

INFLUENȚA TEMPERATURII ASUPRA REZILIENȚEI OȚELULUI E295

BADEA¹ Cristina

¹Facultatea: IMST, Specializarea: TCM, Anul de studii: TCM, e-mail: cristinabadea333@yahoo.com

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

REZUMAT: Reziliența este o încercare de încovoiere prin șoc destinată studierii comportării materialului în condiții de viteză de deformare mare, de temperatură și stare de tensiune spațială, în speță de a aprecia tenacitatea sau ductilitatea în condițiile menționate.

Lucrarea își propune studiul comportării materialului E295, folosit pentru elemente de construcții mecanice supuse la solicitări ridicate, la șoc cu ajutorul ciocanului- pendul Charpy. Aceasta are drept scop evidențierea rezilienței la diferite temperaturi astfel încât să se micșorize riscul unei ruperi fragile a materialului care în mod normal este ductil, în anumite condiții de solicitare, la viteze mari de deformare, temperatură și stare de tensiune spațială poate deveni fragil.

CUVINTE CHEIE: reziliență, temperatură, Charpy, șoc

1. Introducere

Caracteristicile dinamice ale materialelor metalice se evaluează în cadrul unor încercări mecanice speciale denumite încercări dinamice și care se realizează prin aplicarea sarcinilor prin șoc.

Un oțel, care în mod normal este ductil, poate deveni fragil în anumite condiții de solicitare, cum ar fi: viteză de deformare mare, temperatură scăzută și stare complexă de tensiune. Pentru a se produce o rupere fragilă nu este nevoie ca toți acești factori să fie prezenți simultan. Ca urmare a apărut necesitatea elaborării unei încercări noi, destinată a studia comportarea tenace sau fragilă a metalului, comportare ce nu poate fi sesizată prin încercări statice. Această încercare este încercarea de încovoiere prin șoc, cunoscută și sub denumirea de încercarea de reziliență [1].

În mod obișnuit aceste încercări presupun ruperea epruvetelor supuse încercării de către o masă în mișcare de rotație sau în cădere liberă, rupere executată dintr-o singură lovitură. Utilizarea acestor încercări a luat amploare mai ales după producerea catastrofelor navale datorate ruperilor fragile, catastrofe care au atras atenția că un oțel, care în mod normal este ductil, în anumite condiții de solicitare, la viteze mari de deformare, temperatura și stare de tensiune spațială poate deveni fragil. Încercările de laborator efectuate au demonstrat că nu este necesar ca toți factorii enumerați să intervină simultan pentru a schimba comportarea unui material metalic și pentru a se produce ruperea fragilă.

În general, o încercare de încovoiere prin șoc este destinată studierii comportării materialului în condiții de viteză de deformare mare, de temperatură și stare de tensiune spațială, în speță de a aprecia tenacitatea sau ductilitatea în condițiile menționate.

Această încercare mai este utilizată pentru a controla calitatea și omogenitatea structurală a unor produse obținute prin turnare, pentru a verifica uniformitatea unor tratamente termice aplicate și a gradului de îmbătrânire a materialelor utilizate la cazane și turbine cu aburi etc.

Am ales a studia comportarea oțelului E295 deoarece este folosit pentru elemente de construcții mecanice supuse la solicitări ridicate: bare de tracțiune, arbori drepți și cotiți, arbori pentru pompe și turbine, cârlige de macara, menghine, piulițe, șuruburi de precizie, roți dințate pentru viteze periferice mici.

Tabelul 1. Caracteristicile materialului analizat [1]

	Caracteristici mecanice minime			Reziliența	Energia de rupere	
	Limita de curgere R_c [N/mm ²]	Rezistența la rupere R_m [N/mm ²]	Alungirea la rupere A5 [%]	KCU 300/2 [J/cm ²]	Temperatura [°C]	KVI
E295	290/280/ 270	490...610	21	60	20	27

2. Încercarea la încovoiere prin șoc a materialelor metalice

Pentru a evidenția particularitățile comportării la rupere a materialelor metalice la diferite temperaturi se folosește (ca încercare de referință) încercarea la încovoiere prin șoc. Condițiile și modul de realizare a încercării la încovoiere prin șoc și caracteristicile mecanice care se pot determina prin această încercare sunt reglementate prin standardul SR EN 10045.

Încercarea la încovoiere prin șoc se execută pe epruvete confecționate din materialul metalic care se cercetează, având configurația și dimensiunile în conformitate cu prescripțiile SR EN 10045. Epruvetele standardizate au forma unor prisme pătrate drepte, cu lungimea (înălțimea) de 55 mm și latura bazei de 10 mm și sunt prevăzute pe una din fețele laterale cu o creștătură centrală (un concentrator de tensiuni mecanice); în funcție de forma creștăturii, epruvetele pot fi: a) cu creștătură în formă de V, la care creștătura are adâncimea de 2 mm, unghiul de deschidere de 45° și raza de rotunjire la vârf de 0,25 mm; b) cu creștătură în formă de U, la care creștătura are adâncimea de 5 mm și raza la vârf de 1 mm.

Pentru efectuarea încercării la încovoiere prin șoc se utilizează, de obicei, un aparat numit ciocan – pendul Charpy.

Valorile energiei de rupere (sau rezilienței) determinate prin încercarea la încovoiere prin șoc a unor epruvete dintr-un anumit material sunt în directă corelație cu comportarea la rupere a materialului (sunt caracteristici ce exprimă tenacitatea la rupere a materialului): dacă materialul prezintă o comportare fragilă la rupere (rupere cu aspect cristalin - strălucitor), valorile energiei de rupere (sau rezilienței) sunt scăzute, iar dacă materialul prezintă o comportare ductilă la rupere (rupere cu aspect fibros), valorile energiei de rupere (sau rezilienței) sunt ridicate (se consumă energie atât pentru realizarea suprafețelor de rupere, cât și pentru deformarea plastică apreciabilă a materialului înainte de rupere).

Pornind de la această constatare, a apărut ideea că rezultatele încercării la încovoiere prin șoc a unui material metalic se pot utiliza pentru determinarea unei temperaturi (convenționale) de tranziție ductil - fragil a materialului respectiv [5].

În acest scop, din materialul metalic analizat se prelevează mai multe epruvete, se efectuează încercarea la încovoiere prin șoc a acestora la diferite temperaturi, iar rezultatele obținute se transpun în diagrame, având în abscisă temperatura, iar în ordonată valorile caracteristicii KV sau KU, așa cum se prezintă în figura 1 a; deoarece majoritatea materialelor metalice au un domeniu de temperaturi în care prezintă o comportare bimodală la rupere (parțial fragilă și parțial ductilă), temperatura de tranziție ductil - fragil se definește prin criterii convenționale, cum ar fi:

* temperatura de tranziție ductil - fragil este temperatura la care KV are o valoare prescrisă X (se notează tKVX);

* temperatura de tranziție ductil - fragil este temperatura la care KV sau KU are o valoare egală cu jumătate din valoarea energiei de rupere corespunzătoare comportării ductile la rupere (se notează t_{0,5});

* temperatura de tranziție ductil - fragil este temperatura la care jumătate din aria suprafețelor de rupere ale epruvetelor are aspect (cristalin - strălucitor) de rupere fragilă (se notează t50%).

Utilizarea încercării la încovoiere prin șoc la determinarea temperaturii de tranziție ductil - fragil a materialelor metalice a evidențiat următoarele aspecte (v. fig. 1 b):

* materialele metalice cu structură monofazică de metal pur sau soluție solidă și rețele cristaline de tip CFC prezintă comportare ductilă la rupere la orice temperatură (temperatura lor de tranziție ductil - fragil este situată la temperaturi foarte scăzute, în vecinătatea temperaturii 0 K);

* unele materiale metalice (cum ar fi compușii intermetalici sau aliajele care conțin în structură eutectice cu compuși intermetalici) au comportare fragilă la rupere pe un domeniu de temperaturi foarte extins (temperatura lor de tranziție ductil - fragil este situată la temperaturi ridicate);

* materialele metalice în structura cărora predomină faze de tip soluție solidă sau metal pur cu rețele cristaline de tip CVC prezintă temperaturi de tranziție ductil - fragil situate în domeniul -100 0C...+100 0C, domeniu uzual de exploatare al construcțiilor tehnice; pentru piesele confecționate din astfel de materiale este importantă efectuarea încercării la încovoiere prin șoc pentru verificarea comportării ductile la rupere la temperatura de utilizare.

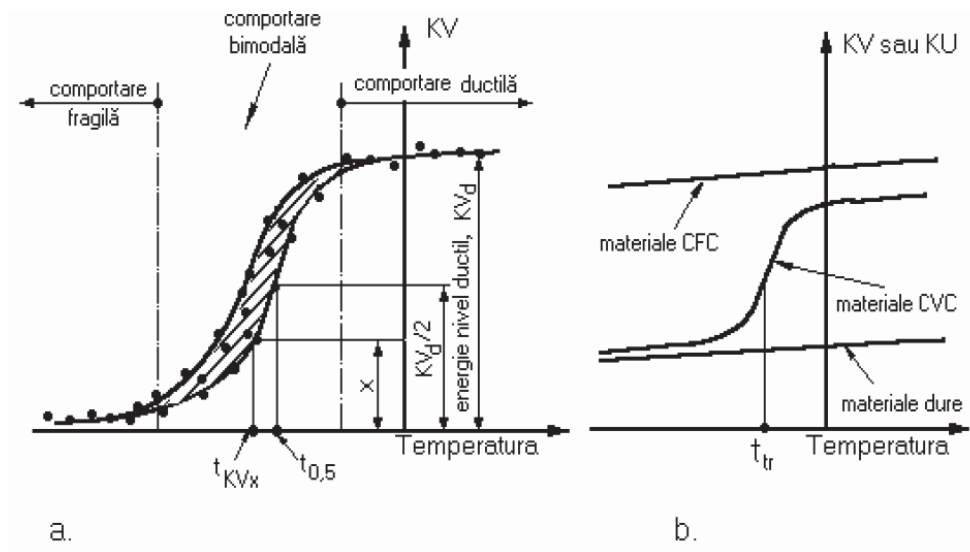


Fig. 1 Variația cu temperatura a caracteristicilor KV sau KU la diferite materiale metalice [3]

În cazul folosirii epruvetelor cu creștătură în “V”, proprietatea principală determinată este tenacitatea materialului (KV), exprimată prin energia efectivă W_e consumată la ruperea epruvetelor în condiții standardizate și determinată cu relația:

$$KV = W_e = G \cdot (H_i - H_f) \quad [J] \quad (1)$$

unde G este greutatea pendulului; H_i - înălțimea inițială; H_f - înălțimea finală a pendulului.

În cazul folosirii epruvetelor cu creștătură în “U”, proprietatea principală determinată este reziliența (KCU), care se calculează cu relația:

$$KCU = \frac{W_e}{S_0} \quad [J/cm^2] \quad (2)$$

unde W_e este energia consumată la ruperea epruvetei; S_0 - aria secțiunii inițiale a epruvetei măsurată în dreptul creștăturii.

$$S_0 = b \cdot a_c \quad [mm^2] \quad (3)$$

unde: b - lățimea epruvetei; a_c - înălțimea epruvetei în dreptul creștăturii.

Pentru realizarea încercării la încovoierie prin șoc se folosesc epruvete standardizate având forma și dimensiunile prezentate în figura 2.

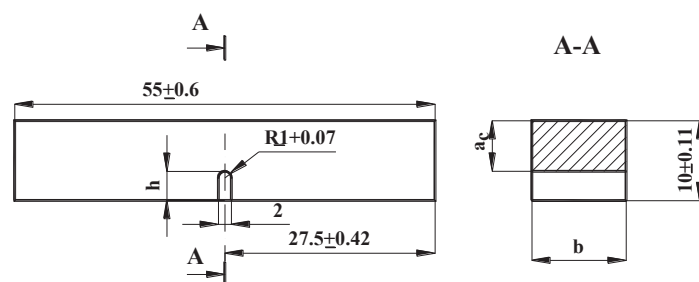


Fig. 2. Epruvetă cu creștătură în forma de “U” [8]

3. Factori care influențează caracteristicile mecanice și elastice ale materialelor

Caracteristicile mecanice și elastice pentru un material dat, pot fi modificate, în mod real sau aparent, de către anumiți factori. În mod aparent, aceste caracteristici pot fi modificate de viteza de

încărcare a epruvetei, dimensiunile epruvetei, tehnologia de elaborare a materialului și de confecționarea epruvetei. Modificarea reală a caracteristicilor mecanice și elastice este produsă de:

- temperatură;
- timp;
- ecrusare;
- tratamente termice.
- *Influența vitezei de încărcare*

Pentru determinarea caracteristicilor mecanice uzuale se recomandă viteze de încărcare relativ mici. Cu cât sarcina se aplică mai încet cu atât tensiunea este mai mică, iar alungirea crește și invers. La multe materiale, caracteristicile mecanice cresc la viteze mari de încărcare. În acest caz deformațiile plastice nu se pot dezvolta datorită timpului scurt în care se face încărcarea și rezultă deformații specifice la rupere mai mici și rezistențe de rupere mai ridicate. La unele materiale cu rupere foarte fragilă se constată o scădere a caracteristicilor mecanice cu creșterea vitezei de încărcare. De asemenea se poate întâmpla ca un material care prezintă o rupere tenace la solicitări statice să poate deveni fragil la viteze mari de încărcare [2].

- *Influența dimensiunilor epruvetei*

Dimensiunile epruvetei influențează într-o anumită măsură tensiunea de rupere la tracțiune, astfel că pentru același material se obțin valori mai mici pentru σ_r la încercarea unor epruvete de dimensiuni mai mari. Acest fenomen poate fi explicat prin faptul că ruperea materialului este amorțită de către microdefecte ale materialului, de la care pornesc microfisuri și apoi fisuri care conduc la secționarea epruvetei. Cu creșterea volumului de material crește și numărul microdefectelor și deci probabilitatea apariției unor microdefecte importante care vor amorsa microfisurile la tensiuni mai mici.

Observații:

1. Dimensiunile epruvetelor au o influență relativ mică la oțeluri.
2. Tensiunea la rupere determinată pe sârme foarte subțiri are valori mult mai mari decât cea determinată pe epruvete normale, confecționate din același material.
3. Dimensiunea epruvetei are o influență foarte mare la fonte, care sunt materiale cu mai multe microdefecte.

- *Influența tehnologiei de elaborare a materialului și de confecționarea epruvetei*

La elaborarea unui material, compoziția chimică și parametrii tehnologici prezintă anumite variații, care trebuie să fie cât mai mici posibil, pentru a putea garanta caracteristicile mecanice și elastice ale materialului. Totuși, anumite variații sunt inevitabile și pot conduce la o dispersie mai mică sau la o dispersie mai mare a caracteristicilor elastice și mecanice.

Tehnologia de elaborare a materialului poate influența semnificativ caracteristicile elastice și mecanice ale materialului. Astfel, același oțel are tensiunea la rupere mai ridicată dacă este forjat, mai scăzută dacă este laminat și mai scăzută dacă este turnat, iar polimerii au tensiunea de rupere și densitatea mai mare dacă sunt turnați sub presiune decât dacă sunt turnați liber [4].

În cazul materialelor anizotrope caracteristicile elastice și mecanice depind de direcția de prelevare a epruvetei.

- *Influența temperaturii*

Temperatura la care se înregistrează curbele caracteristice corespunde unor valori curente din timpul exploatarei și este de circa 20° C. Experiența arată că variația de temperatură influențează în mare măsură caracteristicile elastice și mecanice ale materialelor. Cu toate că în aplicațiile inginerești există mașini și structuri care lucrează la temperaturi mult diferite de cea a mediului analiza comportării materialelor funcție de temperatură este complexă și dificilă [6].

La oțelurile carbon rezistența la rupere prezintă un maxim, iar alungirea la rupere un minim în jurul temperaturii de 300° C. La temperaturi mai ridicate se înregistrează scăderi importante ale rezistenței și alungiri mai mari. Modulul de elasticitate scade continuu cu temperatura. În schimb la temperaturi scăzute tensiunile de rupere ale oțelurilor cresc deoarece materialele trec din starea tenace în starea fragilă, în care caz deformațiile lor plastice sunt foarte mici. În această situație materialele devin sensibile la încărcări dinamice. Unele materiale metalice devin fragile la numai -20° C.

- *Influența timpului*

În practică viteza de încărcare și durata de acțiune a sarcinilor exterioare variază în limite destul de largi, astfel că există sarcini care variază foarte încet și sarcini care variază foarte repede.

În anumite condiții unele materiale au o comportare vâsco-elastică, adică își modifică starea de deformații și/sau tensiunii atunci când o sarcină acționează timp îndelungat. La oțeluri comportarea vâsco-elastică se manifestă pregnant la temperaturi de peste 300°C, pe când la polimeri ea se manifestă chiar și la temperatura mediului. Tensiunile sunt funcții nu numai de alungirile specifice, dar și de timp. Un asemenea comportament se numește neliniar vâsco-elastic.

4. Utilajul folosit

Pentru efectuarea încercării la încovoiere prin șoc se folosește ciocanul pendul Charpy. El este prevăzut cu un ciocan de greutate G_p , care oscilează, practic fără frecare, în jurul axului O . Pentru ruperea epruvetei așezată liber pe două reazeme de pe batiu, ciocanul cade de la o anumită înălțime H , la care fusese ridicat și fixat. Energia potențială a ciocanului pendul în această poziție este W_0 . Legea conservării energiei mecanice presupune că energia potențială a unui corp se transformă integral în energie cinetică și invers [7]. Ciocanul pendul eliberat din poziția inițială lovește epruveta prin intermediul unui cuțit din material dur și o rupe, consumând astfel o parte din energia sa cinetică. Energia consumată se notează cu W_c . Restul de energie este folosit de pendul pentru a se ridica la o înălțime h , invers proporțională cu lucrul mecanic consumat pentru ruperea epruvetei. Ciocanul pendul Charpy are montat un cadran gradat pe care se poate citi direct lucrul mecanic consumat pentru ruperea epruvetei.

În general, ciocanele pendul cu cadran au o singură poziție de lansare, iar variația energiei de lovire nu se poate obține decât prin schimbarea discului pendulului. Această operație de schimbare este limitată, deoarece există pericolul modificării poziției centrului de percuzie și a raportului greutateților. Din această cauză ciocanele pendul cu cadran sunt prevăzute doar cu două discuri cu raportul greutateților 1:2.

În mod uzual, pentru condițiile standard de încercare la încovoiere prin șoc, ciocanele pendul se construiesc pentru o energie maximă $W_0 = 300$ J (Joule) sau $W_0 = 15$ J și o viteză de lovire de 4,5-7 m/s.

Încercarea se face cu ajutorul unui ciocan pendul Charpy a cărui schemă de principiu se prezintă în figura 5. Pendulul este ridicat la înălțimea inițială H_i și apoi prin cădere liberă lovește epruveta 8. După ruperea epruvetei, ciocanul își continuă mișcarea ridicându-se la înălțimea finală H_f .

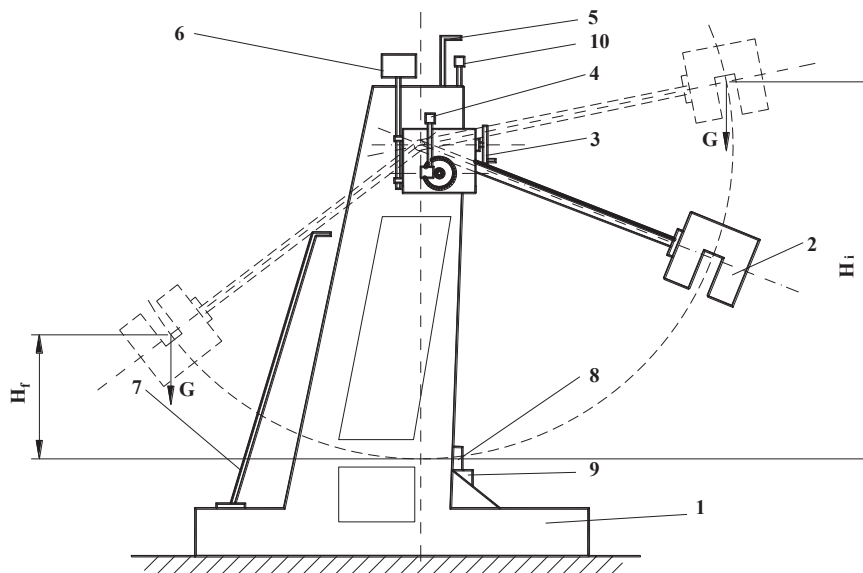


Fig. 5. Schema de principiu a ciocanului - pendul CHARPY [8]:

1 – batiu; 2 – placă ciocan; 3 – disc de antrenare; 4 – manetă decuplare/cuplare; 5 – dispozitiv de prindere; 6 – display digital; 7 – frână; 8 – epruvetă; 9 – reazeme; 10 – manetă eliberare placă ciocan.

5. Rezultate experimentale

Pentru efectuarea încercării am parcurs următoarele etape:

S-au măsurat dimensiunile epruvetei în dreptul creștăturii și am determinat aria secțiunii inițiale a epruvetei S_0 ; $S_0 = 7 \times 10 = 70 \text{ mm}^2 = 0.7 \text{ cm}^2$

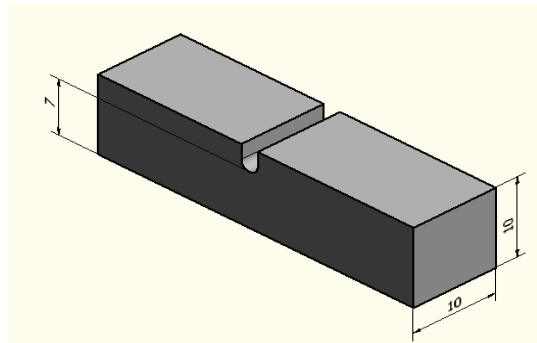


Fig. 6 Dimensiunile epruvetelor folosite.

Pentru poziționarea epruvetei se ridică placa ciocan într-o poziție intermediară; apoi se așează epruveta (după ce a stat la temperaturi scăzute minim 40 de ore) pe reazemele ciocanului-pendul, verificându-se poziția ei, astfel încât placa ciocan să lovească epruveta în spatele creștăturii; se apasă tasta F1. În etapa următoare se ridică placa ciocan, acționând discul, până la înălțimea H_i și se va fixa în dispozitivul de prindere; Se apasă tasta F4 pentru resetarea valorilor determinate la încercările anterioare; Apoi se eliberează placa ciocan prin acționarea manetei 10. După oprirea pendului prin acționarea frânei se citește pe display-ul ciocanului CHARPY valoarea energiei consumate la ruperea epruvetei (W_e). Rezultatele măsurătorilor și valorile rezilienței determinate în urma testării epruvetelor la diferite temperaturi sunt prezentate în tabelul 2.

Tabelul 2. Rezultate experimentale

Nr. crt.	Temperatura [°C]	W_e [J]	KCU [J/cm ²]
1	-14,5	131,8	188,29
2	-14	137,9	197
3	-13	138,12	197,31
4	-12	143,7	205,29
5	-11	155,8	222,57
6	-9	160,2	228,86
7	-7	164,3	234,71
8	-5	171	244,29
9	-3	173,3	247,57
10	-2	174	248,57
11	-0,8	182,8	261,14
12	-0,5	183,1	261,57
13	2	185,3	264,71
14	7	193,4	276,29
15	10	201	287,14
16	20	215,2	307,43

Cu ajutorul încercării Charpy se poate exprima variația energiei de rupere în funcție de temperatură. Se determină astfel temperatura de tranziție de la ruperea ductilă la ruperea fragilă ceea ce permite exprimarea comportamentului la rupere a materialului (fig. 6 și fig. 7).

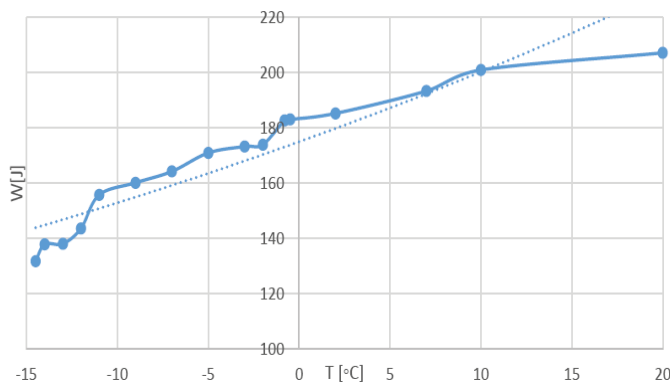


Fig. 6. Valorile obținute în urma măsurătorilor a energiei în funcție de temperatură

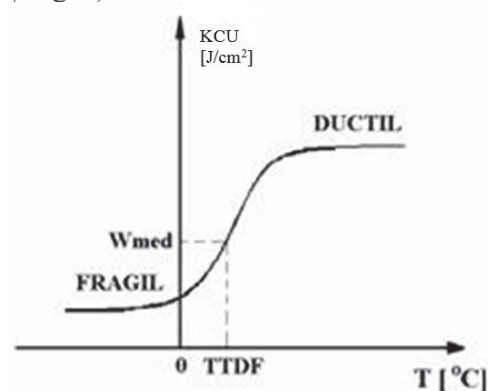


Fig. 7. Exprimarea temperaturii de tranziție ductil-fragil (TTDF), corespunzătoare valorii medii a energiei de rupere (W_{med}), determinată prin încercarea Charpy[6].

Se observă că valoarea energiei de rupere este mare în cazul materialelor ductile și redusă în cazul materialelor fragile. După ce au fost supuse la încercarea prin șoc, epruvetele arată ca în figura 8.



Fig. 8 Încercarea prin șoc a epruvetelor din E295

Pentru măsurarea temperaturii am folosit camera ThermoCam SC 640 cu emisivitatea materialului ϵ 0,64. Astfel temperatura epruvetelor înainte și după rupere se poate observa în figura 9.

6. Concluzii

Caracteristicile mecanice și elastice ale unui material dat, pot fi modificate de anumiți factori. Aceste caracteristici pot fi modificate aparent de viteza de încărcare a epruvetei, dimensiunile epruvetei, tehnologia de elaborare a materialului și de confecționarea epruvetei. Modificarea reală a caracteristicilor mecanice și elastice este produsă de următorii factori: temperatură, timp, ecruisare, tratamente termice.

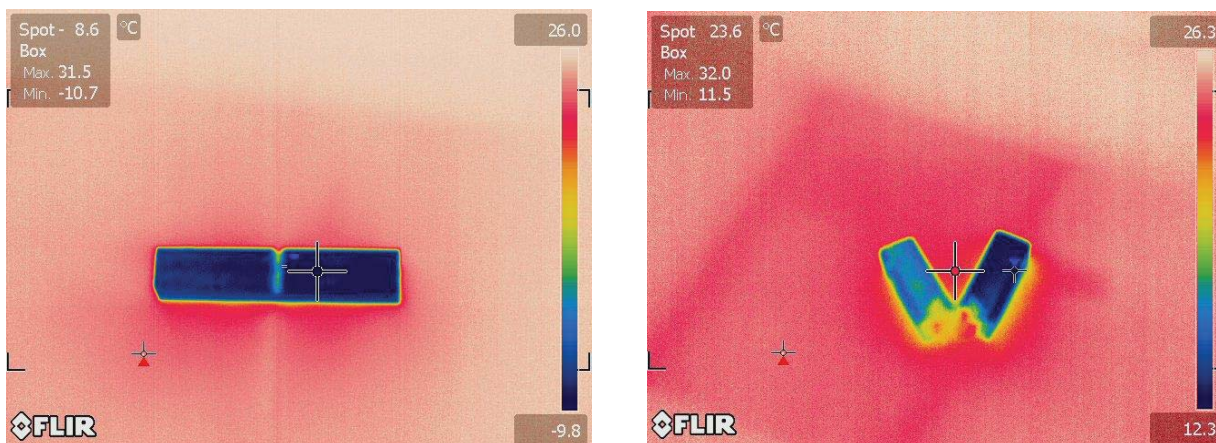


Fig. 9 Temperatura epruvetelor înainte și după experiment

Temperatura la care se înregistrează curbele caracteristice mecanice corespunde unor valori curente din timpul exploatării și este de circa 20° C. Practica industrială arată că variația de temperatură influențează în mare măsură caracteristicile elastice și mecanice ale materialelor. Cu toate că în aplicațiile ingineresti există mașini și structuri care lucrează la temperaturi mult diferite de cea a mediului analiza comportării materialelor funcție de temperatură este complexă și dificilă.

În cazul oțelurilor carbon la temperaturi mai ridicate se înregistrează scăderi importante ale rezistenței și alungiri mai mari. Modulul de elasticitate scade continuu cu temperatura. În schimb la temperaturi scăzute tensiunile de rupere ale oțelurilor cresc deoarece materialele trec din starea tenace în starea fragilă, în care caz deformațiile lor plastice sunt foarte mici. În această situație materialele devin sensibile la încărcări dinamice. Unele materiale metalice devin fragile la numai -20° C.

Experimentele de încercare la încovoiere prin șoc efectuate pe epruvetele confecționate din oțelul carbon E295, au demonstrat ca o temperatură scăzută duce la fragilizarea materialului. Reziliența materialului a scăzut cu aproximativ 15% în jurul valorii de 0°C și cu 40% la temperatura de -15°C.

Având în vedere ca acest material, E295, se folosește pe scară largă pentru confecționarea elementelor de construcții mecanice supuse la solicitări ridicate, este necesar să se cunoască modul în care temperatura mediului în care funcționează reperul influențează rezistența la șoc a materialului.

7. Bibliografie

- [1]. Stoian, L. și Vintilă, N. (1980), Tehnologia materialelor, Didactică și Pedagogică, Bucuresti.
- [2]. Constantinescu, I.N., Piciu, R.C., Hadar, A., Gheorghiu, H. - Rezistența materialelor pentru inginerie mecanică, Ed. BREN, București 2006.
- [3]. Cazimirovici E., (2001), Teoria deformărilor plastice, Editura BREN, București.
- [4]. Zecheru Gh., Drăghici Gh., Elemente de științe și ingineria materialelor, vol. 1 și 2, Editura ILEX și Editura Universității din Ploiești, 2001.
- [5]. Colan H. ș.a., Studiul metalelor, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.
- [6]. Moldovan, P. ș.a., Tratat de știința și ingineria materialelor metalice, vol.2, Editura AGIR, București, 2007.
- [7]. Pleșca., ș.a., Tehnologia Materialelor. Note de curs, Editura BREN, București, 2016.
- [8]. Marinescu, M., s.a. – Tehnologia materialelor. Lucrări de laborator: Editura PRINTECH, Bucuresti, 2016.