

CONCEPTE FUNDAMENTALE UTILE ÎN EXERCITAREA PROFESIEI DE INGINER

DISCIPLINA: STUDIUL MATERIALELOR

1. DEFORMAREA PLASTICĂ

Deformarea plastică a monocristalelor are loc prin deplasarea unor porțiuni ale acestora în raport cu altele de-a lungul unor plane ale rețelei cristaline.

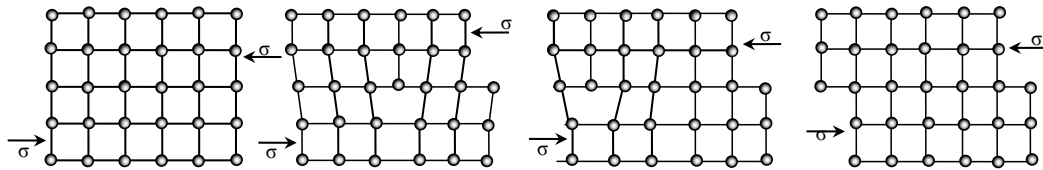
Funcție de modul în care se produce deplasarea în cristal, putem distinge:

- deformarea plastică prin alunecare;
- deformarea plastică prin maclare.

Deformarea plastică prin alunecare

Dacă se consideră cazul unui cristal ideal (fără defecte), alunecarea relativă a două zone sub acțiunea unei tensiuni tangențiale τ se realizează în mod sincron (atomii din planul superior se deplasează simultan în raport cu atomii din planul inferior ca în figura.

În cazul materialelor reale (cu defecte de tipul dislocațiilor) deformarea plastică prin alunecare începe prin deplasarea dislocațiilor; la început pe planele cu densitate maximă de atomi, iar apoi la creșterea tensiunii și pe alte plane ale rețelei cristaline, conform figurii.



Deformarea plastică prin alunecare în cristalele reale

Pe măsură ce dislocația se deplasează în cristal, se produce alunecarea straturilor vecine de atomi până când dislocația ajunge la marginea cristalului.

Deformarea plastică prin maclare

Apare mai ales atunci când orientarea rețelei față de direcția tensiunii de deformare nu este favorabilă procesului de deformare prin alunecare.

Importanța macleării în timpul procesului de deformare plastică este dată de faptul că, prin modificarea orientării unor plane din monocristal, apar noi plane de alunecare cu poziție preferențială față de direcția tensiunii de deformare.

Mecanismul deformării prin maclare este specific metalelor cu un număr redus de sisteme de alunecare, cum sunt cele care cristalizează în sistemul HC și apare la temperaturi joase și viteze mari de deformare.

Deformarea plastică a agregatelor policristaline

Materialele metalice cristaline sunt alcătuite dintr-un număr mare de cristale ale căror plane de alunecare sunt orientate diferit față de direcția tensiunii. Deși aceste cristale se află într-o permanentă interacțiune, deformarea nu se va produce simultan în tot volumul de material.

Deformarea fiecărui cristal în parte se realizează după mecanismul prezentat la monocristale și va începe întâi la cristalele ale căror plane de alunecare sunt orientate la unghiul de 45° față de direcția de acțiune a tensiunii de deformare (pe aceste plane apar tensiunile tangențiale maxime).

Gradul de deformare este diferit de la un grăunte la altul, iar anizotropia deformației este cu atât mai mare cu cât granulația este mai mare.

Influența mărimii de grăunte asupra comportării la deformare este datorată faptului că deformarea grăunților în vecinătatea limitei este mai redusă, ca urmare a ecrisării suplimentare produsă de schimbarea orientării rețelei și concentrării mari a elementelor străine. Deci, cu cât granulația este mai fină, cu atât efortul de deformare va fi mai mare.

Tipul rețelei cristaline a metalului influențează mult comportarea la deformare. Astfel, metalul cu celulă cubică (Fe, Cr, Mo, W, V, Pb, Cu, Ag, Au, Ni) se deformează mai ușor decât cele cu celulă hexagonală (Mg, Zn, Co, In). Celula CFC specifică Al, Cu, Ag, Au, Ni este mai favorabilă deformării plastice decât celula CVC specifică Fe, Cr, Mo, V, W.

Aliajele metalice formate din soluții solide ale metalelor cu proprietăți apropiate (învecinate în tabelul lui Mendeleev) au o deformabilitate bună, dar mai redusă decât cea a metalelor pure care le formează, datorită diferenței dintre dimensiunile atomilor, ce produce o oarecare tensionare a rețelei (de exemplu Cu-Ni).

Aliajele formate din componente cu structură diferită au, în general, o deformabilitate mai redusă (exemplu Fe-Mn), dar sunt și unele aliaje cu deformabilitate bună (exemplu Fe-Ni, Cu-Zn).

Prezența a două faze în structura unui aliaj metalic duce la scăderea capacității de deformare. De exemplu, la aliajele Cu-Zn la aproximativ 37% Zn, datorită apariției fazei β' (pe lângă faza δ) deformabilitatea scade puternic.

În cazul deformării la temperaturi ridicate se produce și o deformare intercristalină (alunecări ale unor cristale față de altele), datorită prezenței la limitele de grăunți a unor compuși cu temperatura de topire mai scăzută.

Ruperea materialelor constituie un fenomen al cărui studiu se justifică mai cu seamă prin efectele negative pe care le produce (se pot identifica și aplicații tehnologice ale ruperii, cum este debitarea prin rupere a profilelor). Costurile avariilor provocate de ruperea materialelor sunt de ordinul sutelor de miliarde de dolari pe an. Evident că și mai importante decât pagubele materiale sunt pierderile de vieți omenești și răniile pe care aceste avarii le pot provoca.

Ruperea unui material în timpul exploatării se poate produce din cauza unei utilizări sau întrețineri necorespunzătoare, a unor erori de proiectare sau de prelucrare ori a defectelor de material.

Pot fi distinse mai multe tipuri de rupere, în funcție de criteriile de clasificare.

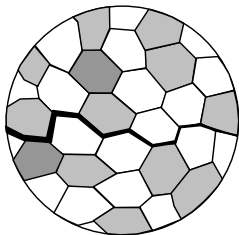
a) După tipul tensiunii care produc ruperea

- *Rupere produsă de tensiuni normale* (rupere prin clivaj sau prin smulgere)
- *Rupere produsă de tensiuni tangențiale* (rupere prin forfecare)

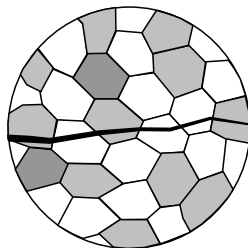
Se produce prin forfecarea unor legături de-a lungul planelor cu densitate maximă de atomi

b) După aspectul ruperii

- *Rupere intercristalină* când fisura se propagă prin limitele de grăunți;
- *Rupere intracristalină*, când fisura se propagă prin grăunți;



Rupere intercristalină



Rupere intracristalină

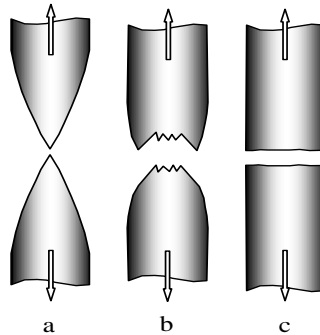
c) După deformarea plastică realizată la rupere

- *Rupere fragilă*

- Rupere ductilă

Acestea pot fi explicate pe probe supuse la încercarea de tracțiune. Aspectul probelor în zona de rupere este cel prezentat în figura 3.43.

Ruperea fragilă apare atunci când ruperea legăturilor interatomice nu este însoțită de deformații plastice însemnate. Amorsarea rupei este favorizată de defectele de rețea și de o formă necorespunzătoare a piesei.



Aspectul probelor de tracțiune în zona de rupere:

a) rupere ductilă; b) rupere parțial ductilă; c) rupere fragilă

Ruperea ductilă apare după producerea unor deformații locale foarte mari în apropierea defectelor de structură (incluziuni, faze secundare precipitate în urma tratamentului termic, noduri de dislocații, limite de grăunți, etc.).

Creșterea acestei microfisuri sau cavități are loc prin alunecări plastice cu deformări de peste 100% până în momentul în care apar condițiile de rupere fragile locale care conduc la ruperea finală a materialului.

Un aspect specific apare în cazul rupei ca urmare a unor solicitări ciclice de durată mare (*ruperea prin oboseală*) care reprezintă ruperea progresivă a unui material la aplicarea sarcinilor ciclice sub rezistența de rupere a materialului, care cauzează propagarea fisurilor.

Fisura începe, de obicei, la un concentrator de tensiune, de exemplu o zgârietură, un orificiu, un colț sau o schimbare în secțiunea transversală sau când are loc frecarea. În aceste locuri tensiunile sunt mai mari decât tensiunile medii din material.

În cazul acestui tip de rupere pot fi distinse trei stadii ale procesului.

Stadiul I corespunde amorsării unei microfisuri ca urmare a deformațiilor plastice repetate care duc la ecrisarea materialului într-un anumit microvolum. Microfisura apare în momentul în care materialul din această zonă, datorită ecrisării, nu se mai poate deforma plastic. În general, amorsarea rupei prin oboseală are loc pe suprafața piesei.

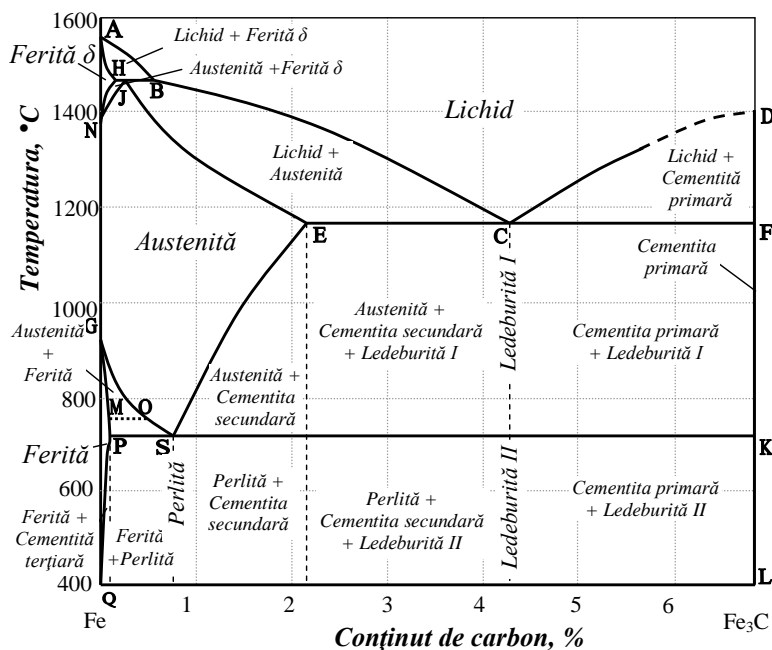
Stadiul II al rupei începe în momentul în care microfisura devine normală pe direcția tensiunii principale (devenind macrofisură) și corespunde propagării pe planele de alunecare, formate ca urmare a extinderii fenomenului de ecrisare. Suprafața de rupere formată în acest stadiu prezintă o succesiune de striuri

Stadiul III corespunde rupei finale și se produce în momentul în care piesa fisurată are o secțiune mai redusă decât cea necesară pentru a suporta valoarea maximă a sarcinii aplicate. În funcție de natura materialului, suprafața de rupere formată în acest stadiu poate avea aspect ductil sau fragil.

Mecanismele deformării și rupei prezentate anterior se verifică în totalitate în cazul materialelor metalice. Pentru alte clase de materiale există o serie de particularități atât în cazul deformării, cât și în cazul rupei.

2. OTELURI CARBON-CLASIFICARE SI STRUCTURA

Aliajele care conțin până la 2,11 %C și pot fi aduse prin încălzire în stare de soluție solidă cu cementita complet dizolvată, putând fi deformate plastic, se numesc *oțeluri*.



În funcție de poziția lor în raport cu concentrația punctului eutectoid S, oțelurile se clasifică în:

- oțeluri hipoeutectoide care au conținuturi în carbon mai mici de 0,77 % cu structura formată majoritar din ferită și având cantități mai reduse de perlită (la conținuturi mai mici de 0,4 %C) sau majoritar din perlită și cu proporții mai mici de ferită (la conținuturi de 0,4 %...0,77 %C);
- oțeluri eutectoide care au conținuturi de 0,77 %C, cu structura formată numai din perlită;
- oțeluri hipereutectoide care au conținuturi de 0,77 %...2,11 %C, cu structura formată majoritar din perlită cu separări de cementită secundară.

Se definesc ca fiind oțeluri nealiat (oțeluri carbon), acele mărci la care nici un element de aliere sau o combinație a acestora nu atinge valorile limită precizate în normă. Astfel, pentru lantanide, Ti, Zr, se consideră ca valoare limită 0,05%, pentru Al, Co, Se, Te, V, W valoarea limită este de 0,1%, pentru Cr și Ni, este 0,3%, pentru Cu și Pb, este de 0,4%, pentru Si de 0,5%, pentru Mn până la 1,65 %, iar B este limitat la 0,0008 % și Nb la 0,006%. În cazul în care elementele de aliere sunt prescrise în combinații de 2 - 4 suma lor trebuie să fie mai mică de 70% din suma valorilor limită individuale pentru respectivele elemente.

Oțeluri nealiat de uz general

Sunt oțeluri produse prin procedee de elaborare obișnuite și care nu necesită o tehnologie de fabricație specială. Normele impun 4 exigențe care definesc aceste oțeluri:

- nu necesită tratament termic de durificare;
- au impuse valori limită pentru anumite caracteristici (rezistența la rupere minimă $R_m < 690 \text{ N/mm}^2$; limita la curgere minimă, $R_c < 360 \text{ N/mm}^2$; energia de rupere minimă, $W < 27\text{J}$; alungirea la rupere minimă $A_n < 26\%$; conținutul de carbon maxim $C > 0,10\%$, etc);
- nu se impun alte condiții de calitate;
- nu se impun condiții pentru elemente de aliere cu excepția manganului și siliciului.

Oțelurile nealiat de calitate

Din această clasă fac parte mărcile de oțel care, comparativ cu oțelurile de uz general, au prescripții mai severe privind tenacitatea la rupere, controlul mărimii grăuntelui, capacitatea de formare la rece. De menționat că ele nu au impuse condiții pentru un anumit comportament la tratamente termice. Din această clasă fac parte următoarele categorii de oțeluri:

- oțeluri pentru produse plate pentru formare la rece
- oțeluri pentru construcții
- oțeluri pentru recipiente sub presiune
- oțeluri beton
- oțeluri pentru sau sub formă de șine de cale ferată
- oțeluri pentru automate
- oțeluri de îmbunătățire
- oțeluri de arcuri

Oțelurile nealiat speciale

Reprezintă clasa de oțeluri cu caracteristici de exploatare ridicate rezultat al unui proces de elaborare și fabricație controlat și o compoziție chimică riguroasă, cu o puritate superioară. Se definesc ca fiind mărcile de oțel care satisfac una sau mai multe din următoarele condiții:

- energia de rupere în stare călită și revenită;
- adâncime de călire (călibilitatea) sau duritate superficială în stare călită, călit - revenită ori călită superficial;
- puritate ridicată (conținut scăzut de incluziuni nemetalice);
- conținut limitat (maxim) de sulf și fosfor (maxim 0,025 % pe produs);
- energie la rupere $W > 27J$ la $-50^{\circ}C$ (măsurată pe probe cu creștătura în V);
- conductivitate electrică prescrisă mai mare de $9 S \cdot m/mm^2$;
- compoziții chimice controlate în funcție de destinația oțelului

3. CONSTITUENȚI STRUCTURALI DE ECHILIBRU SI INAFARA DE ECHILIBRU DIN OTELURI

Constituenții omogeni (fazele) care apar în aliajele fier-carbon sunt

Ferita $F = Fe_{\alpha}(C)$, stabilă de la temperatura ambiantă până la $912^{\circ}C$, cristalizează în sistemul cubic cu volum centrat, are un conținut maxim de carbon de 0,02 %C la $727^{\circ}C$ și 0,006 %C la temperatura ambiantă. Ferita este un constituent moale, cu tenacitate bună (plasticitate și alungire ridicată). Apare la microscop sub forma unor grăunți poliedrici de culoare deschisă.

Ferita δ $F_{\delta} = Fe_{\delta}(C)$, stabilă între temperaturile de $1394^{\circ}C$ și $1538^{\circ}C$, care cristalizează tot în sistemul cubic cu volum centrat și are un conținut maxim de carbon de 0,1 %C la $1495^{\circ}C$.

Austenita $A = Fe_{\gamma}(C)$, stabilă de la temperatura de $727^{\circ}C$ până la $1495^{\circ}C$, care cristalizează în sistemul cubic cu fețe centrate și are un conținut de C de 0,77 % la $727^{\circ}C$ și de 2,11 %C la $1148^{\circ}C$.

Cementita $Ce = Fe_3C$, care conține 6,67 %C este un constituent dur și fragil care cristalizează într-un sistem complex cu 8 atomi de fier și 4 atomi de carbon. Cementita se descompune în jurul temperaturii de $1300^{\circ}C$.

Constituenții eterogeni care apar în aliajele fier-carbon sunt :

Perlita $P = F_p + Ce_p$ amestec mecanic, este eutectoidul aliajelor Fe-C, conține 0,77%C și se formează prin descompunerea austenitei la $727^{\circ}C$.

Ledeburita Le este eutecticul aliajelor Fe-C și se formează prin descompunerea lichidului care conține 4,3 %C la temperatura de $1148^{\circ}C$. La temperatura ambiantă este un amestec mecanic de $P_{Le} + Ce_{Le}$ notat Le_I , iar la temperaturi mai mari de $727^{\circ}C$ este formată din $A_{Le} + Ce_{Le}$ (Le_{II}).

Datorită modificării solubilității carbonului în Fe_γ , în timpul răcirii se mai formează și cementita secundară Ce_{II} , iar datorită modificării solubilității carbonului în F_α se formează cementita terțiară Ce_{III} .

Constituentii structurali în afara de echilibru sunt:

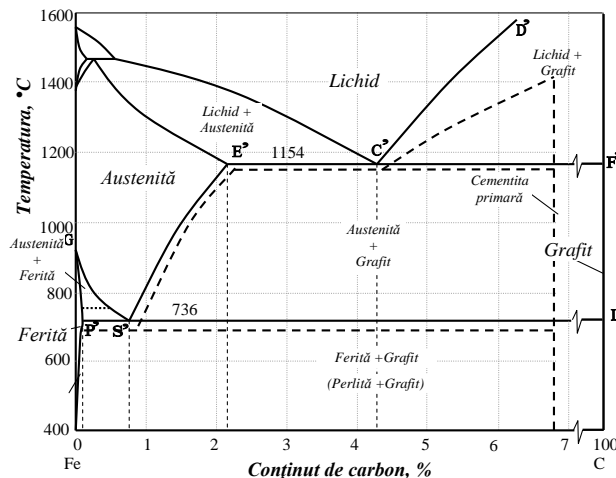
Martensita, M este o soluție solidă de inserție a carbonului în fierul α în stare suprasaturată, simbolizată $M = Fe_{\alpha SS}(C)$. Se obține în urma răcirii austenitei cu viteză mare. Este un constituent în afară de echilibru.

Bainita, B este o soluție solidă de inserție saturată a carbonului în fier α , simbolizată $B = Fe_{\alpha S}(C)$.

4. FORTE CENUȘII – DEFINIRE – CLASIFICARE – STRUCTURA

Fontele cenușii sunt aliaje Fe-C care au în structură și carbon liber (nelegat cu fier în cementită) sub formă de grafit.

În figura se reprezintă cu linie continuă diagrama stabilă comparativ cu diagrama metastabilă (fier-cementită) ale cărei linii sunt trasate cu linie întreruptă.



Prezintă interes fontele cenușii cu un conținut de carbon cuprins între 2,5 și 3,5%, care mai au în compoziție siliciu, mangan și fosfor.

Structura acestor fonte este formată dintr-o matrice care poate fi alcătuită din perlită, ferită sau perlită + ferită. Grafitul din structură poate să apară sub formă lamelară (în fontele cenușii obișnuite), sub formă sferică (în fontele cenușii cu grafit nodular) sau sub forma unor cuiburi (în fontele maleabile). Natura matricei unei fonte cenușii este dată de modul în care are loc răcirea acestei fonte (feritică, perlitică sau ferito-perlitică). Sunt cunoscute două mecanisme care pot să explice formarea fontelor cenușii.

5. TRATAMENTE TERMICE SI TERMOCHIMICE APLICATE OTELURILOR (RECOACERI, CALIRI, REVENIRI – CEMENTARE – NITRURARE)

Recoacerea

Este un tratament termic preliminar. Definiția lui rezidă nu numai din plasarea în fluxul tehnologic de realizare a unui produs, între operațiile de prelucrări primare, ci și în scopul urmărit, și anume:

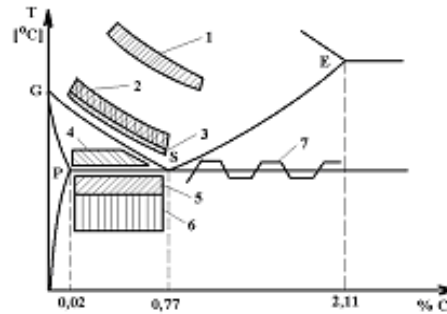
- reducerea sau chiar eliminarea defectelor provocate de prelucrările anterioare ca de exemplu: structuri de turnare dendritice, ecrisaj, neomogenități chimice, tensiuni interne, structuri incorecte formate la sudare, călire, etc.

-asigurarea structurilor de echilibru care să confere atât proprietăți tehnologice optime semifabricatului (în primul rând așchiabilitatea și deformabilitatea) precum și condițiile aplicării corecte a tratamentelor termice finale.

Tratamentele termice ce vizează obținerea structurilor de echilibru poartă numele de recoaceri.

Întrucât în această fază se obțin structurile de echilibru, **vitezele de răcire** se situează la valori joase ($v_r = 30 \dots 100^\circ\text{C/h}$). Răcirea pieselor se execută în mod curent, odată cu răcirea cuptorului, prin menținerea lor în cuptor după întreruperea funcționării.

În funcție de natura materialului, forma semifabricatului și de caracteristicile structurale urmărite se disting mai multe tipuri de recoaceri, prezentate sugestiv în figura

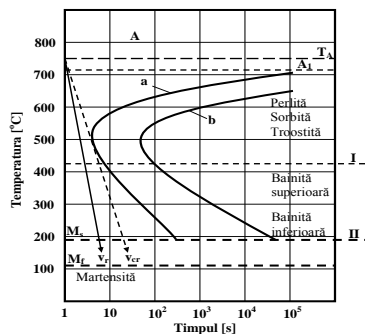


- recoacerea de omogenizare (domeniul 1);
- recoacerea de normalizare (domeniul 3);
- recoacerea completă (domeniul 2);
- recoacerea incompletă (domeniul 4);
- recoacerea de detensionare (domeniul 6);
- recoacerea de globulizare (domeniul 7);
- recoacerea de recristalizare (domeniul 5).

Călire asigurarea performanțelor produselor este realizabilă prin aplicarea tratamentelor termice secundare ce conduc la obținerea proprietăților de exploatare impuse.

În general, un tratament termic secundar complet este constituit din călire urmată de revenire.

Prin aplicarea călirii se obțin structurile în afară de echilibru (martensita și bainita aciculară). Călire are loc prin încălzirea și menținerea oțelurilor în domeniul austenitic (proces numit austenitizare) și răcirea cu o viteză v_r mai mare decât cea critică de călire v_{cr}



Reprezentarea călirii pe diagrama TTT

Călirea “martensitică” sau “călirea bainitică” este destinată durificării oțelurilor carbon cu un conținut de peste 0,25%C, și oțelurilor aliate cu peste 0,2%C.

Temperatura de încălzire reprezintă unul din parametrii tehnologici cei mai importanți de călire. Se alege în funcție de poziția temperaturilor critice de transformare. Domeniul optim de încălzire pentru oțeluri se determină în funcție de poziția punctelor Ac_1 și Ac_3 . În călzirea oțelurilor hipereutectoide la temperaturi cuprinse între Ac_1 și A_{cem} este benefică. În cazul oțelurilor aliate poziția punctelor temperaturilor critice suferă modificări importante. Domeniul optim ales în trebuie să asigure un grad ridicat de omogenizare a austenitei și o granulație corespunzătoare.

Revenirea este un tratament termic secundar ce se aplică oțelurilor în stare călită la temperaturi cuprinse între 150 – 650°C. Obiectivul revenirii constă în reducerea tensiunilor interne apărute la călire și realizarea proprietăților de exploatare impuse produsului.

În funcție de intervalul temperaturilor la care se efectuează încălzirea și menținerea se disting trei tipuri de reveniri:

- *revenirea joasă* (150 ... 250°C) ce are ca efect diminuarea tensiunilor interne, fără a se afecta duritatea;
- *revenirea medie* (350 ... 500°C) ce asigură o limită la elasticitate și rezistența la oboseală superioară, conducând la creșterea tenacității, și la menținerea unor valori destul de ridicate ale durității (40 ... 45 HRC în cazul oțelurilor carbon sau slab aliate) și ale rezistenței mecanice;
- *revenirea înaltă* (500 ... 650°C) care, la oțelurile de îmbunătățire, conduce la o scădere importantă a durității și o creștere semnificativă a ductilității (figura 6.45) asigurându-se astfel o îmbinare optimă a proprietăților de rezistență, tenacitate și ductilitate. Urmare a acestui fapt tratamentul termic de călire și revenire înaltă se numește îmbunătățire.

6. TRATAMENTELE TERMOCHIMICE

Sunt transformări în stare solidă sub influența temperaturii și a timpului, a compoziției chimice și a structurii straturilor superficiale ale pieselor prin absorbția și difuzia în aceste straturi a unor elemente convenabil alese. Au ca scop fie obținerea unui strat superficial dur, cu rezistență mare la uzură și oboseală, concomitent cu menținerea unei tenacități superficiale pentru miez, fie obținerea unor proprietăți de rezistență la coroziune și oxidare, sau chiar numai scop decorativ.

După natura elementului care difuzează la suprafața piesei, tratamentele termochimice pot fi:

- cementare (carburare) – îmbogățirea în carbon;
- nitrurarea – îmbogățirea în azot;
- carburarea și cianizarea – îmbogățirea în carbon și azot;
- alitarea – îmbogățirea în aluminiu;
- cromizarea – îmbogățirea în crom;
- borizarea – îmbogățirea în bor;
- sulfizarea – îmbogățirea în sulf;
- silicizarea – îmbogățirea în siliciu.

Cementarea oțelurilor este un tratament termochimic de îmbogățire a stratului superficial în carbon. Se supun cementării oțelurile carbon și aliate cu mai puțin de 0,25% carbon.

Cementarea constă din încălzirea oțelului la o temperatură mai mare decât A_{c3} timp îndelungat, de ordinul orelor (funcție de temperatura și grosimea stratului cementat), într-un mediu de lucru care conține elemente care se disociază și pun în libertate atomii activi de carbon. Mediul de lucru poate fi solid, lichid și gazos.

Nitrurarea este un tratament termochimic de îmbogățire a stratului superficial al pieselor în azot. Drept mediu se folosește amoniacul care prin disociere pune în libertate atomi activi de azot. Temperatura la care se face nitrurarea este mai mică decât A_{c1} , deci piesele supuse nitrurării vor fi în stare calită urmata de o revenire înaltă (îmbunătățire) $T=(500-550)$ grade Celsius, $t_{men}=(40-60)h$, $\delta=(0,2-0,4)mm$. Pentru a nu diminua adâncimea de strat nitrurat se recomandă ca de la temperatura de nitrurare până la temperatura ambiantă, recirea să se facă în mediu de amoniac.

Cianizarea și carbonitrurarea sunt tratamente termochimice de îmbogățire a stratului superficial în carbon și azot, procesul purtând denumirea de **cianizare** dacă se desfășoară în mediu lichid, respective **carbonitrurare** dacă se desfășoară în mediu gazos.

Cianizarea are loc în bai de saruri topite, în care sarea activă este cianura de sodiu NaCN, sarea suport de temperatură este NaCl și sarea de activare a procesului Na₂CO₃. Temperatura de încălzire este de (820-860) grade Celsius, $t_{men}=(1-2)h$, $\delta=(0,15-0,4)mm$.

Datorită carburilor de dimensiuni mici și nitrurilor încorporate în stratul superficial, crește duritatea, rezistența la uzură și oboseala a pieselor. După cianizare se aplică o calire urmată de revenire joasă. Acest tip de tratament termochimic se aplică pieselor de dimensiuni mici din industria de automobile și tractoare.

Cu scopul de a mari adâncimea de patrundere a stratului superficial δ , se mărește temperatura de încălzire la 930..960 grade Celsius, $t_{men}=(4-6)h$ pentru $\delta=(0,5-2)mm$. Se aplică apoi o calire urmată de revenire joasă.

Avantaj – temperatura și timpul sunt mai mici decât în cazul cementării, respectiv t_{men} este mult mai mic decât în cazul nitrurării, deformările sunt mai mici, crește calibrabilitatea, crește rezistența la uzură și oboseala datorită nitrurilor și carburilor încorporate.

Dezavantaj – toxicitatea sarurilor.

Carbonitrurarea este un tratament termochimic de îmbogățire simultană a stratului superficial în atomi de carbon și azot în mediu gazos. Se pot folosi diferite amestecuri de gaze, cel mai utilizat fiind gaz metal plus amoniac (CH₄ + NH₃). $t_{inc}=(840-860)$ grade Celsius, $t_{men}=(4-6)h$ și $\delta=(0,6-0,8)mm$. Se aplică apoi o calire și o revenire joasă.

Avantaj – se poate controla δ , se poate mecaniza și automatiza, se aplică la piese cu formă geometrică complexă, t_{men} este mult mai mică comparativ cu cementarea și nitrurarea.

Dezavantaj – instalații scumpe.

Carbonitrurarea poate avea loc și la temperaturi joase sub Ac₁, la temperaturi de (630-660) grade Celsius, $t_{men}=(1-4)h$, $\delta=(0,5-1)mm$. Piese se află în stare calită și revenită înalt, după care se face carbonitrurarea. Se precizează că carbonitrurarea la temperaturi înalte se apropie mai mult de cementare, deci se face la oțeluri de construcție carbon și slab aliate, pe când carbonitrurarea la temperaturi joase se apropie de nitrurare și se aplică oțelurilor de scule C, slab și bogat aliate.

7. OTELURI ALIATE

Cuprinde toate mărcile de oțel care în compoziția lor chimică au cel puțin un element chimic de aliere ce atinge valoarea limită caracteristică oțelurilor nealiat.

Se clasifică în oțeluri de calitate și oțeluri speciale.

Oțeluri aliate de calitate

Sunt oțeluri care se utilizează în aplicații similare celor ale oțelurilor nealiat de calitate, având însă performanțe superioare datorită prezenței elementelor de aliere. Se utilizează cu predilecție în stare netratată termic. Sunt mărci de oțel destinate sudării având granulația fină din categoria oțelurilor de construcție, oțeluri de recipiente sub presiune, oțeluri pentru țevi și care satisfac condiții impuse de compoziția chimică (care le departajează de oțelurile speciale), limita la curgere ($R_c > 380 N/mm^2$) și energia la rupere (max 27 J la -50 °C pe epruvete ISO cu creștătura în V). Tot din această clasă fac parte oțelurile aliate pentru șine (aliat cu crom, mangan) oțelurile aliate pentru produse plate laminate la rece, oțeluri aliate pentru electrotehnică

Oțeluri aliate speciale

Reprezintă clasa de oțeluri ce se caracterizează prin caracteristici de exploatare deosebite urmări ale compoziției chimice riguroase și a unor condiții speciale de fabricare și de control.

Principalele categorii ce pot fi menționate sunt unele oțeluri speciale de construcție oțelurile pentru construcții de mașini oțelurile de scule, oțeluri de rulmenți și oțelurile inoxidabile și refractare.

O altă modalitate de clasificare ține cont de domeniile de utilizare. Conform acesteia oțelurile se împart în 4 mari familii:

- oțeluri de uz general;
- oțeluri de tratamente termice;
- oțeluri de scule;
- oțeluri inoxidabile și refractare.

Oțeluri alate pentru scule

Trebuie să asigure un optim între o serie de caracteristici de exploatare (duritatea, rezistența la uzură, stabilitatea formei și dimensiunilor, absența fragilității, etc.).

Pot fi: slab și mediu aliate;
 bogat aliate.

Funcție *natura procedului de prelucrare*, oțelurile de scule pot fi:

- oțeluri pentru scule așchietoare;
- oțeluri pentru scule de deformare plastică la rece și tăiere;
- oțeluri pentru scule de deformare plastică la cald;

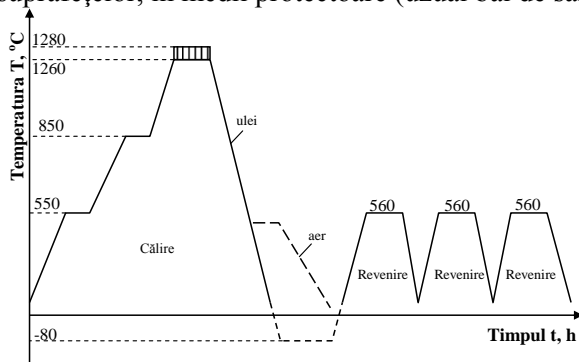
Simbolizarea oțelurilor de scule se face funcție de compoziția chimică (similar cu simbolizarea oțelurilor aliate de construcție) sau funcție de destinație.

Oțelurile rapide

Sunt destinate prelucrări prin așchiere cu viteze mari, aceste oțeluri sunt înalt aliate conținând Cr, W, V, Mo, Co. În STAS /SR 7382-88 ele se simbolizează prin notația Rp urmată de un indicativ (1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11) ce precizează o anumită compoziție chimică. În EU 96 sunt standardizate 13 mărci de oțeluri rapide (High-Speed Steels) simbolizate prin grupul de litere HS urmat de cifre care reprezintă conținutul mediu în % al elementelor de aliere în ordinea W-Mo-V-Co.

Datorită conținutului ridicat în elemente de aliere au, după turnare o structură alcătuită din grăunți perlitici și o rețea ledeburitică dispusă la marginile lor ce-i conferă o duritate și fragilitate ridicate. Prin deformarea plastică la cald aplicată oțelului turnat se produce o fărâmițare a rețelei ledeburitice iar recoacerea de înmuiere conduce la o structură sorbitică și carburi globulare uniform distribuite. Duritatea scade semnificativ (la valori sub 300HB) astfel că oțelul poate fi prelucrat prin așchiere.

Tratamentul termic secundar aplicat este de o complexitate deosebită Temperatura de austenitizare este ridicată (peste 1200° C) favorizându-se dizolvarea carburilor în austenită. Atingerea acestei temperaturi și asigurarea unei încălziri cât mai uniforme pe secțiunea produsului implică încălzirea în trepte (pe paliere de temperatură) la 500 – 550 °C, respectiv la 800 – 850 °C. Ultima treaptă și austenitizarea se execută, pentru evitarea oxidării și decarburării suprafețelor, în medii protectoare (uzual băi de săruri).



Ciclograma tratamentului termic secundar aplicat oțelurilor rapide

Revenirea aplicată după călire declanșează transformarea austenitei reziduale în martensită și durificarea prin dispersie sub efectul descompunerii parțiale a martensitei și precipitării unor carburi fin dispersate. Pentru o transformare cât mai completă se aplică două sau trei reveniri sau uneori și călirea la frig. Duritatea obținută

după revenire (figura 7.10) prezintă un salt la 550 – 570° C, fenomen cunoscut sub numele de durificare secundară.

Valorile ridicate ale durității se păstrează și la 600 – 620°C. Se asigură astfel sculelor o mare stabilitate la cald, o creștere semnificativă a rezistenței la uzură, iar proprietățile mecanice obținute (în special duritatea și rezistența la uzură) se păstrează neschimbate până la 600°C.

Oțeluri inoxidabile și refractare

Sunt oțeluri aliate speciale. Sub denumirea de oțeluri inoxidabile se grupează mărcile de oțeluri înalt aliate, rezistente la coroziune. Din punct de vedere al compoziției chimice, condiția ca un oțel să aibă caracter inoxidabil este ca el să prezinte maximum 0,45% carbon și peste 12% crom. Rezistența la coroziune este dată astfel de pelicula de oxizi de crom compactă, aderentă și rezistentă ce se formează la suprafața pieselor.

Oțelurile refractare sunt oțeluri rezistente la coroziune și la temperaturi de utilizare de peste 550° C. Oțelurile inoxidabile și refractare sunt aliaje pluricomponente în care alături de fier, carbon, crom se mai introduce nichel, mangan, cupru, azot (pentru îmbunătățirea tenacității), vanadiu, molibden, cobalt, siliciu (pentru creșterea rezistenței mecanice și pentru ameliorarea prelucrabilității prin așchiere)

În funcție de dozajul elementelor de aliere, oțelurile inoxidabile pot să aibă la temperatura ambiantă o structură martensitică, fie feritică, ori austenitică, precum și combinații ale acestora.

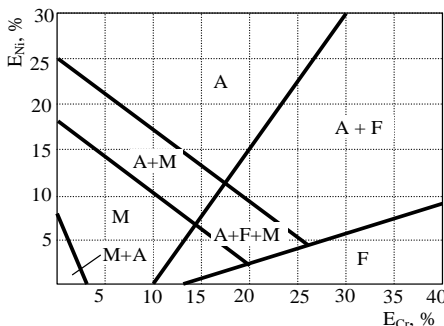


Diagrama Schaeffler – evidențierea structurilor oțelurilor inoxidabile în funcție de elementele alfa și gamagene

Aprecierea structurii existente la temperatura ambiantă se face pe baza raportului elementelor alfa (E_{Cr}) și a celor gamagene (E_{Ni}), adică:

$$E_{Cr}/E_{Ni} = (\%Cr + \%Mo + 1,5\%Si + 0,5\%Nb) / (\%Ni + 30\%C + 30\%N + 0,5\%Mn)$$

El se transpune într-o diagramă numită "diagrama Schaeffler"

Ea indică, cu rezultate satisfăcătoare structurile obținute pentru diferitele concentrații ale elementelor de aliere componente, în cazul unor oțeluri inoxidabile supuse unor tratamente termice, deformări plastice sau pe cusături sudate.

Oțelurile inoxidabile martensitice (exemple: X20Cr13-W1.4021, X30Cr13-W1.4028, X39Cr13-W1.4031) se caracterizează prin faptul că, după o răcire rapidă din domeniul austenitic, prezintă o structură martensitică care le asigură o rezistență mecanică comparabilă cu a oțelurilor de construcții. Au conținutul în carbon de 0,1 ... 0,4 % și 12 ... 17% crom.

Tratamentul termic constă dintr-o călire la 950 – 1000 °C urmată de o revenire joasă sau înaltă evitându-se intervalul de temperatură corespunzător revenirii medii.

Oțelurile inoxidabile feritice (exemple: X6Cr13/W1.4000, X6Cr 17/W1.4016 X2CrMoTi18-2/W1.4521, X6CrMo17-1/W1.4113, X2CrMoTi29-4/W1.4592), se caracterizează prin absența transformării la încălzire ($F \rightarrow A$). La orice temperatură ele prezintă o structură feritică. Conținutul de carbon este limitat la 0,08 – 0,2%, cel de crom este mai mare de 12%, iar cel de nichel nu depășește 1%. Întrucât nu suferă nici o transformare

alotropică, la încălzire ele sunt sensibile la creșterea granulației, ceea ce conduce la o scădere a ductilității și tenacității.

Oțelurile inoxidabile austenitice (X1CrNi25-21/W1.4335, X2CrNi18-9 /W1.4307, X6CrNiMoTi17-12-2/W1.4571, X12CrMnNiN18-9-5/W1.4373, X10CrNi18-8/W1.4310) nu prezintă nici ele transformări structurale la încălzire sau răcire. Structura austenitică este conservată datorită alierii cu nichel în proporții suficiente ($Ni > 7\%$). Pentru asigurarea caracterului inoxidabil, cromul are valori de peste 12 %, iar carbonul este în mod curent limitat la 0,02 – 0,1%. Structura austenitică se păstrează și pentru concentrații mai mici de nichel ($3,5\% < Ni < 7\%$), aliindu-se însă suplimentar cu azot în proporție de 0,25%, respectiv cu 8 – 10,5% mangan.

Întrucât, în majoritatea mediilor, rezistența lor la coroziune este remarcabilă, oțelurile inoxidabile austenitice au cea mai mare utilizare și la temperaturile cele mai înalte (800 – 850 °C). Grupele de mărci cele mai des întrebuițate sunt cele ce conțin 18%Cr și 8%Ni, notate și 18-8; de asemenea se întâlnesc frecvent grupele 20-12; 25-20; 18-6-10 (18%Cr, 6%Ni, 10%Mn).

Neprezentând puncte de transformare, aceste oțeluri nu se durifică prin tratamente termice.

8. METALE SI ALIAJE NEFEROASE

Sunt material care pot asigura reducerea greutateii produselor , anumite caracteristici electrice și magnetice, rezistența în medii corozive, sau la temperaturi extreme.

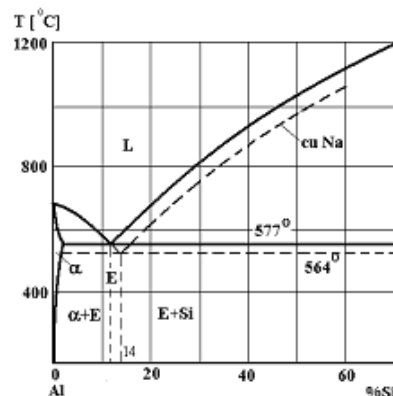
Cele mai utilizate sunt aluminiul, cuprul și titanul și aliajele lor.

Aluminiul și aliajele sale

Greutatea specifică a aluminiului este de 2700 Kg/m³, de aproximativ trei ori mai mică decât cea a fierului. Aceasta constituie un argument major în utilizarea la fabricarea componentelor în industria transporturilor .

Aluminiul tehnic conține până la 0,5% impurități, principalele fiind fierul și siliciul provenite din bauxită, la elaborare. Fierul nu se dizolvă în aluminiu, ci formează compusul Al₃Fe. Eutecticul Al + Al₃Fe cristalizează la marginea grăunților de aluminiu mărindu-i fragilitatea. Proprietățile de rezistență ale aluminiului tehnic primar sunt nesatisfăcătoare. Ameliorarea acestora se face prin ecrisare. I

Aliajele de aluminiu pot fi aliaje pentru turnătorie sau aliaje pentru deformare plastică. Dintre aliajele pentru turnătorie cele mai utilizate sunt aliajele aluminiu-siliciu Poartă denumirea de "siluminuri". Diagrama de echilibru Al-Si indică un eutectic la 12,7%Si. Solubilitatea maximă a siliciului în aluminiu este de numai 1,65% la temperatura de 578°C.



Aliajele cele mai utilizate au un conținut în siliciu cuprins între 5 și 20%. Aliajele cu un conținut în jurul a 7% Si prezintă o bună rezistență la coroziune fiind destinate accesoriilor din industria alimentară. Siluminurile hipereutectice cu 18-20% Si, aliate cu fosfor se caracterizează prin stabilitate termică bună și rezistență la uzare ridicată. Siluminurile eutectice cu 12 ... 13% Si (numite și de turnătorie) au bune proprietăți de turnare și sudare. Ele prezintă atât în matricea eutectică cât și în rețea, o morfologie aciculară (figura 8.4.a). Pentru îmbunătățirea proprietăților se recurge la modificarea cu sodiu (0,05...0,08%). Astfel structura eutecticului se globulizează, iar în rețea se observă apariția de formațiuni de soluție solidă α urmare a prezenței sodiului, liniile de echilibru s-au deplasat la temperaturi mai joase și punctele critice la concentrații mai mari în siliciu (reprezentarea punctată pe diagrama din figura 8.3), aliajul devenind astfel hipoeutectic. Proprietățile mecanice ale siluminurilor pot fi îmbunătățite și prin introducerea magneziului în proporție de 0,3 ... 1%, a cel mult 1,5% mangan și a 3 ... 5%, cupru.

Aliajele durificabile structural reprezintă categoria de aliaje ale aluminiului cu proprietățile de rezistență cele mai semnificative obținute în urma tratamentelor termice de durificare structurală.

Cele mai întrebuițate aliaje aparțin sistemelor Al-Cu, Al-Cu-Mg, Al-Cu-Mg-Mn, Al-Mg-Si, Al-Zn-Mg.

Aliajele Al-Cu, Al-Cu-Mg, Al-Cu-Mg-Mn prezintă în compoziția chimică în principal cuprul cu o concentrație situată între 2,6 și 6,5%, magneziul între 0,5 și 1,8%, și manganul între 0,5 și 0,9%.

Diagrama de echilibru Al-Cu relevă existența soluției solide $\alpha = \text{Al}(\text{Cu})$ cu solubilitate maximă de 5,65 %Cu la 548°C. Aceasta scade cu temperatura, atingând 0,2% la 20°C, separând-se astfel de-a lungul liniei solvus compusul intermetallic CuAl_2 (faza θ).

Durificarea structurală obținută prin călirea de punere în soluție, urmată de îmbătrânire, conduce la creșterea spectaculoasă a proprietăților mecanice.

Alierea cu magneziu are ca rezultat proprietăți mecanice excelente) rezultate în urma durificării structurale datorate prezenței compusului CuMgAl_2 .

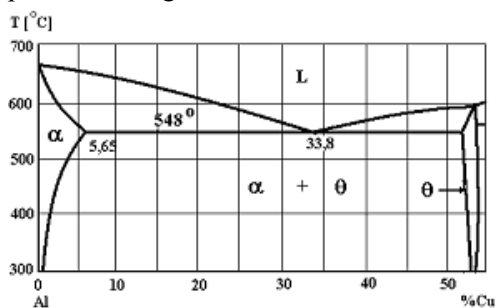


Diagrama de echilibru Al – Cu

Cuprul si aliajele sale

Cuprul este un metal indispensabil în electrotehnică. Având rețea FCC, el este foarte ductil și deformabil. În stare recoaptă rezistența mecanică, duritatea sunt scăzute, dar pot fi îmbunătățite prin ecruisare.

Posedă o foarte bună rezistență la coroziune în atmosferă, agenți organici, gaze de combustie. În schimb, comparativ cu aluminiul, turnarea este mediocră și prelucrabilitatea nesatisfăcătoare.

Principalele aliaje ale cuprului sunt alamele și bronzurile.

Alamele sunt aliaje ale cuprului cu zincul, în care, pentru aplicațiile industriale, conținutul de zinc nu depășește 45%. Mai prezintă uneori și staniu, mangan, plumb, aluminiu, fier, nichel numindu-se alame speciale sau aliate se disting două grupe de alame: cele monofazice cu $\text{Zn} < 35\%$ și cele bifazice care conțin $35\% < \text{Zn} < 45\%$.

Microstructurile specifice sunt prezentate în figura 8.11.

Proprietățile mecanice ale alamelor monofazice cresc continuu odată cu creșterea conținutului de zinc atingând un maxim la 30%Zn (figura 8.10). Aceste alame se pretează ușor la ambutisare, și la prelucrarea de precizie, având un preț de cost scăzut.

Alamele bifazice au o rezistență mecanică mai ridicată, plasticitate mai redusă. Se deformează plastic cu mare ușurință la cald ($T > 450^{\circ}\text{C}$). Principala alamă bifazică este “metal – Muntz” ($\text{Zn} \approx 40\%$). Prelucrabilitatea alamelor crește simțitor prin adăugarea de plumb (0,4...3%).

Rezistența mecanică se îmbunătățește prin alierea cu aluminiu, fier, mangan, nichel, iar rezistența la coroziune (mai ales în medii marine) se ameliorează prin introducerea staniului (în proporție de aproximativ 1%).

Bronzurile sunt aliajele cuprului cu staniu, aluminiu, siliciu, mangan, beriliu și cu alte elemente chimice mai puțin zincul.

Aliaje Cu-Sn sunt cele mai utilizate aliaje ale cuprului. Sunt cunoscute sub denumirea de bronzuri sau bronzuri de staniu.

Bronzurile pentru turnătorie se utilizează pe scară largă având fluiditate ridicată, contracție mică și tendință redusă de a dizolva gazele.

Aceste bronzuri conțin staniu între 10 ... 14%, având o structură bifazică (cele mai reprezentative mărci fiind CuSn10 ... CuSn14).

Bronzurile deformabile prezintă conținuturi mai reduse de staniu (maximum 9%). Prezintă o structură monofazică. În funcție de gradul de ecruisare bronzurile pot fi moi, semitari, tari.

Titanul si aliajele de titan

Titanul prezintă două forme alotropice: până la 882°C titanul α având rețea hexagonală, și la temperaturi peste 882°C , titanul β ce prezintă rețea CVC.

Urmare a raportului c/a al celulei hexagonale ($c/a = 1,587$) titanul prezintă destule sisteme de alunecare astfel încât el este un metal ductil și fără punct de tranziție ductil – fragil. Întrucât masa volumică este relativ mică ($\rho = 4540 \text{ kg/m}^3$) raportul rezistență mecanică/masă volumică este superior tuturor celorlalte metale. Deci la același nivel al solicitărilor piesa din aliajul de titan este mai ușoară.

Rezistența la coroziune este deosebită, fiind superioară oțelurilor inoxidabile. Aliajele titanului manifestă o bună rezistență mecanică la cald.

Titanul este sensibil la prezența impurităților cum ar fi: azotul, carbonul, oxigenul, hidrogenul. El formează cu acestea soluția solidă de inserție α , precum și o serie de compuși intermetalici (hidruri, carburi, nitruri) ceea ce conduce la înrăutățirea ductilității, așchiabilității și sudabilității.

Din punct de vedere al acțiunii elementelor de aliere, aliajele de titan se clasifică în trei grupe: aliaje α , β și $\alpha + \beta$.

Aliaje α , în care elementele de aliere stabilizează faza α , ridică temperatura de transformare poliformă. Din această categorie fac parte aluminiu, galiu, germaniu precum și oxigenul, carbonul, azotul, borul care sunt considerate impurități.

Aliajele β , în care elementele de aliere stabilizează faza β coboară temperatura de transformare polimorfă. Este cazul vanadiului, molibdenului, tantalului, niobului ce prezintă solubilitate totală și al elementelor chimice “eutectoide” mangan, fier, crom, siliciu care conduc la formarea unor compuși având loc transformarea eutectoidă

Aliajele $\alpha + \beta$ prezintă o structură bifazică, conținând în afară de aluminiu și elemente stabilizatoare ale fazei β (ex. crom, molibden, fier) în proporție 2...4%.

Se precizează că anumite elemente chimice cum sunt staniul și zirconiul au o acțiune neutră asupra transformării poliforme.

Aliajele α (TiAl5, TiAl5Sn2,5, TiAl8Zr8, etc.) conțin în principal elemente alfa-gene și neutre și uneori mici adaosuri de elemente beta-gene. Ele au o rezistență mecanică corespunzătoare până la 600 – 650°C și la oxidare până la 1100°C. Se pot deforma la cald și au o stabilitate bună.

Aliajele $\alpha + \beta$ (TiAl6V4, TiAl5Cr2Mo2, TiAl8Co4, etc.) sunt cele mai utilizate. După tratamentul termic ele prezintă rezistențe mecanice superioare, conservându-și și o ductilitate ridicată. Rezistența la fluaj se păstrează la valori înalte de până la 550°C.

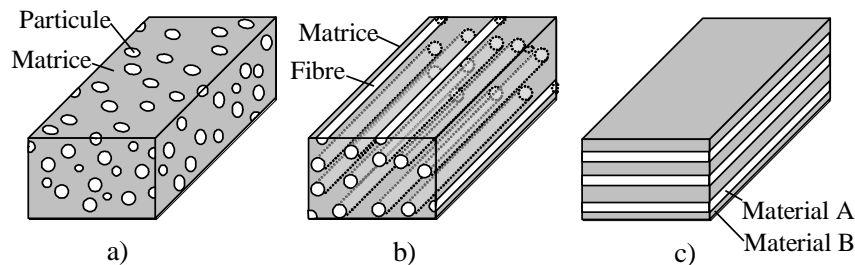
Cel mai reprezentativ aliaj este TiAl6V4 ce se utilizează în proporție de 50% din întreaga producție de titan.

9. MATERIALE COMPOZITE

Sunt materiale formate din combinarea mai multor tipuri de materiale care, în mod normal, sunt nemiscibile. Într-o asemenea organizare și elaborare, proprietățile finale sunt superioare proprietăților componentelor, îmbinarea lor având (cel puțin pe unele direcții specifice) un efect sinergic.

Materialele compozite sunt așadar materialele formate din două sau mai multe componente combinate în așa fel încât să rezulte un material nou care să însumeze caracteristicile avantajoase ale componentelor fără a păstra și defectele acestora.

Având în vedere complexitatea lor, materialele compozite se clasifică după mai multe criterii în funcție de modul de obținere, (durificate cu whiskersuri, fibre expandate, solidificate dirijat), de materiale componente (natura matricei și a fibrelor), și de modul de prezentare (stratificate, celulare, disperse).



Tipuri principale de materiale compozite:

- a) compozite armate cu particule; b) compozite armate cu fibre;
- c) compozite stratificate

Compozite armate cu particule sunt alcătuite din particule echiaxiale (de forme diferite dar având dimensiuni aproximativ egale după cele două direcții) dure și fragile distribuite uniform într-o matrice ductilă. Din punct de vedere structural, aceste materiale sunt similare cu materiale bifazice obținute în urma unor transformări de fază.

Dacă dimensiunea particulelor este foarte redusă (10 nm...250 nm), acestea pot contribui la durificarea accentuată a matricei prin blocarea deplasării dislocațiilor obținându-se materiale *compozite durificate prin dispersie*. Compozitele durificate cu particule fine au și un comportament avantajos la creșterea temperaturii întrucât particulele durificatoare nu sunt suferă transformări de fază.

Compozitele durificate prin dispersie pot fi obținute prin sinterizare (apre exemplu compozitul denumit comercial SAP care are matricea din aluminiu și conține 14% Al_2O_3) sau prin oxidare internă (compozițe pe bază de nichel, wolfram sau superaliaje care conțin toriu ca element de aliere și, prin oxidarea acestui după sinterizare, ajung să conțină 1...2% de ThO_2). Sunt folosite pentru componente ale motoarelor cu reacție (aliaj Ni-Cr durificat cu particule de ThO_2), contacte electrice (Ag durificat cu particule de CdO), filamente și elemente de încălzire (W durificat cu particule de ZrO_2).

Materialele compozite armate cu macroparticule (dimensiuni mai mari de 250 nm), au proprietăți determinate de proprietățile componenților și de ponderea acestora în materialul compozit. Modulul de

elasticitate E_c al unui material compozit C alcătuit din matricea M (având modulul de elasticitate E_m și ponderea volumică relativă V_m) și particulele P (având modulul de elasticitate E_p și ponderea volumică relativă V_p) se poate calcula cu ajutorul regulei amestecului care se poate scrie sub forma:

$$E_c = E_m \cdot V_m + E_p \cdot V_p$$

Aceste compozite pot avea în componență orice tip de material (metalic, ceramic, polimer).

Compozitele durificate cu fibre prezintă performanțe deosebite fiind utilizate în domeniul aerospațial, al transporturilor navale, rutiere, al electronicii, telecomunicației, medical, etc. Compozitele durificate cu fibre reprezintă un ansamblu alcătuit din două componente: matricea (M) și fibrele (F). În mod normal, acestea nu reacționează între ele, matricea este ductilă, iar fibrele sunt rezistente, rigide și dispersate într-o anumită distribuție în matrice.

Se disting, în funcție de dispunerea fibrelor, următoarele tipuri de compozite:

- compozite unidireționale – cu fibre orientate în aceeași direcție;
- compozite multidireționale – cu fibre dispuse aleatoriu, țesute sau bobinate, în plan sau în spațiu.

Proprietățile compozitului depind atât de proprietățile componentelor, de fracția volumică și de modul de dispunere a fibrelor, cât și de calitatea interfeței matrice – fibre.

Această interfață trebuie să asigure transferul sarcinii mecanice de la matrice la fibre. Astfel materialul compozit va prezenta o rezistență mecanică apropiată de a fibrelor fără a avea fragilitatea acestora.

În mod deosebit în industria aerospațială și a transporturilor se urmărește fabricarea de compozite ale căror principală caracteristică este un raport foarte ridicat al rezistenței mecanice/greutatea specifică, precum și o rigiditate specifică înaltă.

10. SIMBOLIZAREA OTELURILOR ȘI FONTELOR

Simbolizările alfanumerice ale oțelurilor se fac în funcție de utilizare și caracteristici mecanice sau fizice (grupa 1) respectiv în funcție de compoziția chimică (grupa 2).

În general simbolizarea oțelurilor corespunzătoare grupei 1 (tabelul.1) prezintă în simbolul principal o literă ce semnifică o anumită destinație urmată de un grup de cifre (un număr) care reprezintă o valoare minimă a unei caracteristici mecanice. În cazul în care oțelul este specificat sub forma unei piese turnate, simbolizarea sa prezintă ca simbol inițial litera G.

exemple de simbolizări alfanumerice ale oțelurilor din grupa 1:

S 355 - oțel de construcții cu limita minimă de curgere de 355 N/mm²;
P 265 - oțel pentru recipiente sub presiune cu limita minimă de curgere 265N/mm²;
GE 295 - oțel turnat pentru construcții mecanice cu limita minimă de curgere de 295N/mm²;
R 0950 - oțel pentru șine cu limita minimă pentru rezistența la tracțiune de 950N/mm²

Tabelul 1.

Categoria de oțeluri	Caracteristica mecanică utilizată	Simbol	Observații
oțeluri de construcții	limita de curgere, R _c , N/mm ²	Snnn	S-categoria oțelului nnn-valoarea minimă a lui R _c
oțeluri pentru recipiente sub presiune	limita de curgere, R _c , N/mm ²	Pnnn	P- categoria oțelului nnn–valoarea minimă a lui R _c
oțeluri pentru construcții mecanice	limita de curgere, R _c , N/mm ²	Ennn	E- categoria oțelului nnn–valoarea minimă a lui R _c

Simbolizarea oțelurilor din grupa 2 se face în funcție de compoziția chimică (tabelul 7.2). Având în vedere modul de simbolizare, oțelurile se pot clasifica în 4 subgrupe:

2.1) - oțeluri nealiat cu un conținut mediu în mangan <1% (excepție oțelurile pentru automate);

2.2) - oțeluri nealiat cu un conținut mediu în mangan >1%, oțelurile pentru automate, oțeluri aliate al căror conținut al fiecărui element de aliere este <5% (excepție oțelurile rapide);

2.3) - oțelurile aliate al căror conținut al unui element de aliere este >5% (excepție oțelurile rapide);

2.4) - oțeluri rapide.

Tabelul.2. Simbolizarea oțelurilor funcție de compoziția chimică

Sub - gru pa	Categoria de oțeluri	Elemente chimice prezente în simbolizare	Simbol	Semnificația elementelor simbolului
2.1	oțeluri nealiat cu un conținut mediu în mangan <1% (excepție oțelurile pt. automate);	carbonul în, % de masă x 100	Cnnn	-C- carbon -nnn-valoarea medie de carbon multiplicată cu 100
2.2	oțeluri nealiat cu un conținut mediu în mangan >1%, oțelurile pentru automate, oțeluri aliate al căror conținut al fiecărui element de aliere este <5% (excepție oțelurile rapide);	- carbonul în, % de masă x 100 -elementele de aliere în % de masă multiplicate cu un factor F (tab.7.3)	nnnE ₁ E ₂ E ₃ m-p-r	-nnn-valoarea medie de carbon x 100 - E ₁ E ₂ E ₃ – elemente de aliere în ordine descrescătoare a conținutului -m,p,r-conținutul mediu în procente al elementului, multiplicat cu F
2.3	oțelurile aliate al căror conținut al unui element de aliere este >5% (excepție oțelurile rapide);	- carbonul în, procente de masă multiplicat cu 100 -elementele de aliere în % de masă	Xnnn E ₁ E ₂ E ₃ m-p-r	X-semnifică prezența unui element de aliere >5% -nnn-valoarea medie de carbon x 100 -E ₁ E ₂ E ₃ -elemente de aliere în ordine descrescătoare -m,p,r-conținutul mediu în procente rotunjit la un număr întreg
2.4	oțeluri rapide	-wolframul, moliбdenul vanadiul, cobaltul în procente de masă	HSm-p-q-r	m,p,q,r-conținutul mediu în procente al elementelor de aliere în ordinea W-Mo-V-Co

Tabelul 3. Factorii de multiplicare pentru elementele de aliere

Elementul chimic, E	Factorul de multilicare, F
Cr, Co; Mn, Ni, Si, W	4
Al,Be,Cu,Mo,Nb,Pb,Ta,Ti,V,Zr	10
Ce,N,P,S	100

Ca exemple de simbolizări alfanumerice ale oțelurilor în funcție de compoziția chimică menționăm:

C45 - oțel carbon cu un conținut mediu în carbon de 0,45%;

G17CrMo5-5 - oțel aliat turnat cu un conținut mediu de carbon de 0,17 % și un conținut mediu de crom de 1,25% și molibden de 0,5% .

X10CrNi 18-10 - oțel aliat cu un conținut mediu de carbon de 0,1 % și un conținut mediu de crom de 18% și nichel de 10% .

HS6-5-2-5 - oțel rapid cu un conținut de 6% wolfram, 5% molibden, 2% vanadiu și 5% cobalt.

Conform Standardului European, *simbolizările numerice* au un număr fix de cifre. Fiecare simbolizare se referă la o singură marcă de oțel. Structura unei astfel de simbolizări este de maniera: 1.XX YY(YY). Cifra 1 indică grupa de material (oțel). Cifrele de la 2 până la 9 pot fi alocate altor materiale. Cifrele "XX" indică grupa de oțel. Sunt 95 grupe de oțel corespunzătoare categoriilor/claselor de oțeluri

Principiile simbolizării fontelor

În conformitate cu standardul european EN 1560 și cel românesc SR EN 1560, toate mărcile de fontă se simbolizează în mod similar oțelurilor adică fie alfanumeric, fie numeric.

Simbolizarea alfanumerică cuprinde maximum șase poziții nefiind necesară ocuparea tuturor. La poziția 1, obligatorie, se indica prefixul EN - desigur pentru fontele standardizate; la poziția 2 este prevăzută tot cu caracter obligatoriu precizarea tipului de metal, adică simbolul GJ în care G reprezintă piesa turnată și J reprezintă fonta. Pozițiile 3 și 4 au caracter opțional. Poziția a 3-a precizează structura grafitului, iar poziția a 4-a (utilizată doar când este necesară identificarea fontelor după structura matricei) indică natura microstructurii sau macrostructurii prin notațiile prezentate în tabelul 4.

Tabelul 4 Notațiile pentru tipurile grafitului și structurii utilizate la simbolizarea alfanumerică

Simbol grafitului	Tipul grafitului	Simbolul structurii	Tipul structurii sau stării
L	Lamelară	A	Austenita
S	Sferoidală	F	Ferita
M	Grafit în cuiburi	P	Perlita
V	Vermiculară	M	Martensita
N	Fără grafit (structura ledeburitică)	Q	Călita
		T	Călită și revenită
Y	Structura specială (indicată în standardul de produs)	B	Inima neagră
		W	Inima albă
			(pt. fonte maleabile)

Următoarea poziție (a 5-a) , cu caracter obligatoriu, se utilizează la alegere fie pentru indicarea unor caracteristici mecanice, fie pentru precizarea compoziției chimice, separându-se de pozițiile precedente printr-o cratimă.

Caracteristicile mecanice care se pot indica sunt:

a) rezistența mecanică la tracțiune, în N/mm^2 urmată de o literă ce reprezintă modul de prelevare a probelor astfel,

- "S"- proba turnată separat,
- "U"- proba atașată la piesă
- "C"- proba prelevată din piesă

Exemple: EN-GJL-300S

EN-GJV-350C

b) rezistența mecanică la tracțiune, în N/mm^2 urmată de alungirea minimă exprimată în procente (valorile fiind separate printr-o cratimă) și de o literă ce reprezintă modul de prelevare a probelor

Exemple: EN-GJS- 350-22C

EN-GJMW-400-9U

c) duritatea exprimată prin notația HB (duritatea Brinell), ori HV (duritatea Vickers), ori HR (duritatea Rockwell) urmată de valoarea ei efectivă.

Exemple: EN-GJL- HB180

EN-GJMW- HV300

Simbolizarea numerică cuprinde nouă caractere (incluzându-se aici și cratimele). Primele trei caractere sunt similare cu cele existente în simbolizarea alfanumerică, iar al patrulea prin litera J indică tipul materialului (fonta), adică EN-J. Cel de-al cincilea caracter este alocat tipului grafitului precizat printr-o literă (a se vedea tabelul 7.6). Caracterul al șaselea indică, printr-o cifră, caracteristica principală a fontei (1 - pentru rezistența la tracțiune, 2 - duritate, 3 - pentru compoziția chimică). Caracterele 7 și 8 sunt alocate numărului (din două cifre) atribuit mărcii de fontă, iar ultimul caracter indică printr-o cifră, condițiile specifice materialului (de exemplu: 1 -proba de încercat este turnată separat, 6 - se specifică sudabilitatea , 8 - piesa este tratată termic, 0 - nu se impun restricții specifice).