

Universitatea OVIDIUS Constanța
Departamentul ID-IFR
Facultatea de Inginerie Mecanica, Industrială și Maritimă

Materiale avansate

Caiet de Studiu Individual

Specializarea:

AR - Autovehicule Rutiere;
IEDM - Inginerie Economica in Domeniul Mecanic

Anul de studii: III
Semestrul 6

Titular disciplină:
Prof. Dr. Ing. Anna Nocivin

2011

Materiale avansate

CUPRINS

Unitate de învățare	Titlul	Pagina
	INTRODUCERE	5
1	UI-1: <u>Materiale supraconductoare – definitii, caracteristici, proprietati</u> Obiectivele UI-1 1.1. Definirea fenomenului de supraconductibilitate 1.2. Efectul Meissner 1.3. Caracteristicile si proprietatile supraconductorilor 1.4. Clasificarea supraconductorilor Lucrare de verificare pentru UI-1 Răspunsuri și comentarii la întrebările din testele de autoevaluare Bibliografie pentru UI-1	6
2	UI-2: <u>Materiale supraconductoare – exemple, aplicatii</u> Obiectivele UI-2 2.1. Exemple de materiale supraconductoare si tehnologia lor de obtinere 2.2. Aliajele si compusii pe baza de Nb 2.2.1. Aliajul Nb-46,5%gr.Ti 2.2.2. Compusul supraconductor Nb ₃ Sn 2.3. Oxizii ceramici 2.4. Aplicatiile si perspectivele utilizarii materialelor supraconductoare Lucrare de verificare pentru UI-2 Răspunsuri și comentarii la întrebările din testele de autoevaluare Bibliografie pentru UI-2	13
3	UI-3: <u>Aliaje metalice cu memoria formei</u> Obiectivele UI-3 3.1. Mecanismul efectului de memoria formei 3.2. Tehnologia de obtinere si proprietatile aliajelor cu memoria formei Lucrare de verificare pentru UI-3 Răspunsuri și comentarii la întrebările din testele de autoevaluare Bibliografie pentru UI-3	22
4	UI-4: <u>Aplicatiile aliajelor metalice cu memoria formei</u> Obiectivele UI-4 4.1. Aplicatii in industria aerospatuala 4.2. Aplicatii in ingineria mecanica 4.3. Aplicatii in medicina Lucrare de verificare pentru UI-4 Răspunsuri și comentarii la întrebările din testele de autoevaluare Bibliografie pentru UI-4	32

5	<u>UI-5: Aliaje cu proprietati magnetice speciale</u> Obiectivele UI-5 5.1. Caracteristici generale ale materialelor magnetice 5.2. Materiale magnetice dure 5.3. Materiale magnetice moi 5.4. Aliaje pentru electrotehnica Lucrare de verificare pentru UI-5 Răspunsuri și comentarii la întrebările din testele de autoevaluare Bibliografie pentru UI-5	42
6	<u>UI-6: Aliaje metalice amorfe si nanocristaline</u> Obiectivele UI-6 6.1. Condițiile de formare a aliajelor amorfe si nanocristaline 6.2. Metode de obtinere a aliajelor amorfe si nanocristaline 6.3. Proprietatile si aplicatiile aliajelor amorfe si nanocristaline Lucrare de verificare pentru UI-6 Răspunsuri și comentarii la întrebările din testele de autoevaluare Bibliografie pentru UI-6	51
7	<u>UI-7: Aliaje cu proprietati termice si elastice speciale</u> Obiectivele UI-7 7.1. Caracteristici generale 7.2. Aliaje cu coeficient termic de dilatare liniara α reglementat 7.3. Aliaje cu modul de elasticitate constant Lucrare de verificare pentru UI-7 Răspunsuri și comentarii la întrebările din testele de autoevaluare Bibliografie pentru UI-7	62
8	<u>UI-8: Aliaje rezistente la radiatii – Partea I</u> Obiectivele UI-8 8.1. Componentele de baza ale unui reactor nuclear modern 8.2. Cauzele deteriorarii prin iradiere a materialelor de constructii Lucrare de verificare pentru UI-8 Răspunsuri și comentarii la întrebările din testele de autoevaluare Bibliografie pentru UI-8	72
9	<u>UI-9: Aliaje rezistente la radiatii – Partea a II-a</u> Obiectivele UI-9 9.1. Compozitia si proprietatile materialelor rezistente la radiatii utilizate pentru corpul centralelor atomo-electrice 9.2. Compozitia si proprietatile materialelor rezistente la radiatii utilizate pentru schimbatoarele de caldura din centralele atomo-electrice 9.3. Compozitia si proprietatile materialelor de constructii, rezistente la radiatii, utilizate pentru elementele exoterme din centralele nucleare-electrice Lucrare de verificare pentru UI-9 Răspunsuri și comentarii la întrebările din testele de autoevaluare Bibliografie pentru UI-9	81
10	<u>UI-10: Materiale compozite durificate prin dispersie</u>	88

	<p>Obiectivele UI-10</p> <p>10.1. Caracteristici generale ale materialelor compozite</p> <p>10.2. Materiale compozite durificate prin dispersie</p> <p>10.3. Aplicatii ale compozitelor durificate prin dispersie</p> <p>Lucrare de verificare pentru UI-10</p> <p>Răspunsuri și comentarii la întrebările din testele de autoevaluare</p> <p>Bibliografie pentru UI-10</p>	
11	<p><u>UI-11: Materiale compozite durificate prin fibre</u></p> <p>Obiectivele UI-11</p> <p>11.1. Materiale compozite durificate cu fibre</p> <p>11.2. Materiale de armare sub forma de fibre</p> <p> 11.2.1. <i>Fibre de bor</i></p> <p> 11.2.2. <i>Fibre de sticla</i></p> <p>Lucrare de verificare pentru UI-11</p> <p>Răspunsuri și comentarii la întrebările din testele de autoevaluare</p> <p>Bibliografie pentru UI-11</p>	99
12	<p><u>UI-12: Fibre de armare în materiale compozite</u></p> <p>Obiectivele Unității de învățare Nr. 12</p> <p>12.1. Fibre aramidice</p> <p>12.2. Fibre de silice</p> <p>12.3. Fibre ceramice cu modul înalt</p> <p>12.4. Fibre de azbest</p> <p>12.5. Fibre de carbon</p> <p>Lucrare de verificare pentru UI-12</p> <p>Răspunsuri și comentarii la întrebările din testele de autoevaluare</p> <p>Bibliografie pentru UI-12</p>	113
13	<p><u>UI-13: Matricea materialelor compozite</u></p> <p>Obiectivele Unității de învățare Nr. 13</p> <p>13.1. Matrice polimerica și ceramica</p> <p>13.2. Matrice metalica</p> <p> 13.2.1. <i>Matrice de Al</i></p> <p> 13.2.2. <i>Matrice de Mg</i></p> <p> 13.2.3. <i>Matrice de Ti</i></p> <p>Lucrare de verificare pentru UI-13</p> <p>Răspunsuri și comentarii la întrebările din testele de autoevaluare</p> <p>Bibliografie pentru UI-13</p>	125
14	<p><u>UI-14: Materiale compozite tip sandwich</u></p> <p>Obiectivele Unității de învățare Nr. 14</p> <p>14.1. Caracteristici și proprietăți ale compozitelor tip sandwich</p> <p>14.2. Tehnologia de obținere a compozitelor tip sandwich</p> <p>Lucrare de verificare pentru UI-14</p> <p>Răspunsuri și comentarii la întrebările din testele de autoevaluare</p> <p>Bibliografie pentru UI-14</p>	138
	BIBLIOGRAFIE	144

Observație: numărul unităților de învățare (UI) este egal cu numărul ședințelor de curs (SC) de la forma de învățământ zi (14 SC = 14 UI = 14 x 2h = 28 ore curs)

Materiale avansate

INTRODUCERE

Lucrarea de față este adresată tuturor studenților de la specializările universitare de licență de inginerie mecanică, care studiază la forma de învățământ cu frecvență redusă – IFR, în cadrul Facultății de Inginerie Mecanică, Industrială și Maritimă, Universitatea “Ovidius” Constanța, unde îmi desfășor activitatea în prezent.

Lucrarea își propune să pună la dispoziție, într-o prezentare succintă și selectivă, noțiunile de bază legate de compoziția, structura, proprietățile și aplicațiile câtorva din principalele clase de materiale avansate utilizate în momentul de față în industrie, materiale care de altfel și reprezintă criteriul de departajare pe capitole a lucrării: 1) materiale metalice cu proprietăți magnetice speciale; 2) materiale supraconductoare; 3) materiale metalice cu memoria formei; 4) materiale metalice amorfe și nanocristaline; 5) materiale metalice cu proprietăți termice și elastice speciale; 6) materiale metalice rezistente la radiații; 7) materiale compozite.

Termenul de „materiale avansate” care cuprinde fie compozite pe bază de fibre de carbon și kevlar, fie nanomateriale sau materiale nanostructurate, fie materiale cu memoria formei, materiale metalice amorfe sau alte numeroase tipuri de materiale cu proprietăți speciale, total diferite de materialele metalice clasice, reprezintă realitatea a mulți ani de cercetare, în special ultimii 50 de ani, în care o serie de industrii au renunțat parțial sau integral la materialele tradiționale și au impus o nouă generație de materiale care oferă compoziții și proprietăți ingineresti inovative. Domenii științifice și industrii de vârf, cum sunt medicina, industria IT, industria de autoturisme, industria aerospațială și multe altele, au înțeles de mult acest deziderat de înlocuire a materialelor clasice cu materiale moderne, cu caracteristici tehnico-funcționale și economice superioare, transformându-l în realitate.

Iată de ce, sperăm ca lucrarea de față să incite interesul cititorului-student pentru acest domeniu atât de important al materialelor metalice avansate, determinându-l să-și extindă aria de interes și dorința de aprofundare a cunoștințelor acumulate pentru o mai bună desăvârșire profesională.

Sperăm, de asemenea, ca prin formatul sau sintetic, în care se evidențiază ușor cuvintele cheie, noțiunile de bază, precum și obiectivele și concluziile fiecărui capitol, lucrarea de față să fie un instrument eficient de studiu pentru studenții formei de învățământ „cu frecvență redusă”, care au astfel posibilitatea să aprofundeze mai ușor prin studiu individual întregul bagaj informațional impus prin programa analitică a disciplinei.

Prof. univ. Dr. ing. Anna Nocivin

Unitatea de învățare Nr. 1 – UI-1

Materiale supraconductoare – definiție, caracteristici, proprietăți

Cuprins	Pagina
Obiectivele Unității de învățare Nr. 1.....	7
1.1. Definirea fenomenului de supraconductibilitate	7
1.2. Efectul Meissner	8
1.3. Caracteristicile și proprietățile supraconductoarelor	8
1.4. Clasificarea supraconductoarelor	10
Lucrare de verificare pentru Unitatea de învățare Nr. 1.....	12
Răspunsuri și comentarii la testele de autoevaluare.....	12
Bibliografie pt. Unitatea de învățare Nr. 1.....	12



OBIECTIVELE UI-1

Principalele obiective ale UI-1 sunt:



- Definirea fenomenului de supraconductibilitate
- Definirea efectului Meissner
- Prezentarea caracteristicilor și proprietăților supraconductorilor
- Clasificarea supraconductorilor

CONTINUTUL UI-1:

Rezistența
electrică

T_c

Kamerling-Onnes

1.1. Definirea fenomenului de supraconductibilitate

- Rezistența electrică a unui material scade monoton odată cu scăderea temperaturii.
- În jurul lui **zero absolut** multe metale și aliaje suferă o scădere bruscă a rezistenței electrice, devenind **supraconductoare** – fig. 1.1.
- **Supraconductibilitatea** reprezintă capacitatea materialelor de a nu opune rezistență curentului electric la temperaturi mai scăzute decât temperatura lor critică – T_K .
- Acest fenomen a fost descoperit în 1911 de către cercetătorul olandez Haike Kamerling-Onnes care studia dispariția rezistenței electrice a mercurului la temperatura de 4,2 K – fig. 1.2.

Figura 1.1 - Influența temperaturii asupra rezistenței electrice la materialele supraconductoare

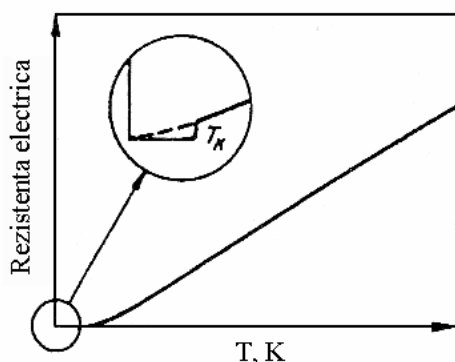
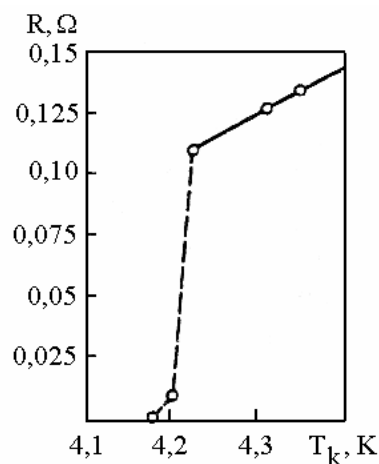


Figura 1.2 - Efectul de supraconductibilitate a mercurului în experimentul lui Kamerling-Onnes (1911)



- Supraconductibilitatea s-a pus în evidență la majoritatea metalelor pure, fiind o stare care apare mult mai ușor în metalele cu o conductibilitate scăzută.
- Se cunosc în jur de **3000 de aliaje supraconductoare** și compuși intermetalici, numărul acestora fiind în continuă creștere.

Efect Meissner

- Metalele pure sunt considerate supraconductoare de ordinul I, iar aliajele și compușii chimici - supraconductoare de ordinul II.

1.2. Efectul Meissner

- Câmpul magnetic din volumul supraconductor este nul la temperaturi $< T_c$.
- Într-un câmp magnetic exterior, un metal poate deveni diamagnetic - un material ce se încarcă cu un moment magnetic orientat împotriva câmpului de magnetizare.
- Astfel, la trecerea materialului metalic în starea supraconductoare, câmpul magnetic interior este respins ("iese") din volumul materialului și rămâne doar într-un strat subțire exterior de grosime $\sim 10^{-8}$ m.
- Acest fenomen se numește **efectul Meissner** – fig. 1.3 și 1.4.

Figura 1.3 - Diagrama efectului Meissner – liniile câmpului magnetic, reprezentate sub formă de săgeți, sunt respinse de un supraconductor, când acesta se află sub temperatura sa critică.

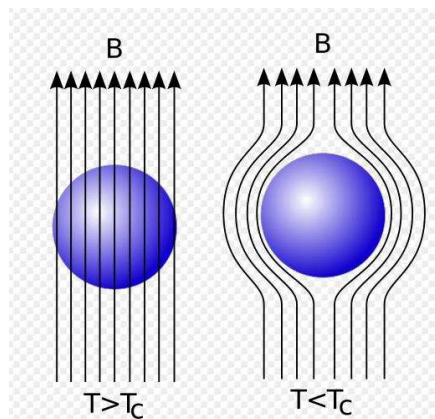
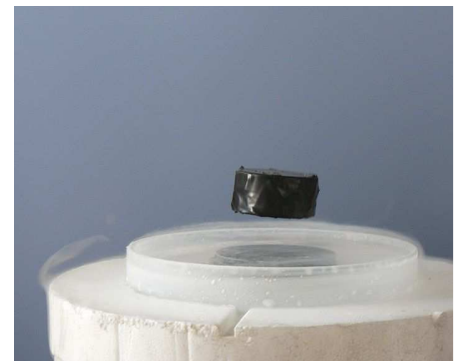


Figura 1.4 - Un magnet aflat în levitație deasupra unui supraconductor răcit în azot lichid



Concluzie: Supraconductibilitatea este fenomenul ce apare în anumite materiale la *temperaturi foarte scăzute* ($T < T_c$), fiind caracterizat de :

- 1 – rezistența electrică ZERO
- 2 – respingerea câmpului magnetic interior (efectul Meissner)

1.3. Caracteristicile și proprietățile supraconductoarelor

- Într-un conductor obisnuit, cum este Cu sau Ag, rezistența electrică nu poate atinge valoarea ZERO, ci doar o limită minimă foarte scăzută, datorită impurităților sau a defectelor de rețea. Chiar și în jurul valorii de ZERO absolut, o probă de Cu nu indică o rezistență electrică nulă.
- Într-un supraconductor, chiar dacă are impurități sau defecte, acesta are o rezistență electrică nulă dacă este răcit $< T_c$. Curentul electric dintr-un fir supraconductor poate fi permanent, fără nici o sursă de putere.

Conductor
obisnuit

Supraconductor

- Intr-un conductor obisnuit, curentul electric reprezinta un flux de electroni ce se deplaseaza prin retea de ioni. Electronii se ciocnesc constant cu ionii din retea; prin fiecare coliziune o parte din energia curentului de electroni este absorbita de retea de ioni si transformata in caldura, care reprezinta de fapt energia de vibratie a ionilor din retea. Astfel, energia curentului de electroni este disipata constant, fenomen ce reprezinta de fapt rezistenta electrica.
- Intr-un supraconductor situatia este complet diferita. Fluxul de electroni nu poate fi judecat ca electroni individuali, ci ca perechi de electroni, numite perechi “Cooper”. (Electronii liberi inceteaza sa interactioneze cu ionii retelei cristaline, incepand sa interactioneze intre ei: electronii cu spini opusi se unesc in perechi, rezultand un moment de spin nul)
- Perechile de electroni cu spin nul NU isi disipeaza energia, deoarece energia fononilor pe care aceste perechi o pot primi in urma interactiunii cu acestia, sau cu defectele de retea la temperaturi criogenice, este prea mica. Fara disipare de energie, perechile de electroni cu spin nul se deplaseaza liber de-a lungul retelei cristaline, ceea ce duce de fapt la aparitia supraconductibilitatii. Astfel, fluidul de perechi “Cooper” reprezinta un “superfluid”, care poate curge fara disipare de energie.

Concluzie - Caracteristicile supraconductorilor sunt:

- Valoarea temperaturii critice T_c variaza de la material la material.
- Supraconductorii conventionali au T_c intre 1 – 20 K.

Element chimic	Temperatura critica T_c [K]
Ti	0,39 K
Zn	0,88 K
Mo	0,92 K
Al	1,20 K
Hg	4,2 K
Ta	4,48 K
V	5,30 K
Pb	7,19 K
Nb	9,26 K

- In anul 2001, printre primii compusi chimici supraconductori conventionali descoperiti a fost MgB₂ – diborid de magneziu, cu $T_c = \mathbf{39\ K}$, cea mai mare temperatura cunoscuta la acea vreme.
- Supraconductorii pe baza de cuprati (anii 2000) se pare ca au cele mai mari T_c : YBa₂Cu₃O₇ - Primul supraconductor descoperit din aceasta categorie are $T_c = \mathbf{92\ K}$ (cunoscut sub denumirea de supraconductor ceramic YBCO – ytriu-bariu-cupru-oxid)
- Supraconductivitatea nu apare in metale nobile precum Au si Ag, sau in probe pure ale metalelor feromagnetice.

<p>MgB₂</p> <p>YBCO</p> <p>Supraconductori de tip I</p> <p>Supraconductori de tip II</p>	<p>1.4. Clasificarea supraconductoarelor</p> <p>In functie de T_c – temperatura critica:</p> <ul style="list-style-type: none"> Supraconductori <u>de temperatura inalta</u> – se considera acele materiale care au T_c > 77 K (temperatura de lichefiere a azotului) si care ating starea de supraconductibilitate prin racirea cu azot lichid Supraconductori <u>de temperatura joasa</u> – acele materiale care necesita medii de racire mai puternice decat azotul lichid <p>In functie de tipul de material:</p> <ul style="list-style-type: none"> Elemente chimice pure (mercur, plumb, etc.) Aliaje - Nb-Ti (T_c = 11 K), Ge-Nb, etc. Ceramice (MgB₂, YBCO, etc.) Superconductori organici (fulerene, nanotuburi de carbon - care pot fi incluse si la categoria de elemente chimice pure deoarece sunt formate din carbon) <p>In functie de proprietatile fizice:</p> <p><u>Supraconductori de tip I</u> – elemente chimice</p> <p><u>Supraconductori de tip II</u> – aliaje, ceramice, Nb, V</p> <p>1.4.1. Superconductori de temperatura inalta:</p> <p>Pana in 1986, fizicienii credeau ca supraconductivitatea nu poate sa se manifeste la temperaturi > 30 K.</p> <p>In 1986, <i>Bednorz si Müller</i> au descoperit supraconductivitate intr-un material ceramic bazat pe Cu si La, cu o temperatura de tranzitie de T_c = 35 K. (pentru care au primit Premiul Nobel pt fizica in 1987).</p> <p>In 1987, <i>M.K. Wu</i> a descoperit ca prin inlocuirea La cu Ytriu, adica obtinand materialul cunoscut sub denumirea de <u>YBCO – Ytriu-Bariu-Cupru-oxid</u>, temperatura critica a crescut pana la 92 K ⇒ pas important ⇒ se poate folosi racirea cu azot lichid, care are T_c = 77 K ⇒ solutie comerciala accesibila – pret scazut</p> <p>In 1993, s-a descoperit un alt supraconductor de temperatura inalta cu T_c = 138 K – un material ceramic ce contine, Taliu, Hg, Cu, Ba, Ca, O.</p> <p>In feb. 2008, Hideo Hosono de la Institutul de Tehnologie din Tokyo, a descoperit un alt supraconductor pe baza de Fe din familia compusului - (LaO_{1-x}F_xFeAs), care devine supraconductor sub 43 K. Prin inlocuirea La cu alte elemente rare precum Ce, Samarium, Neodymium, Praseodymium, temperatura creste la 52 K.</p> <p>1.4.2. Supraconductori de tip I – prezinta o singura temperatura critica la care materialul devine supraconductor; se manifesta efectul Meissner.</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<p>Sunt de regula elemente chimice pure, precum Al, Pb, Hg.</p> <p>1.4.3. Supraconductori de tip II – prezintă o tranzitie graduală de la supraconductibilitate la starea normală într-un câmp magnetic crescător. În general, aceștia prezintă supraconductibilitate la temperaturi și câmpuri magnetice mai mari decât supraconductorii de tip I.</p> <p>Sunt de regula <u>aliaje sau ceramice</u> (cum sunt cele descoperite în anul 2008 – oxizi ceramici complecși pe baza de cupru). Deși majoritatea elementelor chimice sunt supraconductori de tip I, <u>Niobiul, Vanadiul și Technetium</u> sunt supraconductori de tip II.</p> <p>Alte exemple:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nb – Ti, • Nb – Sn, • La_{1.85}Ba_{0.15}CuO₄, • YBCO (Ytriu – Bariu – Cupru – Oxid) – primul supraconductor descoperit cu temperatura mai mare decât cea a azotului lichid, • Hg₁₂Tl₃Ba₃₀Ca₃₀Cu₄₅O₁₂₅ (supraconductorul cu temperatura cea mai ridicată cunoscută 139 K) – (Mercur – Talium – Bariu – Calciu – Cupru - Oxid)
--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



Test de autoevaluare 1.1 – Definiți fenomenul de supraconductibilitate și efectul Meissner asociat acestuia. (Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.)

Răspunsul la test se găsește la pagina .



Test de autoevaluare 1.2 – Dintre elementele chimice pure indicate în text, pentru care s-au determinat T_c , care este cel cu T_c cea mai mare ? (Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.)

Răspunsul la test se găsește la pagina .



Test de autoevaluare 1.3 – Care este caracteristica unui supraconductor de temperatură înaltă ? (Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.)

Răspunsul la test se găsește la pagina .

Am ajuns la sfârșitul Unității de învățare Nr. 1.

În loc de
rezumat

Vă recomand să faceți o recapitulare a principalelor subiecte prezentate în această unitate și să revizuiți obiectivele precizate la început.

Este timpul pentru întocmirea Lucrării de verificare Unitate de învățare Nr. 1 pe care urmează să o transmiteți tutorelui.

Lucrare de verificare pentru Unitatea de învățare Nr. 1



Subiecte:

1. De ce un magnet, aflat deasupra unui supraconductor răcit cu azot lichid, se află în levitație ?
2. Cum se manifestă rezistența electrică într-un conductor obișnuit versus un supraconductor ?
3. Care a fost primul element chimic caruia i s-a determinat temperatura critică, temperatura sub care devine supraconductor ?
4. Clasificați supraconductorii în funcție de tipul de material din care pot fi fabricați.
5. Dați câteva exemple de supraconductori de temperatură înaltă.
6. Care este diferența între un supraconductor de tip I și unul de tip II ?

Barem:

Subiectul nr.:	Punctaj maxim acordat:
1	2
2	2
3	1
4	2
5	1
6	2

Răspunsurile și comentariile la testele de autoevaluare



1.1. Supraconductibilitatea reprezintă capacitatea materialelor de a nu opune rezistență curentului electric la temperaturi mai scăzute decât temperatura lor critică – T_k . La trecerea materialului metalic în starea supraconductoare ($T < T_c$), câmpul magnetic interior este respins ("iese") din volumul materialului – fenomen denumit **efect Meissner**.

1.2. Nb – 9,26 K

1.3. Supraconductori de temperatură înaltă – se consideră acele materiale care au **$T_c > 77\text{ K}$ (temperatura de lichefiere a azotului)** și care ating starea de supraconductibilitate prin răcirea cu azot lichid

Bibliografie pentru Unitatea de învățare Nr. 1



1. A. Nocivin, Materiale avansate, Ed. Ovidius University Press, Constanța, 2001, pag.113-127

Unitatea de învățare Nr. 2 – UI-2

Materiale supraconductoare – exemple si aplicatii

Cuprins	Pagina
Obiectivele Unității de învățare Nr. 2.....	14
2.1. Exemple de materiale supraconductoare si tehnologia lor de obtinere.....	14
2.2. Aliajele si compusii pe baza de Nb.....	14
2.2.1. Aliajul Nb-46,5% gr.Ti	
2.2.2. Compusul supraconductor Nb ₃ Sn	
2.3. Oxizii ceramici.....	16
2.4. Aplicatiile si perspectivele utilizarii materialelor supraconductoare	17
Lucrare de verificare pentru Unitatea de învățare Nr. 2.....	21
Răspunsuri și comentarii la testele de autoevaluare.....	21
Bibliografie pt. Unitatea de învățare Nr. 2.....	21



OBIECTIVELE Unității de învățare Nr. 2

Principalele obiective ale Unității de învățare Nr. 2 sunt:



- Prezentarea principalelor exemple de materiale supraconductoare si tehnologia lor de obtinere
- Aplicatiile si perspectivele utilizarii materialelor supraconductoare

CONTINUTUL UI-2:

Nb-46,5%gr.Ti

Nb₃Sn

2.1. Exemple de materiale supraconductoare si tehnologia lor de obtinere

Principalele materiale supraconductoare utilizate in momentul de fata in industrie sunt reprezentate de doua mari categorii:

- **aliajele si compusii pe baza de Nb**, care s-au dezvoltat si evoluat din punct de vedere compozitional si tehnologic plecand de la elementul chimic pur – niobiul – care are T_c cea mai ridicata dintre elementele chimice cunoscute;
- **oxizii ceramici**, care prin combinatiile compozitionale obtinute se dovedesc a avea T_c ridicate, dar si proprietati mecanice de rezistenta si proprietati chimice deosebite.

Vom prezenta in cele ce urmeaza principalele caracteristici ale acestor doua grupe de materiale supraconductoare.

2.2. Aliajele si compusii pe baza de Nb

Principalele caracteristici ale aliajelor si compusilor pe baza de Nb care particularizeaza aceste materiale sunt:

- prezinta valori relativ ridicate ale temperaturii T_c , de trecere la starea supraconductoare.
- pot suporta campuri magnetice destul de puternice (~ 2 T) si se caracterizeaza printr-o densitate de curent inalta ($2-10$ kA / mm²)

Cele mai utilizate combinatii compozitionale sunt:

- Aliajul **Nb-46,5%gr.Ti**
- Compusul **Nb₃Sn**

2.2.1. Aliajul Nb-46,5%gr.Ti

Acest aliaj face parte din categoria celor mai raspandite materiale supraconductoare si se caracterizeaza prin tehnologii de fabricare complexe.

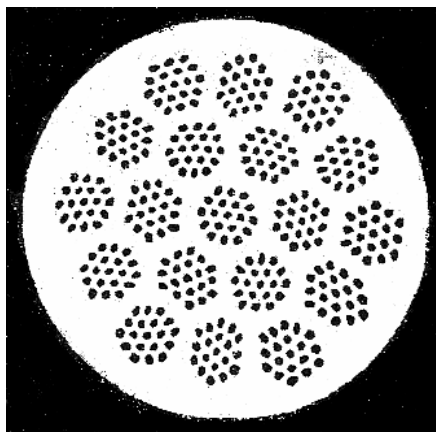
Desi prezinta parametri critici mai ridicati, acest aliaj **este foarte fragil**, fapt ce ingreuneaza prelucrarea acestuia in cabluri lungi prin metodele traditionale metalurgice.

Pentru a obtine un cablu supraconductor, intr-o bara de cupru se practica o multitudine de orificii in care se introduc miezuri foarte mici de Nb-Ti. Bara se lamineaza in sarma subtire care este taiata in bucati scurte,

introduse ulterior in noi bare de cupru.

Repetand de mai multe ori aceasta operatie, se obtine un cablu cu un numar foarte mare de intarsuri supraconductoare, cabluri din care se confectioneaza electromagnetii - figura 2.1.

Figura 2.1 - Sectiune transversala a unui cablu supraconductor cu 361 de intarsuri din Nb-Ti intr-o matrice de cupru



Daca intr-un intars se distruge fenomenul de supraconductibilitate, conductibilitatea electrica si termica mare a matricei de cupru ofera posibilitatea unei stabilizari termice a supraconductorului intr-un regim subcritic.

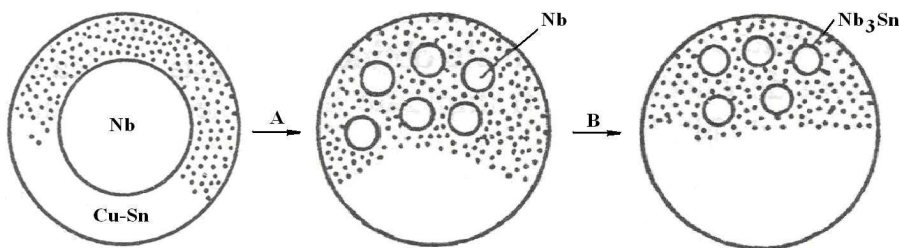
2.2.2. Compusul supraconductor Nb₃Sn

Utilizarea compusilor intermetalici fragili ingreuneaza simtitor fabricarea cablurilor, necesare in aplicatiile supraconductorilor.

Cablurile din Nb₃Sn se obtin prin metoda numita „tehnica bronzului”, metoda ce se bazeaza pe difuzia selectiva a staniului dintr-o faza solida de bronz – Figura 2.2.

Tehnica bronzului

Figura 2.2 - Schema tehnicii bronzului, pentru obtinere cablurilor cu multiple intarsuri de Nb₃Sn: a) introducerea intarsului, trefilarea si recoacerea; b) tratamentul termic



Fibre subtiri de niobiu plastic sunt presate intr-o matrice din bronz ce contine ~ 10 - 13% Sn. Dupa multiple trefilari si presari, cu recoaceri intermediare si tratamente termice ulterioare, are loc *difuzia staniului din matricea de bronz in fibrele de niobiu* si formarea la suprafata acestora a unei *pelicule subtiri de Nb₃Sn*.

Cuprul in schimb, datorita unei solubilitati foarte scazute, *practic nu difuzeaza in niobiu*.

Sarmele obtinute prin aceasta tehnica sunt suficient de plastice, putand fi impletite in cabluri, nedistrugandu-se peliculele supraconductoare de Nb_3Sn .

2.3. Oxizi ceramici

Oxizii ceramici reprezinta cea mai importanta categorie de supraconductori de temperatura inalta.

Proprietatile supraconductoare ale anumitor oxizi ceramici au fost puse in evidenta pentru prima data in anul 1986 de catre **fizicienii elvetieni G. Bednortz si K. Muller**, care au obtinut probe de oxizi ceramici din sistemul **La-Ba-Cu-O**, avand temperatura de trecere la supraconductibilitate de $T_k = 35$ K. Pentru aceasta descoperire, acestia au primit ulterior **Premiul Nobel**.

La-Ba-Cu-O

Ulterior, in Japonia, Rusia si SUA, s-au obtinut in anii '90 ceramice supraconductoare cu ytriu din sistemul **Y-Ba-Cu-O** (YBCO), avand o temperatura critica $T_k \sim 90$ K, material care a oferit posibilitatea utilizarii azotului lichid ca agent de racire, cu mult mai ieftin.

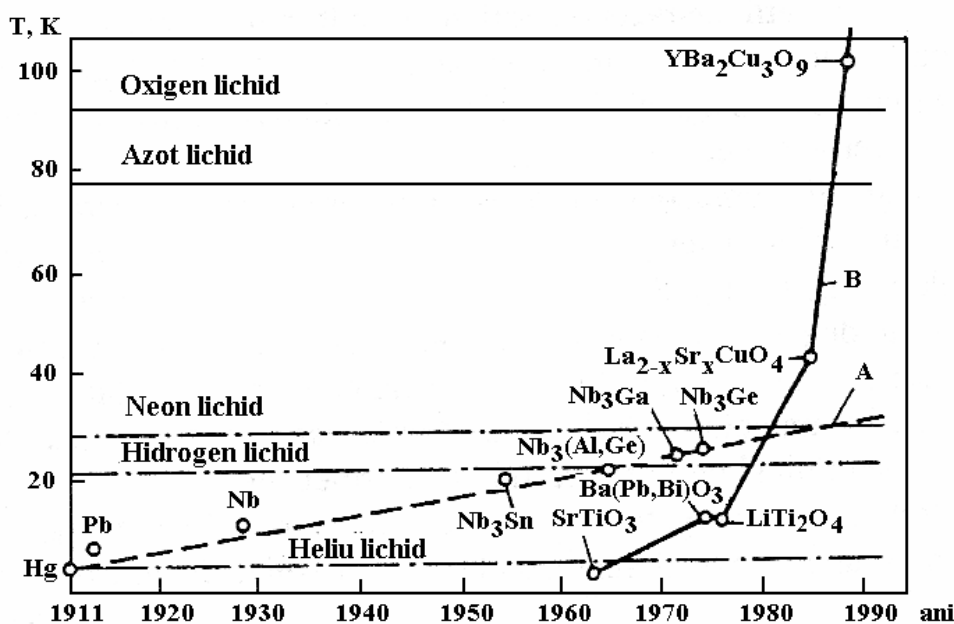
Y-Ba-Cu-O

In aceasta tendinta evidenta de a obtine materiale supraconductoare cu temperaturi critice din ce in ce mai ridicate si accesibile, s-a obtinut de asemenea si ceramica pe baza de oxid de cupru cu oxizi de strontiu, bismut si elemente alcalino-pamantoase, cum ar fi de exemplu **2SrO.CaO.Bi2O3.2CuO**, complex ceramic ce prezinta o temperatura critica T_k si mai mare decat cele descoperite anterior - pana la 100-115 K.

La ora actuala, se cunosc deja o serie intreaga de materiale ceramice cu temperaturi critice $T_k = 250$ K sau chiar egale cu temperatura camerei. Din pacate, dintre acestea, numeroase materiale sunt instabile sau/si prezinta fragilitate mecanica ridicata – figura 2.3.

Figura 2.3 - Dinamica obtinerii de materiale supraconductoare:

A – materiale metalice; B – materiale ceramice



Evoluția
materialelor
supraconuotoare

	<p>In figura 2.3 este prezentata dinamica descoperirilor de materiale metalice si de oxizi ceramici cu proprietati supraconductoare.</p> <p>Plecand initial de la elemente chimice pure, s-au descoperit treptat proprietati supraconductoare in materiale cu compozitii chimice din ce in ce mai complexe si care prezinta temperaturi critice din ce in ce mai mari, astfel incat aceste temperaturi, depasind pragul de temperatura al azotului lichid – cel mai ieftin agent de racire utilizat - se apropie in momentul de fata de temperaturile ambiante.</p> <p>2.4. Aplicatiile si perspectivele utilizarii materialelor supraconductoare</p> <p>Cele mai importante domenii si directii de utilizare a materialelor supraconductoare, in momentul de fata, sunt dupa cum urmeaza:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Productia de magnetometre (SQUID) - Circuite digitale - Cabluri de putere - Magnetii de control pentru acceleratoare de particule si reactoare nucleare (tokamak) - Electromagnetii de inalta putere utilizati pentru trenurile maglev - Imagistica prin rezonanta magnetica - MRI (Magnetic Resonance Imaging), rezonanta magnetica nucleara – NMR, - Filtre de microunde si frecvente radio (in telefonie mobila) - dispozitive electro-magnetice pentru industria militara de armament <p>- Productia de magnetometre (SQUID):</p> <p><u>Magnetii supraconductori</u> sunt cei mai puternici electro-magnetii cunoscuti in prezent.</p> <p>Acestia sunt utilizati in imagistica prin rezonanta magnetica MRI, in rezonanta magnetica nucleara NMR, sau pentru acceleratoarele de particule.</p> <p>Pot fi utilizati, de asemenea, pentru separarea magnetica a unor particule magnetice dintr-o masa de particule non-magnetice (de ex. in industria pigmentilor).</p> <p><u>Magnetometrul</u> este un instrument ce poate masura rezistenta si/sau directia unui camp magnetic din apropierea sa. (Campul magnetic terestru poate varia in functie de natura diferita a rocilor, sau in urma interactiunii dintre particulele incarcate de energie solara si magnetosfera terestra).</p> <p><u>Magnetometrul SQUID</u> (<i>superconducting quantum interference devices</i>) masoara campuri magnetice extrem de mici, cum sunt cele produse de creier (<i>magneto-encefalografie</i>) sau de inima (<i>magneto-cardiografie</i>). Sunt dispozitive ce necesita racire cu heliu sau azot lichid si protectie deosebita termo-mecanica si magnetica.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Circuite digitale <p>Descoperirea supraconductibilitatii a facut posibila dezvoltarea tehnologiei circuitelor digitale RSFQ (<i>Rapid Single Flux Quantum</i>), care utilizeaza jonctiunile Josephson in locul tranzistorilor. Recent, s-au facut pasi importanti in construirea de sisteme optice de computing, capabile sa proceseze informatia digitala utilizand elemente optice nonlineare.</p>
--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Cabluri de putere

- **Cabluri de putere**

În imaginea de mai jos se poate observa avantajul înlocuirii cablurilor normale cu cabluri supraconductoare. Pentru un amperaj de 12500 A, stiva voluminoasă de cabluri normale este înlocuită printr-un simplu cablu supraconductor.

Figura 2.4 – Înlocuirea stivei de cabluri electrice normale cu un singur cablu supraconductor, păstrându-se același amperaj



Accelerator de particule

- **Accelerator de particule**

În cadrul celebrului Centru European de Cercetări Nucleare din Geneva, Elveția - **CERN** – a funcționat între anii 1989 – 2000 un accelerator de particule, numit Large Electron-Positron Collider – **LEP**, cu o putere dezvoltată de 209 GeV / particulă, cea mai mare obținută la acea vreme;

Acest accelerator și-a încetat activitatea în anul 2000, pentru a face loc altuia de putere mult mai mare, care a fost pus în funcțiune în anul 2008. Acesta se numește **LHC** – Large Hadron Collider și prezintă o putere de 574 TeV / particulă;

- **Trenuri Maglev**

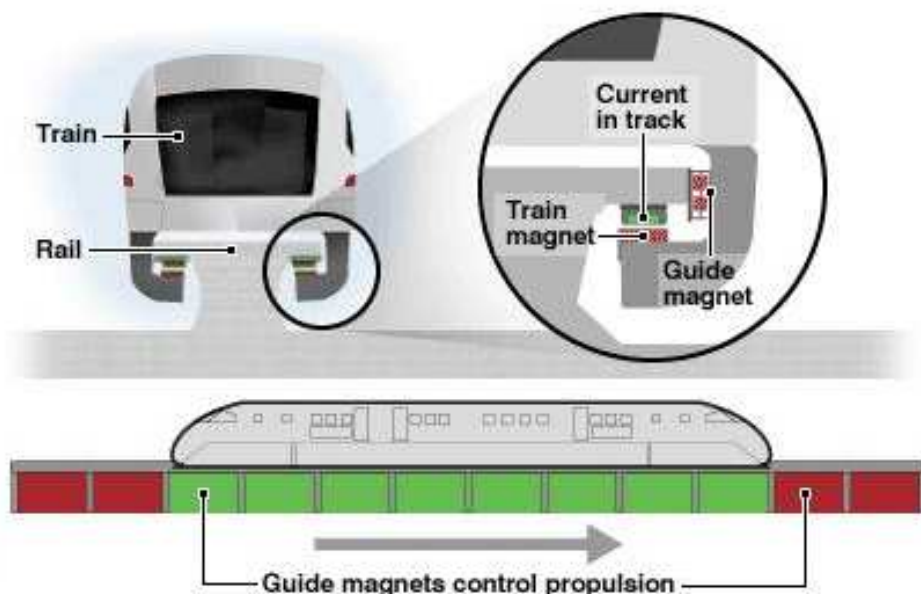
Există 3 tipuri principale de tehnologii maglev (*magnetic levitation*):

Trenuri maglev

- Cu suspensie electro-magnetică (**EMS** – *electromagnetic suspension*) ce utilizează o forță magnetică de atracție a unui magnet de sub șina de cale ferată pentru a ridica trenul. Astfel, trenul levitează deasupra căii ferate, în timp ce electromagnetii atașați trenului sunt orientați către șina pe partea inferioară. Electromagnetii utilizează un “feedback control” pentru a menține trenul la o distanță constantă față de calea de rulare, de aprox. 15 mm. (figura 2.5).

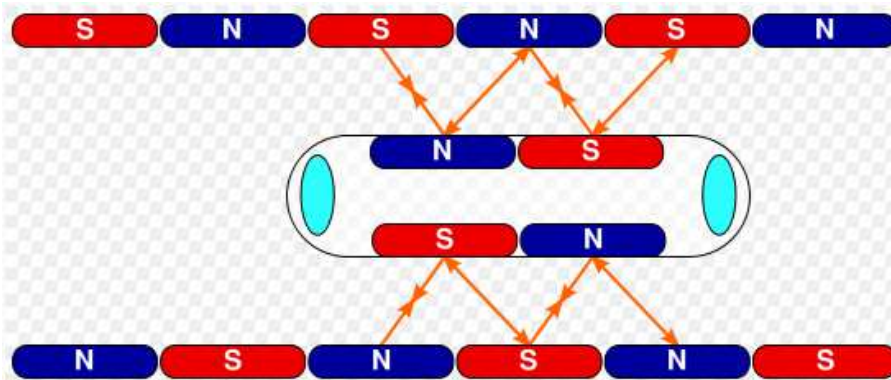
Suspensie electro- magnetică

Figura 2.5 - Tehnologia cu suspensie electro-magnetica (EMS)



- **cu suspensie electro-dinamica (EDS – electrodynamic suspension)** utilizeaza o forta de respingere dintre doua campuri magnetice pentru a impinge trenul deasupra caii de rulare. In aceasta tehnologie, atat calea de rulare cat si trenul exercita un camp magnetic, trenul levitand prin forta de respingere dintre cele doua campuri magnetice induse.

Figura 2.6 - Tehnologia cu suspensie electro-dinamica (EDS)



- cu **suspensie prin magneti permanenti stabilizati (SPM – stabilized permanent magnet suspension)** care utilizeaza campuri opuse de magneti permanenti pentru a obtine levitatie trenului.

Trenul Maglev din Shanghai functioneaza in serviciul public din 1 ianuarie 2004. La testarea din 12 Noiembrie 2006, acest tren a atins recordul maxim inregistrat in China, de **501 km/h**. Insa recordul maxim al unui tren Maglev este de **581 km/h**, atins in Japonia in 2003, unde de altfel exista o retea bine dezvoltata de asemenea mijloace de transport.

Figura 2.7 – Tren Maglev în Shanghai - China



Test de autoevaluare 2.1 – Care sunt elementele chimice componente ale supraconductorului tip YBCO ? (Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar).

Răspunsul la test se găsește la pagina .

...



Test de autoevaluare 2.2 – Ce este un magnetometru ? (Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.)

Răspunsul la test se găsește la pagina .

...



Test de autoevaluare 2.3 – Care este recordul maxim de viteză al unui tren Maglev ? (Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar).

Răspunsul la test se găsește la pagina .

În loc de
rezumat

Am ajuns la sfârșitul Unității de învățare Nr. 2.

Vă recomand să faceți o recapitulare a principalelor subiecte prezentate în această unitate și să revizuiți obiectivele precizate la început.

Este timpul pentru întocmirea Lucrării de verificare Unitate de învățare Nr. 2 pe care urmează să o transmiteți tutorelui.

Lucrare de verificare pentru Unitatea de învățare Nr. 2

Subiecte:

1. Care sunt cele mai utilizate combinatii compositionale supraconductoare din categoria aliajelor si compusilor pe baza de niobiu ?
2. Descrieti „tehnica bronzului” utilizata pentru obtinerea de cabluri supraconductoare din Nb_3Sn ?
3. Care sunt principalele categorii de oxizi ceramici utilizati ca materiale supraconductoare ?
4. Enumerati principalele domenii de aplicare a materialelor supraconductoare.
5. Care este puterea instalata a acceleratorului de particule din cadrul CERN – Centrul European de Cercetari Nucleare din Geneva, Elvetia, pus in functiune in toamna anului 2008 ?
6. Care sunt cele 3 tipuri de tehnologii utilizate in functionarea trenurilor Maglev ?

Barem:

Subiectul nr.:	Punctaj maxim acordat:
1	1
2	2
3	2
4	2
5	1
6	2

Răspunsurile și comentariile la testele de autoevaluare

2.1. Ytriu, Bariu, Cupru, Oxigen

2.2. Magnetometrul este un instrument ce poate masura rezistenta si/sau directia unui camp magnetic din apropierea sa. (Campul magnetic terestru poate varia in functie de natura diferita a rocilor, sau in urma interactiunii dintre particulele incarcate de energie solara si magnetosfera terestra).

2.3. 501 km/h, record absolut pentru China, inregistrat in 2006, si 581 km/h, record mondial inregistrat in Japonia in 2003.

Bibliografie Unitate de învățare Nr. 2

A. Nocivin, Materiale avansate, Ed. Ovidius University Press, Constanța, 2001, pag.113-127

Unitatea de învățare Nr. 3 – UI-3

Aliaje metalice cu memoria formei

Cuprins	Pagina
Obiectivele Unității de învățare Nr. 3.....	23
3.1. Mecanismul efectului de memoria formei	23
3.2. Tehnologia de obtinere si proprietatile aliajelor cu memoria formei	27
Lucrare de verificare pentru Unitatea de învățare Nr. 3.....	31
Răspunsuri și comentarii la testele de autoevaluare.....	31
Bibliografie pt. Unitatea de învățare Nr. 3.....	31



OBIECTIVELE Unității de învățare Nr. 3

Principalele obiective ale Unității de învățare Nr. 3 sunt:



- Prezentarea principiilor si mecanismelor efectului de memoria formei
- Tehnologia de obtinere si proprietatile aliajelor cu memoria formei

CONTINUTUL UI-3:

Deformație
plastică

Ireversibilă

Reversibilă

Transformare
martensitică
reversibilă

3.1. Mecanismul efectului de memoria formei

Mult timp s-a crezut ca deformatia plastica a materialelor metalice este in intregime ireversibila. La inceputul anilor '60 ai secolului XX s-a descoperit o clasa destul de numeroasa de materiale metalice, pentru care deformatia plastica elementara se realizeaza pe baza unei transformari structurale. Asemenea materiale pot suferi deformatii plastice reversibile. **Fenomenul de revenire de la sine la forma initiala - efectul de memoria formei** - poate fi intalnit atat in conditii izotermice, cat si in conditii de variatii termice, caz ultim in care aceste materiale metalice pot suferi o multitudine de deformatii reversibile.

Capacitatea de reversibilitate a deformatiei nu poate fi inhibata prin nici o actiune in forta asupra materialului. Nivelul tensiunilor de reactie pentru unele materiale cu memoria formei poate atinge 1000 - 1300 MPa.

Deformatie plastica **ireversibila** \Rightarrow ca urmare a aplicarii unei forte exterioare de deformare

Deformatie plastica **reversibila** \Rightarrow ca urmare a reversibilitatii unei transformari structurale aplicate materialului metalic.

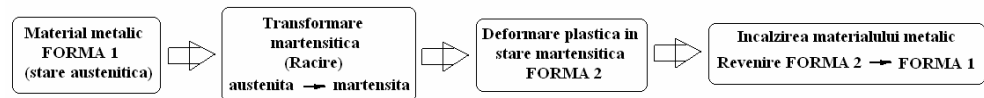
Materialele metalice cu memoria formei reprezinta o categorie aparte de materiale cu proprietati speciale. Interesul crescut pentru acest fenomen metalurgic se refera la combinatia unica de caracteristici mecanice ridicate, rezistenta la oboseala, la coroziune, cu proprietati neobisnuite cum ar fi memoria termomecanica si tensiuni de reactie bazate pe transformarea martensitica termoelastica. Principala caracteristica a materialelor cu memoria formei este dependenta puternica a majoritatii proprietatilor in functie de structura. Valorile caracteristicilor fizico-chimice variaza de cateva ori prin transformarea fazica reversibila **austenita \Leftrightarrow martensita**, intr-un interval obisnuit de temperaturi $-150 \div +150^{\circ}\text{C}$.

Transformarea structurala care sta la baza efectului de memorie a formei \Rightarrow **transformarea martensitica termo-elastica (reversibila):**

Transformarea reversibila **austenita \Leftrightarrow martensita**, intr-un interval permisiv de temperaturi $-150 \div +150^{\circ}\text{C}$

Din multitudinea de aliaje cu memoria formei cele mai utilizate în practică sunt aliajele Ni-Ti (~ 50:50 % at.), având denumirea de *nitinol* sau *nichelide de titan*. Aliajele pe baza de cupru Cu-Al-Ni și Cu-Al-Zn deși sunt mai puțin scumpe, se utilizează mai rar.

Efectul memoriei forme constă în aceea că proba, având o anumită formă la temperaturi ridicate în stare austenitică, este deformată la temperaturi scăzute după transformarea în martensită. După încălzirea în regiunea transformării reversibile materialul revine la forma inițială.

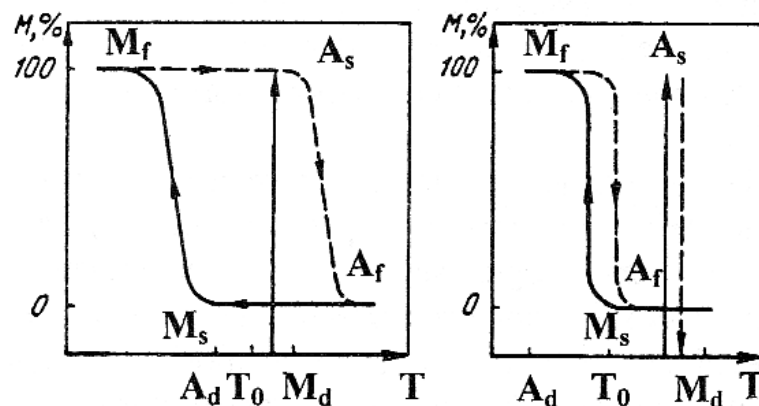


Condiții

Efectul de memoria forme - **Condiții:**

- transformare martensitică termoelastica (reversibilă)
- rețele coerente ale fazelor austenitice și martensitice
- histerezis mic al transformării $A \leftrightarrow M$
- variații mici de volum în timpul transformărilor - În aliajele Ni-Ti (nitinol) variația de volum ~ 0,34%; În oțeluri ~ 4 %.

Figura 3.1 - Dependența compoziției fazice a aliajului cu temperatura:
a) histerezis larg; b) histerezis îngust;



Histerezis transformare martensitică

În aliajele nitinol variațiile de volum reprezintă în jur de 0,34%, valoare mai mică decât în cazul oțelurilor (4 %).

În aceste condiții, la deformare se formează cristale martensitice coerente cu structura inițială, iar prin încălzire și prin transformarea inversă aceste cristale martensitice dispar și revin la rețeaua fazei inițiale. La transformarea inversă, mișcarea reversibilă a limitelor de grăunțe coerente duce la restabilirea forme inițiale.

Reversibilitate cristalografică

Pentru revenirea în întregime la forma inițială este necesar ca transformarea martensitică să fie reversibilă din punct de vedere cristalografic. **Reversibilitatea cristalografică** a transformării presupune nu numai refacerea structurii cristaline ce depinde de transformarea reversibilă, dar și refacerea orientării cristalografice a fazei inițiale. În plus, este necesar ca deformarea să se producă fără alunecare, care este un proces ireversibil, deformarea neputându-se înlătura prin încălzire.

Temperaturi critice

Deformatiile vor dispărea în acest caz numai după încălzire, adică după terminarea transformării martensitice - austenitice.

Particularitatea transformărilor martensitice reversibile constă în aceea că la încălzirea și răcirea aliajelor dincolo de 100 - 200°C până la atingerea punctelor A_s și M_s se micșorează puternic modulul de alunecare G și modulul de elasticitate E , acestea devenind minime în punctele critice. Altfel spus, rețeaua cristalină se "înmoaie" în urma transformării martensitice reversibile.

De reținut :

M_s – temperatura de început de transformare martensitică

M_f – temperatura de sfârșit de transformare martensitică

A_s – temperatura de început de transformare austenitică

A_f – temperatura de sfârșit de transformare austenitică

T_o - temperatura de echilibru termodinamic,

M_d - temperatura sub care martensita poate să apară și sub acțiunea tensiunilor mecanice,

A_d - temperatura deasupra căreia austenita poate să apară și sub acțiunea tensiunilor mecanice.

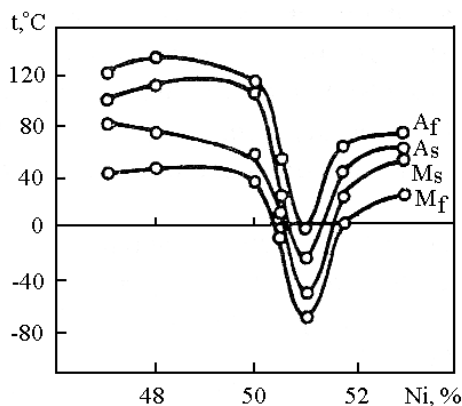
Temperaturile caracteristice de transformare pentru o serie de aliaje binare Ni-Ti cu memoria formei, sunt indicate în Tabelul 3.1 și în Figura 3.2.

Tabelul 3.1 - Temperaturile caracteristice ale aliajelor Ni-Ti

Compoziția chimică, %at.		Temperatura, °C			
Ti	Ni	M_s	M_f	A_s	A_f
52,8	47,2	90	60	100	135
50,0	50,0	50	20	55	75
49,5	50,5	25	5	35	60
49,25	50,75	0	-20	10	30
49,0	51,0	-55	-90	-50	-25

Ni-Ti

Figura 3.2 - Dependenta de temperatura a transformării martensitice directe și inverse în funcție de compoziție, pentru aliajul Ni-Ti



Din tabel rezultă faptul că mici variații compoziționale ale aliajelor Ni-Ti duc la variații semnificative a temperaturilor caracteristice, atât ca valoare, cât și ca semn.

Alierea nitinolului

Tehnologie de obținere

Tipuri de nitinol

Astfel, prin variatia raportului de Ni si Ti, se pot schimba semnificativ temperaturile transformarilor de faza si se poate influenta asupra largimii curbei histerezis. In multe aliaje cu memoria formei intervalul de temperaturi al transformarilor fazice se poate afla intre 4,2 si 1300 K.

Temperaturile transformarilor martensitice depind de compozitia aliajului. Alierea nitinolului cu **fier, mangan, crom, vanadiu, cobalt** duce la scaderea temperaturilor Ms si Mf pana la -196°C, iar introducerea de **Zr, Ta, Nb** - la cresterea acestora (pana la + 100°C). Cuprul si siliciul, chiar pe arii largi compozitionale, influenteaza foarte putin asupra temperaturilor de transformare.

3.2. Tehnologia de obtinere si proprietatile aliajelor cu memoria formei

Nitinolul in stare lichida absoarbe cu usurinta gaze si interactioneaza cu multe substante. De aceea topirea acestuia se efectueaza in vid sau in atmosfera de gaz inert. Cerintele de omogenitate chimica, exactitate si puritate compozitionala impune lingourilor sunt foarte stricte.

Nitinolul este supus unui tratament sub presiune in intervalul de temperaturi 700-900°C. Incalzirea la temperaturi mai ridicate este periculoasa datorita oxidarii puternice si a formarii unui strat superficial fragil si poros.

Un rol important il are operatia tehnologica de termofixare. Semifabricatul este deformat la temperatura camerei. Pentru mentinerea formei si dimensiunilor se efectueaza o fixare dura dupa toate gradele de libertate si o incalzire ulterioara in vid pana la 650-700°C, adica pana la starea austenitica. Ca rezultat al acestei operatii se atinge o stare stabila structurala si dimensionala pe care proba "o tine minte".

Pentru cresterea caracteristicilor tribotehnice se efectueaza un tratament termochimic, ce consta in oxidarea si niturarea suprafetelor de frecare. Aliajele nitinol se sudeaza prin aceleasi procedee ca si alte aliaje de titan.

Aliajele nitinol au o **prelucrabilitate mecanica foarte scazuta**, in special aliajul Ti-Ni1 (vezi Tabelul 3.2) pentru care intervalul transformarii martensitice directe (Ms - Mf) se afla in jurul temperaturii camerei.

Tabelul 3.2 - Compozitia chimica a aliajelor nitinol, % greutate

Aliajul	Principalele elemente de aliere		Incluziuni, % maxim							
	Ni	Ti	Fe	Si	C	N	O	H	Co	Altele
Ti-Ni 1	53,5-56,5	Rest	0,3	0,15	0,10	0,05	0,2	0,013	-	0,30
Ti-Ni 1K	50,0-53,5	Rest	2,5-4,5	0,15	0,10	0,05	0,2	0,013	0,2	0,30

In procesul de taiere au loc transformari structurale in stratul superficial ce duce la aparitia efectului de memoria formei si deci la schimbarea brusca a proprietatilor mecanice.

Tabelul 3.3 - Principalele proprietati ale aliajelor tip nitinol

Parametrul	Ti-Ni 1	Ti-Ni 1K
Densitatea, g/cm ³	6,45-6,50	-
Temperatura de topire, °C	1250-1310	-
Coeficientul de dilatare termica, 10 ⁻⁶ K ⁻¹	6,0-10,4	12,0-14,0
Rezistenta electrica specifica, 10 ⁻⁸ Ωm	55-60	70-80
Coeficientul Poisson	0,48	0,33
Rezistenta la intindere, MPa	600-800	800-1000
Limita de curgere, MPa	400-600	500-700
Limita fazica de curgere, $\sigma_{0,2}^{\Phi}$, MPa	150-200	nu apare pana la 20°C
Alungire relativa, %	20-40	20-40
Efectul de memoria formei:		
- deformatia limita pentru care are loc revenirea in intregime la forma initiala, %	6-8	-
- tensiunea de reactie, MPa	300-500	-

Pentru prelucrarea mecanica se intrebuinteaza dispozitive speciale cu geometrie adecvata si posibilitati speciale de racire a materialului. Industrial, cele mai utilizate aliaje nitinol sunt cele doua indicate in Tabelul 3.2.

Aceste aliaje se obtin sub forma de:

- **foi de grosime ~ 10 mm,**
- **sarma,**
- **pastile presate cu diametre < 110 mm**
- **tevi cu diametrul exterior < 50 mm**

Doua caracteristici ale limitei de curgere sunt conditionate de posibilitatea existentei unor stari structurale diferite la temperatura camerei pentru aliajul Ti-Ni 1. Pentru o structura austenitica stabila, comportamentul nitinolului sub o sarcina exterioara este tipic majoritatii metalelor.

Daca insa sub actiunea aceleiasi sarcini are loc transformarea martensitica si structura devine martensito-austenitica sau numai martensitica, atunci in afara limitei de curgere stabilita $\sigma_{0,2} = 400 - 600$ MPa se inregistreaza inca o limita de curgere la o valoare mult mai mica a tensiunii numita "*limita fazica de curgere*" $\sigma_{0,2}^{\Phi}$.

Valoarea $\sigma_{0,2}^{\Phi}$ depinde de pozitia temperaturii de deformare Td fata de temperaturile caracteristice ale transformarii martensitice.

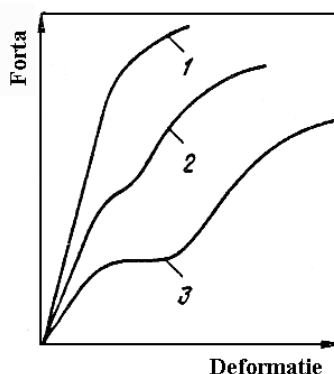
Proprietăți

Forme
dimensionale

Proprietăți mecanice

S-a stabilit ca valoarea minima $\sigma_{0,2}^{\Phi}$ apare pentru o temperatura T_d apropiata de M_s . Pentru o structura integral martensitica $\sigma_{0,2}^{\Phi} = 150-200$ MPa, iar pentru o structura bifazica $\sigma_{0,2}^{\Phi} = 200 - 400$ MPa. Aceasta este cauza pentru care in cazul nitinolului exista 3 tipuri de diagrame de intindere (vezi Figura 3.3).

Figura 3.3 - Diagramele de intindere pentru aliajele nitinol cu diferite stari structurale: 1 - austenita stabila; 2 - austenita + martensita; 3 - martensita;



Efect reversibil

In functie de compozitie si de conditiile de deformare, nitinolul poate prezenta efectul de **memoria formei o singura data sau de mai multe ori**. Efectul reversibil multiplu de memoria formei apare prin cicluri termice care traverseaza intervalele transformarii martensitice directe si reversibile. Acest efect multiplu apare atat sub sarcina cat si in lipsa acesteia si se mentine practic independent de numarul variatiilor termice.

Materialele superplastice cu memoria formei prin rezistenta pe care o opun pentru revenirea la forma initiala prin incalzire, genereaza tensiuni mecanice numite de reactie, care pot atinge valori considerabile. Aliajul Ti-Ni 1 in constructia unei piulite din principalul plan de separare din corpul reactorului nuclear, dezvolta tensiuni de reactie in dispozitivul de forta prin procesul de revenire la forma initiala de pana la 6 MN. Efectul de generare al tensiunilor de reactie poate fi utilizat pentru obtinerea de generatoare de putere si energie.

Cu-Al-Ni

Cu-Zn-Al

In afara de nitinol, efectul de memoria formei a fost pus in evidenta in multe aliaje. Dar, conform cercetarilor efectuate in acest sens, utilizarea practica in afara nitinolului o au numai aliajele pe baza de cupru cum ar fi aliajele ternare **Cu-Al-Ni** si **Cu-Zn-Al**. Aceste aliaje au atras atentia cercetatorilor prin largirea considerabila a sferei de aplicabilitate a materialelor cu memoria formei. Costul aliajelor pe baza de cupru conform datelor firmelor japoneze producatoare de astfel de materiale nu depaseste 10% din costul nitinolului.

Principalul dezavantaj al aliajelor pe baza de cupru este fragilitatea acestora ridicata. Aliajul Ti-Ni poate fi deformat pana la rupere cu aproximativ 50%. Ruperea are loc prin formarea unui relief tip cupa-con, adica specific unei ruperi ductile.

Probele policristaline din aliajele pe baza de cupru sunt deosebit de fragile, dupa o deformare cu 2-3% aparand ruperea intercrystalina.

	<p>Aceasta fragilitate ridicata ingreuneaza prelucrarea prin presiune a aliajelor cu memoria formei pe baza de cupru la temperatura camerei. In plus, aceste aliaje isi pot schimba temperatura de transformare si proprietatile ca urmare a imbatranirii la temperaturi mai mici decat cele de exploatare. Acest fapt limiteaza posibilitatea utilizarii acestora la temperaturi ridicate. Rezistenta la oboseala a acestor aliaje este si ea destul de scazuta.</p> <p>Toate aceste fapte, la care se adauga si rezistenta ridicata la coroziune, in general, dar si rezistenta la coroziune sub tensiune fisuranta, in particular, fac ca aliajele nitinol sa fie practic de neinlocuit in cazul produselor cu destinatii speciale, desi pretul este destul de mare pentru nivelul tehnicii actuale.</p>
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



Test de autoevaluare 3.1 – Definiti fenomenul de memoria formei. Scrieti raspunsul in spatiul liber din chenar.

Raspunsul la test se găsește la pagina .

...



Test de autoevaluare 3.2 – Care sunt conditiile de aparitie a efectului de memoria formei intr-un material metalic? Scrieti raspunsul in spatiul liber din chenar.

Raspunsul la test se găsește la pagina .

...



Test de autoevaluare 3.3 – Care este aliajul metalic cel mai mult utilizat in aplicatiile efectului de memoria formei? Scrieti raspunsul in spatiul liber din chenar.

Raspunsul la test se găsește la pagina .

Am ajuns la sfârșitul Unității de învățare Nr. 3.

În loc de
rezumat

Vă recomand să faceți o recapitulare a principalelor subiecte prezentate în această unitate și să revizuiți obiectivele precizate la început.

Este timpul pentru întocmirea Lucrării de verificare Unitate de învățare Nr. 3 pe care urmează să o transmiteți tutorelui.

Lucrare de verificare Unitate de învățare Nr. 3

1. Otelurile prezinta efectul de memoria formei ?
2. Descrieti schematic felul in care se manifesta efectul de memoria formei, precizand si conditiile de aparitie a acestui efect.
3. Care sunt transformările structurale care au loc in intervalul urmatoarelor temperaturi: $A_s - A_f - M_s - M_f$?
4. In cazul aliajului Ti-Ni, ce elemente chimice determina scaderea temperaturilor de transformare martensitica si ce elemente chimice provoaca cresterea acestor temperaturi?
5. Ce compozitie chimica are aliajul Ti-Ni 1 si care este temperatura de topire a acestuia?
6. In afara de nitinol, ce alte aliaje metalice manifesta efectul de memoria formei? Care sunt performantele acestora comparativ cu nitinolul ?

Barem:

Subiectul nr.:	Punctaj maxim acordat:
1	1
2	2
3	2
4	2
5	1
6	2

Răspunsurile și comentariile la testele de autoevaluare

3.1. Efectul de memoria formei reprezinta fenomenul de revenire de la sine la forma initiala a unui material metalic ce a suferit o deformatie plastica reversibila ca urmare a reversibilitatii unei transformari structurale aplicate acestui material.

3.2. Conditiiile de aparitie intr-un material metalic a efectului de memoria formei sunt:

- transformare martensitica termoelastica (reversibila)
- retele coerente ale fazelor austenitice si martensitice
- histerezis mic al transformarii $A \leftrightarrow M$
- variatii mici de volum in timpul transformarilor - In aliajele Ni-Ti (nitinol) variatia de volum $\sim 0,34\%$; In oteluri $\sim 4\%$

3.3. Aliajul Ni-Ti, denumit nitinol

Bibliografie Unitate de învățare Nr. 3

A. Nocivin, Materiale avansate, Ed. Ovidius University Press, Constanța, 2001, pag.138-158

Unitatea de învățare Nr. 4 – UI-4

Aplicatiile aliajelor cu memoria formei

Cuprins	Pagina
Obiectivele Unității de învățare Nr. 4.....	33
4.1. Aplicatii in industria aerospatuala.....	33
4.2. Aplicatii in ingineria mecanica.....	35
4.3. Aplicatii in medicina.....	39
Lucrare de verificare pentru Unitatea de învățare Nr. 4.....	41
Răspunsuri și comentarii la testele de autoevaluare.....	41
Bibliografie pentru Unitatea de învățare Nr. 4.....	41



OBIECTIVELE Unității de învățare Nr. 4

Principalele obiective ale Unității de învățare Nr. 4 sunt:



- Prezentarea principalelor aplicatii ale aliajelor cu memoria formei in industria aerospatuala, industria constructoare de masini, energetica, medicina etc.

CONTINUTUL UI-4:

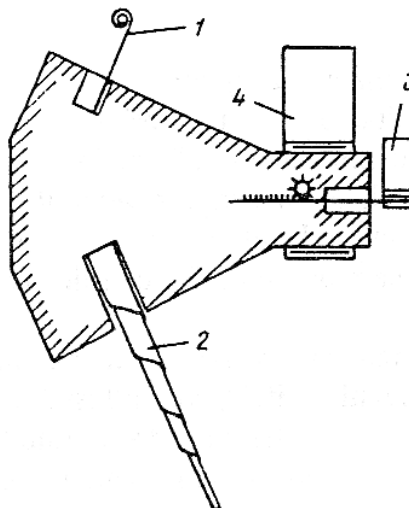
Aliajele cu memoria formei fac parte din categoria asa numitelor "*materiale inteligente*" ce permit crearea de constructii si tehnologii principal noi in diferite domenii, cum ar fi industria constructoare de masini, industria aerospatuala, energetica, medicina etc. In cele ce urmeaza vom urmari cateva dintre cele mai importante aplicatii.

4.1. Aplicatiile aliajelor cu memoria formei in industria aerospatuala

Cucerirea spatiului cosmic este legata in primul rand de crearea unor statii orbitale si a unor constructii cosmice de mari dimensiuni, pentru care sunt necesare printre altele baterii solare sau antene cosmice.

In Figura 4.1 se arata schema unui aparat cosmic cu antene telescopice. Aceste antene sunt confectionate dintr-o tabla foarte subtire sau foaie de nitinol rasucite in forma de spirala si introduse intr-un orificiu al satelitelui.

Figura 4.1 - Schema unui aparat cu elemente autotransformabile, destinat lucrului in spatiul cosmic



Dupa lansarea satelitelui si plasarea sa pe orbita, antena se incalzeste datorita caldurii radiatiei solare sau cu ajutorul unui dispozitiv special, desfasurandu-se in spatiul cosmic in pozitia de lucru necesara.

Pentru plasarea diferitelor obiective tehnice sau de productie, este necesara constructia in conditiile spatiului cosmic deschis a unor platforme mari de montaj deoarece aceste agregate mari se pot plasa in spatiul cosmic

Antene
telescopice

Sateliți orbitali

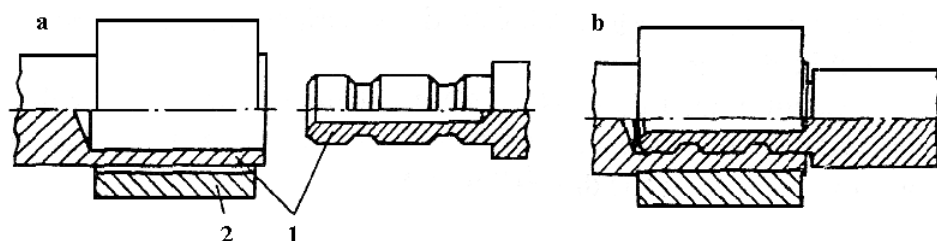
Aparate
cosmice

din punct de vedere tehnic doar pe bucati.

Tehnologiile de montaj utilizate in mod curent cum ar fi sudarea si lipirea nu se pot aplica in spatiul cosmic. In plus, o atentie deosebita este acordata tehnicii de securitate in aceste conditii deosebite de lucru. Tinand seama de toate aceste probleme s-a creat o tehnologie unica de imbinare a acestor elemente in spatiul cosmic deschis prin utilizarea unui manson din nitinol.

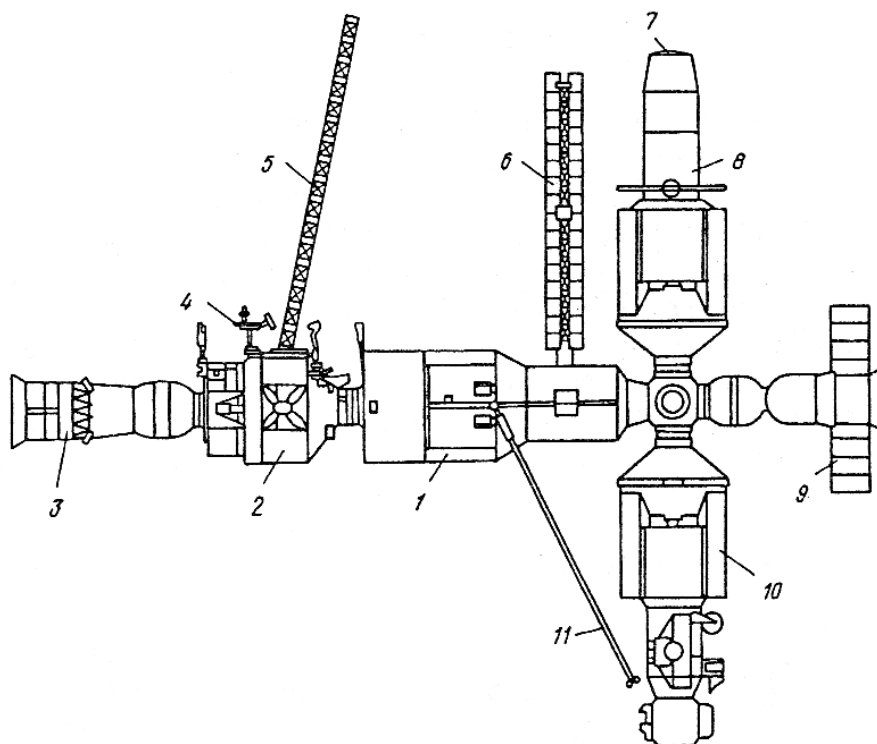
Aceasta tehnologie a fost aplicata cu succes la asamblarea unor grinzi din aliaj de Al cu o lungime totala de 14,5 m si o sectiune transversala in forma de patrat cu latura de 0,5 m. Grinda este formata din componente separate tubulare de diametru 28 mm ce trebuiesc unite intre ele cu ajutorul unor mufe din aliaj cu memoria forme (Figura 4.2).

Figura 4.2 - Asamblarea unor piese tubulare (1) cu ajutorul unei mufe (2) din aliaj cu memoria forme; a - inainte de asamblare; b - dupa incalzire;



Asamblarea de
piese tubulare

Figura 4.3 - Schema complexului orbital "Mir" (cu o masa de 100t), unit cu aparatele "Soiuz TM12" si "Progress T8", in timpul asamblarii grinzii prin utilizarea aliajelor cu memoria forme: 1 - "Mir"; 2 - "Kwant"; 3 - "Soyuz"; 4 - rastel; 5 - grinda; 6 - baterie solara; 7 - trapa de iesire; 8 - "Kwant 2"; 9 - "Progress"; 10 - "Krista"; 11 - sageata de sarcina;



Complex orbital

Mufa este deformata cu ajutorul unui dorn la temperaturi scazute astfel incat diametrul sau interior sa fie mai mare decat diametrul exterior al componentelor. Dupa incalzire la o temperatura superioara transformarii martensitice reversibile, diametrul interior al mufei revine la diametrul initial al mufei, generandu-se tensiuni de reactie de comprimare deosebit de puternice ce unesc elementele componente.

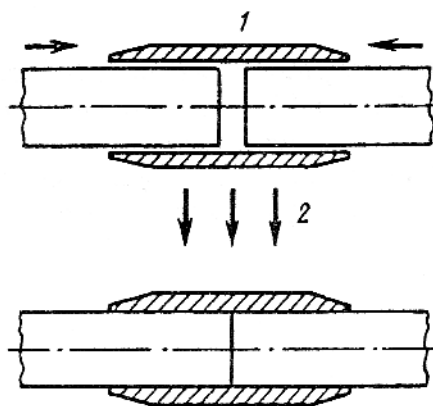
Asamblarea grinzii si montarea ei pe modulul spatial "Kwant" de pe complexul orbital "Mir" a fost realizata in anul 1991 prin 4 iesiri in spatiul cosmic deschis, intr-un timp total de 24 ore. In figura 4.3 este aratata schema statiei orbitale "Mir", deja devenita istorie din luna martie 2001, in forma in care arata in momentul montarii grinzii. Principiul de imbinare a diferitelor elemente componente ale statiilor orbitale, in care se utilizeaza aliaje cu memoria formei, este valabil si in prezent.

Aceleasi principii constructive se pot utiliza si pentru montajul la adancimi mari a constructiilor submarine de gabarit mare.

4.2. Aplicatiile aliajelor cu memoria formei in ingineria mecanica

Mufele pentru asamblarea termomecanica a tevilor se utilizeaza in numeroase situatii (Figura 4.4) ca de exemplu: a) in cazul avioanelor militare de atac F-14, pentru care nu s-a inregistrat nici o avarie legata de scurgeri de ulei ; b) pentru diferite conducte din constructia submarinelor nucleare sau a diferitelor nave maritime ; c) pentru reparatiile conductelor de transport de petrol de pe fundul marilor, caz in care sunt necesare mufe de diametru mare ~ 150 mm. Uneori, in aceste cazuri se utilizeaza si aliajul Cu-Zn-Al.

Figura 4.4 - Asamblarea tevilor prin aplicarea efectului de memoria formei



Mufe pentru
asamblarea
termo-mecanică
de țevi

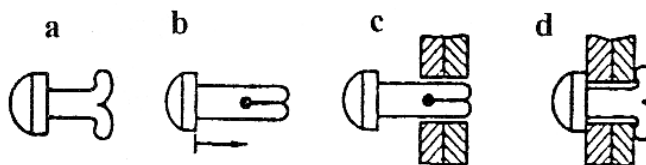
Pe langa fiabilitatea ridicata, aceste mufe confectionate din aliaje cu memoria formei au si avantajul lipsei necesitatii incalzirii la temperaturi ridicate (cum ar fi in cazul sudurii). De aceea, proprietatile materialelor in zona de asamblare nu se modifica.

Pentru asamblarea etansa a unor piese, se utilizeaza de obicei nituri, suruburi sau buloane. In cazul in care pe fata opusa a pieselor asamblate nu se poate actiona in nici un fel (fiind vorba de exemplu de un spatiu inchis ermetic) efectuarea operatiei de asamblare ridica probleme. Niturile din aliaje cu memoria formei permit asamblarea tocmai in aceste cazuri dificile.

Nituri din aliaje cu memoria formei

In starea initiala acest nit are capatul deschis ca in figura 4.5, a.

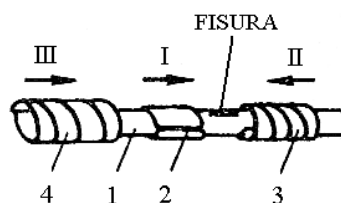
Figura 4.5 - Principiul de actiune al unui nit din aliaj cu memoria formei



Inaintea efectuarii operatiei de asamblare, nitul este introdus in azot lichid pentru ca, racindu-se, capetele sa se indrepte (figura 4.5, b), este apoi introdus in orificiul practicant special pentru asamblare (figura 4.5, c), iar in final, prin revenirea la temperatura camerei, capetele nitului se departeaza din nou, operatia de asamblare fiind incheiata (figura 4.5, d).

Materialele cu memoria formei se utilizeaza cu succes nu numai pentru imbinarea ci si pentru reparatii de conducte (figura 4.6). Pe portiunea conductei cu fisura, se imbraca un petec tubular, taiat longitudinal, care este strans cu sarma sau banda spiralata din aliaj cu memoria formei.

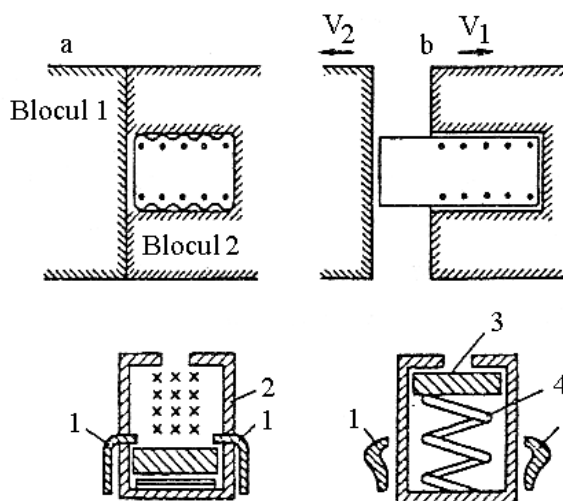
Figura 4.6 - Schema de reparatie a unei conducte fisurate: 1- conducta; 2 - petec tubular; 3, 4 - elemente din aliaj cu memoria formei (I, II, III - succesiunea operatiilor)



Reparații conducte

Aliajele cu memoria formei sunt utilizate si ca elemente de forta in dispozitivele de blocare ce pot lucra in dublu sens - blocare, deblocare (Figura 4.7).

Figura 4.7 - Schema de functionare a: sus - dezlipirea unor blocuri de pe navele cosmice; jos - deblocarea unui dispozitiv de inchidere;
a - pozitia initiala; b - dupa incalzirea elementului din aliaj cu memoria formei
1 - clichet; 2 - container; 3 - saiba de blocare; 4 - arc din aliaj cu memoria formei



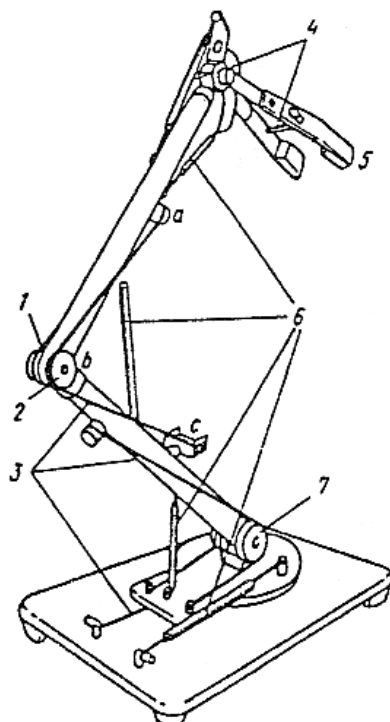
Supape

Roboți industriali

În Japonia a fost creat un robot (figura 4.8) cu brat, cu o articulație sub forma de cot și o articulație terminală de lucru cu 5 grade de libertate. Mișcarea articulației terminale precum și mișcările de prindere - desprindere a bratelor mobile sunt asigurate de spiralele din aliaj TiNi, iar acțiunea articulației cot este asigurată prin întinderea sau comprimarea unei sârme din același aliaj.

Poziționarea bratului și viteza de acțiune se reglează prin transmiterea unui curent alternativ. Finetea mișcărilor este asigurată prin faptul că valoarea forței impuse (forța de revenire la forma inițială) este în concordanță cu valoarea curentului ales.

Figura 4.8 - Schema unui robot ce acționează cu ajutorul aliajelor cu memoria formei



- 1 – articulație;
- 2 – rola;
- 3 – sarmă din aliaj Ti-Ni;
- 4 – spirala din aliaj Ti-Ni;
- 5 – dispozitiv de prins;
- 6 – arcuri;
- 7 – articulație umăr;

Motoare termice simple

Materialele cu memoria formei pot fi utilizate și pentru motoarele termice simple ce utilizează variații de temperaturi ale apei calde și reci sau ale apei calde și aerului rece.

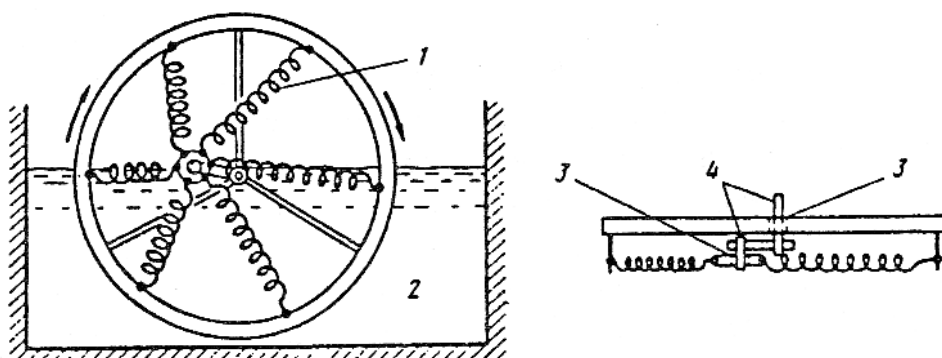
Asemenea motoare lucrează pe baza transformării în energie mecanică a energiei termice, cum ar fi de exemplu energia apei calde reziduale, sau a energiei solare sau geotermice.

Principiul de acțiune al motorului cu mecanism biela-manivelă pe baza aliajelor cu memoria formei este același cu cel al motoarelor obișnuite Diesel sau cu benzina (vezi figura 4.9).

Motorul acționează cu ajutorul a 6 spirale din aliaj Ti-Ni. Axele rotii de lucru și arborelui manivelă sunt dislocate unul față de altul. Alungirea și comprimarea spiralelor în funcție de variația temperaturii mediilor reci și cald (între 10-20°C) acționează ca și în mișcarea unui piston dintr-un motor obișnuit, ducând la rotația rotii de lucru.

Motor Guinelle

Figura 4.9 - Schema motorului Guinelle cu mecanism biela-manivela:
1 - spirala din aliaj Ti-Ni; 2 - apa fierbinte; 3 - lagar; 4 - axe fixe;



4.3. Aplicatiile aliajelor cu memoria forme in medicina

Stent vascular

Un interes deosebit îl reprezintă utilizarea aliajelor cu memoria forme în medicina, largindu-se posibilitatea de creare de noi metode efective de vindecare. Aliajele, utilizate în medicina trebuie să aibă nu numai caracteristici mecanice deosebite, dar și rezistență la coroziune în mediul biologic, compatibilitate biologică cu țesuturile organismului uman, lipsa de toxicitate, să împiedice procesul de malignizare și toate acestea în timp îndelungat. Dacă implantul metalic implantat devine activ față de structura biologică, atunci va avea loc o mutație a celulelor biologice din structura periferică, o dereglare a circulației sanguine și în final o distrugere a structurii biologice. Dacă organul implantat este inert din punct de vedere biologic, atunci în jurul acestuia se formează o structură fibroasă de fibre colagenice care acoperă întregul implant, dându-i acestuia posibilitatea să funcționeze stabil în organismul biologic.

Experimentele speciale efectuate pe animale au arătat că aliajele Ti-Ni posedă compatibilitate biologică superioară oțelurilor inox și aliajelor Co-Cr, utilizate în mod curent în această direcție. Așadar, utilizarea aliajelor cu memoria forme în medicina a dovedit compatibilitatea acestora cu țesuturile biologice și lipsa riscului de respingere de către structurile biologice ale organismului uman.

Corectarea coloanei vertebrale

Lama Harrington

Diferitele modificări ale coloanei vertebrale datorate accidentarilor, starilor maladive sau pur și simplu obiceului unei poziționări defectuoase, duc la deformări puternice în timpul mersului, fapt ce provoacă nu numai puternice dureri, dar și o influență nefastă asupra organelor interne. Printr-o operație chirurgicală ortopedică, corectarea coloanei vertebrale se efectuează cu ajutorul lamei Harrington din oțel inoxidabil. Neajunsul acestei metode constă în micșorarea în timp a forței de corecție inițiale. După 20 minute de la instalare, forța de corecție se diminuează cu 20%, iar după 10-15 zile cu 30% față de forța inițială.

Corectarea suplimentară a acestei forțe presupune operații ulterioare deosebit de dureroase și care nu întotdeauna își ating telul.

<p>Plăci și Tije Interosoase</p>	<p>Daca lama Harrington este confectionata din aliaj cu memoria formei, aceasta se monteaza printr-o singura operatie nemaifiind necesare operatii ulterioare. Daca dupa operatie, lama este incalzita la o temperatura care depaseste doar cu putin temperatura corpului, atunci se creaza forta de corectie necesara, constanta si ca valoare si pe intreaga durata de timp, indiferent de variatia centrului de greutate si al punctelor de sprijin. Cele mai bune aliaje in acest scop s-au dovedit aliajele Ti-Ni cu adaosuri de Cu, Fe si Mo care, in afara de memoria formei, poseda si o elasticitate ridicata in intervalul de temperaturi 35-410 °C.</p> <p><u>Placa pentru alipirea oaselor</u></p> <p>Metodele medicale in cazul fracturii oaselor constau in fixarea zonei fracturate, cu ajutorul unor placi din otel inox sau aliaje Co-Cr, intr-o pozitie astfel incat asupra oaselor sa actioneze o forta de comprimare. Daca aceasta placa este confectionata dintr-un aliaj cu memoria formei, atunci devine posibila fixarea zonei de fractura dupa operatie printr-o incalzire exterioara a placii pana la o temperatura putin superioara temperaturii corpului. Astfel, dispare necesitatea unei comprimari longitudinale a osului in timpul operatiei.</p> <p><u>Tije interosoase</u></p> <p>Asemenea tije se utilizeaza in fracturile osului tibian. Tijele din otel inox sunt introduse pana in maduva osului, fixandu-l. Aplicand aceasta metoda, osul se fixeaza datorita proprietatilor elastice ale otelului inox, de aceea este necesara utilizarea unei tije cu diametrul mai mare decat diametrul orificiului, pentru crearea unui grad de deformare mai mare. Dar, in acest caz, exista riscul deteriorarii tesutului osos in zona de implantare a tije. Operatia chirurgicala este mult simplificata prin utilizarea de tije din aliaj cu memoria formei Ti-Ni. Tijele, in prealabil racite, revin la temperatura corpului la forma initiala, crescand gradul de fixare foarte mult.</p> <p><u>Dispozitiv pentru intinderi osoase</u></p> <p>In acest scop este utilizata proprietatea unui material de revenire la forma initiala, intr-un interval dat de temperaturi, prin care se creaza tensiuni puternice. Dispozitivul se intrebuinteaza pentru repararea fracturilor osoase, prin intinderi osoase constante si discrete.</p> <p><u>Sarma pentru corectarea danturii</u></p> <p>Pentru corectarea danturii se utilizeaza sarma din otel inox prin care se genereaza forte elastice. Neajunsul otelului inox consta in valoarea mica a alungirii elastice si ca urmare in posibila deformare plastica a sarmei corectoare. Utilizandu-se sarma din aliaj Ti-Ni, chiar pentru o valoare a deformarii elastice de 10%, nu apare deformarea plastica, iar forta optima de corectie se pastreaza.</p>
----------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



Test de autoevaluare 4.1 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.
Care sunt principalele aplicații ale aliajelor cu memoria forme în industria aerospațială ?

Răspunsul la test se găsește la pagina .

...



Test de autoevaluare 4.2 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.
Care sunt principalele aplicații ale aliajelor cu memoria forme în medicină ?

Răspunsul la test se găsește la pagina .

...



Test de autoevaluare 4.3 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.
Care este avantajul utilizării aliajului Ni-Ti în ortodontică față de oțelul inox ?

Răspunsul la test se găsește la pagina .

Am ajuns la sfârșitul Unității de învățare Nr. 4.

În loc de
rezumat

Vă recomand să faceți o recapitulare a principalelor subiecte prezentate în această unitate și să revizuiți obiectivele precizate la început.

Este timpul pentru întocmirea Lucrării de verificare Unitate de învățare Nr. 4 pe care urmează să o transmiteți tutorelui.

Lucrare de verificare Unitate de învățare Nr. 4



Care este principiul de funcționare a unei antene telescopice fabricată din aliaj cu memoria forme ?
 Care este principiul de acțiune al aliajului cu memoria forme în metodele de asamblare termo-mecanica a unor țevi ?
 Care sunt principalele aplicații ale aliajelor cu memoria forme în ingineria mecanică ?
 Cum ajută aliajul cu memoria forme la funcționarea motorului termic Guinelle ?
 Care este avantajul confecționării lamei Harrington din aliaj cu memoria forme ?

...

Barem:

Intrebarea nr.	Punctaj maxim acordat
1	2
2	2
3	2
4	2
5	2

Răspunsurile și comentariile la testele de autoevaluare

4.1. În industria aerospațială aliajele cu memoria formei se utilizează pentru antene telescopice, sateliți orbitali, diferite aparate cosmice.

4.2. În medicină se utilizează pentru corecții ale coloanei vertebrale, corecții osoase, în ortodontică, în chirurgie cardio-vasculară.

4.3. În cazul utilizării aliajului cu memoria formei Ti-Ni, chiar pentru o valoare a deformării elastice de 10%, acesta nu se deformează plastic, forta optima de corectie a danturii păstrându-se. Neajunsul otelului inox consta în valoarea mica a alungirii elastice si ca urmare în posibila deformare plastica a sarmei corectoare.

Bibliografie Unitate de învățare Nr. 4

A. Nocivin, Materiale avansate, Ed. Ovidius University Press, Constanța, 2001, pag.138-158

Unitatea de învățare Nr. 5 – UI-5

Aliaje cu proprietati magnetice speciale

Cuprins	Pagina
Obiectivele Unității de învățare Nr. 5.....	43
5.1. Caracteristici generale ale materialelor metalice magnetice	43
5.2. Materiale magnetice dure	44
5.3. Materiale magnetice moi	46
5.4. Aliaje pentru electrotehnica	49
Lucrare de verificare pentru Unitatea de învățare Nr. 5.....	50
Răspunsuri și comentarii la testele de autoevaluare.....	50
Bibliografie pentru Unitatea de învățare Nr. 5.....	50



OBIECTIVELE Unității de învățare Nr. 5

Principalele obiective ale Unității de învățare Nr. 5 sunt:



- Prezentarea principalelor caracteristici fizico-chimice ale materialelor magnetice, modalitati de obtinere si aplicatiile acestora in industrie.

CONTINUTUL UI-5:

Feromagnetice

Br

Hc

$\mu = B / H$

5.1. Caracteristici generale ale materialelor metalice magnetice

In functie de nivelul si de semnul susceptibilitatii magnetice, materialele sunt de trei categorii:

- **diamagnetice**
- **paramagnetice**
- **feromagnetice**

Materialele *diamagnetice* au o susceptibilitate magnetica negativa. Ele se magnetizeaza invers decat campul magnetic aplicat, slabindu-l pe acesta din urma. Din categoria diamagneticelor fac parte materialele semiconductoare (Si, Ge), dielectricele (polimerii), precum si o serie de metale cum ar fi Be, Cu, Ag, Pb.

Materialele *paramagnetice* sunt caracterizate de o magnetizare slaba sub influenta unui camp exterior. Din aceasta categorie fac parte K, Na, Al, precum si o serie de metale de tranzitie cum ar fi Mo, W, Ti.

Feromagneticele prezinta o susceptibilitate magnetica ridicata. Dintre toate metalele doar patru - Fe, Co, Ni, Gd - au proprietati feromagnetice ridicate. Aria din interiorul buclei histerezis a unui feromagnetic se caracterizeaza prin pierderi de histerezis sau remagnetizare. Principalele caracteristici ale materialelor feromagnetice sunt:

- inductia remanenta, B_r ;
- forta coercitiva H_c ;
- permeabilitatea magnetica, $\mu = B / H$;

Inductia remanenta se masoara in Tesla ($1 \text{ T} = 10^4 \text{ Ga}$) si se numeste inductie magnetica care ramane in proba dupa magnetizare si indepartarea campului magnetic.

Fora coercitiva se masoara in A / m si masoara intensitatea campului magnetic de semn opus care trebuie aplicat probei pentru demagnetizarea acestuia.

Permeabilitatea magnetica μ , masurata in H / m , caracterizeaza intensitatea magnetizarii si se stabileste prin unghiul tangentei la curba de magnetizare primara $B = f(H)$.

In functie de forma curbei histerezis si de valorile caracteristicilor magnetice principale, se deosebesc *aliaje magnetice dure* si *aliaje magnetice moi*.

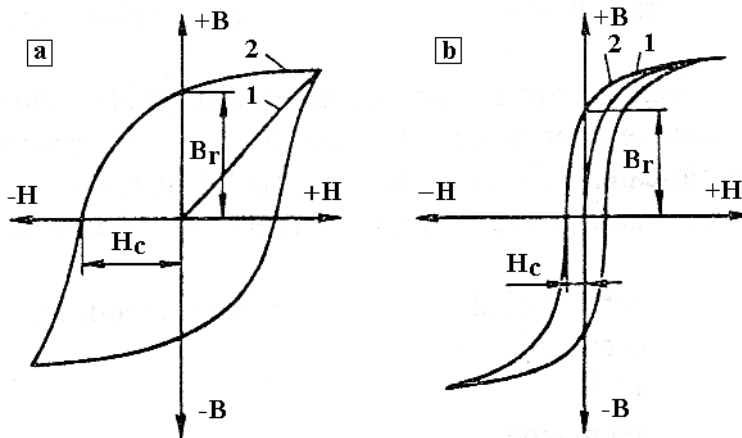
Aliaje
magnetice dure

Aliajele magnetice dure (figura 5.1, a) se caracterizeaza printr-o curba histerezis larga, printr-o valoare ridicata a fortei coercitive H_c , fiind utilizate pentru fabricarea magnetilor permanenti.

Figura 5.1 - Dependenta dintre inductia magnetica B si intensitatea campului magnetic H :

a - materiale magnetice dure; b- materiale magnetice moi;

1 - curba primara de magnetizare; 2 - curba histerezis de magnetizare;



Aliaje
magnetice moi

Aliajele magnetice moi lucreaza in conditiile varietii ciclice a campurilor magnetice si a unei remagnetizari permanente.

Acestea, dimpotriva, prezinta o curba histerezis foarte ingusta, valori scazute ale H_c si se caracterizeaza prin pierderi mici prin histerezis (figura 5.1, b). Din aceasta ultima categorie de materiale se fabrica miezurile de transformator, de generatoare electrice si motoare electrice, precum si alte piese care sunt supuse in continuu la varietii de magnetizare.

5.2. Materiale magnetice dure

Aceasta grupa de materiale trebuie sa prezinte valori ridicate ale fortei coercitive si inductiei remanente si sa pastreze timp indelungat un nivel ridicat al acestor forte.

Pentru magneti permanenti se utilizeaza oteluri cu continut ridicat de carbon ($\sim 1\% \text{C}$), cu structura martensitica, aliate suplimentar cu crom ($3\% \text{Cr}$), sau crom si cobalt (de exemplu, otelul cu $1\% \text{C}$, $6\% \text{Cr}$, $6\% \text{Co}$).

Oțel cu
%C mare

Elementele de aliere ridica caracteristicile magnetice, imbunatatind in acelasi timp stabilitatea mecanica si termica a magnetilor permanenti. Aceste oteluri sunt supuse normalizarii, calirii si revenirii joase.

Proprietati magnetice ridicate au aliajele **Fe-Ni-Co**, asa numitele aliaje de tip **alnico**, cateva exemple fiind indicate in tabelul 5.1. Principalele dezavantaje ale aliajelor de tip alnico sunt duritatea foarte mare, fragilitatea si posibilitatea de prelucrabilitate foarte scazuta.

De aceea, magnetii se obtin din aceste materiale prin turnare, prelucrandu-se ulterior prin slefuire. Tratamentul termic consta dintr-o calire de la $1250 - 1280^\circ\text{C}$ cu viteza de racire corespunzatoare fiecarui aliaj in parte, urmata de o revenire la $580 - 600^\circ\text{C}$.

Alnico**Tabelul 5.1** - Compozitia chimica si proprietatile magnetice pentru câteva aliaje turnate de tip **alnico** utilizate pentru magneti permanenti

Aliajul	Compozitia chimica, % (Fara fier)					Proprietati magnetice		
	Ni	Al	Co	Cu	Alte elemente	BH _{max} . Kj/m ³	H _c , KA/m	Br, T
Str. columnara	12-13,5	6,8-7,2	30,5-31,5	3,0-3,5	3-3,5 Ti 0,9-1,1 Nb	32	92	1,15
Structura monocristalina	14-14,5	7,2-7,7	39-40,6	3-4	7-8Ti 0 1-0,2 Si	32	145	0,9
Str. columnara	14-14,5	6,8-7,2	34,5-35,5	3,3-3,7	0,8-1,1 Nb 4,7-4,5 Ti	36	110	1,02
Structura monocristalina	14-14,5	7-7,5	34-35	2,5-3	5-5,5 Ti 0 1-0 2 Si	40	115	1,05

Proprietatile magnetice pot fi imbunatatite daca tratamentul de calire se efectueaza intr-un camp magnetic puternic.

Pentru obtinerea de magneti cu dimensiuni medii dar exacte, din aliaje de tip alnico, se utilizeaza metodele metalurgiei pulberilor. Din punct de vedere al compozitiei chimice, aliajele sinterizate sunt asemanatoare cu cele obtinute prin turnare, se prelucreaza mai usor decat acestea, dar au proprietati magnetice ceva mai scazute.

Permendur**Perminvar**

Magnetii foarte buni, dar mult mai scumpi, se obtin din aliaje cu un continut mai mare de cobalt, cuprins intre 25 - 50%. Aceste aliaje sunt cunoscute sub denumirea de **permendur** (50%Fe, 50%Co), sau **perminvar** (45%Ni, 25%Co, 23%Fe). Aceste aliaje sunt aliate in plus cu mici adaosuri de Mo, V sau Cr.

De curand, a fost elaborat un aliaj *hiperco* 5-HS care contine 2%V, 48,5 %Co, restul Fe. Din grupa de aliaje Fe-Cr-Co face parte unul din cele mai noi aliaje, asa numitul *crovac*, capabil sa inlocuiasca aliajul alnico. In ultimii ani s-au elaborat noi materiale care utilizeaza pamanturi rare, precum samariul sau neodimul. Pentru imbunatatirea caracteristicilor magnetice, materialele magnetice dure trebuie sa aibe o structura neuniforma, caracterizata de tensiuni interne puternice si o granularie foarte mica. Toate acestea se au in vedere in aplicarea metodelor metalurgiei pulberilor sau in cazul tratamentelor termice pentru obtinerea magnetilor permanenti.

5.3. Materiale magnetice moi

Principalele caracteristici cerute materialelor magnetice moi sunt:

- valori scazute ale fortei coercitive,
- permeabilitate magnetica ridicata,
- pierderi scazute prin remagnetizare sau sub curenti de inductie.

Textura Goss

cea mai usoara.

Astfel, obtinerea unei structuri cristaline cu aceeasi orientare a tuturor cristalelor pe directia [100], cu alte cuvinte obtinerea unui otel texturat pe directia de laminare, sub forma de tabla, faciliteaza cresterea permeabilitatii magnetice, paralel cu aceasta directie.

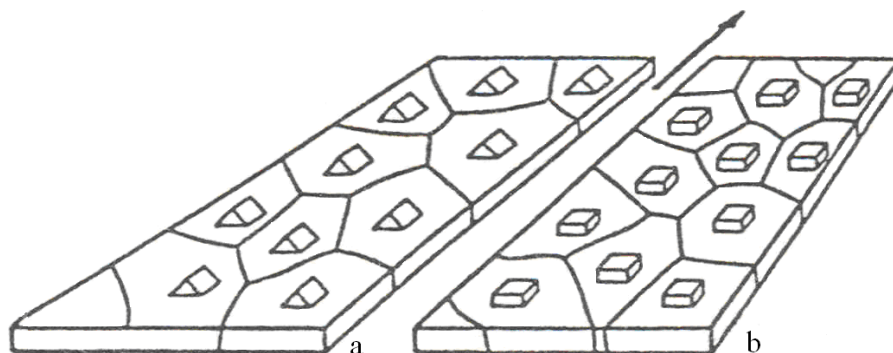
In otelul laminat la cald cu continut ridicat de siliciu, se poate obtine o asemenea distributie a cristalelor astfel incat directia de laminare sa coincida cu directia (100) corespunzatoare muchiei celulei cubice elementare - directie de usoara magnetizare, iar directia transversala laminarii sa corespunda diagonalei [100] celulei elementare - vezi figura 5.2. Acest tip de textura se numeste **textura tip Goss** (*Goss- Texture*), dupa numele celui care a realizat-o.

Tehnologia actuala de fabricare a otelurilor electrotehnice de calitate superioara presupune obtinerea prin turnare a otelului cu un continut minim de carbon si un continut indicat de siliciu, laminarea tablei calde la o grosime de ~ 2,5mm, recoacere la 800°C, laminarea la rece la grosimi de 0,35-0,50 mm.

Pentru un grad de deformare la rece mai mare (45-60%), otelul se textureaza in proportie de 90%, iar pentru deformatii de numai 10%, structura este slab texturata.

Daca laminarea se efectueaza numai la cald, materialul nu se textureaza, iar proprietatile magnetice vor fi aceleasi atat in longitudinal cat si in transversal.

Figura 5.2 - Dispunerea celulelor elementare ale retelei cristaline: (a) intr-o textura tip Goss; (b) intr-o textura cubica; (sageata indica directia de laminare)



Conductorii magnetici sub forma de table subtiri reprezinta principalele piese ale masinilor electrice precum motoarele electrice, generatoarele, transformatoarele.

Dupa operatiile tehnologice (matritare, debitare s.a.) necesare pentru fabricarea conductorilor magnetici, pentru evitarea ecruisarii si in vederea obtinerii unei granulatii mari, se efectueaza recoaceri la 1100-1200°C in atmosfera de hidrogen. Utilizarea otelului electrotehnic texturat pentru fabricarea transformatoarelor, permite atat scaderea substantiala a

	<p>pierderilor de putere, cat si micsorarea dimensionala a produsului.</p> <p>Pentru lucrul in campuri magnetice slabe, de exemplu in sistemele de telecomunicatii, se utilizeaza materialul numit permalloy care este un aliaj Fe-Ni, cu un interval foarte mic de variatie al continutului de Ni (~79 %). Cateodata acesta se mai aliaza si cu Mo sau Cr, elemente care imbunatatesc deformabilitatea plastica a materialului si permeabilitatea magnetica.</p> <p>Aliajele permalloy cu continut ridicat de nichel (79% sau 81%) se caracterizeaza printr-o permeabilitate magnetica foarte ridicata in campuri slabe, valori care depasesc de zece ori permeabilitatea magnetica a fierului pur. Aliajele tip permalloy se obtin prin topire in vid, laminare in table si benzi, cu recoaceri ulterioare la 1100 - 1300°C, in vid sau hidrogen.</p> <p>Pentru lucrul in campuri slabe (radio, telefon), a fost elaborat un inlocuitor pentru permalloy-ul scump - aliajul Alsifer - ce contine 5,4% Al, 9,6% Si, restul fier. Aliajul fiind deosebit de fragil, produsele din acesta se obtin sub forma de piese turnate cu pereti subtiri, sau prin metoda metalurgiei pulberilor.</p> <p>Pentru tehnica de inalta frecventa sunt necesare materiale cu rezistenta electrica foarte mare ce pastreaza o permeabilitate magnetica ridicata, intr-un diapazon foarte larg de frecvente. Aceste cerinte sunt indeplinite de "ferite" (a nu se confunda cu ferita, solutia solida de carbon in fier), care sunt ceramice magnetice obtinute prin sinterizare, fiind formate din Fe₂O₃ si oxizii unor metale precum MnO, MgO, ZnO, LiO₂.</p> <p>Practic, feritele sunt semiconductoare, rezistentele lor electrice fiind mai mari de 6-12 ori decat cele ale fierului. Datorita acestui fapt, chiar si pentru frecvente ridicate acestea au pierderi nesemnificative prin curenti Foucault.</p> <p>In unele cazuri, pentru constructia masinilor electrice sunt necesare materiale paramagnetice. Pe post de inlocuitori pentru bronzuri, alame sau alte aliaje neferoase, se utilizeaza oteluri sau fonte paramagnetice care au o structura austenitica. Precum se stie, o asemenea structura se obtine printr-un continut ridicat de mangan si nichel - elemente gamagene.</p> <p>5.4. Aliaje pentru electrotehnica</p> <p>Otelurile si aliajele de acest tip se utilizeaza fie pentru transformarea energiei electrice in energie termica, fie invers, ca materiale cu rezistenta electrica minima.</p> <p>Prima categorie de aliaje electrotehnice au o rezistenta electrica ridicata si se utilizeaza pentru confectionarea reostatelor sau a elementelor electrice de incalzire. Aceste materiale sunt solutii solide de concentratie ridicata, pentru care rezistenta electrica variaza dupa o curba cu maxim. Rezistenta electrica a aliajelor pe baza de solutie solida este cu mult mai mare decat rezistenta electrica a componentelor pure. Valorile acestei caracteristici n-ar trebui sa varieze cu temperatura.</p> <p>Constantan</p> <p>Ca aliaje reostatice se utilizeaza aliaje pe baza de cupru cu adaosuri de Ni, Mn, Zn. Aliajele Cu-Ni cu 40-50%Ni numite constantan prezinta valori maxime ale rezistentei electrice care practic nu variaza cu</p>
Permalloy	
Al-Si-Fe	
Ferite = Fe₂O₃ + Oxizi metalici	

	temperatura.
Cromal	Temperatura maxima de lucru pentru evitarea arderii, deci a oxidarii, nu trebuie sa depaseasca 500°C. Rezistenta la oxidare determina, de altfel, durata de exploatare a elementelor de incalzire a cuptoarelor sau instalatiilor cu temperaturi de lucru ridicate.
Nicrom	Pentru incalzitoare se utilizeaza oțeluri feritice aliate cu crom si Al (cromal) si, de asemenea, aliaje pe baza de Cr si Ni, de exemplu nicrom (20%Cr, 80%Ni). Temperatura maxima de lucru este in jur de 1150°C. Incalzitoarele cu Mo, desi au o temperatura de exploatare mai ridicata (~1500°C), datorita refractaritatiei mai scazute, pot lucra numai in vid sau in atmosfera de gaze inerte.
Alumel Cromel	Pentru confectionarea de termocuple, este necesara o sarma cu refractaritate ridicata, dar si cu o variatie liniara a temperaturii in functie de puterea electrica. Ca material pentru electrozii termocuplelor se utilizeaza o sarma din platina (un electrod) si un aliaj de platina cu 10% Ro. Asemenea termocuple se pot utiliza pentru masurarea temperaturilor ridicate, mergand pana la temperatura otelului lichid. Pentru masurarea de temperaturi mai scazute (<1000°C) se utilizeaza aliaje de Ni cu 2% Al (alumel) sau cu 10%Cr (cromel). Ca materiale conductoare, se utilizeaza metale pure si nu aliaje - Cu, Al, mai rar Ag. Metalele conductoare trebuie sa contina o cantitate minima de impuritati, deoarece prezenta acestora creste rezistenta electrica.



Test de autoevaluare 5.1 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.
Care sunt principalele cerințe ale unui material magnetic moale ?

Răspunsul la test se găsește la pagina .

...



Test de autoevaluare 5.2 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.
Care sunt caracteristicile principale ale feritelor ca materiale magnetice moi ?

Răspunsul la test se găsește la pagina .

...



Test de autoevaluare 5.3 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.
Dați exemple de câteva aliaje pentru electrotehnică.

Răspunsul la test se găsește la pagina .

Am ajuns la sfârșitul Unității de învățare Nr. 5.

În loc de
rezumat

Vă recomand să faceți o recapitulare a principalelor subiecte prezentate în această unitate și să revizuiți obiectivele precizate la început.

Este timpul pentru întocmirea Lucrării de verificare a Unității de învățare Nr. 5 pe care urmează să o transmiteți tutorelui.

Lucrare de verificare pentru Unitatea de învățare Nr. 5



Ce concentrație de carbon trebuie să aibă oțelurile utilizate ca magneți permanenți ?

Care sunt principalele proprietăți ale aliajului alnico ?

Exista diferențe între rezistența electrică a aliajelor pe baza de soluție solidă și rezistența electrică a componentilor puri ?

Care este caracteristica principală a aliajului constantan ?

Ce aliaje se utilizează pentru fabricarea de termocuple ?

Barem:

Intrebarea nr.	Punctaj maxim acordat
1	2
2	2
3	2
4	2
5	2

Răspunsurile și comentariile la testele de autoevaluare



5.1. Valori scăzute ale forței coercitive, permeabilitate magnetică ridicată, pierderi scăzute prin remagnetizare sau sub curenți de inducție

5.2. Feritele sunt materiale cu rezistență electrică foarte mare ce păstrează o permeabilitate magnetică ridicată, într-un diapazon foarte larg de frecvențe.

5.3. Constantan (aliaje Cu-Ni cu 40-50% Ni); cromal (oteluri feritice aliate cu crom și Al); nicrom (aliaje Cr-Ni cu 20% Cr și 80% Ni); alumei (aliaje de Ni cu 2% Al); cromel (aliaje de Ni cu 10% Cr).

Bibliografie pentru Unitatea de învățare Nr. 5



A. Nocivin, Materiale avansate, Ed. Ovidius University Press, Constanța, 2001, pag.103-113

Unitatea de învățare Nr. 6 – UI-6

Aliaje metalice amorfe si nanocristaline

Cuprins	Pagina
Obiectivele Unității de învățare Nr. 6.....	52
6.1. Condițiile de formare a unei structuri amorfe	52
6.2. Metode de obtinere a aliajelor amorfe	54
6.3. Proprietatile si utilizările aliajelor amorfe	57
Lucrare de verificare pentru Unitatea de învățare Nr. 6.....	61
Răspunsuri și comentarii la testele de autoevaluare.....	61
Bibliografie pentru Unitatea de învățare Nr. 6.....	61



OBIECTIVELE Unității de învățare Nr. 6

Principalele obiective ale Unității de învățare Nr. 6 sunt:



- Definirea structurilor amorse si nanocristaline si a conditiilor fizico-chimice de formare ale acestora;
- Metode de obtinere
- Proprietatile si aplicatiile acestor materiale

CONTINUTUL UI-6:

6.1. Condițiile de formare a unei structuri amorse

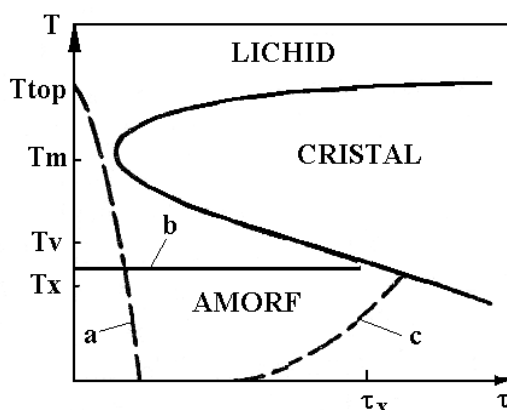
Este cunoscut deja faptul ca solidificarea unui aliaj metalic are loc, in conditii normale, dupa ramurile descendente ale curbelor corespunzatoare vitezelor de germinare si crestere a fazei solide cristaline si ca, odata cu cresterea gradului de subracire al topitunii, vitezele ambelor procese cresc.

Este, de asemenea, cunoscut faptul ca, prin metode speciale care permit atingerea unor viteze de racire de ordinul a 10^5 K/s, metalele sau aliajele metalice solidifica in stare amorsa, numindu-se "sticle metalice".

In figura 6.1 se indica schematic diagrama TTT corespunzatoare procesului de racire a unei topituri metalice, pentru diferite viteze de racire.

Figura 6.1 - Schema diagramei procesului de formare a fazelor intr-o topitura subracita:

- a - viteza critica de racire cu obtinerea starii amorse;
- b - mentinerea izoterma a fazei amorse, ce duce la cristalizarea acesteia in timpul τ_x ;
- c - incalzirea lenta a fazei amorse, ce duce la cristalizare la temperatura T_x ;



Subrăcirea fazei
lichide

La subracirea fazei lichide sub temperatura de topire T_{top} de echilibru, viteza de cristalizare atinge un maxim la temperatura T_m .

Daca topitura este subracita cu o viteza mai mare decat cea critica, pana la temperatura de vitrificare T_v , atunci intregul sistem va "ingheta", formandu-se stare a amorsa. Viteza critica de racire pentru diferite aliaje amorse variaza intre 10^3 - 10^{10} K/ s.

Din diagrama figurii 6.1 rezulta de asemenea ca daca aliajul amorf este incalzit ulterior pana la o temperatura $T < T_m$ si este mentinut izoterm un timp τ_x acesta va incepe sa cristalizeze.

Bandă amorfă

Parametri tehnologici

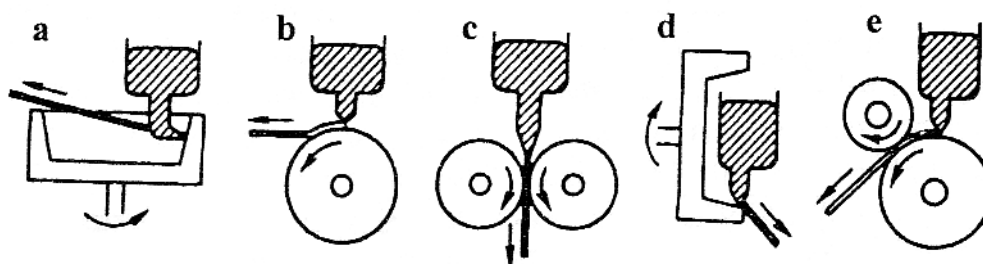
rotatie, racite la interior cu apa,

- laminarea topiturii intre doi cilindri reci, confectionati din materiale cu conductibilitate termica mare.

In figura 6.2 sunt aratate schemele de principiu ale acestor metode. Topitura, obtinuta intr-un cuptor cu inductie, este impinsa din creuzet cu ajutorul unui gaz neutru, solidificandu-se la atingerea de suprafata rece a corpului in rotatie.

Trebuie subliniat faptul ca in metoda de calire pe disc sau in cea de calire centrifugala, banda se raceste numai pe o latura. Ca urmare, problema care se pune este aceea de a se obtine o suprafata exterioara suficient de curata.

Figura 6.2 – Metode de obtinere de banda subtire amorfă prin calirea ultrarapida a topiturii – „melt-spinning”: a, d – calire centrifugala; b – calire pe disc; c – laminarea jetului de topitura; e – calire planetara pe disc;



Metoda de laminare a topiturii permite obtinerea unei calitati bune pentru ambele suprafete ale benzii, fapt deosebit de important in cazul benzilor amorse care se utilizeaza pentru capetele de inregistrare magnetica.

Fiecare metoda are limitele sale in ceea ce priveste dimensiunile benzii, deoarece exista diferente atat in procesul de solidificare ultrarapida, dar si in conceptia tehnologica a fiecărei instalatii. Astfel, daca in metoda de calire centrifugala latimea benzii este de aprox. 5 mm, in metoda de laminare se obtine banda cu latime de 10 mm si chiar mai mult.

Metoda de calire pe disc, constructional mult mai simpla, permite obtinerea unei game mult mai largi de latimi, in functie de latimea orificiului de la baza creuzetului, intre 0,1 pana la 100 mm.

In toate instalatiile de calire a topiturii, metalul solidifica ultrarapid. Daca compozitional aliajul este omogen, **viteza de racire** depinde de:

- grosimea jetului de topitura, care depinde si ea de:

- viteza de rotatie a discului
- viteza de curgere a topiturii prin orificiul creuzetului,
- diametrul orificiului si de
- presiunea gazului asupra topiturii

- caracteristicile masei de racire

- proprietatile aliajului in cauza: *vascozitate, densitate, conductibilitate termica*

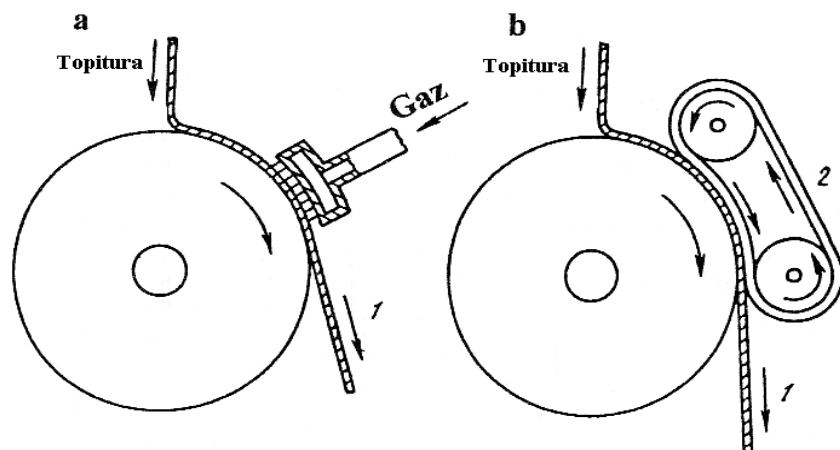
O deosebita importanta o are alegerea unghiului de inclinare a topiturii

pe disc, care permite creșterea duratei de contact al metalului cu discul de racire.

Creșterea timpului de contact al metalului pe disc se poate realiza cu ajutorul unor dispozitive speciale:

- un jet de gaz care mentine timp mai indelungat banda lipita pe disc,
- sau o curea din aliaj de cupru cu beriliu care se misca cu aceeasi viteza ca cea de rotatie a discului (Figura 6.3). In acest fel, grosimea maxima a benzii amorse depinde de viteza de racire a aliajului, care daca este mai mica decat cea critica, atunci amorfizarea nu are loc.

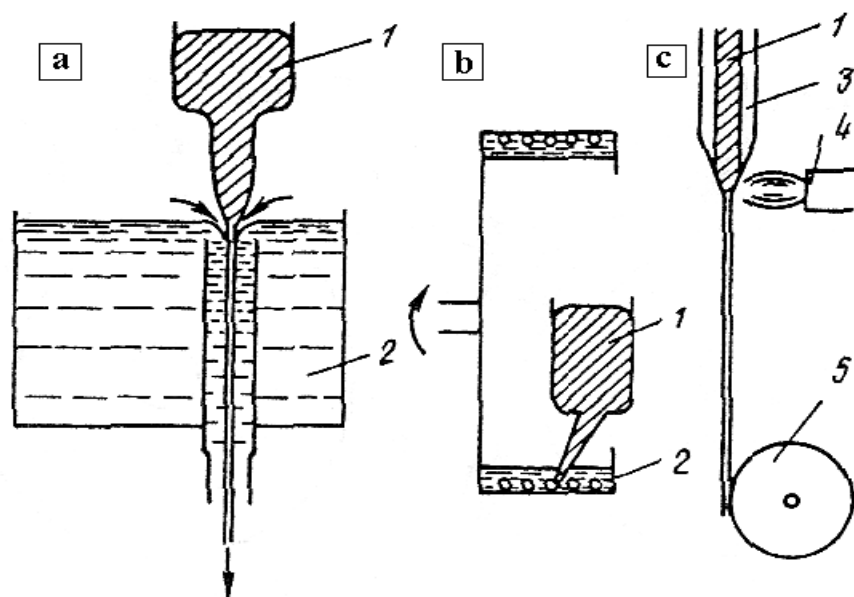
Figura 6.3 – Dispozitiv pentru creșterea timpului de contact al benzii solidificate ultrarapid cu discul: a – utilizarea unui jet de gaz; b – utilizarea unei curele de apasare;



Creșterea
timpului e
contact pe disc

Figura 6.4 – Metode de obtinere a fibrelor subtiri, solidificate ultrarapid din topitura:

a – tragerea topiturii printr-un lichid rece; b – solidificarea centrifugala a fibrelor; c – tragerea topiturii printr-un capilar de sticla; 1 – topitura; 2 – lichidul de racire; 3 – sticla; 4 – injector de caldura; 5 – bobina de infadurare a fibrelor;



Fibră amorfă

b) Obținerea de fibre amorse

Pentru obținerea de fibre amorse subtiri se utilizeaza diferite metode de

Metode de
obținere

extracție a fibrelor din topitura.

In prima metoda (figura 6.4, a) metalul topit este tras printr-o teava introdusa intr-o solutie apoasa de saruri.

In cea de-a doua metoda (figura 6.4, b) jetul de metal topit cade in lichidul care este mentinut prin forta centrifuga pe suprafata interioara a unui disc in rotatie.

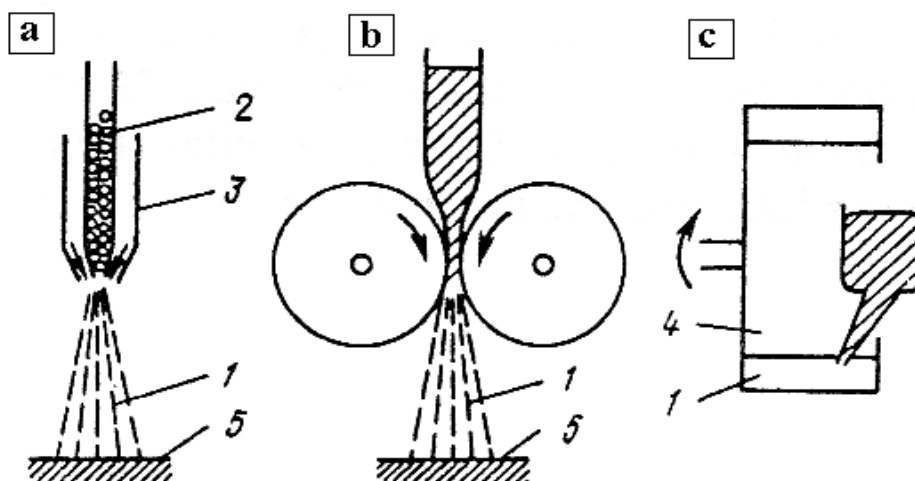
In cea de-a treia metoda, fibra amorfa este trasa printr-un capilar de sticla cu o viteza ultrarapida (figura 6.4, c). Aceasta ultima metoda, denumita metoda Taylor, permite obtinerea unei fibre imbracate in sticla, cu un diametru de 2-5 μm .

c) Obținerea de pulbere amorfa

Pentru obtinerea de pulberi metalice amorse, se utilizeaza aceleasi metode industriale de obtinere a pulberilor metalice obisnuite. Figura 6.5 indica schematic cateva metode de obtinere pe scara industriala a pulberilor amorse. Dintre acestea cele mai cunoscute sunt metodele de pulverizare.

Figura 6.5 – Metode de obtinere a pulberilor amorse:

a – metoda pulverizarii (metoda spray); b – metoda cavitationala; c – metoda de pulverizare a topiturii pe un disc in rotatie; 1 – pulberea; 2 – materie prima; 3 – injector; 4 – lichid de racire; 5 – suport de racire;



Pulbere amorfă

6.3. Proprietatile si utilizarile aliajelor amorse

Proprietatile fizico-mecanice si chimice deosebite contureaza caracterul unic al sticlelor metalice. Lipsa periodicitatii structurale propriie cristalelor este cauza **rezistentei mecanice ridicate**, a comportamentului ca **materiale magnetice moi**, a **pierderilor acustice foarte scazute** si a **rezistentei electrice ridicate**. In ceea ce priveste procesele de rupere prin oboseala si de magnetizare a sticlele metalice, acestea sunt asemanatoare cu cele din materialele metalice cristaline. In plus, uniformitatea chimica asigura o rezistenta la coroziune ridicata a sticlelor metalice in medii acide, sau in solutii care contin ioni de clor.

Proprietăți

Solubilitatea practic nelimitata a elementelor in stare vitroasa prezinta de asemenea un deosebit interes pentru studierea proceselor de transfer electronic

<p>Fe-Si-B</p> <p>Densitate magnetică mare</p> <p>Catalizatori chimici</p> <p>Coroziune pitting</p>	<p>prezinta o rezistenta la rupere si stabilitate termica ridicata: de exemplu, aliajul $\text{Fe}_{54}\text{Cr}_{16}\text{Mo}_{12}\text{C}_{18}$ are limita rezistentei la rupere de 3800 MPa, iar temperatura de cristalizare de 880 K. Aceste aliaje au de asemenea rezistenta la coroziune ridicata, nefiind susceptibile la fragilizare la imbatranire. Aceste aliaje sunt destinate materialelor compozite cu rezistente mecanice inalte.</p> <p>Aliajele Fe-Si-B cu densitate magnetica mare au fost propuse pentru inlocuirea aliajului cristalin Fe-Si, utilizat pentru miezurile de transformatoare si a aliajului Ni-Fe cu permeabilitate magnetica ridicata. Lipsa anizotropiei magneto-cristaline combinata cu rezistenta electrica ridicata, diminueaza pierderile prin curenti Foucault, mai ales la frecvente ridicate. Pierderile in miezul de transformator, pentru un aliaj amorf $\text{Fe}_{81}\text{B}_{13}\text{Si}_4\text{C}_2$ fabricat in Japonia, sunt de 0,06 W/kg, adica de 20 de ori mai mici decat pierderile din benzile texturate din otel de transformator. Economia datorata scaderii pierderilor prin histerezis a energiei, in cazul utilizarii aliajului $\text{Fe}_{83}\text{B}_{15}\text{Si}_2$ in locul otelurilor de transformator, reprezinta numai in SUA 300 mil. \$/an. Acest domeniu prezinta cea mai mare perspectiva de utilizare a acestor aliaje.</p> <p>Aliajele amorfe pe baza de cobalt prezinta pe langa magnetostrictiune nula si permeabilitate initiala mare, mai ales la frecvente ridicate (10 kHz), si duritate si rezistenta la coroziune ridicate, motiv pentru care sunt utilizate pentru capetele magnetice de inregistrare. Un exemplu in acest sens este aliajul $\text{Fe}_5\text{Co}_{70}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$, elaborat in Japonia. Prin calirea ultrarapida prin metoda laminarii intre cilindri, se obtine banda cu grosime de 50 μm si latime de 15 mm cu ambele suprafete de buna calitate (rugozitate $\pm 3 \mu\text{m}$). Capetele de inregistrare pentru orice aparatura de inregistrare (audio, video, computere etc) confectionate din aceste materiale sunt mult superioare aliajelor feritice, sau din permalloy, datorita densitatii magnetice ridicate si a fiabilitatii mari.</p> <p>O alta posibilitate de utilizare a materialelor metalice amorfe este aceea de catalizatori chimici. De exemplu, aliajul amorf Pd-Rh actioneaza ca un catalizator in reactia de descompunere a NaCl in NaOH si Cl_2.</p> <p>Procesul de cristalizare al sticlei metalice, aplicabil dupa amorfizare, favorizeaza obtinerea unei faze cristaline mult mai fina si mai omogena decat cea obtinuta in conditii clasice, fapt ce permite, printre alte avantaje, realizarea unor suduri pe benzi subtiri. O asemenea banda este usor de indoit, de taiat, de matritat, sudura realizand un bun contact in toate punctele produsului supus sudurii, avand o buna rezistenta la coroziune. Acest avantaj este exploatat in mod direct in aviatie si in industria aerospatiala. Prin cristalizarea fazei initiale amorfe se preconizeaza in viitor obtinerea de cabluri supraconductoare.</p> <p>Din punct de vedere al rezistentei la coroziune, cele mai rezistente aliaje amorfe s-au dovedit a fi aliajele pe baza de nichel si fier ce contin crom. Aliajele amorfe practic nu sufera coroziune de tip pitting, chiar si in situatia unei polarizari anodice in acid clorhidric. Acest fapt se explica prin formarea la suprafata a unor pelicule pasivizante, cu proprietati de protectie ridicate, ce se formeaza rapid si uniform. In afara de crom, rezistenta la coroziune este mult imbunatatita si de prezenta fosforului in compozitia aliajelor amorfe. In pelicula otelurilor cristaline inalt aliate cu crom apar intotdeauna micropori, care cu timpul se transforma in surse de coroziune. In schimb, in cazul aliajelor amorfe cu un anumit continut de crom si fosfor, pelicula pasivizanta foarte omogena se formeaza chiar si pentru a solutie foarte slaba 1n de HCl,</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<p>fiind asigurată de omogenitatea structurală și chimică a fazei amorphe, fără defecte de rețea, fără fenomene de segregare sau formare de faze secundare la limita de grăunte.</p> <p>Aliajul $\text{Fe}_{45}\text{Cr}_{25}\text{Mo}_{10}\text{P}_{13}\text{C}_7$, se pasivează într-o soluție foarte concentrată cum ar fi soluția 12n de HCl la 60°C. De aceea, acest aliaj practic nu se corodează, depășind prin rezistență sa la coroziune tantalul metalic.</p> <p>În concluzie, proprietățile sticlelor metalice depășesc cu mult pe cele ale aliajelor cristaline similare. Singurul impediment actual îl reprezintă prețul ridicat, temperatura de stabilitate și sudabilitatea scăzute, și dimensiunile reduse ale benzilor, fibrelor sau pulberii amorphe.</p>
--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



Test de autoevaluare 6.1 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.
Ce sunt elementele de aliere amorfizante ?

Răspunsul la test se găsește la pagina .

...



Test de autoevaluare 6.2 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.
În ce forme dimensionale se pot obține aliajele metalice amorphe ?

Răspunsul la test se găsește la pagina .

...



Test de autoevaluare 6.3 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.
Dați exemple de câteva aliaje metalice amorphe cu proprietăți magnetice speciale

Răspunsul la test se găsește la pagina .

Am ajuns la sfârșitul Unității de învățare Nr. 6.

În loc de rezumat

Vă recomand să faceți o recapitulare a principalelor subiecte prezentate în această unitate și să revizuiți obiectivele precizate la început.

Este timpul pentru întocmirea Lucrării de verificare Unitate de învățare Nr. 6 pe care urmează să o transmiteți tutorelui.

Lucrare de verificare Unitate de învățare Nr. 6

...



Care este diferența din punct de vedere structural dintr-un solid amorf și unul cristalin ?

Care sunt vitezele de răcire necesare de regulă pentru obținerea structurii amorfice într-o topitură metalică ?

Cum apreciați limita de curgere a unui aliaj metalic amorf pe bază de Fe față de limita de curgere a oțelurilor cu rezistențe mecanice înalte ?

Cum apreciați rezistența la coroziune a aliajelor amorfice ? Explicați.

Ce caracteristică principală prezintă aliajul $\text{Fe}_{45}\text{Cr}_{25}\text{Mo}_{10}\text{P}_{13}\text{C}_7$?

Barem:

Intrebarea nr.	Punctaj maxim acordat
1	2
2	2
3	2
4	2
5	2

Răspunsurile și comentariile la testele de autoevaluare



6.1. Elementele de aliere amorfizante, cum sunt B, C, Si, P, S, sunt elemente cu care se aliază metalele de tranziție (Fe, Co, Mn, Cr, Ni etc), deoarece favorizează formarea structurii amorfice în aliaj, la răcire rapidă a topiturii.

6.2. Sub formă de bandă amorfă, fibre sau pulberi amorfice

6.3. Fe-Si-B cu densitate magnetică mare ($\text{Fe}_{81}\text{B}_{13}\text{Si}_4\text{C}_2$, $\text{Fe}_{83}\text{B}_{15}\text{Si}_2$); aliaje amorfice pe baza de cobalt ($\text{Fe}_5\text{Co}_{70}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$) ce prezintă magnetostricțiune nulă și permeabilitate inițială mare

Bibliografie Unitate de învățare Nr. 6



A. Nocivin, Materiale avansate, Ed. Ovidius University Press, Constanța, 2001, pag.175-188

Unitatea de învățare Nr. 7 – UI-7

Aliaje cu proprietati termice si elastice speciale

Cuprins	Pagina
Obiectivele Unității de învățare Nr. 7.....	63
7.1. Caracteristici generale	63
7.2. Aliaje cu coeficient termic de dilatare liniara α reglementat	66
7.3. Aliaje cu modul de elasticitate constant	68
Lucrare de verificare pentru Unitatea de învățare Nr. 7.....	71
Răspunsuri și comentarii la testele de autoevaluare.....	71
Bibliografie pentru Unitatea de învățare Nr. 7.....	71



OBIECTIVELE Unității de învățare Nr. 7

Principalele obiective ale Unității de învățare Nr. 7 sunt:



- Prezentarea caracteristicilor, proprietatilor si aplicatiilor aliajelor cu coeficient termic de dilatare liniara α reglementat de tip **invar** si a aliajelor cu modul de elasticitate constant de tip **elinvar**

CONTINUTUL UI-7:

Caracteristici generale

In multe domenii (industria constructoare de masini, industria de constructii metalice) sunt necesare materiale pentru anumite intervale de temperaturi de lucru, cu valori strict reglementate ale unor proprietati fizice:

- coeficientul termic de dilatare liniara α
- coeficientul de temperatura al modulului de elasticitate β .

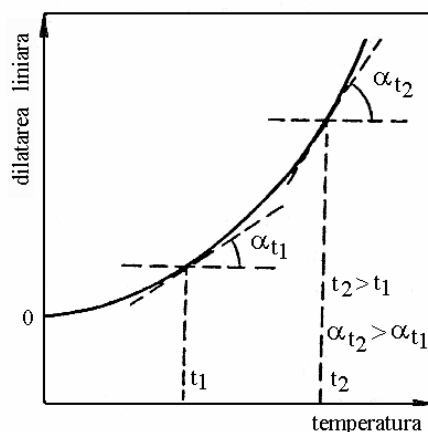
Acesti coeficienti stabilesc caracterul variatiei dimensionale a piesei precum si modulul de elasticitate al aliajului la incalzire.

Coeficientul termic de dilatare liniara α se determina cu ajutorul unui dilatometru, pe baza dilatarii relative a probei intr-un interval de temperatura dat.

Conform regulii Kurnakov, in situatia in care componentii chimici ai aliajului formeaza o solutie solida, atunci coeficientul termic de dilatare liniara α al aliajului variaza dupa o curba cuprinsa intre valorile corespunzatoare componentilor puri.

Coeficientul termic de dilatare liniara α creste odata cu cresterea temperaturii (figura de mai jos).

Figura 7.1 - Curba de dilatare a aliajelor la cresterea temperaturii



Exceptie de la aceasta regula o reprezinta **aliajele Fe-Ni**, pentru care in intervalul 30 - 45% Ni apare o anomalie legata de efectul de non-variatiie al lui α cu temperatura (Figura 7.2).

Coeficientul de dilatare α variaza cu temperatura

Excepție:
Aliajele Fe-Ni

Cea mai mica valoare a coeficientului termic de dilatare liniara α in intervalul de temperaturi $-100 \div +100^\circ\text{C}$ o are aliajul **Fe-36%Ni**. Acest aliaj a fost descoperit de francezul Guillaume in 1897 fiind denumit ***invar*** (in latina - *neschimbat*) datorita valorilor minime ale dilatarii termice.

Figura 7.2 - Coeficientul termic de dilatare liniara α pentru aliajele Fe-Ni

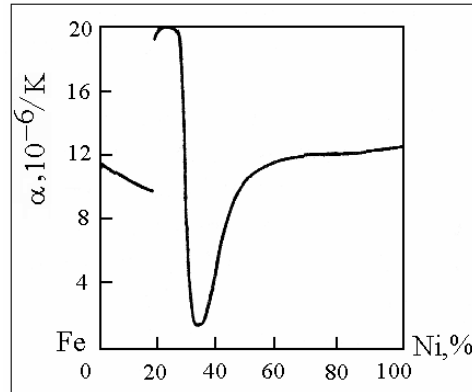
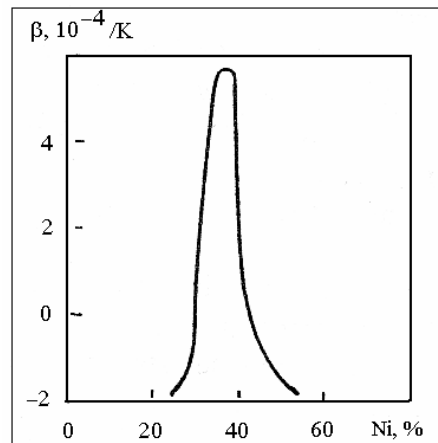


Figura 7.3 - Coeficientul de temperatura al modulului de elasticitate al aliajelor Fe-Ni



Pentru **metalele cu retea cristalina cubica** coeficientul liniar de dilatare termica α este **izotrop** - valorile acestuia nu depind de orientarea rețelei cristaline sau de orientarea texturii. Coeficientul termic de dilatare volumica este de trei ori mai mare decat coeficientul termic de dilatare liniara α .

Pentru **aliajele Fe-Ni** de tip *invar*, pe langa valorile mici ale lui α , mai apare **inca o anomalie** legata de coeficientul de temperatura al modulului de elasticitate $\beta \Rightarrow$ **β creste sau ramane constant** odata cu cresterea temperaturii

In orice corp solid, inclusiv un metal, prin incalzirea acestuia se constata o **scadere** a coeficientului de temperatura al modulului de elasticitate, ce reprezinta o masura a fortelor de legatura interatomica.

In aliajele cu efect invar, coeficientul de temperatura al modulului de elasticitate creste sau ramane constant odata cu cresterea temperaturii. Valoarea maxima a acestui coeficient o are tot aliajul Fe-Ni cu 36 % Ni (Figura 7.3).

INVAR
Fe-36%Ni

α nu variaza

β creste sau
ramane constant

<p>ELINVAR</p> <p>β constant</p> <p>Magnetostricțiune</p> <p>Materiale Magnetostrictive</p>	<p>Alegerea anumitor compozitii chimice permite elaborarea unor aliaje pentru care <u>coeficientul termic al modulului de elasticitate practic nu depinde de temperatura</u>. Aliajele care <u>au un modul de elasticitate constant intrun interval larg de temperaturi</u> se numesc <u>aliaje tip elinvar</u>.</p> <p><u>Explicatia</u> comportamentului anormal al aliajelor <i>invar</i> si <i>elinvar</i> este de natura feromagnetica:</p> <p>Aliajele feromagnetice Fe-Ni de tip invar poseda o <u>magnetostricțiune volumica mare</u>, care reprezinta <u>o crestere a volumului pe baza campului magnetic interior</u>.</p> <p>Prin incalzire are loc o scadere a magnetostricțiunii. Deasupra temperaturii Curie deformatiile magnetostrictive dispar in intregime, datorita faptului ca metalul trece in stare paramagnetica.</p> <div data-bbox="517 707 1394 938"> </div> <p>Magnetostricțiunea – reprezinta o proprietate a materialelor feromagnetice prin care acestea isi schimba forma cand sunt supuse unui camp magnetic. Acest efect a fost identificat prima data in 1842 de catre James Joule prin observarea unei probe de nichel.</p> <p><u>Explicatia</u>: Materialele feromagnetice au o structura interna impartita in domenii, care fiecare reprezinta regiuni de polarizare magnetica uniforma. In momentul cand asupra corpului se aplica un camp magnetic, limitele intre aceste domenii aluneca intre ele, domeniile rotindu-se, efect ce provoaca schimbari in dimensiunile materialului.</p> <p><u>Materialele magnetostrictive</u> pot transforma energia magnetica in energie cinetica, sau invers.</p> <p><u>Cobaltul</u> manifesta la temperatura camerei cea mai mare magnetostricțiune a unui element chimic pur.</p> <p>Dintre aliaje, cea mai ridicata magnetostricțiune o are <u>Terfenol - D</u> (Ter de la <i>terbium</i>, Fe de la <i>fier</i>, NOL de la <i>Naval Ordnance Laboratory</i> si D de la <i>dysprosium</i>). Terfenol-D ($Tb_{0.7}Dy_{0.3}Fe_{0.2}$), este cel mai utilizat material magnetostrictiv din aplicatiile de inginerie.</p> <p><u>Coeficientul termic de dilatare liniara α</u> creste la incalzire ca urmare a scaderii energiei de legatura interatomica. Aceasta crestere este compensata de scaderea magnetostricțiunii ca rezultat al diminuarii magnetizarii in urma intensificarii mobilitatii termice a atomilor. Prin urmare, la incalzirea pana la temperatura Curie, volumul aliajelor <i>invar</i> practic nu variaza. Mai mult, coeficientul termic de dilatare liniara α poate capata si valori negative pentru unele aliaje, volumul acestora micșorandu-se.</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Intervale de
temp. de aplicare
a aliajelor invar

Conținut de C
sub 0,05%

Tensiunile exterioare de întindere acționează asemănător unui câmp magnetic asupra aliajelor feromagnetice Fe-Ni cu compoziție invar, facilitând apariția magnetostricțiunii volumice, numită curent în acest caz **mecano-stricțiune**.

Nivelul ridicat al mecano-stricțiunii în aliajele de tip *elinvar* facilitează variația anormală a modului de elasticitate la încălzire.

Aliaje cu coeficient termic de dilatare liniară α reglementat

Domeniile de aplicare ale aliajelor cu coeficient termic de dilatare liniară α reglementat sunt indicate după cum urmează:

Coeficient termic de dilatare liniară α , $10^{-7}/K$	Domeniul de utilizare al aliajelor cu aceste valori α
0 – 20	Dispozitive de măsurare, aparate geodezice, etaloane de lungimi, tehnica pentru criogenie
50 – 80	Etaloane de lungimi, componente ale termobimetalelor, sudura cu sticlă refractară, compusi metaloceramici, miezuri pentru sârmele cu înveliș de cupru
80 – 110	Sudura cu sticlă ușor fuzibilă
180 - 210	Etaloane de lungimi, componente ale termobimetalelor

Principalul aliaj cu coeficientul termic de dilatare liniară α minim este aliajul Fe - 36 % Ni.

Invarul Fe-36%Ni are cele mai mici valori ale lui α în intervalul de temperaturi $-100 \div +100^{\circ}C$.

Datorită valorilor ridicate ale proprietăților mecanice și ale proceselor tehnologice de obținere accesibile, invarul se utilizează ca material de construcție pentru piese care necesită dimensiuni constante în condiții termice variabile de exploatare.

Din invar se obțin conducte fixate la rece, cu forma exterioară complexă, ce transportă gazele din instalațiile criogenice. Valoarea mică a coeficientului termic de dilatare liniară α permite scăderea tensiunilor din conducte și astfel evitarea rușii acestora. De asemenea, se înlătură necesitatea montării unor legături speciale pentru compensarea deformației, oferindu-i o mai mare siguranță în exploatare.

Pentru asigurarea acestor valori minime pentru α și a dimensiunilor constructive stabile, conținutul de carbon din aliajele invar nu trebuie să depășească 0,05 %.

Un conținut mai mare de carbon duce la variația parametrilor rețelei cristaline și a magnetostricțiunii procesului de trecere la paramagnetism.

Pentru sudurile cu sticlă, conținutul mai ridicat de carbon ar duce la apariția CO_2 în procesul de sudură și la formarea bulelor de gaz în sticlă.

TT pentru invar

Coeficientul termic de dilatare liniara α al aliajelor depinde de **tratamentul termic** suferit de acestea: Pentru invar, valorile minime ale lui α se ating dupa o calire de la 830°C (prin care impuritatile trec in solutia solida) si revenire la 315°C.

Deformarea la rece are si ea ca efect scaderea lui α .

Prin combinarea ambelor tratamente, α tinde spre valoarea nula.

Scaderea suplimentara a lui $\alpha \Rightarrow$ aliere cu Co si Cu \Rightarrow **superinvar**

Tabelul 7.2 - Compozitia si proprietatile aliajelor Fe-Ni cu coeficientul termic de dilatare liniara α reglementat

Tipul aliajului	% greutate			Proprietati termice	
	Ni	Co	Cu	Intervalul de temp., °C	α , $10^{-6}K^{-1}$
Invar	35-37	-	-	20-80	1,5
Superinvar	31,5-33	3,3-4,2	0,6-0,8	20-100	1,0
Covar	28,5-29,5	17-18	-	20-400	4,5-5,2
Platinit	46-48	-	4,5-5,5	20-400	9,2-10,0

Superinvar

In dispozitivele semiconductoare si cele de disociere a gazelor se utilizeaza suduri ale metalelor cu materiale dielectrice precum sticla sau ceramica.

Pentru asigurarea etanseitatii spatiului vidat prin sudura, este necesar ca α , corespunzator materialelor care se sudeaza, sa fie identic pentru intervalul de temperaturi de exploatare, pentru evitarea aparitiei tensiunilor si a fisurilor. Pentru a se putea stabili compatibilitatea sudarii metalului cu sticla in cauza, se utilizeaza metoda de masurare in lumina polarizata a tensiunilor elastice din sudura.

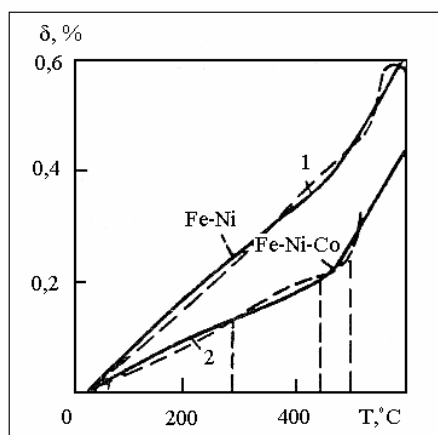
Compozitia aliajelor pentru sudura cu sticla este astfel aleasa incat coeficientii α ai sticlei si metalului sa fie practic identici in tot intervalul de temperaturi pana la inmuierea sticlei.

Covar

Platinit

Aliajul **covar** este utilizat pentru lipirea cu sticlele termostabile, iar **platinitul** pentru lipirea cu sticlele usor fuzibile obisnuite utilizate in industria vidului. In figura 7.4 se indica caracterul dilatarii liniare pentru doua tipuri diferite de sticla si aliajele corespunzatoare acestora.

Figura 7.4 - Dependenta de temperatura a variatiei relative a lungimii unor sticle usor fuzibile (1) si greu fuzibile (2) si a aliajelor corespunzatoare Fe-Ni si Fe-Ni-Co



Termobimetale

Otelurile cu o dilatare termica strict determinata se utilizeaza de asemenea pentru obtinerea de **termobimetale** - pentru care stratul cu o dilatare minima (strat "pasiv") este lipit prin laminare de un alt strat cu o dilatare termica mai mare (strat "activ").

Placile bimetalice se utilizeaza ca termoreglatoare. Incalzirea unei asemenea placi duce la inchiderea unui circuit electric prin indoirea acesteia.

Caracteristica principala a termobimetalelor este sensibilitatea termica, adica capacitatea de a-si modifica forma prin variatia temperaturii.

Pentru strat pasiv \Rightarrow Invarul Fe-36%Ni si un coeficient $\alpha = 1,5 \times 10^{-6} / K$,

Pentru strat activ \Rightarrow Aliajele Fe-Ni cu un coeficient $\alpha = 20 \times 10^{-6} / K$, avand ~ 8 - 27 % Ni, aliate suplimentar cu Cr, Mn, Mo.

7.3. Aliaje cu modul de elasticitate constant

Aliajele cu proprietati elastice, pe langa valorile scazute ale coeficientului de temperatura al modulului de elasticitate, trebuie sa aiba rezistenta ridicata la deformatii plastice mici precum si capacitate la relaxare in conditiile unor sarcini statice sau ciclice.

Coeficientul de temperatura al modulului de elasticitate al aliajelor Fe-Ni, la variatii foarte mici ale concentratiei de nichel, inevitabile de altfel in industria producatoare de otel, devine instabil suferind variatii considerabile.

Alierea cu crom creste in schimb stabilitatea aliajului. Elinvarul, cu un continut de 36 % Ni si 12 % Cr, este caracterizat de aceleasi valori ale coeficientului de temperatura al modulului de elasticitate ca si in cazul aliajului Fe-Ni pur, valori care depind totusi mult mai putin de variatiile de concentratie ale nichelului.

**Compozitii
chimice pt.
Elinvar**

Proprietatile mecanice in schimb sunt mult mai scazute, acestea neputand fi imbunatatite prin tratament termic datorita stabilitatii structurii austenitice. In plus, temperatura Curie a acestui aliaj este in jur de 100°C, fapt ce limiteaza intervalul de temperaturi al utilizarilor acestuia.

Pentru cresterea temperaturii Curie in aliajele elinvar se cresc concentratiile de nichel, iar pentru imbunatatirea proprietatilor mecanice, acestea se aliaza suplimentar cu titan, aluminiu sau beriliu, fiind supuse unei duble caliri de la 900 - 950°C in apa si la o imbatranire la 600 - 700°C timp de 4 ore (Tabelul urmator).

Tabelul 7.3 - Compozitia si proprietatile aliajelor elinvar

Tipul de aliaj	% greutate restul fier				Proprietatile mecanice dupa tratament termic			$\alpha \cdot 10^{-6} K^{-1}$	Temp. lucru °C
	Ni	Cr	Ti	Al	$\sigma_{0,005}$ MPa	$\delta, \%$	E, GPa		
Ni-Cr	41,5-43,5	5,3-5,9	2,4-3,0	0,5-1,0	590-690	10-15	177-186	9,5	-269++100
Ni-Cr	43,5-45,5	5,0-5,6	2,2-2,7	0,4-0,8	590-640	10-15	177-181	8,0	-269++200
Ni-Co	29,5-30,5	25,5-26,5 Co	2,7-3,0	0,5-1,0	-	-	-	-	-269++400

Proprietăți Elinvar

Dupa prima calire aliajele elinvar sunt deosebit de plastice. Alungirea relativa a aliajului cu 42 %Ni, 5,5 %Cr, Ti si Al, este $> 30\%$, iar cea corespunzatoare aliajului cu 44 %Ni si 5,3 %Cr este $> 20\%$.

In aceasta stare aceste aliaje pot fi supuse matritarii sau prelucrarii mecanice. Dupa cea de-a doua calire, fazele in exces se dizolva in austenita, iar dupa imbatranire, din solutia solida precipita fazele disperse durificatoare $(FeNi)_3(TiAl)$, Ni_3Ti . Durificarea mai puternica este data de combinatia unui tratament termomecanic de temperatura joasa cu imbatranirea ulterioara.

Aliajele *elinvar* durificabile prin precipitare de tipul CrNi42, CrNi44 sunt utilizate pentru obtinerea elementelor elastice sensibile a o serie de dispozitive de precizie: vitezometre, dinamometre ale cantarelor electronice, arcuri ale mecanismelor de ceas etc.

Aliajul cu 30 % Ni, 25 % Co, aliat cu Ti si Al se incadreaza in categoria aliajelor elinvar avand o valoare ridicata a temperaturii Curie ($470^\circ C$). Acesta este motivul pentru care acest aliaj prezinta o stabilitate cu temperatura a proprietatilor elastice si o capacitate de relaxare pana la $400^\circ C$. Aliajul este recomandat a fi utilizat dupa un tratament termomecanic de joasa temperatura, urmat de o calire si o imbatranire.

Luand in considerare influenta semnificativa a acestor prelucrari asupra proprietatilor acestui aliaj, regimul concret de deformare si de tratament termic se stabileste pentru fiecare sarja in parte in functie de proprietatile mecanice urmarite. Plasticitatea ridicata de care da dovada acest aliaj, atat la cald cat si la rece, permite prelucrari in piese cu forme complicate.



Test de autoevaluare 7.1 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.

Cum variază în mod obișnuit coeficientul de dilatare liniară α cu temperatura pentru un material metalic ?

Răspunsul la test se găsește la pagina .

...



Test de autoevaluare 7.2 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.

Care este principala caracteristică a aliajelor de tip Elinvar ?

Răspunsul la test se găsește la pagina .

...



Test de autoevaluare 7.3 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.

Dați exemplu pentru o compoziție uzuală de Elinvar.

Răspunsul la test se găsește la pagina .

...

În loc de rezumat Am ajuns la sfârșitul Unității de învățare Nr. 7.

Vă recomand să faceți o recapitulare a principalelor subiecte prezentate în această unitate și să revizuiți obiectivele precizate la început.

Este timpul pentru întocmirea Lucrării de verificare Unitate de învățare Nr. 7 pe care urmează să o transmiteți tutorelui.

Lucrare de verificare Unitate de învățare Nr. 7



Cum definiți aliajul Invar ?
 Care este principalul aliaj Invar cel mai utilizat ?
 Cum explicați comportamentul Invarului și Elinvarului ?
 Ce este magnetostricțiunea ?
 Care sunt diferențele și asemănările între aliajele Invar, Superinvar, Covar și Platinit ?

Barem:

Intrebarea nr.	Punctaj maxim acordat
1	2
2	2
3	2
4	2
5	2

Răspunsurile și comentariile la testele de autoevaluare



7.1. Coeficientul de dilatare liniară α crește cu temperatura în mod obișnuit.
7.2. Aliajele care au un modul de elasticitate constant într-un interval larg de temperaturi se numesc aliaje tip elinvar.
7.3. aliaj Ni 42% - Cr 5,5% - Ti 3% - Al

Bibliografie Unitate de învățare Nr. 7



A. Nocivin, Materiale avansate, Ed. Ovidius University Press, Constanța, 2001, pag.127-138

Unitatea de învățare Nr. 8 – UI-8

Aliaje metalice rezistente la radiatii – Partea I

Cuprins	Pagina
Obiectivele Unității de învățare Nr. 8.....	73
8.1. Componentele de baza ale unui reactor nuclear modern.	73
8.2. Cauzele deteriorării prin iradiere a materialelor de constructii.	74
Lucrare de verificare pentru Unitatea de învățare Nr. 8.....	80
Răspunsuri și comentarii la testele de autoevaluare.....	80
Bibliografie pentru Unitatea de învățare Nr. 8.....	80



OBIECTIVELE Unității de învățare Nr. 8

Principalele obiective ale Unității de învățare Nr. 8 sunt:



- Prezentarea schematica a principalelor componente ale unui reactor nuclear modern tip CANDU
- Explicarea cauzelor deteriorării prin iradiere a materialelor de construcție

CONTINUTUL UI-8:

Progresul tehnic este legat în mod indiscutabil de creșterea continuă a utilizării de energie electrică. Limitarea rezervelor de materie primă organică, criza de energie și dorința unui cost rezonabil al producției de energie electrică au dus împreună la necesitatea implementării energiei atomice prin construirea în număr mare a centralelor atomo-electrice în toate țările dezvoltate ale lumii. Energetica nucleară reprezintă, pe lângă alte surse ecologice de energie, o alternativă viabilă la sursele actuale poluante de energie bazate pe consumul de materie fosilă organică.

Din punct de vedere al principiului funcționării, centralele termoelectrice și cele atomo-electrice nu se deosebesc substanțial. În ambele tipuri de centrale, apa se aduce până la punctul de fierbere, iar vaporii formați trec printr-o turbină, obligând-o să se învârtă. Axul turbinei coincide cu axul unui generator, care prin rotație generează energie electrică.

Deosebirea între cele două tipuri de centrale constă în metoda de încălzire a apei până la fierbere: în centrala termo-electrică este nevoie de carbune sau mazut pentru a încălzi apa, pe când în centrala atomo-electrică se utilizează în acest scop energia termică controlată de reacția de fisiune a uraniului.

8.1. Componentele de bază ale unui reactor nuclear modern

La ora actuală, pentru producerea energiei electrice, în majoritatea țărilor se utilizează reactoare nucleare - LWR (Light Water Reactor), cu cele două tipuri existente:

PWR
Pression Water
Reactor

1. reactor tip PWR (Pression Water Reactor)
2. reactor tip BWR (Boiling Water Reactor) - cel mai răspândit.

În corpul reactorului se află **zona activă** și **circuitul primar** corespunzător apei ca agent termic și de frânare.

BWR
Boiling Water
Reactor

Apa transportă căldura din zona activă spre **schimbătorul de căldură** (generatorul de vaporii) în care căldura este transmisă celui de-al doilea circuit unde se formează vaporii.

Transformarea energiei are loc în turbogenerator, unde **vaporii generează energie electrică**. Circuitul primar cu toate conductele și componentele este inclus într-o construcție specială numită **container**. Astfel, orice produși de fuziune radioactivi care pot apărea în apa circuitului primar, sunt izolați de mediul exterior.

Unitatea termică

Combustibilul este format din UO_2 slab imbogatit, sub forma de tablete cilindrice de 8 x 12 mm.

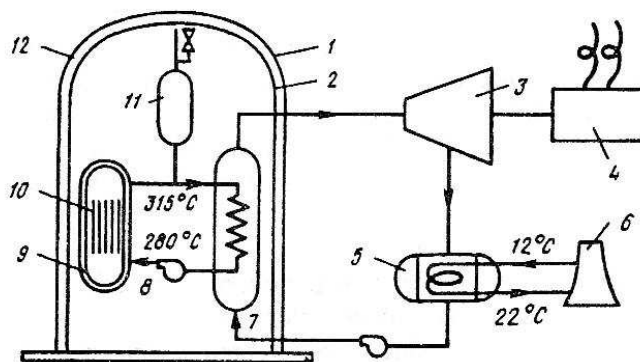
Aceste tablete sunt introduse in cilindri speciali umpluti cu heliu si inchisi ermetic. Se obtin astfel niste bare foarte lungi cu diametrul de ~ 10 mm, care sunt apoi asamblate in grupuri. Un astfel de grup reprezinta o **unitate termica**, ce contine o cantitate foarte mare de energie.

Centrala de 1000 MW are in jur de 200 de astfel de unitati termice si intre 40.000 – 50.000 de bare cu dioxid de uraniu.

Cantitatea totala de combustibil in zona activa a unui reactor BWR, de putere 1000 MW, este intre 100-110 tone de dioxid de uraniu.

Figura 8.1 - Schema unei centrale atomo-electrice cu un reactor de tip BWR:

1 - strat de beton; 2 - strat inoxidabil; 3 - turbina; 4 - generator; 5 - condensator; 6 - gradier; 7 - generator de aburi; 8 - pompa; 9 - corpul reactorului; 10 - zona activa; 11 - compensator de presiune; 12 - container;



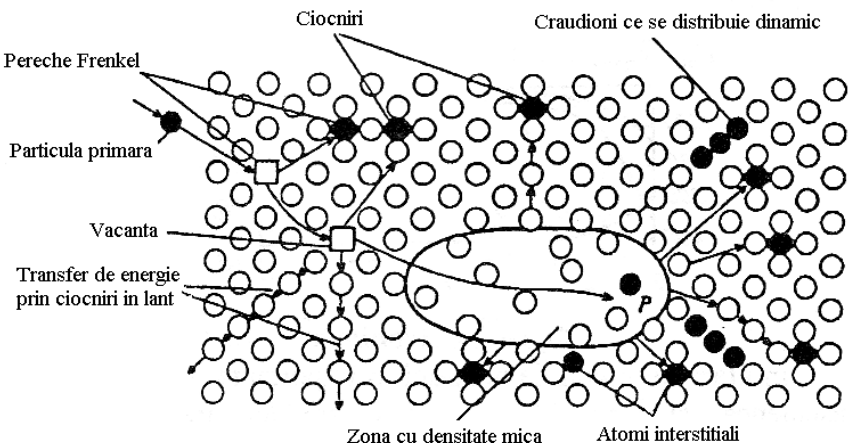
Tabelul 8.1 - Componentele si materialele unui reactor nuclear

Component	Utilizarea	Materialul
Combustibil	Pentru realizarea reactiei de fuziune si degajarea de energie	^{233}U , ^{235}U , ^{239}U , ^{241}U
Agent termic	Pentru extragerea caldurii din zona activa a reactorului	Apa obisnuita, apa grea, lichide organice, CO_2 , aer, He, Na, Bi, eutectic Na-K
Agent de franare	Pentru incetinirea fuziunii rapide a neutronilor	Apa obisnuita, apa grea, grafit, Be, oxid de beriliu
Agent de reflexie	Pentru diminuarea scurgerilor de neutroni, pentru protectia personalului de radiatia ionizanta	—, —, —
Bare conducatoare	Pentru controlul puterii	Cd, B, Hf, Gd, Ag, In
Materiale de constructie	Pentru invelisul combustibilului, pentru constructia zonei active	Otel inox Cr-Ni, aliaje pe baza de Al si Zr

Otel inox Cr-Ni,
aliaje pe baza de Al
si Zr

8.2. Deteriorarea prin iradiere a materialelor de constructie

Sub actiunea radiatiilor, materialele de constructie sufera transformari structurale ce au o influenta negativa asupra proprietatilor mecanice si asupra rezistentei la coroziune.

<p>Radiația cu neutroni</p> <p>Defecte de iradiere</p> <p>Dislocații</p> <p>Vacanțe</p> <p>Atomi interstițiali</p> <p>Recoacerea prin iradiere</p> <p>Formare de He</p>	<p>Dintre toate tipurile de radiatii (cu neutroni, cu particule α sau β, radiatia γ), cea mai puternica influenta o are <u>radiatia cu neutroni</u>.</p> <p>Materialele care-si pastreaza stabilitatea structurala si proprietatile sub actiunea radiatiei cu neutroni, se numesc materiale stabile la radiatii.</p> <p>Fluxul de neutroni caracterizeaza doza sumara de radiatie si reprezinta masura acumularii activitatii radioactive.</p> <p><u>Figura 8.2</u> - Modelul defectelor ce apar ca urmare a iradierii, cauzate de ciocnirea neutronilor cu atomii rețelei cristaline</p>  <p>Interacțiunile produc dislocări ale atomilor sau o cascada de dislocări în rețea în funcție de cantitatea de energie transmisă de neutron atomului de metal. Primul atom ce a fost bombardat de neutron, ca în biliard, va lovi alți atomi, generând astfel în rețea și alte dislocări. În urma acestei cascade de dislocări se generează volume cu o densitate mare de vacanțe, având la periferie o concentrație mare de atomi interstițiali.</p> <p>Un singur neutron este capabil să creeze în Al, de exemplu, mai mult de 6000 de vacanțe, iar în beriliu, care are o energie a legăturii interatomice mai mare, mai mult de 450 de vacanțe.</p> <p>În afara de dislocări, fluxurile puternice de neutroni excita atomii și întăresc vibrația acestora, care este însoțită de ridicarea locală a temperaturii. Creșterea temperaturii facilitează recoacerea prin iradiere, care presupune anihilarea de vacanțe și de atomi interstițiali.</p> <p>Temperaturile ridicate și radiatia cu neutroni pot induce în material reacții nucleare cu formarea de heliu, care duce la randul sau la apariția de bule de gaz la limita de graunte.</p> <p>Transformările structurale duc la schimbarea proprietăților mecanice. Ca urmare, la o temperatură mai mică decât temperatura de recristalizare - iradiere de joasă temperatură - metalul se durifică, dar pierde din tenacitate și plasticitate.</p> <p>Influența fluxului de neutroni Φ asupra rezistenței mecanice, rezistenței la curgere și asupra plasticității la 20°C pentru un oțel austenitic Cr-Ni este aratăta în figura 8.3. Oțelul are rezistența maximă pentru $\Phi = 3 \times 10^{19}$ neutroni / cm², Rp0,2 având o creștere mai rapidă decât Rm, fapt ce scade</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

capacitatea de ecrisare. Creșterea ulterioară a fluxului nu mai are practic nici o influență asupra proprietăților oțelului.

În afara de fluxul de neutroni, o importanță deosebită o are, de asemenea, și valoarea de temperatură la care are loc iradierea sub $T_{\text{recristalizare}}$ (de joasă temperatură - figura 8.4). Cea mai puternică fragilizare o suferă oțelurile austenitice prin iradierea în intervalul de temperaturi 250 - 350°C. Plasticitatea aliajelor de titan scade și ea prin iradiere. Dar, spre deosebire de oțeluri, acestea nu suferă o scădere de plasticitate în același interval de temperaturi (figura 8.5).

Figura 8.3 - Variația proprietăților mecanice la 20°C pentru oțelul 12Cr-18Ni-10Ti după iradiere cu neutroni la joasă temperatură: 1 - R_m ; 2 - $R_{p0,2}$; 3 - δ ;

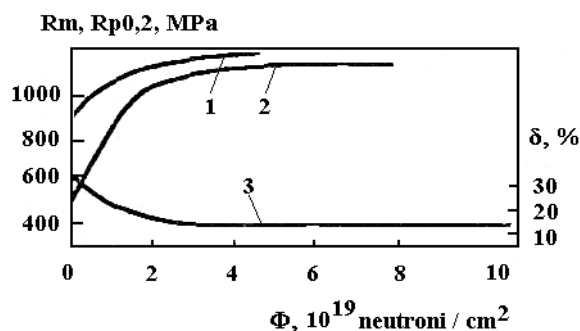


Figura 8.4 - Influența temperaturii de iradiere ($7 \cdot 10^{20}$ neutroni / cm^2) pentru oțelul A304 (18Cr-9Ni) asupra variației proprietăților mecanice la temperatura camerei

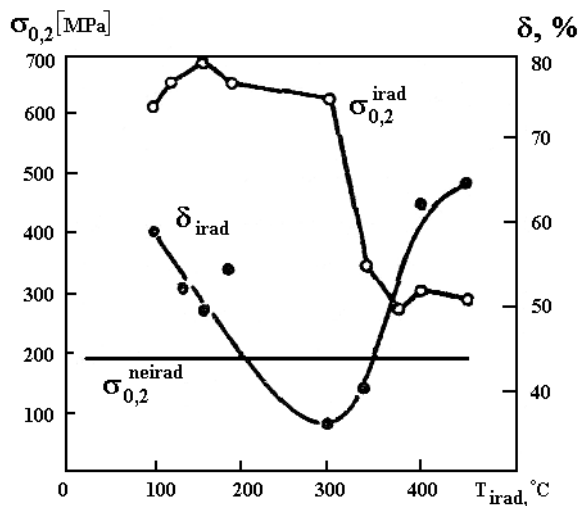


Figura 8.5 - Capacitatea de deformare a aliajului α pe baza de titan înainte (1) și după (2) iradiere ($2 \cdot 10^{21}$ neutroni / cm^2 ; $T_{\text{irad}} \sim 250^\circ\text{C}$; $E > 1 \text{ MeV}$)

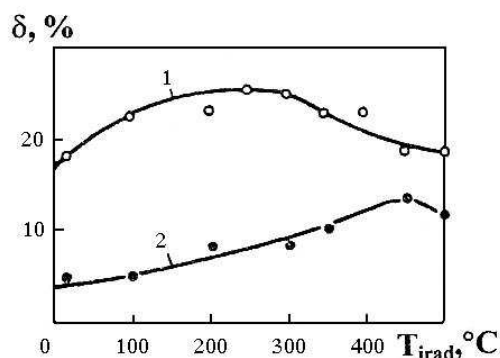
Rezistența
mecanică crește

Plasticitatea
scade

În special defecte punctiforme la iradierea de temp. Joasă

Îmbătrânirea la iradierea de temp. Înaltă

Dilatarea prin radiații



Actiunea iradierii de joasa temperatura asupra proprietatilor aminteste procesul de ecruisare. Cu toate acestea, mecanismele de deteriorare prin radiatii si prin ecruisare a structurii materialului sunt principal diferite, deoarece deteriorarea prin radiatii este legata in principal de formarea de defecte punctiforme de retea, pe cand durificarea prin deformare este legata de aparitia defectelor liniare.

In conditiile unei iradiieri la temperaturi mai mari decat temperatura de recrystalizare (iradiere de temperatura inalta), rolul defectelor punctiforme rezultate in urma radiatiilor scade foarte mult.

Vacantele si atomii interstitiali, partial se anihileaza reciproc, partial interactioneaza cu impuritatile, dislocatiile, sau limitele de graunte. Atomii interstitiali si vacantele ramase se unesc in clasteri, care la randul lor se pot transforma in bucle de dislocatii interstitiale, sau tip vacanta.

Iradierea de temperatura inalta activeaza procesele de difuzie, facilitand precipitarile din solutiile solide suprasaturate, deci a **imbattranirii**. Prin acest fenomen se explica, de exemplu, fragilizarea de temperatura inalta a otelurilor austenitice crom-nichel.

Tot prin activarea proceselor de difuzie se explica si scaderea rezistentei prin iradiere. Scaderea refractaritatiei se accentueaza cu cresterea temperaturii si cu intensitatea fluxului de neutroni.

Prin iradierea de temperatura inalta cu flux mare de neutroni, in otelurile austenitice si in aliajele pe baza de Ni, Ti, Mo, Zr, Be, apar si se dezvoltă clasteri de vacante, iar atomii interstitiali cu o mai mare mobilitate sufera deplasari mult mai mari (spre dislocatii marginale, sau limite de graunte), fapt ce duce la o crestere vizibila a volumului metalului - **dilatarea prin radiatii.**

Volumul otelurilor austenitice, iradiate la 450°C, creste liniar cu ridicarea fluxului de neutroni (figura 8.7). Volumul poate creste cu 20% sau chiar mai mult daca, ca urmare a iradierii, se acumuleaza gaze in micropori.

Figura 8.6 - Evolutia structurii defectuoase a otelului austenitic sub actiunea radiatiei ionilor de crom (E=1MeV): a) clasteri de defecte punctiforme pentru o iradiere de 0,1disloc / atom; b) bucle de dislocatii; c) retea de dislocatii; d) pori de vacante;

Remediu:

Alierea
otelurilor Cr-Ni
cu **Ti, Mo, Nb**

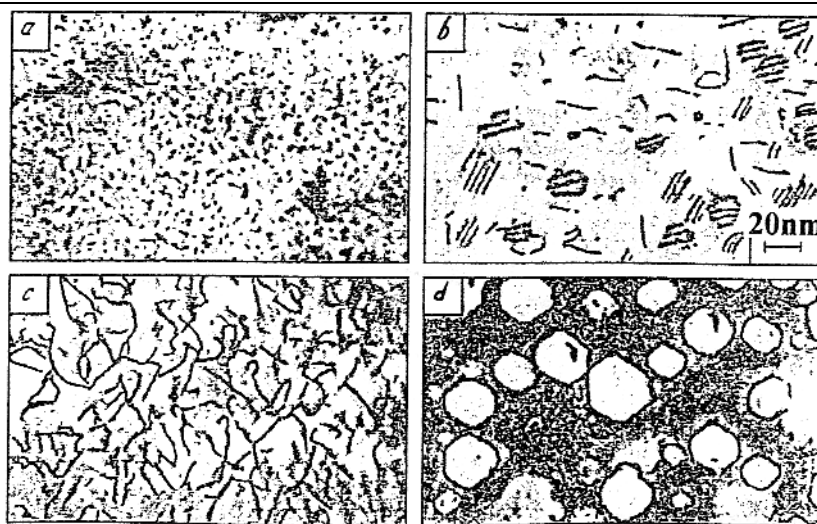
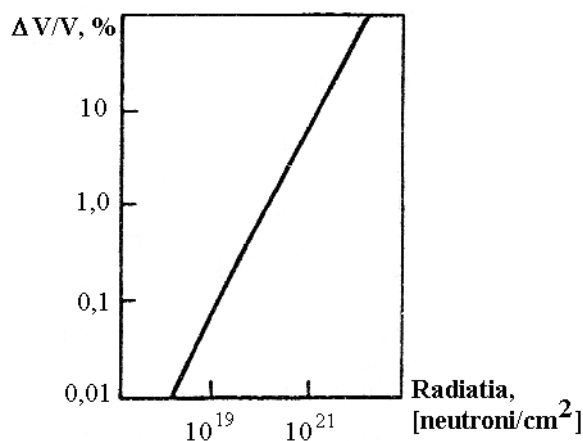


Figura 8.7 - Influenta radiatiei la 450°C asupra cresterii relative de volum pentru otelul austenitic 12Cr-18Ni-10Ti



Alierea otelurilor Cr-Ni cu Ti, Mo, Nb scade din intensitatea dilatarii volumului prin iradiere. Otelurile feritice si perlitice inalt aliate cu crom cu o solubilitate foarte scazuta a hidrogenului se caracterizeaza si ele printr-o tendinta mai scazuta spre dilatare.


Actiunea iradierii asupra materialelor polimerice duce la ruperea lanturilor polimerice. Dislocarea fragmentelor de lanturi precum si a radicalilor liberi modifica proprietatile polimerilor, ducand la ruperea acestora.

Exemple de astfel de modificari de proprietati ale catorva materiale sub actiunea radiatiei cu neutroni sunt aratate in Tabelul 8.2.

Tabelul 8.2 - Actiunea radiatiei de neutroni asupra diferitelor materiale

Fluxul integral al neutronilor accelerati, neutroni / cm ²	Materialul	Actiunea radiatiei
10 ¹⁴ -10 ¹⁵	Politetraftoretlen, polimetilmetacrilat si celuloze	Scaderea rezistentei la intindere
10 ¹⁶	Cauciuc	Scaderea elasticitatii
10 ¹⁷	Lichide organice	Formarea de gaze
10 ¹⁸ - 10 ¹⁹	Metale Polistirol	Cresterea evidenta a limitei de curgere Scaderea rezistentei la intindere

Scăderea
rezistenței la
coroziune

	10^{20}	Materiale ceramice	Scaderea conductibilitatii termice, a densitatii si a cristalinitatii
		Toate masele plastice	Inutilizabile ca materiale de constructie
		Otel carbon	Scaderea semnificativa a plasticitatii, dublarea limitei de curgere, cresterea temperaturii ductil-fragil
	$10^{20} - 10^{21}$	Otel inoxidabil	Triplarea limitei de curgere
	10^{21}	Aliaie de Al	Scaderea plasticitatii fara fragilizare integrala
	<p>La iradiere scade puternic rezistenta la coroziune a metalelor si aliajelor. Cum in centralele atomo-electrice apa si vaporii de apa reprezinta purtatorii de caldura, sub actiunea radiolizei moleculele de apa se distrug, formandu-se ioni si atomi de oxigen, hidrogen, sau gruparea hidroxil OH-.</p> <p>Materialele de constructie pentru reactoarele nucleare supuse radiatiilor lucreaza in contact direct cu apa sau cu vaporii de apa.</p> <p>Oxigenul format ataca metalul oxidandu-l, iar hidrogenul il fragilizeaza. Cresterea concentratiei gruparii OH- faciliteaza dizolvarea peliculelor superficiale de oxid, care in conditii normale ar fi protejat metalul impotriva coroziunii.</p> <p>Viteza de coroziune a aliajelor pe baza de Al in mediu apos in conditii de iradiere creste de 2-3 ori.</p> <p>Otelurile austenitice Cr-Ni in mediu de vapori de apa se corodeaza intercrystalin, fisurandu-se astfel prin coroziune.</p>		
	<p>Test de autoevaluare 8.1 – Scrieti raspunsul in spatiul liber din chenar.</p> <p>Dintre toate tipurile de radiatii cunoscute care este cea mai nociva pentru structura unui material metalic ?</p>		
	Raspunsul la test se gaseste la pagina .		
	...		
	...		



Test de autoevaluare 8.2 – Scrieti raspunsul in spatiul liber din chenar.

De ce prin iradierea de temperatură înaltă apare în oțelurile austenitice o dilatare de volum ?

Raspunsul la test se gaseste la pagina .

...



Test de autoevaluare 8.3 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.
Care este acțiunea iradierii asupra materialelor polimerice ?

Răspunsul la test se găsește la pagina .

Am ajuns la sfârșitul Unității de învățare Nr. 8.

În loc de
rezumat

Vă recomand să faceți o recapitulare a principalelor subiecte prezentate în această unitate și să revizuiți obiectivele precizate la început.

Este timpul pentru întocmirea Lucrării de verificare Unitate de învățare Nr. 8 pe care urmează să o transmiteți tutorelui.

Lucrare de verificare Unitate de învățare Nr. 8



- Care este dinamica defectelor de rețea cristalină la impactul fluxului de neutroni cu atomii aliajului metalic iradiat?
- Care este evoluția proprietăților mecanice ale unui material metalic la iradierea de joasă temperatură ? Explicați.
- Care sunt modificările structurale care au loc la îmbătrânirea de temperatură înaltă ?
- Care este unul din remediile micșorării dilatării volumice prin iradiere ?
- De ce prin iradiere scade rezistența la coroziune ?

Barem:

Intrebarea nr.	Punctaj maxim acordat
1	2
2	2
3	2
4	2
5	2

Răspunsurile și comentariile la testele de autoevaluare



8.1. Radiația cu neutroni

8.2. Prin iradierea de temperatura înaltă cu flux mare de neutroni, în oțelurile austenitice și în aliajele pe baza de Ni, Ti, Mo, Zr, Be, apar și se dezvoltă clusteri de vacanțe, iar atomii interstitali cu o mai mare mobilitate suferă deplasări mult mai mari (spre dislocații marginale, sau limite de grăunțe), fapt ce duce la o creștere vizibilă a volumului metalului, numită dilatarea prin radiații.

8.3. Acțiunea iradierii asupra materialelor polimerice duce la ruperea lanțurilor polimerice. Dislocarea fragmentelor de lanțuri precum și a radicalilor liberi modifică proprietățile polimerilor, ducând la ruperea

acestora.

Bibliografie Unitate de învățare Nr. 8



A. Nocivin, Materiale avansate, Ed. Ovidius University Press, Constanța, 2001, pag.158-175

Unitatea de învățare Nr. 9 – UI-9

Aliaje metalice rezistente la radiatii – Partea a II-a

Cuprins	Pagina
Obiectivele Unității de învățare Nr. 9.....	82
9.1. Compozitia si proprietatile materialelor rezistente la radiatii utilizate pentru corpul centralelor atomo-electrice	82
9.2. Compozitia si proprietatile materialelor rezistente la radiatii utilizate pentru schimbatoarele de caldura din centralele atomo-electrice	85
9.3. Compozitia si proprietatile materialelor de constructii, rezistente la radiatii, utilizate pentru elementele exoterme din centralele nucleare-electrice	85
Lucrare de verificare pentru Unitatea de învățare Nr. 9.....	86
Răspunsuri și comentarii la testele de autoevaluare.....	86
Bibliografie pentru Unitatea de învățare Nr. 9.....	87



OBIECTIVELE Unității de învățare Nr. 9

Principalele obiective ale Unității de învățare Nr. 9 sunt:



- Prezentarea principalelor caracteristici legate de compozitia si proprietatile materialelor rezistente la radiatii utilizate pentru corpul centralelor atomo-electrice, pentru schimbatoarele de caldura si pentru elementele exoterme din aceste centrale

CONTINUTUL UI-9:

<p>otelurile feritice slab aliate</p> <p>oteluri Cr-Ni austenitice inoxidabile</p> <p>aliaje pe baza de Ni si Co</p>	<p>1. Compozitia si proprietatile materialelor rezistente la radiatii utilizate pentru corpul centralelor atomo-electrice</p> <p><u>otelurile feritice slab aliate</u>, cu carbon scazut de tipul A508-2 si A533 (conform ASTM).</p> <p>Otelurile sunt aliate cu mangan si molibden, iar otelul A508-2 are in plus nichel si crom. Dupa imbunatatire, otelurile se caracterizeaza prin rezistenta si tenacitate ridicate, avand in plus o sudabilitate foarte buna datorita continutului scazut de carbon. Condițiile tehnice impuse de ASTM acestor oteluri, pentru cresterea rezistentei la radiatii, stabilesc <u>un continut minimal de impuritati</u> ($< 0,012\%P$ si $0,015\%S$) si mai ales de cupru si vanadiu ($< 0,1\%Cu$ si $0,06\%V$). Aceste oteluri feritice pierd rapid din rezistenta, odata cu cresterea temperaturii, neavand o suficienta rezistenta la coroziune.</p> <p>De aceea, suprafetele interioare ale tuturor componentelor din corpul reactorului sunt placate cu <u>oteluri Cr-Ni austenitice inoxidabile</u> din seria 300 AISI. Compozitia chimica si proprietatile acestor oteluri precum si a altor oteluri rezistente la radiatii sunt indicate in tabelele 9.1 si 9.2.</p> <p>Se utilizeaza oteluri de tipul 304 (Ni90Cr180), 316 (Ni120Cr180), 304L, 316L, aliate suplimentar cu molibden. Litera L indica continutul scazut de carbon, care in aceste oteluri este de 0,03% fata de valoarea de 0,08% corespunzatoare otelurilor clasice.</p> <p>Otelurile cu continut de carbon scazut au o rezistenta la coroziune mult mai ridicata, mai ales la cea intercrystalina si sub presiune. Compozitia otelurilor austenitice din alte tari sunt apropiate de cele americane.</p> <p>Corpul reactorului cu metal lichid, ce lucreaza la temperaturi mult mai ridicate, este fabricat in intregime din oteluri de tipul 304 si 316, tocmai pentru a evita fluajul. Corpul reactoarelor moderne HTGR lucreaza la temperaturi si presiuni si mai ridicate in zona activa ($\sim 700^{\circ}C$ si respectiv 7,25 MPa).</p> <p>Pentru acestea se utilizeaza <u>aliaje pe baza de nichel si cobalt</u>, aliate cu crom si molibden. Rezistenta la fluaj a acestor aliaje speciale este de aproximativ 2 ori mai mare decat cea a otelurilor 18/8 austenitice la temperatura de $650^{\circ}C$, iar la temperaturi mai ridicate aceasta diferenta creste.</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Compoziții
chimice

Tabelul 9.1 - Compozitia otelurilor utilizate in constructia reactoarelor nucleare, % at

Marca otelului	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	Alte elem.
Oteluri carbon si slab aliate feritice								
A508/2	0,27	-	0,7	0,35	0,7	0,6	0,05	Cu<0,1
A533	0,23	0,15-0,3	1,15-1,5	-	-	0,45-0,6	0,05	Cu<0,1
Oteluri inox feritice								
AISI :								
403	0,15	0,5	-	11,5-13	-	1		-
410	0,15	1,0	-	11,5-	-	1		-
Suedia :	0,20	0,4	1,0	13,5	-	0,55	0,3	0,5W
HT9	0,10	0,3	2,0	11,5	-	1	0,35	0,5Nb
Franta : R8	<0,06	0,5	1,8-2,2	9,5	-	0,3-0,7	-	-
Japonia : HCM9M				8-10				
Oteluri inox austenitice								
AISI :								
304	0,08	1	2	18-20	8-12	2		
304L	0,03	1	2	18-20	8-12	2		
316	0,08	1	2	16-18	10-14	2		
316L	0,03	1	2	16-18	10-14	2-3		
321	0,08	1	2	17-19	9-12	-		Ti>5x%C
347	0,08	1	2	17-19	9-12	-		Nb>10x%C

Proprietăți
mecanice

Tabelul 9.2 - Proprietatile mecanice ale otelurilor austenitice inoxidabile CrNi la temperatura camerei:

Marca otelului	304	304L	316	316L	347
Rezistenta mecanica, MPa	552	483	517	483	552
Limita de curgere, MPa	207	172	207	207	207
Alungirea relativa A5, %	50	40	40	40	40
Contractie relativa, %	60	60	50	60	50
Modulul Young, GPa	200	200	200	200	200
Duritate Brinell	180	180	200	180	200
Rezistenta la fluaj, MPa, la 538°C:					
pentru o deformatie de 1 % timp de 10000h	131	131	165	165	221
pentru o deformatie de 1% timp de 100000h	90	90	103	103	186

Fenomenul cel mai periculos care poate sa apara in urma iradierii este **cresterea in volum a materialului metalic** ($\Delta V/V$) sau **"umflarea" aliajului**.

In figura 9.1 sunt indicate caracteristicile acestei "umflari" datorata iradierii a o serie de oteluri si aliaje. Acest fenomen poate fi impiedicat printr-o recombinaie structurala a aliajelor, ce consta dintr-o descompunere neintrerupta a solutiei solide suprasaturate, insotita de o dilatare la limita dintre matrice si faza secundara ce se formeaza. Campul de tensiuni structurale care i-a nastere la descompunerea solutiei solide duce la recombinaia defectelor datorate iradierii, diminuand simtitor fenomenul de crestere in volum.

Aceasta diminuare se semnaleaza si prin cresterea continutului de Ni, putand fi in intregime evitata pentru o concentratie de 40%Ni (figura 9.2).

Influența Ni

Figura 9.1 – Influența %Ni asupra creșterii de volum prin iradiere a oțelurilor și aliajelor cu rețea CVC și CFC

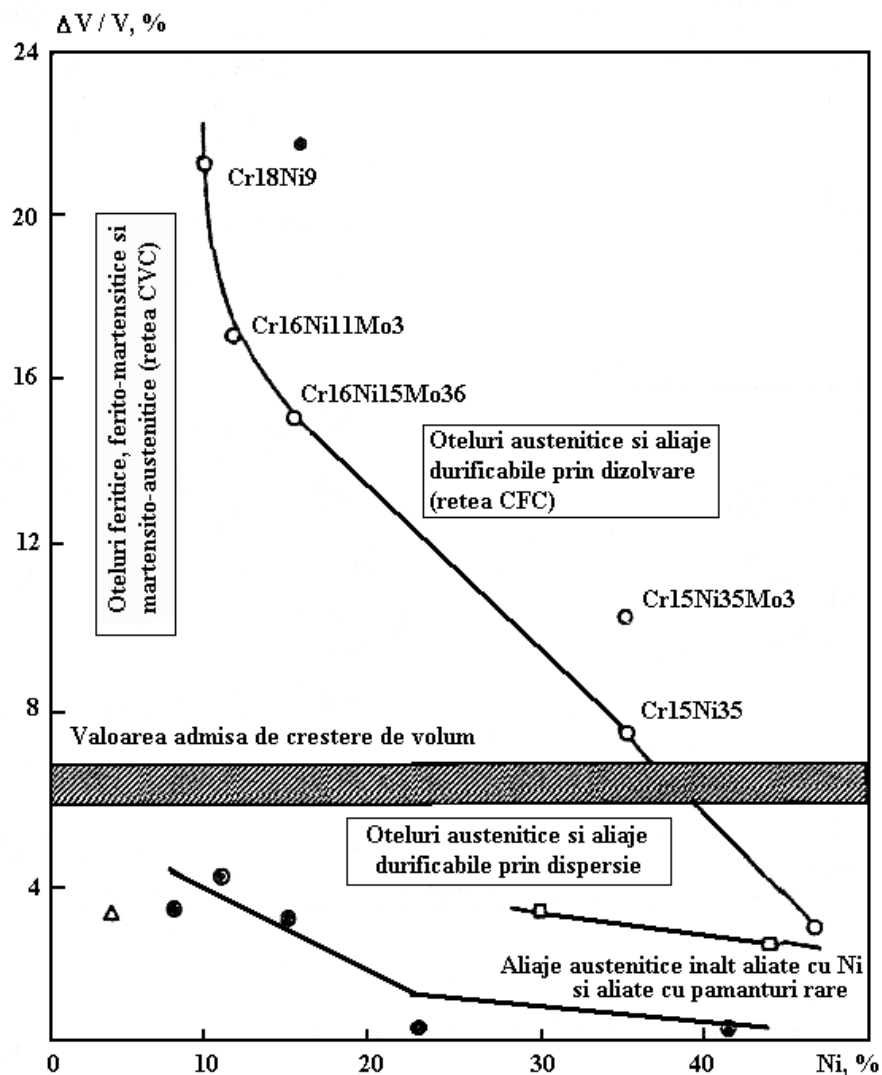
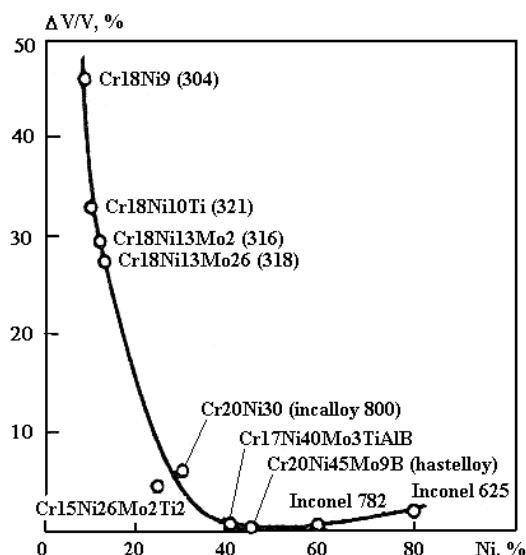


Figura 9.2 - Influența %Ni asupra creșterii de volum datorat iradierii pentru diferite aliaje și oțeluri austenitice Cr-Ni: iradiere cu ioni de Ni^{2+} cu o energie de 5 MeV și un flux de 10^{17} neutroni / cm^2 la 635°C

Durificarea prin
dispersie



Alierea cu titan si aluminiu faciliteaza trecerea otelurilor in grupa **materialelor durificabile prin dispersie**, ceea ce permite micșorarea continutului ridicat de nichel, impiedicand in intregime fenomenul de crestere in volum.

Durificarea prin dispersie este ajutata si de modificarea otelului cu elemente din grupa pamanturilor rare - ytriu si prazeodim.

Rezistenta la "umflare" se atinge si pentru otelurile aliate "economic" cu nichel, cum sunt cele cu 23%Ni, 12%Cr, 3%Ti, 4%Zr, Mo (12Cr-23Ni-3Ti-4Zr-Mo), cu 15%Ni, 15%Cr, 3%Mo, 4%Zr, Ti (15Cr-15Ni-3Mo-4Zr-Ti), sau cu 11%Ni, 15%Cr, 2%Ti, 4%Zr (15Cr-11Ni-4Zr-2Ti).

Inconel 600

Inconel 800

9.2. Compozitia si proprietatile materialelor rezistente la radiatii utilizate pentru schimbatoarele de caldura din centralele atomoelectrice

In reactoarele nucleare se utilizeaza mari generatoare de aburi, cu ajutorul carora se realizeaza transferul de caldura de la primul circuit spre cel de-al doilea. Acest transfer de caldura se face prin peretii tuburilor generatoarelor cu aburi. Materialul acestor tuburi trebuie sa aiba stabilitate termica si rezistenta la coroziune, mai ales in cel de-al doilea circuit, unde mediul este mult mai agresiv.

Initial, pentru obtinerea acestor oteluri se utilizau cele de tipul **18-8** sau **18-12**. O siguranta mult mai mare o au tevilor obtinute prin deformare plastica la rece din aliaje pe baza de nichel.

In SUA, de exemplu, se utilizeaza in acest scop aliajul **inconel 600**, care are 60,5%Ni, 23%Cr, 14,1 %Fe si mici cantitati de alte elemente. In Germania se utilizeaza in schimb **inconel 800** (34%Ni, 21%Cr, 43%Fe).

Inconel 600 prezinta caracteristici de rezistenta ridicate si o rezistenta buna la fluaj pana la 630-650°C, peste aceste valori de temperatura rezistenta la fluaj scazand brusc.

Din trei materiale studiate - *otelurile inoxidabile de tipul 316, inconel 800 si inconel 600* - stabilitatea cea mai mare la coroziunea fisuranta o are aliajul Inconel 800. Siguranta mare o au si aliajele de titan, mai ales in medii agresive. Insa utilizarea acestora este impiedicata deocamdata de

	<p>pretul ridicat atat al titanului, cat si a tehnologiei de fabricatie.</p> <p>a. Compozitia si proprietatile materialelor de constructii, rezistente la radiatii, utilizate pentru elementele exoterme din centralele nucleare-electrice</p> <p>Elementele exoterme din centralele nucleare sunt <u>teville lungi in care se incarca combustibilul</u> sub forma de tablete din oxid de uraniu, sau amestec de oxid de uraniu si oxid de plutoniu. Teville au rol de invelis si reprezinta o bariera ce impiedica iesirea in circuit a produsilor de reactie ce rezulta din combustibil in urma iradierii.</p> <p>Constructia acestor elemente trebuie sa permita realizarea unui circuit al combustibilului, avantajos din punct de vedere economic. Pe langa o stabilitate ridicata la radiatii, aceste elemente trebuie sa prezinte si o mare siguranta in serviciu.</p> <p>Prima cerinta in acest ultim sens este aceea de a avea o sectiune foarte scazuta de captare a neutronilor.</p> <p>Cea de-a doua se refera la necesitatea unor caracteristici mecanice si de rezistenta la coroziune ridicate.</p>
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



Test de autoevaluare 9.1 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.
Care sunt aliajele metalice rezistente la radiatii utilizate pentru corpul centralelor atomo-electrice ?

Răspunsul la test se găsește la pagina .

...



Test de autoevaluare 9.2 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.
Care este cel mai periculos fenomen care poate să apară în urma iradierii ?

Răspunsul la test se găsește la pagina .

...



Test de autoevaluare 9.3 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.
Care sunt aliajele metalice care se utilizează pentru schimbătoare de căldură din centralele atomo-electrice?

Răspunsul la test se găsește la pagina .

În loc de

...

rezumat

Am ajuns la sfârșitul Unității de învățare Nr. 9.

Vă recomand să faceți o recapitulare a principalelor subiecte prezentate în această unitate și să revizuiți obiectivele precizate la început.

Este timpul pentru întocmirea Lucrării de verificare Unitate de învățare Nr. 9 pe care urmează să o transmiteți tutorelui.

Lucrare de verificare Unitate de învățare Nr. 9



- Care este avantajul din punct de vedere mecanic al unui oțel inox austenitic față de unul inox feritic ?
- De ce se impune oțelurilor austenitice inoxidabile utilizate ca materiale rezistente la radiații un conținut scăzut de carbon ?
- Cum poate fi împiedicat fenomenul de creștere în volum al materialelor metalice supuse radiațiilor cu neutroni ?
- Care sunt compozițiile chimice ale aliajelor Inconel 600 și Inconel 800 ?
- Care din următoarele aliaje are cea mai mare stabilitate la coroziune fisurantă - oțelurile inoxidabile de tipul 316 (18-8 sau 18-12), inconel 800 și inconel 600 ?

Barem:

Intrebarea nr.	Punctaj maxim acordat
1	2
2	2
3	2
4	2
5	2

Răspunsurile și comentariile la testele de autoevaluare



- 9.1.** Oțelurile feritice slab aliate, oțeluri Cr-Ni austenitice inoxidabile, aliaje pe baza de Ni și Co
- 9.2.** Fenomenul cel mai periculos care poate să apară în urma iradierii este creșterea în volum a materialului metalic ($\Delta V/V$) sau "umflarea" aliajului.
- 9.3.** Oțelurile inoxidabile de tipul 316 (18-8 sau 18-12), inconel 800 și inconel 600

Bibliografie Unitate de învățare Nr. 9



A. Nocivin, Materiale avansate, Ed. Ovidius University Press, Constanța, 2001, pag. 158-175

Unitatea de învățare Nr. 10 – UI-10

Materiale compozite durificate prin dispersie

Cuprins	Pagina
Obiectivele Unității de învățare Nr. 10.....	89
10.1. Caracteristici generale ale materialelor compozite	89
10.2. Materiale compozite durificate prin dispersie	91
10.3. Aplicații ale compozitelor durificate prin dispersie	92
Lucrare de verificare pentru Unitatea de învățare Nr. 10.....	98
Răspunsuri și comentarii la testele de autoevaluare.....	98
Bibliografie pentru Unitatea de învățare Nr. 10.....	98



OBIECTIVELE Unității de învățare Nr. 10

Principalele obiective ale Unității de învățare Nr. 10 sunt:



- Prezentarea caracteristicilor generale ale unui material compozit
- Proprietatile si mecanismul structural de formare a unui compozit durificat prin particule disperse durificatoare
- Aplicatiile compozitelor durificate prin dispersie

CONTINUTUL UI-10:

Sistem eterogen

Componente
insolubile

10.1. Caracteristici generale ale materialelor compozite

Se poate spune ca materialele metalice si nemetalice traditionale utilizate la ora actuala si-au atins limita lor constructiva deoarece in prezent, prin dezvoltarea vertiginoasa a tuturor domeniilor tehnologice, sunt necesare materiale avansate capabile sa lucreze in combinatii din ce in ce mai complexe de campuri de forte si temperaturi, in medii agresive, sub influenta radiatiilor, in vid sau sub presiuni inalte, dar in conditii de totala siguranta. Una din categoriile de materiale avansate care pot raspunde foarte bine acestor noi cerinte o reprezinta materialele compozite.

Materialul compozit reprezinta un **sistem eterogen** in care componentele sunt total insolubile unele in altele, proprietatile acestora sunt diferite, dar sunt puse in valoare prin metodele constructionale particulare ale materialului. Rezulta, in mod evident, ca prin asocierea acestor componente se obtin noi materiale cu proprietati deosebite, total diferite de ale componentelor individuale.

Principiul de formare a unui material compozit a fost, de fapt, imprumutat de om din natura. Materiale compozite tipice sunt trunchiurile copacilor, tulpinele plantelor, sau chiar constructiile osoase umane sau animale.

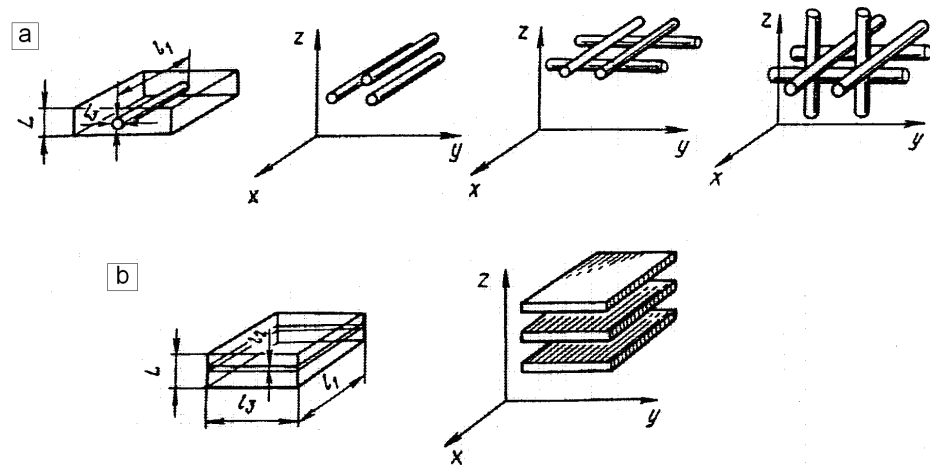
Materialele compozite permit obtinerea unei combinatii dorite de proprietati diferite: rezistenta specifica ridicata si rigiditate, rezistenta la temperaturi ridicate, rezistenta la uzura, proprietati termoprotective, etc. Prin aparitia materialelor compozite a fost posibil, de exemplu, un important salt calitativ in imbunatatirea puterii motoarelor, in diminuarea greutatii totale a masinilor, mijloacelor de transport, a diferitelor constructii, sau a aparatelor de zbor. Principalele caracteristici ale materialelor cu destinatiile amintite o reprezinta valorile ridicate ale rezistentei specifice σ_m / ρ si rigiditatii specifice E / ρ , unde σ_m – rezistenta la rupere, E – modul de elasticitate transversal, ρ - densitatea materialului. In functie de primele doua caracteristici – rezistenta specifica si rigiditatea - materialele compozite depasesc semnificativ toate aliajele metalice de constructii cunoscute.

Matrice
+
Faza de armare

Materialul compozit este format din doua faze principale: matricea, care trebuie sa fie un material mai plastic si faza de armare, sau de ranforsare, care trebuie sa fie dura si rezistenta. Proprietatile materialului compozit sunt date atat de combinatia de proprietati matrice – material de armat, cat si de

Acest tip de ranforsare duce evident la cresterea rezistentei materialului compozit, insa tehnologia este mai complexa si deci mai scumpa decat armarea cu particule disperse.

Figura 10.2 – Schema de armare a materialelor cu fibre (a) si in straturi (b).



Materialele compozite in straturi – figura 10.2, b – se obtin din straturi alternante de matrice si faza de armat (“sandwich”). Aceste straturi pot avea orientari diferite. In ceea ce priveste matricea se pot utiliza diferite materiale, deci mai multe straturi cu proprietati mecanice diferite. De obicei pentru acest tip de material compozit stratificat se utilizeaza materiale nemetalice.

10.2. Materiale compozite durificate prin dispersie

Durificarea prin dispersie presupune blocarea de catre particule a proceselor de alunecare din matrice. Eficienta durificarii, in conditiile unei interactiuni minimale cu matricea, depinde de:

- tipul particulelor,
- concentratia volumica a acestora,
- uniformitatea distributiei in matrice.

Se utilizeaza particule disperse de faze greu fuzibile de tipul Al_2O_3 , SiO_2 , BN, SiC, ce au o densitate mica si un modul de elasticitate ridicat. Astfel, aceste materialele compozite se obtin de regula prin metodele metalurgiei pulberilor al carei principal avantaj este izotropia proprietatilor pe diferite directii.

Durificarea prin dispersie se produce in conditii in care precipitatele nu se deformeaza odata cu matricea, ci sunt ocolite de dislocatiile care se deplaseaza prin matrice (Figura 10.3). Precipitatele actioneaza ca puncte de ancorare ale dislocatiei mobile, obligand-o sa se curbeze sub actiunea tensiunii aplicate. La o anumita curbura (Figura 10.3, b) punctele A si B ale dislocatiei se apropie si se unesc. Intrucat semnul dislocatiei in A este opus celui din B, cand segmentele dislocatiei se ating in aceste puncte ele se anihileaza producand (figura 10.3, c) separarea dislocatiei principale de buclele inchise care raman in jurul precipitatelor. Valoarea efectului de durificare produs in cazul prezentei precipitatelor poate fi calculata

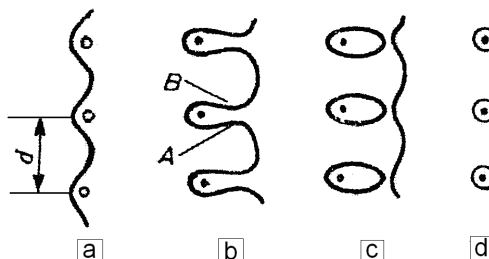
Mecanism de
durificare prin
dispersie

Faze secundare
insolubile

considerand comportarea dislocatiei la trecerea peste particulele precipitate similara functionarii unei surse Franck-Read.

Procesul de durificare prin dispersie devine important in stadiile avansate de imbatranire cand precipitatele devin incoerente si tensiunile interne din matrice dispar.

Figura 10.3 – Mecanismul de durificare prin dispersie: a, b, c, d – etape succesive in procesul de deplasare prin alunecare a liniei de dislocatie cu ocolirea particulelor de precipitat.



Spre deosebire de durificarea prin precipitare, bazata pe solubilizarea si reprecipitarea unor faze secundare solubile, durificarea prin dispersie se bazeaza pe prezenta unor faze secundare insolubile ceea ce face efectul de durificare mai putin dependent de temperatura. Aceasta comportare recomanda aliajele durificate prin dispersie pentru utilizari la temperaturi inalte pana la circa 0,7 din temperatura de topire a matricei.

Sunt utilizate practic **aliajele de aluminiu durificate prin dispersie cu particule de Al_2O_3** si aliajele de nichel durificate prin dispersie cu oxizi refractari. Dintre acestea din urma cel mai uzual este **nichelul TD** care consta din nichel in care s-a introdus o dispersie fina de particule de oxid de thoriu - ThO_2 , cu dimensiuni intre 100 si 500 Å (0,01 – 0,05 μm). Nichelul TD devine superior superaliajelor la temperaturi peste 1000 °C.

10.3. Aplicatii ale compozitelor durificate prin dispersie

Materiale tip
SAP

1. Industrial, cel mai des utilizat material compozit durificat prin dispersie este cel pe baza de aluminiu (material tip SAP – sintered aluminium powder) si mai rar cel pe baza de nichel, evident motivatia principala fiind legata in primul rand de diferenta de cost.

Materialele compozite de tip SAP au matricea din aluminiu, care este durificata printr-o dispersie fina de particule de oxid de aluminiu. Pulberea de aluminiu se obtine prin pulverizarea metalului topit, cu maruntirea ulterioara in mori cu bile in prezenta oxigenului pana la o dimensiune medie de ~ 1 μm .

Cu cat durata de macinare este mai mare, pulberea devine din ce in ce mai fina, iar continutul de oxid de Al creste. Tehnologia ulterioara de obtinere de semifabricate sau produse finite din SAP cuprinde in continuare urmatoarele operatii: presarea la rece, sinterizare, presare la cald, laminarea sau presarea produsului din Al in forme finite care ulterior pot fi tratate termic suplimentar.

Aliajele de tip SAP se deformeaza de regula la cald, cele care contin intre

De asemenea, **stabilitatea termica a particulelor disperse** ofera o excelenta rezistenta la inmuiere a materialului compozit.

Produsele care se obtin din acest nou material, precum diferite bare, tuburi, sau table, sunt fabricate prin consolidarea prin extruziune la cald sau prin presare izostatica la rece a pulberii de cupru durificata prin dispersie, pana la valori apropiate de densitatea teoretica.

Daca pe langa particulele disperse de oxid de aluminiu se adauga si ~ **10% gr. Nb** se obtine un material compozit care, combinand proprietatile de refractaritate ale Nb, este special conceput pentru electrozi de sudura pentru oteluri speciale de scule. Adaosul de ~ 10% Nb in matricea de cupru a materialului compozit consolidat cu particule disperse de oxid de aluminiu creste rezistenta si duritatea materialului in ansamblu cu reduceri minime a conductivitatii electrice.

In tabelul 10.2 sunt redate prin comparatie cateva proprietati de rezistenta ale compozitului extrudat, durificat prin dispersie doar cu oxid de aluminiu si ale celui durificat in plus si cu particule de niobiu.

Tabelul 10.2 – Compozitia si proprietatile materialului compozit durificat prin dispersie cu oxid de aluminiu si particule de niobiu

Materialul	Al ₂ O ₃ % gr.	Nb % gr.	T _{testare} °C	R _m MPa	R _{0,2} MPa	δ %	HB
AL-60	1,1	-	25°	550	520	22	75
			540°	190	170	6	-
AL-60 + Nb 1000	1,0	10	25°	760	550	9	95
			540°	280	235	12	-

3. *Compozite in situ*

Ranforsarea in situ a matricei materialelor compozite este o modalitate promitatoare pentru scaderea substantiala a preturilor materialelor compozite metal-ceramica de inalta performanta. Pe langa proprietatile mecanice ridicate, aceasta modalitate moderna de obtinere a materialelor compozite asigura reducerea in multe situatii a etapelor proceselor clasice de ranforsare prin fibre a matricei materialului compozit. Dintre materialele deja experimentate in conditii de laborator si indicate pentru aplicatii comerciale se numara nitrura de siliciu, durificata prin dispersie in situ si asa numitele *materiale XD – aliaje intermetalice γ-TiAl durificate in situ cu particule de diborid de titan (TiB₂)*.

Materiale XD

Tehnologia XD reprezinta un proces de fabricare a unui material compozit prin care particule ceramice, fibre scurte sau whiskers-uri se dezvoltă in situ in masa matricei metalice. Deoarece aceste ranforsari sunt create din chiar interiorul materialului, ele sunt din punct de vedere termodinamic stabile in cadrul matricei, se formeaza ca monocristale si dau nastere unor interfete matrice / particula de tip incoerent.

Tehnicile utilizate pentru producerea ranforsarii si deci a durificarii in situ pot fi caracterizate in general ca fiind combinatii intre reactii chimice si procese de transport difuziv de masa. Aceste procese pot fi de genul: reactii de difuzie in stare solida; reactii de oxidare-reducere; procese de nucleere, recristalizare, schimb de faza, formare de compusi sau reactii de descompunere.

<p>particule durificatoare de TiB₂ într-o matrice de Ti, sau Ti₃Al sau TiAl</p>	<p>Primele încercări în cadrul acestor tipuri de materiale s-au realizat prin aplicarea procesului de dispersie exotermică pentru obținerea de particule durificatoare de TiB₂ într-o matrice de Ti, sau Ti₃Al sau TiAl.</p> <p>O serie foarte largă de materiale compozite pot fi obținute pe această cale, cu câteva variații adiționale ale reacțiilor. De exemplu, particule sau whiskers-uri de nitrură de Al, nitrură de Ti, nitrură de B, se pot forma în situ prin reacții în atmosferă de azot.</p> <p>Unul din principalele avantaje ale compozitelor în situ îl reprezintă stabilitatea termodinamică a materialului mult mai ridicată față de cea a materialului obținut prin metode convenționale. Materialele produse în situ, în special cele obținute prin reacții exotermice, sunt stabile din punct de vedere al reversibilității constituenților, cum este de exemplu diboridul de titan (TiB₂) dispersat într-o matrice de Ti₃Al.</p> <p>Un avantaj deosebit de important al compozitelor în situ îl reprezintă finețea extrem de avansată a fazei durificatoare care se poate obține. Pentru materialele compozite convenționale, este extrem de dificilă manevrabilitatea unor particule cu dimensiuni mai mici de 1 μm, de multe ori de scară nanometrică chiar.</p>
<p>Faze de ranforsare de ordinul nanometrilor</p>	<p>La această scară dimensională, pulberea foarte fină, fibrele sau whiskers-urile sunt deosebit de reactive, prezintă pericolul de aglomerare, deci nu se mai asigură uniformitatea distribuției și de asemenea apare pericolul de toxicitate. Astfel, tehnologiile compozitelor convenționale practic nu permit reducerea dimensională a fazei de ranforsare la dimensiuni mai mici de 1-10 μm.</p> <p>Prin compozitele în situ se pot obține relativ simplu faze de ranforsare cu dimensiuni de ordinul nanometrilor, nefiind necesară manevrarea manuală separată a fazelor componente ale compozitului.</p> <p>Prin reducerea dimensională semnificativă a fazei durificatoare, în cadrul compozitelor în situ se realizează creșteri spectaculoase a rezistenței mecanice, a limitei de curgere, a limitei de rupere, cât și a durității materialului. Cum aceste materiale, denumite și nanocompozite, sunt materiale deosebit de noi, se așteaptă descoperirea pe viitor și a altor avantaje ale acestora.</p>
<p>Nanocompozite</p> <p>Nitrura de siliciu</p>	<p>Materialul compozit XD - γ Ti₃Al se utilizează în industria automobilelor sau industria aviației (diferite motoare sau carcase de avioane, valve de motor în industria automobilelor, vane pentru compresoare, schelete sau carcase pentru difuzoare, s.a.), în aplicații precum palete de turbine pentru presiuni scăzute, turboreactoare sau alte componente rotative pentru care densitatea scăzută a acestui nou tip de material compozit reduce greutatea cu aproximativ 40% și tensiunile centrifugale și odată cu acestea sarcinile ce acționează asupra pieselor și componentelor interconectate cu acestea.</p> <p>În cadrul aceleiași clase de compozite în situ un alt tip de material deosebit de nou este nitrura de siliciu în situ obținută prin diferite procedee de sinterizare și presare la cald sub forma unui compozit în situ în care particule de nitrura de siliciu cu morfologie aciculară prezintă o dispunere orientată sau în rețea la limita unor graunți foarte fini ai matricei.</p>

Aplicatii

Figura 10.4 – Distribuitor de arma pentru avioanele de vanatoare F-18, confectionat din material compozit tip XD pe baza de γ -TiAl durificat in situ cu particule de TiB_2 , material care ofera o reducere considerabila de greutate fata de otelurile anterior utilizate

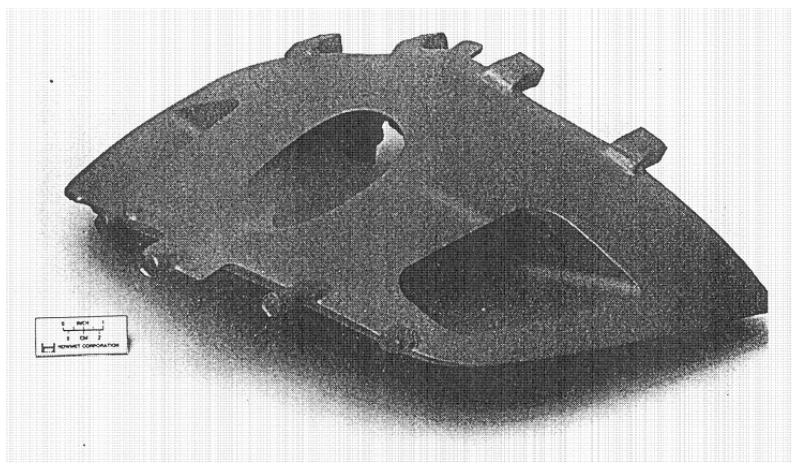


Figura 10.5 – Rotor pentru un motor turbo utilizat in industria automobilelor confectionat din material compozit tip XD pe baza de γ -TiAl durificat in situ cu particule de TiB_2

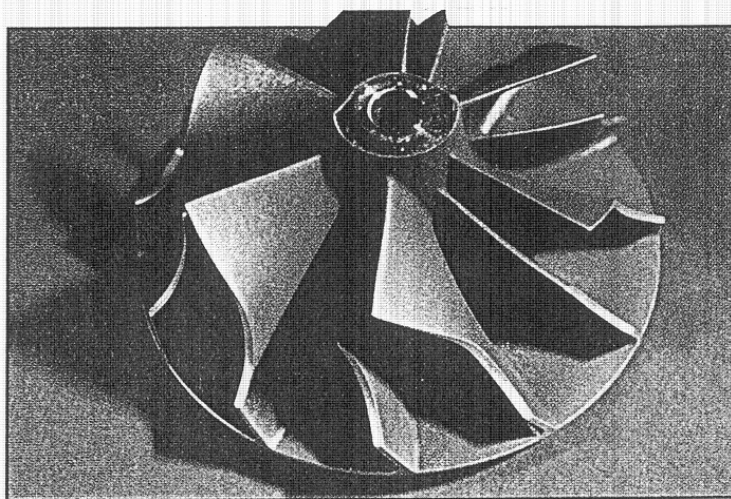
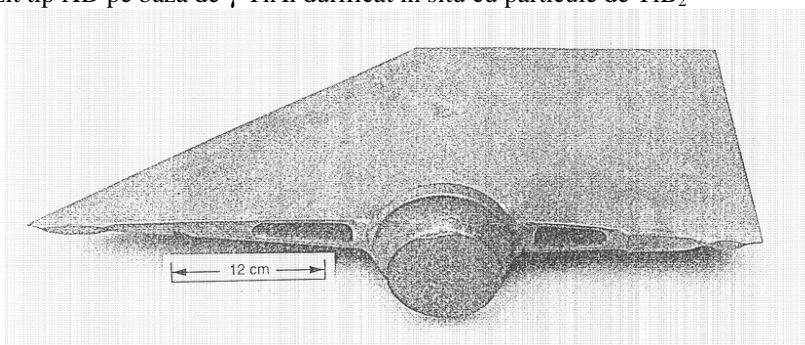





Figura 10.6 – Parte fixa anterioara a ampenajului vertical al unui avion care serveste la mentinerea traiectoriei acestuia intr-un plan vertical, piesa executata din material compozit tip XD pe baza de γ -TiAl durificat in situ cu particule de TiB_2



Prin acest procedeu de obtinere, tenacitatea materialului devine deosebit de ridicata fapt ce permite utilizarea acestui material ca aliaj de cuzineti, pentru confectionarea de rulmenti sau a altor organe de masini tip lagare.

Există de asemenea tehnologii pentru confectionarea de rulmenti

	<p>ceramici, în special rulmenți “hibridi” în care doar elementele constructive sferice sunt ceramice, restul mantalei fiind metalică. S-au realizat însă și rulmenți integral ceramici dintr-un asemenea compozit în situ cu nitrura de siliciu, care au avantajul că pot lucra la temperaturi ridicate, aceste materiale având o refractaritate deosebit de bună, cât și proprietăți de lucru cu autoungere.</p> <p>O altă nouă clasă de compozite în situ este produsă printr-un proces direct de oxidare metalică, numit proces Dimox (Dimox – <i>directed metal oxidation process</i>, proces utilizat pentru compozite cu matrice ceramice) sau printr-un proces de infiltrare a unui metal prin presiune, utilizat pentru compozite cu matrice metalică.</p> <p>Ambele procese oferă largi posibilități de obținere de piese finite cu configurații și proprietăți complexe, utilizate în construcția diferitelor <u>motoare turbo pentru industria automobilelor</u>, a unor tuburi pentru schimbatoare de căldură, ajutaje pentru aparate de distribuție a aerului, tuburi de imersie pentru încălzirea metalului topit, ș.a., în general pentru aplicații care necesită rezistență la temperaturi ridicate în absența unor condiții de oxidare.</p> <p>În industria aviației unde o deosebită de mare importanță o are ghidarea aparatului de zbor la viteze foarte mari dictate de greutate, frecarea cu aerul, forma aerodinamică, utilizarea materialelor compozite XD în situ poate reduce greutatea cu aproximativ 50-60%, crescând de asemenea nivelul temperaturii de lucru, deci îmbunătățind mult performanța aparatelor de zbor.</p>
	<p>Test de autoevaluare 10.1 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar. Ce reprezintă materialul de tip SAP ?</p> <p>Răspunsul la test se găsește la pagina .</p>
	<p>Test de autoevaluare 10.2 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar. Ce reprezintă tehnologia XD de obținere a unui compozit în situ ?</p> <p>Răspunsul la test se găsește la pagina .</p>
	<p>Test de autoevaluare 10.3 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar. În ce constă procesul Dimox ?</p> <p>Răspunsul la test se găsește la pagina .</p>

Am ajuns la sfârșitul Unității de învățare Nr. 10.

În loc de
rezumat

Vă recomand să faceți o recapitulare a principalelor subiecte prezentate în această unitate și să revizuiți obiectivele precizate la început.

Este timpul pentru întocmirea Lucrării de verificare Unitate de învățare Nr. 10 pe care urmează să o transmiteți tutorelui.

Lucrare de verificare pentru Unitatea de învățare Nr. 10



1. Care sunt fazele componente ale unui material compozit ?
2. Care este mecanismul de durificare prin dispersie al unui material compozit ?
3. Descrieți câteva caracteristici ale materialelor de tip SAP.
4. Dați exemple de materiale compozite in situ obținute prin tehnologia XD.
5. Dați exemple de aplicații ale compozitelor obținute prin proces Dimox.

Barem:

Intrebarea nr.	Punctaj maxim acordat
1	2
2	2
3	2
4	2
5	2

Răspunsurile și comentariile la testele de autoevaluare



10.1. Industrial, cel mai des utilizat material compozit durificat prin dispersie este cel pe baza de aluminiu (**material tip SAP – sintered aluminium powder**). Materialele compozite de tip SAP au matricea din aluminiu, care este durificata printr-o dispersie fina de particule de oxid de aluminiu.

10.2. Tehnologia XD reprezinta un proces de fabricare a unui material compozit prin care particule ceramice, fibre scurte sau whiskers-uri se dezvoltă in situ in masa matricei metalice.

10.3. Procesul Dimox reprezintă un proces de oxidare metalică directă, utilizat pentru obținerea fazei durificatoare în compozitele cu matrici ceramice.

Bibliografie pentru Unitatea de învățare Nr. 10



A. Nocivin, Materiale avansate, Ed. Ovidius University Press, Constanța, 2001, pag. 8-24

Unitatea de învățare Nr. 11

Materiale compozite durificate prin fibre

Cuprins	Pagina
Obiectivele Unității de învățare Nr. 11.....	100
11.1. Materiale compozite durificate cu fibre	100
11.2. Materiale de armare sub forma de fibre	106
11.2.1. <i>Fibre de bor</i>	
11.2.2. <i>Fibre de sticlă</i>	
Lucrare de verificare pentru Unitatea de învățare Nr. 11.....	112
Răspunsuri și comentarii la testele de autoevaluare.....	112
Bibliografie pentru Unitatea de învățare Nr. 11.....	112



OBIECTIVELE Unității de învățare Nr. 11

Principalele obiective ale Unității de învățare Nr. 11 sunt:



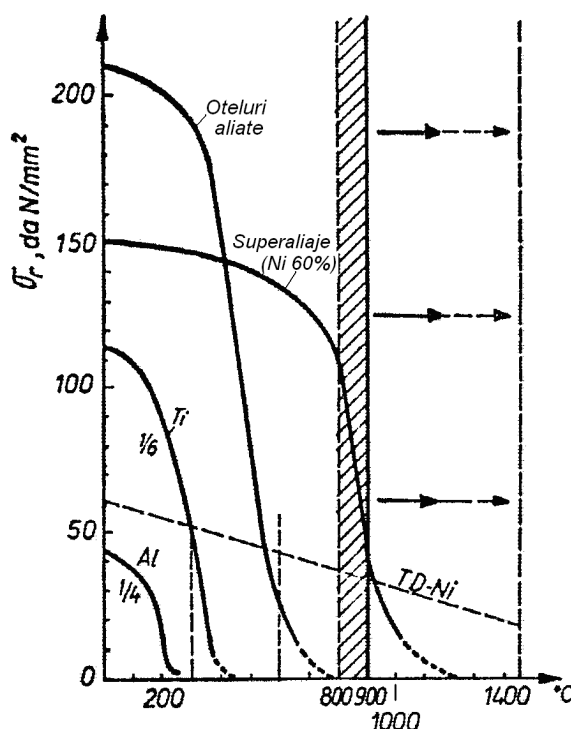
- Prezentarea principalelor caracteristici ale compozitelor durificate cu fibre
- Modalitati de obtinere si proprietati ale fibrelor de bor si de sticla

CONTINUTUL UI-11:

<p>fibre aliniat intr-o matrice ductila</p> <p>Tipul de fibră diferă în funcție de domeniul de aplicație al compozitului</p> <p>Temperatura limită de lucru</p>	<p>11.1. Materiale compozite durificate cu fibre.</p> <p>Compozitele durificate cu fibre sunt constituite dintr-o faza rezistentă și rigidă, dispersată sub forma de fibre aliniat într-o matrice ductilă.</p> <p>În condițiile existentei unei legături fibre-matrice și a unei corecte alegeri a materialului fibrelor și al matricei, are loc un transfer al solicitărilor mecanice de la matrice la fibre; compozitul manifestă o rezistență mecanică apropiată de a fibrelor fără a prezenta însă fragilitatea acestora.</p> <p>Pe acest principiu au fost realizate materiale compozite cu performanțe excepționale, care își găsesc utilizări industriale în pofida pretului lor uneori foarte ridicat, datorat tehnologiilor costisitoare de obținere: compozite cu fibre de sticlă și fibre de carbon incorporate în rășini sintetice (utilizate în construcția submersibilelor, a caroseriilor automobilelor, a compresoarelor avioanelor cu reacție); compozite cu fibre de bor sau fibre de carbura de siliciu în matrice de aluminiu (cu aplicații în construcțiile aerospațiale, ca de exemplu paletele elicopterelor, anumite elemente de structură ale avioanelor, etc).</p> <p>Cele mai importante utilizări ale compozitelor sunt însă cele datorate incorporării fibrelor ceramice într-o matrice metalică rezistentă la oxidare la temperaturi înalte. Aceste materiale pot depăși în prezent actualul zid termic care limitează la circa 900°C utilizarea materialelor metalice în condiții de solicitări mecanice mari în mediu oxidant.</p> <p>Asa cum rezulta din figura 11.1, în prezent această limită de 900°C pentru materialele metalice este atinsă doar de superaliajele pe baza de cobalt și nichel, oțelurile aliate se situează la o limită mai joasă, de circa 600°C, iar aliajele de titan și cele de aluminiu la 350°C, respectiv 150°C, ceea ce reprezintă foarte puțin, doar 1/6 din temperatura absolută de topire a metalului de bază.</p> <p>În numeroase aplicații industriale, ar fi de dorit utilizarea unor materiale care să permită atingerea unor temperaturi de funcționare de 1200°C (spre exemplu în construcția turbinelor cu gaze) sau chiar 3000°C până la 5000°C în construcțiile aerospațiale.</p> <p>Urmarind astfel principalul criteriu de alegere a materialului matricei compozitului după temperatura de lucru, distingem 3 tipuri de materiale compozite durificate cu fibre: cu matrice polimerică (cu temperatura de lucru < 200°C), cu matrice metalică (cu temperatura de lucru < 600°C, cu excepția</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

superaliajelor pe baza de Ni si Co care pot depasi 900°C) si cu matrice ceramica (cu temperaturi de lucru ce pot sa depaseasca in multe situatii 2500°C).

Figura 11.1 – Rezistenta mecanica a diverselor materiale metalice in functie de temperatura



Ranforsarea materialelor compozite se realizeaza cu fibre folosite ca atare, sau sub forma de tesaturi si impletituri.

Tipuri de
matrici

**MATERIALE
COMPOZITE**

MATRICEA

*polimerica
metalica
ceramica*

Tipuri de fibre

FAZA DE
RANFORSARE

*Fibre de sticla
Fibre de carbon
Fibre de bor
Fibre de silice
Fibre aramidice
Fibre ceramice*

La alegerea materialului de ranforsare se iau in considerare: proprietatile lui si cerintele impuse de domeniul de utilizare, tehnologia de formare si influenta ei asupra caracteristicilor fizico-mecanice ale compozitului, adeziunea la matrice, coeficientul de dilatare liniara pentru a preveni aparitia tensiunilor interne in compozit si aspectul financiar.

Fibrele de ranforsare maresc rezistenta la diferite sollicitari mecanice si termice, rigiditatea compozitului si reduc fluajul si absorbtia de umiditate.

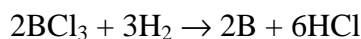
<p>Eficiența ranforsării cu fibre</p>	<p>Ranforsarea materialelor compozite se face cu fibre continue (sau lungi), cu fibre discontinue (sau scurte) și cu filamente monocristaline (whiskers).</p> <p><u>Fibrele continue</u> conferă materialului compozit valori maxime ale caracteristicilor mecanice.</p> <p><u>Fibrele scurte</u> oferă proprietăți mecanice inferioare față de fibrele continue, datorită raportului lungime/diametru nefavorabil, însă prezintă anumite avantaje la prelucrare și posibilitatea orientării privilegiate. În ultimii 5-10 ani, printr-o preocupare permanentă pentru a mări eficiența ranforsării, proprietățile compozitului cu fibre scurte se apropie de cele ale compozitului ranforsat cu fibre continue, cu cel puțin 90% din modul și 50% din rezistența la întindere.</p> <p>Eficiența ranforsării cu fibre scurte depinde de mai mulți factori:</p> <ol style="list-style-type: none"> 9. alinierea în direcția forței principale, 10. distribuția uniformă a fibrelor, 11. lungimea acestora și 12. adeziunea puternică între fibre și matrice. <p>Ranforsarea materialelor compozite cu fibre monocristaline - whiskers-uri asigură materialului rezistență la diferite solicitări mecanice și module mult mai mari în raport cu fibrele policristaline, continue sau discontinue, de aceeași compoziție chimică. Aceasta se explică prin raportul lungime/diametru foarte mare și prin perfecțiunea structurii cristaline, care reduce la minimum influența defectelor asupra rezistenței mecanice.</p> <p>Termenul de <u>whiskers</u> se aplică filamentelor monocristaline cu diametre de 1-25 μm și raport de formă (lungime/diametru) de 100-15000, caracterizate printr-o anizotropie pronunțată a proprietăților.</p> <p>Pentru obținerea materialelor compozite de înaltă performanță se folosesc fibre cu rezistență și modul înalt, în principal fibre de carbon, de bor, de sticlă și fibre aramidice. Caracteristicile mecanice ale acestor fibre sunt prezente în tabelul 11.1, comparativ cu câteva materiale metalice (otel, aliaje de aluminiu și aliaje de titan).</p> <p>Cele mai mari module de elasticitate aparțin fibrelor de bor, de carbura de siliciu și de carbon, iar cea mai mare rezistență la întindere corespunde fibrelor de carbon, de sticlă R și de carbura de siliciu.</p> <p>Ranforsarea materialelor compozite se poate efectua cu un singur tip de fibră sau prin combinarea a două sau a mai multor tipuri de fibre diferite, într-o matrice comună. În ultimul caz se obține un material compozit hibrid.</p> <p>Se știe că materialele compozite obținute cu fibre de bor sau de carbon cu modul înalt sunt susceptibile la distrugere prin impact, deoarece, spre deosebire de metale, ele nu pot absorbi energia inelastică prin curgere plastică, ci numai prin procese de fracturare. Fibrele de bor și cele de carbon cu modul înalt necesită energii relativ mici pentru fracturare, spre deosebire de fibrele Kevlar, de sticlă E și de sticlă S. Combinarea acestora cu fibrele de carbon mărește rezistența la impact și reduce, de asemenea, costul.</p>
----------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Proprietăți mecanice	Tabelul 11.1 – Compararea proprietatilor fibrelor de ranforsare cu cele ale materialelor conventionale					
	Material	Densitate ρ g/cm ³	Rezistenta la intindere σ , GPa	Modul de elasticitate E, GPa	Rezistenta Specifica σ/ρ , Mm	Modul specific E/ ρ , Mm
	Fibre de bor, $\Phi = 100 \mu\text{m}$	2,57	3,5	400	0,136	15,5
	Fibre de carbon:					
	UHM	2,17	3,3	690	0,152	31,8
	HM	1,86	3,5	400	0,188	21,5
	IM	1,74	5,6	295	0,320	16,9
	Fibre de sticla:					
	E	2,54	2,4	71	0,095	2,8
	R	2,55	4,4	86	0,172	3,4
	Fibre aramidice	1,45	3,6	124	0,250	8,5
	Fibre de SiC	3,00	3,9	400	0,130	13,3
	Otel S 97 (similar cu 4340)	7,8	0,99	207	0,013	2,7
	Duraluminiu	2,8	0,45	75	0,016	2,7
	Aliaj de Ti DTD 5173 (similar cu Ti-6Al-4V)	4,5	0,93	110	0,021	2,4
Miez de sârmă de W + strat de B	11.2. Materiale de armare sub forma de fibre					
	11.2.1. <u>Fibre de bor</u>					
	<p>Acest material poate fi numit prima fibra de inalta rigiditate dintre “materialele avansate”, fiind obtinut pentru prima data in anul 1959 de firma Texaco (S.U.A.) pentru ranforsarea compozitelor de inalta performanta. Fabricarea fibrelor de bor cunoaste o evolutie rapida in anii '70, mai ales in SUA, impusa de necesitatile industriei aeronautice. Compozitele cu matrice epoxidica si fibre de bor au fost utilizate cu succes la executarea unor elemente de structura pentru avioanele americane militare F-14 si F-15.</p> <p>Fibra conține doua faze – un miez de sarma de wolfram pe care se depoziteaza prin vaporizare un strat de bor. Acest proces de vaporizare este destul de costisitor si impreuna cu costul inalt al suportului de W face ca aceste fibre sa nu devina niciodata un material intr-adevar ieftin. Aceste fibre au proprietati excelente dar, judecand in termeni specifici, sunt mai putin folosite decât fibrele de carbon, care sunt mai ieftine si sunt de 10 ori mai subtiri in diametru.</p> <p>Procedeul de formare a fibrelor continue de bor prin depunere chimica din faza de vapori este ilustrat in figura 11.2.</p> <p>Procedeul consta in depunerea chimica a borului solid pe un substrat incalzit, intr-o atmosfera de hidrogen si de vapori de clorura de bor. Ca substrat se folosesc in prezent filamente de wolfram cu diametrul tipizat de 12,5 μm sau fibre de carbon cu diametrul de 33 μm. Inainte de a patrunde in camera de depunere, substratul este pretratat: filamentele de W sunt incalzite la 1200°C in atmosfera de hidrogen pentru reducerea oxizilor de la</p>					
Pretratare						

Reacția
chimică a
procesului de
depunere

suprafata; în cazul folosirii fibrelor de carbon, acestea sunt acoperite cu un strat de carbon pirolitic de aproximativ 1 μm grosime, pentru a se elimina riscul ruperii lor în timpul procesului de depunere a borului.

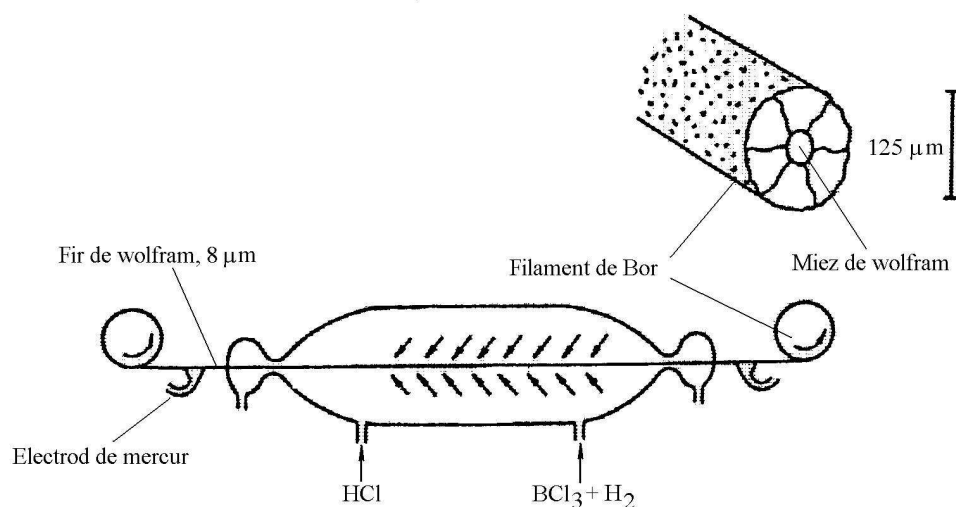
Filamentul de wolfram trece continuu prin reactorul de sticla, unde este incalzit electric la aproximativ 1150°C, într-un amestec stoechiometric de vapori de clorura de bor și de hidrogen. Borul solid, format prin urmatoarea reactie globala se depune pe suprafata fierbinte a substratului:



Pe masura ce firul de wolfram traverseaza reactorul, diametrul fibrei de bor creste, atingand in final 100-200 μm ., in functie de viteza de deplasare stabilita, ceilalti parametri ai reactorului fiind constanti. La iesirea din reactor, fibra de bor este infasurata pe un dispozitiv de bobinare.

Figura 11.2 – Reactor pentru obtinerea fibrelor de bor

Instalația de
obținere a
fibrelor de B



Randamentul reactiei de depunere chimica a borului este foarte mic, de aceea se impune recuperarea clorurii de bor nereactionate.

Materia prima costisitoare (BCl_3 și W), cat si operatia de depunere a borului si de recuperare a clorurii de bor, contribuie la costul foarte ridicat al fibrei de bor, in comparatie cu celelalte tipuri de fibre.

Pentru reducerea costului s-au cautat noi variante si, in primul rand, posibilitatea inlocuirii filamentului de wolfram cu un material mai ieftin.

Substratul trebuie sa indeplineasca anumite conditii, si anume: sa fie refractar, sa-si mentina caracteristicile mecanice la temperaturi mari, sa fie compatibil cu borul, sa nu fie atacat de amestecul de gaze din reactor, sa nu fie deficitar si sa fie cat mai putin costisitor. Wolframul indeplineste majoritatea acestor conditii, dar pe langa costul mare prezinta anumite inconveniente: densitate mare ($\rho = 19,3 \text{ g/cm}^3$) si expansiunea volumica in timpul procesului de depunere.

Miez de C în
loc de W

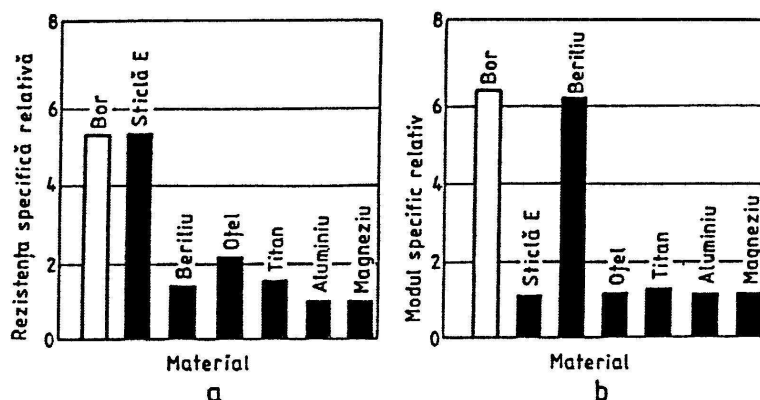
Pentru inlocuirea substratului de wolfram s-au testat si alte materiale, precum titanul sau tantalul si in special fibrele de carbon cu densitati mult mai mici si convenabile economic. Datorita includerii miezului de carbon cu diametru mai mare ($\Phi = 33 \mu\text{m}$), fata de 12,5 μm diametrul firului de wolfram, este necesara o crestere corespunzatoare a diametrului fibrei de

Morfologia suprafetei fibrelor de bor	<p>bor, astfel ca sa se mentina o cantitate echivalenta de bor in sectiunea transversala. Din acest motiv, profitul realizat in cazul fibrelor de bor cu miez de carbon, care au diametre mai mari, este relativ mic. Totusi s-a observat ca folosirea fibrelor de carbon ca substrat conduce la obtinerea unei rezistente la intindere mai mari.</p> <p>Morfologia suprafetei fibrelor de bor depinde de natura substratului. Fibrele B/C au o suprafata relativ neteda, produsa de nucleatia intamplatoare si densa a borului. Suprafata fibrelor B/W are un aspect caracteristic nodular, in stiulete de porumb. Aceasta microstructura a fibrelor B/W este asociata cu rezistenta mare la intindere.</p> <p>Fibrele de bor au o compatibilitate foarte buna la matricea polimerica, dar slaba la matricea metalica (aliaje de titan si de aluminiu). La temperaturi mari, la interfata fibra-matrice metalica se produc fenomene de difuzie si interactiuni chimice, care conduc la formarea unui strat fragil de boruri, a carui grosime creste in timp si care reduce adeziunea la interfață. De aceea fibrele de bor, in special cele destinate ranforsarii materialelor metalice, se acopera cu un strat protector de nitrura de bor (BN), carbura de siliciu (SiC) sau carbura de bor (B₄C), cu rol de bariera de difuzie.</p> <p>Fibrele de bor acoperite cu SiC au fost produse de firma United Air Craft din SUA sub denumirea comerciala de Borsic.</p>																				
Diametre tipizate	<p>Fibrele continue de bor au diametrele tipizate de 100, 140 si 200 μm. Fibrele B/W au densitati de aproximativ 2,6 g/cm³ fata de 2,3 g/cm³ densitatea fibrei B/C.</p> <p>In tabelul 11.2 sunt prezentate unele proprietati mecanice esentiale ale fibrelor de bor netratate, ale celor decapate chimic si ale fibrei Borsic.</p> <p>Fibrele de bor combina rezistentele exceptionale la compresiune, intindere si oboseala cu modulul mare de elasticitate Young si cu densitatea mica. Ele au o rezistenta la intindere care depaseste 3,45 GPa si un modul de 400 GPa.</p> <p><u>Rezistenta mecanică</u> a fibrei de bor este influențată de apariția defectelor create in timpul proceselor de depunere chimica. Cele mai insemnate defecte sunt: golurile din apropierea interfetei dintre substrat si invelisul de bor, incluziunile de impuritati, fisurile radiale, cristalele de dimensiuni mari favorizate de microvariatiile de temperatura din timpul depunerii si de cresterea nodulara regulata.</p>																				
Proprietăți mecanice comparative	<p style="text-align: center;"><u>Tabelul 11.2 – Proprietatile fibrelor de bor</u></p> <table><tr><th>Material</th><th>Diametru μm</th><th>Densitate g/cm³</th><th>Rez. la intindere GPa</th><th>Modul de elasticitate GPa</th></tr><tr><td>Fibre B/W</td><td>100-140-200</td><td>2,6-2,7</td><td>3,2-3,45</td><td>420</td></tr><tr><td>Fibre B/C</td><td>100-200</td><td>2,3</td><td>5,0</td><td>400</td></tr><tr><td>Fibre Borsic (CMC)</td><td>100-140</td><td>2,6-2,7</td><td>3,0</td><td>400</td></tr></table> <p>Fibrele de bor sunt materiale fragile, a caror rupere intervine in domeniul deformatiilor elastice. Diagrama tensiune-deformatie indica o dependenta liniara la temperatura camerei, mentinuta pana la 600°C.</p>	Material	Diametru μm	Densitate g/cm ³	Rez. la intindere GPa	Modul de elasticitate GPa	Fibre B/W	100-140-200	2,6-2,7	3,2-3,45	420	Fibre B/C	100-200	2,3	5,0	400	Fibre Borsic (CMC)	100-140	2,6-2,7	3,0	400
Material	Diametru μm	Densitate g/cm ³	Rez. la intindere GPa	Modul de elasticitate GPa																	
Fibre B/W	100-140-200	2,6-2,7	3,2-3,45	420																	
Fibre B/C	100-200	2,3	5,0	400																	
Fibre Borsic (CMC)	100-140	2,6-2,7	3,0	400																	

Rigiditatea fibrelor de bor este foarte mare. Modulul de elasticitate Young, la temperatura camerei, este de 400-420 GPa, dar scade la temperaturi inalte. De exemplu, la 650° C si 800° C, modulul se reduce la 240 si respectiv 220 GPa. Fibra de bor are un modul de elasticitate la indoire de 400 GPa si un modul de forfecare de 170-177 GPa.

Comparativ, rezistenta specifica la intindere si modulul de elasticitate ale fibrelor de bor sunt mult mai mari decat ale altor materiale metalice sau nemetalice folosite uzual in constructia aeronavelor – vezi figura 11.3.

Figura 11.3 – Rezistenta specifica relativa (a) si modulul specific relativ (b) ale borului fata de alte materiale metalice sau nemetalice.



Rezistenta la oboseala a fibrelor de bor este exceptionala. Testele de oboseala statica, sub sarcina de 83% din tensiunea de rupere la intindere, nu indica fenomenul de oboseala dupa 3700 ore.

Deficiențele fibrelor de B

La utilizarea fibrelor de bor este necesar sa se tina cont si de **deficiențele** lor, si anume: costul foarte ridicat, fragilitatea si duritatea mare (9 pe scara Mohs). Fiind fragile, fibrele de bor au o rezistenta redusa la soc. Duritatea mare a fibrelor de bor, desi asigura protectia la eroziune a materialului compozit final, ingreuneaza prelucrarea mecanica, care necesita instrumente speciale, din aliaje dure sau diamant. Flexibilitatea mica, determinata de modulul de elasticitate inalt, dar si de diametrul mare face dificila prelucrarea in forme complicate.

Prin combinarea fibrelor de bor cu fibre mai putin costisitoare, cum sunt fibrele de carbon, se realizeaza un raport performanta / cost mult mai avantajos. Pe de alta parte, inlocuirea intr-o proportie mica a fibrelor de sticla cu cele de bor, intr-un material compozit hibrid, imbunatateste semnificativ caracteristicile mecanice ale acestuia. De exemplu, inlocuirea a numai 8% din volumul de fibre de sticla cu fibre de bor, intr-un compozit unidirectional cu matrice epoxidica maresta rezistenta la incovoiere de 2,5 ori si modulul de elasticitate longitudinal de 3 ori.

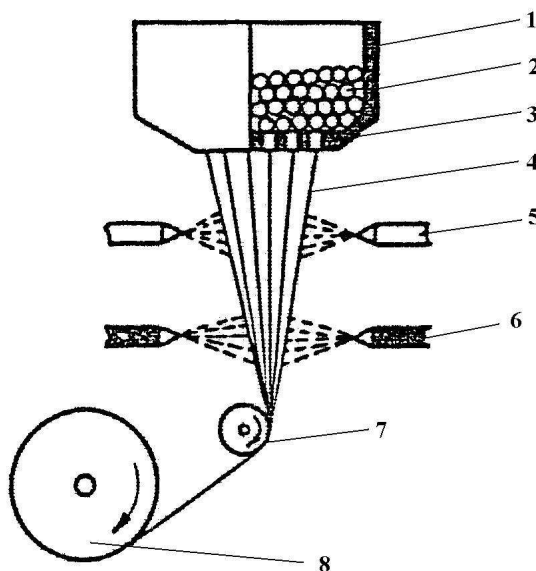
Materialele compozite cu matrice epoxidica sau metalica sunt utilizate la executarea unor elemente de structura ale avioanelor comerciale si militare (ca longeroane, voleti, panouri de fuselaj, etc.) si ale elicopterelor. Folosirea acestor compozite in constructia avioanelor americane F-14 si F-15 a cunoscut un mare succes. Astfel, pentru productia fiecarui avion s-au folosit 66 kg, respectiv 98 kg de filamente de bor. Utilizarea acestor materiale in constructia de avioane a dovedit faptul ca acestea contribuie la marirea duratei de serviciu a componentelor structurale critice.

	<p>Pentru a reduce costul, fibrele de bor au fost combinate cu fibre de carbon sau cu fibre de sticla, in compozitele folosite pentru suprafetele elementelor structurale mai putin solicitate ale aeronavelor Mirage 2000 si ale bombardierului B1 ceea ce reprezinta exemple de utilizare a compozitelor hibride cu fibre de bor si fibre de carbon in matrice epoxidica, compozite hibride care sunt din ce in ce mai mult implementate tehnologic. Materialele compozite epoxidice cu fibre de bor au patruns si in domeniul sportului, fiind folosite pentru undite de pescuit si rachete de tenis de performanta.</p>
	<p>11.2.2. <u>Fibre de sticla</u></p>
	<p>Sticla este cunoscuta inca din antichitate. In secolul al XVII-lea fizicianul englez Robert Hooke a descris primele experimente cu filamente din fibre de sticla. Un secol mai tarziu, René Antoine Ferchault de Réaumur a prezis prelucrarea fibrelor de sticla in tesaturi pliabile. In 1931 a inceput producerea si comercializarea fibrelor de sticla destinate initial izolatilor electrice la temperaturi mari, in cadrul primei fabrici de fibre de sticla, ce a fost construita in 1930 la Glasgow (Anglia).</p>
	<p>Combinatia fibrelor de sticla cu rasini poliesterice si, mai tarziu, cu rasini epoxidice a insemnat primul pas in fabricarea materialelor compozite cu proprietati mecanice superioare. Materialul compozit cu matrice epoxidica si fibre de sticla a fost folosit in 1943 la executarea fuselajului unui avion de lupta. Dupa 1949 aria de folosire a acestor materiale s-a extins la aviatia civila, transporturi si constructii, ambarcatiuni navale. Si la noi in tara se produc in prezent poliesteri armati cu fibre de sticla pentru constructii.</p>
Definiție	<p>Sticla este un material solid amorf, obtinut prin racirea rapida a topiturii compusilor oxidici (proces denumit subracire), pentru a preveni cristalizarea.</p>
Materia primă utilizată	<p>Materia prima pentru fabricarea fibrelor de sticla este foarte variata. Uzual se foloseste un amestec de nisip, calcar, acid boric si fondanti, a carui compozitie determina proprietatile sticlei.</p>
	<p>Fibrele de sticla se fabrica prin mai multe procedee. Cel prezentat în figura 11.4 reprezintă metoda de tragere a fibrelor prin filiere, procedeul prin care se obțin fibre continue.</p>
Diametre obținute	<p>Sticla este topita intr-un cuptor de tip vana, prevazut la partea inferioara cu una sau mai multe placi filiere, care au în jur de 100 de orificii. Filamentele de sticla care ies din orificii sunt racite rapid prin convecție si radiatie si apoi sunt inmanunchiate cu un ancolant.</p>
	<p>Diametrul filamentelor de sticla este controlat prin viscozitate si prin temperatura de topire. Diametrul tipizat al filamentelor de sticla variaza între 0,8 si 19 μm. Lungimea standardizata a fibrelor de sticla taiate este de 3, 6, 12, 25 sau 50 mm.</p>
Roving Yarn Mat	<p>Filamentele de sticla transformate in <u>roving, yarn si mat</u> (<i>roving</i> – ansamblu de fire de baza paralele, sau de filamente paralele fara rasucire; <i>yarn</i> – fascicol continuu format din mai putin de 10000 filamente, care pot fi</p>

usor impletite pentru a putea fi manipulate fara a se distruge fascicolul; *mat* – un produs din fire de baza tocate sau discontinue aranjate intamplator si fixate cu un liant) sunt supuse unui tratament de finisare permanenta, prin tratare cu agent de finisare, care contine un polimer peliculogen, un lubrifiant, un aditiv antistatic si un agent de cuplare.

Figura 11.4 – Tragerea filamentelor continue de sticla:

1 – cuptor filiera pentru topirea sticlei; 2 – bile de sticla; 3 – filiera; 4 – fibre de sticla; 5 – sistem de racire a filamentelor de sticla; 6 – sistem de aplicare a tratamentului plastic pe suprafata filamentelor; 7 – dispozitiv de asamblare a filamentelor de sticla; 8 – dispozitiv de bobinare a fibrelor de sticla;



Instalația de
obținere de
fibre de sticlă

Polimerul (alcool polivinilic, poliacetat de vinil, rasina epoxidica, etc.) uneste filamentele de sticla si formeaza o pelicula care le protejeaza de distrugerea prin abraziune. Lubrifiantul, deseori un ulei vegetal, micsoreaza coeficientul mare de frecare al fibrelor, reducand uzura. Agentul de cuplare asigura compatibilitatea dintre fibra si matrice. Aditivul antistatizant previne si reduce incarcarea electrostatica de suprafata.

Exista mai multe tipuri de sticla, diferitele dupa compozitia oxidica, care le imprima proprietati fizice si chimice diferite. In tabelul 11.3 se prezinta compozitia chimica si proprietatile fibrelor corespunzatoare diferitelor tipuri de sticla.

Sticla A este tipul cel mai raspandit (procent mare de SiO_2), fiind utilizat la fabricarea recipientilor din sticla în industria alimentară si a geamurilor. Ea rezista bine la acizi, inasa datorita continutului mare de oxizi alcalini (14%) este sensibila la actiunea apei, iar caracteristicile dielectrice sunt defavorizate.

Fibrele de sticla C, cu o rezistenta chimica remarcabila, sunt folosite mai ales pentru obtinerea materialelor compozite destinate conditiilor de exploatare in medii agresive.

Sticla D are un continut mare de oxid de bor si unul foarte mic de oxizi alcalini si alcalino-pamantosi. Aceasta compozitie asigura o rezistenta

Tipuri de sticlă

termica mare si proprietati electrice foarte bune. Are constanta dielectrica foarte mica ($\epsilon = 3,85$) apropiata de cea a sticlei de cuarț.

Sticla E, pe baza de borosilicat cu alcalinitate mica, imbina stabilitatea la umiditate cu proprietatile electroizolante bune si rezistenta mecanica mare. Fibrele de sticla E sunt cel mai frecvent folosite la ranforsarea polimerilor si la realizarea izolatilor electrice. Sticla E este insa susceptibila la degradare in medii puternic alcaline si acide.

Sticla ECR asociaza caracteristicile electrice bune ale sticlei E cu rezistenta chimica mare, mai ales la acizi, a sticlei C.

Sticlele S si R, varianta americana si respectiv europeana a unei sticle pe baza de silicat de aluminiu si de magneziu, au o rezistenta mecanica inalta si comportare excelenta la umiditate. Fibrele de sticla S, S-2 si R sunt folosite la ranforsarea polimerilor destinati industriei aeronautice, aerospatiale si pentru unele aplicatii militare. Fibra de sticla S este avantajoasa cand se cer performante inalte, iar fibra S-2 pentru un raport avantajos cost moderat / performanta.

Sticla T introdusa recent de firma Nittobo Boreki are caracteristici mecanice si termice superioare sticlei E si anume: o rezistenta la intindere mai mare cu 16% si un coeficient de dilatare termica mai mic cu 40%.

Pentru aplicatii speciale s-au fabricat si alte tipuri: sticla M, cu modul inalt (110-140GPa) necomercializata datorita continutului de oxid de beriliu cu toxicitate mare, sticla pe baza de oxid de plumb pentru protectia la radiatiile ionizante si sticla pe baza de oxid de litiu, transparenta la radiatiile X. **Pentru ranforsarea polimerilor prezinta interes mai ales fibrele de sticla E, S, R si ECR.**

Tabelul 11.3 – Compozitia, diametrul si proprietatile fibrelor de sticla
(* totalul acestor compusi este 4%; ** totalul acestor compusi este 2,4%)

Caracteristici	UM	A	C	D	E	ECR	S	R
Compozitie	%							
SiO ₂		72	65	73	55,2	61	65	60
Al ₂ O ₃		2,5	4	*	14,8	11	25	25
B ₂ O ₃		0,5	5	23	7,3	**	-	-
MgO		0,9	3	*	3,3	3	10	6
CaO		9,0	14	*	18,7	22	-	9
Na ₂ O		12,5	8,5	*	0,3	0,6	-	-
K ₂ O		1,5	-	*	0,2	**	-	-
Fe ₂ O ₃		0,5	0,5	-	0,3	**	-	-
F ₂		-	-	-	0,3	-	-	-
Diametru	μm	-	3,81-5,05	5,08-6,32	7,62	-	7,62	-
Densitate	g/cm ³	2,46	2,50	2,14	2,55	2,62	2,48	2,55
Rezistenta la intindere:	GPa	3,10	3,10	2,50	3,45	3,63	4,59	4,40
1. filament		2,76	2,35	-	2,40	-	3,91	3,1
2. roving								
Modul de intindere	GPa	69	74	55	72	72,5	85	86
Alungire	%	3,6	4,8	-	3,37	-	5,7	5,2
Duritate Mohs	-	-	6,5	-	6,5	-	6,5	-
Coeficient termic de dilatare	10 ⁻⁶ /K	7,8	8	2-3	-	5	3-4	-
Caldura specifica:	Kj/kg K	-	0,78	-	0,81	-	0,74	-
3. la 23 °C		-	0,90	-	1,03	-	-	-
4. la 200 °C								
Temperatura de topire	°C	1140	-	-	-	1400	-	-
Indice de refractie	-	1,52	1,537	-	1,56	-	1,53	-
Constanta dielectrica	-	6,9	6,9	3,85	6,11	6,5	5,3	6,2
Rezistivitate de volum	10 ¹⁵ Ωm	-	-	-	0,41	-	4,2	-
Rezistivitate de suprafata	10 ¹³ Ωm	-	-	-	0,91	-	0,89	-

Proprietăți

<p>Factori de influență:</p> <p>Umiditatea</p>	<p>Caracteristicile mecanice ale fibrelor de sticla se inrautatesc o data cu cresterea temperaturii. Rezistenta la intindere a fibrei de sticla scade rapid la temperaturi peste 250°C.</p> <p>Umiditatea influenteaza negativ rezistenta mecanica a sticlei masive si a celei sub forma de fibre. Masurarea rezistentei unui filament individual de sticla la temperatura azotului lichid, la care influenta umiditatii este minima, indica o crestere de 50-100% fata de valoarea masurata la temperatura camerei, in aer, cu o umiditate relativa de 50%. Aceasta se explica prin microfisurile existente de obicei la suprafata sticlei, care nu pot fi eliminate total in procesul de fabricatie. Microfisurile constituie puncte de concentrare a tensiunilor. La atingerea unei tensiuni critice, sub sarcina constanta si in mediu umed, microfisurile se propaga rapid si conduc la rupere. Astfel, fibra se rupe dupa o perioada de timp sub sarcina, iar timpul de rupere este mai redus la un nivel mai ridicat de tensiune. Fenomenul este cunoscut sub numele de oboseala statica.</p> <p>Modulul de elasticitate Young al fibrelor de sticla variaza in functie de compozitie de la 69 GPa (pentru sticla A) la 86 GPa (pentru sticlele R si S). Daca fibra este supusa unui tratament termic de incalzire pentru compactizarea structurii moleculare, atunci modulul creste. De exemplu, modulul fibrei de sticla E creste de la 72 GPa la 84,7 GPa.</p> <p>Folosirea fibrelor de sticla la obtinerea materialelor compozite structurale se bazeaza pe rezistenta specifica mare, usurinta de prelucrare textila si costul mic in comparatie cu ale celorlalte tipuri de fibre.</p> <p>Alegerea fibrelor de sticla ca materiale de ranforsare nu este insa posibila in aplicatiile care impun materialului un modul inalt, ca necesitate majora. Exista insa posibilitatea imbunatatirii rigiditatii prin combinarea fibrelor de sticla cu fibre cu modul inalt, ca: fibre de carbon, fibre de bor, fibre de Kevlar.</p> <p>Proprietatile compozitelor depind de fractia de volum a fibrelor, de modelul tesaturii si de distributia fibrelor in directia urzelii. Compozitele ranforsate cu fibre de sticla aliniate paralel unele fata de altele au rezistenta mecanica si rigiditatea maxime in directia alinierii. Daca distributia fibrelor variaza intre 0° si 90°, rezistenta mecanica variaza proportional.</p> <p>Materialele compozite polimerice cu fibre de sticla au patruns practic in toate domeniile tehnicii si ale vietii moderne, fiind, in prezent, cel mai frecvent utilizate. Din productia totala anuala de materiale de ranforsare, consumate pentru obtinerea compozitelor in anul 2000, fibrele de sticla detin primul loc, cu 1280×10^3 t/an, fata de 3600 t/an de fibre aramidice continue, 3300 t/an de fibre de carbon continue, cateva t/an de fibre ceramice (SiC si Al_2O_3) si fibre de bor.</p>
------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



Test de autoevaluare 11.1 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.
Care este temperatura maximă de lucru la care se pot utiliza în prezent materialele metalice în condiții de solicitări mecanice mari în mediu oxidant?

Răspunsul la test se găsește la pagina .



Test de autoevaluare 11.2 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.
Care este principala caracteristică a fibrelor de tip C?

Răspunsul la test se găsește la pagina .



Test de autoevaluare 11.3 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.
Ce se întâmplă cu rezistența la întindere a fibrei de sticlă la temperaturi ridicate?

Răspunsul la test se găsește la pagina .

Am ajuns la sfârșitul Unității de învățare Nr. 11.

În loc de
rezumat

Vă recomand să faceți o recapitulare a principalelor subiecte prezentate în această unitate și să revizuiți obiectivele precizate la început.

Este timpul pentru întocmirea Lucrării de verificare Unitate de învățare Nr. 11 pe care urmează să o transmiteți tutorelui.

Lucrare de verificare pentru Unitatea de învățare Nr. 11

1. Descrieti pe scurt procesul tehnologic de obtinere a fibrelor de bor.
2. Care sunt principalele avantaje dar si dezavantaje ale utilizarii fibrelor de bor la ranforsarea compozitelor?
3. Ce intelegeti prin termenii „roving”, „yarn” si „mat”?
4. Care sunt tipurile de fibra de sticla utilizate cel mai des pentru ranforsarea compozitelor cu matrice polimerica?
5. Cum influențează umiditatea asupra rezistenței mecanice a sticlei?

Barem:

Intrebarea nr.	Punctaj maxim acordat
1	2
2	2
3	2
4	2
5	2

Răspunsurile și comentariile la testele de autoevaluare

- 11.1.** Actualul zid termic limiteaza la circa 900°C utilizarea materialelor metalice.
- 11.2.** Fibrele de sticla C prezinta o rezistenta chimica remarcabila si sunt folosite mai ales pentru obtinerea materialelor compozite destinate conditiilor de exploatare in medii agresive.
- 11.3.** Rezistenta la intindere a fibrei de sticla scade rapid la temperaturi peste 250°C.

Bibliografie pentru Unitatea de învățare Nr. 11

A. Nocivin, Materiale avansate, Ed. Ovidius University Press, Constanța, 2001, pag.30-45

Unitatea de învățare Nr. 12

MATERIALE COMPOZITE – Partea a III-a: Tipuri de fibre

Cuprins	Pagina
Obiectivele Unității de învățare Nr. 12.....	114
12.1. Fibre aramidice	114
12.2. Fibre de silice	116
12.3. Fibre ceramice cu modul înalt	118
12.4. Fibre de azbest	120
12.5. Fibre de carbon	121
Lucrare de verificare pentru Unitatea de învățare Nr. 12.....	123
Răspunsuri și comentarii la testele de autoevaluare.....	123
Bibliografie pentru Unitatea de învățare Nr. 12.....	124



OBIECTIVELE Unității de învățare Nr. 12

Principalele obiective ale Unității de învățare Nr. 12 sunt:



- Modalități de obținere și proprietăți ale fibrelor aramidice, din silice, ceramice cu modul înalt, de azbest, de carbon

CONTINUTUL UI-12:

Tipuri de
Kevlar

12.1. Fibre aramidice (Kevlar)

Dintre fibrele sintetice cu proprietăți mecanice deosebite, a căror utilizare s-a impus în ultimii ani în industrie, reține atenția fibra Kevlar, a cărei structură chimică este cea a unei poliamide aromatice. Cunoscute și sub denumirea de fibre aramidice, ele au fost introduse pe piața comercială în anul 1972 de către firma Du Pont sub denumirea comercială de Kevlar, sub trei forme de bază:

- **Kevlar** destinat ranforsării cauciucului la anvelope, furtunuri, curele;
- **Kevlar 29**, cu aceleași proprietăți fizice generale (cu valoarea modulului de 70 GPa), dar prezentat astfel încât să poată fi folosit drept cablu, franghie sau țesătura pentru chingi;
- **Kevlar 49**, fibra cu cel mai înalt modul de elasticitate (124 GPa), destinat ranforsării maselor plastice în aviație la vehicule spațiale, la articole electrice, sportive, etc.

Comparată cu alte fibre organice, fibra Kevlar 49 este de 3 ori mai rezistentă. Modulul ei de elasticitate este mai mare decât al nylonului cu mai mult de un ordin de mărime. Ea posedă rezistență mare la flacără și la temperaturi ridicate, precum și la solvenți organici, carburanți și lubrifianți. În același timp trebuie arătat că densitatea Kevlarului este aproximativ aceeași cu a celorlalte fibre organice.

Comparat cu fibra de sticlă, Kevlarul are un modul de elasticitate dublu și o densitate mai mică cu ~ 40%. Comparativ cu fibra de carbon, are modulul ceva mai mic dar este mult mai ușor.

Analizând datele tabelului 12.1 se observă că fibra Kevlar 49 prezintă 2 valori ale rezistenței la tracțiune, funcție de modul de tratare. Aceasta deoarece proprietățile ei unice o fac utilă în diferite sectoare industriale: când este folosită ca fibra textilă neimpregnată, această valoare a rezistenței este mai mică, dar când fibra este impregnată, rezistența ei la tracțiune crește.

Fibrele aramidice stau la baza obținerii unei game foarte largi de materiale compozite. Acest lucru este determinat de faptul că fibrele aramidice se pot utiliza sub diverse forme (fibre continue, fibre scurte, etc.), în combinație cu diferite tipuri de matrici polimerice (termoreactive, termoplastice, etc.).

Tabelul 12.1 – Comparatie intre proprietatile diferitelor fibre

Material	Kevlar 49	Nylon	Grafit	Sticla
Rez. la tractiune (MPa)	2760-3620	990	2760	2410
Modulul Young (MPa)	124000	5500	221000	69000
Elongatie la rupere (%)	2,5	18,3	1,25	3,5
Densitate (g/cm ³)	1,44	1,14	1,75	2,25

Proprietati

Fibrele aramidice sunt destinate obtinerii unor materiale compozite de inalta performanta, utilizate in tehnica aerospaciala, in tehnica militara (casti, veste antiglont, elemente pentru avioanele de lupta, etc.), in tehnica sportiva, in industria automobilelor (cord pentru anvelope, curele de siguranta, furtunuri, etc.), in marina (echipamente speciale pentru iahturi si nave maritime).

Utilizari

In **aeronautica**, Kevlar 49 se utilizeaza in special sub forma de compozit obtinut prin impregnarea cu rasini. Tehnicile de obtinere a compozitelor pe baza de Kevlar se aseamana cu cele specifice compozitelor pe baza de fibre de sticla.

Roving

Intr-o prima treapta are loc obtinerea rovingului, care reprezinta un ansamblu de fire de baza paralele, fara o rasucire anume. In functie de tehnicile de prelucrare ulterioara, se produc mai multe tipuri de roving. Pentru obtinerea de tevi, tuburi si fittinguri se foloseste **rovingul pentru infasurare**.

Combinatii
fibre:

Rovingul de impregnare cu rasini fenolice si rasini poliesterice sta la baza materialului compozit folosit in interiorul cabinelor avioanelor, compartimentelor bagajelor, garniturilor de etansare, carcaselor pentru aparatura, captuselilor de carlinga, suportilor de antena, placilor de control ale eleroanelor, la podeaua compartimentului pentru pasageri, etc.

Sticla+ kevlar

In foarte multe cazuri se folosesc **compozite hibride** atat cu fibre de sticla si Kevlar cat si cu fibre de carbon si Kevlar. Aceste compozite hibride prezinta si proprietati deosebite in functie de proportia de Kevlar si sunt utilizate in aceleasi domenii ca si compozitele de baza.

Carbon+kevlar

Kevlarul se poate folosi sub forma de compozit la realizarea fetelor in structurile sandwich, asigurandu-se o rezistenta mecanica deosebita.

Utilizari pentru
autovehicule

Desi Kevlarul a fost introdus in anul 1972 cu o capacitate totala de productie de 45300 kg/an, productia la inceputul anilor '90 s-a extins la ~ 30 000 t / an. O serie de producatori incearca introducerea materialelor cu Kevlar si in alte domenii decat cel aeronautic.

Se pot produce o gama variata de piese pentru **autovehicule** (amortizoare, bare de protectie, cadre pentru ferestre, carcase pentru ventilator). Costul ridicat al finisajelor de inalta calitate precum si limitarea aplicarii compozitelor in timp la temperaturi ridicate si dificultatea efectuarii unui control calitativ adecvat a condus la multa prudenta in cazul introducerii unor compozite noi.

Fibra Kevlar, datorita proprietatilor mecanice deosebite pe care le posedă, isi gaseste camp larg de utilizare in **industria navala** si in constructiile marine. Utilizarea compozitelor in marina este conditionata in

<p>Utilizari in industria navala</p>	<p>primul rand de capacitatea lor de a rezista conditiilor impuse de mediul marin. <u>Compozitele cu Kevlar nu sunt atacate de organisme marine</u> si atacul biologic nu se considera ca afecteaza caracteristicile materialului. Astfel, se construiesc ambarcatiuni de dimensiuni mici pe baza de Kevlar, precum si o serie de produse necesare in marina ca de exemplu carne, spargatoare de valuri, carenaje, traverse si catarge, rezervoare, etc.</p>
<p>Industria aerospatala</p>	<p>Un rol important in realizarea unor compozite calitativ superioare il joaca sistemul de rasina implicat. Astfel rasinile epoxi nu pot da o comportare satisfacatoare decat in domeniul temperaturilor mici (200° C). Pentru temperaturile inalte cerute de aviatie sau astronautica, trebuie utilizate rasini rezistente la temperaturi, cum ar fi de exemplu polibenzimidazoli.</p> <p>Programele NASA prevad utilizarea Kevlarului in proportie mare pentru ajutajele rachetelor, aparatura de bord, costumele spatiale pentru astronauti, carcase, suportii. Rezistent la coroziune, cu greutate foarte redusa, prezentand usurinta la montare, transport, depozitare, manipulare si intretinere, cu proprietati mecanice exceptionale si capacitate de a fi asociat cu alte materiale, Kevlarul si compozitele din Kevlar au sansa sa constituie un material de baza pentru constructia de avioane, alaturi de fibrele de carbon.</p>
<p>Fibre de silice Caracteristici Obtinere</p>	<p>12.2. Fibre de silice</p> <p>In aceasta categorie de fibre intra 2 tipuri, diferite dupa puritate si procedee de obtinere:</p> <ul style="list-style-type: none"> - fibrele de silice; - fibrele de cuar; <p><u>Fibrele de silice</u> contin 96 – 98 % SiO_2 si se obtin din fibre de sticla E (sau din alte compozitii uzuale) supuse unui tratament termic prin incalzire la 500 – 600°C, cand se produce separarea fazelor si formarea domeniilor bogate in SiO_2. Urmeaza tratarea cu acid clorhidric sau alt acid tare care solubilizeaza microfazele ce contin celelalte elemente chimice, astfel incat sa ramana numai scheletul de silice. Structura microporoasa rezultata este inlaturata prin incalzirea fibrelor la 600° C, cand porii se inchid. Fibrele de silice obtinute prin acest procedeu sunt comercializate sub denumirea de Refrasil (firma Hitco Materials Div.) si Siltemp (firma Ametek Inc.).</p>
<p>Fibre de cuar Caracteristici Obtinere</p>	<p><u>Fibrele de cuar</u> sunt fibre din silice pura (99,95 – 99,97 %). Ele se obtin prin procedeul tragerii din baghete de sticla de cuar, incalzite la 1800° C. Folosirea nisipului de cuar cu peste 95 % SiO_2 sau a quartitei conduce la obtinerea de sticla netransparenta. Pentru fabricarea sticlei transparente se folosesc varietati rare de cuar de inalta puritate, fapt ce se reflecta in costul ridicat.</p> <p>Diametrul tipic al fibrelor de cuar, comercializate sub denumirea de Astroquartz II de firma J.P. Stevens, este de 9 μm. Proprietatile fizice si mecanice ale fibrelor de cuar sunt prezentate in Tabelul 12.2.</p> <p>Fibrele din silice obtinute prin ambele procedee au proprietati fizice si chimice asemanatoare. Ele au densitati mai mici decat fibrele de sticla,</p>

Avantaje fata de alte fibre

sunt insensibile la umiditate si au o rezistenta remarcabila la agenti chimici, cu exceptia acidului fluorhidric si a acidului fosforic cald. Sunt stabile la temperaturi pana la 1050 – 1095°C si rezista la soc termic. Pot fi incalzite pana la 1095°C si apoi racite rapid in apa, fara sa prezinte o schimbare aparenta.

Puritatea inalta a fibrelor de cuarț le asigura:

- caracteristici electrice remarcabile, superioare fibrelor de silice si de sticla si care nu variaza cu temperatura;
- transparenta mare la unde radio, radiatii ultraviolete pana la 185 nm si la radiatii ionizante.

Tabelul 12.2 – Proprietatile fibrelor de cuarț

PROPRIETATE	UNITATE DE MASURA	VALOARE
Diametru	μm	8,90
Densitate	g / cm ³	2,19
Temp. de inmuiere	°C	1500
Coeficient de dilatare termica	ppm / °C	0,54
Conductivitate termica	W / m°C	2,00
Capacitate calorica masica de la -20°C la 500°C	Kj / kg K	0,96
Duritate	Grad Mohs	5 – 6
Rezistenta la tractiune	GPa	3 – 3,4
Modul de elasticitate	GPa	69 – 85
Rezistenta specifica	Mm	0,137-0,155
Alungire	%	5
Rezistivitate electrica	Ωm	10 ¹⁶
Continut de umiditate	%	1

Proprietati mecanice

Rezistenta mecanica a fibrelor de silice depinde de procesul de fabricare si de diametru. Fibrele de silice (tip Refrasil), spre deosebire de fibrele de cuarț, au rezistente mecanice mediocre si descresc continuu cu temperatura. Astfel, fibrele astroquartz II (cu diametru de 9 μm) au rezistenta la intindere de 3,45 GPa, comparabila cu a fibrelor de sticla E, fata de numai 0,21 – 0,41 GPa pentru fibrele Refrasil. Prin reducerea diametrului la 1 μm, rezistenta la intindere a fibrei de cuarț atinge 8 – 10 GPa. Modulul de elasticitate al fibrelor de cuarț variaza intre 69 si 120 GPa, in functie de diametru. Rezistenta specifica a fibrelor de cuarț este mult mai mare decat a celorlalte tipuri de fibre rezistente la temperaturi inalte ca, de exemplu, fibrele de alumina sau de carbura de siliciu.

Proprietatea cea mai importanta si mai interesanta a fibrelor de silice si de cuarț este comportarea excelenta la ablatiune.

Ablatiunea

Ablatiunea este o metoda accesibila de protectie termica a navelor spatiale la reintrarea in atmosfera si pentru ajutajele motoarelor de racheta. Prin ablatiune se intelege o autoreglare a procesului de transfer de caldura si de masa, in care caldura latentă este evacuata prin topirea, vaporizarea sau descompunerea unui strat superficial al suprafetei. Se cunosc mai multe metode care folosesc caldura latentă de modificare a starii materialului si care pastreaza simultan geometria initiala a suprafetei.

Ca materiale ablativ se folosesc:

<p>protectia termica a structurilor aerospatiale</p>	<ul style="list-style-type: none"> - compozite cu matrice polimerica (rasini fenolice, epoxidice, poliamidice, etc.) ranforsate in special cu fibre de cuar sau cu fibre de carbon; - materiale ceramice poroase impregnate cu rasini; <p>Aceste materiale sunt folosite pentru protectia termica a structurilor aerospatiale si a echipamentelor nesolicitate la ablatiune, cat si pentru structuri izolante, ablativ si rezistente.</p>
<p>aplicatii la temperaturi mari</p>	<p>Sticla de cuar (care este un polimer anorganic), ca si matricea polimerica, absoarbe o cantitate mare de caldura la trecerea in faza de fluid vascos, in procesul de vaporizare si in reactiile de degradare termica. Fibra Astroquartz II incepe sa se inmoaie la temperatura de 1300°C si sa se volatilizeze la 2000° C.</p> <p>12.3. Fibrele ceramice cu modul inalt</p> <p>Fibrele ceramice sunt folosite pentru aplicatii la temperaturi mari, in special asociate cu matrice ceramice sau metalice si, mai recent, cu matrici polimerice termorezistente. Din aceasta categorie, cele mai bune caracteristici mecanice la temperaturi mari o au fibrele pe baza de alumina, sau carbura de siliciu.</p>
<p>in special cu matrice ceramica</p>	<p>12.3.1. Fibre de alumina</p> <p>Fibrele de alumina – Al_2O_3 – se pot clasifica dupa cum urmeaza:</p> <ul style="list-style-type: none"> - fibre continue de alumina de inalta puritate (> 99,9%), cu morfologie policristalina (FP). - filamente monocristaline (<i>whiskers</i>) de α-alumina. - fibre continue si discontinue pe baza de alumina, cu continut mic de silice;
<p>fibre de alumina</p>	<p>Fibrele de alumina FP au module inalte, de 379 GPa, si o rezistenta la intindere de 1,38 GPa. Rezistenta la intindere este diminuat de existenta fisurilor superficiale si de limitele intercristaline. Caracteristicile mecanice ale fibrelor FP se mentin nemodificate la temperaturi de pana la 900° C. Fibrele de alumina au o rezistenta foarte mare la eroziune si la medii chimice agresive, inclusiv la expunerea in aer la temperaturi inalte.</p>
<p>Fibre de carbura de siliciu</p>	<p>12.3.2. Fibre de carbura de siliciu</p> <p>Fibrele de carbura de siliciu – SiC – se produc prin mai multe procedee sub urmatoarele forme:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Monofilamente continue de tipul fibrelor CVD</u>, prin procedeul depunerii in faza de vapori (CVD), pe un substrat de wolfram sau de carbon. <p>Carbura de siliciu este depusa fie pe un substrat de wolfram ($\Phi=12,5\mu m$), fie pe unul de carbon cu diametrul $\Phi = 33 \mu m$, mult mai ieftin. Fibrele de SiC – CVD cu suport de filament de carbon au diametre de 100-140 μm si densitate de 3,2 g/cm³.</p> <p>La temperatura camerei, fibrele de carbura de siliciu au rezistenta la intindere intre 3,4 si 4,14 GPa si module de elasticitate de 400-428 GPa. Au o termostabilitate mecanica mare, mentinandu-si rezistenta la intindere nemodificata pana la 1300-1400° C. Fibrele de carbura de siliciu au o</p>

<p>Procedee de obtinere</p> <p>Whiskers</p>	<p>rezistenta exceptionala la agentii chimici, inclusiv la acid azotic concentrat si la acid fluorhidric.</p> <p>2. <i>Fibre monolitice continue</i>, fine, produse prin piroliza unei fibre precursoare de polycarbosilan;</p> <p>Fibra Nicalon obtinuta prin acest procedeu are diametrul de 10-15 μm si contine aproximativ 65% $\beta\text{-SiC}$ cu dimensiuni ale microcristalelor de 1,7 nm. Proprietatile fibrelor fine de SiC obtinute prin ambele procedee sunt diferite. Astfel, rezistenta la intindere si modulul fibrelor fine de SiC sunt inferioare fibrelor SiC-CVD.</p> <p>3. <i>Monocristale filamentare (whiskers)</i>, cu diametre de 3-10 μm si lungimi de 200 μm, obtinute prin tehnica vaporii-lichid-solid (VLS), fie cu diametre de 0,15-1,5 μm si lungime de 10-80 μm, obtinute printr-un procedeu pirolitic special.</p> <p>Whiskersurile reprezinta o noua clasa de materiale care au rezistenta mecanica comparabila cu fortele existente intre 2 atomi adiacenti.</p> <p>Whiskersurile sunt materiale rezistente deoarece pot fi considerate cristale relativ perfecte din punct de vedere al densitatii de dislocatii sau a altor defecte. Perfectiunea materialelor de tip whiskers nu se limiteaza la suprafata ci se refera si la structura interna. Aceasta este foarte importanta, deoarece le confera nonfriabilitate in timpul folosirii.</p> <p>In afara de carbura de siliciu, se pot obtine sub forma de whiskersuri si alte tipuri de materiale precum: oxidul de aluminiu, nitrura de siliciu, nitrura de aluminiu sau carbonul. In Tabelul 12.3 sunt redade proprietatile fizice ale unor materiale tip whiskers.</p> <p>Diametrele fibrelor whiskers sunt cuprinse intre 1 si 50 μm. Fibrele intrunesc atat calitatile fibrelor de sticla (avand alungirea 3 – 4%), cat si a celor de bor, avand modulul Young cuprins intre 40 – 100 x 10³ MPa. Proprietatile mecanice ale fibrelor whiskers variaza mai putin cu cresterea temperaturii, fata de variatiile inregistrate de alte materiale.</p> <p>Fibrele whiskers se produc sub forma de vata, fibre libere si ca impaslitura. Fibrele libere se obtin prin prelucrarea vatei. Impasliturile contin fibre – whiskers cu o lungime de 250-2500 μm si fara o orientare preferentiala.</p> <p>Whiskersurile se folosesc in special ca materiale de armare, fie direct la intarirea unor rasini, cum ar fi cele epoxidice, fie pentru consolidarea suplimentara a unor structuri armate cu fibre de sticla, de carbon, etc. Adaosul de whiskers, necesar la armarea suplimentara, este cuprins intre 1 si 5 %.</p> <p>Fibrele de whiskers se obtin prin cresterea cristalelor, sau prin alte procedee, al caror cost, pana la ora actuala, se mentine deosebit de ridicat, desi materia prima este relativ ieftina.</p> <p>Costul inca ridicat al whiskersurilor explica folosirea lor limitata pe scara industriala, desi proprietatile lor le recomanda ca deosebit de utile in domeniul aerospacial si in industria constructoare de masini.</p>
-------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabelul 12.3 – Proprietatile fizice ale materialelor tip whiskers

Materiale	Densitate g/cm ³	Punct de topire °C	Rezistenta mecanica kPa x 10 ⁶	Modulul Young kPa x 10 ⁶
Oxid de Al (Al ₂ O ₃)	3,9	2082	1,4-2,8	70-245
Nitrura de Al (AlN)	3,3	2198	1,4-2,1	35
Oxid de Be (Be ₂ O ₃)	1,8	2549	1,4-1,96	40
Carbura de bor	2,5	2449	0,7	45,5
Grafit (C)	2,25	3593	2,1	99,4
Oxid de Mg (MgO)	3,6	2799	2,45	31,5
Carbura de siliciu α(SiC)	3,15	2316	0,7-3,5	49
Carbura de siliciu β(SiC)	3,15	2316	0,7-2,5	70-105
Nitrura de siliciu Si ₃ N ₄	3,2	1898	0,35-1,15	38,5

Proprietatile
whiskersurilor

Fibrele ceramice, care pana de curand erau folosite numai la ranforsarea matricelor ceramice si metalice, au inceput sa fie asociate si cu matrici polimerice care rezista la temperaturi inalte.

Materialele compozite polimerice cu fibre de alumina sunt destinate executarii structurilor transparente la radar si a unor elemente de structura solicitate mecanic si termic.

12.4. Fibre de azbest

Varietati de
azbest

Azbestul reprezinta o varietate de minereuri existente in natura sub forma fibroasa, cu o compozitie silicatica variabila si complexa. Exista 6 varietati de azbest: **actinolit**, **amosit**, **antofilit**, **crisotil**, **crocidolit**, **tremolit**. Crisotilul este specia de azbest cea mai raspandita in natura.

Crisolit

Desi in anii '80 productia mondiala de azbest era de aprox. 4 Mt/an, in ultimii ani consumul de azbest a scazut, datorita restrictiilor impuse de standardele de calitate pentru aer si pentru limitarea substantelor poluante la nivele considerate nedaunatoare. In minele de azbest si in intreprinderile de prelucrare industriala, concentratia in aer de fibre extrem de fine este de 1000 fibre / cm³. Inhalarea aerului poluat cu azbest reprezinta un puternic factor de risc la imbolnavire.

Fibrele de azbest folosite pentru ranforsarea betonului si a polimerilor sunt tratate chimic pentru eliminarea impuritatilor provenite din roca. Fibrele de azbest se folosesc ca atare, impletite in snururi sau prelucrate textil in mat, hartie sau tesaturi, simple sau preimpregnate cu rasina.

Caracteristici

Fibrele de azbest comerciale se produc intr-o gama larga de lungimi si diametre. Forma dimensionala optima a fibrelor de azbest scurte, folosite ca material de ranforsare, corespunde unei lungimi critice de 1-2 mm si unui raport de forma cuprins intre 150 si 250.

Fibrele de azbest au conductibilitate termica redusa, sunt ignifuge si au coeficienti mari de frecare.

Aproximativ 75% din productia totala de azbest este folosita la productia azbocimentului. In prezent, folosirea fibrelor de azbest la fabricarea compozitelor cu matrici polimerice este in scadere, datorita preferintei pentru fibrele de sticla si mai ales datorita problemelor ecologice pe care le ridica.

<p>Aplicatii</p>	<p>Azbestul folosit la obtinerea materialelor compozite se prezinta in cele mai variate forme: pulbere, tesaturi, hartie, mat (denumire uzuala in tehnologia materialelor compozite ce semnifica un produs din fire de baza, tocate sau discontinue, aranjate intamplator si fixate cu un liant). La alegerea formei se tine seama de tehnologia de formare, profilul pieselor, etc.</p> <p>Materialele compozite polimerice cu fibre de azbest au caracteristici mecanice bune, rezistenta chimica mare la o gama variata de medii chimice, rezistenta buna la intemperii si la incendii. Prin asocierea fibrelor de crisotil cu matrici polimerice termorezistente, se obtin compozite care rezista bine la temperaturi mari.</p> <p>Una din aplicatiile cele mai importante ale fibrelor de azbest este obtinerea materialelor de frictiune. Materialele de frictiune pe baza de azbest se obtin din <i>mat</i>, impregnat de obicei cu 30-40 % rasina. Ele contin cantitati minore de zinc, sau de cupru, pentru imbunatatirea conductivitatii termice si particule de grafit, sau ceramice, pentru echilibrarea caracteristicilor de frictiune. Asemenea materiale se folosesc pentru sistemele de franare in lifturi, excavatoare si automobile.</p> <p>Pentru sistemul de franare al aeronavelor, care sunt supuse la solicitari termice si mecanice deosebit de severe, au fost elaborate diferite materiale de frictiune speciale, pe baza de azbest si diferiti polimeri.</p> <p>12.5. Fibre de carbon</p> <p>Fibrele de carbon cu rezistenta mare la tractiune sau cu modul ridicat reprezinta agentul de ranforsare predominant pentru obtinerea de materiale compozite de inalta performanta. In combinatie cu rasini poliesterice, epoxidice sau poliimidice, fibrele de carbon conduc la materiale compozite ce intrec, in ceea ce priveste rezistentele la tractiune, cele mai bune aliaje metalice. Ele poseda in plus densitati mult mai mici decat aliajele metalice, ceea ce este foarte important pentru multiple aplicatii.</p> <p>Fibrele de carbon prezinta urmatoarele caracteristici distinctive:</p> <ul style="list-style-type: none"> - densitate 1,67 – 1,9 g / cm³; - excelente proprietati mecanice la tractiune si compresie; - rezistenta termica foarte buna (in absenta atmosferei oxidante); - excelenta inertie chimica la temperatura ambianta; <p>- buna conductivitate termica;</p> <p>La utilizarea fibrelor de carbon trebuie sa se tina cont si de urmatoarele deficiente ale acestor fibre:</p> <ul style="list-style-type: none"> - rezistenta scazuta la soc; - rezistenta scazuta la abraziune; - sunt atacate de oxigen si acizi oxidanti (H₂SO₄, HNO₃) la temperaturi mai mari de 400 °C; <p>- are loc o coroziune de tip galvanic la contactul cu metale si aliaje;</p> <p>Fibrele de carbon se utilizeaza la obtinerea materialelor compozite cu diferite tipuri de matrici polimerice. Se pot folosi in acest scop atat</p>
------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Utilizari

Compozite comerciale

Compozite hibride

rasini termoreactive (epoxidice, poliesterice, poliimidice), cat si termoplastice (poliimide, polisulfone, polifenilensulfura, Nylon 6,6, etc.).

In Tabelul 12.4 se prezinta proprietatile mecanice tipice ale unor compozite comerciale pe baza de rasini epoxidice, produse de diferite firme.

Tabelul 12.4 – Proprietati mecanice ale compozitelor pe baza de rasina epoxidica si fibre de carbon

PROPRIETATE	Union Carbide Corporation	Great Lakes Carbon corporation		Stackpole Fibers Company
	Thornel 300 (65%)	Fortafil 3 (60%)	Fortafil 5 (60%)	Panex 30 (60%)
Laminat unidirectional, proprietati longitudinale (0°):				
Rezistenta la intindere, MPa	1516	1309	1102	1550
Modul de intindere, GPa	138	-	-	124
Deformarea limita la intindere, %	-	-	-	1,2
Rezistenta la compresiune, MPa	1585	1309	1102	1240
Modulul la compresiune, GPa	138	-	-	124
Rezistenta la flexiune, MPa	-	1481	1240	1723
Modulul la flexiune, GPa	-	124	162	124
Rezistenta la forfecare interlaminara, MPa	124	83	76	114

Pentru imbunatatirea unor proprietati, in special a rezistentelor la soc si pentru ameliorarea costului se obtin uneori compozite hibride, utilizandu-se doua sau mai multe materiale de ranforsare. Tabelul 12.5 prezinta modul in care se modifica principalele caracteristici ale compozitelor hibride obtinute cu fibre de carbon si Kevlar.

Materialele compozite pe baza de fibre de carbon si-au gasit largi utilizari in industriile aeronautica, aerospaciala, navala si in tehnica militara.

Tabelul 12.5 – Proprietati mecanice ale compozitelor hibride unidirectionale cu fibre Thornel 300 si fibre Kevlar 49 (60% continut nominal de fibre)

PROPRIETATE	Raportul masic Thornel 300 / Kevlar 49			
	100 / 0	75 / 25	50 / 50	0 / 100
Densitatea, g/cm³	1,60	1,56	1,51	1,35
Modulul la intindere, GPa	145	120	108	77
Rezistenta la intindere, MPa	1564	1282	1213	1261
Rezistenta la compresiune, MPa	1006	937	688	286
Rezistenta la flexiune, MPa	1605	1357	1102	633
Rezistenta la forfecare, MPa	91	76	56	49
Costul preimpregnatului, \$/kg	132	106	77	22

Cantitati insemnate de asemenea compozite se utilizeaza in prezent la fabricarea diferitelor articole sportive: undite de pescuit, crose de golf, rachete de tenis, schiuri, cadre pentru biciclete, etc.

Compozitele pe baza de fibre de carbon si-au gasit largi aplicatii si in industria constructoare de masini pentru producerea echipamentelor de procesare din industria alimentara, in constructiile de automobile, la

	fabricarea instrumentelor medicale si radiologice, a instrumentelor muzicale, etc
--	-----------------------------------------------------------------------------------



Test de autoevaluare 12.1 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.
Ce este rovingul ?

Răspunsul la test se găsește la pagina .



Test de autoevaluare 12.2 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.
Care sunt principalele proprietati ale fibrelor de azbest ?

Răspunsul la test se găsește la pagina .



Test de autoevaluare 12.3 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.
Care sunt principalele caracteristici pozitive ale fibrelor de silice si cuarț fata de fibrele de sticla ?

Răspunsul la test se găsește la pagina .

Am ajuns la sfârșitul Unității de învățare Nr. 12.

În loc de
rezumat

Vă recomand să faceți o recapitulare a principalelor subiecte prezentate în această unitate și să revizuiți obiectivele precizate la început.

Este timpul pentru întocmirea Lucrării de verificare Unitate de învățare Nr. 12 pe care urmează să o transmiteți tutorelui.

Lucrare de verificare pentru Unitatea de învățare Nr. 12



9. Ce este Kevlarul si care sunt caracteristicile sale generale ?
10. Care sunt principalele domenii de aplicatii ale compozitelor cu Kevlar ?
11. Care sunt principalele caracteristici si aplicatii ale fibrelor de alumina ?
12. Care sunt principalele avantaje dar si dezavantaje ale fibrelor de carbon ?
13. Ce intelegeti prin compozit hibrid ? Dati exemple.

Barem:

Intrebarea nr.	Punctaj maxim acordat	
1	2	
2	2	
3	2	
4	2	
5	2	

Răspunsurile și comentariile la testele de autoevaluare



12.1. Rovingul reprezintă un ansamblu de fire de baza paralele, fara o rasucire anume, avand multiple utilizari: 1) **rovingul pentru infasurare**, utilizat pentru obtinerea de tevi, tuburi si fittinguri etc; 2) **Rovingul de impregnare** care, impregnat cu rasini fenolice si rasini poliesterice, sta la baza materialului compozit folosit in interiorul cabinelor avioanelor, compartimentelor bagajelor, garniturilor de etansare, carcaselor pentru aparatura, captuselilor de carlinga, suportilor de antena, placilor de control ale eleroanelor, la podeaua compartimentului pentru pasageri, etc.

12.2. Fibrele de azbest au conductibilitate termica redusa, sunt ignifuge si au coeficienti mari de frecare.

12.3. Fibrele de silice si cuarț au densitati mai mici decat fibrele de sticla, sunt insensibile la umiditate si au o rezistenta remarcabila la agenti chimici, cu exceptia acidului fluorhidric si a acidului fosforic cald. Sunt stabile la temperaturi pana la 1050 – 1095°C si rezista la soc termic. Pot fi incalzite pana la 1095°C si apoi racite rapid in apa, fara sa prezinte o schimbare aparenta.

Bibliografie pentru Unitatea de învățare Nr. 12



A. Nocivin, Materiale avansate, Ed. Ovidius University Press, Constanța, 2001, pag. 45 - 69


Unitate de învățare Nr. 13

Materiale compozite – Partea a IV-a: Tipuri de matrici

Cuprins	Pagina
Obiectivele Unității de învățare Nr. 13.....	126
7.1. Matrice polimerica	126
13.1.1. Principalele aplicatii ale materialelor compozite cu matrice polimerica	
7.2. Matrice metalică	132
7.2.1. Materiale compozite cu matrice de Al	
7.2.2. Materiale compozite cu matrice de Mg	
7.2.3. Materiale compozite cu matrice de Ti	
Lucrare de verificare pentru Unitatea de învățare Nr. 13.....	136
Răspunsuri și comentarii la testele de autoevaluare.....	136
Bibliografie pentru Unitatea de învățare Nr. 13.....	137



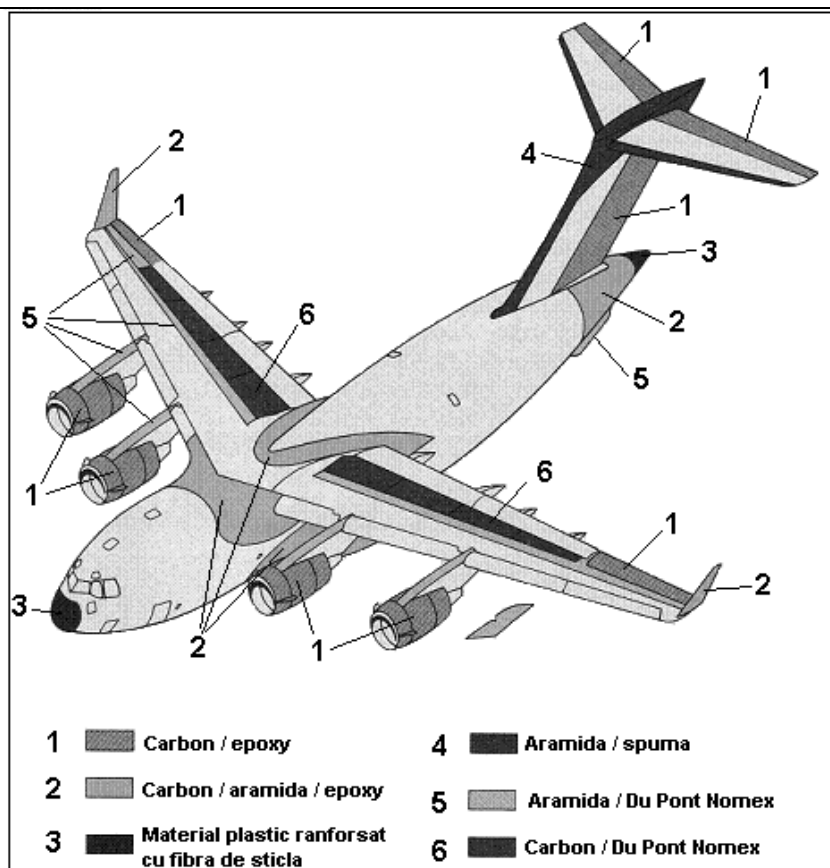
OBIECTIVELE Unității de învățare Nr. 13

Principalele obiective ale Unității de învățare Nr. 13 sunt:	
	<ul style="list-style-type: none"> • Prezentarea principalelor tipuri de matrici utilizate pentru obtinerea materialelor compozite si aplicatiile acestora • Criteriile de alegere a materialului matricei
CONTINUTUL UI-13:	
<p>Tipuri de matrici polimerice</p>	<p>Principalul criteriu de alegere a materialului matricei compozitului il reprezinta temperatura de lucru. Astfel, se disting trei tipuri de matrici:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>matricea polimerica</u> – cu temperatura de lucru $< 200\text{ }^{\circ}\text{C}$; - <u>matricea metalica</u> – cu temperatura de lucru $< 600\text{ }^{\circ}\text{C}$, cu exceptia superaliajelor pe baza de Ni si Co care pot depasi $900\text{ }^{\circ}\text{C}$; - <u>matricea ceramica</u> – cu temperatura de lucru $> 2500\text{ }^{\circ}\text{C}$; <p>13.1. Matrice polimerica</p> <p>In functie de proprietatile materialelor compozite obtinute, polimerii utilizati ca matrice se pot grupa in trei clase:</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Polimeri cu performante medii: <ul style="list-style-type: none"> - termoplastici – polipropilena; - termoreactivi – fenoplaste; - elastomeri de uz general; ◆ Polimeri cu “inalte performante”, dar cu termostabilitate redusa: <ul style="list-style-type: none"> - termoplastici – poliamide, poliesteri saturati, s.a.; - termoreactivi – poliesteri nesaturati, rasini epoxidice, s.a.; - elastomeri – poliuretani; ◆ Polimeri termostabili cu performante ridicate: <ul style="list-style-type: none"> - termoplastici; - termoreactivi – poliimide, s.a.; - elastomeri – siliconici;
<p>Aplicații composite cu matrice polimerică</p>	<p><u>13.1.1. Principalele aplicatii ale materialelor compozite cu matrice polimerica</u></p> <p>Caracteristica de baza a compozitelor polimerice consta in raportul foarte ridicat rezistenta/greutate. Datorita acestui fapt, materialele compozite polimerice au devenit indispensabile pentru dezvoltarea unor domenii de varf precum microelectronica, tehnica medicala, constructiile aerospatiale, industria de automobile, industria navala etc.</p> <p>Este relevant un singur exemplu: la construirea modulului lunar al navetei spatiale Apollo 11, circa 75% din materialele utilizate au fost compozite polimerice, iar in cazul navetei spatiale Discovery, acest procent a ajuns la 87%. Si in industria navala utilizarea compozitelor polimerice a atins un ritm galopant, plecand de la partile submersibile ale vapoarelor si ajungand pana la echipamente ultracomplexe de foraj marin.</p>

<p>materiale plastice armate cu fibre de sticla</p> <p>protejarea conductelor submarine</p> <p>Prajinile de foraj de mare adancime</p> <p>Carne automate ambarcatiuni de salvare</p>	<p><u>3 - Geamanduri de navigatie</u></p> <p>Inlocuirea geamandurilor metalice cu cele confectionate din materiale compozite s-a impus datorita frecventelor deteriorari ale vaselor in cazul coliziunii cu acestea. Au fost incercate succesiv materiale compozite cu matrici polimerice cum sunt: spume de polietilena, elastomeri poliuretatici si materiale plastice armate cu fibre de sticla.</p> <p>Geamandurile pentru ancorarea unor vase au fost, de asemenea, construite din materiale compozite, asa cum este cazul celor din zona petroliera a Egiptului, confectionate din materiale plastice armate cu fibre de sticla, cu diametrul de 4m si cantarind circa 16,5 tone, capabile sa tina la ancora petroliere cu o capacitate de 330-600 tone de titei.</p> <p><u>4 - Echipamente pentru foraje marine</u></p> <p>Materialele compozite cunosc o larga utilizare in fabricarea unor componente ale echipamentelor pentru foraje marine, inlocuind otelurile aliate, ca urmare a greutatii specifice reduse, a proprietatilor mecanice adecvate si a rezistentei la coroziunea apei de mare.</p> <p>Se practică protejarea conductelor submarine pentru transportul titeiului si produselor petroliere, cu matrici polimerice si fibre de carbon rezistente la coroziunea apei de mare si cu o flexibilitate sporita de-a lungul axei longitudinale a conductei.</p> <p>Prajinile de foraj de mare adancime sunt supuse la compresiune si la activitatea periodica de miscare a valurilor, cu riscul de deteriorare. Schimbarea masei prajinilor de foraj, prin trecerea de la otel la materiale compozite, conduce la cresterea adancimii de foraj si a sigurantei in functionare. S-a dovedit ca 15m de conducta fabricata din fibre de carbon si fibre de sticla rezista pana la o presiune de eruptie de 168 MPa, fiind folosite curent in forajele din Marea Nordului, timp de 3 campanii, la presiune de lucru de 70 MPa.</p> <p>Carne automate, integral capsulate si motoare cu elice pentru ambarcatiunile de salvare se fabrica din mase plastice armate cu fibre de sticla rezistente la foc.</p> <p>Din materiale compozite se produc si diferite tipuri de ambarcatiuni de salvare pentru transportul personalului de operare al sondelor de extractie, cu dimensiuni cuprinse intre 6,2m (pentru 21 de persoane) si 8,75m (pentru 66 persoane). Testul de rezistenta al ambarcatiunilor de salvare se face prin expunere la radiatia unei flăcări de petrol, cu temperatura de 1150°C, la o distanta de 30m, temperatura din interiorul ambarcatiunii nedepasind 27°C. Reduceri in greutatea ambarcatiunii de circa 25% s-au obtinut prin inlocuirea fibrelor de sticla cu un hibrid format din fibre aramidice si fibre de sticla in matrice poliuretanică.</p> <p>In fabricatia unor componente ale vehiculelor pe perna de aer se utilizeaza, de asemenea, un hibrid format din fibre de carbon si fibre de sticla, incorporat intr-o matrice din materiale plastice, hibrid care a dat rezultate foarte bune in mediile ostile cu vapori de apa si nisip, cu</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Ax cardanic</p>	<p>activitate coroziva si eroziva. Paletele turbinelor eoliene, cu lungimea de 2,7m, fabricate din duraluminiu, au fost inlocuite cu palete fabricate dintr-un material compozit avand un miez format din spume poliuretanic rigide acoperite cu un strat de material plastic armat cu fibre de sticla.</p> <p><u>5 - Ambarcatiuni pentru transport, agrement si intreceri sportive</u></p> <p>Constructorii de imbarcatiuni pentru scopuri turistice din Europa utilizează spuma de policlorura de vinil, armata cu fibra de sticla si poliester, aplicata peste scheletul de lemn al imbarcatiunilor.</p> <p>Constructorii de imbarcatiuni din Italia au fabricat un material compozit format din fibre aramidice si de sticla in matrici din materiale plastice pentru realizarea unor vase de 21m, pentru 80 de pasageri, cu geometrie variabila, in scopul atingerii unor viteze de deplasare foarte mari (de 50 de noduri) si reducerii consumului de combustibil cu 40%.</p> <p>In domeniul curselor nautice s-au construit imbarcatiuni ale caror componente structurale sunt in intregime din materiale compozite de tipul laminatelor de tip sandwich, fagure de miere. Greutatea imbarcatiunii a scazut de la 2000 Kg la 1500 Kg, iar consumul de combustibil s-a redus de la 60 l/h la 42 l/h, la viteza optima cuprinsa intre 32 si 42 de noduri, putandu-se atinge o viteza maxima cuprinsa intre 52 si 70 de noduri, in functie de tipul imbarcatiunii.</p> <p>b) <u>Aplicatii in industria de automobile</u></p> <p>In constructia automobilelor si a motoarelor moderne, reducerea greutatii, a consumului de carburant si cresterea sigurantei pasagerilor constituie obiective majore, care se pot atinge prin cresterea ponderii componentelor fabricate din materiale compozite. Compozitele elastomerice folosite pentru fabricarea unor repere ale motorului, cutiei de viteze, sistemului de suspensie sunt supuse unor sarcini statice considerabile, pana la 400-500 kg, trebuind sa nu prezinte fisuri pe toata durata de serviciu a unei masini estimata la 10-15 ani.</p> <p>Axul cardanic, de exemplu, exploateaza multe dintre proprietatile materialelor compozite cu matrice polimerica. Astfel, bunele proprietati de amortizare pot atenua vibratiile produse de motor. De asemenea, transmiterea redusa a zgomotelor face sa poata fi evitata propagarea acestora de la roti si differential la caroserie. Greutatea scazuta a axului cardanic si rigiditatea sporita permit functionarea la turatii mari. Prima utilizare experimentală care a dus apoi la implementarea industrială a fost in cazul unui Ford Cortina pentru care s-a executat un ax cardanic din rasini armate cu fibre de carbon care sa-l inlocuiasca pe cel de otel. Axul initial cantarea 10,2 kg, iar cel din material compozit doar 4,5 kg din care 3,3 kg erau mufele metalice de legatura de la capete. Inlocuirea cu un material similar si a articulatiei cardanice a redus greutatea cu inca 1,3 kg. In afara reducerii greutatii, s-a redus si nivelul de zgomot din cabina.</p> <p>Axele cardanice pentru furgonete si autocamioane au fost realizate din compozite hibride (carbon-sticla), rezultand urmatoarele avantaje fata de solutia clasica: scaderea greutatii cu 45,6%, echilibraj mai putin</p>
--------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

avioane de
vanatoare



Placile de acoperire ale structurilor sunt fabricate din fibre de carbon, sau fibre de carbon combinate cu fibre aramidice sau cu fibre de sticla. Materialele compozite care se utilizeaza pe scara larga in amenajarea interioara a aeronavelor au, pe langa proprietatile mecanice si de procesabilitate adecvate, rezistență la foc (nu emit gaze toxice si fum).

In plus, partile interioare vizibile trebuie sa aiba un aspect estetic pentru a satisface cerintele constructorilor de aeronave. Partile interioare fabricate din materiale compozite sunt in general compartimentele pentru bagajele de mana, peretii laterali, podeaua, plafonul, anexele sanitare, peretii despartitori pentru compartimentarea cabinelor. De regula, aceste componente sunt fabricate din rasini epoxidice sau fenolice foarte rezistente la foc, cu inflamabilitate scazuta si slaba emisie de miros si gaze toxice, armate cu fibre de sticla sau fibre de carbon, a caror utilizare a devenit predominanta in prezent. Pieseile fabricate din fibre de carbon lungi si rasina epoxidica au greutate totala care reprezinta intre 1/3 si 1/2 din greutatea totala a acelorasi piese fabricate din otel sau titan.

În cazul **avioanelor de vanatoare** se utilizează de asemenea materiale compozite polimerice pentru diferite componente utilizate in constructia invelisului aripilor, stabilizatoarelor orizontale, eleroanelor, directiei si a altor componente. Pentru tipul de avion A.V.-8B se utilizeaza aproximativ 590 Kg de materiale compozite formate din fibra de carbon si rasini epoxi, obtinandu-se o reducere totala a greutatii avionului cu circa 225 Kg (26% din greutatea structurii avionului).

In constructia avionului de vanatoare F-18 materialele compozite reprezinta aproximativ 10% din greutatea structurii si peste 50% din

<p>poliimide si fibre de grafit</p>	<p>suprafata exterioara a acestuia.</p> <p>Studiile de piata efectuate de catre constructorii de aeronave pentru aviatia civila si militara indica o tendinta certa de crestere a consumului de noi materiale compozite, pe termen mediu si lung, compozite destinate sa reduca greutatea proprie a aeronavelor, sa reduca costurile de fabricatie, sa automatizeze procesele de pilotare si sa creasca siguranta zborului.</p> <p>Principalele componente utilizate in tehnica aerospatuala, care trebuie sa fie usoare, rezistente, sa aiba coeficient mic de dilatare si stabilitate dimensionala pe toata durata de lucru, se pot grupa in urmatoarele categorii: structuri, platforme, vase si rezervoare de presiune, carcase.</p> <p><u>Structurile si platformele</u> constau, in esenta, dintr-un ansamblu de tuburi si panouri drepte, dimensionate astfel incat sa preia puternicele solicitari axiale si longitudinale. Daca aceste structuri sunt destinate sa ramana o perioada indelungata pe orbite extraterestre de joasa altitudine, atunci materialul de constructie trebuie sa fie rezistent la atacul oxigenului atomic si la degradare datorita radiatiilor cosmice.</p> <p><u>Vasele si rezervoarele de presiune</u> destinate depozitarii gazelor si lichidelor de propulsie sunt prevazute cu captuseli metalice adecvate, deoarece materialele compozite sunt poroase. Din aceasta cauza, problema esentiala a proiectarii vaselor si rezervoarelor de presiune o constituie echilibrarea dintre preluarea sarcinii intre captuseala metalica si materialul compozit exterior si dilatarile termice diferite ale celor doua tipuri de materiale utilizate, in succesiunea termica ciclica a regimului de functionare.</p> <p><u>Carcasele din materiale compozite</u> se utilizeaza in cazul vaselor de presiune si a structurilor spatiale, fiind astfel concepute incat sa faca fata solicitarilor mecanice si ale mediului exterior.</p> <p>Fibrele utilizate pe scara larga in constructia componentelor spatiale sunt mai ales fibrele de sticla de tip E si S, fibrele aramidice si fibrele de carbon/grafit. Matricile polimerice utilizate la fabricarea materialelor compozite trebuie sa dispuna de proprietati fizice si mecanice adecvate conditiilor de zbor extraterestru. Rasinile epoxidice sunt cel mai des utilizate in aplicatiile spatiale si in constructia rachetelor. Rasinile epoxidice multifunctionale corespund conditiilor de serviciu cuprinse intre -73°C si 180°C.</p> <p>Rasinile poliamidice si rasinile termoplastice, utilizate in constructia componentelor compozite, pot fi utilizate pana la 260°C, in ciuda faptului ca matricile poliamidice se proceseaza mai greu. Utilizarea matricilor termoplastice este de data relativ recenta, impunandu-se datorita costurilor de fabricatie mai scazute si caracteristicilor fizico-mecanice compatibile cu ale matricelor termoreactive.</p> <p>d) <u>Aplicatii la temperaturi ridicate</u></p> <p>Polimerii rezistenti la temperaturi ridicate sunt utilizati in tehnica aerospatuala, industriile electrica si electrotehnica, precum si in alte</p>
-----------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

faze durificatoare ceramice

Tipuri de matrici metalice

Avantaje / dezavantaje

domenii care reclama proprietati mecanice adecvate pentru functionarea la temperaturi ridicate. Marea majoritate a polimerilor utilizati in aceste domenii se prezinta sub forma de: adezivi, captuseli, fibre, filme, spume, izolatii, laminate si pulberi.

Majoritatea polimerilor organici au punctul de inmuiere sub 204°C, ceea ce a determinat extinderea unor cercetari, dupa anul 1960, in vederea sintetizarii unor polimeri cu puncte de topire mai ridicate, care sa permita utilizarea materialelor compozite pana la 500°C.

Noul tip de polimeri poliimidici, realizati de N.A.S.A. se bazeaza pe conceptul potrivit caruia fibrele de armare sunt impregnate cu un amestec de monomeri dizolvati in alcool etilic sau metilic. Printre primele componente fabricate prin acest procedeu din **poliimide si fibre de grafit** se pot aminti paletele turbinelor de reactie, cu o grosime de circa 13 mm. La aceasta grosime, structura materialului compozit este formata din 77 de pliuri de material cu orientare variabila a fibrelor de armare.

13.2. Matrici metalice

Pana in prezent, motivul principal ce a stat la baza dezvoltarii materialelor compozite cu matrice metalica l-a constituit realizarea cresterii rezistentei si a tenacitatii componentelor metalice cu structuri cat mai usoare. Alte importante imbunatatiri ale valorilor unor caracteristici cum ar fi capacitatea de amortizare, greutate specifica, rezistenta la uzura, coeficientul de dilatare termica, cat si capacitatea de exploatare la temperaturi inalte pot fi realizate prin combinatii avantajoase ale materialelor de adaos.

In acelasi timp, este de preferat sa poata fi mentinute unele proprietati specifice ale metalelor, cum ar fi un proces relativ simplu de fabricatie, ductilitatea, coeficienti mari de conductivitate electrica si termica etc. Se impune insa ca proprietatile combinatiilor dorite sa fie obtinute la un cost minim.

Multitudinea combinatiilor posibile a matricilor metalice si a diverselor forme sub care se gasesc materialele de adaos, conduc la necesitatea existentei unei mari banci de date in scopul asigurarii complete a proprietatilor cerute pentru aceste tipuri de materiale compozite.

In tabelul 13.2 este prezentata lista matricilor si a materialelor de adaos care au fost luate in considerare pentru realizarea diverselor combinatii de materiale compozite. Este de dorit in mod deosebit folosirea **fazelor durificatoare ceramice**, deoarece ele conduc in general la o reducere a densitatii materialului, cat si la o crestere a valorilor caracteristicilor mecanice de rezistență.

Tabelul 13.2 - Tipuri de matrici metalice si intaritori utilizate pentru obtinerea de materiale compozite

Matrici metalice	Faze durificatoare	
	nemetalice	Sarme metalice
Aliaje de: Al, Mg, Ti, Cu, Ni, Zn, Nb Fier si oteluri aliate	Alumina, aluminiura de Ti Bor (carbura de B, nitrura de B, borura de Ti) Grafit	Mo Oteluri inox W

		Carburi (de Nb, de Ta, de Ti, de V, de W, de Zr) Bioxid de Si, de Zr	Ti																																										
Matrice de Al / fibre de armare	<p>Materialele compozite metalice reprezinta o categorie de materiale ce ofera avantaje semnificative, functie de utilizarea specifica, in comparatie cu alte clase de materiale. Principalele avantaje si dezavantaje sunt prezentate sintetic in continuare:</p> <p>a) In comparatie cu metalele neintarite: <u>Avantaje:</u> Rezistenta specifica ridicata; Cresterea rezistentei la fluaj la temperaturi inalte; Imbunatatirea rezistentei la uzura; <u>Dezavantaje:</u> Tenacitate si ductilitate scazute; Procedee de productie mai complicate si mai scumpe;</p> <p>b) In comparatie cu materialele compozite cu matrici polimerice: <u>Avantaje:</u> Rezistenta mai mare la forfecare; Rezilienta crescuta; Fiabilitate mai buna; Rezistenta sporita la uzura; Conductivitate termica si electrica ridicate; Rezistenta in exploatare la temperaturi ridicate; <u>Dezavantaje:</u> Tehnologie de fabricare mai putin dezvoltata; Cost mai ridicat;</p> <p>c) In comparatie cu materialele compozite cu matrici ceramice: <u>Avantaje:</u> Tenacitate si ductilitate mai bune; Usurinta fabricatiei; Cost mai scazut; <u>Dezavantaje:</u> Rezistenta mai scazuta in exploatarea la temperaturi ridicate;</p> <p>i. <u>Materiale compozite cu matrice de aluminiu</u></p> <p>Matricile de aluminiu sau din aliaje ale acestuia constituie categoria de materiale metalice cea mai folosita la obtinerea materialelor compozite cu matrice metalica. Aceasta popularitate a materialelor pe baza de Al ca matrice pentru compozite este datorata indeosebi costului relativ scazut in comparatie cu cel al altor materiale usoare (magneziu sau titan), al tehnologiilor accesibile de fabricare.</p> <p>Ca faza de armare pentru compozitele cu matrice de aluminiu se utilizeaza toate formele existente si anume: macroparticule, mustati, fibre continue si lamele. Ca tipuri de materiale utilizate in acest sens amintim: fibre de bor, SiC, B₄C, grafitul, Al₂O₃, ZrO₂, fibre de Kevlar. Tabelul 13.3 indica principalele proprietati fizico-mecanice ale unor materiale compozite cu matrice de aluminiu:</p> <p><u>Tabelul 13.3</u> – Proprietatile catorva materiale compozite cu matrice de aluminiu</p> <table><tr><th>Tipul fibrei de armare</th><th>ρ, g/cm³</th><th>R_m MPa</th><th>E GPa</th><th>R_m/ρ</th><th>E/ρ 10³</th><th>T_{max}, °C</th></tr><tr><td>C</td><td>2,1 – 2,3</td><td>850/70</td><td>360/35</td><td>90</td><td>20</td><td>500</td></tr><tr><td>B</td><td>2,6</td><td>1800/330</td><td>250/140</td><td>70</td><td>10</td><td>540</td></tr><tr><td>SiC</td><td>2,85 – 2,9</td><td>1600/350</td><td>230/140</td><td>56</td><td>7</td><td>300</td></tr><tr><td>B.SiC</td><td>2,7 – 2,8</td><td>1400/320</td><td>220/180</td><td>50</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>Al₂O₃</td><td>3,4</td><td>1200</td><td>260/140</td><td>34</td><td>7</td><td>-</td></tr></table> <p>* - valori longitudinale / valori transversale ale caracteristicilor</p> <p>ii. <u>Materiale compozite cu matrice de magneziu</u></p> <p>Pentru obtinerea unor materiale compozite cu o densitate si mai mica se utilizeaza drept matrice magneziul. Aceste materiale sunt cu 30% mai</p>			Tipul fibrei de armare	ρ , g/cm ³	R_m MPa	E GPa	R_m/ρ	E/ρ 10 ³	T_{max} , °C	C	2,1 – 2,3	850/70	360/35	90	20	500	B	2,6	1800/330	250/140	70	10	540	SiC	2,85 – 2,9	1600/350	230/140	56	7	300	B.SiC	2,7 – 2,8	1400/320	220/180	50	-	-	Al ₂ O ₃	3,4	1200	260/140	34	7	-
	Tipul fibrei de armare	ρ , g/cm ³	R_m MPa	E GPa	R_m/ρ	E/ρ 10 ³	T_{max} , °C																																						
	C	2,1 – 2,3	850/70	360/35	90	20	500																																						
	B	2,6	1800/330	250/140	70	10	540																																						
	SiC	2,85 – 2,9	1600/350	230/140	56	7	300																																						
	B.SiC	2,7 – 2,8	1400/320	220/180	50	-	-																																						
	Al ₂ O ₃	3,4	1200	260/140	34	7	-																																						
	Matrice de Mg / fibre de armare																																												

Matrice de Ti /
fibre de armare

usoare decat aliajele de aluminiu, proprietati de rezistenta foarte bune, un coeficient de dilatare liniara stabil intr-un interval larg de temperaturi, ce poate fi reglat in functie de conditiile concrete de exploatare.

Aceste materiale pot fi obtinute in forma turnata sub diferite forme, sau prin alte procedee curenle de obtinere a materialelor compozite.

Magneziul practic nu interactioneaza cu fibrele de carbon, bor sau SiC. Sistemul Mg / fibre de C prezinta cele mai bune caracteristici specifice: $E / \rho = 23,5 \times 10^3$ [MPa·cm³/g]; $R_m / \rho = 115$ [MPa·cm³/g].

In tabelul 13.4 sunt indicate cateva proprietati ale materialelor compozite cu matrice pe baza de magneziu.

Tabelul 13.4 – Proprietatile materialelor compozite cu matrice pe baza de magneziu

Proprietatea	Aliaje de Mg	Fibre de armare		
		C	B	Al ₂ O ₃
ρ , g/cm ³	1,74-1,83	1,9-1,95	2,15	2,5-2,9
R_m , MPa	200-280	825	550	530
E , GPa	43-45	352	150	210
R_m/ρ	15,5	115	25	20
E/ρ , 10 ³	2,5	23	7	8
T_{max} , °C	-	300-320	-	-

Sistemele Al / fibre de C si Mg / fibre de C sunt cel mai larg utilizate in industria aviatiei si cea aerospaciala, datorita valorilor ridicate a rezistentei specifice, a tenacitatii, a coeficientului de dilatare termica liniara foarte scazut si a conductibilitatii termice ridicate.

13.2.3. Materiale compozite cu matrice de titan

Un alt exemplu de compozit metalic ce realizeaza o combinatie de metale cu plasticitate si rezistenta ridicata si fibre dure cu densitate si plasticitate scazute este si titanul armat cu fibre de B sau SiC.

Tabelul 13.5 indica cateva proprietati mecanice importante ale acestor tipuri de materiale. Din pacate, aceste sisteme au o rezistenta la oboseala scazuta datorita tensiunilor remanente si datorita interactiunilor chimice dintre fibre si matrice la temperaturile ridicate de obtinere practicate. In plus, prelucrarea mecanica a acestor materiale compozite cu matrice de titan ridica probleme suplimentare.

Tabelul 13.5 – Proprietatile materialelor compozite cu matrice de titan

Proprietatea	Aliaje de Ti	Fibre de armare		
		B	SiC	B.SiC
ρ , g/cm ³	4,5	3,3-3,5	3,8-4,0	3,7-3,9
R_m , MPa	500-1200	1500/550	1720/650	1400/550
E , GPa	113	230	250/200	290/200
R_m/ρ	27	43	46	37
E/ρ , 10 ³	2,6	6,5	7,5	7,5
T_{max} , °C	490	650	700	-

In aviatie si tehnica aero-spatiala cel mai mult sunt utilizate materialele compozite armate cu fibre de bor. Firme precum “Lokhid”, “Boeing”, “General Dynamics” au in vedere atat compozite cu fibre de bor cu matrici metalice cat si cu matrici polimerice.

	<p>Firma japoneza “Toyota” a utilizat în 1982 pentru prima dată materialele compozite cu matrice metalică în construcția de piese din industria automobilelor. Alumiul a fost armat cu un amestec de fibre scurte de Al_2O_3 și SiO_2 (cu un diametru de $3\ \mu\text{m}$ și lungime de $10\ \mu\text{m}$) în diferite proporții volumice. Odată cu creșterea proporției masice de fibre de Al_2O_3 crește rezistența și modulul de elasticitate, iar prin creșterea proporției de fibre de SiO_2, crește rezistența la uzură. Acest material a fost utilizat în locul aliajelor de nichel în fabricarea pistoanelor, ceea ce a permis creșterea temperaturii în camera de ardere a motorului și deci creșterea puterii acestuia. Astfel, garanția de funcționare a acestor piese a crescut până la aproape 300 de mii de km.</p>
--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



Test de autoevaluare 13.1 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.
Care sunt avantajele compozitelor metalice față de cele polimerice ?

Răspunsul la test se găsește la pagina .



Test de autoevaluare 13.2 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.
Care este cel mai performant compozit cu matrice de Mg ?

Răspunsul la test se găsește la pagina .



Test de autoevaluare 13.3 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.
Ce fel de compozit utilizează firma Toyota pentru fabricarea pistoanelor de motor pentru autovehiculele produse ?

Răspunsul la test se găsește la pagina .

Am ajuns la sfârșitul Unității de învățare Nr. 13.

În loc de
rezumat

Vă recomand să faceți o recapitulare a principalelor subiecte prezentate în această unitate și să revizuiți obiectivele precizate la început.

Este timpul pentru întocmirea Lucrării de verificare Unitate de învățare Nr. 13 pe care urmează să o transmiteți tutorelui.

Lucrare de verificare pentru Unitatea de învățare Nr. 13



1. Cum apreciați rezistența la soc a unui compozit din material plastic și fibre de sticlă ?
2. Ce fel de compozite polimerice sunt indicate pentru aplicații la temperaturi înalte ?
3. Aplicații în industria de automobile ale compozitelor polimerice

4. Descrieti cateva aplicatii ale materialelor compozite cu matrice polimerica in industria navala ?
5. Care sunt tipurile de fibre de armare cu care se poate arma un compozit cu matrice de Ti ?

Barem:

Intrebarea nr.	Punctaj maxim acordat
1	2
2	2
3	2
4	2
5	2

Răspunsurile și comentariile la testele de autoevaluare



13.1. Rezistenta mai mare la forfecare; Rezilienta crescuta; Fiabilitate mai buna; Rezistenta sporita la uzura; Conductivitate termica si electrica ridicate; Rezistenta in exploatare la temperaturi ridicate

13.2. Sistemul Mg / fibre de C prezinta cele mai bune caracteristici specifice: $E / \rho = 23,5 \times 10^3 \text{ [MPa}\cdot\text{cm}^3/\text{g}]$; $R_m / \rho = 115 \text{ [MPa}\cdot\text{cm}^3/\text{g}]$.

13.3. Material compozit cu matrice de aluminiu, armat cu un amestec de fibre scurte de Al_2O_3 si SiO_2 , cu un diametru de $3 \mu\text{m}$ si lungime de $10 \mu\text{m}$.

Bibliografie pentru Unitatea de învățare Nr. 13



A. Nocivin, Materiale avansate, Ed. Ovidius University Press, Constanța, 2001, pag. 69 - 98

Unitate de învățare Nr. 14

Materiale compozite tip sandwich

Cuprins	Pagina
Obiectivele Unității de învățare Nr. 14.....	139
14.1. Caracteristici si proprietati ale compozitelor tip sandwich	139
14.2. Tehnologia de obtinere a compozitelor tip sandwich	140
Lucrare de verificare pentru Unitatea de învățare Nr. 14.....	143
Răspunsuri și comentarii la testele de autoevaluare.....	143
Bibliografie pentru Unitatea de învățare Nr. 14.....	143



OBIECTIVELE Unității de învățare Nr. 14

Principalele obiective ale Unității de învățare Nr. 14 sunt:



- Prezentarea caracteristicilor si a modalitatilor de obtinere a compozitelor tip “sandwich”

CONTINUTUL UI-14:polimeri
ranforsati cu
fibre de sticla

miez fagure

Proprietăți
comparative**14.1. Caracteristici si proprietati ale compozitelor tip sandwich**

Cele mai interesante si mai promitatoare modalitati de obtinere a materialului compozit format din **rasini polimerice si fibre de sticla** sunt structurile tip sandwich. Fetele structurii de tip sandwich pot fi materiale metalice (aliaje de aluminiu sau otel inoxidabil) sau nemetalice (lamine polimerice cu fibre de sticla sau cu fibre de carbon).

In tabelul 14.1 se prezinta proprietatile mecanice ale fetelor materialelor de tip sandwich executate din polimeri ranforsati cu fibre de sticla, in comparatie cu materialele metalice.

Materialele sandwich cu fete din polimeri termorigizi ranforsati cu fibre de sticla se folosesc pe scara larga pentru aplicatii in care solicitarea principala este flexiunea. Un material sandwich ideal are fete subtiri rigide, cu rezistenta inalta, un miez cu densitate mica si un pret de cost redus.

Pentru aplicatii speciale in domeniul constructiilor de avioane sau constructiilor navale, unde prioritar este raportul rezistenta/greutate, se folosesc materiale sandwich cu **miez in forma de fagure**. In aceste materiale, miezul poate fi realizat din hartie preimpregnata cu rasina si mai ales din aliaje de aluminiu sau polimeri ranforsati cu fibre de sticla.

Tabelul 14.1 – Proprietatile mecanice ale fetelor materialelor de tip sandwich

Material	Rezistenta, MPa	Modul de elasticitate, GPa	Greutatea structurii cu suprafata de 1 m ² si grosimea de 1 mm, kg
Compozit cu fibre de sticla si:			
Rasina poliesterica	769	56	1,92
Rasina epoxidica	1009	56	1,83
Rasina fenolica	769	56	1,81
Aluminiu:			
2024 – T3	800	160	2,69
5052 – H 34	416	160	2,69
6061 – T6	560	160	2,69
7075 – T6	1169	160	2,69
Otel inoxidabil:			
316	961	480	7,68
17-7	3200	480	7,68
Aliaj de titan Ti-6Al-4V tratata termic	2290	269	4,42

14.2. Tehnologia de obtinere a compozitelor tip sandwich

Fagurii nemetalici si metalici introdusi in tehnologiile neconventionale de la sfarsitul anilor '60 au revolutionat performantele materialelor compozite. Ei reprezinta structuri celulare hibride, asemanatoare fagurilor naturali (Figura 14.1), avand urmatoarele caracteristici:

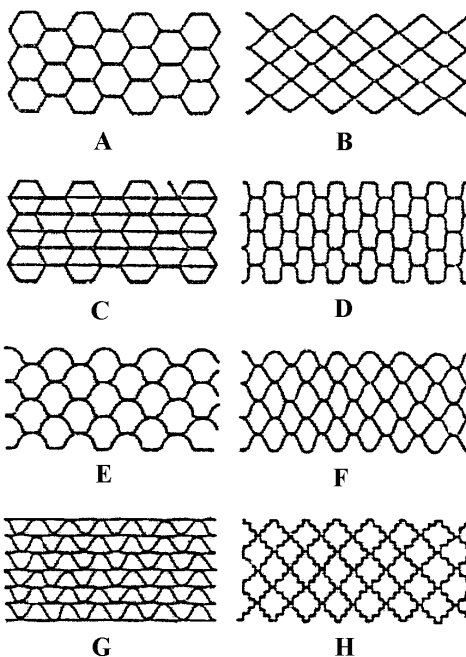
Caracteristici
miez fagure

- greutate specifica extrem de redusa (sub 100 kg/m^3);
- buna rezistenta la flexiune si la compresiune stabilizata;
- excelente proprietati in domeniile izolarii termice si fonice;

Fagurii metalici se executa din folie de aluminiu avand o grosime de $10-80 \mu$, in timp ce pentru variantele nemetalice se foloseste hartie speciala ignifugata. Se obtin faguri metalici/nemetalici avand diferite dimensiuni ale celulei de baza (4,7; 6,3; 9,5; 12,7 mm etc.), in functie de greutatea specifica si rezistenta pieselor cerute.

Figura 14.1 - Structuri hibride de faguri metalici:

A-hexagonala; B-rombica; C-hexagonal ranforsata; D-rectangulara; E-flexibila; F-sinusoidală; G-multistrat; H-rombic ondulata;



Structuri
Forme

Fagurii metalici se obtin in doua moduri diferite:

- prin profilare;
- prin bloc – lipire;

Procedeul
bloc-lipire

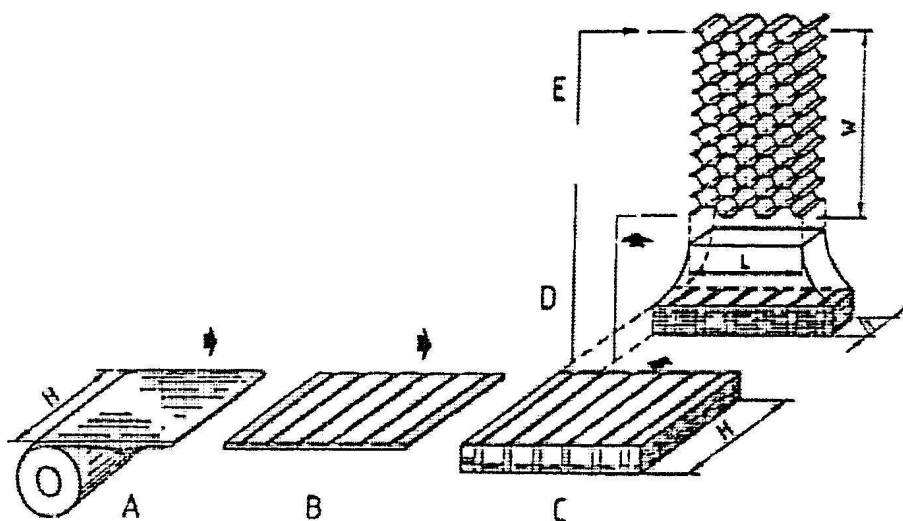
In Figura 14.2 este prezentat schematic fluxul tehnologic de obtinere a fagurilor metalici prin **procedeul de bloc-lipire**.

Folia de aluminiu este desfasurata continuu de pe rola A, apoi degresata cu solventi organici, decapata chimic intr-o baie alcalina, spalata cu apa distilata si uscata intr-un cuptor-tunel in care temperatura nu trebuie sa depaseasca 50°C . Dupa acest tratament preliminar de conditionare, folia este imprimata cu benzi transversale si echidistante de adeziv epoxidic monocomponent, cu reticulare la temperaturi de peste 170°C .

Tehnologie de
obținere

Figura 14.2 - Asezarea in matrita a foliilor de aluminiu impregnate;

A-rola cu folie de aluminiu; B-foaie imprimata; C-pachet de imprimate; D-bloc termoformat; E-fagure expandat;



Dupa eliminarea solventilor organici prin traversarea unui cuptor-tunel avand o temperatura maxima de 130°C , folia este taiata cu un dispozitiv de tip ghilotina, conform dimensiunilor matritei de termoformare, ajungand in stadiul B. Foile astfel rezultate sunt asezate in matrita de termoformare in asa fel incat benzile de adeziv ale uneia sa fie echidistant intercalate.

Dupa suprapunerea a 100-300 de foi se ajunge in stadiul C. Pachetul se introduce intr-o presa cu platane calde, la o temperatura de $170-210^{\circ}\text{C}$ si o presiune de $150-300 \text{ daN/mm}^2$. Se ajunge astfel in stadiul de bloc neexpandat.

Blocul rezultat este apoi taiat longitudinal folosind freze speciale, fara utilizarea fluidelor de racire/lubrifiere, la viteze reduse ale masinii (in scopul evitarii aparitiei microsudurilor intre foliile de aluminiu componente). Mentionam ca latimea bucatilor taiate constituie inaltimea viitorilor faguri.

Blocurile astfel rezultate (stadiul D) sunt suflate cu aer comprimat de 4-6 atm pana ce se realizeaza desprinderea foliilor una de alta in zonele nelipite. Apoi se realizeaza expandarea finala folosind un dispozitiv de tragere orizontala cu o viteza de 3-4 mm/min (stadiul E).

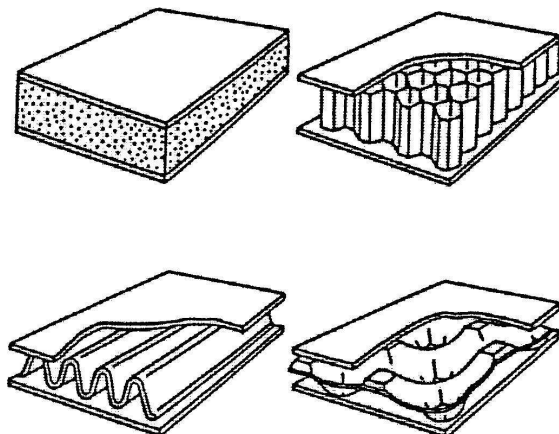
Marele avantaj al acestei tehnologii este constituit de faptul ca fagurii pot fi transportati sub forma de blocuri compacte, realizandu-se astfel o mare economie de spatiu si evitandu-se totodata deteriorarea celulelor, operatiunile de preexpandare si expandare putandu-se efectua direct de catre beneficiar.

Tehnologia de obtinere a fagurilor din hartie sau carton este asemanatoare, locul operatiilor de degresare/decapare fiind luat de impregnarea materialului cu rasini ignifugate.

De asemenea, mentionam ca operatia de termoformare este condusa la temperaturi mai mici (max. 140°C), pentru a evita degradarea materialului

celulozic. În figura 14.3 este prezentată schematic așezarea elementelor într-un ansamblu “sandwich” cu fete nemetalice.

Figura 14.3 – Structuri hibride de tip sandwich cu fete nemetalice



Test de autoevaluare 14.1 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.

Care sunt aplicațiile pentru care se folosesc materialele compozite tip sandwich ?

Răspunsul la test se găsește la pagina .



Test de autoevaluare 14.2 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.

Care este principalul avantaj al utilizării tehnologiei de obținere de miezuri tip fagure prin procedeul bloc-lipre pentru un material compozit ?

Răspunsul la test se găsește la pagina .



Test de autoevaluare 14.3 – Scrieți răspunsul în spațiul liber din chenar.

Din ce materiale se execută fagurii metalici și nemetalici pentru structurile compozite tip sandwich ?

Răspunsul la test se găsește la pagina .

Am ajuns la sfârșitul Unității de învățare Nr. 14.

În loc de
rezumat

Vă recomand să faceți o recapitulare a principalelor subiecte prezentate în această unitate și să revizuiți obiectivele precizate la început.

Este timpul pentru întocmirea Lucrării de verificare Unitate de învățare Nr. 14 pe care urmează să o transmiteți tutorelui.

Lucrare de verificare pentru Unitatea de învățare Nr. 14



1. Care sunt materialele de bază din care sunt realizate compozitele tip sandwich ?
2. Cum sunt caracteristicile mecanice ale unui compozit tip sandwich, confecționat din rășină ranforsată cu fibră de sticlă, comparativ cu cele ale unui aliaj de Al, oțel inox sau aliaj de Ti ?
3. Schițați câteva exemple de structuri hibride de faguri metalici
4. Care sunt principalele caracteristici ale miezurilor tip fagure utilizate pentru formarea compozitelor tip sandwich ?
5. Descrieți pe scurt tehnologia de obținere a miezului tip fagure.

Barem:

Intrebarea nr.	Punctaj maxim acordat
1	2
2	2
3	2
4	2
5	2

Răspunsurile și comentariile la testele de autoevaluare



14.1. Materialele sandwich cu fete din polimeri termorigizi ranforsati cu fibre de sticla se folosesc pe scara larga pentru aplicatii in care solicitarea principala este flexiunea.

14.2. Marele avantaj al acestei tehnologii este constituit de faptul ca fagurii pot fi transportati sub forma de blocuri compacte, realizandu-se astfel o mare economie de spatiu si evitandu-se totodata deteriorarea celulelor, operatiunile de preexpandare si expandare putandu-se efectua direct de catre beneficiar.

14.3. Fagurii metalici se executa din folie de aluminiu avand o grosime de 10-80 μ , in timp ce pentru variantele nemetalice se foloseste hartie speciala ignifugata. Se obtin faguri metalici/nemetaliți avand diferite dimensiuni ale celulei de baza (4,7; 6,3; 9,5; 12,7 mm etc.), in functie de greutatea specifica si rezistenta pieselor cerute.

Bibliografie pentru Unitatea de învățare Nr. 14



A. Nocivin, Materiale avansate, Ed. Ovidius University Press, Constanța, 2001, pag. 98-102

BIBLIOGRAFIE

- [1] - Autar K. Kaw, *Mechanics of Composite Materials* (2nd ed.). CRC, 2005
- [2] - Leonard Hollaway, *Handbook of Polymer Composites for Engineers*, Woodhead Publishing, 1994
- [3] - Matthews, F.L., Rawlings, R.D, *Composite Materials: Engineering and Science*, Boca Raton: CRC Press, 1999
- [4] – *Concise Encyclopedia of Composite Materials*, Ed. Antony Kelly CBE, FRS; Pergamon Press, Oxford, 1989
- [5] – *Engineering Materials Handbook*, Metals Park, Ohio, 1987
- [6] – *Encyclopedia of Materials Science and Engineering*, Pergamon Press, Oxford, 1986
- [7] – Chretien G., *Matériaux composites a matrice organique*, Technique et Documentation, Paris, 1986
- [8] – Partridge I.K., *Advanced Composites*, Elsevier Applied Science, London and New York, 1989
- [9] – *Engineering Materials Handbook*, ASM International, Handbook Committee, USA, 1987
- [10] – Middleton D.H., *Composite Materials in Aircraft Structures*, Longman Scientific Technical Publishers, Singapore, 1990
- [11] – Balta P., *Tehnologia sticlei*, Ed. Didactica si Pedagogica, Bucuresti, 1984
- [12] – Hubca G., Iovu H., Tomescu M., Rosca I.D., *Materialie compozite*, Ed. Tehnica, 1999
- [13] – Solntev U.P., Priahin E.I., Boitkun F., *Materialovedenie*, MISIS, Moskva, 1998
- [14] - James R.D., Hane K.F., *Martensitic transformations and shape-memory materials*, Acta Materialia, 1/48, 2000, p. 197-222
- [15] - K. Otsuka, C. M. Wayman, *Shape Memory Materials*, Cambridge University Press, 1998
- [16] - M. Fremond, S. Miyazaki, *Shape memory alloys*, International Centre for Mechanical Sciences, Springer Ed, 1996, 147 p.
- [17] - R. Hott, R. Kleiner, T. Wolf, G. Zwicknagl, A. Narlikar (Ed.), *Frontiers in Superconducting Materials*, Springer Verlag, Berlin, 2004
- [18] – Drimer D., Demetrescu I., *Fibre de carbon*, Ed. Tehnica, Bucuresti, 1986
- [19] – Monty C.J.A., *Nanomaterials-the state of the art*, High Temp.Chem.Processes 3(1994) 467-480
- [20] – Parsin A.M., Nekliudov I.M., s.a., *Struktura i radiationnaia povrejdaemosti constr. Stalei*, M., Metalurgia, 1996, 476 p.
- [21] – Ootzuka K., Simidzu K., Suzuki U., *Splavi s efektom pamiati formi*, per. s yaponski, Metalurgia, 1990, 224 p.
- [22] – Mieli M.G., *Sverhprovodimosti v sovremennom mire*, M., Prosveshenie, 1991, 159 p.
- [23] – Moiseev V.N., *Osnovnie napravlenia razvitiia titanovih splavov*, MiTOM, 1997, no.7, p. 30-34
- [24] – *Metalovedenie. Stali*, M., Metalurgia, 1995
- [25] – Lihaciov V.A., Kuzmin S.L., *Efect pamiati formi*, L., Izd. LGU, 1987, 216 p.
- [26] – Lahtin U.M., *Metalovedenia i termiceskaia obrabotka metalov*, M., Metalurgia, 1993, 447 p.
- [27] – Knott J.F., Witney P.A., *Fracture Mechanics / Worked examples*. The Institute of Materials, L., 1993, 108 p.
- [28] – Klimov V.G., *Primenenie aliuminevo-magnievih splavov v konstruktiah samoliotov ANTK Tupolev*, Tvetnie Metali, 1997, no.3, p. 59-63
- [29] – Ilicev V.I., Savcenko M.A., *Visokotemperaturnaia sverhprovodimosti keramiceskih system*, M., Nauka, 1991, 166 p.

- [30] – *Amorfne metaliceskie splavi*, Naucinie trudi, per.s angl., M., Metalurgia, 1987, 584 p.
- [31] – Fistuli V.I., *Novie Materiali*, M., MISIS, 1995, 142 p.
- [32] – Suzuki K., Suzuki H., Hasimoto K., *Amorfne metali*, per. s yap., M., Metalurgia, 1987, 328 p.
- [33] – Solntev U.P., *Sovremennie i perspektivnie stali kriogennoi tehniki*, Perspektivnie materialy, 1998, no.3, p. 68-81
- [34] – Piking F.B., *Fiziceskoe metalovedenie i razrabotka stalei*, per. s angl., M., Metalurgia, 1982, 184 p.