

# DURIFICAREA SUPERFICIALĂ PRIN AȘCHIERE ORTOGONALĂ

MATEI Denisa, NEAGOE Adriana, LICĂ Cosmin

Facultatea: IMST, Specializarea: MUSP, Anul de studii: 3, e-mail: denisamariamatei@yahoo.com  
Conducător științific: Conf.dr.ing. Sorin Mihai CROITORU

În prezenta lucrare se studiază stratul superficial durificat prin ecrusarea datorată așchierii ortogonale. Obiectivul cercetării a fost compararea durității stratului superficial obținut prin așchiere pe suprafața prelucrată cu duritatea stratului superficial obținută prin tratament termic sau termochimic. Cercetarea s-a desfășurat din punct de vedere teoretic și experimental. Cercetarea teoretică a presupus o serie de simulări ale așchierii ortogonale, făcute pentru experimentele stabilite prin planul de experimentare. Simulările s-au făcut cu ajutorul pachetului software DEFORM 2D™. Cercetarea experimentală s-a desfășurat sub trei aspecte: măsurarea forțelor de așchiere, măsurarea microdurității Vickers HV0,1 și microscopie optică și electronică. În urma cercetărilor efectuate a rezultat că durificarea obținută prin așchiere este nesemnificativă față de durificarea obținută prin tratamente termice.

## 1. Introducere în filozofia cercetării

Orice activitate de cercetare duce la obținerea de cunoștințe noi.

Cercetarea este inclusă în conceptul de cerc al cunoașterii, atribuit lui Socrate (Fig. 1), [1].

Este cert că suma cunoștințelor acumulate de omenire este limitată. Necunoscutul, probabil, este infinit. Atunci, putem considera că toate cunoștințele pot fi incluse într-un cerc. Punctele perimetrului cercului reprezintă granița dintre cunoaștere și necunoaștere și reprezintă zone (subiecte) ale cercetării.

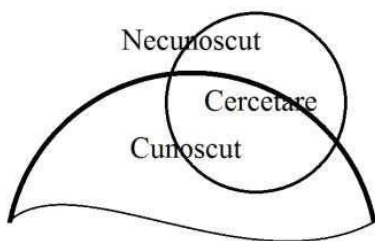


Fig. 1. Cercul cunoașterii

Cercetarea utilizează cunoștințe existente pentru a descoperi noi cunoștințe prin preluarea lor din zona necunoscutului. Astfel, cercul cunoașterii se mărește cu zona preluată din necunoaștere.

Paradoxul apare prin faptul că perimetrul zonei cunoașterii se mărește, adică crește numărul subiectelor de cercetat (de descoperit).

Concluzia este că pe măsură ce cunoștem mai mult constatăm că este încă mai mult de descoperit. Unii spun că pe măsură ce știm mai mult, știm mai puțin, pentru că descoperim că ceea ce nu știm este din ce în ce mai mult.

## 2. Introducere în cercetarea așchierii ortogonale

În teoria așchierii, prezentată la cursul de Prelucrări prin așchiere, există mai multe metode clasice de cercetare a formării așchiei, toate ținând de domeniul așchierii ortogonale.

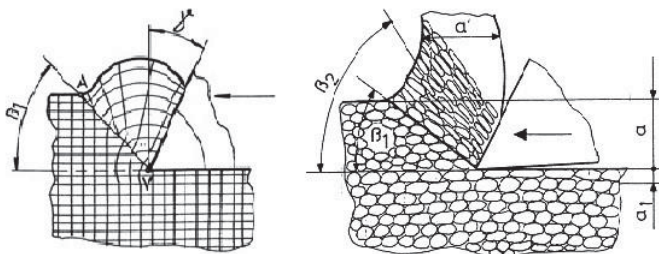


Fig. 2. Metode de cercetare a formării așchiei: a) metoda deformării rețelei, b) metoda examenului metalografic

Aceste metode sunt: metoda deformării rețelei (Fig. 2,a), metoda examenului metalografic (Fig. 2,b), metoda măsurării durităților, metoda tasării așchiei, [2].

Dintre acestea, metoda măsurării durităților în zona de contact sculă-piesă arată că se produce o durificare importantă a așchiei și a suprafeței prelucrate prin așchiere.

Apare următoarea întrebare pertinentă: Dacă se produce o durificare superficială, este ea suficientă pentru a înlocui o durificare prin alte metode, de exemplu prin tratament termic?

Această întrebare a fost ideea de la care s-a plecat în cercetarea prezentată în această lucrare.

Astfel, s-au făcut cercetări teoretice și experimentale privind grosimea stratului durificat prin aşchiere ortogonală și, respectiv, duritatea obținută în strat, plecând de la premisa că durificarea se datorează ecruisării stratului superficial al suprafeței prelucrate.

### 3. Planul de experimente

Experimentele s-au făcut în Laboratorul de Bazele Generării Suprafețelor pe Mașini Unelte, sala CF 004, și în Laboratorul de Scule Așchietoare, sala CF 103-104, ale Departamentului de Mașini și Sisteme de Producție, Facultatea IMST, Universitatea POLITEHNICA din București.

S-a plecat de la ideea că planul de experimente utilizat atât în cercetarea teoretică, cât și în cercetarea experimentală să fie același.

Planul de experimente este prezentat în tabelul 1.

Variabilele de intrare impuse sunt următoarele:

- operația de prelucrare: strunjire ortogonală, executată pe strungul SN 400, din laborator;
- materialul de prelucrat: OLC 45, materialul clasic pentru cercetarea aşchierii;
- scula aşchietoare: cuțit de retezat executat din oțel rapid;
- unghiul de aşezare:  $\alpha = 10^\circ$ , valoare unică;
- unghiul de aşezare:  $\gamma = -10^\circ; 0^\circ; 10^\circ$ ;
- raza de aşchiere:  $\rho = 0,1 \text{ mm}; 0,2 \text{ mm}; 0,4 \text{ mm}$ ;
- viteza de aşchiere:  $v_c = 15 \text{ m/min}; 30 \text{ m/min}; 60 \text{ m/min}$ ;
- adâncimea de aşchiere, *de facto* avansul radial:  $a_p = 0,1 \text{ mm}; a_p = 0,2 \text{ mm}; a_p = 0,4 \text{ mm}$ ;

Pentru scula aşchietoare de referință s-au considerat  $\alpha = 10^\circ$ ,  $\gamma = 10^\circ$ ,  $\rho = 0 \text{ mm}$ . Aceasta, deoarece s-a considerat că în cazul razei de aşchiere nule nu apare ecruisarea. În orice alt caz ( $\rho \neq 0$ ) apare ecruisarea.

*Observație:* Valorile variabilelor de intrare sunt date în progresie geometrică, deoarece s-a plecat de la ideea că se dorește determinarea unor funcții matematice de tip Taylor pentru calcularea variabilelor de ieșire: grosimea stratului durificat și, respectiv, duritatea stratului.

### 4. Cercetarea teoretică prin simularea aşchierii

DEFORM 2D™ este un software bazat pe Metoda Elementului Finit, care se utilizează pentru simularea proceselor de deformare plastică a metalelor, în evoluția procesului.

Deoarece procesul de aşchiere este tot un proces de deformare plastică, urmat de ruperea aşchiilor detașate, DEFORM 2D™ poate fi folosit la simularea procesului de aşchiere ortogonală.

Atât semifabricatul, cât și matrița sau scula aşchietoare sunt definite ca un contur închis, fiecare având câte o rețea de discretizare.

În cazul aşchierii, partea activă a sculei (tăișul) este simulat pas cu pas în mișcarea de aşchiere, iar în cazul în care elementele finite sunt distruse, puternic deformate, răsucite etc. o nouă rețea de discretizare este definită automat de program și procesarea datelor continuă din punctul respectiv. Au fost simulate un număr de 23 experimente, în conformitate cu valorile de intrare din planul de experimente prezentat anterior.

Fiecare simulare a presupus introducerea datelor de intrare în preprocesorul DEFORM 2D™, rularea simulării și analiza datelor în postprocesorul DEFORM 2D™.

Datele de intrare au fost următoarele:

- deformare plastică pură într-un proces de deformare plastică cu încălzire datorată procesului, inițial atât semifabricatul, cât și cuțitul având temperatura mediului ambiant ( $20^\circ\text{C}$ )
- semifabricatul este complet plastic, din OLC45, cu rețeaua de discretizare având 2000 de elemente; - cuțitul este complet rigid, din carburi metalice cu 24% Cobalt, cu rețeaua de discretizare având 600 de elemente;
- mișcarea de aşchiere este o mișcare de translație, pe o cursă de 20 mm;

Tab. 1. Planul de măsurători și rezultatele obținute

Test Nr.	$\alpha$ [°]	$\gamma$ [°]	$v_c$ [m/min]	$ap$ [mm]	$\rho$ [mm]	HV/0.1	$F_y$ [N]	$F_z$ [N]	$\sigma$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$h$ [mm]
1	10	10	15	0,1	0	243,1	482,5	891	881	0,1
2	10	10	15	0,4	0	276,6	817,5	1853,4	836	0,4
3	10	10	30	0,2	0	257	675,9	1358,9	799	0,23
4	10	10	30	0,2	0	288,1	684,9	1347,3	-	-
5	10	10	60	0,1	0	269,9	506	776,2	593	0,08
6	10	10	60	0,4	0	295,4	1599,4	3448,7	763	0,4
7	10	10	15	0,1	0,1	300,9	636,7	992,4	559	0,05
8	10	10	15	0,4	0,1	292,6	1090,9	2440,4	721	0,6
9	10	10	60	0,1	0,1	316,1	756,7	937,4	593	0,13
10	10	10	60	0,4	0,1	290,7	1865,7	3109,4	689	0,5
11	10	10	15	0,1	0,4	331,7	1300	1438,2	721	0,4
12	10	10	15	0,4	0,4	365	1595,7	2820,8	777	0,7
13	10	10	60	0,1	0,4	295,8	1457,1	1327,6	802	0,6
14	10	10	60	0,4	0,4	392,3	2759,9	3562,9	755	0,6
15	10	10	30	0,2	0,2	325,9	1362,2	1880,4	720	0,4
16	10	10	30	0,2	0,2	284	1284,4	1756,5	-	-
17	10	0	15	0,1	0,1	284,3	846,3	1206,4	-	-
18	10	0	15	0,4	0,1	314,4	1619,6	3005,5	-	-
19	10	0	60	0,1	0,1	269,9	818,7	997,3	-	-
20	10	0	60	0,4	0,1	366,6	2379,3	3486,5	-	-
21	10	0	30	0,2	0,2	347,4	1892,1	2192,5	-	-
22	10	0	30	0,2	0,2	338,9	1837,4	2161,3	-	-
23	10	0	30	0,2	0,2	490,7	1925,2	2290,2	-	-
24	10	0	30	0,2	0,2	302	1901,6	2275,5	-	-
25	10	0	15	0,1	0,4	357,8	2437,5	2143,3	-	-
26	10	0	15	0,4	0,4	354,3	2660,3	3523,8	-	-
27	10	0	60	0,1	0,4	332,1	2479,5	1729,9	-	-
28	10	0	60	0,4	0,4	324,2	4443,1	3749,9	-	-
29	10	-10	15	0,1	0,1	288,9	1177,4	1514	858	0,15
30	10	-10	15	0,4	0,1	317,6	2849,1	3957,6	678	0,12
31	10	-10	60	0,1	0,1	264,5	1252,3	1337,4	751	0,3
32	10	-10	60	0,4	0,1	315,8	3016,6	3844	491	0,15
33	10	-10	30	0,2	0,2	353,9	1895,1	2311,2	720	0,4
34	10	-10	30	0,2	0,2	321,8	2101,2	2280,2	-	-
35	10	-10	30	0,2	0,2	280,4	1629,3	1962,4	-	-
36	10	-10	30	0,2	0,2	378,2	1699,3	2250,6	-	-
37	10	-10	15	0,1	0,4	321,3	1742,2	1680,9	553	0,6
38	10	-10	15	0,4	0,4	424,9	3277,3	4193,2	586	0,65
39	10	-10	60	0,1	0,4	281,6	2079,7	1594,4	806	0,3
40	10	-10	60	0,4	0,4	377,3	4248,3	3963,3	809	0,6

- condițiile de mediu și rețeaua de discretizare au fost făcute automat de programul DEFORM 2D™;
- viteza de așchiere, adâncimea de așchiere și unghiurile de așezare și de degajare au fost alese conform planului de experimente;
- s-a simulat doar zona de contact tăiș-așchie-semifabricat.

Datele de ieșire au fost următoarele:

- forma așchiei deformate în timpul așchierii (spre exemplu, vezi Fig. 3,a);
- deformațiile efective în semifabricat și așchie, în timpul așchierii (vezi Fig. 3,b);
- tensiunile efective în semifabricat și așchie, în timpul așchierii (vezi Fig. 3,c);
- distribuția de temperatură în semifabricat / așchie, în timpul așchierii (spre exemplu, vezi Fig. 3,d).

Din punctul de vedere al obiectivului urmărit al cercetării – durificarea stratului superficial al suprafeței prelucrate – cea mai importantă variabilă de ieșire este tensiunea efectivă, deoarece la creșterea acesteia peste valoarea de curgere a materialului apar deformații permanente, metalul se ecruisează și, ca urmare, se durifică.

În urma simulărilor pot fi trase câteva concluzii:

- distribuția de tensiuni variază în funcție de cursă
- au fost consemnate valorile tensiunii efective a nodului rețelei de sub vârful tăișului cuțitului precum și adâncimea nodului rețelei pentru care tensiunea efectivă a depășit 500 N/mm<sup>2</sup>, [3].

Rezultatele simulărilor arată că există un strat superficial posibil a fi supus ecruisării (se va vedea filmul unui test de simulare). Acest lucru rezultă din apariția unor tensiuni efective cu valori peste limita de curgere a materialului supus cercetării (OLC45).

În urma simulărilor a rezultat că cele mai importante variabile de intrare asupra formării stratului superficial durificat sunt adâncimea de așchiere și raza de așchiere [3].

Tensiunile efective care ar putea duce la deformații permanente și, deci, la durificarea stratului superficial apar la adâncimi de cca. (1,5...2)  $a_p$ . Tensiuni similare apar chiar în cazul în care raza de așchiere este nulă .

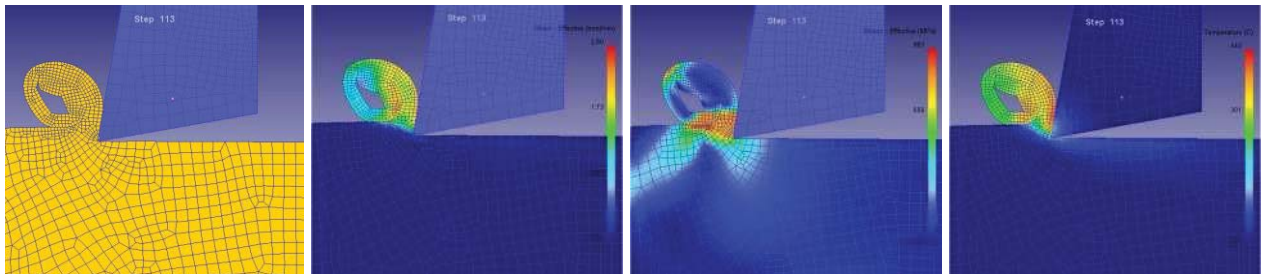


Fig. 3. Exemplu de simularea așchierii: a) Forma așchiei deformate, b) Deformațiile efective în semifabricat, c) Tensiunile efective în semifabricat, d) Temperaturile efective în semifabricat

## 5. Cercetarea experimentală

### 5.1 Determinarea forțelor de așchiere

Pentru a executa o așchiere ortogonală prin strunjire s-a adoptat o soluție constructivă prin care să se utilizeze cât mai puțin material de prelucrat (OLC45), la vitezele de așchiere impuse prin planul de experimente. Astfel, s-au utilizat discuri de OLC45 având diametrul de 50 mm și lățimea de 5 mm (Fig. 4 și Fig. 5, poz. 1)), montate excentric pe o flanșă, pe diametrul de 150 mm (Fig. 5, poz. 2.). Diametrul mare de prelucrare a fost ales intenționat (175 mm), pentru a putea urmări ușor procesul de strunjire ortogonală și pentru a putea opri așchieria la momentul dorit.

Deoarece lățimea cuțitului trebuia să fie mai mare decât lățimea semifabricatului, fiecare disc de OLC45 a fost subțiat la 3 mm în zona ce urma să fie prelucrată.

Fiecare disc a fost prelucrat în două zone, prin montarea sa succesivă la 180° pe flanșă, corespunzând la două teste din planul de experimente.

Pe fiecare zonă prelucrată au fost detașate 5-6-7 așchii, înainte de momentul în care s-ar fi prelucrat întreaga lățime a discului.

Măsurarea forțelor de așchiere s-a făcut pe considerentul că forțele de așchiere crează tensiunile și deformațiile ce duc la ecruisarea și, implicit, durificarea stratului superficial al suprafeței prelucrate. În plus, a fost o verificare a simulărilor efectuate cu DEFOM 2D™.



Fig. 4. Discuri de OLC45 – probe

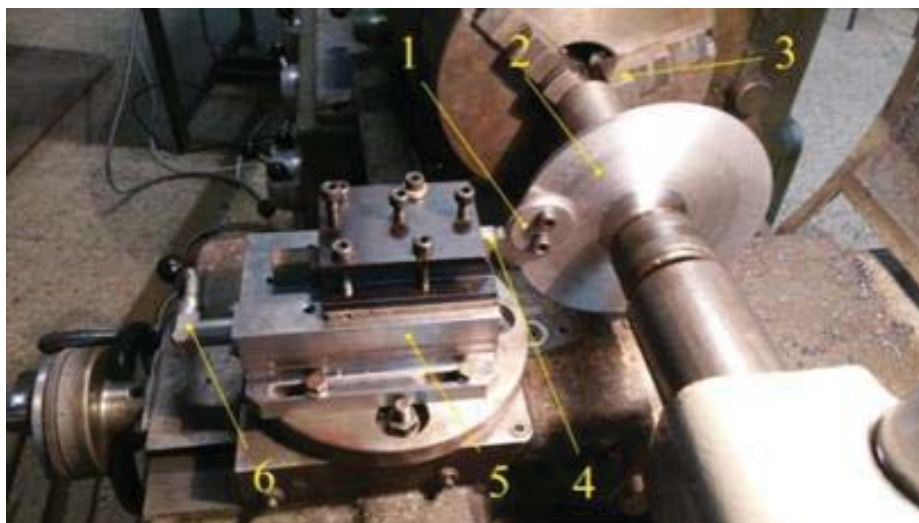


Fig. 5. Standul experimental – detaliu

Standul experimental a fost conceput astfel: discul – probă 1, a fost fixat pe flanșă 2, montată pe dorn în arborele principal al strungului SN400. Cuțitul din oțel rapid 3 a fost fixat printr-un sistem cu bridă 4 pe masa dinamometrică 5 a unui dinamometru KISTLER, disponibil ca echipament de cercetare în departamentul Mașini și Sisteme de Producție și care a fost utilizat de autori inclusiv la lucrările de laborator din planul de învățământ. Prin cablul de date 6 s-au transmis valorile măsurate către placa de achiziție de date montată pe un calculator, având instalat soft-ul de achiziție de date al dinamometrului KISTLER. Pentru fiecare măsurătoare timpul total de achiziție de date a fost de 30 secunde, cu 1000 de măsurători pe secundă.

Pentru exemplificare, în figura 6 sunt prezentate graficele forțelor de așchiere principală  $F_z$  și radială  $F_y$  în testul nr. 40, testul cel mai solicitant (valorile adâncimii de așchiere, vitezei de așchiere și razei de așchiere au fost maxime).



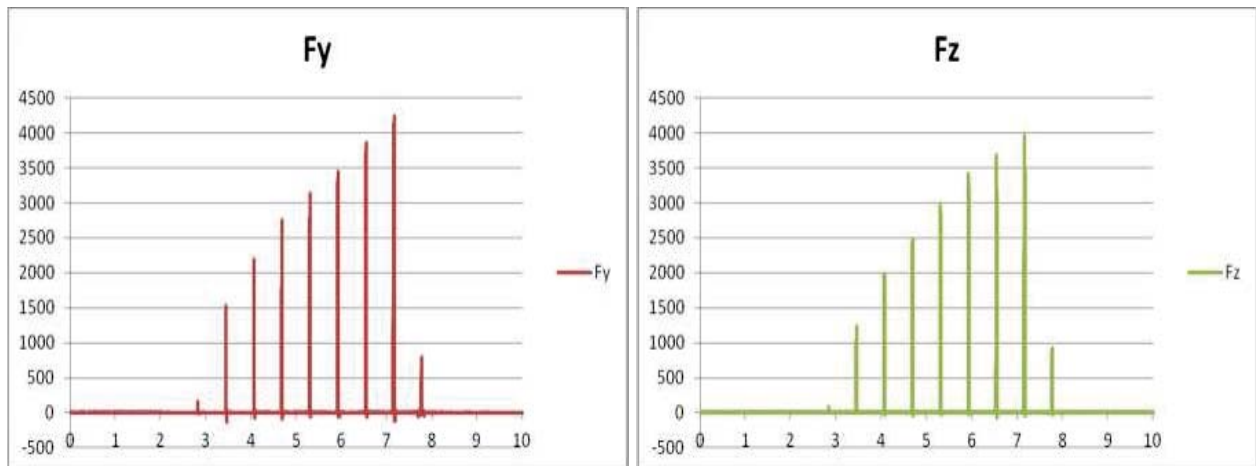


Fig. 6. Forțele de așchiere în testul nr. 40

Se poate constata că, datorită razei mari de așchiere forțele de așchiere principală și radială sunt comparabile, și au valori foarte mari.

Experimentele au dovedit că rigiditatea strungului SN400 este scăzută, cel puțin pentru prelucrările executate. Mai mult, în unele teste suprafața prelucrată a avut ondulații datorate vibrațiilor



Fig. 7. Ondulații pe suprafața prelucrată

care au apărut în timpul prelucrării (Fig. 7 – testul 22). În urma cercetărilor s-a constatat că forța principală de așchiere depinde în principal de adâncimea de așchiere, apoi de raza de așchiere și în ultimul rând de viteza de așchiere, iar forța radială de așchiere depinde în principal de raza de așchiere, apoi de adâncimea de așchiere și în ultimul rând de viteza de așchiere.

Se apreciază că forța radială de așchiere  $F_y$  este principala responsabilă pentru ecruisarea stratului superficial al suprafeței prelucrate prin așchiere ortogonală.

## 5.2 Determinarea microdurității Vickers

După realizarea experimentelor discurile au fost șlefuite pe suprafața laterală, în scopul măsurării microdurității Vickers HV 0,1 în adâncime. Măsurătorile s-au făcut din 5 în 5 sutimi de milimetru, până la adâncimea maximă de 0,3 mm, Fig. 8.

Fără a da toate valorile măsurate [3], se poate concluziona că dispersia valorilor microdurității a fost mare de la bun început, chiar pentru materialul de bază, sub suprafața neprelucrată, cu valori între 253,34 HV și 338,28 HV, media fiind de 300,66 HV. Aceasta înseamnă că materialul testat a fost neomogen, ceea ce este un aspect negativ. Valorile microdurității măsurate sub suprafața prelucrată au variat între 241,4 HV (!) și 490,7 HV. Cu toate acestea, măsurătorile au arătat o tendință de scădere a microdurității la creșterea adâncimii stratului superficial al suprafeței prelucrate.

Ca și forța de așchiere radială, microduritatea duritatea depinde de aceiași parametri ai procesului de așchiere, în ordine: raza de așchiere, adâncimea de așchiere și viteza de așchiere. Totuși, apare o diferență semnificativă: microduritatea este mai mare atunci când forța de așchiere radială este mai mică, ceea ce poate însemna că ecruisarea se produce mai accentuat la solicitări mai mici.

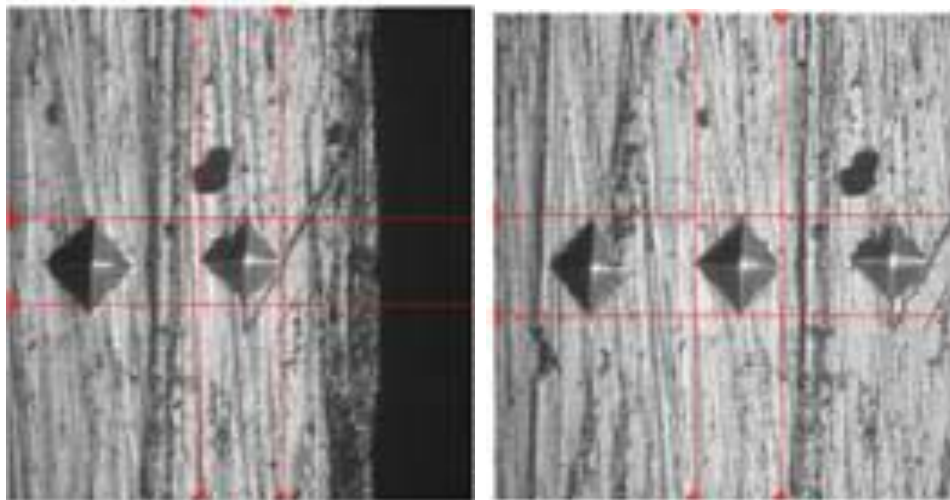


Fig. 8. Exemplificare măsurători microduritate Vickers HV0,1

În majoritatea experimentelor microduritatea Vickers a avut valori în domeniul măsurat al materialului de bază. Valori mai mari de 338,28 HV s-au obținut pentru experimentele care au utilizat valorile mari ale razei de aşchiere, respectiv, adâncimii de aşchiere.

### 5.3 Microscopie optică și electronică

Cercetările efectuate au arătat existența unui strat superficial durificat prin ecruisare, respectiv, prin deformarea plastică superficială.

Pentru vizualizarea stratului ecruisat s-a utilizat microscopia optică, efectuată cu ajutorul doamnei prof. Ionelia Voiculescu și microscopia electronică, efectuată cu ajutorul doamnei ș.l. Trușcă Roxana, cărora le mulțumim.

Dintre toate discurile supuse aşchierii ortogonale au fost șlefuite 3 discuri, prezentate în figura 9.



Fig. 9. Discuri supuse microscopiei optice și electronice

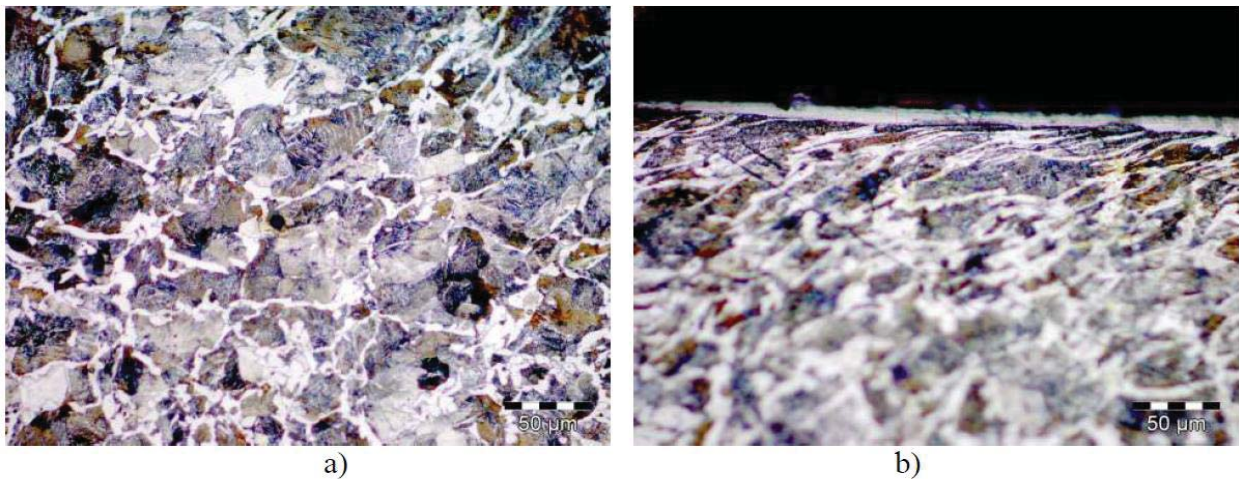


Fig. 10. Microscopie optică Test 26: a) Material de bază, b) Strat deformat / ecruisat

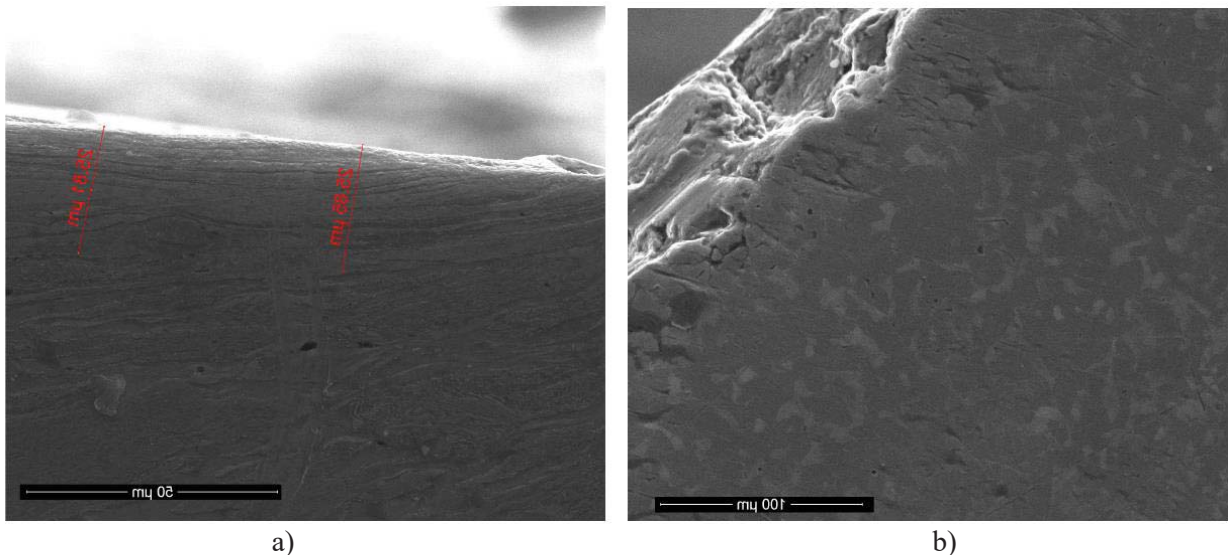


Fig. 11. Microscopie electronică SEM Test 26: a) Material de bază, b) Strat deformat / ecruisat.

Aspectul cel mai important este faptul că adâncimea stratului este mică, de ordinul zecilor de microni (sutimilor de milimetru), așa cum se poate vedea din figurile 10 și 11, ceea ce nu era de așteptat în urma simulărilor aşchierii efectuate cu DEFORM 2D™.

## 6. Elemente de tehnologia tratamentelor termice

În practică există o serie de tratamente termice, care se efectuează cu scopuri diferite.

Dintre toate tratamentele termice, pentru cercetarea prezentată sunt de interes tratamentele termice de durificare, respectiv, tratamentul termic de călire și tratamentul termochimic de cementare, din punctul de vedere al durității și al grosimii stratului durificat. Pentru documentare s-a utilizat lucrarea [4] de la bibliografie.

Printre caracteristicile tratamentelor termice se menționează călibilitatea martensitică, definită prin diametrul critic de călire în ce privește adâncimea de călire.

Diametrul critic de călire este diametrul maxim al piesei răcite într-un anumit mediu de călire, pentru care există structură martensitică în întreaga masă a piesei, piesa fiind durificată în masă, [4].

În figura 12 se prezintă adâncimea de călire pentru diferite tratamente termice asupra unui oțel carbon nealiat, având 1%C.



Pe baza celor menționate mai sus se face o observație importantă: Prin tratamentul termic de călire se obține o adâncime de călire mare, în orice caz de ordinul milimetrilor și zecilor de milimetri, până la călirea întregii mase a piesei, cu consecința explicită a existenței unei durități mari în stratul călit.

Tratamentele termochimice urmăresc modificarea structurilor chimice și structurale superficiale ale pieselor supuse acestor tratamente, având drept scop creșterea durității superficiale, a rezistenței la uzură, a rezistenței la coroziune și la oboseală.

Adâncimea de pătrundere utilă a tratamentului termochimic, deci modificarea structurii chimice care va duce la modificarea structurii metalografice și, implicit, a durității superficiale este de maxim 2-3 mm, [4].

O concluzie imediată ar fi că grosimea stratului durificat prin tratament termic sau termochimic este minim de ordinul milimetrilor, până la cazul în care întreaga piesă este durificată.

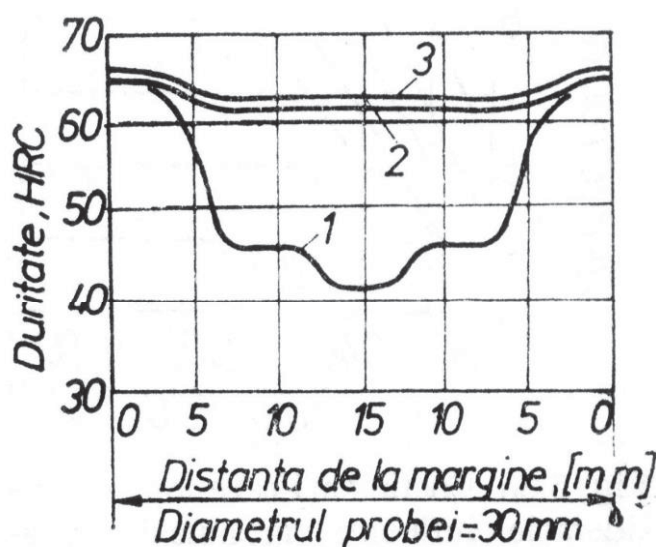


Fig. 12. Influența temperaturii de încălzire pentru austenitizare asupra adâncimii de pătrundere a călirii la un oțel nealiat cu 1%C:

1 - călire la 780° în apă (strat călit 35 mm), 2 – călire la 1000° în apă (călire pătrunsă), 3 – încălzire la 1100°, menținere 1h, răcire cu cuptorul până la 780°, apoi răcire în apă(călire pătrunsă), [4]

## 7. Concluzii

Această lucrare a studiat tendințele procesului de durificare superficială prin așchiere, în consecință, studiul s-a făcut în cazul așchierii ortogonale. Cercetarea va continua pentru cazul așchierii complexe.

Au existat atât aspecte pozitive, cât și negative. Pozitiv este faptul că a fost pus în evidență stratul ecrisat de pe suprafața prelucrată prin așchiere, atât prin simulare, cât și experimental. Negative au fost rigiditatea scăzută a strungului SN400 și neomogenitatea oțelului OLC45.

Simulările cu DEFORM 2D<sup>TM</sup> au arătat următoarele:

- tensiunile efective de sub vârful cuțitului nu sunt constante, chiar în condițiile în care oțelul OLC45 este considerat omogen de către programul DEFORM 2D<sup>TM</sup>, deoarece metoda elementului finit consideră materialele ca fiind omogene;
- valoarea tensiunilor efective depășește tensiunea de curgere a materialului prelucrat, ceea ce înseamnă deformații permanente în structura semifabricatului;
- aceste valori mari ale tensiunilor efective apar până la o adâncime de cca. 1,5...2  $a_p$  sub suprafața prelucrată, ceea ce presupune un strat superficial deformat;

- parametrii procesului de aşchiere care influenţează adâncimea şi tensiunea efectivă ale stratului superficial sunt, în ordine: adâncimea de aşchiere, raza de aşchiere (bontire) şi, mai puţin, viteza de aşchiere.

Cercetările experimentale au fost făcute on-line (măsurarea forţelor de aşchiere) şi off-line (măsurarea durităţilor şi microscopia optică şi electronică).

S-a considerat că forţa de aşchiere radială este principala responsabilă pentru deformarea plastică a stratului superficial ecruisat. Forţa de aşchiere radială depinde de aceiaşi parametri ai procesului de aşchiere ca şi tensiunile efective din stratul superficial ecruisat.

Duritatea depinde în principal de raza de aşchiere (bontire) şi de adâncimea de aşchiere. Viteza de aşchiere nu este atât de importantă, însă a rezultat că la scăderea vitezei de aşchiere duritatea stratului superficial ecruisat creşte.

Microscopia optică şi electronică a pus în evidenţă existenţa stratului superficial ecruisat al suprafeţei prelucrate dar, totodată, grosimea foarte mică a acestuia.

Prin comparaţie cu grosimea stratului durificat prin tratamentele termice şi termochimice, durificarea datorată aşchierii este total nesemnificativă.

Concluzia finală, ca răspuns al întrebării de la paragraful 2 al lucrării, întrebare care a generat cercetarea prezentată, este că durificarea superficială a suprafeţei prelucrate prin aşchiere nu poate înlocui durificarea obţinută prin tratament termic, dacă obţinerea unei durităţi mari este impusă din condiţii tehnice.

Continuarea cercetărilor poate fi făcută pe următoarele direcţii:

- reluarea cercetărilor în condiţii îmbunătăţite: material de prelucrat omogen, posibil cu duritatea iniţială obţinută printr-un tratament termic, rigiditate crescută a strungului utilizat pentru prelucrări; - cercetarea stratului superficial ecruisat în alte operaţii de prelucrare: broşare de netezire, rectificare; - studiul durificării în cazul aşchierii complexe.

## 8. Bibliografie

- [1] <https://www.eugenpopa.ro/articole/blog/cu-cat-stii-mai-mult-cu-atat-stii-mai-putin/>
- [2] Croitoru, S.M., *Bazele prelucrărilor prin aşchiere*, Editura POLITEHNICA Press, Bucureşti, 2015, ISBN 978-606-515-617-3.
- [3] Sorin Mihai Croitoru, Vidosav Majstorovic, *Superficial Hardening in Orthogonal Cutting*, 10th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering – CIRP ICME '16, Procedia CIRP 62(2017)215-220, Elsevier, available on [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), doi: 10.1016/j.procir.2016.06.017.
- [4] T. Dulămiţă ş.a., *Tehnologia tratamentelor termice*, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1982.
- [5] Sorin Mihai Croitoru, Vidosav Majstorovic, *On Superficial Hardness in Complex Cutting Process*, 16th CIRP Conference on Modelling of Machining Operations, Procedia CIRP 58(2017)590-595, Elsevier, available on [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), doi: 10.1016/j.procir.2017.03.331.