

CERCETĂRI PRIVIND INFLUENȚA LUBRIFIANTULUI ASUPRA CALITĂȚII FLANCULUI ROȚII DINȚATE INTERIOARE ȘTANȚATE DIN TABLA GROASĂ

șef lucr. dr. ing. Lucian Butnar – Universitatea de Nord Baia Mare, România

***Rezumat.** Lucrarea prezintă aspecte legate de influența lubrifianului introdus la suprafața de contact sculă-piesă în procesul de fabricare prin ștanțare a roților dințate interioare cilindrice cu dinți drepți. Cercetările experimentale au fost desfășurate “in situ” la S.C. Matrix S.A. Baia Mare. În urma prelucrării cu diferiți lubrifianți s-a analizat întinderea zonei netede a flancului ștanțat, rugozitatea sa și s-a urmărit evoluția acesteia.*

1. Generalități.

Metodele moderne de fabricare în producția de serie a roților dințate cu dinți drepți cuprind, printre altele, și prelucrarea prin ștanțare de precizie obișnuită, urmată sau nu de calibrarea prin tăiere pe contur. În condițiile unor cerințe de precizie ale roții aferente treptelor IT 9-12, acestea pot fi realizate numai prin procesul de ștanțare ceea ce presupune eforturi pentru exploatarea la maxim a posibilităților acestui procedeu.

Factorii care influențează precizia și calitatea roții dințate astfel prelucrate sunt: materialul semifabricat, jocul poanson – placă activă, construcția ștanței, precizia de execuție a elementelor active, viteza de tăiere. Cercetările autorului au evidențiat faptul că, alături de acești factori, un rol deosebit de important asupra calității roții dințate îl are lubrifianul folosit în timpul procesului de ștanțare. Este știut faptul că, în ștanțarea oțelului, practic nici un lubrifiant nu reușește să asigure un film continuu de lubrifiant iar frecarea sculă-piesă se situează în domeniul frecării limită sau uscate. Dificultățile în asigurarea unei suprafețe ștanțate de calitate sunt cu atât mai mari cu cât grosimea tablei semifabricat este mai ridicată.

În aprecierea calității flancului roții dințate au fost utilizați doi indici de calitate: ponderea zonei netede-lucioase h_f a secțiunii tăiate și rugozitatea R_a a suprafeței flancului.

2. Similitudinea conturului ștanțat cu flancul dintelui roții interioare.

Ținând cont de faptul că , pentru ștanțarea unei roți dințate, elementele active ale ștanței – poanson și placă activă – trebuie să reproducă îndeaproape și cu precizie conturul evolventic complex al danturii de prelucrat, cercetările experimentale au fost desfășurate pe un contur perforat simplificat, aparținând reperului „bridă”, figura 1, aflat în producția curentă la S.C. Matrix S.A. Baia Mare, pentru care semifabricatul este oțel laminat la cald 50x10 STAS 395 – 77 OL 42 STAS 500 – 80.

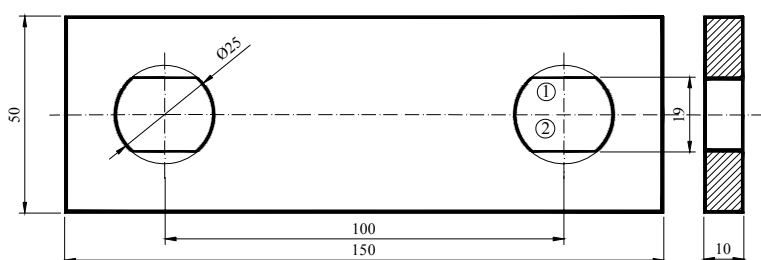


Fig. 1. Piesa "bridă" ștanțată.

Semifabricatul de grosime 10 mm este prelucrat cu ștanța de perforare având elementele active prezentate în figura 2, confecționate din oțel aliat de scule C 120, tratat termic la 62 – 65 HRC.

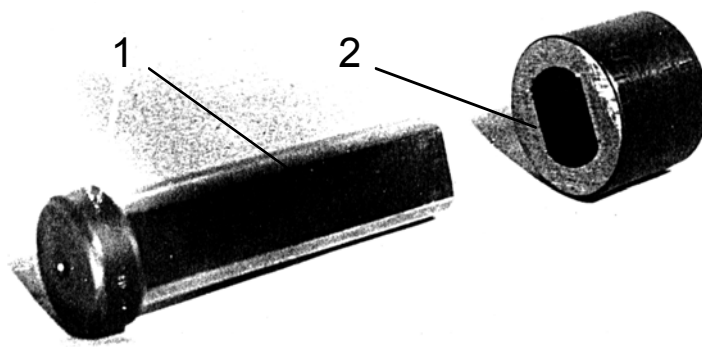


Fig. 2. Elementele active ale ștanței de perforare în tablă groasă.

Conform bibliografiei de specialitate [2], [4], fiecărui flanc de dinte evolventic i se poate asocia un cilindru de lungime egală având o rază de curbură ρ .

Ținând cont de aceasta, precum și de forma conturului perforat, se poate aproxima suprafața cilindrică interioară prelucrată cu suprafața flancului dintelui unei roți dințate interioare evolventice. Conturul tăiat prezintă și avantajul simetriei sale, porțiunea de contur 1 situată de o parte a axei de simetrie a piesei reprezentând flancurile alăturate care mărginesc un gol al roții iar porțiunea de contur 2, situată de cealaltă parte a axei de simetrie a piesei,

reprezentând flancurile alăturate care mărginesc golul diametral opus. Aceasta presupune o roată dințată interioară de număr par de dinți. Simetria conturilor tăiate 1 și 2 face ca, asemenea procesului de ștanțare a roților dințate, solicitarea ștanței să fie simetrică, fără tendință de dezechilibrare.

Similitudinea descrisă este prezentată detaliat în figura 3.

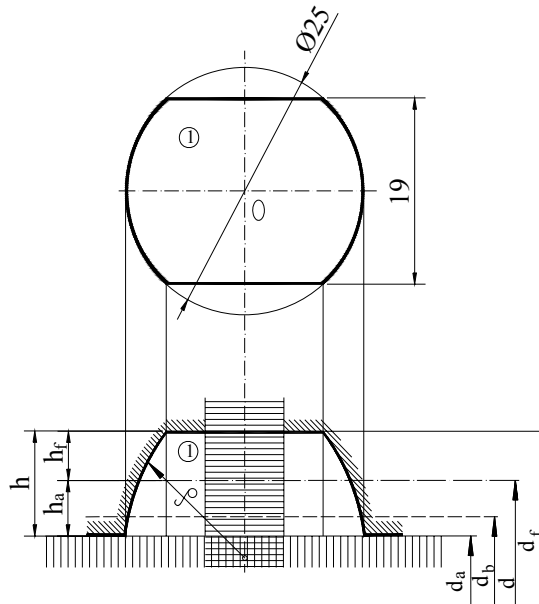


Fig. 3. Similitudinea conturului ștanțat cu flancul dintelui roții interioare.

În baza dimensiunilor și a relațiilor de calcul s-a identificat roata dințată cu dantură interioară căruia conturul tăiat îi aparține. Parametrii danturii drepte necorijată corespondente sunt redați în tabelul 1.

Tabelul 1.

| Mărime | Modul | Nr. dinți | Unghi profil referință | Coef. depl. profil | Diam. de diviz. | Diam. de picior | Înălțimea dintelui | | Diam. de cap |
|---------|----------|-----------|------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------|----------------|----------------|
| | m | z | α_0 | x | d(d _w) | d _r | h _a | h _r | d _a |
| Relația | $h/2,25$ | | STAS 821 | - | $m \cdot z$ | $m(z + 2,5)$ | m | 1,25m | $m(z - 2)$ |
| Valoare | 4 | 18 dinți | 20° | 0 | 72 mm | 82 mm | 4 mm | 5 mm | 64 mm |

3. Lubrifianți utilizați. Coeficientul de frecare.

Determinările s-au făcut în diferite condiții de lubrifiere asigurate de un contact: *uscata*, *lubrifiat cu H32EP, PIC și respectiv grafit*.

Pentru determinarea coeficientului de frecare material sculă – material piesă (C120/OL42) în procesul de ștanțare s-a utilizat standul experimental [1], încercările

realizându-se prin reintroducerea poansonului prin conturul tăiat. Forța F înregistrată reprezintă forța de frecare dintre cele două suprafețe și se consideră produsă exclusiv de destinderea elastică a materialului piesei și de coeficientul de frecare poanson-material.

Coeficientul de frecare are relația de determinare:

$$\mu = \frac{F}{A_1 \cdot q_i} , \quad (1)$$

fiind *coeficient de frecare convențional*, supus influenței următorilor factori perturbatori:

- forța variabilă; în calcul se ia forța maximă înregistrată;
- existența unui prag între zona netedă și zona rugoasă;
- limita de curgere a materialului este variabilă cu presiunea creată; în calcul se ia limita de curgere convențională.

Mărimile utilizate semnifică: $A_1 = 756 \text{ mm}^2$ - suprafața laterală a orificiului perforat iar $q_i \cong 0,65 \cdot \sigma_c$ presiunea laterală elastică.

În urma încercărilor și calculelor efectuate s-au obținut pentru cupla de materiale C120/OL42 coeficienții de frecare convenționali pentru ștanțare prezentați în tabelul 2.

Tabelul 2.

| Mărimea | U.M. | Valoarea |
|-------------------------------|------|----------|
| <i>Uscat</i> | | |
| Coef.conventional frec. μ | | 0.541 |
| <i>H32EP</i> | | |
| Coef.conventional frec. μ | | 0.331 |
| <i>PIC</i> | | |
| Coef.conventional frec. μ | | 0.295 |
| <i>Grafit</i> | | |
| Coef.conventional frec. μ | | 0.180 |

Lubrifiantul, funcție de tipul și proprietățile sale reduce coeficientul de frecare convențional de la 0,541 în frecarea tehnic uscată la 0,180 în lubrifierea cu grafit.

O reducere importantă, față de frecarea uscată, la 67,07 %, asigură uleiul H32EP, nespecific prelucrărilor prin deformare. Uleiul PIC reduce și el valoarea la 52,12 %, fără a produce o reducere substanțială. Utilizarea unor uleiuri din gama P4, specifice prelucrărilor prin deformare plastică și ștanțare nu a fost posibilă datorită faptului că, în general, firmele de prelucrări mecanice utilizează pentru lubrifiere în producția curentă, la ștanțare, uleiurile avute în stoc fără a ține cont în mod deosebit de tipul acestuia, astfel că uleiurile P4 sunt extrem de rar utilizate. Pe de altă parte, firmele producătoare de lubrifianți preparând aceste uleiuri numai pe bază de comandă nu au acceptat decât vânzarea la butoi având minim 200

litri. Prezența grafitului însă aduce o cădere importantă a coeficientului de frecare convențional la doar 36,22 %.

4. Evoluția calității flancului.

În producția curentă S.C. Matrix S.A. perforarea nu urmărește în mod deosebit calitatea suprafeței tăiate, aceste piese obținându-se cu poansoane și pastile placă activă între care există un *joc* $j = 1,8 \text{ mm}$, practic mai mare decât jocul optim teoretic $j_{\text{opt}} = 1,5 \text{ mm}$. De asemenea, în mod curent, materialul semifabricatelor utilizate nu este supus analizei chimice acceptându-se în mod egal oțelurile OL32, OL37, OL42, OL50 și OL52. Acest fapt face ca întinderea zonei netede h_f în secțiunea tăiată să fie net inferioară zonei netede optime ($h_{f0} = 2,76 \text{ mm}$) obținute în cadrul încercărilor experimentale pentru materialul OL42 la ștanțarea cu jocul optim.

Încercările s-au efectuat cu lubrifierea în condiții diferite ale contactului sculă tăietoare – piesă: *uscat, ulei mineral H32EP, PIC și grafit*. Înaintea fiecărui set de încercări poansonul, placa activă și semifabricatul s-au curățat și degresat cu alcool. După execuție piesele s-au secționat cu freza disc pe porțiunea rectilinie a orificiului realizat, s-au instalat pe mașina de măsurat în coordonate ZKM 05-250D a S.C. Ramira S.A. Baia Mare și li s-a determinat întinderea zonei netede pe porțiunea curbă tăiată și asimilată unui flanc de dinte al unei roți dințate interioare.

În timpul măsurătorilor s-a constatat că fâșia netedă-lucioasă din secțiunea tăiată este în general aproximativ constantă pe întregul contur curbiliniu ștanțat. Valoarea astfel măsurată a fost denumită „ $h_{f\text{mediu}}$ ” și caracterizează cel mai fidel secțiunea tăiată în ansamblul ei – figura 4. De asemenea s-a măsurat și întinderea minimă $h_{f\text{min}}$ și cea maximă $h_{f\text{max}}$. Întinderea maximă, cu aspect de „limbă” s-a regăsit cu regularitate înspre zona de „colț” unde se intersectează zona rectilinie cu cea curbilinie a conturului tăiat.

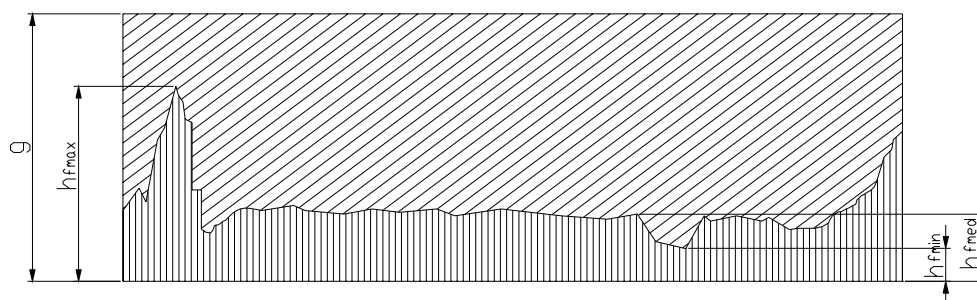


Fig. 4. Secțiunea ștanțată.

Rezultatele măsurătorilor făcute sunt redată în tabelul 3. Pentru a pondera influențele factorilor perturbatori (neomogenități de material, variația vitezei de deformare etc.) cu valorile obținute s-a calculat întinderea zonei netede h_f ca medie aritmetică.

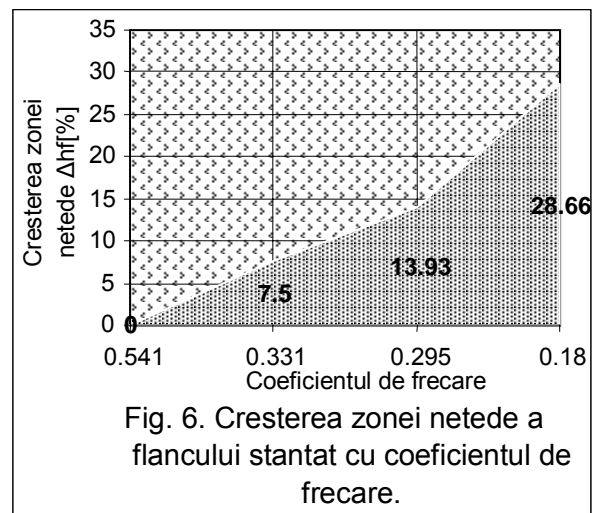
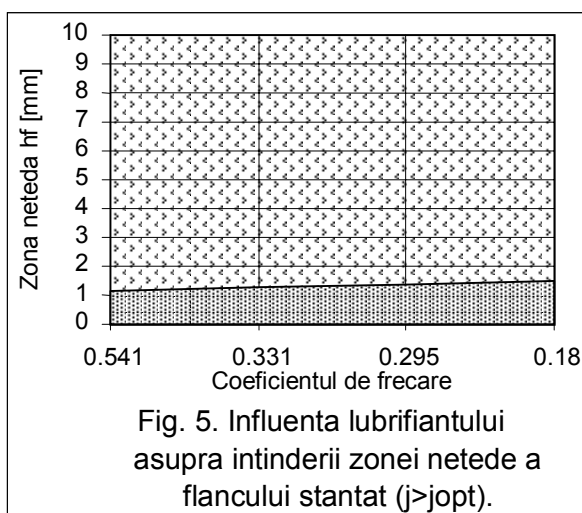
Tabelul 3.

| uscat $\mu=0.541$ | | | H32EP $\mu=0.331$ | | | P1C $\mu=0.295$ | | | grafit $\mu=0.18$ | | |
|--------------------|--------|--------|-------------------|--------|--------|-----------------|--------|--------|-------------------|--------|--------|
| hf min | hf med | hf max | hf min | hf med | hf max | hf min | hf med | hf max | hf min | hf med | hf max |
| 0.945 | 1.121 | 1.746 | 1.156 | 1.171 | 1.727 | 1.045 | 1.181 | 1.751 | 1.364 | 1.623 | 2.033 |
| 0.958 | 1.112 | 1.712 | 1.077 | 1.117 | 1.545 | 1.220 | 1.324 | 1.932 | 1.283 | 1.366 | 1.919 |
| 0.96 | 1.180 | 1.549 | 1.286 | 1.453 | 2.188 | 1.022 | 1.227 | 1.477 | 1.343 | 1.561 | 2.026 |
| 1.083 | 1.265 | 1.883 | 1.142 | 1.341 | 1.864 | 1.355 | 1.458 | 1.975 | 1.235 | 1.396 | 1.998 |
| 0.973 | 1.184 | 1.728 | 1.069 | 1.221 | 1.752 | 1.293 | 1.488 | 2.212 | 1.327 | 1.596 | 2.109 |
| Zona neteda hf[mm] | | | | | | | | | | | |
| 0.983 | 1.172 | 1.724 | 1.146 | 1.261 | 1.815 | 1.19 | 1.336 | 1.869 | 1.31 | 1.508 | 2.017 |

Valorile de referință sunt considerate valorile medii, de ansamblu a fâșiei lucioase. Cu aceste valori s-au trasat curbele de variație a întinderii zonei netede cu coeficientul de frecare $h_f = h_f(\mu)$ – figura 5 – și a creșterii procentuale a zonei netede la reducerea frecării $\Delta h_f = \Delta h_f(\mu)$ - figura 6 – creștere calculată cu relația:

$$\Delta h_f = \frac{h_{\text{fuscat}} - h_{\text{f lubrif}}}{h_{\text{fuscat}}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2)$$

Cu aceste valori s-au trasat curbele de variație a întinderii zonei netede cu coeficientul de frecare $h_f = h_f(\mu)$ – figura 5 – și a creșterii procentuale a zonei netede la reducerea frecării $\Delta h_f = \Delta h_f(\mu)$ - figura 6 – creștere calculată cu relația:



$$\Delta h_f = \frac{h_{\text{fuscat}} - h_{f \text{ lub rif}}}{h_{\text{fuscat}}} \cdot 100 \text{ [\%]} \quad (3)$$

Valorile minime și maxime consemnate se înscriu pe aceleași curbe de evoluție și vin să întregesc imaginea creșterii calității suprafeței flancului ștanțat la reducerea frecării sculă-piesă cu lubrifianți adecvați.

În valori absolute, creșterea zonei netede are loc de la 1,172 mm în frecarea uscată la 1,508 mm în lubrifierea cu grafit. Valorile relative evidențiază însă o creștere semnificativă de aproape 30 % a zonei netede-lucioase, exclusiv pe seama lubrifiantului.

Fiecare ulei mineral introdus la suprafața de contact îmbunătățește calitatea suprafeței tăiate (cu 7,5 % H32EP respectiv 13,93 % PIC) însă saltul spectaculos are loc la utilizarea grafitului când creșterea este de 28,66 %.

Extrapolând, în condițiile în care proporțiile stabilite mai sus se păstrează, utilizând o aceeași ștanță care va avea însă între poanson și placa activă asigurat jocul la valoarea sa optimă, zona netedă-lucioasă va avea o creștere de 30 % ar însemna extinderea sa de la 2,76 mm la o fâșie lată de 3,588 mm.

Cercetări ulterioare desfășurate pe suprafețele astfel realizate au evidențiat în plus faptul că, creșterea ponderii suprafeței netede a flancului ștanțat este însoțită de reducerea rugozității atât a suprafeței netede cât și a celei rugoase a secțiunii tăiate. Aceste două tendințe concură în mod hotărâtor la creșterea importantă a calității flancului roții dințate. Semnificativ este faptul că această creștere a calității s-a realizat exclusiv pe seama lubrifierii contactului sculă-piesă fără a interveni asupra celorlalți parametri de construcție a ștanței sau asupra parametrilor de proces.

5. Concluzii.

Lubrifiantul, în caz că este utilizat în cadrul procesului de ștanțare, este tratat ca parametru cu importanță secundară, fără a i se acorda atenția cuvenită. Lucrarea de față vine să scoată în evidență faptul că lubrifiantul introdus la suprafața de contact sculă-piesă este un parametru de proces deosebit de important asemenea jocului, construcției ștanței, vitezei de tăiere etc . Îndeosebi la ștanțarea roților dințate interioare din tablă de grosime ridicată, suprafața tăiată reprezintă flancul roții dințate, este necesară creșterea calitatea iar lubrifiantul este una dintre resursele încă insuficient utilizate.

În condițiile prelucrării în patru condiții diferite de lubrifiere (uscat, H32EP, P1C, grafit) s-a constatat o reducere semnificativă a coeficientului de frecare convențional definit la contactul sculă-piesă de la 0,541 în frecarea tehnic uscată la 0,180 în lubrifierea cu grafit.

Reducerea frecării sculă-piesă este însoțită de o extindere a zonei netede h_f a secțiunii tăiate reprezentând flancul dintelui. În condițiile ștanțării cu un joc mai mare decât jocul optim. Uleiurile minerale ridică ponderea zonei netede-lucioase a flancului cu 7,5 % H32EP respectiv 13,93 % P1C iar saltul spectaculos se produce la utilizarea grafitului când creșterea este de 28,66 %. Creșterea ponderii zonei netede are loc odată cu reducerea rugozității fiecăreia dintre cele două zone (netede și mată) ale secțiunii tăiate.

Măsurătorile efectuate și graficele ridicate evidențiază evoluția pozitivă a calității suprafeței flancului ștanțat a roții dințate interioare cu dantură dreaptă atunci când are loc reducerea frecării sculă-piesă.

Bibliografie

1. **Butnar, L.** *Contribuții tribologice la realizarea roților dințate prin deformare plastică, Teza de doctorat, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, 2002.*
2. *Hapherkamp, H., Verbundgeschmiedete Zahnräder mit gradiertem Eigenschaftsprofil. Antriebstechnik, nr. 9, 1998.*
3. *Iliescu, C., Tehnologia ștanțării și matrițării la rece. București, Editura Tehnică, 1980.*
4. *Jula, A., ș.a. Proiectarea angrenajelor evolventice. Craiova, Scrisul Românesc, 1989.*
5. *Pay, E., Lobontiu, M., Butnar, L. Cercetări asupra contactului sculă-piesă la prelucrarea prin ștanțare a roților dințate cilindrice. Conferința internațională de Comunicări științifice TMCR'99, Universitatea Tehnică a Moldovei, 27-29 Mai, 1999.*