fabricarea pulberilor metalice [11]

Denumirea lubrifiantului	Formula chimică	Temperatura de topire [°C]
Stearatul de zinc	Zn(C16H35O2)2	130
Stearatul de calciu	Ca(C16H35O2)2	180
Stearatul de aluminiu	Al(C16H35O2)2	103
Stearatul de magneziu	Mg(C16H35O2)2	88
Stearatul de plumb	Pb(C16H35O2)2	116
Bisulfura de molibden	MoS2	1.185
Bisulfura de wolfram	WS2	1.250
Stearatul de magneziu	Li(C16H35O2)2	221

Tabelul 3.2 Date comparative: stearatul de litiu și stearatul de zinc [11]

Caracteristici	Stearatul de litiu	Stearatul de zinc
Începutul topirii [°C]	98,9	76,7
Topirea majorității lubrifiantului [°C]	187,8	110
Sfârșitul topirii [°C]	260	190,6
Inflamarea [°C]	273,9	301,7
Arderea continuă [°C]	312,8	335
Reziduul	Lichid negru	Fluid alb-lăptos

Astfel trebuie să se producă un amestec omogen care să-și mențină caracteristicile în timpul manipulării, presării și sinterizării

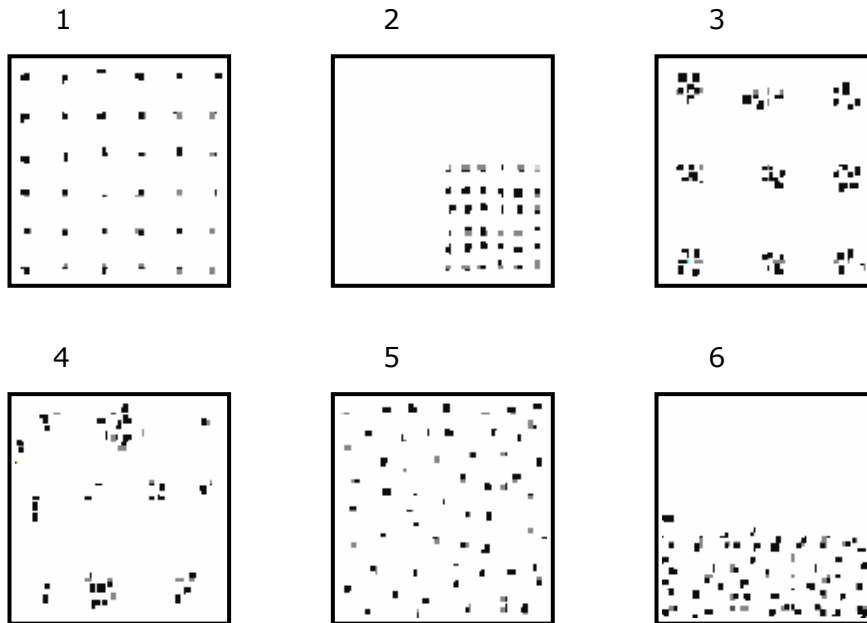


Fig 3.7 Distribuția particulelor în amestecurile de pulberi metalice

1. perfect ordonate;
2. parțial ordonate;
3. grupuri ordonate;
4. grupuri distribuite întâmplător;
5. particule distribuite întâmplător;
6. neamestecate.

Factorii care afectează procesul de amestecare a pulberilor metalice sunt: tipul amestecătorului, volumul, geometria și dimensiunile amestecătorului, aria suprafeței interioare a acestuia, volumul pulberii din amestecător înainte și după amestecare, raportul de volum al componentelor ce se amestecă, caracteristicile pulberilor metalice și ale adaosurilor, viteza de rotație a amestecătorului, timpul, temperatura și mediul de amestecare, umiditatea.

Pentru fiecare tip de amestec se vor determina următoarele: volumul de umplere al pulberii în amestecător; cantitatea optimă ce se încarcă într-o șarjă; schimbările în distribuția mărimii particulelor în timpul amestecării (în urma măcinării rezultă pulberi fine, iar prin aglomerare se formează particulele grosiere); schimbări în suprafețele particulelor (oxidări); acțiunea abrazivă a impurităților; extragerea amestecului de pulbere din amestecător; luarea probelor; evoluția omogenității.

Viteza curgerii unei pulberi este deosebit de importantă pentru fabricarea prin metalurgia pulberilor a unui număr mare de piese. O curgere necorespunzătoare a pulberii determină o umplere neuniformă a cavității matriței. [C5]

3.1.3 Presarea

Amestecul de pulberi se poate compactiza prin diferite metode de formare, obținându-se un comprimat, un semifabricat presat poros. Rezistența mecanică a comprimatului nesinterizat este foarte mică, insuficientă pentru a putea fi folosit în practică. Prin formare trebuie să se asigure: o stabilitate a formei, o rezistență a muchiilor corespunzătoare care să permită manipularea sigură a semifabricatelor formate, până la încărcarea lor în cuptoarele de sinterizare.

În timpul presării au loc o serie de fenomene:

- dispariția punților și a golurilor mai mari din masa pulberii;
- împingerea sau rostogolirea granulelor mai mici în golurile rămase între particulele de pulberi;
- așezarea și potrivirea reciprocă a granulelor care sunt în contact, însoțită de o oarecare deformare a lor (depinde de plasticitatea pulberilor);
- prin frecarea reciprocă a granulelor se vor îndepărta parțial neregularitățile superficiale, microscopice și submicroscopice ale particulelor și aglomeratelor de pulberi, iar straturile superficiale de oxizi și de gaze absorbante se îndepărtează, astfel încât granulele de pulbere încep să se sudeze între ele la rece;
- deformarea plastică și ecruisarea granulelor cu creșterea treptată a presiunii de compactizare;
- la apăsarea puternică și rapidă a particulelor metalice, între ele apar și încălziri locale de foarte scurtă durată care pot cauza regruparea atomilor de metal și sudarea la cald a particulelor metalice.

Aplicând presiuni de compactizare din ce în ce mai mari, densitatea, respectiv compactitatea de presare crește din ce în ce mai mult, porozitatea se micșorează și rezistența muchiilor la semifabricatul presat crește considerabil. Curbele de presare se apropie asimptotic de densitatea reală a metalului ρ_m , dar nici la presiuni mari care deja nu mai pot fi folosite rentabil, nu se atinge densitatea teoretică (*Figura 3.8*). Metodele pentru formarea pieselor din pulberi metalice se pot clasifica după existența sau nu, a presiunii de acționare. Astfel, se deosebesc metodele de formare:

- cu aplicarea presiunii:
 - presarea unidirecțională cu simplă sau cu dublă acțiune;
 - presarea izostatică;
 - compactarea prin explozie;
 - extrudarea unidirecțională și izostatică;
 - laminarea;
 - forjarea;
 - presarea la cald.
 - fără aplicarea presiunii:
 - sinterizarea pulberilor libere în matrițe (presarea pulberilor fără tasare);
 - turnarea pulberilor în forme de ipsos;
 - compactarea prin vibrații (la compactizarea prin vibrație);
- compactarea magnetică a pulberilor metalice

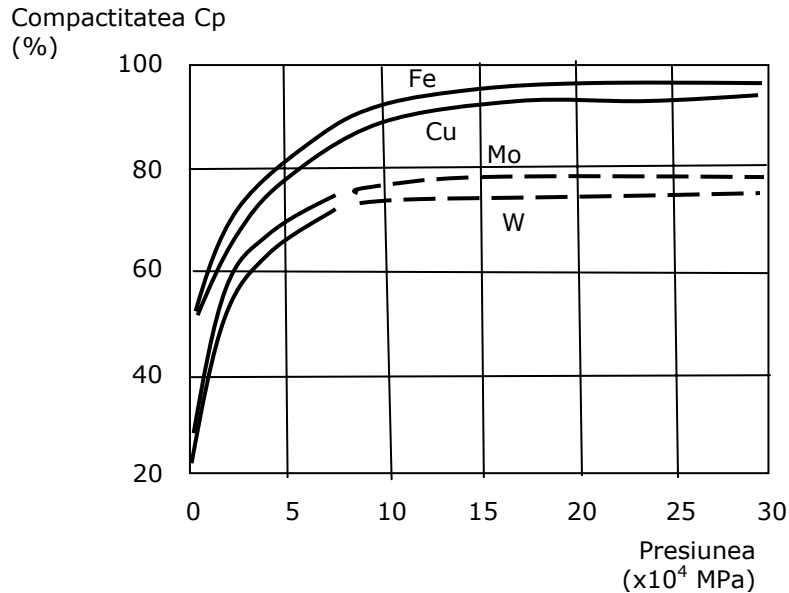


Fig 3.8 Curbe de presabilitate pentru câteva pulberi metalice [D1]

Presarea este procedeul cel mai utilizat în industrie, deoarece are o productivitate mare și poate fi adaptat ușor schimbărilor de profil ale industriei. Formarea pulberilor prin presare este influențată de anumiți factori, dintre care amintim: metodele de presare, presiunea, viteza, timpul și temperatura de presare, mediul de presare, lubrifianții și lianții adăugați, calitatea matriței.

3.1.3.1 Presarea unidirecțională cu simplă acțiune

În acest caz se lucrează pe o matriță fixă, poansonul inferior este fix și el, iar presiunea de lucru se aplică prin intermediul poansonului superior. La deplasarea pulberii sub acțiunea acestei presiuni, fiecare granulă are tendința de a evita presiunea exercitată asupra ei, deplasându-se în direcția rezistenței minime. Ea se deplasează nu numai în direcția presării ci și spre mijlocul matriței, apărând astfel o scufundare a straturilor orizontale de pulberi de forma unui con aplatizat sau a unei calote (Figura 3.9).

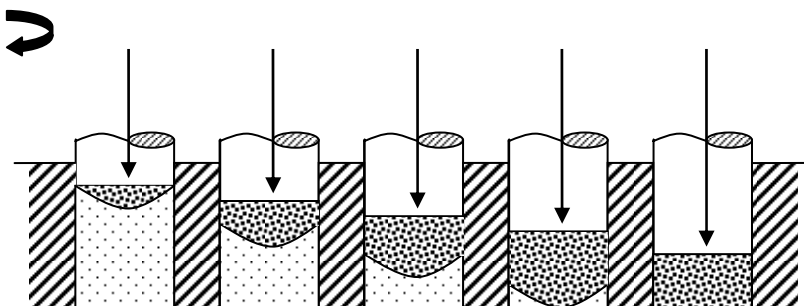


Fig 3.9 Schema de deplasare a straturilor orizontale la presarea unidirecțională cu simplă acțiune a pulberilor metalice [I1]

Dacă în sistem este introdus un lubrifiant, adânciturile suprafețelor se umplu cu acestea și se interpune între contactele metal pe metal. Coeficientul total de frecare μ este rezultatul tuturor forțelor de alunecare la interfețele lubrifiant-metal (F_2) și al forțelor de învingere a frânării suprafețelor nelubrifiante (F_1), fiind dat de relația:

$$\mu = (F_1 + F_2) / P \quad (3.11)$$

unde P = reprezintă forța de presare.

Într-o piesă presată unidirecțional cu simplă acțiune cea mai mare densitate se află în zona periferică de sub poansonul de presare, iar cea mai mică densitate se află în zona periferică din apropierea zonei de închidere a matriței. Diferențele de densitate sunt dependente de înălțimea pulberii ce urmează a fi compactizată, calitatea suprafețelor matriței și a părților sculelor solicitate la frecare (miezurile pentru formarea orificiilor), comportarea la curgere a pulberii, mărimea frecării interioare, deformabilitatea pulberii.

Sculele utilizate au o construcție simplă, de aceea se poate folosi orice tip de presă hidrolică.

Principalele limitări asupra mărimii și formei pieselor produse prin metalurgia pulberilor sunt impuse de operația de comprimare a pulberilor. La proiectarea formei trebuie să se aibă în vedere specificul fabricației prin metalurgia pulberilor și anume:

- comprimatul se scoate din matriță printr-o mișcare inversă presării;
- realizarea unor piese cu înălțime variabilă și densitate uniformă complică foarte mult matrița;
- forța de presare se aplică, de obicei, pe suprafețele frontale și nu pe cele laterale;
- cu toate că piesele sinterizate pot fi obținute de cele mai multe ori la dimensiunile finale, cele cu formă complicată pot fi realizate mai avantajos printr-o operație suplimentară, prin aşchiere.

Recomandări generale privind proiectarea formei pieselor ce urmează a fi produse prin metalurgia pulberilor:

- să asigure scoaterea ușoară din matriță;
- să evite pereții subțiri, spațiile înguste sau colțurile ascuțite în care pulberea nu ar putea asigura o umplere completă;
- sunt nedorite variațiile bruște ale grosimii pereților, deoarece în timpul sinterizării se pot forma tensiuni care să deformeze piesele;
- unghiurile diedre trebuie înlocuite cu racordări cât mai largi;
- găurile cu forme complicate trebuie înlocuite cu găuri cilindrice cu diametrul peste 2 mm;
- raportul între înălțime și diametru să nu depășească 2,5 pentru piesele cu pereți subțiri și 4 pentru cele cu pereți groși;
- să prezinte cât mai puține variații axiale.

3.1.3.2 Presarea unidirecțională cu dublă acțiune

În acest caz, presiunea acționează pe ambele poansoane, inferior și superior, ceea ce determină o descreștere a densității în direcția propagării presiunii numai în jumătate din înălțimea piesei presate, obținându-se distribuții aproximativ uniforme.

În starea finală, în mijlocul piesei presate rămâne o zonă dependentă de înălțimea totală a piesei, cu densitatea mai mult sau mai puțin redusă față de densitatea totală a piesei. Această zonă se recunoaște printr-un aspect mai mat,

datorită faptului că granulele s-au deplasat mai puțin față de peretele matriței, datorită frecării lor pe acești pereți și se numește zona neutră; este întotdeauna în centrul piesei, deoarece conul de presiune simetric este față de ambele poansoane (Figura 3.10).

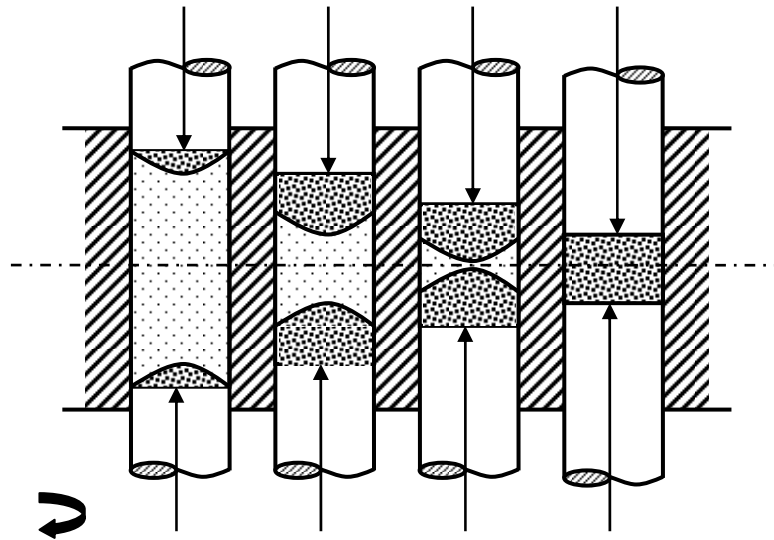


Fig 3.10 Schema presării unidirecționale cu dublă acțiune a pulberilor metalice [11]

3.1.3.3 Presarea izostatică

Presiunea este aplicată în cazul presării izostatice, simultan și în mod egal în toate direcțiile, materialul fiind introdus într-o matriță flexibilă etanșă. Există două tipuri de instalații: cu pungă umedă și cu pungă uscată.

Utilizarea unei instalații cu pungă umedă implică introducerea pulberii într-o matriță flexibilă, imersarea acesteia într-un fluid și ridicarea presiunii acestui fluid până la $(3...5)10^2$ MPa. Echipamentul și sculele, durabilitatea mai mare a sculelor, varietatea pieselor ce pot fi fabricate în același timp sunt principalele avantaje ale acestui procedeu (Figura 3.11)

Avantajele acestui procedeu sunt: presarea rapidă a pulberii, mânuirea mai ușoară a sculelor, productivitate ridicată. Ca dezavantaje amintim: incapacitatea de a face forme complexe de piese, durabilitatea redusă a sculelor, costul ridicat al echipamentului și limitarea presiunilor maxime de lucru.

Dintre materialele ce se pot presa izostatic în bune condiții: aluminiul, beriliul, oxidul de aluminiu și de beriliu, carburile, carbonul, pulberile ceramice, cermenții, grafitul, fierul, magneziul, molibdenul, nichelul, oțelul inoxidabil, titanul, wolframul etc.

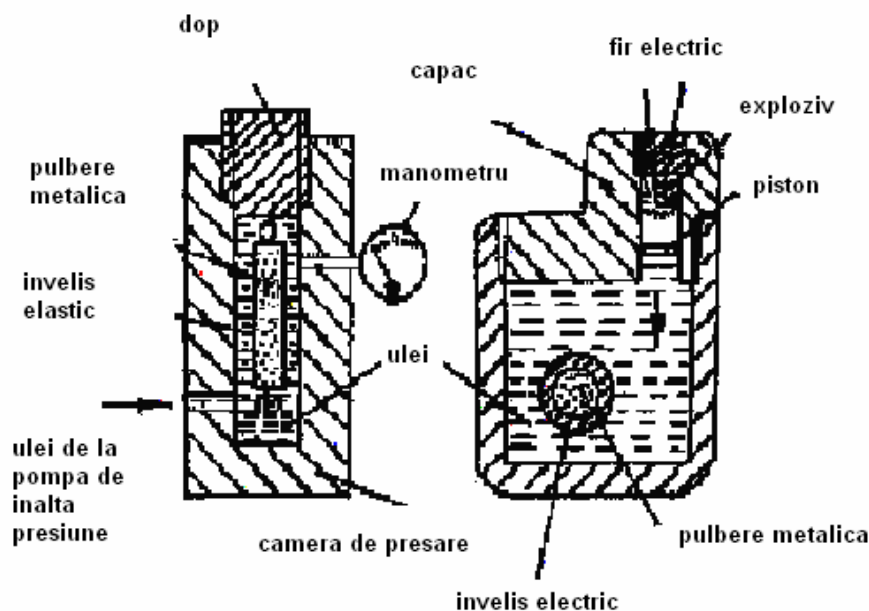


Fig 3.11 Schema de principiu a presării izostatice [I1]
 a. cu ulei sau gaz de înaltă presiune; b. cu ulei prin explozie

Avantajele presării izostatice sunt următoarele:

- rezistența uniformă în toate direcțiile, indiferent de mărimea produsului;
- obținerea unor piese cu forme care nu se pot fabrica prin alte metode;
- obținerea pieselor complet omogene, fără goluri și pungi de aer și cu tensiuni interne reduse;
- se pot fabrica materiale periculoase, cu pericol limitat, produse cu proprietăți electrice ridicate, produse cu raportul L/d mare;
- costuri scăzute ale instalațiilor și echipamentului;
- economie în spațiu.

În concluzie, densitatea și rezistența comprimatelor cresc cu mărirea presiunii de lucru; pulberile mai fine produc comprimate mai rezistente și, în general arată o mai rapidă creștere în rezistență cu mărirea presiunii de formare; dezaerarea sau lipsa acesteia nu au efecte importante asupra proprietăților comprimatului; granulația nu duce la creșterea densității comprimatelor și are un efect neglijabil asupra proprietăților pieselor sinterizate; proprietățile mecanice ale pieselor presate hidrostatic sunt mai ridicate decât cele ale pieselor presate unidirecțional, iar uniformitatea densității este mai bună; crește ductilitatea produselor sinterizate.

3.1.3.4 Compactarea prin explozie a pulberilor metalice

Metoda de compactare prin explozie a pulberilor metalice este o consecință logică a presării izostatice. Comprimatele de pulbere de fier, nichel, cupru, aluminiu etc., pot fi obținute direct prin comprimarea într-un dispozitiv de presare unilaterală sau bilaterală (Figura 3.12 și Figura 3.13). La detonarea explozivului, cu ajutorul amorsei (detonatorului), se degajă o cantitate de gaze ce produc o undă de compresie. Aceasta se propagă de-a lungul dispozitivului și comprimă progresiv pulberea.

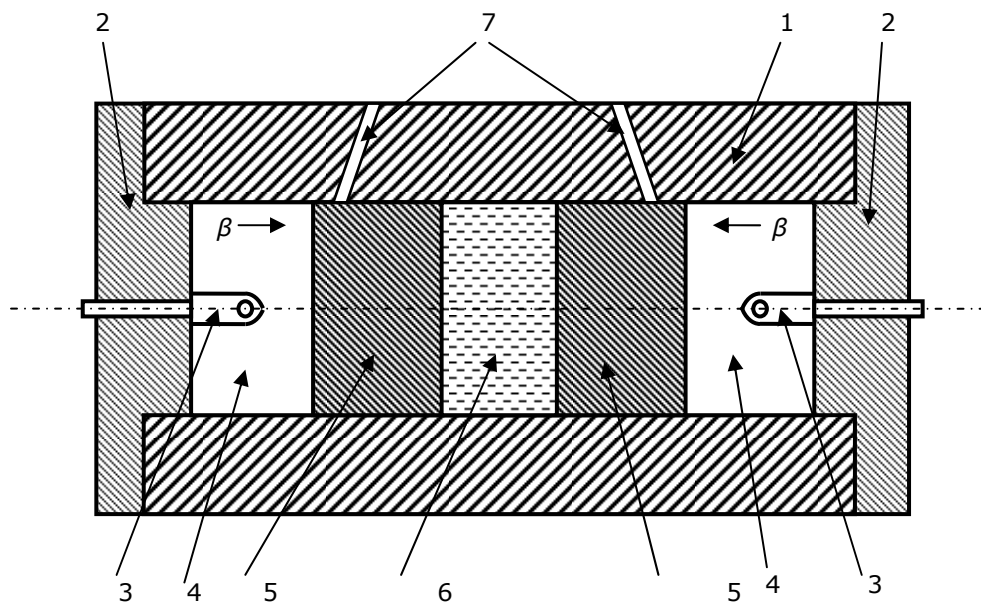


Fig 3.12 Dispozitiv de presare bilaterală prin explozie [I1]

1. matrița; 2. capac; 3. amorse; 4. camera de ardere a explozivului; 5. pistoane; 6. pulbere metalică; 7. canale de evacuare a gazelor

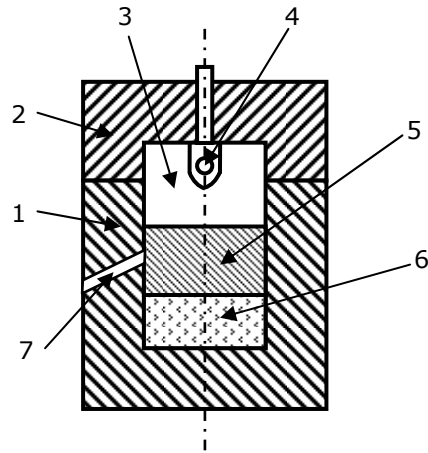


Fig 3.13 Dispozitiv de presare unilaterală prin explozie [I1]
 1. matrița; 2. capac; 3. amorsă; 4. camera de ardere a explozivului; 5. piston; 6. pulbere metalică; 7. canal de evacuare a gazelor

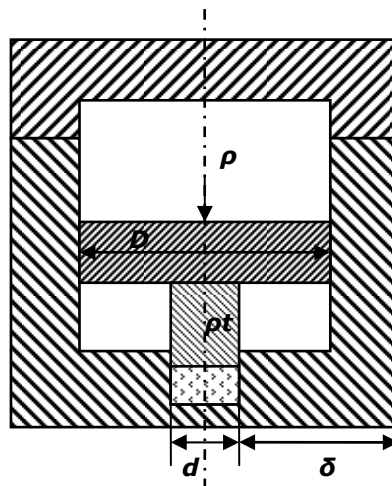


Fig 3.14 Dispozitiv de presare bilaterală prin explozie [I1]

Relația care există între densitatea comprimatului ρ_C și energia cinetică pe unitatea de suprafață a dispozitivului E , imediat după detonarea încărcăturii, este:

$$\rho_C = \rho_t - \Delta\rho_{imp} - \beta E \gamma \quad (3.12)$$

unde: ρ_t = densitatea teoretică a materialului comprimat;

$$\Delta\rho_{imp} = \rho_t - \rho_i \quad (3.13)$$

ρ_i = densitatea inițială;

β, γ = constante caracteristice pentru fiecare tip de pulbere.

Ele pot avea următoarele valori:

- pentru nichel: $\beta = 0,016$ $\gamma = 0,9$
- pentru fier: $\beta = 0,0043$ $\gamma = 1,27$
- pentru cupru: $\beta = 0,0027$ $\gamma = 1,43$
- pentru aluminiu: $\beta = 0,0025$ $\gamma = 1,66$

Valorile constantelor β și γ se pot determina pentru diferitele tipuri de pulberi cu relația:

$$\text{Log } \beta \gamma \log E = \log [\ln(\Delta p / (p_t - p_c))] \quad (3.14)$$

Gazele rezultate din arderea explozivului dezvoltă o presiune funcție de cantitatea de exploziv și de mărimea volumului camerei de ardere. Presiunea poate ajunge într-un timp foarte scurt, de ($10^{-3}..10^{-4}$)s, la valori de (30..90) da10MPa. Pentru obținerea unor presiuni mult mai mari (>..500 10MPa), fără a se mări gabaritul dispozitivului de presare, s-a adoptat soluția pistoanelor diferențiale (Figura 3.23) [D4]

În acest caz forța de presare devine:

$$F = n\Delta 2 p/4 = nd2p1/4 \quad (3.15)$$

Concluzia care se trage este că presarea izostatică este mai eficientă până la o densitate de 76% din densitatea teoretică, de la care compactarea prin explozie devine mai rentabilă.

3.1.3.5 Presare la cald

Presarea la cald în matrițe, numită și sinterizare sub presiune, constă în încălzirea materialului în timpul presării până la temperatura de sinterizare. Ea se poate executa la temperaturi înalte și presiuni inferioare sau la temperaturi moderate și presiuni mari. În ambele variante produsele obținute au densități apropiate de cele teoretice, de exemplu: pentru cupru, la o temperatură de 250°C și o presiune de 15.750 10MPa rezultă o densitate de 8,37 g/cm³, deci compactarea este de 99,3%; dacă temperatura se dublează, iar presiunea scade la 4.000 10MPa, rezultă densitatea de 8,74 g/cm³, și o compactare de 97,9%. Rezultate similare se obțin și în cazul alamei (65%Cu+35%Zn): astfel, la temperatura de 300°C și presiunea 9.300 10MPa rezultă o compactare de 96%, iar la temperatura de 500°C și presiunea de 4.000 10MPa, de 98,6%. Comparativ cu presarea la temperatura camerei urmată de sinterizarea produselor, presiunea și temperatura de lucru sunt mai scăzute și permit formarea de structuri cu grăunți fini.

Parametrii care influențează procesul de prelucrare prin presare la cald a pulberilor metalice sunt:

- natura pulberii metalice, mărimea particulelor, presiunea de compactare, temperatura de sinterizare,
- durata și atmosfera presării la cald, materialele din care sunt executate poansoanele și matrița.

Schema unei instalații pentru presarea la cald este prezentată în Figura 3.15. Matrița și poansoanele sunt confecționate din electrografit (rezistența mecanică a acestuia crește de la 26,8 MPa la temperatura obișnuită la 46,9 MPa la 2.500°C) sau din carbura de titan (pentru temperaturi de până la 900°C) sau din metale refractare aliate cu molibden (pentru temperaturi de până la 1.200°C).

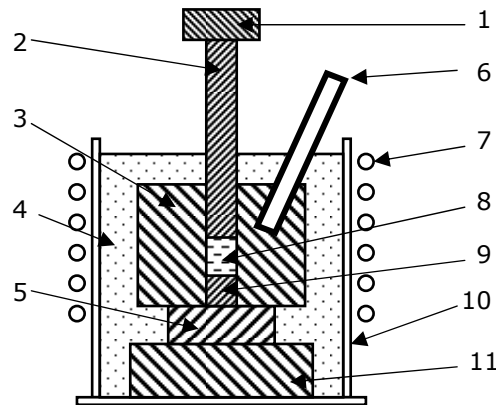


Fig 3.15 Schema camerei pentru presare la cald [I1]

1. loc de legare la presă; 2. piston de grafit; 3. matrită de grafit; 4. pulbere izolatoare; 5. bloc de grafit; 6. vizor; 7. spire pentru încălzire prin inducție; 8. pulbere de presat; 9. poanson de grafit; 10. tub izolator de cuarț; 11. bloc sinterizat de MgO.

În comparație cu presarea la temperatura obișnuită, presarea la cald prezintă următoarele avantaje:

- în același agregat au loc simultan procesele de presare și sinterizare;
- nu schimbă dimensiunile și forma produselor;
- coboară temperatura de sinterizare a produselor;
- se obțin produse mai dense.

Dar există și dezavantaje, cum ar fi timpul mare de presare și rezistența scăzută la temperaturi înalte a matritelor și a poansonelor, scoaterea și răcirea dificilă a pieselor, condițiile grele de lucru, productivitatea și posibilitățile de automatizare reduse.

3.1.4 Sinterizarea

3.1.4.1 Considerații teoretice

Sinterizarea este un proces de sudare, densificare și recristalizare prin activitatea termică a unor aglomerate de pulberi, proces ce se desfășoară la o temperatură sub cea de topire a componentului principal din amestecul de pulberi. Fazele care determină mecanismul obținerii produselor sinterizate sunt următoarele:

- ❖ formarea legăturilor tip punct;
- ❖ creșterea legăturilor tip punct și formarea suprafețelor de contact, cristalin nou;
- ❖ recristalizarea: creșterea cristalelor noi, sferoidizarea granulelor și dispariția porilor (faze ce apar în operațiile de formare și sinterizare).

În timpul sinterizării au loc și alte transformări, cum sunt: modificarea (creșterea) conductivității electrice, datorită consolidării zonelor de contact între fostele granule ale pulberii; topirea (în unele cazuri) a unui component secundar; reducerea filmelor de oxizi de pe suprafața granulelor care sunt reacții chimice care pot apărea între componentii amestecului de pulberi sau între gazele protectoare

sau anumiți componenți; recristalizarea adică redarea pieselor metalice durificate a proprietăților normale de plasticitate; alierea componentelor și formarea unui aliaj mai mult sau mai puțin omogen. [S2]

În prima etapă a sinterizării, prin încălzire crește energia cinetică și mobilitatea atomilor, care încep să se deplaseze ocupând poziții de echilibru mai stabile. Apoi începe să se manifeste fenomenul de difuzie de suprafață, prin deplasarea pe suprafețele granulelor a atomilor cu mobilitate maximă, situați pe părțile proeminente ale acestora. Astfel, începe o netezire a suprafețelor granulelor și a porilor, precum și o încheiere treptată a unor goluri mai mici între granule. Concomitent începe și difuzia intergranulară. La temperaturi mai înalte este predominantă difuzia de volum care are loc în interiorul grăunților cristalini. Cu creșterea temperaturii se accentuează și apariția germinilor noi de cristalizare în zonele puternic ecrusate, prin care începe recristalizarea și apoi creșterea treptată a grăunților nou formați.

Transport de material prin difuzie la sinterizare:

I. Înainte de sinterizare

II. După începerea procesului de sinterizare

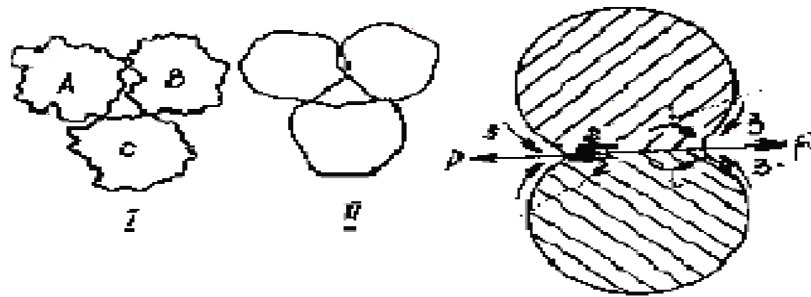


Fig 3.16 Procese care au loc în timpul sinterizării [I1]

1. difuzie de volum; 2. difuzie la limita de contact a granulelor; 3. difuzie de suprafață, pe forțe bazate pe tensiunile superficiale.

Pe lângă aceste fenomene se pare că are loc și o înmuiere a cristalelor din granule, ceea ce duce la o curgere vâscoasă. Apare astfel un transport de materie bazat pe tensiunile superficiale, fiind deosebit de fluxul de atomi bazat pe difuzie.

În timpul sinterizării, uneori poate să apară și un alt tip de transport de materie prin faza gazoasă cauzat de evaporări parțiale, urmate de condensări în zona punților de legătură în curs de formare, între granule, prin care aceste punți se îngroașă din ce în ce mai mult.

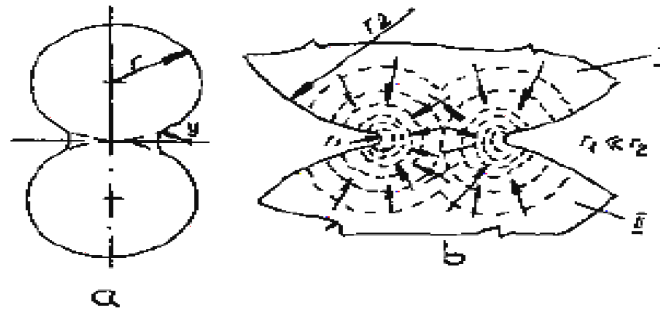


Fig 3.17 Formarea punților de legătură între granule în timpul sinterizării [I1]

Atunci când are loc o sinterizare cu apariție de fază lichidă, procesul este puternic activat de fenomenul de dizolvare-precipitare, accentuându-se contractia și creșterea grăunților. Totdeauna numărul atomilor care se dizolvă din granulele mici, cu energie superficială mai mare și cu stabilitate mai mică este mai mare decât a celor dizolvați din granulele mari spre care apare apoi o tendință de precipitare. În acest caz, un rol important îl are și capacitatea de umectare a fazei lichide. Aceasta favorizează realizarea unei rețele continue și uniforme în jurul granulelor componentului solid. [T1]

În prima etapă a sinterizării dispar tensiunile remanente care s-au produs în timpul presării. Granulele venite în contact intim datorită presării, având o concentrare de defecte de rețea (lacune) în apropierea zonelor de contact își măresc treptat secțiunile punților de legătură care unesc granulele prin care începe formarea treptată a unui schelet metalic în întreaga masă a corpului sinterizat. Astfel, granulele de pulbere își pierd din ce în ce mai mult individualitatea, dispar suprafețele de separație între ele și apar limitele noilor grăunți și porii. Structura porilor se schimbă și ea. Pe lângă o reducere continuă a porozității se constată o sferoidizare și o închidere din ce în ce mai accentuată a porilor și o creștere a proporției celor mari, contribuind astfel la dispariția treptată a celor mici.

Procesul de sinterizare mai este influențat și de prezența impurităților (filme de oxizi la suprafața granulelor, incluziuni, gaze resorbite și dizolvate, gaze blocate în porii închiși și care se pot îndepărta numai din difuzie prin materialul metalic), formarea soluțiilor solide și a compușilor chimici, efectele transformărilor alotropice (care pot activa sau încetini sinterizarea) etc. Mecanismul de transport bazat pe difuzia de suprafață și cel bazat pe evaporare nu sunt capabile să apropie centrele particulelor, cu toate că ele determină apariția și creșterea legăturilor între particule și astfel rigidizarea comprimatului inițial. Celelalte procese de transport de material pot determina creșterea legăturilor între particule, generându-se în acest mod fenomenul de contracție în timpul sinterizării. [A3]

Ecuția generală a sinterizării în fază solidă este de tipul:

$$\left(\frac{x}{r}\right)^n = \frac{kt}{rm} \quad (3.16)$$

în care: t este timpul de sinterizare; k constanta lui Boltzman; m , n constante care variază cu mecanismul de transport de material; r raza unei sfere; x raza gâtului format în timpul sinterizării între sferă și o suprafață plană.

Mecanismele de transport de material în timpul sinterizării pot fi prezentate sub forma schemei din *Figura 3.18*. [I1]

Teoria procesului de sinterizare în fază lichidă este bazată pe presupunerea că faza lichidă umectează suprafața particulelor solide și că substanța solidă este dizolvată de lichid.

Ecuția care stă la baza studiului fenomenului de umectare între o fază lichidă și una solidă are la bază ecuația lui *Young-Dupre*:

$$\sigma_{sv} = \sigma_{sl} + \sigma_{lv} \cos \theta \quad (3.17)$$

unde: σ_{sv} , σ_{sl} , σ_{lv} tensiunile de suprafață ale fazei solide, la interfața solid lichid, iar θ reprezintă unghiul de contact între faza lichidă și cea solidă.

Teoretic se poate spune că umectarea completă are loc la $\theta = 0^\circ$ și lipsa de umectare la $\theta = 180^\circ$. În practică se consideră umectarea limită la 90° .

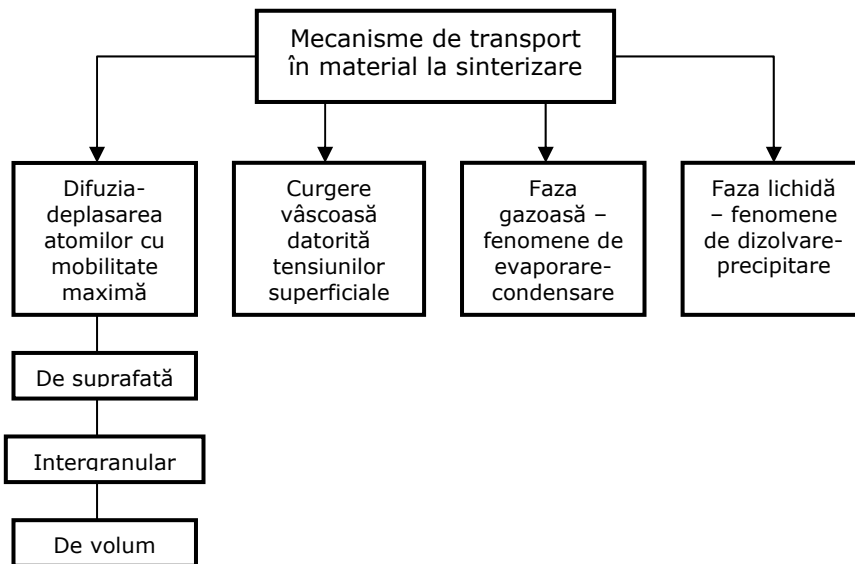


Fig 3.18 Mecanismele de transport de material în timpul sinterizării [I1]

Sinterizarea trebuie să fie realizată într-o atmosferă protectoare, deoarece majoritatea produselor presate din pulberi metalice, având o suprafață specifică foarte mare și o porozitate deschisă, se oxidează ușor nu numai la suprafață ci și în adâncime, în tot volumul lor.

Atmosferele de sinterizare se împart în următoarele grupe:

- oxidante: sunt utilizate în metalurgia pulberilor pentru două scopuri:
 - eliminarea lubrifianților utilizați la presarea pulberilor;
 - tratamentul în vapori de apă.

Este necesar a se realiza eliminarea lubrifianților înainte ca vreun fenomen de sinterizare să se producă pentru a preîntâmpina fisurarea pieselor și contaminarea atmosferei de sinterizare. Reacțiile de oxidare formează un strat superficial de oxid metalic pe pulberi sau piese care va fi redus în timpul reacției de sinterizare. Stratul de metal poros rămas pe particulele metalice după reducerea oxidului poate accelera sinterizarea, având ca rezultat îmbunătățirea caracteristicilor mecanice ale produselor.

Oxidarea nu este necesară pentru piese cu pereți subțiri. Ea devine obligatorie pentru piesele cu pereți groși, la care nu sunt prescrise diferențe între rezistența la marginea și centrul piesei.

Tratamentul în vapori de apă: are ca scop formarea unui oxid protector și rezistent pe suprafața pieselor sinterizate. Acest oxid reduce porozitatea pieselor, crește rezistența la coroziune, la frecare și compresie.

- reducătoare: sunt cele mai des utilizate în metalurgia pulberilor.

Cel mai bun și cel mai utilizat mediu reducător îl constituie hidrogenul. Este cel mai activ reducător și poate fi de cea mai mare puritate, dar prezintă un pericol ridicat de explozie și este foarte scump. Când un oxid metalic pur este introdus într-o atmosferă pură de hidrogen, oxidul și hidrogenul va reacționa conform reacției:



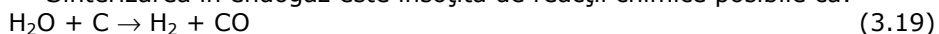
Utilizarea hidrogenului ca atmosferă de sinterizare este limitată la câteva aplicații ca: sinterizarea oțelului inoxidabil; sinterizarea pieselor magnetice; sinterizarea contactelor electrice.

Amoniacul disociat (NH_3) se obține prin disociere termică pe un catalizator de Ni, are un caracter reducător foarte bun, conținând: 75% H_2 și 25% N_2 și prezintă un pericol de explozie mai mic decât hidrogenul.

Gazul metan ars parțial (CH_4): este de 10 până la 12 ori mai ieftin decât hidrogenul și se prepară în reactoare umplute cu catalizator de Ni. Acest mediu protector gazos este larg utilizat la sinterizarea produselor pe bază de fier, respectiv de Cu, în amestec cu aerul fiind exploziv și componentul Co fiind foarte toxic.

- de protecție endoterme: sunt obținute prin reacția unui amestec încălzit de aer și o hidrocarbură gazoasă în prezența unui catalizator de Ni.

Sinterizarea în endogaz este însoțită de reacții chimice posibile ca:

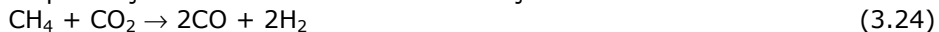


Producerea atmosferelor endoterme necesită căldură și devine mai eficientă când temperatura de reacție este mai ridicată. Atmosferele endoterme sunt excelente pentru sinterizarea fierului și a oțelului, deoarece ele oferă protecție împotriva oxidării și mențin potențialul de carbon la temperaturile normale de lucru.

- de protecție exoterme: sunt obținute prin arderea parțială a hidrocarburilor în aer. Combustia are loc cu degajare de căldură fiind posibile reacțiile:



- de protecție de tipul exoterm-endoterm pot fi obținute prin regenerarea unui gaz exoterm și sunt mai reducătoare decât exogazul, dar mai puțin reducătoare decât endogazul. Atmosferele exo-endo se obțin prin reacția gazului exo uscat și încălzit cu o cantitate de hidrocarbură gazoasă în prezența unui catalizator conform reacției:



- inerte: au ca scop prevenirea reacțiilor chimice între componentii atmosferei și produsele sinterizate. VIDUL: este o atmosferă ideală inertă; se preferă pentru puritate la materialele sensibile la oxidare. Este ușor de manipulat, fără pericol de explozie sau de intoxicare, dar reclamă folosirea cuptoarelor cu spațiul de lucru închis perfect etans;
- de nitrurare: azotul produs prin procesul de distilare a aerului este mai uscat decât endogazul sau amoniacul disociat. Azotul prezintă dezavantajul, când este utilizat singur, că nu poate fi controlat potențial

de carbon. Avantajele utilizării atmosferelor de azot sunt următoarele: puritatea și controlabilitatea față de endogaz și amoniacul disociat; neinflamabile și neexplozive; piesele sinterizate în atmosfera de azot au proprietăți superioare față de cele sinterizate într-o atmosferă endo; necesită cu (50..80)% mai puțină energie față de alte tipuri de atmosfere protectoare; permit măsurarea productivității și utilizarea mai intensă a cuptoarelor de sinterizare; producerea unui procentaj mai mic de rebut. [C6]

Impuritățile cele mai dăunătoare ale atmosferelor protectoare sunt oxigenul și vaporii de apă.

Umiditatea atmosferelor protectoare se exprimă prin punctul de rouă, care trebuie să fie de cele mai multe ori cu puțin sub 0°C, iar pentru pretenții mari între -20°C și -50°C.

3.1.4.2 Utilaje de sinterizare

Utilajele necesare sinterizării sunt de tipul cuptoarelor de sinterizare. Ele trebuie să se caracterizeze prin temperaturi optime în fiecare zonă, reglabile, constante și riguros controlabile; viteze de încălzire și răcire reglabile; alimentarea continuă cu gaze de protecție, chiar și în condițiile unui proces continuu de alimentare și evacuare a semifabricatelor; siguranță mare în funcționare; productivitate ridicată; consum redus de energie.

În funcție de sistemul de încălzire, cuptoarele pot fi: cu flacără, cu rezistențe electrice sau cu inducție.

Cuptoarele clopot se folosesc la sinterizarea pieselor foarte mari și a discurilor de fricțiune (*Figura 3.19*). Ele pot lucra sub sarcină de apăsare pentru a realiza o sinterizare sub presiune. Datorită permutării platformelor de lucru au o productivitate mare.

Cuptoarele tunel cu role transportoare lucrează în regim continuu, au o productivitate foarte ridicată și se utilizează în special pentru sinterizarea semifabricatelor mijlocii și mari.

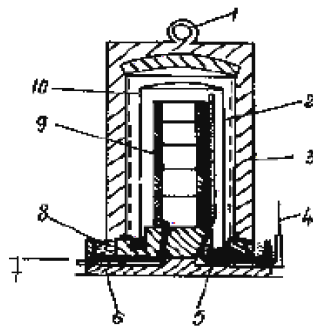


Fig 3.19 Cuptor de sinterizare tip clopot (cu încălzire indirectă) [I1]

1. inel pentru ridicare; 2. elemente de încălzire; 3. clopot exterior; 4. evacuarea gazelor protectoare; 5. jgheab cu nisip fin; 6. platforma refractară; 7. intrarea gazelor de protecție; 8. jgheab de închidere cu ulei; 9. încărcătura; 10. clopot interior din oțel refractar.

Cuptoarele cu inducție asigură încălziri rapide ale semifabricatelor și temperaturi ridicate de lucru (Figura 3.20).

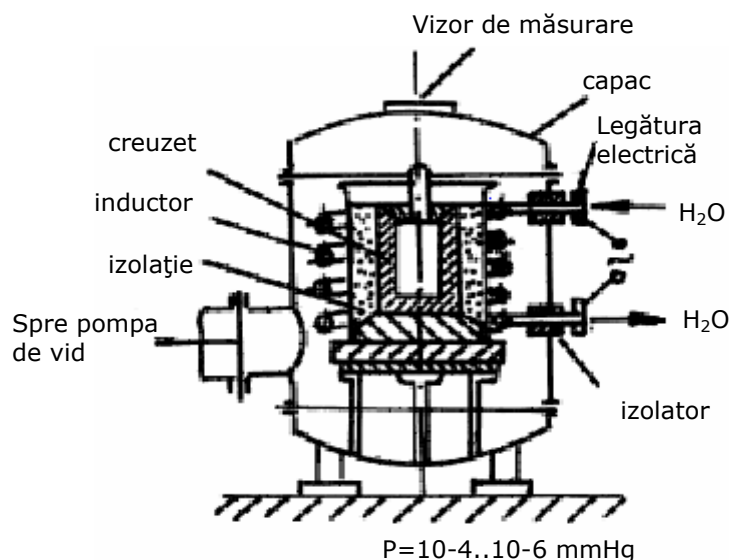


Fig 3.20 Cuptor cu inducție și incintă vidată [I1]

3.1.5 Operații suplimentare

3.1.5.1 Extrudarea

Extrudarea este un procedeu modern de prelucrare a metalelor prin deformare plastică și constă în trecerea forțată a materialului supus acțiunii unei forțe de compresiune printr-o matriță de formă adecvată. Condițiile specifice de lucru sunt date de presiunile între (200..400) 10⁷ Pa și vitezele de deformare de peste 10 m/s.

Acest procedeu se utilizează cu succes și în metalurgia pulberilor, atunci când raportul lungime-diametrul produselor este mare, ca de exemplu la bare, tuburi și produse cu forme speciale și variate. [G4]

Operațiile tehnologice ale extrudării pulberilor metalice sunt următoarele:

- ❖ amestecarea sau dispersia pulberilor;
- ❖ fabricarea lingoului;
- ❖ încălzirea și lubrifierea;
- ❖ aplicarea presiunii, cu deformarea pentru umplerea golurilor și cu deformarea metalului pentru trecerea prin orificiul filierei și curgerea hidrodinamică;
- ❖ decojirea;
- ❖ calibrarea și operațiile ulterioare.

Se pot extruda pulberile metalice cu un liant plastifiant (operația decurge la temperatura mediului ambiant) sau pulberile fără nici un adaos (operația se face la temperaturi înalte). Ca lianți se pot utiliza soluțiile de zahăr, dextrina, guma arabică, amidonul, rășinile, parafina, nitroceluloza etc. De obicei, lianții se folosesc la obținerea sârmelor subțiri de wolfram și osmiu, pentru filamentele lămpilor

incandescente.

Extrudarea unidirecțională se poate executa prin trei metode:

- extrudarea pulberii așezată liber în containerul încălzit și presată direct prin filieră (la cald).

Este o metodă limitată practic datorită tendinței de oxidare a pulberii încălzite și de pierdere a lubrifiantului în timpul încălzirii, ceea ce imprimă o neomogenitate structurală lingoului. Se aplică cu precădere pentru extrudarea magneziului, plumbului, aliajelor de lipit.

- extrudarea lingourilor sinterizate. Este metoda cea mai utilizată în metalurgia pulberilor.

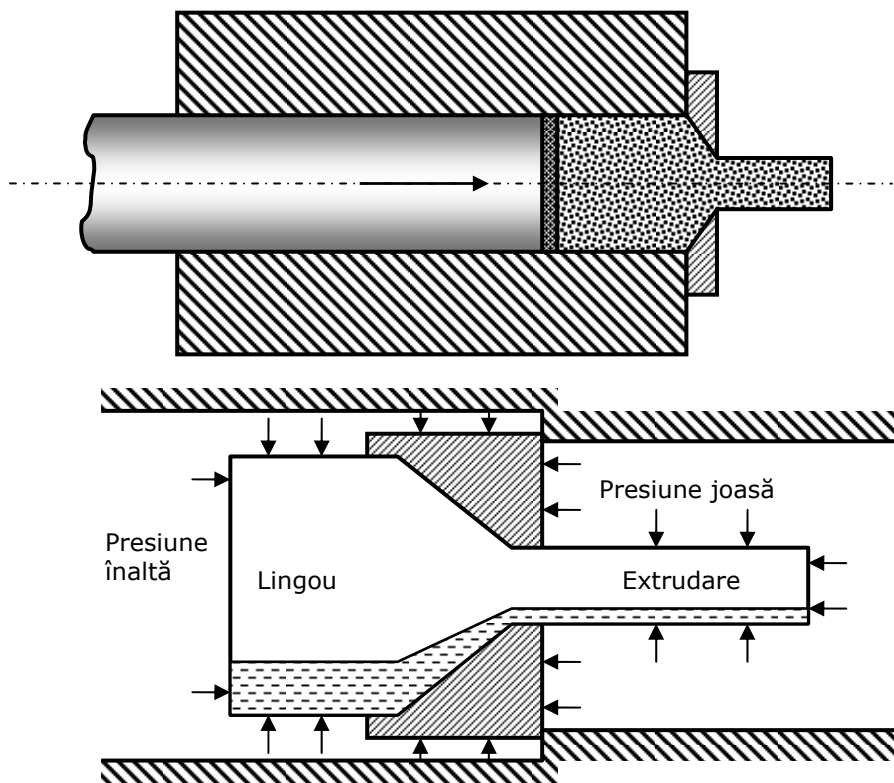


Fig 3.21 Metode de extrudare [I1]

- extrudarea pulberii metalice care a fost ambalată într-un înveliș metalic împreună cu care se încălzește și se prelucrează.

Materialul învelișului trebuie ales astfel încât să satisfacă cerințele legate de plasticitatea la cald, posibilitatea formării unor aliaje sau a unor faze cu puncte de topire scăzute, cost și ușurință la îndepărtare prin mijloace fizice sau chimice. Pentru prelucrarea la temperaturi înalte se folosesc magneziul, aluminiul, cuprul, molișdenul sau oțelul. În general, pulberea este presată în învelișul metalic cu forțe mici de presare sau îndesată prin vibrație. Învelișul metalic se închide complet, după ce aerul din el a fost îndepărtat cu ajutorul unei pompe de vid. Dacă pulberea nu a fost îndesată suficient, în timpul extrudării se pot forma falduri. Pentru evitarea lor

se recomand închiderea învelișului cu ajutorul unei plăci care, acționată de împingătorul presei va densifica pulberea în proporția corespunzătoare.

Tot un înveliș cu pulbere metalică întâlnim și în cazul extrudării izostatice, dar, de data aceasta, el este trecut printr-o filieră cu ajutorul unui fluid de înaltă presiune, care acționează pe toată suprafața sa. Esența efectului presiunii fluidului asupra materialelor supuse prelucrării prin această metodă constă în faptul că materialele ductile tind să devină și mai ductile, iar cele fragile devin ductile.

Avantajele tehnologice la extrudarea pulberilor metalice sunt următoarele:

- se poate realiza, printr-o singură operație, simultan, densificarea și reducerea secțiunii de (6..100) de ori;
- presiunile înalte la care are loc extrudarea (pana la $18 \times 10^8 \text{Pa}$) permit creșterea densității pulberilor metalice și deformarea lor la temperaturi mai coborâte decât cele necesare pentru sinterizarea sau chiar pentru presarea la cald;
- rapoartele mari de reducere determină o creștere puternică a suprafeței de contact a particulelor, ușurând sinterizarea;
- toate aceste efecte ajută la difuzie, conducând la formarea unor aliaje omogene. [C1]

3.1.5.2 Laminarea

Laminarea pulberilor metalice constă în presarea progresivă a unei pulberi cu ajutorul unor utilaje speciale numite laminoare, adică doi cilindri rotativi între care se introduce pulberea metalică.

Cilindrii se rotesc în sens invers și antrenează pulberea, compactând-o într-un produs continuu, de grosime mică.

La ieșirea dintre cilindri, produsele laminate nu au o rezistență suficientă, deci nu pot suporta solicitările mecanice de valori mari. Acesta este motivul pentru care procesul de sinterizare face parte din ciclul continuu de fabricație, materialul laminat continuându-și mișcarea cu viteza de laminare prin instalația de sinterizare.

Avantajele laminării pulberilor metalice sunt:

- se obțin produse cu caracteristici mecanice ridicate;
- nu se produce o orientare a materialului, chiar în cazul unei deformări puternice a granulelor, deoarece laminarea la rece a pulberilor este urmată de sinterizare (materialele obținute astfel pot fi considerate izotrope);
- tablele au densitate și porozitate controlate.

Se pot lamina pulberi din fier, nichel, cupru, titan, tantal, oțel inoxidabil, amestecuri fier-cupru, cupru-staniu, cupru-plumb etc.

Procesul de laminare este influențat de:

- factori determinați de echipamentul de laminare: materialul cilindrilor, finisarea suprafețelor și diametrul cilindrilor, viteza de laminare, unghiul de intrare a pulberii, distanța dintre cilindri etc.;
- factori determinați de caracteristicile pulberii: tipul pulberii, mărimea granulelor, forma particulelor, starea suprafețelor particulelor, fluiditatea pulberii;
- factori determinați de procesul de laminare: frecarea dintre pulbere și cilindri, temperatura de laminare, umiditatea relativă.

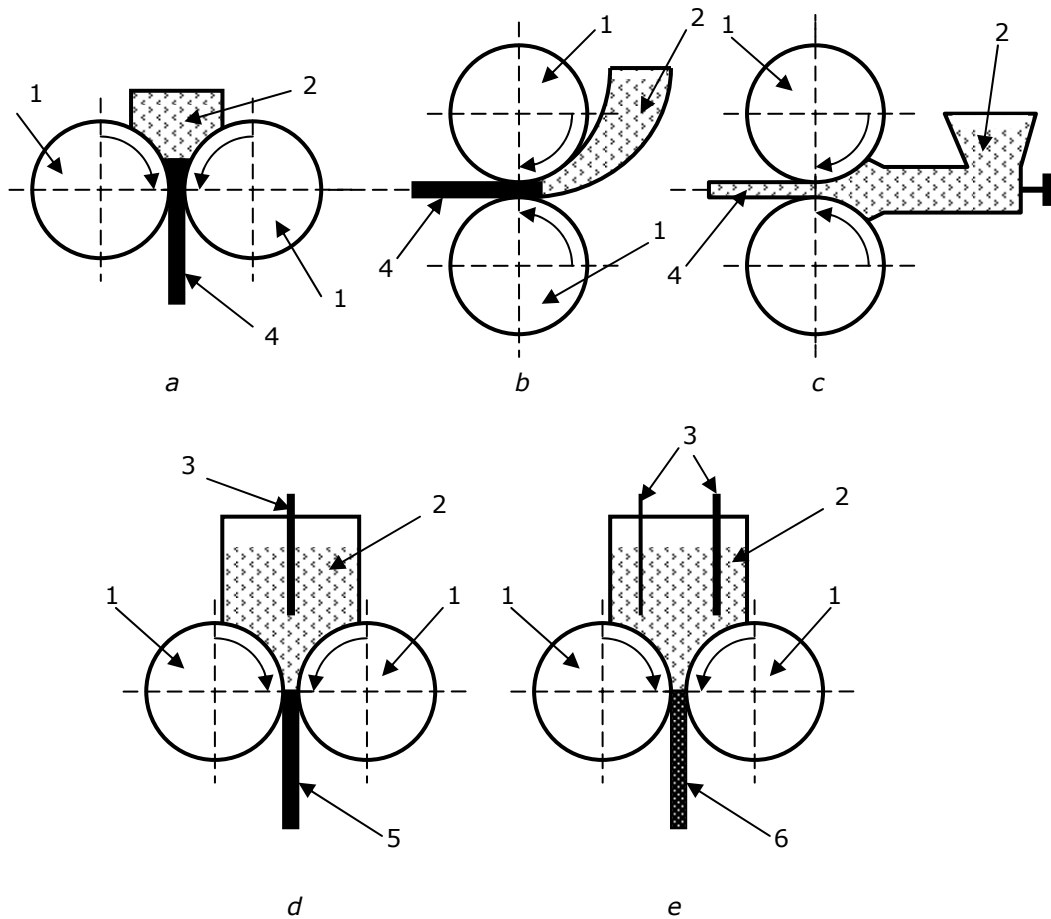


Fig 3.22 Schema de principiu a laminării pulberilor metalice [I1]

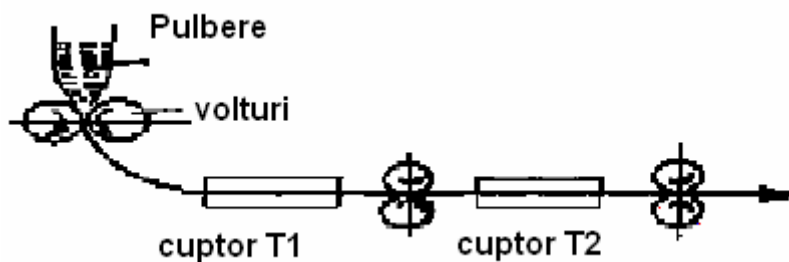


Fig 3.23 Reprezentarea schematică a laminării și sinterizării pulberilor metalice [I1]

În urma laminării se obțin benzi și table speciale pentru industria constructoare de mașini, benzi din metale și aliaje de mare puritate sau cu proprietăți speciale pentru industria electrotehnică, piese pentru tunurile electronice, elemente de încălzire pentru cuptoare, electrozi poroși (pentru acumulatori, surse electrochimice și pile de combustie), benzi bimetalice, trimetalice sau placate, benzi de oțel acoperite cu un strat antifricțiune din metal sinterizat poros pentru lagărele de alunecare autolubrifiante, table poroase pentru filtre, uscătoare, instalații de

evaporare și reactoare în pat fluidizat. [A3]

3.1.5.3 Forjarea

Piese sinterizate fabricate prin tehnologiile clasice ale metalurgiei pulberilor prezintă limitări legate de: costul ridicat al materiilor prime, dimensiunile pieselor sunt legate de gabaritul matriței; proprietățile fizico-mecanice ale materialului sunt inferioare celor ale pieselor obținute prin tehnologiile clasice (turnare, forjare etc.).

Caracteristica esențială a pieselor sinterizate care limitează aplicabilitatea lor la solicitări mecanice mari este porozitatea reziduală. Numai creșterea densității la aproape 100% face posibilă obținerea unor piese cu o bună ductilitate. Pori acționează ca inițiatori de fisuri într-o solicitare ciclică, astfel că rezistența la oboseală a pieselor sinterizate nu este satisfăcătoare decât luându-se precauții speciale, ca de exemplu aplicarea tratamentului termochimic de nitrurare. S-a dezvoltat astfel un procedeu industrial de obținere a pieselor din pulberi metalice lipsite de pori și anume forjarea pieselor sinterizate.

Dupa forjare, piesele sunt ejectate din matriță și răcite sau călite în atmosferă controlată pentru a limita oxidarea. Diferența esențială între sinterizarea pieselor și forjarea pieselor sinterizate este aceea că, în primul caz, operația de presare a comprimatului determină caracteristicile și dimensiunile pieselor, în timp ce în cazul forjării acestea sunt determinate de ultima operație și anume de forjare. Porozitatea pieselor sinterizate ușurează procesul de forjare și determină o scădere a costurilor, rezultând o structură cu grăunți fini, cu o orientare minimă.

Parametrii care caracterizează procesul de forjare a pieselor sinterizate sunt: densitatea semifabricatului sinterizat, temperatura și forța de forjare, numărul de lovituri utilizate pentru forjarea unei piese, viteza deformării, deformația totală, condițiile de răcire.

Densitatea pieselor forjate crește cu mărirea forței de forjare fiind influențată, de asemenea, de natura pulberii metalice din care a fost executat semifabricatul și de condițiile de lubrifiere.

În timpul procesului de prelucrare nu trebuie ignorate frecarea și temperatura pereților matriței. Temperaturile înalte de forjare fac dificil controlul conținutului de carbon în cuptorul de încălzire a pieselor, în timp ce o temperatură mai scăzută, la o viteză normală de deformare, solicită o presiune de forjare mai mare, deci implicit uzura mai rapidă a matrițelor. Influența temperaturii asupra rezistenței la întindere se explică prin faptul că mărirea grăunților de austenită este puternic influențată de temperatură. La valori mai scăzute ale acesteia se obțin structuri mai fine.

Presinterizarea produselor din pulberi metalice poate influența proprietățile de deformare ale comprimatelor prin producerea unor legături mai puternice între granule și apariția unui schelet coerent.

Oxidarea pieselor apare numai după lovitură de forjare, fenomen explicat și prin absența incluziunilor oxidice la limita legăturilor dintre particule, ea putând fi diminuată prin acoperirea lor cu grafit, ceea ce duce și la evitarea unor uzuri excesive a matrițelor.

Avantajele forjării semifabricatelor sinterizate sunt:

- productivitate mare;
- lipsa pierderilor de material;
- eliminarea sau reducerea operațiilor ulterioare de prelucrări mecanice;
- posibilitatea obținerii pieselor de forme complexe;
- orientarea echiaxială a proprietăților fizice;

- costuri reduse;
- forțe de prelucrare reduse.

În mod obișnuit tehnologia metalurgiei pulberilor asigură obținerea unor piese care nu necesită prelucrări mecanice ulterioare. Complicarea formei geometrice și mărirea preciziei dimensiunilor pieselor sinterizate impune necesitatea utilizării unor prelucrări complementare. Acestea pot fi: prelucrări mecanice: calibrarea; clasice: strunjirea, găurirea, filetarea, frezarea alezarea, honuirea, rectificarea, debavurarea etc. cu laseri: (LASER - lumină amplificată prin stimularea emisiei de radiații) Prelucrarea cu laser a materialelor sinterizate are următoarele particularități: posibilitatea de topire sau vaporizare a oricărui component metalic și nemetalic; transmiterea energiei prin medii optice transparente; influențarea controlată a structurii; focalizarea energiei la dimensiuni de ordinul micronilor; dirijarea fiabilă a parametrilor tehnologici în special cu laserii cu impulsuri. [C2]

Laserul poate fi utilizat în prelucrarea dimensională și la tratamentul termic al pieselor din pulberi.

Călirea oțelurilor constă în încălzirea lor în domeniul austenitic (γ) urmată de o răcire energetică condiționată de V_{cr} de transformare a austenitei în martensită (A \rightarrow M).

Durificarea prin precipitare: este un tratament termic care se aplică atunci când un metal este saturat la o temperatură înaltă cu un metal de aliere, care are o solubilitate mai mare la temperaturi ridicate decât la temperaturi joase. Dacă piesa este răcită rapid se obține o soluție solidă suprasaturată. Dacă această soluție solidă este apoi încălzită la o temperatură intermediară metalul de bază și metalul de aliere tind să se separe și vor precipita sub forma unor grăunți foarte fini la limitele grăunților ceea ce determină o creștere a durezza și rezistenței. Această metodă este aplicată în special aliajelor: FeCu sau fierului infiltrat cu Cu.

Recoacerea de normalizare are drept scop realizarea înmuierii materialului prin scăderea durezza și ameliorarea structurii. Se execută în atmosferă controlată. Recoacerea de normalizare se realizează prin încălzire cu (30...50)°C peste punctul Ac_3 (912°C), respectiv A_{cm} (1.148°C), o menținere pentru a realiza omogenizarea austenitei (727 - transformare eutectoidă \rightarrow 1.495°C transformare peritectică) și răcire în aer liniștit.

Recoacerea de globulizare se aplică pieselor sinterizate din oțel și are drept scop globulizarea cementitei (Fe_3C) în vederea îmbunătățirii prelucrărilor mecanice prin așchiere, a ductilității și tenacității materialului sinterizat. Se realizează prin încălzire îndelungată la temperaturi ușor inferioare punctului Ac_1 (727°C).

Tratamentele termochimice sunt tratamente de suprafață și constau în încălzirea piesei până la o anumită temperatură într-un mediu gazos, lichid sau solid care pune în libertate elementul de difuzie în stare atomică. Întregul proces de tratament termochimic se realizează prin trei procese elementare:

- disocierea: descompunerea moleculelor mediului și formarea unor atomi activi ai elementului de difuzie;
- absorbția: constă în aderarea atomilor activi la suprafața metalică prin pătrunderea în locurile vacante din rețea sau prin reacții chimice între acestea și atomii metalului;
- difuzia: pătrunderea atomilor absorbiți la suprafața piesei spre interiorul acesteia.

Cementarea constă în durificarea superficială a pieselor sinterizate pe o adâncime de ordinul zecimilor de mm., printr-o mărire a conținutului de carbon, urmată de călire. Se obține astfel o structură superficială dură și rezistentă la uzură.

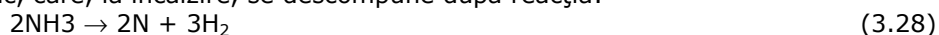
Principiul de bază al operației de cementare este difuzia carbonului în fier conform reacțiilor:



cemetită (Fe_3C) + Fe(ferită) \rightarrow perlită, care, prin călire, se transformă în martensită. [C3]

Nitrurarea este procesul în care azotul este introdus în straturile superficiale ale unui aliaj feros prin încălzirea metalului la o temperatură de (260...300)°C, într-un mediu generator de azot, ca de exemplu amoniac sau băi de cianuri topite. Prin nitrurare se urmărește: creșterea durtății stratului superficial; mărirea rezistenței la uzură, la oboseală și la coroziune.

Se supun nitrurării oțeluri de îmbunătățire, aliate cu: Al, Cr, Mo, elemente care formează nitruri în stratul superficial. Nitrurarea se efectuează în atmosferă de amoniac, care, la încălzire, se descompune după reacția:



Carbonitrurarea (cianizarea) este tratamentul termochimic aplicat pieselor sinterizate din fier și Fe - Cu cu un conținut cuprins până la 5% într-o atmosferă de endogaz, cu adaos de (2...5)% gaz metan (CH_4) și (0,5...2,5)% amoniac (NH_3) la o temperatură de (800...850)°C. Avantajul carbonitrurării față de cementare este efectul azotului la creșterea durtății pieselor. [C3]

3.1.5.4 Calibrarea

Calibrarea este operația folosită pentru obținerea unor precizii dimensionale ridicate și pentru corectarea unor abateri de formă apărute în cursul sinterizării. Prin această operație se produce o deformare plastică a straturilor superficiale ale pieselor însoțită de apariția unor macrotensiuni de compresiune. Se aplică și pentru obținerea unor densități mărite în secțiunile critice ale produselor sinterizate. Alegerea necorespunzătoare a adaosului duce la calibrare insuficientă sau o supracalibrare a pieselor și deci uzura prematură a sculelor. Mărirea adaosului de calibrare trebuie să varieze între (1..3)%, fiind necesară însă calcularea lui pentru orice produs

Calibrarea pieselor sinterizate se execută în matrițe de calibrare, cu ajutorul preselor mecanice sau hidraulice. Precizia pieselor finite este influențată și de calitatea pieselor sinterizate, care nu trebuie să prezinte zgârieturi, bavuri sau alte defecte de suprafață care ar uza puternic matrița. Pentru micșorarea frecărilor dintre piesă și matriță, înainte de calibrare, piesele sinterizate sunt lubrificate cu lubrifianți solizi sau lichizi, cum ar fi de exemplu: stearatul de zinc, bisulfura de molibden, praful de săpun, uleiurile vegetale.

Materialele sinterizate poroase intră în categoria materialelor greu prelucrabile mecanic, iar rezistența la uzare a sculei așchietoare este determinată de suma proprietăților fizico-chimice și mecanice ale materialului sinterizat și ale sculei. Cea mai bună capacitate de prelucrare o au materialele fier grafit cu structura feritică, urmate apoi de cele cu structura ferito perlitică, perlitică și perlito cementitică. Precizia și finețea așchierii depind de porozitate și impregnarea cu ulei, compoziția chimică, rezistența mecanică, durtatea, structura și existența incluziunilor abrazive. La prelucrarea materialelor sinterizate poroase nu se utilizează lichide de răcire obișnuite, pe bază de apă, și nici lichide care conțin alcool sau acizi, pentru că pătrunderea acestora în porii produselor determină oxidarea lor atât în timpul depozitării cât și în timpul exploatării.

Din aceste considerente se vor folosi doar uleiurile sau gazele inerte.

Tratamentele termochimice se execută cu scopul durificării superficiale a pieselor sinterizate.

Reacția de oxidare are ca urmări: mărirea rezistenței la coroziune, la uzare, a durității și a rezistenței la compresiune.

La impregnarea pieselor sinterizate din fier cu uleiuri minerale, umectabilitatea este bună, fiind redusă apoi de fenomenul de oxidare și de umiditate a aerului. Uleiurile minerale au un coeficient de dilatare termică mai mare decât cel al fierului sinterizat. Diferența între cei doi coeficienți determină efectul de autolubrifiere care are loc odată cu creșterea temperaturii. Cea mai simplă metodă este cea de impregnare datorită forțelor de capilaritate.

3.2 Proprietățile materialelor sinterizate

Cunoașterea precisă a proprietăților fizice, chimice și tehnologice ale pulberilor metalice este foarte importantă din punctul de vedere al tehnologiei de fabricație, cât și pentru a putea asigura calitatea și proprietățile cerute la produsele obținute din aceste pulberi.

Pentru obținerea unor proprietăți tehnologice și mecanice corespunzătoare, un rol hotărâtor îl are presiunea de compactizare aplicată, care determină compactitatea, respectiv porozitatea de presare. Cele mai importante proprietăți sunt:

❖ *densitatea aparentă de presare* ρ_p [g/cm^3] - este caracteristica cea mai importantă a unui semifabricat presat. Pentru piesele cu formă geometrică simplă, ea se poate determina prin cântărirea și calcularea volumului din dimensiunile măsurate ale corpului, respectiv a raportului masa/volum. La piesele cu formă complexă densitatea aparentă se determină prin cântărire hidrostatică:

$$\rho_p = m_1 \rho_w / (m_2 - m_3) \text{ [g/cm}^3\text{]} \quad (3.29)$$

în care: m_1 este masa corpului înainte de impregnare cu lichidul insolubil în apă (pentru a împiedica intrarea apei în porii piesei);

- m_2 - masa corpului după impregnare;
- m_3 - masa în apă;
- ρ_w - densitatea apei.

❖ *uniformitatea densității în volumul semifabricatului format* - depinde de calitatea suprafețelor granulelor de pulberi, calitatea și cantitatea lubrifiantului folosit la presare, forma și dimensiunile semifabricatului presat, caracterul presării.

Variația densității aparente în volumul presatului se poate determina fie prin tăierea aparentă a piesei în bucăți, fie prin determinarea mărimii și cantității porilor pe cale microscopică în diferitele zone ale piesei, fie prin înnegrirea neuniformă a imaginii piesei secționată pe un film Roentgen, obținut cu raze X.

❖ *porozitatea totală* P_t - se determină tot prin metoda hidrostatică, dar, în acest caz, trebuie să se facă o impregnare totală a corpului poros cu lichidul insolubil în apă.

$$P_t = 100(1 - \rho_p / \rho_m) \text{ [\%]} \quad (3.30)$$

în care: ρ_p - densitatea aparentă a corpului presat;

ρ_m - densitatea reală a materialului.

❖ *compactitatea corpului presat* C_P - arată, în procente, cât din volumul ocupat aparent de corpul poros este efectiv umplut de către materialul

metalic.

$$C_p = 100 - P_t \text{ [%]} \quad (3.31)$$

❖ *conductivitatea electrică* a semifabricatelor formate din pulberi metalice - poate fi utilizată pentru caracterizarea compactizării granulelor de pulbere care s-au format între acestea în timpul presării, prin măsurarea mărimii suprafețelor metalice de contact dintre granulele de pulbere. Din conductivitatea electrică se pot trage concluzii și asupra proprietăților de rezistență mecanică a materialului presat și asupra stabilității formei semifabricatului după compactizare (rezistența muchiilor) [M2];

❖ *rezistența la compresiune și încovoiere* - deși nu constituie un criteriu de rebutare a semifabricatului, valoarea lor se determină cu prilejul cercetării unui nou material sinterizat și a stabilirii tehnologiei optime de fabricație.

Orientativ, rezistența de rupere la tracțiune este de două ori mai mică decât rezistența la încovoiere și de zece ori mai mică decât cea la compresiune. O influență deosebit de mare asupra rezistenței semifabricatului o au mărimea granulelor pulberii, plasticitatea și forma granulelor, prezentă în amestec a lubrifiantilor, a diferitelor adaosuri și a impurităților.

❖ *duritatea semifabricatelor presate* - aceasta crește aproape liniar cu presiunea de compactizare. În volumul semifabricatului duritatea variază paralel cu densitatea neuniformă. Pentru aflarea durității se recomandă metoda Brinell, folosind bile cu diametrul de 5 sau 10 mm;

❖ *stabilitatea formei semifabricatului* după formare (se determină prin metoda clasică);

❖ *revenirea elastică a semifabricatelor* după scoaterea lor din matriță - aceasta trebuie cunoscută pentru a se proiecta corect matrițele de presare. Coeficientul de efect elastic întârziat diferă de la un material la altul, depinzând și de condițiile presării, respectiv de densitatea realizată.

Legătura dintre duritatea granulelor și porozitatea produselor este exprimată prin relația:

$$\varepsilon = \frac{\sigma_k}{C \cdot \theta_0} (\lg \sigma_k - \lg p) \quad (3.32)$$

în care: ε - porozitatea produselor;
 θ_0 - compactitatea pulberii înainte de presare;
 C - constantă;
 σ_k - duritatea granulelor;
 p - presiunea de comprimare.

Formarea prin presare unidirecțională în matrițe metalice determină orientarea particulelor în planuri paralele, perpendiculare pe direcția de presare. Această orientare este una din cauzele diferențelor între variațiile dimensionale la sinterizarea produselor în direcții paralele și perpendiculare pe direcția de presare.

Piese sinterizate din pulberi metalice prezintă caracteristici fizice și chimice remarcabile, determinate atât de compoziția și structura fazelor prezentate cât și de mărimea, forma și distribuția în masă a grăunților, ceea ce constituie structura acestor piese.

❖ *porozitatea remanentă* este caracteristica acestor materiale. Reglarea porozității remanente în produse, la una și aceeași compoziție chimică, permite să se obțină piese cu caracteristici mecanice și fizico-chimice care variază într-un interval larg. În același timp, se creează un anumit specific al exploatării lor și necesitatea unor metode speciale pentru determinarea diferitelor caracteristici.

❖ *structura pieselor sinterizate* este alcătuită din faze *metalice*, incluziuni *nemetalice* (grafit, oxizi, sulfuri etc.) și *pori*. Analiza microstructurii

pieselor presupune determinarea următorilor parametri: mărimea și distribuția fazelor, conținutul în carbon combinat, incluziunile, transformările structurale, fenomenele de carburare și decarburare, porozitatea și distribuția porozității, gradul de legătură, stratificarea, uniformitatea structurii, gradul de aliere, prezența limitelor dintre particule. Obținerea unor produse sinterizate cu o structură stabilă permite asigurarea proprietăților mecanice și fizico-chimice dorite. Structura pieselor sinterizate se poate determina vizual (macrostructura) sau cu ajutorul microscopului metalografic sau electronic (microstructura).

❖ *microstructura pieselor sinterizate din cupru și din aliaje pe bază de cupru.* În timpul sinterizării pieselor din cupru pur are loc schimbarea formei porilor și reducerea volumului lor, care determină reducerea energiei totale de suprafață. În cupru procesele de difuzie sunt responsabile pentru sinterizare și densificare, difuzia de volum fiind mecanismul predominant. Procesul de sinterizare are loc în trei stadii:

- creșterea legăturilor între particule, procesul de densificare desfășurându-se după o lege exponențială de timp;
- densificarea propriu-zisă, cu recristalizarea și dispariția limitelor de separare între particule;
- creșterea porilor izolați, sferoidizarea lor și încetinirea procesului de densificare.

De exemplu, o pulbere din cupru, presată la 17.000 10MPa are o densitate de 7,6 g/cm³, iar o alta, presată la 28.200 10MPa are densitatea de 8,1 g/cm³.

❖ *microstructura pieselor sinterizate din fier și din aliaje pe baza de fier*

La încălzire și răcire, transformările (alotropice) de fază ale fierului sunt însoțite de un mare *efect termic* și anume de absorbție sau degajare de căldură. În afara temperaturilor critice, care corespund transformărilor de fază, fierul prezintă la 768°C o transformare magnetică și anume fierul α trece în fier β , transformare însoțită numai de *modificări interatomice*, distribuția reciprocă a atomilor în rețeaua cristalină rămânând neschimbată.

Microstructura unei piese sinterizate din Fe α pur prezintă pori și grăunți de fier α ale căror dimensiuni cresc cu mărirea timpului de sinterizare, în cazul menținerii constante a temperaturii de sinterizare. Particulele mari apar ca urmare a fenomenului de *recristalizare*. Structura este feritică.

Sinterizarea aliajelor fier-cupru implică următoarele fenomene:

- formarea legăturilor fier-fier în fază solidă;
- formarea legăturilor fier-cupru în fază solidă;
- topirea cuprului;
- difuzia cuprului;
- solubilitatea și precipitarea fierului în cuprul topit.

În funcție de cantitatea de cupru adăugată și de tratamentul termic aplicat după sinterizare, în structura acestor piese poate să apară sau nu cupru liber, ca o fază secundară în masa de bază de fier. Cuprul care nu se dizolvă apare în structură sub forma unor incluziuni mari. *Porozitatea de difuzie* apare ca urmare a difuziei reciproce a cuprului și fierului, în special în conținuturi de cupru, mai mari decât limita de solubilitate. Pentru a elimina porozitatea de difuzie se recomandă utilizarea pulberilor aliați. [S6]

Oțelurile aliate sinterizate se realizează din amestecuri de pulberi, aliaje semialiate și aliaje complet aliate. Sinterizarea acestor oțeluri implică difuzia carbonului, topirea cuprului și difuzia acestuia, dizolvarea nichelului în cupru topit și difuzia cuprului în fierul solid. *Difuzia* nichelului este rapidă la limita suprafeței

grăunților și de-a lungul limitei dintre grăunți și mai înceată în interiorul grăunților de fier. În structura oțelurilor aliate sinterizate sunt vizibile zone bogate în nichel datorită difuziei incomplete. Marginile acestor zone dizolvă uneori carbonul suficient, astfel încât la răcirea normală de la temperatura de sinterizare să se formeze o structură martensitică.

Dacă oțelurile sinterizate conțin nichel, molibden și cupru, atunci difuzia cuprului și molibdenului sunt relativ rapide, pe când cea a nichelului este mai înceată conducând la obținerea a numeroase zone bogate în nichel, zone de austenită netransformată, înconjurate de zone martensitice (atunci când conținutul de carbon este suficient).

Gradul de sinterizare a pieselor din oțeluri aliate poate fi estimat prin gradul de difuzie a elementelor de aliere.

Pentru determinarea mărimii și distribuției fazelor disperse în produsele sinterizate se folosește analiza stereometrică. Această metodă dă indicații prin tehnici cantitative de măsurare și numărare asupra următoarelor caracteristici: mărimea, numărul, formarea, orientarea și distribuția particulelor și a porilor.

Distribuția spațială a porilor influențează pregnant caracteristicile funcționale ale pieselor sinterizate. Tendința de aglomerare a porilor în unele zone și diminuarea concentrației acestora în alte zone contribuie la scăderea rezistenței mecanice, a durității, a conductivității termice și electrice.

❖ *contractia de sinterizare* este unul dintre cei mai importanți parametri la fabricarea pieselor sinterizate. Astfel, aplicarea unei compensări exacte pentru variațiile dimensionale care au loc permite fabricarea pieselor fără o calibrare ulterioară.

❖ *rezistența la tracțiune* este caracteristica de bază în aprecierea rezistenței mecanice a unui material sinterizat. Această proprietate a materialelor sinterizate poroase este influențată de aria secțiunii transversale și de lungimea probei. Limita rezistenței materialelor se mărește cu creșterea secțiunii transversale și scade cu creșterea lungimii probei. De aceea o mare atenție se acordă formei și dimensiunilor epruvetelor, precum și calității suprafețelor lor. Epruvetele utilizate se obțin fie prin presare în matriță a pulberii, fie prin prelevare și prelucrare prin așchiere din produsul sinterizat. Se cere calcularea mediei aritmetice a cinci rezultate determinate pe cinci epruvete.

❖ *duritatea pieselor sinterizate* reprezintă capacitatea de rezistență a materialelor rigide ce se datorează forțelor interne din materialul testat în timpul unui proces ce nu conduce la deformarea elastică sau plastică a corpului analizat.

❖ *caracteristicile elastice*

❖ *rezistența la oboseală*

❖ *rezistența la coroziune și oxidare* a materialelor sinterizate constituie o problemă importantă pentru piesele care lucrează în anumite condiții. În corpurile poroase, oxidarea și coroziunea se dezvoltă concomitent atât la suprafața interioară cât și la cea exterioară a acestora.

❖ *proprietățile termice* ale pieselor sinterizate din pulberi metalice

Transmiterea căldurii este procesul natural de transfer al energiei interne de la corpurile cu temperatură mai mare la cele cu temperatură mai mică sau, în interiorul unui corp de la părți ale acestuia cu temperatură mai ridicată la părți cu temperatură mai scăzută. Căldura se transmite prin *conducție, convecție și radiație*.

Conducția căldurii este procesul de transmitere a căldurii în interiorul unui corp sau între corpuri aflate în contact direct, de la particulă la particulă, adică între atomi și molecule. Conducția interesează în special în cazul corpurilor solide, mai puțin în cazul corpurilor lichide și rar în cazul gazelor. [L3]

Convecția căldurii este procesul de transmitere a căldurii dintr-o parte a spațiului în alta prin intermediul unui fluid (agent termic). Convecția se produce numai în cazul lichidelor și gazelor.

Radiația este procesul de transmitere a căldurii sub formă de energie radiantă. La corpul radiant energia internă se transformă în energie radiantă și se transmite sub formă de unde electromagnetice spre corpul absorbant, unde energia radiantă se transformă în energie internă.

Ecuția diferențială a convecției căldurii.

Temperatura dintr-un corp este o funcție de coordonatele spațiului x, y, z , și de timpul t de forma:

$$\theta = f(x, y, z, t) \quad (3.33)$$

Această ecuație exprimă matematic câmpul de temperatură, adică totalitatea temperaturilor din interiorul unui corp. Dacă temperatura nu variază în timp, câmpul de temperatură se numește *staționar*, iar în caz contrar se numește câmp *nestaționar* sau *tranzitoriu*. După cum temperatura variază în funcție de toate cele trei coordonate ale spațiului, de două din ele sau numai de una, câmpul se numește respectiv *tri-*, *bi-*, sau *unidimensional*.

Totalitatea punctelor din interiorul unui corp care au aceeași temperatură se află pe o *suprafață izotermă*. În cazul câmpurilor bidimensionale, punctele de temperatură egală se află pe o *curbă izotermă*.

Vectorul dirijat după normala la suprafața (curba) izotermă, în sensul creșterii temperaturii și egal cu derivata temperaturii în raport cu această direcție, se numește *gradient de temperatură*:

$$\text{grad}\theta = n_0 \frac{\partial \theta}{\partial n} \quad (3.34)$$

în care \vec{n} este vectorul unitar al normalei la suprafața izotermă.

Cantitatea de căldură care trece în unitatea de timp printr-o suprafață izotermă S se numește *flux de căldură* și are expresia:

$$Q = \int_S q ds \quad (3.35)$$

unde q reprezintă *intensitatea fluxului* de căldură sau *fluxul termic unitar*.

Conform legii experimentale a lui Fourier,

$$q = -\lambda \frac{\partial \theta}{\partial n} = -\lambda \text{ grad } \theta \quad (3.36)$$

Fluxul de căldură se măsoară uzual în W sau kW și în cal/h sau kcal/h (1 kcal/h = 1,163 W).

Fluxul termic unitar se măsoară în W/m sau în kcal/ m²h. Cu λ s-a notat *coeficientul de conductivitate termică*, care se măsoară în W/mK sau în kcal/mh°C. Coeficientul de conductivitate termică este o constantă de material și variază cu temperatura în limite mai mari sau mai mici în funcție de material. Pentru majoritatea materialelor această variație este apropiată de cea liniară și poate fi aproximată prin relația:

$$\lambda = \lambda_0 [1 + b(\theta - \theta_0)] \quad (3.37)$$

în care λ_0 este coeficientul de conductivitate termică la temperatura θ_0 iar b – o constantă care se determină experimental pentru fiecare material. În calcule aproximative, pentru materialele la care λ variază în limite restrânse cu temperatura, se poate opera cu valori medii ale coeficientului de conductivitate

termică.

Variația temperaturii în spațiu și în timp în interiorul unui corp sau al unui mediu este exprimată de ecuația diferențială a conductei sau ecuația lui Fourier:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\gamma c \theta) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_z \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + M \quad (3.38)$$

în care:

θ - este temperatura în K sau °C;

t - timpul, în s sau în h;

c - căldura specifică, în J/kgK sau în kcal/daN°C (1 kcal/daN°C = 4,187 kJ/kgK);

γ - masa specifică, în kg/m³ sau greutatea specifică în daN/m³;
 $\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$ - coeficienții de conductivitate termică după direcțiile x, y, z , în W/mK sau în kcal/mh°C (1 kcal/mh°C = 1,163 W/mK);

M - debitul surselor interioare de căldură în W/m³ sau în kcal/m³h.

Ecuația lui Fourier descrie fenomenul conducției căldurii în forma cea mai generală. Pentru singularizarea cazurilor concrete studiate, se cer adăugate condițiile la limită sau condițiile de unicitate, care sunt de timp și spațiale. [L3]

Condițiile la limită de timp (temporale) stabilesc distribuția de temperatură la începutul procesului (condiții inițiale).

$$\theta = f(x, y, z, t=0) = f(x, y, z, t) \quad (3.39)$$

Condițiile la limită spațiale stabilesc parametrii schimbului de căldură pe frontierele corpului studiat. Ele sunt de mai multe tipuri din care principalele trei tipuri sunt următoarele:

Condiții la limită spațiale de tipul întâi. Temperatură impusă (cunoscută) pe suprafața S_1 a corpului:

$$\theta_{S1} = f(x, y, z, t) \quad (3.40)$$

Condiții la limită spațiale de tipul al doilea. Flux termic impus pe suprafața S_2 a corpului:

$$q = \lambda_x \frac{\partial \theta}{\partial x} n_x + \lambda_y \frac{\partial \theta}{\partial y} n_y + \lambda_z \frac{\partial \theta}{\partial z} n_z \quad (3.41)$$

în care n_x, n_y, n_z sunt cosinusurile directoare ale normalei la suprafața S_2 .

Condiții la limită spațiale de tipul 3. Schimb de căldură prin convecție, cu parametrii cunoscuți pe suprafața S_3 :

$$\alpha(\theta - \theta_E) = \lambda_x \frac{\partial \theta}{\partial x} n_x + \lambda_y \frac{\partial \theta}{\partial y} n_y + \lambda_z \frac{\partial \theta}{\partial z} n_z \quad (3.42)$$

în care:

α - este coeficientul de transmitere a căldurii prin convecție de la suprafața S_3 la mediul înconjurător sau invers, în W/m²K sau în kcal/m²h°C;

θ_E - temperatura mediului exterior, în K sau °C.

Integrarea ecuației diferențiale a conducției căldurii în condițiile la limită corespunzătoare problemei de rezolvat permite determinarea temperaturii în orice punct al corpului și în orice moment. Integrarea este posibilă în cazul problemelor simple, ca de exemplu conducția prin pereți plani, cilindrici, sferici, simpli sau compuși. Operația este dificilă în cazul corpurilor cu forme geometrice complicate, din materiale neomogene și anizotrope. În cele mai multe probleme practice, concrete, integrarea analitică este dificilă sau chiar imposibilă.

Conductivitate termică – proprietățile materialelor de a transmite prin masa lor fluxul termic produs de diferența de temperatură apărută pe suprafețele opuse ale elementelor de construcții. Conductivitatea termică se caracterizează prin coeficientul de conductivitate termică λ , definit pentru un perete omogen, paralel de grosime d și suprafață S , când între fețele opuse există o diferență de temperatură. Cu cât coeficientul de conductivitate termică λ este mai mic, rezistența termică a peretelui este mai mare. Conductivitatea termică a materialului depinde de compoziția materialului, de porozitate, natura și distribuția porilor, umiditatea materialului.

Una dintre cele mai importante categorii de produse obținute prin metalurgia pulberilor este formată din materialele antifricțiune utilizate în condiții de înalte solicitări mecanice și temperaturi mari ce apar în echipamentele folosite în industria chimică, metalurgică și energetică. Încălzirea la temperaturi de 250-800°C cauzează o uzură rapidă.

Principalele tipuri de materiale cermet antifricțiune sunt materialele fier-grafit și bronz-grafit, cu un conținut de grafit de (1-3)% și (15-25)% pori. Pentru aceste materiale porozitatea reziduală conținută în structura lor joacă rolul rezervorului de lichid lubrifiant, iar grafitul constituie sursa de lubrifiant uscat. Utilizarea acestor materiale în industrie determină economii de metale neferoase și face posibilă simplificarea tehnologiei de fabricație și reduce pierderile de producție. Următoarele îmbunătățiri ale acestor materiale vor fi orientate spre îmbunătățirea rezistenței la solicitări. Principalele cerințe pe care trebuie să le îndeplinească materialele cermet antifricțiune sunt: rezistență optimă la compresiune și încovoiere, capacitatea de a forma un strat intermediar de lucru pentru prevenirea lipirii, o bună conductivitate termică, coeficient de frecare mic și prezența în material a rezervei de lubrifiant solid.

Rezistența se poate mari prin alierea cu C, Cr, Mn, Ni și prin tratamente termice. Pentru materialele antifricțiune pe bază de Cu se pot adăuga Co (50-60)% sau incluziuni de componente chimice grele în metalul de bază. Adăugare sulfurilor de anumite metale.

Materiale pentru temperaturi înalte: principalele cerințe: rezistență la oxidare la temperaturi înalte, proprietăți antifricțiune foarte bune, stabilitatea proprietăților fizice ale materialului la temperaturi înalte.

Conductivitatea termică scade cu creșterea porozității, crește cu presiunea de comprimare .

Există un interes practic deosebit în realizarea segmentilor de piston pentru motoarele cu ardere internă. Acești segmenti lucrează în condiții de lubrificare limitată, solicitare înaltă și temperaturi de (250-450)°C. Exemplu: 2% Cu, 1,35% grafit, (5-4)% sulfat de Zn, (5-10)% pulbere de fontă călită, pe bază de Fe sau (3-3,5)% grafit, (2-6)% Cr cu Fe.

Căldura degajată ca rezultat al frecării este disipată prin metalul de bază. Conductivitatea termică mare a metalului de bază determină disiparea rapidă a căldurii de la suprafața de frecare și previne formarea stratului de superficial datorat supraîncălzirii. [L1]

Proprietățile termice ale materialelor din pulberi nanometrice sunt aproape neinvestigate, dar, din considerente generale:

Capacitatea calorică a materialelor pe bază de pulberi nanometrice C_v ar trebui să fie mare datorită spectrului caracteristic larg de moduri de vibrație și vitezei de transport a electronilor, fononilor, magnonilor v_c . De-a lungul gradientului de temperatură, considerând lungimea drumului liber al cvasiparticulei λ , coeficientul de conductivitate termică $K=1/3C_v\rho v_c \lambda$ trebuie să fie foarte mare

(6.600W/m.K).

Transmisia energiei termice prin solide are loc prin ciocnirea electronilor cu atomii între ei și deplasarea undelor fononice sau a oscilațiilor cuantice elastice. Variația conductivității termice cu temperatura pentru alumina sinterizată este tipică pentru un dielectric, transferul energiei termice făcându-se prin fononi. La temperaturi joase predomină transmiterea căldurii prin conductibilitate iar la temperaturi ridicate transmiterea căldurii prin radiație și convecție. La temperaturi ridicate, căldura care se transmite prin pori se poate neglija, deoarece porii fiind de dimensiuni mici constituie o barieră pentru fluxul caloric.

3.3 Avantajele economice ale utilizării scaunelor de supapă sinterizate pentru motoarele cu ardere internă

Metalurgia pulberilor asigură produselor și materialelor sinterizate o compoziție precisă și uniformă, cu o mare constantă a proprietăților. Astfel, devine posibilă înlocuirea unor materiale scumpe sau deficitare cu altele mai ieftine și ușor de procurat, iar prin această tehnologie se obțin materiale și produse metalice care nu pot fi elaborate prin procedeele clasice, cum ar fi: wolframul, pseudoaliajele wolfram-cupru și wolfram-cupru-argint. Un avantaj deosebit de important al metalurgiei pulberilor este posibilitatea obținerii unor materiale și produse poroase, cu o porozitate fină, uniformă și dirijabilă, după nevoie, între limite largi. Important și avantajos este și faptul că utilajele necesare în tehnologia de fabricație a produselor sinterizate sunt universale, la schimbarea reperului sau a produsului fiind necesară numai înlocuirea matriței de presare și de calibrare. Datorită simplității operațiilor, mecanizarea, automatizarea și robotizarea fabricației sunt ușor realizabile și duc la creșterea productivității muncii.

Eficiența economică a metalurgiei pulberilor se manifestă pe mai multe planuri, antrenând pe lângă economiile directe sau indirecte de metal sau energie și următoarele aspecte:

- îmbunătățirea performanțelor și parametrilor funcționali ai utilajelor pe care sunt montate piese sinterizate
- mărirea productivității unor procese tehnologice care folosesc produse ale metalurgiei pulberilor
- recondiționarea produselor masive și complexe
- recuperarea unor deșeuri sub formă de pulberi metalice (oxizi de fier, deșeuri de cupru tehnic)
- valorificarea superioară a metalului

Avantajele tehnice ale metalurgiei pulberilor sunt:

- completarea nomenclatorului produselor fabricate în industrie
- oferă, în anumite cazuri, unica soluție rațională, avantajoasă, la elaborarea unor materiale și produse cu proprietăți speciale, care nu pot fi obținute prin procedee tehnologice clasice
- se pot realiza piese la o calitate superioară, cu un conținut minim de metal, cu o productivitate ridicată
- constituie un pas important în domeniul studiului structurii materialelor metalice
- există posibilitatea de a proiecta serii de metale și aliaje cu o temperatură de topire înaltă.

În prezent metalurgia pulberilor stă la baza obținerii de: materiale dure pe bază de carburi metalice, nitruri, siliciuri etc.; materiale sinterizate poroase cu caracteristici autolubrifiante; materiale și aliaje de mare puritate, cu o structură fină și omogenă, lipsită de defecte, practic imposibil de obținut prin topire și turnare; materiale cu compoziție foarte variată, fără a lua în considerare solubilitatea reciprocă a constituienților.

Pentru o înțelegere completă a avantajelor economice ale metalurgiei pulberilor trebuie să se ia în considerare costurile materialelor și energiei, costurile de fabricație, manopera, regia și beneficiile. Reducerea costurilor de fabricație la piesele fabricate prin această tehnologie depinde de complexitatea pieselor. La serii de fabricație de peste 20000 buc. de piese elaborate prin metalurgia pulberilor, elementele costului se reduc: cu 75% cheltuielile materiale, cu 30% la costul utilajelor, cu 32% la timpul de fabricație, cu 96% la forța de muncă, cu 94% cheltuielile pentru întreținerea utilajelor, iar totalul cheltuielilor se reduce cu peste 40%. Costurile de fabricație pentru piesele sinterizate sunt determinate în special de costurile sculelor. Complexitatea și costul sculelor sunt un rezultat direct al configurației pieselor care include nu numai un număr de niveluri de presare ci și forme cu găuri și suprafețe interioare. O pondere importantă în costul sculelor o are materialul. În mod normal pentru o producție mare de același tip de piesă, sculele sunt făcute din carbură de wolfram pentru a reduce uzura. Pentru serii mici este mai rentabil să se utilizeze scule din oțel, al căror cost reprezintă doar (25...50)% din costul sculelor de carbură.

Metalurgia pulberilor reduce consumurile de materii prime și energie, coeficientul de utilizare a pulberilor metalice fiind de (98...99)%.

Tendențele pe plan mondial se pot grupa astfel: reciclarea deșeurilor, dezvoltarea noilor tehnologii ale metalurgiei pulberilor și reducerea consumurilor de metale

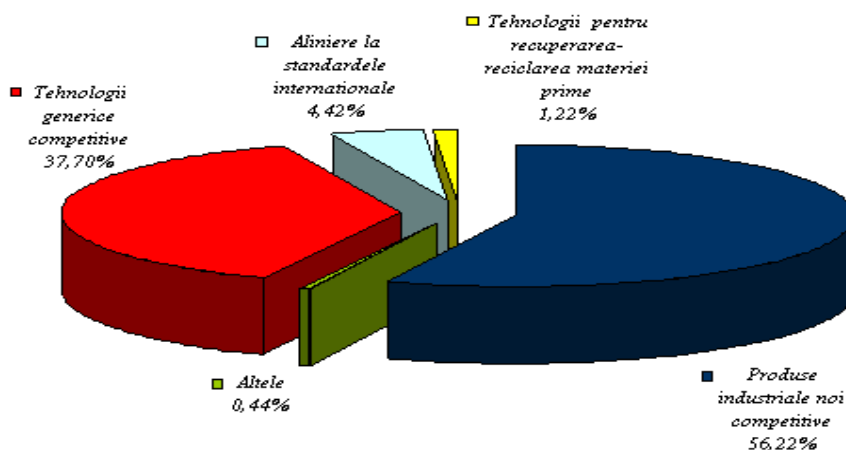


Fig 3.24 Tendințele de plan mondial în scopul reducerii consumului de materii prime

În zilele noastre o importanță deosebită a câștigat metalurgia pulberilor și în reciclarea deșeurilor metalice prin transformarea acestora în pulberi metalice valoroase: recuperarea așchiilor de la prelucrarea semifabricatelor metalice a

3.3. Avantajele economice ale utilizării scaunelor de supapă sinterizate pentru motoarele cu ardere internă 89

oxizilor de cupru proveniți de la laminarea la cald, a deșeurilor, sculelor și pieselor uzate din aliaje dure sinterizate. Obținerea pulberilor metalice din deșeuri de fabricație are implicații multiple atât asupra valorificării superioare a deșeurilor cât și asupra produsului finit. Așchiile de la prelucrarea clasică a pieselor din fontă sau oțel constituie, într-un atelier de mecanică, un deșeu de mică valoare pentru retopire sau refolosire. Așchiile recuperate pot fi transformate în pulberi fie prin măcinare, formare și sinterizare (pentru piese cu calitate medie), fie prin sinterizarea și forjarea lor, fie prin laminare directă a șpanului comprimat (pentru bare cu caracteristici mecanice bune).

Dezvoltarea noilor tehnologii ale metalurgiei pulberilor sunt căi importante pentru economisirea de materii prime. Orientarea actuală este către fabricarea benzilor continue de metal prin laminarea pulberilor și confecționarea unor benzi din oxizi metalici deformabili, care apoi sunt reduse, sinterizate și laminate. Obținerea de piese forjate direct din pulberi, pe lângă proprietăți superioare, aduce și reale economii de metal, deoarece deformarea făcându-se într-un regim de volum variabil, se lucrează fără bavură și la o foarte mare precizie dimensională, nerealizabilă prin procedeul clasic de forjare liberă.

Proporția de metal consumat pe plan mondial sub formă de pulbere este variabilă, astfel: 0,1% pentru fier și plumb; 1% pentru nichel, cupru, staniu, titan, argint; mai mare de 5% pentru molibden, cobalt; (60...70)% pentru wolfram și tantal.

Unele metale sunt esențiale ca elemente în cantități foarte mici dar la concentrații mai mari sunt caracterizate de toxicitatea metalului, ionului sau compușilor și multe sunt incluse în diferite liste de materiale toxice. Plumbul, cadmiul și mercurul sunt sursa celor mai multe preocupări.

Industria constructoare de mașini necesită cantități mari de piese de dimensiuni mici și forme complexe, a căror realizare prin turnare nu este rentabilă. Metalurgia pulberilor oferă posibilitatea producerii economice a acestora, utilizând ca *materiale de baza pulberile de fier* cu adaosuri de *pulberi de cupru, nichel, grafit, molibden* etc. Pentru piese de rezistență se recomandă materialele pe baza de fier, cu conținut de (0,2...1)% carbon și (3...8)% cupru sau cele pe baza de pulberi de fier prealiate cu nichel, molibden etc. Se pot realiza următoarele tipuri de *piese de rezistență*: roți dințate cilindrice sau conice, segmenti, pistoane, pinioane pentru pompele de ulei, flanșe, pârgii, came, furci, bucșe, palete de ventilatoare și, nu în ultimul rând, *scaune de supapă*.

Majoritatea pieselor care se fabrică pentru industria automobilelor au densități mai mari de 6,4 g/cm³, realizarea lor cuprinzând mai multe presări și sinterizări, presare la cald, forjare, laminare, impregnare cu alt metal topit, calibrare, tratamente termice etc.

Principalele avantaje oferite de piesele sinterizate constau în *rezistențele mecanice și la uzuri înalte* și scăderea costurilor subsansamblurilor în care sunt introduse.

Metalurgia pulberilor reduce consumurile de materii prime și energie, coeficientul de utilizare a pulberilor metalice fiind de (98...99)%.

Tendențele pe plan mondial se pot grupa astfel: reciclarea deșeurilor, dezvoltarea noilor tehnologii ale metalurgiei pulberilor și reducerea consumurilor de metale. Competitivitatea economico-industrială a viitorului impune obținerea de produse noi, cu parametrii ridicați, la care caracteristicile complexe geometrico-funcționale se combină cu exploatarea completă a proprietăților materialului.

Acest scop se atinge utilizând materiale noi prelucrabile și tehnologii noi sau modernizate, adaptate materialului nou. Dezvoltarea tehnologiilor pentru materiale noi (compozite, ceramice, minerale și sinterizate) constituie tematica cercetărilor intense și a descoperirilor tehnice din ultimii ani și a preocupărilor în viitor pe plan internațional.

3.4 Concluzii preliminare

Concluziile preliminare care se pot desprinde din capitolul treilea sunt:

- Procesul tehnologic de fabricație a pieselor sinterizate este un proces complex, format din mai multe faze care pot fi proiectate în funcție de proprietățile de exploatare ale materialului sinterizat
- Având în vedere proprietățile mecano-termice de care trebuie să dea dovadă scaunele de supapă, precum și condițiile de lucru ale acestora, se impun anumite metode de obținere și de prelucrare pentru semifabricatele obținute prin sinterizare din pulberi metalice
- Cunoașterea precisă a proprietăților fizice, chimice și tehnologice ale pulberilor metalice este foarte importantă din punctul de vedere al tehnologiei de fabricație, cât și pentru a putea asigura calitatea și proprietățile cerute la produsele obținute din aceste pulberi
- Piese sinterizate din pulberi metalice prezintă caracteristici fizice și chimice remarcabile, determinate atât de compoziția și structura fazelor prezentate cât și de mărimea, forma și distribuția în masă a grăunților, ceea ce constituie structura acestor piese
- Pentru obținerea unor proprietăți tehnologice și mecanice corespunzătoare, un rol hotărâtor îl are presiunea de compactizare aplicată, care determină porozitatea de presare
- O influență deosebit de mare asupra rezistenței semifabricatului o au mărimea granulelor pulberii, plasticitatea și forma granulelor, prezența în amestec a lubrifianților, a diferitelor adaosuri și a impurităților
- Formarea prin presare unidirecțională în matrițe metalice determină orientarea particulelor în planuri paralele, perpendiculare pe direcția de presare. Această orientare este una din cauzele diferențelor între variațiile dimensionale la sinterizarea produselor în direcții paralele și perpendiculare pe direcția de presare
- Obținerea unor produse sinterizate cu o structură stabilă permite asigurarea proprietăților mecanice și fizico-chimice dorite
- Una dintre cele mai importante categorii de produse obținute prin metalurgia pulberilor este formată din materialele antifricțiune utilizate în condiții de înalte solicitări mecanice și temperaturi mari ce apar în echipamentele folosite în industria chimică, metalurgică și energetică. Încălzirea la temperaturi de (250-800)°C cauzează o uzură rapidă. Utilizarea acestor materiale în industrie determină economii de metale neferoase și face posibilă simplificarea tehnologiei de fabricație și reduce pierderile de producție
- Gradul de sinterizare a pieselor din oțeluri aliate poate fi estimat prin gradul de difuzie a elementelor de aliere
- Distribuția spațială a porilor influențează pregnant caracteristicile funcționale ale pieselor sinterizate. Tendința de aglomerare a porilor

în unele zone și diminuarea concentrației acestora în alte zone contribuie la scăderea rezistenței mecanice, a durtății, a conductivității termice și electrice

- Dezvoltarea noilor tehnologii ale metalurgiei pulberilor sunt căi importante pentru economisirea de materii prime
- Metalurgia pulberilor reduce consumurile de materii prime și energie
- Tendințele pe plan mondial se pot grupa astfel: reciclarea deșeurilor, dezvoltarea noilor tehnologii ale metalurgiei pulberilor și reducerea consumurilor de metale

Contribuțiile personale în acest capitol se referă la:

- Analiza comparativă a tehnologiilor de preparare a pulberilor și de sinterizare în scopul alegerii celei mai potrivite metode de metalurgie a pulberilor pentru care există echipamente și care nu implică suplimentar costuri de implementare în industrie
- Scaunul pentru supapa de admisie pentru motor Diesel monocilindric se va proiecta având în vedere proprietățile termomecanice urmărite precum și în funcție de ceea ce se încearcă actualmente pe plan mondial în domeniul auto

BIBLIOGRAFIE

[D2], [D3], [F3], [G5], [A1], [A3], [C6], [C7], [G4], [C1], [C2], [C3], [C5], [D1], [D4], [I1], [M2], [[S5]], [S6], [L3], [S1], [S2], [T1], [K1], [J1], [L1], [K1], [J1], [L1]

4. Proprietăți de exploatare a materialelor pentru scaune de supapă

4.1. Considerații generale.

În timpul funcționării, talerul supapei este supus acțiunii: forței de presiune a gazelor; sarcinilor dinamice datorate forței elastice (tensiune) a arcului; forțelor de inerție a pieselor de acționare.

O sollicitare mecanică suplimentară – sollicitare dinamică, de șoc, produsă de forța arcului și de forța de inerție – apare la așezarea supapei pe sediu (șoc pe fața conică) sau la acționarea ei (șoc pe capătul tijei).

Astfel, se pretinde o *duritate superficială sporită* pentru suprafețele de sprijin și de acționare. Deformarea supapei perturbă contactul perfect pe sediu, ceea ce compromite etanșarea; de aceea, trebuie să posede nu numai *rezistență mecanică înaltă* ci și *rigiditate superioară*.

În timpul funcționării, supapa – mai ales cea de evacuare – se încălzește puternic. Aceasta lucrează în condițiile existenței temperaturilor ridicate și a acțiunii corozive a gazelor de ardere.

Temperatura ridicată a supapei de evacuare reduce rezistența mecanică și duritatea materialului, sporește dilatarea talerului. Se compromite astfel contactul perfect pe sediu și se intensifică uzura corozivă a supapei (la creșterea temperaturii supapei de evacuare cu numai 20° – de la 730°C la 750°C – pierderea de masă din cauza uzării corosive se dublează, iar la creșterea cu încă 10o devine de patru ori mai mare). [S3]

Solicitările mecanice și temperaturile ridicate înrăutățesc proprietățile materialului supapei, provoacă deformarea talerului și, deci, așezarea neetanșă pe locașul său, precum și deformarea tijei, favorizând griparea acestuia. Acțiunea gazelor de ardere provoacă corosiunea supapei datorită prezenței substanțelor agresive în compoziția acestora.

Având în vedere condițiile de lucru, față de materialele pentru construcția supapei și a scaunului de supapă se impun următoarele cerințe: rezistență mecanică ridicată, care să se mențină și la temperaturi înalte; rigiditate mare; duritate mare a suprafeței de etanșare și a suprafeței de acționare a supapei; rezistență la oxidare și coroziune; coeficient redus de dilatare; bună conductibilitate termică.

4.2. Proprietăți fizice.

Proprietățile fizice sunt cele care stabilesc comportarea materialelor metalice sub acțiunea unor fenomene fizice: gravitație, câmp termic, electric, magnetic, luminos etc. Ele au importanță deosebită la alegerea și utilizarea materialelor metalice în domeniile speciale: electrotehnică, electronică, aerospațial, nuclear etc.

Ele determină comportarea materialelor metalice la tumare, deformare plastică (în special în etapa de încălzire), tratamente termice și termochimice.

Datorită condițiilor de lucru, se utilizează materiale speciale termorezistente și anticorrosive.

Scaunul supapei se confecționează separat, pentru a mări rezistența la uzare, sub forma de inele care se presează în locașuri, din materiale cu rezistență mare la coroziune și duritate ridicată la temperaturi înalte (fontă refractară sau oțel refractar). Prin depunerea unui strat de stelit pe suprafața conică de așezare a supapei durabilitatea scaunului crește de (4..5) ori.

4.2.1 Stabilitatea dimensională.

Dilatarea termică a unui corp reprezintă modificarea volumului corpului produsă de variația temperaturii, fenomenul fizic prin care dimensiunile (volumul, suprafața, lungimea) unui corp cresc în urma variației temperaturii. Pentru majoritatea substanțelor creșterea temperaturii duce la creșterea dimensiunilor, dar există și excepții. Pentru solide creșterea relativă a unei dimensiuni (raportul dintre variația dimensiunii și dimensiunea inițială) este proporțională cu creșterea temperaturii. Coeficientul de proporționale se numește coeficient de dilatare termică, o mărime de obicei pozitivă, a cărei unitate de măsură este inversul unității de măsură a temperaturii.

Dilatarea termică este proprietatea materialelor metalice de a-și modifica (mări) dimensiunile la variația (creșterea) temperaturii. Este inversul contracției și se exprimă în grad^{-1} . Dilatarea liniară se exprimă cu relația: $l = l_0(1 + \alpha \Delta T)$, în care l este lungimea finală, când temperatura a crescut cu ΔT , l_0 este lungimea inițială, iar α este coeficientul de dilatare liniară. Dintre metale, cel mai mic coeficient îl are wolframul ($2,4 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), iar cel mai mare îl are cesiul ($98 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$). Aliajul metalic cu cel mai mic coeficient de dilatare (de 8 ori mai mic decât fierul) este invarul (36%Ni+64%Fe) cu $1,4 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Coeficientul de dilatare termică a aliajului din care este alcătuit scaunul de supapă, pentru un interval de temperatură între (20..80) $^\circ\text{C}$, este de $13 \cdot 10^{-6} \text{ grad}^{-1}$.

În interiorul supapei se introduce, în proporție de 60% din volumul cavității, o substanță cu punct de topire coborât (sodiu metalic, azotat de sodiu, azotat de potasiu). Acesta, la o temperatură de aproximativ 97 $^\circ\text{C}$, se topește și transmite căldura de la taler la tijă. Temperatura talerului se reduce astfel cu (80..120) $^\circ\text{C}$.

O construcție particulară o reprezintă supapa cu ecran utilizată la m.a.c. cu injecție directă, în vederea intensificării turbulenței aerului la admisie. Deoarece fabricarea acestora este substanțial mai scumpă decât a unei supape obișnuite și deoarece turbulența poate fi asigurată prin construcția adecvată a canalului de admisie, acest tip de supapă se folosește din ce în ce mai puțin.

Rezistența la rupere σ_r și rezistența de fluaj $\sigma_{0,1}$ (care corespunde deformației de 0,1% din deformația totală de fluaj) variază cu temperatura (fig.4.1) și explică, în parte, folosirea diferențiată a oțelurilor.

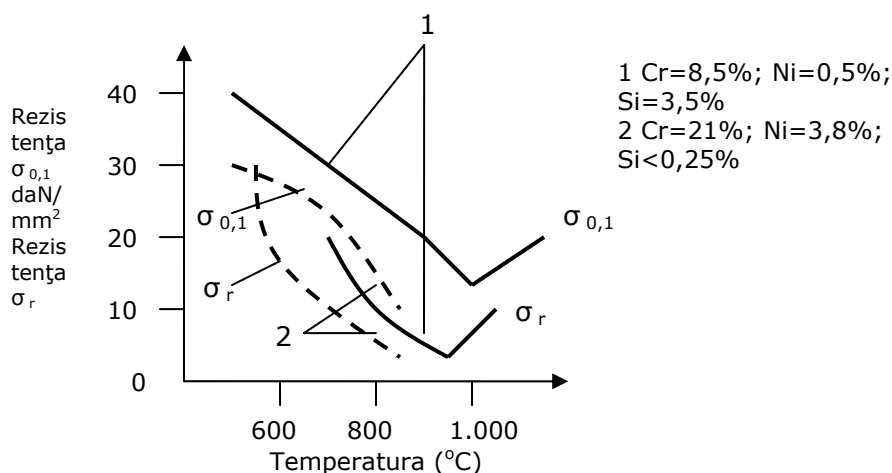


Fig 4.1 Influența temperaturii și materialului asupra proprietăților mecanice ale materialului de supapă. [S4]

La motoarele mici se utilizează adeseori același material pentru ambele supape ca și pentru tijă și taler.

La motoarele de puteri mai mari talerul se execută din oțel Cr-Si, iar tija din oțel Cr-Ni; îmbinarea se execută prin filet sau sudură. Se reduce uzura produsă de solicitarea de șoc, dacă se acoperă fața conică a supapei și capătul tijeii cu un strat protector de stelit- aliaj dur de Co (16%..70%), Cr (15%..40%), W (5%..25%), Mo (0%..10%), Ni (0%..34%), Fe (0%..5%) – de etonit, sau de nicrom (20%Cr, 77%Ni), de (1..2,5) mm grosime. Prin stelitare, durabilitatea supapei ajunge la 300.000 de km parcurși. Stelitul fiind anticorosiv se aplică uneori pe toată suprafața talerului, dar soluția este costisitoare. Tija supapei fiind expusă pericolului de gripaj se niturează sau se cromează.

Supapa de evacuare se confecționează din oțel refractar cu Cr (12%..14%), Ni (11%..15%), W (2%..4%), mărcile: S63021 (SAE J 775), 34CrNiMo6 (EN 10083-3) oțel de îmbunătățire, X45CrSi9-3 (EN 10090), X85CrMoV18-2 (EN 10090), X45CrNiW18-9 (W.No. 1.4873).

Talerul supapei de evacuare pretinde un material cu rezistență mecanică și duritate sporite la temperaturi înalte, rezistență superioară la acțiunea oxidantă a gazelor, conductibilitate termică ridicată și calități bune de alunecare.

Pentru *supapele de evacuare*, în cazul unor solicitări mari, se folosesc oțeluri Cr-Ni austenitice (12%..15% Cr, 12%..15% Ni, 2%..3,5% W), care au bune proprietăți anticorosive, și de rezistență mecanică la temperaturi ridicate.

Pentru a economisi materialele scumpe se execută supape bimetalice: se utilizează oțelul austenitic pentru talerul supapei și oțelul martensitic călibil, cu bune proprietăți de alunecare, pentru tijă. Îmbinarea se face prin sudare.

Pentru a mări rezistența la uzură a fațetei și a capătului tijeii supapei, în unele cazuri, acestea se acoperă cu un strat de oțel dur din categoria stelit, eatonit, nicrom, cu conținut ridicat de Cr, Ni, Co, W pe grosimea de (1,5..2,5) mm. Aceste materiale se caracterizează prin duritate ridicată la cald, rezistență la uzură, la coroziune și oxidare. Materialul H50 este propriu pentru acoperirea capătului tijeii având rezistența maximă la șoc și uzură.

Jocul termic variază între (0,05..0,5) mm și este mai mare la supapa de evacuare. Jocul termic reprezintă o cauză de solicitare cu șoc a pieselor și de aceea trebuie redus la strictul necesar. În plus, un joc termic sporit reduce performanța de silențiozitate a motorului. Dacă jocul termic este prea mare, se intensifică uzura prin șoc, se modifică fazele de distribuție și se amplifică zgomotul.

Densitatea reprezintă masa unității de volum a unui corp omogen, măsurată în kg/m³ (g/cm³). Pentru metale, densitatea variază cu temperatura, iar pentru aliaje, variază atât cu temperatura, cât și cu compoziția chimică. De exemplu, pentru oțeluri care conțin (0,1..1,3) %C, densitatea este:

$$\rho = 7,871 - 0,32 \cdot T - 0,025 \cdot C, \text{ unde:}$$

T este temperatura în °C, iar C este conținutul de carbon în procente de masă.

Cel mai ușor material este litiul ($\rho = 0,534 \text{ g/cm}^3$), iar cele mai grele metale sunt iridiul și osmiul ($\rho = 22,5 \text{ g/cm}^3$ respectiv $22,6 \text{ g/cm}^3$), urmate în ordine descrescătoare de Pt (21,45), Re (20,5), Au (19,32), W(19,30), V (18,7) etc.

Temperatura de fuziune este temperatura la care un metal pur trece din starea de agregare solidă în stare lichidă.

Este o constantă fizică, spre deosebire de temperatura de solidificare, care depinde de suprarăcire, fiind cu atât mai scăzută, pentru unul și același metal, cu cât viteza de răcire este mai mare. Aliajele metalice, cu excepția eutecticelor și compușilor chimici, se topesc într-un interval de temperaturi. Cel mai ușor fuzibil metal este Hg (-38,87 °C) și cel mai greu fuzibil este W (3.410 °C).

Căldura specifică este cantitatea de căldură necesară creșterii temperaturii masei de 1 kg cu 1 °C. Se măsoară în cal/g °C sau J/kg ·K.

Este dată de relația $C_p = \Delta Q / \Delta T$, în care ΔQ este cantitatea de căldură furnizată masei de 1 kg, iar ΔT este saltul de temperatură (la presiune constantă). Căldura specifică a metalelor cu greutate atomică mare este mai mică (de exemplu, uraniul are $C_p = 109,3 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$, iar litiul are $C_p = 4171,6 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$. [S4]

4.2.2 Conductivitatea termică

Conductibilitatea termică este proprietatea materialelor metalice de a conduce și transmite căldura cu ajutorul electronilor liberi (gaz electronic). Se măsoară în W/mK. Practic, este independentă de temperatură, deoarece cu creșterea temperaturii crește energia termică a electronilor liberi, dar accelerarea lor va fi frnată de creșterea dezordinei rețelei de ioni din metal, dată de creșterea amplitudinii de vibrație a ionilor. S-a constatat totuși scăderea conductivității termice cu temperatura, excepție făcând oțelurile bogat aliate cu crom, nichel și mangan.

Coeficientul de conductivitate termică este dat de relația:

$$\lambda = -dQ \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial X} \right)^{-1} \cdot \frac{1}{dS} \cdot \frac{1}{dt} \quad (4.1)$$

În care dQ este cantitatea de căldură care trece prin suprafața dS în timpul dt , la un gradient de temperatură $\partial T / \partial X$ pe direcția X de transmitere a căldurii.

Cu cât coeficientul de conductivitate termică este mai mare, cu atât transmiterea căldurii se face mai rapid.

Această transmitere nu poate fi instantanee, deoarece este frânată de căldură și densitate (cu cât produsul $C_p \cdot \gamma$ este mai mare, cu atât căldura se va transmite mai greu). Astfel, viteza de uniformizare a temperaturii într-un corp la încălzirea sau răcirea lui este dată de difuzivitatea termică:

$$a = \frac{\lambda}{C_p \cdot \gamma} [m^2/h] \quad (4.2)$$

Cea mai mică conductivitate o are bismutul și mercurul cu 0,02 cal/cm °C, iar cea mai mare o are argintul, cu 1,0 cal/cm °C, urmat în ordine descrescătoare de Cu (0,94), Al (0,53), W (0,48), Mg și Be (0,38) etc.

Căldura latentă de topire este cantitatea de căldură necesară pentru topirea masei de 1 kg, măsurată în J/kg sau cal/g. Ea este aceeași cu căldura latentă de solidificare, fiind necesară pentru distrugerea, respectiv, refacerea aspectului cristalin al metalelor (trecerea de la ordinea îndepărtată la ordinea apropiată și invers). [T3]

Cea mai mare căldură latentă de topire o are siliciul (395,6 cal/g), iar cea mai mică o are mercurul (2,8 cal/g).

4.3. Proprietăți chimice

Sunt cele care stabilesc comportarea materialelor metalice sub acțiunea agenților atmosferici, chimici, electrochimici și la temperaturi înalte. Au o mare importanță în alegerea și utilizarea materialelor metalice, în industria chimică, alimentară, medicală, nucleară și aerospațială.

Majoritatea materialelor metalice sunt instabile termodinamic față de oxigen, apă, soluții de acizi, baze și săruri. Proprietățile chimice sunt: rezistența la coroziune și refractaritatea.

Rezistența la coroziune, sau stabilitatea chimică, este proprietatea materialelor metalice de a se opune acțiunii distructive a agenților atmosferici și chimici.

În cazul în care mediul corosiv este un electrolit (mediu cu ioni disociați capabili să primească ioni de metal), coroziunea este un proces electrochimic. Aceasta se manifestă prin reducerea în greutate, modificarea structurii, compoziției chimice, dimensiunilor, culorii suprafeței și proprietăților fizice, mecanice și tehnologice ale materialelor metalice.

Practic toate materialele metalice în prezența oxigenului se oxidează, însă rezistența lor la oxidare și la coroziune depinde de calitățile peliculei de oxizi formată la suprafață. Când pelicula de oxizi este compactă, subțire și aderentă la masa metalului, aceasta izolează metalul de agentul corosiv, iar rezistența la coroziune a acestuia este mare (cazul platinei, iridiului, aurului, cuprului, argintului, wolframului, zincului, plumbului, nichelului, cromului, molibdenului, titanului etc., care în mod natural nu corodează). Fenomenul se numește pasivizarea metalelor. Când pelicula de oxizi este poroasă și neaderentă la masa materialului, aceasta permite contactul permanent dintre material și agentul chimic, iar fenomenul de coroziune continuă până la distrugerea completă a materialului, cum este cazul fierului și aliajelor obișnuite ale acestuia cu carbonul - oțelurile și fontele.

Rezistența la coroziune se apreciază prin viteza de corodare $V_{cor} = \Delta m / S \cdot t$, [g/m²s] sau prin penetrația $p = V_{cor} / \rho$, [mm/s], unde Δm este pierderea de masă; S - suprafața; t - timpul; ρ - densitatea.

Un metal are o rezistență la coroziune electrochimică în contact cu un electrolit (chiar aer atmosferic) cu atât mai mare cu cât potențialul electrochimic este mai accentuat pozitiv (îndepărtat) față de un alt metal electronegativ sau tot electropozitiv, cu care va forma macro sau micro elemente galvanice locale.

Același fenomen apare și la aliajele metalice eterogene din punct de vedere structural (polifazice) sau mecanic (ecruisate, călite, sudate) în contact cu un electrolit.

Coroziunea poate fi micșorată prin evitarea contactului metal electropozitiv - metal electronegativ (de exemplu, aluminiul lângă cupru sau oțel aliat, bronzul lângă oțel etc.), prin aliere (de exemplu, oțelurile aliate cu peste 12% Cr, (5-25)% Ni, aliate cu molibden, cupru etc., aliajele de Cu-Al, Cu-Be, Cu-Zn etc.) sau prin protecție anticorosivă: galvanizare, metalizare, placare, tratamente termochimice, vopsire, lăcuire etc.

Refractaritatea sau stabilitatea chimică la cald este proprietatea complexă a metalelor și aliajelor de a-și păstra rezistența mecanică, în special fluajul, de a nu se oxida puternic și de a nu crește inacceptabil în volum în condiții de temperaturi înalte. Pentru aceasta, este necesar ca în masa materialelor metalice să nu se producă transformări secundare care pot micșora rezistența mecanică și de asemenea pot forma pelicule subțiri continue, compacte și aderente de oxizi pe suprafața lor (cum este cazul wolframului, tantalului, molibdenului, nichelului, oțelurilor și fontelor aliate cu crom, aluminiului, siliciului, cobaltului). Aceste materiale metalice se numesc refractare sau termostabile, ele fiind caracterizate prin limită de fluaj mare și rezistență de durată la temperaturi înalte.

4.4. Proprietăți mecanice

Aceste proprietăți determină comportarea materialelor metalice la acțiunea solicitărilor mecanice statice și dinamice de întindere, compresiune, încovoiere, forfecare, răsucire, penetrare etc.

Din punctul de vedere al alegerii și utilizării materialelor metalice pentru industria construcțiilor metalice și cea constructoare de mașini, instalații, echipamente și utilaje, aceste proprietăți au rol preponderent, deoarece ele determină comportarea materialelor metalice în procesele de prelucrare și mai ales în exploatare. [T4]

Aceste proprietăți sunt: rezistența mecanică, elasticitatea, plasticitatea, tenacitatea, duritatea, ecruisarea, fragilitatea, curgerea, fluajul, reziliența, rezistența la oboseală, relaxarea plastică și revenirea elastică.

Rezistența mecanică reprezintă proprietatea materialelor metalice de a se opune deformării și ruperii sub acțiunea unor solicitări (forțe) intrne sau externe. Rezistența la rupere este cea mai importantă proprietate a materialelor mecanice, fiind definită ca tensiunea care corespunde valorii maxime a sarcinii (forței) pentru care, capacitatea de deformare se epuizează iar materialele se rup. Rezistența mecanică este dată de relația:

$$R_m = F_{max} / S_0 \text{ [MPa (daN/mm}^2\text{)]} \quad (4.3)$$

în care: F_{max} este forța maximă și S_0 – secțiunea inițială a epruvetei.

Sub acțiunea solicitărilor exterioare, în masa corpurilor metalice, iau naștere tensiuni (eforturi) care se opun deformării și ruperii.

Totalitatea acestor tensiuni care acționează pe unitatea de suprafață se numește efort unitar $\sigma = F/S$. Efortul unitar într-o suprafață a cărei normală face unghiul θ cu direcția solicitării F se va descompune în două componente: una normală $\sigma_n = \sigma \cos \theta$ și una tangențială cuprinsă în suprafață $\tau = \left(\frac{\sigma}{2}\right) \sin 2\theta$. Sub

acțiunea solicitărilor externe (forțe de tracțiune, compresiune, răsucire etc.) Sau interne (tensiuni remanente de la tratamente termice, de la deformările la rece etc.), materialele metalice se deformează și, în final, se rup. Deformațiile specifice pot fi liniare (modificarea lungimii corpurilor): $\varepsilon = \Delta L/L_i$ unde $\Delta L = L_f - L_i$ în care L_f și L_i fiind lungimile finală și inițială ale corpului) și unghiulare (modificarea unghiurilor drepte dintre diferitele elemente liniare ale corpului): $\gamma = (90 - \theta)/90$ unde θ este unghiul după deformare). Deformațiile liniare și unghiulare pot fi elastice și plastice. Comportarea unei epruvete asupra căreia acționează axial o forță statică (F) este dată de curba caracteristică tensiune-deformație, care pentru un material plastic (oțel recopt) are forma prezentată în figura 4.2.

Porțiunea Oe exprimă comportarea elastică, și este zona în care când deformația are caracter nepermanent și în care acționează legea lui Hooke: $\sigma = E \cdot \varepsilon$. Pe porțiunea de pe curba eA , deformația are caracter permanent, fiind plastică. Până la punctul r , deformația este uniformă pe secțiunea epruvetei, iar după punctul r , deformația devine neuniformă, epruveta gâtuindu-se până când se rupe în punctul A .

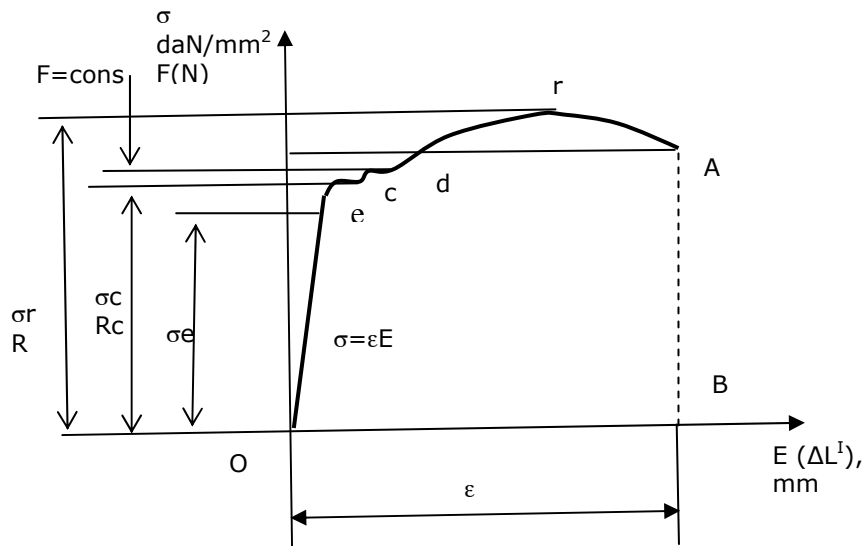


Figura 4.2 Curba caracteristică tensiune-deformație [F2]

Trecerea de la deformația elastică la cea plastică, are loc treptat pe porțiunea $e-c$, unde se produce o deformație remanentă de 0,2%, corespunzătoare

limitei de curgere. Curbele caracteristice tensiune-deformație pentru câteva materiale metalice sunt diferite și sunt date în figura 4.3.

Materialele metalice, datorită defectelor reticulare și structurale, au o rezistență la rupere reală de 102..103 ori mai mică decât rezistența teoretică. Considerând o rețea metalică cristalină ideală, în care ionii au sarcina electrică $e=5 \cdot 10^{-10}$ u.e.s. și sunt situați pe distanța $r=2 \cdot 10^{-3}$ cm, și asupra căreia acționează forță de tracțiune F , între ioni va lua naștere o forță de interacțiune care se opune ruperii: $F=e^2/r^2$. Fiecare ion ocupă o suprafață aproximativ egală cu r^2 , deci forța exercitată

de ioni pe unitatea de suprafață va fi: $\sigma_{teor} = \frac{F}{S} = \frac{e^2}{r^2} \frac{1}{r^2} \cong 10$ MPa.

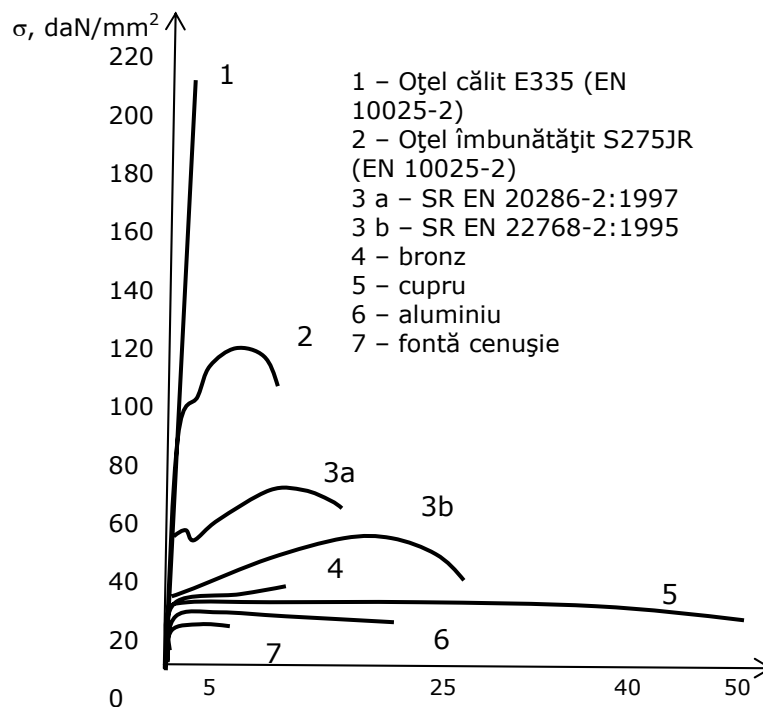


Fig 4.3 Curbe caracteristice de tracțiune [F5]

În realitate, rezistența la rupere are valori de ordinul (10..102)MPa. Diferența se explică prin faptul că, defectele reticulare și structurale determină ca nu toți atomii din secțiunea de rupere să participe și să se opună ruperii. Acest lucru este dovedit experimental. Măsurând rezistența la rupere a fibrelor metalice în a căror secțiune foarte mică sunt puține defecte, se obțin valori foarte mari ale rezistenței la rupere, comparativ cu același material, dar cu secțiune mare.

Elasticitatea este proprietatea materialelor metalice de a se deforma sub acțiunea solicitărilor inteme și externe și de a reveni la forma și dimensiunile inițiale după eliminarea solicitărilor.

Limita elastică este tensiunea corespunzătoare unei deformații specifice permanente foarte mici de (0,001..0,03)% (pentru oțeluri 0,01%). În cadrul limitei elastice, se consideră proporționalitatea dintre efort - deformație dată de legea lui Hooke $\sigma = E \cdot \varepsilon$ respectiv $\tau = G \cdot \gamma$, unde E și G sunt modulele de elasticitate longitudinal (Young) și transversal, iar ε și γ sunt deformațiile liniară (alungire),

respectiv unghiulară (lunecare) specifice. Pe lângă constantele E și G , ce caracterizează elasticitatea unui material, mai există constanta ν - coeficientul lui Poisson (de contracție transversală), dat de raportul dintre deformația în direcție transversală și cea în direcție longitudinală, legate între ele prin relația:

$$G = E / [2(1 + \nu)] \quad (4.4)$$

Pentru majoritatea materialelor metalice policristaline, $\nu = 0,33$.

Modulul de elasticitate longitudinal E caracterizează forțele de legătură interatomice, fiind o măsură a forței necesare pentru deplasarea atomilor unul în raport cu celălalt. El este puțin influențat de factorii structurali și este o măsură a rigidității materialelor metalice (proprietatea de a se opune deformațiilor elastice). Cel mai rigid metal este cesiul cu $E = 56.000 \text{ MPa}$, apoi wolframul cu $E = 42.000 \text{ MPa}$, iar cel mai puțin rigid este plumbul cu $E = 1.800 \text{ MPa}$. Aliajul dur sintetizat (94% WC și 6% Co) are $E = 70.000 \text{ MPa}$, iar oțelurile au $E = 21.000 \text{ MPa}$.

Un material metalic se apreciază din punct de vedere elastic nu numai după valoarea modulului de elasticitate ci și după capacitatea de a absorbi energie pe unitatea de volum necesară pentru a deforma elastic materialul de la tensiunea zero la limita de curgere:

$$U_e = \sigma_c \cdot \epsilon / 2 = \sigma_c^2 / (2E) \quad (4.5)$$

Anelasticitatea sau neelasticitatea este proprietatea de a prezenta abateri de la elasticitatea perfectă și este influențată de frecarea internă, fiind datorată difuziei termice, difuziei atomice, relaxării tensiunilor la limitele dintre grăunți, interacțiunii magnetice etc.

Plasticitatea este proprietatea materialelor metalice de a se deforma la volum constant fără producere de fisuri. Se caracterizează prin alungirea la rupere $A_n = \epsilon \cdot 100\%$ (ϵ - factor dimensional, care pentru epruvete de tracțiune uzuale este dat de raportul L/d și gătuirea la rupere $Z = \psi \cdot 100\%$, unde ψ este gătuirea specifică; $\psi = \Delta S / S_i = (S_f - S_i) / S_i$, (S_i și S_f - secțiunea inițială și finală a epruvetei).

În domeniul deformării plastice, până la apariția gătuirii (punctul r , Figura 4.1), curbele reale tensiune - deformație sunt date de relația:

$$\sigma = K \cdot \epsilon^n \quad (4.6)$$

în care K este coeficientul de rezistență și n - coeficientul de ecruisare. Foarte plastice sunt: plumbul, cuprul, aluminiul, aurul, argintul, nichelul, fierul, oțelul moale, alama și bronzurile monofazice etc., toate fiind materiale cristalizate în sistemul c.f.c.

Superplasticitatea unor materiale metalice este capacitatea acestora de a se deforma plastic foarte mult și uniform fără să se rupă. Aceste materiale prezintă alungiri mai mari de 2000%, deformându-se la tensiuni mici, fără a se ecruisa. Materialele superplastice prezintă sensibilitate mare la viteza de deformare. Între limita de curgere și viteza de deformare $d\epsilon/dt$ există relația:

$$\sigma_c = K(d\epsilon/dt)^m \quad (4.7)$$

în care K este o constantă, iar m este coeficientul de sensibilitate la viteza de deformare, care pentru materialele plastice este de 0,2..0,3, iar pentru cele superplastice este de 0,6..0,9.

Superplasticitatea se întâlnește la aliajele metalice care îndeplinesc una din condițiile: conțin grăunți foarte mici (sub 0,01 mm), acestea sunt superplastice la viteze mici de deformare 10^{-3} s^{-1} și la temperaturi mari (0,7..0,8).T [K]; au transformări cu difuzie în stare solidă; acestea sunt superplastice imediat sub temperatura de transformare; au transformare martensitică și sunt superplastice chiar în timpul transformării. Superplastice sunt următoarele materiale metalice:

- Zn-Al cu 22% Al, la (200...260) °C, cu (0,001...0,002) mm mărimea grăuntelui și coeficientul de sensibilitate $m = 0,5$;

- Al-Cu cu 33% Cu la (440..500) °C, cu (0,001..0,002) mm mărimea grăuntelui și $m = 0,9$;
- aliajele complexe de Al cu (1,2..1,9)% Cu; (1,9..2,6)% Mg; (5,2..6,2)% Zn; max. 0,06% Mn; max. 0,1% Si și max. 0,12%;
- aliajele de titan cu (5,6..6,5)% Al; (3,5..4,5)% V; max. 0,3% Fe; max. 0,2% O; max. 0,8% C; max. 0,05% Ni; max. 0,015% H.

Tenacitatea este proprietatea materialelor metalice de a absorbi energie prin deformare plastică, adică de a se deforma mult înainte de rupere. Implică atât rezistență mecanică, cât și plasticitate. Tenacitatea poate fi statică, fiind egală cu suprafața de sub curba tensiune-deformație (folosită puțin în practică) și dinamică, obținută prin încercarea de reziliență (încovoiere prin șoc pe epruvete cu creștătură). Materialele cu tenacitate mare sunt: cuprul, aluminiul, oțelul moale, alamele și bronzurile bifazice etc.

Fragilitatea este proprietatea materialelor metalice de a se rupe brusc sub acțiunea solicitărilor, fără a suferi în prealabil deformații plastice.

Fragilitatea este o caracteristică relativă, ea fiind funcție de temperatura la care are loc solicitarea. Astfel, sunt materialele fragile la temperatura ambiantă și plastice la temperaturi înalte (wolframul, oțelul dur, alamele și bronzurile bifazice etc). În general, sunt fragile materialele cu duritate mare și reziliență mică (fonta albă și cenușie, oțelurile călite, siluminurile etc.). Materialele fragile nu prezintă fenomenul de curgere și nici de gătuire.

Reziliența caracterizează comportarea materialelor metalice la sarcini încovoietoare dinamice (aplicate prin șoc) fiind dată de relația:

$$KCU = L/A [J/cm^2] \quad (4.8)$$

în care L este lucrul mecanic necesar ruperii dintr-o singură lovitură a unei epruvete cu creștătură în forma de U, iar A este secțiunea epruvetei în dreptul creștăturii. Dacă creștătura este sub formă de V, reziliența se notează cu KCV . Reziliența este o măsură a tenacității și fragilității materialelor metalice; o reziliență mică înseamnă material fragil, iar mare înseamnă material tenace. Prezintă importanță deosebită în special pentru materialele metalice utilizate la temperaturi ambiante și scăzute.

Curgerea plastică este proprietatea materialelor metalice de a se deforma plastic continuu sub acțiunea unei sarcini. Curgere plastică prezintă toate materialele tenace.

Fluajul, numit și curgere lentă, este proprietatea materialelor metalice de a se deforma lent, continuu și progresiv în timp, sub acțiunea unei sarcini constante. Fluajul se accentuează cu creșterea temperaturii. Limita tehnică de fluaj este tensiunea constantă maximă pentru care la temperatura de lucru (450..500) °C, după timpul t , nu se depășește o anumită deformație specifică e , iar rezistența la rupere la fluaj (rezistența de durată) este tensiunea maximă constantă care la temperaturi de peste 500 °C provoacă ruperea după un timp dat (103h..105h).

Timpul de acțiune al sarcini asupra deformării plastice are o influență neglijabilă când $T_u < 0,4T_f$ pentru metale pure și $T_u = 0,5T_f$ pentru aliaje metalice (T_u și T_f sunt temperaturile de utilizare și topire) și devine foarte important când temperatura de utilizare depășește temperatura de recristalizare ($T_u > T_{rec}$). Deformarea plastică lentă și progresivă la fluaj are loc fie prin deplasarea dislocațiilor și vacanțelor, fie prin creșterea limitelor dintre grăunți și formarea de microfisuri. Fluajul este proprietatea de bază a materialelor metalice termostabile și refractare.

Curba teoretică de fluaj $\varepsilon=f(t)$, sub sarcină constantă (1) și sub tensiune constantă (2), este dată în figura 4.4. Porțiunea AB corespunde fluajului tranzitoriu, porțiunea BC , fluajului stabilizat cu viteză de fluaj constantă, CD , fluajului accelerat.

În punctul D , are loc ruperea epruvetei prin gătuire. Forma curbei de fluaj depinde de temperatura și de sarcina sau tensiunea de încercare; cu cât acestea sunt mai mari, cu atât apare mai devreme fluajul accelerat și invers. La temperaturi scăzute $Tu < (0,4..0,5)Tf$ difuzia este neglijabilă și fluajul este numai tranzitoriu, fiind fluaj logaritmic $\varepsilon = a \cdot \lg t$. La temperaturi de utilizare mai înalte, poate avea loc fluajul tranzitoriu (nestabilizat). Acesta este exponențial $\varepsilon = \beta \cdot t^{1/3}$ și este urmat întotdeauna de fluajul stabilizat ($\varepsilon = \gamma \cdot t$) și accelerat (a , β și γ sunt constante). La temperaturi înalte, procesele sunt controlate de difuzie și fluajul este vâscos. La fluaj sub tensiune constantă (2), nu apare evident fluajul terțiar (accelerat).

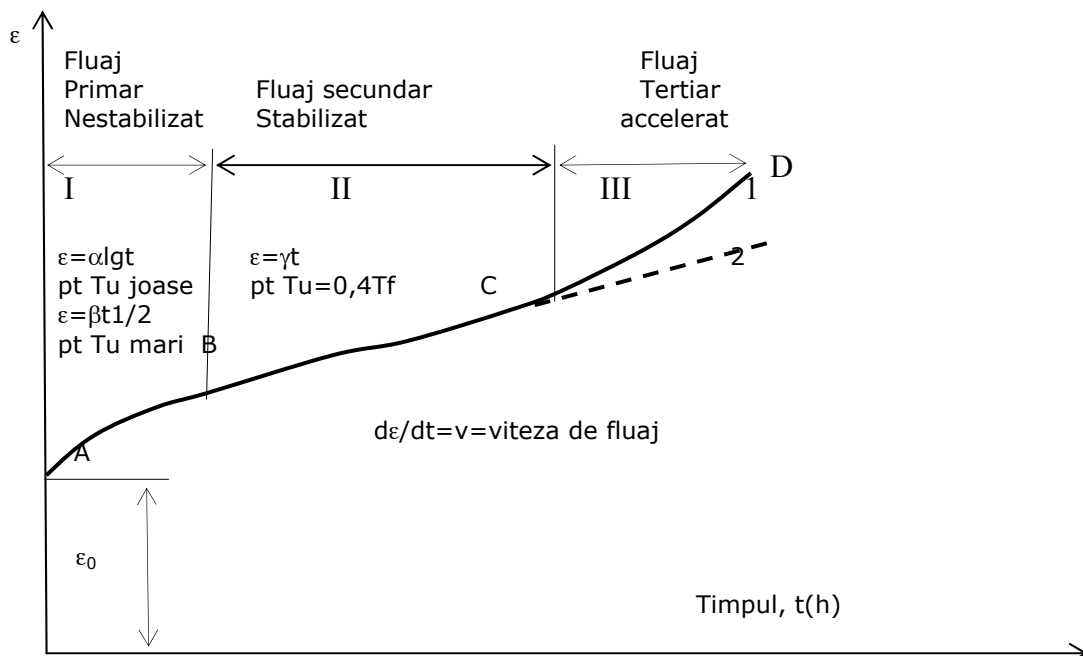


Fig 4.4 Curba teoretică la fluaj [I2]

Duritatea reprezintă rezistența opusă de materiale la pătrunderea în suprafața lor a unor corpuri mai tari și nedeformabile (penetratoare). Dă indicații despre posibilitatea materialelor metalice de a rezista la deformații superficiale și la uzare. Este proprietatea care se determină cel mai rapid și cel mai frecvent în practica industrială, evidențiind efectul tratamentelor termice, termochimice, termomecanice, mecanice etc. asupra materialelor metalice. În funcție de metodele de încercare, duritatea poate fi: Brinell (HB), Rockwell (HRC, HRB), Vickers (HV), microduritatea sau duritatea Vickers cu microsarcini MHV, Rockwell (HRC), Shore (HS), Poldi etc. Corelația între duritatea Brinell (HB), Rockwell (HRC), Shore (HS) și rezistența de rupere ($R=0,35 \cdot HB$ - pentru oțeluri și duralumin și de $R=0,7 \cdot (HB-40)$ pentru fonte) este prezentată în graficul din figura 4.4. Echivalarea microdurității Vickers în alte scări de duritate nu este admisă.

Duritatea obținută prin tratamente termice este în funcție de parametrii de tratament.

Rezistența la oboseală este proprietatea materialelor metalice de a rezista la solicitări repetate și variabile în timp (ciclice sau alternative). Se apreciază prin tensiunea maximă pe care o poate suporta materialul la un număr foarte mare (106..108) de solicitări ciclice fără a se distruge (rupe). Se determină pe curbele Wohler.

Rezistența la oboseală este puternic influențată de prezența în material a defectelor interioare (sufluri, pori, incluziuni, microrețeturi, fisuri etc.), defectelor de suprafață (rugozități, rizuri, decarburări superficiale, pori deschiși) și de concentratorii de tensiune (crestături, funduri de filet ascuțite, treceri fără racordări de la o secțiune la alta, efecte ale coroziunii etc.). Toate aceste defecte și concentratori de tensiune (eforturi) sunt surse de amorsare a fisurilor ce se dezvoltă progresiv în timp, până când secțiunea portantă scade mult și materialul se rupe brusc. Rezistența la oboseală este de asemenea influențată de factori constructivi și tehnologici (forma și mărimea piesei, modul de asamblare și calitatea suprafeței), de exploatare (felul și frecvența solicitării variabile, gradul de simetrie al ciclului, temperatura etc.) și metalurgici (natura, structura, compoziția chimică a materialului, prezența defectelor etc.).

Ecrusarea este proprietatea materialelor metalice de a-și mări rezistența mecanică și duritatea prin deformare plastică la rece.

Duritatea și rezistența la deformare (la rupere) cresc, deoarece în material, pe măsura înaintării deformării plastice la rece, posibilitățile de deformare prin alunecare și maclare se epuizează, densitatea de dislocații, inclusiv barierele care se opun deplasării dislocațiilor, crește. Prin ecrusare, fragilitatea crește. Ecrusarea se elimină prin încălzirea materialelor metalice peste pragul de recristalizare (recoacerea de recristalizare).

Relaxarea plastică este proprietatea materialelor metalice de a prezenta o scădere a tensiunilor în timp sub acțiunea unei forțe deformatoare constante.

Revenirea elastică este proprietatea materialelor metalice de a-și recupera în timp o parte din deformația permanentă rămasă după încetarea bruscă a sarcinii.

Ruperea materialelor metalice

Majoritatea proprietăților mecanice ale materialelor metalice reprezintă capacitatea acestora de a se opune ruperii și distrugerii sub acțiunea diverselor solicitări.

Ruperea reprezintă fenomenul de fragmentare a unui corp solid sub acțiunea unor tensiuni interne sau externe.

În exploatarea organelor de mașini, o importanță deosebită prezintă caracterul ruperii materialelor metalice, care, după deformarea plastică ce precede ruperea, poate fi: ductil (tenace) sau fragil (casant). Caracterul ruperii depinde de doi factori:

- *condițiile de solicitare* date de raportul dintre tensiunea tangențială și tensiunea normală τ/σ ;
- *proprietățile materialelor metalice* date de raportul dintre limita de curgere și rezistența la smulgere τ_c/ST .

Caracterizarea comportării materialelor metalice sub acțiunea solicitărilor (de încercare sau exploatare) în funcție de cei doi factori a făcut-o Friedman, trasând diagrama stării mecanice a materialelor metalice (fig. 4.5).

Dreptele înclinate caracterizează condițiile de solicitare: răsucire $\sigma = \tau$, întindere sau încovoiere pe epruvete fără crestatură $\sigma = 2\tau$, întindere sau încovoiere pe epruvete cu crestatură (condiții severe) $\sigma \geq 2\tau$. Dacă dreapta înclinată intersectează mai întâi limita la smulgere, ruperea va fi fragilă, iar dacă va intersecta mai întâi limita de curgere, ruperea se va produce prin forfecare și va fi

tenace. Astfel, când limita la smulgere ST este puțin mai mare decât limita la curgere (oțel hipoeutectoid călit la 55..60 HRC), prin solicitare la răsucire ($\sigma = \tau$), ruperea va fi tenace, iar prin solicitare la întindere sau încovoiere ($\sigma = 2\tau$) ruperea va fi fragilă. Când limita la smulgere este mult mai mare decât limita la curgere (oțelul hipoeutectoid îmbunătățit la 46..50 HRC) prin solicitări la răsucire, întindere sau încovoiere pe epruvete fără creștătură, ruperea va fi curgere (oțelul hipoeutectoid îmbunătățit la 46..50 HRC) prin solicitări la răsucire, întindere sau încovoiere pe epruvete fără creștătură, ruperea va fi tenace și numai pe epruvete cu creștătură ruperea va fi fragilă. Evitarea ruperii fragile (prin smulgere) în exploatarea organelor de mașini se realizează acționându-se asupra a două categorii de factori: constructivi, reducându-se raportul σ/τ ; metalurgici, crescându raportul ST/τ , (aliere, tratamente termice, granulație fină etc.).

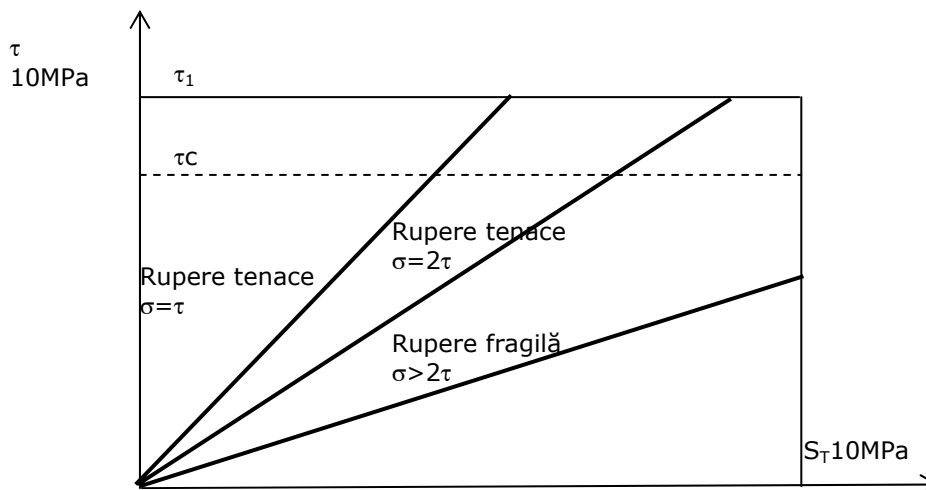


Fig 4.5 Diagrama stării mecanice (Friedman) [I3]

Caracterul ruperii ductil sau fragil pentru unul și același material metalic este în funcție de temperatură. Orice material metalic prezintă o temperatură de tranziție ductil-fragil, care este cu atât mai scăzută cu cât limita de smulgere este mai mare. Temperatura de tranziție ductil-fragil constituie o măsură a gradului de tenacitate sau fragilitate a unui material; cu cât această temperatură este mai scăzută cu atât materialul metalic respectiv este mai tenace și invers.

În afară de temperatură, tranziția ductil-fragil depinde de natura, compoziția și structura materialului metalic, de starea de tensiune, de viteza solicitării, geometria corpului, mediul de lucru. Dintre acești factori, o influență deosebită prezintă mărimea grăuntelui care frânează sau accelerează propagarea fisurilor; cu cât grăunții sunt mai mici, cu atât limitele dintre ei sunt mai numeroase, iar fisurile se propagă mai greu, deci materialul va fi mai tenace. Alierea și tratamentele termice, de asemenea, influențează tranziția ductil-fragil. În exploatare, trebuie evitată ruperea fragilă, care, nefiind precedată de deformații mari (neanunțată), se produce brusc și este catastrofală, scoțând din funcțiune, de obicei, întreg ansamblul în care se află organul de mașină rupt. Curba de tranziție ductil-fragil, determinată, pe epruvete de reziliență în coordonate energie de rupere-temperatură, pentru un oțel cu 0,18% C » 0,56% Mn și 0,07% Si este prezentată în figura 4.6.

Temperatura de tranziție ductil-fragil nu este o constantă; în realitate, tranziția are loc într-un interval de temperaturi cuprins între T_{100} (temperatura la care ruperea este 100% fragilă) și T_{50} (temperatura la care ruperea este 50% ductilă și 50% fragilă).

Trecerea de la ruperea ductilă la cea fragilă poate fi apreciată și după cantitatea procentuală a suprafeței fibroase în casura epruvetei de reziliență, care este 0% pentru T_{100} și circa 30% pentru T_{50} sau după contracția laterală la baza creștăturii epruvetei de reziliență.

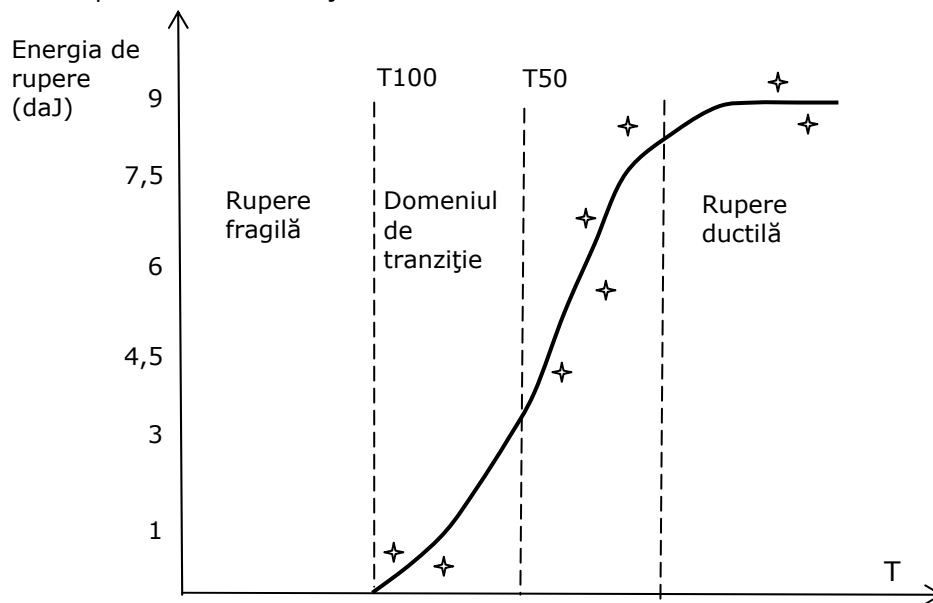


Fig 4.6 Curba de tranziție ductil-fragil [14]

Ruperile se clasifică după mai multe criterii:

- după *tensiunea care produce ruperea*, sunt ruperi prin forfecare, produse de tensiuni tangențiale mari (τ) și ruperi prin clivaj, produse de tensiuni normale mari ($\pm\sigma$);
- după *aspectul casurii*, sunt ruperi cu aspect fibros, în cazul ruperii ductile; ruperi cu aspect grăunțos, cazul ruperii fragile și cu aspect de oboseală. Casurile rezultate prin oboseală sunt caracterizate prin prezența a două zone, una netedă lucioasă de propagare a fisurii în timp și una grăunțoasă de rupere hruscă;
- după *deformarea plastică ce precede ruperea*, sunt ruperi tenace, (ductile) produse prin forfecare (cu casură fibroasă) și fragile (casante) produse prin smulgere (cu casură grăunțoasă strălucitoare);
- după *propagarea fisurii* sunt ruperi intracristaline (tenace) și intercristaline (fragile).

Ruperea prin forfecare are un aspect mat, fibros, este transcristalină și întotdeauna ductilă. Ruperea prin smulgere nu este precedată de deformații vizibile, se produce brusc prin clivaj, după un plan normal pe direcția solicitării.

4.5. Proprietăți tehnologice

Aceste proprietăți se referă la capacitatea de prelucrare și modul de comportare a materialelor metalice la diferite procese tehnologice de fabricație la rece sau la cald, cum sunt: deformarea plastică, tumarea, aşchiera, sudarea, călirea etc. Cele mai importante proprietăți tehnologice sunt: deformabilitatea plastică, tumabilitatea, sudabilitatea, aşchiabilitatea, susceptibilitatea la supraîncălzire și susceptibilitatea la deformare și fisurare.

Deformabilitatea plastică este proprietatea materialelor metalice de a-și modifica ușor și remanent forma și dimensiunile la volum constant fără a se fisura sub acțiunea solicitărilor exterioare la rece și la cald. Se caracterizează prin: maleabilitate, ductilitate și forjabilitate.

Maleabilitatea este însușirea materialelor metalice de a putea fi ușor transformate în foi subțiri; depinde de rețeaua cristalină, prezența impurităților, a elementelor de aliere etc. Se apreciază după valoarea alungirii specifice. Foarte maleabile sunt: staniul, aurul, aluminiul, cuprul, plumbul, argintul, alama, oțelul moale etc.

Ductilitatea este însușirea materialelor metalice de a putea fi ușor trase în fire și este condiționată de coexistența tenacității și a maleabilității (oțelul călit este tenace, dar nu este maleabil și nici ductil, staniul și plumbul sunt foarte maleabile, dar nu sunt tenace și nici ductile). Atât maleabilitatea cât și ductilitatea sunt proprietăți intrinseci ale materialelor metalice strâns corelate cu proprietățile mecanice ale acestora.

Forjabilitatea este proprietatea materialelor metalice de a se deforma plastic cu ușurință prin lovire sau presare la temperaturi cât mai scăzute, fără a se rupe. La oțeluri, forjabilitatea depinde de conținutul de carburi și de incluzini. Cu cât acestea sunt în cantități mai mari, cu atât forjabilitatea este mai redusă. Se determină prin refulare, operații de lățire, alungire și găurire sau lărgire cu domul și prin refulare.

Deformabilitatea la cald $T_{def} > T_{rec}$ este superioară celei la rece (cu excepția alamelor monofazice), deoarece limita de curgere a materialelor metalice scade cu creșterea temperaturii. Pentru a se evita ruperea, în cazul majorității materialelor metalice, în timpul deformării plastice, acestea se supun în prealabil unor tratamente de recoacere.

Turnabilitatea este proprietatea complexă a materialelor metalice de a se putea tuma și solidifica în forme. Cuprinde caracteristicile: fluiditate, contracție și segregare.

Fluiditatea este capacitatea materialelor metalice topite de a umple cât mai bine forma de tumare. Depinde de compoziția chimică a materialului și de temperatura de turnare.

Contracția este însușirea materialelor metalice (cu excepția galiului și bismutului) de a-și micșora volumul la solidificare și la răcirea ulterioară.

Contracția influențează starea de tensiuni după solidificare și răcire, putând duce la deformare și chiar la fisurare.

Contracția de solidificare este cauza formării retasurilor. Ea depinde de temperatura de tumare, de viteza de răcire și de compoziția chimică a materialelor metalice.

Tendința de segregare reprezintă tendința impurităților sau elementelor de aliere de a se aglomera în anumite părți ale materialelor metalice. Segregația poate fi macroscopică (directă sau indirectă, superioară sau inferioară) și microscopică (dendritică sau intracristalină și intercristalină).

Fiecare element de aliere sau impuritate are un anumit coeficient de segregare, care, cu cât este mai mic, cu atât mai mult elementul respectiv se va aglomera mai puternic ($C = 0,95$; $Al = 0,92$; $Ni = 0,8$; $Cu = 0,56$ etc.),

Sudabilitatea este aptitudinea materialelor metalice de a se îmbina nedemontabil prin încălzire locală până la stare plastică sau topită, cu sau fără adaos de alte materiale și cu sau fără presiune mecanică.

Sudabilitatea comportă două aspecte: comportarea la sudare (posibilitatea obținerii de îmbinări sudate fără defecte) și siguranța sudurii în exploatare (capacitatea unui material care a fost sudat de a-și păstra caracteristicile tehnice în prezența unor eforturi).

Sudabilitatea este influențată de compoziția chimică, de plasticitatea, de conductibilitatea termică a materialelor, de viteza de răcire după sudare, de soluțiile constructive adoptate etc. După calificativ, sudabilitatea poate fi: bună necondiționată, bună condiționată, posibilă și necorespunzătoare, cum rezultă din figura 4.7 și este în funcție de conținutul de carbon echivalent ($C_e = C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Cu+Ni)/5 + (Cu+Ni)/15$ sau $C_e = C + (Mn+Si)/4$) și de grosimea oțelului.

Comportarea bună la sudare a unor materiale se realizează prin preîncălziri sau tratamente termice preliminare, iar siguranța în exploatare a unor cusături sudate se asigură prin tratamente termice ulterioare sudării.

Așchiabilitatea este capacitatea materialelor metalice de a putea fi prelucrate prin așchiere, cu consum cât mai redus de scule și energie.

Normele ISO - DIN 3685 apreciază și definesc așchiabilitatea prin indicatorul de prelucratibilitate a unui material, care este considerat ca fiind viteza de așchiere corespunzătoare unei durabilități de 60 min. a sculei așchietoare folosite. [N4]

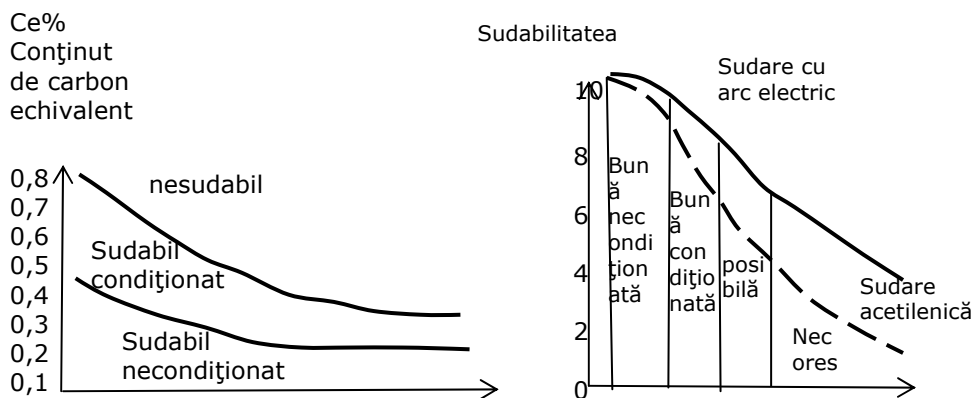


Fig 4.7 Grade de sudabilitate în funcție de conținutul de carbon și de grosimea materialului

Așchiabilitatea este o proprietate complexă. Un material este cu atât mai prelucrabil prin așchiere, cu cât: durabilitatea sculei este mai mare, timpul de așchiere a aceleiași cantități de așchii mai mic, calitatea suprafeței mai bună, solicitarea mecanică și energetică a mașinii-unelte mai mică, precizia de prelucrare mai mare și așchiile cu formă cât mai convenabilă.

Așchiabilitatea j depinde de: natura și tratamentul materialului de prelucrat, de tipul și materialul sculei așchietoare, de condițiile de așchiere (degroșare, finisare, strunjire, frezare, rabotare, alezare etc.), de tipul mașinii-unelte și natura lichidului de răcire.

Călibilitatea este proprietatea materialelor metalice (în special a oțelurilor și fontelor) de a realiza o duritate minimă pe o adâncime mai mare sau mai mică: ea caracterizează adâncimea de pătrundere a călirii. Depinde de compoziția chimică, de temperatura de încălzire în vederea călirii, de mărimea grăuntelui, de prezența unor faze insolubile în soluția solidă omogenă care se va transforma în martensită, de viteza de răcire etc. Se apreciază prin viteza critică de călire, prin indicele de călibilitate sau prin diametrul critic de călire (diametrul maxim al unei probe cilindrice călite integral). În mod curent, călibilitatea unui material metalic se determină prin metoda călirii frontale (Jominy). Călibilitatea se deosebește de capacitatea de călire care reprezintă însușirea materialelor metalice de a se durifica prin încălzire și răcire bruscă, (călire). Aceasta din urmă este dată de duritatea maximă obținută după călire.

Susceptibilitatea la supraîncălzire este proprietatea materialelor de a-și crește granulația prin încălzire. Pentru oțeluri, este exprimată prin granulația austenitică formată în condiții concrete de austenitizare. Oțelurile aliate cu elemente care se opun creșterii grăunților de austenită (cromul, wolframul, molibdenul, vanadiul, niobiul, titanul, tantalul), precum și cele care au un grăunte ereditar fin prezintă susceptibilitate scăzută la supraîncălzire.

Susceptibilitatea la deformare și fisurare se manifestă în special în timpul încălzirii și răcirii materialelor metalice pentru tratamente termice și este cauzată de acțiunea tensiunilor interne de natură termică și structurală. Oțelurile, cu cât au conținutul de carbon și elemente de aliere mai mare, cu atât mai mare este susceptibilitatea la deformare și în special la fisurare.

4.6. Proprietăți de exploatare

Acestea descriu comportarea materialelor metalice în timpul exploatării organelor de mașini, a elementelor metalice și a sculelor. Aceste proprietăți sunt rezistența la uzare, fiabilitatea organelor de mașini, durabilitatea sculelor și designul.

Rezistența la uzare este proprietatea materialelor metalice de a rezista la acțiunea de distrugere prin frecare sau eroziune a suprafețelor acestora exprimată în unități absolute de masă, volum, lungime sau relative: intensitatea uzurii, [mg/km] sau viteza uzurii, [mg/h].

Uzura organelor de mașini aflate în contact și în mișcare relativă poate fi: mecanică (contact direct metel-metal); abrazivă (prezența unor particule abrazive între suprafețele de contact); de aderență sau prin gripare (determinată de viteze și presiuni de contact mari) și corosivă.

Rezistența la uzare crește o dată cu: creșterea durității, creșterea calității suprafeței, îmbunătățirea condițiilor de ungere, micșorarea vitezei mișcării relative și a presiunii de contact etc. Rezistența la uzare a materialelor metalice depinde de: compoziția chimică, structura metalografică, calitatea suprafețelor, duritate, viteza relativă, presiunea de contact, calitatea ungerii, condițiile de exploatare (temperatura, mediul de lucru etc.).

Rezistența la uzare se poate îmbunătăți prin aliere cu elemente care să formeze constituenți eterogeni cu duritate mare, prin tratamente termice, termochimice, termomecanice, acoperiri superficiale etc.

Rezistența relativă la uzare este dată de raportul dintre uzura materialului metalic considerat și uzura aliajului etalon Sn-Pb-Sb (Babitt). Uzură aderentă minimă prezintă cuplele de frecare cu materialele antagoniste care nu formează soluții solide, compuși intermetalici și sunt practic insolubile reciproc: Fe-Pb; Fe-Sn; Al-Sn; Cu-Pb; Cr-Cu; Cr-Sn; oțel-bronz; oțel-Cu; oțel aliat - aliaj antifricțiune fontă-oțel; fontă-fontă; fontă-bronz etc. Nu corespund: Fe-Cu; Fe-Cr; Cu-Al; oțel-Al; oțel-oțel. Oțelurile supuse la uzare trebuie să aibă structura cât mai fină și eterogenă formată din perlită, martensită, bainită, troostită, sorbita; nu se admit straturile feritice, austenitice sau cu exces de cementită globulară sau în rețea. Cantitățile mici de austenită reziduală, pe lângă martensită sau bainită în oțelurile călite au întotdeauna un efect pozitiv asupra rezistenței la uzare.

În funcție de condițiile de exploatare ale organelor de mașini, uzura mecanică și abrazivă poate fi: hidroabrazivă, gazoabrazivă, erozivă, de oboseală și de cavitație. Frecvent, se întâlnește uzura prin oboseală sau uzura Pitting (ciupire) la cuplele de frecare cu contact liniar sau punctiform (rulmenți, roți dințate etc.).

Aceasta este puternic influențată de tensiunile interne produse la prelucrarea mecanică sau termică a suprafețelor, de gradul de finisare a suprafețelor, viteza relativă, temperatura de lucru, prezența și calitatea ungerii etc.

Indiferent de natura uzurii, ea evoluează în timp după o curbă cu trei pante distincte: $tg\alpha \neq Km$ perioada de rodaj sau de uzură inițială (I); $tg\alpha = K$ în perioada funcționării normale sau de uzură normală (II) și $tg\alpha \neq K$ în perioada critică sau de uzură finală, distructivă (III), conform figurii 4.8.

Alegerea și utilizarea unui material corespunzător din punctul de vedere al rezistenței la un anumit timp de uzare este o problemă economică complexă, care va ține seama de importanța piesei, de condițiile concrete de exploatare, de posibilitățile de îmbunătățire a rezistenței la uzare prin tratamente termice, termochimice, ecruisare, metalizare, scânteiere etc.

Fiabilitatea organelor de mașini și a sistemelor. Produsele (organele de mașini și sistemele) trebuie să satisfacă din punct de vedere calitativ atât proiectantul și executantul, cât și beneficiarul. Calitatea produselor (ansamblul caracteristicilor care fac ca un produs să corespundă scopului funcțional) trebuie să respecte criteriile generale ale proiectării: funcționalitate, fiabilitate, posibilitate de execuție și întreținere, obținerea unor indicatori tehnico-economici superiori, estetica și comoditatea exploatării. Dintre aceste criterii, fiabilitatea sau siguranța în exploatare are un rol determinant în proiectarea și realizarea produselor.

Fiabilitatea reprezintă totalitatea însușirilor care asigură buna funcționare a unui produs (organ de mașină, mecanism, mașină, echipament, instalație etc.) în conformitate cu normele prescrise, chiar dincolo de termenul de garanție. Ea este asigurată în bună parte de calitatea materialelor metalice.

În prezent, conceptul de siguranță absolută în exploatare (durată infinită) este depășit, cauzele fiind legate de supradimensionare, consumul mare de materiale și energie, uzura morală rapidă etc. Proiectarea actuală, pe baze probabilistice, trebuie să asigure funcționarea fără defecte o durată de timp impusă corelată cu uzura morală a produsului.

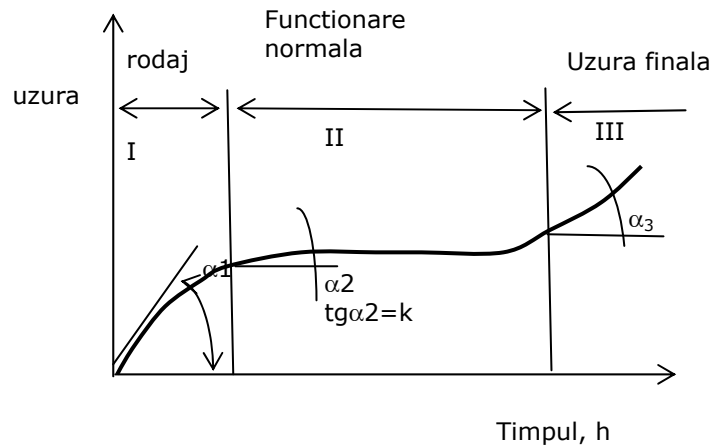


Fig 4.8 Evoluția uzurii [T2]

Fiabilitatea este corelată și definită de următoarele noțiuni:

- *defectarea*, adică încetarea aptitudinii unui produs de a-și îndeplini funcția
- *rata de defectare*, adică raportul dintre numărul total de defectări din eșantion (număr de produse luate în calcul) și durata cumulată pe eșantion
- *timpul mediu până la defectare*, care este inversul ratei de defectare într-o perioadă dată
- *timpul mediu între defectări*, adică valoarea medie a timpilor între două defectări consecutive, calculată ca fiind raportul dintre durata cumulată și numărul de defectări din eșantion în condiții date pentru o perioadă dată
- *durata medie de viață*, adică valoarea medie a timpilor până la defectare pentru toate produsele unui eșantion în condiții date.

Fiabilitatea depinde de: condițiile de lucru, continuitatea ciclului de funcționare și durata de funcționare.

Exprimarea cantitativă a fiabilității (R) se face printr-un număr cuprins între zero și unu.

Fiabilitatea se poate exprima în funcție de rata de defectare A., dacă după h mai funcționează corect și precis încă n produse, iar în timpul dt se mai defectează dn produse:

Pe durata de funcționare a unui produs, defectările care au cauze distincte sunt situate diferit în timp, pe perioade: perioada defectărilor timpurii - I (10...300 h); perioada defectărilor cu rată constantă - II și perioada defectărilor târzii - III. Aceste perioade sunt evidențiate pe curbele de evoluție a ratei defectărilor în timp.

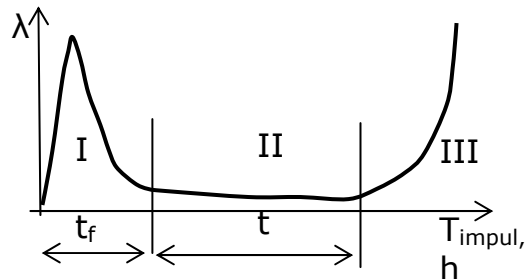


Fig 4.9 Evoluția ratei defectărilor în timp [T2]

Defectele din perioada I, care evoluează după o curbă lognormală, evidențiază starea tehnică necorespunzătoare a produsului (materiale, execuție și montaj de slabă calitate). Perioada a II-a corespunde perioadei de exploatare, indică o rată a defectărilor mică și constantă în timp când fiabilitatea este o funcție exponențială de timp ($R = e^{-\lambda t}$), iar dacă $\lambda t \ll 1$, atunci fiabilitatea devine funcție liniară de timp ($R = 1 - \lambda t$). În această perioadă, eventualele defecte se produc brusc și se datorează unor accidente, iar repartiția defectărilor are loc după o curbă exponențială descrescătoare. Perioada defectărilor târzii -III începe cu primele defecte datorate uzurii și oboselii, care evoluează în timp după o curbă similară cu distribuția Weibull. Reparațiile curente și preventive pot prelungi perioada a II-a.

Considerându-se un eșantion dintr-un lot omogen de produse supuse experimental exploatarea de durată într-un regim dat, frecvența defectărilor va fi mare inițial, iar în timp ea va scădea după curba 1 din figura 4.10.

Probabilitatea de defectare a unui produs, eșantion este cu atât mai mare cu cât timpul de exploatare crește, ea variază, în timp, după curba 2 din figura 4.10, fiind zero inițial și tinzând spre unu în final. Probabilitatea de funcționare corectă (nedefectare), curba 3 din figura 4.10, se obține scăzându-se din unitate în orice moment valorile curbei 2: ea reprezintă însăși fiabilitatea, care este maximă la începutul exploatarea și scade asimptotic spre zero în timp.

Raportând valorile curbelor 1 și 3, se obține curba procentajului defectărilor, curba 4 din figura 4.10. Inițial, procentul defectărilor este mare (datorită calității necorespunzătoare a materialelor metalice, nerespectării procesului tehnologic proiectat etc.), apoi după înlocuirea pieselor defecte, procentul de defectări scade, stabilizându-se la un minimum timp îndelungat, ca, în final, datorită îmbătrânirii, oboselii materialelor metalice, uzurii pieselor, să crească vertiginos.

Fiabilitatea se mai poate exprima prin probabilitatea de a nu apărea defectări în exploatarea produsului un anumit timp (1.000 h sau 10.000 h de funcționare) sau prin durata de funcționare fără defectări la performanțele impuse și chiar prin timpul mediu între două defectări.

Fiabilitatea înaltă a sistemelor tehnice, la ora actuală, se realizează, în principal, prin asigurarea fiabilității cât mai mari a fiecărui element component (peste 99,999%), lucru posibil prin: reducerea la maximum a numărului de elemente componente; prin rezervare (existența unor rezerve de părți din sistem care să înlocuiască pe cele avariate) și prin rezonanță (existența unor părți de sistem în multiple exemplare a căror defectare să nu întrerupă funcționarea sistemului, ci doar solicitarea mai intensă a celor rămase).

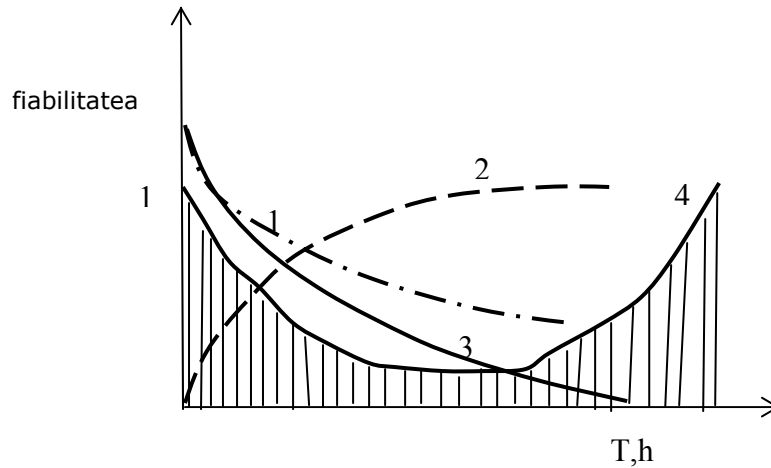


Fig 4.10 Probabilitatea de defectare a unui produs [N4]

Îmbunătățirea calității și, în special, a fiabilității produselor se realizează numai prin aplicarea unor măsuri riguroase în toate etapele procesului de producție, de la proiectare până la vânzare.

Durabilitatea se referă la durata de viață a sculelor prelucrătoare, definită ca fiind timpul de lucru efectiv între două recondiționări (ascuțiri) succesive ale unei scule. Ca și fiabilitatea, durabilitatea este o caracteristică de exploatare complexă care depinde de: natura materialului sculei, natura materialului de prelucrat, tratamentele termice și termochimice aplicate sculelor, condițiile concrete de lucru etc. Se apreciază prin diverse criterii: al uzurii critice a sculelor, al forțelor de prelucrare, consumului energetic, cantitatea de piese prelucrate etc. Frecvent, se folosește criteriul uzurii critice, când durabilitatea se exprimă în minute scurse până la apariția uzurii catastrofale și scoaterea din uz a sculei.

Designul produselor reprezintă totalitatea însușirilor estetice care fac produsul plăcut și pasibil de a fi încadrat perfect ambiental. Are importanță deosebită în special pentru produsele destinate consumului (automobile, vehicule, aparatură de uz casnic, aparatură electronică audio-video etc.). Stă la baza uzurii morale a produselor și este determinat de linia modei la un moment dat. Are o importanță foarte mare din punct de vedere economic .

4.7. Concluzii preliminare

Concluziile care se desprind din capitolul al patrulea sunt:

- o Solicitățile mecanice și temperaturile ridicate înrăutățesc proprietățile materialului supapei, provoacă deformarea talerului și, deci, așezarea neetansă pe locașul său, precum și deformarea tijei, favorizând griparea acestuia. Acțiunea gazelor de ardere provoacă

corosiunea supapei datorită prezenței substanțelor agresive în compoziția acestora

- Având în vedere condițiile de lucru, față de materialele pentru construcția supapei și a scaunului de supapă se impun următoarele cerințe: rezistență mecanică ridicată, care să se mențină și la temperaturi înalte; rigiditate mare; duritate mare a suprafeței de etanșare și a suprafeței de acționare a supapei; rezistență la oxidare și coroziune; coeficient redus de dilatare; bună conductibilitate termică
- Dilatarea termică este proprietatea fizică a scaunului de supapă cu importanță deosebită în funcționarea sistemului de distribuție
- Coeficientul de dilatare termică a aliajului din care este alcătuit scaunul de supapă, original, al motorului M511 pentru un interval de temperatură între 20 °C..80°C, este de $13 \times 10^{-6} \text{grad}^{-1}$
- Jocul termic reprezintă o cauză de solicitare cu șoc a pieselor și de aceea trebuie redus la strictul necesar. În plus, un joc termic sporit reduce performanța de silențiozitate a motorului. Dacă jocul termic este prea mare, se intensifică uzarea prin șoc, se modifică fazele de distribuție și se amplifică zgomotul
- Majoritatea materialelor metalice sunt instabile termodinamic față de oxigen, apă, soluții de acizi, baze și săruri. Proprietățile chimice sunt: rezistența la coroziune și refractaritatea. Coroziunea este un proces electrochimic. Aceasta se manifestă prin reducerea în greutate, modificarea structurii, compoziției chimice, dimensiunilor, culorii suprafeței și proprietăților fizice, mecanice și tehnologice ale materialelor metalice
- Stabilitatea chimică la cald este proprietatea complexă a metalelor și aliajelor de a-și păstra rezistența mecanică, în special fluajul, de a nu se oxida puternic și de a nu crește inacceptabil în volum în condiții de temperaturi înalte. Aceste materiale metalice se numesc refractare sau termostabile, ele fiind caracterizate prin limită de fluaj mare și rezistență de durată la temperaturi înalte
- Rezistența la rupere este cea mai importantă proprietate a materialelor mecanice, fiind definită ca tensiunea care corespunde valorii maxime a sarcinii (forței) pentru care, capacitatea de deformare se epuizează iar materialele se rup. Rezistența la rupere are valori de ordinul (10...102)MPa
- Un material metalic se apreciază din punct de vedere elastic nu numai după valoarea modulului de elasticitate ci și după capacitatea de a absorbi energie pe unitatea de volum necesară pentru a deforma elastic materialul de la tensiunea zero la limita de curgere
- Plasticitatea este proprietatea materialelor metalice de a se deforma la volum constant fără producere de fisuri
- Tenacitatea este proprietatea materialelor metalice de a absorbi energie prin deformare plastică, adică de a se deforma mult înainte de rupere. Implică atât rezistență mecanică, cât și plasticitate
- Proprietatea materialelor metalice de a se rupe brusc sub acțiunea solicitărilor, fără a suferi în prealabil deformații plastice este fragilitatea, o caracteristică relativă, ea fiind funcție de temperatura la care are loc solicitarea

- Limita tehnică de fluaj este tensiunea constantă maximă pentru care la temperatura de lucru (450...500)°C, după timpul t , nu se depășește o anumită deformație specifică e , iar rezistența la rupere la fluaj (rezistența de durată) este tensiunea maximă constantă care la temperaturi de peste 500°C provoacă ruperea după un timp dat(103h..105h)
- Duritatea reprezintă rezistența opusă de materiale la pătrunderea în suprafața lor a unor corpuri mai tari și nedeformabile (penetratoare). Dă indicații despre posibilitatea materialelor metalice de a rezista la deformații superficiale și la uzare. Este proprietatea care se determină cel mai rapid și cel mai frecvent în practica industrială, evidențiind efectul tratamentelor termice, termochimice, termomecanice, mecanice
- Rezistența la oboseală este proprietatea materialelor metalice de a rezista la solicitări repetate și variabile în timp (ciclice sau alternative). Se apreciază prin tensiunea maximă pe care o poate suporta materialul la un număr foarte mare (106...108) de solicitări ciclice fără a se distruge (rupe). Se determină pe curbele Wohler. Este puternic influențată de prezența în material a defectelor interioare (sufluri, pori, incluziuni, fisuri etc.), defectelor de suprafață (rugozități, rizuri, decarburări superficiale, pori deschiși) și de concentratorii de tensiune (crestături, funduri de filet ascuțite, treceri fără racordări de la o secțiune la alta, efecte ale coroziunii etc.). Toate aceste defecte și concentratori de tensiune (eforturi) sunt surse de amorsare a fisurilor ce se dezvoltă progresiv în timp
- Caracterul ruperii ductil sau fragil pentru unul și același material metalic este în funcție de temperatură, de natura, compoziția și structura materialului, de starea de tensiune, de viteza solicitării, geometria corpului, mediul de lucru
- Rezistența la uzare a materialelor metalice depinde de: compoziția chimică, structura metalografică, calitatea suprafețelor, duritate, viteza relativă, presiunea de contact, calitatea ungerii, condițiile de exploatare (temperatura, mediul de lucru etc.), se poate îmbunătăți prin aliere cu elemente care să formeze constituenți eterogeni cu duritate mare, prin tratamente termice, termochimice, termomecanice, acoperiri superficiale
- Produsele (organele de mașini și sistemele) trebuie să satisfacă din punct de vedere calitativ atât proiectantul și executantul, cât și beneficiarul. Fiabilitatea reprezintă totalitatea însușirilor care asigură buna funcționare a unui produs (organ de mașină, mecanism, mașină, echipament, instalație etc.) în conformitate cu normele prescrise, chiar dincolo de termenul de garanție. Fiabilitatea înaltă a sistemelor tehnice, la ora actuală, se realizează, în principal, prin asigurarea fiabilității cât mai mari a fiecărui element component (peste 99,999%), lucru posibil prin: reducerea la maximum a numărului de elemente componente; prin rezervare (existența unor rezerve de părți din sistem care să înlocuiască pe cele avariate) și prin rezonanță (existența unor părți de sistem în multiple exemplare a căror defectare să nu întrerupă funcționarea sistemului, ci doar solicitarea mai intensă a celor rămase). Îmbunătățirea calității și, în special, a fiabilității produselor se realizează numai prin aplicarea

unor măsuri riguroase în toate etapele procesului de producție, de la proiectare până la vânzare

- Proprietățile fizice și tehnologice ale materialelor din care sunt confecționate supapele și scaunele de supapă sunt în directă interdependență cu solicitările termice, mecanice, dinamice și condițiile de lucru ale supapei și scaunului de supapă
- Caracteristicile fizice, mecanice, tehnologice și chimice ale materialelor din care se confecționează supapa și scaunul supapei în concordanță cu proprietățile de exploatare ale acestora pot fi proiectate prin alegerea elementelor de aliere din rețeta propusă pentru realizarea scaunelor de supapă, prin morfologia pulberilor, prin modalitatea de sinterizare, precum și prin tratamentele termice aplicate

În capitolul patru al lucrării se pot evidenția următoarele contribuții personale:

- Sistematizarea cunoștințelor și materialelor existente referitoare la proprietățile de exploatare a materialelor pentru supape și scaune de supapă
- Studiul critic al proprietăților fizice, mecanice și tehnologice în vederea proiectării unui material fiabil pentru fabricarea scaunelor de supapă

BIBLIOGRAFIE

[S3], [S4], [T3], [T4], [F2], [F5], [I2], [I3], [I4], [N4], [T2], [C8], [H3], [H4], [N7], [N8], [P1], [V3]

5. Cercetări experimentale privind fabricarea și caracterizarea scaunelor de supapă sinterizate

5.1. Cercetări experimentale privind fabricarea prin sinterizare a scaunelor de supapă

5.1.1. Considerații generale

Industria constructoare de mașini necesită cantități mari de piese de dimensiuni mici și forme complexe, a căror realizare prin turnare nu este rentabilă. Metalurgia pulberilor oferă posibilitatea producerii economice a acestora. Principalele avantaje oferite de piesele sinterizate constau în rezistențele mecanice și la uzuri înalte și nu în ultimul rând, scăderea costurilor subansamblurilor în care sunt introduse.

Dezvoltarea tehnologiilor pentru materiale constituie tematica cercetărilor intense și a descoperirilor tehnice din ultimii ani și a preocupărilor în viitor pe plan internațional. În cazul scaunelor pentru supapă condițiile de lucru specifice, prezentate în detaliu în capitolele precedente, impun utilizarea unor materiale speciale termorezistente și anticorrosive, a căror caracteristici le conferă capacitatea asigurării mai multor cerințe funcționale dintre care cele mai relevante sunt:

- rezistență la solicitări dinamice la temperaturi ridicate
- rezistență mecanică sub sarcină constantă
- stabilitatea termică
- coeficient redus de dilatare
- conductibilitate termică ridicată

Literatura de specialitate oferă date relevante privind efectul principalelor elementelor de aliere asupra caracteristicilor tehnologice și de exploatare ale aliajelor metalice. În cazul oțelurilor o imagine sugestivă a influenței acestor elemente chimice este prezentată în tabelul 5.1 .

5.1.Cercetări experimentale privind fabricarea prin sinterizare a scaunelor de supapă ...117

Tabel 5.1 Influența elementelor de aliere asupra caracteristicilor oțelurilor

	P	S	Cu	Mo	Co	V	W	Al	Ni a	Ni p	Cr	Mn a	Mn p	Si		
Duritate	↑	-	↑	↑	↑	↑	↑	-	↓↓	↑	↑↑	↓↓	↑	↑		
Rezistență	↑	-	↑	↑	↑	↑	↑	-	↑	↑	↑↑	↑	↑	↑		
Limita de curgere	↑	-	↑↑	↑	↑	↑	↑	-	↓	↑	↑↑	↓	↑	↑↑		
Alungire	↓	↓	~	↓	↓	~	↓		↑↑ ↑	~	↓	↑↑ ↑	~	↓		
Coeficientul de gătuire	↓	↓	~	↓	↓	~	↓	↓	↑↑	~	↓	~	~	~		
Reziliență	↓↓ ↓	↓	~	↑	↓	↑	~	↓	↑↑ ↑	~	↓	-	~	↓		
Archiere	-	-	-	-	-	↑	-	-	-	-	↑	-	↑	↑↑ ↑		
Refractabilitate	-	-	↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	-	↑↑ ↑	↑	↑	-	~	↑		
Viteza de răcire	-	-	-	↓↓	↑↑	↓↓	↓↓	-	↓↓	↓↓	↓↓ ↓	↓↓	↓	↓		
Formare carburi	-	-	-	↑↑ ↑	-	↑↑↑ ↑	↑↑	-	-	-	↑↑	-	~	↓		
Rezistența la coroziune	-	-	-	↑↑	↑↑ ↑	↑↑	↑↑ ↑	-	-	↓↓	↑	-	↓↓	↓↓ ↓		
Maleabilitate	↓	↓↓ ↓	↓↓ ↓	↓	↓	↑	↓↓	↓↓	↓↓ ↓	↓	↓	↓↓ ↓	↑	↓		
Așchiabilitate	↑↑	↑↑ ↑	~	↓	~	-	↓↓	-	↓↓ ↓	↓	-	↓↓ ↓	↓	↓		
Formare zgură	-	-	~	↑↑	↓	↓	↓↓	↓↓	↓↓	↓	↓↓ ↓	↓↓	~	↓		
Nitrurare	-	-	-	↑↑	-	↑	↑	↑↑ ↑	-	-	↑↑	-	~	↓		
Rezistența la coroziune	-	↓	↑	-	-	↑	-	-	↑↑	-	↑↑	-	-	-		
Histereza									Nemagnetic			Nemagnetic		↓↓		
Permeabilitate					↑↑										↑↑	
Forța coersivă				↑	↑↑ ↑		↑↑ ↑	↑↑			↑↑		↑			↓↓
Reziduuri magnetice					↑↑ ↑		↑↑ ↑	↑↑			↑↑		↑↑			-
Pierderi																↓↓

5.1.2. Programul experimental

Urmare a celor prezentate în detaliu în capitolele precedente, pentru confecționarea scaunelor de supapă prin metalurgia pulberilor au fost propuse mai multe compoziții chimice/rețete.

Astfel la alegerea compoziției chimice a materialului s-a ținut cont de condițiile termo-mecanice și de coroziune chimică din exploatare în care alierea cu siliciu, crom, cupru joacă un rol determinant (aspect ce nu a constituit obiectul unor cercetări consistente cu referire la studiul motoarelor cu ardere internă). Pentru optimizarea conținutului în siliciu și crom s-au mai avut în vedere și o serie de experimentări preliminare efectuate în cadrul colectivului de la Sinterom S.A din Cluj-Napoca. În consecință au fost propuse procente în jurul a 9% pentru crom și 3,1 % pentru siliciu. Carbonul introdus asigură premisele durificării ulterioare (având o concentrație de 0,48 % corespunzătoare unei oțel de îmbunătățire). Cuprul asigură pe lângă avantaje tehnologice și sinterizarea cu fază lichidă. Se activează astfel sinterizarea și se reduce durata necesară. Se formează astfel ferita aliată cu cupru și o fază ϵ ce permite durificarea ulterioară. În afara creșterii rezistenței mecanice, cuprul este adăugat și ca rol de inhibitor al difuziei carbonului favorizând formarea perlitei în detrimentul cementitei libere. Se impune astfel o optimizare a conținutului de cupru.

Au rezultat ca variante pentru confecționarea pieselor, compozițiile chimice prezentate în tabelul 5.2 ce diferă în principal prin conținutul de cupru (6%, 9%, 12%)

Tabelul 5.2 Compoziția chimică a probelor supuse sinterizării

Nr. Crt	Denumire pulbere	Variante pentru sinterizare					
		I		II		III	
		Procent%	masa (g)	Procent%	masa (g)	Procent%	masa (g)
1	Cupru (Cu)	12	1.2	9	0.9	6	0.6
2	Carbon (C)	0.48	0.048	0.48	0.048	0.48	0.048
3	Siliciu (Si)	3.1	0.31	3.1	0.31	3.1	0.31
4	Mangan (Mn)	0.45	0.045	0.45	0.045	0.45	0.045
5	Crom (Cr)	9	0.9	9	0.9	9	0.9
6	Fier (Fe)	74.97	7.497	77.97	7.797	80.97	8.097
	Total	100	10	100	10	100	10

Un alt aspect urmărit a fost optimizarea procesului propriu-zis de fabricare. Experiența colectivului de cercetare și documentația efectuată a arătat că dintre parametrii relevanți ai procesul de elaborare, în cadrul experimentărilor e important de analizat efectul presiunii de compactizare, al temperaturii de sinterizare și al tratamentului termic după sinterizare asupra caracteristicilor de exploatare.

Unele probe elaborate prin metalurgia pulberilor au fost supuse tratamentului termic prin călire la temperaturi de (850 – 900)°C, menținute timp de 30 minute și răcite în ulei.

În baza documentărilor efectuate s-au ales ca variante pentru optimizare:

- presiuni finale de 700 MPa respectiv 1000 Mpa pe probele/comprimătele supuse compactizării

5.1.Cercetări experimentale privind fabricarea prin sinterizare a scaunelor de supapă ...119

- temperaturi de sinterizare de 1150 C⁰ respectiv 1270 C⁰
- sinterizare fără un tratament termic ulterior (NT) respectiv sinterizare urmată de tratament termic (TT)

Sintetic ,în tabelul 5.3 se prezintă variantele tehnologice rezultate și notația probelor.

Tabelul 5.3 Notatia pieselor/probelor supuse experimentărilor

Nr.crt	Notatia probei	% de cupru	Presiunea de compactizare	Temp.de sinterizare	Starea de tratament
1	6.I	6	700MPa	1150	NT
2	6II			1250	
3	6III			1250	TT
4	6.I*		1000MPa	1150	NT
5	6II*			1270	
6	6III*			1270	TT
7	9.I	9	700MPa	1150	NT
8	9II			1250	
9	9III			1250	TT
10	9.I*		1000MPa	1150	NT
11	9II*			1270	
12	9III*			1270	TT
13	12.I	12	700MPa	1150	NT
14	12II			1250	
15	12III			1250	TT
16	12.I*		1000MPa	1150	NT
17	12II*			1270	
18	12III*			1270	TT

În consecință în vederea creșterii performanțelor termomecanice ale scaunelor de supapă, programul de experimentări va urmări

- optimizarea conținutului de cupru
- proiectarea condițiilor tehnologice de fabricare prin metalurgia pulberilor prin optimizarea parametrilor importanți ai procesului: presiunea de compactizare și temperatura de sinterizare și tratamentul termic aplicat

5.1.3. Tehnologia de fabricație a scaunelor de supapă. Condiții de experiment

În vederea fabricării piesei de tipul scaunului pentru supapa de admisie pentru motor Diesel monocilindric prin metalurgia pulberilor în prima fază acesta a fost proiectat ținându-se cont de proprietățile termo-mecanice urmărite precum și în funcție de ceea ce se informațiile existente actualmente pe plan mondial în domeniul auto (schița scaunului de supapă este prezentată în anexă)

- **Pulberile** utilizate pentru experimente -prezentate în continuare- au fost aprovizionate de la firmele producătoare, ele având următoarele caracteristici :
 - pulbere de fier (Fe) atomizat obținut prin pulverizare cu apă și redus în hidrogen, tip DWP200 cu o granulație medie de 150 μm;

120 Cercetări experimentale privind fabricarea și caracterizarea scaunelor de supapă sinterizate-5

- pulbere de crom(Cr) cu granulație de 250 μm;
- pulbere de cupru, (Cu) granulație 200-240 μm;
- pulbere de siliciu (Si) de granulație 63 μm;
- pulbere de carbon (C)-(grafit) de granulație 10 μm;
- stearat de zinc cu granulația 10 μm.

Pentru obținerea scaunelor de supapă, s-au parcurs etapele, detaliate în capitolul 3.

- **Prepararea amestecurilor** necesită o acuratețe și o atenție deosebită deoarece aici se stabilește compoziția chimică a fiecărui tip de amestec, orice eroare în manipularea și cântărirea pulberilor poate conduce la impurificări și modificări nedorite ale rețetei stabilite.

Orice variație a compoziției chimice va afecta atât parametri operațiilor ulterioare cât și caracteristicile finale ale materialului supus studiului.

Dozarea pulberilor de bază s-a efectuat într-un laborator chimic pe o balanță analitică cu precizia de măsurare 10-5 g.

Pentru manipulare s-au utilizat spatule din sticlă, iar recipientii în care s-au stocat au fost tot din sticlă pentru evitarea impurificării.

- **Omogenizarea s-a făcut** în recipienti din sticlă închiși etanș, mișcarea fiind preluată de la doi cilindri metalici, acționați de un motor. Timpul de omogenizare a amestecurilor a fost reglat la 35 minute, pentru a se obține o dispersie uniformă a elementelor în masa de pulbere

- **Presarea** pentru compactizarea pulberilor s-a făcut într-o matriță închisă, rigidă, forța aplicându-se cu viteză mică, de 5 bar/s, pe o presă hidraulică. Schița matriței se găsește în anexă

Scopul aplicării graduale a presiunii este de a permite evacuarea aerului dintre granulele de pulbere, rearanjarea granulelor în poziții care să reducă volumul nedeformat al materialului și care să permită un contact intergranular multiplu în interiorul matriței.

Evacuarea pieselor din matriță s-a făcut prin deplasarea matriței cu o viteză de aproximativ 1mm/10s.

- **Sinterizarea** s-a efectuat în atmosferă de hidrogen cu un punct de rouă foarte scăzut, -70°C (hidrogenul fiind obținut prin electroliză), având în vedere afinitatea mare pentru oxigen a manganului și cromului la temperaturi înalte și faptul că stratul de oxid poate bloca procesul de difuziune. Piesele compactate din pulberi au fost încărcate pe strat de electrocorindon în nacele de molibden. Nacelele au fost introduse într-un cuptor de tip PUSHER (împingere cu un tact și o lungime de împingere bine stabilite).

Preîncălzirea se face cu viteză mai mică pentru a evita deformațiile datorate dilatărilor neuniforme induse de diferența de temperatură dintre suprafața și miezul presatului. Durata menținerii la temperatura de sinterizare a fost de 30 de minute după care piesele sunt răcite în atmosferă de hidrogen până la temperatura de 50°C (răcirea se face cu apă).

- **Presarea axială în matriță rigidă** închisă aplicată pieselor după sinterizare pentru a reduce volumul porilor și pentru a crea o ecruisare a grăunților cristalini pe suprafețele frontale ale semifabricatelor. Prin această deformare plastică s-a obținut o durificare, având ca posibil efect și o creștere rezistenței la uzare.

- **Strunjirea** exterioară de precizie pentru diametrul exterior și prelucrarea de **rectificare** a suprafețelor frontale și obținându-se astfel forma finală a pieselor.

5.2. Caracterizarea aliajelor elaborate destinate fabricării scaunelor de supapă

5.2.1 Structura

5.2.1.1 Considerații generale

Învestigațiile pentru caracterizarea structurală a aliajului sinterizat au constat din analiza metalografică a scaunelor de supapă elaborate conform tehnologiei prezentate în capitolul precedent. Analizele microstructurale s-au efectuat în cadrul laboratorului de microscopie optică din cadrul Sinterom S.A. Cluj Napoca.



Fig 5.1 Microscopul metalografic integrator de structură EPIQUANT

S-a utilizat pentru investigații microscopul metalografic integrator de structură EPIQUANT. (Figura 5.1 respectiv 5.2).



Fia 5.2 Microscopul metalografic intearator de structură EPIQUANT și calculatorul

Aparatul este destinat pentru analiza structurală calitativă și cantitativă. Este compus dintr-un microscop metalografic și un calculator. Funcționează pe principiul analizei liniare, prin baleierea suprafeței de cercetat și înregistrarea semnalelor de reflexie. Se pot deosebi trei nivele de tensiuni corespunzătoare nuanțelor fazelor cercetate: negru [A], cenușiu [B] și alb [C]. Se înregistrează automat lungimile IA, IB, și IC ale fazelor, lungimea totală de baleiaj L, date din care se determină următoarele caracteristici structurale :

- mărimea medie a grăunților
- distribuție granulometrică
- cantitatea fazelor
- gradul de deformare

Ca bază teoretică a studiului și interpretării structurii microscopice a pieselor mecanice sinterizate feroase, se utilizează diagrama fier-carbon, având în vedere la fiecare material influența elementelor de aliere asupra transformărilor din diagrama binară.

Analiza este calitativă și constă din identificarea constituenților structurali.

Microfotografiile de referință cu aspectele microscopice ale constituenților, structurilor de bază sunt stabilite prin tabelele indicatoare.

Aprecierea structurii microscopice formate în urma sinterizării sau ale tratamentelor post sinterizare se face prin comparare cu structuri de referință.

5.2. Caracterizarea aliajelor elaborate destinate fabricării scaunelor de supapă 123

Imaginea structurii din câmpul vizual se compară cu structurile microscopice de referință indicate în tabelul nr.1 anexa 2 pentru materialul sinterizat specificat în documentația tehnică.

Pentru o interpretare și apreciere corectă precum și pentru depistarea cauzelor unor deficiențe constatate la caracteristicile fizico-mecanice ale semifabricatelor/produselor se consultă micrografiile (grafice) indicate în tabelele nr.2, 3, 4 și 5, anexa 2 referitoare la:

- constituenți structurali, domeniul microdurităților HV0,1 pentru constituenții structurali ai oțelurilor sinterizate
- influența parametrilor tehnologici asupra structurii microscopice
- tratamente post-sinterizare
- defecte

Probele supuse investigațiilor metalografice sunt inele de supapă sinterizate prezentate în figurile 5.35.11 (însoțite de imaginile microscopice ale acestora în stare neatacată metalografic) a căror notații corespund compozițiilor chimice și parametrilor tehnologici prezentate în tabelul 5.2 și 5.3

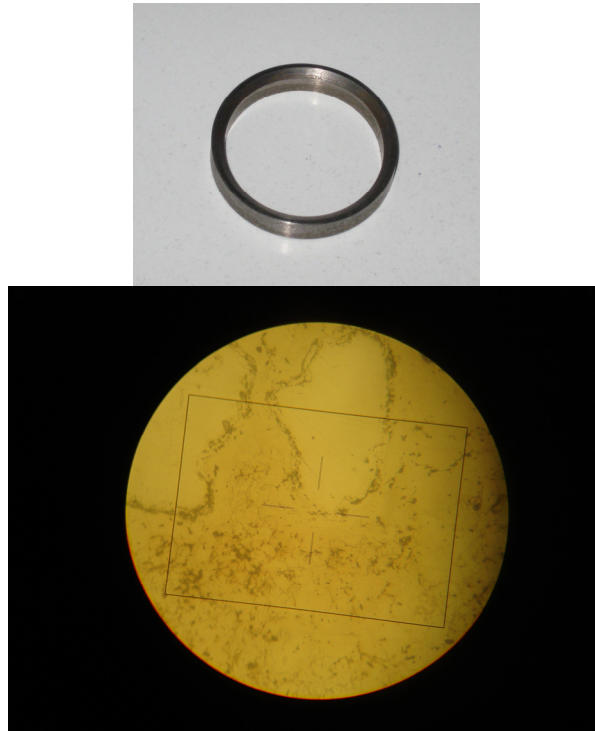


Fig 5.3 Inel de supapă sinterizat 6I
Rețeta cu 6% Cu
Sinterizat la 1.150°C
Netratat termic

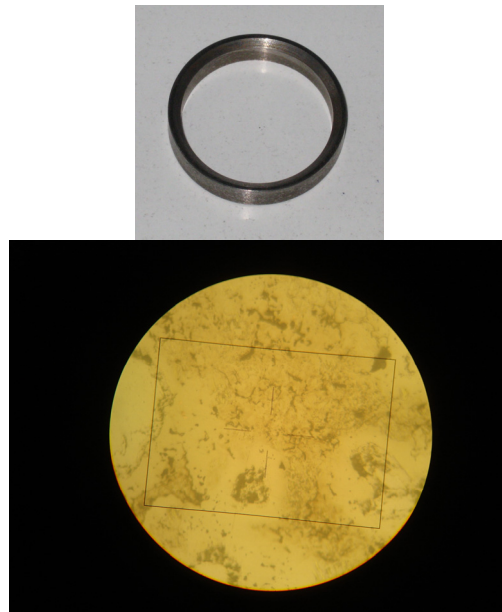


Fig 5.4 Inel de supapă sinterizat 6II
Rețeta cu 6% Cu
Sinterizat la 1.250°C
Netratat termic

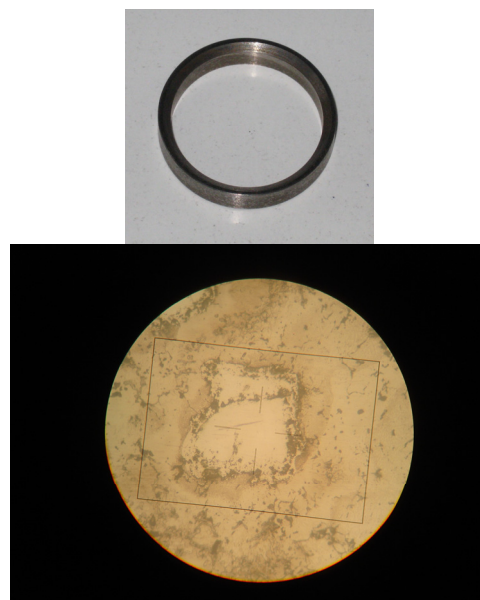


Fig 5.5. Inel de supapă sinterizat 6III
Rețeta cu 6% Cu
Sinterizat la 1.250°C

5.2. Caracterizarea aliajelor elaborate destinate fabricării scaunelor de supapă 125

Tratat termic

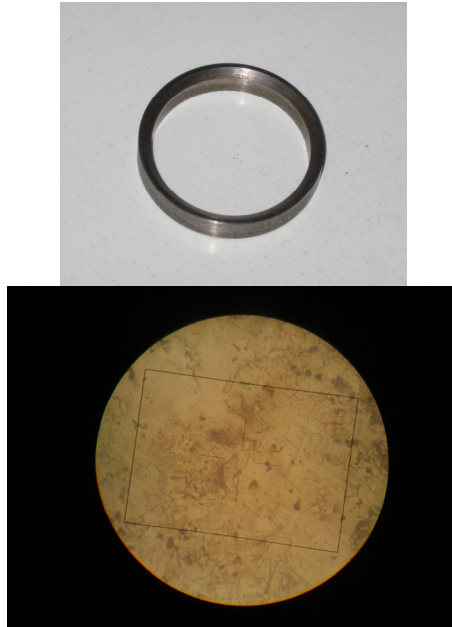


Fig 5.6 Inel de supapă sinterizat 9I
Rețeta cu 9% Cu
Sinterizat la 1.150oC
Netratat termic

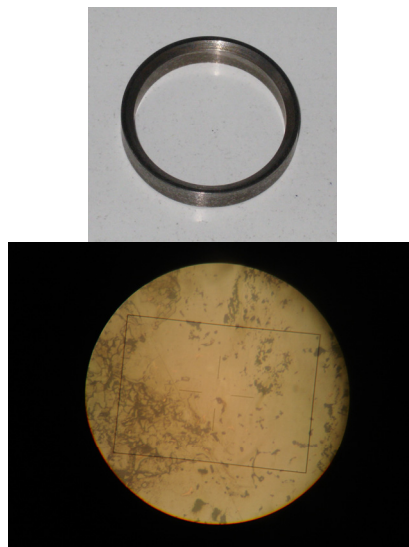


Fig 5.7 Inel de supapă sinterizat 9II
Rețeta cu 9% Cu
Sinterizat la 1.250°C
Netratat termic

5.2. Caracterizarea aliajelor elaborate destinate fabricării scaunelor de supapă 127

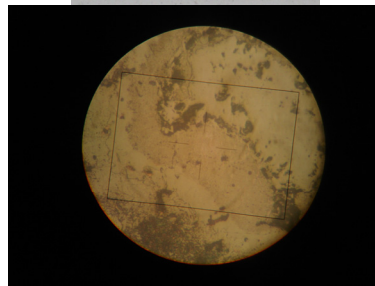


Fig 5.8 Inel de supapă sinterizat 9III
Rețeta cu 9% Cu
Sinterizat la 1.250°C
Tratat termic



Fig 5.9 Inel de supapă sinterizat 12I
Rețeta cu 12% Cu
Sinterizat la 1.150°C
Netratat termic

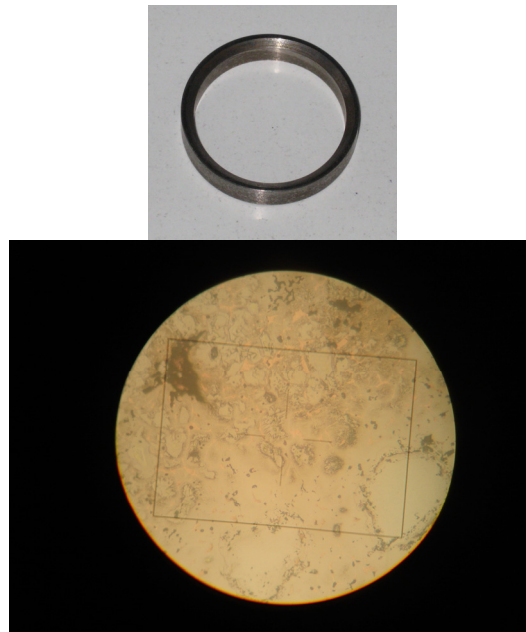


Fig 5.10 Inel de supapă sinterizat 12II
Rețeta cu 12% Cu
Sinterizat la 1.250°C
Netratat termic

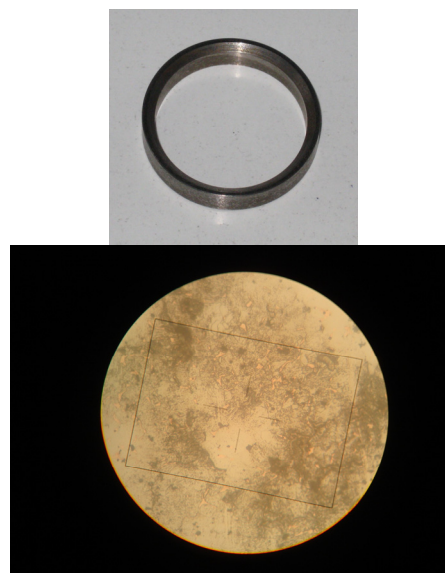


Fig 5.11 Inel de supapă sinterizat 12III
Rețeta cu 12% Cu
Sinterizat la 1.250°C
Tratat termic

5.2. Caracterizarea aliajelor elaborate destinate fabricării scaunelor de supapă 129

5.2.1.2 Analiza metalografică a structurii scaunelor de supapă

Inele de supapă au fost pregătite pentru prin șlefuire, lustruire, atac metalografic cu nital 5%; investigațiile la microscopul optic s-au efectuat la mărimi de 250X.

Pentru un studiu comparativ, s-au prelevat probe și dintr-un scaun de supapă confecționat din fonta cenușie, material utilizat în mod curent la fabricarea acestor componente auto.

Analiza structurală s-a realizat pentru mai multe imagini dintre care au fost alese cele mai reprezentative.

În urma studierii microstructurii, s-au desprins următoarele interpretări și concluzii ce sunt detaliate în continuare pentru fiecare probă în parte.

Proba 6 I (6% Cu, 1150°C, N.T.)-fig 5.12

- matricea este ferito-perlitică datorită conținutului relativ scăzut de carbon; ferita activează sinterizarea (nu este compactă, deci permite difuzia); în zonele sărace în carbon se pot observa centre de difuzie atât a cuprului în fier cât și a cromului în fier
- în această matrice, în ochiurile ei, sunt prezente particule cu aspect de incluziuni mari, izolate albe de Cr, dar, totuși, cu o zone mici de difuzie în punctele de contact (uzual cu granulele de crom). Difuzia este redusă din cauza temperaturii mici de tratament precum și unui strat fin de oxid de fier care nu s-a redus și diminuează viteza de difuzie
- zone albe difuze reprezintă Mn; se menționează că în zona de contact dintre zona săracă și zona bogată în Mn se poate forma martensita
- structura prezintă zone de difuzie a cuprului în fier de culoare maro deschis până la maro închis cu reflexe roșiatice. Difuzia Cu-Fe nu este așa de pronunțată ca în cazul, sinterizării la 1250°C. Diferența de culoare este dată de concentrația locală a cuprului în masa fierului, astfel zonele mai închise la culoare sunt bogate în cupru acestea fiind adiacente granulelor de pulbere de cupru
- în aceste zone aliate cu cupru se observă și cupru liber nedifuzat, fapt datorat timpului scurt de sinterizare coroborat cu temperatura mai scăzută. Se observă Cu dispersat – prin topire, nedifuzat, prezent sub formă de incluziuni punctiforme, liniare, ramificate (mult Cu liber, nedifuzat), forma cuprului liber fiind dată de interstițiile dintre granulele de pulbere formate atât în timpul presării cât și în faza de preîncălzire, în care granulele de pulbere se rearanjează și cuprul este în stare topită umectând aceste cavități pseudopoligonale. Difuzia Cu-Fe nu este așa de pronunțată ca în cazul sinterizării la 1250°C

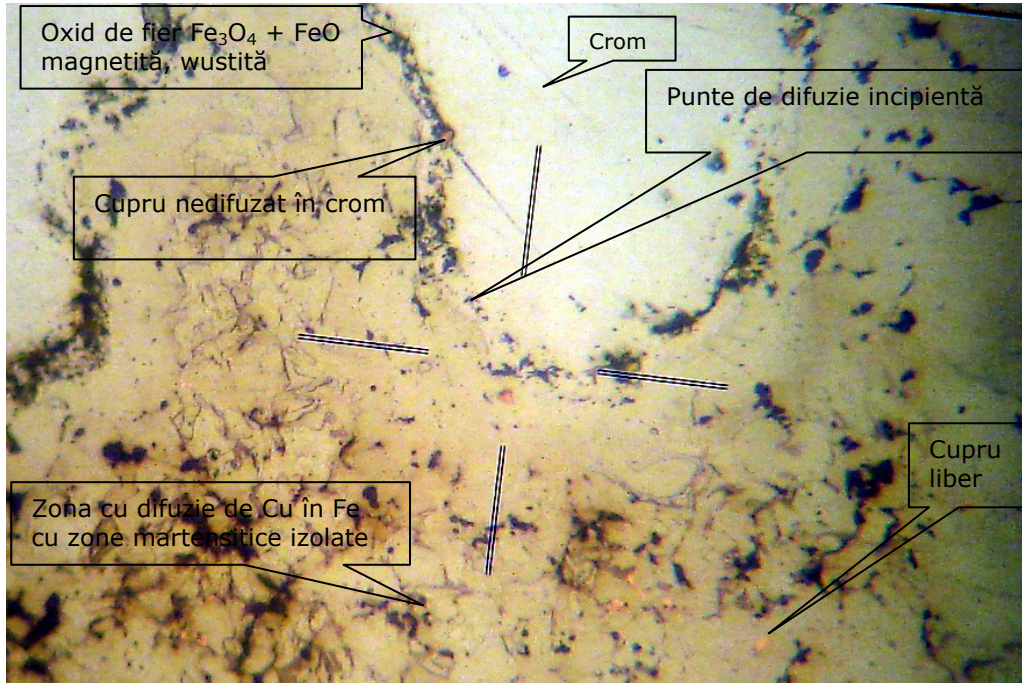


Fig 5.12 Proba 6I (6% Cu, 1150°C, N.T.)

Proba 6 II (6% Cu, 1250°C, N.T.)

- matrice este ferito-perlitică aliată cu Cu
- se observă pete mari albe ce reprezintă Cr nedizolvat
- există pete de austenită în zonele bogate în Mn; dacă masa se atacă ușor metalografic se evidențiază existența unei pate albe, bogată în Mn, mai pronunțată
- în zonele unde sunt incluziuni se remarcă prezența Cr deoarece oxidul nu e redus de pe suprafața lui, -fiind presat nu a luat contact cu H₂ - ; în caz contrar ar avea oxizi pe suprafață ceea ce ar favoriza o difuzie punctuală
- datorită temperaturii de sinterizare Cu și Fe au difuzat rezultând o cantitatea de Cu liber din structura este mai redusă ca și în cazul sintezării la temperatura de 1150 °C ; de altfel temperatura mai ridicată a permis omogenizarea cuprului difuzat și formarea de austenită bogată în mangan
- timpul de sinterizare mai scurt nu a permis sferoidizarea porilor în zonele bogate în cupru. In zonele bogate în cupru și carbon se observă formarea unei structuri bainitice
- zonele aliate cu mangan și crom prezintă pori cu tendința de sferoidizare datorată fenomenului de autodifuzie.

132 Cercetări experimentale privind fabricarea și caracterizarea scaunelor de supapă sinterizate-5

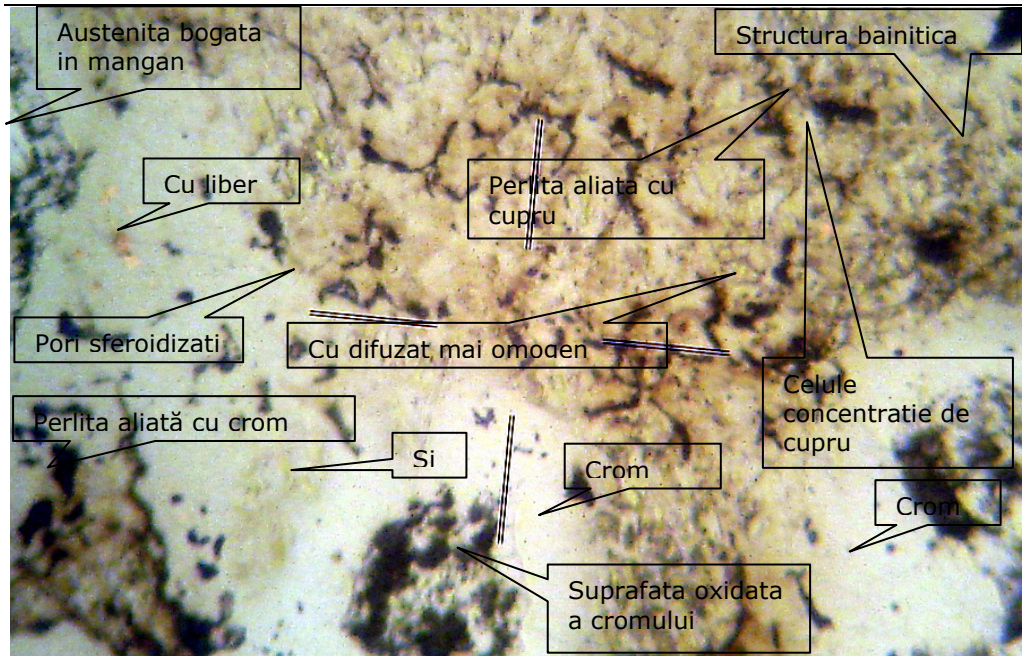


Fig 5.13 Proba 6II (6% Cu, 1.250°C, N.T.)

Proba 6 III (6% Cu, 1250°C, T.T.)

- urmare a tratamentului termic aplicat structurii matricei, este majoritar martensitică; martensita apare izolat în zonele bogate în carbon, fapt care conferă duritate locală mare cu influență generală asupra supapei în sensul creșterii rezistenței la uzură, ca de altfel și carburile de crom
- datorită conținutului mare de Cu, se blochează difuzia carbonului rezultând zone semnificative în matrice cu un conținut mic de carbon rezultând o călire incompletă caracterizată prin prezența unor insule feritice, structuri intermediare de călire troostito-feritice; de altfel, măsurătorile de duritate au confirmat starea structurală rezultată -
- se observă insule bogate în Cr iar în zonele ce înconjoară Cr apar separări (precipitări) fine de carburi globulare de crom, cu tendință spre formare de rețea, observându-se, pe de altă parte, zone de culoare neagră (oxizi) care au blocat procesul de difuzie
- având în vedere că scaunul de supapă funcționează în gaze carburante (CO, CO₂) prezența acestor separări de carburi de Cr, asigură supapei stabilitate termică și stabilitate chimică în condiții de gaze coroziv abrazive
- o scădere a durității apare și datorită supraîncălzirii ce conduce la o creștere a granulației;
- structura prezintă eterogenitate și după sinterizare și după tratamentul termic

5.2. Caracterizarea aliajelor elaborate destinate fabricării scaunelor de supapă 133

- masa moale atenuează șocurile mecanice conferind supapei tenacitate și stabilitate a formei în regim tranzitoriu de încălzire a blocului motor: Cr rezistă la atacul coroziv, C, Mn și Si constituie masa dură
- decarburarea superficială trebuie îndepărtată prin prelucrări mecanice de rectificare sau strunjire, operații care, în mod normal se execută cu supapa montată în blocul motor, fază în care se realizează atât geometria locală a supapei cât și eliminarea abaterilor de formă și de poziție impuse supapei

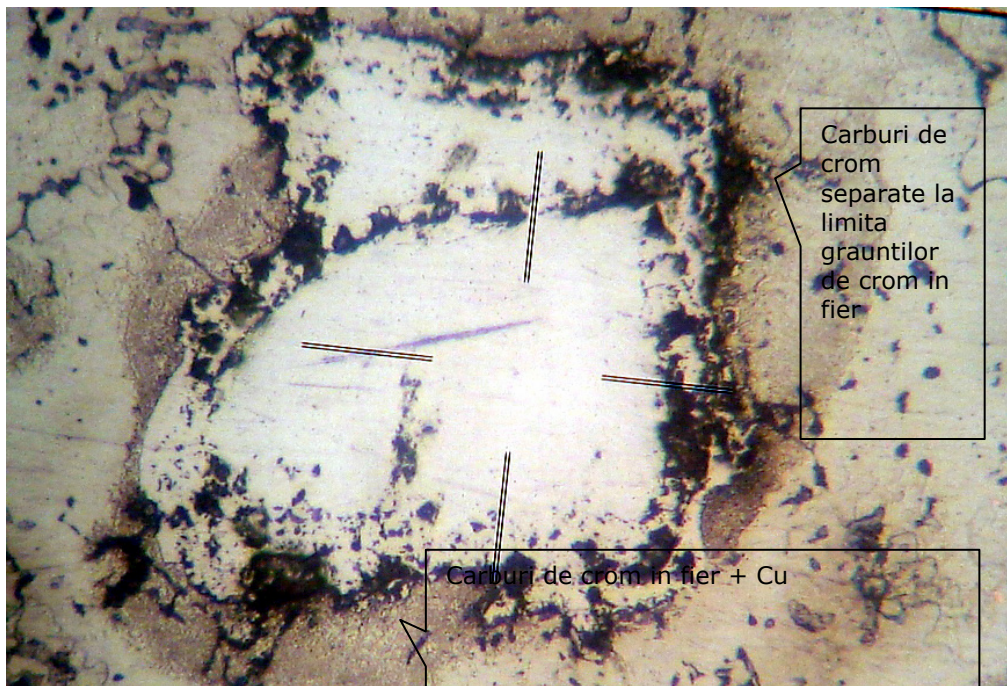


Fig 5.14 Proba 6 III (6% Cu, 1.250°C, T.T.)

Proba 9 I (9% Cu, 1150°C, N.T.)

- matrice este foarte bine conturată ,grăunți având formă poligonală și o structură intermediară
- urmare a unui conținut mai ridicat, Cu este prezent sub formă dispersată
- se remarcă prezența unor zone de Fe aliat cu Mn
- există granule mari de Cr cu aglomerări de oxizi la limita de grăunte

Proba 9 II (9% Cu, 1250°C, N.T.)

- matricea se evidențiază prin prezența de zone perlitice bogate în Cu, insule de culoare albă bogate în Mn, cu incluziuni de cupru și de crom
- cuprul fiind dispersat, de culoare roșcată, apar aglomerări de fracții fine de Si și de grafit
- se remarcă insule de crom înconjurată de oxid cu puncte de contact de difuzie în Fe aliat cu Mn

134 Cercetări experimentale privind fabricarea și caracterizarea scaunelor de supapă sinterizate-5

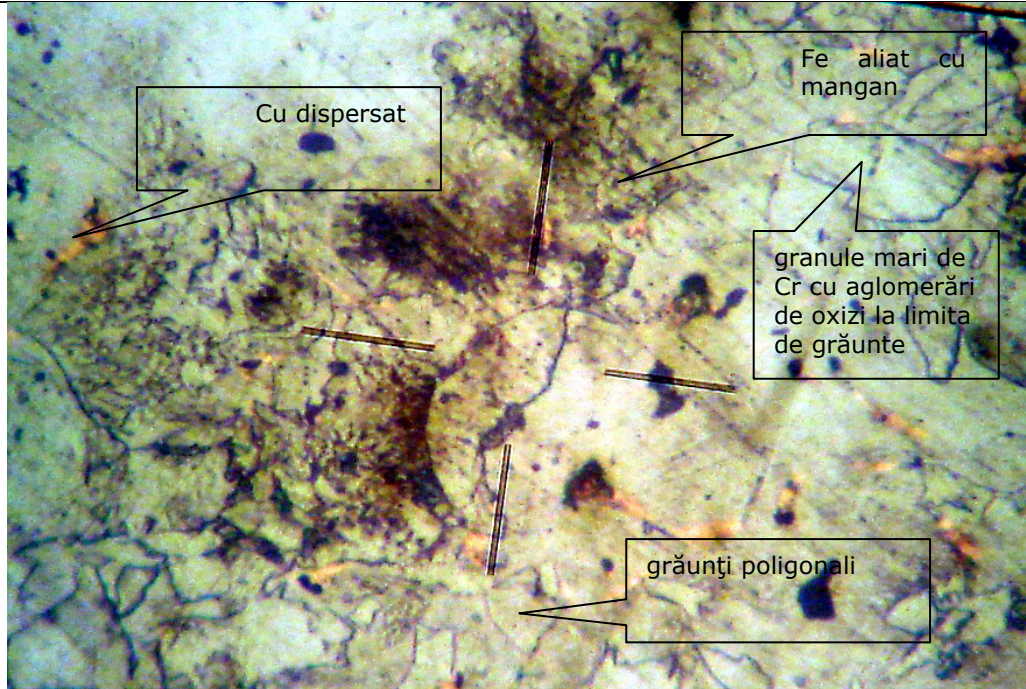


Fig 5.15 Proba 9 I (9% Cu, 1.150°C, N.T.)

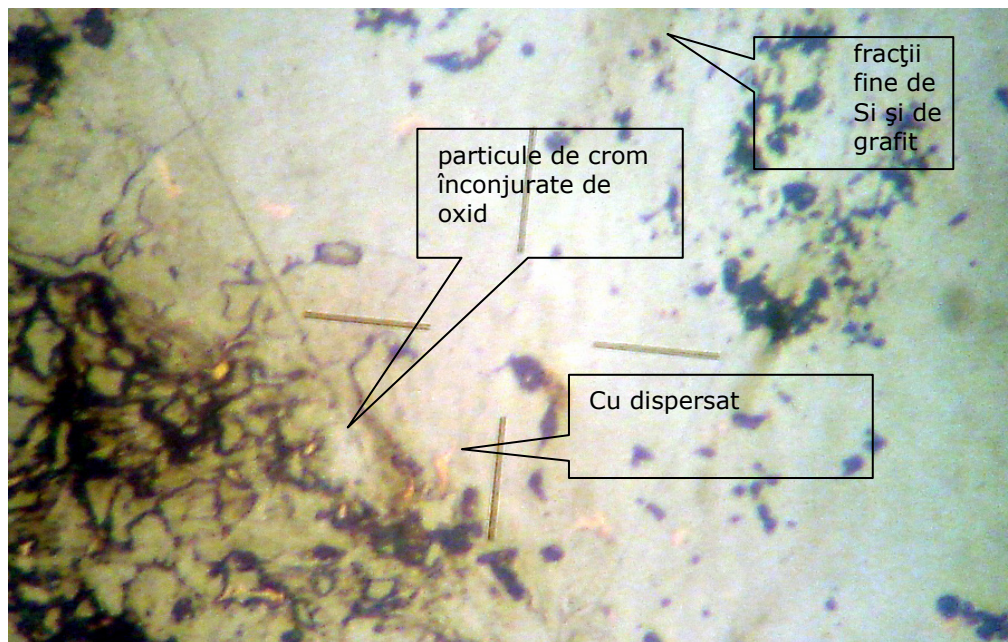


Fig 5.16 Proba 9 II (9% Cu, 1.250°C, N.T.)

Proba 9 III (9% Cu, 1250°C, T.T.)

- structura matricei este predominant bainitică cu caracter sferoidizat

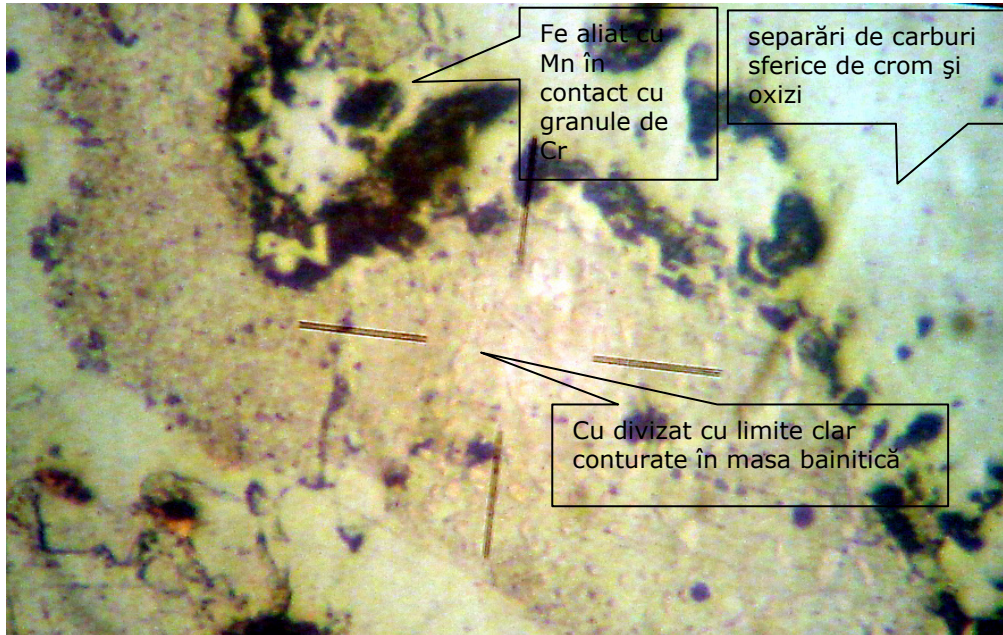


Fig 5.17 Proba 9III (9%, 1.250°C, T.T.)

- se remarcă cupru divizat cu limite clar conturate de culoare închisă în masa bainitică
- se observă grăunții de Fe aliat cu mangan în contact cu granule de Cr, înconjurat de o zonă gri cu separări de carburi sferice de crom și oxizi

Proba 12 I (12% Cu, 1150°C, N.T.)

- matricea este conturata – cea care leagă punctele;

Proba 12 II (12% Cu, 1250°C, N.T.)

- matricea este ferito-perlitică cu o continuare mai precară, fiind întreruptă de o zonă bogată în mangan și cupru, favorabilă – în cazul unui tratament termic ulterior formării unei structuri martensito-austenitice
- se remarcă o difuzie mai bună, mai avansată decât în proba cu 6% Cu, consecință a faptului că faza lichidă împreună cu cuprul dau o energie de suprafață mai mare;
- se constată o decarburare îndatorată sinterizării în atmosferă de hidrogen având ca efect o scădere a durtății

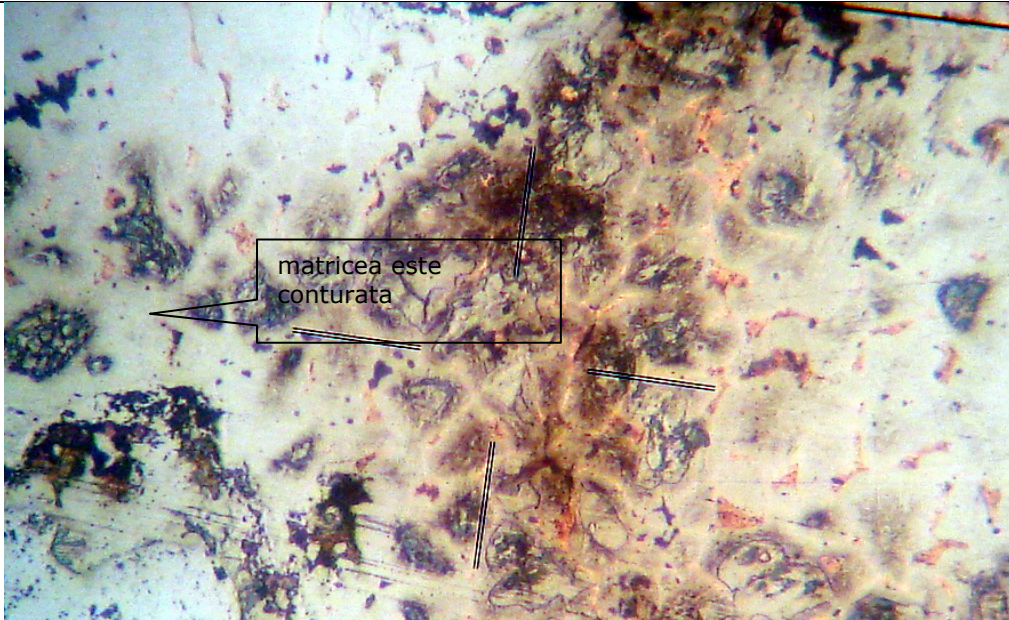


Fig 5.18 Proba 12 I (12% Cu, 1.150°C, N.T.)

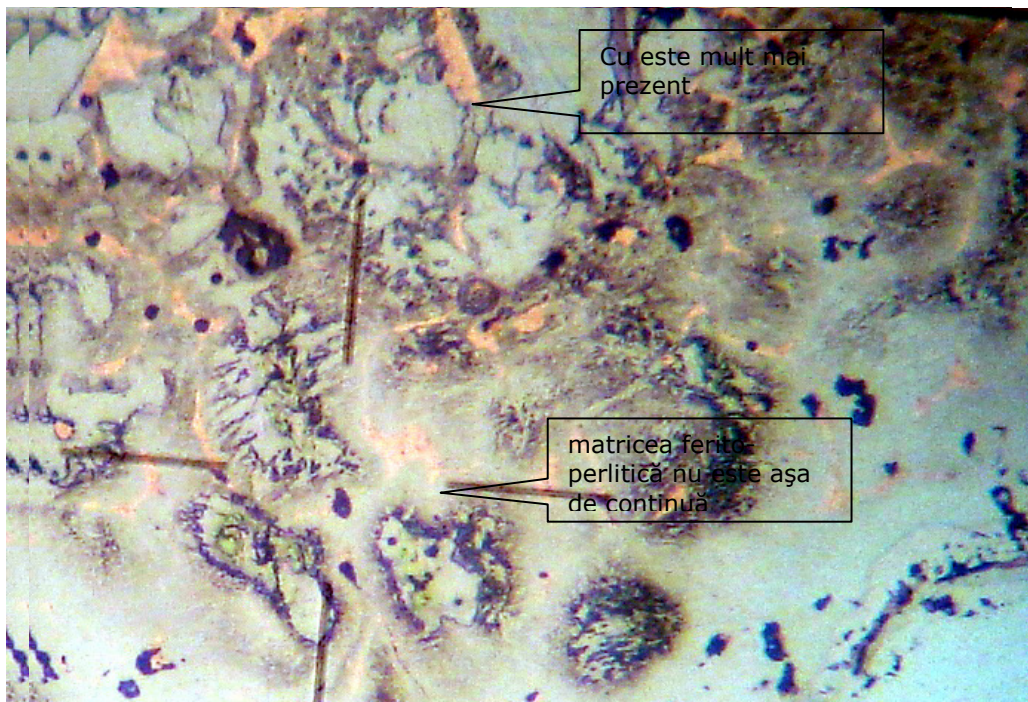


Fig 5.19 Proba 12 II (12% Cu, 1.250°C, N.T.)

Proba 12 III (12% Cu, 1250°C, T.T.)

- structura matricei este de caracter bainitic-perlitic
- se remarcă separări de carburi
- la limitele grăunților se observă separări de siliciu și fier aliat cu siliciu
- cuprul apare sub formă dispersată de culoare roșiatică ce umple spațiul dintre grăunții de pulbere
- în locurile cu grăunți mari de cupru rămân pori de formă pseudocirculară;

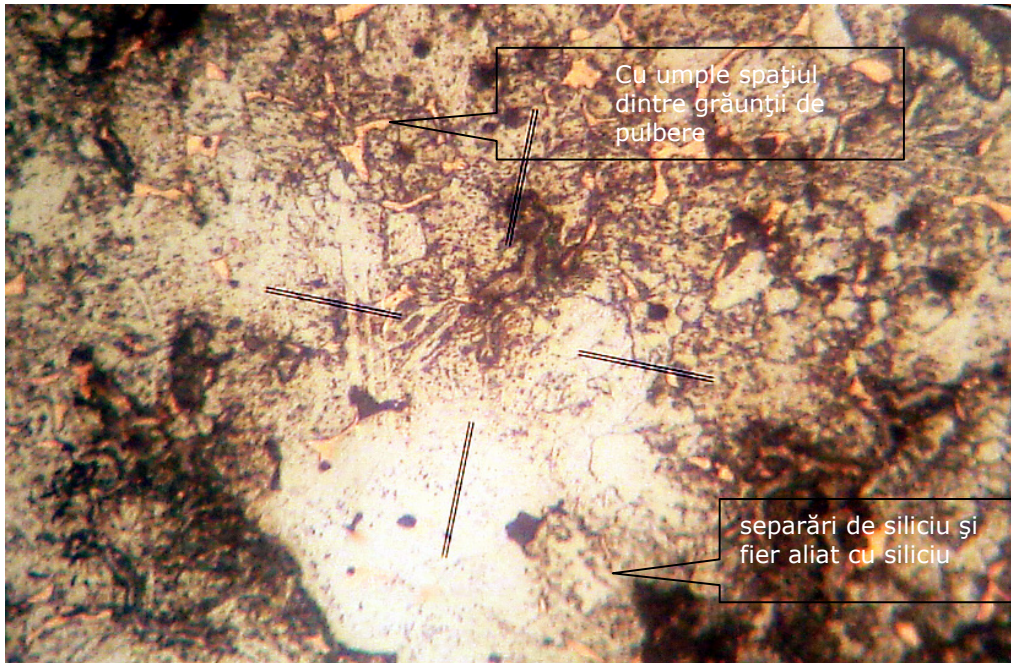


Fig 5.20 Proba 12 III (12% Cu, 1.250°C, T.T.)

Scaun de supapă original

- structura este specifică unei fonte cu grafit lamelar, aliată cu crom
- se observă grafitul lamelar și insule de crom de culoare albă uniform distribuit; de asemenea se în jurul zonelor bogat aliate în crom apar separări de carburi de crom fin dispersate

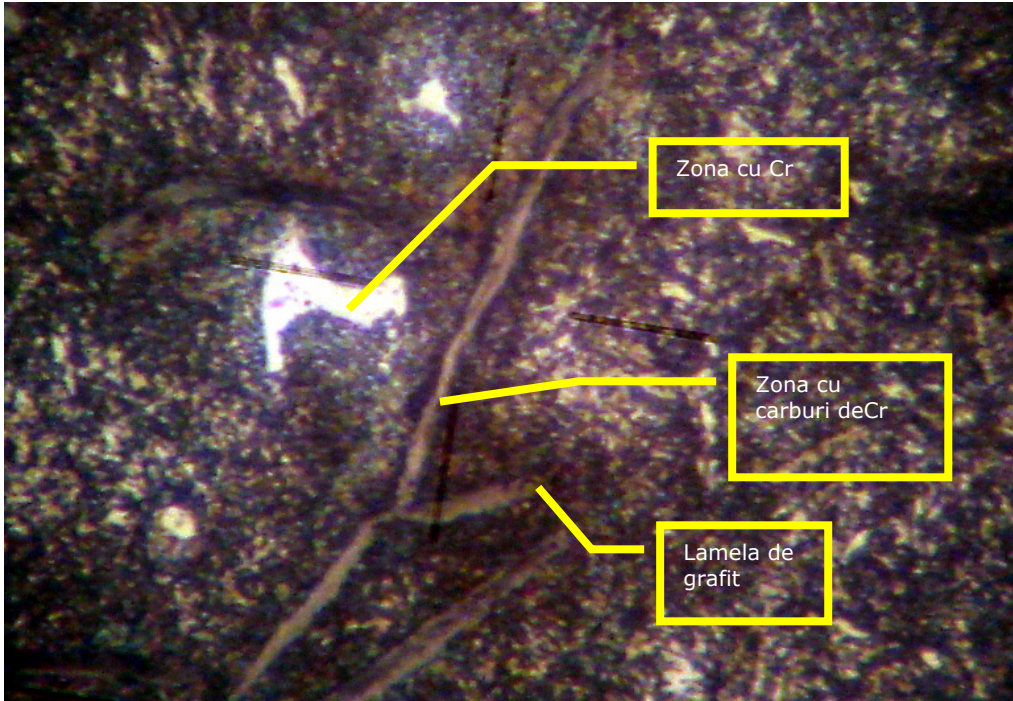


Fig 5.21 Scaun de supapă original

În rezumat se poate aprecia că analiza metalografică a evidențiat următoarele:

- O matrice ferito-perlitică favorabilă difuziei datorată compactității mai reduse a feritei;
- Cromul prezent liber sub forma unor insule mari izolate de culoare albă ; în jurul acestora apar separări (precipitări) de carburi globulare, cu tendința spre formare de rețea
- Manganul nedizolvat evidențiat sub forma unor zone albe difuzate; în zona de contact dintre zonele sărace și zonele bogate în Mn se formează în urma tratamentului termic, martensita;
- difuzia cuprului în fier nu este așa de pronunțată decât la temperaturi de sinterizare de 1250°C;
- se observă însă prezența cuprului dispersat, sub forma de incluziuni punctiforme, liniare, ramificate;
- pentru probele tratate termic se constată o călire incompletă, structura fiind astfel eterogenă fiind formată din martensită ori bainitică și insule de de ferită și alți constituenți de treaptă perlitică;
- în consecință ca și caracteristică generală structura prezintă un grad ridicat de eterogenitate atât după sinterizare cât și după tratamentul termic

5.2.2 Proprietăți mecanice

Pentru materialele din care se confecționează scaunele de supapă se propun următoarele tipuri de încercări: duritatea și rezistența la strivire. Încercarea materialelor sinterizate la compresiune și încovoiere se folosește mai rar. La aceste încercări sunt supuse, de obicei, materialele pentru rulmenți, coroanele de foraj și alte piese asemănătoare, care în timpul utilizării sunt supuse la sarcini mari de compresiune, cum ar fi, de exemplu, scaunul de supapă.

Oboseala statică și dinamică a materialelor sinterizate este atribuită creșterii subcritice a microfisurilor înaintea ruperii. Mecanismul considerat responsabil pentru creșterea fisurilor este apariția unor vacanțe și a altor defecte în rețeaua cristalină prin alunecare și prin difuziune.

5.2.2.1 Duritatea

Duritatea pieselor sinterizate reprezintă capacitatea de rezistență a materialelor rigide ce se datorează forțelor interne din materialul testat în timpul unui proces ce nu conduce la deformarea elastică sau plastică a corpului analizat.

Pentru materialele sinterizate poroase, duritatea este o funcție a forțelor de legătura între particule, densitate și gradul de rezistență al particulelor în locul de încercare. Aceste caracteristici la rândul lor sunt determinate de tipul amestecului de pulberi metalice, compoziția materialelor sinterizate, parametrii operației de sinterizare, tratamentele termice aplicate.

Există mai multe metode de determinare a durității: Brinell; Vickers; Rockwell; Poldi, etc

Metoda Brinell de determinare a durității constă în apăsarea, cu o sarcină F , un timp dat, pe presa de încercat, a unei bile de oțel de diametru D și măsurarea diametrului d al urmei lăsată de bilă după îndepărtarea sarcinii. Formula de calcul a durității Brinell HB , [G2] este:

$$HB = \frac{2 * F}{D * (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (5.1)$$

Metoda Vickers constă în apăsarea cu o sarcină F , un timp dat, pe presa de încercat, a unui penetrator piramidal drept, cu baza pătrată, având prescris unghiul la vârf și în măsurarea diagonalei d a urmei lăsată pe suprafața piesei de încercare, după îndepărtarea sarcinii. Relația de calcul este:

$$HV = 1.854 * \frac{F}{d^2}; \quad (5.2)$$

unde F se introduce în daN.

Metoda Poldi este o metodă dinamică de determinare a durității. Duritatea unei piese se face în funcție de duritatea cunoscută a unei bare etalon, prin raportul dintre diametrele celor două amprente pe care o bilă le lasă în cele două piese. Cu ajutorul unui dispozitiv bila este presată între cele două piese prin batere cu ciocanul.

Metoda Rockwell constă în apăsarea unui penetrator (con de diamant sau bilă de oțel) sub o sarcină inițială F_0 și apoi o suprasarcină F_1 și măsurarea adâncimii remanente de pătrundere e , după îndepărtarea suprasarcinii, menținându-se sarcina inițială aplicată.

140 Cercetări experimentale privind fabricarea și caracterizarea scaunelor de supapă sinterizate-5

Duritatea Rockwell este diferența dintre adâncimea convențională dată E și adâncimea pătrunderii remanente e a penetratorului sub o sarcină F1; adâncimea se măsoară față de poziția penetratorului sub sarcina inițială F0.

Formula pentru calculul durezzații este:

$$HR=E-e \quad (5.3)$$

E=luat cu valoare convențională 100 pentru con respectiv 130 pentru bila de oțel.

Sunt trei tipuri de încercări Rockwell:Rockwell a, Rockwell B ,Rockwell C. În cazul produselor sinterizate se utilizează **metoda Rockwell B (HRB)** care utilizează o bilă de oțel călit cu diametrul de 1,5 mm, sarcina inițială F0=10 kgf și suprasarcina F1= 90 kgf,

Încercările sclerometrice s-au efectuat pe inele de supapă sinterizate (prealabil comprimate la o presiune de 750 MPa) la temperaturi de sinterizare de 1150 °C respectiv 1250°C aflate în stare netratată termic respectiv tratată termic. S-a păstrat aceeași semnificație a notațiilor.Rezultate măsurătorilor sunt prezentate în tabelul 5.4

S-a urmărit astfel influența conținutului in cupru (figura 5.22, 5.23, 5.24), a temperaturii de sinterizare(figura 5.25, figura 5.26, figura 5.27) și a stării de tratament termic asupra durezzații (figura 5.28, figura 5.29, figura 5.30)

Tabel 5.4 Tabelul cu valorile durezzaților măsurate prin metoda HRB pe scaunele de supapă sinterizate

Notația probelor	Temperatura de sinterizare T,0C	Starea structurală	Duritatea HRB1	Duritatea HRB 2	Duritatea medie
6 I	1150	N.T.	81	81.5	81.25
6 II	1250	N.T.	77	77	77
6 III	1250	T.T.	82.5	81.5	82
9 I	1150	N.T.	84	80	82
9 II	1250	N.T.	77.5	78	77.75
9 III	1250	T.T.	79	82.5	80.75
12 I	1150	N.T.	90	86	88
12 II	1250	N.T.	82.5	87	84.75
12 III	1250	T.T.	81	77	79

5.2. Caracterizarea aliajelor elaborate destinate fabricării scaunelor de supapă 141

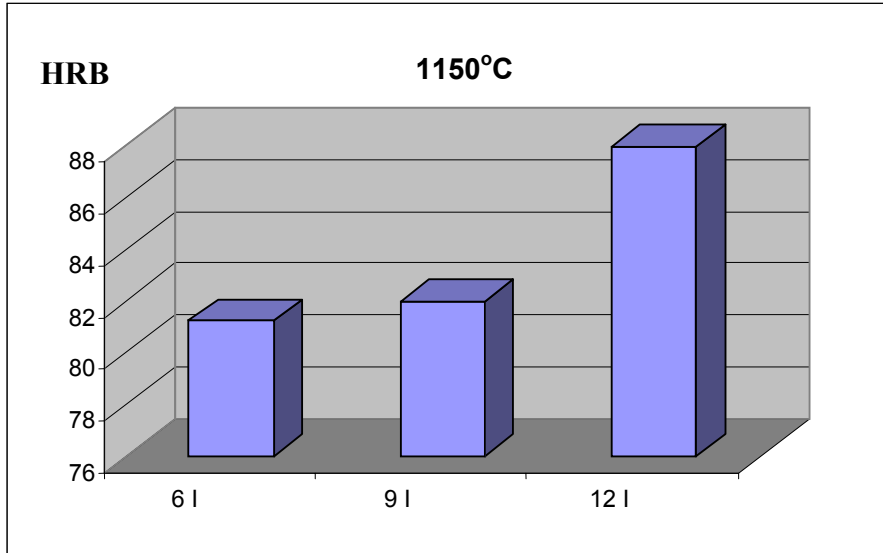


Fig. 5.22. Duritatea HRB în funcție de procentul de Cu, pentru probele netratate termic, sinterizate la 1150°C

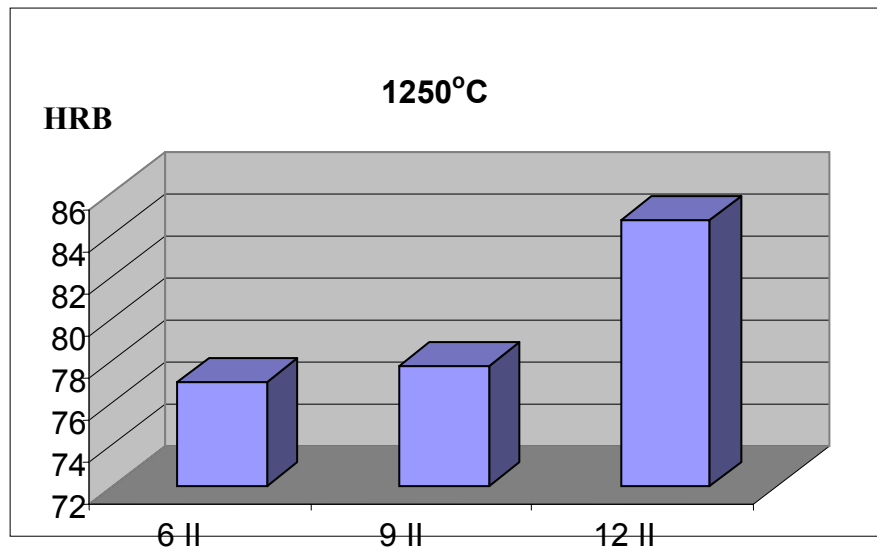


Fig. 5.23. Duritatea HRB în funcție de procentul de Cu, pentru probele netratate termic, sinterizate la 1250°C

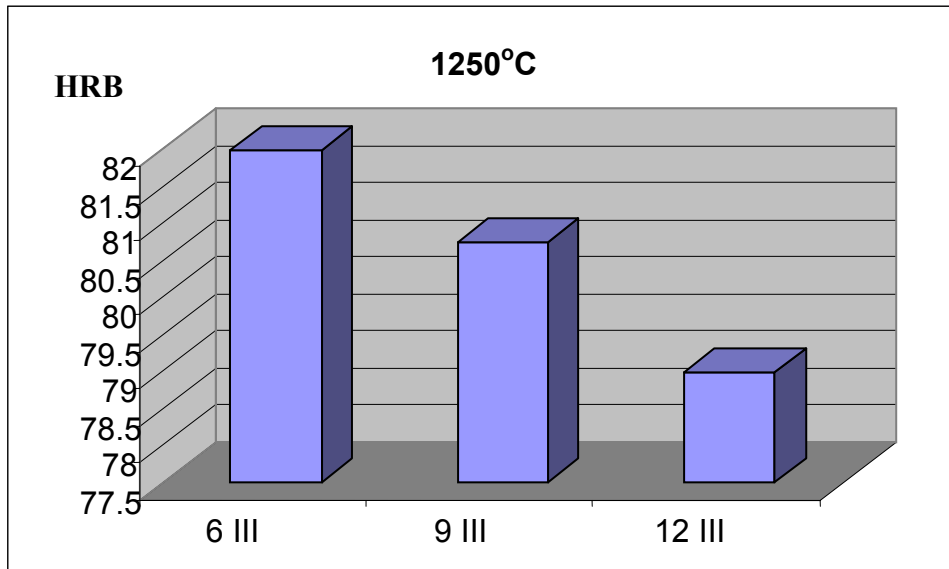


Fig. 5.24. Duritatea HRB în funcție de procentul de Cu, pentru probele tratate termic, sinterizate la 1250°C

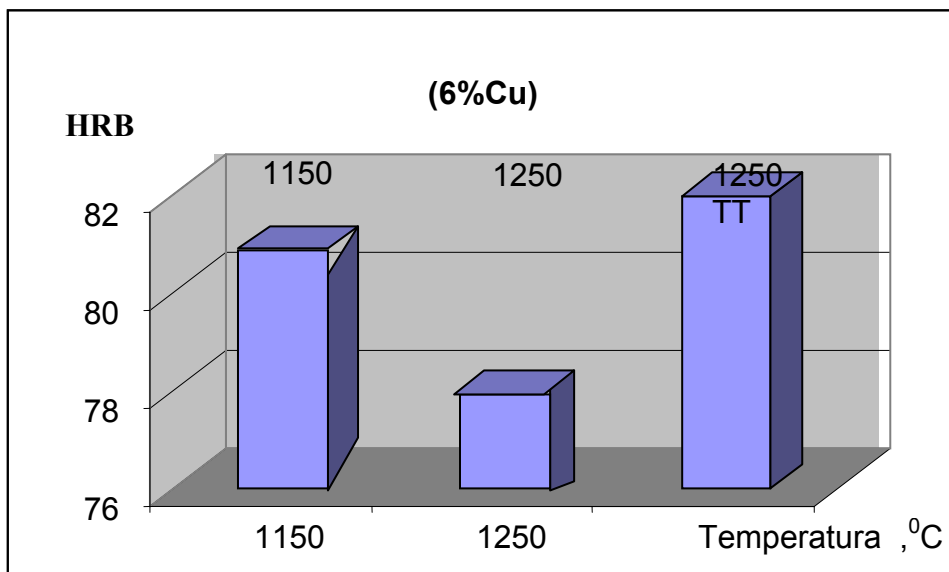


Fig.5.25. Duritatea HRB în funcție de temperatura de sinterizare și starea de tratament termic pentru probele cu 6%Cu

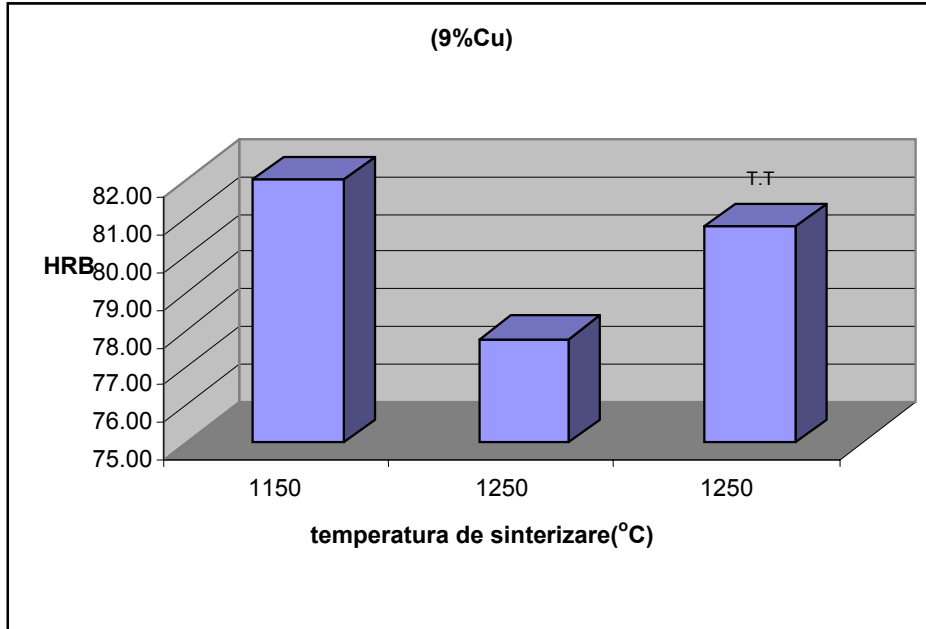


Fig.5.26. Duritatea HRB în funcție de temperatura de sinterizare și starea de tratament termic pentru probele cu 9%Cu

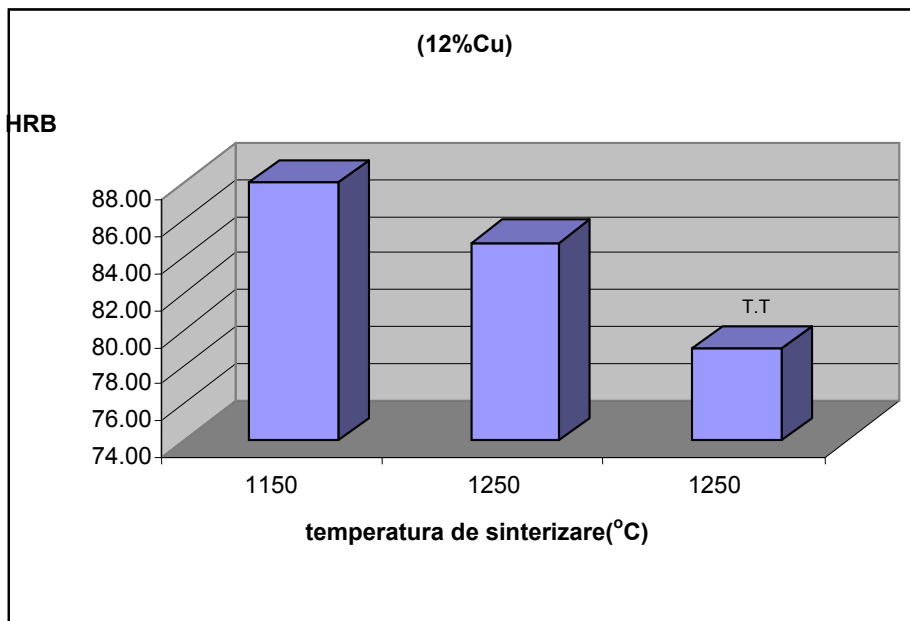


Fig.5.27. Duritatea HRB în funcție de temperatura de sinterizare și starea de tratament termic pentru probele cu 12%Cu

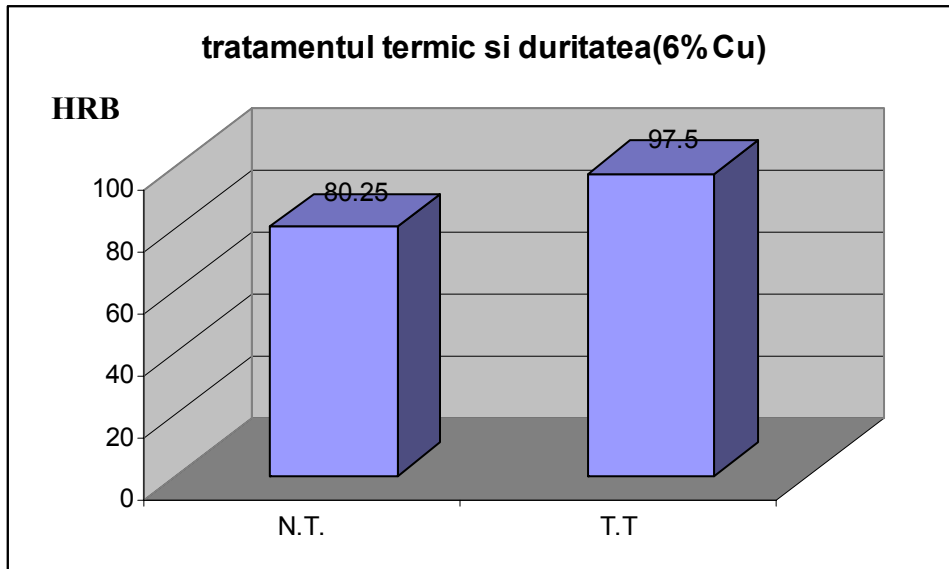


Fig. 5.28. Influența tratamentului termic asupra durității pentru probele cu 6% cupru

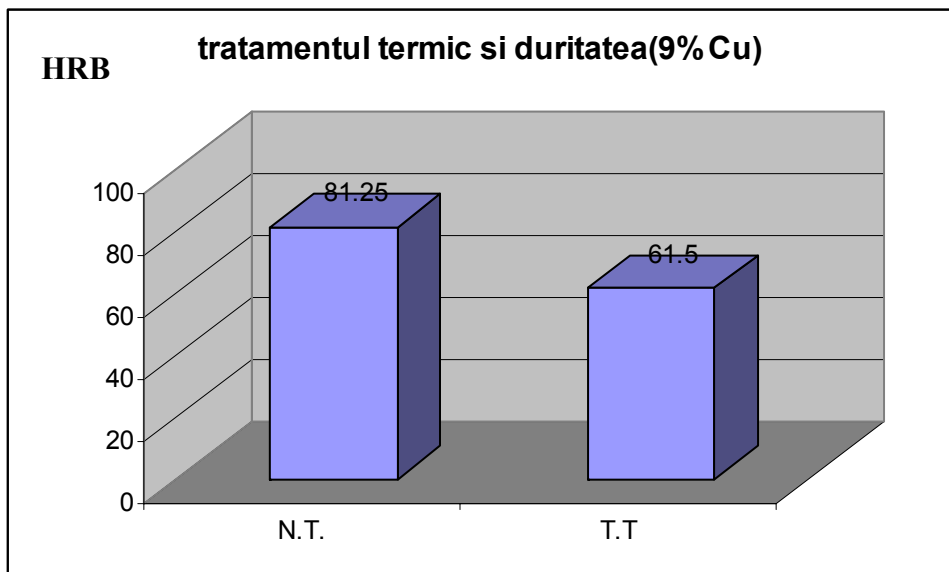


Fig. 5.29. Influența tratamentului termic asupra durității pentru proba 9% Cu

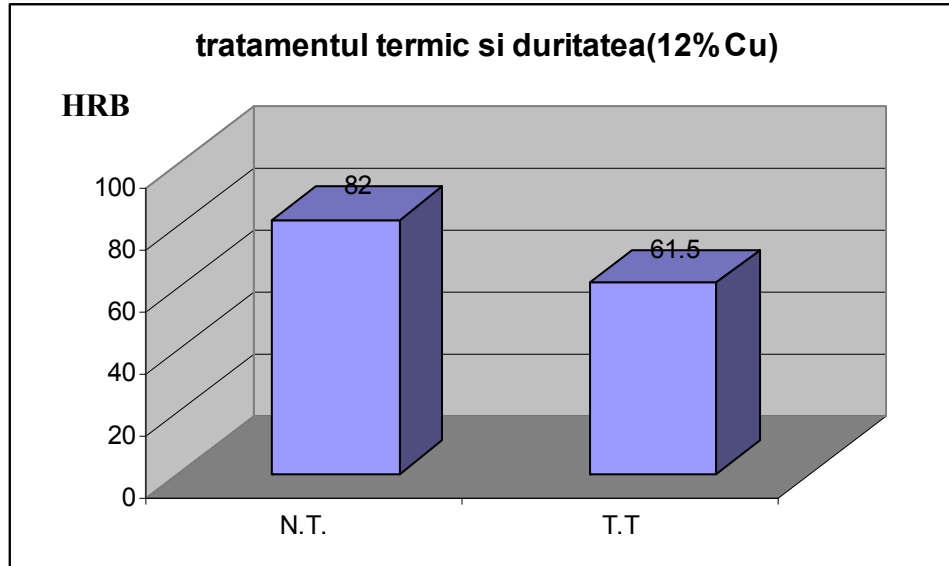


Fig. 5.30. Influența tratamentului termic asupra durității pentru proba 12% Cu

Rezultatele măsurătorilor au condus la următoarele concluzii

- Pentru probele netratate termic, creșterea conținutului în cupru conduce la o semnificativă creștere a durității;
- Creșterea temperaturii de sinterizare nu are un efect benefic asupra creșterii de duritate
- Tratamentul de călire are efect durificator doar la un conținut scăzut în cupru.
- Duritatea optimă se întâlnește la probele 6III și 12I;

5.2.2.2 Rezistența la strivire radială

Metoda pentru determinarea rezistenței la strivire radială a pieselor sinterizate de formă cilindrică tubulară este standardizată [C3] și presupune aplicarea pe piesa cilindrică a unei sarcini radiale care crește continuu până la rupere, cu condiția ca deformația înainte de rupere să nu depășească 10% din diametru. Încercarea s-a efectuat pe epruvete tip bucșă (fig. 5.31., a), acestea fiind așezate între plăcile mașinii de încercat la compresiune astfel încât axa piesei cilindrice să fie paralelă cu planele plăcilor (fig.5.31, b).

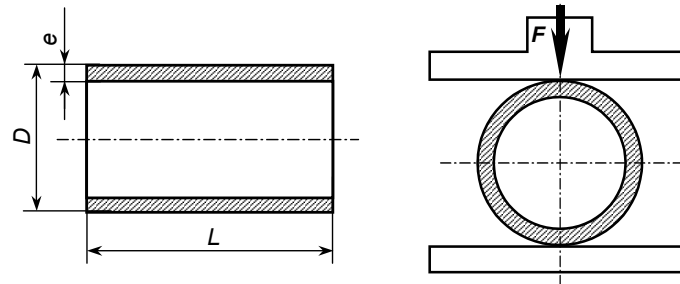


Fig. 5.31. Forma epruvetei (a) și așezarea epruvetei (b)

Rezistența la strivire radială a bușei, K , se exprimă în N/mm^2 și se calculează cu relația:

$$K = \frac{F(D - e)}{L \cdot e^2} \quad (5.4)$$

unde: F – sarcina maximă, care provoacă ruperea, [N];

L – lungimea piesei tubulare cilindrice, [mm];

D – diametrul exterior al piesei tubulare cilindrice, [mm];

e – grosimea peretelui piesei cilindrice, [mm].

Relația (5.4) este valabilă atunci când raportul $e/D < 1/3$, caz în care se constată că rezistența la tracțiune este aproximativ egală cu $0,5K$. Pentru determinarea rezistenței la strivire radială se supun încercării 3 epruvete și se ia drept rezultat media aritmetică a celor trei încercări. Ruperea bușelor s-a realizat după două plane perpendiculare.

Epruvetele utilizate pentru încercarea la strivire radială sunt inele de supapă elaborate în condițiile precizate (având 6 %, 9%, 12 % conținutul în cupru), fiind compactate cu o presiune de 700 MPa și sinterizate în mediu de hidrogen timp de 50 minute la temperaturile de 1150 și 1270 °C. Rezultatele măsurătorilor sunt prezentate în tabelul 5.5, iar evoluția rezistenței la strivire K cu concentrația de cupru este reprezentată în figura 5.32

Tabel 5.5. Valorile determinate ale rezistenței la strivire a probelor sinterizate

Nr. Crt.	% cupru	Temp.de sinterizare, °C	Rezistența la strivire K, Pa
1.	6%	1150	$597,8 \times 10^4$
2.	9%	1150	$590,7 \times 10^4$
3	9%	1270	588×10^4
4.	12%	1150	588×10^4

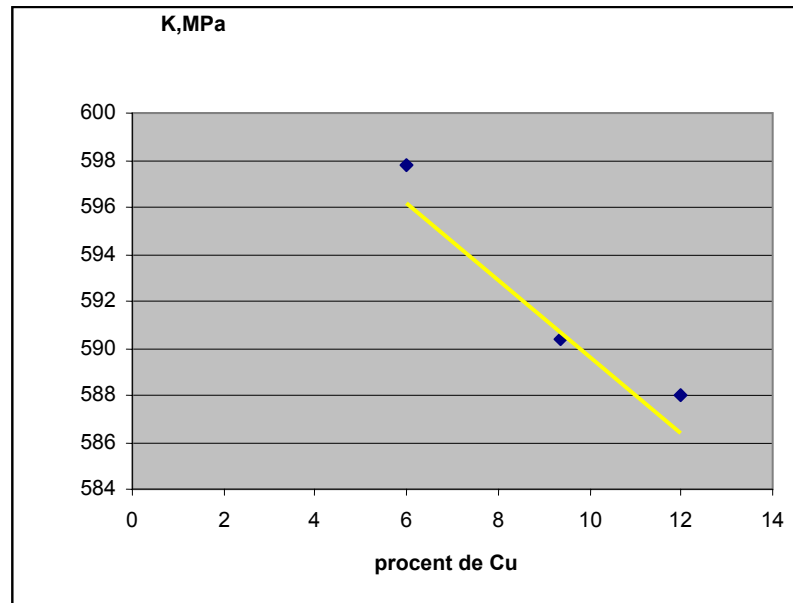


Fig. 5.32.Evoluția rezistenței la strivire funcție de procentul de Cu
Determinările s-au făcut în laboratoarele Universității Tehnice din Cluj.

Se poate observa că rezistența la strivire scade cu creșterea conținutului în cupru și cu creșterea temperaturii de sinterizare și în consecință proba cu 6% Cu sinterizată la 1150°C are rezistența la strivire mai mare.

5.2.3 Proprietăți termice

5.2.3.1 Coeficientul de dilatare termică

5.2.3.1.1 Considerații generale

La încălzirea unui corp dimensiunile sale cresc .Acest fenomen este numit dilatație termică. Considerând creșterea pe o singură dimensiune a corpului ,dilatarea se numește liniară și se caracterizează prin coeficientul de dilatație liniară. Acesta reprezintă variația lungimii corpului provocată de o creștere a temperaturii T, cu un grad ,raportată la lungimea inițială l₀

$$\alpha_T = \frac{1}{l_0} \cdot \frac{dl}{dT} \quad (5.5)$$

În mod uzual determinarea acestui coeficient se face prin analiză dilatometrică.

Analiza dilatometrică este o metodă de analiză termică prin care se urmărește variația dimensiunilor unei probe în funcție de temperatură sau de timp. Dintre aplicațiile mai importante ale analizei dilatometrice le menționăm pe următoarele:

- Determinarea coeficientului de dilatare liniară a materialelor la încălzire sau la răcire
- Studiul transformărilor de fază în stare solidă

148 Cercetări experimentale privind fabricarea și caracterizarea scaunelor de supapă sinterizate-5

- Studii legate de sinterizarea pulberilor
- Determinarea rezistenței la șoc termic a materialelor
- Determinarea concentrației defectelor punctuale (vacante), într-un material, etc.
- Ridicarea diagramelor *TTT* (*Temperatură - Transformare - Timp*, pentru tratamente termice

În funcție de gradul de sensibilitate al determinărilor se utilizează două metode: analiza dilatometrică directă și analiza dilatometrică diferențială.

În *analiza dilatometrică directă* se determină modificarea dimensiunii liniare a unei probe în funcție de temperatură sau de timp. Schema unei instalații pentru analiză dilatometrică directă este ilustrată în figura 5.33. Instalația se compune dintr-un cuptor, încălzit cu o rezistență de încălzire R , comandată de un programator de temperatură. Proba este fixată la un capăt, iar dilatarea ei este preluată de o tijă din Al₂O₃ sau SiO₂ (cuarț), care nu suferă transformări în stare solidă. Tija transmite dilatarea la un traductor (inductiv, mecanic, capacitiv, rezistiv, optic, interferențial, etc.) de unde semnalul electric ajunge la interfață și calculator (PC). Temperatura este măsurată cu un termocuplu a cărui joncțiune rece este menținută la o temperatură constantă cu ajutorul unui termostat, iar semnalul electric dat de termocuplu este preluat de interfață și ajunge la calculator. Răcirea probei este controlată prin ventilele de apă și gaz comandate prin interfața calculatorului, după un program prestabilit. Instalațiile mai puțin modernizate (fără sistem de calcul) preiau dilatarea de la traductor cu o punte tensometrică, iar semnalul de la termocuplu cu un voltmetru digital, cele două semnale fiind apoi trimise unui inscripător în coordonate (y,x) care va trasa curba de dilatare $\Delta l = f(T)$. [M3]

În figura 5.34. se prezintă o curbă tipică de analiză dilatometrică directă pentru cazul unui material care are o transformare alotropică în intervalul de temperatură studiat. Coeficientul de dilatare liniară α este chiar panta dreptei $\Delta l = f(T)$. Întrucât coeficientul de dilatare, este o funcție de temperatură, curba reală $\Delta l = f(T)$ nu este o dreaptă, ci este o curbă ușor concavă cu panta crescătoare în funcție de creșterea temperaturii. Ca urmare, pentru temperaturi mai mari decât temperatura camerei, T_c , coeficientul de dilatare a se calculează ca un coeficient mediu pe intervale de temperatură, conform relației:

$$a_{T-T_c} = \frac{1}{l_0} \cdot \frac{\Delta l_{T-T_c}}{T - T_c} \quad (5.6)$$

unde a_{T-T_c} și Δl_{T-T_c} sunt coeficientul de dilatare, și respectiv dilatarea în intervalul de temperatură ($T - T_c$). Temperatura superioară T a intervalului de temperatură se ia de obicei un multiplu de 100⁰ C, adică din relația (5.6) se calculează, de exemplu, a_{20-400} , care semnifică valoarea coeficientului de dilatare pe intervalul de temperatură (20-400)⁰C.

Un alt motiv pentru care curba reală $\Delta l = f(T)$ nu este o dreaptă este legat de viteza de încălzire a probei. Astfel, dacă viteza de încălzire este prea mare (curba 2, fig. 5.34.), nu mai există o dependență liniară între dilatare și temperatură, datorită rămânerii în urmă a temperaturii probei față de temperatura din cuptor (histerezis termic). Din acest motiv pentru a se obține determinări corecte viteza de încălzire este standardizată și este de aproximativ 2-3⁰C/min.

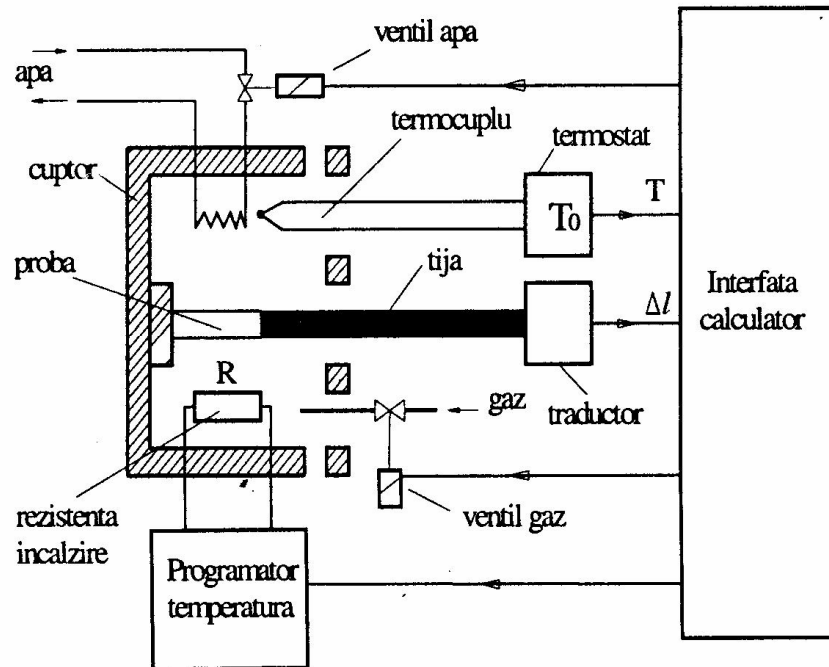


Fig 5.33. Instalație pentru analiză dilatometrică directă

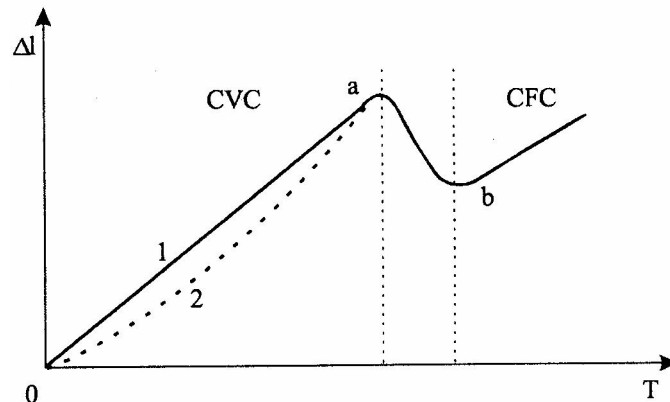


Fig 5.34. Curba de dilatare pentru un material care are o transformare alotropică de la o structură CVC la o structură CFC (cazul fierului).

Erorile depind foarte mult de lungimea l_0 a epruvetei și de uniformitatea încălzirii ei. În general se pot obține erori mai mici pe epruvete mai scurte deoarece omogenizarea temperaturii în probă se realizează mai ușor, dar în acest caz trebuie crescută precizia la determinarea lungimii l_0 . Rezultatele determinărilor sunt afectate întotdeauna de o eroare sistematică provenită de la dilatarea tijei care preia dilatarea probei și care se sprijină pe probă. Această eroare fiind cunoscută ($0,54 \times 10^{-6} \text{grd}^{-1}$ pentru tijele de cuarț), se corectează rezultatul final în determinarea lui a prin adunarea coeficientului de dilatare al tijei. La măsurătorile dilatometrice pot apărea și alte surse de erori, cum ar fi :

- Erori privind măsurarea temperaturii care pot proveni de la interfața

150 Cercetări experimentale privind fabricarea și caracterizarea scaunelor de supapă sinterizate-5

termocuplu-probă, termostatarea incorectă a termocuplului, gradient de temperatură în probă (admis maximum $\pm 0,5\%$ între punctul cel mai cald și cel mai rece din probă)

- Erori la măsurarea alungirii Δl provenite de la suportul de probă (exemplu - necoliniaritate suport-probă-tijă), erori de neliniaritate a traductoarelor de măsurare a alungirii
- Erori provenite de la sistemul electronic de măsură care transformă semnalele analogice de alungire și temperatură în semnale digitale, etc.

La probele metalice se fac minimum trei determinări pe probă în stare recoaptă, menționându-se în protocolul analizei următoarele: compoziția chimică a epruvetei, starea materialului, rezultatele determinărilor (coeficientul de dilatare pe intervale de temperatură, punctele critice ale transformărilor, etc.), precizia și tipul aparatului, gradientul de temperatură în epruvetă, viteza de încălzire și de răcire, palierele de menținere la diferite temperaturi, etc.

Analiza dilatometrică diferențială

Aparatele de analiză dilatometrică diferențială au o sensibilitate cu 2-3 ordine de mărime mai mare față de sensibilitatea dilatometrelor care măsoară direct dilatarea. Aceasta provine din faptul că întotdeauna o măsurătoare prin comparație (diferența) este mai sensibilă și mai exactă decât o măsurătoare directă. Dilatometrul diferențial măsoară diferența dimensională între probă și un etalon la o anumită temperatură. Termenul "diferențial", la fel ca la analiza termică diferențială, nu are legătură cu noțiunea de "diferențială" din matematică.

Schița de principiu a unui dilatometru diferențial este dată în figura 5.35. Dilatometrul diferențial este format dintr-un cuptor orizontal, încălzit cu o rezistență de încălzire comandată de calculator prin intermediul unui programator de temperatură. Dilatometrele moderne au cuptorul dispus orizontal (la aproape toate modelele), pentru ca gradientul de temperatură în cuptor (care apare datorită ridicării gazelor mai calde la partea superioară a cuptorului) să fie cât mai mic. În incinta cuptorului proba și etalonul sunt fixate la un capăt, dilatarea lor fiind preluată în afara cuptorului de două tije, care nu au transformări de fază în stare solidă și care se dilată liniar în intervalul de temperatură în care lucrează cuptorul. Tijele utilizate sunt confecționate din: cuarț (SiO_2) pentru temperaturi de până la 1100°C , alumina (Al_2O_3) până la 1680°C și grafit până la o temperatură de utilizare de 2800°C (în atmosferă de protecție).

Dilatarea se măsoară cu un traductor inductiv diferențial alimentat în curent alternativ cu frecvența de 5KHz. Tijele care preiau dilatarea de la probă și de la etalon sunt în contact cu carcasa traductorului și cu miezul feromagnetic al traductorului diferențial. Datorită acestui montaj traductorul diferențial sesizează dilatarea (mișcarea), relativă a etalonului față de cea a probei. Deplasarea miezului feromagnetic produce o variație a inductanței L a traductorului, proporțională cu diferența de dilatare probă-etalon:

$$\Delta l = \Delta l_e - \Delta l_p \approx 2\pi n \Delta L \quad (5.7)$$

Variația inductanței, convertită în semnal electric este preluată de interfață și prelucrată de către calculator. Temperatura se măsoară cu un termocuplu (așezat în etalon), a cărui joncțiune rece este plasată într-un termostat, semnalul electric proporțional cu temperatura fiind preluat de calculator prin intermediul interfeței. Pentru a asigura o răcire controlată, cuptorul este prevăzut cu un circuit de apă pentru răcire și un circuit de gaz pentru răcire și protecție.

În figura 5.36 se prezintă o curbă de analiză dilatometrică diferențială

5.2. Caracterizarea aliajelor elaborate destinate fabricării scaunelor de supapă 151

precum și modul ei de interpretare: Curba (1) arată dilatarea Δl_e funcție de temperatură a etalonului, care nu suferă transformări în stare solidă. Curba (2) este pentru o probă (de exemplu fier pur), care la temperatura T_1 (912 °C) suferă o transformare (proces izoterm, segmentul ab), schimbându-și sistemul de cristalizare de la o structură CVC ($Fe\alpha$) la o structură CFC ($Fe\gamma$), care are rețeaua mai compactă. Curba (3) este curba de dilatare diferențială (diferența de dilatare dintre etalon și probă). Cu toate că curbele (1) și (2) de analiză dilatometrică directă sunt mai intuitive și deci mai ușor de interpretat, în timp ce interpretarea curbelor diferențiale este mai greoaie și necesită multă experiență, dilatometria diferențială s-a impus datorită sensibilității ei foarte ridicate (mai sensibilă cu 2-3 ordine de mărime în cazul determinării punctelor critice de transformare).

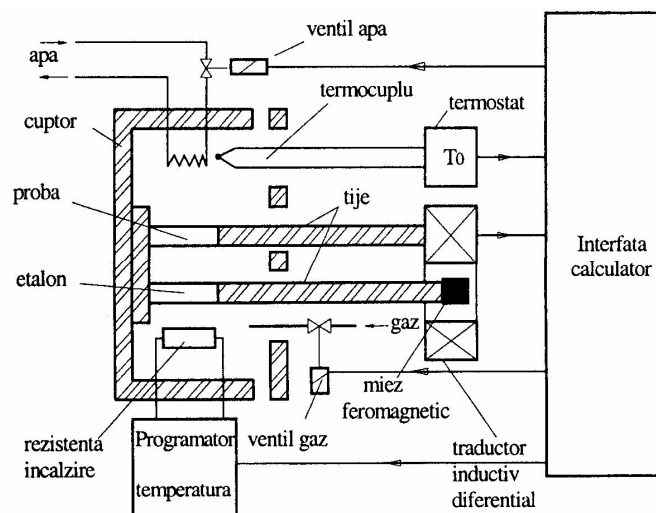


Fig 5.35. Schița simplificată a unui dilatometru diferențial

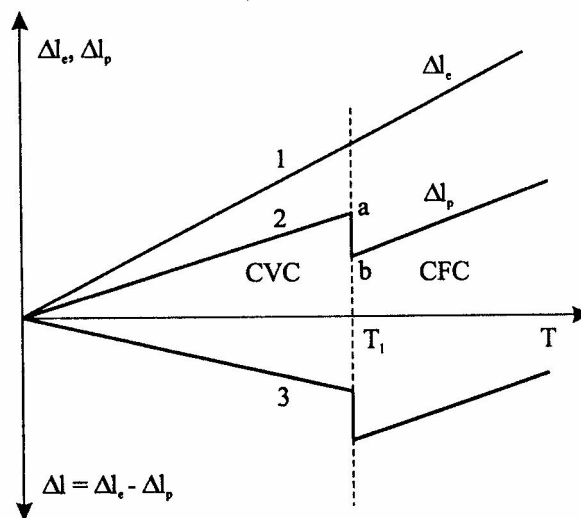


Figura 5.36. Curba de analiză dilatometrică diferențială (3) și curbele de dilatare directă pentru etalon (1) și pentru o probă (2), care prezintă o transformare alotropică.

152 Cercetări experimentale privind fabricarea și caracterizarea scaunelor de supapă sinterizate-5

unde Δl este diferența între dilatarea etalonului ($\Delta l/e$) și cea a probei ($\Delta l/p$), iar ΔL este variația inductanței traductorului.

Dilatometrele care folosesc tehnica de interferometrul laser pentru măsurarea dilatării sunt mult mai sensibile, putând măsura dilatări de până la 20 nm.

5.2.3.1.2 Experimentări

În vederea efectuării investigațiilor prin analiză dilatometrică s-au utilizat probe cilindrice cu diametrul de 10 mm și lungimi în jurul a 65 mm obținute printr-o tehnologie similară scaunelor de supapă a căror caracteristici sunt prezentate în tabelul 5.6

Încercările s-au efectuat în cadrul laboratoarelor Facultății de Știința și Ingineria Materialelor a Universității Tehnice Cluj-Napoca.

Rezultatele obținute sunt prezentate pentru fiecare probă în parte în tabelele 5.7.....5.13 iar curbele dilatometrice aferente în figurile 5.37....5.43

Tabel 5.6. Notațiile, caracteristicile și dimensiunile inițiale pentru probele supuse analizei dilatometrice

Nr. Crt.	Notații	Procentul de Cu (%)	Presiunea de compactizare MPa	Temp. de sinterizare (°C)	Dimensiunea inițială (mm)
1	6 I	6	700	1150	65
2.	6 I*	6	1000	1150	65,1
3.	6 II	6	700	1270	65
4.	9 I	9	700	1150	64,8
5.	9 I*	9	1000	1150	64,8
6.	9 II	9	700	1270	64,6
7.	12 I	12	700	1150	64,9
8.	12 I*	12	1000	1150	65
9.	12 II	12	700	1270	65,1

5.2.Caracterizarea aliajelor elaborate destinate fabricării scaunelor de supapă 153

Tabel 5.7. Determinarea alungirii probei **6 I** (700MPa, 1150°C)

ora	Δl (mm)	T °C	ora	Δl (mm)	T °C
11.20	0	22	13.12	0,420	510
11.29	0,010	50	13.13	0,440	520
11.36	0,020	70	13.15	0,470	560
11.40	0,025	80	13.18	0,530	580
11.46	0,040	100	13.21	0,550	600
11.53	0,050	120	13.23	0,570	620
11.58	0,070	140	13.24	0,605	640
12.04	0,080	160	13.26	0,640	660
12.11	0,100	180	13.28	0,690	680
12.16	0,120	200	13.30	0,760	700
12.20	0,135	220	13.32	0,850	720
12.24	0,150	240	13.34	0,920	740
12.29	0,175	260	13.38	1,030	760
12.33	0,185	280	13.40	1,100	780
12.36	0,200	300	13.42	1,170	800
12.40	0,220	320	13.44	1,220	820
12.44	0,240	340	13.47	1,280	840
12.48	0,255	360	13.51	1,350	860
12.53	0,275	380	13.54	1,400	880
12.56	0,295	400	14.00	1,430	900
12.59	0,310	420	14.03	1,450	920
13.01	0,335	440	14.08	1,490	940
13.04	0,350	460			
13.07	0,370	480			
13.09	0,395	500			

154 Cercetări experimentale privind fabricarea și caracterizarea scaunelor de supapă sinterizate-5

Tabel 5.8.Determinarea alungirii probei **6 I*** (1000MPa, 1150°C)

ora	Δl	T °C	ora	Δl	T °C
10.2	0	22	10.24	0.41	520
10.28	0.005	40	10.28	0.44	540
8.35	0.01	60	10.31	0.46	560
8.4	0.02	80	10.34	0.48	580
8.45	0.03	100	10.37	0.51	600
8.53	0.05	120	10.41	0.55	620
9	0.07	140	10.44	0.59	640
9.08	0.08	160	10.45	0.65	660
9.15	0.1	180	10.47	0.71	680
9.22	0.12	200	10.5	0.78	700
9.27	0.135	220	10.52	0.85	720
9.32	0.15	240	10.54	0.95	740
9.38	0.17	260	10.56	1.04	760
9.41	0.18	280	10.59	1.13	780
9.45	0.2	300	11	1.19	800
9.48	0.22	320	11.04	1.27	820
9.52	0.24	340	11.07	1.32	840
9.55	0.25	360	11.1	1.35	860
9.58	0.27	380	11.14	1.38	880
10.02	0.29	400	11.17	1.39	900
10.05	0.31	420	11.21	1.41	920
10.09	0.33	440	11.27	1.46	940
10.13	0.35	460	11.33	1.5	960
10.17	0.37	480	11.39	1.56	980
10.2	0.39	500			

5.2.Caracterizarea aliajelor elaborate destinate fabricării scaunelor de supapă 155

Tabel 5.9. Determinarea alungirii probei **6 II** (700MPa, 1270°C)

ora	Δl (mm)	T °C	ora	Δl (mm)	T °C
08.50	0	22	11.43	0,380	520
09.00	0	40	11.47	0,400	540
09.11	0,010	60	11.50	0,420	560
09.18	0,020	80	11.55	0,440	580
09.24	0,035	100	12.00	0,480	600
09.32	0,060	120	12.04	0,540	620
09.39	0,065	140	12.06	0,595	640
09.48	0,080	160	12.09	0,680	660
09.55	0,095	180	12.13	0,770	680
10.00	0,110	200	12.17	0,880	700
10.06	0,125	220	12.21	0,950	720
10.14	0,140	240	12.25	1,005	740
10.21	0,160	260	12.29	1,040	760
10.29	0,170	280	12.32	1,065	780
10.35	0,190	300	12.37	1,090	800
10.41	0,205	320	12.42	1,110	820
10.49	0,225	340	12.46	1,120	840
10.55	0,240	360	12.49	1,130	860
11.01	0,260	380	12.53	1,135	880
11.07	0,275	400	12.58	1,135	900
11.13	0,290	420	13.02	1,130	920
11.19	0,310	440	13.06	1,130	940
11.25	0,330	460			
11.31	0,345	480			
11.37	0,360	500			

156 Cercetări experimentale privind fabricarea și caracterizarea scaunelor de supapă sinterizate-5

Tabel 5.10. Determinarea alungirii probei **9 II** (700MPa, 1270°C)

ora	$\Delta l(\text{mm})$	T °C	ora	$\Delta l(\text{mm})$	T °C
9.28	0,000	25	12.51	0,400	520
9.31	0,000	40	12.57	0,420	540
9.37	0,010	60	13.05	0,440	560
9.45	0,025	80	13.13	0,480	580
9.53	0,040	100	13.18	0,570	600
10.00	0,050	120	13.23	0,650	620
10.09	0,070	140	13.28	0,800	640
10.21	0,090	160	13.35	1,010	660
10.33	0,105	180	13.39	1,120	680
10.44	0,120	200	13.44	1,250	700
10.52	0,140	220	13.49	1,355	720
11.02	0,160	240	13.55	1,460	740
11.08	0,170	260	14.00	1,550	760
11.14	0,190	280	14.06	1,630	780
11.18	0,200	300	14.11	1,690	800
11.26	0,220	320	14.18	1,730	820
11.32	0,240	340	14.25	1,775	840
11.45	0,260	360	14.32	1,810	860
11.50	0,280	380	14.37	1,840	880
11.59	0,300	400	14.41	1,850	900
12.01	0,310	420	14.48	1,850	920
12.09	0,330	440	14.53	1,860	940
12.22	0,350	460	14.59	1,900	960
12.29	0,360	480	15.04	1,950	980
12.44	0,380	500			

5.2.Caracterizarea aliajelor elaborate destinate fabricării scaunelor de supapă 157

Tabel 5.11. Determinarea alungirii probei **12 I** (700MPa, 1150°C)

ora	$\Delta l(\text{mm})$	T °C	ora	$\Delta l(\text{mm})$	T °C
10.3	0	22	12.11	0.41	520
10.4	0.01	40	12.14	0.43	540
10.45	0.02	60	12.16	0.45	560
10.5	0.03	80	12.19	0.47	580
10.53	0.04	100	12.22	0.49	600
11	0.06	120	12.24	0.52	620
11.02	0.07	140	12.26	0.58	640
11.07	0.09	160	12.28	0.64	660
11.11	0.11	180	12.3	0.7	680
11.14	0.12	200	12.31	0.76	700
11.19	0.14	220	12.33	0.84	720
11.22	0.15	240	12.35	0.91	740
11.25	0.17	260	12.37	0.1	760
11.28	0.18	280	12.4	1.09	780
11.32	0.2	300	12.42	1.15	800
11.36	0.22	320	12.44	1.23	820
11.4	0.24	340	12.47	1.29	840
11.42	0.25	360	12.5	1.34	860
11.48	0.28	380	12.53	1.37	880
11.51	0.3	400	12.57	1.4	900
11.55	0.32	420	12.59	1.43	920
11.58	0.34	440	13.04	1.46	940
12.02	0.36	460	13.1	1.51	960
12.05	0.38	480	13.17	1.58	980
12.08	0.39	500			

158 Cercetări experimentale privind fabricarea și caracterizarea scaunelor de supapă sinterizate-5

Tabel 5.12. Determinarea alungirii probei **12 I*** (1000MPa, 1150°C)

ora	Δl (mm)	T °C	ora	Δl (mm)	T °C
10.44	0,000	22	12.49	0,410	520
10.50	0,000	40	12.52	0,425	540
10.57	0,020	60	12.55	0,450	560
11.05	0,030	80	12.58	0,470	580
11.11	0,040	100	13.02	0,520	600
11.20	0,055	120	13.04	0,570	620
11.25	0,070	140	13.07	0,620	640
11.30	0,080	160	13.11	0,720	660
11.37	0,100	180	13.13	0,810	680
11.42	0,120	200	13.17	0,930	700
11.48	0,135	220	13.19	1,040	720
11.53	0,150	240	13.22	1,120	740
11.57	0,165	260	13.25	1,190	760
12.01	0,180	280	13.28	1,270	780
12.04	0,200	300	13.31	1,340	800
12.08	0,220	320	13.33	1,380	820
12.13	0,240	340	13.35	1,430	840
12.16	0,255	360	13.39	1,480	860
12.20	0,275	380	13.43	1,520	880
12.24	0,290	400	13.47	1,550	900
12.28	0,310	420	13.52	1,570	920
12.33	0,330	440	13.57	1,610	940
12.39	0,350	460	14.03	1,660	960
12.48	0,370	480	14.10	1,730	980
12.45	0,390	500			

5.2. Caracterizarea aliajelor elaborate destinate fabricării scaunelor de supapă 159

Tabel 5.13. Determinarea alungirii probei **12 II** (700MPa, 1270°C)

ora	Δl	T°C	ora	Δl	T°C
10.3	0	22	12.11	0.41	520
10.4	0.01	40	12.14	0.43	540
10.45	0.02	60	12.16	0.45	560
10.5	0.03	80	12.19	0.47	580
10.53	0.04	100	12.22	0.49	600
11	0.06	120	12.24	0.52	620
11.02	0.07	140	12.26	0.58	640
11.07	0.09	160	12.28	0.64	660
11.11	0.11	180	12.3	0.7	680
11.14	0.12	200	12.31	0.76	700
11.19	0.14	220	12.33	0.84	720
11.22	0.15	240	12.35	0.91	740
11.25	0.17	260	12.37	0.1	760
11.28	0.18	280	12.4	1.09	780
11.32	0.2	300	12.42	1.15	800
11.36	0.22	320	12.44	1.23	820
11.4	0.24	340	12.47	1.29	840
11.42	0.25	360	12.5	1.34	860
11.48	0.28	380	12.53	1.37	880
11.51	0.3	400	12.57	1.4	900
11.55	0.32	420	12.59	1.43	920
11.58	0.34	440	13.04	1.46	940
12.02	0.36	460	13.1	1.51	960
12.05	0.38	480	13.17	1.58	980
12.08	0.39	500			

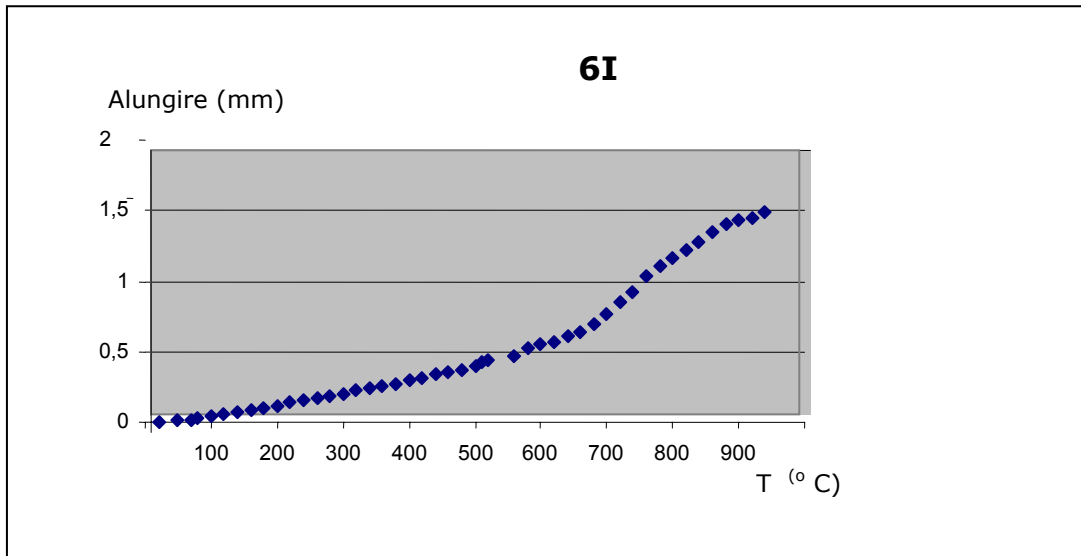


Fig. 5.37. Curba dilatometrică pentru proba 6I

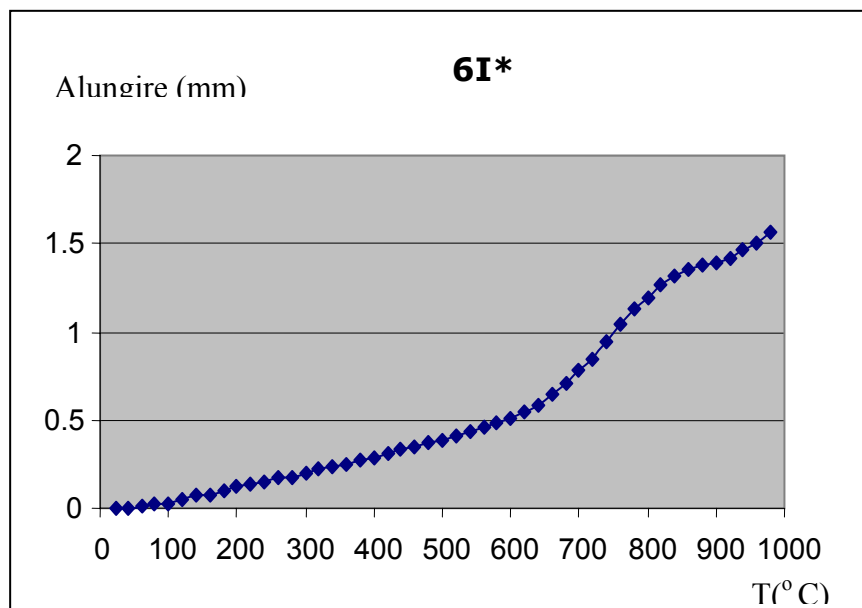


Fig. 5.38. Curba dilatometrică a probei 6I*

5.2. Caracterizarea aliajelor elaborate destinate fabricării scaunelor de supapă 161

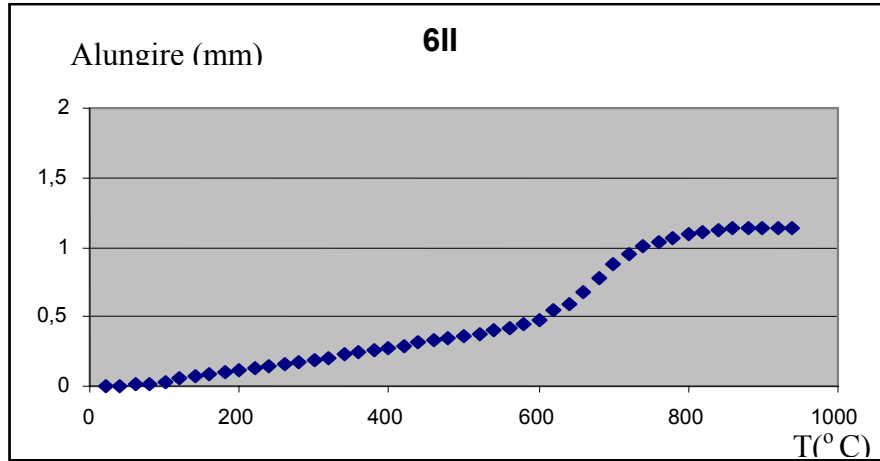


Fig. 5.39. Curba dilatometrică a probei 6II

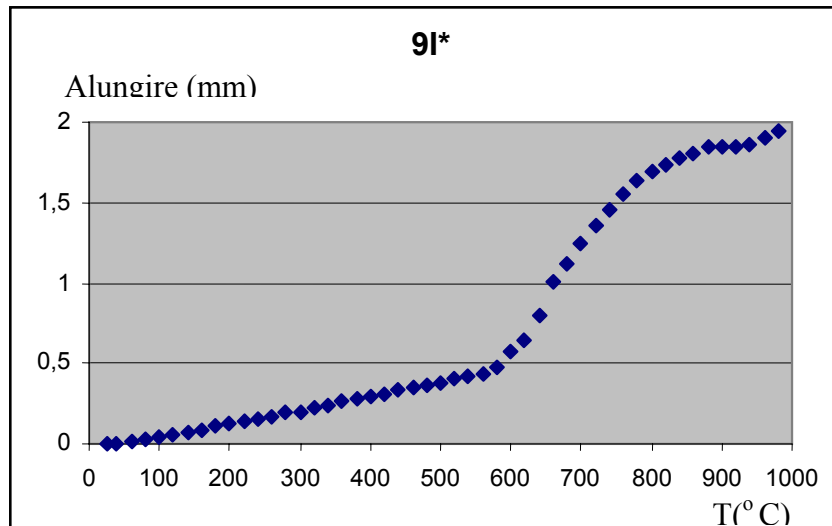


Fig. 5.40. Curba dilatometrică pentru proba 9 I*

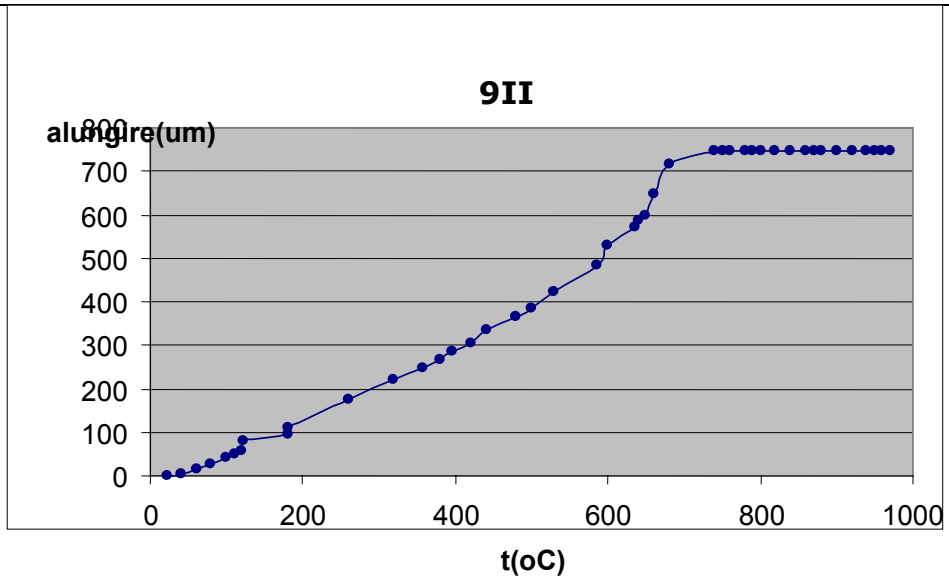


Fig. 5.41. Curba dilatometrică pentru proba 9II

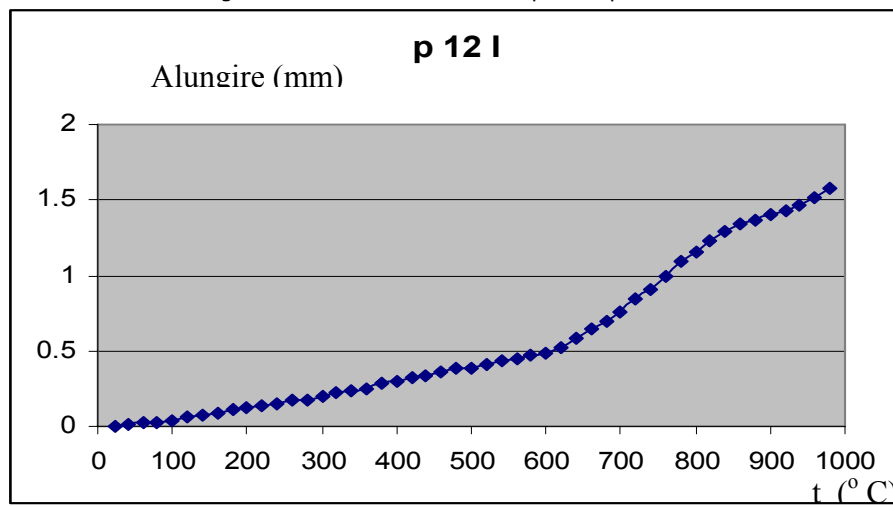


Fig. 5. 42. Curba dilatometrică a probei12I

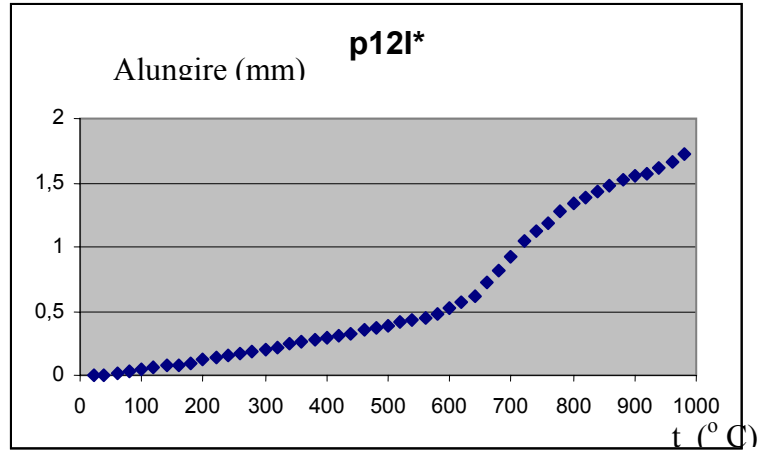


Fig. 5.43. Curba dilatometrică pentru proba 12 I*

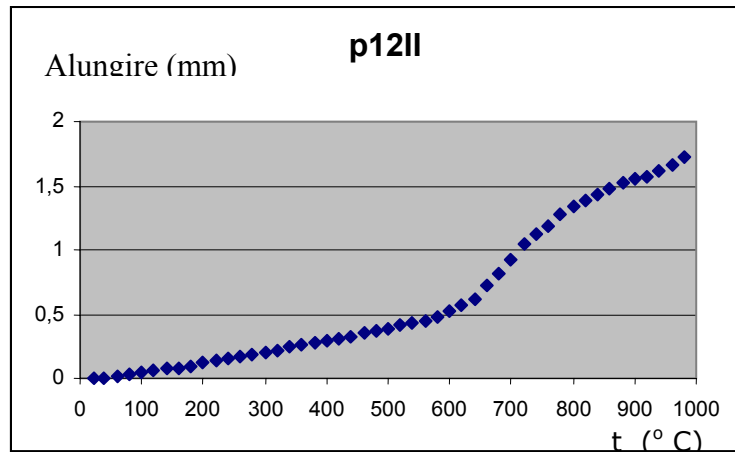


Fig. 5.44. Curba dilatometrică pentru proba 12II

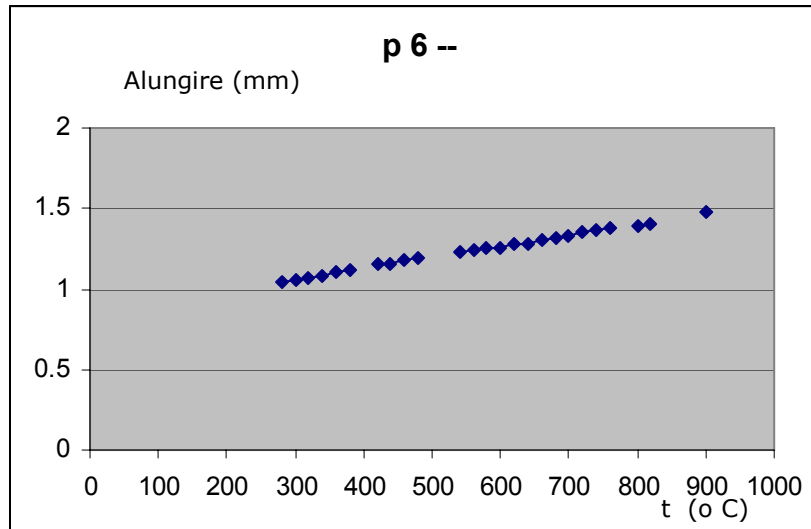


Fig.5.45. Curba dilatometrică pentru proba 6I*, răcire

curba de histerezis incalzire-racire pentru proba 12II

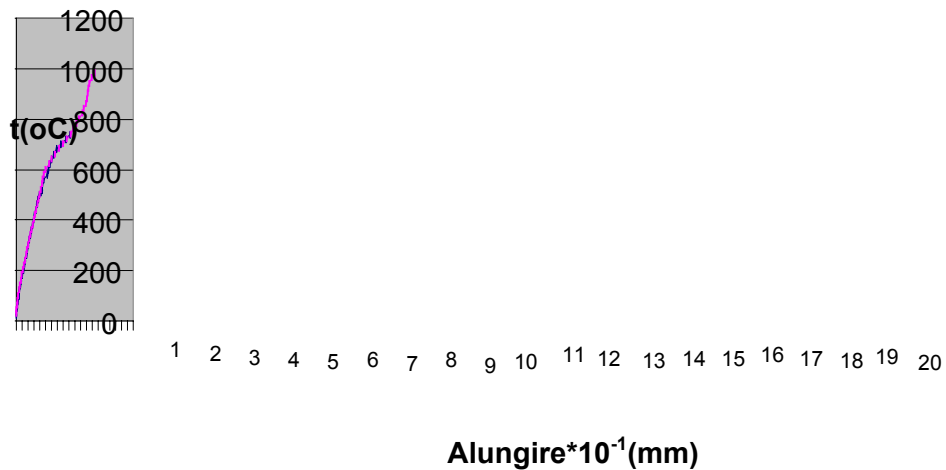


Fig. 5.46. Curba de histerezis încălzire-răcire, pentru proba 12II

Rezultatele obținute au stat la baza determinării coeficientului de dilatație termică pentru probele analizate (tabelele 5.14...5.21)

5.2. Caracterizarea aliajelor elaborate destinate fabricării scaunelor de supapă 165

Tabel 5.14. Determinarea coeficientului de dilatare termică pentru proba 6 I

$\Delta t(^{\circ}\text{C})$	Δl (mm)	α ($\cdot 10^{-6}$ grad $^{-1}$)
22.....100	0,04	7,88
22.....200	0,12	10,37
22.....300	0,2	11,06
22.....400	0,295	12,006
22.....500	0,395	12,7
22.....600	0,55	14,6
22.....640	0,605	15,06
22.....700	0,760	17,24
22.....740	0,920	19,79
22.....800	1,17	23,13
22.....900	1,43	25,05

Tabel 5.15 Determinarea coeficientului de dilatare termică pentru proba 6I*

$\Delta t(^{\circ}\text{C})$	Δl (mm)	α ($\cdot 10^{-6}$ grad $^{-1}$)
22.....100	0,03	5,9
22.....200	0,12	10,35
22.....300	0,2	11,05
22.....400	0,29	11,78
22.....500	0,39	12,53
22.....600	0,51	13,55
22.....640	0,59	14,6
22.....700	0,78	17,67
22.....800	1,19	23,49
22.....840	1,32	24,78
22.....900	1,39	24,31

Tabel 5.16. Determinarea coeficientului de dilatare termică pentru proba 6 II

$\Delta t(^{\circ}\text{C})$	Δl (mm)	α ($\cdot 10^{-6}$ grad $^{-1}$)
22.....100	0,035	6,9
22.....200	0,110	9,5
22.....300	0,19	10,5
22.....400	0,275	11,19
22.....500	0,36	11,58
22.....600	0,48	12,77
22.....700	0,88	19,96
22.....760	1,04	21,39
22.....800	1,09	21,55

166 Cercetări experimentale privind fabricarea și caracterizarea scaunelor de supapă sinterizate-5

Tabel 5.17. Determinarea coeficientului de dilatare termică pentru proba 9I*

$\Delta t(^{\circ}\text{C})$	Δl (mm)	α ($\cdot 10^{-6}$ grad $^{-1}$)
22.....100	0,04	7,91
22.....200	0,12	10,4
22.....300	0,2	11,10
22.....400	0,3	12,24
22.....500	0,38	12,26
22.....560	0,44	12,39
22.....600	0,57	15,2
22.....700	1,25	28,45
22.....780	1,63	32,75
22.....800	1,69	33,5
22.....900	1,85	32,5

Tabel 5.18 Determinarea coeficientului de dilatare termică pentru proba 9II

$\Delta t(^{\circ}\text{C})$	Δl (μm)	α ($\cdot 10^{-6}$ grad $^{-1}$)
22.....100	40,5	8,03
22.....182	110	10,64
22.....320	221	11,48
22.....420	306	11,9
22.....500	385	12,46
22.....600	528	14,1
22.....680	715	16,8

Tabel 5.19 Determinarea coeficientului de dilatare termică pentru proba 12 I

$\Delta t(^{\circ}\text{C})$	Δl (mm)	α ($\cdot 10^{-6}$ grad $^{-1}$)
22.....100	0,04	7,9
22.....200	0,12	10,38
22.....300	0,2	11,08
22.....400	0,3	12,22
22.....500	0,39	12,57
22.....600	0,49	13,06
22.....620	0,52	13,39
22.....700	0,76	17,27
22.....800	1,15	22,77
22.....820	1,23	23,74
22.....900	1,4	24,56

5.2.Caracterizarea aliajelor elaborate destinate fabricării scaunelor de supapă 167

Tabel 5.20. Determinarea coeficientului de dilatare termică pentru proba 12 I*

$\Delta t(^{\circ}\text{C})$	Δl (mm)	α ($\cdot 10^{-6}$ grad $^{-1}$)
22.....100	0,04	7,88
22.....200	0,12	10,37
22.....300	0,2	11,06
22.....400	0,29	11,8
22.....500	0,39	12,55
22.....580	0,47	12,73
22.....640	0,62	15,18
22.....700	0,93	21,11
22.....760	1,19	24,44
22.....800	1,34	26,49
22.....900	1,55	27,159

Tabel 5.21. Determinarea coeficientului de dilatare termică pentru proba 12 II

$\Delta t(^{\circ}\text{C})$	Δl (mm)	α ($\cdot 10^{-6}$ grad $^{-1}$)
30.....100	0,03	6,58
30.....200	0,11	9,94
30.....300	0,2	11,37
30.....400	0,3	12,47
30.....500	0,4	13,07
30.....600	0,5	13,47
30.....700	0,8	18,34
30.....800	1,07	21,34
30.....900	1,22	21,54
30.....980	1,34	21,66

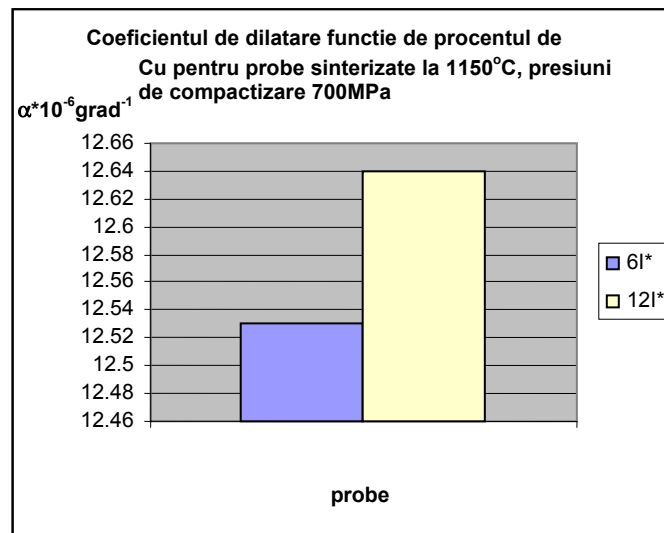


Fig. 5.47. Corelația dintre coeficientul de dilatare și conținutul de Cu pentru probe sinterizate la 1150°C, presate la 700MPa

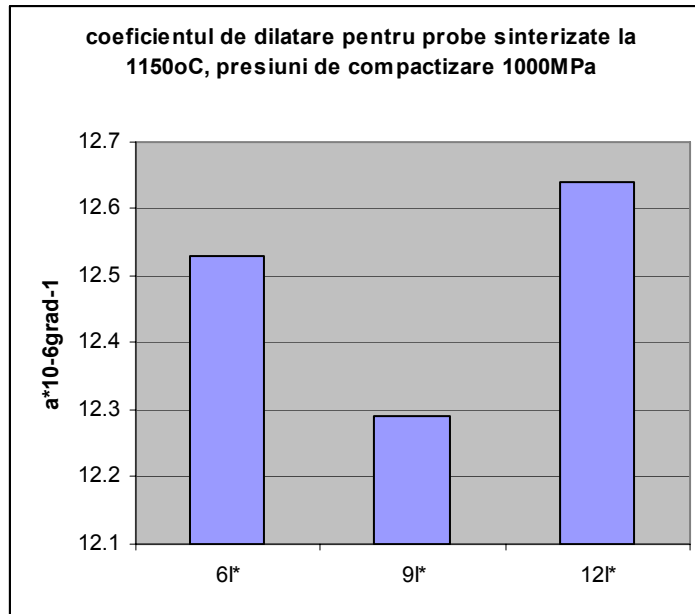


Fig. 5.48. Corelația dintre coeficientul de dilatare și conținutul de Cu pentru probe sinterizate la 1150°C, presate la 1000MPa

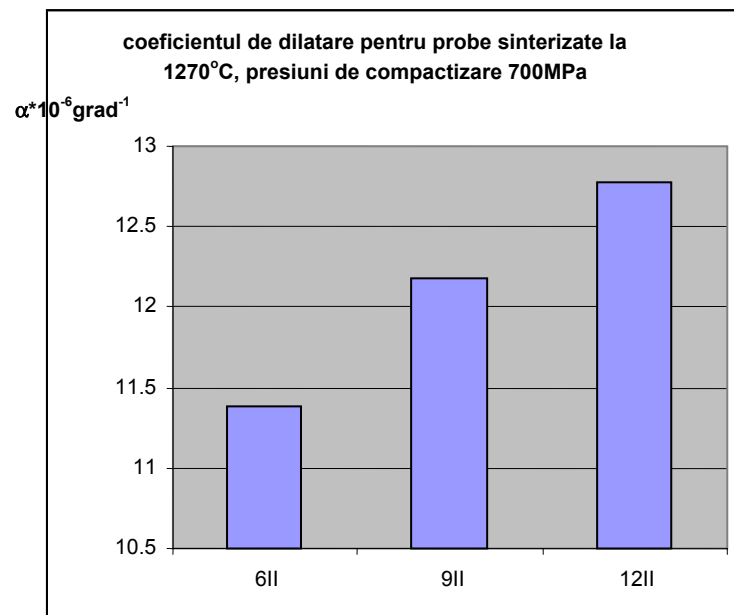


Fig. 5.49. Corelația dintre coeficientul de dilatare și conținutul de Cu pentru probe sinterizate la 1270°C, presate la 700MPa

Concluzii și observații

- Coeficientul de dilatație termică crește cu creșterea conținutului de cupru (figura 5.47)
- Coeficientul de dilatare termică a probelor analizate se situează între $11 \cdot 10^{-6} \text{grad}^{-1}$ și $17 \cdot 10^{-6} \text{grad}^{-1}$
- Din alura graficelor se vede că până pe la $600 \text{ }^\circ\text{C}$ dilatarea crește liniar
- De la circa $600\text{-}700$ de grade apare dilatare neliniară și o transformare în stare solidă, iar în jur de $900 \text{ }^\circ\text{C}$ apare o altă transformare.
- Corelând rezultatele cu transformările structurale ce pot avea loc se poate aprecia ca în cazul probei 6 II prima inflexiune se datorează formării amestecului de $\text{Fe } \alpha + \text{Fe}_\gamma$ și difuziei carbonului, fierului și manganului, iar a doua inflexiune a graficului $\Delta l(\Delta t)$ poate să se datoreze influenței cromului din compoziția materialului.
- În cazul probei 12I* prima inflexiune se datorează difuziei de mangan și de siliciu, ce conduce la apariția a 3 faze: $\text{Si} + \text{Cu}$; $\text{Mn} + \text{Fe}$; $\text{Cu} + \text{Fe}$.
- Coeficientul de dilatare termică al materialului din care este confecționat scaunul de supapă original este de $13 \cdot 10^{-6} \text{ grad}^{-1}$ pentru intervalul $20\text{-}80^\circ\text{C}$.
- În tabele s-au evidențiat valori obținute pentru coeficienții de dilatare termică în intervale de temperatură corespunzătoare temperaturilor de lucru pentru supapele de admisie

5.2.3.2 Conductivitatea termică*5.2.3.2.1 Considerații generale*

Conductivitatea termică λ este o proprietate fizică importantă pentru metale și aliaje metalice. Ea caracterizează capacitatea substanțelor de a conduce căldura.

Determinarea conductivității termice prin metode staționare și absolute [M4]

În cazul metodelor staționare și absolute proba poate să fie sub formă de cilindru plin (bară), țevă sau sferă. În cele ce urmează vom prezenta o metodă de determinare a conductivității termice pentru probe sub formă cilindrică, această formă de probă fiind mai des utilizată. Dacă prin probă se inițiază un transfer de căldură uniaxial (după axa cilindrului), atunci fluxul de căldură $dQ/d\tau$, care străbate proba de secțiune transversală S , conform relației, este:

$$\frac{dQ}{d\tau} = \dot{Q} = \lambda * \frac{dT}{dx} * S \quad (5.8)$$

Pentru un câmp de temperatură staționar și unidimensional, măsurând temperaturile T_1 și T_2 în două puncte de pe axa cilindrului aflate la distanța l unul de altul, determinând fluxul de căldură și cunoscând secțiunea S a probei, se poate calcula conductivitatea termică λ cu relația:

$$\lambda = \frac{\dot{Q}}{S} * \frac{l}{(T_2 - T_1)} \quad (5.9)$$

Schița de principiu a unei instalații pentru determinarea conductivității termice pe baza relației de mai sus, cunoscută sub numele de *instalația lui Jacob*, este

170 Cercetări experimentale privind fabricarea și caracterizarea scaunelor de supapă sinterizate-5

prezentată în figura.5,50, Proba este încălzită la partea superioară cu un cuptor electric, înconjurat de un ecran izolator termic, care are rolul de evita propagarea căldurii de la cuptor spre incinta instalației. Proba este așezată pe un cilindru metalic imersat într-un rezervor prin care circulă apa de răcire. Cilindrul metalic împreună cu rezervorul prin care circulă apa de răcire sunt echivalente cu un corp cu capacitate calorică infinită, care nu-și modifică temperatura, oricât de multă căldură ar primi. Ca urmare, menținând constantă puterea cuptorului electric de încălzire, după un interval de timp, în probă se atinge o stare staționară de transport termic. Peste ansamblul probă - cuptor se pune un vas Dewar, foarte apropiat de acesta, pentru a micșora pierderile de căldură prin radiație și prin convecție.

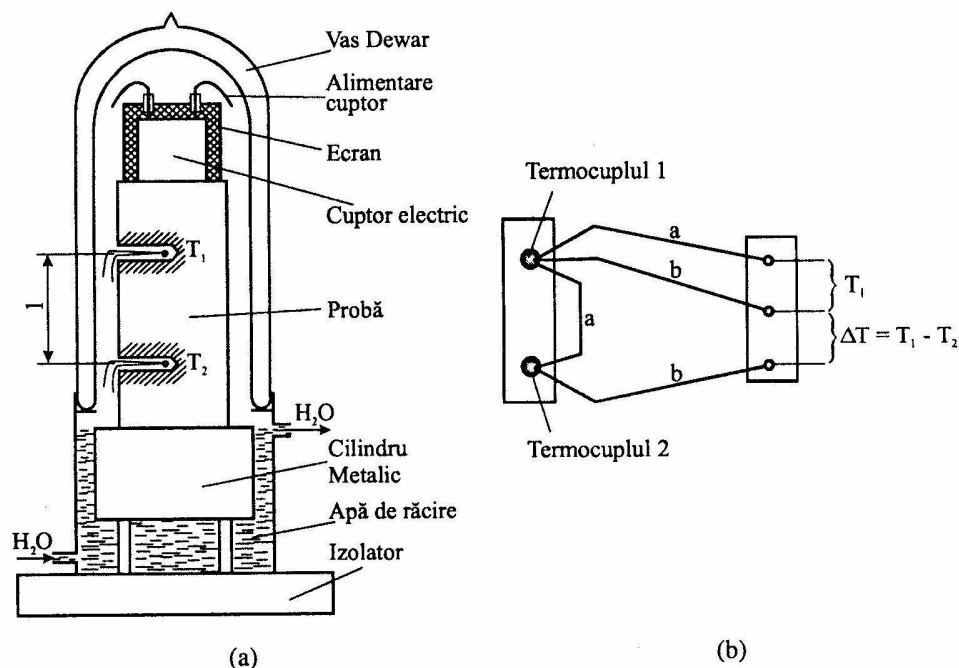


Fig 5.50. Instalație pentru determinarea conductivității termice a materialelor solide: a) schița de principiu a instalației; b) modul de legare diferențială a termocuplelor 1 și 2 pentru măsurarea temperaturii T_1 și a diferenței de temperatură $\Delta T = T_1 - T_2$.

Termocuplele pentru măsurarea temperaturilor T_1 și T_2 trebuie să aibă firele termoelementelor cât mai subțiri, (sub 1 mm diametru) pentru a putea fi fixate în orificii mici practicate în probă, astfel încât să nu perturbe câmpul de temperatură din interiorul probei. Ele se fixează la nivelul axei probei, departe de capetele acesteia, pentru a avea în zona de măsurare secțiuni de temperatură constantă. Trebuie, de asemenea, asigurat un transfer termic foarte bun între probă și sudurile termocuplelor, pentru a nu avea gradient de temperatură între probă și suduri. De obicei nu se măsoară separat temperaturile T_1 și T_2 ci temperatura T_1 și direct diferența de temperatură $\Delta T = T_1 - T_2$, folosind un termocuplu simplu și un termocuplu diferențial, figura b. Distanța l dintre sudurile termocuplei diferențiale depinde de sensibilitatea instrumentului pentru măsurarea tensiunii și de conductivitatea termică a probei. Această distanță trebuie să fie cu atât mai mare cu cât conductivitatea termică a probei este mai mare și cu cât instrumentul de măsură pentru tensiunea

termoelectromotoare este mai sensibil.

Fluxul de căldură care trece prin probă îl putem considera egal cu puterea utilă a cuptorului electric, dacă minimizăm pierderile de căldură prin radiație, prin convecție și prin conducție. Pentru reducerea pierderilor de căldură prin conducție conductoarele de legătură între cele două suduri ale termocuplului diferențial trebuie să aibă rezistența termică mare. Pierderile de căldură prin convecție pot fi reduse practic la zero dacă întreg sistemul de măsurare probă-cuptor-termocuple este introdus în vid înaintat. Într-o variantă îmbunătățită a instalației din figura 5.50, pentru a înlătura și pierderile de căldură prin radiație, în locul vasului Dewar se folosesc două ecrane de radiații termice, izolate între ele, unul care înconjoară cuptorul și altul care înconjoară proba. Ecranul care înconjoară proba este încălzit, astfel încât să se stabilească de-a lungul lui același gradient de temperatură ca și cel din probă. În plus, pentru măsurători de mare finețe, suprafața cuptorului este aurită, aurul având o constantă foarte mică de emisie a radiației termice, iar ecranul care înconjoară cuptorul este încălzit și el la aceeași temperatură cu a cuptorului. Termoelementele pentru măsurarea diferenței de temperatură sunt puse în contact termic cu ecranul pentru a reduce pierderile de căldură prin conducție.

În cazul metodelor care utilizează pentru determinarea conductivității termice probe sub formă de țevă se are în vedere că ecuația conducției termice în direcție radială, pentru un tub infinit de lung, în coordonate cilindrice, este dată de relația:

$$\frac{d^2T}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dT}{dr} = 0 \quad (5.10)$$

iar soluția acestei ecuații este dată de relația:

$$T = A \cdot \ln r + B \quad (5.11)$$

unde A și B sunt constante de material.

Dacă se cunosc temperaturile T_i și T_e ale peretelui interior, respectiv peretelui exterior al tubului, atunci conductivitatea termică λ , în regim staționar, se poate calcula cu relația:

$$\lambda = \frac{\dot{Q}}{2\pi \cdot l} \cdot \frac{\ln(r_e / r_i)}{T_i - T_e} \quad (5.12)$$

unde \dot{Q} este fluxul de căldură care străbate radial peretele tubului de la interior spre exteriorul lui, l este lungimea tubului, iar r_i și r_e sunt razele peretelui interior, respectiv peretelui exterior. Relația (5.12) este valabilă cu condiția $l \gg r_e$, pentru a putea neglija efectele de margine.

Într-o astfel de instalație, proba sub formă de tub (țevă) se încălzește de la interior cu un cuptor electric de formă cilindrică, având lungimea egală cu lungimea probei și diametrul cu foarte puțin mai mic decât diametrul interior al probei. La exterior proba este răcită, întregul sistem fiind pus într-un rezervor cilindric prin care circulă apa de răcire. Pentru compensarea pierderilor de căldură prin capetele probei aceasta este încălzită suplimentar la capete.

Metoda sferei este similară metodei cu proba sub formă de tub, ecuația conducției termice fiind scrisă în coordonate sferice, iar transferul termic se face de la interiorul spre exteriorul probei. Această metodă are avantajul eliminării pierderilor de căldură, dar este dezavantajată de necesitatea obținerii unor probe sub formă de pătură emisferică și de dificultatea amplasării termocuplelor.

Determinarea conductivității termice prin metode staționare relative

Metodele staționare și relative înlătură dezavantajul metodei staționare și absolute dat de necesitatea determinării precise a fluxului căldură transmis prin

172 Cercetări experimentale privind fabricarea și caracterizarea scaunelor de supapă sinterizate-5

probă, dar necesită utilizarea unei probe etalon a cărei conductivitate termică trebuie cunoscută cu precizie, întrucât conductivitatea termică a probei este determinată prin comparație cu conductivitatea termică a etalonului. În practică se utilizează metode cu unul sau cu două etaloane. În cele ce urmează vom prezenta o astfel de metodă care utilizează două etaloane pentru determinarea conductivității termice. Să considerăm un ansamblu *etalon-probă-etalon*, precum cel din figura.5.51

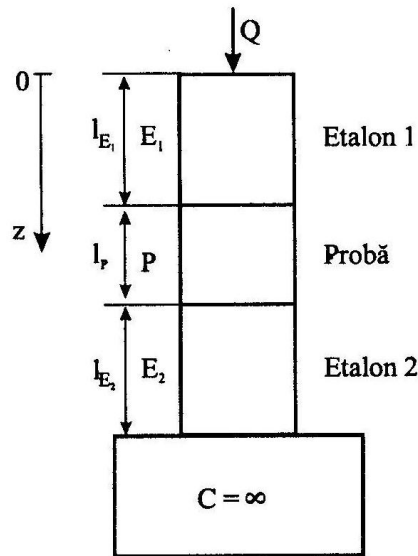


Fig.5.51. Schema principiului metodei staționare relative cu două etaloane.

Să presupunem că prin partea superioară introducem în sistem un flux de căldură \dot{Q} care este evacuat prin partea inferioară, sistemul fiind în contact termic cu un corp de capacitate calorică infinită, și că avem îndeplinite condițiile de câmp de temperatură staționar și unidimensional, transportul termic făcându-se numai după axa z a sistemului. Cu aceste condiții îndeplinite, neavând pierderi de căldură prin radiație și convecție, putem scrie că fluxurile de căldură prin cele două etaloane (E_1 și E_2) și prin proba P sunt egale, adică;

$$\dot{Q}_{E_1} = \dot{Q}_P = \dot{Q}_{E_2} \quad (5.13)$$

Dacă T_1 , T_2 , T_3 și T_4 sunt respectiv temperaturile de la partea superioară a etalonului 1, de la interfețele etalon 1- probă și probă - etalon 2 și de la partea inferioară a etalonului 2, atunci putem scrie fluxurile de căldură prin cele două etaloane și prin probă:

$$\dot{Q}_{E_1} = \lambda_{E_1} \cdot S_{E_1} \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)_{E_1} = \lambda_{E_1} S_{E_1} \frac{T_1 - T_2}{l_{E_1}} \quad (5.14)$$

$$\dot{Q}_P = \lambda_P \cdot S_P \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)_P = \lambda_P S_P \frac{T_2 - T_3}{l_P} \quad (5.15)$$

$$\dot{Q}_{E_2} = \lambda_{E_2} \cdot S_{E_2} \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)_{E_2} = \lambda_{E_2} S_{E_2} \frac{T_3 - T_4}{l_{E_2}} \quad (5.16)$$

5.2. Caracterizarea aliajelor elaborate destinate fabricării scaunelor de supapă 173

unde: λ_{E1} , și λ_{E2} , $SE1$ și $SE2$, $IE1$ și $IE2$ sunt respectiv conductivitățile termice, secțiunile transversale și lungimile etalonului 1, respectiv etalonului 2, iar λ_P , SP și IP sunt respectiv conductivitatea termică, secțiunea transversală și lungimea probei.

Din relația (5.15) putem scrie că fluxul termic prin probă este media aritmetică a fluxurilor termice care străbat cele două etaloane, adică:

$$\dot{Q}_P = \frac{\dot{Q}_{E1} + \dot{Q}_{E2}}{2} \quad (5.17)$$

Din relațiile (5.16) și (5.17), considerând că cele două etaloane sunt din același material ($\lambda_{E1} = \lambda_{E2} = \lambda_E$) și constructiv identice și că au secțiunea transversală egală cu cea a probei, adică $IE1 = IE2 = IE$ și $SE1 = SE2 = SE = SP$, obținem pentru conductivitatea termică a probei următoarea relație:

$$\lambda_P = \frac{1}{2} \cdot \lambda_E \cdot \frac{I_P}{I_E} \cdot \frac{(T_1 + T_3) - (T_2 + T_4)}{T_2 - T_3} \quad (5.18)$$

Schița de principiu a unei instalații de laborator, folosită pentru determinarea conductivității termice a metalelor și care are la bază metoda descrisă mai sus, este prezentată în fig 5.52. Capătul de sus al etalonului superior este încălzit cu ajutorul unui cuptor tubular alimentat de la o sursă de tensiune variabilă și stabilizată, asigurând în felul acesta un flux termic constant în timp. Etalonul inferior este înfiletat într-un orificiu din capacul rezervorului metalic prin care circulă apa de răcire furnizată printr-un termostat și care joacă rolul corpului de capacitate calorică infinită. Pentru a elimina pierderile de căldură prin convecție și prin radiație și pentru a asigura un gradient termic unidimensional, ansamblul etalon - probă - etalon este strâns fixat între doi semicilindri cu pereți groși, construiți dintr-un material ceramic foarte bun izolator termic. Diferența dintre conductivitatea termică a metalelor și aliajelor (folosite ca probe) și conductivitatea termică a semicilindrilor izolatori este de cel puțin două ordine de mărime, ceea ce înseamnă că pierderile radiale de căldură prin conducție sunt sub 1%. Pentru a realiza un contact sunt șlefuite și lustruite și înainte de efectuarea măsurătorilor, aceste suprafețe se decapează de eventualii oxizi și se degresează cu alcool etilic. Tot pentru îmbunătățirea contactului termic la interfețe, ansamblul etalon - probă - etalon este presat cu ajutorul unei tije șurub înfiletată în cadrul metalic al instalației.

Pentru determinarea gradientului de temperatură din etaloane și din probă sunt utilizate 4 termocuple cromel-alumel. Sudurile calde ale termocuplelor sunt fixate pe axa longitudinală a celor două etaloane, iar sudurile reci sunt termostate la 00C într-un vas cu apă și gheață. Firele de prelungire ale termocuplelor sunt legate la un comutator de puncte de măsură (pe figură CPM), de unde sunt apoi conectate pe rând la instrumentul de măsurare a tensiunii termoelectromotoare, acesta fiind un voltmetru digital (pe figură VD).

Măsurarea temperaturilor se face la atingerea stării staționare, stare care se atinge în timp, menținând puterea cuptorului de încălzire constantă întrucât, pentru a permite o confecționare simplă a probelor de măsurare, termocuplele 2 și 3 nu sunt fixate în probă, acestea nu măsoară temperaturile T_2 și T_3 , pentru determinarea conductivității termice.

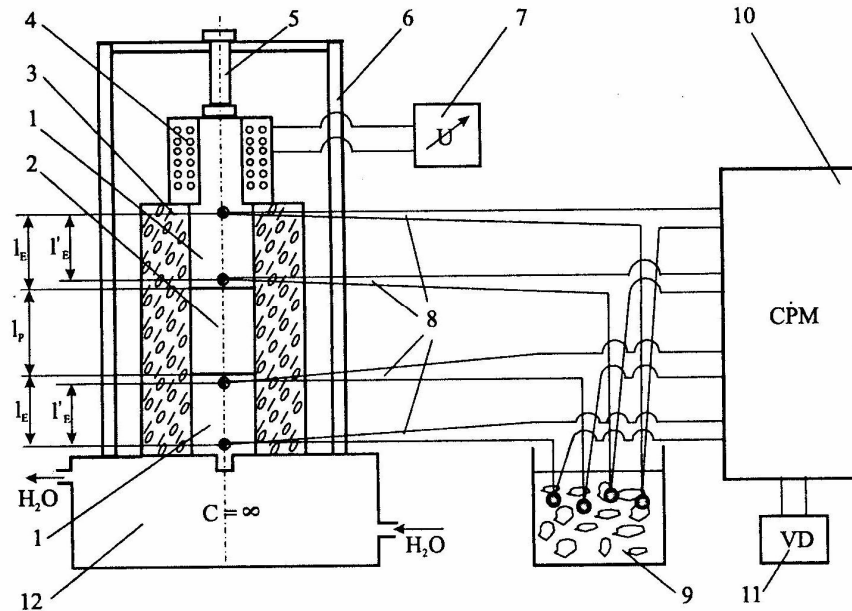


Fig 5.52. Schița de principiu a unei instalații pentru determinarea conductivității termice prin măsurători staționare și relative.

- 1) etalon, 2) proba, 3) izolator termic, 4) cuptor tubular, 5) piesa de fixare, 6) suport, 7) sursa de alimentare, 8) termocuple, 9) apă cu gheață (termostat), 10) comutator, 11) voltmetru digital, 12) răcitor.

Măsurându-se temperaturile T_2 'si T_3 ' cu termocuplele 2 și 3, cunoscând distanțele l'_E dintre termocuplele 1-2 și 3-4 și distanțele l_E de la termocuplele 1 și 4 la cele două interfețe etalon-probă, temperaturile T_2 și T_3 care intră în relația pot fi calculate din următoarele relații:

$$\frac{T_1 - T_2}{l'_E} = \frac{T_1 - T_2}{l_E} \quad (5.19)$$

$$\frac{T_3 - T_4}{l'_E} = \frac{T_3 - T_4}{l_E} \quad (5.20)$$

unde s-a considerat faptul că, în regim staționar, gradientul de temperatură în etaloane este același indiferent unde sunt măsurate cele două temperaturi pe axa etaloanelor.

5.2.3.2.2 Experimentări

Probele supuse experimentărilor sunt bare de secțiune cilindrică de maximum 12 mm și lungimi de 50 de mm elaborate prin metalurgia pulberilor. Încercările s-au efectuat pe o instalație de laborator de tipul celei prezentate mai sus aflate în laboratoarele Catedrei de Știința și Tehnologia Materialelor a Universității Tehnice din Cluj-Napoca și are următoarele elemente constructive: cele două etaloane sunt din cupru electrolitic ($\lambda_E = 396 \text{ W/mK}$), $l'_E = 45 \text{ mm}$, $l_E = 50 \text{ mm}$, $l_p = 30 \text{ mm}$ materialul din care sunt făcuți cei doi semicilindri izolatori este BC (beton

5.2. Caracterizarea aliajelor elaborate destinate fabricării scaunelor de supapă 175

celular autoclavizat).

Conductivitatea termică a materialului din care este confecționat scaunul de supapă original este de 0,05 cal/cmsgrad, adică 20,934 W/mK.

Valorile obținute sunt precizate în tabelul 5.22. Variația conductivității termice în funcție de conținutul în cupru și de temperatura de sinterizare sunt reprezentate grafic în figurile 5.53 respectiv 5.54

Tabel 5.22. Valorile calculate pentru conductivitățile termice ale probelor analizate

Nr. Crt.	Notația probei	t1(°C)	tI 2(°C)	tI 3(°C)	t4(°C)	t2(°C)	t3(°C)	λp(W/mK)
1.	6 I	35	32	23	22	31,66	23,11	57,107
2.	6II	38	36	24	23	35,78	24,11	33,899
3.	9I	39	36	34	33	38,62	34,11	39,20
4.	9II	35	34	21	21	33,89	21	10,23
5.	12I	38	37	24	23	36,89	24,11	20,63
6.	12II	39	37	24	23	38,45	24,11	13,75
7.	otel etalon 14 V	37,5	37	26	23,5	36,95	26,27	36,93
8.	oțel etalon 18 V	43	42	27	24	41,89	27,33	36,4

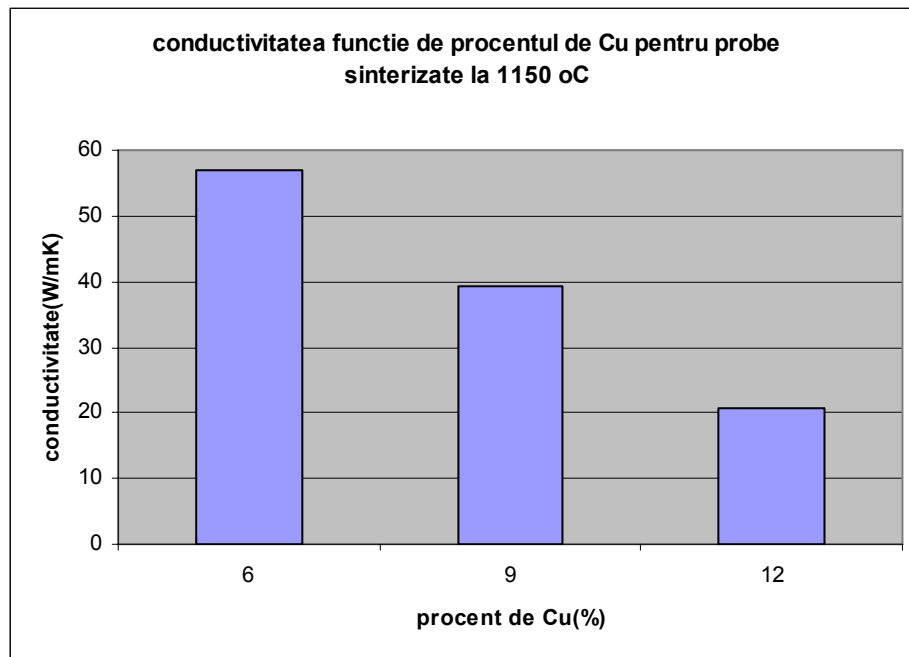


Fig 5.53. Conductivitatea termică în funcție de procentul de Cu pentru probe sinterizate la 1150°C

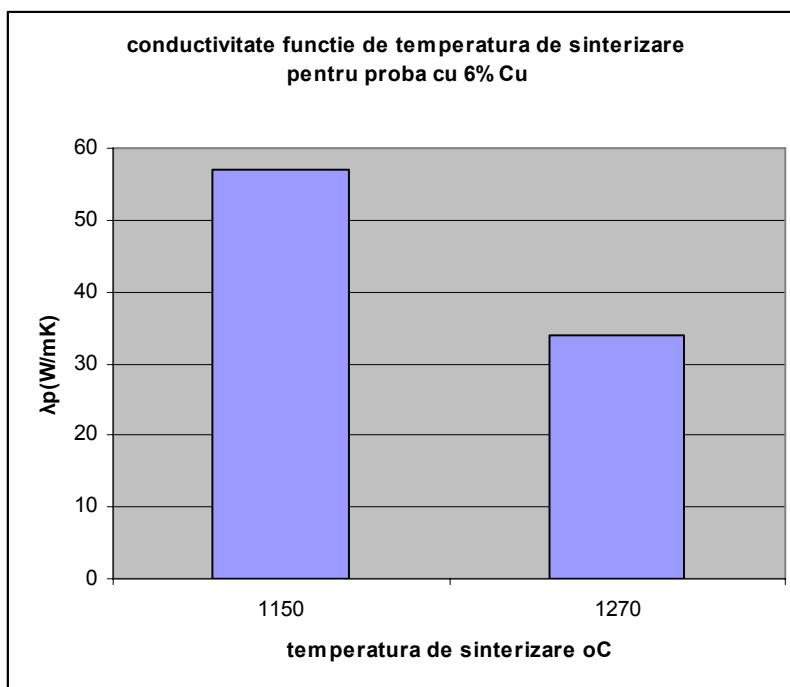


Fig. 5.54. Conductivitatea termică în funcție de temperatura de sinterizare

Se impun câteva concluzii:

- La aceeași temperatură de sinterizare, conductivitatea scade cu creșterea procentului de cupru,
- Conductivitatea termică crește cu creșterea temperaturii de sinterizare;
- La concentrația de 6 % cupru și o temperatură de sinterizare de 1150 °C conductivitatea termică este superioară oțelului etalon

5.3. Concluzii preliminare

Pentru cel de-al cincilea capitol se pot formula câteva concluzii cu caracter de generalitate:

- Rezistența la coroziune și oxidare a materialelor sinterizate constituie o problemă importantă pentru piesele care lucrează în anumite condiții. În corpurile poroase, oxidarea și coroziunea se dezvoltă concomitent atât la suprafața interioară cât și la cea exterioară a acestora.[J2]. Creșterea rezistenței la coroziune și oxidare a materialelor sinterizate poroase se poate realiza prin mărirea densității și micșorarea porozității, prin impregnarea produselor cu uleiuri, rășini, prin acoperiri galvanice, prin difuzia la nivelul suprafeței a unor metale rezistente la coroziune, prin oxidare, fosfatare

- Proprietățile termice și mecanice ale materialelor din care au fost confecționate scaunele de supapă sunt dependente de: concentrația de cupru a fiecărei probe, tratamentul termic aplicat, presiunea de compactizare[P2]
- Cei mai importanți parametri de analizat în ceea ce privește condițiile tehnice de funcționare a scaunelor de supapă sunt: microstructura, granulația, coeficientul de dilatație liniară, conductivitatea termică, duritatea, rezistența la strivire[P3]
- Din punct de vedere metalografic, proba cu 6% cupru, tratată termic, sinterizată la 1250°C prezintă caracteristici optime pentru a fi utilizat la fabricarea scaunului de supapă: masa moale atenuează șocurile mecanice conferind supapei tenacitate și stabilitate a formei în regim tranzitoriu de încălzire a blocului motor, Cr rezistă la atacul coroziv, C, Mn și Si constituie masa dură
- În urma analizei dilatometrice s-au constatat următoarele:
 - Coeficientul de dilatare termică a probelor analizate se situează între $11 \cdot 10^{-6} \text{grad}^{-1}$ și $17 \cdot 10^{-6} \text{grad}^{-1}$
 - Din alura graficelor se vede că până pe la 600 de grade avem o dilatare care respectă legea liniară iar de la circa 600-700 de grade apare dilatare neliniară și transformare în stare solidă, iar in jur de 900 de grade apare o altă transformare.
 - La aceeași temperatură de sinterizare, conductivitatea scade cu creșterea procentului de cupru, crește cu creșterea temperaturii de sinterizare;
 - Duritatea optimă se întâlnește la probele 6III și 12I;
 - Rezistența la strivire mai pronunțată s-a determinat pentru proba 6% Cu, 1150°C, presată cu 700MPa.

În cuprinsul prezentului capitol se regăsesc contribuțiile personale ale autoarei, dintre care se enumeră următoarele:

- Determinarea setului complet de date preliminare
- Trasarea graficelor și interpretarea comparativă a acestora
- Propunerea rețetei de material precum și metodelor de sinterizare pentru realizarea scaunelor de supapă;
- Interpretarea metalografică a structurii la nivel microscopic a materialelor sinterizate

BIBLIOGRAFIE

[A4], [N10], [M9], [C9], [I5], [M7], [P2], [P3], [C3], [F7], [F8], [S9], [S10]

6. Echipamente și instalații experimentale pentru ridicarea diagramei indicate și determinarea proprietăților termomecanice de funcționare a motorului echipat cu scaune de supapă sinterizate

6.1 Ridicarea teoretică a diagramei indicate în coordonate p-V și p- α cu ajutorul programului UNIER

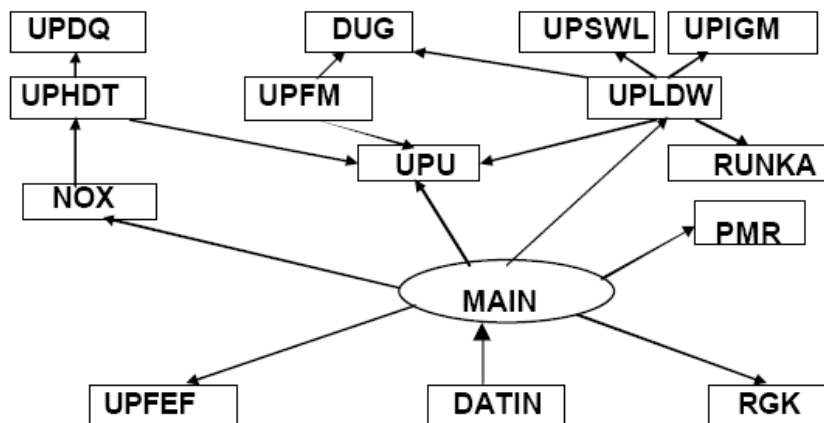
Posibilitățile oferite de programul UNIER

Cu ajutorul acestui program se pot determina: randamentul mecanic, presiunea, temperatura, temperatura medie pe ciclu, căldura degajată în timpul arderii, gazele reziduale, precum și ridicarea diagramei indicate $p(v)$, $p(\alpha)$. [N10] Calculul parametrilor care se modifică în timpul funcționării motorului Diesel, precum și evoluția termogazodinamică se evaluează utilizând modelele și ecuațiile matematice ilustrate în capitolul 1.

- În UNIDAT se introduc valorile mărimilor de intrare.

- Cu UNIER.EXE se rulează programul și crează fișierele UNIER, UNIER1 și UNIER2 cu valorile mărimilor de ieșire.

Se introduc valorile mărimilor de intrare (date despre motor, combustibil, ardere, turatie etc.) în fișierul UNIDAT.



6.1. Ridicarea teoretică a diagramei indicate în coordonate p-V și p-α cu ajutorul programului UNIER

Fig 6.1 Schema logică a programului UNIER

- DATIN - subrutina de citire a datelor de intrare;
- UPFEF - subrutina de calcul a secțiunii efective de curgere ale orificiilor controlate de supape (admisie și evacuare) în funcție de legile de ridicare ale supapelor, geometria acestora și de a canalelor de curgere;
- RGK - subrutina de calcul a constantei gazelor reale, pentru aer și gazele de ardere;
- UPHDT - subrutina care calculează mărimile de stare din cilindru pentru partea de înaltă presiune a ciclului pe baza unei legi tip Vibe de ordinul II;
- NOX - subrutina care calculează noxele globale eşapate;
- UPU - subrutina de calcul a energiei interne și a capacităților termice masice pentru fluidul motor care evoluează în timpul fiecărui proces de lucru;
- UPFEM - subrutina de calcul iterativ a presiunii gazelor din cilindru cu ajutorul ecuației de stare și cu luarea în considerație a constantei reale a gazelor;
- UPLDW - subrutina de calcul a părții de joasă presiune a ciclului, se determină mărimile de stare din cilindru în timpul procesului de schimb de gaze;
- RUNKA - subrutina de aplicare a metodei Runge-Kutta;
- UPIGM - subrutina de calcul a presiunii fluidului proaspăt la intrarea în cilindru;
- UPSWL - subrutina de calcul a schimbului de căldură și a coeficienților de convecție;
- UPDQB - subrutina de calcul a căldurii degajate prin arderea combustibilului;
- PMR - extensie tip funcție, de calcul a presiunii medii indicate, a presiunii medii efective și a pierderilor mecanice;
- DUG - extensie tip funcție, de calcul a secțiunilor efective de curgere prin orificiile controlate de supape;

Denumire	Explicație/ Date extrase din fișierele de ieșire/ date de intrare
A1	aria pistonului (m ²)
A2	aria chiuloasei (m ²)
AAK	suprafață galerie admisie 0,07068m²
AMO(-)	coeficientul excesului de aer lambda
AMOA	coeficientul excesului de aer lambda
AVKE	suprafață taler admisie
AVS	suprafață canal evacuare
AVSCHA	suprafață canale chiuloasa
AVU	suprafață canal admisie (pt schimb de caldura)
BE	consumul specific efectiv
BETAA	unghi supapă evacuare
BETAE	unghi supapă admisie
BI	consumul specific indicat
C22, CONH, CONL	coeficient tranfer căldură Woschni 0,0032 2,280 6,180
CM	viteza medie a pistonului

180 Echipamente și instalații experimentale pentru ridicarea diagramei indicate și determinarea proprietăților termomecanice de funcționare a motorului echipat cu scaune de supapă sinterizate-6

D	alezaj (m)	85*10 ⁻³
Denumire	Explicație/Date extrase din fișierele de ieșire/ date de intrare	
DAK	diametru galerie admisie	30*10 ⁻³
DELFI	durata arderii	
DIA	diametru supapă evacuare	
DIE	diametru supapă admisie	35*10 ⁻³
DQW1 ... DQW4	coeficientul schimbului de căldură	
DSS	temp din colectorul de evacuare la diferite distanțe	
DVU	diametru canal admisie	
EPS(-)	raport de comprimare	1/17,5
ETAI	randamentul indicat	$\eta=0,431$
ETAISV	randament turbosuflantă	
ETAMEC	randament mecanic (se estimează)	
FIAO	unghi DSE	
FIAS	unghi ISE	
FIEBA	unghi început ardere (se estimează)	
FIEO	unghi DSA	
FIES	unghi ISA	
FIFB	unghi început ardere	
FIFBA	unghi început injecție sau moment scânteie	
FIVA	unghi sfârșit ardere rapidă	
FIVE	unghi sfârșit ardere	
FNOX	coeficientul C1 din formula NOx Schroder	
FSW	pași de calcul 1-2 schimb de gaze 3-4 ardere	
GPW	debitul de apă prin răcitorul de ulei	
HU	puterea calorică inferioară motorină	
KFIVA	1	
KFNA	1	
LUFT EIN	masa de aer introdusă în cilindru	
MASSE AUS	masa evacuată din cilindru	
NANDZR	numărul de cicluri de iterație	4
NOX	emisia de Nox după Schroder	
NTACT	numărul de timpi	4
NZIL	numărul de cilindri motor	1
P	presiune admisie	
PBO	presiunea la ieșirea din suflantă	
PE	contrapresiune evacuare a mediului în care se evacuează	
PMAX	presiunea maximă din cilindru	

6.1. Ridicarea teoretică a diagramei indicate în coordonate p-V și p-α cu ajutorul programului UNIER

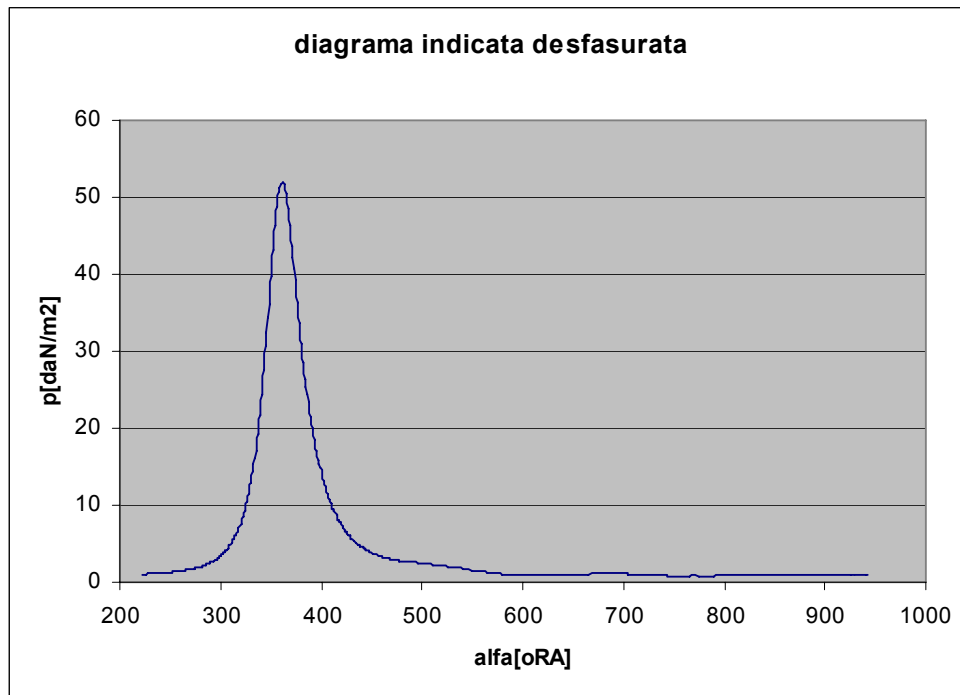
PME	presiunea medie efectivă
PMI	presiunea medie indicată
PMR	presiunea medie a perderilor
Denumire	Explicație/ Date extrase din fișierele de ieșire/ date de intrare
PO	presiune de intrare în cilindru (în galerie)
QBOA	căldura degajată prin ardere
QBO = QBOA	căldura degajată pe ciclu
QPBUE	căldura schimbată prin camășa cilindrului
QPDE	căldura schimbată prin chiuloasă
QPKO	căldura schimbată prin piston
RESTGAS	coeficientul gazelor reziduale gama
S	cursa (m) 90*10⁻³
SVH2(-2)	1/2 raport manivelă/bielă 0,155
T	temperatura abiantă 293 K
TBO	temperatura la ieșirea din suflantă
TDS	temperatura din colectorul de evacuare la diferite distanțe
TGM	temperatura medie a ciclului motor 732,55 K
TKLA	temperatura la sfârșit admisie 312 K
TMAG	temperatura medie a gazelor evacuate la supapă
TMAX	temperatura maximă din cilindru
TVKE	temperatura taler admisie
TVS	temperatura din colectorul de evacuare
TVSCHA	temperaturi canal chiulasa
TVU	temperatura la ieșirea gazelor din cilindru (se estimează) 905K
TWA	temperatura perete galerie evacuare
UPS	turația [rot/min] 3000rot/min
UPSA	turația [rot/secudă]
VA	coeficient din rel Vibe 5,4...6,9
VC	volumul camerei de ardere Vc
VH	cilindreea unitară Vs 510cm³
VM	parametrul m din rel Vibe < 6 pt diesel lent
VM1	parametrul m din rel Vibe de ordinul 2
VMA	parametrul Vibe
W	lucrul mecanic
ZA	numărul de supape evacuare 1
ZE	numărul de supape admisie 1
ALFM	coeficient de transfer de căldură 0,3070KJ/m²secK
ALFCMM	coeficient de transfer de căldură 0,1381KJ/m²secK

182 Echipamente și instalații experimentale pentru ridicarea diagramei indicate și determinarea proprietăților termomecanice de funcționare a motorului echipat cu scaune de supapă sinterizate-6

ALFVSM	coeficient de transfer de căldură 0,3741KJ/m²K
--------	--

Tabel 6.1 Notății folosite în programul UNIER

Rezultate din Unier



6.1. Ridicarea teoretică a diagramei indicate în coordonate p-V și p- α cu ajutorul programului UNIER

Fig 6.2. Diagrama indicată desfășurată

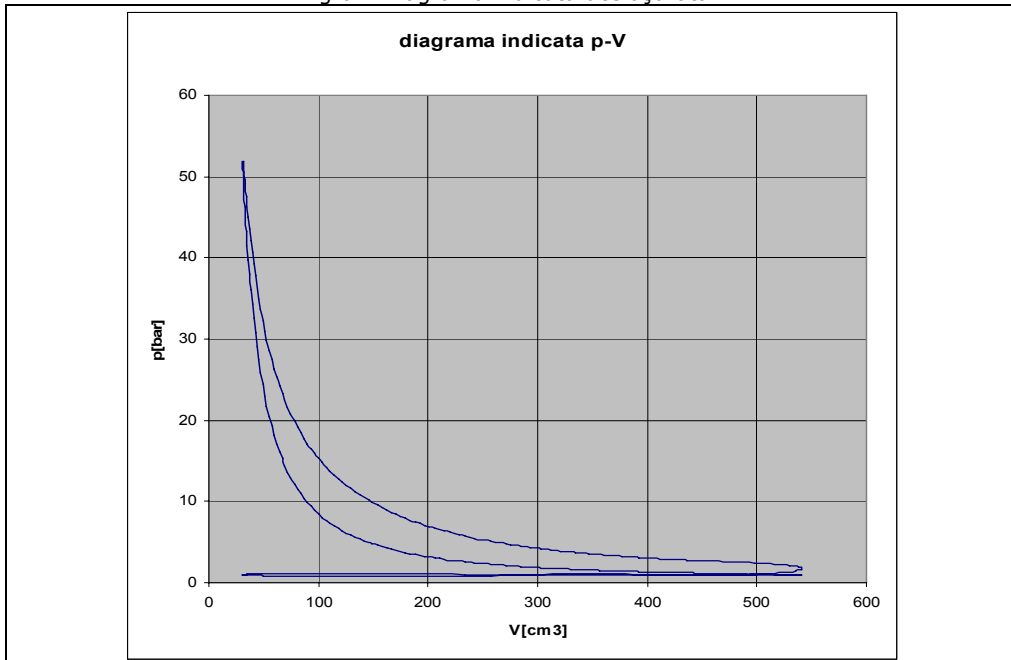


Fig 6.3 Diagrama indicată p-v.

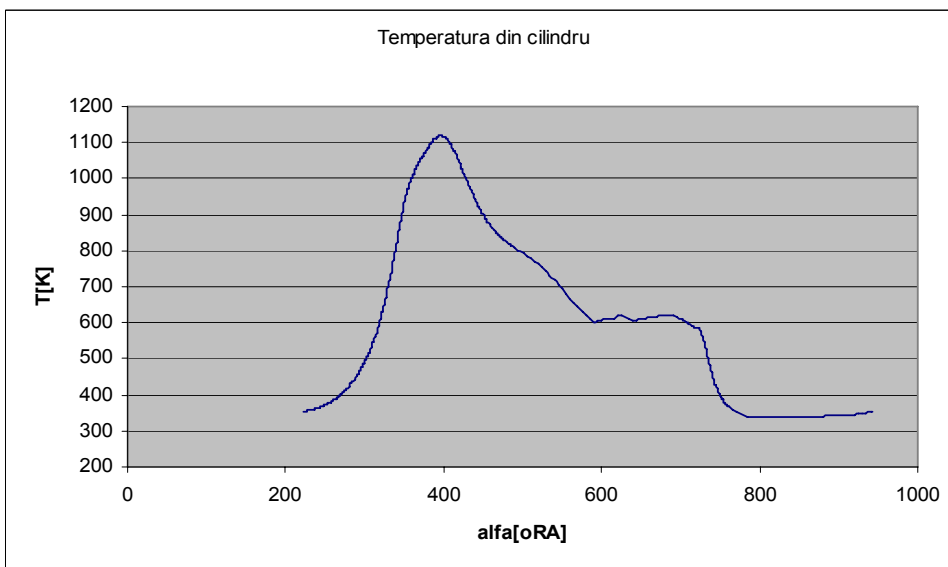


Fig 6.4 Temperatura din cilindru

182 Echipamente și instalații experimentale pentru ridicarea diagramei indicate și determinarea proprietăților termomecanice de funcționare a motorului echipat cu scaune de supapă sinterizate-6

6.2 Ridicarea experimentală a diagramei indicate în coordonate p-v și p- α cu standul de testare cu motor model - Robin-EH 17-2D Tip - TD 211

Pentru a înțelege cum funcționează motoarele prin combustie, proiectanții de motoare trebuie să știe cum să găsească variațiile de presiune din interiorul cilindrilor. Aceste presiuni sunt vitale pentru performanța unui motor. Performanțe slabe sau defecțiuni pot apărea, dacă presiunea este prea mare, prea mică, sau dacă atinge nivelul maxim la timpul nepotrivit.

Diagrama indicată redă variația presiunii din cilindrul motorului în funcție de cursa pistonului (în coordonate p-V) sau unghiul de rotație al arborelui cotit (diagrama indicată desfășurată, în coordonate p- α).

Din diagramele indicate p-V și p- α se pot determina parametrii indicați, exponenții politropici ai proceselor destinderii și comprimării permițând și cercetarea proceselor de lucru (umplerea, aprinderea, arderea normală sau anormală, destinderea și evacuarea, determinarea gradului de compresie etc.). Diagrama desfășurată evidențiază următoarele faze:

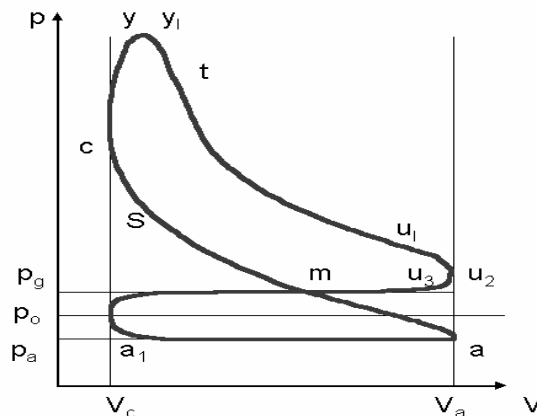


Fig 6.5 Diagrama indicată în coordonate p-V

- faza întârzierii la aprindere sau faza inițială, a₁, între s (producerea scânteii) și d (punctul de desprindere) pentru care diagramele cu aprindere și fără aprindere se suprapun.
- faza arderii rapide ar, de la d până la valoarea maximă din punctul y
- faza finală am în intervalul y₁, punctul t (sfârșitul arderii) poate fi precizat numai prin calcul, după prelucrarea diagramei pe baza unor ipoteze simplificatoare.

Principiile de funcționare ale traductoarelor de presiune

6.2 Ridicarea experimentală a diagramei indicate în coordonate p-v și p- α cu 183
standul de testare cu motor model - Robin-EH 17-2D Tip - TD 211.

Diagramele indicate se obțin cu ajutorul indicatoarelor, care pot fi de diferite construcții. Cele mai utilizate sunt indicatoarele piezoelectrice.

Indicatoarele piezoelectrice sunt bazate pe proprietatea unor cristale de a produce sarcini electrice, când sunt solícitate mecanic după anumite axe.

Apariția sarcinii electrice sub influența presiunii, se numește și efect piezoelectric, iar apariția unor deformări în rețeaua cristalină când se modifică din exterior sensul sarcinii electrice, pe fețele cristalului, poartă denumirea de efect piezoelectric invers.

Deoarece, sarcinile electrice sub influența presiunii apar numai după anumite axe, din cristalul de cuarț se taie pastile, având ca ax de simetrie axa **x** (axa electrică a cristalului), numită **piezoaxă**.

Suprafața pastilei se metalizează cu argint, crom sau aur.

Sarcina electrică care apare la comprimarea cristalului nu depinde de dimensiunile lui geometrice, fiind egală cu: $qx = e \cdot Px'$, unde e este modulul piezoelectric ; Px' - forțele ce acționează în lungul axei **x**.

Valoarea medie a modulului piezoelectric pentru cuarț este $2,1 \cdot 10^{-11}$ Coulombi. Influența temperaturii asupra modulului piezoelectric este neglijabilă, până la 450°C.

Variația sarcinii electrice create de traductorul piezoelectric proporțională cu variația presiunii din cilindru, constituie un impuls necesar, pentru reproducerea diagramei indicate.

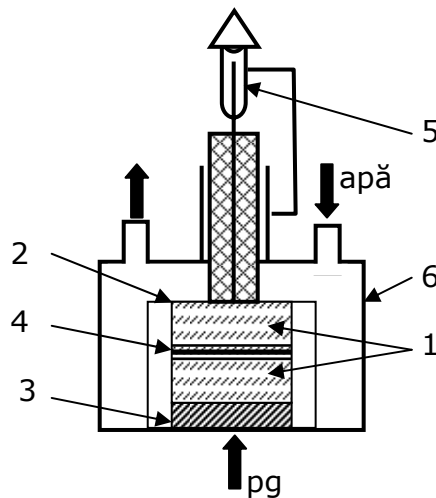


Fig 6.6 Schema traductorului piezoelectric

1: cristale piezoelectrice; 2-4: foițe de aur; 3: piesă prin care se transmite presiunea gazelor (membrană); 5: electrozi; 6: corpul traductorului.

Descrierea analizorului ciclului motor ECA 100

Analizorul ciclului motor ECA100 măsoară și afișează semnalele de la traductorul de presiune și de la cel de unghi de rotire a arborelui cotit. Acesta

184 Echipamente și instalații experimentale pentru ridicarea diagramei indicate și determinarea proprietăților termomecanice de funcționare a motorului echipat cu scaune de supapă sinterizate

înregistrează semnalele sub formă de date, astfel încât utilizatorul să le poată analiza.

Softul, de asemenea, include un cilindru care simulează animația motorului și poziția de rotire în relație cu rezultatele testului.

ECA100 este pentru studii, experimente și demonstrații, chiar și fără conexiunea la un motor

Analizatorul ciclului motor ECA100 este format din 2 părți:

1. Softul ECA100
2. Interfața ECA100

Softul ECA100

Softul dispune de următoarele facilități :

- Reprezentările grafice ale $p-\alpha$ (Presiunea funcție de unghiul de rotire) și $p-V$ (presiunea funcție de volum);
- Calculează automat IMEP (Presiunea efectivă medie indicată) și IP (puterea indicată);
- Înregistrează automat 5 cicluri de motoare de date pentru imprimare;
- Salvează datele ca format *.XML pentru folosirea cu alte programe de procesare.

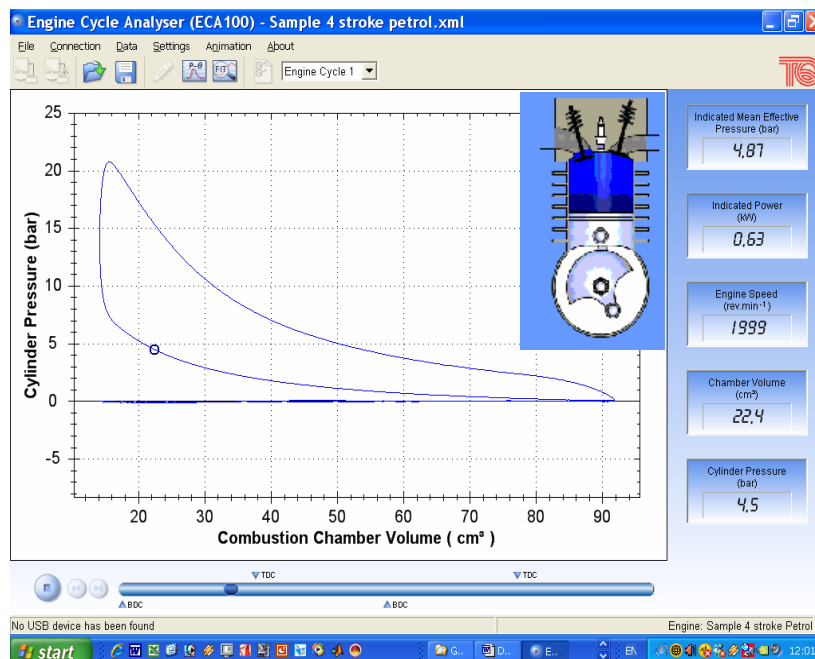


Fig 6.7 Imagine din programul ECA100

Interfața ECA100

Interfața este o cutie de metal care conține 3 părți de bază:

1. Un amplificator de precizie standard-industrial. Acesta amplifică semnalul de la transductorul de presiune al chilusei și produce un rezultat adecvat.

6.2 Ridicarea experimentală a diagramei indicate în coordonate p-v și p- α cu 185 standul de testare cu motor model - Robin-EH 17-2D Tip - TD 211.

Amplificatorul include întrerupătoare de selecție pentru a calibra caracteristicile traductorului de presiune.

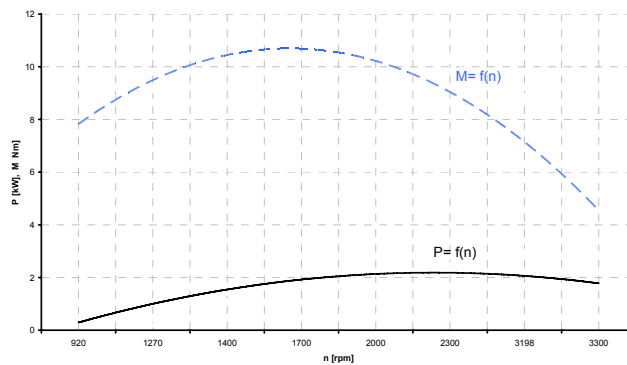
2. O unitate de condiționare a semnalului care convertește intrările auxiliare, unghiul de rotire și semnalele amplificatorului într-o ieșire adecvată softului ECA100.

3. Un conductor magistrală pentru alimentarea cu energie electrică.

Motorul folosit la determinările experimentale are următoarele caracteristici:

- Model - Robin-EH 17-2D;
- Tip - TD 211- motor în patru timpi;
- Putere - 4,4 kW;
- turație - 4.000 rot/min;
- alezaj- 67 mm;
- Diametrul cilindrului - 49 mm;
- cilindree - 172 cm²;
- Grad de compresie - 8,5:1;

În timpul testelor s-a folosit benzină ECO 3 CO 95 fără plumb.



186 Echipamente și instalații experimentale pentru ridicarea diagramei indicate și determinarea proprietăților termomecanice de funcționare a motorului echipat cu scaune de supapă sinterizate

Fig 6.8 Caracteristica de viteză a motorului TD 211

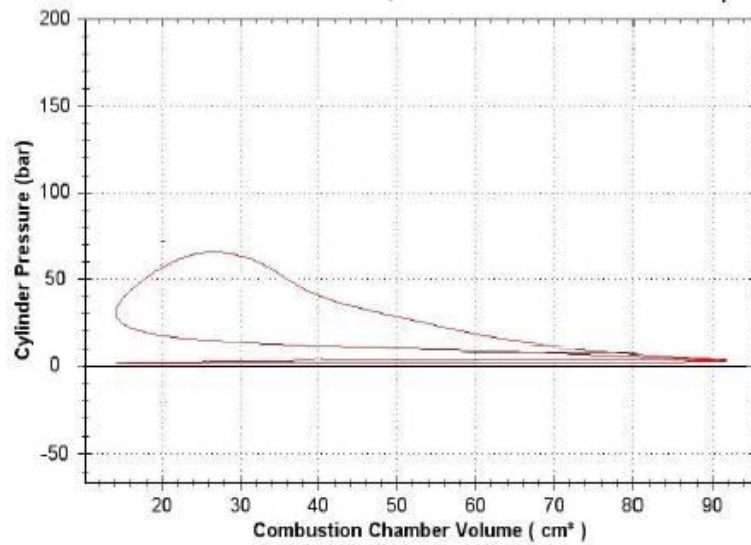


Fig 6.9 Diagrama indicată a motorului la turația 3.198 rot/min



Fig 6.10 Bancul cu dinamometru



Fig 6.11 Standul de achiziții de date pentru motorul termic TD 200

Din corelarea prin juxtapunere a diagramei obținute practic, pe standul cu motor de la Oradea și diagramele ridicate teoretic, cu ajutorul programului UNIER în care au fost folosite ca date de intrare caracteristicile de motor și particularitățile termomecanice ale scaunului de supapă sinterizat reiese că acest material, poate fi utilizat în condiții foarte bune la cald, pe motor, dovedind caracteristici termice și mecanice optime în ceea ce privește randamentul mecanic, transferul termic, rezistența mecanică și tenacitate.

6.3 Calculul variației strângerii

Îmbinările prin strângere, frecvent întâlnite în construcția de mașini realizează preluarea și transmiterea sarcinilor prin contactul forțat al suprafețelor conjugate, ca efect al deformației elastice a acestora.

Avantajele utilizării îmbinărilor prin strângere vizează simplitatea soluției constructive, capacitatea portantă ridicată, gabaritul relativ redus, prețul de cost scăzut, centrarea bună a pieselor, economia de materiale deficitare, etc.

Trebuie precizat faptul că îmbinărilor prin strângere le sunt specifice și o serie de dezavantaje: constituie un puternic concentrator de tensiuni; strângerea poate slăbi în timp, micșorând astfel durabilitatea și portanța; necesită utilizarea unor dispozitive speciale pentru montare și demontare, faze în care pot apare deteriorări ale suprafețelor în contact; impun o precizie ridicată de prelucrare a zonelor de contact, etc.

După forma constructivă, îmbinările prin strângere pot fi cu elemente intermediare (inele, șuruburi, eclise) sau fără elemente intermediare (la care strângerea se realizează direct prin caracteristicile dimensionale ale pieselor îmbinate).

Îmbinările fretate, la aceeași strângere, asigură o capacitate portantă de (1,5..2) ori mai mare decât îmbinările presate la rece.

- a) Calculul presiunii necesare realizării transmiterii sarcinilor

Aceste îmbinări pot transmite o forță axială sau un moment de răsucire (separat sau simultan). Pentru a micșora forța axială de presare, arborii și alezajele se teșesc. Forțele de frecare la presare diferă de forțele de depresare. La depresare trebuie învinsă pentru început forța F_{ax}^I datorată frecării de repaus, superioară forței F_{ax}^{II} caracteristică frecării de alunecare.

Relațiile corespunzătoare transmiterii unei forțe axiale F_{ax} sau a unui moment M_{tc} sunt:

$$F_f = \mu \cdot N = \mu \cdot \pi \cdot dl \cdot p^* \geq F_{ax} \quad (6.1)$$

$$M_f = F_f \cdot \frac{d}{2} = \frac{\mu \cdot \pi \cdot d^2 p^*}{2} \geq M_{tc} \quad (6.2)$$

Din relațiile de mai sus rezultă presiunile de contact în cele două cazuri distincte:

$$p^*_F = \frac{F_{ax}}{\mu \cdot \pi \cdot dl} \leq p^*_a \quad (6.3)$$

$$p^*_M = \frac{2M_{tc}}{\mu \cdot \pi \cdot d^2 l} \leq p^*_a \quad (6.4)$$

În cazul transmiterii simultane a unei forțe și a unui moment de torsiune, condiția de preluare a sarcinilor se exprimă prin relația:

$$\mu \cdot \pi \cdot dl p^* = \sqrt{F_{ax}^2 + \left(\frac{2M_{tc}}{d}\right)^2} \quad (6.5)$$

de unde rezultă presiunea de contact:

$$p^*_{rez} = \frac{1}{\mu \cdot \pi \cdot dl} \sqrt{F_{ax}^2 + \left(\frac{2M_{tc}}{d}\right)^2} \leq p^*_a \quad (6.6)$$

unde d și l sunt diametrul, respectiv lungimea îmbinării, iar μ - coeficientul de frecare, cu valori specifice pentru fazele de montare și de demontare.

b) Calculul strângerii necesare

Cunoașterea presiunii și a dimensiunilor ajustajului oferă posibilitatea stabilirii strângerii necesare transmiterii sarcinilor, precum și a câmpurilor de toleranțe pentru arbore și alezaj. [A4]

Cele două diametre efective, ale arborelui (d_a) și ale alezajului (d_b), diferă între ele ($d_a > d_b$), însă în urma asamblării se ajunge la un diametru comun d , rezultat prin lărgirea alezajului cu Δb și reducerea diametrului arborelui cu Δa :

$$\Delta a = d_a - d \quad (6.7)$$

$$\Delta b = d - d_b \quad (6.8)$$

Strângerea obținută în acest caz este:

$$S = d_a - d_b = (d_a - d) + (d - d_b) = \Delta a + \Delta b \quad (6.9)$$

Iar strângerea relativă:

$$S_{rel} = \frac{d_a - d_b}{d} \cdot 1000 = \frac{S}{d} \cdot 1000\% \quad (6.10)$$

Conform teoriei elasticității, dependența dintre strângerea teoretică S_t , presiune și caracteristicile geometrice și de material ale elementelor din îmbinare este de forma (relația lui Lamé):

$$S_t = p \cdot d \left(\frac{C_a}{E_a} + \frac{C_b}{E_b} \right) \cdot 10^3 \quad [\mu m] \quad (6.11)$$

unde:

$$C_a = \frac{d^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} - \frac{1}{m_a} \quad (6.12)$$

respectiv

$$C_b = \frac{d_2^2 + d^2}{d_2^2 - d^2} + \frac{1}{m_b} \quad (6.13)$$

- E_a, E_b sunt modulele de elasticitate ale materialului arborelui, respectiv butucului;
- m_a, m_b sunt constantele lui Poisson, pentru materialul arborelui, respectiv al butucului ($m = 10/3$ pentru oțel, $m = 4$ pentru fontă). Pentru cazul când $E_a = E_b = E$ și $m_a = m_b = m$, relația devine:

$$S_t = \frac{p \cdot d}{E} (C_a + C_b) \cdot 10^3 \quad [\mu m] \quad (6.14)$$

Pentru calculul strângerii necesare S_{nec} , trebuie introduse corecții care să reflecte efectul deformațiilor elasto-plastice ale microneregularităților suprafețelor în contact, S_r (și al formării înălțimii de netezire), starea de solicitare suplimentară datorită sarcinilor dinamice S_d , precum și dilatarea neuniformă a arborelui și butucului, S_{t0} :

$$S_{nec} = S_t + \sum_{j=1}^n S_j = S_t + S_r + S_d + S_{t0} \quad (6.15)$$

unde:

$$S_r = \frac{1}{2} \cdot (R_{za} + R_{zb}) \quad [\mu m] \quad (6.16)$$

În care R_{za} și R_{zb} reprezintă înălțimea neregularităților suprafețelor de contact ale arborelui, respectiv ale butucului.

$$R_z = 4,5 \cdot R_a^{0,97} \quad (6.17)$$

$$S_{t0} = d [\alpha_b (t_b - t_o) - \alpha_a (t_a - t_o)] \cdot 10^3 \quad [\mu m] \quad (6.18)$$

În care α_b, α_a sunt coeficienții de dilatație liniară termică pentru butuc, respectiv arbore, iar t_b, t_a reprezintă temperatura de funcționare a celor două piese (t_o – temperatura de montaj). [M9]

Pentru $t_a = t_b = t$, relația devine:

$$S_{t0} = d (\alpha_b - \alpha_a) (t - t_o) \cdot 10^3 \quad [\mu m] \quad (6.19)$$

S_d se ia în considerare prin estimarea forțelor suplimentare care lucrează asupra îmbinării.

190 Echipamente și instalații experimentale pentru ridicarea diagramei indicate și determinarea proprietăților termomecanice de funcționare a motorului echipat cu scaune de supapă sinterizate

Cunoașterea strângerii necesare dă posibilitatea stabilirii câmpurilor de toleranțe ale celor două suprafețe conjugate.

Asigurarea transmiterii sarcinilor în condițiile cele mai dezavantajoase de montaj (corespunzătoare formării strângerii minime) se face prin alegerea adecvată a limitei inferioare a câmpului de toleranță a arborelui (a_i), pentru un anumit câmp de toleranțe al alezajului:

$$a_i \geq A_s + S_t + \sum_{j=1}^n S_j \quad (6.20)$$

În relația de mai sus A_S este abaterea superioară a câmpului de toleranțe a alezajului. Abaterea superioară a câmpului de toleranță al arborelui a_S (admițând o anumită clasă de precizie) dă măsura strângerii maxime:

$a_S = S_{max}$.

c) Calculul presiunii maxime și a forțelor de presare și de depresare

Strângerea maximă are ca efect o presiune maximă de contact

$$p_{max}^* = p^* \cdot \frac{S_{ef\ max}}{S_t} = \frac{S_{STAS\ max} - \sum_{j=1}^n S_j}{S_t} \cdot p^* \quad (6.21)$$

valoare care sa compară cu presiunea critică:

$$\text{pentru arbori: } (p_{cr}^*)_a = \frac{d^2 - d_1^2}{2d^2} \sigma_{ca} \quad (6.22)$$

$$\text{pentru alezaj: } (p_{cr}^*)_b = \frac{d_2^2 - d^2}{2d_2^2} \sigma_{cb} \quad (6.23)$$

unde $\sigma_{ca,b}$ reprezintă limitele de curgere ale materialului arborelui și respectiv butucului.

Eforturile exterioare pentru realizarea sau desfacerea îmbinării sunt:

$$(F_{ax}) \cdot p = \mu_p \pi \cdot d l p_{max}^* \quad (6.24)$$

unde μ_p și μ_d sunt coeficienții de frecare la presare, respectiv la depresare.

d) Calculul temperaturii de încălzire sau de subrăcire

Siguranța îmbinării impune, în cazurile cele mai defavorabile de funcționare, admiterea unor valori $\mu = \mu_{alunecare} \cong 0,47 \mu_{repau}$

Pentru realizarea îmbinării sau pentru depresare se utilizează prese mecanice sau hidraulice funcție de mărimea forțelor F_p sau F_d , iar arborii și alezajele se teșesc.

În cazul pieselor fretate, diferența de temperatură între arbore și alezaj, necesară asamblării libere se stabilește cu relația:

$$\Delta t = \frac{S_{STAS\ max} + j}{10^3 \alpha_b d} \quad (6.25)$$

unde j este jocul la montaj, egal cu jocul minim al ajustajului.

Temperatura de încălzire a butucului este:

$$t = \Delta t + (t_0 + 50^\circ) \quad (6.26)$$

unde, t_0 este temperatura mediului ambiant.

Se adaugă 50o (sau un spor de 15%..30%) pentru compensarea răcirii în timpul asamblării. [15]

În cazul în care se aplică subrăcirea ca procedeu de îmbinare, temperatura de subrăcire se stabilește cu relația:

$$t = t_0 - \frac{S_{STAS\max} + j}{10^3 \alpha_a d} \quad (6.27)$$

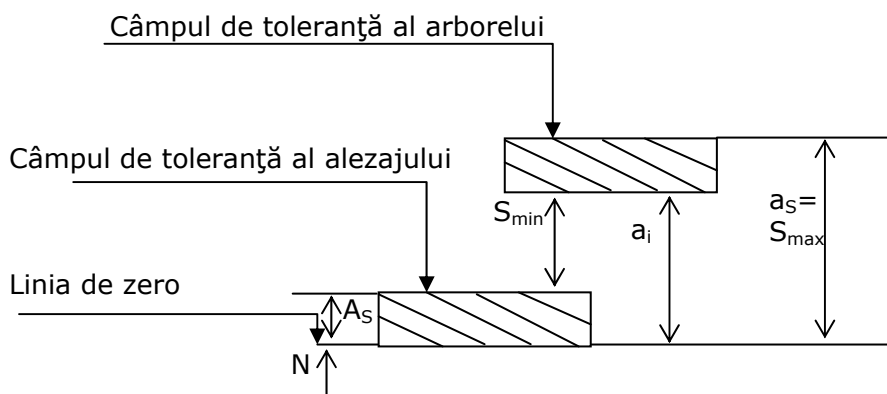


Fig 6.12 Câmpuri de toleranță la îmbinările alezaj - arbore

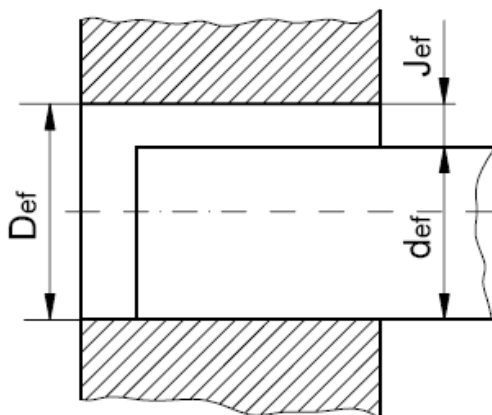


Fig 6.13 Asamblare cu joc

192 Echipamente și instalații experimentale pentru ridicarea diagramei indicate și determinarea proprietăților termomecanice de funcționare a motorului echipat cu scaune de supapă sinterizate

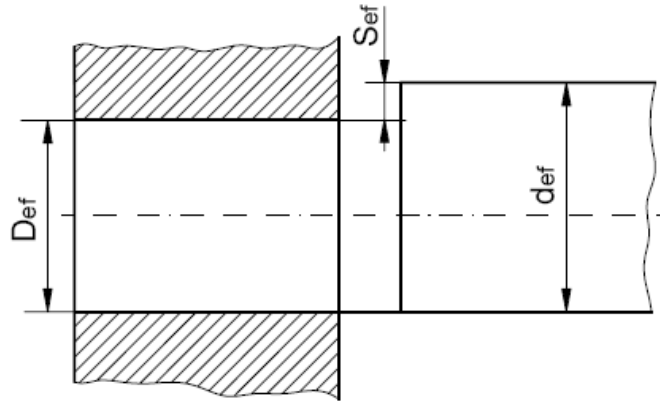


Fig 6.14 Asamblare cu strângere

Stabilirea preciziei de execuție a pieselor și alegerea ajustajelor se face în concordanță cu cerințele funcționale impuse precum și cu posibilitățile tehnologice de realizare urmărindu-se, în același timp, economicitatea prelucrării sau asamblării.

Ajustajele cu joc

Se utilizează atunci când piesele asamblate execută, una față de alta, în timpul funcționării, mișcări de rotație sau/și translație sau când piesele se montează sau se demontează des sau se înlocuiesc frecvent. Mărimea toleranțelor la dimensiuni (precizia dimensională) și mărimea jocurilor în asamblare se stabilesc în funcție de mărimea și caracterul solicitărilor, de viteza relativă dintre elementele asamblării, de durata mișcărilor, lungimea asamblării, frecvența înlocuirilor, regimul de temperatură și ungere, etc

Ajustajele intermediare

Se utilizează pentru asigurarea unei centrări precise a arborelui în alezaj, pentru obținerea de îmbinări etanșe și pentru cazurile în care montarea și demontarea pieselor asamblării trebuie să se facă relativ ușor și fără deteriorarea suprafețelor de contact. La aceste ajustaje, pentru garantarea imobilității pieselor îmbinării, este necesar să se prevadă elemente de siguranță (știfturi, pene, etc.).

O problemă importantă la aceste ajustaje este cea a cunoașterii probabilității jocurilor și strângerilor care apar la asamblare. Ajustajul probabil se consideră acel joc sau acea strângere care rezultă la asamblarea pieselor dacă dimensiunea lor efectivă este la $1/3$ din toleranța fundamentală, respectiv față de dimensiunea limită corespunzătoare maximului de material. Valorile date în standard sunt pentru ipoteza că procesul de producție este reglat în consecință, în caz contrar probabilitatea ajustajului calculându-se funcție de dimensiunea la care se consideră reglat procesul tehnologic.

Ajustajele cu strângere

Se folosesc acolo unde, la anumite solicitări și temperaturi de regim, imobilitatea relativă a pieselor conjugate se realizează fără utilizarea unor elemente suplimentare de fixare. Prin strângere, pe suprafețele de contact se creează o stare de tensiuni proporțională cu mărimea strângerii. Din cauza deformării materialului

pieselor și a dificultăților de montare și demontare, aceste ajustaje se prescriu atunci când, până la sfârșitul perioadei de funcționare, nu este necesară demontarea pieselor asamblate. [C9]

În general, cu cât solicitările mecanice și termice ale asamblării sunt mai mari, cu atât strângerile trebuie luate mai mari. La proiectarea acestor ajustaje se va avea în vedere faptul că, în urma aplatizării rugozităților, strângerea efectivă va fi mai mică decât cea calculată pe baza diferențelor dimensiunilor efective.

După modul de obținere al strângerii, deosebim:

- ajustaje cu **strângere longitudinală**, la care presarea se face la temperatura ambiantă, arborele fiind împins în direcție axială;
- ajustaje cu **strângere transversală**, la care apropierea suprafețelor celor două piese conjugate se face perpendicular la axa acestora, după ce piesele au fost montate cu joc una în alta. Jocul rezultă fie prin încălzirea piesei cuprinzătoare, care la răcire va strânge piesa din interior, fie prin răcirea piesei cuprinse, care la răcire va strânge piesa din exterior;
- ajustaje cu **strângere longitudinală și transversală**.

Se recomandă, atât la ajustajul cu strângere longitudinală cât și la cel cu strângere transversală să se prevadă o teșire conică a piesei cuprinse pentru ușurarea montajului și evitarea concentratorilor de tensiuni la capătul piesei interioare. Manualele de rezistența materialelor și organe de mașini, precum și unele lucrări de toleranțe se ocupă în detaliu de calculul îmbinărilor presate.

În principal, alegerea preciziei și ajustajelor (cu joc, cu strângere sau intermediare) se poate face pe două căi:

- a) Pe baza recomandărilor oferite de literatura de specialitate (standarde, tratate, norme, instrucțiuni) pentru fiecare domeniu al construcțiilor de mașini.
- b) A doua modalitate, aplicată mai ales la proiectarea și realizarea unor produse noi, constă în următoarele: în funcție de destinație, parametrii funcționali și condițiile de exploatare ale produsului, pentru fiecare asamblare alezaj-arbore se calculează (după determinarea sau stabilirea dimensiunii nominale) jocul sau strângerea necesare la asamblare și funcționare în regim. Se impune ca proiectantul să calculeze nu o singură valoare (de exemplu cea teoretică necesară) a jocului sau strângerii ci valorile limită între care pot fi cuprinse jocurile sau strângerile efective astfel încât să permită funcționarea normală a pieselor în condițiile fixate. Având valorile limită ale jocurilor și strângerilor se calculează toleranța ajustajului cu relațiile:

$$T_{aj} = J_{\max} - J_{\min} = T_D + T_d \quad (6.28)$$

$$T_{as} = S_{\max} - S_{\min} = T_D + T_d \quad (6.29)$$

$$T_{ai} = J_{\max} + S_{\max} = T_D + T_d \quad (6.30)$$

Din aceste relații se pot determina toleranțele alezajului T_D și arborelui T_d considerându-se fie cu valori egale, fie adoptându-se pentru alezaj o toleranță mai mare cu una până la cel mult două clase de precizie, cunoscut fiind faptul că alezajele se prelucrează mai greu decât arborii. După ce s-au determinat toleranțele T_D și T_d , se adoptă un ajustaj standardizat în unul din sistemele de ajustaje (alezaj sau arbore unitar).

Scaunul supapei poate fi alezat direct în chiuloasă pentru chiulase din fontă, sau poate fi piesă separată în formă de inel, care se fretează în cazul chiulaselor din aliaje de aluminiu. Strângerea variază în limitele 0,045 – 0,155 mm.

194 Echipamente și instalații experimentale pentru ridicarea diagramei indicate și determinarea proprietăților termomecanice de funcționare a motorului echipat cu scaune de supapă sinterizate

Între tchet sau culbutor și tija supapei este necesar să fie un joc termic de 0,15 – 0,45 mm pentru supapele de admisiune și de 0,2 – 0,8 mm pentru supapele de evacuare. [M7]

Reglarea jocului termic dintre culbutori și supape se face la rece sau la cald, pentru a permite dilatarea liberă a supapei și a evita rămânerea ei deschisă când motorul este cald. Jocul se mărește în timpul exploatării, provocând zgomote anormale, reducând timpul și cursa deschiderii supapelor, înrăutățind umplerea cilindrilor cu amestec carburant sau aer și evacuarea gazelor arse.

Nr. Crt.	Simbol	Compoziția de Cu (%)	Presiunea de compactizare (*100MPa)	Temperatura de sinterizare (°C)	coeficientul de dilatare (*10 ⁻⁶ grad ⁻¹)	joc termic (μm)	Variația strângerii	Variația strângerii	Variația strângerii
							(μm)	(μm)	(μm)
							bloc motor din oțel refractar	bloc motor din aliaj de aluminiu	bloc motor din fonta
1	9 II	9	7	1270	12,46	15,83	+5,67	+110,67	-25,83
2	12 II	12	7	1270	13,07	22,23	-0,735	104,265	-32,235
3	12 -	12	10	1150	12,55	16,77	4,725	109,725	-26,775
4	6 I	6	7	1150	12,7	18,35	+3,15	+108,15	-28,35
5	6 -	6	10	1150	12,53	16,56	4,935	109,935	-26,565
6	6 II	6	7	1270	11,58	6,59	+14,91	+119,91	-16,59
7	12 I	12	7	1150	12,57	16,98	4,515	109,515	-26,985

Tabel 6.6 calculul jocului termic și variația strângerii pentru diferite tipuri de bloc motor

- Scaunul de supapă se montează cu strângerea: 0,045..0,115 mm;
- $S_{max} = 0,115$ mm;
- $\Delta t = 300$;
- Diametrul nominal al ajustajului $d = 35$ mm;
- Pentru scaunul de supapa original $\alpha A = 13 \cdot 10^{-6}$ grad⁻¹;
- $J = \alpha A \Delta t d - S_{max}$;
- $J = 0,0215$ mm = 21,5 μm.

6.4 Concluzii preliminare

Pentru cel de-al șaselea capitol se pot formula câteva concluzii cu caracter de generalitate:

- Ansamblul admisie- evacuare (care poate fi aproximat cu o țeavă) ar trebui să intre în rezonanță cu acea curgere pulsatorie a gazelor înăuntru-afară (admisie- evacuare- admisie- evacuare) și să vibreze pe frecvența pe care „vibrează”

coloana de gaze, atunci această vibrație (oscilație sau mișcare oscilatorie) va fi întreținută de „țeavă”, ceea ce înseamnă că energia pe care o consumăm noi ca să punem toată coloana de gaze în mișcare va fi minimă. Energia aceasta vine de la motor. Iată unde e avantajul unui sistem de alimentare-evacuare bine proiectat. Nu se produce putere în plus, doar micșorăm niște pierderi. Dar se pare că reducerea aceasta a pierderilor nu e de neglijat;

- Calculele teoretice arată că cea mai bună formă pentru un ajutoraj constă dintr-o porțiune convergentă urmată de una divergentă în sensul curgerii gazelor. Acest tip de ajutoraj este cunoscut sub numele de ajutoraj LAVAL. Profilul său interior se prezintă sub forma a două pâlnii racordate în dreptul secțiunii lor minime. Astfel, secțiunea circulară într-un asemenea ajutoraj se micșorează pe o distanță destul de mică pentru ca după ce atinge o valoare minimă, numită și secțiune critică, să crească din nou până la o valoare maximă la ieșire;

- Îmbinările prin strângere, frecvent întâlnite în construcția de mașini realizează preluarea și transmiterea sarcinilor prin contactul forțat al suprafețelor conjugate, ca efect al deformației elastice a acestora. Avantajele utilizării îmbinărilor prin strângere vizează simplitatea soluției constructive, capacitatea portantă ridicată, gabaritul relativ redus, prețul de cost scăzut, centrarea bună a pieselor, economia de materiale deficitare;

- Calculul parametrilor care se modifică în timpul funcționării motorului Diesel, precum și evoluția termogazodinamică se evaluează utilizând modelele și ecuațiile matematice ilustrate în capitolul 1;

- Din corelarea prin juxtapunere a diagramelor obținute practic, pe standul cu motor de la Oradea și diagramele ridicate teoretic, cu ajutorul programului UNIER în care au fost folosite ca date de intrare caracteristicile de motor și particularitățile termomecanice ale scaunului de supapă sinterizat reiese că acest material, poate fi utilizat în condiții foarte bune la cald, pe motor, dovedind caracteristici termice și mecanice optime în ceea ce privește randamentul mecanic, transferul termic, rezistența mecanică și tenacitate.

În cuprinsul prezentului capitol se regăsesc contribuțiile personale ale autoarei, dintre care se enumeră următoarele:

- Determinarea setului complet de date preliminare;
- Trasarea graficelor și interpretarea comparativă a acestora;
- Efectuarea calculelor în vederea determinării parametrilor fizici

urmăriți;

BIBLIOGRAFIE

[A4], [N10], [M9], [C9], [I5], [M7], [P2], [P3], [C3], [F7], [F8], [S9], [S10]

7. Concluzii finale și contribuții personale

Competitivitatea economico-industrială a viitorului impune obținerea de produse noi, cu parametri ridicați, la care caracteristicile complexe geometrico-funcționale se combină cu exploatarea completă a proprietăților materialului. Acest scop se atinge utilizând materiale noi prelucrabile și tehnologii noi sau modernizate, adaptate materialului nou. Dezvoltarea tehnologiilor pentru materiale noi (compozite, ceramice, minerale și sinterizate) constituie tematica cercetărilor intense și a descoperirilor tehnice din ultimii ani și a preocupărilor în viitor pe plan internațional.

Prezenta teză pornește de la observația că, deși proiectarea sistemului de distribuție a motoarelor cu ardere internă și influența componentelor asupra performanțelor termomecanice ale acestor motoare înregistrează o îndelungată istorie, fondul de cunoștințe sistematizat până la nivel de standardizare se oprește la etapa de obținere a unor subansamble prin sinterizare și analizare a proprietăților lor termice și mecanice. Posibilitatea de a proiecta compoziția chimică a unui material în concordanță cu proprietățile fizice dorite, precum și influența anumitor factori din timpul sinterizării asupra acestor parametri termomecanici evaluați în laborator și pe standul cu motor este slab abordată în literatura de specialitate, astfel încât constituie încă subiect de cercetare cu potențial de inovare ridicat. Astfel, teza de doctorat își propune ca principal obiectiv cercetări fundamentale și aplicative privind comportarea în exploatare a scaunului de supapă de admisie pentru motoare cu ardere internă, realizat după rețeta autoarei tezei. Lucrarea de față își propune să evidențieze câteva dintre avantajele utilizării scaunelor de supapă sinterizate în industria constructoare de mașini, pornind de la compoziția proiectată și proprietățile fizice determinate pentru materialul sinterizat, în scopul creșterii fiabilității motoarelor termice și în scopul economisirii de materii prime și materiale.

Subiectul tezei este legat direct de studii și cercetări privind construcția și funcționarea motoarelor cu ardere internă cu scaune de supapă sinterizate. Obiectivele tezei, în formulare sintetică, pot fi enunțate astfel:

- proiectarea rețetei pulberilor și a tehnologiei de fabricație în vederea sinterizării unor variante de scaune de supapă destinate îmbunătățirii performanțelor motoarelor termice
- evaluarea proprietăților termice și mecanice ale materialelor sinterizate prin metode de laborator în scopul proiectării jocului termic
- creșterea fiabilității la interfața supapă – scaun de supapă prin creșterea la uzură în strânsă conectivitate cu procentul de cupru conținut, respectiv tratamentul termic aplicat
- reducerea costurilor de producție și economia de materiale prin procedeele metalurgiei pulberilor

Lucrarea, bazată pe un demers descriptiv, analitic, de modelare și evaluare a unor rezultate experimentale, a permis relevarea unor aspecte specifice, extragerea unor concluzii și formularea unor recomandări, sintetizate mai jos:

- termogazodinamica motoarelor cu aprindere prin comprimare se evaluează prin algoritmi de calcul specifici, în regim permanent de funcționare și în regimuri variabile

- modelul ciclului real de funcționare este un model fizic care permite calculul pas cu pas, a variației mărimilor de stare pentru procesele din cilindru care se consideră ca un sistem nestaționar deschis, masa și energia internă a sistemului fiind variabile
- factorii care influențează coeficientul de schimb de căldură sunt starea gazului din cilindru, viteza pistonului și procedeul de ardere
- pentru evaluarea proceselor care intervin între injecție și ardere s-au dezvoltat proceduri cu caracter experimental proprii procesului de aprindere în ansamblu
- s-au definit parametri, printre care și parametrul de formă prin care se pot corela foarte bine legea lui Wibe cu legile de ardere obținute experimental
- calculul analitic, îmbunătățit prin corecții rezultate din practica funcționării conduce la constatarea că legea de ardere depinde de energia combustibilului furnizat pe ciclu, începutul arderii, durata arderii și parametrul de formă
- viteza de curgere a gazelor prin secțiunea controlată de supapă este influențată de geometria supapă – scaun de supapă, între care se creează un ajutoraj laval
- secțiunile efective oferite de supape se pot stabili după curba de ridicare a supapelor, în funcție de geometria supapelor și coeficienții de debit stabiliți experimental
- coeficientul de transfer de căldură se obține în corelație cu ridicarea supapei și diametrul interior al scaunului supapei
- pentru trasarea diagramei indicate se stabilește relația dintre volumul cilindrului și unghiul RAC
- randamentul motorului este influențat de posibilitatea de a proiecta jocul termic, în corelație cu dilatometria scaunului de supapă
- subansamblele sistemului de distribuție sunt larg utilizate în construcția unor mașini și motoare cu ardere internă fabricate în producție de serie, în condițiile în care cerințele de calitate, eficiență și fiabilitate sunt impuse de piață la un nivel tot mai înalt
- condițiile tehnice de realizare, natura materialului precum și forma supapelor și a scaunelor de supapă sunt orientate spre îmbunătățirea evacuării de căldură, rezistență sporită la uzură, reducerea pierderilor gazodinamice și rigiditate mare
- solicitările mecanice și temperaturile ridicate înrăutățesc proprietățile materialului supapei, provoacă deformarea talerului și, deci, așezarea neetanșă pe locașul său, precum și deformarea tijei, favorizând griparea acestuia
- optimizarea cronosecțiunii, care este caracteristica funcțională a mecanismului de distribuție al unui motor cu ardere internă exprimată prin raportul dintre volumul de gaze care circulă pe lângă oricare dintre supape și viteza de curgere a acestora, este foarte importantă pentru a obține un contact bun între suprafața conică și scaun astfel încât partea îndreptată spre camera de ardere să fie imediat etanșă prin atingere liniară, împiedicând trecerea gazelor de ardere
- se pretinde o duritate superficială sporită pentru suprafețele de sprijin și de acționare deoarece acestea sunt supuse la o solicitare mecanică suplimentară – solicitare dinamică, de șoc, produsă de forța arcului și

- de forța de inerție ce apare la așezarea supapei pe scaun (șoc pe suprafața conică) sau la acționarea ei (șoc pe capătul tijei)
- o metoda de realizare a semifabricatului trebuie să țină seama de asigurarea stabilității dimensionale și rezistenței la oboseală, la un cost minim
- o scaunul supapei se confecționează separat, pentru a mări rezistența la uzare, sub forma de inele care se presează în locașuri, din materiale cu rezistență la coroziune și duritate la temperaturi înalte
- o jocul termic reprezintă o cauză de solicitare cu șoc a pieselor și de aceea trebuie redus la strictul necesar
- o procesul tehnologic de fabricație a pieselor sinterizate este un proces complex, format din mai multe faze care pot fi proiectate în funcție de proprietățile de exploatare ale materialului sinterizat
- o cunoașterea precisă a proprietăților fizice, chimice și tehnologice ale pulberilor metalice este foarte importantă din punctul de vedere al tehnologiei de fabricație, cât și pentru a putea asigura calitatea și proprietățile cerute la produsele obținute din aceste pulberi
- o piesele sinterizate din pulberi metalice prezintă caracteristici fizice și chimice remarcabile, determinate atât de compoziția și structura fazelor prezentate cât și de mărimea, forma și distribuția în masă a grăunților, ceea ce constituie structura acestor piese
- o pentru obținerea unor proprietăți tehnologice și mecanice corespunzătoare, un rol hotărâtor îl are presiunea de compactizare aplicată, care determină porozitatea de presare
- o o influență deosebit de mare asupra rezistenței semifabricatului o au mărimea granulelor pulberii, plasticitatea și forma granulelor, prezența în amestec a lubrifianților, a diferitelor adaosuri și a impurităților
- o duritatea semifabricatelor presate crește aproape liniar cu presiunea de compactizare. În volumul semifabricatului duritatea variază paralel cu densitatea neuniformă. Pentru aflarea durității se recomandă metoda Brinell, folosind bile cu diametrul de 5 mm sau de 10 mm
- o analiza microstructurii pieselor presupune determinarea următorilor parametri: dimensiunea și distribuția fazelor, conținutul în carbon combinat, incluziunile, transformările structurale, fenomenele de carburare și decarburare, porozitatea și distribuția porozității, gradul de legătură, stratificarea, uniformitatea structurii, gradul de aliere, prezența limitelor dintre particule
- o formarea prin presare unidirecțională în matrițe metalice determină orientarea particulelor în planuri paralele, perpendiculare pe direcția de presare. Această orientare este una din cauzele diferențelor între variațiile dimensionale la sinterizarea produselor în direcții paralele și perpendiculare pe direcția de presare
- o în timpul sinterizării pieselor din cupru pur are loc schimbarea formei porilor și reducerea volumului acestora, ceea ce determină reducerea energiei totale de suprafață. În cupru, procesele de difuzie sunt responsabile pentru sinterizare și densificare, difuzia de volum fiind mecanismul predominant
- o una dintre cele mai importante categorii de produse obținute prin metalurgia pulberilor este formată din materialele antifricțiune utilizate în condiții de înalte solicitări mecanice și temperaturi mari ce apar în echipamentele folosite în industria chimică, metalurgică și energetică.

Încălzirea la temperaturi de (250-800)^oC cauzează o uzură rapidă. Utilizarea acestor materiale în industrie determină economii de metale neferoase și face posibilă simplificarea tehnologiei de fabricație și reduce pierderile de producție

- rezistența se poate mări prin alierea cu C, Cr, Mn, Ni și prin tratamente termice
- conductivitatea termică scade cu creșterea porozității, crește cu presiunea de comprimare
- căldura degajată ca rezultat al frecării este disipată prin metalul de bază. Conductivitatea termică mare a metalului de bază determină disiparea rapidă a căldurii de la suprafața de frecare și previne formarea stratului de superficial datorat supraîncălzirii
- gradul de sinterizare a pieselor din oțeluri aliate poate fi estimat prin gradul de difuzie a elementelor de aliere
- distribuția spațială a porilor influențează pregnant caracteristicile funcționale ale pieselor sinterizate. Tendința de aglomerare a porilor în unele zone și diminuarea concentrației acestora în alte zone contribuie la scăderea rezistenței mecanice, a durității, a conductivității termice și electrice
- metalurgia pulberilor asigură produselor și materialelor sinterizate o compoziție precisă și uniformă, cu o mare constantă a proprietăților, astfel devine posibilă înlocuirea unor materiale scumpe sau deficitare cu altele mai ieftine și ușor de procurat
- utilajele necesare în tehnologia de fabricație a produselor sinterizate sunt universale
- metalurgia pulberilor reduce consumurile de materii prime și energie, coeficientul de utilizare a pulberilor metalice fiind de (98...99)%
- obținerea pulberilor metalice din deșeuri de fabricație are implicații multiple atât asupra valorificării superioare a deșeurii cât și asupra produsului finit
- dezvoltarea noilor tehnologii ale metalurgiei pulberilor sunt căi importante pentru economisirea de materii prime
- dilatarea termică este proprietatea fizică a scaunului de supapă cu importanță deosebită în funcționarea sistemului de distribuție
- rezistența la rupere este cea mai importantă proprietate a materialelor metalice
- duritatea reprezintă rezistența opusă de materiale la pătrunderea în suprafața lor a unor corpuri mai tari și nedeformabile (penetratoare). Dă indicații despre posibilitatea materialelor metalice de a rezista la deformații superficiale și la uzare. Este proprietatea care se determină cel mai rapid și cel mai frecvent în practica industrială, evidențiind efectul tratamentelor termice, termochimice, termomecanice, mecanice
- rezistența la oboseală este proprietatea materialelor metalice de a rezista la solicitări repetate și variabile în timp (ciclice sau alternative). Se apreciază prin tensiunea maximă pe care o poate suporta materialul la un număr foarte mare (106...108) de solicitări ciclice fără a se distruge (rupe). Se determină pe curbele Wohler. Este puternic influențată de prezența în material a defectelor interioare (sufluri, pori, incluziuni, fisuri etc.), defectelor de suprafață (rugozități, rizuri, decarburări superficiale, pori deschiși) și de concentratorii de tensiune (crestături, funduri de filet ascuțite, treceri fără racordări de la o

200 Concluzii finale și contribuții personale

- secțiune la alta, efecte ale coroziunii etc.). Toate aceste defecte și concentratori de tensiune (eforturi) sunt surse de amorsare a fisurilor ce se dezvoltă progresiv în timp
- produsele (organele de mașini și sistemele) trebuie să satisfacă din punct de vedere calitativ atât proiectantul și executantul, cât și beneficiarul. Fiabilitatea reprezintă totalitatea însușirilor care asigură buna funcționare a unui produs (organ de mașină, mecanism, mașină, echipament, instalație etc.) în conformitate cu normele prescrise, chiar dincolo de termenul de garanție.
 - proprietățile fizice și tehnologice ale materialelor din care sunt confecționate supapele și scaunele de supapă sunt în directă interdependență cu solicitările termice, mecanice, dinamice și condițiile de lucru ale supapei și scaunului de supapă
 - caracteristicile fizice, mecanice, tehnologice și chimice ale materialelor din care se confecționează supapa și scaunul supapei în concordanță cu proprietățile de exploatare ale acestora pot fi proiectate prin alegerea elementelor de aliere din rețeta propusă pentru realizarea scaunelor de supapă, prin morfologia pulberilor, prin modalitatea de sinterizare, precum și prin tratamentele termice aplicate
 - proprietățile termice și mecanice ale materialelor din care au fost confecționate scaunele de supapă sunt dependente de: concentrația de cupru a fiecărei probe, tratamentul termic aplicat, presiunea de compactizare
 - cei mai importanți parametri de analizat în ceea ce privește condițiile tehnice de funcționare a scaunelor de supapă au fost: structura internă, echilibrul fazelor, grăunții din compoziția materialului, analiza dilatometrică, conductivitatea termică, duritatea, rezistența la strivire, variația strângerii la îmbinarea supapă-scaun de supapă
 - din punct de vedere metalografic, proba cu 6% cupru, tratată termic, sinterizată la 1250°C prezintă caracteristici optime pentru a fi utilizată la fabricarea scaunului de supapă: masa moale atenuează șocurile mecanice conferind supapei tenacitate și stabilitate a formei în regim tranzitoriu de încălzire a blocului motor, Cr rezista la atacul coroziv, C, Mn și Si constituie masa dură. Pentru această probă, în urma analizei metalografice s-au constatat următoarele: difuzia Cu-Fe nu este așa de pronunțată; matricea este ferito-perlitică; ferita activează sinterizarea (nu este compactă, deci permite difuzia); se observă Cu dispersat – prin topire, nedifuzat, prezent sub forma de incluziuni punctiforme, liniare, ramificate (mult Cu liber, nedifuzat); incluziunile mari izolate reprezintă Cr; zone albe difuzate sunt de Mn; în zona de contact dintre zona săracă și zona bogată în Mn rezultă martensita;
 - pentru probele tratate termic se constată o călire incompletă, scade duritatea la suprafață, urme de ferită; pe lângă zonele bogate în Cr apare o alta fază: în zonele ce înconjoară Cr apar separări (precipitări) de carburi globulare, cu tendința spre formare de rețea; datorită supraîncălzirii apare creștere de grăunte, pierdere de duritate; carbura de Cr se separă în jurul insulelor de Cr (din soluția de Fe - Cr)
 - în urma analizei dilatometrice s-au constatat următoarele:
 - din alura graficelor se vede că până pe la 600 de grade avem o dilatare care respectă legea liniară
 - coeficientul de dilatare termică a probelor analizate se situează între

- 11*10⁻⁶grad⁻¹ și 17*10⁻⁶grad⁻¹
- de la circa 600-700 de grade apare dilatare neliniară și transformare în stare solidă, iar în jur de 900 de grade apare o altă transformare.
- la proba 6 II se remarcă un amestec de Fe α +Fe γ , difuzia C-Fe-Mn, iar a doua inflexiune a graficului $\Delta l(\Delta t)$ poate să se datoreze influenței cromului din compoziția materialului
- la proba 12 – prima inflexiune se datorează difuziei de mangan și de siliciu, apărând 3 faze: Si+Cu; Mn+Fe; Cu+Fe., fierul difuzează
- o la aceeași temperatură de sinterizare, conductivitatea scade cu creșterea procentului de cupru, crește cu creșterea temperaturii de sinterizare
- o duritatea optimă se întâlnește la probele 6III și 12I;
- o rezistența la strivire mai pronunțată s-a determinat pentru proba 6% Cu, 1150^oC, presată cu 700MPa.
- o calculele teoretice arată că cea mai bună formă pentru un ajutor constă dintr-o porțiune convergentă urmată de una divergentă în sensul curgerii gazelor. Acest tip de ajutor este cunoscut sub numele de ajutor LAVAL. Profilul său interior se prezintă sub forma a două pâlnii racordate în dreptul secțiunii lor minime. Astfel, secțiunea circulară într-un asemenea ajutor se micșorează pe o distanță destul de mică pentru ca după ce atinge o valoare minimă, numită și secțiune critică, să crească din nou până la o valoare maximă la ieșire
- o îmbinările prin strângere, frecvent întâlnite în construcția de mașini realizează preluarea și transmiterea sarcinilor prin contactul forțat al suprafețelor conjugate, ca efect al deformației elastice a acestora. Avantajele utilizării îmbinărilor prin strângere vizează simplitatea soluției constructive, capacitatea portantă ridicată, gabaritul relativ redus, prețul de cost scăzut, centrarea bună a pieselor, economia de materiale deficitare
- o din corelarea prin juxtapunere a diagramelor obținute practic, pe standul cu motor de la Oradea și diagramele ridicate teoretic, cu ajutorul programului UNIER în care au fost folosite ca date de intrare caracteristicile de motor și particularitățile termomecanice ale scaunului de supapă sinterizat reiese că acest material, poate fi utilizat în condiții foarte bune la cald, pe motor, dovedind caracteristici termice și mecanice optime în ceea ce privește randamentul mecanic, transferul termic, rezistența mecanică și tenacitate.

Concluzia generală a studiului este: caracteristicile fizice, mecanice, tehnologice și chimice ale materialelor din care se confecționează supapa și scaunul supapei în concordanță cu proprietățile de exploatare ale acestora pot fi proiectate prin alegerea elementelor de aliere din rețeta propusă pentru realizarea scaunelor de supapă, prin morfologia pulberilor, prin modalitatea de sinterizare, precum și prin tratamentele termice aplicate. Proprietățile termice și mecanice ale materialelor din care au fost confecționate scaunele de supapă sunt dependente de: concentrația de cupru a fiecărei probe, tratamentul termic aplicat, presiunea de compactizare. Proba cu 6% cupru, tratată termic, sinterizată la 12500C prezintă caracteristici optime pentru a fi utilizată la fabricarea scaunului de supapă.

Lucrarea conține o serie de **contribuții personale**, dintre care se amintesc următoarele:

- Sinteza și analiza unui material bogat relativ la calculul parametrilor fizici care se modifică în timpul funcționării motorului Diesel

202 Concluzii finale și contribuții personale

- Sistematizarea ecuațiilor, formulelor și coeficienților necesari în determinarea parametrilor care sunt influențați de geometria supapă-scaun de supapă
- Efectuarea calculelor de termogazodinamică pentru a putea ridica diagrama indicată cu ajutorul programului UNIER
- Utilizarea programului UNIER modificând datele din fișierul de intrare pentru a trasa diagramele indicate și pentru a extrage valorile parametrilor urmăriți
- Proiectarea condițiilor de lucru pentru ridicarea experimentală a diagramei indicate pe standul cu motor
- Sistematizarea cunoștințelor existente referitoare la materialele și tehnologiile utilizate la fabricarea supapelor și scaunelor de supapă
- Sinteza și analiza unui material bogat, relativ la materialele și tehnologiile aplicate la fabricarea subansamblelor pentru motoarele cu ardere internă
- Studiul geometriei scaunului de supapă și al supapei în vederea proiectării cronosecțiunii și jocului termic în scopul optimizării transferului termic, reducerea uzurii și creșterea fiabilității
- Studiul critic al materialelor utilizate până în prezent, la nivel mondial la fabricarea scaunelor de supapă
- Analizarea materialelor utilizate până în prezent pentru fabricarea supapelor și a scaunelor de supapă în corelație cu solicitările termomecanice la care sunt supuse, pentru a proiecta un material nou, original, care să corespundă mai bine cerințelor de calitate, eficiență și fiabilitate, impuse de piața constructoare de mașini în prezent.
- Analiza comparativă a tehnologiilor de preparare a pulberilor și de sinterizare în scopul alegerii celei mai potrivite metode de metalurgie a pulberilor pentru care există echipamente și care nu implică suplimentar costuri de implementare în industrie
- Conceperea unei rețete proprii, originale pentru realizarea scaunelor de supapă de admisie pentru motorul M511, prin sinterizare din pulberi metalice
- Propunerea variantelor de compoziție pentru materialul destinat sinterizării scaunelor de supapă în vederea ridicării performanțelor termomecanice ale acestora
- Pegătirea pulberilor și proiectarea condițiilor tehnologice de realizare a celor 9 variante de scaune de supapă sinterizate, pentru care diferă procentul de cupru, tratamentul termic și presiunea de compactizare
- Descrierea etapelor procesului tehnologic de fabricare a scaunelor de supapă după rețetele propuse
- Scaunul pentru supapa de admisie pentru motor Diesel monocilindric a fost proiectat ținându-se cont de proprietățile termomecanice urmărite precum și în funcție de ceea ce se încearcă actualmente pe plan mondial în domeniul auto
- Studiul critic al proprietăților fizice, mecanice și tehnologice în vederea proiectării unui material fiabil pentru fabricarea scaunelor de supapă
- Determinarea setului complet de date preliminare
- Trasarea graficelor și interpretarea comparativă a acestora
- Propunerea rețetei de material precum și metodelor de sinterizare pentru realizarea scaunelor de supapă;
- Efectuarea calculelor în vederea determinării parametrilor fizici urmăriți

- Interpretarea metalografică a structurii la nivel microscopic a materialelor sinterizate
- Prezentarea minuțioasă a rezultatelor intermediare și finale prin tabele de date și figuri reprezentative, generate cu aplicații MS EXCELL

