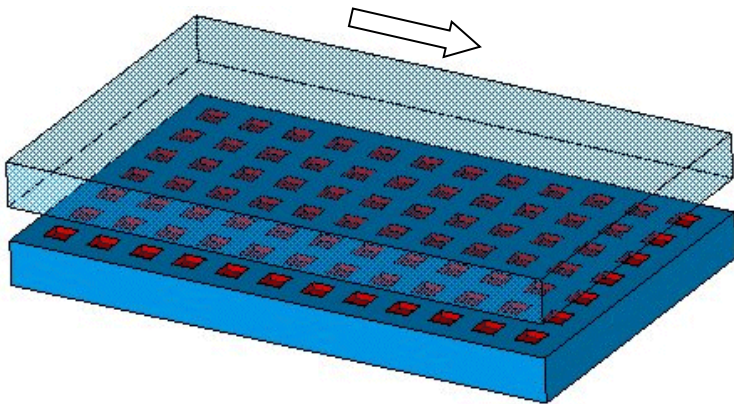


Victor Gabriel MARIAN

Lubrificația suprafețelor texturate



București

2024

Victor Gabriel MARIAN

**Lubrificația suprafețelor
texturate**

București

2024

ISBN 978-973-0-40145-5

Prefață

Prezenta monografie tratează un subiect interesant din domeniul tribologiei și anume lubrificația suprafețelor texturate. Lucrarea este rezultatul experienței autorului în domeniu, experiență acumulată pe parcursul tezei de doctorat cu același subiect, apoi îmbogățită prin contractele de cercetare la care a participat de-a lungul timpului.

Texturarea suprafețelor prezintă efecte benefice din punct de vedere al portanței în cazul lubrificației hidrodinamice, lucru care va fi demonstrat în următoarele capitole. De asemenea în cazul lubrificației limită și mixtă sunt prezente efecte benefice, degajările fiind rezervoare de lubrifiant sau cavități pentru acumularea particulelor de uzură.

Autorul, având funcția de conferențiar la Departamentul de Organe de Mașini și Tribologie al facultății de Inginerie Mecanică și Mecatronică din cadrul Universității Naționale de Știință și Tehnologie Politehnica București, mulțumește domnului profesor Mircea D. Pascovici pentru citirea lucrării și îmbunătățirile propuse înainte de publicare.

Cuprins

1	Introducere	7
2	Clasificare după tehnologia de prelucrare.....	8
2.1	Prelucrarea cu fascicul laser.....	8
2.2	Prelucrare prin eroziune chimică	10
2.3	Obținere prin amprentare	13
2.4	Obținere prin sinterizare la cald.....	13
3	Încercări de modelare fundamentală a lubrificației suprafețelor texturate	15
3.1	Modelări analitice	15
3.2	Modelări numerice folosind ecuația Reynolds	18
3.3	Modelări folosind metoda volumelor finite și ecuațiile Navier-Stokes.....	19
3.4	Modelări folosind ecuațiile Reynolds și Navier-Stokes 21	
3.5	Studiul fenomenului de cavitație în degajări	24
3.6	Optimizări ale geometriei degajărilor	25
4	Încercări experimentale cu suprafețe texturate	28
4.1	Standuri cu mișcare oscilatorie	28
4.2	Standuri de tip știft pe disc.....	31
4.3	Încercări experimentale pe un reometru	33

4.4	Standuri de tip bilă pe disc.....	33
4.5	Comportarea suprafețelor texturate în cazul lubrificației elastohidrodinamice	34
5	Clasificare după aplicațiile industriale.....	37
5.1	Lagăre axiale.....	37
5.2	Lagăre radiale.....	54
5.3	Etanșări mecanice	63
5.4	Etanșări radiale.....	65
5.5	Motoare cu ardere internă	65
5.6	Cuplajele multidisc	67
5.7	Rulmenți.....	68
5.8	Hard-diskuri	68
5.9	Procese de deformare plastică a metalelor.....	69
5.10	Procese de prelucrare prin așchiere.....	69
5.11	Cutii de viteze cu variator	70
5.12	Texturarea acelor medicale	73
5.13	Texturarea componentelor unei supape de trecere la sarcină redusă.....	74
5.14	Pompe cu pistoane axiale.....	78
6	Crearea de suprafețe hidrofobe și oleofobe cu ajutorul suprafețelor texturate	80

7	Starea actuală a cunoașterii în domeniul suprafețelor texturate.....	81
8	Bibliografie	83

1 Introducere

O suprafață texturată în contextul analizei de față reprezintă o suprafață cu degajări sau proeminențe care pot avea diverse forme. Aceste degajări pot fi realizate prin diverse tehnologii (texturare cu laser, prin eroziune chimică etc.). Imaginea de pe copertă este sugestivă în acest sens. De asemenea figura de mai jos prezintă suprafețe cu degajări sau proeminențe, forme diverse închise sau canale.

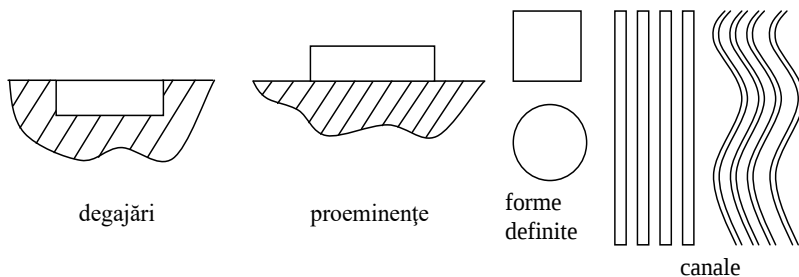


Figura 1 Exemple de suprafețe texturate [63]

Diverse forme ale degajărilor sunt prezentate și în Figura 2.

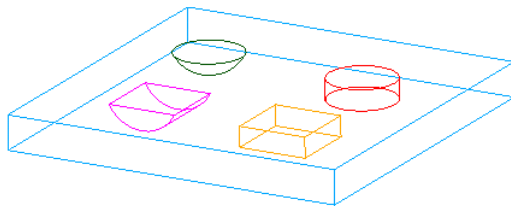


Figura 2 Diverse forme ale degajărilor [63]

2. Clasificare după tehnologia de prelucrare

2 Clasificare după tehnologia de prelucrare

2.1 Prelucrarea cu fascicul laser

Suprafețele texturate pot fi obținute prin diverse moduri cum ar fi prelucrarea cu fascicul laser sau prin eroziune chimică.

Cea mai cunoscută metodă de obținere a suprafețelor texturate este prin prelucrare cu fascicul laser. Fasciculul laser are avantajul că poate prelucra suprafețe cu duritate mare, însă timpul de prelucrare este crescut în cazul în care un singur fascicul laser trebuie să prelucreze toată suprafața.

Un exemplu de texturare a suprafețelor folosind un laser de tip Nd:YAG este prezentată în [Haefke, 39]. Dezavantajul acestui tip de texturare constă în apariția unor proeminente în jurul degajării. Aceste proeminente pot crea efecte nedorite în cazul lubrificației hidrodinamice prin afectarea forței portante. De asemenea în cazul lubrificației limită și mixtă proeminentele pot intra în contact cu suprafața conjugată creând deteriorări la nivelul suprafeței. Pentru a elimina aceste proeminente se poate folosi procedeul de lepuire a suprafeței.

2. Clasificare după tehnologia de prelucrare

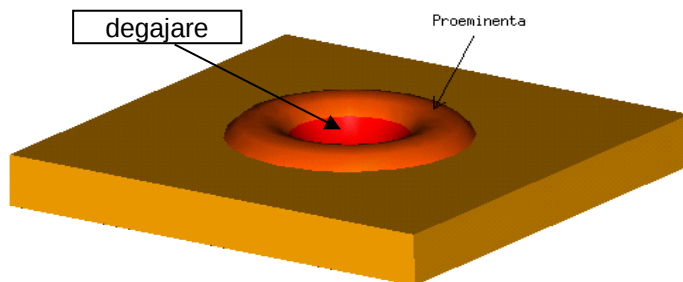


Figura 3 Proeminențe nedorite la nivelul degajării [63]

Procedeul de texturare al corpurilor acoperite cu straturi ceramice subțiri a fost analizat în [Demir, 19]. Astfel au fost variați diferiți parametri ai fasciculului laser în cazul acoperirii cu stratul de TiN. Unul din obiective a fost ca să nu se contamineze stratul ceramic cu substratul.

Un alt tip de texturare cu fascicul laser de picosecunde (ps) a fost realizat în colaborare cu Institutul Național pentru Fizica Laserilor, Plasmei și Radiației din localitatea Măgurele. Acest tip de texturare elimină problema proeminențelor prezentată anterior [Marian, 66] [Predescu, 83].

Diverse tipuri de laseri precum și avantajele și dezavantajele acestora sunt prezentate în [Hoppermann, 43].

Teste de prelucrare cu fascicul laser pentru materialele ceramice cu zirconiu (ZrO_2) au fost făcute în [Liu, 57]. S-a studiat influența diverșilor parametri ai fasciculului laser asupra calității

2. Clasificare după tehnologia de prelucrare

suprafețelor. S-au texturat cu succes canale cu o lățime de 30-50 μ m și o adâncime de 15-50 μ m.

Progrese recente din domeniul texturării cu fascicul laser sunt prezentate în [Kumar, 53]. Din punct de vedere al pulsației întâlnim laserii nanosecundă, picosecundă respectiv femtosecundă. Laserii de tip nanosecundă pot textura rapid suprafețele însă materialul înlăturat nu se evaporă complet și apar protuberanțe în jurul degajărilor care trebuie înlăturate prin lepuire și polisare. Cu cât durata pulsației e mai mică cu atât prelucrarea e mai precisă și materialul se evaporă nelăsând protuberanțe care necesită prelucrare ulterioară. Este analizat și efectul intensității fasciculului și a numărului de pulsuri. Sunt prezentate de asemenea trei tipuri de aplicații : îmbunătățirea aderenței dintre stratul depus și substrat prin texturare, îmbunătățirea comportamentului tribologic din punct de vedere al lubrificației și uzării și fabricarea suprafețelor hidrofobe.

2.2 Prelucrare prin eroziune chimică

O altă metodă de obținere a acestor suprafețe este eroziunea chimică. Prelucrarea se face prin transfer de particule între anod și catod. Suprafața se poate proteja cu ajutorul unei substanțe fotosensibile. De asemenea cu ajutorul unui clișeu se pot expune doar anumite părți ale substanței fotosensibile . După procesul de dezvoltare se trece la procesul de eroziune chimică propriu-zis.

2. Clasificare după tehnologia de prelucrare

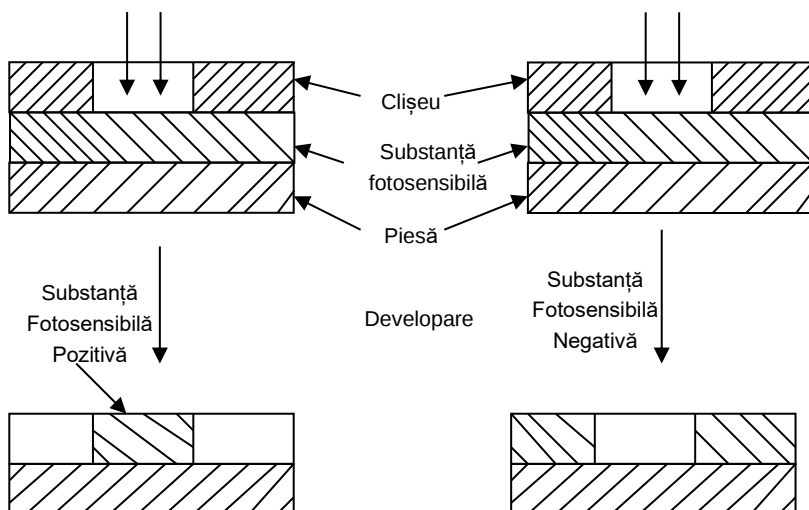


Figura 4 Pregătirea pentru procedeul de prelucrare prin eroziune chimică [63]

În referința [Pettersson, 80] este realizată o suprafață texturată pe o plăcuță de siliciu prin procedeul de eroziune chimică. O texturare prin eroziune chimică pe o piesă cu un strat de crom depus pe substrat de oțel este prezentată în [Alberdi, 2]. O texturare prin eroziune chimică pe un inel de rulment axial este prezentată în [Marian, 65].

Suprafețe realizate prin eroziune chimică pe o suprafață din oțel sunt prezentate în [Costa, 17]. Au fost realizate astfel suprafețe de diverse forme : canale, forme circulare, forme în V.

2. Clasificare după tehnologia de prelucrare

Un procedeu similar este procedeul LIGA folosit în [Stephens, 99]. Prin acest procedeu, după procesul de dezvoltare se depune material metalic în zonele neacoperite de substanța fotosensibilă.

Degajări în formă de cuboid au fost realizate pe suprafața unor scule pentru mașini-unelte prin eroziune cu plasmă [Lian, 56]. După depunerea stratului fotosensibil pe suprafața piesei a fost variat timpul de coacere a acestui strat pentru a obține o dezvoltare adecvată. S-a constatat că un timp de coacere de 6 minute și jumătate este ideal pentru a obține o dezvoltare corectă. A fost de asemenea variat timpul de dezvoltare. Pentru un timp de dezvoltare de 1 minut și 15 secunde s-a obținut o geometrie optimă. S-a depus de asemenea un strat de aluminiu subțire pentru a putea rezista la eroziunea cu plasmă. S-a variat grosimea stratului de aluminiu pentru a putea găsi un strat suficient de rezistent pentru procesul de eroziune cu plasmă. S-a constatat că o grosime a stratului de aluminiu de 1,2 μm oferă suficientă rezistență în acest sens. Pentru procesul de eroziune chimică s-au ales ca reactivi Cl_2 respectiv SF_6 . Ambii reacționează cu stratul sculei WC. Reacția clorului cu stratul de WC produce compuși care se pot volatiliza la temperaturi de peste 275°C. Produsele de reacție dintre SF_6 și WC sunt compuși care se volatilizează la temperaturi scăzute de aproximativ 17°C. Introducerea de oxigen și argon în procesul de eroziune îmbunătățește calitatea suprafețelor și viteza de eroziune.

2. Clasificare după tehnologia de prelucrare

2.3 Obținere prin amprentare

O modalitate inovatoare de texturare a suprafețelor o reprezintă amprentarea cu ajutorul unei scule diamantate cu vârfuri piramidale [Pettersson, 82]. Avantajul îl constituie rapiditatea prin care se obține suprafața texturată. Dezavantajul constă în faptul că matrița este foarte scumpă.

2.4 Obținere prin sinterizare la cald

În [Lan, 54] s-a obținut o suprafață texturată prin procedeul de sinterizare la cald. Ca material s-a folosit Aromatic Thermosetting coPolyester (ATSP). Acest material dovedește excelente calități tribologice. Suprafața texturată s-a produs prin sinterizarea la cald într-o matriță unde pudra ATSP a fost comprimată cu o presiune de 13.8MPa la o temperatură de 340°C. Matrița a fost construită în mai mulți pași pornind de la o piesă texturată din siliciu, apoi una din cauciuc, una din alamă și în final cea din oțel obținută prin procesul EDM (electrical discharge machining).

Ulterior s-a măsurat coeficientul de frecare al piesei texturate din ATSP pe un stand de tip știft pe disc. S-a constatat o scădere a coeficientului de frecare de 14% în cazul suprafeței texturate față de cea netexturată pentru o viteză de rotație de sub 1000 de rotații pe minut. Experimentele au fost realizate folosind uleiul ca lubrifiant. Același tip de experimente a fost realizat folosind ca

2. Clasificare după tehnologia de prelucrare

material polietilena de înaltă densitate moleculară (UHMWPE). S-a constatat că acest material s-a deformat la trei minute după începerea testului.

3. Încercări de modelare fundamentală a lubrificației suprafețelor texturate

3 Încercări de modelare fundamentală a lubrificației suprafețelor texturate

3.1 Modelări analitice

O primă încercare de a prezenta un studiu teoretic și experimental datează încă din anul 1963 [Hamilton, 41]. Suprafața texturată a fost realizată prin eroziune chimică. S-a pus în evidență apariția cavitației în zona presiunilor negative.

Forța portantă la nivelul unei degajări este explicată și de o creștere a debitului în zona de intrare datorat scăderii de presiune în această zonă [Fowell, 28]. Astfel peste debitul Couette clasic se suprapune un debit Poiseuille generat de această diferență de presiune.

O analiză analitică și numerică a unui celule de textură este prezentată în [Marian, 66]. O schiță a unei degajări este prezentată în Figura 5. Analiza se bazează pe presupunerea că distribuția de presiuni la nivelul unei celule este liniară (Figura 6) și simetrică față de planul median al celulei. După aplicarea conservării debitului în zonele de discontinuitate la nivelul unei degajări se obține presiunea maximă și forța portantă la nivelul unei celule.

3. Încercări de modelare fundamentală a lubrificației suprafețelor texturate

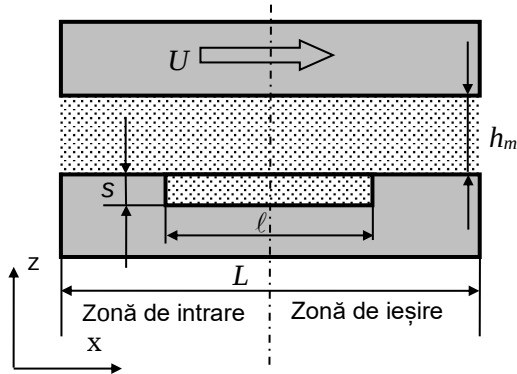


Figura 5 Schiță a unei degajări de formă cuboidală [66]

Dacă se notează Q_c ca fiind debitul Couette și Q_p debitul Poisseuille se realizează bilanțul de debite:

$$Q_{c \text{ intrare}} + Q_{p \text{ intrare}} = Q_{c \text{ iesire}} + Q_{p \text{ iesire}}$$

Din acest bilanț de debite se obține presiunea maximă:

$$p_{\max} = \frac{3 \cdot \eta \cdot U \cdot s \cdot \ell}{(h_m + s)^3 + \left(\frac{L - \ell}{\ell} + \frac{2 \cdot L}{L - \ell} \right) \cdot h^3}$$

Dacă se consideră apariția fenomenului de cavitație, atunci zona de presiuni negative se poate anula prin aproximația Sommerfeld (presiunile negative devin zero).

3. Încercări de modelare fundamentală a lubrificației suprafețelor texturate

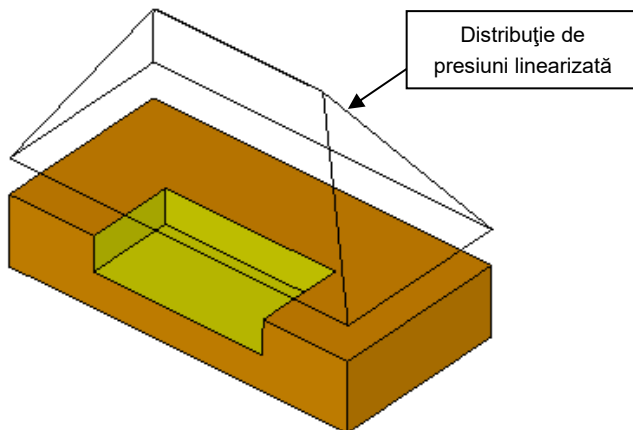


Figura 6 Distribuția de presiuni la nivelul unei jumătăți de celulă [66]

Se realizează o simulare numerică cu ajutorul metodei diferențelor finite pentru aceeași degajare. Se constată o bună corelație a valorilor analitice și numerice obținute.

O modelare analitică care constă într-un cilindru rotitor pe o suprafață texturată este realizată în [Marian, 68]. O schiță a modelului este prezentată în Figura 6 Ecuația Reynolds este rezolvată analitic și se calculează distribuția de presiuni și forța de frecare.

3. Încercări de modelare fundamentală a lubrificației suprafețelor texturate

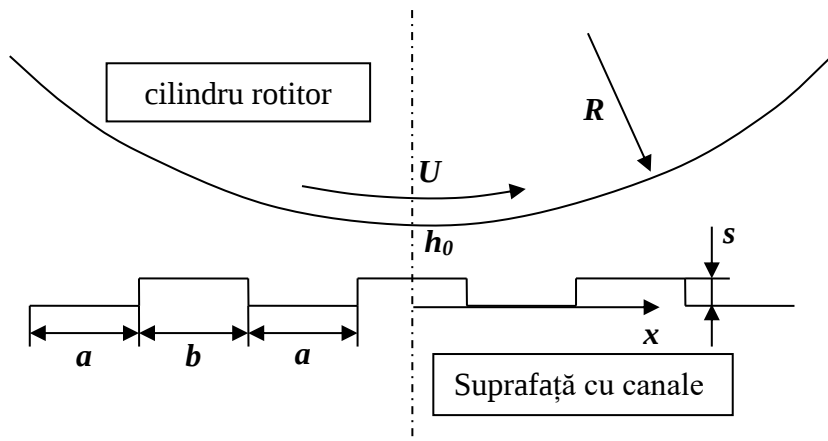


Figura 7 Schiță a modelului folosit pentru analiză [68]

3.2 Modelări numerice folosind ecuația Reynolds

O comparație între un model numeric de calcul a distribuției de presiuni și un model cu factori de curgere este realizat în [Tønder, 101]. Suprafața cu rugozități controlate poate fi asimilată cu o suprafață texturată. S-a constatat că simularea numerică nu susține modelul lui Patir și Cheng [75]. De asemenea simularea este în bună corelație cu modelul lui Tønder [102].

Un model care include fenomenul de cavitație în ecuația Reynolds este prezentat în [Dobrică, 22]. Fenomenul de cavitație este modelat de o variabilă booleană F care ia valoarea 1 în zona cu lubrifianț respectiv valoarea 0 în zona cu cavitație.

3. Încercări de modelare fundamentală a lubrificației suprafețelor texturate

O modelare similară este prezentată în [Qiu, 85]. Se studiază curgerea la nivelul unei celule de textură într-un sistem de tip etanșare mecanică. Se compară modelul Sommerfeld în care se anulează presiunile negative, condiția Reynolds cu derivata presiunii nulă și modelul Jakobsson-Floberg-Olson care se bazează pe un algoritm de conservarea a masei. Se efectuează și un experiment cu un disc texturat și unul din plexiglas. Se constată că modelul JFO este mai precis și conduce la o zonă de cavitație mai mare și la o forță portantă mai mică decât celelalte modele. Acest lucru este confirmat și de partea experimentală.

Metoda multigrid a fost folosită pentru a rezolva ecuația Reynolds folosind algoritmul de conservare a masei JFO cu metoda Elrod [Noutary, 73].

3.3 Modelări folosind metoda volumelor finite și ecuațiile Navier-Stokes

Un model teoretic laminar folosind ecuațiile Navier-Stokes și metoda volumelor finite este realizat în [Arghir, 4]. Se poate constata că pentru numere Reynolds mari și pentru degajări adânci se produce o forță portantă pozitivă datorită efectelor de inerție. Acest lucru este net vizibil pentru un număr Reynolds cu valoarea 100. Valoarea cea mai mică a raportului adâncime degajare pe lungime este considerată a fi 0,25. O distribuție de presiuni este obținută și în cazul curgerii turbulente (Billy, [9]).

3. Încercări de modelare fundamentală a lubrificației suprafețelor texturate

Se obține o forță portantă net pozitivă prin integrarea acestei distribuții de presiune.

Un model teoretic 2D folosind ecuațiile Navier-Stokes este prezentat în [Caramia, 14]. Modelul încearcă să reproducă încercările experimentale prezentate în [Scaraggi, 91] unde a fost variată adâncimea degajărilor. Modelul teoretic nu pleacă de la o forță portantă impusă ca și în experimentele din [91] ci se impune o grosime a filmului de lubrifiant. Sunt analizați factorii ce influențează forța de frecare.

Un studiu teoretic folosind metoda volumelor finite cu ajutorul programului FLUENT este realizat în [Vilhena, 103]. S-au analizat diferite forme de degajări calculându-se și reprezentându-se distribuția de presiuni în interiorul acestora.

Performanțele suprafețelor texturate în formă de săgeată sunt analizate în [Shen, 94]. Forma degajării văzută de sus este prezentată în Figura 8. S-a constatat că există o adâncime optimă care minimizează coeficientul de frecare. De asemenea coeficientul de frecare scade cu lungimea degajării l , respectiv cu lățimea degajării w_1 . Coeficientul de frecare crește însă cu unghiul la vârf.

3. Încercări de modelare fundamentală a lubrificației suprafețelor texturate

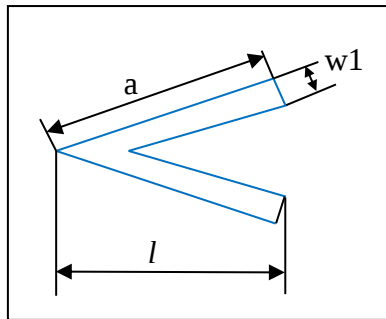


Figura 8 Formă a unei degajări văzută de sus

Coeficientul de frecare scade dacă sunt mai multe degajări pe direcția x . De asemenea o aranjare în V a degajărilor (sub forma unui stol de păsări) produce un coeficient de frecare mai mic.

3.4 Modelări folosind ecuațiile Reynolds și Navier-Stokes

Ecuția Reynolds cu factori de curgere este folosită în modelul de lubrificație mixtă prezentat în [Kraker, 50]. Factorii de curgere sunt calculați analizând o celulă de textură atât cu ecuația Navier-Stokes cât și cu Ecuția Reynolds. Pentru o celulă de textură cu grosimi mari de film se folosesc ecuațiile Navier-Stokes, obținându-se o asimetrie accentuată în distribuția de presiune datorită efectelor de inerție. Pentru grosimi mici ale filmului de lubrifian, distribuția de presiuni devine simetrică, dar apare fenomenul de microcavitație datorită valorilor scăzute ale presiunii în intrare. Ecuția Reynolds modificată cu factori de curgere este cuplată cu o ecuație de deformare a structurii.

3. Încercări de modelare fundamentală a lubrificației suprafețelor texturate

O analiză a validității ecuației Reynolds pentru diferite configurații ale degajărilor este prezentată în [Dobrică, 21]. S-a calculat eroarea introdusă de ecuația Reynolds pentru diferite numere Reynolds și valori ale lui $\lambda = \ell_d/h_d$ (Figura 9).

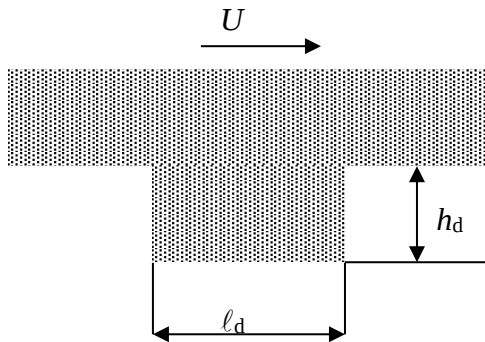


Figura 9 Schiță a unei degajări

S-au introdus două tipuri de erori. Prima eroare Δ_1 prezintă variația medie a presiunii prezisă de cele două modele (Reynolds și Navier-Stokes) raportată la presiunea medie a valorilor pozitive obținute cu ecuațiile Navier-Stokes. A doua valoare Δ_2 reprezintă eroarea produsă de integrala presiunilor pozitive prezisă de cele două modele. Se presupune că modelul Reynolds este valid când cele două erori au valoarea mai mică de 10%. S-a constatat că pentru $\lambda=10$ numărul Reynolds trebuie să fie mai mic sau egal cu 3 pentru ca ecuația Reynolds să fie validă. În urma variației numărului Reynolds și a valorii lui λ se pot distinge trei regiuni:

3. Încercări de modelare fundamentală a lubrificației suprafețelor texturate

- prima regiune cuprinde numere λ și Reynolds mici. În această regiune nu se poate aplica ecuația Reynolds, dar, deoarece efectele de inerție sunt neglijabile se pot aplica ecuațiile Stokes
- a doua regiune cuprinde numere Reynolds mari. În această regiune ecuația Reynolds nu mai este valabilă.
- a treia regiune cuprinde numere λ mari și numere Reynolds până la o anumită limită. În această regiune ecuația Reynolds este valabilă.

Conform datelor din referința [Marian, 65] numărul λ este $200\mu\text{m}/9\mu\text{m}=22,2$. Deoarece anumiți parametri variază, pentru calculul numărului Reynolds se consideră că avem următoarele date care maximizează numărul Reynolds: densitatea uleiului este $\rho=848\text{kg/m}^3$, viteza medie de deplasare a suprafeței mobile a lagărului $U=\omega \cdot r_m=2 \cdot \pi \cdot n \cdot (r_i+r_e)/2=2 \cdot \pi \cdot 800/60\text{rps} \cdot (28,5\text{mm}+45\text{mm})/2=3\text{m/s}$, grosimea maximă a filmului de lubrifianț este de $h_F=25\mu\text{m}$ iar viscozitatea dinamică a lubrifianțului este de $\eta=0.022\text{Pa}\cdot\text{s}$. De aici rezultă $Re=\rho \cdot U \cdot h_F/\eta=2.9$. Din figura 7 a referinței [21] rezultă $\Delta_1 \approx 4\%$ respectiv $\Delta_2 < 2.5\%$. În concluzie pentru aceste date de intrare ecuația Reynolds poate fi folosită.

În referința [Dobrică, 21] este analizat efectul introducerii unui termen inerțial în ecuația Reynolds. Rezultatele au fost mult îmbunătățite pentru numere Reynolds mari și sunt

3. Încercări de modelare fundamentală a lubrificației suprafețelor texturate

similare cu rezultatele obținute folosind ecuațiile Navier-Stokes.

3.5 Studiul fenomenului de cavitație în degajări

S-a constatat că există diferențe semnificative în dimensiunea zonei de cavitație în funcție de algoritmul de rezolvare folosit. După cum s-a prezentat anterior degajările simulate cu ajutorul modelului Jakobsson-Floberg-Olson (JFO) prezintă o zonă de cavitație mai mare și o forță portantă mai mică comparativ cu modelul half Sommerfeld care la rândul lui prezintă o zonă de cavitație mai mare comparativ cu modelul Reynolds [Qiu, 85].

O vizualizare a zonei de cavitație pentru un inel axial texturat este realizată în [Cross, 18]. Se constată că zona de cavitație crește cu viteza relativă a suprafețelor, din cauza faptului că mai mult ulei intră în degajare, aducând astfel mai multe bule de gaz. De asemenea, zona de cavitație se restrânge odată cu creșterea dimensiunii degajării. Explicația constă în faptul că presiunea crește, comprimând astfel zona de cavitație. Rezultatele experimentale au fost comparate cu un model teoretic care folosește programul Ansys Fluent, obținându-se o bună corelație între valorile teoretice și cele experimentale.

O comparație între dimensiunea zonei de cavitație determinată experimental și două modele teoretice (Reynolds și JFO) este realizată în [Zhang, 113]. Se constată o bună corelație între

3. Încercări de modelare fundamentală a lubrificației suprafețelor texturate

valorile experimentale și modelul teoretic JFO pentru o presiune de cavitație de 30kPa. Sunt comparate de asemenea și grosimea de film și momentul de frecare, obținându-se o bună corelație în aceleași condiții menționate anterior.

Valoarea presiunii de cavitație influențează și ea zona de cavitație și implicit forța portantă [Shen, 93]. Pentru sisteme unde ungerea este limitată de grosimi de lubrifiant reduse valoarea presiunii de cavitație este scăzută. Acolo unde există suficient lubrifiant pentru a alimenta zona valoarea presiunii de cavitație se apropie de presiunea atmosferică.

O modelare teoretică folosind metoda elementelor finite și metoda JFO este realizată în (Xie, [108]). Sunt modelate și rugozitățile suprafeței. Matricea de rigiditate este obținută folosind metoda Galerkin. Sunt analizate diverse forme de degajări și se constată că degajările triunghiulare orientate cu vârful și apoi baza în sensul direcției de translație a suprafeței mobile netexturate produc o forță portantă maximă.

3.6 Optimizări ale geometriei degajărilor

Distribuția de presiuni și forța portantă au fost calculate pentru diferite forme ale degajărilor în regim de lubrificație hidrodinamică [Yu, 111]. S-au analizat degajări în formă de cerc, triunghi și elipsă. S-a constatat că degajările în formă de elipsă cu

3. Încercări de modelare fundamentală a lubrificației suprafețelor texturate

axa mare orientată perpendicular pe direcția de mișcare produc o forță portantă maximă.

Forma optimă a unei degajări a fost determinată în [Shen, 111] folosind modulul Optimization Toolbox din MATLAB. Suprafața celulei a fost împărțită în mai multe fâșii orizontale, fiecare dintre ele fiind caracterizate prin lungime și poziția centrului. Astfel se obțin un set de parametri care pot fi variați pentru a obține geometria optimă. Pentru o deplasare unidirecțională degajările în formă de V cu vârful ascuțit în direcția de deplasare a suprafeței mobile produc o forță portantă maximă. Pentru o deplasare bidirecțională degajările în formă de dublu trapez cu baza mică pe margine produc o forță portantă maximă.

Geometria degajărilor a fost optimizată pentru a obține o forță portantă maximă în [Wang, 105]. Pentru aceasta a fost considerat un lagăr axial texturat cu canale din care s-a izolat un singur canal. Pentru simplitate canalul a fost modelat în două dimensiuni, considerându-se lățimea acestuia infinită. Pentru a include fenomenul de cavitație s-a folosit metoda Sommerfeld, adică presiunile care se află sub presiunea de cavitație au fost egalate cu presiunea de cavitație. S-a folosit un algoritm de optimizare combinat format din programare secvențială quadratică (sequential quadratic programming – SQP) și algoritm genetic (genetic algorithm - GA). Rezultatele au fost comparate cu degajări standard (Figura 10).

3. Încercări de modelare fundamentală a lubrificației suprafețelor texturate



Figura 10 Forme ale degajărilor standard

S-a obținut o forță portantă mai mare pentru geometria optimizată decât în cazul degajărilor standard. Totuși diferența a fost mică de aproximativ 1%.

Un mod efektiv de salvare a topografiei suprafețelor texturate folosind tehnologia fractală este prezentat în [Stachowiak, 98].

4. Încercări experimentale cu suprafețe texturate

4 Încercări experimentale cu suprafețe texturate

4.1 Standuri cu mișcare oscilatorie

Suprafețe texturate și netexturate acoperite cu TiN respectiv DLC (diamond like carbon) au fost testate pe un stand cu mișcare oscilatorie cu o bilă de oțel în [Pettersson, 80]. În cazul suprafețelor acoperite cu TiN și nelubrificate se constată un coeficient de frecare mai mic în cazul suprafețelor texturate. O explicație ar fi acumularea de particule de uzură în interiorul degajărilor. Totuși uzare bilei a fost mai mare în cazul suprafețelor texturate. În cazul lubrificației limită suprafețele texturate prezintă un coeficient de frecare mai mare în comparație cu cele netexturate. În cazul suprafețelor acoperite cu DLC și nelubrificate s-a constatat un coeficient de frecare mai mic în cazul suprafețelor netexturate comparativ cu cele texturate. În cazul suprafețelor aflate în regim de lubrificație limită suprafețele cu canale transversale și cele cu degajări în formă de cuboid prezintă un coeficient de frecare mai mic față de suprafețele netexturate. De asemenea degajările de formă cuboidală cu latura de 5 μ m la nivelul suprafeței prezintă un coeficient de frecare mai mic față de degajările cu latura de 20 μ m.

Experimente mai detaliate au fost realizate de aceeași autori pe suprafețele acoperite cu DLC [Pettersson, 81]. S-a constatat că în

4. Încercări experimentale cu suprafețe texturate

condiții de lubrificație săracă s-a obținut un coeficient de frecare redus pentru dimensiuni mici ale degajărilor relativ la dimensiunea petei de contact. Alte bune rezultate s-au putut obține schimbând orientarea degajărilor față de direcția de alunecare. În cazul lubrificației abundente s-au obținut bune rezultate în cazul suprafețelor cu canale transversale și a degajărilor pătrate de mici dimensiuni.

Suprafețe texturate cu ajutorul tehnologiei laser au fost testate pe un stand cu mișcare oscilatorie la frecvențe joase și ridicate [Andersson, 3]. Au fost comparate suprafețe cu densități de texturare de 8%, 30% respectiv fără texturare. Cel mai bun comportament a fost remarcat la suprafețe cu densități de texturare de 8% combinate cu un ulei de înaltă vâscozitate. O bună combinație a fost de asemenea densitatea de texturare de 30% combinată cu un ulei subțire.

Suprafețe texturate realizate prin eroziune chimică au fost testate pe un stand cu mișcare oscilatorie în [Costa, 17]. Cupla de contact a fost de tip cilindru pe plan. S-a constatat că dacă suprafața de contact este mai mică decât dimensiunea degajărilor atunci efectul este unul negativ asupra grosimii de film. Dacă însă suprafața de contact este mai mare decât dimensiunea degajărilor atunci grosimea de film este mai mare decât în cazul unei suprafețe netexturate. Dintre formele de degajări investigate s-a constatat că degajările în V au fost cele mai eficiente, iar

4. Încercări experimentale cu suprafețe texturate

degajările sub formă de canale au fost cele mai ineficiente din punctul de vedere al grosimii de film.

Se poate realiza un control direcțional al coeficientului de frecare prin texturarea suprafețelor [Lu, 60]. Au fost realizate suprafețe de formă triunghiulară cu baza degajărilor înclinată (Figura 11). Experimentele au fost efectuate pe un stand cu mișcare oscilatorie pe care s-a testat o rolă pe o suprafață plană texturată sau netexturată. Prin variația vitezei de lucru s-a realizat curba Stribeck. S-a putut constata o scădere a coeficientului de frecare a suprafețelor texturate față de cele netexturate. De asemenea suprafețele texturate cu suprafață convergentă (vedere în secțiune stânga) prezintă un coeficient de frecare mai mic față de cele cu suprafață divergentă (vedere în secțiune dreapta).

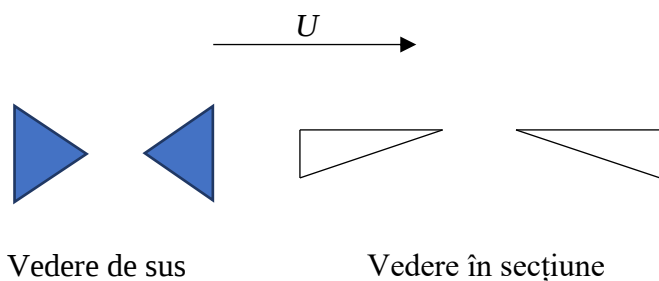


Figura 11

S-a constatat că amplitudinea oscilației forței de frecare este aceeași indiferent de configurația suprafeței de jos a degajării (convergentă, divergentă sau fund paralel cu suprafața de sus).

4. Încercări experimentale cu suprafețe texturate

Forma graficului forței de frecare variază însă în funcție de configurație.

4.2 Standuri de tip știft pe disc

În [Kovalchenko, 48] se testează atât suprafețe netexturate (una polisată cu rugozitate $R_a=0.01\mu\text{m}$ și una rectificată cu $R_a=0.12\mu\text{m}$) cât și suprafețe texturate cu diferite densități și adâncimi ale degajărilor. Diametrul petei de contact este de 4.7mm. De asemenea prin măsurarea rezistenței electrice dintre cele două corpuri se poate spune dacă avem un regim hidrodinamic sau un regim de lubrificație limită sau mixtă. Se constată că texturarea sporește regimul hidrodinamic pentru diferite încărcări în comparație cu suprafețele netexturate. Acest efect este mai pronunțat pentru un ulei cu o vâcositate mai mare. De asemenea se constată că o densitate de texturare scăzută prezintă cele mai bune efecte din punct de vedere al portanței.

Comparația între un știft parțial texturat cu canale longitudinale și un știft de tip lagăr treaptă este realizată în [Predescu, 84]. Se constată că există o grosime a filmului de lubrifianț care produce o forță portantă maximă așa cum prevede teoria. De asemenea există o grosime a filmului de lubrifianț care produce un coeficient de frecare minim. Forța portantă este mai mare în cazul știftului treaptă comparativ cu știftul parțial texturat.

4. Încercări experimentale cu suprafețe texturate

Un studiu teoretic și experimental a fost realizat pe un stand de tip știft pe disc cu ajutorul unui știft texturat [Ramesh, 88]. S-a obținut o adâncime optimă a degajărilor în funcție de presiunea de apăsare pentru a obține o forță de frecare minimă. S-a constatat că forța de frecare scade abrupt cu creșterea densității la o densitate de până la 30%. La o densitate de peste 30% forța de frecare scade ușor cu creșterea densității suprafeței texturate. S-a constatat de asemenea că forța de frecare scade cu creșterea dimensiunii degajărilor. Scăderea e lentă la o dimensiune de peste 200 μ m.

În [Scaraggi, 91] s-a determinat coeficientul de frecare pentru diferite adâncimi ale degajărilor. Variindu-se viteza de rotație s-a trasat curba Stribeck pentru fiecare adâncime a degajărilor. S-a constatat că există o adâncime care minimizează coeficientul de frecare pentru toată curba Stribeck. Această adâncime a variat ușor în funcție de diametrul degajării.

S-au realizat de asemenea încercări cu un știft texturat, menținându-se raportul adâncime/diametru constant, dar variindu-se diametrul degajărilor și implicit adâncimea [Braun, 11]. Încercările s-au realizat în condiții de lubrificație mixtă. S-a constatat că există un diametru optim care minimizează coeficientul de frecare, dar acest diametru depinde de viscozitatea uleiului folosit.

4. Încercări experimentale cu suprafețe texturate

4.3 Încercări experimentale pe un reometru

Încercări experimentale privind coeficientul de frecare în cazul suprafețelor texturate cu canale longitudinale respectiv transversale au fost realizate în [Haosheng, 40]. S-a constatat că suprafețele cu canale longitudinale prezintă un coeficient de frecare mai mic în comparație cu suprafețele cu canale transversale. De asemenea suprafețele texturate cu asperități cuboidale prezintă un coeficient de frecare situat între cele două valori anterioare. S-a realizat și un model teoretic bazat pe ecuațiile Navier-Stokes pentru a explica rezultatele experimentale obținute anterior.

4.4 Standuri de tip bilă pe disc

Procesul de uzare într-un contact neconform este analizat în [Niu, 72]. Cupla de frecare este constituită dintr-o bilă de oțel și un disc texturat din oțel. Texturarea discului este realizată cu ajutorul unui laser cu puls de picosecunde. Ulterior discul este polisat pentru a înlătura eventualul surplus de material din jurul degajărilor. În timpul experimentelor bila este staționară și discul se învâрте. Înaintea experimentelor se picură 0,1μL de ulei PAO4 (polialfaolefin). Avem astfel un caz de lubrificație săracă. S-a constatat că în general coeficientul de frecare și intensitatea de uzare sunt mai mici în cazul discului texturat față de cel netexturat. De asemenea coeficientul de frecare și intensitatea uzării depind mult de adâncimea degajărilor. În timpul

4. Încercări experimentale cu suprafețe texturate

experimentelor apare la început o etapă în care coeficientul de frecare este staționar, una tranzitorie în care acesta variază cu o tendință crescătoare și una în care apare frecarea uscată. Compoziția suprafețelor este analizată cu un sistem XPS. Se poate observa astfel apariția oxidării în cazul contactului uscat.

4.5 Comportarea suprafețelor texturate în cazul lubrificației elastohidrodinamice

În cazul contactelor neconforme s-a constatat că suprafețele texturate au un efect al creșterii grosimii filmului de lubrifianț dacă adâncimea lor este redusă. În acest sens s-a măsurat grosimea filmului de lubrifianț pe un stand de tip bilă pe disc pentru o singură degajare [Mourier, 70] și pentru mai multe degajări situate în pata de contact [Křupka, 51]. De asemenea s-a măsurat grosimea filmului de lubrifianț în pata de contact pentru grosimi de film comparabile cu stratul limită [Křupka, 52]. Stratul limită atenuează scăderi de film în anumite condiții de lucru.

În cazul contactelor conforme s-a constatat că formele alungite perpendiculare pe direcția de rostogolire dau grosimile cele mai mari de film fluid [Ren, 89]. Pentru calculul grosimii filmului de lubrifianț s-a folosit o ecuație valabilă atât pentru cazul lubrificației hidrodinamice cât și pentru cazul în care există contact între asperități. În Figura 12 sunt reprezentate forme care oferă grosimi mari ale filmului de lubrifianț.

4. Încercări experimentale cu suprafețe texturate

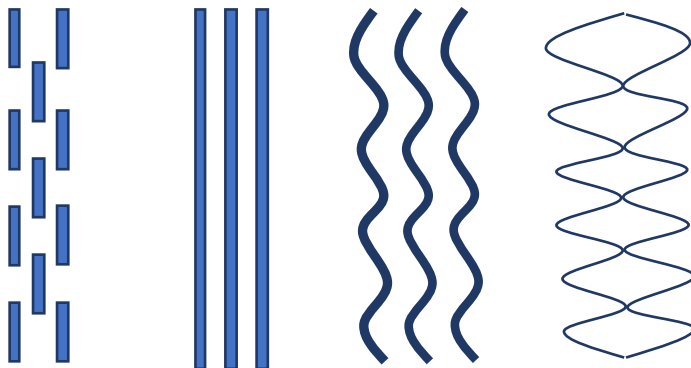


Figura 12 Forme de degajări unde se obțin grosimi de film medii importante

Forma bazei degajării are și ea un rol în obținerea unei grosimi de lubrifiant cât mai mari [Nanbu, 71]. În Figura 13 sunt prezentate diverse forme de degajări. Degajarea cu cea mai mică grosime de film este cea din stânga. Ea însă se poate obține în mod curent cu ajutorul tehnologiei laser. Grosimi mai mari de film se pot obține cu ajutorul eroziunii chimice (degajarea din mijloc). Degajările cu cele mai mari grosimi de film se obțin cu ajutorul formeii din partea dreaptă unde creșterea bruscă a grosimii de film și implicit scăderea de presiune este urmată de o rampă care determină presiuni crescute și implicit grosimi mari ale filmului de lubrifiant.

4. Încercări experimentale cu suprafețe texturate

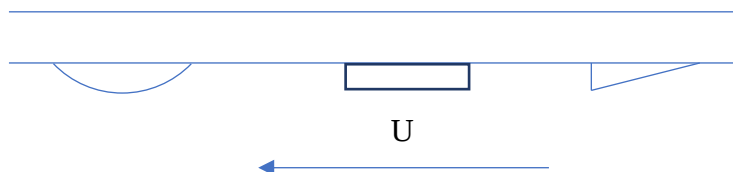


Figura 13

O altă aplicație interesantă este cazul etanșărilor radiale confecționate dintr-un material elastic [Shinkarenko, 95]. Prin varierea diversilor parametri geometrici se poate obține o forță portantă maximă.

5 Clasificare după aplicațiile industriale

5.1 Lagăre axiale

Există numeroase aplicații practice ale suprafețelor texturate. Printre principalele aplicații se numără lagărele axiale [Brizmer, 12] [Etsion, 25]. În articolele citate lagărul axial este parțial texturat pe lungime și complet texturat pe lățime. În articolul teoretic [Brizmer, 12] ecuația Reynolds este rezolvată cu ajutorul metodei diferențelor finite. Sistemul de ecuații obținut este rezolvat iterativ cu ajutorul metodei Gauss-Seidel. Presiunile negative sunt egalate cu zero în timpul procesului iterativ, obținându-se o modelare simplificată a procesului de cavitație. Prin texturarea parțială se constată apariția unei forțe portante. Efectul pozitiv ar putea fi constatat în special în cazul pornirilor și opririlor dese datorită capacității degajărilor de a stoca uleiul în interior, constituind rezervoare de ulei. În partea experimentală [Etsion, 25] este măsurată forța portantă și comparată cu rezultatele teoretice.

Un lagăr fabricat prin procedeul LIGA este testat pe un stand de lagăre axiale [Stephens, 99]. În loc de degajări sunt prelucrate așchii (Figura 14). Se constată o scădere a coeficientului de frecare în regim hidrodinamic pentru asperități de înălțime redusă (3, 7, 14 μ m) comparată cu diametrul de 550 μ m.

5. Clasificare după aplicațiile industriale

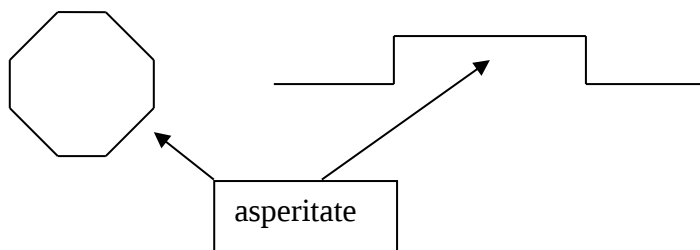


Figura 14 Asperitate de formă hexagonală

Pentru asperitățile cu înălțime mare ($100\mu\text{m}$) comparată cu diametrul de $550\mu\text{m}$ se constată o regim de lubrificație mixtă din cauza unei forțe portante reduse.

Un model analitic și numeric al unui lagăr parțial texturat de lățime infinită este prezentat în [Pascovici, 78]. Distribuția presiunii obținută analitic este prezentată în Figura 15. Acest rezultat are la bază conservarea debitului în punctele de discontinuitate. Rezultatele analitice au fost comparate cu rezultate numerice obținute cu metoda diferențelor finite. S-a obținut o perfectă corelație între cele două metode, fapt care dovedește faptul că formulele analitice pot fi folosite pentru a obține rezultate rapide.

Fenomenul de alunecare la perete pentru același tip de lagăr a fost introdus în [Pascovici, 79]. În acest caz viteza la perete a filmului de lubrifianț nu mai coincide cu viteza peretelui, creându-se astfel o forță portantă sporită prin creșterea debitului Couette.

5. Clasificare după aplicațiile industriale

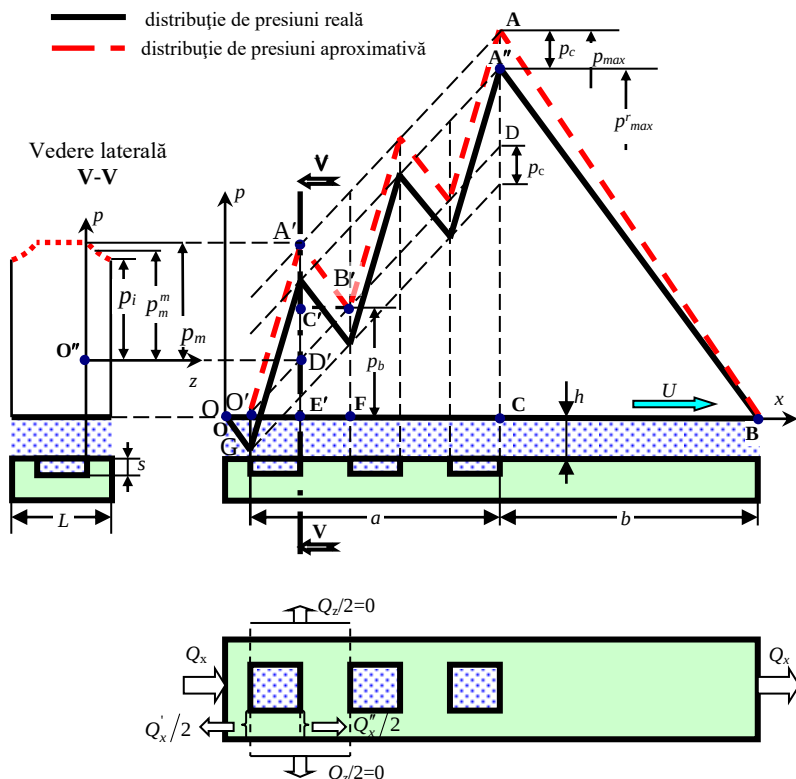


Figura 15 Distribuție de presiuni în cazul soluției analitice [78]

Analiza unui lagăr texturat cu sectoare oscilante este prezentată în [Glavaskih, 32]. A fost observată o putere pierdută prin frecare mai mică față de lagărul netexturat. De asemenea grosimea filmului de lubrifianț la intrare și ieșire este mai mare în comparație cu lagărul netexturat. S-a constatat că lagărul nu prezintă temperaturi mai mari la nivelul sectoarelor oscilante. Un

5. Clasificare după aplicațiile industriale

lagăr parțial texturat prin eroziune chimică este prezentat în [Marian, 63] respectiv [Marian, 65]. O schiță a unui lagăr parțial texturat este prezentată în Figura 16.

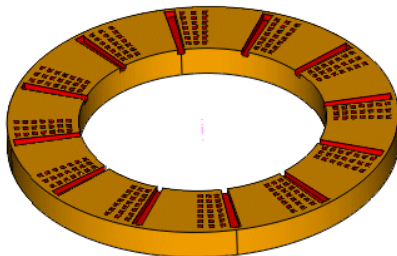


Figura 16 Lagăr axial parțial texturat [63]

Un lagăr realizat prin eroziune chimică este prezentat în Figura 17. Pentru aceasta s-a folosit un inel de rulment axial care a fost acoperit cu un strat fotosensibil. S-a aplicat ulterior o mască cu forma degajărilor urmând apoi toate etapele procesului de prelucrare prin eroziune : iluminarea substanței fotosensibile, dezvoltarea și prelucrarea prin eroziune chimică.

5. Clasificare după aplicațiile industriale

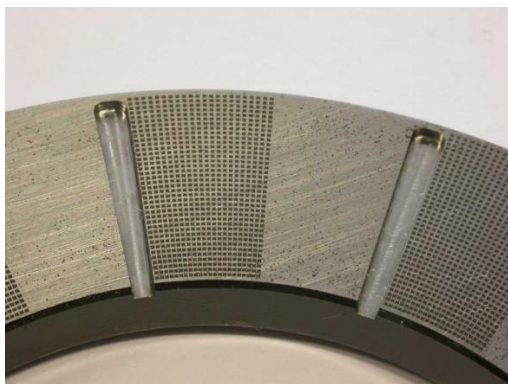


Figura 17 Sector al unui lagăr realizat prin eroziune chimică [63]

O imagine cu măsurătorile efectuate pentru a analiza topografia suprafeței este prezentată în Figura 18. Se poate remarca forma regulată a degajărilor.

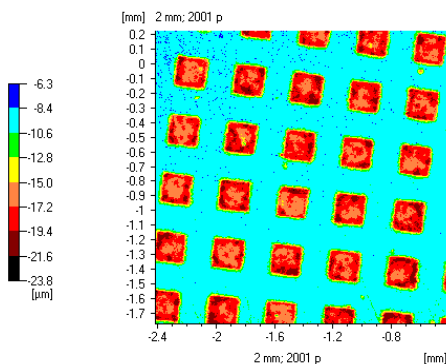


Figura 18 Măsurătoare 3D efectuată cu un profilometru cu fascicul laser [63]

5. Clasificare după aplicațiile industriale

S-a realizat de asemenea o modelare termohidrodinamică a acestui lagăr. O schiță a unui sector este prezentată în Figura 19.

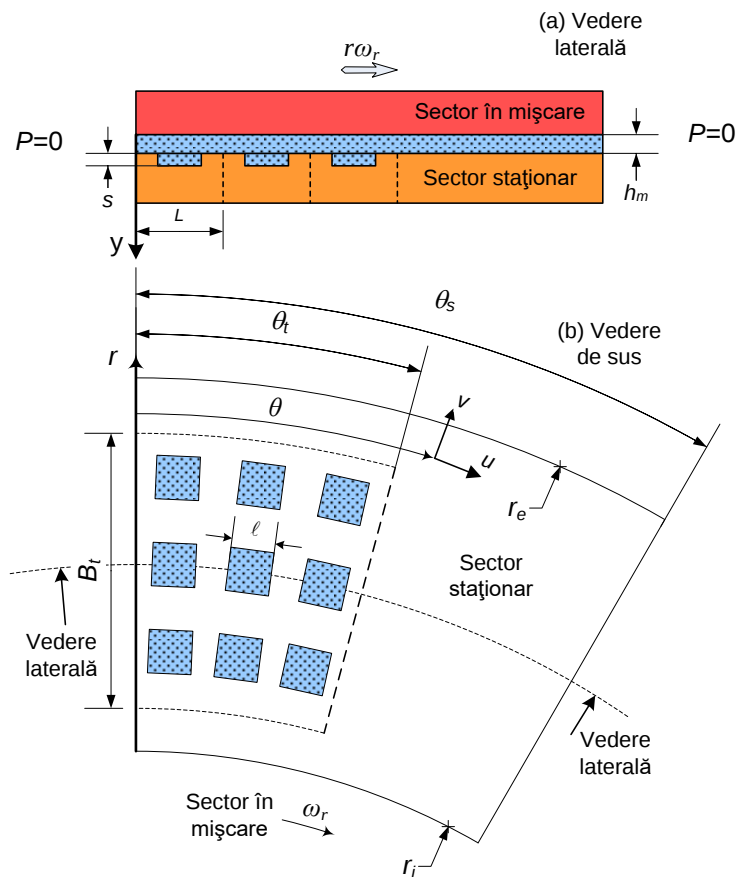


Figura 19 Schemă a unui sector al lagărului parțial texturat cu degajări pătrate [63]

5. Clasificare după aplicațiile industriale

Pentru calculul temperaturii fluidului se consideră un model adiabatic în care se decuplează ecuația energiei de ecuația Reynolds neglijându-se efectul gradientului de presiune asupra tensiunii de forfecare. Distribuția de presiuni a fost calculată cu ajutorul metodei diferențelor finite, obținându-se parametrii optimi pentru acest lagăr din punct de vedere al forței portante.

Un lagăr axial texturat cu ajutorul tehnologiei laser este prezentat în [Marian, 63] respectiv [Marian, 64]. O schiță a unui sector folosită pentru modelarea teoretică este prezentată în Figura 20.

5. Clasificare după aplicațiile industriale

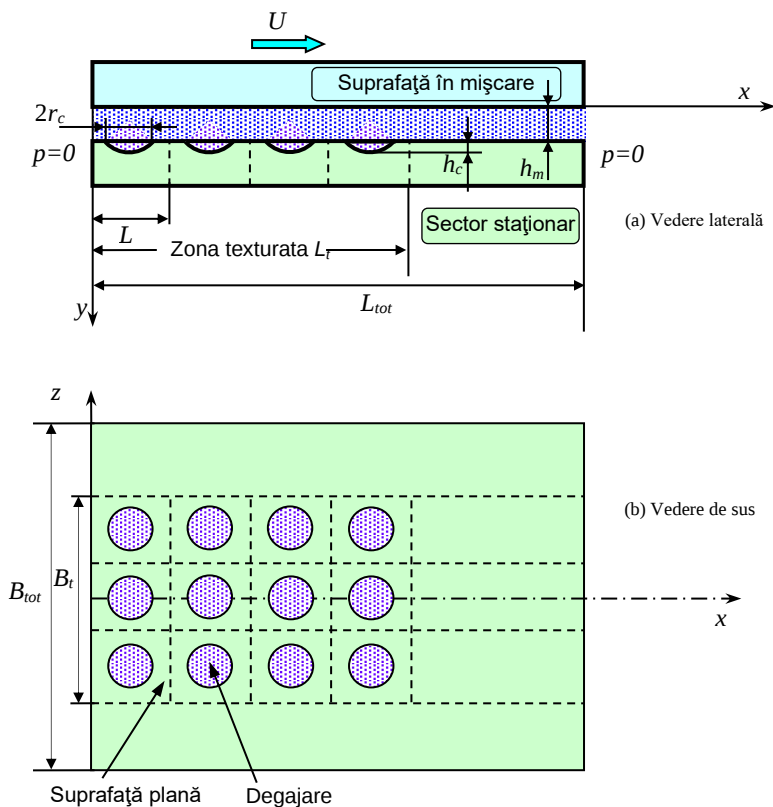


Figura 20 Schiță a unui sector [63]

O imagine cu un lagăr texturat cu ajutorul tehnologiei laser este prezentată în Figura 21.

5. Clasificare după aplicațiile industriale



Figura 21 Lagăr axial parțial texturat cu ajutorul tehnologiei laser [63]

O imagine cu un sector al acestui lagăr este prezentată în Figura 22. Texturarea parțială este atât pe lungime cât și pe înălțime. După texturare, pentru a înlătura proeminențele de pe marginea degajărilor s-a folosit procesul de lepuire.

5. Clasificare după aplicațiile industriale

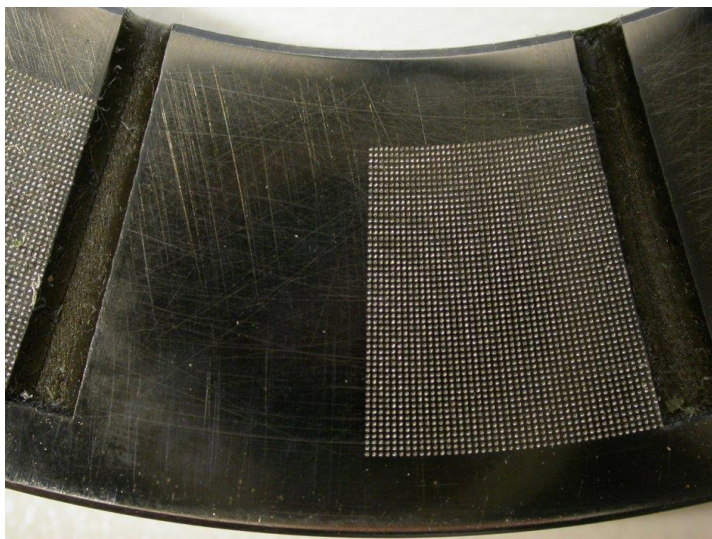


Figura 22 Sector al unui lagăr axial parțial texturat cu ajutorul tehnologiei laser [63]

Pentru a putea analiza forma degajărilor s-a folosit un profilometru laser 3D. Topografia suprafeței este prezentată în Figura 23. Se poate observa o formă relativ neregulată a degajărilor spre deosebire de procedeul de prelucrare prin eroziune chimică. Totuși tehnologia laser prezintă numeroase avantaje. Nu este necesară scufundarea piesei într-o baie de electrolit și astfel se evită accelerarea procesului de ruginire pentru piesele din materiale metalice sensibile la acest fenomen. De asemenea se pot prelucra materiale nemetalice cum ar fi cele ceramice.

5. Clasificare după aplicațiile industriale

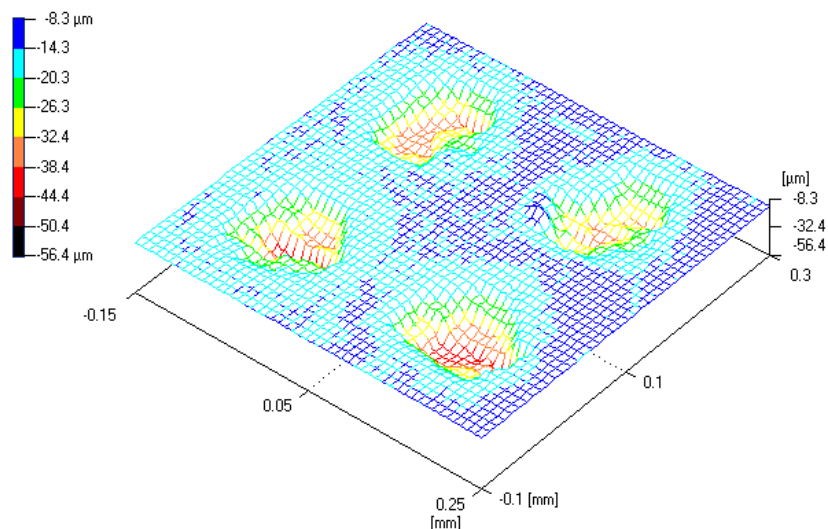


Figura 23 Topografia suprafeței texturate cu ajutorul tehnologiei laser [63]

Un stand cu un inel rotitor texturat și unul netexturat este prezentat în [Hoppermann, 44]. S-a crescut treptat presiunea de apăsare până când coeficientul de frecare a crescut brusc apărând un așa zis fenomen de gripaj. S-a constatat că texturarea suprafețelor crește presiunea maximă suportată de cuplă (de exemplu de la 5,6 la 8,5N/mm² pentru o viteză periferică de 1m/s respectiv de la 5,7 la 14,1N/mm² pentru o viteză periferică de 2m/s). S-au testat de asemenea perechi cu materiale diferite. S-a constatat de asemenea o îmbunătățire în majoritatea cazurilor. De asemenea s-au efectuat teste cu varierea vitezei de rotație realizându-se astfel curbe Stribeck. S-a constatat că texturarea

5. Clasificare după aplicațiile industriale

suprafețelor reduce coeficientul de frecare, cupla trecând mai repede în regimul de lubrificație limită și mixtă.

Un lagăr axial parțial texturat de lățime infinită a fost analizat în [Pascovici, 77]. Un model analitic pentru calculul forței portante și a coeficientului de frecare a fost dezvoltat în acest sens. S-au variat diverși parametri geometrice pentru a maximiza forța portantă și a minimiza coeficientul de frecare.

Lagărele axiale parțial texturate au fost comparate cu alte tipuri de lagăre în [Zouzoulas, 116]. S-a analizat un lagăr cu sectoare oscilante cu diferite modificări de suprafață : parțial texturat cu degajări pătrate, un lagăr parțial texturat cu canale radiale, un lagăr parțial texturat cu canale circumferențiale, un lagăr cu buzunar, un lagăr cu sectoare oscilante fără modificări de suprafață și un lagăr cu suprafață de intrare hidrofobă. Suprafețele hidrofobe permit alunecarea la perete și astfel crește debitul în zona de intrare. S-a constatat că lagărele cu sectoare oscilante cu buzunar sau canale circumferențiale pot crește performanțele tribologice ale lagărului în special din punct de vedere al grosimii minime a filmului de lubrifiant. Scade de asemenea și momentul de frecare. S-a constatat de asemenea că degajările pătrate sau canalele radiale nu îmbunătățesc performanțele în funcționare ale lagărelor cu sectoare oscilante.

5. Clasificare după aplicațiile industriale

O interesantă analiză de sensibilitate a forței de frecare în funcție de diverși parametri ai suprafețelor texturate este prezentată în [Geng, 31].

O aplicație interesantă o reprezintă lagărele hidrodinamice inteligente care își schimbă geometria în funcție de condițiile de lucru [Baroud, 8]. Această geometrie se poate schimba cu ajutorul unor actuatori care sunt comandați prin presiune.

În referința [Ghercă, 33] se studiază lagărul axial parțial texturat prezentat în referința [Marian, 65]. În locul rezolvării ecuației Reynolds folosind metoda diferențelor finite care a fost făcută în [65] se folosește metoda elementelor finite pentru rezolvarea ecuației Reynolds. Rezultatele teoretice se compară cu cele experimentale din [65]. Pe lângă analiza cu statorul texturat s-a realizat o analiză cu rotor texturat, dar și cu stator și rotor texturat. Se constată că texturarea rotorului nu îmbunătățește performanțele tribologice ale sistemului scăzând grosimea filmului de lubrifianț. Texturarea statorului și rotorului poate crește grosimea filmului de lubrifianț, îmbunătățind calitățile tribologice ale sistemului.

Conceptul alunecării la perete este prezentat în Encyclopedia of Tribology de către profesorul Mircea D. Pascovici [76]. De asemenea se prezintă și metode de generare a forței portante prin combinarea efectului de alunecare la perete cu cel de aderență la perete.

5. Clasificare după aplicațiile industriale

Validitatea ecuației Reynolds pentru un lagăr axial este prezentată în [Shyu, 96]. S-au analizat un lagăr treaptă cât și un lagăr texturat (Figura 24). Nu s-a ținut cont de fenomenul de cavitație în cazul lagărului texturat. S-au rezolvat ecuațiile Navier-Stokes folosind programul COSMOL Multiphysics. Pentru lagărul treaptă s-a constatat că variația presiunii pe grosimea filmului este importantă doar în zona trepte. Astfel aplicarea ecuației Reynolds nu influențează capacitatea portantă a lagărului. Pentru suprafețele texturate s-au obținut diferențe semnificative între ecuațiile Navier-Stokes și ecuația Reynolds în zona salturilor de grosime de film pentru rapoarte ℓ_d/h_d ale degajărilor de 10. Totuși diferențele de presiune fiind locale, dacă se calculează portanța, diferența scade semnificativ.

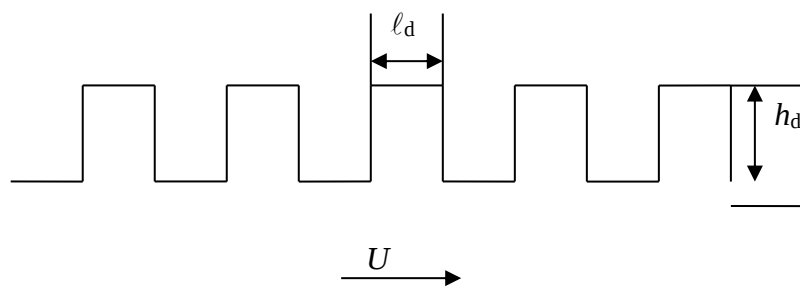


Figura 24 Lagăr texturat

O combinație între texturarea suprafețelor și alunecarea la perete este prezentată în [Arif, 5]. În prima parte a lucrării este prezentat fenomenul de alunecare la perete. În aplicațiile clasice de

5. Clasificare după aplicațiile industriale

lubrificație se consideră viteza lubrifianului egală cu cea a suprafeței la care aderă. Acest lucru este valabil pentru materialele clasice din care este confecționat un lagăr cu alunecare și este confirmat faptul că uleiul aderă foarte bine la aceste suprafețe. În cazul anumitor suprafețe însă putem constata o alunecare la perete a lubrifianului, fapt analizat teoretic și experimental în mai multe lucrări. În Figura 25 este prezentat grafic fenomenul alunecării la perete. Texturarea suprafețelor combinată cu efectul de alunecare la perete poate îmbunătăți lagărele axiale din punct de vedere tribologic.

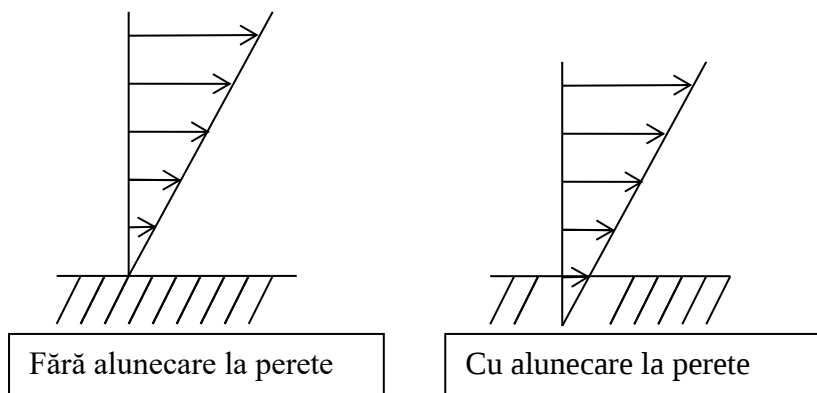


Figura 25 Prezentarea fenomenului de alunecare la perete

Un lagăr axial parțial texturat cu canale este prezentat în [Chen, 15]. Se analizează influența diferiților parametri asupra capacității portante a lagărului și asupra coeficientului de frecare. Anumiți parametri optimi sunt similari cu cei prezentați în cazul lagărului axial parțial texturat cu degajări pătrate [Marian, 65]. De

5. Clasificare după aplicațiile industriale

exemplu fracțiunea optimă pe direcție radială pentru a obține o forță portantă maximă este 0,8-0,9 pe direcție radială pentru ambele cazuri. Pe partea teoretică analiza este făcută folosind ecuația Reynolds cu algoritmul Elrod de cavitație. Ecuațiile sunt rezolvate numeric folosind metoda multigrid.

Un lagăr axial parțial texturat cu canale de formă parabolică (în secțiune) este analizat în [Fu, 29]. Geometria lagărului este prezentată în figura de mai jos.

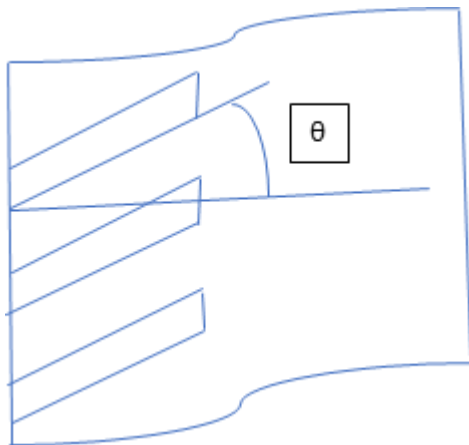


Figura 26 Canale înclinate în cazul unui lagăr axial parțial texturat

Ecuația Reynolds este rezolvată folosind metoda multigrid. Se constată că forța portantă este maximă când unghiul de înclinare al canalelor este 0. De asemenea forța portantă crește cu densitatea de suprafață a canalelor. Se obține și o adâncime

5. Clasificare după aplicațiile industriale

adimensională optimă și o fracțiune optimă a porțiunii texturate similară cu [Marian, 65].

Un studiu experimental pe un stand de tip lagăr axial este prezentat în [Schuh, 92]. S-au analizat suprafețe netexturate și suprafețe texturate simetrice și asimetrice. Se constată un coeficient de frecare maxim pentru suprafața netexturată. Suprafețele texturate simetrice prezintă un coeficient de frecare mai mare față de cele asimetrice. Explicația dată de autori este absența cavitației și prezența efectelor viscoase.

S-a constatat că lagărele axiale cu buzunar prezintă cea mai bună configurație la pornire [Bouyer, 10]. Acestea prezintă un cuplu maxim și un timp de atingere a lubrificației hidrodinamice scăzute. Lagărul parțial texturat cu o densitate de 56% prezintă de asemenea un cuplu maxim scăzut, dar timpul de atingere al lubrificației hidrodinamice crește. Lagărul înclinat prezintă un cuplu maxim la pornire ridicat. Lagărul cu suprafețe paralele prezintă atât un cuplu maxim la pornire ridicat cât și un timp de atingere al lubrificației hidrodinamice ridicat. Densitatea texturării influențează mărimile măsurate. S-a constatat că o densitate mare minimizează momentul de frecare maxim și timpul de atingere al lubrificației hidrodinamice. Această densitate este de 56% pentru condițiile de lucru folosite. Deși degajările funcționează ca rezervoare de lubrifianț și ameliorează funcționarea în regim de lubrificație limită și mixt, lagărul

5. Clasificare după aplicațiile industriale

buzunar prezintă caracteristici ușor superioare lagărului parțial texturat.

S-a realizat simularea unui lagăr cu sectoare oscilante și parțial texturat cu degajări de formă cuboidală [Gropper, 36]. S-au stabilit 3 criterii de optimizare : obținerea unei grosimi de film maxime, obținerea unui moment de frecare minim și minimizarea temperaturii maxime. Ecuația Reynolds a fost rezolvată cu ajutorul metodei volumelor finite. Pentru modelarea cavitației s-a folosit algoritmul Jakobsson-Floberg-Olsson. Sistemul de ecuații format s-a rezolvat iterativ cu metoda Gauss-Seidel. S-a variat adâncimea degajărilor, fracțiunea de suprafață texturată atât în direcție circumferențială cât și în direcție radială cât și densitatea degajărilor. S-a constatat că o densitate de 60% produce performanțe optime. Prin variația parametrilor prezentați anterior se poate obține o creștere a grosimii minime a filmului de lubrifiant cu până la 12%. Din păcate sunt produse îmbunătățiri ne semnificative asupra momentului de frecare și a temperaturii maxime.

5.2 Lagăre radiale

Sistemele cu bandă magnetică se confruntă cu problema mișcării laterale a benzii, mișcare care scade eficiența sistemului. De aceea se recomandă ghidajele fixe, deoarece ghidajele care se rotesc favorizează mișcarea laterală a benzii. La ghidajele fixe apare însă problema coeficientului de frecare ridicat. De aceea se

5. Clasificare după aplicațiile industriale

recomandă alimentarea ghidajelor cu aer sub presiune pentru a crea o pernă de aer. Alimentarea cu aer sub presiune presupune folosirea unui compresor, lucru care face ca întreaga instalație să fie scumpă și de gabarit mare. Un experiment interesant pentru aceste ghidaje texturate este prezentat în [Raeymaekers, 86]. Se constată că texturarea induce coeficienți de frecare scăzuți cu efecte majore la viteze de alunecare reduse ale benzii magnetice. Un model teoretic pentru un astfel de ghidaj texturat este prezentat în [Raeymaekers, 87]. Este rezolvată numeric ecuația Reynolds și calculată distribuția de presiuni. Rezolvarea numerică constă în aplicarea diferențelor finite. Se obține o bună corelație cu valorile experimentale. De asemenea s-a comparat modelul texturat cu unul netexturat din literatură și s-a obținut o viteză de tranziție de la mixt la hidrodinamic mai mică pentru ghidajul texturat.

S-au texturat lagăre radiale hidrodinamice cu canale atât longitudinale cât și transversale [Hargreaves, 42]. Adâncimea canalelor este de $6\mu\text{m}$ și lățimea lor este de $20\mu\text{m}$. S-a încercat reproducerea experimentală a comportării acestor lagăre în cazul motoarelor cu ardere internă. S-a realizat variația forței ca și în cazul unui motor cu ardere internă în doi timpi, dar cu valori mult mai reduse ale forței. S-a constatat o creștere a momentului de frecare în cazul lagărelor cu canale transversale. Lagărele cu canale longitudinale produc același moment de frecare ca și lagărul plan. S-a concluzionat că lagărele cu canale longitudinale

5. Clasificare după aplicațiile industriale

au un efect benefic la pornire prin retenția uleiului în aceste canale.

S-au texturat de asemenea lagăre radiale hidrodinamice prin prelucrare mecanică, obținându-se atât degajări de formă rotundă cu partea de jos circulară cât și prin procedeul de eroziune chimică obținându-se degajări circulare sau eliptice cu partea de jos plată [Lu, 59]. S-a măsurat coeficientul de frecare variindu-se turația lagărelor și s-a obținut astfel curba Stribeck. S-a obținut un coeficient de frecare mai mic în regimul de lubrificație limită și mixtă pentru lagărele texturate. Acest fenomen se poate explica prin retenția uleiului în degajări, acestea funcționând ca rezervoare de ulei.

În cazul calculului distribuției de presiuni la un lagăr radial texturat s-a constatat că modelul de cavitație Reynolds restrânge zona de cavitație față de modelul Elrod și Adams al conservării debitului [Ausas, 6]. În consecință momentul de frecare este mai mare în cazul modelului Reynolds. În cazul lagărelor netexturate diferențele între cele două modele sunt nesemnificative. De asemenea s-au obținut valori mai mari ale momentului de frecare în cazul lagărului texturat față de cel netexturat. S-a constatat de asemenea lipsa de conservare a debitului în cazul modelului Reynolds. Un articol publicat în aceeași perioadă încearcă să optimizeze geometria unui lagăr texturat folosind modelul Reynolds de cavitație [Tala-Ighil , 100].

5. Clasificare după aplicațiile industriale

Comportamentul la solicitări variabile a fost analizat în [Dong, 23]. S-a constatat că lagărele radiale texturate în zona de jos (unghi între 0 și 160°) cu distribuție totală reduc vibrațiile cuprinse între 0 și 2800rpm. Lagărele radiale texturate cu distribuție parțială reduc vibrațiile la o turație de peste 2800rpm. Traectoria centrului arborelui a fost de asemenea analizată. S-a constatat că o texturare a lagărului aplatizează această traiectorie scăzând astfel șansele de dezechilibru.

S-au analizat de asemenea lagăre radiale unse cu unsoare [Marian, 66] [Predescu, 83]. Articulațiile excavatoarelor sunt niște componente extrem de solicitate datorită condițiilor grele de lucru. Ungerea cu unsoare a acestor articulații este necesară pentru a prelungi durata de viață. Texturarea cu laser a suprafețelor creează niște rezervoare de lubrifiant care sporesc durata de viață a acestor articulații. În Figura 27 este reprezentat un bolț texturat într-o astfel de articulație.

5. Clasificare după aplicațiile industriale

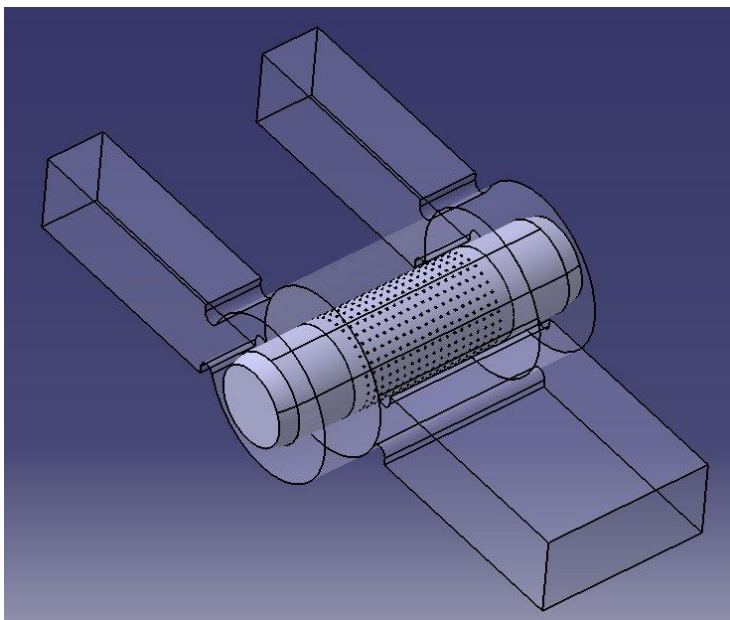


Figura 27

O schiță a unei degajări este prezentată în Figura 28. Se poate calcula densitatea de texturare optimă considerând că unsoarea stocată în degajare poate umple golurile dintre rugozități. Astfel se poate obține o densitate de texturare optimă pentru degajări.

5. Clasificare după aplicațiile industriale

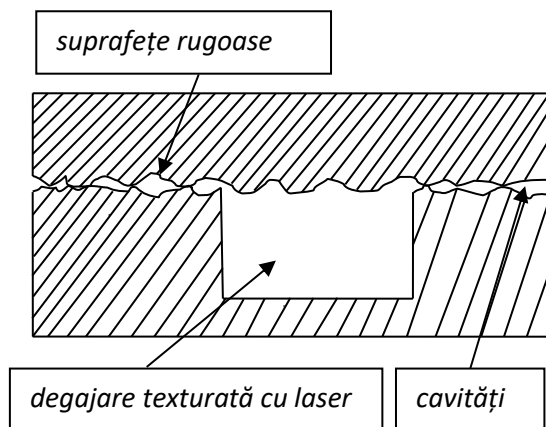


Figura 28 Schiță a unei degajări [67]

Pentru calculul golurilor dintre cele două suprafețe s-a realizat un model de contact folosind programul cu elemente finite MARC care are interfața grafică MENTAT. Rezultatele unei simulări de contact dintre o suprafață rigidă și una rugoasă sunt prezentate în Figura 29. Volumul golurilor a fost calculat folosind un script(program) în limbajul de programare Python.

5. Clasificare după aplicațiile industriale

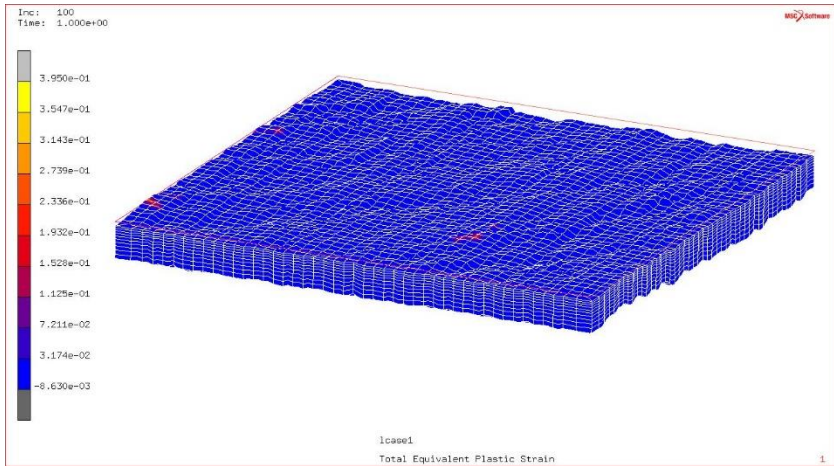


Figura 29 Simulare a contactului dintre două suprafețe

S-au efectuat și măsurători experimentale pe un stand de tip știft pe disc pentru a evalua coeficientul de frecare. O imagine reală a unui bolț texturat este prezentată în Figura 30.

5. Clasificare după aplicațiile industriale

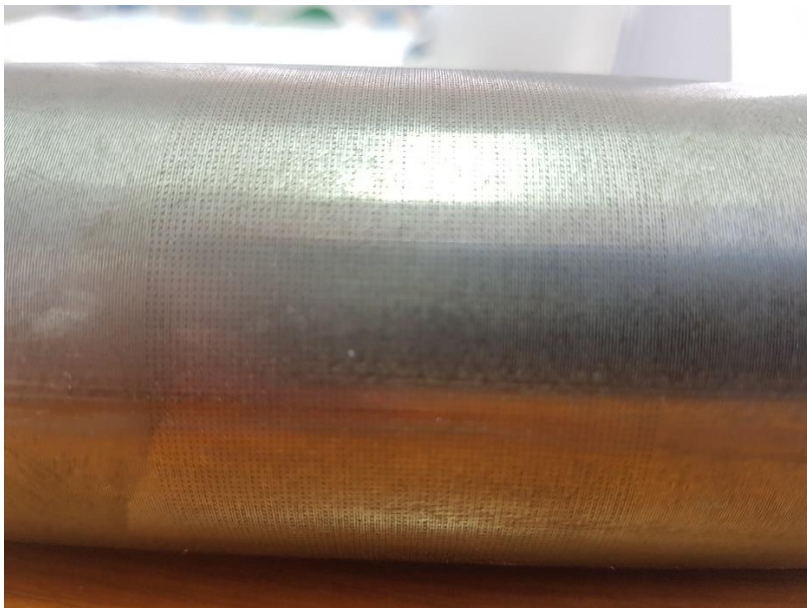


Figura 30 Bolț texturat

În referința [Arif, 5] este prezentat efectul combinării texturării cu alunecarea la perete. Se constată că prin această combinație se îmbunătățesc calitățile tribologice ale lagărelor radiale.

Un studiu experimental folosind lagăre radiale texturate este prezentat în [Filgueira, 27]. Lagărele radiale testate au diferite forme ale texturilor cu adâncimi de 5 și 10 micrometri, texturile aflându-se pe partea aflată în mișcare, adică pe arbore. Diverse forme de texturi sunt prezentate în figura de mai jos. Se constată că anumite forme ale texturilor conduc către o excentricitate mai mică, însă momentul de frecare măsurat este mai mare sau identic

5. Clasificare după aplicațiile industriale

cu cel al unui lagăr netexturat. Texturile în formă de săgeată produc o excentricitate mai mică decât geometria netexturată dacă săgeata este orientată în sensul rotației arborelui. Momentul de frecare este însă mai mare decât în cazul geometriei netexturate. Același lucru se întâmplă și în cazul geometriei de tip fierăstrău. În cazul texturilor eliptice în zig-zag respectiv aliniate excentricitatea este mai mică decât în cazul geometriei netexturate iar momentul de frecare este identic.

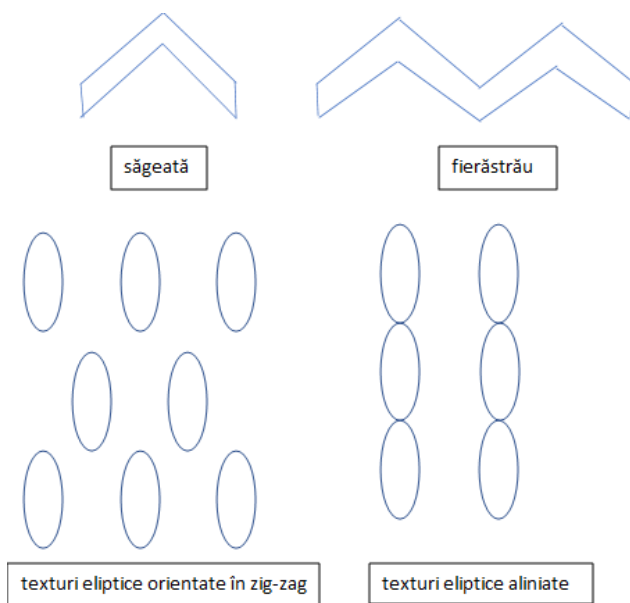


Figura 31 Diverse forme ale degajărilor

5. Clasificare după aplicațiile industriale

5.3 Etanșări mecanice

Asperități de formă triunghiulară au fost realizate prin eroziune chimică pe suprafața unei etanșări mecanice în [Otto, 74]. Se poate constata că aceste asperități diminuează pierderile de lichid prin capacitatea de pompare a lubrifiantului în zona lichidului etanșat. Au fost testate mai multe variante și s-a constatat o creștere a capacității de pompare cu numărul asperităților. De asemenea datorită ratei ridicate de pompare s-a constatat un fenomen de lubrificație săracă. Dacă orientarea asperităților variază acest fenomen e înlăturat ducând la o configurație optimă.

Alte studii în acest domeniu sunt prezentate în [Etsion, 26],[Guichelaar, 38],[Yu, 112]. Din analiza teoretică și experimentală a etanșărilor prezentate în acest articole se constată o îmbunătățire a performanțelor etanșărilor mecanice prin texturare. Degajările constituind rezervoare de lubrifiant, pornirea funcționează de asemenea în condiții optime. O schiță a unei etanșări mecanice parțial texturate este prezentată în Figura 32.

5. Clasificare după aplicațiile industriale

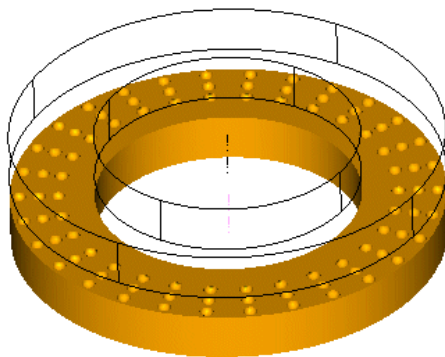


Figura 32 Etanșare mecanică texturată [63]

În [Burstein, 13] s-a modelat teoretic o etanșare mecanică cu două tipuri de degajări : degajări cilindrice și degajări cu profil exponențial. S-a determinat raportul optim dintre adâncime și diametru pentru a obține o forță portantă maximă. De asemenea se poate determina numărul optim al degajărilor.

S-a constatat experimental o reducere a coeficientului de frecare la etanșările mecanice cu suprafețe ceramice la care una din suprafețe este texturată cu ajutorul tehnologiei laser [Hoppermann, 43].

S-au efectuat de asemenea încercări experimentale în cazul etanșărilor cu gaze [McNickle, 69] în care s-a texturat unul dintre inele cu ajutorul unui fascicul laser. S-a constatat o mai mică variație a momentului de frecare cât și a temperaturii statorului în cazul etanșării texturate. Valorile maxime însă au rămas similare

5. Clasificare după aplicațiile industriale

la finalul încărcării în trepte. Inspecțiile din punct de vedere al uzurii sunt neconcludente.

5.4 Etanșări radiale

Asperități de formă triunghiulară au fost create pe arbore în zona etanșării radiale în [Otto, 74]. Zona din jurul asperităților a fost acoperită cu un material plastic, un poliuretan cu bisulfură de molibden și oxid de titan. Acest material are o bună capacitate de protecție împotriva coroziunii, menține o lubrificație limită și o înălțime a asperităților de $80\mu\text{m}$ datorită uzurii mai rapide a materialului plastic față de asperitățile metalice. Pierderile de lichid au fost micșorate prin introducerea unor astfel de asperități. S-a constatat de asemenea durată de viață îmbunătățită a acestor etanșări comparativ cu o etanșare radială convențională.

5.5 Motoare cu ardere internă

Motoarele cu ardere internă reprezintă o altă aplicație a suprafețelor texturate. Se poate textura cilindrul motorului, degajările funcționând ca rezervoare de lubrifianți care diminuează volumul de material uzat și coeficientul de frecare în zonele de lubrificație limită și mixtă, adică în apropierea punctului mort superior și inferior [Golloch, 34], [Abeln, 1], [Golloch, 35].

5. Clasificare după aplicațiile industriale

Prin măsurători ale grosimii de film s-a constatat că grosimea filmului de lubrifianț este mai mare în apropierea punctului mort superior respectiv inferior pentru cilindrul texturat față de cel netexturat [Golloch, 34]. Grosimea de film a fost măsurată cu ajutorul unor senzori de deplasare montați în segmenti. De asemenea volumul de material uzat este mai mic pentru cilindrul texturat față de cel netexturat.

Este extrem de interesantă metoda experimentală folosită în [Golloch, 35] pentru determinarea forței de frecare. O descriere mai amănunțită a procesului de texturare pentru cilindrii motoarelor cu ardere internă este descrisă în [Abeln, 1]. O analiză teoretică și experimentală asupra unei bucăți de cilindru texturat este realizată în [Vlădescu, 104]. În acest articol sunt măsurate coeficientul de frecare și grosimea filmului de lubrifianț. O determinare experimentală a volumului de material uzat este realizată în [Corniani, 16]. În această lucrare se iradiază specimenul și volumul de material uzat este măsurat cu ajutorul particulelor iradiate. O altă soluție o reprezintă texturarea segmentilor. O modelare teoretică a fenomenului de lubrificație hidrodinamică pentru un segment complet texturat este prezentată în [Raeymaekers, 86]. Ecuația Reynolds este rezolvată folosind metoda cu diferențe finite. O altă modelare teoretică a fenomenului de lubrificație hidrodinamică pentru un segment parțial texturat este prezentată în [Klingerman, 49]. Este de

5. Clasificare după aplicațiile industriale

asemenea calculată fracțiunea de texturare optimă pentru a obține o forță de frecare minimă.

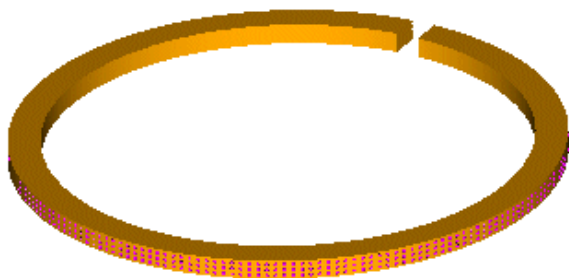


Figura 33 Segment parțial texturat [63]

5.6 Cuplajele multidisc

În contextul actual al economiei de carburant cuplajele multidisc trebuie să dețină o greutate cât mai mică și implicit să permită disiparea unei energii cât mai mari pe kilogram. Ținând cont de aceste cerințe s-a constatat că o cuplare a unui material ceramic cu oțelul oferă coeficienți de frecare ridicați. În [Wauthier, 107] s-a testat influența suprafețelor texturate asupra coeficientului de frecare pentru două tipuri de uleiuri. Texturarea s-a realizat sub forma unei rețele de canale de $100\mu\text{m}$ lățime la distanța de $200\mu\text{m}$ și cu o adâncime de $10\mu\text{m}$. S-a folosit un stand de tip știft pe disc. S-a constatat că suprafețele texturate prezintă un coeficient de frecare mai mare față de suprafețele netexturate.

5. Clasificare după aplicațiile industriale

5.7 Rulmenți

O altă aplicație o constituie rulmenții. În scopul diminuării coeficientului de frecare și a uzării se poate textura colivia rulmentului.

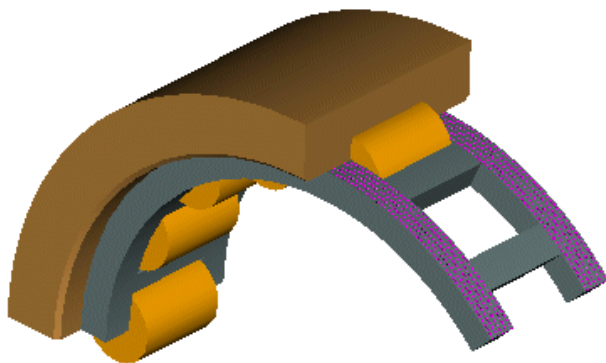


Figura 34 Colivie texturată a unui rulment [63]

5.8 Hard-diskuri

Industria hard diskurilor este sub presiunea permanentă de a îmbunătăți sistemele astfel încât să crească densitatea datelor stocate. În [Hu, 45] este analizat efectul texturării asupra traiectoriei capului AAB al hard-diskurilor. S-au folosit două tipuri de texturare : “Sombrero” și “Volcano”. S-a dezvoltat și un model teoretic în acest sens.

5. Clasificare după aplicațiile industriale

5.9 Procese de deformare plastică a metalelor

Un model teoretic pentru suprafețele texturate în cazul proceselor de deformare plastică a metalelor este prezentat în [Lo, 58]. Dacă suprafața metalului prelucrat este texturată, lubrifiantul din degajări, sub efectul presiunii de apăsare, al vitezei de alunecare și al deformației pieselor poate lubrifia interfața dintre piese. S-a constatat că produsul dintre viscozitatea lubrifiantului și viteza de alunecare poate fi folosit pentru a prezice dacă efectul micro-plasto-hidrodinamic are loc sau nu.

Influența benefică a texturării suprafețelor asupra coeficientului de frecare în cazul proceselor de deformare plastică a metalelor este prezentată în [Barber, 7]. Standul experimental simulează un procedeu de laminare puțin modificat și măsoară coeficientul de frecare în cadrul acestui proces. Suprafețele tablei sunt texturate cu ajutorul tehnologiei laser. S-a constatat o scădere a coeficientului de frecare cu viteza de alunecare în cazul suprafețelor texturate lubrificate. De asemenea coeficientul de frecare este mai mic în cazul suprafețelor texturate decât în cazul celor sablate atât în regim de frecare uscată cât și în regim de frecare fluidă.

5.10 Procese de prelucrare prin așchiere

Studii experimentale și teoretice în care scula de așchiere a fost texturată cu ajutorul fascicului laser sunt prezentate în [Lei, 55].

5. Clasificare după aplicațiile industriale

S-a constatat o scădere a forței de așchiere și a coeficientului de frecare pentru scula texturată față de cea netexturată. Acest fenomen se produce atât în cazul lubrificației cu lubrifiant lichid cât și în cazul lubrificației cu lubrifiant solid.

În [Deng, 20] s-au fabricat suprafețe texturate folosind tehnologia micro-EDM (electrical discharge machining). Aceste suprafețe texturate au fost acoperite cu lubrifiant solid. Plăcuțele din carbură astfel texturate au prezentat coeficienți de frecare mai mici față de plăcuțele convenționale. De asemenea forțele de tăiere și temperaturile plăcuțelor texturate au fost mai reduse.

Efectul texturării asupra plăcuțelor de prelucrare metalică a mașinilor unelte este analizat în [Zhou, 115]. Se constată o bună corelație între simularea cu elemente finite și rezultatele experimentale. Texturarea s-a realizat cu ajutorul unui fascicul laser și este de tip vulcan. Se constată o scădere a forțelor de așchiere și a temperaturilor de prelucrare în cazul plăcuțelor texturate față de cele netexturate. De asemenea suprafața de uzare adezivă este mai mare în cazul plăcuțelor texturate față de cele netexturate.

5.11 Cutii de viteze cu variator

Cutiile de viteze cu variator sunt (CVT-continuously variable transmission) sunt cutii automate în care raportul de transmitere variază continuu prin intermediul unui variator. Acest variator

5. Clasificare după aplicațiile industriale

este format din două piese conice între care este plasată o curea metalică de formă trapezoidală (Figura 35). Cureaua prezentată în figură este o curea metalică denumită “push belt” deoarece funcționează prin împingere, fiind constituită din elemente metalice care formează o bară rigidă în procesul de funcționare. Piesele conice sunt deplasate orizontal pentru a efectua variația raportului de transmitere.

Avantajul principal al acestei cutii de viteze constă într-o ajustare precisă a raportului de transmitere pentru a menține motorul în parametri de consum minim. Una din probleme este reprezentată de alunecarea curelei în procesul de funcționare, lucru care conduce la o scădere a randamentului cutiei de viteze și la o uzare prematură a roților de curea.

5. Clasificare după aplicațiile industriale

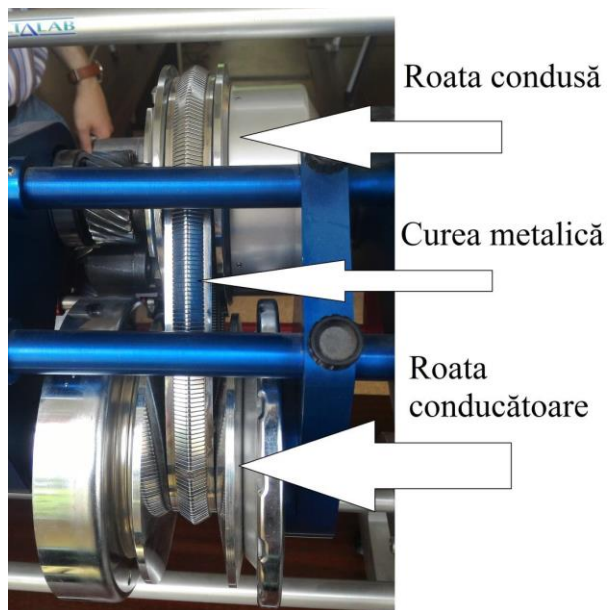


Figura 35 Roți conice cu curea metalică interpusă

Texturarea suprafețelor ar putea îmbunătăți situația prezentată anterior [Ito, 47]. Printr-o prelucrare cu fascicul laser se poate realiza o anizotropie din punct de vedere al coeficientului de frecare. Astfel în direcție circumferențială coeficientul de frecare este mai mare (pentru a asigura o bună aderență a curelei) în comparație cu direcția radială unde o nevoie de un coeficient de frecare redus pentru reglarea raportului de transmitere. În [Ito, 47] s-au analizat mai multe forme de degajări.

5. Clasificare după aplicațiile industriale

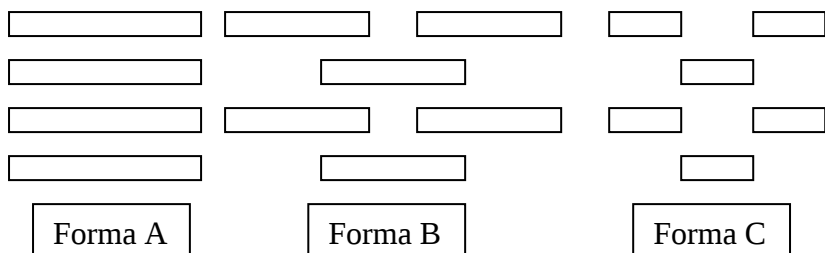


Figura 36 Forme analizate în [47]

S-a constatat că forma A produce cea mai mare anizotropie din punct de vedere al coeficientului de frecare (Figura 36). De asemenea coeficientul de frecare este cel mai mic pentru această formă și distribuție a degajărilor în cazul experimentelor desfășurate pe un aparat de tip cilindru pe plan. S-a constatat o directă corelație între coeficientul de frecare și lungimea de frecare. S-a constatat că forța de frecare crește cu lungimea de frecare calculată acolo unde apare contactul dintre corpuri (zona cilindru peste degajare nu este luată în calcul).

5.12 Texturarea acelor medicale

Influența texturării asupra coeficientului de frecare în cazul acelor medicale este prezentată în [Wang, 106]. S-a constatat că texturarea sporește coeficientul de frecare al acelor medicale în contact cu țesutul uman. S-au realizat degajări în formă de tetraedru cu ajutorul tehnologiei laser.

5. Clasificare după aplicațiile industriale

Sursa forței de frecare este constituită din două componente. Pe de o parte una din componentele forței de frecare scade cu suprafața de contact iar pe de altă parte cealaltă componentă crește datorită contactului dintre țesutul uman și marginile suprafeței texturate. Țesutul uman se mulează pe degajare astfel că există frecare ridicată între muchia degajării și țesut.

S-a constatat că forța de frecare crește cu dimensiunea degajărilor și cu numărul acestora pe direcție circumferențială. Adâncimea degajărilor nu are efect asupra forței de frecare.

5.13 Texturarea componentelor unei supape de trecere la sarcină redusă

O supapă de trecere la sarcină redusă, cunoscută și sub numele de supapă de descărcare este folosită pentru încărcarea unui acumulator hidraulic de către o pompă. Este folosită în cazul pompelor mari sau acolo unde se evită pornirile și opririle repetate ale pompei la încărcarea acumulatorului hidraulic [Marian, 62]. O secțiune a supapei este prezentată în Figura 37. Ea este compusă dintr-o carcasă (1), un sertar principal (2), un piston pilot (3), un arc (4), un drossel (5) și o supapă de sens unic (6). Supapa este folosită în minele de cărbune unde pompa alimentează stâlpii de susținere a galeriei. Acești stâlpi trebuie menținuți continuu în presiune de către un acumulator hidraulic. O altă aplicație o reprezintă excavatoarele unde există un acumulator pentru menținerea în presiune a circuitului. Pompa

5. Clasificare după aplicațiile industriale

este acționată de către motorul cu ardere internă și funcționează continuu. Supapa mai poate fi întâlnită și la sistemele de despicat buștenii din lemn și la sistemele cu jet de apă sub presiune.

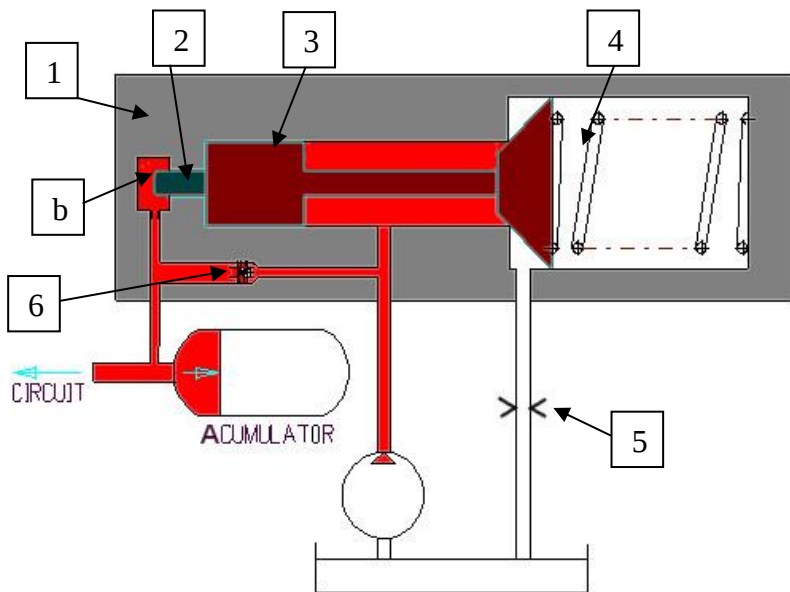


Figura 37 Secțiune a unei supape de trecere la sarcină redusă în poziția închis

Poziția supapei atunci când acumulatorul este descărcat este prezentată în Figura 37 respectiv Figura 38. Datorită presiunii reduse setarul principal (3) este închis. În această fază pompa este legată la acumulatorul hidraulic și încarcă acest acumulator. Supapa de sens unic (6) este deschisă.

5. Clasificare după aplicațiile industriale

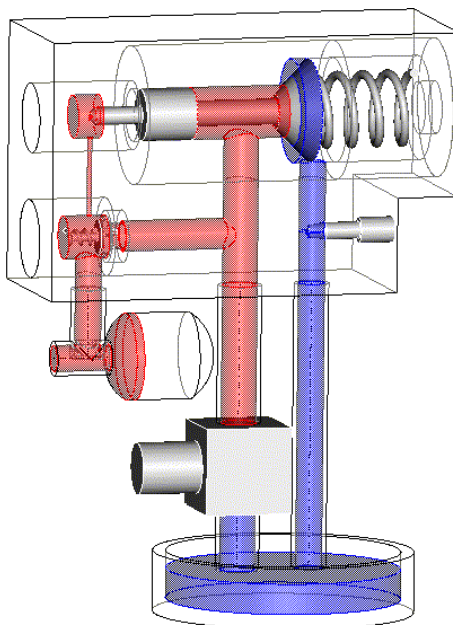


Figura 38 Faza de încărcare a acumulatorului de către pompa hidraulică

După atingerea presiunii maxime admise în acumulator supapa trece în poziția prezentată în Figura 39. Datorită presiunii exercitată în camera b asupra pistonușului-pilot (2), acesta apasă pe sertarul principal (3) și acesta se deschide, pompa fiind astfel legată la rezervor și funcționează la o presiune redusă reglată cu ajutorul șurubului (5). Astfel se realizează o economie de energie în comparație cu cazul utilizării unui limitator de presiune clasic. Când presiunea din acumulator scade sertarul principal (3) se

5. Clasificare după aplicațiile industriale

menține deschis datorită forței suplimentare generată de diametrul mare al sertarului principal (3).

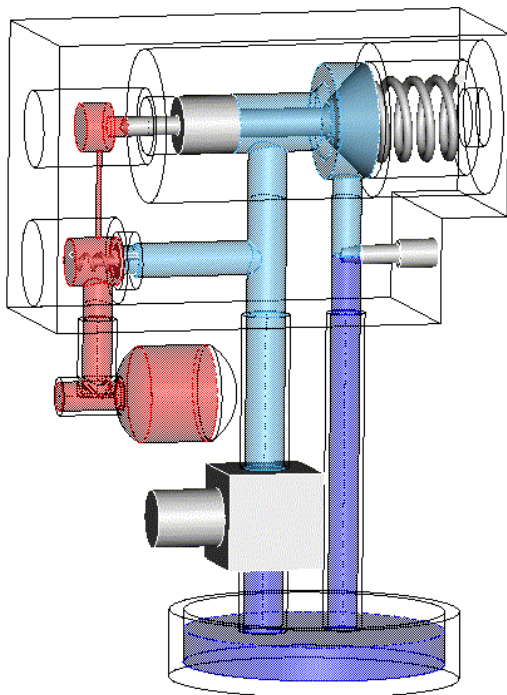


Figura 39 Faza de deschidere a supapei și de trecere a acesteia la sarcină redusă

În scopul diminuării uzării pieselor (2) și (3) aflate în mișcare se utilizează texturarea suprafețelor acestora prin crearea de canale prezentate în Figura 40 respectiv Figura 41. Texturarea mai poate fi realizată și cu ajutorul fasciculului laser sau prin eroziune chimică.

5. Clasificare după aplicațiile industriale

de alimentare și refulare se poate diminua uzarea și crește randamentul. Texturarea s-a realizat cu ajutorul fasciculului laser, realizându-se degajări de formă cuboidală. Pompa netexturată și cea texturată au fost testate pe un stand experimental, măsurându-se randamentul volumetric și cel mecanic. S-a constatat că prin texturare randamentul volumetric al pompei crește cu 1,4% iar cel mecanic cu 2,6%.

A fost studiată și influența texturării asupra lagărelor axiale ale unei pompe cu pistoane axiale [Ye, 110]. S-a rezolvat ecuația Reynolds cuplată cu un model de deformare elastică a suprafețelor. S-a constatat că texturarea lagărelor axiale are ca efect creșterea grosimii minime a filmului de lubrifiant. Acest lucru conduce la scăpări mai mari de debit, dar se poate obține și un moment de frecare mai mic.

6. Crearea de suprafețe hidrofobe și oleofobe cu ajutorul suprafețelor texturate

6 Crearea de suprafețe hidrofobe și oleofobe cu ajutorul suprafețelor texturate

Suprafețele hidrofobe și oleofobe pot genera aplicații interesante. Aceste suprafețe se caracterizează printr-un efect de autocurățare, putându-se genera și eventual amplifica efectul de alunecare la perete. În [Yanagishita, 109] este prezentat procesul de realizare de suprafețe texturate de dimensiuni nanometrice folosind alumina poroasă. Suprafețele se prezintă sub formă de nanostâlpi de diferite forme. Unghiul de contact al picăturilor de apă respectiv ulei crește cu procentajul de aer dintre nanostâlpi. Este de menționat că unghiul de contact crește cu hidrofobicitatea (Figura 42).

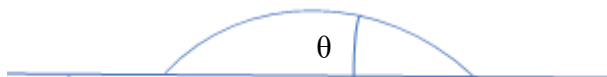


Figura 42 Prezentarea unghiului de contact în cazul suprafețelor hidrofobe sau oleofobe

De asemenea tensiunea superficială a apei este mai mare decât a uleiului astfel că suprafețele hidrofobe sunt mai ușor de realizat decât cele oleofobe.

Forma vârfului stâlpișorilor influențează unghiul de contact atât în cazul apei cât și al uleiului. Dacă în cazul apei acest efect este scăzut în cazul uleiului acest efect este ridicat.

7. Starea actuală a cunoașterii în domeniul suprafețelor texturate

7 Starea actuală a cunoașterii în domeniul suprafețelor texturate

Mai multe articole prezintă stadiul actual al cunoașterii în domeniu. Primul datează din 2005 și este prezentat de profesorul Etsion [24].

Starea actuală a cunoașterii în domeniul suprafețelor texturate este prezentată și în [Ibatan, 46]. Lucrările sunt grupate pe capitole cum ar fi fabricația suprafețelor texturate, efectul formeii degajărilor asupra performanțelor tribologice, efectele texturării în contactul lubrifiat și în cel nelubrifiat, modelări folosind ecuațiile Reynolds și Navier-Stokes, combinația dintre texturare și straturi subțiri.

Articole interesante care prezintă progrese în domeniul texturării sunt prezentate în [Gropper, 37]. Aceste începe cu o prezentare istorică a suprafețelor texturate, subliniind evoluția crescândă în timp a numărului de lucrări. Articolul prezintă de asemenea și procentual lucrările teoretice, experimentale și teoretico-experimentale. Lucrarea este foarte bine documentată, cuprinzând 193 de referințe bibliografice. Se continuă apoi cu aplicații ale suprafețelor texturate cum ar fi lagărele axiale și radiale. Se continuă apoi cu prezentarea ecuațiilor fundamentale, a fenomenului de cavitație și cu metodele numerice de rezolvare a ecuațiilor.

7. Starea actuală a cunoașterii în domeniul suprafețelor texturate

Alt articol ce prezintă stadiul actual în domeniu este [Gachot, 30].

Stadiul actual al cunoașterii în domeniul lagărelor cu alunecare este prezentat în [Song, 97]. Sunt prezentate atât lagăre radiale texturate cât și lagăre axiale texturate.

8. Bibliografie

8 Bibliografie

1. Abeln, T., Klink, U., ***Laserstrukturierung-Verbesserung der tribologischen Eigenschaften von Oberflächen***, 14th International Colloquium Tribology, Esslingen, Germany, Vol.1, pp.315-319, 2004
2. Alberdi, A., Merino, S., Barriga, J., Arazabe, A., ***Microstructured surfaces for tribological applications***, 14th International Colloquium Tribology, Esslingen, pp.269-278, 2004
3. Andersson, P., J. Koskinen, S. Varjus, Y. Gerbig, H. Haefke, S. Georgiou, B. Zhmud, and W. Buss. 2007. ***“Microlubrication Effect by Laser-Textured Steel Surfaces.”*** Wear 262 (3): 369–79. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2006.06.003>.
4. Arghir, Mihai, Nicolas Roucou, Mathieu Helene, and Jean Frene. 2003. ***“Theoretical Analysis of the Incompressible Laminar Flow in a Macro-Roughness Cell.”*** Journal of Tribology 125 (2): 309–18.
5. Arif, Mohammad, Dinesh Kumar Shukla, Saurabh Kango, and Nitin Sharma. 2020. ***“Implication of Surface Texture and Slip on Hydrodynamic Fluid Film Bearings: A Comprehensive Survey.”*** Tribology Online 15 (4): 265–82.

8. Bibliografie

6. Ausas, Roberto, Patrick Ragot, Jorge Leiva, Mohammed Jai, Guy Bayada, and Gustavo C. Buscaglia. 2007. “***The Impact of the Cavitation Model in the Analysis of Microtextured Lubricated Journal Bearings***” *Journal of Tribology* 129 (4): 868–75
7. Barber, G. C., H. GAO, and S. C. TUNG. 2005. “***Experimental Study on the Friction Characteristics of Lasertex Steel Sheets During Metal Forming Process.***” *Tribology Transactions* 48 (2): 245–49. <https://doi.org/10.1080/05698190590929099>.
8. Baroud, Charles, Ilene Busch-Vishniac, and Kristin Wood. 1999. “***Induced Micro-Variations in Hydrodynamic Bearings.***” *Journal of Tribology* 122 (3): 585–89
9. Billy, Frédéric, Mihai Arghir, and Gérard Pineau. 2005. “***Navier–Stokes Analysis of a Regular Two-Dimensional Roughness Pattern Under Turbulent Flow Regime***” *Journal of Tribology* 128 (1): 122–30.
10. Bouyer, Henry, Y., J. and Fillon., M., 2018. “***Experimental Analysis of the Hydrodynamic Effect during Start-up of Fixed Geometry Thrust Bearings.***” *Tribology International* 120 (April): 299–308.
11. Braun, Daniel, Christian Greiner, Johannes Schneider, and Peter Gumbsch. 2014. “***Efficiency of Laser Surface Texturing in the Reduction of Friction under Mixed***

8. Bibliografie

- Lubrication.***” *Tribology International* 77 (September): 142–47.
12. Brizmer V, Klingerman, Y, Etsion, I., ***A laser surface textured parallel thrust bearing***, *Tribology Transactions*, Vol 46, No 3, pp. 397-403, 2003
13. Burstein, Leonid, and Dov Ingman. 1999. “***Effect of Pore Ensemble Statistics on Load Support of Mechanical Seals With Pore-Covered Faces.***” *Journal of Tribology* 121 (4): 927–32
14. Caramia, Giovanni, Giuseppe Carbone, and Pietro De Palma. 2015. “***Hydrodynamic Lubrication of Micro-Textured Surfaces: Two Dimensional CFD-Analysis.***” *Tribology International* 88 (August): 162–69.
15. Chen, Tianyang, Jinghu Ji, Yonghong Fu, Penglin Tian, Jiapeng Zhou, and Xiping Yang. 2022. “***Tribological Analysis of Picosecond Laser Partially Textured Thrust Bearings with Circular Grooves Machined: Theory and Experiment.***” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology* 236 (1): 105–22.
16. Corniani, E., Vilhena, L.M., Marian, V.G., Jech, M., Rodriguez Ripoll, M., Sedláček, M., Ditroi, F., Franek, F., ***Experimental wear volume analysis on Al-Si-Cu laser textured cylinder liners using thin layer activation***

8. Bibliografie

- technique**, 4th World Tribology Congress, Kyoto, 6-11 September 2009.
17. Costa, H. L., and I. M. Hutchings. 2007. ***Hydrodynamic Lubrication of Textured Steel Surfaces under Reciprocating Sliding Conditions***. *Tribology International* 40 (8): 1227–38.
 18. Cross, Andrew T., Farshid Sadeghi, Lijun Cao, Richard G. Rateick, and Scott Rowan. 2012. “***Flow Visualization in a Pocketed Thrust Washer***.” *Tribology Transactions* 55 (5): 571–81. <https://doi.org/10.1080/10402004.2012.681343>.
 19. Demir, Ali Gökhan, Barbara Previtali, and Nora Lecis. 2013. “***Development of Laser Dimpling Strategies on TiN Coatings for Tribological Applications with a Highly Energetic Q-Switched Fibre Laser***.” *Optics & Laser Technology* 54 (December): 53–61..
 20. Deng, Jianxin, Wenlong Song, Hui Zhang, Pei Yan, and Aihua Liu. 2011. “***Friction and Wear Behaviors of the Carbide Tools Embedded with Solid Lubricants in Sliding Wear Tests and in Dry Cutting Processes***.” *Wear* 270 (9): 666–74.
 21. Dobrică, M B, and M Fillon. 2009. “***About the Validity of Reynolds Equation and Inertia Effects in Textured Sliders of Infinite Width***.” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology* 223 (1): 69–78.

8. Bibliografie

22. Dobrica, M B, M Fillon, M D Pascovici, and T Cicone. 2010. ***Optimizing Surface Texture for Hydrodynamic Lubricated Contacts Using a Mass-Conserving Numerical Approach.*** *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology* 224 (8): 737–50.
23. Dong, Jian, Xiaojing Wang, Jin Zhang, Xiaoqing Xiang, Zhou Nie, and Jiexi Shen. 2017. “***An Experimental Research on the Vibration of Surface-Textured Journal Bearings.***” *Shock and Vibration* 2017 (May): e1261826..
24. Etsion, Izhak. 2005. “***State of the Art in Laser Surface Texturing.***” *Journal of Tribology* 127 (1): 248–53.
25. Etsion, I., Halperin, G., Brizmer, V., Kligerman, Y., ***Experimental investigation of laser surface textured parallel thrust bearings,*** *Tribology Letters*, Vol.17, No.2, pp.295-300, August 2004
26. Etsion, I., Kligerman, Y. and Halperin, G., ***Analytical and experimental investigation of laser-textured mechanical seal faces,*** *Tribology Transactions*, Vol 42, No. 3,pp. 511-516, 1999
27. Filgueira Filho, I. C. M., A. C. Bottene, E. J. Silva, and R. Nicoletti. 2021. “***Static Behavior of Plain Journal Bearings with Textured Journal - Experimental Analysis.***” *Tribology International* 159 (July): 106970.

8. Bibliografie

28. Fowell, M., A. V. Olver, A. D. Gosman, H. A. Spikes, and I. Pegg. 2006. “**Entrainment and Inlet Suction: Two Mechanisms of Hydrodynamic Lubrication in Textured Bearings.**” *Journal of Tribology* 129 (2): 336–47
29. Fu, Yonghong, Jinghu Ji, and Qinsheng Bi. 2012. “**The Influence of Partially Textured Slider with Oriented Parabolic Grooves on the Behavior of Hydrodynamic Lubrication.**” *Tribology Transactions* 55 (2): 210–17.
30. Gachot, C., A. Rosenkranz, S. M. Hsu, and H. L. Costa. 2017. “**A Critical Assessment of Surface Texturing for Friction and Wear Improvement.**” *Wear* 372–373 (February): 21–41. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2016.11.020>.
31. Geng, Yu, Mingyang Lou, Heng Liu, Shemiao Qi, Yi Liu, and Wei Chen. 2023. “**Global Sensitivity Analysis of Hydrodynamic Lubrication Performance for Textured Surfaces.**” *Tribology International* 177 (January): 107987
32. Glavaskih, S. B., McCarthy, D.M.C. and I. Sherrington. 2005. “**Hydrodynamic Performance of a Thrust Bearing with Micropatterned Pads.**” *Tribology Transactions* 48 (4): 492–98.
33. Ghercă, A., A. Fatu, M. Hajjam, and P. Maspeyrot. 2016. “**Influence of Surface Texturing on the Hydrodynamic Performance of a Thrust Bearing Operating in Steady-State**

8. Bibliografie

- and Transient Lubrication Regime.***” *Tribology International* 102 (October): 305–18.
34. Golloch, R., Brinkmann, S., Bodschwinn, H., Merker, G.P., „***Schmierungs- und Verschleißverhalten laserstrukturierter Zylinderlaufbuchsen***”, *Tribologie und Schmierungstechnik*, 49 Jahrgang 5/2002.
35. Golloch, R., Merker, G.P., Kessen, U., Brinkmann, S., ***Benefits of laser-structured cylinder liners for internal combustion engines***, 14th International Colloquium Tribology, Esslingen, Germany, Vol.1, pp.321-328, 2004
36. Gropper, Daniel, Terry J. Harvey, and Ling Wang. 2018. ***“Numerical Analysis and Optimization of Surface Textures for a Tilting Pad Thrust Bearing.”*** *Tribology International* 124 (August): 134–44.
37. Gropper, Daniel, Ling Wang, and Terry J. Harvey. 2016. ***“Hydrodynamic Lubrication of Textured Surfaces: A Review of Modeling Techniques and Key Findings.”*** *Tribology International* 94 (February): 509–29. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2015.10.009>.
38. Guichelaar, P., Pride, S., Folkert, K., and I. Etsion. 2002. ***“Effect of Micro-Surface Texturing on Breakaway Torque and Blister Formation on Carbon-Graphite Faces in a Mechanical Seal.”*** *Lubrication Engineering* 58 (October): 16–21

8. Bibliografie

39. Haefke, H., Cerbig, Y., Gabriel, D., Romano, V., ***Microtexturing of functional surfaces for improving their tribological performance***, 2000, Proceedings of the international tribology conference, Nagasaki, 2000, pp 217-221
40. Haosheng, Chen, Chen Darong, and Li Yongjian. 2005. ***“Investigation on Effect of Surface Roughness Pattern to Drag Force Reduction Using Rotary Rheometer.”*** Journal of Tribology 128 (1): 131–38. <https://doi.org/10.1115/1.2125969>.
41. Hamilton, D.B., Walowit, J.A., Allen, C.M., ***A Theory of Lubrication by Micro-irregularities***, ASME-ASLE Lubrication Conference, October 18-20 Paper No. 65-Lub-11, 1965.
42. Hargreaves, D. J., and D. Armatys. 1999. ***“Performance of a Microgrooved Journal Bearing under Steady and Dynamic Loading.”*** Tribotest 5 (3): 277–86.
43. Hoppermann, A., and Kordt, M., 2002. ***“Tribological Optimisation with Laser-Structured Contact Surfaces*** [Tribologische Optimierung Durch Laserstrukturierte Kontaktflächen].” *Olhydraulik Und Pneumatik* 46 (September): 560–64.

8. Bibliografie

44. Hoppermann, A., 2004, „**Laserstrukturierte Kontaktflächen**“, *Olhydraulik Und Pneumatik* Volume 48, Issue 10, pp. 630–634.
45. Hu, Yong, and David B. Bogy. 1998. “**Effects of Laser Textured Disk Surfaces on a Slider’s Flying Characteristics.**” *Journal of Tribology* 120 (2): 266–71.
46. Ibatan, T., M.S. Uddin, and M.A.K. Chowdhury. 2015. “**Recent Development on Surface Texturing in Enhancing Tribological Performance of Bearing Sliders.**” *Surface and Coatings Technology* 272 (June): 102–20. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.04.017>.
47. Ito, Shota, Kenta Takahashi, and Shinya Sasaki. 2020. “**Generation Mechanism of Friction Anisotropy by Surface Texturing under Boundary Lubrication.**” *Tribology International*, 45th Leeds-Lyon Symposium on Tribology “Smart Tribology Systems,” 149 (September): 105598.
48. Kovalchenko, A., Ajayi O., Erdemir A., Fenske G., Etsion I., **The effect of laser surface texturing on transitions in lubrication regimes during unidirectional sliding contact**, *Tribology International*, Vol 38, pp.219-225, 2005
49. Klingerman, Y., Etsion, I., Shinkarenko, A., **Improving Tribological Performance of piston rings by partial surface texturing**, *Journal of Tribology*, Vol. 127, pp.632-638, 2005

8. Bibliografie

50. Kraker, Alex de, Ron A. J. van Ostayen, Daniel J. Rixen, and Anton van Beek. 2008. ***A Multiscale Method Modeling Surface Texture Effects***. In , 485–97. American Society of Mechanical Engineers Digital Collection
51. Křupka, I., and M. Hartl. 2007. “***The Effect of Surface Texturing on Thin EHD Lubrication Films***.” *Tribology International* 40 (7): 1100–1110.
52. Křupka, I., R. Poliščuk, and M. Hartl. 2009. “***Behavior of Thin Viscous Boundary Films in Lubricated Contacts between Micro-Textured Surfaces***.” *Tribology International* 42 (4): 535–41.
53. Kumar, Vijay, Rajeev Verma, Saurabh Kango, and Vishal S Sharma. 2021. “***Recent Progresses and Applications in Laser-Based Surface Texturing Systems***.” *Materials Today Communications* 26 (March): 101736. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2020.101736>.
54. Lan, Pixiang, Reza Gheisari, Jacob L. Meyer, and Andreas A. Polycarpou. 2020. “***Surface Micro-Texturing by Hot Sintering for Advanced Bearing Polymers for Friction Reduction Under Boundary Lubrication***.” *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing* 21 (6): 1025–34.
55. Lei, Shuting, Sasikumar Devarajan, and Zenghu Chang. 2009. “***A Study of Micropool Lubricated Cutting Tool in***

8. Bibliografie

- Machining of Mild Steel.***” Journal of Materials Processing Technology 209 (3): 1612–20.
<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.04.024>.
56. Lian, Yunsong, Chaoping Xie, Chenliang Mu, Shuiyuan Yang, and Bin Yao. 2019. “***Preparation Technology of Micro-Textured Tools Fabricated by Inductively Coupled Plasma Etching.***” *Surface and Coatings Technology* 370 (July): 177–86.
57. Liu, Yayun, Lili Liu, Jianxin Deng, Rong Meng, Xueqian Zou, and Fengfang Wu. 2017. “***Fabrication of Micro-Scale Textured Grooves on Green ZrO₂ Ceramics by Pulsed Laser Ablation.***” *Ceramics International* 43 (8): 6519–31.
58. Lo, Sy-Wei, and William R. D. Wilson. 1999. “***A Theoretical Model of Micro-Pool Lubrication in Metal Forming.***” *Journal of Tribology* 121 (4): 731–38.
59. Lu, Xiaobin, and M. M. Khonsari. 2007. “***An Experimental Investigation of Dimple Effect on the Stribeck Curve of Journal Bearings.***” *Tribology Letters* 2 (27): 169–76
60. Lu, Ping, Robert J. K. Wood, Mark G. Gee, Ling Wang, and Wilhelm Pfleging. 2018. “***A Novel Surface Texture Shape for Directional Friction Control.***” *Tribology Letters* 66 (1): 51.

8. Bibliografie

61. Marian, V., G, Conjocteur-Disjoncteur hydraulique, projet de fin d'études, Faculté d'ingénierie en langues étrangères, Filiere francophone, Université Politehnica de Bucharest
62. Marian, I., Marian, V. G., BREVET D'INVENTION : “**Valve de passage a charge reduite d'une pompe**” , no. d'enregistrement 9802228, no. de publication 2775047, Institut National de la propriété industrielle, Paris, 1998
63. Marian, V.G., **Contribuții privind lubrificația suprafețelor texturate**, teză de doctorat, Universitatea Politehnica București, Facultatea de Inginerie Mecanică și Mecatronică, 2006
64. Marian, V.G., Gabriel, D., Knoll, G., Filippone, S., 2011. **Theoretical and Experimental Analysis of a Laser Textured Thrust Bearing**. Tribology Letters 44(3), 335–343, 2011, presented at the 6th International Conference on Tribology Balkantrib, Sozopol, Bulgaria, 2008
65. Marian, V.G., Kilian, M., Scholz, W., 2007. **Theoretical and experimental analysis of a partially textured thrust bearing with square dimples**. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology 221, 771–778
66. Marian, V. G., Pascovici, M. D., Cicone, T., **Analytical and Numerical approach for load capacity of a single square cell**

8. Bibliografie

- from a textured surface*, U.P.B. Scientific Bulletin, Series D, Vol 68, No.3, pp.15-26, 2006
67. Marian, V.G., Predescu, A., Stoica, N., Nicolae, I., Urzică, I., Gheorghe, C., ***Theoretical and experimental analysis of grease lubricated bearings***, 15th International Conference on Tribology, 17-19 May 2017, Kragujevac, Serbia, ISBN 978-86-6335-041-0
68. Marian, V G, A Predescu, and M D Pascovici. 2010. ***“Theoretical Analysis of an Infinitely Wide Rigid Cylinder Rotating over a Grooved Surface in Hydrodynamic Conditions.”*** *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology* 224 (8): 757–63.
69. McNickle, A. D., and I. Etsion. 2004. ***“Near-Contact Laser Surface Textured Dry Gas Seals.”*** *Journal of Tribology* 126 (4): 788–94. <https://doi.org/10.1115/1.1792695>.
70. Mourier, L., D. Mazuyer, A.A. Lubrecht, and C. Donnet. 2006. ***“Transient Increase of Film Thickness in Micro-Textured EHL Contacts.”*** *Tribology International* 39 (12): 1745–56
71. Nanbu, Toshikazu, Ning Ren, Yoshiteru Yasuda, Dong Zhu, and Q. Jane Wang. 2008. ***“Micro-Textures in Concentrated Conformal-Contact Lubrication: Effects of Texture Bottom***

8. Bibliografie

- Shape and Surface Relative Motion.***” Tribology Letters 29 (3): 241–52
72. Niu, Yixu, Xianjuan Pang, Shiwei Yue, Bao Shangguan, and Yongzhen Zhang. 2021. “***The Friction and Wear Behavior of Laser Textured Surfaces in Non-Conformal Contact under Starved Lubrication.***” Wear, 23rd International Conference on Wear of Materials, 476 (July): 203723.
73. Noutary, M. -P., N. Biboulet, and A. A. Lubrecht. 2020. “***Dimple Influence on Load Carrying Capacity of Parallel Surfaces.***” Tribology International, 45th Leeds-Lyon Symposium on Tribology “Smart Tribology Systems,” 149 (September): 105452.
74. Otto, Dennis Lee. 1974. “***Triangular Asperities Control Seal Leakage and Lubrication.***” SAE Technical Paper 740201. Warrendale, PA: SAE International.
75. Patir, Nadir, and H. S. Cheng. 1979. “***Application of Average Flow Model to Lubrication Between Rough Sliding Surfaces.***” Journal of Lubrication Technology 101 (2): 220–29.
76. Pascovici, M.D., ***Lubrication considering boundary slip***, Encyclopedia of Tribology, Springer Verlag, Editors Wang Q.J., Chung Y.W., 2013

8. Bibliografie

77. Pascovici, M D, T Cicone, M Fillon, and M B Dobrica. 2009. ***“Analytical Investigation of a Partially Textured Parallel Slider.”*** *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology* 223 (2): 151–58.
78. Pascovici, M. D., Marian, V. G., ***An analytical and numerical approach of load carrying capacity for partially textured sliders***, VAREHD 12th Conference on EHD Lubrication and Traction, Suceava, Romania, Octombrie 8-9 2004, lucrare publicată pe CD (ISBN 973-666-119-9), Paper No.19
79. Pascovici, M. D., Marian, V. G., Gaman, D., ***Analytical and numerical approach of load carrying capacity for partially textured slider***, International Nanotribology Conference Nano Sikkim II : Friction and Biotribology, Peeling, Sikkim, India, Noiembrie 8-12 2004
80. Pettersson, U., Jacobson, S., ***Influence of surface texture on boundary lubricated sliding contacts***, *Tribology International*, Vol 36, pp. 857-864, 2003
81. Pettersson, U., and S. Jacobson. 2004. ***“Friction and Wear Properties of Micro Textured DLC Coated Surfaces in Boundary Lubricated Sliding.”*** *Tribology Letters* 17 (3): 553–59.

8. Bibliografie

82. Pettersson, U., and S. Jacobson. 2006. **“Tribological Texturing of Steel Surfaces with a Novel Diamond Embossing Tool Technique.”** *Tribology International* 39 (7): 695–700
83. Predescu, A., Marian, V.G., Nicolae, I., Stoica, N., Gheorghe, C., ***Influence of surface texture on grease lubrication***, 73rd STLE Annual Meeting and exhibition, May 20-24, 2018, Minneapolis, Minnesota, USA, pp.100
84. Predescu, A., Pascovici, M.D, Cicone, T., Popescu, C.S., Grigoriu, G., and Dragulinescu, D.,. 2010. **“Friction Evaluation of Lubricated Laser-Textured Surfaces.”** *Lubrication Science* 22 (10): 431–42.
85. Qiu, Y., and M. Khonsari. 2009. **“On the Prediction of Cavitation in Dimples Using a Mass-Conservative Algorithm”** *Journal of Tribology* 131 (October): 041702
86. Raeymaekers, Bart, Izhak Etsion, and Frank E. Talke. 2007. **“Enhancing Tribological Performance of the Magnetic Tape/Guide Interface by Laser Surface Texturing.”** *Tribology Letters* 27 (1): 89–95
87. Raeymaekers, Bart, Izhak Etsion, and Frank E. Talke. 2007. **“A Model for Magnetic Tape/Guide Friction Reduction by Laser Surface Texturing.”** *Tribology Letters* 28 (1): 9–17

8. Bibliografie

88. Ramesh, Ashwin, Wasim Akram, Surya P. Mishra, Andrew H. Cannon, Andreas A. Polycarpou, and William P. King. 2013. “***Friction Characteristics of Microtextured Surfaces under Mixed and Hydrodynamic Lubrication.***” *Tribology International* 57 (January): 170–76.
89. Ren, Ning, Toshikazu Nanbu, Yoshiteru Yasuda, Dong Zhu, and Qian Wang. 2007. “***Micro Textures in Concentrated-Conformal-Contact Lubrication: Effect of Distribution Patterns.***” *Tribology Letters* 28 (3): 275–85.
90. Ronen, A., Etsion, I., Klingerman, Y., ***Friction-reducing surface-texturing in reciprocating automotive components***, *Tribology Transactions*, Vol. 44, No. 3, pp. 359-366, 2001
91. Scaraggi, Michele, Francesco P. Mezzapesa, Giuseppe Carbone, Antonio Ancona, Donato Sorgente, and Pietro Mario Lugarà. 2014. “***Minimize Friction of Lubricated Laser-Microtextured-Surfaces by Tuning Microholes Depth.***” *Tribology International* 75 (July): 123–27.
92. Schuh, Jonathon K., and Randy H. Ewoldt. 2016. “***Asymmetric Surface Textures Decrease Friction with Newtonian Fluids in Full Film Lubricated Sliding Contact.***” *Tribology International* 97 (May): 490–98.
93. Shen, Cong, and M.M. Khonsari. 2015. “***Numerical Optimization of Texture Shape for Parallel Surfaces under***

8. Bibliografie

- Unidirectional and Bidirectional Sliding.***” *Tribology International* 82 (February): 1–11.
94. Shen, Zihan, Fengchao Wang, Zhiguo Chen, Xiaopeng Ruan, Hanghang Zeng, Jiahui Wang, Yurong An, and Xiaoli Fan. 2021. “***Numerical Simulation of Lubrication Performance on Chevron Textured Surface under Hydrodynamic Lubrication.***” *Tribology International* 154 (February): 106704.
95. Shinkarenko, A., Y. Kligerman, and I. Etsion. 2009. “***The Effect of Surface Texturing in Soft Elasto-Hydrodynamic Lubrication.***” *Tribology International* 42 (2): 284–92
96. Shyu, Shiuh-Hwa, and Wei-Chun Hsu. 2018. “A Numerical Study on the Negligibility of Cross-Film Pressure Variation in Infinitely Wide Plane Slider Bearing, Rayleigh Step Bearing and Micro-Grooved Parallel Slider Bearing.” *International Journal of Mechanical Sciences* 137 (March): 315–23.
97. Song, Fei, Xuefeng Yang, Wenlong Dong, Yeqi Zhu, Zhiyuan Wang, and Min Wu. 2022. “Research and Prospect of Textured Sliding Bearing.” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 121 (1): 1–25.
98. Stachowiak, Gwidon, and Pawel Podsiadlo. 2008. “***3-D Characterization, Optimization, and Classification of Textured Surfaces.***” *Tribology Letters* 32 (1): 13–21.

8. Bibliografie

99. Stephens, L. S., R. Siripuram, M. Hayden, and B. McCartt. 2004. “**Deterministic Micro Asperities on Bearings and Seals Using a Modified LIGA Process.**” *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power* 126 (1): 147–54
100. Tala-Ighil, N, P Maspeyrot, M Fillon, and A Bounif. 2007. “**Effects of Surface Texture on Journal-Bearing Characteristics under Steady-State Operating Conditions.**” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology* 221 (6): 623–33
101. Tønder, Kristian. 1980. “**Numerical Investigation of the Lubrication of Doubly Periodic Unit Roughnesses.**” *Wear* 64 (1): 1–14.
102. Tønder, Kristian. 1980. “**Simulation of the Lubrication of Isotropically Rough Surfaces.**” *A S L E Transactions* 23 (3): 326–33
103. Vilhena, Luís, Marko Sedlaček, Bojan Podgornik, Zlatko Rek, and Iztok Žun. 2018. “**CFD Modeling of the Effect of Different Surface Texturing Geometries on the Frictional Behavior.**” *Lubricants* 6 (1): 15.
104. Vlădescu, Sorin-Cristian, Simon Medina, Andrew V. Olver, Ian G. Pegg, and Tom Reddyhoff. 2016. “**Lubricant Film Thickness and Friction Force Measurements in a Laser Surface Textured Reciprocating Line Contact**

8. Bibliografie

- Simulating the Piston Ring–Liner Pairing.*** *Tribology International* 98 (June): 317–29’
105. Wang, Wei, Yongyong He, Jun Zhao, Yang Li, and Jianbin Luo. 2017. “***Numerical Optimization of the Groove Texture Bottom Profile for Thrust Bearings.***” *Tribology International* 109 (May): 69–77.
106. Wang, Xingsheng, Marco Giovannini, Youqiang Xing, Min Kang, and Kornel Ehmann. 2015. “***Fabrication and Tribological Behaviors of Corner-Cube-like Dimple Arrays Produced by Laser Surface Texturing on Medical Needles.***” *Tribology International* 92 (December): 553–58.
107. Wauthier, K., Zum Gahr, K. H., “***Wirkflächenstrukturierte Keramik/Stahl-Paarungen Für Den Einsatz in Ölgeschmierten Friktionssystemen***”, 48. Tribologie Fachtagung, 24-26 September 2007, Göttingen, pp.50/1-50/10
108. Xie, Yi, YongJian Li, ShuangFu Suo, XiangFeng Liu, JingHao Li, and YuMing Wang. 2013. “***A Mass-Conservative Average Flow Model Based on Finite Element Method for Complex Textured Surfaces.***” *Science China Physics, Mechanics and Astronomy* 56 (10): 1909–19
109. Yanagishita, Takashi, and Moana Kurita. 2023. “***Preparation of Polymer Nanopillar Arrays with Controlled***

8. Bibliografie

- Tip Shapes and Their Application to Hydrophobic and Oleophobic Surfaces.***” *Langmuir* 39 (24): 8540–47.
110. Ye, Shaogan, Hesheng Tang, Yan Ren, and Jiawei Xiang. 2020. “Study on the Load-Carrying Capacity of Surface Textured Slipper Bearing of Axial Piston Pump.” *Applied Mathematical Modelling* 77 (January): 554–84.
111. Yu, Haiwu, Xiaolei Wang, and Fei Zhou. 2010. “***Geometric Shape Effects of Surface Texture on the Generation of Hydrodynamic Pressure Between Conformal Contacting Surfaces.***” *Tribology Letters* 37 (2): 123–30.
112. Yu, X. Q, S He, and R. L Cai. 2002. “***Frictional Characteristics of Mechanical Seals with a Laser-Textured Seal Face.***” *Journal of Materials Processing Technology*, The 10th International Manufacturing Conference in China (IMCC 2002), 129 (1): 463–66
113. Zhang, Jinyu, and Yonggang Meng. 2012. “***Direct Observation of Cavitation Phenomenon and Hydrodynamic Lubrication Analysis of Textured Surfaces.***” *Tribology Letters* 46 (2): 147–58. <https://doi.org/10.1007/s11249-012-9935-6>.
114. Zhang, Junhui, Yuan Chen, Bing Xu, Qun Chao, Yi Zhu, and Xiaochen Huang. 2018. “***Effect of Surface Texture on Wear Reduction of the Tilting Cylinder and the Valve Plate***

8. Bibliografie

- for a High-Speed Electro-Hydrostatic Actuator Pump.***
Wear 414–415 (November): 68–78.
115. Zhou, Yun, Yonghong Fu, and Jie Yang. 2022. “***Effect of Volcano-like Textured Coated Tools on Machining of Ti6Al4V: An Experimental and Simulative Investigation.***” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 120 (11): 7785–7802.
116. Zouzoulas, Vassilios, and Christos I. Papadopoulos. 2017. “***3-D Thermohydrodynamic Analysis of Textured, Grooved, Pocketed and Hydrophobic Pivoted-Pad Thrust Bearings.***” *Tribology International* 110 (June): 426–40.