

**11. UZAREA PRIN OBOSEALĂ SUPERFICIALĂ [ A1, A7, A9, A12, A13, A16, A18]**

**11.1 Definire. Forme specifice**

Uzarea suprafețelor prin oboseală superficială are la bază solicitările mecanice sau termomecanice ciclice suprapuse mișcării de alunecare, rostogolire, poansonare sau brinelare sau unor combinații ale acestor mișcări. Mișcările predominante sunt de rostogolire sau rostogolire cu alunecare. Apariția uzării prin oboseală superficială este dependentă de defectele microscopice referitoare la omogenitatea materialului suprafeței (incluziuni de carburi nemetalice sau goluri) și de defectele suprafeței de frecare provenite din prelucrări mecanice (zgârâieturi, crăpături, pete, gropițe) sau din procesul de uzare de tip adeziv sau abraziv ( fig. 11.1)

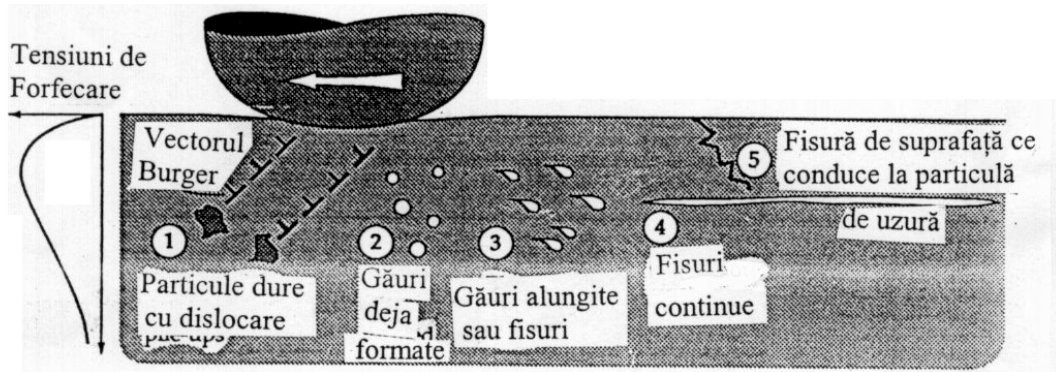


Fig.11.1 Schema formării fisurilor și defectelor de sub suprafața de lucru.

Se prezintă în fig. 11.2 schema unui contact cu rostogolire și alunecare și principalele cauze care-l scot din funcțiune.

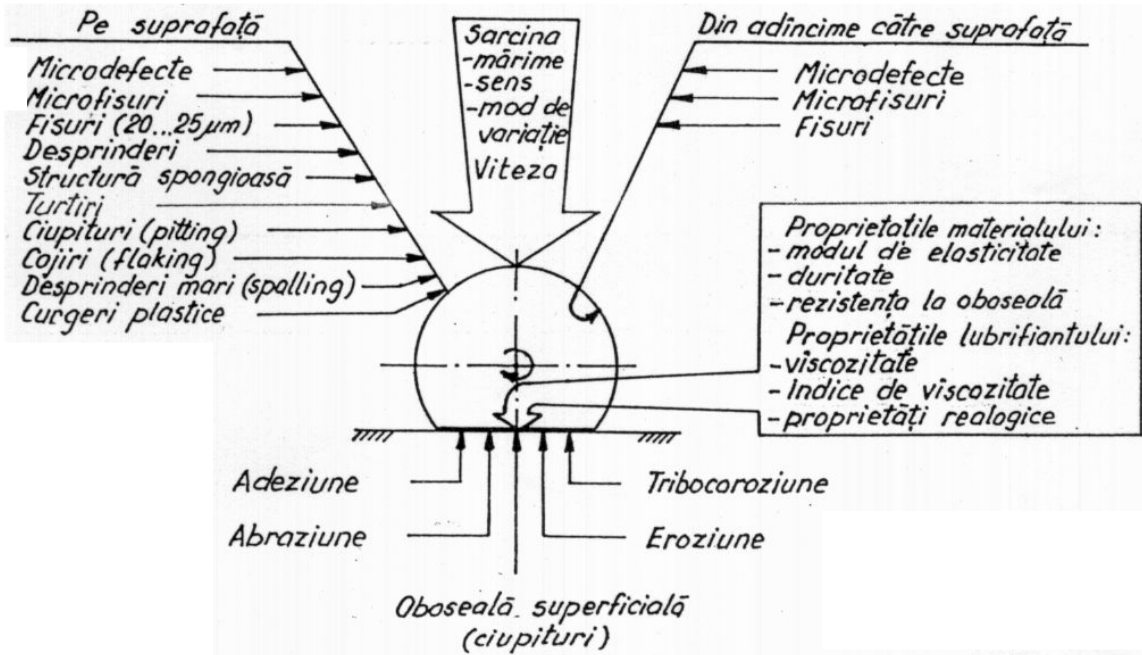


Fig. 11.2 Schema parametrilor de intercondiționare a uzării de oboseală.

Tensiunile variabile din zona de contact conduc la oboseala materialului. Este cunoscut că majoritatea oțelurilor se comportă la oboseală după curba Wöhler, curba 1, din fig. 11.3, fiind specifică ruperii materialelor la solicitări simple repetate, iar curba 2, oboselii superficiale și-n special pentru oțeluri cu duritate mai mare de 350 HB.

Imperfecțiunile și defectele de suprafață și cele ale materialului de sub suprafața de contact reprezintă puncte slabe. Ca urmare a solicitărilor repetate, în imediata apropiere a punctelor slabe iau naștere puternice concentrări de tensiuni cu modificării structurale de material, cu alunecări și curgeri plastice, inițiindu-se primele microfisuri.

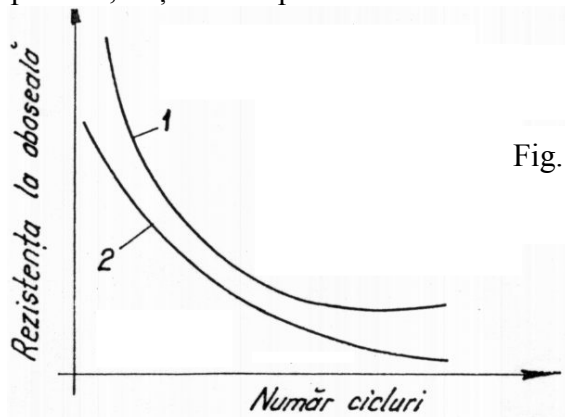


Fig. 11.3 Curba de oboseală Wöhler

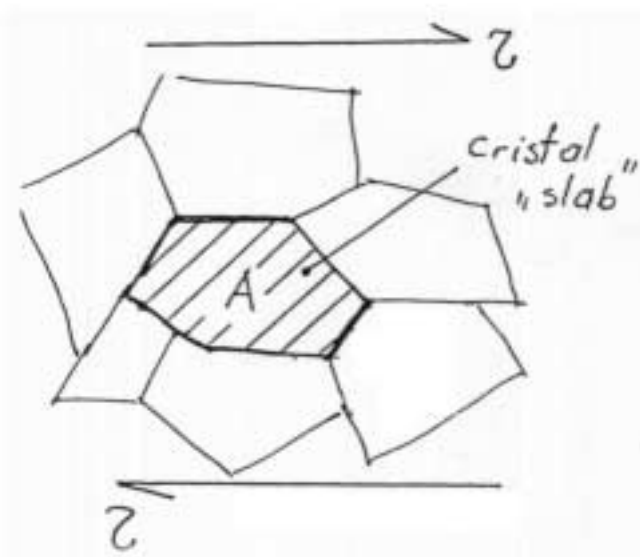
**Mecanisme de oboseală** - formarea fisurii în materiale.

Cazul oboselii simple: tracțiune și compresiune, tensiunile maxime generează deformații elastice; nu există fisuri vizibile.

Schimbările în structura atomică au loc după câteva cicluri de încărcare în puncte separate din material.

Pentru metale - oboseala începe cu cele câteva cristale care pot aluneca cel mai ușor (fig. 11.4). La aplicarea sarcinii, aceste cristale "slabe" curg inițial, dar, deoarece sunt înmagazinate în materialul elastic, nu afectează diagrama statică tensiuni-deformații a întregului material.

Fig. 11.4 Schema unei structuri cu cristal "slab"



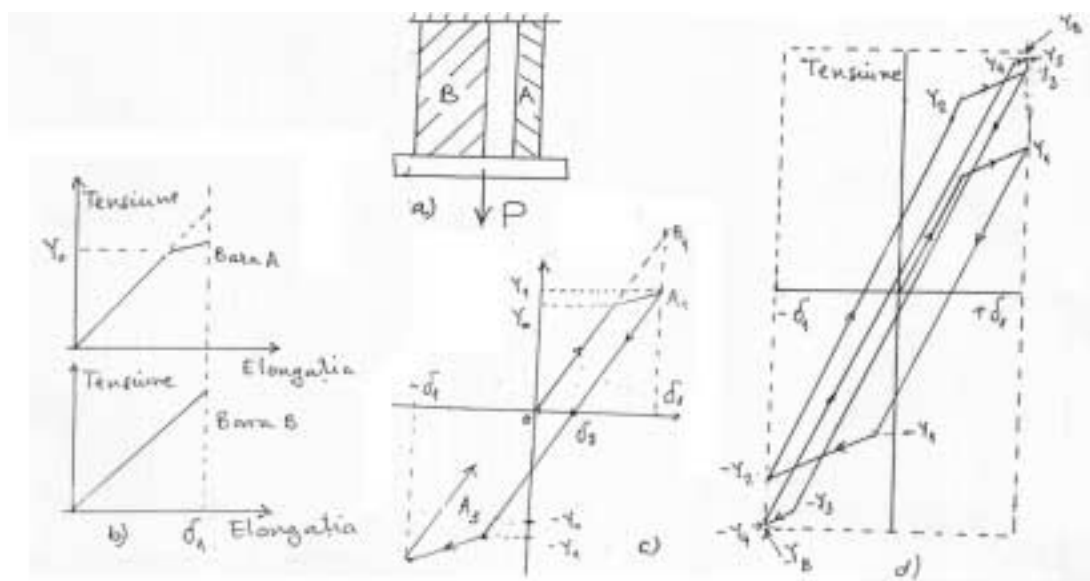


Fig. 11.5 Mecanismul de oboseală la nivel de rețea cristalină: a) schema cu cristal "slab" și "puternic"; b) diagrama tensiune- deformații; c) diagrama încărcare – descărcare cu cristale diferite; d) diagrama încărcare – descărcare pol ciclică.

Totuși aceste cristale curg, deși nu este depășită limita de elasticitate a materialului. Dacă materialul este solicitat numai o dată, efectul curgerii acestor cristale este nesemnificativ. Dacă se repetă solicitarea, se produce o zonă de curgere în cristalul "slab". Cristalul "slab" este înconjurat de cristale "puternice" care sunt orientate astfel încât deformațiile rămân elastice la cele mai mari tensiuni ce apar în timpul aplicării repetate a încărcării.

Un model simplu: un cristal "slab" A, reprezentat prin bara A, este fixat într-un grup de cristale "puternice" reprezentat prin bara B (fig.11.5). Ambele bare au același modul de elasticitate și aceeași lungime, astfel că la deformații egale ambele bare au aceleași tensiuni.

Bara A are o secțiune transversală mult mai mică decât bara B și are tensiunea de curgere  $Y_0$  în timp ce bara B se deformează elastic.

După ce bara A începe să curgă, tensiunile cresc mult mai încet. aplicând o forță, care variază între  $+P_1$  și  $-P_1$ , se produce o aceeași deformație elastică în cele două bare ce variază între  $+\delta_1$  și  $-\delta_1$ . Pentru tensiuni mai mici decât  $Y_0$  deformația totală este elastică și tensiunile sunt identice în cele două bare. Când tensiunea depășește  $Y_0$ , bara A începe să curgă și tensiunile din ea cresc încet. La deformația maximă  $\delta_1$ , tensiunea în A este corespunzătoare punctului  $A_1$  ( $Y_1$ ) și în bara B, corespunzătoare punctului B.

Dacă modelul este descărcat de la elongația maximă  $\delta_1$ , tensiunea în bara A urmează linia  $A_1A_2$ . Când elongația descrește la  $\delta_2$ , tensiunea în bara A este zero și la o elongație zero, bara A începe să curgă în punctul  $A_3$  la o deformație mică. Tensiunea de curgere este  $(-Y_1)$  ca mărime identică cu aceea a punctului  $A_1$ , ceva mai mare decât  $Y_0$ . Curgerea din  $A_3$  continuă până ce deformația devine  $-\delta_1$ . Acest model de eveniment este repetat în fiecare semiciclu de deformație (fig. 11.5 d). Pierderile încep să scadă de la ciclu la ciclu, astfel că tensiunile în bara A cresc cu fiecare ciclu și se apropie de tensiunea perfect elastică pentru elongația  $\delta_1$ .

Aceasta explică de ce aplicarea repetată a unei tensiuni mici poate produce o deteriorare progresivă a materialului, când aceeași tensiune aplicată static are un efect permanent imperceptibil.

Dezvoltarea microfisurilor din interiorul materialului și a celor de pe suprafața de contact conduc la apariția de macrofisuri și apoi dislocarea de așchii de metal, apărând sub forma "spalling" ("microcratere"alungite) sau de "pitting" (crăpături). Dacă curgerile plastice au loc numai la nivelul asperităților, microfisurile sunt paralele cu suprafața, rezultând exfolieri prin laminare ușoară a metalului, fenomen denumit "microspalling" sau "micropitting".

Prezența lubrifiantului în zona de contact permite propagarea hidraulică a micropittingului, rezultând fisuri mai mari, iar apoi apariția așchii (modelul de deteriorare Way).

Un alt model privind apariția așchii de oboseală este modelul clasic Lundberg-Palmgren, potrivit căruia fisura pornește de la un punct slab din interior ca urmare a tensiunii tangențiale ortogonale maxime.

Există și alte modele care diferă de cel clasic prin locul de inițiere al fisurii și prin tensiunile decisive (de exemplu, modelul Pineghin - inițiere pe suprafața de contact ca urmare a tensiunilor de pe conturul amprenteii de contact și modelul Popinceanu - inițierea pe/sau sub suprafața de contact ca urmare a tensiunilor echivalente din ipoteza Misses-Huber-Hencky).

În procesul de rostogolire, tensiunile de contact sunt concentrate pe o suprafață mică și sunt repetative, astfel că mecanismele de uzare se bazează pe caracteristicile de material și pe condițiile de lucru, așa cum se ilustrează în fig. 11.6.

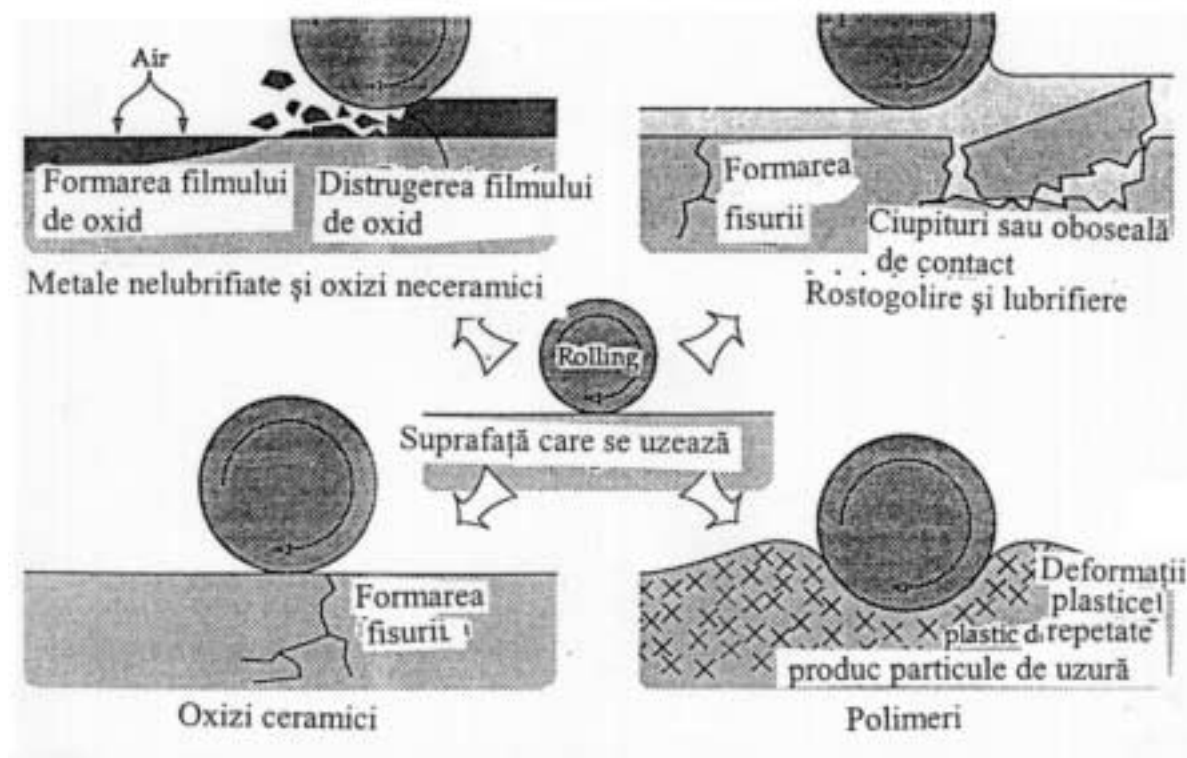


Fig. 11.6 Mecanismul de uzare în procesul de rostogolire.

În cazul în care nu există mișcare de rostogolire și alunecare, dar există vibrații, datorită presiunilor mari din zona de contact apare fenomenul coroziune de contact "fretting corrosion" manifestat sub forma unor cratere. Aceste cratere constituie surse sigure de oboseală, contribuind la scoaterea ulterioară din funcțiune a cuplei.

### 11.2 Elemente de calcul. Evaluare cantitativă

Prin durabilitatea unui contact supus la oboseală superficială se înțelege numărul de cicluri de solicitare sau numărul de rotații până la apariția primului semn de deteriorare. Datorită faptului că imperfecțiunile și defectele de suprafață și cele ale materialului de sub suprafața de contact sunt variabile aleatoare, durabilitatea unui contact se determină însoțit de o anumită probabilitate.

Legătura între probabilitatea de supraviețuire ( $R$ ) (funcție de fiabilitate) după  $N$  milioane de cicluri de solicitare ( $N = u_r L$ ,  $u_r$  este numărul de cicluri de solicitare,  $L$  - durata de viață, în [milioane rotații]) într-un punct al unui element și tensiunea decisivă, notată generic  $\rho_d$ , este dată de o relație de tip Lundberg-Palmgren

$$\ln \frac{1}{R} = K \rho_d^c Z_0^{-h} V N^e, \quad (11.1)$$

în care  $K$  este o constantă de material ce se poate determina experimental; pentru oțel de rulmenți degazat în vid, călit la 63HRC,  $K = 1,4 \cdot 10^{-7}$ ;  $\rho_d$  - tensiunea decisivă;  $Z_0$  - adâncimea la care  $\rho_d$  are valoarea maximă;  $V$  - volumul de material afectat de tensiune,  $V = Z_0 a l$ , unde  $a$  este semiaxa elipsei de contact perpendiculară pe direcția de rostogolire, pentru contactul punctual, sau lungimea de contact la contactul liniar,  $l$  - lungimea căii de rulare,  $c, h, e$  - coeficienți de material de rulmenți retopit în vid și au valorile din tabelul 11.1.

Tensiunea decisivă  $\rho_d$  se consideră a fi tensiunea tangențială ortogonală maximă ( $\tau_o$ ) pentru contactele supuse numai la rostogolire (cazul rulmenților) sau tensiunea tangențială principală maximă ( $\tau_{45D}$ ) pentru contactele supuse la rostogolire și alunecare (cazul variatoarelor, roților dințate, camelor etc.). În capitolul 4 și fig. 11.7 se indică dependențele și respectiv valoarea relativă a acestor tensiuni  $\left( \frac{\tau_o}{\sigma_{max}}, \frac{\tau_{45D}}{\sigma_{max}}, \sigma_{max} \right)$  fiind tensiunea hertziană normală maximă) în funcție de

raportul semiaxelor elipsei de contact  $\frac{b}{a}$ . Pentru contactul liniar  $\frac{\tau_o}{\sigma_{max}} = -0,25$ .

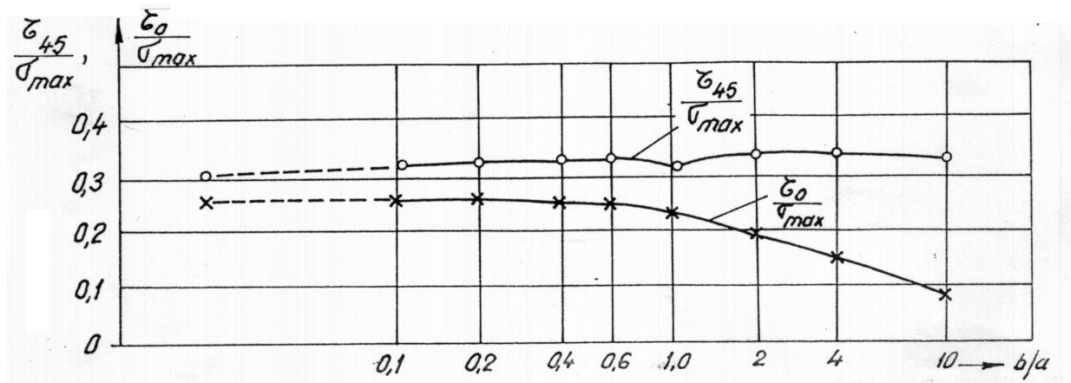


Fig. 11.7 Tensiunile tangențiale relative ca funcție de raportul semiaxelor hertziene de contact.

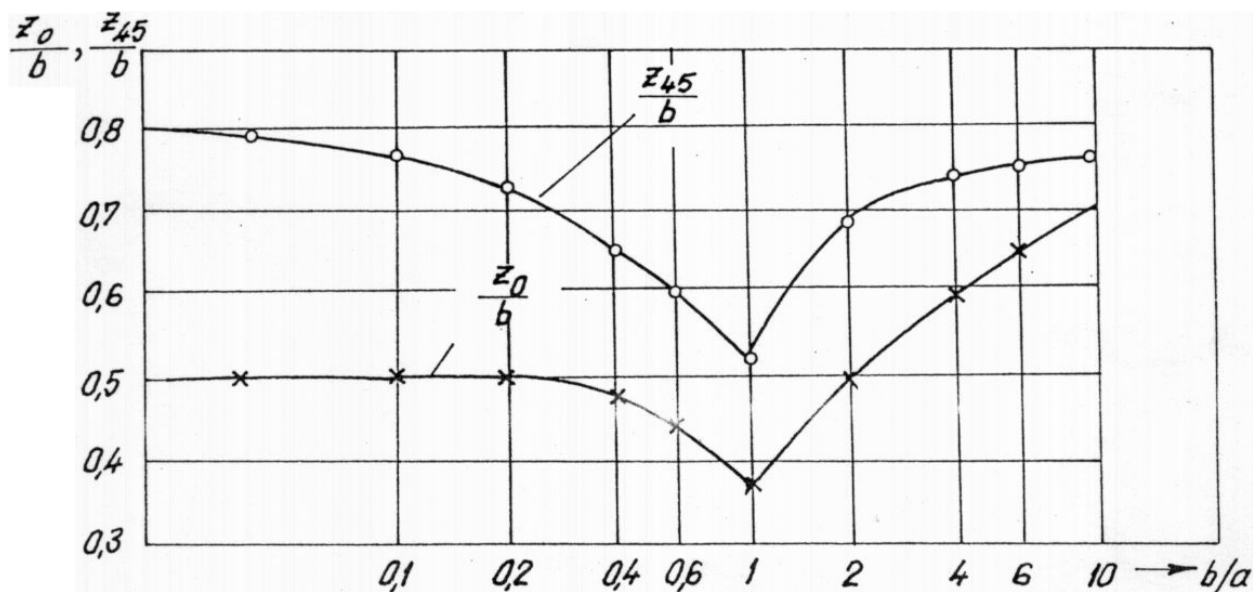


Fig. 11.8 Poziția relativă a tensiunilor tangențiale ca funcție de raportul semiaxelor hertziene de contact.

Tabelul 11.1 Valorile coeficienților de oboseală ai oțelului de rulmenți (c, h, e)

Nr. crt.	Coeficient	Contact punctual	Contact liniar
1	c	31/3	
2	h	7/3	
3	e	10/9	9/8

Tensiunea decisivă  $\tau_0$  sau  $\tau_{45D}$  este maximă în substratul suprafeței de frecare, adâncimea relativă  $\frac{Z_0}{b}$  sau  $\frac{Z_{45D}}{b}$  este indicată în fig. 11.8. Valorile lui  $Z_0$  se pot determina și cu relațiile indicate în capitolul 4.

Pentru diferite organe de mașini (rulmenți, variatoare, came, roți dințate etc.), relația (11.1) ia forme specifice.

În proiectarea actuală a rulmenților și variatoarelor se ține seama de expresia (11.1), definindu-se capacitatea dinamică de bază (C) a unui lot de contacte la care o fracțiune r din contacte supraviețuiesc după  $1 \cdot 10^6$  rotații, restul deteriorându-se.

Între capacitatea dinamică de bază (pentru rulmenți, indicată în standarde și cataloage) și durabilitatea  $L_{(1-R)}$ , în milioane de rotații, există relația

$$L_{(1-R)} = c_R c_m c_\lambda c_\mu \left( \frac{C}{F} \right)^p \quad (11.2)$$

în care:  $L_{(1-R)}$  este durabilitatea depășită de fracțiunea R de contacte ale lotului, în milioane de rotații pentru rostogolire sau în milioane cicluri la contact pulsant;



C - capacitatea dinamică de bază, indicată în standardele de rulmenți pentru rostogolire pure și calculată cu (11.1) pentru  $R = 0,9$  și  $\rho_d = \tau_o$ , devenind

$$C = AD_w^{1,6} \phi, \quad [N] \quad (11.3)$$

unde: A este o constantă de material cu valoarea medie  $A=100$  pentru oțel de rulmenți cu duritatea între limitele 61,7-64,5 HRC;

$D_w$  - diametrul corpului de rostogolire, în mm;

$\phi$  - o funcție de parametrii contactului:

$$\phi = \left( 0,214 \frac{\sigma_{\max}}{\tau_o} \right)^{3,1} \left( \frac{Z_o}{0,359 \cdot b} \right)^{0,4} \frac{a^{2,8} b^{3,5}}{(D_w 2H)^{2,1}} \left( \frac{D_w}{d_c} \right)^{0,3} u_r^{-\frac{1}{3}}, \quad (11.4)$$

unde: a, b - semiaxele elipsei de contact, în [mm]; H - curbura medie în punctul de contact (capitolul 4);  $d_c$  - diametrul căii de rostogolire, în [mm];  $u_r$  - numărul de solicitări pe rotație;

F - sarcina dinamică echivalentă de încărcare,  $F=f_d F_e$ , unde  $f_d$  este coeficient de dinamicitate, dat pentru rulmenți în tabelul 11.2 și  $F_e$  - sarcina normală în contact;

p - exponent,  $p=3$  pentru contactul punctual,  $p=10/3$  pentru contactul liniar;

$c_R$  - factor de corecție dependent de funcția de fiabilitate R, cu valoarea  $c_R=1$ , pentru  $R=0,9$  și  $c_R<1$  pentru o probabilitate de supraviețuire  $R>0,9$ , conform tabelului 11.3;

$c_m$  - factor de puritate al materialului, tabelul 11.4;

$c_\lambda$  - factor legat de calitatea lubrificației, dat în fig. 11.9, funcție de parametrul adimensional al ungerii EHD,  $X_h=\lambda=h/s$ , h - grosimea filmului, s - înălțimea rugozității echivalente, indicate în capitolul 3 ;

$c_t$  - factor de temperatură, tabelul 11.5;  $c_\mu$  - factor care ține seama de influența tracțiunii asupra durabilității; în lipsa tracțiunii  $c_\mu=1$ ; calculul factorului  $c_\mu$  pentru oțeluri de rulmenți degazate în vid, la contact circular, tipic pentru variatoarele EHD, se poate face cu relația simplă:

$$c_\mu = c_{\mu a} c_{\mu f}$$

$$c_{\mu a} = (1 + 0,947 \mu_a)^{-10,3}$$

$$c_{\mu f} = (1 + 2,93 \mu_f)^{-10,3}$$

în care  $\mu_a$  și  $\mu_f$  se determină experimental prin curbe de tracțiune ( $\mu_a$  - coeficientul de tracțiune prin asperități până la atingerea tracțiunii limită,  $\mu_f$  - coeficientul de tracțiune fluidă).

Tabelul 11.2 Coeficientul dinamic  $f_d$

$f_d = f_p f_s f_a$	$f_p$ ține seama de precizia angrenajului montat pe rulmenții calculați	Angrenaj	Abaterea pasului de bază $A_{pb}$ și eroarea de formă a profilului	$f_d$
		Precizie ridicată. Clasa 5, 6	$A_{pb}, E_{fp}=20 \mu m$	1,05-1,1
		Precizie ridicată. Clasa 7, 8.	$A_{pb}, E_{fp}=20-100 \mu m$	1,1-1,3
	Angrenaje turnate neprelucrate	$A_{pb}, E_{fp}=100 \mu m$	1,5-2,0	
	$f_s$ ține seama de	<b>Utilizare</b>		$f_s$
		<b>A. Mașini de prelucrare</b>		

forțele suplimentare specifice funcționării mașinii pe care se montează	Laminoare transportor unisens cu role	1,1-1,3	
	Laminoare transportor în ambele sensuri	1,5-2,0	
	Laminor la cald pentru sârmă și benzi.		
	Laminor la rece. Trefiloare.	1,3-1,6	
	Laminoare pentru prelucrare grosieră.	1,5-3	
	Ghilotine, mașini de stanțat.	1,3-2	
	Ciocan prin cădere.	2-3	
	Mașini de găurit, freze, mașini de rectificat.	1,1-1,3	
	Strunguri.	1,4-1,6	
	Mașini pentru prelucrarea cauciucului.	1,3-2	
	<b>B. Mașini pentru prelucrarea materialului lemnos</b>		
	Mașini pentru hârtie.	1,0-1,1	
	Defibrator, rafinor, moară cu conuri.	1,1-1,2	
	Calandru.	1,2-1,3	
	Mașină pentru tocat lemn.	1,5-2	
	Ferăstraie circulare sau cu bandă, strunguri.	1,1-1,3	
	Mașini de rindeluit.	1,4-1,6	
	<b>C. Mașini textile</b>		
	Mașini de imprimat, carde, mașini de filat.	1,0-1,1	
	Selector, mangal.	1,1-1,2	
	Războaie, mașini de spălat.	1,2-1,5	
	<b>D. Mașini în industria alimentară</b>		
	Mori pentru cereale	1,1-1,2	
	Mori pentru aluat.	1,2-1,5	
	Valț de frământat.	1,5-2,0	
	<b>E. Mașini de forță</b>		
	Mașini electrice, turbine.	1,0-1,1	
Motoare folosite la mijloace de transport.	1,2-1,5		
<b>F. Mașini de ridicat și transportat</b>			
Benzi transportoare, funiculare, teleferice.	1,0-1,2		
Macarale, ascensoare	1,2-1,3		
Transportor minier.	1,5-1,8		
Transportor vibrator	1,5-2,5		
<b>G. Mașini de preparare și extracție</b>			
Cuptoare rotative de ciment și răcitoare rotative.	1,1-1,2		
Uscător cu tobă.	1,3-1,4		
Mașini de sortat și spălat minereu.	1,3-1,8		
Mori cu bile, cu ciocane, tubulare, concasoare, site.	1,5-1,7		
Excavator.	1,5-2,5		
Mașini pentru foraje.	2-2,2		
$f_a$ numai la calculul rulmenților pentru osiile și arborii roților de autovehicule	<b>Tipul autovehiculului</b>		
	$f_a$		
	Autoturisme.	1,17	
	Autobuze, autocamioane, remorci pe pneuri simple.	1,20	
	Autobuze, autocamioane, remorci pe pneuri duble.	1,23	
	Autovehicule de teren pe pneuri simple.	1,30	
	Autovehicule de teren pe pneuri duble.	1,36	
Tractoare agricole, remorci pentru câmp.	1,46		
Pentru alte cazuri $f_p=f_a=1$			



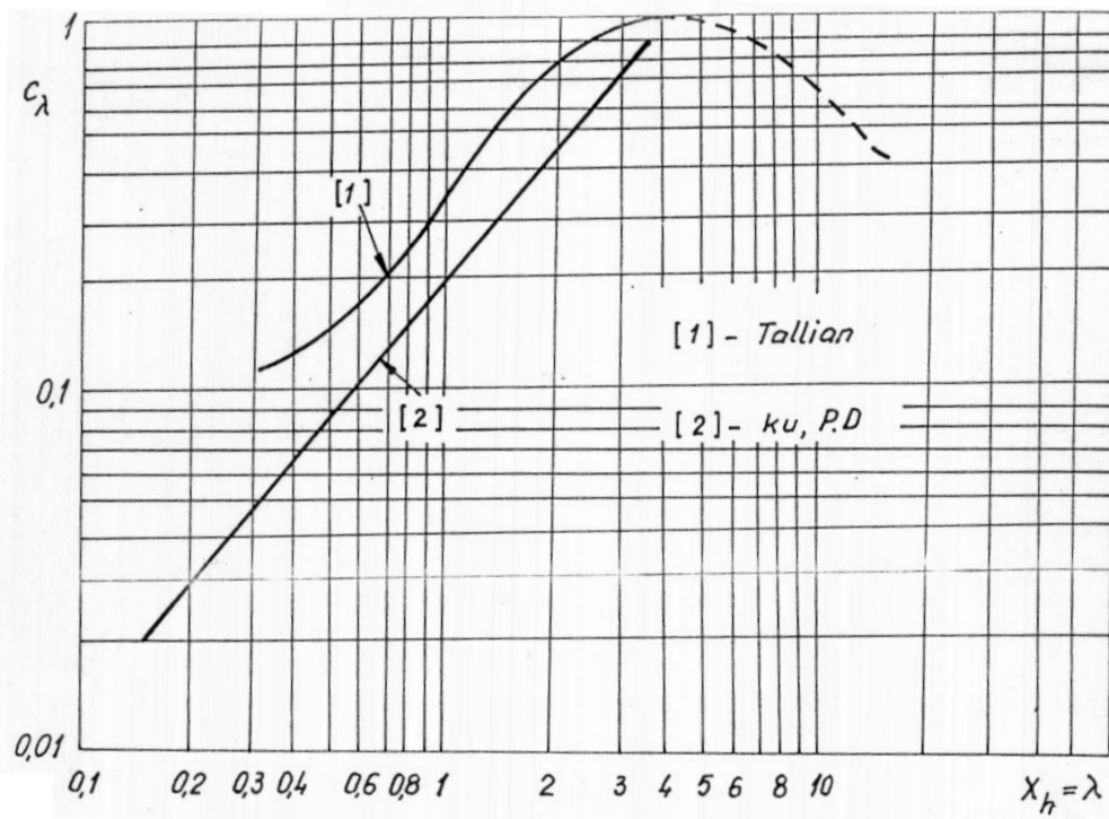


Fig. 11.9 Factorul de calitate a lubrificației

Tabelul 11.3 Factorul de corecție  $c_R$

<b>R</b>	0,9	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,995	0,999
<b>L<sup>(1-R)</sup> [%]</b>	L <sub>10</sub>	L <sub>5</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>0,5</sub>	L <sub>0,01</sub>
<b>c<sub>R</sub></b>	1	0,62	0,53	0,44	0,33	0,21	0,14	0,02

Tabelul 11.4 Factorul de material  $c_m$  pentru oțelul AISI 52/00

Tehnologia de elaborare	Topire în aer	Dezoxidare în vid	Retopire în vid cu electrod consumabil
<b>c<sub>m</sub></b>	1	3	6

Tabelul 11.5 Factorul de temperatură  $c_t$

Temperatura de funcționare	<150°C	200°C	250°C	300°C
<b>c<sub>t</sub></b>	1	0,73	0,42	0,22

### 11.3 Posibilități și căi de reducere a uzării prin oboseală superficială

Fenomenul complex de oboseală superficială este determinat atât de factori constructivi (material, geometrie și calitate ale suprafeței), cât și de factorii de exploatare (sarcină, lubrifiant ca tip și mod de administrare și viteza relativă).

#### a) Reducerea uzării și materialului de bază

Cunoscând că fisurile de oboseală pornesc de la un defect de material de sub suprafața de contact sau/și de pe suprafața de contact, se poate aprecia că orice măsură tehnologică de elaborare a materialului care să conducă la incluziuni și goluri mai fine și mai rotunjite este sursă de creștere a durabilității.

De exemplu, elaborarea pe bază acidă a oțelului de rulmenți (degazarea sub vid, retopirea sub strat de zgură electroconductor, returnarea sub vid) conduce la durabilități mai ridicate la oboseală superficială decât prin tehnologia de elaborare bazică. Incluziunile pe bază de sulfuri sunt favorabile durabilității, prin aceea că au o acțiune de întârziere și de împiedicare a propagării fisurilor, micșorând viteza de propagare a fisurilor.

Elaborarea materialelor în atmosferă neutră cu retopiri de mai multe ori este mult întrebuințată în ultimul timp pentru creșterea durabilității.

Orientarea fibrajului în direcția de rostogolire mărește durabilitatea față de orientarea fibrajului perpendicular pe direcția de alunecare, de exemplu, pentru inele de rulmenți laminate creșterea este de peste 40%.

Tratamentul final al materialului influențează semnificativ rezistența la uzare prin oboseală superficială. De exemplu, tratamentul termomagnetic, aplicat la oțelurile de rulmenți RUL1, a condus la creșteri ale durabilității de 31,5-47,3% față de tratamentul termic convențional.

#### b) Durabilitatea, geometria și calitatea suprafeței de contact

Distribuția tensiunilor de pe suprafața de contact liniar dintre două role este uniformă numai în cazul în care lungimea contactului este infinit de mare. În cazul real, la capetele rolei de lungime finită și mai scurtă apar tensiuni maxime, zonele respective fiind sigure zonele "slabe" la oboseală superficială.

Ca atare, măsurile constructive ce scad vârful de tensiuni sunt măsuri de creștere a durabilității. Astfel, pentru corpurile de rostogolire sub formă de role (cilindrice sau butoi), se face modificări constructive: extremități conice (1, fig. 11.10), capete rotunjite cu și fără teșituri (2 și 3), degajări frontale (4) și bombarea căilor de rulare.

Trecerea lentă de la o secțiune la alta prin raze de racordare, atât șa corpurile de rostogolire, cât și la căile de rulare (racordarea dintre o zonă cu contact liniar și o zonă cu contact punctual, sau dintre zone cu contact punctual) modifică distribuția de tensiuni, conducând la creșteri importante ale durabilității. De exemplu, pentru rulmenții NU 308 rezultă creșteri de 269% și pentru rulmenții WJ 120 creșteri de 137%.

În ceea ce privește influența calității suprafeței de contact (abateri de formă, ondulații și rugozități) asupra durabilității se remarcă dependența indirectă, prin intermediul regimului de ungere.

Atunci când condițiile de viteză, sarcină, lubrifiant și geometrie nu permit formarea unor pelicule continue de lubrifiant, calitatea suprafeței de contact și, în special, rugozitățile influențează semnificativ durabilitatea. În acest caz, forțele se transmit prin vârfurile rugozităților, rezultând tensiuni tangențiale și normale maxime pe aceste vârfuri, fapt ce conduce la scăderea durabilității, sursele de defecțiuni fiind chiar rugozitățile. Totodată, în acest caz (peliculă discontinuă de lubrifiant) durabilitatea este influențată atât de înălțimea rugozităților, cât și de înclinarea, panta și raza de curbura ale rugozităților, creșterea durabilității este asigurată pentru suprafețe cu rugozităților cât mai mici și mai uniforme ca înălțime, cu raze de curbura cât mai mari și cu direcția de înclinare

perpendiculară pe sensul de rostogolire. Reducerea pantei rugozităților conduce la creșterea durabilității.

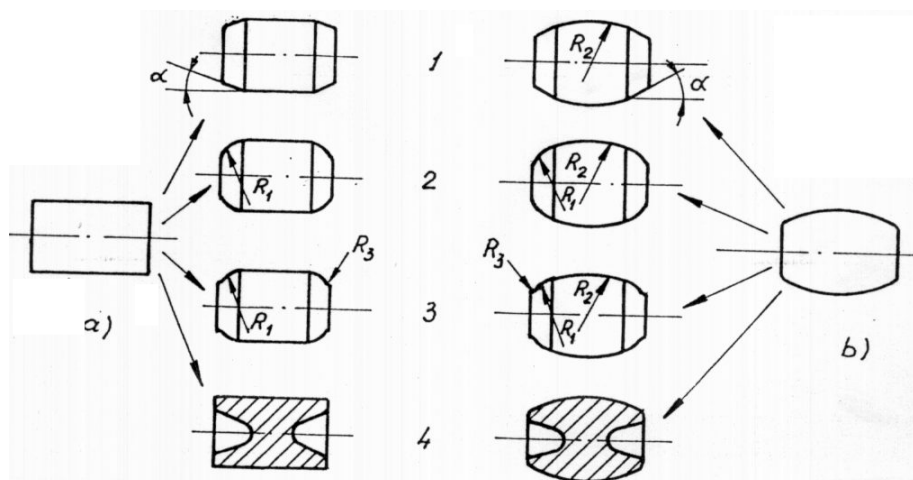


Fig. 11.10 Soluții constructive de uniformizare a tensiunilor  
(a - role cilindrice, b - role butoi)

Atunci când condițiile de ungere permit formarea unor pelicule continue de lubrifiant, comparabil mai mari decât înălțimea rugozităților, calitatea suprafeței influențează puțin durabilitatea.

#### a) Durabilitatea și factorii de exploatare

Elementele geometrice, cinematice ale cuplelor punctuale sau liniare și prezența lubrifiantului fac posibilă apariția regimului de ungere EHD. Toate condițiile ce favorizează formarea peliculei continue de lubrifiant sunt utile creșterii rezistenței la uzare prin oboseală superficială.

Condițiile severe de lucru din contactele punctuale și liniare necesită lubrifianți cu stabilitate termică și oxidare. Prezența lubrifiantului în zona de lucru modifică repartiția tensiunilor și implicit durabilitatea. Prin efectele de reducere a coeficientului de frecare și de răcire, lubrifiantul conduce la creșterea durabilității, iar prin efectele de concentrare a tensiunilor tangențiale la ieșirea din contact, compresare și pompăre a lubrifiantului în fisura apărută pe suprafața de contact la limita asperităților și corozive, lubrifiantul conduce la micșorarea durabilității. Prezența apei în lubrifiant conduce la scăderea capacității portante, așa cum se observă schematic din fig. 11.6.

Cercetările făcute în țară și străinătate dovedesc că rezistența la uzare prin oboseală superficială este semnificativ influențată de tipul lubrifiantului și aditivilor, precum și de parametrul filmului  $X_h$  (raportul dintre grosimea filmului și rugozitatea echivalentă, compusă a suprafețelor celor două elemente ale cuplei). Acceptând ca indicator al grosimii filmului grosimea minimă din zona de ieșire și ca indicator al rugozității abaterea medie pătratică a înălțimilor rugozităților ( $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ),  $\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$ , se fac următoarele aprecieri asupra influenței parametrului  $X_h$ :

- pentru  $X_h \leq 1$ , suprafețele fac contact, apar deformații la nivelul rugozităților și uzarea este determinată de proprietățile materialelor și tensiunile hertziene;
- pentru  $X_h = 1 \dots 1,5$  apar cojiri, fenomene de uzare, de lustruire, micropitting;
- pentru  $X_h = 1,5 \dots 3$  apare spallingul ca formă de deteriorare prin oboseală;
- pentru  $X_h = 3,5 \dots 4$  durabilitatea este maximă;
- pentru  $X_h > 4$  suprafețele sunt complet separate de lubrifiant, însă durabilitatea scade puțin (fig. 11.9), așa cum a demonstrat experimental Tallian.

