

FENOMENUL DE PITING LA ALIAJELE ANTIFRICȚIUNE

D. Dascălu

Academia Navală „Mircea cel Bătrân”, Constanța

1. ASPECTE GENERALE

Lucrarea evidențiază succint și unitar pe baza rezultatelor teoretice și experimentale din literatura de specialitate și ale autorilor fenomenul de ciupire, „piting” în cazul particular al aliajelor antifricțiune utilizate în construcția și fabricarea lagărelor cu alunecare cu cuzineți multistrat.

Fenomenul constă în apariția în timp, pe suprafețele de contact a unor alveole de diferite dimensiuni ca niște ciupituri, prin detașări de mici particule din stratul superficial. Particularitatea este dată de faptul că, aceste aliaje antifricțiune sunt caracterizate de tenacitate și plasticitate foarte bună și o duritate deosebit de mică. Fenomenul de „piting” (oboseală) la nivel macrostructural al aliajelor antifricțiune utilizate în construcția lagărelor cu cuzineți multistrat are loc în trei faze.

Prima fază este caracterizată de apariția de microfisuri, neregulat dispuse care penetrează radial stratul antifricțiune al aliajului, prezente mai ales în aria de exercitare a eforturilor maxime.

În faza a doua, datorită interacțiunii microfisurilor cu filmul de lubrifiant, în care se dezvoltă presiunea ce realizează forța portantă variabilă (hidrodinamică sau hidrostatică), are loc o evoluție a acestora după direcțiile maxime ale tensiunilor tangențiale, dispuse după un unghi de 45° față de direcțiile tensiunilor axiale maxime, sau principiul rezistenței minime a materialului.

Fenomenul se accentuează la presiuni locale variabile, care în timp generează asocieri a defectelor și discontinuităților facilitând apariția și dezvoltarea în continuare a macrofisurilor ce poartă numele de „oboseală a materialului”. Întâlnind materialul mai rezistent pe care a fost placat stratul antifricțiune, macrofisurile se dezvoltă de-a lungul acestei zone de separație ce constituie faza 3, când e parte din strat se desprinde de stratul de bază, ce duce la apariția ciupiturilor. Alveolele rămase pe suprafața cuzinetului dau senzația de ciupituri.

2. SURSELE DE MICROFISURI

Pentru a se putea explica faza 1, ce constituie subiectul lucrării, autorul a considerat

utilă o analiză succintă și graduală, a modului de apariție a acestor microfisuri, ce stau la baza fenomenului de piting. Autorul a sintetizat în două grupe aceste surse: structurale și date de deformarea plastică, ce se vor detalia în continuare.

Imperfecțiunile structurilor cristaline, constituie o primă sursă. Conform teoriei privind structura cristalină, atomii pot fi considerați prin aproximare niște sfere ce se așează în spațiu tangente între ele. Unind centrele sferelor prin drepte se obțin celule elementare având forme paralelipipedice diferite. **Aranjamentul compact**, urmărește obținerea unor goluri cât mai mici în cadrul rețelei, atomii din stratul superior se așează în golurile sferelor din stratul inferior, caracteristică pentru rețeaua hexagonală compactă ce nu figurează printre rețelele Bravais.

Aranjamentul mai puțin compact, are mărimea interstițiului dintre sfere mai mare, sferele așezându-se pe axe verticale. Orice impuritate reprezintă sfere diferite dimensional care produc distorsiuni și discontinuități structurale, fenomen mult mai amplu în cazul aliajelor. Prin unirea și aglomerarea lor, aceste distorsiuni structurale pot fi considerate cele mai fine și elementare surse viitoare de microfisuri. Un număr relativ mare de atomi diferiți de cei de bază grupați pot genera și discontinuități ale structurii. Având la bază criteriul geometric **imperfecțiunile cristalelor sau de rețea** pot fi **punctiforme**, sub forma unor **vacanțe** (atomi lipsă din structură), **atomi interstițiali** (atomi de același fel cu cei ai rețelei dar ocupând poziții interstițiale în structură), **atomi străini**. Când imperfecțiunile punctiforme simple interacționează între ele, pot forma aglomerări relativ mici de vacanțe sau atomi interstițiali, ce nu distrug complet scheletul rețelei, cunoscute sub denumirea de „**clusters**”, sau aglomerări mai mari, numite **colonii**.

Imperfecțiunile liniare, sau dislocațiile, sunt imperfecțiuni de dimensiuni mai mari, ce constau într-un șir de atomi ai unui cristal cu o coordonată anormală. Datorită tendinței de purificare a cristalului în timpul cristalizării topiturii, atomii străini sunt împinși spre exteriorul cristalului, generând astfel **imperfecțiunile de suprafață**. Acestea reprezintă suprafețe care separă în masa materialelor diferite porțiuni din punct de

vedere al structurii cristaline, al orientării cristalografice sau orientării magnetice spontane etc. Legat de structura cristalină defectele de suprafață se pot considera limitele de separare dintre faze, dintre grăunți, sau sublimate, definite ca suprafețele de separare dintre macle, defecte de împachetare, etc., putând fi de mai multe forme.

Limitele dintre grăunți, sunt regiuni de trecere de la un grăunte la altul. Acești grăunți vecini se deosebesc prin orientarea cristalină fig.1.

Experimental s-a dovedit că energia limitelor crește cu creșterea unghiului atingând o valoare maximă la unghiuri de aproximativ 20° .

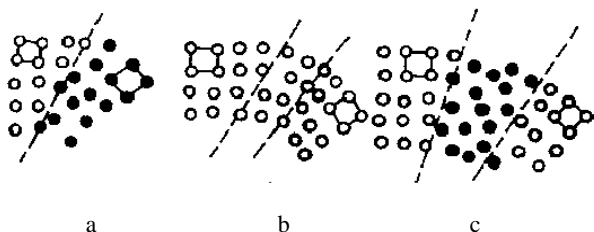


Figura1. Tipuri de structuri ce apar la limitele dintre grăunți.

Energia limitelor la unghiuri mari este de ordinul a 600 erg/cm^2 comparativ cu limita unei macle de numai 25 erg/cm^2 [2]. Această energie mare favorizează o serie de reacții în stare solidă ca: difuziunea, precipitări sau transformări de faze [2]. Tot în aceste regiuni concentrația de atomi străini este mai mare decât în restul materialului.

Sublimatele, reprezintă tot defecte de suprafață ce apar însă în interiorul aceluiași grăunte cristalin, datorită tendinței de purificare. Una din metodele de formare a unei rețele de sublimate numită **substructură**, constă în deformarea la rece cu grade de deformare mici (1–10%) urmată de o recoacere la temperaturi nu prea ridicate cu scopul evitării formării unei noi generații de grăunți prin recristalizare [1]. În timpul deformării la rece se formează un număr mare de dislocații marginale care în urma recoacerii se aranjează una sub alta. Fenomenul poartă numele de poligonizare sau recoacere în situ, deoarece formarea sublimatele este determinată de apariția prin îndoire a unor pachete de plane de alunecare. Acestea conțin dislocații de același semn, care prin alinierea una sub alta produc o fragmentare a planelor de alunecare la unghiuri mici formând aproximativ laturile unui poligon. **Natura și constituția fizico-chimică a fazelor din aliaje** constituie o altă sursă importantă de discontinuități. Cum aliajele reprezintă materiale metalice alcătuite din două sau mai multe specii de atomi care se vor constitui în componenții aliajului, în general elemente metalice, dar pot fi și nemetalice, cu condiția să predomine

caracterul metalic. Partea omogenă dintr-un aliaj, despărțită de alte părți omogene prin suprafețe bine determinate alcătuiește o **fază**. Proprietățile aliajelor vor fi influențate de natura, cantitatea, forma și distribuția fazelor ce le compun. Prin modificarea proporției dintre componenți se obține un sistem de aliaje. **Soluțiile solide**, rezultă ca urmare a înglobării atomilor componentului de aliere (componentul dizolvat) în rețeaua cristalină a componentului de bază (solvent). După modul de amplasare a atomilor celor doi componenți pot rezulta: **soluții solide de substituție** respectiv **soluții de interstițiu**. Unele sisteme de aliaje cum ar fi Cu-Zn, Fe-Al la temperaturi înalte atunci când entropia are un rol important, prezintă soluții dezordonate care sub o anumită temperatură se ordonează adoptând o stare cu entropie scăzută, de energie internă mică și o energie liberă mică.

Compuși intermetalici, sunt caracterizați de compoziții chimice bine determinate: A_mB_n , $A_mB_nC_p$. Rețeaua lor cristalină este diferită de cea a componenților, de multe ori fiind foarte complexă, iar proprietățile mecanice, stabilitatea lor termică este superioară componentelor. La rândul lor acești compuși pot prezenta diferite faze intermediare putând fi grupați în: **compuși electrochimici**, ce sunt compuși de valență normală, **compuși de tip geometric** se formează după criteriul raportului dintre dimensiunile atomilor componenți. Fazele Laves pot aparține uneia din următoarele structuri cristaline interesante în domeniul lagărelor cu alunecare: $MgCu_2$; $MgZn_2$; $MgNi_2$. **Compuși electronici** se formează pe baza concentrației electronice definită cu raport dintre numărul electronilor de valență și numărul atomilor la care aparțin. Pe lângă aceste surse datorate imperfecțiunilor apărute în și după elaborarea materialelor, a doua sursă importantă o constituie **efectele deformării plastice la rece sau la cald al acestor materiale**. **Alunecarea** pe planele de maximă densitate atomică conduce la formarea unor denivelări la suprafața cristalului care, privite la microscop, apar sub formă de benzi (fig.2.). Materialele metalice utilizate în industrie sunt policristaline, alcătuite din grăunți (cristale) despărțiți prin limite de grăunți. Eforturile necesare pentru deformarea policristalelor sunt mult mai mari decât pentru deformarea monocristalelor. Experimental s-a constatat și teoretic s-a demonstrat că deformarea la rece are loc mai greu lângă limita de grăunte decât în interiorul cristalului, deci limita are o rezistență mărită față de restul cristalului. **Maclarea**, este un alt mecanism de deformare a materialelor metalice întâlnit mult mai rar. Pentru explicarea

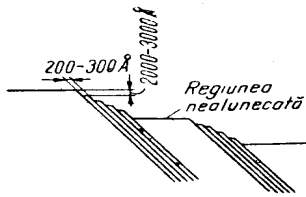


Figura 2. Deplasările prin alunecare în monocristale.

mecanismului dislocațional al deformării plastice într-o bandă de alunecare trebuie considerată noțiunea de **sursă de dislocații**. Principiul unei surse de dislocații, discutat pentru prima dată de Frank și Read, este ilustrat în fig.4. Procesul se poate repeta, noi bucle fiind

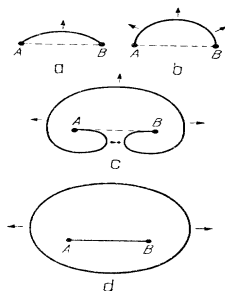


Figura3. Formarea unei bucle închise de dislocații.

generate și fiecare buclă producând o deplasare unitară prin planul de alunecare. În general, multiplicarea dislocațiilor în cursul deformării plastice conduce la creșterea tensiunii necesare pentru deplasarea lor. **Ecrusarea** se datorează intersectării dislocațiilor mobile, întâlnirii dislocațiilor mobile cu dislocațiile nemobile, cu precipitate sau alte piedici în calea deplasărilor, tensiunilor din rețea create de aglomerările de dislocații, etc. Cea mai importantă manifestare a ecrusajului este creșterea rezistenței la deformările ulterioare, însoțită de scăderea corespunzătoare a plasticității materialului. Acest fenomen depinde de tipul rețelei cristaline, de natura fazei metalice care se deformează, de prezența și distribuția altor faze sau compuși, de temperatură etc. Legătura dintre deformația plastică la rece și cantitatea de dislocații este în prezent pe deplin lămurită. În timp ce un metal recopt conține $10^6 \dots 10^8$ dislocații/cm³, același metal supus unor puternice deformări plastice conține aproximativ 10^{12} dislocații/cm³. Majorarea cantității de dislocații, datorită deformației plastice, explică în prezent, în modul cel mai complet, fenomenul ecrusării metalelor și aliajelor. Densitatea de dislocații ρ determină tensiunea necesară σ pentru producerea deformării în continuare [3], conform relației:

$$\sigma = \sigma_0 + \alpha G b \sqrt{\rho} \quad (1)$$

în care : σ_0 este tensiunea de frecare în interiorul cristalului, α o constantă ce depinde de structura și proprietățile materialului, G modulul elasticității transversale, b vectorul Burgers. Deci, cu cât densitatea de dislocații este mai mare, tensiunea necesară pentru producerea deformării este mai mare. Rolul dislocațiilor la ecrusare provine nu numai din influența numărului acestora (a densității lor) pe o anumită suprafață, dar și din modul lor de distribuție în material. Deformația relativă medie ε este o funcție de densitatea de dislocații ρ . Conform [2]

$$\varepsilon = b \cdot \chi \cdot \rho \quad (2)$$

în care b și ρ își păstrează semnificația iar χ reprezintă distanța de-a lungul întregului plan de alunecare a părții superioare a cristalului corespunzătoare vectorului Burges b . Durificarea prin deformare plastică se explică și prin apariția unor tensiuni interne puternice generate de aglomerările de dislocații (de exemplu, lângă limitele de grăunți sau la limită între faze), de intersecția cu pădurea de dislocații, de treptele imobile create pe dislocațiile mobile sau de încovoierea dislocațiilor cu capetele fixate. Pe lângă aceste tensiuni la scara rețelei cristaline (de ordinul III), în materialele metalice ecrusate apar tensiuni macroscopice (de ordinul I) și microscopice (de ordinul II). Importanța limitelor de grăunți în procesele ecrusării este indicată de tensiunea mărită necesară deformării policristalelor în comparație cu monocristalele. Pentru multe materiale metalice se poate folosi relația Hall-Petch [3]

$$\sigma = \sigma_0 + k / \sqrt{d} \quad (3)$$

σ - limita de curgere la o deformare dată, d diametrul mediu al grăunțului, σ_0 - tensiunea dată de frecarea la deplasarea dislocațiilor, k constantă.

Anizotropia proprietăților generată de creșterea orientării preferate se suprapune peste anizotropia produsă de modificarea formei și distribuției fazelor deformate precum și a compușilor. Prin deformare plastică grăunții materialului metalic, inițial echiaciși, se alungesc cu atât mai mult cu cât gradul de deformare crește. Odată cu alunecarea grăunților limitele de grăunți devin mai puțin netede iar structura metalografică capătă un aspect fibros. Anizotropia pieselor cu fibraj este cu atât mai pronunțată cu cât gradul de impurificare a materialului este mai mare. La proiectarea pieselor, în special din aliaje de

magneziu este necesar să se țină seama de apariția fibrajului deoarece șirurile de incluziuni reprezintă zone fragile și cu rezistență micșorată.

Îmbătrânirea, reprezintă un alt efect al deformării plastice la rece constând în precipitarea atomilor de aliere în cursul procesului de îmbătrânire a soluțiilor solide suprasaturate. Durificarea soluțiilor solide suprasaturate are loc în trei etape: durificarea soluției solide; durificarea prin deformare a precipitatelor coerente (aglomerări de atomi străini, care se potrivesc cu rețeaua metalului de bază) numite și „zone”; durificarea prin formarea precipitatelor (faze noi care rup legăturile de coerență cu rețeaua metalului de bază). În fiecare caz dislocațiile mobile trebuie să ocolească sau să străpungă aceste bariere, iar soluția solidă suprasaturată omogenă, mai dură decât metalul pur, își mărește duritatea pe măsura separării precipitatelor coerente. Durificarea maximă se atinge la o dimensiune critică a particulelor care permite dislocațiilor să se curbeze în jurul particulelor individuale.

3. CONCLUZII

În timpul cristalizării atomii ce formează structura cristalină produc discontinuități ale structurii sub formă de vacanțe sau atomi interstițiali. În timpul generării atomii străini sunt împinși la periferia grăunților, generând imperfecțiuni de suprafață și sublimite. Acestea stau la baza formării unei suprastructuri ce conferă proprietăți deosebite structurii rezultate comparativ cu proprietățile materialului de bază. Natura și constituția fizico-chimică a fazelor din aliaje, prin diverșii compuși faze și soluțiile rezultate, constituie o altă sursă importantă de discontinuități. Toate acestea constituie stări de echilibru. Orice modificare a parametrilor ce au stabilit aceste echilibre generează evidente modificări structurale. Aceste modificări apar preponderent în timpul prelucrărilor mecanice (operații de așchiere, deformări plastice la cald sau la rece, tratamente termice, etc.) prin care din semifabricat se obțin piesele finite, urmate de cele generate de sarcinile pe care aceste piese le preiau pe durata exploatații, unul din efecte fiind fenomenul de piting studiat. După cum sa argumentat, solicitările variabile mai ales, produc efectele structurale de ecruisare, îmbătrânire, anizotropie a proprietăților, etc. ce constituie bazele distrugerilor organelor d mașini, în general, a lagărelor în special. Cunoscând sarcinile ce le vor prelua lagărele în timpul exploatații prin deformare plastică la rece se poate

realiza anticipat structura optimă [1]. Această soluție conform [1] este definită prin conceptul de preconfigurare structurală. Conform relațiilor de calcul 1 și 2, este foarte util ca aceste discontinuități, prin a căror dezvoltare se generează fenomenul de piting, să fie cât mai omogene și uniform distribuite în masa materialului, dimensiunile grăunților cristalini cât mai mici, precum și proprietățile intrinseci ale elementelor componente. Proprietățile superioare ale aliajelor este dată în esență de calitățile suprastructurii și mai puțin de cele ale materialelor de bază ale aliajului.

Bibliografie

1. *Dascălu, D. Nou procedeu de finisare FINPLAST, Editura Printech, București. 2004*
2. *Florea, G. R.. Studiul materialelor metalice – curs avansat, Editura Lux Libris. Brașov 1998.*
3. *Ioana, G., Petru S., Mihai P., Mircea D., Deformarea plastică a metalelor și aliajelor neferoase. Ed. Teh., Buc., 1977.*