

INFLUENȚA FENOMENULUI DE ECRUISARE ASUPRA DURITĂȚII MATERIALELOR

BADEA Constantina- Cristina¹, Oprea Carmen- Beatrice², Stancu Andrei- Cristian³

Conducător științific: Sl. dr.ing. **Claudia BORDA**

REZUMAT: Deformabilitatea reprezintă capacitatea unui material de a fi deformat plastic fără apariția unor condiții nedorite. În procesele de deformare plastică starea de tensiuni și deformații este neuniformă. Starea cu proprietăți modificate crescute a materialului se numește întărire sau ecruisare. Ecruisarea este fenomenul de creștere a rezistenței prin deformare plastică la rece. Lucrarea își propune stabilirea influenței gradului de ecruisare rezultat în urma procesului de deformare plastică prin refulare la rece a materialelor nemetalice, asupra durității materialului.

CUVINTE CHEIE: deformabilitate, ecruisare, refulare, duritate.

1. INTRODUCERE

Deformabilitatea metalelor și aliajelor caracterizează capacitatea acestora de a se deforma permanent fără ruperea legăturilor interioare. Mărimea gradului de deformare posibil de aplicat unui material dat fără să apară fisuri sau ruperea acestuia în timpul deformării, în condiții de temperatură și viteză de deformare date, este în general, considerat că fiind deformabilitatea acestuia

Din această definiție decurg următoarele neajunsuri:

1. este dificil de precizat gradul de deformare la care apare prima fisură sau criteriul de rupere, respectiv mărimea critică a fisurii inițiale.
2. nu este încă acceptată o metodă de echivalare și transfer a datelor obținute din încercările de deformabilitate prin metode standardizate, la procesele industriale de deformare plastică a semifabricatelor.
3. modificarea condițiilor de deformare prezente la derularea procesului industrial, ca de exemplu temperatura și viteza de deformare, sunt dificil de

¹ Specializarea Tehnologia Construcțiilor de Mașini, Facultatea IMST;

E-mail: cristinabadea333@yahoo.com;

² Specializarea Inginerie Economică Industrială, Facultatea IMST.

³ Specializarea Tehnologia Construcțiilor de Mașini, Facultatea IMST;

luat în considerare pentru corectarea deformabilității stabilite prin încercări.

Ținând seama de aceste neajunsuri se utilizează următoarea definiție: deformabilitatea reprezintă capacitatea unui material de a fi deformat plastic fără apariția unor efecte nedorite.

Una din principalele caracteristici ale fenomenului de deformare plastică la rece a materialelor metalice este aceea că tensiunea tangențială necesară producerii deplasărilor la nivelul planelor de alunecare crește continuu, odată cu creșterea deformațiilor specifice de alunecare. În timpul deformării se produc modificări importante ale proprietăților materialului. Din punct de vedere tehnologic ne interesează modificarea proprietăților de plasticitate și, mai ales, a celor mecanice exprimate prin creșterea rezistenței de rupere la tracțiune și a durității materialului deformat cu creșterea deformației la rece. Starea cu proprietăți modificate crescute a materialului se numește întărire sau ecruisare.

Asupra comportării materialelor la deformare plastică își pun amprenta parametrii tehnologici dați de procedeul de deformare plastică (laminare, forjare, extrudare, trefilare, ambutisare, etc.) ca grad de deformare, viteza de deformare, schema de tensiuni, natura constructivă a utilajului, cât mai ales capacitatea acestuia de a se deforma.

Pentru a înțelege deformabilitatea diferită a materialelor este necesar să se cunoască mecanismul deformării plastice.

2. MECANISMUL DEFORMĂRII PLASTICE

Deformarea plastică la rece provoacă în materialele metalice și nemetalice importante modificări structurale cum ar fi: schimbarea formelor și dimensiunilor grăunților, schimbarea orientării spațiale a grăunților, schimbarea structurii fine a fiecărui grăunte.

Prin deformare plastică la rece în metale se formează importante tensiuni interne care determină modificarea tuturor proprietăților fizico-mecanice. Astfel, prin deformare plastică la rece, cresc sensibil rezistența la rupere, limita de curgere și duritatea, iar plasticitatea se micșorează. Deci prin deformare plastică la rece, metalele se întăresc, devin mai rezistente, mai dure, mai puțin plastice. Acest fenomen este numit durificare prin deformare sau ecruisare. Capacitatea de ecruisare a unui material metalic se caracterizează prin coeficientul de ecruisare care este egal cu panta curbei reale tensiune-deformație, acest fenomen se mai numește și modul de plasticitate.

Deformarea plastică reprezintă totalitatea fenomenelor de alunecare, maclare, difuzie și transmigrare a atomilor interfazici sau intercristalini; poate fi înțeleasă prin simplificare la principalul mecanism, alunecarea. Alunecarea se produce pe plane de maximă densitate în atomi; alunecarea are loc de-a lungul planului numai dacă tensiunea (de forfecare) atinge o valoare critică. În vecinătatea planului de alunecare apar perturbări elastice care blochează celelalte plane de alunecare ce tind la mărirea forței să se orienteze favorabil alunecării.

Alunecarea este favorizată de prezența dislocațiilor; acestea se pot deplasa prin două căi sincron și asincron ca în figura a unor entități structurale.

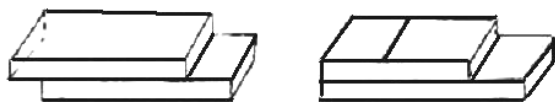


Fig. 1 Căi sincrone și asincrone

Limita de curgere depinzând de marimea rețelei de dislocații se apreciază că, la baza curgerii intervenită în deformarea plastică stă mișcarea dislocațiilor și nu deplasarea tuturor atomilor din planul de alunecare, ca în figura 2.

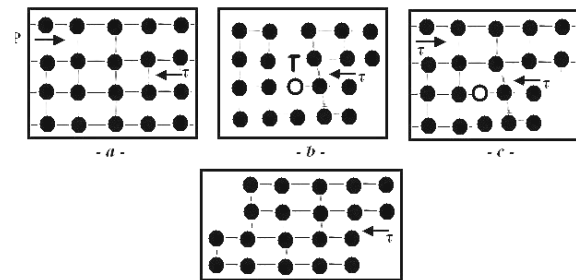


Fig. 2 Deplasarea prin alunecare a dislocațiilor

Tensiunea necesară mișcării unei dislocații este foarte mică, dar trebuie să se depășească o valoare critică τ_{cr} sugerat de condiția ca tensiunea aplicată să aibă o componentă paralelă cu planul de alunecare. Această tensiune critică va fi maximă într-un plan de alunecare ce face unghi de 45° cu direcția forței deformatoare. În cazul materialelor policristaline, probabilitatea ca să existe plane care să facă unghiuri de 45° sau apropiate de această valoare va fi mai mare. Alunecarea se va produce liber în fiecare cristal, dar este frânată de existența limitelor.

Mișcarea prin alunecare a unei dislocații până în afara planului unic determinat de vectorul Burgers b și linia de dislocație este catararea, caz în care semiplanul suplimentar este micșorat sau mărit cu sir de atomi sau vacante. În cazul dislocațiilor elicoidale se produce așa numita alunecare deviată: când este întâlnit un obstacol în calea deplasării, dislocația își continuă mișcarea pe un alt plan de alunecare din aceeași familie (apărute ca urmare a paralelismului vectorului b cu linia de dislocație). Deplasării dislocațiilor li se opun limitele, sublimitele, atomii străini dizolvați în rețea, incluziunile, particulele de fază secundară etc.

Din acest motiv metalele au plasticitate mai mare decât aliajele, iar teoretic monocristalele mai mare ca agregatele policristaline. Propagarea alunecării de la grăunții deformați la cei vecini se realizează prin excitarea surselor Franck-Read, posibilitate reală numai la concentrații mari de dislocații, ceea ce sugerează ca la deformare plastică densitatea de dislocații crește.

Această concentrare implică eforturi (tensiuni) mai mari. Întrucât limita de curgere este mai mare cu cât diametrul cristalelor este mai mic (limita dintre cristale extinsă) se sugerează ca orice extindere a limitelor sau sublimitelor va frâna procesul de deformare intervenind ecruisajul.

Ecruisarea sau durificarea prin deformare este determinată de frânarea mișcării dislocațiilor de către piedici care se formează chiar în procesul deformării plastice și datorate interacțiunii elastice

a dislocațiilor, alungirii limitelor de cristal, formării dislocațiilor imobile, etc.

Capacitatea de ecrusare a unui material se determina prin intermediul coeficientului de ecrusare care este egal cu panta curbei tensiune-deformație, în domeniul plastic el fiind chiar modulul de elasticitate din domeniul elastic.

3. ECRUISAREA

Ecrusarea este o stare instabilă din punct de vedere termodinamic, însă la temperaturi normale se menține un timp îndelungat. Fenomenul de ecrusare sau întărire se constată în special în cazul metalelor și aliajelor care cristalizează în sistemul cubic cu fețe centrate. Aceasta se explică prin existența unui număr sporit de sisteme de alunecare orientate în mai multe direcții de deformare. Fenomenul apare cu precădere în timpul deformării la rece, dar mai ales în cursul unor deformări repetate și la un grad mare de deformare. El este prezent și în condițiile în care deformarea are loc la temperaturi mai ridicate.

Ecrusarea se explică, în principal, prin interacțiunea dislocațiilor cu alte dislocații (cazul deformării la rece) și/sau cu alte obstacole care se opun deplasării lor prin rețea (cazul deformării la cald).

Cum numărul dislocațiilor crește cu creșterea gradului de deformare (de la $106...108$ până la aproximativ $10^{12}...10^{14} \text{ cm}^{-2}$) și interacțiunea lor reciprocă va fi mai mare și deci starea de tensiune internă crește mai puternic.

Tensiunile datorate dislocațiilor acumulate și blocate în zona de alunecare a materialului perturbă planele vecine pe o distanță apreciabilă ($1...10 \mu\text{m}$) împiedicând alunecarea lui în continuare. În final, toată masa materialului prezintă o rezistență sporită la deformare.

Deoarece ecrusarea poate fi anulată la o anumită temperatură, prin creșterea agitației termice, se poate afirma că este dependentă de temperatură și de mărimea deformațiilor. Curba de curgere generalizată pentru cazul deformării la rece a monocristalelor având structură cubică cu fețe centrate prezintă trei zone distincte (fig. 3.1).

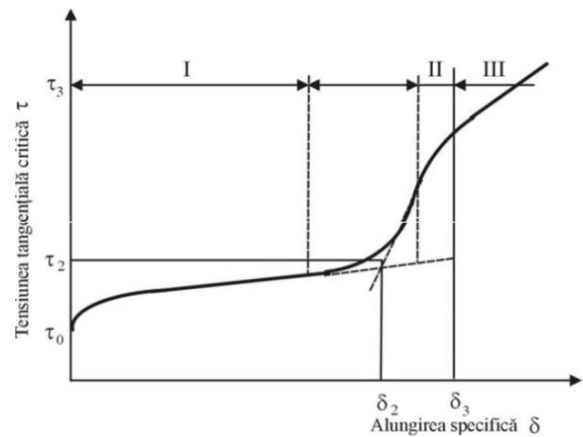


Fig 3.1. Curba de curgere

Zona I – faza alunecărilor mici, respectiv a ecrusării reduse marcată prin faptul că dislocațiile se pot deplasa pe distanțe relativ mari fără a întâlni obstacole. Zona II – faza alunecărilor rapide, respectiv ecrusării (întăririi) foarte pronunțate. În această fază are loc creșterea rapidă a numărului de dislocații. Fenomenul principal care contribuie la ecrusare este cel al concentrării grupurilor de dislocații.

Zona III – a creșterii lente a ecrusării. Alunecarea în plan perpendicular pe direcția de acțiune a forței exterioare se consideră a fi procesul principal prin care dislocațiile concentrate în faza a II-a se pot elibera și pot reduce câmpul intern de deformații. Zona a III-a a curbei depinde foarte mult de temperatură. Dacă un astfel de cristal este deformat către sfârșitul zonei a II-a la o temperatură t_1 și apoi această temperatură este ridicată la temperatura t_2 fără a se modifica deformația, temperatura de curgere scade de la σ_1 la σ_2 . Starea de ecrusare atinsă la temperatura t_1 devine nestabilă când temperatura este ridicată la temperatura t_2 , astfel că începe un proces de restaurare, care tinde să reducă ecrusarea la valoarea pe care ar fi avut-o dacă deformarea s-ar fi făcut la temperatura t_2 . Această comportare este denumită de înmuiere prin deformare și este rezultatul eliberării, la temperatura t_2 , a dislocațiilor blocate la temperatura t_1 (fig. 3.2). Fenomenul de ecrusare se manifestă similar și în cazul materialelor policristaline (fig. 3.3).

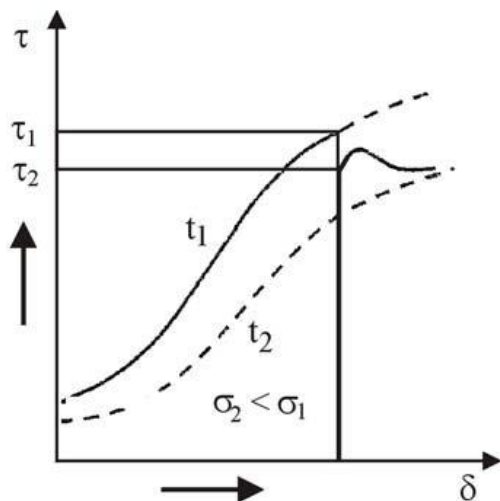


Fig. 3.2

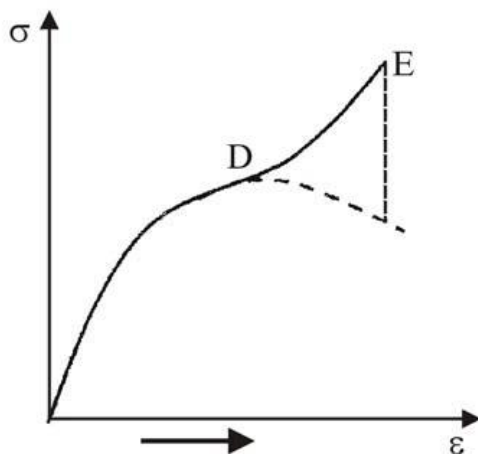


Fig. 3.3 Ecruierea materialelor policristaline

Ecruierea este mai accentuată pentru materialele policristaline în raport cu monocristalele. Ea este determinată de condițiile mult mai complexe în care se produce deformarea grăunților cristalini învecinați. Aceasta deoarece, pentru păstrarea contactelor dintre acești grăunți se impune alunecarea simultană după cel puțin cinci sisteme de alunecare. Acest lucru favorizează formarea grupărilor de dislocații și mărește rezistența opusă dislocațiilor în mișcare.

Ecruierea poate reprezenta și un procedeu important utilizat pentru durificarea metalelor și aliajelor care nu sunt susceptibile la durificare prin tratament termic.

4. FACTORII DE INFLUENȚĂ AI DEFORMABILITĂȚII:

Principalii factori de influență ai deformabilității pot fi grupați în două categorii:

1. Factori aferenți materialului: compoziție, structură, puritate, evoluție metalurgică, localizarea deformației.

2. Factori aferenți procesului: temperatura deformării, viteza de deformare, starea de tensiuni și deformații, presiunea hidrostatică, frecarea sculă/semifabricat, geometria sculă/semifabricat.

Compoziția chimică a unui aliaj influențează deformabilitatea atât prin determinarea tipului rețelei de cristalizare cât și a punctelor caracteristice (solidus/lichidus, transformări de fază, recristalizare, separare/dizolvare precipitate, etc.).

Structura influențează deformabilitatea prin tipul rețelei de cristalizare, numărul fazelor prezente în intervalul temperaturii de deformare, distribuția, forma și mărimea precipitatelor/fazei în exces, mărimea și forma granulației matricei metalice de bază, ponderea relativă recristalizare/ecruisare și omogenitatea structurală.

Puritatea influențează pozitiv deformabilitatea prin asigurarea unei deformări omogene, în timp ce impuritățile favorizează generarea fisurilor la interfața acestora cu matricea metalică.

Impuritățile în metale și aliaje au influență defavorabilă asupra deformabilității.

Localizarea deformației în timpul unui proces de deformare plastică influențează deformabilitatea prin modificarea caracteristicilor structurale și a proprietăților materialului din zona îngustă a deformației localizate, ceea ce conduce la apariția fisurilor în zona respectivă, fie în timpul operației de deformare plastică, fie pe durata utilizării piesei deformate.

Localizarea deformației sau a curgerii în timpul deformării este cauza comună a formării "zonei moarte" dintre semifabricatul deformat și scula de deformare.

Temperatura de deformare

Cu creșterea temperaturii viteza de dezecruisare crește și deasemenea se mărește și viteza de înlăturare a microfisurilor care au apărut în timpul deformării.

Ca o consecință, odată cu creșterea temperaturii are loc și creșterea deformabilității metalelor și aliajelor.

Din cauza unor transformări care au loc la încălzire în unele metale și aliaje, precum și a modificărilor în mărimea grăunților, variația deformabilității cu temperatura poate să aibă loc într-un mod mai complex, adică, în anumite limite, prin creșterea temperaturii, deformabilitatea poate să scadă.

5. INFLUENȚA DEFORMĂRII PLASTICE ASUPRA STRUCTURII ȘI PROPRIETĂȚILOR MATERIALELOR METALICE

5.1 Metoda măsurării durității

Se bazează pe dependență dintre gradul de deformare și intensitatea ecruisării. Metoda se aplică doar în deformările plastice la rece. Metoda constă în deformarea plastică a unui semifabricat, urmată de secționarea axială și măsurarea durității în diverse puncte pe una din suprafețele plane rezultate prin tăiere. În punctele în care deformarea

s-a produs mai intens, duritatea va fi mai mare datorită ecruisării mai puternice a materialului.

În cazul deformării plastice la rece se produc modificări ale proprietăților mecanice variabile cu gradul de deformare (deformația ϵ produsă) ca în figura 4.

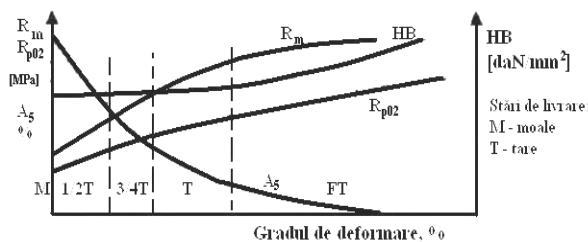


Fig. 4 Variația proprietăților mecanice la deformarea la rece

5.2 Metoda rețelelor rectangulare

Constă în secționarea corpului înainte de deformare cu un plan axial și trasarea unei rețele rectangulare pe una dintre suprafețele plane rezultate.

5.3 Metoda șurubului introdus excentric

Constă în introducerea unui șurub într-o epruvetă nedeformată astfel încât filetul acestuia să treacă prin axa longitudinală a epruvetei. Metodă permite determinarea cantitativă a neuniformității deformației.

6. DETERMINAREA DURITĂȚII PRIN METODA VICKERS

Metoda Vickers este o metodă universală de determinare a durității (SR EN ISO 6507-1:2006), care utilizează ca penetrator o piramidă de diamant. Deoarece diamantul are cea mai mare duritate dintre toate materialele utilizate în industrie, metoda poate fi aplicată la determinarea durității oricărui material. Se recomandă îndeosebi, la determinarea durității materialelor ce

au duritatea probabilă mai mare de 300 daN/mm². La materialele a căror duritate este mai mică decât această valoare se folosește metoda Brinell.

Principiul metodei constă în apăsarea unui penetrator pe materialul încercat, cu o forță ce crește lent de la valoarea zero la valoarea maximă. Penetratorul este confecționat din diamant și are formă piramidală dreaptă, cu baza pătrată, având unghiul diedru la vârful fețelor opuse ale piramidei de $136 \pm 0,5^\circ$. (fig. 5)

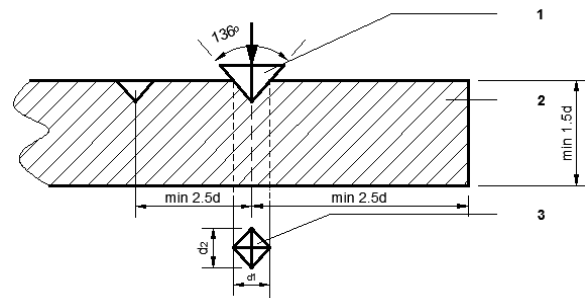


Fig. 5. Schema de principiu a încercării pentru determinarea durității prin metoda Vickers: 1- penetrator piramidă de diamant; 2- epruvetă; 3- urmă lăsată de penetrator epruvetă.

Duritatea Vickers HV se exprimă prin raportul dintre sarcina de încărcare aplicată F , în kgf și aria A , în mm² a suprafeței laterale a urmei produse, urma fiind considerată ca o piramidă dreaptă diagonala d în mm, având la vârful același unghi ca și penetratorul. Deci:

$$HV = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{d^2}{2 \sin 68^\circ}} = \frac{1,8544 * F}{d^2} \quad (1)$$

Adâncimea de penetrare a piramidei Vickers în material este de numai $1/7 * d$. Datorită adâncimii mici de pătrundere a penetratorului în material, metoda poate fi utilizată și pentru determinarea durității pieselor mici, subțiri, a straturilor tratate termic, depuse galvanic etc.

Sarcina normală de încărcare este de 30 kgf, respectiv 294,2 N. Durata de menținere a sarcinii la piesele din oțel este de 10...15 s, la metalele neferoase și aliajele lor de 30...35 s, iar la metalele moi de 120...125 s.

Pentru determinarea durității prin metoda Vickers se execută cel puțin 3 încercări, făcându-se media rezultatelor obținute.

7. REZULTATE EXPERIMENTALE

Pentru efectuarea lucrării sunt următoarele aparate și materiale:

- O presă (mașina universală de încercat din laborator) pentru realizarea deformării plastice la rece

- Material: aliaj de neferos

Ecrusarea este influențată de gradul de deformare plastică, în principal, de temperatura de deformare T și de starea inițială a materialului. Caracteristica cea mai sensibilă de determinat în condiții de laborator, în vederea caracterizării ecrusării, este duritatea. În acest sens, lucrarea se desfășoară în următoarele etape:

- Se pregătesc 5 probe dintr-un material al cărui marcă, compoziție chimică și caracteristici mecanice sunt cunoscute.



Fig. 6. Piesele înainte de deformare

- Se măsoară duritatea materialului aflat în starea inițială, în cinci puncte și se face media acestor măsurători;

Forța utilizată pentru măsurarea durității inițiale a piesei este de 3kgF, iar timpul de apăsare 35s.

Duritatea epruvetei etalon este prezentată în tabelul 1.

Tabelul 1. Duritatea epruvetei etalon

Nr. Crt.	Duritate în puncte [HV3/35]	Duritatea epruvetei [HV3/35]
1	10,6	10,7
2	10,5	
3	10,9	
4	10,9	
5	10,6	

- Se realizează deformarea la rece a fiecărei probe la diferite grade de refulare. Gradul de refulare relativ se notează cu $Y_1 \dots Y_5$;

S-a supus deformării plastice prin refulare piesa cu șurubul asamblat (cu ajutorul preseii hidraulice cu valoarea maximă a forței de deformare 60 tf.)

Piesele în starea inițială au avut lungimea de 38,8 mm și diametrul de $\Phi 29$.



Fig. 7 Poziționarea piesei în vederea deformării plastice pe presă

S-au măsurat valorile forței de deformare și ale deplasării în timpul procesului de deformare al celor 4 epruvete deformate (vezi Tabel 2-5).

Variația forței și a cursei de lucru pentru epruveta 1 este prezentată în tabelul 2.

Tabelul 2. Variația forței și a cursei de lucru (epruveta 1)

Timp [s]	Forță [tf]	Cursă [mm]
0	0	0
10	1,3	1
20	1,7	2
30	2	5
40	2,2	6
50	2,4	7
60	2,7	9
70	2,9	10
80	3,2	12
90	3,8	15
100	4,4	16
110	5,1	19
120	6,1	20
130	7,4	25
140	8,8	60

Variația forței de refulare în funcție de cursa de lucru la deformare plastică pentru cele 4 epruvete este prezentată în figurile (8-11).

Variația forței de refulare pentru epruveta 1 este prezentată în fig. 8.

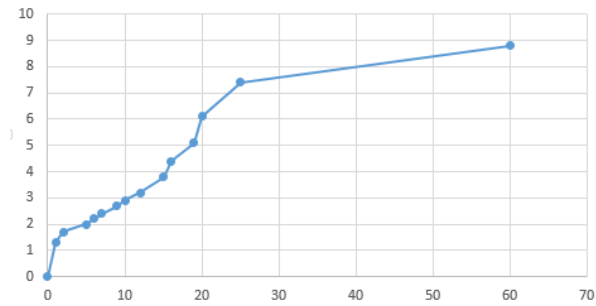


Fig. 8 Variația forței de refulare epruveta 1.

Timp [s]	Forța t[f]	Cursă [mm]
0	0	0
10	1,3	4
20	1,9	6
30	2	7
40	2,3	9
50	2,8	12
60	3,3	14
70	3,5	15
80	3,9	17
90	4,4	19
100	5,4	22

Tabelul 3. Variația forței și a cursei de lucru (epruveta 2)

Timp [s]	Forța t[f]	Cursă [mm]
0	0	0
10	1,3	1
20	1,9	2
30	2	4
40	2,2	5
50	2,4	6
60	2,7	8
70	2,9	9
80	3	10
90	3,2	12
100	3,5	13

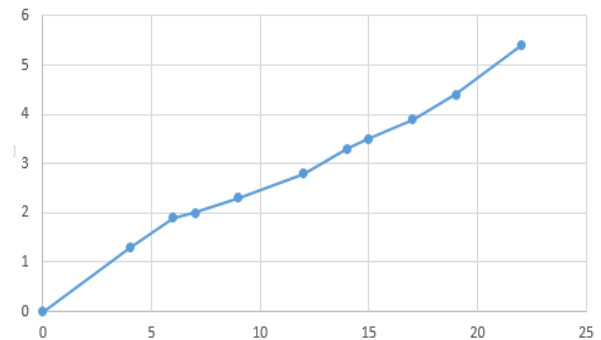


Fig. 10 Variația forței de refulare pentru a treia epruvetă.

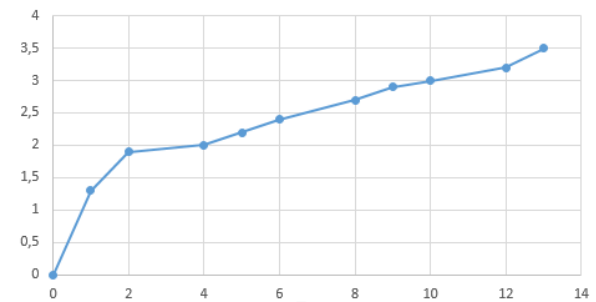


Fig. 9 Variația forței de refulare pentru a doua epruvetă.

Timp [s]	Forța t[f]	Cursă [mm]
0	0	0
10	1,3	1
20	1,7	2
30	2	5
40	2,2	6
50	2,4	7
60	2,7	9
70	2,9	10
80	3,2	12
90	3,8	15
100	4,4	16
110	5,1	19
120	6,1	30
130	7,4	35
140	8,8	70

Tabelul 3. Variația forței și a cursei de lucru (epruveta 2)

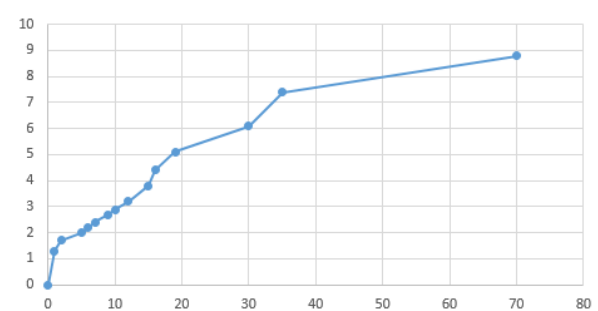


Fig. 11 Variația forței de refulare pentru a patra epruvetă .

- Se calculează gradul de refulare relativă cu ajutorul relației:

$$Y = (h_0 - h_1)/h_0 \times 100, [\%]$$

în care: h_0 este înălțimea inițială a epruvetei iar h_1 este înălțimea acesteia după ce a fost supusă procesului de deformare prin refulare.

Valorile măsurătorilor și cele rezultate în urma determinărilor experimentale se trec în tabelul 6.

Tabelul 6

Nr. probă	Înălțime inițială [mm]	Înălțime finală [mm]	Gradul de ecruisare [%]
1	38,8	38,8	0
2	38,8	26,7	28,6
3	38,8	18,9	51,28
4	38,8	13	66,49
5	38,8	7,4	80,92

Aspectul final al epruvetelor este prezentat în fig.12.



Fig.12 Epruvete deformate

- Se măsoară duritatea fiecărei probe deformate în cinci puncte și se face media valorilor obținute; Valorile durităților epruvetelor sunt prezentate în tabelul 6.

Tabelul 7

Nr. epruvetă	Duritate Vickers [HV3/35]
Epruveta etalon	10,7
1	10,9
2	11,1
3	11,3
4	11,6

Pe baza rezultatelor înscrise în tabel se trasează curba de variație a durității în funcție de gradul de refulare relativă. (fig. 13). La grade mai mici de deformare se constată o creștere nesemnificativă a durității. Această creștere este datorată faptului că la începutul deformării, numărul dislocațiilor scade deoarece dislocațiile de sens contrar se anulează și pentru că apariția fenomenului de revenire poate fi ușor atins la temperatura rezultată în urma procesului.

La grade de deformare mari, duritatea materialului crește.

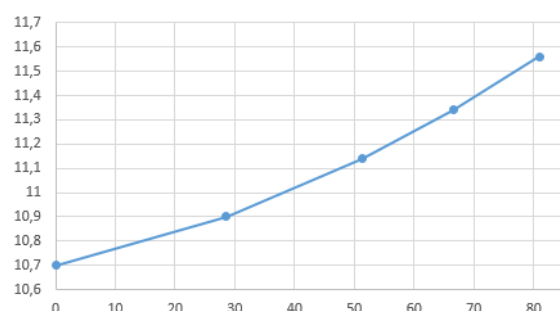


Fig. 13. Curba de variație a durității în funcție de gradul de refulare

Pe baza rezultatelor obținute se vor evidenția principalii factori ce influențează gradul de ecruisare.

8. CONCLUZII.

Lucrarea și-a propus stabilirea influenței gradului de ecruisare rezultat în urma procesului de deformare plastică prin refulare la rece a materialelor metalice neferoase, asupra durității materialului testat.

Am căutat să punem în evidență printr-un experiment practic de refulare, noțiunile teoretice legate de ecruisare apărute în material în timpul procesului de deformare plastică.

Astfel, cu cât gradul de ecruisare este mai mare, cu atât duritatea materialului crește.

Așa cum s-a putut observa din imaginile prezentate, experimentul efectuat a confirmat ipotezele teoretice formulate și ne-a ajutat să înțelegem mai bine fenomenele care au loc în material.

8. MULȚUMIRI

Mulțumirile noastre să îndreaptă către doamna Profesor dr. ing. Claudia Borda, care ne-a îndrumat, susținut și coordonat în scopul de a putea realiza această lucrare științifică, fără al cărui ajutor nu ar fi fost posibilă finalizarea și realizarea prezentei lucrări.

9. BIBLIOGRAFIE

- [1]. Stoian, L. și Vintilă, N. (1980), Tehnologia materialelor, Didactică și Pedagogică, Bucuresti.
- [2]. Nanu, A., (1977), Tehnologia materialelor, Ed. Didactică și Pedagogică, București.
- [3]. Cazimirovici E., (2001), Teoria deformărilor plastice, Editura BREN, București.
- [4]. Romanovski, M., Stantarea si matritarea la rece, Editura Tehnica, 1970.
- [5]. Vida Simiti, I., Banabic, D., Bicsak, E., Canta, T., Domsa, S., Kerekes, L., Soporan, V., Prelucrabilitatea materialelor metalice, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1996.
- [6]. Teodorescu M. și alții, Prelucrări prin deformare plastică la rece (Vol. 2), Editura Tehnica, 1989.