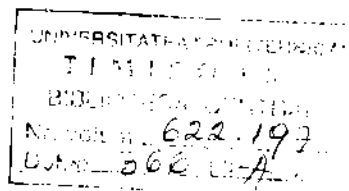


**UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" TIMIȘOARA
FACULTATEA DE MECANICĂ**

ing. WEBER FRANCISC

**CONTRIBUȚII LA STUDIUL
COMPORTĂRII OȚELURILOR
LA TEMPERATURI SCĂZUTE**

Teză de doctorat



Conducător științific:

Prof.dr.ing. TIBERIU BABEU

*Membru al Academiei de Științe Tehnice
din România*

Prof.dr.ing. LAZĂR BOLEANȚU

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

1998

CONTRIBUȚII LA STUDIUL COMPORTĂRII OȚELURILOR LA TEMPERATURI SCĂZUTE

CAPITOLUL 1

INTRODUCERE

1.1. Necesitatea și importanța temei

În timpul celui de al doilea război mondial și a perioadei imediat următoare au avut loc ruperi fragile ale unor nave realizate prin sudare, respectiv a unor elemente de construcții metalice (poduri; rezervoare de dimensiuni mari pentru gaze și petrol etc.). Distrugerile au avut loc la scăderi bruște ale temperaturii, fapt care a atras atenția asupra comportamentului oțelurilor la diferite temperaturi de exploatare.

Au fost realizate cercetări care să pună în evidență mecanismul ruperii, în general, respectiv a ruperii fragile în particular.

La temperaturile scăzute și joase, materialele elementelor de rezistență suferă modificări ale caracteristicilor mecanice, în sensul că devin fragile și astfel nu pot prelua eventualele solicitări mecanice accidentale. Schimbările de proprietăți ale oțelurilor, datorită scăderii temperaturii, reprezintă o manifestare macroscopică a unui mecanism de răspuns al modificărilor microscopice ale materialului [66].

Cercetările au demonstrat că ruperea de tip fragil este influențată de trei factori de bază: **starea de tensiune spațială, temperatura scăzută sau joasă și viteza mare de deformare sau o viteză mare de aplicare a sarcinii** [6]; [20]. Nu este necesară simultaneitatea celor trei factori, pentru producerea ruperii fragile, în exploatare fiind de ajuns primii doi.

Rețeaua cristalină a oțelului este unul dintre elementele care contribuie la comportamentul acestora în domeniul temperaturilor scăzute și joase. Mișcarea de vibrație a atomilor în rețeaua cristalină favorizează mișcarea dislocațiilor în condiții de temperatură ambiantă, dar influențează mai puțin la temperaturile scăzute.

Teoriile prin care se explică fragilizarea oțelurilor în domeniul temperaturilor scăzute, presupun că punctul de rupere ar fi rezultatul orientării favorabile a dislocațiilor marginale, care devin muchii de-a lungul planelor de alunecare în rețeaua cristalină, respectiv în cont de influența interacțiunii impurităților cu dislocațiile.

Este necesară stabilirea materialelor, în general, și a oțelurilor în particular, care pot fi

utilizate la o anumită temperatură scăzută de exploatare și eventual, elaborarea de noi mărci de oțeluri care să corespundă cerințelor impuse pentru o bună funcționare și să permită folosirea lor la aceste temperaturi.

Din punct de vedere metalurgic aceste oțeluri trebuie să prezinte:

- ductilitate ridicată, care să se mențină și în domeniul temperaturilor de exploatare;
- conductivitate termică bună și un coeficient mic de dilatație;
- rezistență mare la rupere la nivelul temperaturilor scăzute sau joase;
- proprietăți bune de turnare, deformare plastică și de sudare.

În vederea unei dimensionări raționale a elementelor de rezistență din practica ingierească este necesară cunoașterea, cu suficientă precizie, a valorilor caracteristicilor fizice și mecanice ale oțelurilor, în condițiile specifice de utilizare.

Temperaturile scăzute și joase (criogenice) sunt întâlnite în domeniile de vârf ale tehnicii: industria frigului, astronautică, aeronautică, industria chimică, electrotehnică etc. și presupun folosirea unor oțeluri cu caracteristici mecanice deosebite, în vederea unei siguranțe ridicate în exploatare.

Pentru obținerea acestor caracteristici sunt necesare încercările de materiale în domeniul temperaturilor scăzute (cel mai frecvent) respectiv criogenice (pentru aplicațiile speciale).

Avându-se în vedere faptul că, încercările mecanice la temperaturi scăzute au devenit o necesitate de necontestat, autorul a abordat acest domeniu de cercetare, având următoarele obiective:

- **Realizarea de echipamente necesare încercărilor:**
 - a) incinte frigorifice pentru încercările la tracțiune, la încovoiere prin șoc, la răsucire și de duritate, cu agenți de răcire lichizi sau gazoși;
 - b) stand experimental pentru răsucirea sârmelor;
 - c) adaptarea unui aparat Brinell pentru încercarea de duritate la temperaturi scăzute.
- **Cercetarea modului de obținere, reglare și menținere a temperaturilor scăzute;**
- **Studiul transferului termic în epruvetele utilizate la încercările mecanice;**
- **Investigații privind obținerea caracteristicilor mecanice, la temperaturi scăzute, pentru o gamă largă de oțeluri.**

Importanța temei rezultă și din faptul că, autorul a luat în studiu determinarea caracteristicilor mecanice pentru câteva mărci de oțeluri, elaborate la S.C."SIDERURGICA" S.A. Hunedoara, care au destinații speciale: 8Ni90; 15VMoCr14X; 34MoCrNi15X-M și 34MoCrNi15X-RS.

1.2. Cuprinsul comentat al lucrării

Lucrarea este structurată în 8 capitole și cuprinde: 207 pagini, 99 figuri, 24 poze, 36 tabele, precum și 62 formule și relații matematice; la ea sunt atașate 16 anexe prezentate pe 35 pagini.

Capitolul 1 (7 pagini) prezintă necesitatea și importanța temei abordate în cadrul lucrării precum și cuprinsul comentat al acesteia.

Capitolul 2 (16 pagini, 6 figuri și 4 tabele) abordează elementele și noțiunile care trebuie cunoscute în vederea efectuării cercetărilor experimentale.

În prima parte se prezintă terminologia utilizată pentru temperaturile de încercare, în general, respectiv pentru temperaturile scăzute și criogenice, în particular, cu specificarea instrumentelor ce pot fi folosite pentru măsurarea acestor temperaturi. Apoi, se definesc agenții frigorifici, mediile de răcire și agenții de răcire, se prezintă proprietățile acestora precum și modul de obținere și de transport al agenților frigorifici.

În partea finală a capitolului se descriu procesele tehnologice de obținere a mărcilor de oțeluri utilizate în domeniul temperaturilor scăzute, privind:

- elaborarea în cuptoarele electrice cu arc;
- tratarea în vid, în oala de turnare (procedeele V.O.D - Vacuum-Oxygen-Decarburization și V.A.D - Vacuum Arc Degassing);
- retopirea electrică sub strat de zgură (R.E.Z.).

De asemenea, se prezintă influența elementelor de aliere asupra caracteristicilor mecanice și tehnologice ale oțelurilor.

Capitolul 3 (23 pagini, 21 figuri și 2 tabele) prezintă unele dintre tehnicile experimentale de încercare a metalelor la temperaturi scăzute și criogenice. Sunt descrise dispozitive și instalații pentru:

- a) Încercarea la tracțiune în condițiile utilizării diversilor agenți frigorifici (dioxidul de carbon- CO_2 solid; azotul lichid; heliul lichid respectiv hidrogenul lichid). Unele dispozitive au posibilitatea fixării mai multor epruvete și permit încercarea secvențială a acestora, în vederea realizării unui consum mic de agent frigorific și a reducerii timpului de încercare, aferent unui lot de epruvete;
- b) Încercarea la încovoierea statică;
- c) Încercările dinamice prin șoc la încovoiere respectiv la tracțiune.

În partea finală a capitolului sunt descrise dispozitive pentru răcirea epruvetelor prin pulverizarea azotului lichid, care sunt utilizate în cadrul încercării la tracțiune respectiv a încercării pentru determinarea caracteristicii de material K_{IC} (tenacitatea la rupere).

Capitolul 4 (19 pagini, 7 figuri și 1 poză) prezintă contribuțiile autorului privind realizarea unor incinte frigorifice pentru încercările mecanice la temperaturi scăzute, în domeniul $0^{\circ}\text{C} \dots 120^{\circ}\text{C}$ ($273\text{K} \dots 153\text{K}$). Agenții frigorifici folosiți la răcirea epruvetelor în vederea executării încercărilor sunt: dioxidul de carbon solid (zăpada carbonică) și azotul lichid, funcție de palierul de temperatură scăzută dorită.

Sunt descrise soluțiile constructive și modul de funcționare pentru trei variante constructive de incinte frigorifice utilizate pentru încercarea la tracțiune.

Pentru executarea încercării la încovoiere prin șoc se folosesc două variante de incinte frigorifice, care utilizează agent de răcire lichid (prima variantă) respectiv agent de răcire lichid sau gazos - vaporii de azot (pentru a doua variantă).

Încercările la răsucire respectiv de duritate sunt realizate cu ajutorul unor incinte frigorifice, descrise în finalul capitolului, care folosesc ca și agent de răcire vaporii de azot. De asemenea, sunt descrise și modificările aduse unui aparat Brinell în vederea executării încercării de duritate, la temperaturi scăzute.

Capitolul 5 (42 pagini, 28 figuri, 6 poze, 2 tabele și 50 formule și relații matematice) abordează cercetările întreprinse de autor în vederea reglării și menținerii temperaturilor scăzute, în camerele de lucru ale incintelor frigorifice, pentru efectuarea unor încercări mecanice.

În prima parte a capitolului sunt descrise și se prezintă caracteristicile instrumentelor utilizate la măsurarea temperaturilor scăzute din cadrul încercării.

Pentru cazul utilizării azotului lichid sau a vaporilor de azot ca și agent frigorific respectiv agent de răcire, sunt descrise cele trei variante de presurizare ale vasului Dewar, în care se află stocat azotul lichid precum și cele două soluții constructive pentru dispozitivul de închidere, etanșare și asigurare a acestuia.

În vederea reglării automate a temperaturilor scăzute, necesare efectuării încercărilor, sunt prezentate cele două realizări ale autorului: **buclă de automatizare** utilizată în cadrul unei instalații de reglare a temperaturilor scăzute [B5] aferente primei variante de presurizare și un dispozitiv pentru reglarea automată a temperaturilor scăzute (D.R.A.T.S.) folosit la variantele a doua și a treia de presurizare a vasului Dewar.

Cercetările privind transferul termic în epruvetele utilizate pentru încercările mecanice la temperaturi scăzute sunt descrise în continuarea capitolului. Astfel, este prezentată modelarea matematică a câmpului termic în epruvete și investigațiile experimentale privind transferul termic. Sunt descrise epruvetele special pregătite, echipate cu termorezistențe de dimensiuni mici, standul experimental pentru studiul transferului termic în epruvete precum și rezultatele obținute experimental pe epruvetele cilindrice cu diametrul de 10 mm respectiv 20 mm.

Capitolul 6 (21 pagini, 7 figuri, 2 poze și 5 tabele) prezintă epruvetele utilizate în cadrul investigațiilor experimentale. În prima parte a capitolului sunt definite noțiunile de încercare

experimentală, probă, probă de tratament termic respectiv epruvetă.

Pentru încercarea la tracțiune sunt descrise epruvetele folosite, a căror formă și dimensiuni sunt reglementate fie prin STAS-uri, fie prin Caietele de sarcini specifice mărcilor de oțeluri luate în studiu.

Epruvetele necesare încercării la încovoiere prin șoc sunt prezentate atât din punct de vedere a formei și dimensiunilor cât și a modului de prelevare, avându-se în vedere direcția fibrei de laminare (longitudinale respectiv transversale) și locul de proveniență (cap, mijloc respectiv picior de lingou).

Încercarea la răsucire s-a efectuat pe epruvete cilindrice, tubulare cu pereți subțiri și pe sârme. Forma și dimensiunile epruvetelor s-au adoptat ținându-se cont de recomandările diverșilor autori, în literatura de specialitate (încercarea nefiind reglementată printr-un normativ).

În continuare se prezintă modul în care s-a stabilit forma și dimensiunile epruvetei pentru încercarea de duritate la temperaturi scăzute, astfel încât să se poată executa cele trei amprente, după atingerea temperaturii de încercare, în incinta frigorifică respectiv în întreaga masă a epruvetei.

În partea finală a capitolului se descrie modul de obținere a probelor de tratament termic (din probă provenită din produs laminat respectiv forjat) și tratamentele termice aplicate materialelor epruvetelor, dintr-o gamă largă de oțeluri luate în studiu. De asemenea, sunt prezentate structurile metalografice ale unora dintre oțeluri după tratamentele termice aplicate (recoacere sau normalizare urmate de călire și revenire).

Capitolul 7 (66 pagini, 30 figuri, 9 poze, 23 tabele și 12 formule) abordează cercetările experimentale realizate de către autor, privind comportarea unor oțeluri la temperaturi scăzute.

În prima parte se face o analiză asupra normativelor în vigoare care reglementează metodologia unora dintre încercările mecanice la temperaturi scăzute.

Încercarea la tracțiune a oțelului **15VMoCr14X**, destinat fabricării unor elemente de rezistență care lucrează într-un domeniu larg de temperaturi (-75°C ... $+500^{\circ}\text{C}$) a fost executată la temperaturi scăzute de până la -60°C , rezultatele obținute confirmând caracteristicile mecanice impuse prin Caietul de sarcini.

În continuare se prezintă rezultatele obținute, în urma încercării la încovoiere prin șoc, pe oțelul aliat cu nichel **8Ni90**. Cercetarea efectuată [91] pe domeniul de temperaturi $+20^{\circ}\text{C}$... -100°C a cuprins și studiul influenței locului de proveniență a epruvetelor longitudinale (cap lingou - A; mijloc lingou - C și picior de lingou - U) asupra caracteristicii mecanice la încovoierea prin șoc - reziliența.

Încercarea la încovoierea prin șoc a oțelului **34MoCrNi15X-M** (destinat fabricării osiilor pentru metrou) a vizat domeniul de temperaturi $+20^{\circ}\text{C}$... -60°C și a fost executată pe epruvete prelevate după direcția longitudinală respectiv transversală [92]. S-a efectuat un studiu asupra

cristalinității respectiv fibrozității secțiunilor epruvetelor rupte, urmărindu-se variația acestor caracteristici funcție de temperatura scăzută de încercare și corelația cu modul de variație al rezilienței.

Pentru a pune în evidență influența temperaturilor scăzute asupra caracteristicii mecanice la încovoirea prin șoc, funcție de poziția de prelevare a epruvetelor și de elemente ale compoziției chimice, a fost extinsă aria investigațiilor și la alte mărci de oțeluri. Astfel, s-au realizat cercetări utilizându-se oțelurile **34MoCrNi15X-RS**, **34MoCrNi16X**, **10Ni35** și **10Ni35R**, iar rezultatele obținute au permis stabilirea unor concentrații optime a elementelor: C; Cr și Ni care permit obținerea unor valori maxime ale caracteristicii mecanice la încovoirea prin șoc (energia de rupere respectiv reziliența). De asemenea, s-a urmărit posibilitatea de evaluare a rezilienței obținute pe epruvetele prelevate transversal în funcție de cea obținută pe epruvetele prelevate longitudinal, pentru o anumită temperatură de încercare

Încercarea la răsucire a fost executată pe epruvete de secțiune circulară, secțiune inelară (tubulare cu pereți subțiri) și pe sârme, în domeniul de temperaturi $+20^{\circ}\text{C} \dots -80^{\circ}\text{C}$. Este descris utilajul folosit pentru executarea acestei încercări și contribuția autorului la realizarea unui stand pentru încercarea la răsucirea sârmelor [84].

Mărcile de oțeluri luate în studiu au fost: **10Ni35R**, **34MoCrNi16X** respectiv **OL37-2k** (pentru sârme). Sunt prezentate curbele caracteristice la răsucire obținute pe sistemul de înregistrare al mașinii de încercat, rezultatele obținute prin prelucrarea datelor experimentale și modul de variație al caracteristicilor τ_r și γ_{\max} în funcție de temperatura de încercare.

Pentru a studia comportamentul la răsucire, în domeniul temperaturilor scăzute, al sârmelor din oțelul **OL37-2k** s-au efectuat încercări cu înregistrarea curbelor caracteristice pe mașina de încercat respectiv încercări pe standul experimental, pentru determinarea numărului de răsuciri până la rupere (ca și încercare tehnologică). Rezultatele obținute au permis analiza modulului de variație al caracteristicilor τ_r și γ_{\max} în funcție de temperatura utilizată la încercări.

În finalul capitolului este descrisă încercarea de duritate la temperaturi scăzute, privind aparatul Brinell și echipamentele pentru obținerea temperaturii de încercare precum și modul de executare a încercării.

Pentru încercări s-a utilizat marca de oțel **10Ni35R**, din care s-au prelevat epruvete împărțite în două loturi, unul format din epruvete normalizate, iar celălalt din epruvete care după normalizare au fost supuse tratamentului termic de călire urmat de o revenire înaltă. Temperatura de încercare s-a încadrat în domeniul $+20^{\circ}\text{C} \dots -80^{\circ}\text{C}$, pentru epruvetele normalizate, respectiv $+20^{\circ}\text{C} \dots -100^{\circ}\text{C}$ pentru epruvetele călite și revenite. Rezultatele obținute au permis studierea influenței tratamentului termic asupra durității Brinell, în condiții de încercare la temperaturi scăzute.

Capitolul 8 (8 pagini și 6 poze) prezintă principalele contribuții ale autorului respectiv aplicațiile și perspectivele realizărilor obținute.

Bibliografia utilizată cuprinde 125 titluri, dintre care 98 reprezintă tratate, manuale, sinteze, articole, contracte de cercetare, certificate de inovator; 2 sunt cataloage de produse, iar 25 sunt Standarde.

CAPITOLUL 2

ELEMENTE ȘI NOȚIUNI NECESARE ÎN VEDEREA EFECTUĂRII CERCETĂRILOR EXPERIMENTALE

2.1. Temperaturi utilizate la încercările mecanice de materiale metalice

Încercările materialelor, în general, respectiv a materialelor metalice în special, se execută la o anumită temperatură reglementată prin standardele aferente tipului de încercare efectuată și (sau) a standardadelor de produs, respectiv a "Caietelor de sarcini" stabilite între părți (producătorul de material și beneficiarul acestuia).

Marea majoritate a încercărilor se execută la **temperatura ambiantă** care este considerată cuprinsă între 10°C și 35°C, în cazul general, iar pentru încercările efectuate în condiții controlate trebuie să fie de $(23\pm 5)^{\circ}\text{C}$.

În anumite situații este necesară executarea încercărilor la **temperaturi ridicate** care se încadrează de obicei, între 200°C și 1000°C. Pentru materialele metalice speciale se pot efectua încercări la temperaturi ridicate mai mari de 1000°C, caz în care se stabilesc condițiile de lucru de comun acord între părți.

Pentru unele materiale este necesară efectuarea încercărilor mecanice la temperaturi mai mici decât temperatura ambiantă; se consideră, de obicei, temperaturi mai mici de 10°C ...15°C, iar în alte situații mai mici de 0°C. Terminologia utilizată pentru acest domeniu de temperaturi și limitele de încadrare este:

- **Temperatură scăzută**, pentru intervalul +15°C...-153°C, (288K...120K);
- **Temperatură joasă**, pentru intervalul -153°C...-253°C, (120K...20K);
- **Temperatură foarte joasă**, pentru intervalul -253°C...-272°C, (20K...1K);
- **Temperatură ultra joasă**, pentru intervalul sub -272°C, (sub 1K).

În laboratoarele uzinale, încercările mecanice de materiale se realizează cel mai frecvent la **temperatura ambiantă**, iar în cazuri deosebite (funcție de natura materialului și de destinația acestuia) se efectuează încercări la **temperaturi ridicate** respectiv la **temperaturi scăzute**. Intervalul de temperaturi, pentru încercările la temperaturi scăzute, este extins până la temperatura de -196°C (77K), care corespunde temperaturii normale de vaporizare a azotului (intervalul de temperatură este parțial suprapus peste cel aferent temperaturilor joase).

Activitățile care utilizează temperaturi sub 120K, numite și **temperaturi criogenice** sau **criotemperaturi**, sunt studiate în cadrul disciplinei numite **CRIOGENIE**. Temperatura de 120K care limitează convențional domeniile temperaturilor scăzute de cele joase, reprezintă aproximativ temperatura normală de fierbere a metanului.

Criogenia este disciplina care studiază procesele din fluide, la temperaturi cuprinse între 120K și "zero K" , privind lichefierea aerului și separarea gazelor, lichefierea hidrogenului, a heliului și a celorlalte gaze inerte.

Pentru răcirea epruvetelor destinate încercărilor mecanice la temperaturi scăzute, se utilizează ca și agenți frigorifici, **fluidele criogenice** (fluide care lichefiază sub 120K). Stocarea și transportul fluidelor criogenice se face cu ajutorul unui **container criogenic** numit și **criocontainer** sau **recipient Dewar**. Prin **criorăcire** sau **răcire criogenică** se înțelege, în general, scăderea temperaturii unui corp (în particular a unei epruvete) sau a unui sistem, utilizând lichide criogenice. Incinta care reprezintă un volum izolat termic, destinată unor operații tehnologice sau încercări de materiale și care utilizează lichidele criogenice poartă denumirea de **incintă frigorifică** (pentru domeniul temperaturilor scăzute) respectiv **crioincintă** sau **incintă criogenică** (pentru domeniul temperaturilor joase și foarte joase). În general prefixul **crio** este utilizat pentru caracterizarea aparatelor, proceselor etc. care se utilizează la temperaturi joase, iar adjectivul **criogenic** pentru toate activitățile desfășurate sub 120K.

2.2. Instrumente pentru măsurarea temperaturilor scăzute și joase (criogenice)

Pentru a determina temperatura unui corp **A**, acesta se pune în contact cu un corp **B** a cărui temperatură se poate cunoaște și care în contact cu corpul **A**, după producerea echilibrului termic, permite măsurarea temperaturii acestuia. Corpul **B**, cu ajutorul căruia se poate determina temperatura altor corpuri, se numește **corp termometric**.

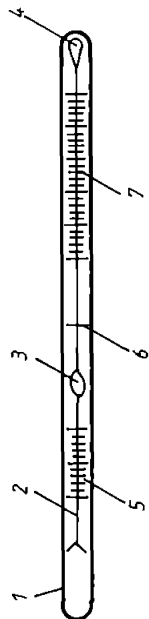
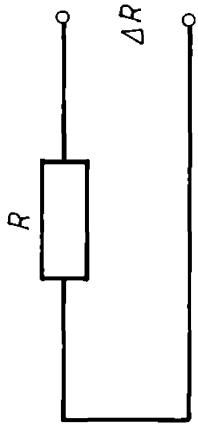
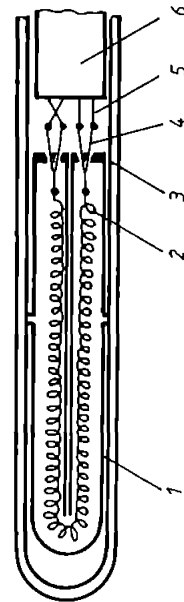
Instrumentul care cuprinde un corp termometric se numește **termometru**, sau în general **instrument termometric** [37].

Instrumentul termometric nu trebuie să modifice starea termică a corpului (sistemului) a cărui temperatură se măsoară, trebuie să fie ușor manevrabil și precis, astfel încât să dea valori reproductibile. Tipul instrumentului depinde atât de starea de agregare a corpului termometric cât și de proprietatea sau caracteristica dependentă de temperatura măsurată.

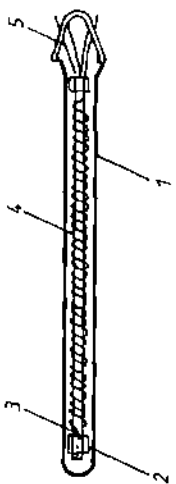
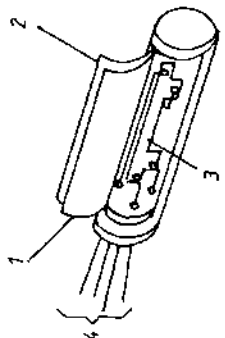
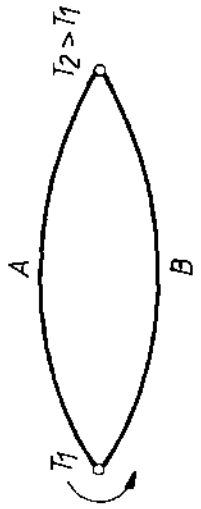
Câteva dintre instrumentele și dispozitivele de măsurare a temperaturilor scăzute și joase (criogenice), utilizate cel mai frecvent sunt prezentate în tabelul 2.1.

Pentru măsurarea temperaturilor scăzute ale epruvetelor în vederea determinării caracteristicilor mecanice de material, în laboratoarele uzinale de încercări mecanice se utilizează uzual următoarele instrumente: **termometrul cu lichid sau gaz**, **termometrul cu rezistență (termorezistență)** respectiv **termocuplul**.

Tabelul 2.1.

Instrumente și dispozitive de măsurare a temperaturilor scăzute și joase		Domeniul de utilizare		Părțile componente caracteristice	
Nr. crt.	Denumirea instrumentului, dispozitivului	Schema de principiu			
0	1	2	3	4	
1	Termometrul cu lichid sau gaz (uneori și solid) în capilar de sticlă. STAS 8375/1-69 STAS 8374/2-82		-200°C...+50°C (73K...323K) lichid termometric utilizat: mercur, toluen colorat, eter de petrol, alcool, xilen, pentan etc.	1-Rezervorul; 2-Tija; 3-Camera de contracție; 4-Camera de expansiune; 5-Scara auxiliara; 6-Linia de imersie; 7-Scara principala.	
2	Termometre cu rezistență (termorezistență) STAS 8420-86		-200°C...+650°C (73K...923K) -50°C...+180°C (223K...453K) -50°C...+180°C (223K...453K)	Conductor din PLATINĂ cu diametrul de 0,03mm...0,05 mm Conductor din CUPRU cu diametrul de 0,1 mm Conductor din NICHEL cu diametrul de 0,05 mm	
3	Termorezistență de platină cu suport de cuarț [37]		-260°C...+630°C (13K...903K)	1-Tubul de sticlă în formă de U; 2-Firul de platină(φ 0,075 mm); 3-Ecranul de sticlă; 4-Firul de platină(φ 0,2 mm); 5-Firul de platină sau aur (φ0,5mm); 6-Tuburile de cuarț cu câte două orificii.	

Tabelul 2.1.continuuare

0	1	2	3	4
4	Termorezistență de platină, de diametru mic [37]		-260°C...+630°C (13K...903K)	1-Tubul de sticlă; 2- Folia de platină (grosimea 0,25 mm); 3-Tubul de cuarț cu două orificii; 4-Firul de platină (φ=0,075 mm); 5-Firele de conexiune sudate în sticlă
5	Termometrul cu germaniu [37]		-271°C...-238°C (2K...35K)	1-Manșonul din teflon; 2-Carcasa din cupru acoperită cu aur; 3-Elementul placă de germaniu; 4-Firele de conexiune.
6	Termocupluri tehnice STAS 8421-87		<p>Termocuplul de tip J (Fier-constantan) I.l.e.m.=51,975mV, (maximă) -200°C...+600°C (73K...873K)</p> <p>Termocuplul de tip T (Cupru-constantan) I.l.e.m.=20,869mV, (maximă) -200°C...+400°C (73K...673K)</p> <p>Termocuplul de tip K (Cromel-alumel) I.l.e.m.=52,598mV, (maximă) -200°C...+1000°C (73K...1273K)</p>	O pereche de conductori legați astfel încât să producă o tensiune termoelectromotoare (I.l.e.m.) atunci când joncțiunile lor sunt la temperaturi diferite poartă denumirea de termocuplu [37]. A-fir dintr-un metal; B-fir din alt metal. Curentul circulează de la un fir de metal la celălalt, traversând întâi, joncțiunea rece.

2.3. Agenți frigorifici, medii de răcire și agenți de răcire.

2.3.1. Noțiuni generale

Producerea frigului artificial se face în instalații frigorifice speciale, se bazează pe procedee termodinamice specifice și are drept scop scăderea și menținerea temperaturii unui corp sau sistem de corpuri, sub temperatura mediului exterior.

Pentru utilizatorii de frig, în cazul laboratoarelor de încercări mecanice, se folosesc substanțe sau amestecuri de substanțe care creează în incintele frigorifice (sau criogenice) temperatura scăzută dorită.

Denumirile date substanțelor care concură la răcirea epruvetelor nu sunt unanim acceptate nici între diferitele normative (vezi tabelul 7.1) și nici între diverși autori [14], [52], [66], [107], [108], [111]. Astfel, substanța purtătoare de frig sau cea care creează frigul prin procese termodinamice în instalațiile frigorifice este definită, în mod unitar, ca **agent frigorific** [14], [52], [66]; substanța care preia frigul de la agentul frigorific și o transmite epruvetei (epruvetelor) din incinta frigorifică - este denumită **fluid de răcire** [66], **mediu de răcire** [14] sau **agent purtător de frig** [52]; amestecul dintre agentul frigorific și fluidul de răcire (mediul de răcire propriu-zis) este denumit **agent de răcire** [108] sau **mediu de răcire** [107].

Pentru încercările mecanice de material, în cadrul lucrării se propun și se utilizează următoarele denumiri, pentru aceste substanțe, fără a se schimba sensul de definire a acestora, astfel:

- **Agentul frigorific** - substanța purtătoare de frig;
- **Mediul de răcire** - substanța care intermediază schimbul termic dintre agentul frigorific și epruvetă;
- **Agentul de răcire** - amestecul, în anumite proporții, a agentului frigorific și mediului de răcire.

Observație. În situația în care se execută încercări mecanice de materiale la temperatura de -196°C (77K), răcirea epruvetelor se realizează în azotul lichid, acesta jucând rolul atât de agent frigorific cât și de mediu de răcire respectiv de agent de răcire.

2.3.2. Agenți frigorifici

Agentul frigorific, utilizat pentru încercările mecanice de materiale, este o substanță care prin topire, vaporizare sau sublimare, cu alte cuvinte prin trecerea dintr-o stare de agregare în altă stare, preia căldura corpului (mediului) pe care îl înconjoară.

Agenții frigorifici trebuie să îndeplinească o serie de condiții, adesea contradictorii, și anume: să fie inofensivi față de corpul uman; să aibe stabilitate chimică și pasivitate la coroziune;

să nu fie inflamabili și să nu prezinte pericol de explozie; volum masic al vaporilor și căldura masică a lichidului mici; coeficienți mari de conductivitate termică și căldură de vaporizare mare; preț de cost scăzut etc.

În laboratoarele uzinale se utilizează, pentru obținerea temperaturilor scăzute, următorii agenți frigorifici: gheața (H_2O solid), dioxidul de carbon (CO_2) solid (zăpada carbonică) și azotul (N_2) lichid. Pentru încercări la temperaturi joase și foarte joase (temperaturi criogenice), în laboratoarele cu dotări speciale se utilizează ca și agenți frigorifici azotul (N_2), heliul (He) lichid și hidrogenul (H_2) lichid.

Pentru răcirea incintelor frigorifice proiectate și realizate de către autor și utilizate la încercările experimentale din cadrul lucrării, s-au utilizat ca și agenți frigorifici dioxidul de carbon solid (zăpada carbonică) și azotul lichid. Principalele proprietăți fizice ale acestor substanțe [25] sunt prezentate în tabelul 2.2.

Tabelul 2.2

Proprietățile fizice ale agenților frigorifici utilizați

Agentul frigorific (stare gazoasă)	Parametrii critici			Lichidul la 760 mm Hg; ($1,013 \cdot 10^5$ N/m ²)		
	Temperatura	Presiunea	Masa specifică	Căldura de vaporizare	Temperatura de fierbere	Temperatura de solidificare
	[°C; K]	[N/m ²]	[kg/m ³]	[Kcal/Kg]	[°C; K]	[°C; K]
Dioxidul de carbon (CO_2)	31 (304K)	$72,9 \cdot 10^5$	468	88,2	-78,5 (194,5K)	-56,6 (216,4K)
Azotul (N_2)	-146,9 (126,1K)	$33,54 \cdot 10^5$	311	47,58	-195,8 (77,2K)	-210 (63K)

Pentru obținerea dioxidului de carbon solid (zăpada carbonică) se utilizează CO_2 lichid care se află îmbuteliat în recipiente sub presiune. La orificiul de evacuare al recipientului se infiulează un ștuț, pentru producerea zăpezii carbonice, iar în jurul lui se fixează un săculeț din piele, doc sau azbest. Ștuțul este un corp cilindric prevăzut cu o creștătură, care permite fixarea săculețului de colectare a CO_2 solid și cu un orificiu în fața căruia se află o placă metalică. Dioxidul de carbon lichid iese din recipientul de stocare, prin orificiul ștuțului, lovește plăcuța metalică și prin expansie se transformă în zăpadă carbonică ce este colectată în săculeț; dintr-un litru de CO_2 lichid se obține aproximativ 0,3 kg zăpadă carbonică. Înainte de utilizarea acesteia este necesar să fie presată astfel încât să se obțină o zăpadă carbonică compactă. Dioxidul de carbon se dizolvă ușor în apă și este mult mai solubil în acetonă, alcool sau eter de petrol.

Azotul lichid este un agent frigorific care se obține în procesul tehnologic din cadrul fabricilor de oxigen. Procesul tehnologic se bazează, în principiu, pe lichefierea și distilarea fracționată a aerului obținându-se pe lângă azot și oxigen, argon, neon respectiv heliu. În industria oxigenului se utilizează o gamă largă de instalații prin intermediul cărora se obține și

azotul lichid. Pentru exemplificare, în fig.2.1 se prezintă o instalație de presiune înaltă [25] pentru obținerea oxigenului tehnic.

Părțile componente ale instalației sunt: filtrul de aer (1); compresorul (2); rezervorul soluției de alcali (3); decarburatorul (4); blocul de uscare prin adsorbție (5); blocul de separare (6); pompa

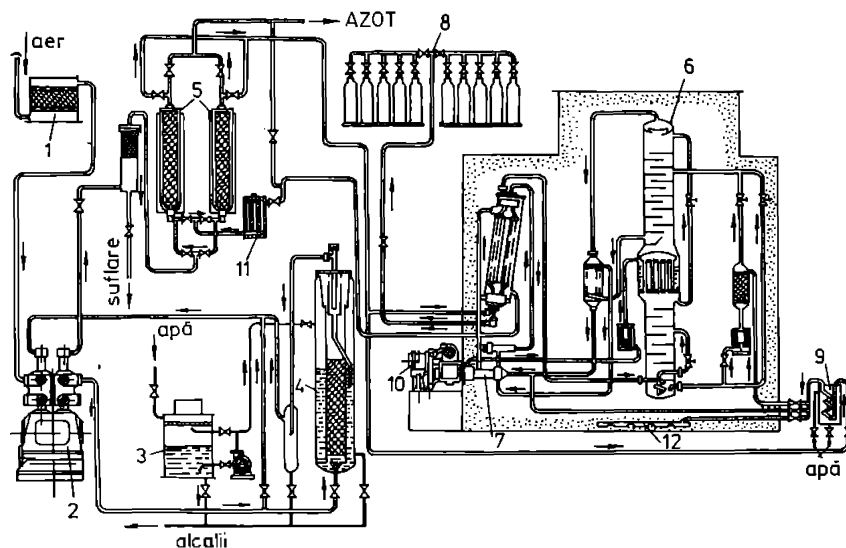


Fig. 2.1. Schema tehnologică a instalației de presiune înaltă pentru obținerea oxigenului tehnic

de oxigen (7); rampa de umplere (8); preîncălzitorul electric pentru aer (9); motorul electric al pompei de oxigen lichid (10); preîncălzitorul electric pentru azot (11); și conducta de admisie a aerului pentru dezghețarea instalației (12);

2.3.3. Medii de răcire

Prin mediul de răcire se înțelege substanța care preia frigul de la agentul frigorific și îl transmite epruvetei (epruvetelor) care este amplasată într-o incintă frigorifică și urmează a fi încercată la o anumită solicitare. Acesta îndeplinește și funcția de reglare, la valoarea dorită, a temperaturii de răcire.

Mediul de răcire furnizează căldura necesară trecerii agentului frigorific dintr-o stare de agregare în altă stare și astfel temperatura lui scade. Această scădere de temperatură este cu atât mai accentuată cu cât proporția cantitativă dintre agentul frigorific și mediul de răcire este mai

mare. Scăderea temperaturii este cu atât mai rapidă cu cât căldura de topire, vaporizare sau cea de sublimare a agentului frigorific este mai mare.

În laboratoarele uzinale de încercări mecanice se utilizează, pentru realizarea temperaturilor scăzute, următoarele medii de răcire: apa, glicerina, acetona, alcoolul etilic, eterul de petrol, toluenul și în anumite situații speciale - propanul respectiv propilena. Principalele proprietăți fizice ale celor mai uzuale medii de răcire [66] sunt redată în tabelul 2.3.

Tabelul 2.3

Principalele proprietăți fizice ale celor mai uzuale medii de răcire

Mediul de răcire	Formula chimică	Temperatura de:			Căldura specifică [J/kg °C]	Observații
		vaporizare	congelare	aprindere		
		[°C; K]	[°C; K]	[°C; K]		
Alcoolul etilic	C ₂ H ₅ OH	80 (353K)	-115 (158K)	-20...-10 (253K...263K)	61	Neotrăvitor
Eterul de petrol	---	40...60 (313K...333K)	-170 (103K)	-60...-30 (213K...243K)	40	Ușor inflamabil Neotrăvitor
Toluenul	C ₆ H ₅ CH ₃	110 (383K)	-100 (173K)	-30...0 (243K...273K)	40	Ușor inflamabil Neotrăvitor

Mediile de răcire trebuie să îndeplinească, în general, aceleași condiții ca și agenții frigorifici.

2.3.4. Agenți de răcire

Prin amestecul, în anumite proporții, a unui agent frigorific cu un mediu de răcire adecvat se obține un agent de răcire corespunzător temperaturii scăzute necesare pentru încercările mecanice de material.

Tabelul 2.4

Agenții de răcire utilizați în laboratoarele uzinale

Agentul frigorific	Mediul de răcire		Domeniul temperaturii de încercare [°C; K]
	Lichid	Gazos	
Gheața (H ₂ O solid)	Apa	-	5...20 (278K...293K)
Dioxidul de carbon solid (CO ₂ solid)	Apa+glicerina	vapori reci de dioxid de carbon (CO ₂)	-60...+10 (213K...283K)
	Alcoolul etilic		
	Toluenul		
Azotul lichid (N ₂)	Eterul de petrol	vapori reci de azot (N ₂)	-160...-30 (113K...243K)
	Propanul, Propilena		-185...-160 (88K...113K)
	-		-196 (77K)

Obținerea agentului de răcire și manevrarea acestuia trebuie făcută cu atenție, în special când se lucrează cu medii de răcire inflamabile. Se impun următoarele etape de lucru:

- incinta frigorifică se răcește la început cu o anumită cantitate de dioxid de carbon solid (zăpadă carbonică) sau de azot lichid și apoi se introduce mediul de răcire, prin această operație, vaporii de CO_2 respectiv N_2 îndepărtează oxigenul din spațiul de lucru al incintei și micșorează pericolul de aprindere;

- la sfârșitul încercării, golirea spațiului de lucru al incintei frigorifice trebuie făcută când încă agentul de răcire este în domeniul temperaturilor scăzute;

- în cazul în care se dorește transferul agentului de răcire într-un recipient de stocare, este necesar să se ia măsurile adecvate (funcție de felul agentului de răcire) pentru evitarea unor posibile accidente.

În tabelul 2.4. sunt prezentați agenții frigorifici, mediile de răcire corespunzătoare și domeniile de temperaturi la care se utilizează agenții de răcire obținuți [66].

2.4. Recipienți pentru transportul agenților frigorifici

Pentru stocarea și transportul agenților frigorifici de la uzinele producătoare (fabricile de oxigen) la laboratoarele de încercări mecanice, se utilizează niște vase speciale numite recipiente (vase) Dewar.

Acești recipiente se realizează constructiv sub forma de "vas în vas" din oțeluri inoxidabile

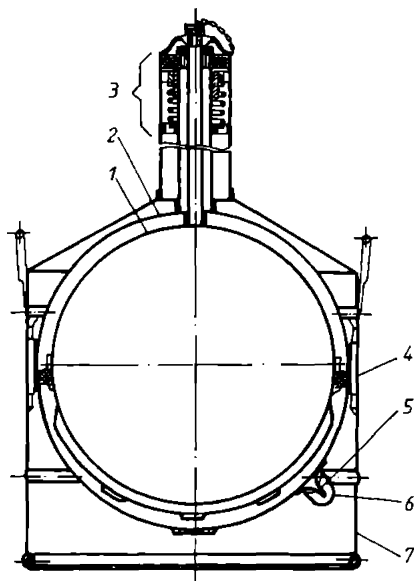


Fig. 2.2. Vas Dewar pentru transportul azotului lichid

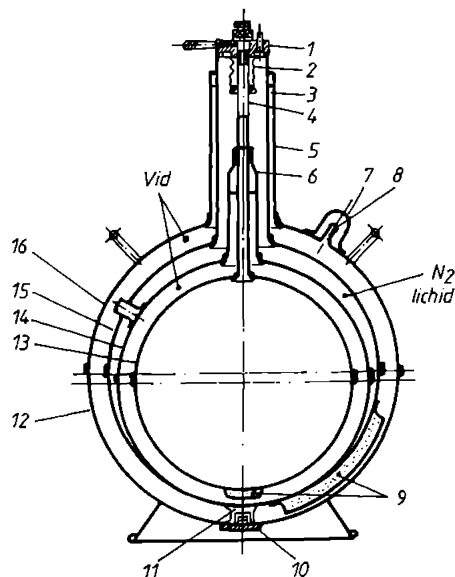


Fig. 2.3. Vas Dewar pentru transportul heliului lichid

și în anumite situații din cupru sau aluminiu. Spațiul dintre pereți este vidat și este prevăzut cu o cameră de absorbție umplută cu absorbant (de obicei silicagel) care asigură menținerea vidului o perioadă mai lungă de timp.

În fig. 2.2 este prezentat schematic un recipient Dewar pentru transportul azotului lichid [24] format din următoarele părți componente: vasul interior (1); vasul exterior (2); sistemul de închidere a părții superioare (suport inelar, arc elicoidal, garnituri și capac) (3); suportul de fixare (4); țeava din plumb sau cupru (5); capacul de protecție (6) și carcasa (7).

Pentru obținerea vidului, între pereții recipientului, se realizează o legătură printr-o țeavă de plumb (sau cupru) între recipient și standul de vidare. După realizarea vidului recipientul Dewar este separat de stand cu ajutorul unui dispozitiv special care execută strangularea țevii de plumb, tăierea, fâltuirea și lipire acesteia. Capătul țevii se protejează printr-un capac de protecție.

Pentru stocarea și transportul heliului lichid se utilizează recipienti Dewar special construiți [24] care au o cameră intermediară, între camerele vidate, în care se introduce azot lichid pentru a se asigura un ecran termic corespunzător. Schema unui astfel de vas este prezentată în fig.2.3, pe care se disting următoarele elemente componente: flanșa superioară (1), tubul gofrat (2) și țevile pentru introducerea azotului respectiv a heliului lichid (3 și 4); țevile interioare (5 și 6); capacul de protecție (7); țeava de plumb sau cupru (8); absorbantul (9); suportii intermediari (10 și 11); vasele componente (12, 13, 14 și 15) și țeava de legătură între camerele vidate (16).

Pentru umplerea acestor tipuri de recipienti Dewar cu agenți frigorifici, se utilizează niște pâlnii speciale prevăzute cu o țeavă terminală care trebuie să ajungă până în apropierea fundului vasului interior. Vaporii ce rezultă în timpul turnării se elimină prin spațiul inelar dintre capătul superior al recipientului Dewar și pâlnie.

Capacitatea de stocare a recipientilor Dewar prezentați este de 5.....20 l. Evacuarea agenților de răcire din recipienti și dirijarea lor spre incintele frigorifice, în care sunt amplasate epruvetele pentru încercările mecanice, se face prin diverse sisteme de presurizare și sifonare.

Există recipienti Dewar cu capacități de stocare mai mari și care sunt prevăzuți cu capace speciale care au înglobate constructiv sisteme de umplere-evacuare, de siguranță și de control ai parametrilor (presiune, nivel lichid etc). Schemele de principiu a unor astfel de recipienti [99] care pot stoca azot lichid, heliu lichid, oxigen lichid sau argon lichid cu izolație prin vid foarte înaintat și cu sistem de presurizare integrat sunt prezentate în fig.2.4. a și b.

Pe schemele din figura se deosebesc următoarele părți componente: circuitul de presurizare (1); robinetul de evacuare (2); robinetul circuitului de presurizare intern (3); indicatorul de nivel (4); regulatorul de presiune pentru circuitul intern (5); membrană de siguranță (6); manometrul (7); supapa de siguranță (8); economizorul (9); robinetul din circuitul de presurizare; regulatorul de presiune pentru gazul din sistemul de presurizare extern (10); regulatorul de presiune pentru vaporii (11); robinetul pentru umplere (12); vaporizatorul (13 și supapa de vidare.

300 2217
A--

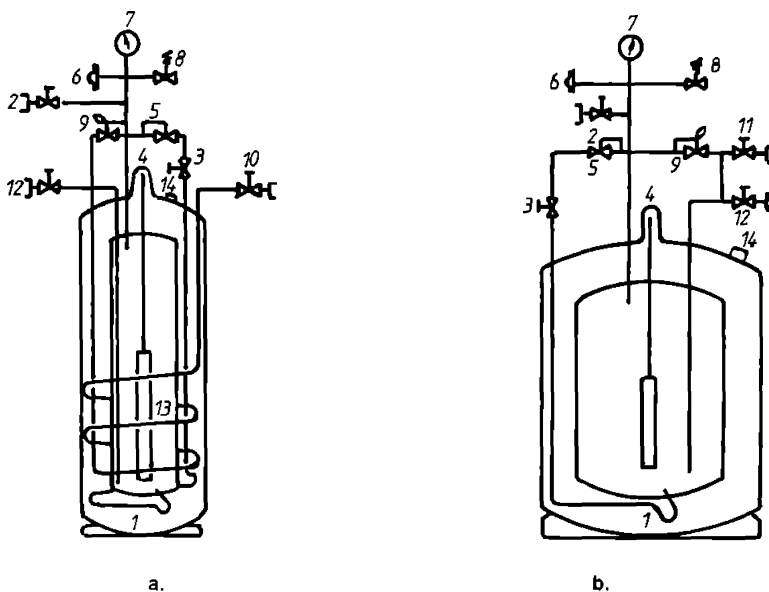


Fig. 2.4. Recipienți Dewar pentru transportul gazelor lichefiate de azot, heliu, oxigen sau argon

În România, recipientii Dewar cu capacitatea de stocare de 40 l, pentru azotul lichid, sunt fabricați la I.C.P.I.A.F. Cluj-Napoca (vezi fig. 5.3.)

2.5. Procedeele tehnologice de obținere a mărcilor de oțeluri utilizate în domeniul temperaturilor scăzute

2.5.1. Generalități

Aceste oțeluri se elaborează în cuptoare electrice cu arc. Procedeele tehnologice de elaborare în aceste agregate metalurgice permite realizarea unei compoziții chimice precise, al unui conținut scăzut de incluziuni nemetalice și prezintă avantajul recuperării elementelor de aliere oxidabile scumpe, din deșeurile și fierul vechi care compun încărcătura.

Pentru obținerea unor proprietăți necesare scopului de utilizare dorit, ale diferitelor mărci de oțeluri aliate și înalt aliate, se utilizează procedee și tehnologii de tratare a oțelurilor în afara agregatelor de topire (de elaborare) prin care se urmărește îmbunătățirea proprietăților și caracteristicilor tehnologice și mecanice [55]; [76].

Tratarea oțelurilor în afara agregatelor de topire trebuie să asigure următoarele cerințe:

- micșorarea conținutului de hidrogen din oțel;
- îmbunătățirea purității în incluziuni nemetalice;
- obținerea unei compoziții chimice cât mai precise;
- procese avansate de decarburare (sau dezoxidare, desulfurare);

- asigurarea condițiilor optime de turnare (prin temperatura de turnare).

Procedeele speciale de tratare a oțelurilor utilizate în cadrul S.C." SIDERURGICA" S.A. Hunedoara sunt:

- ◇ Tratarea în vid a oțelului lichid în oala de turnare;
- ◇ Barbotarea oțelului;
- ◇ Tratarea oțelului cu zgură sau amestecuri pulverulente.

2.5.2. Tratarea în vid a oțelului în oala de turnare

Se tratează în vid oțelurile înalt aliate (oțelurile inoxidabile și altele); oțelurile slab aliate sau nealiate pentru piese forjate de mare importanță (rotori de turbine, arbori cotiți, rulmenți cu durabilitate mare etc.); oțeluri pentru tablă groasă utilizată în scopuri speciale etc.

Oțelul obținut [55] este compact, fără porozități, sulfuri și fisuri intercristaline, iar lingoul are o structură mai fină și în ansamblu omogenitatea structurală este mai mare.

Tratarea în vid a oțelului prezintă următoarele avantaje:

- compoziția chimică este mai precisă și mai uniformă;
- se scurtează durata șarjei;
- se economisesc aliajele de aliere și de dezoxidare.

Tratarea oțelului în oala de turnare se poate face fără sisteme auxiliare de încălzire, cu insuflarea simultană de oxigen (procedul V.O.D: Vacuum-Oxygen-Decarburization) și barbotare cu gaze inerte (de exemplu - cu argon), respectiv în oala de turnare prevăzută cu sistem de încălzire cu arc (V.A.D.: Vacuum arc degassing).

Schema de principiu a unei instalații de tratare în vid a oțelului în oala de turnare după procedul V.O.D. [76] este prezentată în fig.2.5.a, pe care se disting următoarele părți componente: camera vidată (1); oala de turnare (2); capacul oalei (3); buncărul cu feroaliaje (4); lancea pentru oxigen (5); sistemul de alimentare cu argon (6) și orificiul de turnare (7).

În timpul decarburării în vid, cu insuflare de oxigen, baia metalică este barbotată cu argon prin intermediul unei cărămizi poroase amplasate în fundul oalei de turnare. Oxigenul este insuflat după realizarea unei depresiuni de circa 50 torr ($6,65 \cdot 10^2$ bari), continuând pe măsură ce conținutul de carbon scade, la o depresiune de 5...10 torr. După consumarea cantității de oxigen determinată prin calcul și experimental, se menține topitura metalică timp de câteva minute la o depresiune cât mai mică (2...5 torr). Urmează faza de dezoxidare a zgurei cu ferosiliciu, efectuarea corecturilor de compoziție, după care oțelul este evacuat. În tot timpul procesului prezentat gazele rezultate sunt evacuate în exterior.

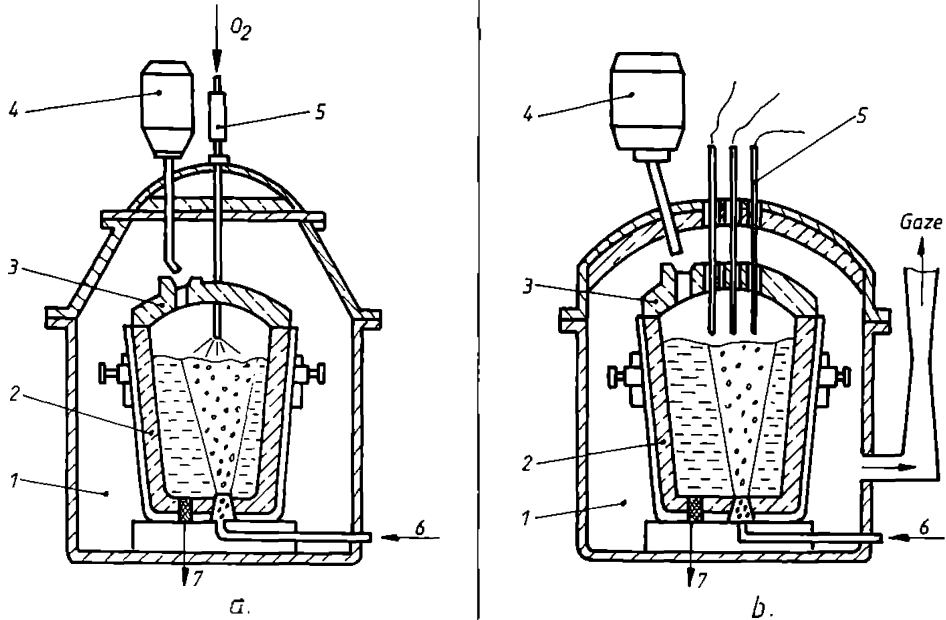


Fig.2.5. Représentarea schematică a instalațiilor de tratare în vid a oțelului în oala de turnare: a- procedeul V.O.D; b- procedeul V.A.D

Tratarea în vid a oțelului, în oala de turnare, după procedeul V.A.D. este prezentată prin schema de principiu din fig.2.5.b., pe care se disting următoarele părți componente: camera vidată (1); oala de turnare (2); capacul oalei (3); buncărul cu feroaliaje (4); electrozii (5); sistemul de alimentare cu argon (6) și orificiul de turnare (7). Procedeul V.A.D. este o combinație între o instalație de tratare în vid și un echipament trifazat de încălzire cu arc. Acest procedeu de tratare în vid prezintă următoarele avantaje [76]:

- durata pentru dezoxidare nu este limitată în timp de pierderea de căldură a băii metalice;
- cantitatea de feroaliaje adăugată în oala de turnare nu este limitată;
- se pot produce oțeluri cu conținuturi foarte mici de carbon respectiv de sulf;
- posibilitatea obținerii unei compoziții chimice în limitele prescrise într-un ecart de temperatură de turnare optim.

2.5.3. Retopirea electrică sub strat de zgură (R.E.Z.)

În principiu procedeul de retopire electrică sub strat de zgură constă în topirea unui electrod consumabil (dintr-o anumită marcă de oțel) într-o baie lichidă de zgură și recristalizarea lui într-un cristalizator răcit cu apă [55]; [68]; [76]. Este un procedeu continuu în care topirea,

procese metalurgice și solidificarea oțelului se produc aproape simultan. Se lucrează cu zgură $\text{CaF}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO}$, în principal, sau cu zgură $\text{CaF}_2 - \text{CaO}$; $\text{CaF}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ respectiv numai cu CaF_2 .

Unele mărci de oțeluri elaborate în cuptoare electrice sunt supuse tratării în vid, în oala de turnare, apoi sunt laminate în bare de secțiune pătrată cu latura de 410...435 mm și lungime de 1850 mm (uzual ... 410x1850). Aceste bare joacă rolul de electrod consumabil care este retopit sub strat de zgură. După aplicarea procedurii R.E.Z. lingoul obținut, în funcție de destinație, se laminează sau se forjează.

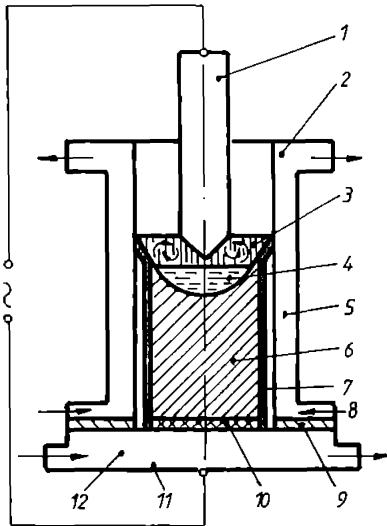


Fig.2.6. Schema instalației de retopire sub strat de zgură (R.E.Z.)

Datorită necesității de obținere a unei structuri optime a lingoului, forma și adâncimea băii metalice, în cadrul procesului R.E.Z., prezintă o importanță deosebită. Este de dorit ca prin reglarea parametrilor instalației să se obțină o baie metalică cât mai plată, deoarece cristalizarea are loc, relativ perpendicular pe suprafața de separație inter-fază și astfel să se obțină structura primară dorită, cu direcția în lungul axei lingoului. În cazul unei băi metalice adânci, cristalizarea are loc aproape radial, asemănător cu cristalizarea unui lingou clasic, cu defectele caracteristice acestuia.

Datorită necesității de obținere a unei structuri optime a lingoului, forma și adâncimea băii metalice, în cadrul procesului R.E.Z., prezintă o importanță deosebită. Este de dorit ca prin reglarea parametrilor instalației să se obțină o baie metalică cât mai plată, deoarece cristalizarea are loc, relativ perpendicular pe suprafața de separație inter-fază și astfel să se obțină structura primară dorită, cu direcția în lungul axei lingoului. În cazul unei băi metalice adânci, cristalizarea are loc aproape radial, asemănător cu cristalizarea unui lingou clasic, cu defectele caracteristice acestuia.

Schema instalației R.E.Z. este prezentată în fig.2.6. și cuprinde următoarele părți componente: electrodul consumabil (1); conducta pentru evacuarea apei din cristalizator (2); baia de zgură (3); baia metalică (4); cristalizatorul (5); lingoul (6); crusta de zgură (7); conducta de intrare apă (8); izolația (9); placa de amorsare (10); placa de bază (11) și zona cu apa de răcire a plăcii de bază (12).

Căldura necesară topirii electrodului consumabil se obține datorită rezistenței ohmice a băii de zgură, la trecerea curentului electric prin ea.

Prin efectul Joule se supraîncălzește zgura până la temperaturi de 1750°C (2023K). Datorită acestei temperaturi înalte, capătul inferior al electrodului (care se

2.6. Influența elementelor de aliere asupra caracteristicilor oțelurilor

Oțelurile aliate conțin mai multe elemente de aliere, însă proprietatea principală de utilizare este determinată de unul dintre ele, celelalte concurând la obținerea unor proprietăți cum ar fi: puritatea, caracteristici mecanice ridicate, comportarea la prelucrările plastice sau mecanice etc. În aliajele fier-carbon, fiecare element de aliere are un anumit rol, iar utilizarea unor combinații de astfel de elemente duce la obținerea unor oțeluri care să îndeplinească toate condițiile necesare unui anumit scop de utilizare.

Oțelurile utilizate pentru încercările la temperaturi scăzute au ca și principale elemente de aliere Ni, Cr, Mn și Mo. În continuare se prezintă efectul fiecăruia dintre aceste elemente asupra proprietăților conferite oțelurilor [76].

a) Rolul nichelului. În oțeluri, nichelul se găsește în soluție solidă, în ferită și în austenită și nu formează carburi. Dizolvat în ferită, nichelul îi mărește duritatea și rezistența, ceea ce face posibil ca oțelul să conțină mai puțin carbon, deci să aibă deformabilitate respectiv sudabilitate mai bună.

Ca urmare a scăderii temperaturii de transformare perlitică, nichelul favorizează formarea unei perlite foarte fine, cu micșorarea conținutului de carbon din perlită, concomitent cu efectul de durificare a feritei. Se obțin astfel, o duritate respectiv o tenacitate mai mari decât a oțelurilor nealiate, cu același conținut de carbon. Oțelurile de îmbunătățire cu nichel necesită o temperatură de încălzire mai joasă, în vederea călirii.

Pentru anumite concentrații ale nichelului, în oțelurile feritice cu crom, reapar punctele de transformare iar pentru anumite viteze de răcire, oțelurile devin integral austenitice.

În oțelurile de cementare, nichelul finisează granulația obținându-se un strat superficial cu duritate mare.

Oțelurile cu concentrații de nichel de 3...4% își mențin tenacitatea până la -100°C (173K), iar cele cu concentrații de 9...10% sau mai mari, până la -200°C (73K). Este necesar însă, să se aplice un regim adecvat de tratamente termice care să asigure eliminarea în cât mai mare măsură a austenitei reziduale.

b) Rolul cromului. În oțeluri, cromul este cel mai utilizat element de aliere, datorită următoarelor proprietăți: este solubil în ferită și în austenită; are o pronunțată tendință de formare a carburilor de crom respectiv de crom și fier.

Cromul stabilizează ferita măbind rezistența și duritatea acesteia.

Prin tendința cromului de a forma carburi, la creșterea conținutului de carbon, concentrația cromului în soluția solidă scade. În funcție de destinația oțelurilor, conținutul de crom trebuie astfel impus încât să se obțină proprietățile dorite, astfel:

- ◆ la oțelurile de construcții duce la mărirea capacității de călire;
- ◆ în oțelurile de cimentare contribuie la mărirea durtății superficiale;
- ◆ pentru oțelurile semidure se obține prin călire de suprafață o duritate superficială mărită;
- ◆ la oțelurile pentru rulmenți menține o granulație fină;
- ◆ în oțelurile inoxidabile mărește rezistența la coroziune;
- ◆ prin modificarea temperaturii de transformare martensitică, contribuie la menținerea tenacității oțelurilor la temperaturi scăzute și criogenice.

c) **Rolul manganului.** În aproape toate oțelurile, manganul este principalul element însoțitor, având un rol hotărâtor asupra proprietăților mai ales la concentrații mai mari de 0,5...0,8 %, când se consideră că oțelul trece din domeniul oțelurilor carbon în domeniul celor aliate.

Manganul contribuie la mărirea durtății și rezistenței oțelurilor la valori similare cu a unor oțeluri cu conținut mai mare de carbon, asigurând însă ductilitate și tenacitate mai bune. De asemenea, manganul încetinește transformarea austenitei și coboară temperatura de transformare martensitică. Cu creșterea conținutului de mangan scade valoarea caracteristicii mecanice la încovoierea prin șoc. Impune respectarea cu strictețe a temperaturilor și regimurilor de tratamente termice deoarece prezintă sensibilitate la supraîncălzire.

În oțel, manganul joacă și rolul de dezoxidant, mărind capacitatea de dezoxidare a siliciului și de legare a sulfului în sulfuri cu temperatură înaltă de topire. La oțelurile inoxidabile nichelul poate înlocui parțial manganul.

d) **Rolul molibdenului.** Molibdenul este un element de aliere alfa-gen, ca și cromul, asigurând oțelurilor un domeniu austenitic mai restrâns.

În oțeluri cu conținut de carbon ridicat, molibdenul fiind puternic carburigen, asigură prin difuziunea lui în martensită o prelucrabilitate și tenacitate mai bună, însă și o sensibilitate mai mare la tratamentul termic și la decarburare.

În conținuturi mici de molibden se micșorează viteza de transformare perlitică, ceea ce mărește căliblitatea. În urma revenirii, în oțelurile cu molibden are loc o precipitare fin dispersată a unor constituenți asemănători carburilor care duc la scăderea, până la anularea, efectului de fragilitate de revenire.

CAPITOLUL 3

TEHNICI EXPERIMENTALE DE ÎNCERCARE A METALELOR LA TEMPERATURI SCĂZUTE ȘI CRIOGENICE

3.1. Generalități

Datorită faptului că anumite materiale metalice și nemetalice, utilizate pentru organe de mașini sau elemente de construcții metalice, lucrează în condiții de temperaturi scăzute sau temperaturi crigenice (temperaturi joase și foarte joase), este necesară determinarea caracteristicilor mecanice, aferente diverselor solicitări, pentru aceste condiții de exploatare. În acest scop se efectuează încercări mecanice distructive sau nedistructive pe baza unor reglementări prevăzute în normative naționale (STAS-uri) sau cu caracter internațional. Nu toate tipurile de încercări sunt astfel reglementate și de aceea în anumite situații încercările se execută pe baza unor înțelegeri între părți (condiții de încercare stabilite de comun acord).

Domeniile de utilizare ale materialelor, care lucrează în astfel de condiții de temperatură, sunt: industria frigului, aeronautică, astronautică, industria chimică, industria alimentară etc.

Încercările mecanice se execută cu aceleași mașini universale de încercat, pe care se fac încercări în condiții de temperatură ambiantă, la care se atașează dispozitive speciale care cuprind **incinte frigorifice** (pentru temperaturile scăzute) respectiv **criostate** (pentru temperaturile criogenice). Incintele frigorifice respectiv criostatele se utilizează pentru răcirea epruvetelor (probelor) și menținerea lor la temperatura dorită pe toată durata încercării.

Încercările uzuale, executate în laboratoarele uzinale pentru domeniul de temperaturi scăzute sunt: încercarea la tracțiune și încercarea la încovoiere prin șoc, iar la cererea beneficiarului se pot efectua și încercarea la răsucire respectiv încercarea de duritate. În laboratoarele cu dotări performante se execută pe lângă aceste tipuri de încercări, în domeniul temperaturilor criogenice și încercări cu caracter mai deosebit, care decurg din cerințele unor aplicații practice speciale.

3.2. Dispozitive pentru încercarea la tracțiune în domeniul temperaturilor scăzute

Încercarea la tracțiune în domeniul temperaturilor scăzute este reglementată de **STAS 6834-75** și constă în răcirea epruvetei la temperatura de încercare, urmată de aplicarea lentă a unei sarcini progresive de tracțiune, în direcția axei longitudinale a epruvetei, în vederea determinării anumitor caracteristici mecanice.

Răcirea epruvetei (epruvetelor) se realizează în incinte frigorifice care folosesc ca și agenți frigorifici dioxidul de carbon solid (zăpada carbonică) respectiv azotul lichid, iar ca și medii de răcire alcoolul etilic, eterul de petrol, propanul sau propilena. În funcție de temperatura de încercare dorită sunt utilizate diferite soluții practice, astfel se realizează răcirea epruvetei cu un agent de răcire (amestec, în anumite proporții, de agent frigorific și mediul de răcire), cu un mediu de răcire care preia frigul de la un agent frigorific, utilizând direct azotul lichid în contact cu epruveta sau cu vaporii de azot.

3.2.1. Dispozitiv de tip AMSLER pentru încercarea la tracțiune

Mașinile universale de încercări marca Wolpert sunt dotate cu un dispozitiv de tip Amsler care permit răcirea epruvetelor în domeniul temperaturilor scăzute. În fig.3 1.este prezentat schematic un astfel de dispozitiv.

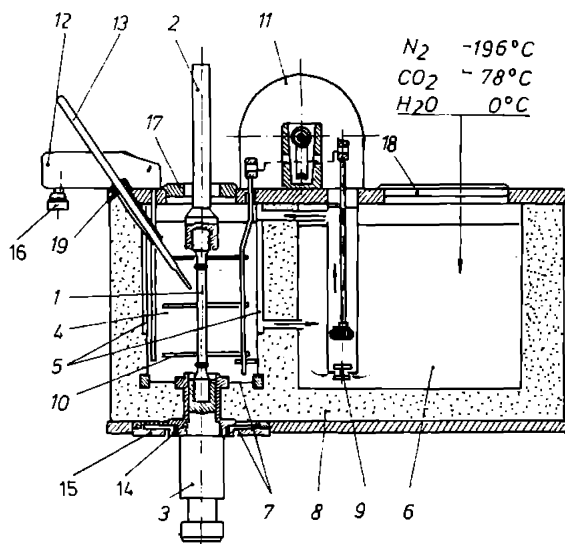


Fig.3.1. Dispozitiv de tip Amsler

Un servomecanism compus dintr-o pompă (9), un agitator (10), un motor (11) și un termostat (12), are rolul de a aduce epruveta la temperatura de încercare și de a o menține la această temperatură.

După conectarea incintei frigorifice la rețea, motorul (11) acționează pompa (9) care introduce agent frigorific în camera de schimb (5) până când în camera de lucru (4), unde se află mediul de răcire, se obține temperatura reglată prin termostat (12).

Ansamblul compus din camera de lucru, camera de schimb și recipientul de rezervă înglobate într-o carcasă și izolate termic între ele, formează incinta frigorifică a dispozitivului de tip

Amsler. La atingerea temperaturii de încercare dorită, termostatul comandă schimbarea sensului motorului prin care se oprește funcționarea pompei. Agitatorul (10) este cuplat rigid cu motorul și funcționează în ambele sensuri de rotire ale acestuia, asigurând astfel uniformizarea temperaturii mediului de răcire și implicit a epruvetei.

În fig.3.1.se mai disting următoarele părți componente: bucușă filetată (14), capacul interior (15), butonul de reglare a termostatalui (16), capacul superior (17) și capacul recipientului de rezervă (18).

Agenții frigorifici, agenții transportatori de frig și mediile de răcire utilizați în incinta frigorifică a dispozitivului de tip Amsler, pentru diferite domenii de temperaturi scăzute sunt prezentați în tabelul 3.1.

Tabelul 3.1.

Agentii frigorifici și mediile de răcire utilizați în incinta frigorifică

Intervalul de temperaturi	Agentul frigorific din recipientul de rezervă (6)	Agentul pentru transportul frigului din recipientul de rezervă (6)	Mediul de răcire în camera de lucru (4)
+20°C...+5°C (293K...278K)	Gheața (H ₂ O solid)	Apa (H ₂ O lichid)	Apa cu adaos de alcool sau toluen
10°C...-60°C (283K...213K)	Dioxidul de carbon (CO ₂ solid)	Alcoolul etilic sau Toluen	Toluen sau Eter de petrol
-30°C...-160°C (243K...113K)	Azotul lichid (N ₂ lichid)	Nu se folosește agent deoarece azotul lichid este transportat de pompa (9) în camera de schimb (5)	Eter de petrol
-160°C...-185°C (113K...88K)	Azotul lichid (N ₂ lichid)	Nu se folosește agent deoarece azotul lichid este transportat de pompa (9) în camera de schimb (5)	Eter de petrol Propan Propilenă răcită preliminar până la -100°C (173K)

Observație. Azotul lichid se poate introduce direct în camera de lucru (joacă rol și de mediu de răcire) pentru cazul încercării la tracțiune la -196°C (77K).

Dispozitivul de tip Amsler are următoarele domenii de utilizare, la temperaturi scăzute:

- permite determinarea caracteristicilor mecanice ale metalelor la tracțiune;
- răcește epruvetele necesare încercării la încovoierea prin șoc;
- pentru răcirea probelor în cazul încercărilor de duritate.

3.2.2. Dispozitiv tip reversor pentru încercarea la tracțiune

Dispozitivul [39] destinat încercării la tracțiune a epruvetelor din materiale metalice, în intervalul de temperaturi +20°C...-196°C (293K...77K), este prezentat schematic în fig.3.2.

El se montează pe o mașină universală de încercări mecanice care lucrează în regim de comprimare.

Agentul frigorific utilizat pentru răcirea epruvetelor, este azotul lichid care este pulverizat în camera de lucru a incintei frigorifice.

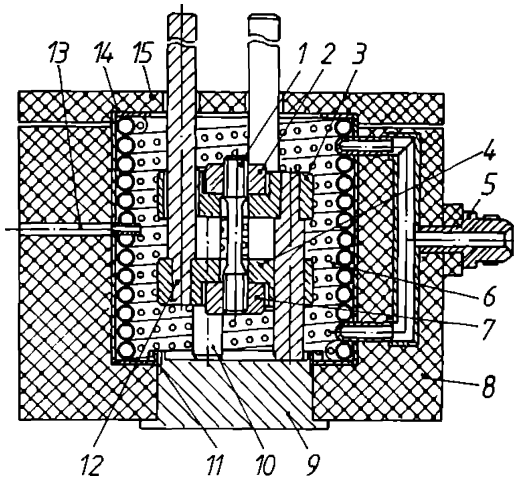


Fig. 3.2. Dispozitiv tip reversor pentru încercarea la tracțiune

Denumirea de reversor, al ansamblului prezentat, provine din faptul că dispozitivul este încărcat prin comprimare, iar în epruvetă se generează solicitarea de întindere.

În camera de lucru (14) a incintei frigorifice sunt montate două pulverizatoare realizate din țevi de cupru în spirală, prevăzute cu orificii, prin care se introduce agentul frigorific. Azotul lichid este stocat într-un vas Dewar, de unde printr-un sistem de presurizare este dirijat spre incinta frigorifică prin ștuțul (5) de alimentare.

Pentru măsurarea temperaturii scăzute se utilizează un termocuplu sau o termorezistență care se introduce în camera de lucru, prin intermediul bușei directe (13), până la contactul cu epruveta.

Obținerea temperaturii scăzute de încercare se realizează în camera de lucru a incintei frigorifice, fără ca dispozitivul să fie montat pe mașina de încercat, fapt care reduce contactul cu părțile metalice ale acesteia, numai la timpul necesar încercării propriu-zise.

Dispozitivul prezentat are o construcție simplă, asigură un consum relativ mic de agent frigorific, iar epruveta are o poziție perfect verticală în timpul încercării la tracțiune.

3.3. Instalații pentru încercarea la tracțiune în domeniul temperaturilor criogenice

Pentru încercările mecanice ale materialelor în condiții de temperaturi joase -153°C...

-253°C (120K...20K) și foarte joase -253°C...-269°C (20K...4K) se utilizează instalații speciale dotate cu criostate în care se pot realiza și menține aceste temperaturi. Criostatele de înaltă performanță care lucrează în acest domeniu de temperaturi, utilizează ca și agenți frigorifici heliul lichid sau hidrogenul lichid. Este important ca aceste criostate să fie astfel proiectate și realizate încât să se poată monta, în vasul interior al acestora, dispozitive care să permită efectuarea unei întregi game de încercări mecanice.

Instalația care utilizează aceste tipuri de criostate trebuie să cuprindă o pompă de vidare, un instrument pentru măsurarea temperaturii (termorezistență sau termocuplu), un sistem de înregistrare a temperaturii și de reglare a acesteia precum și un element pentru controlul nivelului agentului de răcire. Întreaga instalație se montează pe o mașină universală pentru încercări mecanice.

3.3.1. Instalație care utilizează ca și agent frigorific heliul lichid

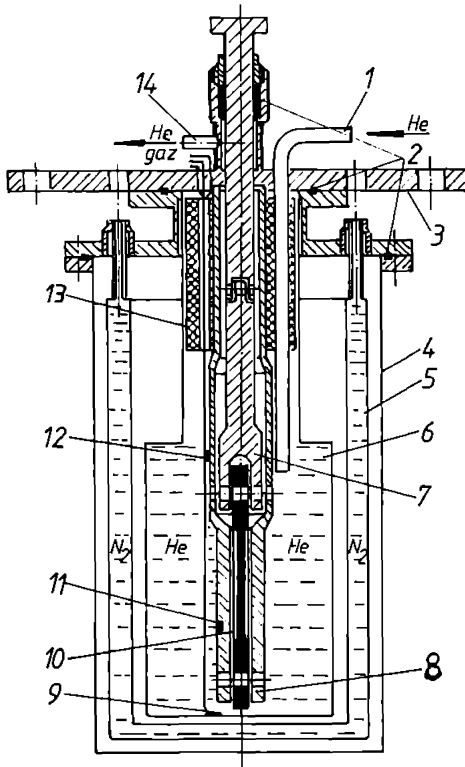


Fig.3.3.Criostat cu dispozitiv pentru încercarea la tracțiune a epruvetelor de secțiune dreptunghiulară

Un astfel de criostat [51] în care este montat un dispozitiv prin intermediul căruia se efectuează încercarea la tracțiune pe epruvete cu secțiunea dreptunghiulară, este prezentat în fig.3.3. Printr-o șevă (1) se introduce agentul frigorific (heliu lichid) în camera de lucru (6). Realizarea izolației termice se face printr-un ecran de azot lichid (5) și două camere vidate la $3 \cdot 10^{-3}$ Pa, între vasul exterior al criostatului (4) și ecranul de azot lichid (5), respectiv între acesta și camera de lucru. Dispozitivul de încercare este alcătuit dintr-o placă de susținere (3) prin intermediul acesteia se fixează criostatul la mașina de încercat, o tijă mobilă (7) și una fixă (8) între care se montează epruveta (10).

Temperatura de încercare se măsoară cu un termocuplu (11), iar nivelul agentului frigorific cu ajutorul unui traductor (12). Pentru evaporarea

agentului frigorific, criostatul este prevăzut cu un încălzitor (9) (de obicei o spirală dintr-un aliaj nichel-crom), iar pentru prevenirea producerii gheții pe placa de sprijin și reducerii fluxului termic pentru epruvetă, la partea superioară a criostatului se realizează un ecran termic executat dintr-o spumă densă de material plastic rezistent la temperaturi criogenice. Toate etanșările dintre părțile componente ale criostatului se realizează cu garnituri (2) din materiale plastice speciale. Evacuarea vaporilor agentului frigorific se face printr-o țevă (14).

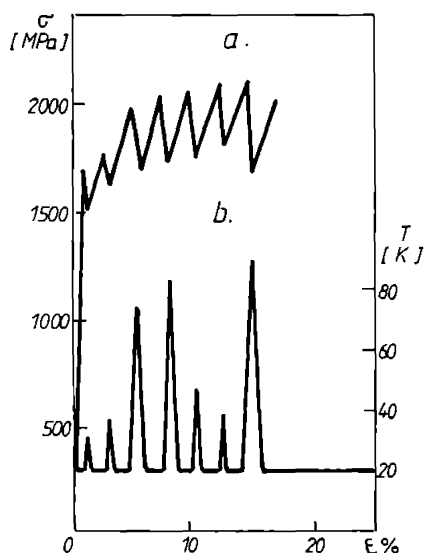


Fig.3.4. Curba caracteristică la tracțiune (a) și curba de variație a temperaturii (b)

Criostatul descris prezintă avantajul unui consum relativ mic de agent frigorific, iar dispozitivul utilizat are o construcție simplă și o funcționare sigură în procesul de încercare a metalelor la temperaturi criogenice. În timpul încercării la tracțiune a metalelor curba caracteristică prezintă, la partea ei superioară, salturi caracteristice temperaturilor criogenice. Salturile de deformare duc la încălziri locale ale epruvetei, deci la salturi ale temperaturii cu 20K...80K, fapt care impune un sistem de reglare a temperaturii de încercare cât mai precis. Curba caracteristică pentru un oțel înalt aliat cu nichel încercat la temperatura de 20 K și curba de variație a temperaturii înregistrată sincron [51] se prezintă în fig 3.4.

Caracteristica de deformabilitate a materialului în condiții criogenice depinde de starea lui structurală (structura metalografică, modul de cristalizare etc.), temperatura de încercare, viteza de încărcare, condițiile de evacuare ale căldurii și posibilitățile de transformare structurală.

Funcție de destinația și modul de încărcare a elementului de rezistență executat din oțelul care lucrează în condiții criogenice (temperaturi mai mici de 120K), se impun încercări mecanice de material la solicitarea (solicitățile) preluată de către acesta.

3.3.2. Instalație care utilizează ca și agent frigorific hidrogenul lichid

Pentru încercarea la tracțiune a materialelor metalice în domeniul temperaturilor criogenice se folosesc și criostate care utilizează ca și agent frigorific hidrogenul lichid.

Epruvetele folosite sunt, în general, de dimensiuni mici, asigurându-se astfel un timp relativ scurt pentru răcirea și menținerea la temperatura de încercare. Schemele de principiu a unor astfel de dispozitive [75] sunt prezentate în fig.3.5., deosebirea dintre ele constând în modul de fixare și de acționare a epruvetelor.

Dispozitivul din fig.3.5.a asigură încărcarea epruvetei prin intermediul unui cap de fixare realizat monobloc cu un tirant și a unor elemente de legătură montate la capătul inferior al unei țevi fixe cu pereți groși, astfel încât în tot timpul încercării epruveta să se afle imersată în agentul frigorific (hidrogenul lichid).

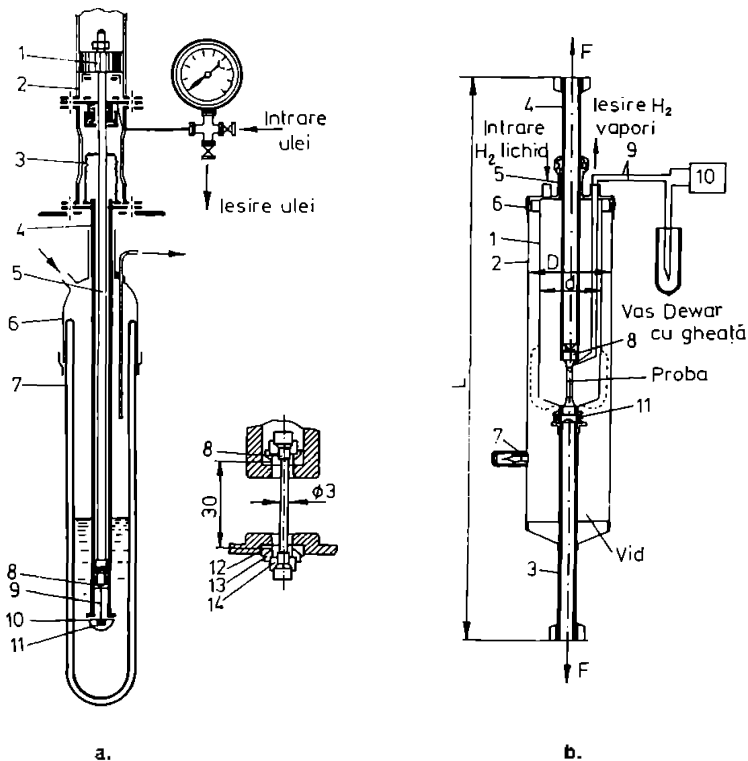


Fig.3.5. Dispozitive pentru încercarea la tracțiune în domeniul criogenic

Epruveta (9) se montează cu unul dintre capetele de prindere în capul de fixare (8) ce face corp comun cu tirantul mobil (5) care trece la partea lui superioară printr-un tub gofrat (3). Tirantul se deplasează sub acțiunea pistonului (1) din cilindrul hidraulic (2). Celălalt capăt de prindere al epruvetei, prin intermediul pieselor de legătură (12, 13 și 14) se montează de țeava fixă (4).

În timpul încercării, atât epruveta cât și o porțiune din tirant respectiv țeava fixă, se află în interiorul camerei de lucru a criostatului (7) care este închis la partea lui superioară de un capac

(6) prevăzut cu un orificiu pentru alimentarea cu hidrogen lichid și un alt orificiu pentru evacuarea vaporilor de hidrogen.

Pentru a se asigura o izolație termică performantă, între vasul interior și vasul exterior al criostatului se realizează un vid înaintat.

Dezavantajul acestui tip de dispozitiv constă în faptul că permite numai încercarea epruvetelor de dimensiuni mici ($\phi 3 \dots \phi 5$ mm).

În cazul dispozitivului prezentat schematic în fig.3.5.b fixarea epruvetei, cu capetele de prindere filetate, se realizează între două tije (tiranți) de tracțiune prin intermediul cărora se asigură montarea la mașina de încercare.

Criostatul este realizat dintr-un vas interior (1) executat din oțel cu conductibilitate termică foarte mică și un vas exterior (2) din cupru. Între cele două vase se asigură un vid înaintat, legătura dintre pompa de vid și criostat realizându-se printr-un ștuț (7). Prin capacul criostatului (6) trece tija de tracțiune superioară (4), ghidată printr-o bucsă (5) prevăzută cu izolație termică. Epruveta este montată cu capul de prindere filetat (8) în tija superioară (4) și printr-o legătură elastică (11) de tija inferioară (3). Legătura elastică inserată între epruvetă și tijă are rolul de a prelua șocul din momentul ruperii epruvetei.

Criostatul face corp comun cu tija inferioară a dispozitivului, iar capacul criostatului este prevăzut cu două orificii, prin unul se face alimentarea cu hidrogen lichid, iar prin celălalt se asigură evacuarea vaporilor de hidrogen.

După fixarea epruvetei, camera de lucru se umple cu hidrogen lichid, care asigură răcirea epruvetei și după un timp de menținere determinat se execută încercarea la tracțiune. Dimensiunile camerei de lucru sunt astfel calculate încât vaporizarea hidrogenului lichid să nu se termine mai repede de 10...15 minute de la umplere, adică un timp suficient pentru răcirea epruvetei și efectuarea încercării.

Temperatura din camera de lucru a criostatului se măsoară cu un termocuplu (9) legat la un aparat înregistrator (10).

Acest dispozitiv poate fi utilizat și pentru încercarea unor epruvete de dimensiuni mai mari, datorită rigidității sistemului de încărcare.

3.4. Instalații pentru încercarea la tracțiune cu dispozitive de fixare a mai multor epruvete

Pentru a se asigura un consum cât mai mic de agent frigorific și a reduce timpul necesar răcirii epruvetei, menținerea acesteia la temperatura dorită respectiv încercării propriu-zise există incinte frigorifice și criostatate [1],[28],[51] în care se montează dispozitive de fixare multipoziționale (seturi de 3 până la 6 epruvete). Avantajul acestor instalații este acela că sunt răcite concomitent mai multe epruvete și apoi sunt încercate succesiv, fără a fi nevoie de demontarea dispozitivului

de fixare după fiecare epruvetă încercată. Ca și dezavantaj se poate menționa faptul că epruvetele utilizate sunt, în general, de dimensiuni mici.

Incintele frigorifice respectiv criostatetele unor astfel de instalații, permit montarea în interiorul camerelor de lucru a o serie de dispozitive care asigură fixarea epruvetei în poziția de încercare, transmiterea încărcării la epruvetă, măsurarea deformațiilor respectiv a sarcinii.

Schema de principiu a unei instalații care utilizează un dispozitiv pentru fixarea a trei epruvete [1] este prezentată în fig.3.6. Agentul frigorific utilizat este azotul lichid.

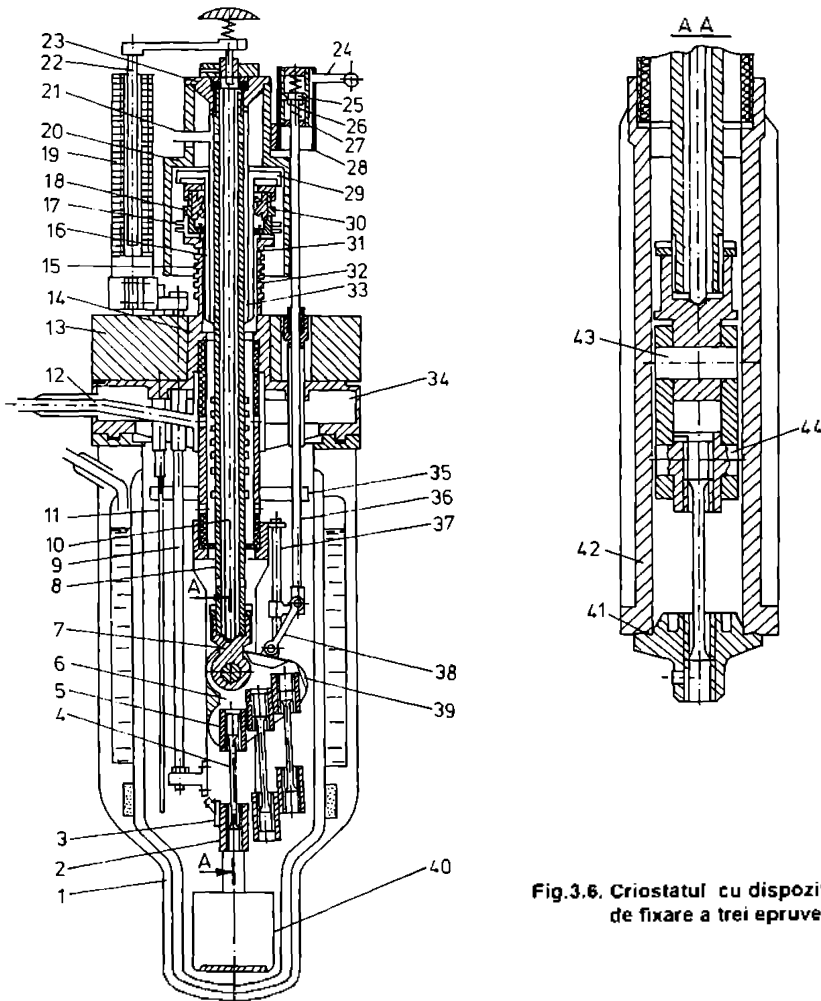


Fig.3.6. Criostatul cu dispozitiv de fixare a trei epruvete

Criostatul (1), prevăzut cu un ecran de azot lichid, are un dispozitiv de prindere (6) a trei epruvete care este fixat de tirant (8) prin intermediul unui bolț (43) și a piesei de legătură (7). Dispozitivul (6) are un sertar rotativ prevăzut cu locașe articulate (5) în cruce cu semiaxele (44) și în care se fixează unul dintre capetele de prindere filetate ale epruvetelor. În partea inferioară epruvetele sunt montate în bușele filetate (2) care prin intermediul piesei de legătură (41) sunt în contact, în poziția de lucru, cu suportul (3) tirantului intermediar (42). Prin intermediul țevii de sprijin (9) și al flanșei de trecere (14) acest tirant este fixat de o traversă mobilă (13). Tirantul (8), aflat în prelungirea tirantului intermediar, este înfiletat cu capătul superior într-o flanșă (23) amplasată pe traversa fixă (20) a mașinii de încercat. Dispozitivul (6) are prevăzut un suport elastic (39-arc) și de asemenea un mecanism de rotire și de fixare a epruvetei. Mecanismul de rotire este format dintr-o pârghie de comandă (36) legată printr-o tijă (38) de suportul dispozitivului (6) și din două coloane de ghidare (37) montate rigid de tirantul intermediar (42). Partea superioară a pârghiei (36) este în afara criostatului și are o bușă (28) cu locașuri pentru maneta de comandă (24), care este fixată articulat printr-un bolț (27) de pârghie. Prin intermediul piesei de legătură (25) și a unor arcuri (26) se permite fixarea precisă a epruvetelor în poziția de lucru, schimbarea lor precum și atenuarea șocului din momentul ruperii.

În fază inițială, bolțul (43) și pârghia (36) sunt în poziția maximă superioară, epruvetele se montează prin înfiletare cu capătul superior în locașele articulate (5), iar cu cel inferior în bușele (2), epruveta din stânga fiind sub tirantul intermediar (42). Urmează fixarea criostatului pe traversa mobilă (13) și răcirea preliminară a acestuia. După această operație urmează umplerea camerei de lucru a criostatului cu agentul frigorific.

Încărcarea epruvetei se realizează prin intermediul bușei filetate (2) și a ansamblului format din cei doi tranzi (42 și 8), în momentul deplasării traversei mobile (13). După ruperea primei epruvete, partea ei inferioară împreună cu bușea (2) se desprinde și cade în colector (40), eliberând spațiul de lucru.

Următoarea epruvetă se așează în poziția de lucru printr-o rotire a dispozitivului (6) în jurul axei bolțului (43) cu ajutorul pârghiei (36) și a arcului (39). Între tirant (8) și flanșa de trecere (14) este dispus un sistem de elanșare (18) format din două piese de tip simering (30), din cauciuc special. Tirantul (8) este termoizolat față de mașina de încercat printr-o cameră vidată (16) și peretele exterior (31) care este în contact cu flanșa (23). Interstițiul (23) dintre tijă (8) și camera vidată (16) servește pentru evacuarea vaporilor de azot și comunică prin piesa (21) cu rezervorul de gaz. Vaporii de azot răcesc tirantul (8) și țeava (9), iar camera vidată (16) protejează manșetele (30) de o suprarăcire. Înghețarea manșetei este prevenită și de niște nervuri (15) schimbătoare de căldură. Partea superioară (29) a camerei vidate (16) protejează manșetele (30) de picăturile de condens.

Pentru îmbunătățirea caracteristicilor termice ale criostatului, pe țeava suport este dispus ecranul (35), iar traversa mobilă (13) este separată de criostat printr-o cameră vidată (34).

Vaporii de azot sunt separați de doi curenți de circulație; unul dintre ei se direcționează spre interstițiul (33) dintre tirant (8) și țeavă (9), le răcește și printr-o conductă (21) vaporii trec în rezervorul de gaz, iar al doilea curent de vaporii se transmite prin ecranul (35) spre peretele interior al camerei de lucru (1), îl răcește și este evacuat printr-o țeavă (12).

Deformația epruvetelor se măsoară cu un traductor inductiv montat în afara criostatului. Bobina (19) și miezul mobil (22) al traductorului sunt legate de țijele (9 și 10) cu porțiunile tirantului (42) și a piesei de legătură (7), dispuse în apropierea capetelor epruvetelor. Țijele (9 și 10) sunt executate dintr-un material cu un coeficient mic de variație termică (invar) și găsindu-se în aceleași condiții de lucru ca și epruveta, asigură o măsurare corectă a deformațiilor.

Un alt tip de dispozitiv [28] care permite fixarea a trei epruvete care se înceacă succesiv la tracțiune în condiții de temperaturi scăzute este prezentat schematic în fig.3.7.

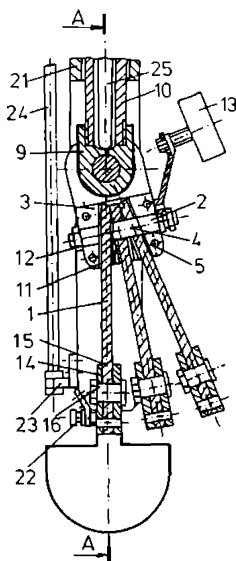


Fig.3.7. Dispozitiv cu contragreutate pentru fixarea simultană a trei epruvete

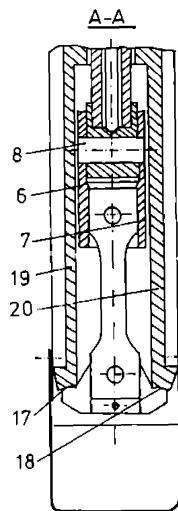


Fig. 3.8. Dispozitiv cu sector rotativ pentru fixarea simultană a șase epruvete

Epruvetele (1), de secțiune dreptunghiulară, sunt așezate pe un bulon (2) care este fixat cu șuruburi (15) între baci (6 și 7). Acestea sunt fixate articulat pe un bolt (8) montat într-o bridă (9) cu tirantul (10) care asigură încărcarea epruvetei. În locașele (11) ale sistemului de fixare

sunt introduse capetele de prindere superioare ale epruvetelor, șaibele calibrate (12) asigurând compensarea jocurilor.

Pe bulon (2) este fixată o contragreutate (13) destinată poziționării epruvetelor față de tirantul de încărcare și a introduce în poziția de lucru următoarea epruvetă.

Capetele inferioare ale epruvetelor sunt fixate între două plăcuțe (14 și 15) pe bolțuri (16). Plăcuțele, prin suprafețele de reazem (17 și 18) vin în contact cu părțile laterale (19 și 20) ale țevii mobile (21).

Poziția verticală a epruvetelor se asigură printr-un limitator (22) fixat pe porțiunea laterală (19) a țevii mobile. Solicitarea la tracțiune se realizează prin deplasarea pe verticală în jos a țevii mobile (21), care prin părțile laterale (19 și 20) și prin plăcuțe (14 și 15) transmite încărcarea epruvetei.

Măsurarea deformațiilor se realizează prin înregistrarea deplasării părților laterale ale tijelor (24 și 25) care sunt fixate la unul dintre capete de consolă (23) respectiv de bridă (9).

Un alt dispozitiv [1] care permite fixarea a șase epruvete care se încearcă succesiv la tracțiune, în condiții de temperaturi scăzute, este prezentat schematic în fig 3.6. Dispozitivul este prevăzut cu un bac inferior de fixare (1) montat la țeava mobilă (9) și un bac superior (2) montat prin intermediul axului (4) de tirantul fix (8). Bacul superior este prevăzut cu locașuri articulate (7) pentru fixarea epruvetelor (6) și este acționat de un mecanism (11) care asigură o mișcare de rotație a acestuia. Epruvetele, înfiletate în locașurile articulate, sunt dispuse în bacul superior după tangentele la un cerc. Concentric cu (2), pe tirantul (8) este montat un ghidaj circular (12). Pinionul bacului superior este acționat prin lanțul cinematic al mecanismului (11) care asigură mișcarea de rotație secvențială, prin intermediul unui disc (10) și a unor elemente de indexare (bilă acționată de către un arc elicoidal).

Pe capetele libere ale epruvetelor se înfiletează bușele (5) care au o suprafață prelucrată semisferic pentru a putea fi montate în bacul inferior (1). Încărcarea epruvetei se realizează prin intermediul bușelor filetate și a bacului inferior când țeava mobilă (9) se deplasează vertical în jos.

Următoarea epruvetă se dispune în poziția de lucru prin rotirea bacului superior (2) în sens orar cu ajutorul mecanismului (11).

Criostatul în care se montează acest dispozitiv este reprezentat pe figură prin poziția (3).

Schema unui dispozitiv care servește la încercarea la tracțiune, în domeniul temperaturilor criogenice, a unui set de trei epruvete de secțiune circulară, care se montează în criostatul instalației care utilizează ca și agent frigorific heliul lichid (vezi 3.3.1-fig 3.3) este prezentată în fig. 3.9.

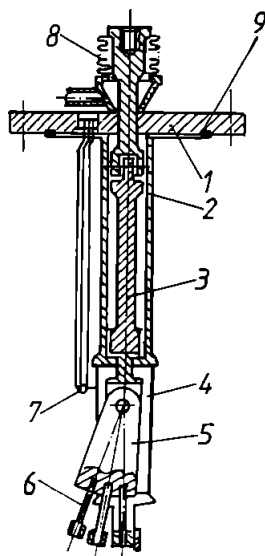


Fig. 3.9. Dispozitiv cu trei epruvete pentru încercarea la tracțiune în domeniul temperaturilor criogenice

Pe placa de sprijin (1) se montează țija fixă (2), de formă tubulară, în interiorul căreia se află țija mobilă (3), la capătul acesteia fiind articulat suportul pendular (5) al epruvetelor (6). Partea inferioară a țije fixe este prevăzută cu un sistem de prindere (4) a unuia dintre capetele epruvetei, celălalt fiind fixat prin înfiletare în suportul pendular. Acest mod de fixare al epruvetelor permite utilizarea unui set de trei epruvete, fără a mai fi nevoie să se demonteze dispozitivul din criostat, în vederea montării unei alte epruvete. Răcirea concomitentă a celor trei epruvete și încercarea succesivă a acestora, fără demontarea dispozitivului de încărcare duce la o economie importantă de agent frigorific respectiv la reducerea timpului necesar pentru încercarea acestora. Temperatura de încercare se măsoară cu un termocuplu, iar nivelul agentului frigorific cu ajutorul unui traductor (7). Pentru asigurarea etanșării, în timpul încercării, dintre țija mobilă și camera de lucru a criostatului se utilizează un tub gofrat (8), iar ermetizarea criostatului față de placa de sprijin se realizează prin intermediul unor garnituri inelare (9) executate din materiale plastice speciale.

3.5. Instalație pentru încercarea la încovoiere statică în condiții de temperaturi scăzute și criogenice

Acest tip de încercare, la temperaturi scăzute și criogenice, nu este reglementată prin normative, dar pentru situații speciale ea a fost abordată de diverși cercetători [1], [28], [51]

Pentru încercarea de încovoiere statică (îndoirea) se pot utiliza dispozitive, în diferite soluții constructive, care se amplasează în camera de lucru a unei incinte frigorifice sau a unui criostat, iar întreg ansamblul se montează la o mașină universală pentru încercări mecanice

Un astfel de dispozitiv montat într-un criostat care utilizează ca și agent frigorific azotul lichid este prezentat schematic în fig 3.10

Criostatul (1) este prevăzută cu un ecran (4) răcit cu azot lichid care se toarnă în camera de rece (5) și două camere vidate (7 și 8) în camera de lucru, azotul se introduce prin intermediul unei pâinii (3) și a unei țevi (2). Ștutul (9) este utilizat pentru evacuarea vaporilor de azot din camera de lucru. Criostatul este fixat de traversa (6) mașinii de încercat

Încărcarea epruvetei se realizează prin intermediul unei țevi (10) a traversei (6) și a brantului (11) fixat printr-o articulație de traversa fixă, centrarea realizându-se printr-un fus (12).

Elanșarea tirantului (11) se face cu un dispozitiv de etanșare (13) și un tub gofrat (14).

Pe partea frontală a levi (10) este montată piesa inelară (15) care este prevăzută cu reazemele (16) pe care se așează epruveta (17). Tirantul (11) cu axul tubular (18) are montată

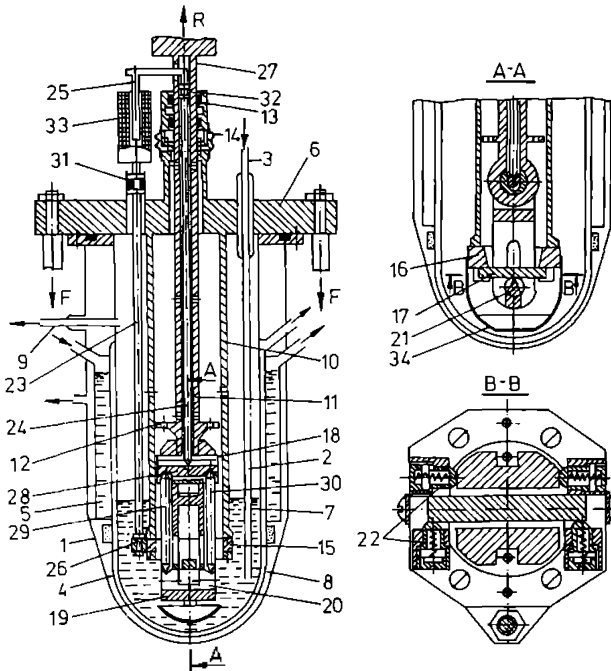


Fig.3.10. Criostat cu dispozitiv pentru încercarea la încovoiere statică

brida de fixare (19), care conține un miez (20), a cărui parte mediană o constituie tocmai prisma de încărcare (21). Prin intermediul limitatorilor (22) prevăzuți cu arcuri, se realizează menținerea și centrarea epruvetei precum și fixarea bridei în poziție verticală.

Măsurarea deformațiilor se face cu un traductor inductiv amplasat în exteriorul criostatului și legat de epruvetă prin două lije, una (23) rigidizată cu corpul traductorului, iar cealaltă (24) cu miezul (25) acestuia. Legătura dintre tija (23) și reazemul inelar (15) se

realizează cu ajutorul suportului (26). Tija (24), cu capătul inferior ascuțit, este fixată cu ajutorul unui arc (27) de pârghia de echilibrare (28) amplasată în interiorul axului tubular (18). Pârghia de echilibrare se sprijină prin două tije cu capetele ascuțite (29 și 30) pe miezul (20), în apropierea epruvetei. Etanșarea tijelor (23 și 24) față de traversă (6) și tirant (11) se face prin intermediul unor garnituri (31 și 32).

După montarea epruvetei și umplerea camerei de lucru a criostatului cu agentul frigorific, se asigură deplasarea ansamblului traversă (6), țevă (10) prin reazemul (15) și epruveta (17) înspre în jos, peste prisma de încărcare (21).

În procesul încărcării epruvetei, tija (23) și corpul traductorului (33) se deplasează împreună cu țeava (10) în timp ce miezul (25) traductorului împreună cu tija (24) și tirantul (11) sunt fixe.

Înregistrarea deformațiilor se face sincron cu înregistrarea forței de încărcare; curbele

astfel obținute permit studierea proprietăților mecanice ale metalelor, la temperaturi scăzute respectiv criogenice

Un alt dispozitiv [5] utilizat pentru încercarea la încovoiere statică, care se amplasează în criostatul instalației ce utilizează ca și agent frigorific heliul lichid (vezi 3.3.1.- fig.3.3.) este prezentat schematic în fig.3.11.

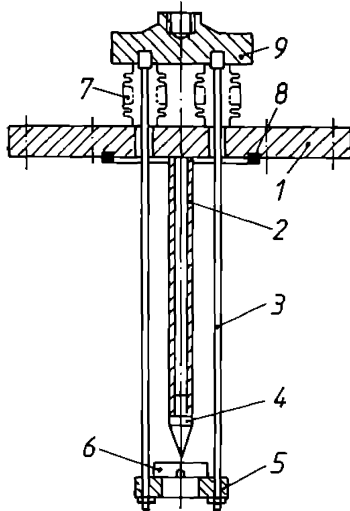


Fig.3.11. Dispozitiv pentru încercarea la încovoiere statică

Pe placa de sprijin (1), care asigură montarea ansamblului dispozitiv-criostat la mașina de încercat, se fixează o tijă tubulară (2) fixă în care se amplasează, la capătul inferior, o prismă (4) prin intermediul căreia se efectuează încărcarea epruvetei (6). La capătul tijelor mobile (3) este fixat un suport inelar (5) pe care se așează epruveta de încercat. Etanșarea dintre tije mobile și camera de lucru a criostatului se realizează cu ajutorul a două tuburi gofrate (7), iar garniturile inelare (8) asigură ermetizarea dintre criostat și placa de sprijin. Prin intermediul unei traverse (9) care rigidizează între ele tije mobile, la partea lor superioară se asigură și montarea dispozitivului la mașina de încercare.

3.6. Echipamente pentru încercările dinamice prin șoc la temperaturi scăzute

3.6.1. Noțiuni generale

Pentru a studia comportarea materialelor la viteze mari de încărcare și a evidenția capacitatea acestora de deformare în condiții de viteză de deformare, de starea de tensiune și de temperatura de încercare, se utilizează încercările dinamice prin șoc.

Vitezele mari de deformare se asigură, în cadrul experimentărilor, utilizând încercările prin șoc cu mase în mișcare, în cădere liberă sau în rotație.

Stările de tensiune respectiv de deformație sunt, în general, greu de evidențiat prin măsurători datorită vitezei mari de desfășurare a încercării, fiind necesare pentru aceasta echipamente de construcție specială. Pentru evaluarea caracteristicilor dinamice se utilizează energia consumată la rupere, mai simplu de apreciat, fie direct, fie raportată la mărimea secțiunii sau volumului epruvetei.

Temperatura scăzută de încercare a epruvetelor se obține în incinte frigorifice, în care sunt introduse acestea. După ce epruveta atinge temperatura scăzută dorită, se asigură un timp de menținere la această temperatură și apoi se scoate din incinta frigorifică și se așează pe dispozitivul sau utilajul de încercare în vederea efectuării experimentului. Timpul scurs pentru manevrarea epruvetei între incintă și utilajul de încercare trebuie să fie suficient de scurt, astfel încât epruveta să nu își modifice substanțial temperatura de încercare.

În principiu, încercările dinamice prin șoc se pot executa la toate solicitările simple: tracțiune, compresiune, încovoiere și răsucire. Dintre aceste încercări este reglementată prin normative numai încercarea la încovoiere prin șoc (SR EN 10045-1:1993- *Încercarea la încovoiere prin șoc pe epruveta Charpy*, care înlocuiește STAS 1400-75; STAS 7511-81 și STAS 6833-79) celelalte încercări făcând obiectul unor lucrări științifice elaborate de diverși cercetători.

Odată cu scăderea temperaturii de încercare se evidențiază, pentru metale, un caracter fragil al ruperii care este influențat și de o serie de alți factori [66]:

- conținutul de carbon;
- conținutul în elemente de aliere;
- conținutul de elemente impurificatoare (sulf, fosfor, oxigen, hidrogen etc.);
- concentratori de tensiune și defectele de suprafață;
- microstructura;
- duritatea

Din rezultatele cercetărilor efectuate privind încercarea la încovoiere prin șoc, în domeniul

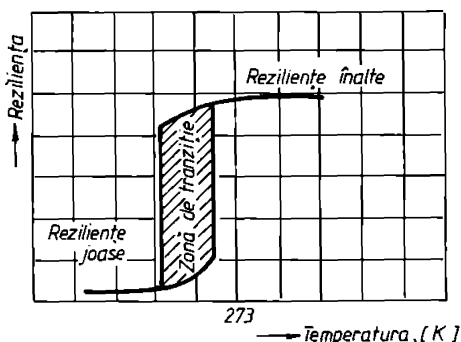


Fig. 3.12. Variația energiei de rupere respectiv a rezilienței în funcție de temperatura de încercare

temperaturilor scăzute și criogenice, s-a constatat că metalele manifestă o scădere bruscă a tenacității la o anumită temperatură, numită **temperatură de tranziție**, care este pusă în evidență printr-o zonă de discontinuitate și dispersie accentuată (**zonă de tranziție**) a energiei de rupere respectiv a rezilienței (fig.3.12). Această zonă separă comportamentul tenace (energii de rupere respectiv reziliențe de valori ridicate), de comportamentul fragil (energii de rupere respectiv reziliențe de valori reduse)

reprezentate prin variații continue și monotone pe celelalte domenii de temperatură.

În practica curentă nu se urmărește determinarea temperaturii de tranziție ci se recurge la fixarea în mod convențional, prin standardele de produse, a unor valori limită ale energiei de rupere sau rezilienței la temperatura de $+20^{\circ}\text{C}$ (293K) respectiv la o temperatură scăzută specifică fiecărei mărci de oțel (de exemplu, la temperatura de -20°C ; -40°C ; -100°C sau -120°C).

3.6.2. Echipamente pentru încercarea la încovoiere prin șoc la temperaturi scăzute

Pentru efectuarea încercării la încovoiere prin șoc, la temperaturi scăzute, sunt necesare următoarele elemente, epruvete, de formă și dimensiuni bine determinate; incintă frigorifică pentru răcirea epruvetelor la temperatura dorită și un ciocan-pendul cu cadran (ciocanul Charpy).

Principiul încercării de încovoiere prin șoc constă din ruperea dintr-o singură lovitură, cu un ciocan-pendul, în condiții determinate, a unei epruvete cu o creștătură la mijloc, în formă de U sau V, așezată liber pe două reazeme, (epruvete Charpy) sau epruvetă în consolă, cu creștătura în dreptul încastrării (epruvete Izod).

Pe plan internațional s-a ajuns la o mare varietate de tipuri de epruvete, funcție de forma creștăturii și de dimensiuni. Uzual, pentru încercarea la încovoiere prin șoc în domeniul temperaturilor scăzute, se utilizează epruvetele Charpy cu creștătură în formă de U (fig.3.13.a) respectiv în formă de V (fig.3.13.b).

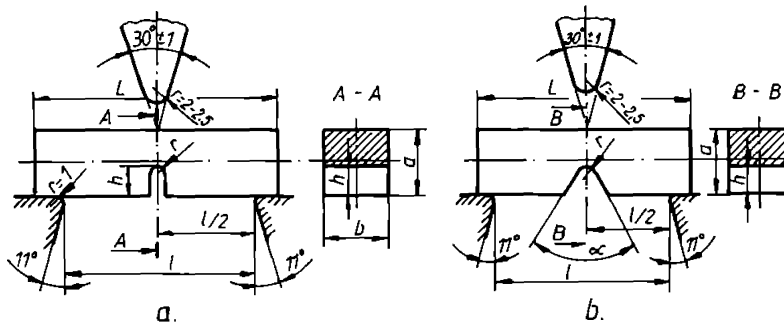


Fig.3.13.Epruvete utilizate pentru încercarea de încovoiere prin șoc la temperaturi scăzute: a-cu creștătură U; b-cu creștătură V

Dimensiunile acestor tipuri de epruvete [6], [66] sunt prezentate în tabelul 3.2.

Rezultatele încercărilor de încovoiere prin șoc se exprimă astfel:

- La încercarea pe epruvete Charpy U se definește reziliența ca fiind raportul dintre energia consumată pentru ruperea epruvetei (citită pe cadranul ciocanului-pendul) și aria secțiunii transversale în dreptul creștăturii. Reziliența, notată cu simbolul KCU, se exprimă în $[\text{J}/\text{cm}^2]$ sau $[\text{daJ}/\text{cm}^2]$ (STAS 1400-75 *Încercarea de încovoiere prin șoc pe epruvete cu creștătură în U*

Tabelul 3.2.

Dimensiunile epruvetelor pentru încercări la încovoiere prin șoc în domeniul temperaturilor scăzute

Denumirea epruvetei	Tipul	Dimensiunile epruvetei [mm]			Dimensiunile creștăturii [mm]			Distanța între reazeme l [mm]
		Lungimea L	Grosimea a	Lățimea b	Raza de racordare r	Adâncimea h	Unghiul α	
Epruvete normale de tip Charpy U	Mesnager	55	10	10	1	2	-	40
	ISO					5		
	VSM					2,5		
	DVM					3		
	ASTM					55,8		
Epruvete subțiri de tip Charpy U	Mesnager	55	5	10	1	2	-	40
						5		
	DVMF	55	8	10	4	4	-	40
Epruvete de tip Charpy V	-	55	10	10	0,25	2	45 ^d	40

și STAS 6833-79 *Încercarea de încovoiere prin șoc la temperaturi scăzute*);

- La încercarea pe epruvete Charpy V, rezultatele se exprimă prin energia consumată pentru rupere. Simbolul utilizat este KV, energia de rupere fiind exprimată în [J] sau [daJ] (*STAS 7511-81 Încercarea de încovoiere prin șoc pe epruvete cu creștătură în V* și *STAS 6833-79 Încercarea de încovoiere prin șoc la temperaturi scăzute*).

Observație. Cu toate că a intrat în vigoare normativul *SR EN 10045-1:1993 Încercarea de încovoiere prin șoc pe epruveta Charpy*, care înlocuiește *STAS 1400-75; STAS 7511-81* și *STAS 6833-79*, în unele standarde de produse se menține încă exprimarea rezultatelor încercărilor prin reziliență (KCU).

Pentru anumite mărci de oțeluri se efectuează încercări pentru ambele tipuri de epruvete Charpy (creștătură U respectiv V) deoarece acestea se completează reciproc, astfel: creștătura V evidențiază proprietatea metalului de a opri propagarea fisurii amorțate de vârful ascuțit, iar creștătura U evidențiază proprietatea metalului de a evita amorțarea unei fisuri [66].

Răcirea epruvetelor, în domeniul temperaturilor scăzute, se realizează în incinte frigorifice care, în principiu, constau dintr-un recipient izolat termic în care lotul de epruvete se așează pe un suport, astfel încât să se asigure contactul lor pe toate fețele cu agentul de răcire în care sunt imersate. Incintele frigorifice sunt fie livrate ca și anexe (vezi 3.2.1) ale utilajului de încercare, fie sunt realizate în laboratoarele uzinale de încercări mecanice.

În standardele de produse, pentru diverse mărci de oțeluri, temperatura scăzută nu depășește -120°C (153 K). Pentru oțelurile cu destinație specială, care nu se elaborează în mod curent, temperatura de încercare poate ajunge la -196°C (77K).

Experimentările în domeniul temperaturilor criogenice sunt mai greu de realizat deoarece spre deosebire de alte încercări mecanice, la care epruveta este imersată în agentul de răcire tot timpul încercării, la încovoierea prin șoc este necesară o manevrare a epruvetei de la incinta frigorifică la utilajul de încercare, timp în care temperatura acesteia se poate modifica substanțial.

Agenții de răcire utilizați, în laboratoarele uzinale, pentru răcirea epruvetelor sunt: alcoolul etilic cu zăpada carbonică ($0^{\circ}\text{C}\dots-75^{\circ}\text{C}$); eterul de petrol cu azotul lichid ($-75^{\circ}\text{C}\dots-100^{\circ}\text{C}$) respectiv alcoolul etilic absolut (sau eterul de petrol) cu azotul lichid ($-100^{\circ}\text{C}\dots-195^{\circ}\text{C}$).

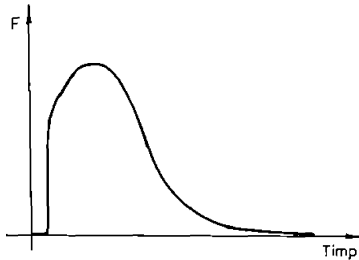


Fig. 3.14. Curba efort-timp la încercarea de încovoiere prin șoc

Utilajul folosit pentru încercarea la încovoiere prin șoc, la temperaturi scăzute, este ciocanul Charpy care prezintă o construcție simplă și robustă. Ciocanul Charpy trebuie să îndeplinească toate condițiile impuse de normativul *SR EN 10045-2:1994 Încercarea la încovoiere prin șoc pe epruvete Charpy, Partea 2: Verificarea mașinilor de încercare (ciocane-pendul)*.

Pentru un studiu aprofundat a fenomenelor

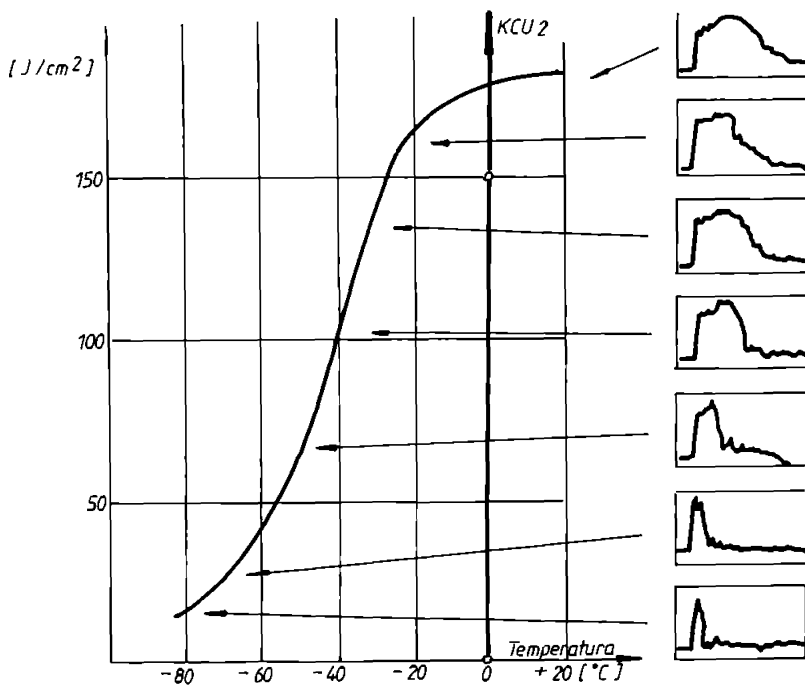


Fig. 3.15. Înregistrări ale curbelor efort-timp la diferite trepte de temperaturi scăzute

care apar la această încercare dinamică prin șoc, se utilizează ciocane-pendul dotate cu echipamente speciale care permit înregistrarea eforturilor în timpul încercării. Curbele obținute, în coordonate efort-timp, permit analizarea mai amănunțită a mecanismului ruperii epruvetei în timpul încercării la încovoiere prin șoc, la temperaturi scăzute.

Când rupura epruvetei are un caracter tenace, curba prezintă o creștere aferentă domeniului elastic, o sarcină crescătoare corespunzătoare domeniului plastic, o sarcină maximă și o zonă descrescătoare (fig.3.14). La temperaturi scăzute, când apare ruperea fragilă a epruvetei, curbele efort-timp au o zonă abruptă de descreștere a sarcinii.

În fig.3.15. sunt prezentate câteva exemple de înregistrări care corespund diferitelor puncte ale unei curbe de tranziție [26]. Măsurătorile care se efectuează pe astfel de curbe se pot clasifica în trei grupe: măsurători ale energiei, măsurători de sarcini respectiv măsurători de alți parametri.

Energia totală de rupere se poate evalua în funcție de aria cuprinsă sub curba de efort-timp.

Principalele sarcini care se pot aprecia de pe curbele înregistrate sunt: sarcina la limita de elasticitate, sarcina maximă și sarcina în momentul ruperii fragile. De asemenea, se pot efectua și măsurători de timp: timpul total până la ruperea finală; timpul până la apariția rupturii fragile respectiv timpul până la sarcina maximă.

Între acești parametri și energiile corespunzătoare există relații de echivalență.

3.6.3. Încercarea la tracțiune prin șoc la temperaturi scăzute

Acest tip de încercare a fost abordată de anumiți cercetători [26] pentru a evidenția modul de comportare a metalelor în condiții de temperaturi scăzute și de încărcare la tracțiune prin șoc.

Principiul încercării constă în ruperea prin șoc, dintr-o singură lovitură pe un ciocan-pendul, a unei epruvete având forma și dimensiunile stabilite convențional. Pe suportul ciocanului-pendul se montează un dispozitiv în care se fixează epruveta, iar pendulul ciocanului are o formă specifică care să permită în momentul încărcării prin șoc a dispozitivului să realizeze în epruvetă o stare de tensiune aferentă tracțiunii prin șoc.

Ciocanul-pendul este special echipat (fig.3.16), astfel încât să poată înregistra curba sarcină-timp din care să se poată aprecia starea de tensiune din epruvetă, în timpul încercării, precum și măsurarea energiilor inițială respectiv finală a pendulului.

Pentru încercarea la tracțiune prin șoc se utilizează următoarele elemente:

- epruveta este montată într-un dispozitiv care să permită amplasarea rapidă pe suportul ciocanului-pendul, de unde rezultă posibilitatea răcirii acesteia într-o încălțură frigorifică ca și în cazul epruvetelor pentru încercarea la încovoiere prin șoc;
- epruveta pentru încercare (fig. 3.17.a) , de formă specială, are două părți - una cilindrică

și cealaltă prevăzută cu o creștătură V (diametrul la fundul creștăturii este egal cu diametrul porțiunii cilindrice) sau epruvetă (fig.3.17.b) cu o porțiune de secțiune dreptunghiulară și una cu o creștătură V (lățimea secțiunii la fundul creștăturii egală cu lățimea epruvetei de pe prima porțiune).

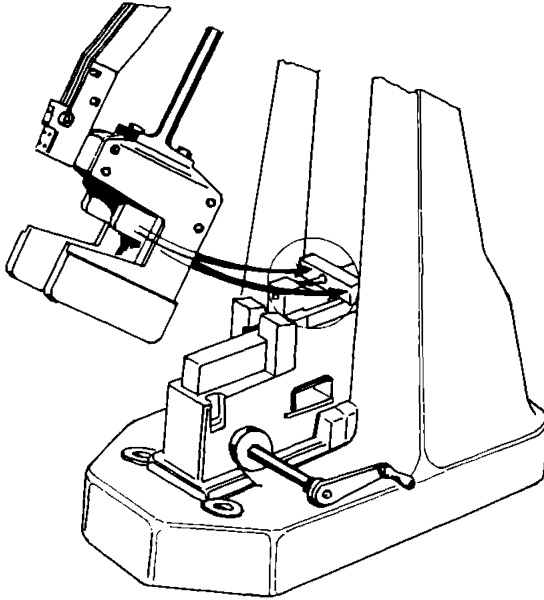
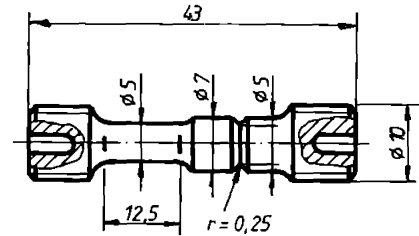
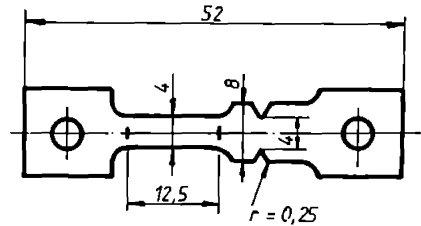


Fig.3.16. Ciocan-pendul echipat pentru încercarea la tracțiune prin șoc



a.



b.

Fig.3.17. Epruvete utilizate pentru încercarea la tracțiune prin șoc:
a-cu secțiunea circulară;
b-cu secțiunea dreptunghiulară

În domeniul de comportament tenace al materialului, porțiunea cilindrică (sau a celei cu secțiune dreptunghiulară) a epruvetei se alungește și apoi se rupe, iar în domeniul de comportament fragil al materialului (aferent temperaturilor scăzute) ruperea se produce în zona cu creștătură.

Temperatura de tranziție obținută experimental, pe acest tip de epruvete, depinde de caracteristicile geometrice ale acestora: diametrul (lățimea), adâncimea creștăturii și raza de la fundul creștăturii.

Rezultatele experimentale obținute la tracțiunea prin șoc, la temperaturi scăzute, împreună cu cele de la solicitarea la încovoiere prin șoc, dau o imagine mai clară asupra temperaturii de tranziție și a rupei fragile a materialelor.

3.7. Dispozitive pentru răcirea epruvetelor prin pulverizarea azotului lichid

Pentru răcirea epruvetelor în vederea încercărilor mecanice la temperaturi scăzute, fără ca acestea să fie imersate în agentul de răcire (sau în agentul frigorific), există dispozitive care pulverizează lichid și vapori de azot în zona de lucru [22], [56].

În fig.3.18 se prezintă schematic o instalație cu dispozitiv de pulverizare (1) în cameră de vid, care asigură răcirea epruvetei (2) prin pulverizarea azotului lichid. Trecerea agentului frigorific în camera de vid (3) și pulverizarea începe și se termină în momentele cuplării respectiv decuplării pompei de vid (9). Vasul Dewar (5) este legat de camera de vid prin intermediul unei țevi de cupru (4) și unui electroventil (10). Măsurarea temperaturii epruvetei se realizează cu ajutorul termocuplului (6) care este în contact cu partea activă a epruvetei. La atingerea temperaturii de regim, prin sistemul de reglare automată, se decuplează pompa de vid și deci intrarea agentului frigorific în camera de vid încetează. Cantitatea de azot lichid se reglează cu limitatorul (7) care obturează mai mult sau mai puțin țeava (4). Epruveta (2) este fixată în bacurile (8) mașinii de încercat.

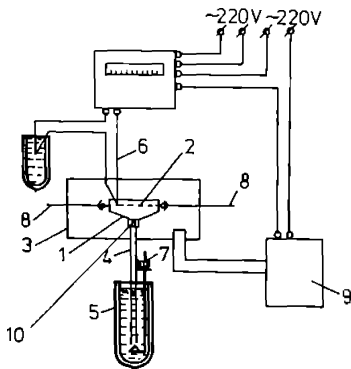


Fig.3.18. Instalație cu dispozitiv de pulverizare, în cameră de vid

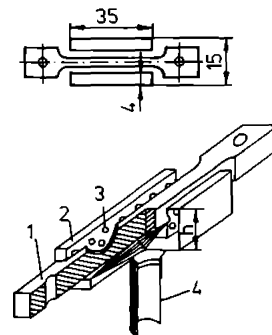


Fig.3.19. Forma epruvetei și soluția constructivă a pulverizatorului

Forma epruvetei și soluția constructivă a pulverizatorului azotului lichid se prezintă în fig.3.19. Prin țeava de cupru (4) agentul frigorific trece în pulverizatorul (2), din folie de cupru, care are orificiile (3) cu diametre de 1 mm și 1,5 mm și răcește epruveta. Dispozitivul de răcire prezentat se caracterizează printr-o formă constructivă simplă și un consum relativ scăzut de agent frigorific.

Pentru studiul influenței temperaturilor scăzute asupra tenacității la rupere a metalelor, după metoda K_{IC} (coeficient critic de intensitate a tensiunii în condițiile stării plane de deformății), se utilizează și sistemul de răcire prin pulverizare a azotului lichid [56]. În fig.3.20. se prezintă

schematic părțile componente ale instalației experimentale. Aerul comprimat furnizat de către un compresor, trece printr-un regulator de presiune (1), un robinet (7) și pătrunde în vasul Dewar (2) unde se află stocat azotul lichid. Se produce o barbotare a agentului frigorific și un schimb termic obținându-se vapori de azot, care împreună cu azotul lichid sunt dirijați în pulverizatorul (4), numit "dispozitiv-duș", prin intermediul unei țevi izolate termic. Vasul Dewar este prevăzut cu o supapă de presiune (5) și un manometru (6).

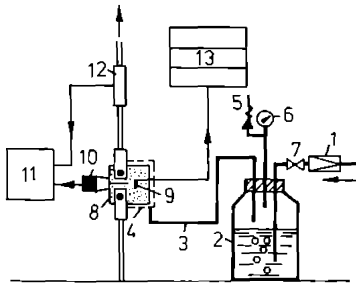


Fig.3.20. Instalație cu dispozitiv de pulverizare a azotului lichid

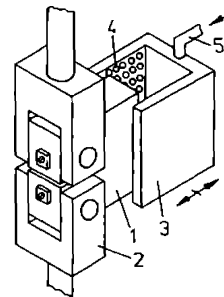


Fig.3.21. Dispozitiv de răcire cu pulverizator, al epruvetei pentru determinarea tenacității la rupere K_{IC}

Pentru reglarea și menținerea constantă a temperaturii epruvetei (8) se reglează debitul de aer cu ajutorul robinetului (7). Temperatura scăzută se măsoară cu termocuplul (9) legat la aparatul indicator (13).

Variația forței de încărcare se măsoară cu mezdoza (12) legată la înregistratorul în două coordonate (11) care va trasa diagrama sarcină-deformație. Traductorul pentru măsurarea deformației (10) este fixat pe epruvetă prin intermediul unor garnituri termoizolante și legat la înregistrator (11).

Soluția constructivă de realizarea a dispozitivului de răcire, cu pulverizator, al epruvetei este prezentată schematic în fig.3.21. Epruveta (1) fixată între capetele de prindere (2) este răcită de azotul lichid și vaporii de azot care trec printr-o țevă (5) în pulverizatorul (3) prevăzut cu orificiile (4) de diametre cuprinse între 1 mm și 1,5 mm.

Dispozitivul de răcire poate asigura uzual, răcirea epruvetelor între -50°C ... -100°C (223 K ... 173 K), dar cu consumuri ceva mai mari de azot lichid se pot atinge și temperaturi scăzute în intervalul -100°C ... -150°C (173 K ... 123 K).

CAPITOLUL 4

INCINTE FRIGORIFICE UTILIZATE PENTRU ÎNCERCĂRILE MECANICE ALE METALELOR LA TEMPERATURI SCĂZUTE

4.1. Noțiuni generale

Pentru răcirea epruvetelor, în vederea încercărilor mecanice de material, se folosesc niște dispozitive special construite care poartă denumirea de **incinte frigorifice**, dacă în spațiul de lucru se realizează temperaturi scăzute (până la 120 K), respectiv **criostate** dacă se lucrează la temperaturi criogenice (mai mici de 120 K). Termenul de **incintă frigorifică** se utilizează uzual dacă temperatura de lucru ajunge până la -196°C (77 K), ceea ce corespunde situației în care epruveta se răcește direct în azot lichid.

Forma constructivă a incintelor frigorifice respectiv a criostatelor este aleasă în funcție de tipul de încercare mecanică ce urmează a se executa, de forma și dimensiunile epruvetelor utilizate, de agentul de răcire folosit (agentul frigorific și mediul de răcire) și de natura izolației termice.

Incintele frigorifice respectiv criostatele se pot utiliza și pentru scopuri tehnologice (asamblări prin strângere-fretarea criogenică, tratamente termice-călirea la rece, prelucrări mecanice prin așchiere în condiții criogenice etc.), pentru determinarea unor caracteristici fizice de material (măsurarea conductivității, a căldurilor specifice etc.) precum și la determinarea unor proprietăți electrice, a susceptibilității magnetice, studierea fenomenului de superconductibilitate etc.

În principiu, o incintă frigorifică este compusă din următoarele părți componente:

- **vasul exterior;**
- **izolația termică a incintei;**
- **vasul interior (camera de lucru)** în care se realizează temperatura dorită și se execută operația pentru care a fost proiectată și realizată;
- **sistemul de alimentare** cu agentul frigorific, iar dacă este cazul și cu mediul de răcire, respectiv **cel de evacuare** a agentului de răcire sub formă lichidă sau gazoasă.

Pentru realizarea unui consum minim de agent frigorific este necesar ca izolația termică față de mediul exterior să fie cât mai eficientă. Spre deosebire de alte tipuri de izolații, cele utilizate la incintele frigorifice respectiv la criostate, prezintă unele particularități datorate diferențelor mari de temperatură dintre cea de interior și cea a mediului înconjurător.

În funcție de soluția constructivă a incintelor frigorifice, de destinația acestora și de agentul frigorific utilizat se pot folosi următoarele tipuri de izolații, prin vid înaintat; în straturi multiple; sub

formă de pulberi; sub formă de spumă și izolații speciale. La alegerea tipului de izolație trebuie să se țină cont și de proprietățile termice ale materialului izolației [66] și anume: coeficientul de conducție termică, capacitatea radiantă, porozitatea, conținutul de umiditate, inflamabilitatea precum și de prețul de cost.

La transferul termic prin izolația incintei frigorifice concură toate mecanismele posibile: conducția, convecția și radiația.

Modurile de realizare și caracteristicile izolațiilor termice sunt:

- **Izolația termică prin vid înaintat** (până la 10^{-5} bar) se realizează în spațiul dintre vasul exterior și cel interior al incintei (camera de lucru). Distanța dintre pereții vaselor incintei frigorifice este relativ mică (în jurul valorii de 1 cm) ceea ce conferă gabarite radiale mici;

- **Izolația termică prin straturi multiple** constă din straturi succesive de materiale sub formă de folie, care au coeficientul de radiație termică mare (folie de aluminiu) și straturi de material cu coeficient de conducție termică scăzut (fibre de sticlă, țesătură din fibre de sticlă etc) care îmbracă vasul interior al incintei. Pentru creșterea eficienței izolației, întregul sistem se supune operației de vidare. Izolația este relativ simplă de realizat și prezintă o eficiență bună;

- **Izolația termică sub formă de pulberi** se realizează din particule fine din materiale ca: perlită, cuarț, silicat de calciu etc. Aceste materiale se introduc între suprafețele ce trebuie izolate într-un mediu gazos, de obicei un gaz inert, la presiunea atmosferică. Se asigură o bună eficiență izolației, dar gabaritele incintelor sunt ceva mai mari;

- **Izolația termică sub formă de spumă** are o structură celulară produsă de gazul care se degajă în procesul de formare a spumei. Materialele utilizate sunt poliuretanul respectiv polistirenul. Izolația se poate realiza și din plăci de polistiren. Dezavantajele acestui tip de izolație constau din valoarea mai ridicată a coeficientului de conducție termică și din faptul că eficiența este mai mică la variații mari de temperatură.

- **Izolațiile speciale** se caracterizează prin forma constructivă de tip fagure (de exemplu fagurii din sticlă) a căror celule sunt umplute cu poliuretan. Avantajele constau dintr-o eficiență ridicată a izolației, utilizarea lor și la temperaturile criogenice, gabarite relativ mici etc.

Observație: La realizarea incintelor frigorifice pentru încercările de metale, izolațiile termice utilizate pot fi o combinație dintre cele prezentate mai sus. Astfel, se poate obține o izolație termică eficientă dintr-o izolație sub formă de pulberi cu una sub formă de spumă (sau cu plăci din polistiren).

4.2. Contribuții privind realizarea de incinte frigorifice

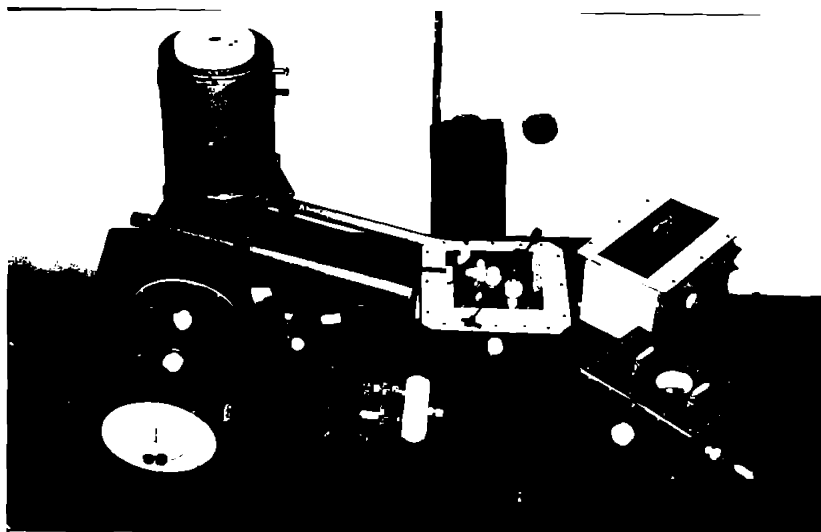
Domeniul de temperaturi scăzute utilizat pentru încercările mecanice în laboratoarele uzinale, este cuprins între $0^{\circ}\text{C} \dots -120^{\circ}\text{C}$ ($273\text{ K} \dots 153\text{ K}$).

Dintre încercările mecanice la temperaturi scăzute, prevăzute în standardele de produse, se efectuează uzual încercarea la încovoiere prin șoc iar, în anumite situații, și încercarea la tracțiune. La cererea beneficiarului, se execută și încercarea la răsucire respectiv încercarea de duritate la temperaturi scăzute (aceste încercări mecanice nu sunt reglementate prin normative naționale, dar pot fi cuprinse în Caietul de sarcini).

Incintele frigorifice folosite pentru răcirea epruvetelor, utilizate în laboratoare uzinale sunt, de obicei, realizate prin autototare, nefiind performante din punct de vedere al izolațiilor utilizate și deci nu asigură menținerea riguroasă a temperaturii scăzute în toleranțele impuse prin normative.

Având în vedere cele prezentate, autorul a proiectat și realizat un set de incinte frigorifice care pot fi utilizate pentru încercările la tracțiune (3 variante constructive), la încovoierea prin șoc (2 variante constructive), la răsucire (o variantă) și respectiv de duritate (o variantă). În aceste incinte se utilizează ca și agenți frigorifici dioxidul de carbon solid (zăpada carbonică) respectiv azotul lichid. Agenții de răcire sunt fie în stare lichidă fie în stare gazoasă (vapori de azot lichid).

Aceste incinte frigorifice sunt prezentate în poza 4.1.



Poza 4.1 Incinte frigorifice pentru încercări mecanice

4.2.1. Incinte frigorifice pentru încercarea la tracțiune

Încercarea la tracțiune în domeniul temperaturilor scăzute este reglementată prin normativul *STAS 6834-75 Încercarea la tracțiune la temperaturi scăzute* în care sunt prezentate numai condițiile pe care trebuie să le îndeplinească incinta frigorifică în vederea

efectuării încercării. Autorul a realizat trei variante constructive de incintă frigorifică și a experimentat modul de obținere, reglare și menținere între limitele impuse a temperaturii scăzute, funcție de agenții frigorifici, respectiv agenții de răcire utilizați.

4.2.1.1. Incintă frigorifică cu agent de răcire lichid

Pentru încercarea la tracțiune a epruvetelor imersate în agent de răcire, pe întreaga durată a experimentării, s-a realizat incinta frigorifică prezentată schematic în fig.4.1.

În funcție de temperatura scăzută necesară încercării, în incinta frigorifică se pot utiliza ca și agenți de răcire amestecul de dioxid de carbon solid cu alcoolul etilic (până la -70°C); azotul lichid cu eterul de petrol (-70°C ... -180°C) respectiv azotul lichid (pentru -196°C).

Unul dintre capetele filetate ale epruvetei se fixează într-o bușă (1), montată rigid (îmbinarea sudată) de vasul interior (4), executat dintr-o țevă de inox și printr-o îmbinare filetată de placa de fund (2) a incintei. Spațiul cuprins între vasul intermediar (5), din tablă de inox și vasul exterior (7) este umplut cu o izolație termică (6) formată dintr-un amestec de polistiren cu perlit-oxigen. O flanșă (8) de teflon, fixată cu șuruburi de partea superioară a vaselor (5 și 7), închide spațiul cu izolație. Capacul incintei frigorifice este executat din teflon și format din două semicapace (9 și 11), ceea ce permite închiderea camerei de lucru (spațiul cuprins în vasul interior), după ce celălalt capăt filetat al epruvetei se fixează într-o piesă intermediară care se montează în capul superior al mașinii de încercat. În semicapacul (9) este prevăzut un orificiu prin care se introduce o pâlnie pentru alimentarea cu agent frigorific respectiv cu mediul de răcire, iar apoi instrumentul pentru măsurarea temperaturii (termometru respectiv termorezistența.)

Un agitator (12), montat prin intermediul unei bușe filetate (10) la celălalt semicapac (11), asigură uniformizarea temperaturii agentului de răcire, efectuând o mișcare pe verticală. Printr-o țevă (14), de inox, se asigură evacuarea agentului de răcire din camera de lucru după terminarea încercării.

Incinta frigorifică are la partea inferioară patru suporturi (3) prevăzuți, la unul dintre capete, cu role (13). Ansamblul format din brațele cu role permite deplasarea incintei pe niște ghidaje, din zona de lucru a mașinii de încercat înspre exteriorul acesteia. Această deplasare este necesară în vederea montării epruvetei în incintă și umplerea camerei de lucru cu agentul de răcire.

Pentru a obține o izolație performantă, în spațiul dintre vasul interior (4) și cel intermediar (5) se introduce perlit-oxigen, când se lucrează cu agentul de răcire format din amestecul dioxid de carbon solid cu alcool etilic, respectiv dioxid de carbon solid când se utilizează agent de răcire obținut din azot lichid și eter de petrol.

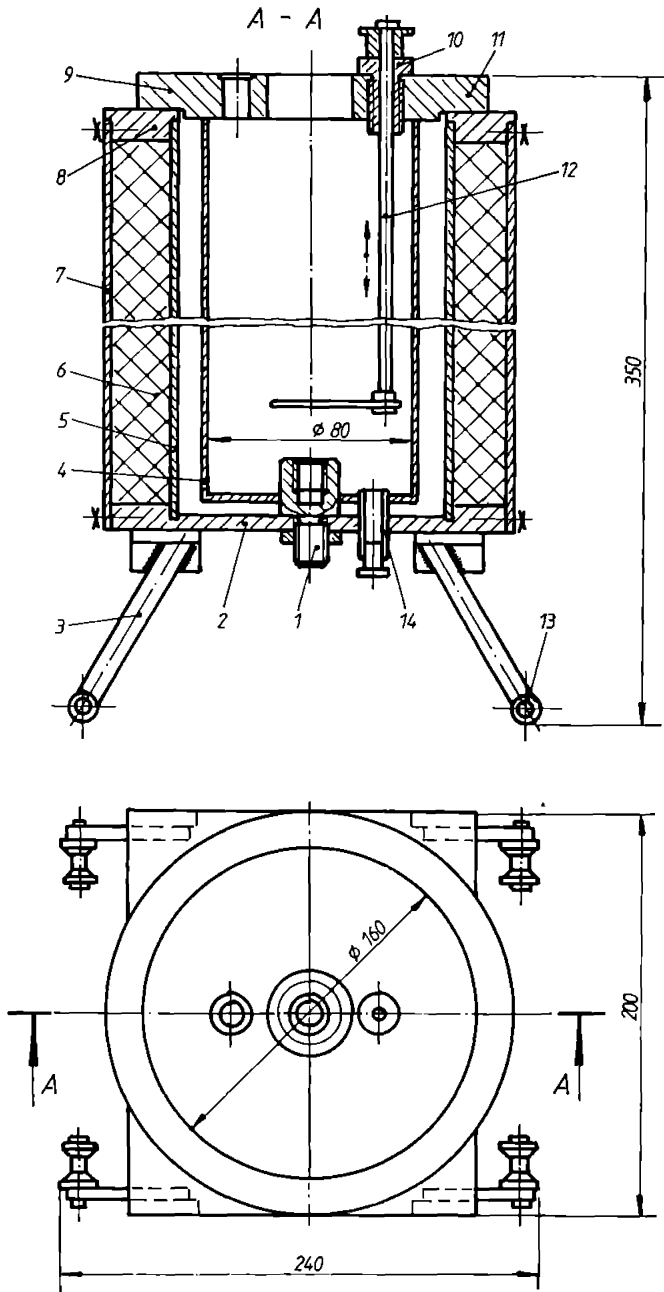


Fig.4.1. Incintă frigorifică cu agent de răcire lichid

4.2.1.2. Incintă frigorifică cu agent de răcire azotul lichid pulverizat

Pentru încercarea la tracțiune, a epruvetelor de dimensiuni mici (norme A.S.T.M.), s-a realizat incinta frigorifică prezentată schematic în fig.4.2. Agentul frigorific care joacă rol și de agent de răcire este azotul lichid și vaporii de azot, pulverizat în camera de lucru a incintei frigorifice.

Între vasul exterior (1) și vasul interior (3) al incintei frigorifice se introduce izolația termică (2), formată din polistiren (sub formă de granule) și perlit-oxigen. Spațiul cu izolația termică este închis la partea superioară, respectiv inferioară cu două flanșe (6) executate cu o deschidere laterală, care permite ca incinta să se poată roti în jurul uneia dintre coloanele mașinii de încercat (o construcție metalică reprezentată schematic prin semibalama 5).

După montarea epruvetei de capetele de fixare ale mașinii de încercat, prin intermediul a două piese de legătură, se aduce incinta frigorifică astfel încât să cuprindă epruveta central în camera de lucru.

Capacul lateral este realizat dintr-un ansamblu format dintr-o tablă profilată (11), o izolație (12) dintr-o placă de polistiren și o fâșie (13) de teflon, îmbinate între ele cu șuruburi și piulițe. Montarea capacului lateral la incinta frigorifică se realizează prin șuruburi.

Capacele de capăt (7) ale incintei sunt din tablă de inox prevăzute cu izolație din placă profilată (8) de polistiren și sunt fixate la incintă prin șuruburi.

Agentul frigorific (azotul lichid) stocat într-un vas Dewar, este presurizat (vezi fig. 5.3.a) și dirijat spre un încălzitor de unde iese, parțial lichid și parțial vaporii și apoi printr-o bucsă (4) este pulverizat și introdus în camera de lucru. Pentru măsurarea temperaturii din incintă și comanda reglajului acesteia la valoarea dorită, printr-un sistem automat, se utilizează o termorezistență PT100 introdusă în camera de lucru printr-o bucsă directoare (10).

4.2.1.3. Incintă frigorifică cu agent de răcire gazos (vapori de azot)

În vederea obținerii unor reglaje fine ale temperaturii scăzute, s-a realizat o incintă frigorifică care utilizează ca și agent frigorific (este în același timp și agent de răcire) vaporii de azot lichid. Obținerea vaporilor de azot se face utilizând varianta de încălzire a azotului lichid, stocat într-un vas Dewar, cu o rezistență electrică (vezi fig. 5.3.c), iar în fig.4.3. este reprezentată schematic această incintă frigorifică.

Elementul de noutate al modului de reglare a temperaturii constă în faptul că, circuitul final al vaporilor de azot (la o anumită temperatură) se realizează printr-o țevă profilată (3), sub formă de spirală, cu găuri de $\phi 2$ mm în interiorul incintei frigorifice și care joacă rolul de secundar al unui transformator (4), după șuntarea ei prin barele (6) de cupru.

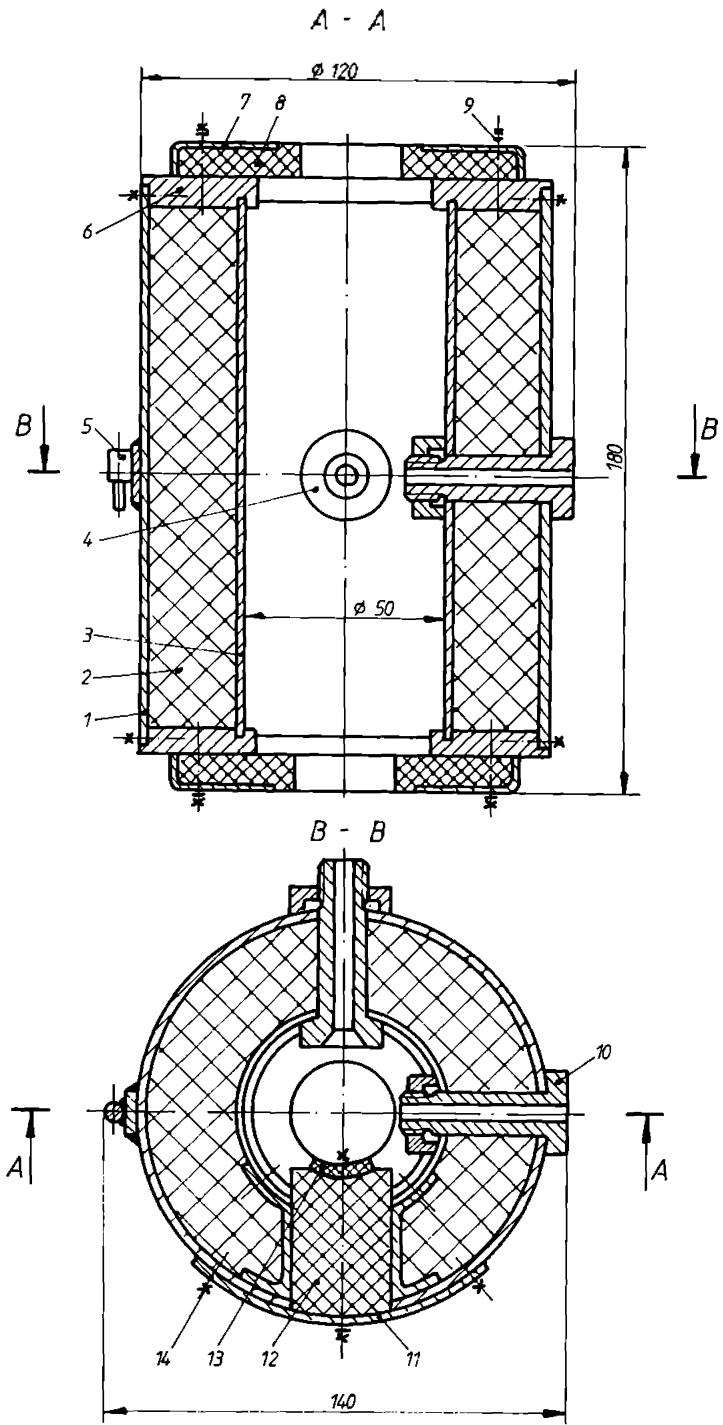


Fig.4.2. Incintă frigorifică cu agent de răcire azotul lichid pulverizat

Alegând un regim corespunzător de lucru pentru transformator, țeava profilată se încălzește mai mult sau mai puțin și deci temperatura vaporilor de azot este reglată fin în jurul valorii temperaturii scăzute necesare încercării. Reglajul grosier al temperaturii vaporilor se face în funcție de modul de alimentare a rezistenței de sarcină (din nichelină) imersată în vasul Dewar, unde se află stocat azotul lichid, de către un sistem automat de reglare (vezi 5.4.2).

Porțiunea sub formă de spirală a țevii profilate (3) este amplasată în spațiul dintre vasul interior (17) și vasul intermediar (16) al incintei. Vasul interior este realizat cu găuri ($\phi 2$ mm) pentru a se asigura o distribuție uniformă a vaporilor de azot în jurul epruvetei montate în camera de lucru. Izolația (15), din perlit-oxigen, umple spațiul cuprins între vasul exterior (14) și cel intermediar. La partea superioară respectiv inferioară a acestui spațiu se montează garniturile (10), din placă de teflon și flanșele (9) care asigură și poziționarea între ele a vaselor care compun incinta frigorifică.

Camera de lucru este limitată la partea superioară respectiv inferioară, de niște semicapace (8) care se pot roti în jurul unor articulații și permit montarea epruvetelor în incintă și apoi închiderea camerei de lucru în vederea răcirii epruvetei și executării încercării.

Țeava profilată trece prin niște elemente de ghidare, din teflon, care asigură fie o izolație termică fie una electrică față de celelalte elemente componente ale dispozitivului de răcire. În fig.4.3 aceste elemente sunt prezentate schematic prin bușele de ghidare (11 și 13) respectiv bușele (5 și 12) care asigură trecerea țevii profilate prin transformator (4).

Incinta frigorifică este fixată printr-un colier (2), împreună cu transformatorul, pe o placă de textolit care, cu un sistem articulat (o pereche de balamale), permite montarea întregului ansamblu pe una dintre coloanele mașinii de încercat și rotirea în jurul acesteia.

Traseul vaporilor de azot începe din vasul Dewar, de unde iese la o anumită temperatură și cu un anumit debit (reglat printr-un sistem automat, care comandă încălzirea rezistenței de sarcină) și continuă printr-o țeavă de transfer, din cupru, până într-un distribuitor (7), din teflon.

Distribuitorul asigură dirijarea vaporilor de azot spre cele două capete ale țevii profilate și apoi spre porțiunea spirală a acesteia. Agentul de răcire iese prin găurile din țeavă, umple spațiul dintre vasul interior (17) și cel intermediar (16) și, de aici, prin orificiile practicate în perețele vasului interior pătrunde în camera de lucru asigurând răcirea uniformă a epruvetei.

Temperatura din interiorul camerei de lucru este măsurată de către o termorezistență (1) tip PT100 care comandă și sistemul automat de reglare a temperaturii scăzute, prin stabilirea regimului de alimentare a rezistenței de sarcină (pentru reglajul grosier al temperaturii) respectiv parametrii de lucru ai transformatorului (pentru reglajul fin al temperaturii).

Această incintă frigorifică este performantă atât din punctul de vedere al izolației termice utilizate cât și din cel al modului de reglaj fin al temperaturii scăzute și deci încadrarea ei strictă în limitele impuse pentru o anumită temperatură de încercare.

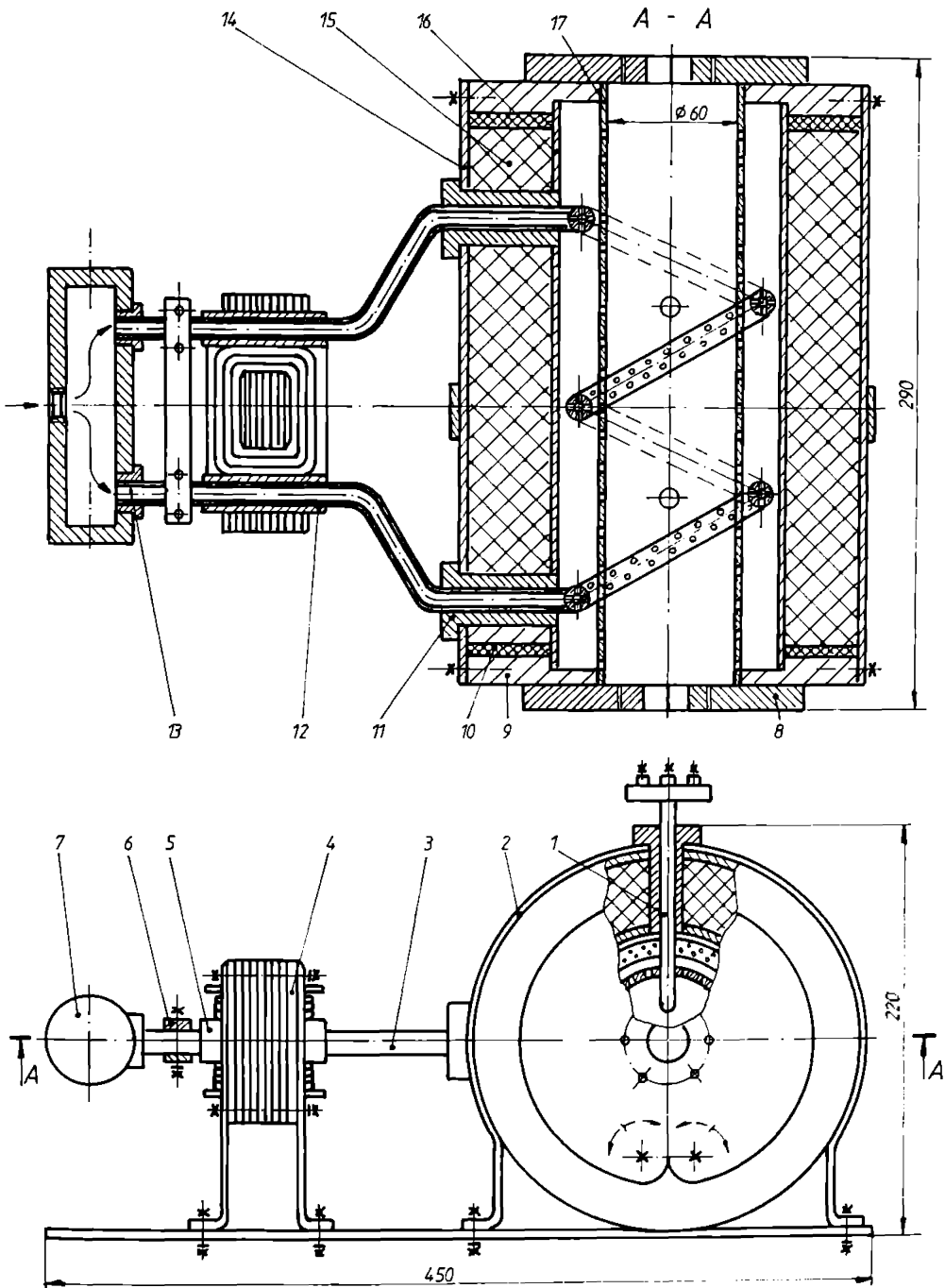


Fig.4.3. Incintă frigorifică cu agent de răcire gazos

Domeniul de temperaturi scăzute în care poate fi utilizată incinta frigorifică este foarte larg și anume între 0°C ...- 150°C (273K ... 123K) înlăturând toate dezavantajele prezentate de către incintele frigorifice care utilizează agent de răcire lichid.

4.2.2. Incinte frigorifice pentru încercarea la încovoiere prin șoc

Încercarea la încovoiere prin șoc este reglementată prin *SR EN 10045-1:1993 Încercarea la încovoiere prin șoc pe epruveta Charpy*, în care sunt specificate și recomandări, cu caracter general, privind condițiile de încercare la temperaturi scăzute. Cu toate că acest normativ european înlocuiește *STAS 6833-79 Încercarea la încovoiere prin șoc la temperaturi scăzute*, în standardele de produse se lucrează încă după reglementările standardului național.

Încercarea la temperaturi scăzute prezintă particularitatea că epruveta se răcește într-o incintă care se află în afara zonei de lucru a ciocanului-pendul. Modul de manevrare al epruvetei și timpul destinat acestei operații trebuie să asigure ca epruveta să aibă temperatura scăzută necesară în momentul în care se produce încercarea. În general, este necesară o subrăcire a epruvetei (epruvetelor) în incinta frigorifică și un timp de manevrare limitat la cel mult 5 secunde.

Ținând cont de aceste considerente, autorul a realizat două variante constructive de incinte frigorifice pentru răcirea epruvetelor necesare încercării la încovoiere prin șoc.

4.2.2.1. Incintă frigorifică cu agent de răcire lichid

Prima variantă constructivă a unei incinte frigorifice pentru răcirea epruvetelor destinate încercării la încovoiere prin șoc, a fost realizată astfel încât să poată utiliza agent de răcire lichid. La această incintă a fost utilizată ca și izolație termică vata minerală, iar pentru izolarea capacului s-a folosit placă de azot. Deoarece aceste elemente de izolație nu sunt performante, a fost necesar să se asigure o grosime relativ mare a stratului de izolație, ceea ce a dus la gabarit radial mare al incintei.

Agenții frigorifici utilizați sunt dioxidul de carbon solid respectiv azotul lichid. Mediile de răcire aferente acestor agenți frigorifici pot fi: acetona, alcoolul etilic, eterul de petrol respectiv propanul sau propilena, în funcție de temperatura scăzută necesară încercării.

Această incintă frigorifică, având formă cilindrică, este prezentată schematic în fig.4.4.

Între vasul interior (1), executat din tablă de inox, numit și creuzet, respectiv vasul exterior (2) este prevăzută o izolație termică (5) realizată din vată minerală. La partea superioară vasele incintei sunt rigidizate între ele printr-o flanșă (3) de textolit prevăzută cu o garnitură (9) din placă de azbest. Între vase, la partea inferioară, se află un grătar (6) realizat din fâșii din lemn de stejar, care asigură sprijinirea vasului interior de cel exterior.

Pentru uniformizarea temperaturii agentului de răcire incinta este prevăzută cu un agitator

(4) montat la capacul incintei prin bucșa directoare (13) și acționat printr-o piesă (14) de textolit.

Pe fundul vasului interior este amplasat un grătar (7), executat din sârmă de inox, pe care se așează epruvetele care trebuie răcite.

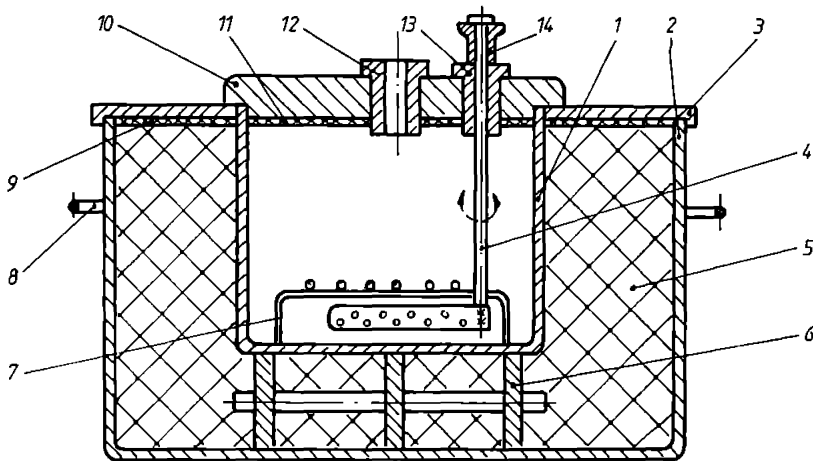


Fig.4.4. Incintă frigorifică cu agent de răcire lichid

Incinta frigorifică are un capac (10), de textolit, căplușit cu o garnitură (11) din placă de azbest și care închide la parte superioară camera de lucru, cuprinsă în vasul interior. Capacul este prevăzut cu o bucșă de ghidare (12) prin intermediul căreia se introduce termometrul sau termorezistența care asigură măsurarea temperaturii agentului de răcire.

Pentru o manevrare ușoară incinta frigorifică are două mânere (8) rigidizate de vasul exterior al acesteia.

4.2.2.2. Incintă frigorifică cu agent de răcire lichid sau gazos

Pentru a se putea utiliza diferiți agenți frigorifici și pentru a acoperi întreg domeniul de temperaturi scăzute, autorul a realizat o incintă frigorifică, reprezentată schematic în fig. 4.5.

Între vasul exterior (1) și vasul interior (2) din tablă de oțel inox, se introduce izolația termică formată din două straturi, unul din placă de polistiren (5) și unul din perlit-oxigen (6). Acest mod de realizare al izolației îi conferă acesteia o eficiență foarte bună. Incinta este prevăzută cu patru suporturi (7), de textolit, montați la vasul exterior printr-o îmbinare (9) filetată. Sprijinirea vasului interior, la partea inferioară, pe cel exterior se realizează prin intermediul unui grătar (8), din lemn de stejar. La partea superioară a incintei, cele două vase sunt rigidizate între ele prin fâșii (12) din placa de teflon, montate prin șuruburi și piulițe (11).

Capacul detașabil (13) al incintei este realizat din tablă de oțel inox, cu o izolație din placă de polistiren.

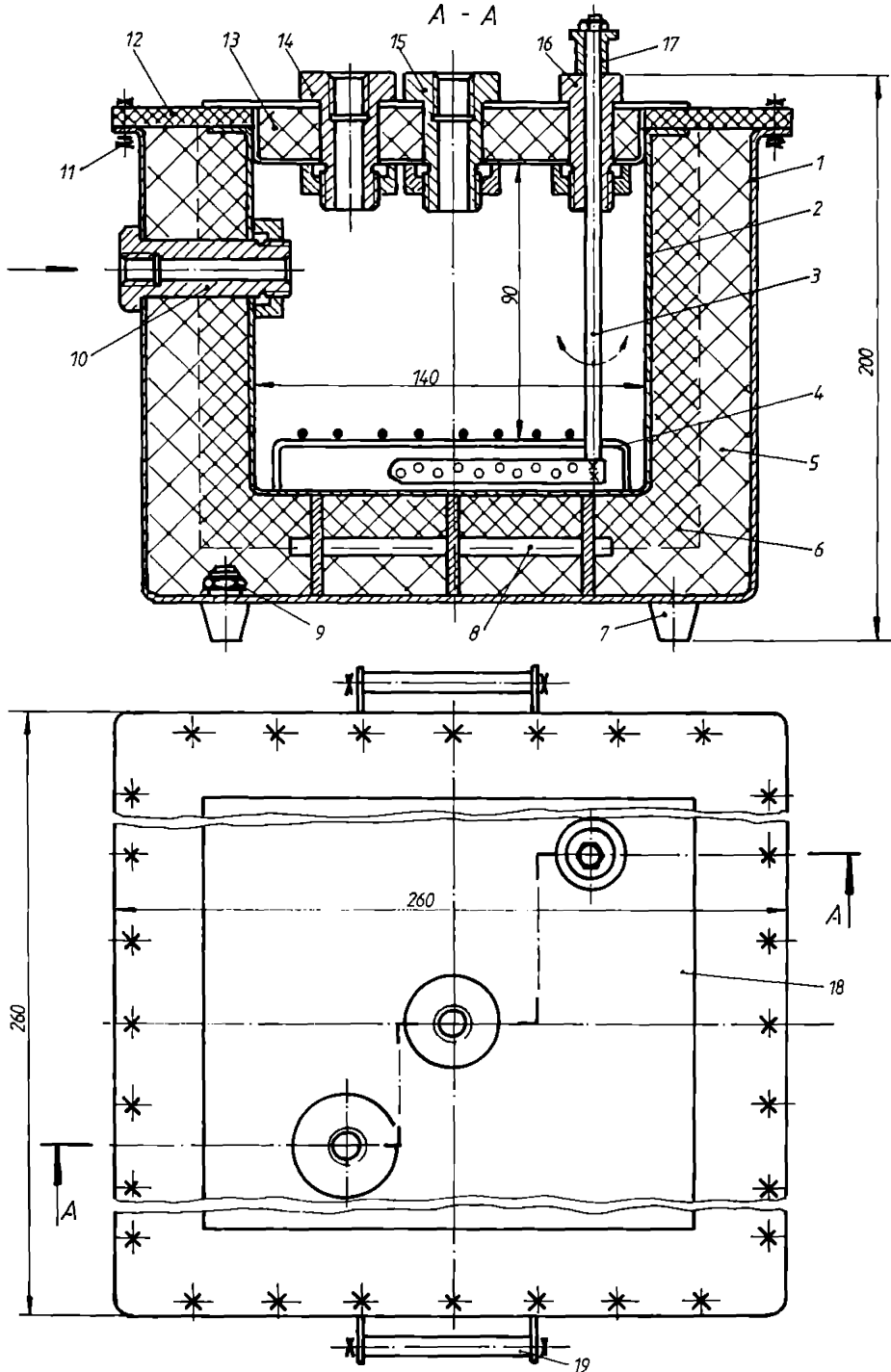


Fig.4.5. Incintă frigorifică cu agent de răcire lichid sau gazos

Incinta frigorifică mai cuprinde un grătar (4) din sârmă de inox, pe care se așează epruvele; un agitator (3) montat la capac prin intermediul unei buçe (16) și acționat printr-o piesă (17); buçe (14 și 15), fixate în capac și bușa de distribuție (10) amplasată în peretele lateral. Toate buçe și piulițele lor sunt realizate din teflon, iar tija agitatorului și paleta cu orificii sunt din cupru. Pentru o manevră ușoară, incinta frigorifică este prevăzută cu două mânere laterale (19), de teflon.

Modul de lucru cu incinta frigorifică este funcție de felul agentului de răcire utilizat.

1. Agentul de răcire lichid obținut din agentul frigorific-dioxidul de carbon solid și mediul de răcire-alcoolul etilic, respectiv din agentul frigorific-azotul lichid și mediul de răcire eterul de petrol. În aceste condiții de lucru se parcurg următoarele etape:

- se astupă orificiul buçe (10) cu un dop filetat (nereprezentat în figură);
- lotul de epruve se așează pe grătar (4), astfel încât să se asigure contactul lor pe toate fețele, cu agentul de răcire;
- se introduce în camera de lucru a incintei o cantitate de agent frigorific;
- se adaugă o cantitate corespunzătoare de mediu de răcire;
- se fixează capacul incintei;
- prin bușa (14) de ghidare, se amplasează o pâlnie prin care se introduc în camera de lucru, cantitățile necesare de agent frigorific (cazul azotului lichid) respectiv de mediu de răcire;
- termometrul respectiv termorezistența, utilizate pentru măsurarea temperaturii agentului de răcire, sunt montate la incintă prin intermediul buçe (15) directoare;
- pentru uniformizarea temperaturii din camera de lucru se acționează agitatorul (3) care execută o mișcare de oscilație.

Nivelul agentului de răcire lichid trebuie să fie la aproximativ 25 mm față de epruve.

Cleștele utilizat pentru manevrarea epruvetelor trebuie ținut, cu parte lui activă, în agentul de răcire tot timpul în care se răcesc acestea.

2. Agentul de răcire gazos (vapori de azot) obținut din azotul lichid, stocat într-un vas Dewar, printr-un sistem de încălzire cu rezistență de sârmă, se utilizează în incinta frigorifică pentru obținerea în limite precise a temperaturii scăzute dorite. Modul de lucru cu incinta frigorifică, presupune parcurgerea următoarelor etape:

- epruvele se așează pe grătar (4), cu distanță între ele;
- se fixează capacul incintei;
- la partea filetată a buçe (14) se assemblează o supapă de siguranță;
- termorezistența PT100 utilizată pentru măsurarea temperaturii și pentru comanda sistemului de reglare, este montată la incintă prin intermediul buçe (15) directoare;
- țeava prin care vor circula vaporii de azot (nereprezentată în figură) se assemblează la

incintă prin partea filetată a bușei de alimentare (10);

Această incintă frigorifică este performantă atât prin izolația termică utilizată, relativ simplă dar eficientă, cât și prin faptul că poate utiliza agenți de răcire lichizi respectiv gazeși.

4.2.3. Incintă frigorifică pentru încercarea la răsucire

Încercarea la răsucire a metalelor, din punct de vedere al determinării caracteristicilor mecanice, nu este reglementată prin normative naționale sau europene. Se execută numai încercarea tehnologică pentru determinarea capacității de deformare plastică a sârmelor metalice, reglementată prin **SR ISO 9649:1996 Încercarea la răsucire alternantă**, iar pentru standardele de produse prin **STAS 1750-90 Încercarea la răsucire a sârmelor**.

Pentru încercarea la răsucire în domeniul temperaturilor scăzute, atât pe epruvete cât și pe sârme, s-a realizat o incintă frigorifică care utilizează vaporii de azot ca și agent de răcire. Ea se montează fie la **Standul pentru încercarea la răsucire a sârmelor**, proiectat și realizat de către autor (vezi 7.4.2.2) fie la **Mașina de încercare la răsucire tip MODELL TAD III**, pentru a se efectua experimentările la temperaturile scăzute. În fig.4.6. este reprezentată schematic această incintă frigorifică.

Forma constructivă este paralelipipedică, cu două capace laterale și un capac superior, ceea ce permite montarea ușoară a epruvetelor între capetele de fixare ale mașinii de încercat. Între cuva exterioară (1) și cuva interioară (3) este introdusă izolația termică în două straturi, unul din placă de polistiren (4) și unul din perlit-oxigen (5). Între părțile inferioare ale cuvelor se utilizează izolație dintr-o placă mai groasă de polistiren. La partea superioară, cele două cuve sunt rigidizate între ele prin fâșiile (14) din placă de teflon.

Capacele laterale (8) sunt din tablă de inox având ca și izolație o placă profilată (9) de polistiren. Legătura dintre capace se realizează printr-un sistem elastic, format dintr-o platbandă (10), două arcuri elicoidale (11) și platbenzile de capăt (12) prevăzute cu găuri prin intermediul cărora se montează articulatul de bolțurile (13), sudate de capace.

Capacul superior (16) detașabil, executat din tablă de inox, cu izolație din placă de polistiren, este prevăzut cu un mâner (15) de teflon, pentru o manevrare mai ușoară.

Incinta frigorifică prezentată utilizează ca și agent de răcire vaporii de azot. Țeava prin care vor circula vaporii de azot (nereprezentată în figură) se assemblează la un distribuitor (6), montat în peretele lateral al incintei, prevăzut cu niște țevi (7), de cupru, care au orificii (ϕ 2 mm) prin care agentul de răcire gazos se distribuie uniform în camera de lucru.

Termorezistența PT100 care măsoară temperatura din incintă și comandă sistemul de reglaj al acesteia este montată la incintă printr-o bușă directoare (2) amplasată în celălalt perete lateral. Distribuitorul (6), bușă directoare (2) precum și piulițele care asigură fixarea sunt realizate din teflon.

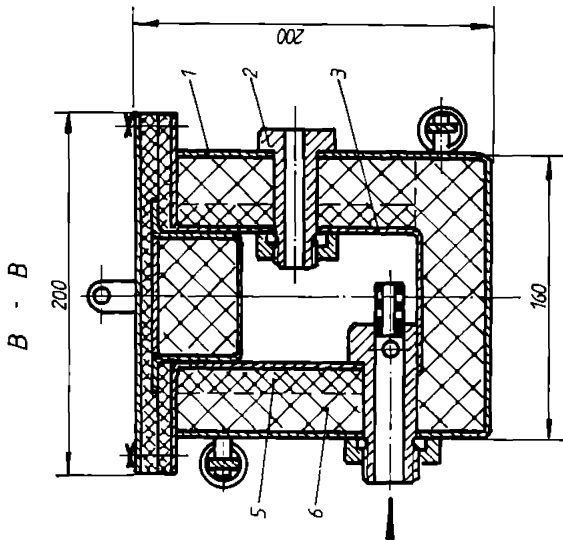
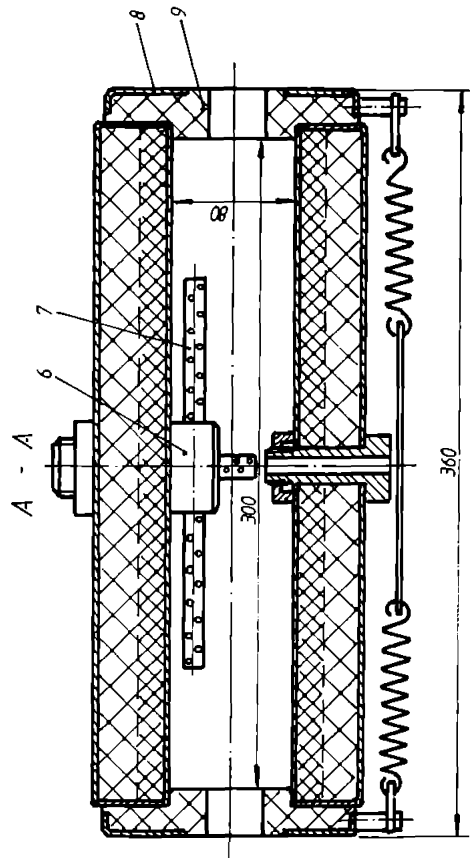
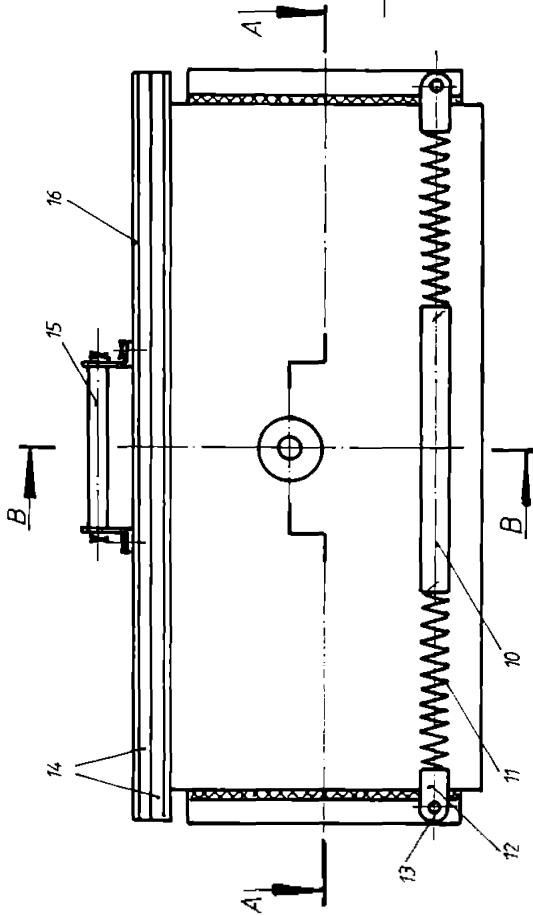


Fig.4.6. Incintă frigorifică pentru încercarea la răscire



Amplasarea incintei la **Standul de încercare la răsucirea sârmelor** se face prin intermediul unui suport reglabil, așezat pe batiu, astfel încât epruveta (bucata de sârmă) să ocupe o poziție centrală în interiorul camerei de lucru.

În cazul încercării pe **Mașina tip MODELL TAD III**, incinta se amplasează între dispozitivele de fixare ale acesteia, pe un suport montat la coloanele de ghidare.

4.2.4. Incintă frigorifică pentru încercarea de duritate

Încercarea de duritate la temperaturi scăzute nu este reglementată prin normative. Ea a fost abordată de către diverși cercetători [8] ; [75] pentru a se studia comportamentul metalelor care în condiții de exploatare la temperaturi scăzute, preiau solicitări de contact mari. S-au căutat, de asemenea, relații de legătură între valorile durității la temperaturi scăzute și ale rezilienței la aceleași temperaturi.

Pentru a se putea efectua încercarea de duritate Brinell autorul a realizat o incintă frigorifică care s-a adaptat la un durometru **PH - C-02/02**. Schema de principiu a incintei frigorifice este prezentată în fig.4.7.

Agentul de răcire utilizat îl reprezintă vaporii de azot care asigură obținerea temperaturii scăzute dorite, pe întreg domeniul $0^{\circ}\text{C} \dots -120^{\circ}\text{C}$ ($273\text{K} \dots 153\text{K}$), cu încadrarea strictă în limitele de toleranță impusă temperaturii. Prin acest mod de lucru, se înlătură dificultățile de realizare a temperaturilor scăzute obținute prin utilizarea unui agent de răcire lichid, care ar impune imersarea epruvetei și a penetratorului în lichid pe toată durata încercării. Incinta frigorifică este sub formă paralelipipedică și este alcătuită dintr-o cuvă exterioară (1), de aluminiu, o cuvă interioară (2) din tablă de inox, o placă de bază (10) din placă de textolit și două semicapace (14 și 19).

Între cuvele incintei s-a realizat o izolație termică din două straturi, unul din placă de polistiren (3) și celălalt din perlit-oxigen (4). La partea superioară, cuvele sunt rigidizate între ele prin fâșii (13) din placă de textolit, cu ajutorul unor șuruburi, realizându-se astfel și închiderea spațiului cu izolația termică. La partea inferioară cuvele sunt fixate de placa de bază tot prin șuruburi.

Semicapacele (14 și 19) sunt realizate din tablă de inox, căptușite cu plăcile profilate (16 și 17) de polistiren, iar fixarea acestora se face cu șuruburi și piulițe prin intermediul unor fâșii (24) din placă de teflon. Cu mânerele (15 și 18), de teflon, se asigură o manevrare ușoară a acestora.

Epruveta utilizată (vezi fig.6.7) are o formă paralelipipedică și dimensiuni astfel stabilite, încât se pot executa trei amprente. Ea este ghidată în vederea deplasării secvențiale, față de poziția penetratorului, de două ghidaje (5), de teflon, fixate pe placa de bază.

Incinta frigorifică este prevăzută cu bucușe și piulițe de teflon, care au un anumit rol funcțional și sunt montate în pereții laterali.

Prin bucușa de distribuție (6), fixată cu piulița (7) în perețele lateral stânga al incintei, sunt introduși vaporii de azot în camera de lucru.

Bucușa (9), fixată cu piulița (8) în perețele din spate al incintei este utilizată pentru introducerea firelor care sunt legate la termorezistența TRFA 101, de dimențiuni mici, amplasată într-un orificiu practicat în epruvetă. Cu această termorezistență se măsoară temperatura epruvetei în vederea stabilirii momentului de început al încercării de duritate.

Pentru introducerea în camera de lucru a termorezistenței PT100, se utilizează bucușa directoare (22) montată în perețele lateral dreapta și fixată cu o piuliță (23) la aceasta. Termorezistența are menirea de a măsura temperatura mediului gazos din camera de lucru și de a comanda sistemul de reglare a temperaturii scăzute.

În vederea efectuării a trei încercări pe aceeași epruvetă este necesară deplasarea secvențială a acesteia față de poziția penetratorului. Pentru aceasta, epruveta este fixată, la capătul din față, de o tijă de cupru, (nereprezentată în figură) care este trecută printr-o bucușă (20) și are la capăt o piesă din teflon prin intermediul căreia este acționată. Bucușa este fixată în perețele din față al incintei prin intermediul unei piulițe (21).

Încercarea de duritate la temperaturi scăzute, se realizează cu incinta frigorifică, parcurgându-se următoarele etape:

- incinta frigorifică se așează pe masa de lucru a durometrului Brinell,
- se introduce epruveta, în care este montată termorezistența în camera de lucru între ghidaje și se assemblează cu tija care asigură deplasarea ei,
- penetratorul aparatului, montat la capătul unui prelungitor, se aduce în contact cu suprafața epruvetei,
- semicapacele incintei se așează în jurul bucușei, care asigură protecția termică a prelungitorului penetratorului și fixarea epruvetei pentru efectuarea încercării,
- prin bucușa distribuitoare se introduce în camera de lucru agentul de răcire, la temperatura și cu un debit comandat prin intermediul sistemului automat de reglare
- după obținerea în epruvetă a temperaturii scăzute dorite se efectuează încercarea de duritate care se repetă de încă două ori fără a fi necesară scoaterea epruvetei din incinta frigorifică
- la finalizarea experimentului, epruveta se scoate din camera de lucru și cu ajutorul unui microscop pentru scule se măsoară câte doi diametri perpendiculari ai amprentei amprentă. Funcție de diametrul mediu al amprentei se stabilește duritatea materialului epruvetei.

Pentru a se putea realiza încercarea pe un aparat de duritate fermil VHX-1000 produs de "Takara" Săru s-au făcut următoarele modificări:

- în schema electrică a fost anulatã comanda sistemului de rabatere a capului de încãrcare, astfel încãt suportul penetratorului rãmãne tot timpul în poziție verticalã. Acest lucru permite efectuarea celor trei încercãri pe epruvetã fãrã a fi necesarã ridicarea celor douã semicapace dupã fiecare încercare, dar nu se mai poate face citirea diametrelor amprentei pe sistemul optic al aparatului;

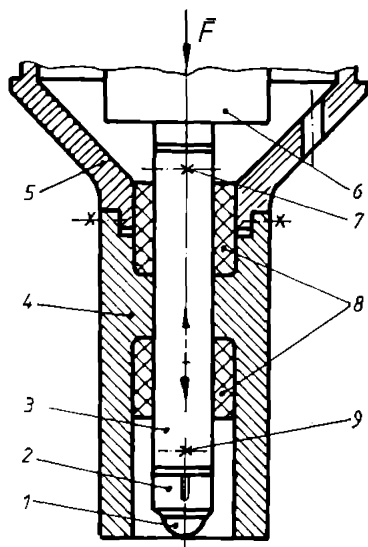


Fig. 4.8. Ansamblul sistemului de încãrcare

Izolația din polistiren, sub forma unor inele (8), asigurã pe lângã o protecție termicã suplimentarã și etanșarea zonei dintre camera de lucru și capul de încãrcare

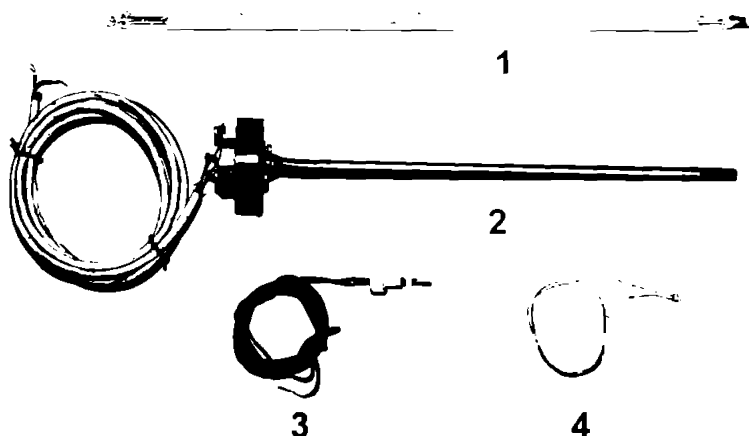
Poziția ansamblului format din bușã (4) și piesã profilatã se poate regla, pe verticalã, astfel încãt fața inferioarã a bușei sã fie la nivelul tangentei la penetrator.

- suportul penetratorului este fixat la capul de încãrcare al aparatului, prin intermediul unei tije prelungitoare. Schema sistemului de încãrcare și de protecție termicã în noua variantã este prezentatã în fig.4.8. Bila de oțel (1), care reprezintã penetratorul, este montatã într-un suport (2) care este fixat la prelungitor (3) printr-un șurub (9). Întreg ansamblul se monteazã la capul de încãrcare (6) al aparatului cu un șurub (7). Fixarea epruvetei, ghidarea tije prelungitoare și protecția termicã a acesteia se face printr-o bușã (4), executatã din teflon, și montatã la piesa profilatã (5), din teflon care se assembleazã la batiul durometrului, asigurând și rolul de protecție a capului de încãrcare.

CAPITOLUL 5

CERCETĂRI PRIVIND REGLAREA ȘI MENȚINEREA
TEMPERATURILOR SCĂZUTE5.1. Instrumente utilizate la experimentările efectuate pentru
măsurarea temperaturilor scăzute

Temperaturile scăzute din camera de lucru a incintelor frigorifice respectiv ale epruvetelor, pentru experimentările efectuate în cadrul prezentei lucrări, au fost măsurate cu ajutorul următoarelor instrumente (poza 5.1): termometrul de laborator (1); termorezistența PT100 (2); termorezistența de platină tip TRFA 101 - de dimensiuni mici (3) și termorezistența de siliciu tip KTY 87-205-PSH (4)



Poza 5.1. Instrumente utilizate la măsurarea temperaturilor scăzute:
1-termometru de laborator; 2-termorezistență PT100; 3-termorezistență TRFA 101;
4-termorezistență de siliciu tip KTY 87-205-PSH.

Termometrul de laborator, care poate măsura temperaturi de până la -200°C (73K), este utilizat pentru determinarea temperaturii agentului de răcire lichid respectiv gazos (vapori de azot) din camerele de lucru ale incintelor destinate răcirii epruvetelor pentru încercarea la încovoiere prin șoc (vezi Cap.4, fig.4.4 și 4 5).

Termorezistența de platină tip PT100 este folosită pentru măsurarea temperaturilor

scăzute din incintele frigorifice și joacă rolul de traductor de temperatură pentru dispozitivele automate de reglare a temperaturii. Această termorezistență a fost utilizată pentru toate incintele realizate în vederea executării încercărilor mecanice.

Termorezistența de platină de dimensiuni mici tip TRFA 101 este destinată măsurătorilor temperaturilor scăzute, din camerele de lucru ale incintelor frigorifice și pentru determinarea experimentală a transferului termic prin epruvete special pregătite și prevăzute cu orificii (vezi fig.5.24). În fiecare orificiu (gaură longitudinală) se introduce câte o termorezistență prin intermediul unei bucșe de teflon, fiind apoi conectată la sistemul de măsurare a temperaturii.

Termorezistența de siliciu tip KTY 87-205-PSH are dimensiuni mici și poate fi utilizată în locul termometrului de laborator, la incintele pentru răcirea epruvetelor necesare încercării la încovoiere prin șoc.

Formele și dimensiunile acestor tipuri de termorezistențe sunt reprezentate schematic în fig.5.1. Termorezistența PT100 este de producție indigenă (are dimensiuni de gabarit relativ mari), iar termorezistența TRFA 101 este produsă de firma CONRAD ELECTRONIC.

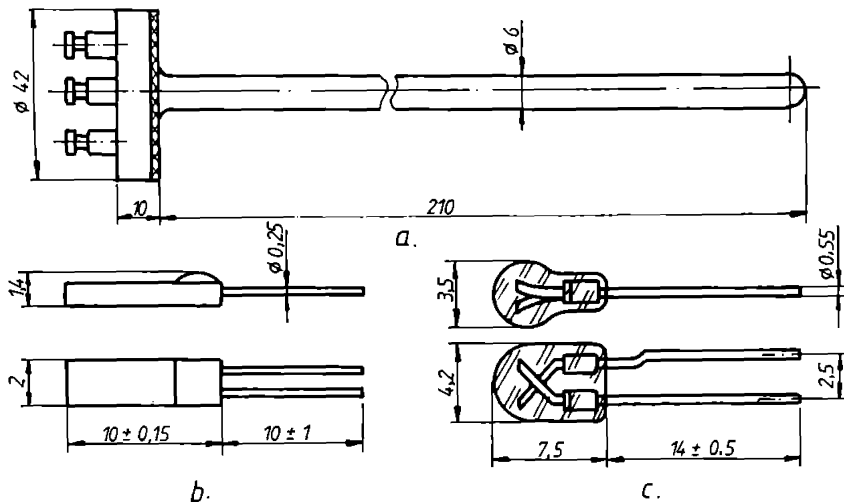


Fig.5.1. Forma și dimensiunile termorezistențelor utilizate:
a - termorezistența PT100; b-termorezistență TRFA 101;
c-termorezistență KTY 87-205-PSH.

Măsurarea temperaturii cu termorezistență de platină se bazează pe determinarea rezistenței electrice, care își modifică valoarea în funcție de temperatură, într-un mod univoc și reproductibil. Acest tip de termorezistență prezintă următoarele avantaje. stabilitate bună, o sensibilitate acceptabilă respectiv o liniaritate foarte bună.

Legea de variație a rezistenței cu temperatura [29]; [36], pentru termorezistențele de

platină, aferentă intervalului $-200^{\circ}\text{C} \dots 0^{\circ}\text{C}$ (73K...273K), este dată de relația:

$$R_t = R_0 [1 + \alpha t + \beta t^2 + \gamma (t-100)t^3] \quad ; \quad [\Omega] \quad (5.1)$$

în care α , β și γ sunt constante stabilite experimental, la etalonarea termorezistenței, iar t este temperatura în grade Celsius.

Pentru termorezistența TRFA 101 constantele sunt puse în evidență [100] din relația .

$$R_t = R_0 [1 + 3,90802 \cdot 10^{-3} t - 0,580195 \cdot 10^{-6} t^2 - 4,27350 \cdot 10^{-12} (t-100)t^3] \quad ; \quad [\Omega] \quad (5.2)$$

unde, R_0 este rezistența sensorului de platină la 0°C .

Reprezentarea grafică a variației rezistenței sensorului de platină, în funcție de temperatură este prezentată în fig 5.2.

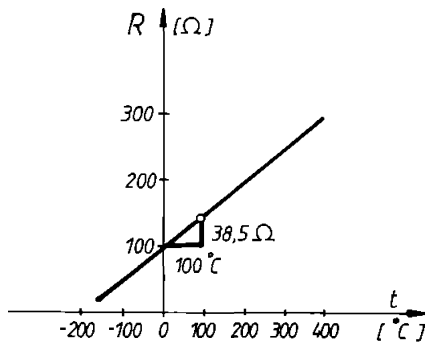


Fig.5.2. Variația rezistenței traductorului de platină în funcție de temperatură

trebuie să fie de mare puritate; acesta se determină din raportul $R_{100}/R_0 = 1,387 \dots 1,390$. În tabelul 5.1. se prezintă valorile rezistenței traductorului de platină, în funcție de temperatură, pe domeniul $+20^{\circ}\text{C} \dots -200^{\circ}\text{C}$ (293K...73K).

Coefficientul de variație a rezistenței funcție de temperatură, pentru intervalul de temperatură $0^{\circ}\text{C} \dots 100^{\circ}\text{C}$ (273K...373K) se exprimă prin relația:

$$\alpha_{0,100} = \frac{R_{100} - R_0}{R_0 \cdot 100^{\circ}\text{C}} \quad (5.3)$$

unde, R_0 este rezistența la 0°C , iar R_{100} - rezistența la 100°C . Deoarece $R_{100}=138,5\Omega$, $R_0=100 \Omega$ rezultă că:

$$\alpha_{0,100} = \frac{138,5 - 100}{100 \cdot 100} = 3,85 \cdot 10^{-3} \text{ } (^{\circ}\text{C}^{-1}) \quad (5.4)$$

Platina pentru aceste termorezistențe

Tabelul 5.1.

Valorile rezistenței traductorului de platină în funcție de temperatură

Temperatura [°C]	Rezistența [Ω]	Temperatura [°C]	Rezistența [Ω]	Temperatura [°C]	Rezistența [Ω]
-200	17,28	-110	55,52	-30	88,22
-195,7	19,16	-100	59,65	-25	90,19
-190	21,65	-90	63,75	-20	92,16
-180	25,98	-80	67,84	-15	94,12
-170	30,29	-70	71,91	-10	96,09
-160	34,56	-60	75,96	-5	98,04
-150	38,80	-50	80,31	0	100
-140	43,02	-45	82,29	10	103,90
-130	47,21	-40	84,27	15	105,85
-120	51,38	-35	86,25	20	107,79

În cadrul încercărilor efectuate la temperaturi scăzute a fost utilizată și termorezistența de siliciu **KTY 87-205-PSH** produsă de firma **CONRAD ELECTRONIC**, care are dimensiuni mici (fig.5.1.c) și pentru care valorile rezistenței traductorului în funcție de temperatură sunt prezentate în tabelul 5.2.

Tabelul 5.2.

Valorile rezistenței traductorului de siliciu în funcție de temperatură

Temperatura [°C]	Rezistența [Ω]	Temperatura [°C]	Rezistența [Ω]	Temperatura [°C]	Rezistența [Ω]
-60	952	-35	1209	-10	1508
-55	998	-30	1265	-5	1572
-50	1050	-25	1321	0	1640
-45	1102	-20	1383	10	1779
-40	1154	-15	1443	20	1924

5.2. Variante constructive pentru obținerea presurizării vasului Dewar

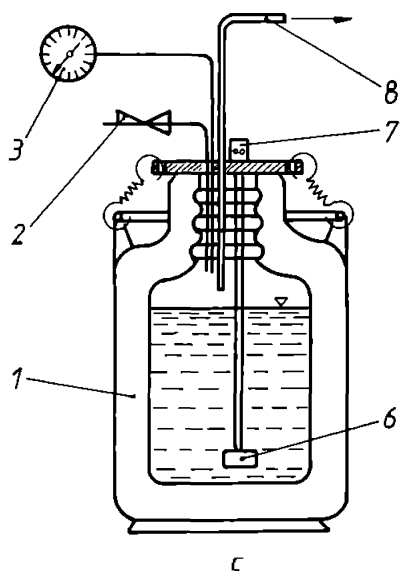
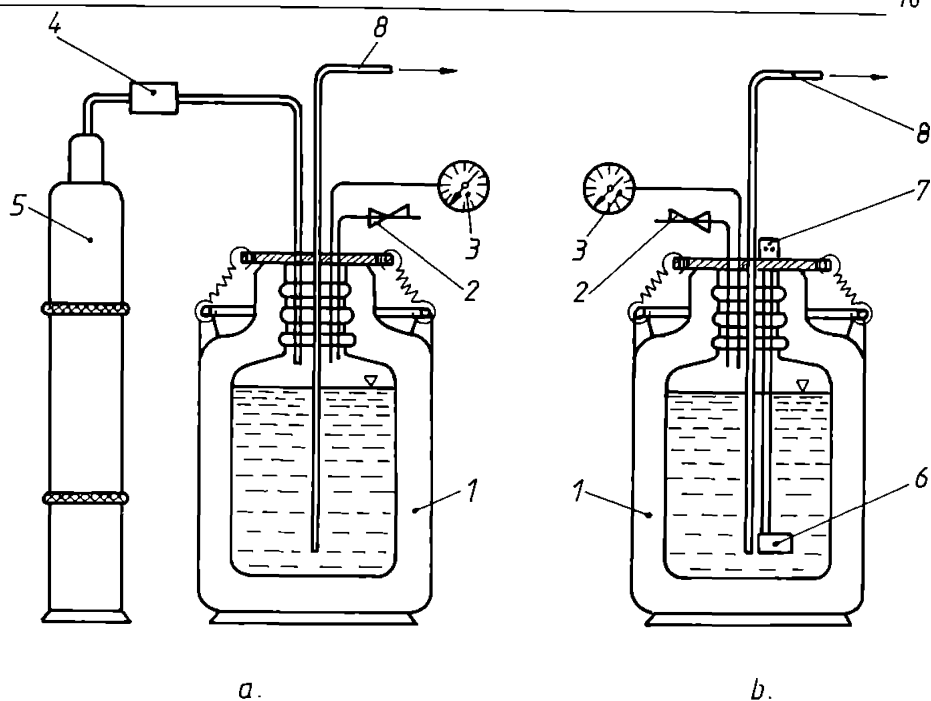
În cazul folosirii azotului lichid ca și agent frigorific, acesta se stochează într-un recipient (vas Dewar). Pentru încercările efectuate s-au utilizat vase Dewar, având capacitatea de 40 litri, produse de către I.C.P.I.A.F. Cluj-Napoca

Alegerea variantei pentru presurizarea vasului Dewar este determinată de către o serie de factori: modul de utilizare al agentului frigorific (azot lichid sau vapori de azot); debitul de agent frigorific; temperatura scăzută dorită; modul de realizare și de reglare a palierului de temperatură; soluția constructivă a incintei frigorifice precum și domeniul de utilizare urmărit (încercări mecanice, fretarea criogenică, așchieria în condiții criogenice, tratamente criogenice etc.).

Experimentările efectuate în cadrul lucrării, au utilizat trei variante de presurizare a vasului Dewar care sunt reprezentate schematic în fig.5.3.

Varianta I-a o reprezintă presurizarea cu azot gaz (fig.5.3.a). Azotul gaz, din butelia de stocare (5), prin reductorul de presiune (4) este introdus în vasul Dewar (1), la o presiune bine stabilită (mai mică decât $p_{max}=0,05\text{MPa}$), în funcție de debitul de azot lichid necesar. Datorită presiunii create în spațiul dintre dopul (capacul) vasului și nivelul azotului lichid, acesta este evacuat din vasul Dewar printr-o conductă de transfer (8). La dopul vasului (de construcție specială) sunt montate o supapă de siguranță (2) și un manometru (3).

Varianta a II-a presupune presurizarea cu vapori de azot (fig.5.3.b). Obținerea vaporilor de azot se realizează prin încălzirea azotului lichid, din vasul Dewar, cu o rezistență de sarcină (6) imersată în lichid. Regimul de încălzire al rezistenței electrice este comandat de către un sistem automat de reglare a temperaturii scăzute, fiind alimentată prin intermediul unei mufe (7). Vaporii de azot astfel obținuți, vor ocupa spațiul cuprins între dopul vasului și nivelul azotului



- 1 - Vas Dewar;
- 2 - Supapă de siguranță
($p_{max} = 0,05\text{MPa}$);
- 3 - Manometru;
- 4 - Reductor de presiune;
- 5 - Butelie de stocare
(azot gaz);
- 6 - Rezistență electrică;
- 7 - Mufă de alimentare;
- 8 - Conductă de transfer

Fig.5.3. Variante de presurizare a vasului Dewar

lichid, iar după realizarea unei anumite presiuni, azotul lichid este evacuat prin conducta de transfer (8). Dopul vasului este prevăzut cu o supapă de siguranță (2) și cu un manometru (3).

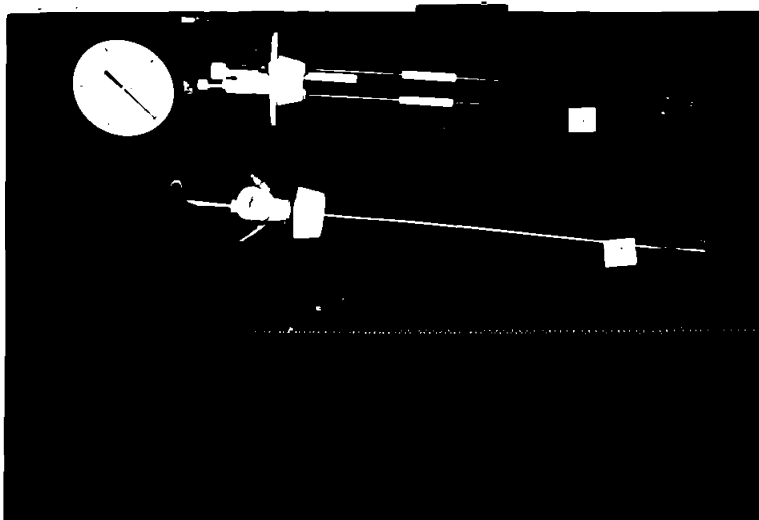
Varianta a III-a permite utilizarea vaporilor de azot ca și agent frigorific (fig.5.3.c). Azotul lichid stocat în vasul Dewar (1) este încălzit cu o rezistență electrică de sarcină (6) imersată, obținându-se la partea superioară a Dewar-ului vapori de azot care sunt evacuați prin conducta de transfer (8). Alimentarea rezistenței se realizează prin intermediul unei mufe (7). Manometrul (3) indică presiunea vaporilor de azot, iar supapa de siguranță (2) asigură menținerea unei presiuni prestabilite.

Observație. Indiferent de varianta utilizată, este necesar ca presiunea maximă din vas să nu depășească 0,05 MPa deoarece din punct de vedere constructiv, Dewar-ul este dimensionat să funcționeze în condiții de siguranță până la această presiune.

5.3. Contribuții la realizarea dispozitivului de închidere, etanșare și asigurare a vasului Dewar

Pentru obținerea presurizării vaselor Dewar este necesar ca acestea să fie închise, la partea superioară, cu dispozitive (dopuri) care au o construcție specială.

În vederea obținerii uneia dintre variantele de presurizare utilizate în cadrul experimentărilor, autorul a proiectat și realizat două tipuri constructive de dopuri (poza 5.2).



Poza 5.2. Dopuri pentru presurizarea vaselor Dewar: 1-pentru prima variantă; 2-pentru a doua și a treia variantă

Pentru realizarea primei variante de presurizare (vezi fig.5.3.a) a vasului, este utilizat dopul care se prezintă schematic în fig.5.4.

Dopul este compus dintr-un capac (1) de care este sudată o țevă (5) și un corp (2) montat prin șuruburile cu cap înecat (7). Aceste elemente componente sunt realizate din oțel inox. Pe țevă este fixată o piesă (6) de formă tronconică executată din teflon, care asigură o așezare respectiv o centrare corespunzătoare a dopului la gâtul vasului Dewar.

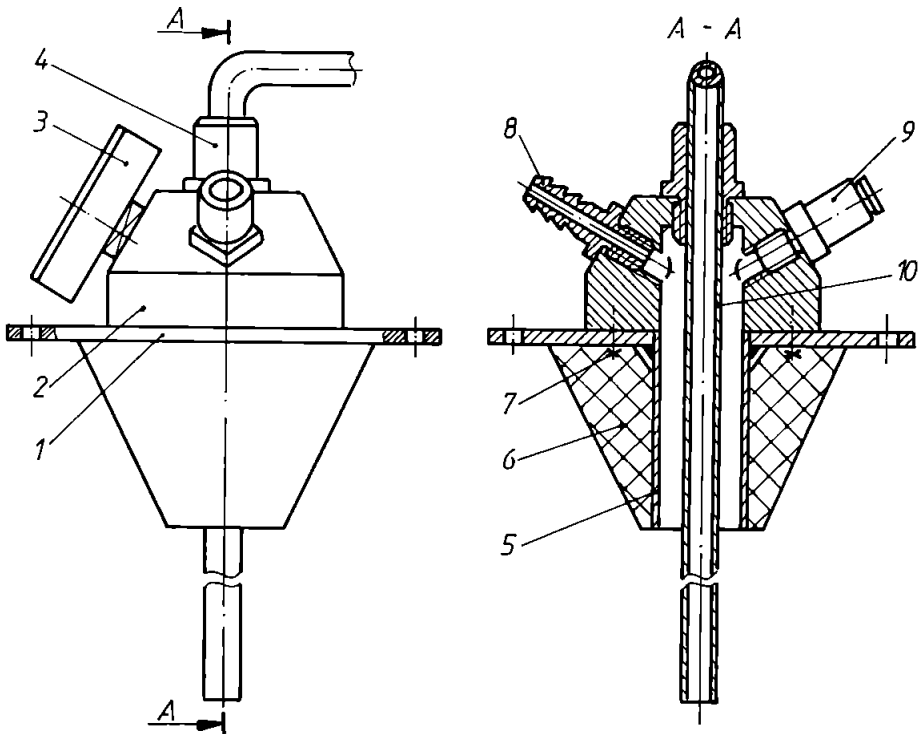


Fig.5.4. Dop pentru realizarea primei variante de presurizare

Corpul dopului este prevăzut cu patru orificii filetate în care se montează următoarele elemente: manometrul (3); bucușă directoare (4); ștuțul (8) și supapa de siguranță (9).

Manometrul măsoară presiunea din vas, supapa de siguranță limitează presiunea la valoarea de lucru, prin bucușă directoare trece țeava de transfer (10), iar pe ștuț se montează furtunul de alimentare cu azot gaz.

Pentru fixarea dopului se utilizează patru arcuri care sunt montate între orificiile periferice ale capacului și vasul Dewar. Arcurile sunt astfel alese, încât în situația în care apare o

suprapresiune în vas și supapa de siguranță nu funcționează, să permită ridicarea dopului față de gâtul vasului pentru ca azotul gaz să poată astfel refuza în atmosferă.

Pentru realizarea variantelor a II-a și a III-a de presurare (vezi fig. 5.3.b și 5.3.c) a fost realizat un alt dop care este reprezentat în fig.5.5.

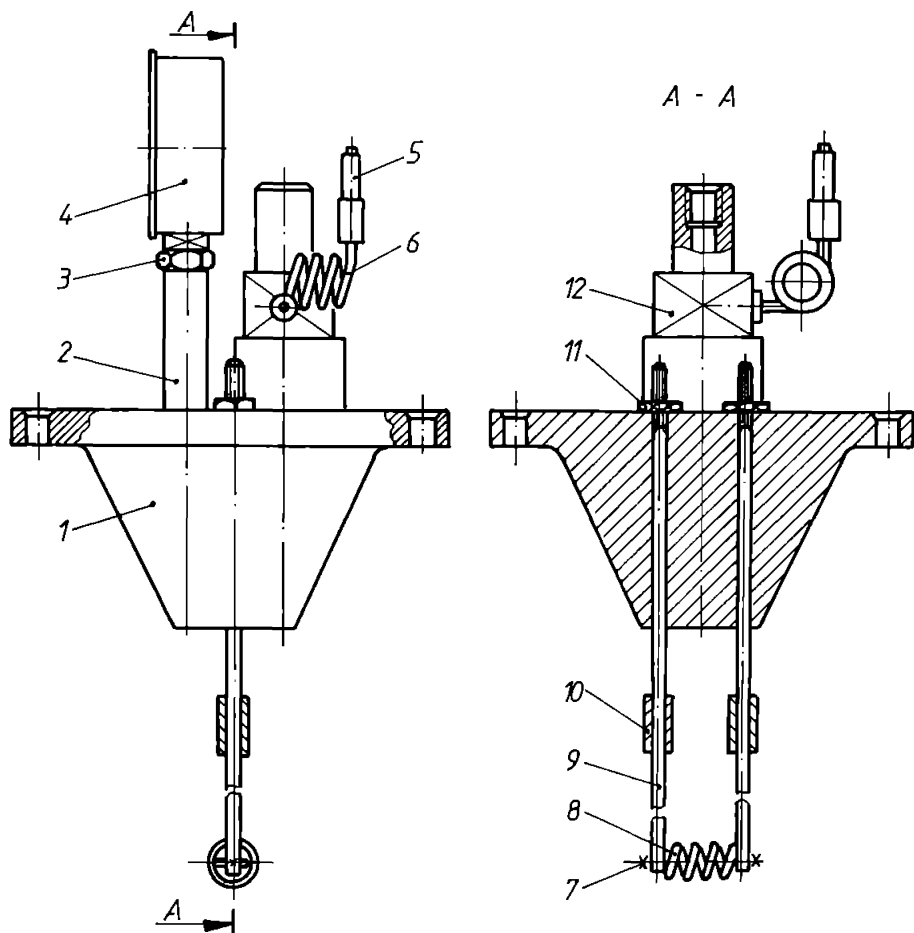


Fig.5.5. Dop pentru realizarea variantelor a II-a și a III-a de presurare

Dopul este realizat dintr-un corp (1) din teflon în care sunt practicate patru găuri longitudinale străpuse. Prin două dintre găuri sunt trecute tijele (9) de cupru legate între ele, la partea inferioară printr-o rezistență de sarcină (8) fixată prin șuruburile (7) de cupru. La partea

superioară tijele sunt filetate și fixate de corpul dopului prin piulițe (11). Rezistența de sarcină este realizată din sârmă de nichelină (ϕ 4 mm) și servește la încălzirea azotului lichid în care se imersează. Alimentarea rezistenței se face prin tijele (9) care sunt legate la sistemul pentru reglarea temperaturii scăzute. Pe tijele de alimentare sunt montate două bușe (10) de teflon care au rolul de a nu permite contactul (nici măcar accidental) tijelor cu tubul gofrat de la partea interioară a gâtului vasului Dewar.

Observație. Pentru stabilirea materialului din care să fie realizată rezistența de sarcină precum și diametrul sârmei utilizate, au fost necesare o serie de încercări, deoarece în condițiile de funcționare (imersată în azot lichid la temperatura -196°C) apare fenomenul de superconductibilitate a metalului. În final s-a ajuns la concluzia că materialul care se pretează a fi utilizat este nichelina, iar diametrul sârmei și numărul de spire s-au determinat experimental.

Manometrul (4) este montat la corpul dopului prin intermediul piuliței (3), de cupru și a unui prelungitor (2) sub formă de țevă realizată din teflon, care este înfiletat la una dintre găurile dopului.

Ultimul orificiu din corpul dopului servește la montarea unei piese (12), realizată din teflon, de care este asamblată supapa de siguranță (5) prin intermediul unei țevi, de cupru, sub formă spirală. Piesa (12) are o gaură longitudinală străpunsă care la partea superioară este filetată, permițându-se astfel asamblarea cu o conductă de transfer (nereprezentată în figură).

Corpul dopului este de formă tronconică ceea ce permite o așezare și o centrare bună la gâtul vasului Dewar. Pentru fixarea dopului de vas se utilizează patru arcuri calibrate montate între orificii periferice ale dopului și vasul Dewar.

5.4. Contribuții la concepția și realizarea dispozitivelor pentru reglarea automată a temperaturilor scăzute

Pentru obținerea temperaturilor scăzute și menținerea în limitele de toleranță admise, pe toată durata executării încercării mecanice, este necesar să se utilizeze dispozitive automate care trebuie astfel concepute încât să satisfacă aceste condiții.

În camera de lucru a incintei frigorifice se amplasează un traductor de temperatură care are rolul de a măsura temperatura și de a comanda dispozitivul de reglare. La realizarea unor astfel de dispozitive trebuie ținut cont de: varianta de presurizare a vasului Dewar; modul de utilizare a agentului frigorific și precizia de reglare impusă.

Autorul a conceput și realizat, pentru prima variantă de presurizare a vasului, o buclă de automatizare, iar pentru variantele a doua și a treia de presurizare, un dispozitiv pentru reglarea automată a temperaturilor scăzute (D.R.A.T.S.).

Pentru obținerea și reglarea temperaturilor scăzute s-a utilizat ca și agent frigorific, azotul lichid

5.4.1. Buclă de automatizare pentru reglarea temperaturilor scăzute

Primele încercări experimentale privind reglarea temperaturilor scăzute s-au efectuat utilizând varianta I-a de presurizarea a vasului Dewar (vezi fig. 5.3.a) descrisă în subcapitolul 5.2.

Schema generală a instalației este prezentată în fig.5.6.

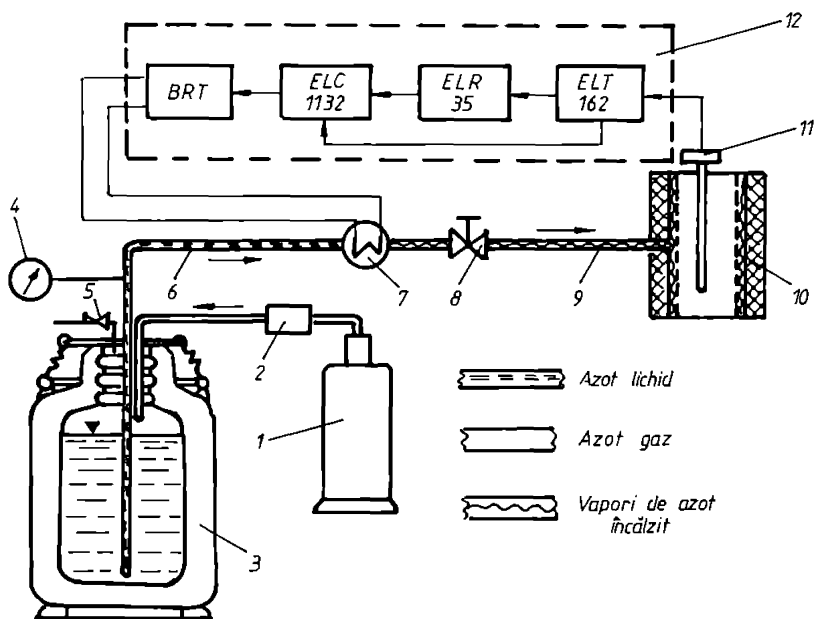


Fig.5.6. Instalație de reglare a temperaturilor scăzute

Agentul frigorific utilizat este azotul lichid, stocat în vasul Dewar și presurizat cu azotul gaz din butelia (1) prin intermediul unui reductor de presiune (2). Presiunea de lucru a fost limitată la valoarea de 0,03 MPa. Datorită acesteia, azotul lichid este evacuat din vasul Dewar printr-o conductă de transfer (6) spre un încălzitor (7).

Încălzitorul cuprinde o rezistență de sarcină care, în funcție de regimul de alimentare ales, asigură obținerea de vapori de azot la o anumită temperatură scăzută. Vaporii de azot, astfel obținuți, sunt dirijați spre o încălță frigorifică (10), construită sub forma unui "dispozitiv-duș", prin intermediul unei alte conducte de transfer (9). Reglarea debitului de vapori (și parțial de picături

de azot lichid) se realizează cu robinetul (8) acționat manual. Temperatura din incinta frigorifică se măsoară cu termorezistența (11), de tip **PT100**.

Pentru menținerea temperaturii scăzute, între limitele admise, s-a realizat o buclă de automatizare (12), care lucrează cu un semnal unificat de curent 4...20mA. Bucla de automatizare reglează tensiunea de pe rezistența încălzitorului în funcție de temperatura sesizată de către termorezistență și impusă printr-un regulator.

Părțile componente ale buclei de automatizare sunt:

- adaptorul rezistență-curent **ELT 162**;
- indicatorul înregistrator **ELR 35**;
- regulatorul **ELC 1132**;
- blocul regulator de tensiune (**B.R.T.**).

Termorezistența **PT100** își modifică rezistența în funcție de temperatura scăzută sesizată în incinta frigorifică (a fost realizată numai pentru efectuarea experimentărilor de reglare a temperaturii). Această rezistență este convertită într-un semnal de curent, cu ajutorul adaptorului rezistență-curent **ELT162**. Semnalul este necesar atât pentru comanda aparatului indicator-înregistrator **ELR 35** cât și a regulatorului **ELC 1132**.

Cu ajutorul regulatorului **ELC 1132** se impune valoarea temperaturii scăzute dorite, în funcție de care regulatorul generează un semnal de eroare, care prin blocul regulator de tensiune (**B.R.T.**) asigură reglarea tensiunii de alimentare a rezistenței de sarcină din cadrul încălzitorului.

Autorul a conceput și realizat blocul regulator de tensiune a cărui schemă electrică este prezentată în fig.5.7.

B.R.T. se compune dintr-un triac **TB10N5** și blocul de comandă pe grilă, realizat cu ajutorul unui circuit integrat **βAA145** destinat în exclusivitate comenzii în fază a aprinderii tiristoarelor sau triacelor. Tensiunea de comandă ajustabilă, pe circuitul integrat, între 0...BV se obține cu ajutorul unui convertor de domeniu realizat cu circuitul care are în componență un amplificator operațional **βA741**.

S-a impus această variantă constructivă, care permite variația continuă a tensiunii pe rezistența încălzitorului, pentru menținerea temperaturii scăzute din "**dispozitivul-duș**" între limitele admise.

La primele experimentări s-a lucrat fără convertorul de domeniu și s-a adoptat varianta "**totul sau nimic**" a tensiunii pe rezistența de sarcină. Această variantă presupune alimentarea rezistenței cu o anumită tensiune până când termorezistența **PT100** sesiza valoarea impusă a temperaturii scăzute și apoi rezistența nu mai era alimentată. Datorită inerțiilor termice relativ mari nu s-a reușit stabilizarea temperaturii scăzute între limitele admise.

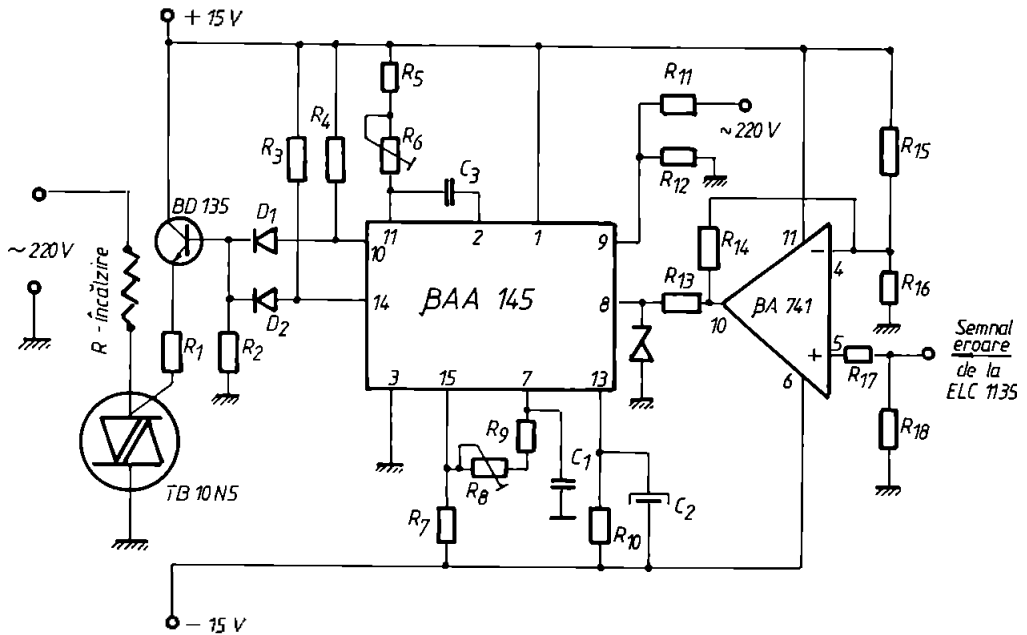


Fig.5.7. Bloc regulator de tensiune

După introducerea în schema electrică a convertorului de domeniu, rezultatele obținute au fost îmbunătățite. Dintre diagramele înregistrate în cursul experimentărilor se prezintă în fig 5.8, exemple pentru câteva temperaturi scăzute: -40°C , (a); -70°C (b); -90°C , (c) și -110°C , (d). Pe diagrame, originea de măsurare a timpului a fost aleasă începând cu momentul din care a fost atinsă valoarea temperaturii scăzute, urmărindu-se modul cum se menține aceasta între limitele impuse.

Bucula de automatizare are avantajul unei soluții constructive simple și ușor de realizat, putându-se utiliza la incintele frigorifice, realizate de autor (vezi Capitolul 4), care folosesc ca și agent frigorific azotul lichid, iar agentul de răcire îl reprezintă vaporii de azot [92].

Rezultate bune s-au obținut, utilizând bucla de automatizare și pentru experimentările privind fretarea criogenică respectiv tratamentul criogenic al oțelurilor rapide, care au făcut obiectul unui contract de cercetare științifică [93].

Dezavantajul instalației care înglobează bucla de automatizare prezentată constă în faptul că trebuie efectuate și reglaje manuale la reductorul de presiune respectiv la robinetul de pe conducta de transfer.

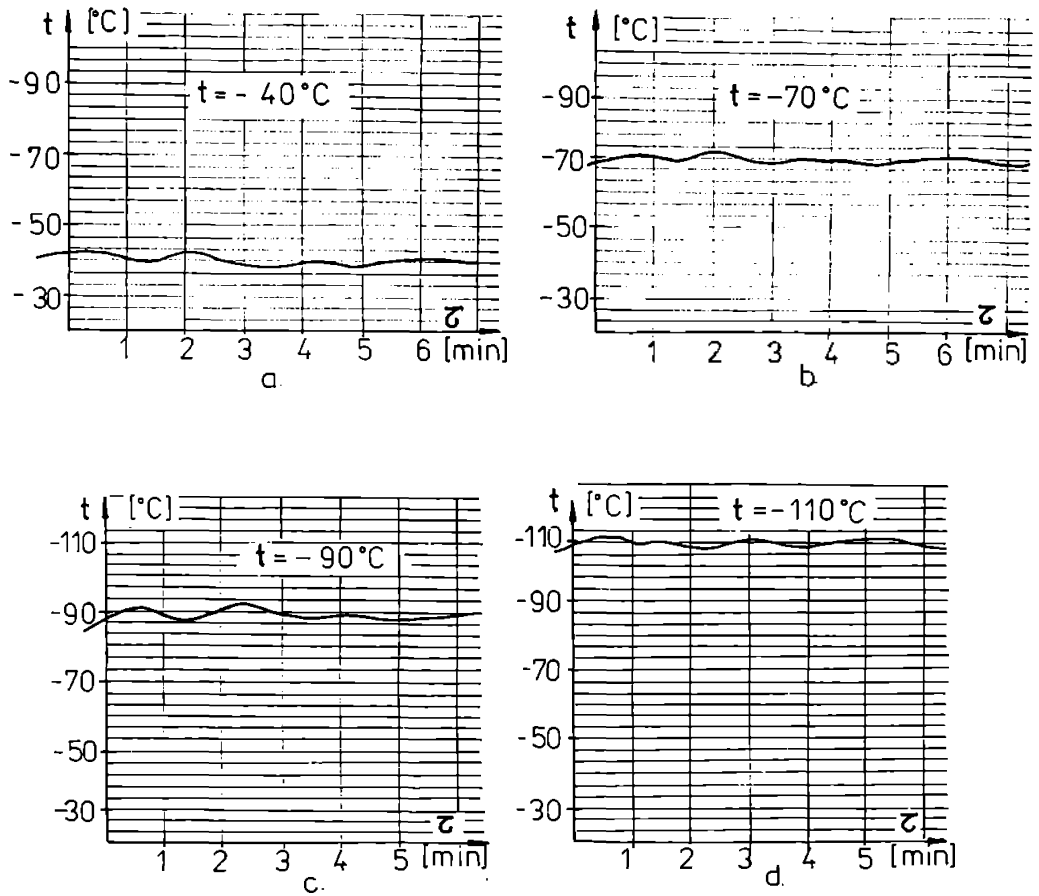


Fig.5.8. Curbe de variație ale temperaturii scăzute în timp

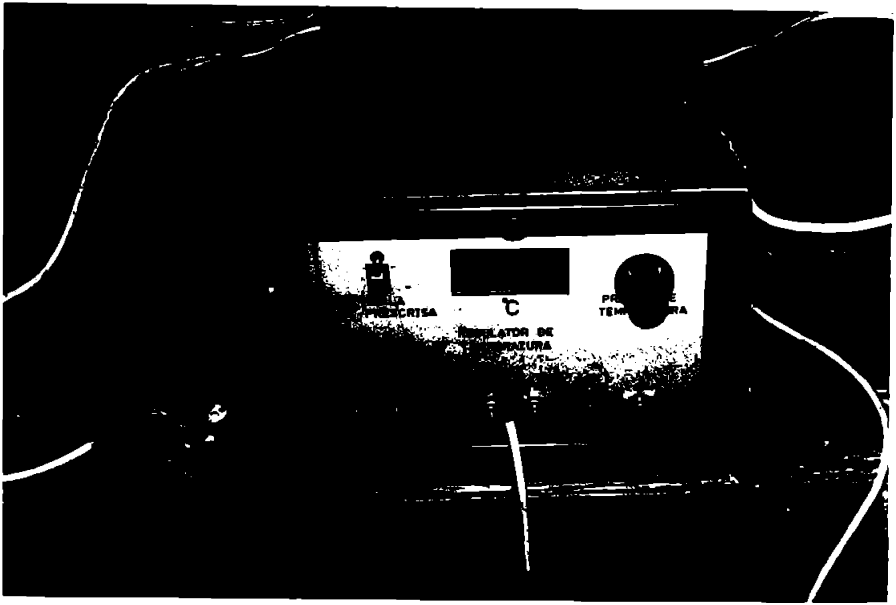
5.4.2. Dispozitiv pentru reglarea automată a temperaturilor scăzute

Pentru a se putea realiza un reglaj cât mai precis al temperaturii scăzute și a înlătura dezavantajele buclei de automatizare prezentată, autorul a realizat un dispozitiv (poza 5.3) pentru reglarea automată a temperaturilor scăzute (D.R.A.T.S.).

Cu acest dispozitiv se înlătură orice reglaj manual și se aplică pentru variantele a doua și a treia de presurizare a vaselor Dewar. Agentul frigorific utilizat este azotul lichid.

Rezultatele cele mai precise s-au obținut pentru varianta a treia de presurizare, deoarece dispozitivul are posibilitatea de realizare, atât a unui reglaj pentru rezistența de sarcină imersată

in azotul lichid (se obține o anumită temperatură și un anumit debit pentru vaporii de azot), cât și a unui reglaj fin, pentru rezistența care asigură temperatura finală a vaporilor de azot.



Poza 5.3. Dispozitivul pentru reglarea automată a temperaturilor scăzute

Schema bloc a D.R.A.T.S este prezentată în fig.5.9.

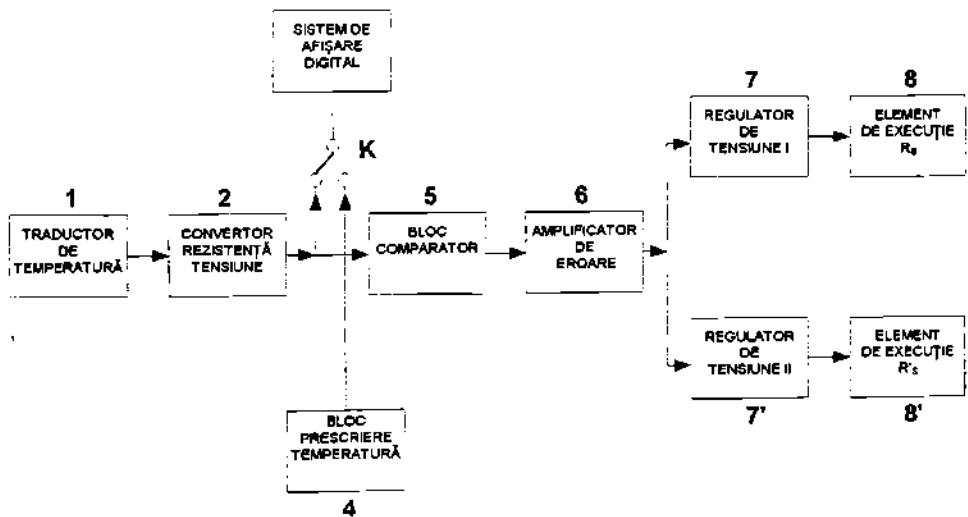


Fig.5.9. Schema bloc a D.R.A.T.S

Traductorul de temperatură (1) convertește mărimea neelectrică (temperatura) într-o mărime electrică (variație de rezistivitate), iar **blocul convertor rezistență-tensiune** (2) are rolul de a transforma variația de rezistență a termorezistenței într-o variație de tensiune.

Sistemul de afișare (3) este un milivoltmetru digital care afișează tensiunea furnizată de către convertorul rezistență-tensiune, tensiune care este proporțională cu temperatura măsurată.

Blocul de prescriere a temperaturii (4) furnizează o tensiune de referință, bine stabilită, care este proporțională cu temperatura de prescriere dorită și se poate modifica cu ajutorul unui potențiomtru. Prin intermediul comutatorului K, milivoltmetrul poate afișa fie temperatura măsurată de termorezistență, fie temperatura prescrisă

Blocul comparator (5) determină abaterea dintre temperatura reală, din camera de lucru a incintei frigonifice, măsurată de termorezistența (1) și temperatura impusă prin blocul de prescriere (4).

Tensiunea rezultată la ieșirea comparatorului este amplificată și adusă la parametrii corespunzători pentru comanda blocului **regulator de tensiune** (7 sau 7'). Aceasta furnizează o tensiune reglabilă în funcție de temperatura pe care dorim să o obținem în incinta frigorică.

Elementul de execuție (8 sau 8'), care este o rezistență electrică, încălzește mai mult sau mai puțin agentul de răcire (vapori de azot, cu rezistența R_s) respectiv agentul frigoric (azotul lichid, cu rezistență de sarcină imersată R'_s), în funcție de temperatura furnizată de blocul regulator de tensiune (7 sau 7') și temperatura prescrisă.

5.4.2.1. Descrierea blocurilor din componența D.R.A.T.S

1. Traductorul de temperatură

Traductorul de temperatură utilizat, este o termorezistență din platină tip PT100 care asigură o bună liniaritate în intervalul de temperatură $-200^{\circ}\text{C} \dots +250^{\circ}\text{C}$ ($73\text{K} \dots 523\text{K}$). Ea este reprezentată schematic în fig. 5.1.a, iar valorile rezistenței traductorului de platină în funcție de temperatură sunt redate în tabelul 5.1.

2. Convertorul rezistență-tensiune

Mărimea neelectrică (temperatura) este sesizată de către traductorul de temperatură (termorezistența), iar prin intermediul adaptorului rezistență-tensiune, mărimea neelectrică este convertită într-un semnal electric.

Circuitele electronice din componența aparatelor de măsură contribuie atât la conversia parametru-semnal direct măsurabil cât și la adaptarea impedanțelor respectiv la prelucrarea semnalelor în scopul afișării convenabile, la precizia cerută a rezultatelor.

Pentru realizarea convertorului s-au experimentat două variante de punți electrice, și anume: puntea Wheatstone și puntea activă. S-a ales varianta punții active (fig.5.10) care prezintă avantajul variației liniare, pe un domeniu mai larg, a tensiunii în funcție de rezistență.

Amplificatorul operațional menține echilibrul punții ($V = 0$), prin tensiunea V_0 , care compensează variațiile de tensiune datorate modificărilor de rezistență ΔR , indiferent de ordinul de mărime al acesteia:

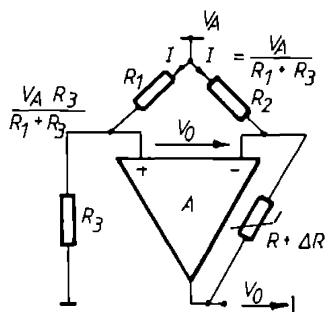


Fig.5.10 Puntea activă

$$V_0 = \Delta R \cdot I = \Delta R \cdot \frac{V_A}{R_1 + R_2} \quad (5.5)$$

Tensiunea de alimentare a punții $V_A = 5,1V$ se obține cu ajutorul unei diode stabilizatoare PL5V1Z. Rezistențele $R_1 = R_2 = 1,1 \text{ k}\Omega$ și $R_3 = 100 \text{ k}\Omega$, iar rezistența termorezistenței la 0°C este egală cu 100Ω .

Pentru aceste valori ale punții active și un $\Delta R = 81\Omega$, ceea ce corespunde la o temperatură de $-195,7^\circ\text{C}$, se obține la ieșirea convertorului rezistență-tensiune, o tensiune $V_0 = 0,344 \text{ V}$.

Deoarece azotul lichid are o temperatură de $-195,7^\circ\text{C}$, iar rezistența R variază de la 100Ω la $19,16 \Omega$, din potențiometrul P_3 se reglează milivoltmetrul la valoarea de $-195,7 \text{ mV}$.

Convertorul rezistență-tensiune se calibrează astfel:

- Termorezistența se scoate din circuit, iar în locul ei se conectează o rezistență decadică, reglată la 100Ω ;
 - Se conectează tensiunea de alimentare, iar potențiometrul P_1 se reglează astfel încât la ieșirea din convertor milivoltmetrul să afișeze zero volți. Un reglaj fin se poate realiza cu potențiometrul P_2 ;
 - Se reglează rezistența decadică la valoarea de $19,16 \Omega$ (valoarea care corespunde termorezistenței pentru temperatura de $-195,7^\circ\text{C}$);
 - Potențiometrul P_3 se reglează astfel încât milivoltmetrul să indice cifra $-195,7$.
- După aceste reglaje se scoate din circuit rezistența etalon și se conectează din nou termorezistența.

Observație. Toate aceste reglaje se fac după aproximativ 15 minute de la conectarea tensiunii de alimentare, pentru a se asigura intrarea într-un regim termic stabil.

3. Sistemul de afișare (milivoltmetrul digital)

Avantajele milivoltmetrului digital față de unul analogic sunt: citirea ușoară și precisă a valorii măsurate precum și rezistența de intrare foarte mare.

în care, n_1 și n_2 reprezintă numărul de impulsuri înregistrate, iar $T_1 = k \cdot V_{in}$; $T_2 = k \cdot V_{ref}$, unde k este o constantă de proporționalitate.

$$n_1 = \frac{V_{in}}{V_{ref}} \cdot n_2,$$

unde $n_2 = ct.$ și $V_{ref} = ct.$

Rezultă că numărul de impulsuri înregistrate n_1 este direct proporțional cu tensiunea de intrare. Se alege factorul de proporționalitate $k = 1$ și se obține o corespondență directă între numărul de impulsuri înregistrate și tensiunea aplicată la intrare. În acest mod, acuratețea de măsurare nu va depinde de frecvența de tact și de constanta de integrare, ci numai de tensiunea de referință.

Circuitul ICL7106 este conceput pentru a măsura direct, fără rețeaua divizoare de la intrare, tensiunea de ± 200 mV.

Datorită tehnologiei utilizate (CMOS) impedanța de intrare este foarte mare, circa $10^{12} \Omega$. Protejarea intrării împotriva unor tensiuni accidentale mai mari, care pot apărea la intrare, se face prin conectarea a două diode de tipul 1N4148, în antiparalel.

O atenție deosebită trebuie acordată condensatoarelor de integrare C_5 , de referință C_3 și de auto-zero C_4 . Condensatorul C_2 , care formează oscilatorul de referință, are dielectricul din mică, pentru a avea pierderi cât mai mici.

Din semireglabilul R_6 se asigură reglajul afișajului la zero, atunci când intrările sunt scurtcircuitate.

Tensiuni mai mari decât valoarea maximă măsurată pentru scala respectivă, vor cauza stingerea ultimelor trei cifre, numai valoarea 1 sau -1 va apare afișată.

Absența polarității semnalului indică o temperatură pozitivă, iar pentru temperatura negativă (temperatura scăzută) va apare semnul minus.

4. Blocul de prescriere temperatură

Acest bloc este un circuit divizor de tensiune simplu (fig.5.12.) alimentat la o tensiune de +15 V și -15 V, bine stabilizată. Acest divizor este astfel calculat încât de pe potențiometrul P_4 să se culeagă o tensiune de ± 200 mV.

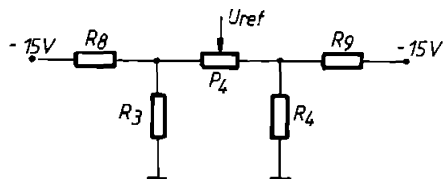


Fig.5.12. Blocul de prescriere temperatură

Pentru un reglaj fin, potențiometrul P_4 este multitură și are valoarea de 100Ω . Căderea de tensiune pe P_4 trebuie să fie de 400 mV, deci curentul prin divizor va fi $I = 0,4/100 = 0,004$ A.

În funcție de acest curent se determină valorile rezistențelor R_8 respectiv R_9 , de 3700Ω .

5. Blocul comparator

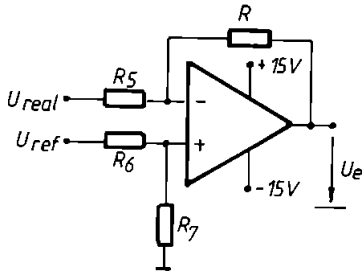


Fig.5.13. Blocul comparator

Schema electrică a comparatorului este prezentată în fig.5.13. Comparatorul are rolul de a compara tensiunea reală, corespunzătoare temperaturii reale, măsurate de către termorezistența, cu tensiunea de referință aferentă temperaturii prescrise. Circuitul efectuează diferența celor două tensiuni și o multiplică cu o constantă.

Tensiunea de ieșire se poate determina aplicând principiul suprapunerii efectelor.

$$\underline{U}_e = \underline{U}_{ref} \frac{R_7}{R_6 + R_7} \left(1 + \frac{R_{10}}{R_5} \right) - \underline{U}_{real} \frac{R_{10}}{R_5} \quad (5.6)$$

Primul termen reprezintă componenta dată de tensiunea de referință, iar al doilea pe cea dată de tensiunea reală.

În cazul când $\frac{R_{10}}{R_5} = \frac{R_7}{R_6}$, tensiunea de ieșire va fi:

$$\underline{U}_e = \frac{R_{10}}{R_5} (\underline{U}_{ref} - \underline{U}_{real})$$

Tensiunea de ieșire este proporțională cu diferența tensiunilor de intrare, adică amplificatorul se comportă ca având intrarea diferențială față de cele două tensiuni \underline{U}_{real} și \underline{U}_{ref} .

Această tensiune poartă denumirea de semnal de eroare care în continuare este amplificat de următorul bloc.

6. Amplificatorul de eroare

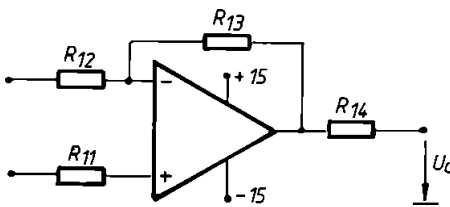


Fig.5.14. Amplificator de eroare

Prin acest bloc se realizează amplificarea semnalului de eroare de la ieșirea din blocul comparator (fig.5.13), până la nivelul necesar comandării regulatorului de tensiune. Blocul amplificator de eroare este realizat cu un amplificator operațional în configurație neinversoare cu reacție negativă de tensiune. Schema electrică este prezentată în figura 5.14.

Tensiunea de eroare este aplicată între intrarea neinversoare și masă.

Amplificarea în tensiune este pozitivă și este egală cu suma dintre unitate și raportul rezistențelor R_{13} și R_{12} :

$$A = 1 + \frac{R_{13}}{R_{12}}$$

Pentru a avea o sensibilitate mare, amplificarea semnalului de eroare trebuie să fie de asemenea mare.

7. Blocul regulator de tensiune

Blocul regulator de tensiune are rolul de a regla puterea disipată de rezistența de încălzire a vaporilor de azot (R_s) respectiv de rezistența de sarcină pentru încălzirea azotului lichid (R_s).

Ca și element de reglare a puterii disipate se utilizează un triac de tipul **TB10N5** al cărui unghi de corecție este comandat de circuitul integrat **βAA145**.

Caracteristicile triacului sunt: curentul maxim 10A și o tensiune de 500V.

Circuitul **βAA145** este destinat aproape exclusiv aplicațiilor care necesită comanda în fază a aprinderii tiristoarelor și triacelor, putând fi sincronizat direct cu rețeaua de curent alternativ cu frecvența de 50Hz.

Schema electrică a blocului regulator de tensiune este prezentată în fig.5.15

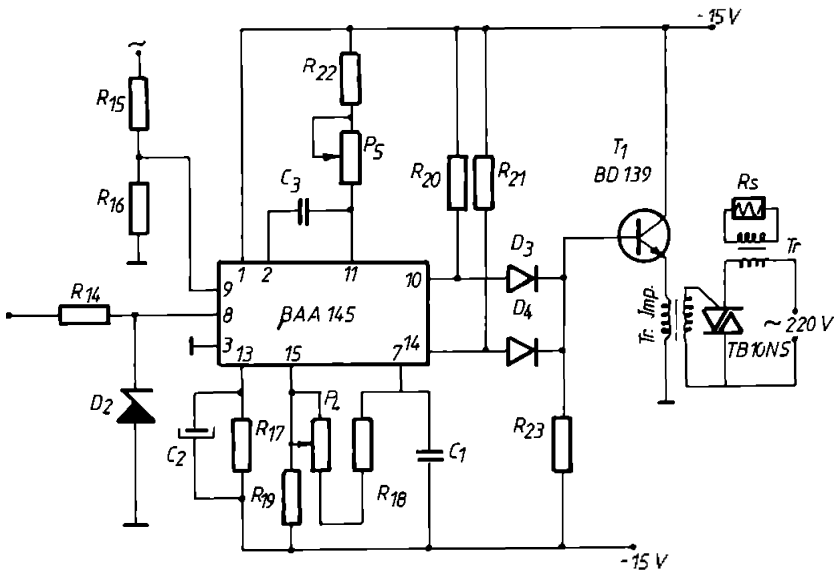


Fig.5.15. Blocul regulator de tensiune

Pentru funcționare circuitul are nevoie de o sursă de tensiune pozitivă de 12...18 V, capabilă să furnizeze un curent de sarcină de 100 mA.

Pe terminalele 10 și 14, β AA145 furnizează impulsuri pozitive corespunzătoare celor două semialternanțe ale tensiunii de rețea.

Unghiul de comandă poate fi reglat între 0° și 177° prin varierea tensiunii de comandă pe pinul 8 între 0 și 8,5 V.

Impulsurile generate de circuitul integrat sunt amplificate și prin intermediul transformatorului de impulsuri (Tr.Imp.) ajung pe poarta triacului TB10N5 care reglează tensiunea în primarul transformatorului (Tr.) de alimentare a rezistenței de sarcină (R_s) imersată în azotul din vasul Dewar respectiv a elementului de încălzire (R_s) a vaporilor de azot.

Transformatorul (Tr.) are rolul de separare galvanică a rezistenței de sarcină față de rețeaua de alimentare. Tensiunea de alimentare a rezistenței variază între 0 și 4,5 V (tensiune nepericuloasă).

Rezistența de sarcină (R_s) se execută din sârmă de nichelină (ϕ 4) cu rezistența de $0,05 \Omega$ și puterea maximă disipată de 400 W.

Formele de undă ale curentului aplicat pe rezistența de sarcină sunt prezentate în fig.5.16.

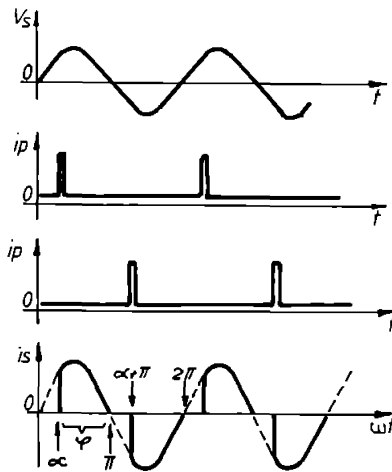


Fig.5.16. Formele de undă ale curentului

Pentru stabilizarea puterii în rezistența de sarcină conectată în circuitul anodic al triacului, tensiunea aplicată pe terminalul 8 trebuie cuprinsă într-o buclă de reacție negativă care include un element senzor al mărimii fizice (temperatura) și un amplificator de curent continuu, în cazul prezentat fiind amplificatorul de eroare.

Formele de undă din figura 5.16 permit calculul puterii medii disipate în rezistența de sarcină R_s , în funcție de unghiul de conducție φ :

$$P = \frac{1}{\pi} \int_0^{\varphi} v_s i_s d(\omega t) \quad (5.7)$$

în care $v_s = V_s \sin \omega t$, $i_s = \frac{V_s}{R_s} = \frac{I_s}{R_s} \sin \omega t$,

$$v_s = 220 \sqrt{2} \text{ V};$$

$$0 \leq \varphi \leq \frac{177}{180} \pi \quad . \quad (\varphi \rightarrow \text{rad})$$

Înlocuind în relația 5.7 rezultă:

$$P' = \frac{1}{\pi} \frac{V_s^2}{R_s} \int_0^\varphi \sin^2 \omega t \, d\omega t = \frac{1}{\pi} \frac{V_s^2}{R_s} \left(\frac{1}{2} \varphi - \frac{1}{4} \sin^2 2\varphi \right) \quad (5.8)$$

unde φ este unghiul de conducție, exprimat în radiani.

5.4.2.2. Modul de funcționare al D.R.A.T.S.

Dispozitivul pentru reglarea automată a temperaturilor scăzute asigură reglarea tensiunii atât pe rezistența de sarcină R_s (imersată în azotul lichid din vasul Dewar) cât și pe rezistența încălzitorului R_s (încălzește vaporii de azot), atât individual cât și combinat.

Schema electronică a D.R.A.T.S. este prezentată în fig.5.17.

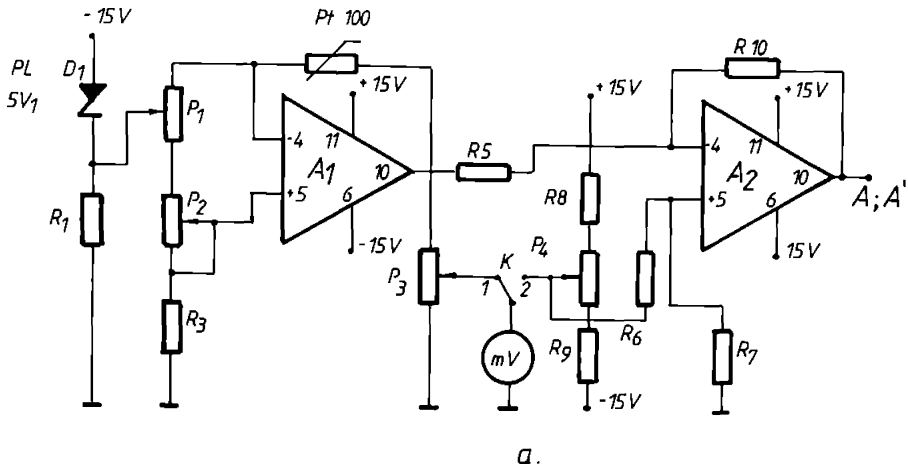


Fig.5.17. Schema electronică a D.R.A.T.S.

Prin intermediul potențimetrului (P_4) se prescrie valoarea dorită a temperaturii scăzute care trebuie menținută constantă (vizualizată pe sistemul de afișaj), căreia îi corespunde o tensiune negativă pe intrarea neinversoare a amplificatorului A_2 (pinul 5), măsurată cu milivoltmetrul digital prin trecerea comutatorului K pe poziția 2. Datorită valorii mai mari de 100Ω (rezistența la 0°C) a termorezistenței ($PT100$), pe intrarea inversoare a amplificatorului A_1 (pinul 4) există un potențial negativ care va fi amplificat și inversat; la ieșirea din A_1 (pinul 1) se evidențiază o tensiune pozitivă indicată de milivoltmetrul digital (comutatorul K pe poziția 1) care este proporțională cu temperatura efectivă a incintei frigorifice.

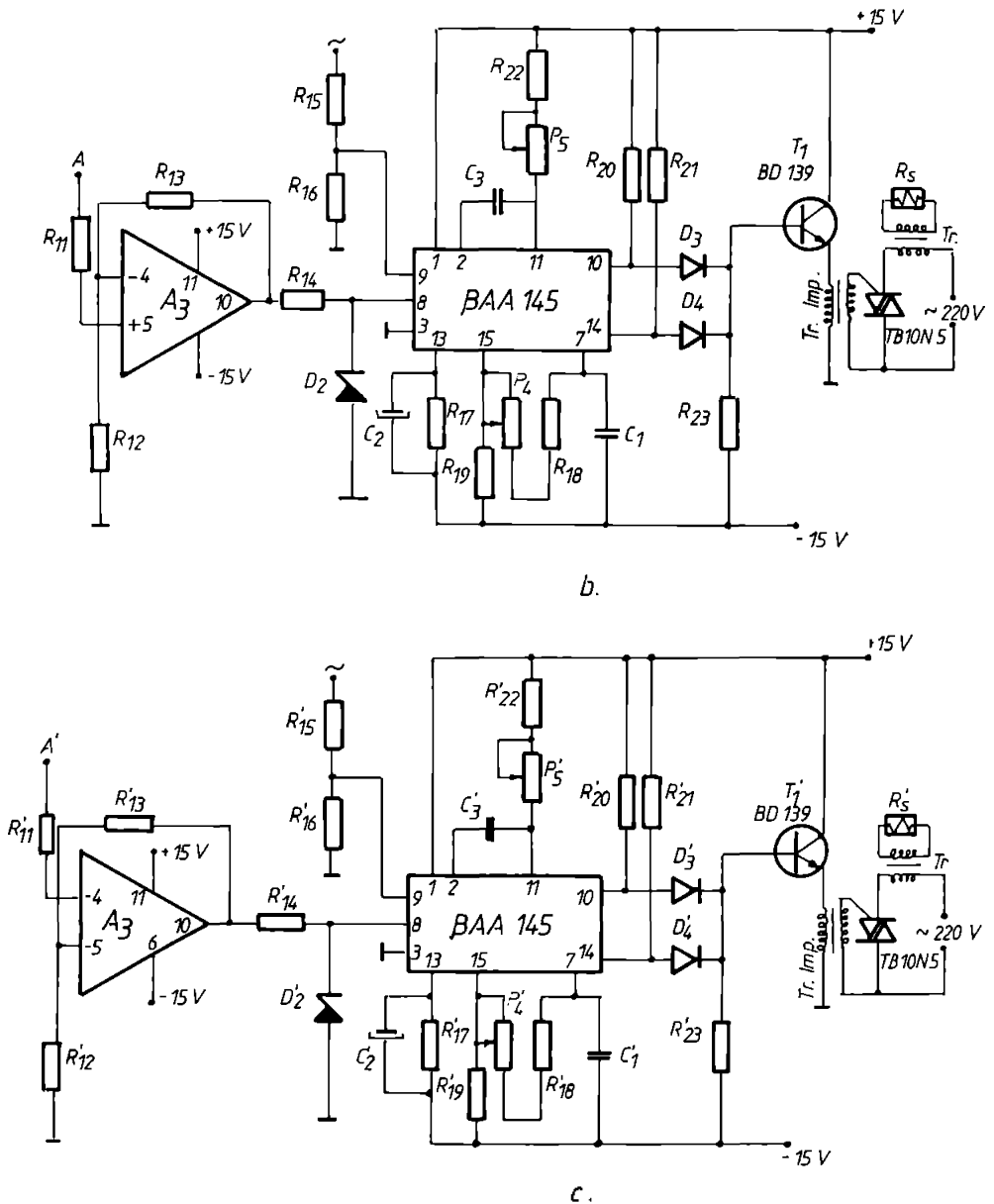


Fig.5.17. Schema electronică a D.R.A.T.S.

La intrarea în blocul comparator realizat cu A_2 , pe intrarea neinversoare (pinul 5) va exista un potențial negativ mai mare, în valoare absolută, decât cel de pe intrarea inversoare (pinul 4). În această situație la ieșirea din A_2 (pinul 10) există o tensiune negativă care prin

intermediul rezistenței R_{11} se aplică pe amplificatorul A_3 (pinul 5) din regulatorul de tensiune I (fig.5.17.b) respectiv prin R_{11} pe A_3 (pinul 4) din regulatorul de tensiune II (fig.5.17.c)

La ieșirea din A_3 (pinul 10) rezultă un potențial negativ care prin R_{14} și dioda D_2 se închide la masă. Intrarea de comandă a circuitului $\beta AA145$ (pinul 8) se află la un potențial negativ și deci acesta nu va genera impulsuri de comandă pe poarta triacului **TB10N5**, acesta va fi blocat, transformatorul (Tr) nu este alimentat, iar prin rezistența de sarcină (R_s) nu va circula curent (fig.5.17.b.). Concomitent, la ieșirea din amplificatorul A_3 (pinul 10) rezultă un potențial pozitiv care prin R_{14} se aplică pe intrarea de comandă a circuitului $\beta AA145$ (pinul 8) care va genera impulsuri de comandă la ieșire (pinul 10 și pinul 14), impulsuri amplificate de tranzistorul T_1 . Prin intermediul transformatorului de impulsuri (Tr.Imp.) ajung pe poarta triacului **TB10N5** care începe să conducă, funcție de unghiul de comandă, alimentând transformatorul (Tr.) și deci prin rezistența (R_s) va circula curent (fig.5.17.c.). Funcție de puterea disipată pe această rezistență (imersată în azotul lichid) se va obține un anumit debit de vapori de azot (varianta a III-a). În fază inițială puterea disipată are valoarea maximă, iar pe măsură ce se ajunge spre temperatura prescrisă, aceasta scade treptat.

Când temperatura efectivă atinge valoarea prescrisă (prin R_s nu va circula curent) debitul de vapori de azot este minim. Datorită inerției termice a dispozitivului, temperatura tinde să depășească valoarea prescrisă, situație în care blocul regulator de tensiune I alimentează rezistența (R_s) care asigură reducerea timpului de stabilizare a temperaturii

Până la atingerea temperaturii stabilizate cele două blocuri reglatoare de tensiune alimentează alternativ rezistențele (R_s respectiv R_s).

Abaterile față de temperatura prescrisă se încadrează între $+1^\circ\text{C}$ și -1°C (valori obținute experimental pe domeniul $0^\circ\text{C} \dots -120^\circ\text{C}$).

Observație. D.R.A.T.S. poate asigura agentul de răcire în incinta frigorifică (din agent frigorific-azotul lichid), realizându-se varianta a III-a de presurizare al vasului Dewar. În acest mod de funcționare se asigură alimentarea numai a rezistenței de sarcină (R_s).

Pentru un reglaj fin al temperaturii scăzute este însă necesar să se lucreze cu ambele rezistențe (R_s și R_s), astfel se pot realiza variantele a II-a și a III-a de presurizare a vasului Dewar. În fig.5.18. este prezentată schema de principiu a unei incinte la care se utilizează și rezistența de încălzire a vaporilor de azot (R_s). Rolul acestei rezistențe îl are o țevă profilată (4), de cupru, care este șuntată prin două bare (2), de cupru și joacă rolul de secundar (o spirală în scurtcircuit) al unui transformator (3). Agentul frigorific (azotul lichid sau vapori de azot) intră în distribuitorul (1) care îl dirijează prin intermediul unei țevi (4) profilate (în cadrul incinteii este sub forma unei spirale prevăzută cu găuri de ϕ 2 mm) spre incinta frigorifică (5-vasul exterior; 6-izolația termică; 7-vasul intermediar; 8-vasul interior, cu găuri de ϕ 2 mm).

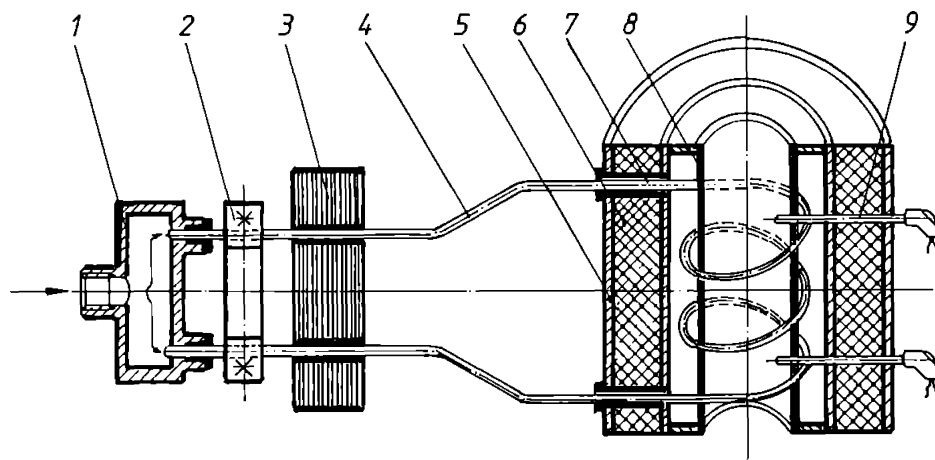


Fig.5.18. Incintă frigorifică cu agent de răcire vaporii de azot

Prin intermediul D.R.A.T.S. se alimentează rezistența de sarcină (nereprezentată în figură) și transformatorul (3), care încălzește țeava (joacă rol de R_s) respectiv agentul de răcire la temperatura prestabilită.

O astfel de soluție s-a adoptat la realizarea incintei frigorifice pentru încercarea la tracțiune (vezi Cap.4, fig.4.3.)

5.5. Cercetări privind transferul termic în epruvetele utilizate pentru încercări mecanice la temperaturi scăzute

5.5.1. Modelarea matematică a câmpului termic în epruvete

În funcție de modelarea utilizată se prezintă în continuare câteva cazuri de răcire a unor corpuri introduse în incinta frigorifică.

În prima parte se va asimila epruveta cu un cilindru de lungime infinită, de rază R (fig.5.19) și cu coeficientul de conductibilitate a temperaturii α . Presupunem că la momentul inițial cilindrul are o repartiție uniformă de temperatură $t_0 = \text{constant}$ și de asemenea că temperatura incintei este $t_c = \text{constant}$.

Pentru determinarea distribuției câmpului termic în epruvetă, ecuației conductibilității termice

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial t}{\partial r} \right), \quad (5.9)$$

i se atașează condiția inițială

$$t(r, 0) = t_0 \quad (5.10)$$

și condiția la limită

$$t(R, \tau) = t_c. \quad (5.11)$$

Efectuând schimbarea de funcție

$$t(r, \tau) = u(r, \tau) + t_c \quad (5.12)$$

rezultă că noua funcție necunoscută $u(r, \tau)$ satisface ecuația

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial u}{\partial r} \right) \quad (5.13)$$

și condițiile

$$u(r, 0) = t_0 - t_c, \quad (5.14)$$

$$u(R, \tau) = 0. \quad (5.15)$$

Căutăm soluția ecuației (5.13) de forma

$$u(r, \tau) = \sum_{i=1}^{\infty} A_i(\tau) I_0 \left(\mu_i \frac{r}{R} \right), \quad (5.16)$$

unde $I_0(z)$ este funcția Bessel de ordinul zero

$$I_0(z) = \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \frac{z^{-2k}}{2^{2k} (k!)^2} \quad (5.17)$$

Pentru ca funcția dată în (5.16) să satisfacă condiția la limită (5.15) este necesar ca

$$I_0(\mu_i) = 0, \quad (5.18)$$

adică μ_i să fie rădăcinile ecuației

$$I_0(z) = 0. \quad (5.19)$$

Pentru determinarea rădăcinilor acestei ecuații s-a întocmit programul WGENFCT.m de generare a funcției Bessel de ordinul zero (anexa 5.1). Acest program, ca și următoarele, a fost întocmit în MATLAB. Programul WEX1.m (anexa 5.2), apelând programul WGENFCT.m, determină primele 19 rădăcini ale ecuației $I_0(z) = 0$, și anume rădăcinile situate în apropierea valorilor 3,6, ..., 36, 40, 43, ..., 49, 53, 56, 59.

Valorile rădăcinilor astfel calculate sunt prezentate în anexa 5.3.

Substituind expresia (5.16) în ecuația (5.13) și introducând notația

$$z = \frac{\mu_i r}{R} \quad (5.20)$$

rezultă

$$\sum_{i=1}^{\infty} A'_i(\tau) \cdot I_0(z) = a \sum_{i=1}^{\infty} A_i(\tau) \frac{\mu_i}{rR} [zI_0'(z) + I_0'(z)]. \quad (5.21)$$

Deoarece

$$I_0'(z) = -I_1(z) \text{ și } zI_0'(z) = (z \cdot I_1(z))', \quad (5.22)$$

paranteza din membrul drept devine succesiv

$$[zI_0'(z) + I_0'(z)] = z(I_1(z))' - I_1(z) = -z(I_1(z))' - I_1(z) = -[zI_1(z)]' = -zI_1'(z),$$

deci relația (5.21) primește forma

$$\sum_{i=1}^{\infty} A'_i(\tau) I_0(z) = -\frac{a}{R^2} \sum_{i=1}^{\infty} \mu_i^2 A_i(\tau) I_0(z) \quad (5.23)$$

de unde rezultă ecuațiile pentru determinarea funcțiilor $A_i(\tau)$

$$A'_i(\tau) + a \frac{\mu_i^2}{R^2} A_i(\tau) = 0. \quad (5.24)$$

Această ecuație diferențială de ordinul I admite soluția

$$A_i(\tau) = c_i e^{-a\tau(\mu_i/R)^2}, \quad (5.25)$$

care înlocuită în (5.16) conduce la expresia

$$u(r, \tau) = \sum_{i=1}^{\infty} c_i I_0\left(\mu_i \frac{r}{R}\right) e^{-a\tau(\mu_i/R)^2} \quad (5.26)$$

Funcția (5.26) satisface, după cum a fost construită, ecuația (5.13) și condiția la limită (5.15).

Constantele c_i se vor determina impunând condiția ca funcția (5.26) să satisfacă și condiția inițială (5.14).

În acest scop dezvoltăm expresia $t_0 - t_c$ în serie Bessel de ordinul zero

$$t_0 - t_c = \sum_{i=1}^{\infty} \alpha_i \cdot I_0\left(\mu_i \frac{r}{R}\right). \quad (5.27)$$

Înmulțim relația (5.27) cu $r I_0\left(\mu_n \frac{r}{R}\right)$ și o integrăm după r între limitele 0 și R, adică

$$(t_0 - t_c) \int_0^R r I_0\left(\mu_n \frac{r}{R}\right) dr = \sum_{i=1}^{\infty} \alpha_i \int_0^R r I_0\left(\mu_i \frac{r}{R}\right) I_0\left(\mu_n \frac{r}{R}\right) dr. \quad (5.28)$$

Reamintim că șirul de funcții $I_0(\mu_n z)$ este ortogonal cu ponderea z pe intervalul $[0, 1]$, adică

$$\int_0^1 z I_0(\mu_i z) I_0(\mu_n z) dz = \begin{cases} 0, & \text{pentru } i \neq n, \\ \frac{1}{2} I_1^2(\mu_n), & \text{pentru } i = n, \end{cases} \quad (5.29)$$

unde I_1 este funcția Bessel de ordinul întâi,

$$I_1(z) = \sum_{i=0}^{\infty} (-1)^i \frac{1}{i!(i+1)!} \left(\frac{z}{2}\right)^{2i+1} \quad (5.30)$$

Utilizând relația (5.22), prima integrală din (5.28) devine

$$\int_0^R r I_0\left(\mu_n \frac{r}{R}\right) dr = \frac{R^2}{\mu_n^2} \int_0^{\mu_n} z I_0(z) dz = \frac{R^2}{\mu_n^2} (z I_1(z)) \Big|_0^{\mu_n} = \frac{R^2}{\mu_n} I_1(\mu_n). \quad (5.31)$$

Membrul drept al aceleiași relații devine succesiv

$$\sum_{i=1}^{\infty} \alpha_i \int_0^R r I_0\left(\mu_i \frac{r}{R}\right) I_0\left(\mu_n \frac{r}{R}\right) dr = \alpha_n \int_0^R r I_0^2\left(\mu_n \frac{r}{R}\right) dr = \alpha_n \frac{R^2}{2} I_1^2(\mu_n), \quad (5.32)$$

relația (5.28) primind forma

$$(t_0 - t_c) \frac{R^2}{\mu_n} I_1(\mu_n) = \alpha_n \frac{R^2}{2} I_1^2(\mu_n)$$

de unde

$$\alpha_n = \frac{2}{\mu_n I_1(\mu_n)} (t_0 - t_c). \quad (5.33)$$

Expresia $t_0 - t_c$ din (5.27) primește forma finală

$$t_0 - t_c = 2(t_0 - t_c) \sum_{i=1}^{\infty} \frac{I_0\left(\mu_i \frac{r}{R}\right)}{\mu_i I_1(\mu_i)}. \quad (5.34)$$

Relația (5.26), pentru $z = 0$, prin identificare cu (5.34), conduce la determinările

$$c_i = \frac{2(t_0 - t_c)}{\mu_i I_1(\mu_i)}.$$

Rezultă, în final, pentru distribuția câmpurilor temperaturilor în epruvetă, funcție de timp și de poziția punctului, expresia

$$t(r, \tau) = t_c + 2(t_0 - t_c) \sum_{i=1}^{\infty} \frac{I_0\left(\mu_i \frac{r}{R}\right)}{\mu_i I_1(\mu_i)} \cdot e^{-\alpha_i (\mu_i R)^2 \tau} \quad (5.35)$$

Pentru determinarea distribuției temperaturii în acest caz, s-a întocmit programul WTEMP.m., prezentat în anexa 5.4.

Datele rezultate din rularea programului sunt redate matricial, în anexa 5.5, fiecare coloană reprezentând distribuția temperaturii în funcție de timp, numărul de coloane fiind numărul de secțiuni în care se determină distribuția temperaturii. Pentru timp s-au luat valorile 5;10;15;20;25;30;40;50;60;70;80;90;100;150;200;400. [s].

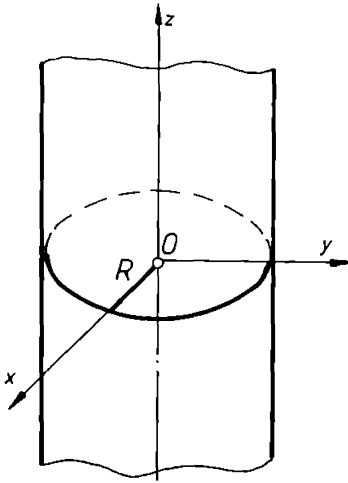


Fig.5.19. Cilindru de rază R și lungime infinită

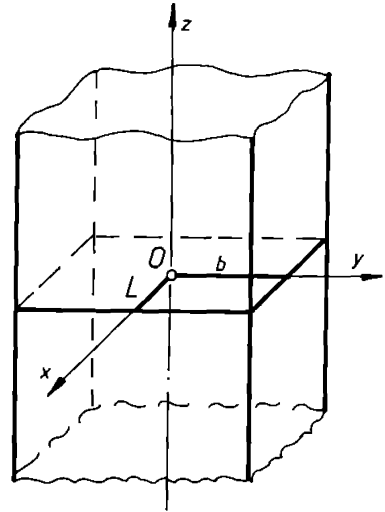


Fig.5.20. Prismă dreptunghiulară de secțiune $2b \times 2L$ și lungime infinită

A doua modelare a fenomenului de răcire consideră corpul de formă prismă dreptunghiulară de lungime infinită, cu secțiunea $2b \times 2L$ (fig.5.20), cu coeficientul de conductivitate a , ca și în cazul anterior.

În cazul general această problemă revine la aflarea soluției ecuației

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \right), \quad (5.36)$$

cu condițiile pe suprafață

$$t'_{|x=\pm L} = \varphi(\tau), \quad t'_{|y=\pm b} = \varphi(\tau). \quad (5.37)$$

și cu condiția inițială

$$t'_{|t=0} = F(x, y). \quad (5.38)$$

Soluția acestei ecuații, unde

$$\delta_l = \frac{2l-1}{2}\pi; \quad \delta_m = \frac{2m-1}{2}\pi; \quad \beta = \frac{\delta_l^2}{l^2} + \frac{\delta_m^2}{b^2}, \quad (5.39)$$

este

$$t = \varphi(\tau) + \frac{1}{l \cdot b} \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \cos\left(\delta_l \frac{x}{l}\right) \cos\left(\delta_m \frac{y}{b}\right) e^{-\beta \alpha \tau} \int_{-L}^{+L} \int_{-b}^{+b} [F(x, y) - \varphi(0)] \cos\left(\delta_l \frac{x}{l}\right) \cos\left(\delta_m \frac{y}{b}\right) dx dy - \\ - 4 \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{(-1)^{l+m}}{\delta_l \delta_m} \cos\left(\delta_l \frac{x}{l}\right) \cos\left(\delta_m \frac{y}{b}\right) e^{-\beta \alpha \tau} \int_0^{\tau} e^{\beta \alpha \tau} \varphi'(\tau) d\tau, \quad (5.40)$$

care, în ipoteza $\varphi(\tau) = t_c = ct$, $F(x, y) = t_0 = ct$, primește forma

$$t = t_c + 4(t_0 - t_c) \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{\delta_l \delta_m} \cos\left(\delta_l \frac{x}{l}\right) \cos\left(\delta_m \frac{y}{b}\right) \cdot e^{-\beta \alpha t} \cdot \sin \delta_l \sin \delta_m. \quad (5.41)$$

Pentru obținerea datelor numerice s-a întocmit programul **WTEMPDR.m**, din anexa 5.6.

Datele rezultate sunt prezentate în anexa 5.7.

În cazul în care se consideră cilindrul de lungime finită $2H$ (fig.5.21), ecuația conductibilității

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right), \quad (5.42)$$

cu condițiile la limită

$$t|_{r=R} = \varphi(\tau), \quad t|_{z=\pm H} = \varphi(\tau),$$

și cu condiția inițială

$$t|_{\tau=0} = F(r, z), \quad (5.43)$$

admite soluția

$$t = \varphi(\tau) + \frac{2}{HR^2} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \cos\left(\delta_m \frac{z}{H}\right) \frac{1}{I_1^2(\mu_n)} I_0\left(\mu_n \frac{r}{R}\right) e^{-\beta \alpha \tau} \int_{-H}^{+H} [F(r, z) - \varphi(0)] \cos\left(\delta_m \frac{z}{H}\right) I_0\left(\mu_n \frac{r}{R}\right) dz r dr - \\ - \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{4(-1)^{n-1}}{\delta_m \mu_n I_1(\mu_n)} \cos\left(\delta_m \frac{z}{H}\right) I_0\left(\mu_n \frac{r}{R}\right) e^{-\beta \alpha \tau} \int_0^{\tau} e^{\beta \alpha \tau} \varphi'(\tau) d\tau, \quad (5.44)$$

unde

$$\delta_m = \frac{2m-1}{2}\pi, \quad \beta = \frac{\delta_m^2}{H^2} + \frac{\mu_n^2}{R^2}.$$

În cazul ipotezelor utilizate ($\varphi = t_c = ct$, $F = t_0 = ct$) soluția primește forma

$$t = t_c + 4(t_0 - t_c) \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\mu_n} \cos\left(\delta_m \frac{z}{H}\right) \frac{1}{I_1(\mu_n)} I_0\left(\mu_n \frac{r}{R}\right) e^{-\beta_n z} \frac{1}{\delta_m} \sin \delta_m \quad (5.45)$$

Programul utilizat este WTCILF.m (anexa 5.8) iar rezultatele obținute sunt prezentate în anexa 5.9.

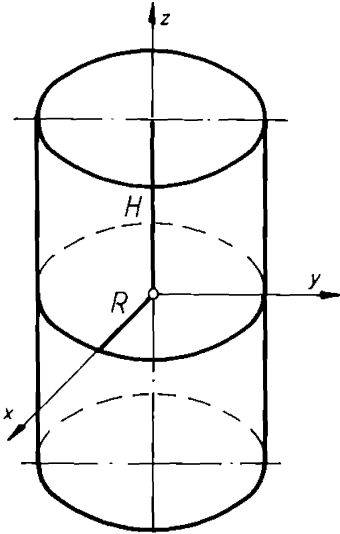


Fig.5.21. Cilindru de rază R și lungime finită (2H)

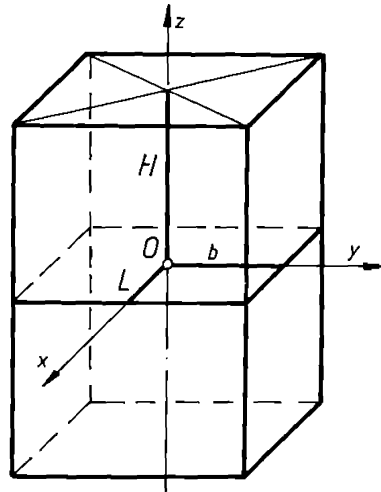


Fig.5.22. Prismă dreptunghiuară de secțiune 2b x 2L și lungime finită (2H)

În cazul paralelipipedului dreptunghiuar de dimensiuni 2bx2Lx2H (fig.5.22), ecuația conductibilității

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad (5.46)$$

cu condițiile la limită

$$t|_{x=\pm L} = \varphi(\tau), \quad t|_{y=\pm b} = \varphi(\tau), \quad t|_{z=\pm H} = \varphi(\tau) \quad (5.47)$$

și cu condiția inițială

$$t|_{\tau=0} = f(x, y, z) \quad (5.48)$$

admite soluția

$$t = \varphi(\tau) + \frac{1}{4bH} \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \cos\left(\delta_l \frac{x}{L}\right) \cos\left(\delta_m \frac{y}{b}\right) \cos\left(\delta_n \frac{z}{H}\right) e^{-\beta_{lmn} \tau} \int_{-L}^{+L} \int_{-L}^{+L} \int_{-L}^{+L} [f(x, y, z) - \varphi(0)] \cos\left(\delta_l \frac{x}{L}\right) \cos\left(\delta_m \frac{y}{b}\right) \cos\left(\delta_n \frac{z}{H}\right) dx dy dz - \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{8(-1)^{l+m+n-1}}{\delta_l \delta_m \delta_n} \cos\left(\delta_l \frac{x}{L}\right) \cos\left(\delta_m \frac{y}{b}\right) \cos\left(\delta_n \frac{z}{H}\right) e^{-\beta_{lmn} \tau} \int_0^{\tau} e^{\beta_{lmn} \tau'} \varphi(\tau') d\tau' \quad (5.49)$$

unde

$$\delta_l = \frac{2l-1}{2} \pi (l=1,2,3...), \quad \delta_m = \frac{2m-1}{2} \pi (m=1,2,3...),$$

$$\delta_n = \frac{2n-1}{2} \pi (n=1,2,3...), \quad \beta = \frac{\delta_l^2}{L^2} + \frac{\delta_m^2}{b^2} + \frac{\delta_n^2}{H^2}.$$

Pentru situația din incinta frigorifică soluția primește forma

$$t = t_c + 8(t_0 - t_c) \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\delta_l \delta_m \delta_n} \cos\left(\delta_l \frac{x}{L}\right) \cos\left(\delta_m \frac{y}{b}\right) \cos\left(\delta_n \frac{z}{H}\right) e^{-\beta t} \sin \delta_l \sin \delta_m \sin \delta_n \quad (5.50)$$

Programul utilizat este WPARDRF.m. (anexa 5.10) iar datele obținute sunt prezentate în anexa 5.11

În cele trei sume care apar în (5.50) s-au considerat 20 de termeni, caz în care s-au obținut datele din anexele 5.11.1 + 5.11.7. Din rezultatele prezentate în anexa 5.11.5. se remarcă o intervertire a valorilor corespunzătoare cazului $z = 30$ și $t = 5$, iar din anexa 5.11.6, tot pentru $t = 5$ se observă apariția unei valori mai mari decât t_0 . O intervertire a valorilor apare de asemenea în anexa 5.11.7.

Din această cauză s-a trecut la majorarea numărului de termeni, considerându-se în fiecare dintre sume 25 de termeni, situație în care s-au obținut valorile prezentate în anexele de la 5.11.8. până la 5.11.12.

Alte majorări ale numărului de termeni a dus la modificări nesemnificative ale distribuției câmpului termic în epruvele paralelipipedice finite.

5.5.2. Investigații experimentale asupra transferului termic în epruvete, la temperaturi scăzute

Ca și metodologie, încercările la temperaturi scăzute se efectuează în același mod ca și cele executate la temperatura ambiantă. Particularitatea constă în faptul că, declanșarea încercării mecanice trebuie făcută în momentul în care întreaga masă a epruvetei are temperatura scăzută, încadrată într-o anumită toleranță a temperaturii de încercare [6]; [66], (vezi fig.5.23).

În cazul în care epruveta rămâne în incinta frigorifică pe toată durata încercării, este necesară menținerea constantă a temperaturii scăzute pe tot acest interval de timp.

Dacă epruvetele se răcesc într-o incintă frigorifică și apoi încercarea mecanică are loc în afara acesteia (cazul epruvetelor pentru încercarea la încovoire prin șoc) este necesară fie o manevră rapidă (5...15 s, funcție de mărimea epruvetei și a lîpului de încercare), fie asigurarea unei subrăcirii a acestora față de temperatura stabilită pentru încercare. Normativele în vigoare [107], [108], [111], [112] nu prevăd, în mod unanim, timpul de menținere impus pentru răcirea

epruvetei, iar abaterile admise pentru temperaturile scăzute de încercare nu sunt stabilite pentru aceleași intervale de temperatură (vezi 7.1., tabelul 7.1).

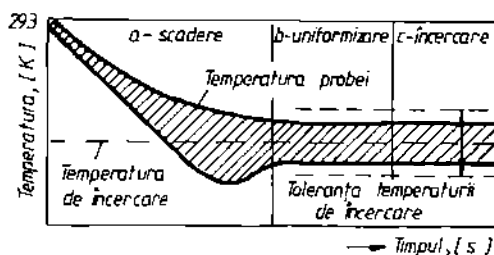


Fig.5.23. Diagrama de răcire a epruvetei în incinta frigorifică

La obținerea temperaturii scăzute în camera de lucru a incintei frigorifice și menținerea acesteia în limitele admise, concură o serie de factori: felul incintei și tipul de izolație utilizat; agenții frigorifici, mediile de răcire și agenții de răcire folosiți; modul de reglare și menținere a temperaturii scăzute; instrumentele de măsurare a temperaturii etc.

Obținerea unei temperaturi scăzute, aproximativ constante, în întreaga masă a epruvetei aflată într-o incintă frigorifică cu temperatura stabilizată, depinde de: dimensiunile epruvetei; materialul acesteia, agentul de răcire utilizat, felul încercării mecanice etc.

Având în vedere cele prezentate, se poate trage concluzia că, nu viteza de răcire este factorul principal la obținerea unei temperaturi scăzute ci modul de menținere a acesteia între limitele impuse și timpul necesar pentru ca temperatura să fie uniformă în întreaga masă a epruvetei la momentul declanșării încercării.

Modalitatea de răcire a epruvetelor în incintele frigorifice depinde de încercarea mecanică ce urmează a se executa și se poate realiza prin:

a) Introducerea epruvetelor în mediul de răcire care se află deja în incinta frigorifică și are o anumită temperatură scăzută, urmând să se facă corecția de temperatură prin adăugarea de agent frigorific respectiv mediul de răcire, până la încadrarea între limitele de toleranță admise. Este cazul utilizării agenților de răcire lichizi.

b) Răcirea simultană a camerei de lucru și a epruvetei (epruvetelor) introduse în incinta frigorifică, de la temperatura ambiantă la temperatura scăzută dorită, prin utilizarea agenților de răcire lichizi sau gazoși.

Pentru prima modalitate de răcire există reglementări, în standardele de încercări [107],[108]; [112], privind timpul de menținere în agentul de răcire înainte de a se declanșa încercarea mecanică. Modelarea matematică a transferului termic este mai ușor de realizat în această situație, iar rezultatele obținute experimental sunt în concordanță cu cele determinate prin calcule.

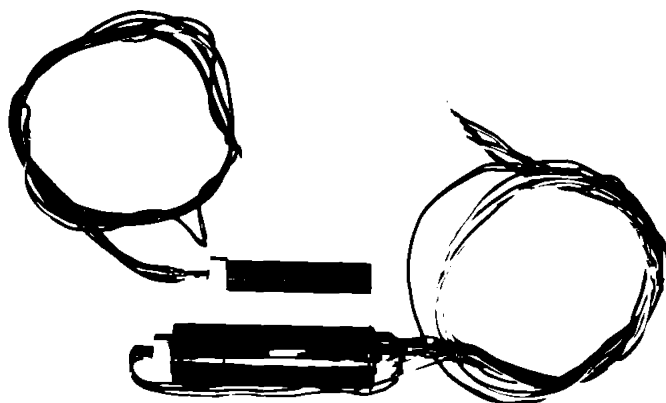
Deoarece în cadrul unor experimentări din prezenta lucrare a fost utilizat ca și agent frigorific azotul lichid, respectiv ca și agent de răcire vaporii de azot, iar timpul de menținere este

specificat orientativ [112] sub forma "cel puțin 30 minute într-un mediu gazos" a fost necesară luarea în studiu a transferului termic în epruvete, la temperaturi scăzute.

Aceste investigații erau necesare și pentru faptul că au fost utilizate diferite mărci de oțeluri și au fost executate încercări nestandardizate (încercarea la răsucire pe epruvete cilindrice și tubulare cu pereți subțiri respectiv încercarea de duritate). Scopul final a constat în determinarea experimentală a timpului necesar pentru obținerea unei temperaturi scăzute dorite și uniformizarea temperaturii în epruvetă, în cazul unor mărci de oțeluri (34MoCrNi16X și 10Ni35R) utilizând incinte frigorifice în care se poate realiza o temperatură stabilizată.

S-a urmărit și influența tratamentelor termice aplicate epruvetelor, asupra timpului de menținere necesar uniformizării temperaturii scăzute.

Pentru realizarea acestor investigații au fost utilizate niște epruvete special pregătite. În poza 5.4. sunt prezentate două tipodimensiuni de epruvete, echipate cu termorezistențe de platină tip TRFA 101.



Poza 5.4. Epruvete pentru studiul transferului termic în condiții de temperaturi scăzute

Forma și dimensiunile acestor epruvete se prezintă în fig.5.24. Epruveta cu diametrul de 20 mm (fig 5.24.a.) are prevăzute două orificii longitudinale executate în centrul respectiv la 5 mm de suprafața laterală, iar epruveta cu diametrul de 10 mm (fig.5.24.b.) are un orificiu longitudinal executat în centrul ei.

Fiecare orificiu este format din două găuri concentrice, una de $\phi 2$ mm în care se amplasează o termorezistență TRFA 101 și cealaltă cu $\phi 6$ mm în care se introduce o bucșă de

teflon care servește la ghidarea termorezistenței, obturarea orificiului și prin gaura centrală se permite firelor de legătură să treacă prin ea.

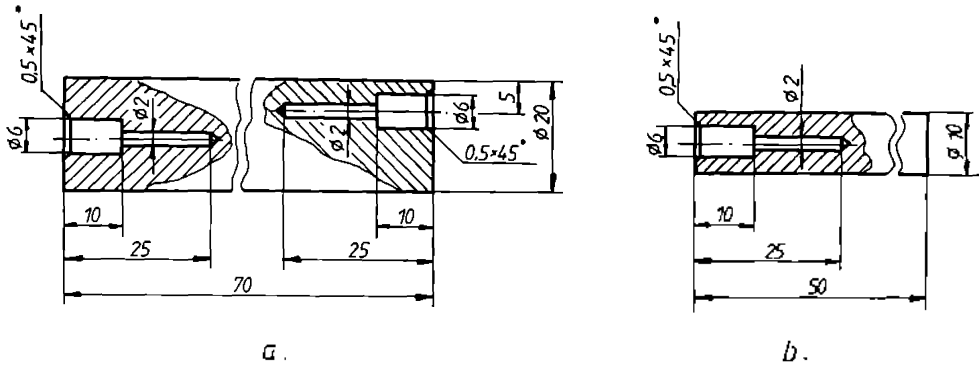
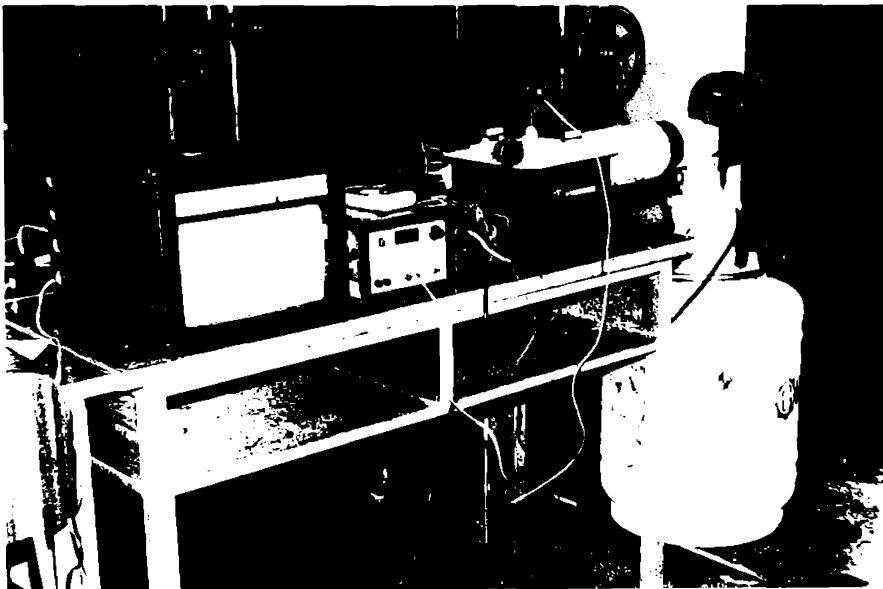


Fig.5.24. Forma și dimensiunile epruvetelor pentru studiul transferului termic la temperaturi scăzute: a- epruveta cu diametrul de 20 mm; b- epruveta cu diametrul de 10 mm;

Pe epruveta cu diametrul de 20 mm se amplasează o a treia termorezistență la suprafața acesteia, având astfel posibilitatea de a se măsura temperatura în trei puncte distribuite radial (exteriorul, un punct intermediar și centrul epruvetei).

Pentru a se determina experimental modul în care se realizează transferul termic prin aceste epruvete s-a realizat standul experimental prezentat în poza 5.5.



Poza 5.5. Stand experimental pentru studiul transferului termic în epruvete

Vaporii de azot s-au obținut din azotul lichid stocat într-un vas Dewar și presurizat după varianta a III-a (vezi 5.2.).

Au fost utilizate două dintre incintele frigorifice realizate de către autor, în care s-au obținut temperaturile scăzute dorite, prin reglajul realizat de către D.R.A.T.S., care utilizează ca și traductor de temperatură o termorezistență PT 100, montată la incintele frigorifice. Înregistrarea temperaturilor sesizate de către termorezistențele amplasate în epruvete s-a realizat cu APARATUL ÎNREGISTRATOR E36A6 etalonal pentru termorezistențe, pe intervalul de temperatură $0^{\circ}\text{C} \dots -100^{\circ}\text{C}$.

A fost studiat transferul termic pentru epruvete cu diametrul de 10 mm respectiv 20 mm, realizate din 34MoCrNi16X și 10Ni35R, atât în stare recoaptă respectiv normalizată cât și după tratamentul de călire urmat de o revenire înaltă. S-a demonstrat experimental că nu există diferențe semnificative privind transferul termic în epruvetele recoapte respectiv normalizate față de cele care au fost călite și revenite.

Timpii determinați experimental pentru obținerea unei anumite temperaturi scăzute sunt valoric apropiați și în concordanță cu cei calculați prin modelarea matematică a transferului termic.

În poza 5.6. se prezintă o epruvetă cu diametrul de 20 mm amplasată pe D.R.A.T.S. după ce a fost scoasă din incinta frigorifică în care s-a realizat temperatura de -80°C .



Poza 5.6. Epruvetă pentru studiul transferului termic, răcită la -80°C , după ce a fost scoasă din incinta frigorifică

În prima etapă a experimentărilor s-a utilizat incinta frigorifică destinată răcirii epruvetelor necesare încercării la încovoiere prin șoc, care utilizează ca și agent de răcire vaporii de azot (vezi 4.2.2.2., fig.4.5.).

Pentru exemplificarea rezultatelor experimentale se prezintă diagramele de variație a temperaturii în funcție de timp pentru epruvetele realizate din marca de oțel 10Ni35R, după tratamentul termic de călire urmat de revenire.

Observație. Utilizarea epruvetelor cu diametrul de 20 mm, pentru studiul transferului termic, se justifică prin faptul că în cazul încercării la răsucire a epruvetelor tubulare cu pereți subțiri, acestea au amplasate în interior un miez (vezi 6.4., fig.6.4.c) care trebuie și el răcit la temperatura scăzută de încercare.

În fig.5.25. este prezentată diagrama de variație a temperaturii în funcție de timp pentru

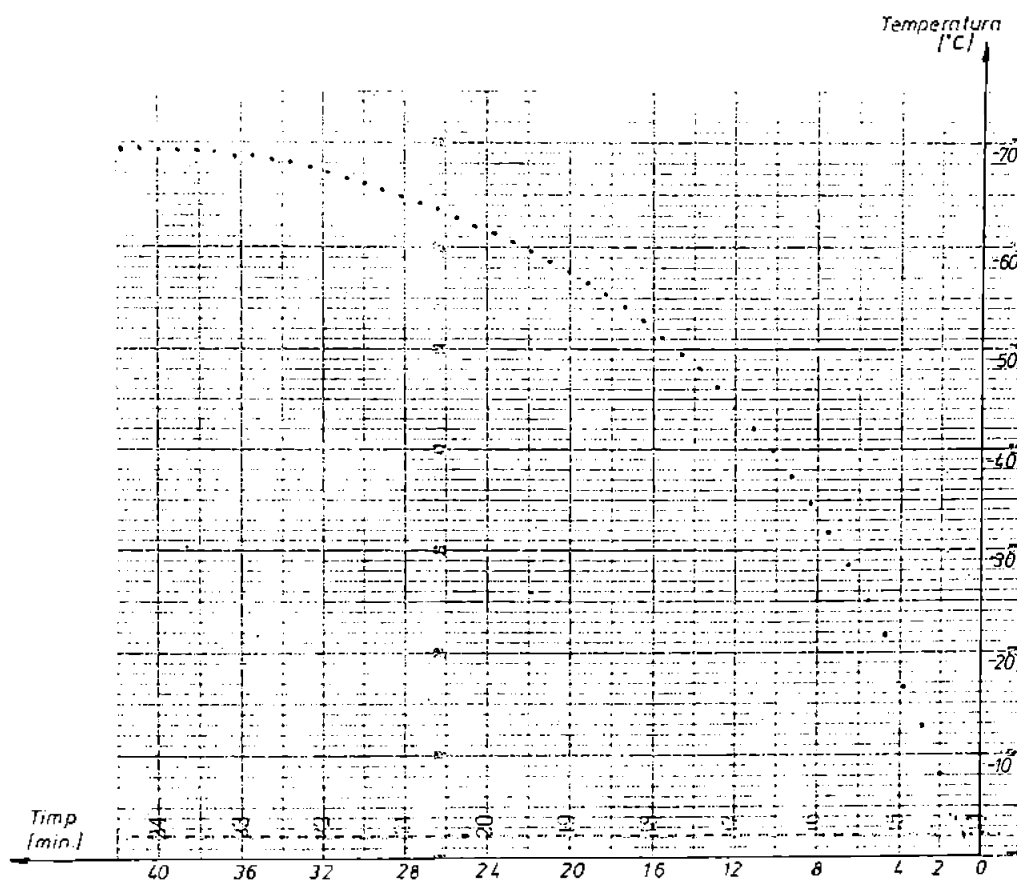


Fig.5.25. Diagrama de variație a temperaturii scăzute în funcție de timp pentru epruveta de $\phi 10$ mm, la temperatura prescrisă de -70°C .

epruveta cu diametrul de 10 mm, răcită simultan cu camera de lucru a incintei frigorifice, în condițiile unei temperaturi scăzute prescrise de -70°C .

S-a constatat experimental că viteza de răcire este aproximativ constantă, iar temperatura prescrisă (-70°C) a fost atinsă în toată masa epruvetei după aproximativ 35 de minute.

În cazul răcirii epruvetei cu diametrul de 20 mm, în aceeași incintă frigorifică, la o temperatură scăzută prescrisă de -80°C s-a remarcat o creștere a vitezei de răcire, obținându-se temperatura dorită în aproximativ 35 minute (fig. 5.26).

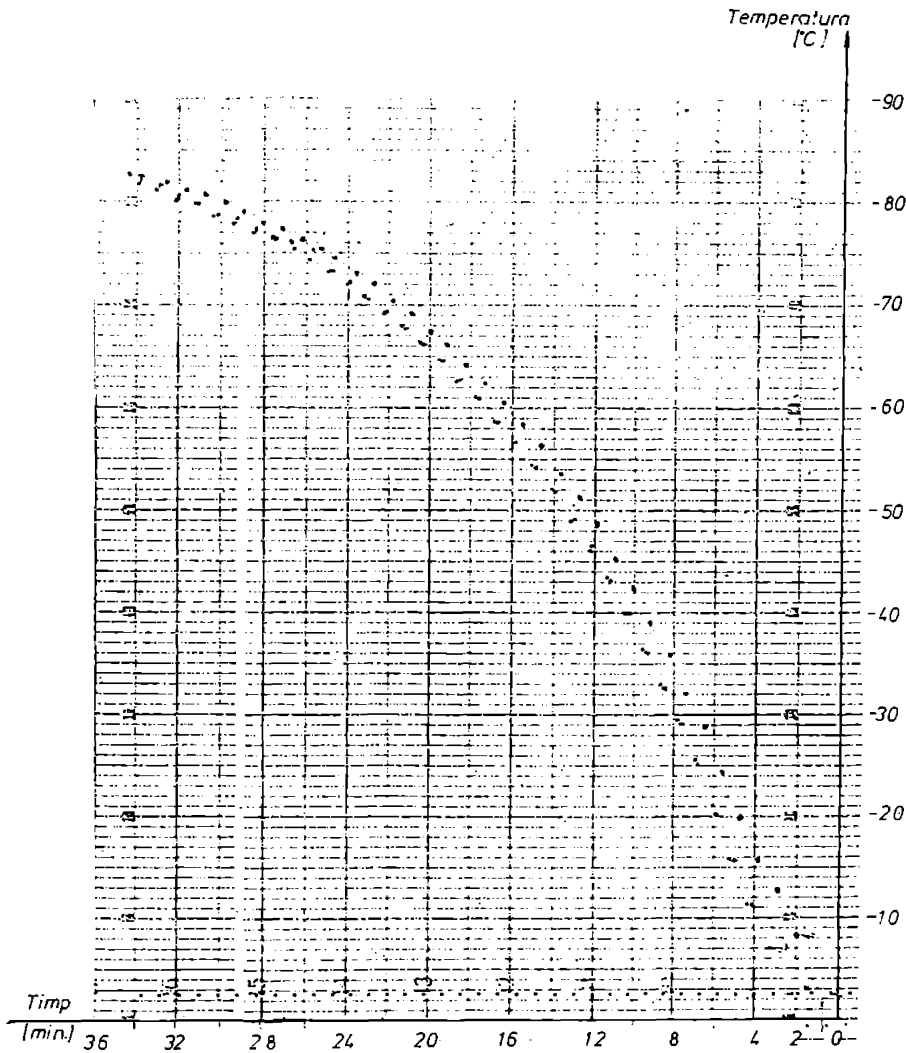


Fig.5.26. Diagrama de variație a temperaturii scăzute în funcție de timp, pentru epruveta de $\phi 20$ mm, la temperatura prescrisă de -80°C

Din analiza efectuată asupra diagramei de răcire obținute și pentru marca de oțel 34MoCrNi16X s-a constatat faptul că, dacă temperatura prescrisă are valori din ce în ce mai scăzute, viteza de răcire crește.

S-a experimentat și modalitatea de răcire a epruvetei, până la o anumită temperatură scăzută, cu utilizarea reglării prin temperaturi prescrise în trepte. În fig.5.27. sunt prezentate diagramele suprapuse, de variație a temperaturii scăzute în funcție de timp, pentru temperaturi prescrise în trepte, de -10°C ; -20°C ; -30°C ; -40°C ; -50°C și -65°C , în cazul utilizării epruvetei cu diametrul de 20 mm.

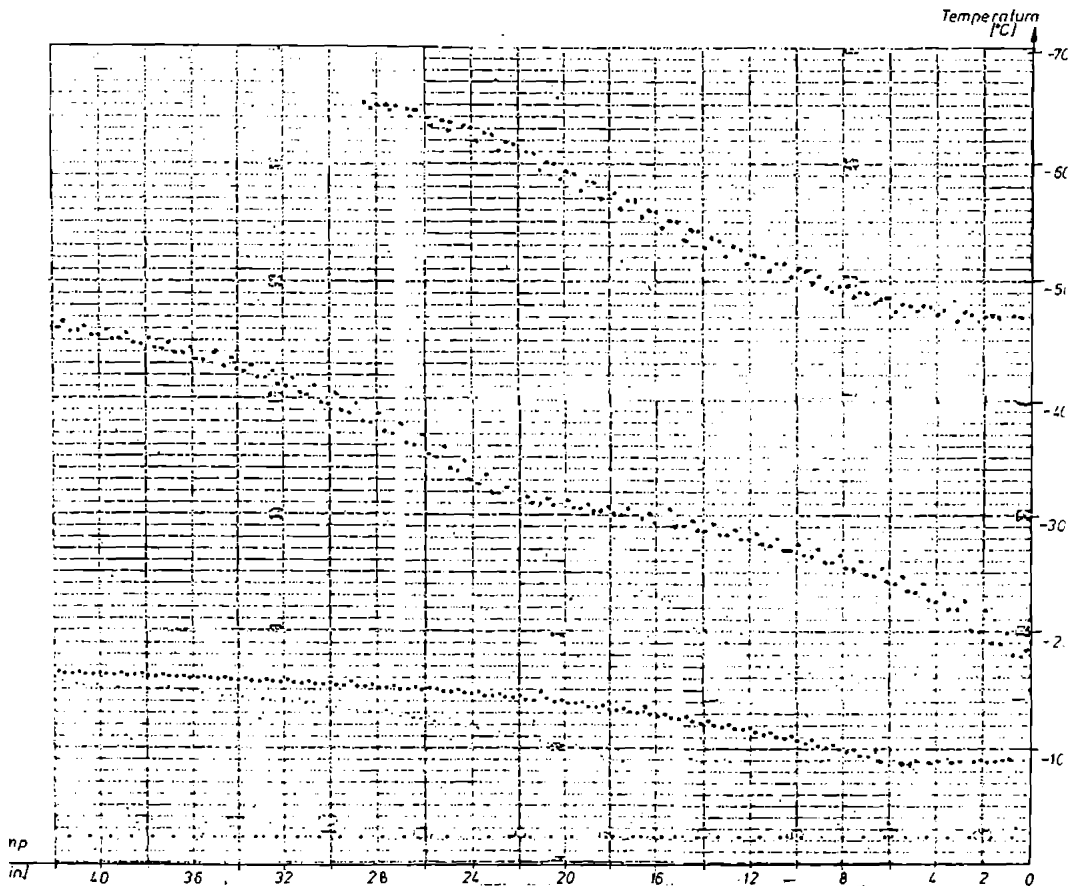


Fig.5.27. Diagramele de variație a temperaturii scăzute în funcție de timp, pentru epruveta de ϕ 20 mm, la temperaturi prescrise în trepte

Pentru temperaturile de -10°C respectiv -15°C au fost asigurați și timpi de menținere pentru care se observă că toate cele trei termorezistențe ale epruvetei indică o temperatură

riguros constantă, ceea ce arată că D.R.A.T.S. asigură în incinta frigorifică o temperatură reală egală cu cea prescrisă.

Analizând diagramele din fig.5.27. se constată că timpul necesar răcirii între -10°C și -15°C este de 10 minute; între -20°C și -30°C este de 16 minute; între -30°C și -40°C este de 12 minute; între -40°C și -50°C este de 20 minute, iar între -50°C și -65°C este de 20 minute.

Prin acest mod de obținere a unei temperaturi scăzute s-a demonstrat că timpul necesar este mult mai lung decât în situația în care s-a prescris direct respectiva temperatură. Avantajul utilizării acestui mod de răcire a epruvetelor constă într-un consum mai mic de agent frigorific (în cazul analizat este azotul lichid).

Aceleași experimentări s-au executat și în cazul utilizării incintei frigorifice destinate încercării la răsucire, în condiții de temperaturi scăzute, (vezi 4.2.3, fig.4.6.) care utilizează ca și

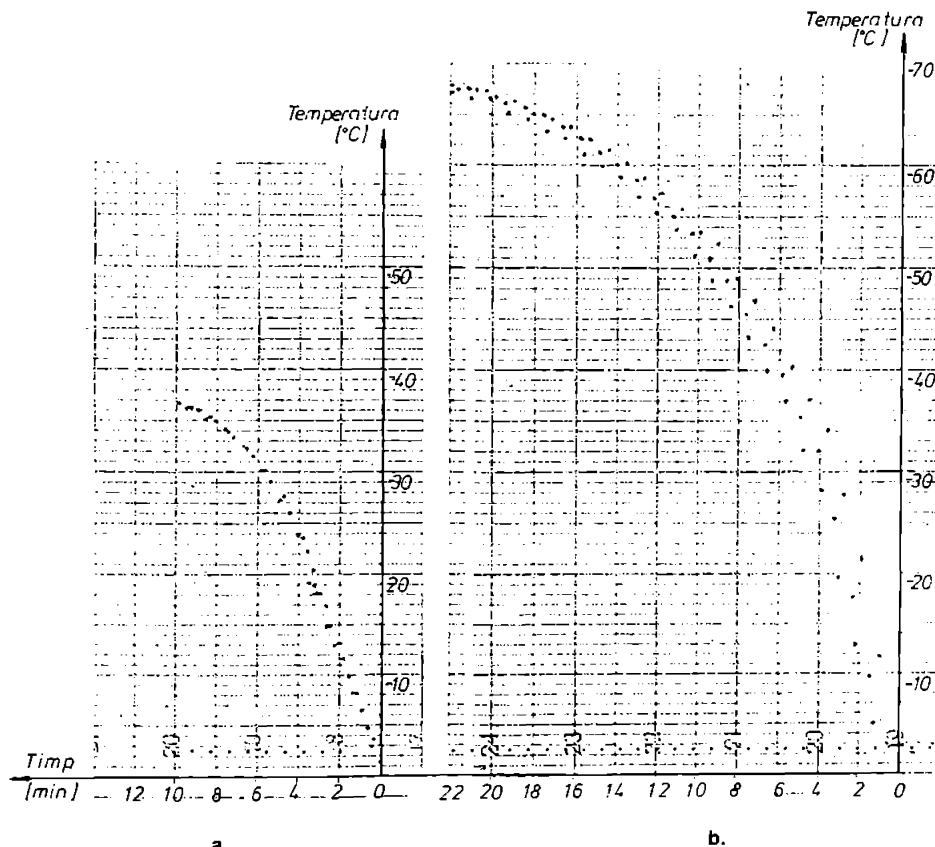


Fig.5.28. Diagramele de variație ale temperaturii scăzute în funcție de timp:
a-pentru epruveta de Φ 10 mm; b- pentru epruveta de Φ 20 mm.

agent frigorific azotul lichid, iar ca și agent de răcire vaporii de azot. Modul de presurizare al vasului Dewar și de înregistrare al temperaturilor scăzute este același ca și în cazul primei incinte frigorifice utilizate pentru experimentări.

Dintre diagramele obținute se prezintă spre exemplificare, cele obținute pentru epruveta de Φ 10 mm, la temperatura prescrisă de -40°C (fig.5.28.a), respectiv pentru epruveta de Φ 20 mm, la temperatura prescrisă de -65°C (fig.5.28.b). Ambele epruvete au fost realizate din marca de oțel **10Ni35R** după tratamentul termic de călire urmat de revenire.

Analizând comparativ diagramele obținute prin utilizarea celor două incinte frigorifice se constată că pentru epruveta de Φ 10 mm timpii necesari obținerii temperaturii de -40°C sunt aproximativ egali (10 min...12 min.), iar pentru epruveta de Φ 20 mm timpii necesari pentru obținerea unei temperaturi prescrise de -60°C sunt și ei sensibili egali (14 min...16 min.). Acest lucru arată că performanțele celor două incinte frigorifice utilizate sunt aproximativ aceleași, fapt justificat de volumele camerelor de lucru aproximativ egale, precum și de aceeași izolație termică folosită

Pe baza tuturor rezultatelor obținute experimental se pot trage următoarele concluzii:

- pentru mărcile de oțeluri utilizate (**34MoCrNi16X** respectiv **10Ni35R**) la studiul transferului termic, nu s-au constatat diferențe semnificative între timpii necesari pentru obținerea unei temperaturi scăzute prescrise;
- tratamentele termice aplicate aceleiași mărci de oțel (recoacere sau normalizare respectiv urmate de călire cu revenire înaltă) nu influențează substanțial timpul de realizare a temperaturii scăzute;
- la obținerea unei temperaturi scăzute într-un timp cât mai scurt, trebuie utilizată varianta prescrierii acelei temperaturi și nu varianta de prescriere a temperaturii în trepte;
- pentru stabilirea timpului în care se obține o anumită temperatură scăzută, astfel încât întreaga masă a epruvetei să aibă această temperatură, se impune pe lângă calculul timpului din modelarea matematică și determinarea experimentală a transferului termic;
- la încercările mecanice care utilizează epruvete în care se pot introduce termorezistențe (epruveta pentru încercările de duritate - vezi 6.5., fig.6.7.) fără a afecta realizarea încercării sau distrugerea termorezistenței este necesară urmărirea realizării temperaturii prescrise în întreaga masă a epruvetei, înainte de a se declanșa încercarea mecanică;
- pentru încercările mecanice la care se utilizează epruvete în care nu se pot introduce termorezistențe, pentru urmărirea realizării temperaturii scăzute, este necesar fie un

studiu inițial al transferului termic, fie introducerea în incinta frigorifică a unei epruvete special echipate cu termorezistențe prin care să se certifice realizarea temperaturii dorite în vederea declanșării încercării.

CAPITOLUL 6

EPRUVETE UTILIZATE ÎN CADRUL INVESTIGAȚIILOR EXPERIMENTALE

6.1. Noțiuni generale

Încercările materialelor în general, respectiv ale oțelurilor în particular, au scopul de a stabili proprietățile acestora în funcție de factorii de influență exteriori, stările de solicitare, temperatură, condițiile de exploatare etc.

Funcție de proprietățile materialelor care urmează a fi determinate, se utilizează încercări experimentale care pot fi grupate [6]; [42]; [66] în patru grupe principale:

- **Încercări mecanice**, prin care se evidențiază modul de comportare la diferitele acțiuni mecanice (rezistență, duritate, reziliență, fluaj, rezistență la oboseală etc.);
- **Încercări tehnologice**, prin care se determină modul de comportare la diferitele procedee de prelucrare (ambutisare, îndoire, refulare, prelucrabilitate prin așchiere, sudare etc.);
- **Încercări fizice**, prin care se stabilesc relațiile materialelor cu fenomenele fizice ce se petrec în natură (densitatea, greutatea specifică, conductivitatea termică, permeabilitatea, absorbția acustică etc.);
- **Încercări chimice**, prin care se determină capacitatea materialului de a reacționa sau de a rezista la acțiunea unor agenți chimici din mediul în care lucrează (rezistența la coroziune, rezistența la descompunere etc.). În cadrul încercărilor chimice sunt incluse și analizele de material prin care se delectează elementele constituente atât din punct de vedere calitativ cât și cantitativ.

Pentru cazul metalelor, la aceste încercări, se adaugă și examinările de structură (analizele metalografice) prin care se urmărește cunoașterea comportării la diverse acțiuni, în funcție de compoziția chimică și de structură.

Proprietățile materialelor sunt definite printr-o serie de **caracteristici**, specifice fiecărui grup de încercări și se prezintă calitativ prin **parametri** respectiv **indici** care se dau prin valori exprimate în unități de măsură specifice (de exemplu rezistența la tracțiune R_m se exprimă în $[N/mm^2]$ sau $[daN/cm^2]$).

Caracteristicile care determină proprietățile fizice și chimice respectiv constantele elastice (modulele de elasticitate și coeficientul lui Poisson) depind în exclusivitate de material.

Toate celelalte caracteristici mecanice și tehnologice depind, pentru un același material,

de forma și dimensiunile epruvetelor, de natura tratamentelor termice aplicate acestora, de metodele de încercare utilizate, de temperatura la care se execută încercarea etc. Având în vedere aceste elemente a fost necesar ca încercările mecanice și tehnologice să fie reglementate prin normative naționale (STAS-uri), iar în condiții speciale să fie încheiate prin convenție, între producător și beneficiar, norme specifice cu aplicabilitate limitată.

Încercările mecanice ale materialelor pot fi distructive și nedistructive. **Metodele distructive** constau în solicitarea unor epruvete până la epuizarea capacității lor de încărcare (ruperea acestora), urmărindu-se comportarea lor pe toată durata încercării, cu înregistrarea indicilor caracteristici, precum și modul respectiv aspectul ruperii. **Metodele nedistructive** se efectuează tot pe epruvete, dar fără a se produce ruperea sau spargerea în bucăți a acestora. Se urmărește determinarea caracteristicilor suprafețelor precum și punerea în evidență a naturii, mărimii și frecvenței discontinuităților din materiale (defecte interioare).

Modul de luare a probelor și condițiile de prelevare respectiv prelucrare a epruvetelor destinate încercărilor mecanice de rezistență sunt reglementate prin **STAS 7324 Luarea probelor din oțel pentru încercările mecanice**, respectiv prin standardele de produse sau Caietele de sarcini.

Proba este bucata luată dintr-un produs în scopul executării uneia sau mai multor epruvete.

Proba de tratament termic reprezintă bucata luată din probă în vederea executării tratamentului termic.

Epruveta este partea din probă sau din proba de tratament termic, având formă și dimensiuni determinate, adusă în starea prescrisă pentru a fi supusă unei încercări.

Observații:

1. În anumite cazuri epruveta poate fi însăși proba luată din produs (sârme, benzi, table, țevi etc.);
2. Pentru unele încercări nestandardizate sau în cazul unor lucrări de cercetare științifică, modul de prelevare a probelor și de execuție a epruvetelor, de o anumită formă și dimensiuni, sunt stabilite de comun acord între părți sau de către cercetători.

Epruvetele se prelucrează numai prin procedee de așchiere cu regimuri de așchiere astfel alese încât să se evite ecruisarea respectiv încălzirea excesivă a metalului. Calitatea suprafeței porțiunii calibrate trebuie să fie în concordanță cu prevederile din standardele metodelor de încercare.

O importanță deosebită o reprezintă și poziția de prelevare a epruvetei, longitudinal sau transversal față de direcția de laminare.

Pentru încercările mecanice efectuate de către producătorul de metal respectiv de către beneficiar este necesar să fie respectate cu strictețe condițiile de prelevare a epruvetelor, modul

de realizare a încercării (microclimat, mașini de încercare utilizate, vitezele de încărcare etc.) precum și prelucrarea respectiv interpretarea rezultatelor.

În cazul încercărilor la temperaturi scăzute se folosesc, în general, epruvete având forma și dimensiunile celor utilizate la încercările efectuate la temperatura ambiantă. Deoarece epruvetele sunt răcite în incinte frigorifice sau criostatate este necesar ca forma și dimensiunile capetelor de prindere să fie astfel executate încât să permită montarea acestora în fălcile de prindere ale mașinilor de încercare. Există situații când, între capetele epruvetelor și fălcile de prindere, trebuie să fie montate niște tije prelungitoare executate din metale rezistente la temperaturi scăzute.

Caracteristicile mecanice ale metalelor, obținute prin încercările efectuate pe epruvete supuse la solicitări, cât mai apropiate de condițiile de exploatare ale elementelor de rezistență, permit verificarea calitativă a materialului acestora, stabilirea limitelor maxime de solicitare, fiind elemente de bază care stau la dispoziția proiectantului respectiv a tehnologului.

6.2. Epruvete pentru încercarea la tracțiune

Încercarea la tracțiune monoaxială este o încercare de bază a unui material (oțel, în particular), deoarece oferă posibilitatea determinării unor caracteristici de rezistență respectiv de plasticitate în condiții relativ simple de realizare.

Starea de tensiune de la întinderea monoaxială este utilizată pentru echivalarea, pe baza anumitor criterii, cu o stare de tensiune oarecare ce poate apărea într-un element de rezistență (fapt cunoscut din teoria stărilor de tensiune limită).

Încercarea la tracțiune, reglementată prin normative [106]; [107], constă în aplicarea asupra unei epruvete a unei forțe axiale crescătoare, în general, până la ruperea acesteia (epuizarea capacității de încărcare) în vederea determinării uneia sau a mai multor caracteristici mecanice.

Evaluarea deformației epruvetei în funcție de forța de tracțiune se poate face [6] în două moduri:

- prin măsurarea creșterii distanței dintre două repere marcate pe porțiunea calibrată a epruvetei (lungimea inițială între repere L_0 respectiv lungimea ultimă între repere L_u) utilizând și curba numită **caracteristica epruvetei** [$F = f(\Delta L)$] trasată pe sistemul de înregistrare a mașinii de încercat. Variația deformației liniare măsurată pe caracteristica epruvetei include și deformațiile unor piese ale mașinii;
- prin utilizarea unui **extensometru** fixat la epruvetă între reperele situate la distanța L_0 , care măsoară numai deformația epruvetei. Pe măsură ce crește forța de tracțiune, la anumite intervale de timp, se face citirea indicațiilor extensometrului, iar trasarea

caracteristicii epruvetei se face prin puncte.

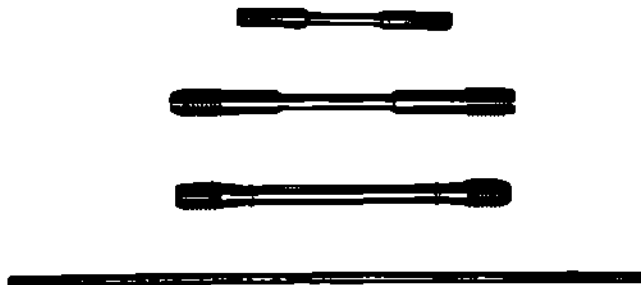
Comportarea materialului epruvetei privind solicitarea la tracțiune, se poate evalua din curba caracteristică a materialului (convențională sau reală) care exprimă legătura dintre tensiunea normală σ și deformația specifică (alungirea).

Forma și dimensiunile epruvetei trebuie să îndeplinească două condiții:

- epruveta să aibă dimensiuni suficient de mari pentru ca rezultatele încercării să nu fie influențate de comportamentul formațiunilor cristaline ale metalului și ca valoarea deformației liniare să se poată măsura cu precizie;
- să fie asigurată o zonă a epruvetei (porțiunea calibrată) în care starea de tensiune să fie omogenă.

Epruvetele utilizate pentru încercare la tracțiune în domeniul temperaturilor scăzute pot avea forma și dimensiunile reglementate prin normative [106]; [107] sau sunt specificate prin Caietele de sarcini respectiv normele interne ale producătorului de metal.

În poza 6.1. respectiv fig.6.1.sunt prezentate epruvetele folosite în cadrul experimentărilor.



Poza.6.1. Epruvete utilizate pentru încercarea la tracțiune în domeniul temperaturilor scăzute

Epruveta reprezentată în fig.6.1.a. are forma și dimensiunile stabilite prin norma internă privitoare la încercările mecanice care trebuie efectuate pentru oțelul cu destinație specială, marca 15VMoCr14X. Prin aceeași normă sunt stabilite și condițiile de elaborare și de tratament termic ale acestui oțel.

În fig. 6.1.b. se prezintă epruveta utilizată pentru încercarea la tracțiune pe mașina de încercat marca Wolpert echipată cu un dispozitiv de tip Amsler (vezi 3.2.1.). Lungimea porțiunii

calibrate este de 100 mm și se poate monta la această epruvetă un extensometru de construcție specială.

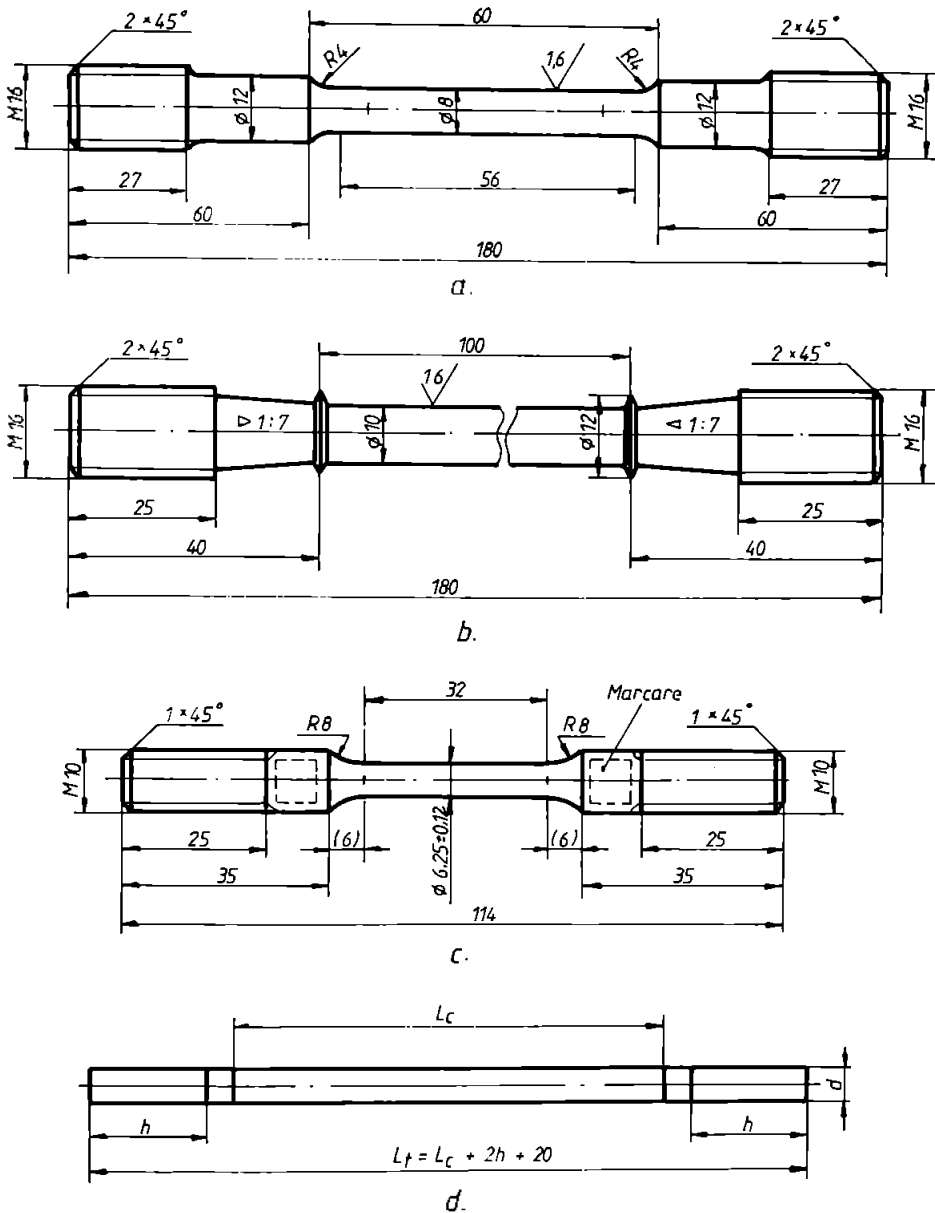


Fig. 6.1. Forma și dimensiunile epruvetelor folosite pentru încercarea la tracțiune, la temperaturi scăzute

Normele A.S.T.M. impun utilizarea unor epruvete de dimensiuni mici, prezentate în fig.6.1.c., care pot fi răcite în domeniul temperaturilor scăzute, folosind incinta frigorifică cu agent de răcire azot lichid pulverizat (vezi 4.2.1.2., fig.4.2.).

Pentru încercarea sârmelor la temperaturi scăzute se utilizează epruvete din sârmă având dimensiunile prezentate în fig.6.1.d. Răcirea acestora se realizează în incinta frigorifică cu agent de răcire gazos (vapori de azot) care a fost realizată de către autor (vezi 4.2.1.3., fig.4.3.).

6.3. Epruvete pentru încercarea la încovoiere prin șoc

Modul de prelevare, tipul epruvetei utilizate, numărul de epruvete, tratamentul termic aplicat (dacă este cazul) și orientarea lor sunt precizate în standardele de produse.

În funcție de marca de oțel se impune modul de obținere a probei și anume, fie din produs laminat fie din bară forjată.

Față de direcția fibrei de laminare, epruvetele pot fi **longitudinale, transversale, axiale, tangențiale sau radiale** [42]. La majoritatea oțelurilor, epruvetele pentru încercarea la încovoiere prin șoc sunt longitudinale. Pentru anumite mărci de oțeluri se utilizează la experimentări și epruvete transversale. Celelalte tipuri de epruvete fac, în general, obiectul unor lucrări de cercetare prin care se urmărește modul de variație a caracteristicilor mecanice la încovoierea prin șoc, funcție de locul, poziția și modul de prelevare.

Pentru oțelurile cu destinație specială, care lucrează în condiții de temperaturi scăzute, se folosesc epruvete longitudinale respectiv transversale, prelevate din produse laminate provenite din cap de lingou (A), mijloc de lingou (C) și picior de lingou (U).

Modul de obținere al epruvetelor transversale din produs laminat este prezentat schematic în fig.6.2.

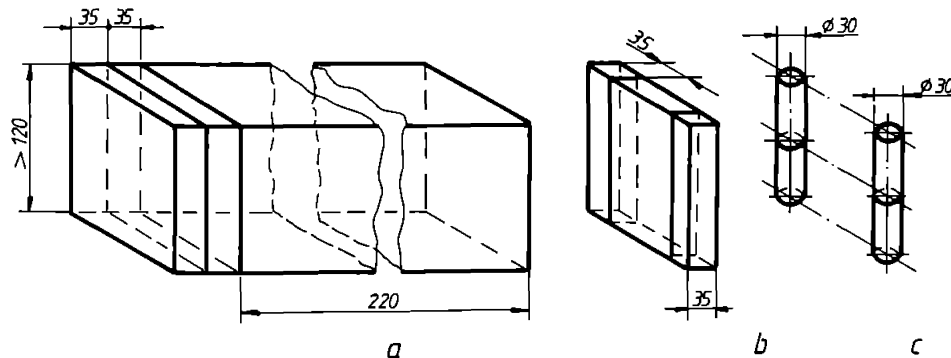


Fig.6.2. Schema modului de prelevare a epruvetelor transversale din produs laminat

Se detașează din produsul laminat, prin așchiere, două șaibe având grosimea de 35 mm (fig.6.2.a) din care apoi se prelucrează câte două probe cu grosimea de 35 mm, de la periferia șaibei (fig.6.2.b).

Din aceste probe se obțin prin strunjire, cilindrii cu diametrele de 30 mm (fig.6.2.c), care reprezintă probele de tratament termic (dacă este cazul unui tratament termic). Prin prelucrări mecanice ulterioare se realizează epruvetele transversale necesare încercărilor la temperatura ambiantă respectiv la temperaturi scăzute. Dacă sunt necesare mai multe epruvete, se vor utiliza mai multe șaibe, cărora li se aplică același regim de prelucrare.

Porțiunea de laminat cu lungimea de 220 mm (fig.6.2.a) este folosită pentru prelevarea epruvetelor longitudinale pentru încercarea la încovoiere prin șoc respectiv a epruvetelor pentru încercarea la tracțiune. Astfel, se detașează patru felii, 30 mm x 30 mm x 220 mm, de la periferia laminatului care devin probe de tratament termic (dacă este cazul) și apoi prin prelucrări mecanice se obțin epruvetele pentru tracțiune respectiv epruvetele longitudinale pentru încovoierea prin șoc.

Pentru anumite mărci de oțeluri, prin caiete de sarcini sau prin norme interne, se impune prelevarea epruvetelor longitudinale respectiv transversale (pentru încercarea la încovoiere prin șoc) din probe de tratament termic sub formă de bare forjate.

Debitarea și prelucrarea epruvetelor se execută numai prin procedee de așchiere. Crestătura U se obține prin găurire utilizându-se un dispozitiv adecvat, iar crestătura V se realizează prin prelucrare cu o freză profilată.

Forma și dimensiunile epruvetelor utilizate în cadrul experimentărilor efectuate se prezintă în fig.6.3.

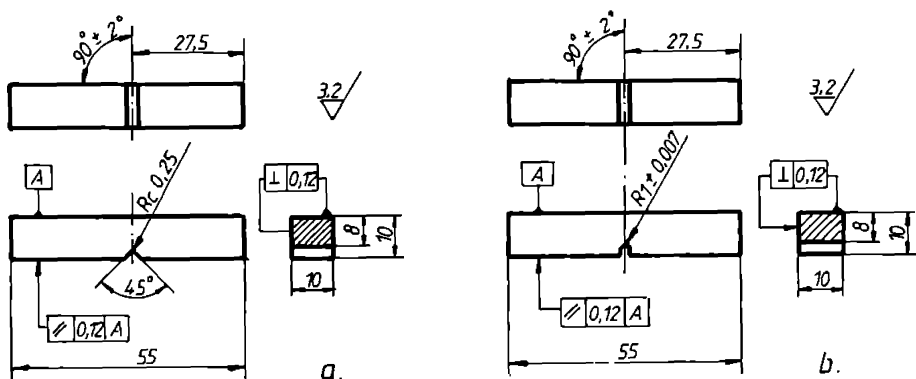


Fig.6.3. Epruvete utilizate pentru încercarea la încovoiere prin șoc: a-cu crestătură V; b-cu crestătură U

Răcirea epruvetelor în vederea încercării la încovoiere prin șoc se face într-una dintre incintele frigorifice realizate de către autor (vezi 4.2.2., fig.4.4. și fig.4.5.).

6.4. Epruvete pentru încercarea la răsucire

Deoarece încercarea la răsucire nu este reglementată printr-un normativ național, ea este mai puțin utilizată deși reprezintă principala metodă de determinare a caracteristicilor mecanice ale unui material sub acțiunea tensiunilor tangențiale. Efectuarea încercării se face pe baza unor norme stabilite între părți și se referă numai la anumite mărci de oțeluri din care se execută piese supuse în exploatare la solicitarea de răsucire.

Avantajul încercării constă în faptul că în timpul deformării, epruveta nu își modifică substanțial dimensiunile, iar condițiile încercării sunt aproximativ constante.

Scopul încercării constă în determinarea curbei caracteristice a materialului la răsucire, care reprezintă dependența tensiunii tangențiale τ de lunecarea specifică γ . Această curbă se obține prin prelucrarea diagramei trasate pe sistemul de înregistrare a mașinii de încercat și care reprezintă dependența dintre momentul de răsucire (M_t) și unghiul de răsucire (φ). De pe curba caracteristică a materialului la răsucire se pot determina limita de proporționalitate (τ_p), limita de elasticitate (τ_e), limita de curgere tehnică ($\tau_{0,2}$) respectiv rezistența la rupere (τ_r).

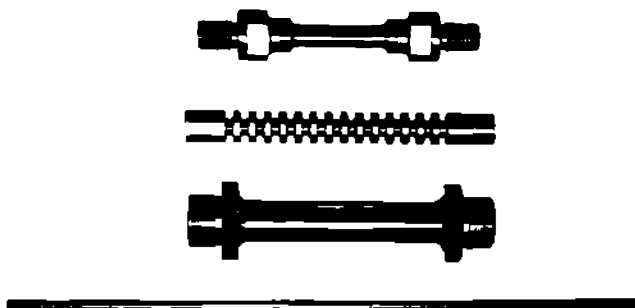
Forma și dimensiunile epruvetelor utilizate pentru încercarea la răsucire nu sunt unanim acceptate. Astfel, diverși autori [6]; [20]; [45]; [49]; [66] recomandă valori pentru lungimea epruvetei pe secțiunea calibrată, diametrul epruvetei (pentru cazul secțiunilor circulare), raportul dintre diametrul exterior și grosimea peretelui (pentru epruvetele tubulare). Aceste recomandări sunt prezentate în tabelul 6.1.

Tabelul 6.1.

Elementele geometrice ale epruvetelor utilizate pentru încercarea la răsucire

Forma secțiunii	Autorii lucrărilor de specialitate				
	[6] pag.63	[20] pag.354	[45] pag.67	[49] Volum I, pag 274	[66] pag.52
Circulară	$\frac{L}{d} = 10$	-	-	d = 20 mm L = 200 mm	$\frac{L}{d} = 4...8$
Inelară	$\frac{D}{s} = 10$ $\frac{L}{D} = 10$	$\frac{D}{s} = 8...10$ $\frac{L}{D} = 10$ <hr/> $\frac{D}{s} = 10...12$ $\frac{L}{D} = 5$	D = 31,4 mm d = 30 mm s = 0,7 mm L = 80 mm	D = 22 mm s = 1 mm L = 220mm	$\frac{D}{s} = 8...10$ $\frac{L}{D} = 10$

Având în vedere cele prezentate, autorul a adoptat pentru epruvete, dimensiuni care să se încadreze cât mai bine în aceste recomandări. Epruvetele utilizate în cadrul încercărilor la răsucire, în condiții de temperaturi scăzute, sunt prezentate în poza 6.2, iar forma și dimensiunile acestora sunt redată în fig.6.4.

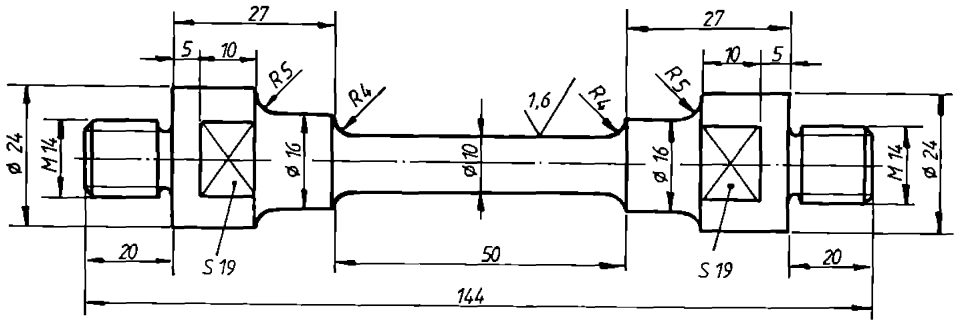


Poza 6.2. Epruvete utilizate pentru încercare la răsucire în domeniul temperaturilor scăzute

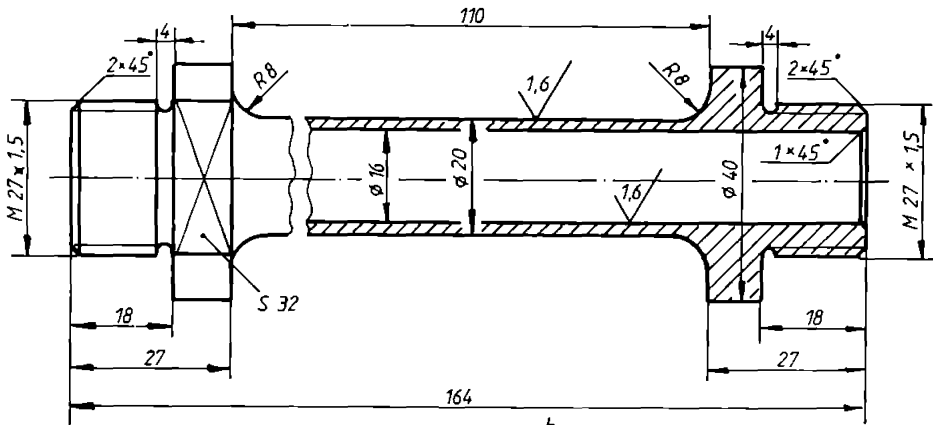
Epruveta de secțiune circulară (fig 6.4.a.) are porțiunea calibrată de lungime 50 mm și diametrul de 10 mm ($L / d = 10$), iar raza de racordare dintre această porțiune și capetele de prindere este de 4 mm. Capetele epruvetei au o porțiune filetată prin intermediul căreia se montează într-o reducție, care asamblată la un prelungitor asigură fixarea în dispozitivele de prindere ale mașinii de încercat.

Pentru a studia proprietățile oțelurilor în cazul "forfecării pure", s-au utilizat epruvete tubulare cu pereți subțiri care au forma și dimensiunile prezentate în fig.6.4.b. Astfel, porțiunea calibrată are lungimea de 110 mm, diametrul exterior de 20 mm, diametrul interior de 16 mm, iar grosimea peretelui de 2 mm ($L / d = 5,5$; $D / s = 10$). Raza de racordare dintre porțiunea calibrată și capetele de prindere este de 8 mm. S-a ajuns la adoptarea acestor dimensiuni pentru epruvetele tubulare, în urma unor încercări preliminare pe epruvete cu alte mărimi dimensionale. Un alt considerent l-a prezentat și condițiile mai dificile de realizare a unor epruvete tubulare de lungime mare și grosime mică a peretelui. Modul de fixare al epruvetei între dispozitivele de prindere ale mașinii de încercat este similar cu cel prezentat pentru epruvetele de secțiune circulară.

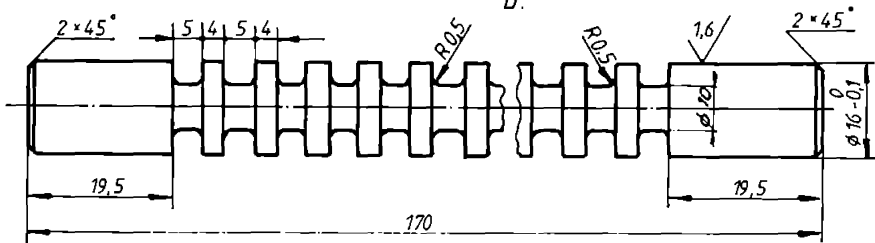
Pentru ca epruveta tubulară să nu își piardă stabilitatea în timpul încercării la răsucire, se introduce în ea un miez având forma și dimensiunile prezentate în fig.6.4.c. Aceasta are la capete două porțiuni cilindrice, iar la partea centrală este prelucrat astfel încât să se obțină



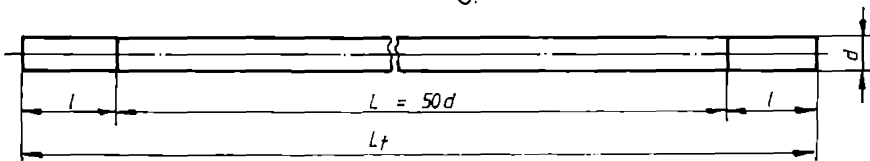
a.



b.



c.



d.

Fig.6.4. Forma și dimensiunile epruvetelor folosite pentru încercarea la răscuire în domeniul temperaturilor scăzute

ghidarea epruvei pe niște porțiuni inelare. Ajustajul realizat între alezajul epruvei și miez este unul alunecător.

Răcirea epruvetelor pentru încercarea la răsucire, în domeniul temperaturilor scăzute, se realizează într-o incintă realizată de către autor (vezi 4.2.3., fig.4.6.) și care se montează la mașina de încercare tip MODEL TAD III.

Pentru determinarea capacității de deformare plastică a sârmei metalice, cu dimensiunea nominală (diametrul nominal al sârmei de secțiune circulară d sau a dimensiunii caracteristice a sârmei de secțiune necirculară D) cuprinsă între 0,3 mm și 10 mm, prin solicitarea la răsucire, se utilizează reglementările din *SR ISO 9649:1996 Încercarea la răsucire alternantă* și respectiv din *STAS 1750-90 Încercarea la răsucirea sârmelor*.

Încercarea constă din solicitarea la răsucire a unei epruvete de sârmă, în jurul axei sale, până la rupere sau până la un număr de răsuciri specificate în standardul de produs. Executarea încercării se poate realiza fără schimbarea de sens (răsucire simplă) sau cu schimbare de sens (răsucire alternantă - răsucire urmată de dezrăsucire).

Simbolurile utilizate la încercarea la răsucire a sârmelor sunt prezentate în fig.6.5. Numărul de răsuciri simple se notează cu N_i , iar numărul de răsuciri urmate de dezrăsuciri prin N_r / N_{dr} .

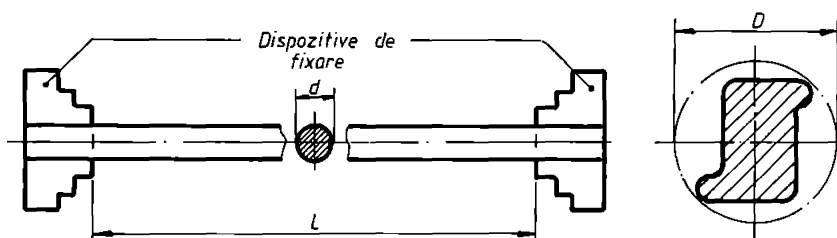


Fig.6.5. Forma și simbolizarea dimensiunilor epruvei utilizate la răsucirea sârmelor.

Epruveta (fig.6.4.d.) este o bucată de sârmă dreaptă, fără defecte vizibile de suprafață. Îndreptarea epruvei (dacă este necesară) se realizează cu mâna sau cu ajutorul unui ciocan respectiv un suport de lemn, cupru sau material plastic.

Lungimea epruvei între dispozitivele de fixare respectiv turația de răsucire sunt stabilite în funcție de dimensiunea nominală a secțiunii, fiind reglementate prin standardul de produs, iar în lipsa unor astfel de specificații trebuie să aibe valorile prezentate în tabelul 6.2

Numărul epruvetelor utilizate este de minimum 3, dacă nu există altă specificație în standardul de produs.

Încercarea se execută, de regulă, în condițiile atmosferei ambiante (temperatura cuprinsă între 10°C și 35°C).

Tabelul 6.2.

Lungimea activă a epruvetelor și turația de răsucire

Diametrul nominal (d) sau dimensiunea caracteristică (D)	Lungimea activă (L) reglementată prin		Turația de răsucire		
	SR ISO 9649:1996 STAS 1750-90	Acord între părți	oțel	Cupru și aliaje de cupru	Aluminiu și aliaje de aluminiu
[mm]	[mm]		[rot/s]		
$0.3 \leq d(D) < 1$	200· d(D)		3	5	1
$1 \leq d(D) < 5$	100· d(D)	50· d(D)	1	2..1	
$5 \leq d(D) < 10$	50· d(D)	30· d(D)	0,5	0,5	

Condițiile privind aspectul epruvetei încercate se referă la următoarele elemente.

a) **Aspectul rupturii:** ruptura netedă perpendiculară pe axa sârmei (ruptură de răsucire prin deplasare); ruptură oblică respectiv ruptură în trepte;

b) **Aspectul deformației de răsucire:** răsucire uniformă sau neuniformă pe toată lungimea epruvetei;

c) **Aspectul suprafeței epruvetei :** suprafața netedă sau cu asperități respectiv existența defectelor (fisuri, pori, incluziuni etc.).

Observație. În cadrul lucrării au fost efectuate încercări la răsucire a sârmelor în condiții de temperaturi scăzute, urmărindu-se stabilirea unei metodologii de încercare. Pentru aceasta, autorul a proiectat și realizat un stand experimental (vezi 7.4.2.2) și o incintă frigorifică (vezi 4.2.3., fig.4.6.), adaptată standului, care utilizează ca și agent de răcire vapori de azot lichid.

6.5. Epruvete pentru încercarea de duritate

Duritatea este definită [117] ca proprietate a unui material de a se opune solicitărilor de contact statice sau dinamice, care produc localizat deformarea sau/și deteriorarea suprafeței unui corp (element de rezistență).

Duritatea este o mărime convențională având un caracter complex, care furnizează date obținute într-un timp relativ scurt, cu privire la deformabilitatea unui material la nivelul straturilor superficiale, în anumite condiții de lucru bine determinate.

Încercările de duritate sunt încercări mecanice nedestructive; deosebirile între diferitele metode utilizate constau în: forma penetratorului; modul de acționare a forței care provoacă pătrunderea acestuia precum și modalitatea de exprimare a caracteristicii de duritate. Forța de încărcare (sarcina de apăsare) poate acționa static (viteza de acționare sub 1 mm/s) sau dinamic (viteza de acționare peste 1 mm/s). Caracteristica de duritate este o mărime convențională de

apreciere a durității unui material utilizând o metodă de încercare care este definită prin materialul și forma penetratorului, mărimea și modul de acționare a sarcinii de apăsare precum și de scara de evaluare a durității.

Metodele statice pentru determinarea durității se deosebesc între ele prin forma penetratorului utilizat, condițiile de lucru și modul de apreciere a durității după dimensiunile caracteristice ale amprentelor (urmelor). Cele mai utilizate metode de încercare statice ale durității sunt: **Brinell**, **Rockwell** și **Vickers**.

Metodele dinamice utilizate sunt clasificate în: **dinamo-plastice** (încărcare dinamică, iar evaluarea durității prin măsurarea urmelor produse - metodele **Baumann**, **Poldi** etc.) respectiv **dinamo-elastice** (aprecierea durității prin măsurarea înălțimii sau a unghiului de ricoșare - metodele **Shore** respectiv **Leesen-Duroscop**).

Prin caracteristica de duritate se poate aprecia și calitatea unor tratamente termice, termochimice sau mecanice aplicate respectivului sortiment de metal.

Toate metodele prezentate sunt reglementate prin standarde sau normative și se referă la încercările de duritate executate în condiții de temperatură ambiantă. Unele dintre metode se pretează a fi utilizate și în condiții de temperaturi scăzute și joase, menținându-se principiul metodei și utilizând un sistem de răcire care trebuie să îndeplinească următoarele condiții: scăderea temperaturii la nivelul dorit; uniformizarea acesteia în întreaga masă a epruvetei și menținerea constantă a temperaturii pe întreaga durată a încercării.

La alegerea metodei de încercare a durității la temperaturi scăzute este necesar să se țină cont de o serie de considerente ca:

- dacă suprafața elementului de rezistență poate fi explorată prin urme de duritate;
- natura materialului supus încercării;
- domeniul durității probabile;
- precizia urmărită prin încercare;
- sistemul de răcire utilizat (incinta frigorifică, agentul frigorific, sistemul de reglare și menținere a temperaturii scăzute).

Dintre metodele statice de determinare a durității, la temperaturi scăzute, se poate utiliza metoda **Brinell** deoarece durometrele permit selectarea unei anumite sarcini de apăsare (1,839 kN; 2,452 kN; 4,903 kN; 9,807 kN; 14,71 kN și 29,42 kN) și utilizarea unui penetrator de un anumit diametru (2,5 mm; 5 mm respectiv 10 mm), realizându-se astfel diferite valori ale **gradului de solicitare** $k = 0,102 F/D^2$; (2,5; 5; 10; 15 sau 30). În anumite situații, când dotările laboratorului permit, se pot utiliza pentru încercările la temperaturi scăzute și metodele **Rockwell** respectiv **Vickers**.

Dacă determinarea durității nu se poate face prin măsurarea dimensiunilor unor amprente.

atunci se poate utiliza, din categoria metodelor dinamice cea dinamo-elastică bazată pe măsurarea înălțimii de ricoșare (metoda Schore). Această metodă de apreciere a durității prezintă avantajul unui timp relativ scurt al încercării, dă posibilitatea de a efectua determinările în afara incintei frigorifice, dar prezintă dezavantajul unei precizii relativ scăzute.

Trebuie menționat faptul că, până în prezent, încercările de duritate la temperaturi scăzute nu sunt reglementate prin normative naționale (STAS-uri) sau europene (EN-uri). Puținele cercetări întâlnite în literatura de specialitate [8] au drept scop stabilirea unor corelații între caracteristica de duritate, la temperaturi scăzute și alte caracteristici mecanice de material obținute la aceleași temperaturi (de exemplu: corelația dintre duritate și reziliența la temperaturi scăzute).

Încercarea durității după metoda Brinell constă din apăsarea, perpendicular pe suprafața plană și lustruită a epruvetei (corpul de examinat) a unui penetrator (bilă de oțel călit sau bilă de carbură metalică) având diametrul D , cu o forță F aplicată static, apoi menținerea acesteia un timp bine determinat (10...15 s). După înlăturarea forței de încercare pe suprafața epruvetei rămâne o amprentă, sub forma unei calote sferice (cu diametrul egal cu cel al bilei). La suprafața epruvetei, amprenta are diametrul d (considerat ca și valoare medie, dintre doi diametri ai urmei, măsurați după direcții perpendiculare). Schema de principiu a încercării de duritate după metoda Brinell este prezentată în fig.6.6.

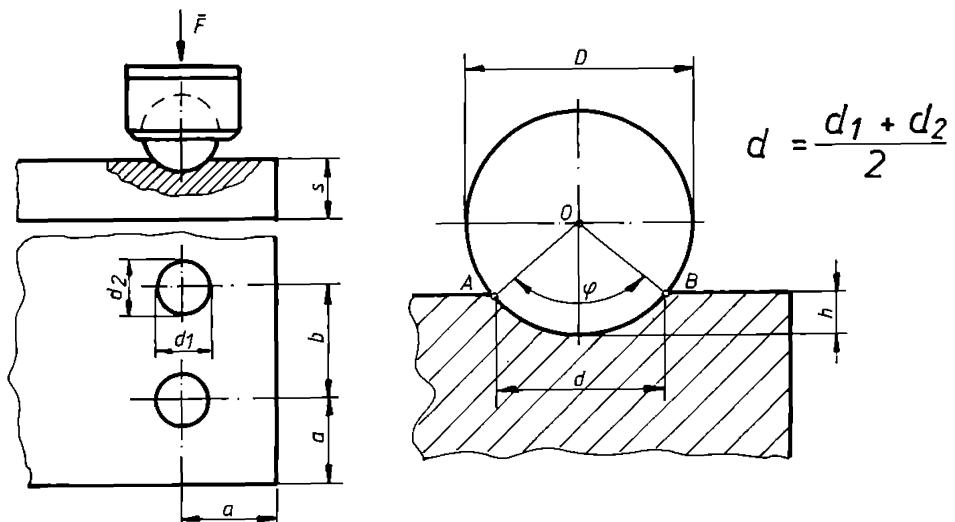


Fig.6.6. Schema de principiu a încercării de duritate Brinell

La stabilirea parametrilor încercării și a dimensiunilor epruvetei s-au avut în vedere reglementările date prin *SR EN 10003-1:1997 Încercarea de duritate Brinell Partea 1: Metodă de încercare* care înlocuiește *STAS 165-83*.

Duritatea Brinell se notează cu **HBS** (când se utilizează o bilă de oțel călit) respectiv **HBW** (când se utilizează o bilă de carbură de wolfram) și este dată de relația:

$$\text{HBS (HBW)} = \text{constanta} \cdot \frac{\text{Sarcina de încercare}}{\text{Aria amprenteii}} = 0,102 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})};$$

în care: forța F exprimată în [N]; diametrul bilei D și diametrul mediu al amprenteii d exprimate în

$$[\text{mm}]; \text{constanta} = \frac{1}{g_n} = \frac{1}{9,80665} = 0,102$$

Simbolul **HBS** sau **HBW** este precedat de valoarea durezzații și este urmat de un indice care reprezintă diametrul bilei [mm], sarcina de apăsare [kgf] și durata de menținere a sarcinii [s]. În cazul condițiilor de încercare $D = 10$ mm, $F = 3000$ kgf (29,42 kN) și durata de menținere a sarcinii 10...15s, se utilizează simbolul simplificat **HBS** (sau **HB**) respectiv **HBW**.

Mărimea sarcinii de apăsare și diametrul bilei trebuie astfel alese încât să fie îndeplinite următoarele condiții.

- diametrul mediu, d , al amprenteii să fie cuprins între valorile $0,24D$ și $0,6D$;
- adâncimea amprenteii h , exprimată în [mm] și dată de relația $h = 0,5(D - \sqrt{D^2 - d^2})$ trebuie să fie cel mult $1/8$ din grosimea epruvetei.

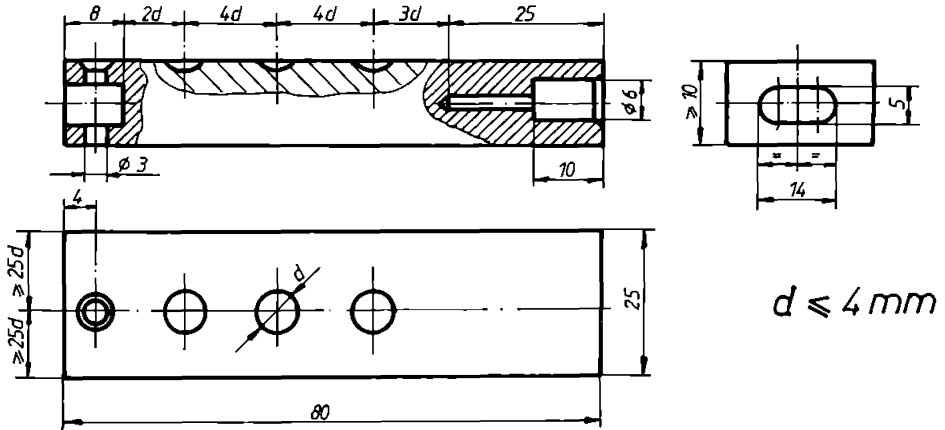


Fig.6.7. Forma și dimensiunile epruvetei pentru încercarea de duritate după metoda Brinell

Pentru a putea compara valorile durezzații Brinell, pentru același material, stabilite cu bile și sarcini de apăsare diferite, se utilizează similitudinea geometrică asigurată de unghiul ϕ (fig.6.6)

identic la toate amprentele. S-a introdus astfel noțiunea de grad de solicitare $k = 0,102 F/D^2$ care asigură egalitatea rapoartelor $F_1/D_1^2 = F_2/D_2^2 = \dots F_n/D_n^2 = \text{ct.}$

Distanța dintre centrul unei amprente și marginea epruvetei trebuie să fie $a \geq 2,5d$ (pentru duritate ≥ 150 HB) respectiv $a \geq 3d$ (pentru materiale cu duritatea <150 HB).

Distanța dintre centrele a două amprente alăturate trebuie să fie $b \geq 4d$ (pentru duritate ≥ 150 HB) respectiv $b \geq 6d$ (pentru materiale cu duritatea <150 HB).

Ținându-se cont de recomandările prezentate și admitând că duritatea oțelurilor luate în studiu, la temperaturi scăzute, este mai mare de 200 HB, se adoptă diametrul mediu al amprentei $d \leq 4$ mm și diametrul bilei de oțel $D = 10$ mm pentru care rezultă: $a \geq 2,5 \cdot 4 = 10$ mm, $b \geq 4 \cdot 4 = 16$ mm și grosimea minimă a epruvetei $s_{min} = 3,34$ mm (Tabelul A.1. din SR EN 10003-1:1997). Utilizând aceste elemente geometrice și ținând cont că se efectuează câte trei amprente pentru fiecare temperatură scăzută de încercare, iar la capetele epruvetelor sunt prevăzute orificii pentru introducerea unei termorezistențe respectiv pentru fixarea tijeii cu ajutorul căreia se asigură poziționarea epruvetei în incinta frigorifică s-au adoptat dimensiunile de gabarit $L \times l \times s = 85 \times 25 \times 10$ reprezentate în fig.6.7.

6.6. Tratamentele termice aplicate materialelor epruvetelor

Pentru încercările mecanice efectuate în domeniul temperaturilor scăzute s-a utilizat o gamă largă de oțeluri: **8Ni90**; **15VMoCr14X**; **34MoCrNi15X-M**; **34MoCrNi16X**; **34MoCrNi15X-R.S**; **10Ni35**; **10N35R** și **OL37-2k**.

Prelevarea probelor, a probelor de tratament termic respectiv a epruvetelor s-a făcut din produse laminate sau bare forjate, în funcție de recomandările standardelor de produse sau din cele prevăzute în Caietele de sarcini respectiv normele interne.

1. Marca de oțel **8Ni90** este cuprinsă în categoria oțelurilor înalt aliate cu nichel (9%Ni). Oțelul a fost elaborat și omologat pentru a servi la realizarea unor elemente de rezistență puternic sollicitate, destinate să lucreze în condiții de temperaturi scăzute și joase.

Probele au fost prelevate din bare laminate, iar probele de tratament termic s-au obținut prin forjare în bare de $\phi 35 \times 700$. După forjare barele au fost supuse unui tratament de recoacere și apoi au fost eboșate epruvetele. Acestea au urmat un tratament termic de călire și apoi o revenire. Parametrii regimurilor de tratament termic au fost prezentați în contractul de cercetare [91] a cărui beneficiar a fost S.C. "SIDERURGICA" S.A Hunedoara. După tratamentul termic s-au prelucrat epruvetele prin așchiere, la dimensiunile finale ale acestora.

2. Oțelul **15VMoCr14X** face parte din clasa oțelurilor Cr-Mo-V, fiind utilizat pentru elemente de rezistență care lucrează în condițiile unei game largi de temperatură ($-75^{\circ}\text{C} \dots +500^{\circ}\text{C}$).

Pentru încercările la tracțiune respectiv la încovoiere prin șoc au fost prelevate probe din tagle (produs laminat) de $\phi 80$ mm, starea de livrare 5 și apoi forjate în bare de $\phi 30 \times 250$. Probele

de tratament termic astfel obținute, au fost supuse tratamentelor termice prezentate în tabelul 6.3.

Tabelul 6.3.

Tratamentele termice aplicate oțelului 15VMoCr14X

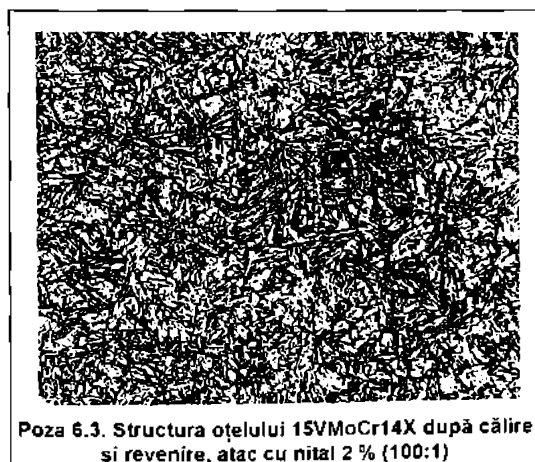
Recoacere		Călire		Revenire	
Temperatura [°C]	Mediul de răcire	Temperatura [°C]	Mediul de răcire	Temperatura [°C]	Mediul de răcire
860...900	cuptor	975...1000	ulei	550...700	ulei

La tratamentul termic de recoacere, probele au fost răcite în cuptor pentru a se asigura o viteză mică și uniformă de răcire a barelor forjate, în scopul obținerii unei structuri omogene, cât mai apropiate de structura de echilibru.

Încălzirea în vederea tratamentului termic de călire s-a executat într-o instalație cu băi de săruri ($BaCl_2$) în scopul asigurării temperaturii de austenitizare cât mai precisă și mai uniformă, pe secțiunea probelor. Mediul de răcire a fost uleiul TT50.

Pentru tratamentul termic de revenire, încălzirea s-a efectuat într-un cuptor electric cu încălzire după toate direcțiile (vatră, boltă și pereți laterali), iar răcirea s-a făcut în ulei.

Structura finală a oțelului după recoacere (temperatura de încălzire 900°C cu răcire în



cuptor), călire (temperatura de încălzire 975°C cu răcirea în ulei) și revenire (temperatura de încălzire de 640°C cu răcirea în ulei) se prezintă în poza 6.3. Se constată, în structură, o cantitate de 60% martensită și 40% troostită, la o mărime a grăuntelui $N = 6$.

După efectuarea tratamentelor termice, din probele respective s-au executat epruvele pentru încercare la tracțiune (vezi fig.6.1.a.) respectiv la încovoiere prin șoc (vezi fig.6.3.b.)

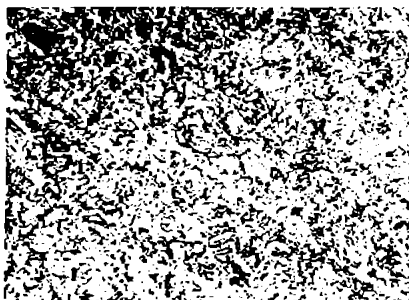
3. Oțelul 34MoCrNi15X-M face parte din categoria oțelurilor aliate superior, pentru îmbunătățire, destinate fabricării de organe de mașini, având adâncimi de călire garantate conform benzii de călibilitate a mărcii. Marca 34MoCrNi15X-M s-a utilizat pentru realizarea osiilor boghiurilor de la vagoanele metroului bucureștean.

Elaborarea oțelului se realizează în cuptoare electrice cu arc și după laminarea în bare se efectuează obligatoriu retopirea sub strat de zgură (R.E.Z. - vezi 2.5.3. și fig.2.6.).

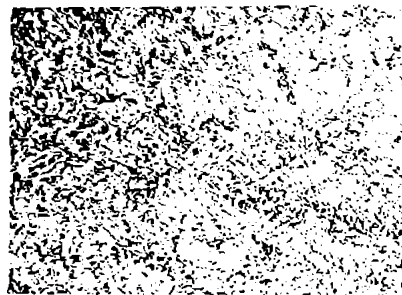
Încercările mecanice pentru această marcă de oțel, cu destinație specială, au făcut obiectul unui contract de cercetare [92] a căru beneficiar a fost S.C."SIDERURGICA" S.A. Hunedoara. S-a executat încercarea la tracțiune la temperatura ambiantă respectiv încercarea la încovoire prin șoc la temperaturi scăzute pe epruvete prelevate longitudinal respectiv transversal (față de direcția fibrelor de laminare).

Prelevarea probelor s-a realizat dintr-o bară cu profil pătrat având latura de 250 mm, obținută prin R.E.Z., după care s-a procedat la forjarea lor în bare cu diametrul de 25 mm respectiv în bare de secțiune pătrată cu latura de 60 mm și lungimea de 300 mm, obținându-se astfel probele de tratament termic (conform specificațiilor din Caietul de sarcini). Barele de secțiune circulară au servit la obținerea epruvetelor pentru tracțiune, respectiv a epruvetelor longitudinale necesare încercării la încovoire prin șoc. Din barele de secțiune pătrată s-au debitat șaibe cu grosimea de 20 mm; din fiecare șaibă s-au obținut câte două probe de tratament termic din care au rezultat epruvetele transversale necesare încercării la încovoire prin șoc.

După forjare, probele de tratament termic au fost supuse unei recoaceri la temperatura de 720°C, cu răcirea în cuptor în vederea descompunerii structurilor dure, neomogene într-un amestec globular de tip sorbitic, ușor prelucrabil.



Poza 6.4. Structura oțelului 34MoCrNi15X-M, după recoacere, atac cu nital 2%, (100:1)



Poza 6.5. Structura oțelului 34MoCrNi15X-M, după îmbunătățire; atac cu nital 2 %, (100:1)

Structura rezultată în urma tratamentului de recoacere, conform pozei 6.4, este formată dintr-un amestec uniform distribuit de ferită aliată și cementită globulizată.

După recoacere, probele de tratament termic au fost eboșate și apoi supuse tratamentului termic final. Astfel, s-a efectuat un tratament de călire martensitică volumică urmată de o revenire înaltă; călirea s-a realizat la o temperatură de încălzire de 850°C cu răcire în ulei, iar revenirea la o temperatură de 540° și răcirea în ulei, cu specificarea că timpul de revenire a fost de 45 minute. Structura rezultată în urma îmbunătățirii este formată, conform pozei 6.5., din sorbită de revenire, constituent care asigură o îmbinare optimă între caracteristicile de rezistență mecanică și de plasticitate.

Datorită prezenței elementelor de aliere în oțel, procesul de coalescență a carburilor este încetinit, măriindu-se astfel gradul de dispersie al carburilor aliate.

Din probele de tratament termic se execută apoi epruvetele necesare încercărilor mecanice.

4. Oțelul **34MoCrNi16X** este un oțel aliat superior, prelucrat prin deformare plastică și utilizat în stare tratată termic pentru fabricarea de organe de mașini (biele, arbori cotiți, fuzete, roți dințate de dimensiuni mari, etc.). Compoziția chimică, caracteristicile mecanice, tratamentul termic aplicat etc. sunt reglementate prin **STAS 791-88 Oțeluri aliate pentru tratament termic, destinate construcției de mașini**.

Din această marcă de oțel s-au prelevat epruvete pentru încercările în domeniul temperaturilor scăzute la: încovoierea prin șoc, răsucire respectiv de duritate.

Caracteristicile mecanice se determină pe epruvete prelevate din probe de tratament termic, realizate prin forjare. Probele se obțin din bare laminate.

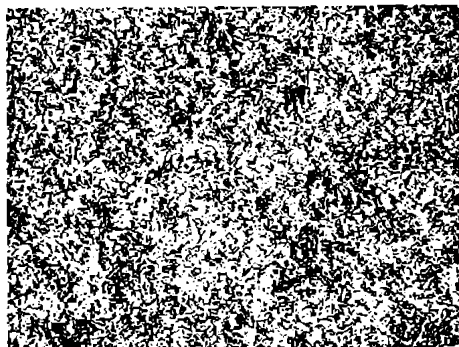
Tratamentele termice aplicate probelor din această marcă de oțel sunt prezentate în tab. 6.4.

Tabelul 6.4.

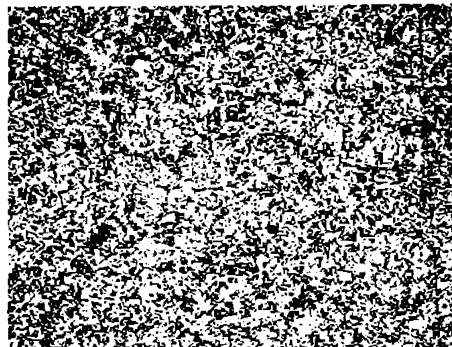
Tratamentele termice aplicate oțelului 34MoCrNi16X

Recoacere		Călire		Revenire	
Temperatura [°C]	Mediul de răcire	Temperatura [°C]	Mediul de răcire	Temperatura [°C]	Mediul de răcire
650...700	cuptor	830...860	ulei	540...680	ulei

Structura rezultată în urma tratamentului de recoacere este prezentată în poza 6.6, iar structura finală (după călire și revenire) în poza 6.7.



Poza 6.6. Structura oțelului 34MoCrNi16X după recoacere; atac cu nital 2%, (100:1)



Poza 6.7. Structura oțelului 34MoCrNi16X după călire și revenire; atac cu nital 2%, (100:1)

Structura după recoacere este formată dintr-o masă de bază feritică, având în ea carburi fin repartizate.

După tratamentul termic de călire urmată de revenire, în structură se observă carburi fin repartizate pe un fond format din martensită și constituenți intermediari (de revenire).

5. Oțelul **34MoCrNi15X-R.S.** este utilizat pentru realizarea racordurilor sudate. Spre deosebire de celelalte mărci de oțeluri prezentate, determinarea caracteristicilor mecanice se face pe epruvete obținute din probe de tratament termic prelevate din probe laminate.

Prin caietul de sarcini se impune realizarea următoarelor încercări mecanice: la tracțiune executată la temperatura ambiantă și la încovoiere prin șoc pe epruvete longitudinale respectiv transversale, la temperatura ambiantă precum și la temperaturi scăzute.

Din produsul laminat se detașează șaibe cu grosimea de 35 mm și felii periferice cu secțiunea pătrată având latura de 35 mm și lungimea de 220 mm. Probele de tratament termic pentru epruvetele transversale utilizate la încovoierea prin șoc se obțin din șaibe (eboșare la ϕ 30 mm). Din fâșiile periferice (eboșate la ϕ 30 mm) se obțin probele de tratament termic din care se prelucrează epruvetele pentru încercarea la tracțiune respectiv epruvetele longitudinale pentru încovoierea prin șoc

Tratamentul termic aplicat constă dintr-o călire urmată de o revenire. Temperatura de încălzire și mediul de răcire sunt aceleași ca și la oțelul **34MoCrNi16X** (vezi tabelul 6.4.)

6. Mărcile de oțeluri **10Ni35** și **10Ni35R** fac parte din categoria oțelurilor mediu aliate cu nichel, fiind utilizate pentru realizarea unor elemente de rezistență care lucrează la temperaturi scăzute. Astfel, din oțelul **10Ni35** se fabrică țevi utilizate la temperaturi scăzute [121], iar din **10Ni35R** se realizează și elemente pentru cazane respectiv recipienti sub presiune [122].

Caracteristicile mecanice se determină pe probe de tratament termic realizate prin forjare. Din marca de oțel **10Ni35** s-au prelevat epruvete longitudinale pentru încercare la încovoiere prin șoc, iar pentru **10Ni35R** s-au realizat epruvete pentru încercările la răsucire, încovoiere prin șoc respectiv de duritate.

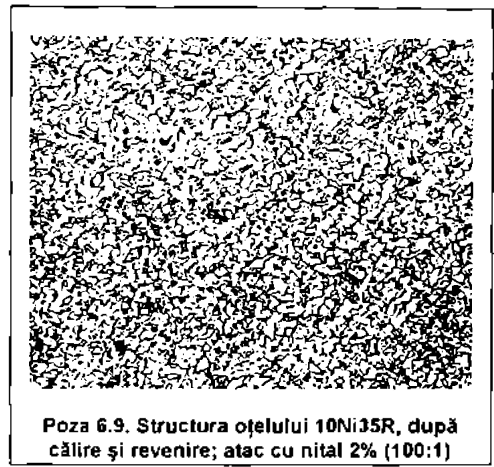
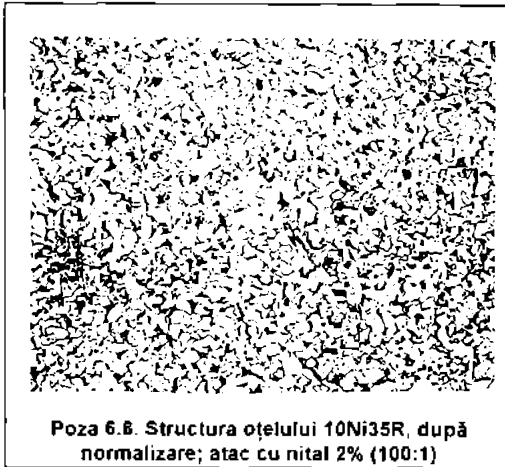
Tratamentele termice aplicate probelor de tratament, pentru ambele mărci de oțeluri, sunt prezentate în tabelul 6.5.

Tabelul 6.5.

Tratamentele termice aplicate oțelurilor **10Ni35** și **10Ni35R**

Marca de oțel	Normalizare		Călire		Revenire	
	Temperatura [°C]	Mediul de răcire	Temperatura [°C]	Mediul de răcire	Temperatura [°C]	Mediul de răcire
10Ni35 STAS 10362-88	830...870	aer	820...850	apa	600...660	aer
10Ni35R STAS 9568-93	830...870	aer	820...850	ulei	600...660	aer

Structura oțelului 10Ni35R rezultată în urma tratamentului de normalizare este prezentată în poza 6.8, iar structura finală (după călire și revenire) în poza 6.9.



După normalizare se constată o structură ferito-perlitică (aproximativ 10% ferită și 90% perlită), cu grăunți fini de punctaj de 8...9.

După tratamentul termic de călire urmat de revenire structura este tot ferito-perlitică (cu aceleași proporții de constituenți) și grăunți foarte fini de punctaj 9...10.

7. Oțelul OL37-2k prezentat în *STAS 500/2-80 Oțeluri de uz general pentru construcții* se încadrează în clasa de calitate 2, fiind un oțel calmat (k) și după *SR EN 10025+A1* are simbolul S 235 JRG2

În cadrul lucrării, ca și epruvete pentru încercarea tehnologică la răsucire în domeniul temperaturilor scăzute, au fost utilizate bucăți de sârmă având diametrul de 6 mm și lungimea calibrată de 300 mm. Epruvetele prelevate din colacul de sârmă nu au fost tratate termic.

CAPITOLUL 7

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND COMPORTAREA UNOR OȚELURI LA TEMPERATURI SCĂZUTE

7.1. Considerații asupra încercărilor mecanice la temperaturi scăzute, standardizate în România

Încercările mecanice la temperaturi scăzute sunt reglementate printr-un număr relativ restrâns de standarde române, inclusiv asimilate din normele europene și cuprind:

STAS 6834-75 *Încercarea la tracțiune la temperaturi scăzute;*

STAS 10897/5-86 *Încercări mecanice ale îmbinărilor lipite la temperaturi scăzute;*

SR EN 10045-1:1993 *Încercarea la încovoiere prin șoc pe epruveta CHARPY,*
Partea 1: Metodă de încercare (înlocuiește și **STAS 6833-79,**
Încercarea la încovoiere prin șoc la temperaturi scăzute).

Elementele caracteristice care vizează particularitățile încercărilor la temperaturi scăzute sunt prezentate în tabelul 7.1.

Observație. Pentru a se putea face o analiză comparativă privitoare la evoluția în timp a standardelor din România, referitoare la încercările la temperaturi scăzute, în tabel s-au introdus și elementele din **STAS 6833-70** și **STAS 6833-79**.

Analizând prevederile acestor standarde se constată o serie de neconcordanțe privitoare la unele elemente specifice încercărilor la temperaturi scăzute, astfel:

- temperatura de încercare este exprimată în grade Celsius, în grade Kelvin sau în ambele noduri;
- domeniul de temperaturi scăzute la care se efectuează încercarea fie nu se specifică, fie diferă de la un normativ la altul;
- nu se definesc, în toate cazurile, agenții frigorifici respectiv mediile de răcire;
- se utilizează noțiunea de agent de răcire pentru amestecul dintre agentul frigorific și mediul de răcire;
- se definește ca mediu de răcire (**STAS 6834-75**) amestecul dintre agentul frigorific și mediul de răcire propriu-zis;
- incinta de răcire poartă denumiri diferite ca: dispozitiv frigorific respectiv incintă de răcire (recipient izolat termic, criostat, baie etc.);
- timpul de menținere impus răcirii epruvetelor diferă de la un normativ la altul;

- abaterile admise pentru temperaturile scăzute de încercare nu sunt stabilite pentru aceleași intervale de temperatură;
- prevederile standardului **SR EN 10045-1:1993**, în ceea ce privește încercarea la încovoiere prin șoc la temperaturi scăzute, sunt foarte sumare și au un caracter cu totul general.

Observații:

1. Cu toate că prin **SR EN 10045-1:1993** rezistența la încovoiere prin șoc a metalelor este exprimată și pentru epruvetele cu creștătură U sau în cheie (înălțimea la baza creștăturii sau adâncimea acesteia este de 5 mm) prin energia absorbită la rupere, în standardele de produse se utilizează încă exprimarea rezilienței **KCU2** sau **KCU3**.

2. Între producătorul de materiale metalice și beneficiari se pot stabili, prin CAIETE DE SARCINI, anumite reglementări suplimentare care țin cont de destinația metalelor și impun modurile de prelevare ale epruvetelor precum și condițiile de încercare privind mașina sau aparatul utilizat, regimul de încărcare, temperatura de lucru, modul de obținere a temperaturii scăzute, modul de prelucrare a rezultatelor etc.

Având în vedere cele prezentate se impune revizuirea STAS-urilor existente privind metodologia de execuție a încercărilor mecanice la temperaturi scăzute și punerea lor de acord cu normativele europene. Este necesar ca, în standardele de produse să se includă prevederi care să fie în concordanță cu cele prevăzute în normativele pentru încercări.

Pentru a se realiza aceste deziderate se propun următoarele:

- reglementarea prin standarde și a altor încercări mecanice la temperaturi scăzute (Exemple: încercarea la răsucire, încercarea la întindere prin șoc, încercarea de duritate etc.), sau specificarea în standardele pentru încercări mecanice, a unor prevederi privind încercările în acest domeniu de temperaturi;
- exprimarea temperaturilor scăzute în grade Kelvin, conform **Sistemului Internațional de Unități - S.I.**;
- definirea în mod explicit a noțiunilor de agent frigorific, mediu de răcire respectiv agent de răcire;
- dispozitivele utilizate pentru răcirea epruvetelor să poarte denumirea de **incintă frigorifică** (pentru temperaturile scăzute) respectiv **criostat** (pentru temperaturile joase și foarte joase);
- stabilirea unitară a unor abateri admise, în domeniul temperaturilor scăzute și joase, pentru fiecare interval al temperaturii de încercare;
- în funcție de dimensiunile epruvetei, să se specifice timpul minim de menținere la temperatura scăzută înainte de a se începe încercarea mecanică;

Tabelul 7.1

Elementele caracteristice comparative între standardele române de încercări la temperaturi scăzute

Normalivul	STAS 6834-75	[°C] și [K]	STAS 10697/5-86	[°C]	STAS 6833-70	STAS 8833-79	SR EN 10045-1:1993
Elemente caracteristice							
Temperatura, unitatea de măsură		[°C] și [K]		[°C]		[°C]	[°C]
Intervalul de temperaturi		de la +15 °C ... -196 °C -288 K ... -77 K	de la +15 °C ... -209 °C		Nu se specifică	Până la -196 °C	Nu se specifică
Agentul frigorific		Nu este specificat	Agenții de răcire			Agenții de răcire	
Mediul de răcire		1. Până la 203 K (-70°C) alcool etilic + zăpadă carbonică, zăpadă carbonică, 2. De la 203 K (-70°C) până la 173 K (-100°C) eter de petrol + azot lichid; 3. De la 173 K (-100°C) până la 77 K (-196°C) eter de petrol + azot lichid; 4. De la 77 K (-196°C) eter de petrol + azot lichid; 5. De la 77 K (-196°C) azot lichid	1. Până la -70°C alcool etilic + zăpadă carbonică 2. De la -70°C până la -100°C alcool etilic + azot lichid sau eter de petrol + azot lichid; 3. De la -100°C până la -196°C amestec de azot lichid + vapor de azot; 4. De la -196°C până la -269°C amestec de vapor + heliu lichid				
Încăntă de răcire		Dispozitiv frigorific	Dispozitiv frigorific		Instalație de răcire (recipient izolat termic)	Instalație de răcire (crostate, băi etc.)	Nu este specificată
Țiimpul de menținere		10min. pînă la grosimi) 4-6mm, 15 min pînă la grosimi) 6-10mm, 15+câte 1 min. pînă la fiecare mm de grosime > 10mm.	5 minute, în azot lichid; 5 minute, în heliu lichid; 10 minute, în alte medii de răcire	15 minute (minim)	5 minute (minim) în mediu lichid; 15 minute (minim) în mediu gazos.	10 minute, pentru mediu lichid; 30 minute, pentru un mediu gazos.	
Abaterile admise ale temperaturii		± 1 K, până la 213 K (-60°C); ± 2K, pentru 213 K (-60°C) ... 173 K (-100°C); ± 3K, sub 173 K (-100°C);	± 1 °C, pînă la intervalul 0°C ... -100°C; ± 2°C, pînă la intervalul -100°C ... -269 °C; ± 4°C, sub -269 °C;			± 2 °C (cel mult), pentru intervalul de temperaturi	Nu se specifică
Sub-încăntă epruvelelor		Nu este specificată	Nu este specificată			2. 3 °C, până la -40°C; 3. 4 °C, până la -60°C; 4. 6 °C, până la -196°C;	Nu este specificată

- stabilirea unui grad de subrăcire a epruvetelor, pentru intervale de temperaturi scăzute, în cazul în care răcirea lor se realizează în incinte frigorifice, iar încercarea se execută în afara acestora (cazul încercării la încovoiere prin șoc);
- utilizarea de instrumente pentru măsurarea temperaturilor scăzute, încadrate în aceeași clasă de precizie.

7.2. Încercarea la tracțiune a oțelului 15VMoCr14X

Oțelul marca 15VMoCr14X face parte din clasa oțelurilor aliate cu Cr-Mo-V și este destinat fabricării unor elemente de rezistență puternic solicitate, care lucrează în condiții de temperaturi cuprinse într-o gamă largă ($-75^{\circ}\text{C} \dots +500^{\circ}\text{C}$).

Elaborarea oțelului 15VMoCr14X se face în cuptor electric cu arc și apoi este supus unui tratament în vid, realizat în oala de tumare. Prin caietul de sarcini nu este impusă o retopire electrică sub strat de zgură (R.E.Z.). Stările de livrare sunt: 4; 5 și 6. Compoziția chimică a acestui oțel este prezentată în tabelul 7.2.

Tabelul 7.2.

Compoziția chimică a oțelului 15VMoCr14X

Clasa oțelului Cr-Mo-V	Compoziția chimică [%]								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Ni
15VMoCr14X	0,13 ... 0,18	max. 0,2	0,80 ...1,10	max. 0,02	max. 0,015	1,25 ...1,5	0,8 ...1,0	0,2 ...0,3	max. 0,3

Valorile caracteristice mecanice care urmează a fi asigurate, pe stări de livrare, sunt prezentate în tabelul 7.3.

Tabelul 7.3.

Caracteristicile mecanice garantate pentru oțelul 15VMoCr14X

Caracteristicile mecanice garantate pe probe longitudinale	Starea de livrare		
	4	5	6
Limita de curgere $R_{p0.2}$, [N/mm ²]	540	930	780
Rezistența la rupere R_m , [N/mm ²]	690	1080	980
Alungirea A_5 , [%]	13	10	10
Duritatea HB	(205)	(320)	(295)
Reziliența, [J/cm ²], la			
+20°C, KCU3	-	140	130
-10°C, KCU3	-	115	38
-30°C, KCU3	-	110	30
-50°C, KCU3	-	95	20
-80°C, KCU3	-	60	15
Dimensiuni de utilizare a oțelului sub formă de bare	5...250 mm	5...100 mm	5...40 mm

Încercările la tracțiune, în domeniul temperaturilor scăzute, s-au realizat pe o mașină de încercare marca Wolpert dotată cu o incintă frigorifică de tip AMSLER, utilizând epruvete care au forma și dimensiunile impuse prin caietul de sarcini (vezi 6.2., fig.6.1.a.). Epruvetele se încadrează în categoria celor proporționale normale, deoarece pentru $d_0 = 8$ mm și $L_0 = 40$ mm, rezultă factorul dimensional $n = L_0/d_0 = 5$.

Modul de prelevare a epruvetelor și tratamentul termic aplicat acestora au fost prezentate în subcapitolul 6.6.

Caracteristicile mecanice determinate [106]; [107] sunt:

- Rezistența la tracțiune (rezistența la rupere)

$$R_m = \frac{F_{max}}{S_0} ; \quad [N/mm^2] \quad (7.1)$$

- Alungirea procentuală după rupere (alungirea la rupere)

$$A_5 = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 ; \quad [\%] \quad (7.2)$$

- Coeficientul de gătuire (gățuirea la rupere)

$$Z = \frac{S_{01} - S_{u1}}{S_{01}} \cdot 100 ; \quad [\%] \quad (7.3)$$

în care: $F_{max} = F_m$ - forța (sarcina) maximă [N]; L_0 - lungimea inițială între repere [mm];

L_u - lungimea ultimă între repere [mm]; S_0 - aria secțiunii inițiale a porțiunii calibrate [mm²] și S_u - aria minimă a secțiunii după rupere [mm²].

Experimentările pentru determinarea caracteristicilor mecanice la tracțiune s-au efectuat în intervalul +20°C...-60°C (293K...213K), iar rezultatele obținute sunt prezentate în tabelul 7.4.

Tabelul 7.4.

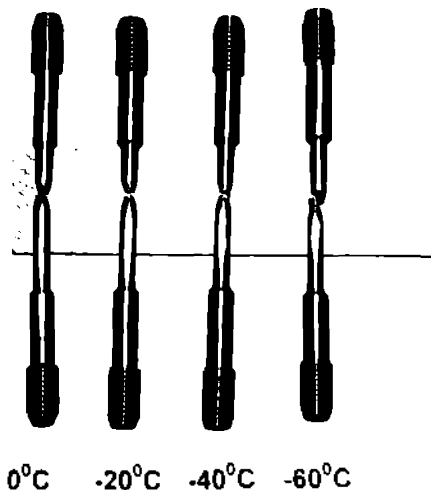
Caracteristicile mecanice la tracțiune ale oțelului 15VMoCr14X

Temperatura de încercare	Forța de rupere	R_m	A_5	Z
[°C]	[N]	[N/mm ²]	[%]	[%]
+20	60300	1200	19	60,9
0	62100	1236	18	59,3
-20	62950	1253	17,5	57,8
-40	64000	1273	16,8	56,9
-60	64900	1292	16	56,1

Răcirea epruvetelor, în vederea executării încercării s-a realizat utilizând agenții frigorifici și mediile de răcire specifice incintei de tip AMSLER (vezi 3.2.1., tabelul 3.1).

Valorile din tabelul 7.4. reprezintă mediile caracteristicilor mecanice obținute din seturi de câte trei epruvete, încercate la fiecare palier de temperatură.

În poza 7.1. este prezentat un lot de epruvete rupte la temperaturile 0°C ; -20°C ; -40°C și -60°C



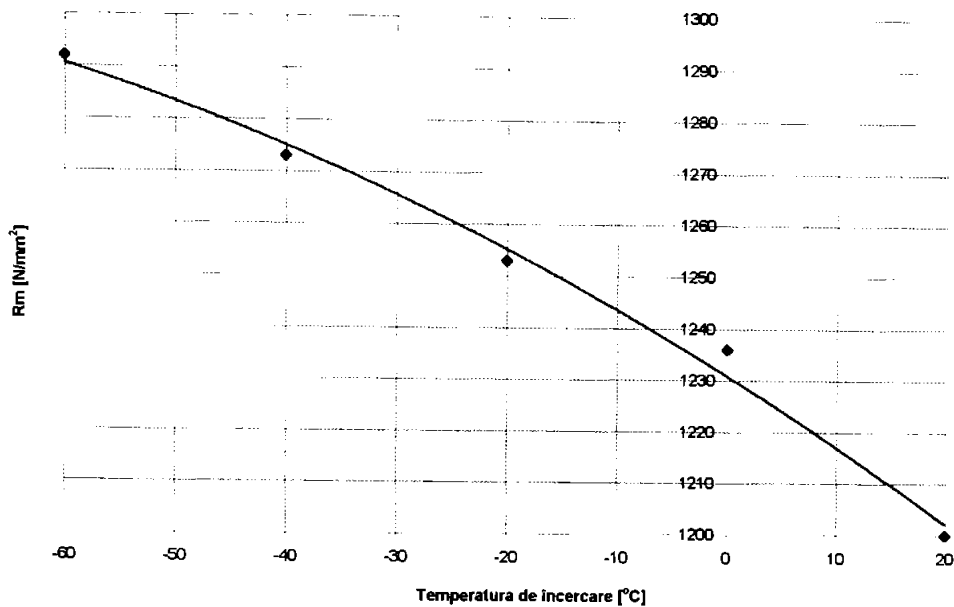
Poza 7.1. Epruvete încercate la tracțiune în condiții de temperaturi scăzute

Cu datele din tabel s-au trasat diagramele de variație ale caracteristicilor mecanice la tracțiune, funcție de temperatura scăzută de încercare. Astfel, în fig.7.1.a. se prezintă variația caracteristicii R_m , iar în fig.7.1.b. a caracteristicilor A_5 și Z .

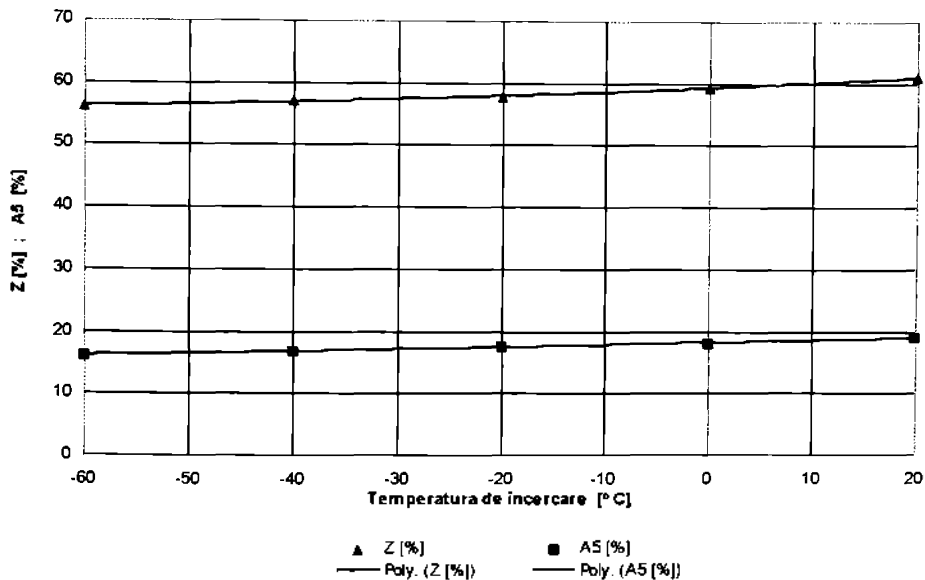
Observație. Nu s-a urmărit determinarea limitei de curgere tehnică $R_{p0.2}$ la temperaturi scăzute, deoarece în caietul de sarcini al mării de oțel 15VMoCr14X, nu se prevedea acest lucru

Din analiza rezultatelor obținute se constată că, odată cu creșterea rezistenței la rupere R_m se produce o scădere a caracteristicilor A_5 respectiv Z , pe intervalul de temperaturi utilizat la experimentări. Valorile acestor caracteristici, obținute la temperatura ambiantă sunt superioare celor impuse prin caietul de sarcini și permit încadrarea oțelului în toate cele trei stări de livrare. De remarcat faptul că, valoarea caracteristicii A_5 , determinată pe epruvetele încercate la temperatura de -60°C este superioară celei impuse pentru temperatura ambiantă (16% față de 10%).

În ceea ce privește zona gătită a epruvetelor se constată că, cele încercate la temperaturile de 0°C respectiv -20°C prezintă un aspect "con-cupă" care arată comportamentul ductil al materialului. Ruperea a început în centrul secțiunii epruvetei și s-a extins, ducând în final la o separare prin forfecare. Pentru epruvetele încercate la temperaturile de -40°C respectiv -60°C



a.



b.

Fig. 7.1. Variația caracteristicilor mecanice la tracțiune în funcție de temperatura de încercare

se constată că fenomenul de deformare plastică prin lunecare în rețeaua cristalină a metalului a avut un caracter spațial, axial simetric, pus în evidență și pe suprafețe de lunecare vizibile în zona gătită.

Se poate trage concluzia că, marca de oțel **15VMoCR14X** are caracteristicile mecanice la tracțiune în domeniul temperaturilor scăzute (până la -60°C), net superioare celor impuse prin caietul de sarcini, ceea ce îi conferă posibilitatea de a fi utilizat pentru scopul în care a fost elaborat.

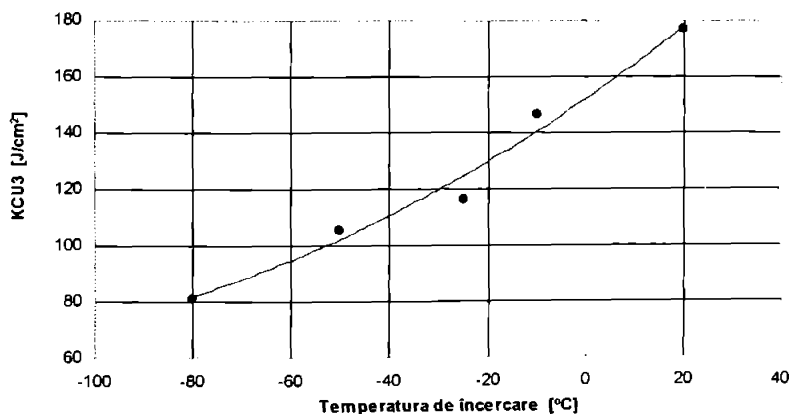
Pentru a demonstra caracterul tenace al acestui oțel, în condiții de temperaturi scăzute, s-au efectuat și încercări la încovoierea prin șoc. Prin caietul de sarcini s-a impus prelevarea epruvetelor după direcția longitudinală a fibrelor de laminare. S-au utilizat epruvete cu lățimea $b = 10$ mm, cu creștătura **U** și având adâncimea creștăturii $h = 3$ mm.

Încercarea la încovoiere prin șoc s-a realizat pe loturi de câte trei epruvete, pentru fiecare palier de temperatură impus, din intervalul $+20^{\circ}\text{C} \dots -80^{\circ}\text{C}$ ($293\text{K} \dots 193\text{K}$). Valorile rezilienței **KCU3** calculate pentru epruvetele încercate sunt prezentate în tabelul 7.5.

Tabelul 7.5.

Valorile rezilienței - **KCU3**-pentru oțelul **15VMoCr14X**

Valorile rezilienței KCU3 [J/cm^2]	Temperatura de încercare [$^{\circ}\text{C}$; K]				
	$+20^{\circ}\text{C}$ [297]	-10°	-25°	-50° [223]	-80°
Individuale	190	140,8	98,2	111	86,3
	160	155,0	136,5	108	75,7
	180	143,2	114,0	98	81,7
Media	176,6	146,3	116,2	105,6	81,2

Fig.7.2. Variația rezilienței **KCU3** în funcție de temperatura de încercare

Răcirea epruvetelor s-a efectuat în incinta frigorifică de tip AMSLER, utilizând agenții de răcire și mediile de răcire prezentate în 3.2.1., tabelul 3.1.

Variația rezilienței medii KCU3, în funcție de temperatura de încercare se prezintă în fig 7.2.

Comparativ cu valorile impuse pentru reziliența KCU3, la temperaturi scăzute se constată că valorile determinate experimental sunt superioare atât la temperatura ambiantă (176,6 comparativ cu 140) cât și la -80°C (81,2 comparativ cu 60). Acest lucru indică comportamentul tenace al acestei mărci de oțel pe tot intervalul de temperaturi scăzute. Scăderea relativ uniformă a rezilienței arată influența temperaturilor scăzute, fără a se pune însă în evidență o zonă de tranziție.

7.3. Încercarea la încovoiere prin șoc

7.3.1. Cercetări privind influența temperaturilor scăzute asupra tenacității oțelului aliat cu nichel - 8Ni90

Oțelurile aliate cu baza de nichel (2,25%...9%) au proprietăți mecanice care sunt dependente de natura, cantitatea și mărimea constituenților structurali: ferită-perlită, bainită respectiv martensită. Oțelurile cu un conținut până la 3,5% Ni și structură ferito-perlitică au proprietățile mecanice dependente de dimensiunea grăuntelui feritic, de cantitatea de perlită și de morfologia precipitatelor fine. Sunt utilizate până la temperaturi de -100°C (173K). Oțelurile aliate cu 9 % Ni, chiar la răcirii în aer din domeniul austenitic, au fie structuri intermediare, fie în afară de echilibru [41]. Alegerea unui regim de tratament termic corespunzător scopului pentru care se utilizează elementele de rezistență executate din oțelurile cu 9 % Ni, duce la obținerea unor structuri care asigură caracteristicile mecanice dorite. Pot fi utilizate până la temperaturi de -196°C (77K).

Marca de oțel 8Ni90, luată în studiu [91], face parte din categoria oțelurilor înalt aliate cu nichel (9% Ni), din care se pot realiza elemente de rezistență cu destinație specială, care lucrează în condiții de temperaturi scăzute sau temperaturi joase.

Elaborarea oțelului 8Ni90 s-a făcut într-un cuptor electric cu arc și apoi a fost supus unui tratament în vid, realizat în oala de turnare.

Pentru analizarea influenței temperaturilor scăzute asupra tenacității acestei mărci de oțel s-a utilizat încercarea la încovoiere prin șoc, pe epruvete cu creștătură U cu adâncimea $h=2\text{mm}$ (epruvetă Mesnager), prelevate longitudinal (după direcția fibrelor de laminare - direcția x).

Cercetarea efectuată a cuprins și studiul influenței locului de prelevare a epruvetelor (cap lingou-A; mijloc lingou-C și picior de lingou-U) asupra caracteristicii mecanice la încovoierea prin șoc - reziliența.

Epruvetele utilizate pentru încercări au fost prelevate dintr-o șarjă de oțel 8Ni90 a cărei compoziție chimică este prezentată în tabelul 7.6.

Compoziția chimică a șarjei de oțel 8Ni90

Tabelul 7.6.

COMPOZIȚIA CHIMICĂ [%]								
C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Al
0,072	0,49	0,32	0,023	0,015	0,03	9,1	0,15	0,02

Din respectiva șarjă de oțel au fost prelevate probe din semifabricatele provenite de la două lingouri (notate cu lingoul nr. 1 respectiv lingoul nr. 2), pentru fiecare poziție de prelevare (A; C și U).

Pentru fiecare treaptă de temperatură și poziție de prelevare s-au utilizat câte 5 epruvete.

Forma geometrică și dimensiunile epruvetelor (vezi 6.3., fig.6.3.b.) sunt cele corespunzătoare obținerii rezilienței KCU2 (energia potențială inițială $W_0 = 300 \text{ J}$, $h = 2 \text{ mm}$ și $b = 10 \text{ mm}$).

Prelucrarea fețelor epruvetelor s-a realizat prin așchiere, iar creștătura s-a executat prin burghiere (găurire) cu ajutorul unui dispozitiv adecvat.

Încercările s-au efectuat în intervalul de temperaturi scăzute cuprins între $+20^\circ\text{C} \dots -100^\circ\text{C}$ ($293\text{K} \dots 173\text{K}$), din zece în zece grade.

Pentru răcirea epruvetelor s-au folosit următorii agenți frigorifici respectiv medii de răcire:

- pentru temperaturile scăzute de până la -30°C (243K) s-a utilizat ca și agent de răcire amestecul dintre dioxidul de carbon solid (agentul frigorific) și acetona (mediul de răcire);
- pentru intervalul de temperaturi scăzute $-30^\circ\text{C} \dots -60^\circ\text{C}$ ($243\text{K} \dots 213\text{K}$) agentul de răcire a fost dioxidul de carbon solid (zăpadă carbonică) în amestec cu alcoolul etilic;
- pentru intervalul $-60^\circ\text{C} \dots -100^\circ\text{C}$ ($213\text{K} \dots 173\text{K}$), agentul de răcire folosit a fost azotul lichid în amestec în eterul de petrol.

Epruvetele s-au răcit într-o incintă frigorifică, menținându-se respectiva temperatură timp de 15 minute, astfel încât abaterile de temperatură din ultimele 5 minute s-au încadrat în abaterile limită admise ($\pm 1^\circ\text{C}$ în intervalul de temperaturi $0^\circ\text{C} \dots -50^\circ\text{C}$ și $\pm 2^\circ\text{C}$ la temperaturile din intervalul $-50^\circ\text{C} \dots -100^\circ\text{C}$).

Incinta frigorifică folosită pentru răcirea epruvetelor este descrisă în 4.2.2.1 și reprezentată schematic în fig.4.4.

Măsurarea temperaturii agentului de răcire s-a făcut cu un termometru de laborator cu precizia de măsurare de $\pm 1^\circ\text{C}$. Termometrul este amplasat, printr-un orificiu din capacul incintei astfel încât partea sa inferioară să fie în contact cu una dintre epruvetele, din lotul celor cinci, care se află așezate în camera de lucru (numită și creuzet) a incintei frigorifice.

Nivelul agentului de răcire a depășit cu 25 mm...30 mm suprafața epruvetelor.

Manevrarea epruvetelor s-a făcut cu un clește de construcție specială, a cărui parte activă s-a răcit în incintă la aceeași temperatură și care permite așezarea și centrarea epruvetei pe suportul ciocanului-pendul care se afla pregătit pentru declanșarea încercării. Ruperea unei epruvete s-a făcut într-un interval de cinci secunde din momentul în care ea a fost scoasă din agentul de răcire.

În urma încercărilor efectuate s-au determinat energiile absorbite prin rupere pentru epruvetele prelevate din lingoul nr. 1 (tabelul 7.7) și respectiv lingoul nr.2. (tabelul 7.8.).

Pentru fiecare nivel de temperatură și loc de prelevare al epruvetelor s-a calculat reziliența KCU2, utilizându-se valorile medii ale energiilor absorbite prin rupere, iar valorile astfel obținute (fără rotunjirea acestora la multipli de 5 J/cm², pentru KCU2 >100J/cm²) sunt prezentate în tabelul 7.9., pentru epruvetele din ambele lingouri.

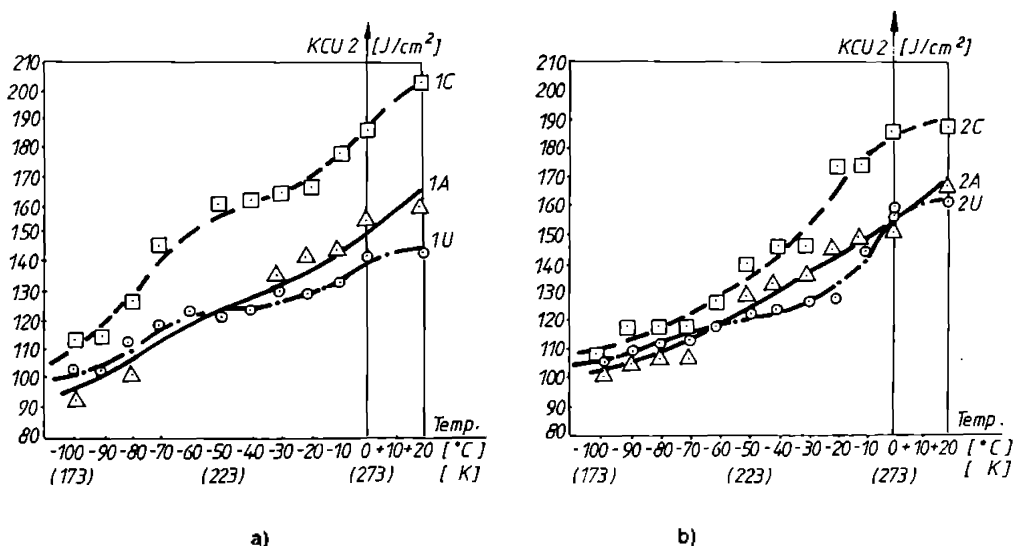


Fig.7.3.Variația rezilienței KCU2 în funcție de locul de prelevare a epruvetelor și de temperatura de încercare: a) - epruvete din lingoul nr.1; b)-epruvete din lingoul nr.2

Variația rezilienței KCU2 în funcție de poziția de prelevare a epruvetelor și de temperatura de încercare este prezentată astfel: în fig.7.3.a - pentru epruvetele din lingoul nr.1 respectiv în fig.7.3.b - pentru epruvetele din lingoul nr.2

Pentru același lingou, variația rezilienței KCU2 funcție numai de locul de prelevare a epruvetelor pentru diferitele temperaturi de încercare se prezintă în fig.7.4 astfel: fig.7.4.a., pentru epruvetele din lingoul nr.1 respectiv fig.7.4.b., pentru cele din lingoul nr.2.

Oțelul 8Ni90 se caracterizează prin valori ridicate ale energiei absorbite prin rupere și ale rezilienței datorită conținutului ridicat de nichel din compoziția oțelului.

Tabelul 7.7
 Valoriile energiilor de rupere individuale și medii pentru epruvetele prelevate din lingou nr.1.

Poziția probei din lingou	Valorile energiei de rupere [J]	TEMPERATURA DE ÎNCERCARE [°C ; K]											
		+20°	0° [273K]	-10°	-20°	-30°	-40°	-50° [223K]	-60°	-70°	-80°	-90°	-100° [173K]
Cap lingou (A)	individuale	125	128	112	107	114	97	98	96	88	79	79	78
		132	120	121	120	105	102	100	89	95	86	83	80
		127	123	119	113,5	109	106,5	99	94	86	85	90	79
		128,5	125	120	115	110	109	105,5	96	89	91	83	82
	Media	130	124	120,5	112	109,5	108	105	96,5	90	89	85	83
Mijloc lingou (C)	individuale	128,5	124	118,5	113,5	109,5	104,5	101,5	94,3	89,6	86	84	80,4
		147,5	146	142	139	134	130	127	121	118	108	95	90
		160	148	144	138	128	128,5	119	120	114	105	92	88,5
		148	153	138,5	137,5	130	128	126	117	112	102	92	88
	Media	155	151	142	138,5	130,5	130,5	129	118	116	108	94	90,5
Picior lingou (U)	individuale	151,5	149	146	139	133,5	129,5	122	122	111	101	93	91
		152,4	149,4	142,5	138,4	131,2	129,3	124,6	119,6	114,2	104,8	93,2	89,6
		118	116	110	104	102	101	97	96	94	93	89	81
		109	114	108,5	104	101	98	92	97,5	93	86	87	83
	Media	116	107	106	106	100	98	101	89,5	96,5	88	90	78
Media	individuale	111	117	106,5	106	101,5	101,5	95	95	95	93	82	81
		118,5	111	104	100	108	99	97,5	100	89	95	80	84
	Media	114,5	113	107	104	102,5	99,5	96,5	95,6	93,3	91	85,6	81,4

Tabelul 7.8.
 Valorile energiilor de rupere individuale și medii pentru epruvele prelevate din lingoul nr.2.

Poziția probei din lingou	Valorile energiei de rupere [J]	TEMPERATURA DE ÎNCERCARE [° C ; K]											
		+20°	0° [273K]	-10°	-20°	-30°	-40°	-50° [223K]	-60°	-70°	-80°	-90°	-100° [173K]
Cap lingou (A)		124	125	121	116	108,5	108	101	96	90,5	89	82	79
		131	128	118	120	112	99,5	103	108	90	85	84,5	82,5
		129	124	118	117	110	107	106	110	94	83	87	82
		134,5	124	117	115	109	110	105	102	91,5	87	82	84,5
		130	126	121	119,5	112	108	105	94	90	84	81	80
	129,7	125,4	119	117,5	110,5	106,5	104	102	91,2	85,6	83,3	81,6	
Mijloc lingou (C)		147	146	143	139	133	128	124	120	117	106	97	91
		152,5	146	138	134	130,5	125	120	116,5	111	103	94	89
		148	149	139	136	128	122	119	118	109	106	90	85
		149	148,5	141	137	128	128	123	118,5	114,5	101	92	87
		156	150,5	144	142	129	126	120	116	110	100	91	84
	150,5	148	141	137,6	129,7	125,8	121,2	117,8	112,3	103,2	92,8	87,2	
Picior lingou (U)		117	116	110	108	104	103	100	103	98	94	89	81
		116	112,5	106	106	102	99	97	89	95	88	85,5	84
		108	107	106,5	99	99	97	101	98	93	93	86	85
		118	114,5	103	107	102,5	98	99	98	90	82	85	79
		110	111	108,5	98	100	98	96	95	96,5	90	87,5	83
	113,8	112,2	106,8	103,6	101,5	99	98,6	96,6	94,5	89,4	86,6	82,4	

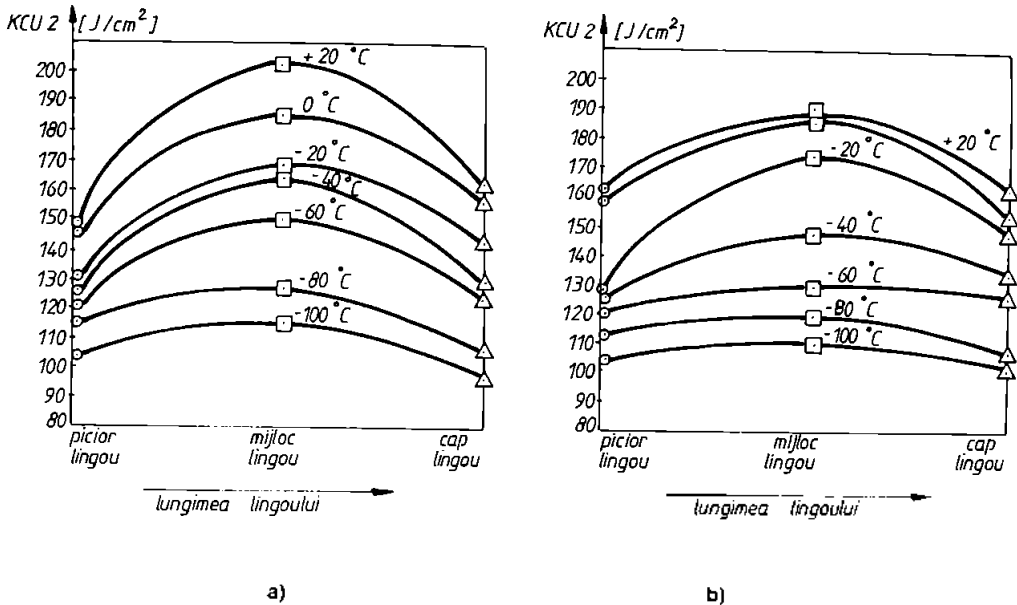


Fig.7.4. Variația rezilienței KCU2 în funcție de locul de prelevare a epruvetelor la diferite temperaturi: a) - pentru lingoul nr.1; b)-pentru lingoul nr.2

Analizând rezultatele experimentale obținute se pot desprinde următoarele concluzii:

- Valorile energiei absorbite prin rupere respectiv ale rezilienței (KCU2) obținute pe epruvetele din cele două lingouri sunt foarte apropiate, pentru fiecare poziție de prelevare și temperatură de încercare (vezi tabelele 7.7., 7.8. și 7.9.). Acest lucru arată că procesele de elaborare, de turnare în lingouri și de laminare a oțelului 8Ni90, din șarja analizată, au fost executate cu respectarea tuturor parametrilor tehnologici, în domeniul optim;
- Dispersia valorilor rezilienței, obținute pe epruvetele prelevate din pozițiile A; C respectiv U, este mai mare la temperatura de +20°C (293K) și din ce în ce mai mică, odată cu scăderea temperaturii de încercare (vezi tabelul 7.9.);
- Valorile rezilienței sunt mai mari pentru epruvetele prelevate din semifabricate provenite din zona de mijloc a lingoului (C), iar pentru cele din capul lingoului (A) respectiv piciorul lingoului (U) sunt mai mici. Faptul că epruvetele din zona de mijloc au reziliențe mai mari corespunde legilor segregăției, aceasta deoarece spre mijlocul lingoului fenomenul de segregăție a carbonului și sulfului, elemente care influențează negativ reziliența, este mai redus. Valorile mai mici ale rezilienței spre zonele de capăt ale lingoului (A și U) se justifică astfel: spre piciorul lingoului fenomenul este cauzat de conținutul mai mare de impurități datorat turnării prin sifon, iar spre capul lingoului datorită conținutului mai mare de carbon și sulf;

Tabelul 7.9

		Valori rezilientei - KCU2 - [J / cm ²]					
Poziția probei din lingou	Nr. lingou	TEMPERATURA DE ÎNCERCARE [°C ; K]					
		+20 ⁰	0 ⁰ [273K]	-10 ⁰	-20 ⁰	-30 ⁰	-40 ⁰
Cap lingou (A)	1	160,625	155	148,125	141,875	136,875	130,625
	2	162,125	156,75	148,75	146,875	138,125	133,125
Mijloc lingou (C)	1	190,5	186,75	178,125	173	164,0	161,625
	2	188,125	185	176,25	172	162,125	157,25
Picior lingou (U)	1	143,125	141,25	133,75	130	128,125	124,375
	2	142,25	140,25	133,5	129,5	126,875	123,75
		-50 ⁰ [223K]	-60 ⁰	-70 ⁰	-80 ⁰	-90 ⁰	-100 ⁰ [173K]
Cap lingou (A)	1	126,875	117,875	112	107,5	105,0	100,5
	2	130	127,5	114	107	104,125	102
Mijloc lingou (C)	1	155,75	149,5	142,75	131	116,5	112
	2	151,5	147,25	140,375	129	116	109
Picior lingou (U)	1	120,625	119,5	116,625	113,75	107	101,75
	2	123,25	120,75	118,125	11,75	108,25	103

- Până la temperatura de -100⁰C (173K) , indiferent de zona de prelevare a epruvetelor, reziliența scade lent fără să se evedentieze o temperatură de tranziție . Valorile relativ mari ale reziliențelor (100J/cm²...112 J/cm²) la temperatura de -100⁰C (173K) arată că această marcă de oțel se poate utiliza pentru elemente de rezistență care lucrează în acest domeniu de temperaturi scăzute.
- Pentru temperaturile cuprinse în intervalul +20⁰C...-55⁰C (293K...218K) reziliența, pentru epruvetele provenite din capul lingoului (A), este mai mare decât pentru cele din piciorul lingoului (U);
- Începând cu intervalul -55⁰C...-65⁰C (218K...208K) și până la -100⁰C (173K) reziliența pentru epruvetele provenite din piciorul lingoului (U) este cu câteva unități mai mare decât pentru cele din capul lingoului (A) .

Observații:

- ♦ Se impune marcarea semifabricatelor laminate, în funcție de proveniența din lingou (cap, mijloc respectiv picior de lingou), în vederea utilizării lor pentru obținerea unor elemente de rezistență care să asigure un comportament optim la încovoierea prin șoc. Semifabricatele provenite din mijloc de lingou au caracteristica de reziliență mai mare decât cele din cap respectiv picior de lingou pe întreg domeniul de temperaturi +20⁰C...-100⁰C (293K...173K) pentru care s-au efectuat încercările. Astfel, la +20⁰C

(293K) diferențele sunt de $30\text{J/cm}^2 \dots 40\text{J/cm}^2$, la -80°C (183K) de aproximativ 20J/cm^2 , iar la -100°C (173K) de aproximativ 10J/cm^2 ;

- ◆ Pentru semifabricatele provenite din capul lingoului (A) respectiv piciorul lingoului (U) există diferențe de comportament la încovoierea prin șoc numai pe intervalul de temperaturi $+20^\circ\text{C} \dots -70^\circ\text{C}$ (293K...203K), iar pe intervalul $-70^\circ\text{C} \dots -100^\circ\text{C}$ (203K...173K) diferențele sunt nesemnificative. Astfel, la $+20^\circ\text{C}$ (293K) reziliența este mai mare cu aproximativ 20J/cm^2 pentru epruvetele prelevate din cap de lingou față de cele din picior de lingou.

7.3.2. Investigații asupra caracteristicilor mecanice ale oțelului 34MoCrNi15X-M

Oțelul 34MoCrNi15X-M este un oțel pentru îmbunătățire având ca și destinație fabricarea osilor pentru metrou

Modul de elaborare, tratamentele termice utilizate și modul de prelevare al epruvetelor pentru încercările mecanice au fost prezentate în subcapitolul 6.6.

Studiul caracteristicilor mecanice ale oțelului a făcut obiectul unui contract de cercetare [91], prin care beneficiarul solicită încercările la: tracțiune la temperatura ambiantă și încovoiere prin șoc, pe epruvete longitudinale respectiv transversale, în condiții de temperaturi scăzute.

Încercarea la tracțiune s-a efectuat la temperatura ambiantă, utilizându-se un număr de trei epruvete proporționale normale.

Diagramele rezultate în urma încercărilor sunt prezentate în fig.7.5., iar caracteristicile mecanice obținute în tabelul 7.10.

Caracteristicile mecanice garantate pentru produs, determinate pe probe tratate termic pentru marca de oțel luată în studiu, specificate în STAS 791-88, sunt prezentate în tabelul 7.11.

Tabelul 7.10.

Caracteristicile mecanice la tracțiune pentru oțelul 34MoCrNi15X-M

Numărul epruvetei	Forța de:		Caracteristici mecanice			
	Curgere tehnică	Rupere maximă	$R_{p0,2}$	R_m	A_5	Z
	[N]	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]	[%]
1	92320	97820	1175	1230	14	57,77
2	90000	94800	1146	1208	14,6	60,32
3	93920	99840	1196	1272	14,2	57,77
			1172,33	1236,66	14,26	58,62

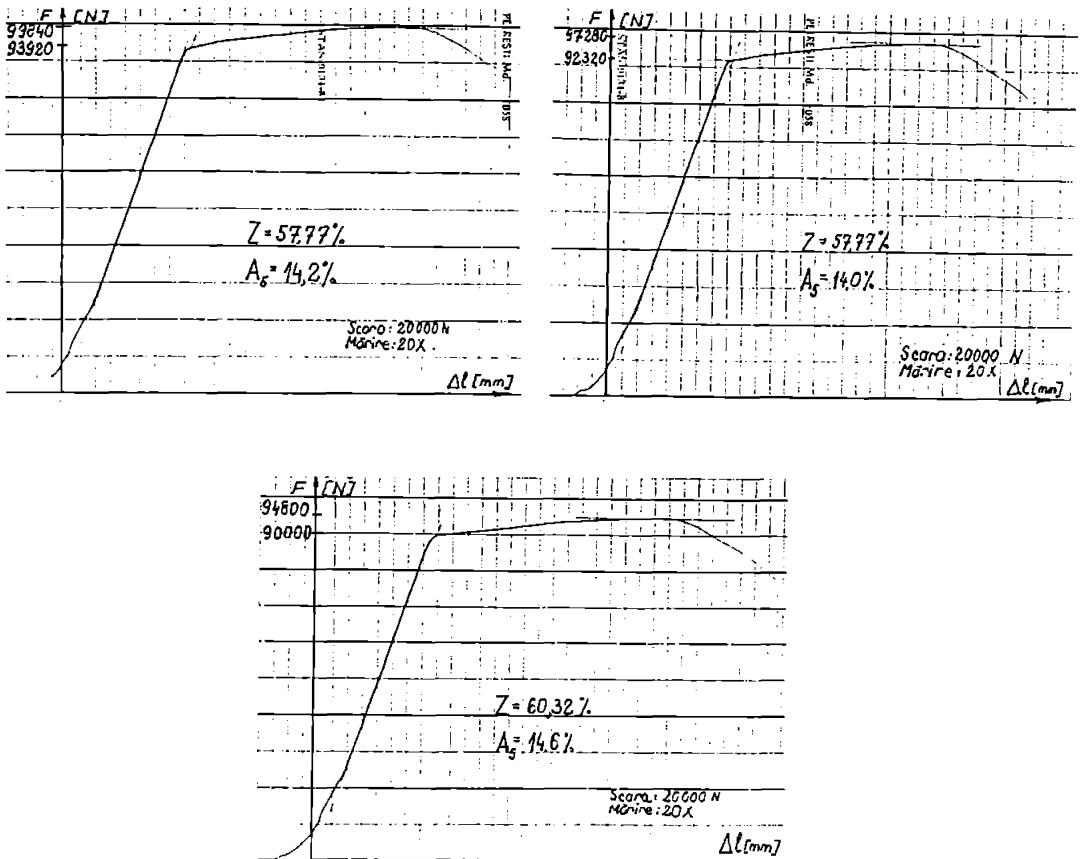


Fig.7.5. Caracteristica $F = f(\Delta l)$ pentru epruvetele încercate la tracțiune

Tabelul 7.11.

Caracteristicile mecanice garantate pentru produs, determinate pe probe tratate termic

Diametrul probei de tratament termic de referință	Felul tratamentului termic	Caracteristici mecanice						
		Limita de curgere $R_{p0.2}$ [N/mm ²] min	Rezistența la rupere R_m [N/mm ²]	Alungirea la rupere A_5 [%] min.	Gătuirea la rupere Z [%] min	Reziliența KCU [J/cm ²] min	Energia de rupere J min.	Duritate Brinell în stare recoaptă HB max
16	CR	1000	1200...1400	9	40	-	40	248

C-călire; R-revenire înaltă.

Comparând valorile prezentate în tabelele 7.10 și 7.11 se poate trage concluzia că toate caracteristicile mecanice obținute experimental sunt superioare celor garantate pentru produs. Explicația constă în faptul că pentru oțelul destinat fabricării osoilor (34MoCrNi15X-M) este prevăzută o retopire electrică sub strat de zgură (R.E.Z.).

În programul de cercetare a fost inclusă și încercarea la încovoiere prin șoc, cu toate că dintre caracteristicile mecanice garantate pentru produsul de bază (34MoCrNi15X) nu este specificată reziliența KCU2 (vezi tabelul 7.11.)

Această încercare s-a efectuat în intervalul de temperaturi $+20^{\circ}\text{C} \dots -60^{\circ}\text{C}$ ($293\text{K} \dots 213\text{K}$), conform prevederilor din [109] și [111].

Pentru obținerea temperaturilor scăzute s-a utilizat ca și agent frigorific dioxidul de carbon solid, iar ca și mediu de răcire acetona respectiv alcoolul etilic. Proporțiile dintre aceste substanțe au fost astfel alese încât să fie posibilă obținerea palierului de temperatură dorit.

Răcirea epruvetelor s-a făcut într-o încălță frigorifică realizată de către autor (vezi 4.2.2.2., fig.4.5.).

La aceeași temperatură au fost încercate seturi de câte șase epruvete, câte trei prelevate după direcția longitudinală respectiv transversală, față de direcția fibrelor de laminare.

Rezultatele experimentărilor sunt date în tabelul 7.12.

Variația rezilienței KCU2 în funcție de temperatura de încercare este prezentată astfel: în fig.7.6. pentru epruvetele prelevate după direcția longitudinală respectiv fig.7.7. pentru cele după direcția transversală.

Analizând valorile energiei de rupere la temperatura de $+20^{\circ}\text{C}$, pentru epruvetele prelevate longitudinal respectiv transversal se constată că sunt mult superioare valorii minime impuse [119] pentru marca de oțel 34MoCrNi15X (media a trei încercări, 101J respectiv 72 J față de minim impus de 40J).

Din graficele prezentate în fig.7.6. respectiv 7.7. se constată micșorarea valorii rezilienței odată cu scăderea temperaturii, astfel: între $+20^{\circ}\text{C}$ și 0°C are loc o scădere evidentă a rezilienței;

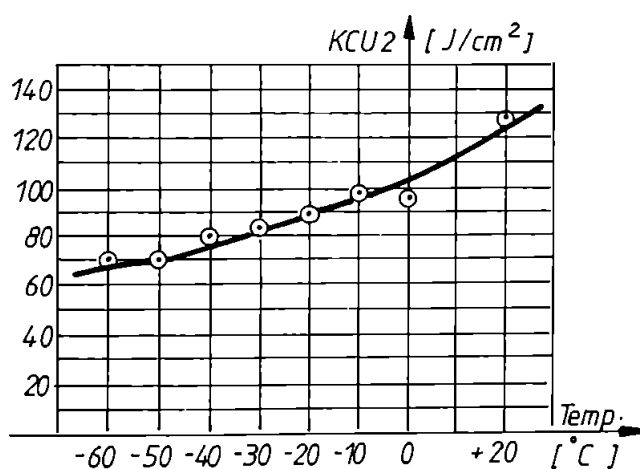


Fig.7.6. Reziliența KCU2, pentru epruvetele longitudinale, în funcție de temperatura de încercare

Tabelul 7.12

Valorile reziliențelor - KCU2 - pentru epruvetele prelevate după direcțiile longitudinală respectiv transversală, ale oțelului 34MoCrNi15X-M

Temperatura [°C] [K]	Nr. epr	Epruvete prelevate după direcția longitudinală				Epruvete prelevate după direcția transversală			
		Energia de rupere W		Reziliența KCU2		Energia de rupere W		Reziliența KCU2	
		[Kgf.m] *	[J]	Individ.	Media	[Kgf.m] *	[J]	Individ.	Media
				[J/cm ²]	[J/cm ²]			[J/cm ²]	[J/cm ²]
+20°	1	9,6	94,08	118	126	7,8	76,44	96	90
	2	10,4	101,92	127		6,8	66,64	83	
	3	10,9	106,82	134		7,3	71,54	90	
0° [273]	1	8,3	81,34	102	103	6,4	62,72	78	69
	2	8,6	84,28	105		5,4	52,92	66	
	3	8,2	80,36	101		5,1	49,98	63	
-10°	1	7,8	76,44	96	98	5,0	49,00	61	63
	2	7,9	77,42	97		5,4	52,92	66	
	3	8,2	80,36	101		5,0	49,00	61	
-20°	1	7,2	70,56	88	90	4,9	48,02	60	61
	2	7,8	76,44	96		4,7	46,06	58	
	3	7,0	68,60	86		5,2	50,96	64	
-30°	1	6,7	65,66	82	84	4,1	40,18	50	60
	2	7,0	68,60	86		5,3	51,94	65	
	3	6,9	67,62	85		5,2	50,96	64	
-40°	1	7,1	69,58	87	80	4,4	43,12	54	56
	2	6,4	62,72	78		4,1	40,18	50	
	3	6,2	60,76	76		5,1	49,98	63	
-50° [223]	1	6,0	58,80	74	71	3,9	38,22	48	47
	2	5,1	49,98	63		3,6	35,28	44	
	3	6,1	59,78	75		3,9	38,22	48	
-60°	1	5,4	52,98	66	64	3,5	34,30	43	45
	2	5,1	49,98	63		4,0	39,20	49	
	3	5,2	50,96	64		3,6	35,28	44	

* Cadrantul ciocanului-pendul Charpy utilizat pentru încercări este etalonat în kgf.m

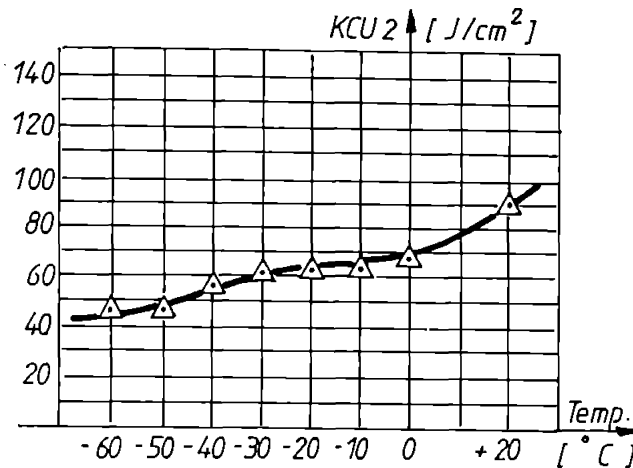


Fig.7.7. Reziliența KCU2, pentru epruvetele transversale, în funcție de temperatura de încercare

între 0°C și -30°C o scădere ușoară a acestuia, iar între -30°C și -60°C o scădere puțin accentuată. Pe intervalul de temperaturi scăzute în care s-au efectuat încercările, nu s-a constatat o evidență zonă de tranziție.

De asemenea, se constată că pentru epruvetele prelevate longitudinal, energia de rupere chiar la temperatura de -60°C este superioară celei minim impuse acestei mărci de oțel la temperatura de +20°C (media a trei încercări, 51J față de 40J), iar pentru epruvetele prelevate transversală, până la temperatura de -40°C, energia de rupere este superioară aceleiași valori minime (media a trei încercări, 44J față de 40J).

După ruperea epruvetelor s-a studiat cristalinitatea și fibrozitatea secțiunii de rupere, conform prescripțiilor *STAS 10026-75 Determinarea cristalinității și fibrozității rupturii*.

În secțiunea de rupere a epruvetelor se disting două zone (fig.7.8):

- o zonă cu aspect cristalin strălucitor și fără deformări, numită aria rupturii (fragile) cristaline, $S_f = a_f \cdot b_f$ și care, în majoritatea cazurilor, este situată în partea centrală a rupturii;
- o zonă cu aspect cristalin mat, cu deformări plastice, numită aria rupturii (ductile) fibroase $S_d = S_0 - S_f$. Cu $S_0 = b \cdot a_c$ este notată aria secțiunii transversale inițiale în dreptul planului de simetrie al creștăturii.

Cristalinitatea este definită prin raportul dintre aria rupturii cristaline și aria secțiunii inițiale a epruvetei, exprimată procentual. **Fibrozitatea** este exprimată procentual și reprezintă raportul dintre aria rupturii fibroase și aria secțiunii transversale inițiale a epruvetei.

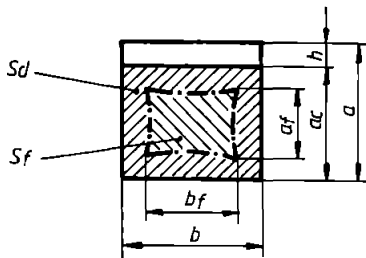


Fig.7.6. Elementele geometrice ale secțiunii de rupere

direcțiile longitudinală respectiv transversală și încercate la temperaturi cuprinse între $+20^{\circ}\text{C}$ (293 K) și -60°C (213 K) sunt prezentate în tabelul 7.13.

Cu valorile medii prezentate în tabel s-au trasat curbele de variație ale cristalinității și fibrozității, în funcție de temperatura de încercare, atât pentru epruvetele prelevate după direcția longitudinală (fig. 7.9) cât și pentru cele prelevate după direcția transversală (fig. 7.10)

Corelația dintre valorile reziliențelor (KCU 2) și cele ale cristalinității respectiv fibrozității este respectată și în cazul rezultatelor experimentale obținute; astfel, reziliențele de valori înalte se corelează cu valorile ridicate ale fibrozității, respectiv scăzute ale cristalinității și reciproc (vezi comparativ fig. 7.6 și 7.9 respectiv fig.7.7 și 7.10).

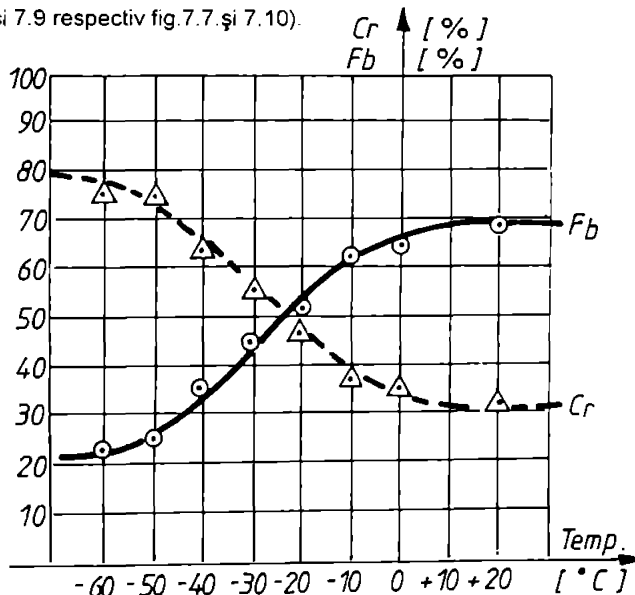


Fig.7.9. Curbele de variație ale Cr și Fb, pentru secțiunile de rupere ale epruvetelor longitudinale, în funcție de temperatura de încercare

$$Cr = \frac{S_f}{S_0} \cdot 100; [\%] \text{ și } Fb = \frac{S_d}{S_0} \cdot 100; [\%] \quad (7.4)$$

În rupură se măsoară dimensiunile a_f și b_f care corespund secțiunii de rupere fragilă și care se rotunesc la multiplii de 0,5 mm. Funcție de aceste valori se determină cristalinitatea și fibrozitatea utilizând tabelele 2 și 3 cuprinse în STAS 10026-75.

Valorile individuale și medii ale cristalinității și fibrozității pentru epruvetele prelevate după

Tabelul 7.13

Valorile cristalinității respectiv fibrozității secțiunilor epruvetelor solicitate prin șoc, la temperaturi scăzute, pentru oțelul 34MoCrNi15X-M

Temperatura [°C] [K]	Nr. epr.	Epruvete prelevate după direcția longitudinală						Epruvete prelevate după direcția transversală					
		a _r [mm]	b _r [mm]	Cr [%]		Fr [%]		a _r [mm]	b _r [mm]	Cr [%]		Fr [%]	
				Indiv.	Media	Indiv.	Media			Indiv.	Media	Indiv.	Media
+20°	1	5,0	5,0	31		69		6,0	6,5	49		51	
	2	5,0	5,0	31	31	69	69	5,5	6,0	41	45	59	55
	3	5,5	4,5	31		69		6,0	6,0	45		55	
0° [273]	1	5,0	6,0	38		62		6,5	7,0	57		43	
	2	5,0	6,0	38	35	62	65	6,0	7,0	53	52	47	48
	3	4,0	6,0	30		70		5,5	6,5	45		55	
-10°	1	5,0	6,0	38		62		6,0	6,5	49		51	
	2	5,0	6,5	41	38	59	62	6,0	7,0	53	53	47	47
	3	4,5	6,0	34		66		6,0	7,5	56		44	
-20°	1	6,0	7,0	53		47		6,5	7,5	61		39	
	2	5,5	6,5	45	48	55	52	6,0	7,0	53	56	47	44
	3	5,5	6,5	45		55		6,0	7,0	53		47	
-30°	1	6,5	7,0	57		43		6,5	7,5	61		39	
	2	6,5	7,0	57	56	43	44	6,5	7,5	61	61	39	39
	3	6,0	7,0	53		47		6,5	7,5	61		39	
-40°	1	7,0	7,5	66		34		7,5	8,5	80		20	
	2	7,0	7,0	61	64	39	36	7,0	8,0	70	75	30	25
	3	7,0	7,5	66		34		7,0	8,5	74		26	
-50° [223]	1	7,5	8,5	80		20		7,5	8,5	80		20	
	2	7,0	8,5	74	75	26	25	8,0	7,5	75	80	25	20
	3	7,0	8,0	70		30		7,5	9,0	84		16	
-60°	1	7,5	8,5	80		20		7,5	9,0	84		16	
	2	7,0	8,5	74	76	26	24	7,5	9,0	84	84	16	16
		7,0	8,5	74		26		8,0	8,5	85		15	

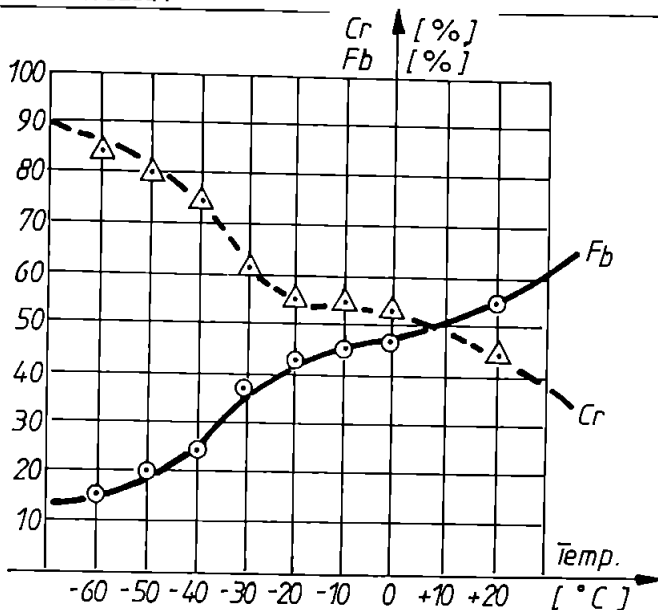


Fig.7.10. Curbele de variație ale Cr și Fb, pentru secțiunile de rupere ale epruvetelor transversale, în funcție de temperatura de încercare

În urma analizării tuturor rezultatelor experimentale, se poate concluziona că toate caracteristicile mecanice, obținute la temperatura ambiantă, sunt superioare celor garantate [119] pentru marca de oțel **34MoCrNi15X**. De asemenea, în urma încercării la încovoire prin șoc, în domeniul temperaturilor scăzute (0°C ... -60°C), nu s-a constatat o evidentă zonă de tranziție. Astfel, se recomandă utilizarea acestei mărci de oțel pentru executarea organelor de mașini care lucrează în condiții de temperaturi scăzute, de până la -60°C .

7.3.3. Studiul influenței temperaturii scăzute asupra caracteristicii mecanice la încovoire prin șoc, funcție de poziția de prelevare a epruvetelor și de elemente ale compoziției chimice

Având în vedere că prin standardele de produse respectiv prin caietele de sarcini se impun, pentru diversele mărci de oțeluri, valori minime ale caracteristicii mecanice la încovoire prin șoc, aferente epruvetelor prelevate longitudinal și încercate la temperatura ambiantă, pentru elementele compoziției chimice cuprinse între anumite valori, este necesară luarea în studiu și a influenței altor parametri. Astfel, atât în condițiile de încercare la temperatura ambiantă cât și a celor la temperaturi scăzute se pot utiliza și epruvete prelevate transversal din capul, mijlocul respectiv piciorul lingoului.

Pentru realizarea cercetărilor au fost utilizate mărcile de oțeluri **34MoCrNi15X-RS**, **34MoCrNi16X**, **10Ni35** și **10Ni35R**. Modul de prelevare a epruvetelor a fost prezentat în 6.3, iar în 6.6. s-au specificat tratamentele termice aplicate materialelor epruvetelor.

Compoziția chimică și caracteristicile mecanice la tracțiune respectiv la încovoierea prin șoc determinate în condițiile de încercare la temperatura ambiantă au fost puse la dispoziție de către laboratoarele uzinale ale S.C." SIDERURGICA" S.A. Hunedoara și sunt prezentate în Anexele 7.1; 7.2; 7.3; 7.4 și 7.5.

Autorul lucrării a executat încercarea la încovoiere prin șoc, în condițiile de temperaturi scăzute, utilizând epruvete prelevate din aceleași șarje de oțel ca și cele folosite pentru încercarea la temperatura ambiantă. Pentru fiecare șarjă, loc de prelevare și temperatură scăzută de încercare s-au folosit câte trei epruvete. Rezultatele încercărilor sunt prezentate în aceleași anexe

Prin prelucrarea datelor experimentale obținute pe un număr relativ mare de șarje s-a urmărit modul de variație a caracteristicii mecanice la încovoierea prin șoc, la o anumită temperatură scăzută, în funcție de conținutul de carbon, nichel și crom respectiv de locul de prelevare a epruvetelor (longitudinale și transversale din cap, mijloc și picior de lingou). Aceste dependențe s-au evaluat prin calculul funcțiilor de corelație $y = f(x)$, în care $f(x)$ este o funcție polinomială de gradul doi, a cărei coeficienți s-au determinat utilizând programul de calcul și reprezentări grafice EXCEL 7.0.

1. Oțelul **34MoCrNi15X-RS** are ca destinație realizarea racordurilor sudate. Temperatura scăzută utilizată pentru încercarea la încovoiere prin șoc a fost de -30°C (243K), experimentările s-au efectuat pe epruvete de tip Mesnager (adâncimea creștăturii $h = 2 \text{ mm}$) prelevate longitudinal respectiv transversal din semifabricate provenite din mijloc de lingou, iar rezultatele obținute sunt prezentate în Anexa 7.1.

Variația rezilienței, la temperatura scăzută de încercare, funcție de principalele elemente ale compoziției chimice este prezentată astfel: influența conținutului de nichel - fig.7.11.a.; influența conținutului de crom - fig.7.11.b și influența conținutului de carbon - fig.7.11.c.

Analizând graficele din figuri se observă că, valorile reziliențelor obținute pe epruvetele prelevate după direcția transversală sunt mai mici decât cele obținute pe epruvetele longitudinale, dar se menține aproximativ o echidistanță între curbele de variație, ceea ce arată că diferențele conținuturi în elementele Ni, Cr și C nu influențează aceste diferențe.

Din fig.7.11.a se constată o creștere a valorii rezilienței odată cu mărirea conținutului de Ni. Pentru epruvetele prelevate longitudinal valoarea KCU2-30 este mai mare decât cea minim impusă pentru încercarea la temperatura ambiantă ($KCU2 = 62,5 \text{ J/mm}^2$). Chiar și pentru epruvetele prelevate transversal, din șarjele cu conținutul de Ni mai mare decât 1,6%, KCU2-30 este mai mare decât KCU2. Aceste rezultate certifică faptul că nichelul este elementul de aliere care asigură oțelului o tenacitate ridicată chiar în condițiile de temperaturi scăzute.

Conținutul de crom impus mărcii de oțel [119] este de 1,40...1,70%. Din fig.7.11.b se constată o scădere a rezilienței KCU2-30 odată cu creșterea conținutului de crom.

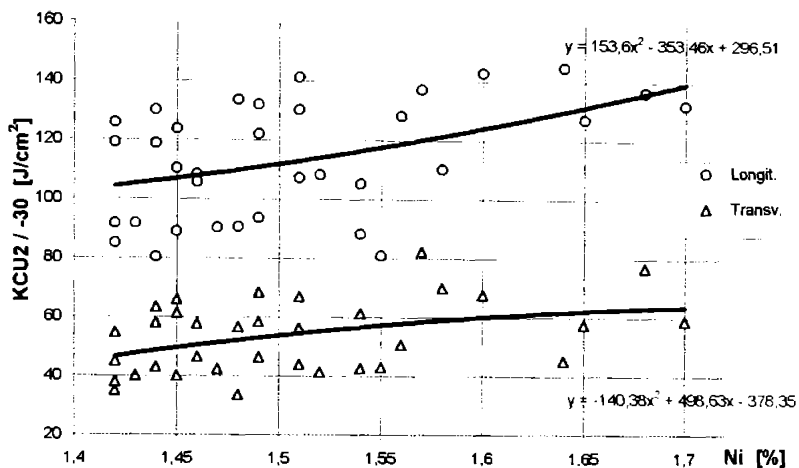


Fig.7.11.a. Variația rezilienței KCU2/-30 în funcție de conținutul de Ni

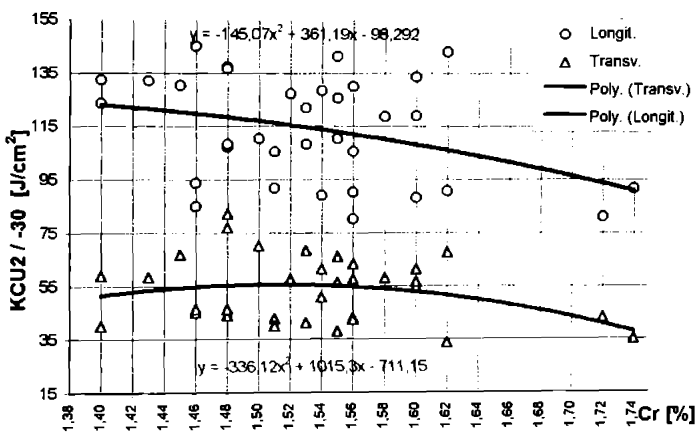


Fig.7.11.b. Variația rezilienței KCU2/-30 în funcție de conținutul de Cr

În fig.7.11.c. se remarcă că reziliența KCU2/-30, atât pentru epruvetele prelevate longitudinal cât și pentru cele prelevate transversal, are valoarea maximă pentru un conținut de carbon de 0,34%, ceea ce corespunde mediei intervalului 0,30%..0,38% carbon impus mărcii de oțel [119].

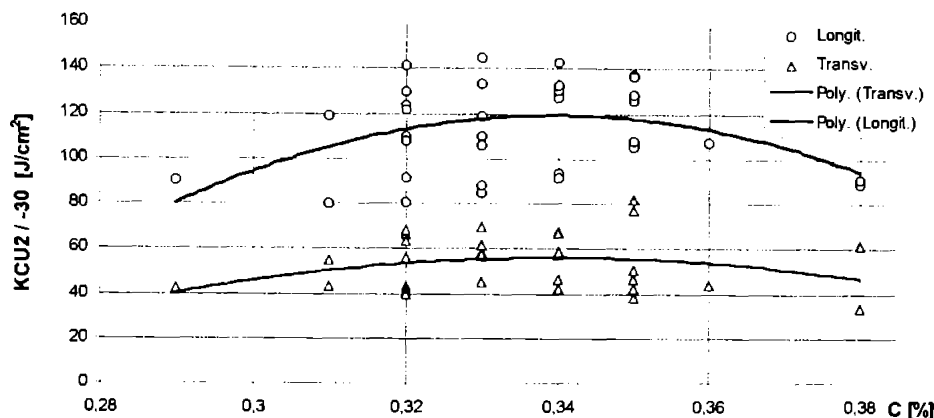


Fig.7.11.c. Variația rezilienței KCU2/-30 în funcție de conținutul de C

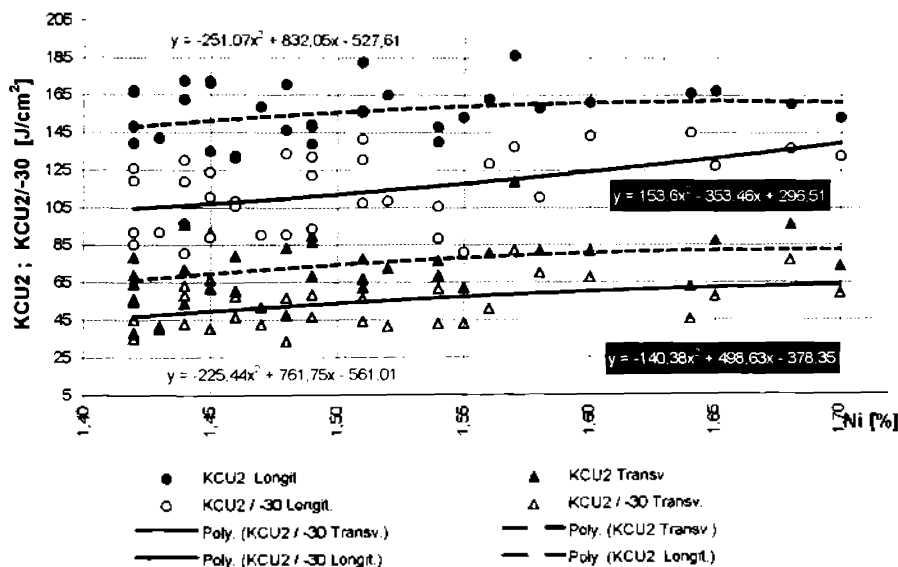


Fig.7.12. Variația reziliențelor KCU2 și KCU2/-30 în funcție de conținutul de Ni

În fig.7.12. se prezintă comparativ diagramele de variație ale reziliențelor obținute la temperatura ambiantă (KCU2) respectiv la temperatura scăzută (KCU2/-30), pe epruvete longitudinale și transversale în funcție de conținutul de nichel.

Valorile maxime ale reziliențelor corespund conținutului de 1,7% Ni care reprezintă limita superioară a domeniului impus prin compoziția chimică a mărcii de oțel.

Pentru marca de oțel **34MoCrNi15X-RS** au fost încercate la temperatura scăzută de -30°C și epruvete care au provenit din cap (A) respectiv picior (U) de lingou. Rezultatele experimentale obținute la temperatura scăzută, împreună cu cele de la temperatura ambiantă sunt prezentate în Anexa 7.2.

Variația rezilienței, la temperatura scăzută de încercare, funcție de conținutul de nichel și

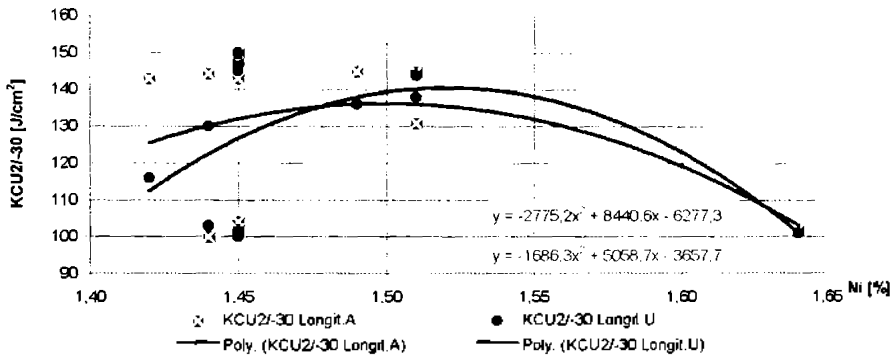


Fig.7.13.a. Variația rezilienței KCU2/-30 pentru epruvetele longitudinale provenite din cap respectiv picior de lingou în funcție de conținutul de Ni

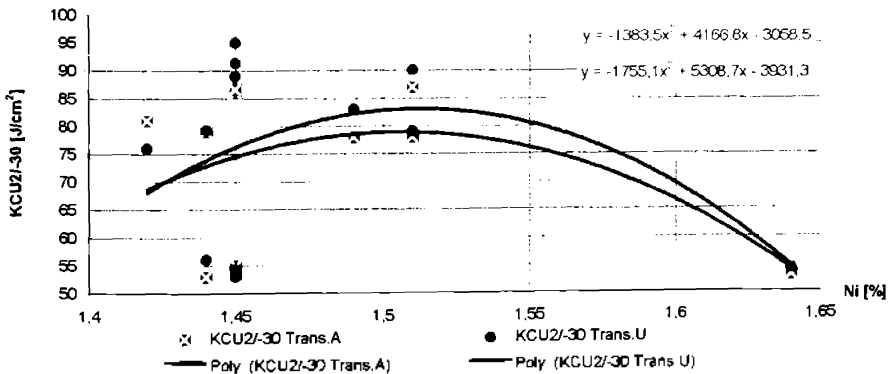


Fig.7.13.b. Variația rezilienței KCU2/-30 pentru epruvetele transversale provenite din cap respectiv picior de lingou în funcție de conținutul de Ni

locul de prelevare al epruvetelor este prezentată astfel: pentru epruvetele longitudinale provenite din cap respectiv picior de lingou - fig.7.13.a. și pentru epruvetele transversale provenite din cap respectiv picior de lingou - fig.7.13.b.

2. Oțelul 34MoCrNi16X este destinat fabricării unor organe de mașini care sunt mediu respectiv puternic solicitate. Temperatura scăzută utilizată pentru încercări a fost de -30°C (243K). Experimentările s-au efectuat pe epruvete longitudinale și transversale prelevate din cap (A), mijloc (C) respectiv picior (U) de lingou, provenite de la nouă șarje de oțel. Rezultatele obținute sunt prezentate în Anexa 7.3.

Variația rezilienței KCU2/-30 în funcție de conținutul de nichel și locul de prelevare al epruvetelor se prezintă astfel: fig.7.14.a.- pentru epruvetele longitudinale provenite din cap, mijloc și picior de lingou și fig.7.14.b.- pentru epruvetele transversale din cap, mijloc și picior de lingou.

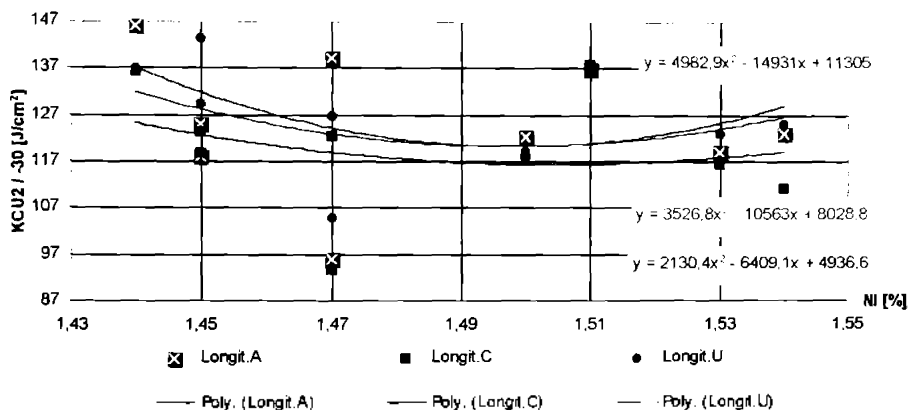


Fig.7.14.a. Variația rezilienței KCU2/-30 pentru epruvetele longitudinale în funcție de conținutul de Ni

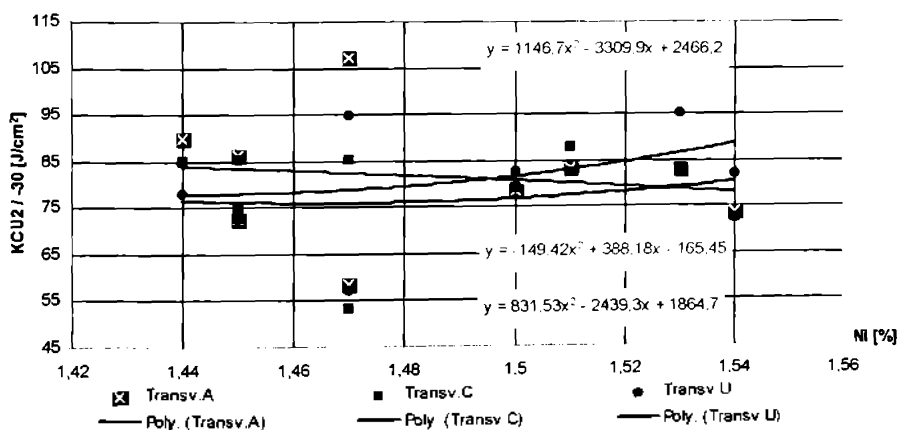


Fig.7.14.b. Variația rezilienței KCU2/-30 pentru epruvetele transversale în funcție de conținutul de Ni

Caracteristicile mecanice ale oțelului 34MoCrNi16X

Tabelul 7.14.

Nr. șarjei (conv.)	Poz. de prelev.	CARACTERISTICI MECANICE (valori medii)								Coeficienți	
		R _{p0,2}	R _m	A ₅	Z	KCU2 (+20°C)		KCU2 (-30°C)		α	β
		[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]	[%]	[J/cm ²]	[J/cm ²]	[J/cm ²]	[J/cm ²]		
1	A	880	993	17	65	160,66	114,66	119	83	1,401	1,433
	C	917	1017	17	65	157	113,66	116,33	83	1,381	1,401
	U	874	986	18	65	166,33	130	123	95	1,279	1,294
2	A	880	980	16	64	166,33	111,33	122,33	78,33	1,494	1,561
	C	887	1005	17	66	159	109,33	116,33	79	1,454	1,497
	U	880	993	17	65	160,66	113,33	119	82,66	1,417	1,439
3	A	893	983	18	61	188,33	146,66	139	107	1,284	1,299
	C	943	1036	18	66	165	118	122,33	85,33	1,398	1,433
	U	887	986	17	67	171,33	131	126,66	94,66	1,307	1,338
4	A	887	999	18	66	166,33	100,66	123	73,66	1,652	1,669
	C	893	999	18	66	149,66	99,33	111	72,33	1,506	1,534
	U	861	986	20	69	169	111,66	125	82	1,513	1,524
5	A	874	993	18	67	169,33	100,33	125	72,33	1,687	1,728
	C	911	1024	19	67	165,66	101	123,33	72,66	1,640	1,697
	U	868	980	17	66	175	100,66	129,33	73,33	1,738	1,763
6	A	870	987	16	65	198,33	124,66	146	89,66	1,590	1,628
	C	879	989	16	66	183	117,33	136	85	1,559	1,600
	U	868	980	16	67	184,66	107,66	136,66	78	1,715	1,752
7	A	924	1030	16	60	130,33	79,66	96	58,33	1,636	1,645
	C	955	1061	16	60	127	76,33	93,66	53,33	1,663	1,756
	U	930	1030	15	64	142	79	104,66	57	1,797	1,836
8	A	868	997	19	70	183,66	113	136,66	83,33	1,625	1,639
	C	924	1017	17	66	187	119,66	137,66	88	1,562	1,564
	U	868	980	18	69	185	113,33	136	82,33	1,632	1,651
9	A	887	986	17	64	159,66	118,33	118	86,33	1,349	1,366
	C	899	999	17	64	160,33	101,33	118,66	75	1,582	1,582
	U	887	986	17	65	194,33	115,66	143,33	85,33	1,680	1,679

Analizând curbele din fig.7.14.a se constată că trebuie evitat conținutul de nichel în jurul valorii de 1,5% deoarece reziliența are valoarea cea mai mică. Prin modificarea conținutului de nichel spre valoarea maximă a domeniului impus [119] mărcii de oțel și anume 1,70% se remarcă o creștere a valorii rezilienței, indiferent de locul de prelevare a epruvetelor.

Pentru epruvetele transversale (fig 7.14.b) se observă o creștere lentă a rezilienței odată cu mărirea conținutului de nichel.

Având în vedere că pentru această marcă de oțel, frecvent utilizată în construcția de mașini, s-au efectuat încercări la încovoierea prin șoc atât la temperatura ambiantă cât și la temperatura scăzută impusă (-30°C), pe epruvete longitudinale și transversale provenite din cap, mijloc și picior de lingou s-a pus problema stabilirii unor relații de legătură între reziliențele obținute pe diferitele epruvete. Astfel, s-au definit coeficienții α respectiv β ca și rapoarte dintre reziliențele obținute pentru epruvetele longitudinale respectiv transversale, la temperatura ambiantă și la temperatura scăzută:

$$\alpha = \frac{(KCU2)_L}{(KCU2)_T} \quad ; \quad \beta = \frac{(KCU2/-30)_L}{(KCU2/-30)_T} \quad (7.5);(7.6)$$

Din Anexa 7.3. au fost extrase valorile medii ale caracteristicilor mecanice, s-au calculat coeficienții α respectiv β și s-a întocmit tabelul 7.14.

Pentru fiecare loc de prelevare a epruvetelor (A;C și U) s-au determinat limitele între care variază coeficienții α și β , rezultatele obținute fiind prezentate în tabelul 7.15.

Tabelul 7.15.

Valorile coeficienților α și β pentru oțelul 34MoCrNi16X

Coeficienții reziliențelor	Locul de prelevare a epruvetelor		
	Cap lingou (A)	Mijloc lingou (C)	Picior lingou (U)
α	1,264...1,687	1,381...1,663	1,279...1,797
	Media: 1,485	Media: 1,522	Media: 1,538
β	1,299...1,728	1,401...1,756	1,294...1,836
	Media: 1,513	Media: 1,578	Media: 1,565

Analizând valorile coeficienților se poate trage concluzia că pentru valorile medii ale acestora, reziliențele obținute pe epruvetele prelevate longitudinal sunt cu aproximativ 50% mai mari decât pentru cele prelevate transversal, indiferent de locul de proveniență (cap, mijloc respectiv picior de lingou).

Observație. Prin stabilirea valorilor acestor coeficienți aferenți fiecărei trepte de temperatură scăzută impusă, pentru un lot de șarje de oțel din aceeași marcă, se poate evalua

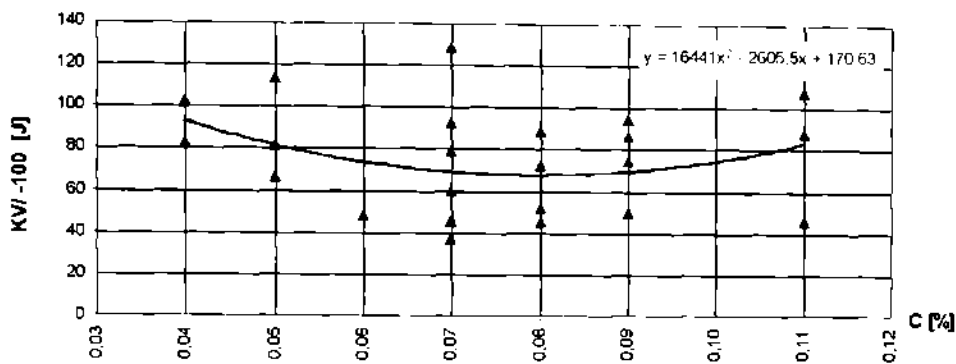


Fig. 7.15.a. Variația energiei de rupere funcție de conținutul de carbon

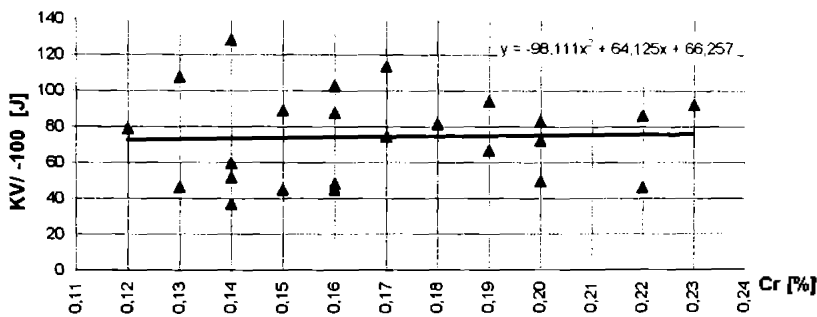


Fig. 7.15.b. Variația energiei de rupere funcție de conținutul de crom

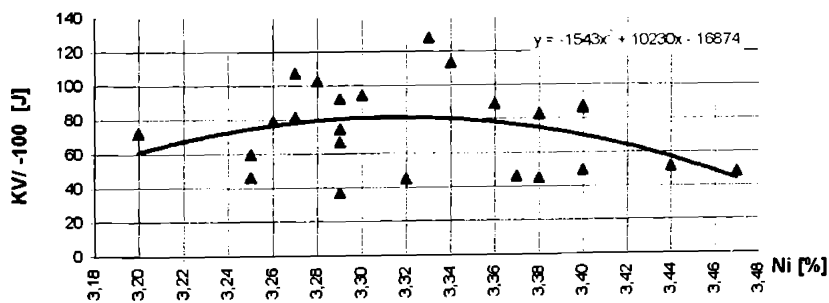


Fig. 7.15.c. Variația energiei de rupere funcție de conținutul de nichel

reziliența pentru epruvetele transversale provenite din alte șarje, efectuându-se încercări numai pentru epruvetele prelevate longitudinal.

3. Oțelul 10Ni35 este un oțel mediu aliat cu nichel utilizat la fabricarea țevilor folosite la temperaturi scăzute [121]. Încercările s-au efectuat pe epruvete cu creștătură V [112], prelevate după direcția longitudinală din mijloc de lingou, la temperatura scăzută de -100°C (173K).

Rezultatele obținute în urma încercărilor la încovoiere prin șoc împreună cu compoziția chimică a șarjelor respectiv caracteristicile mecanice la tracțiune sunt prezentate în Anexa 7.4.

Variația energiei de rupere KV-100 în funcție de conținutul de carbon, crom respectiv nichel este prezentată în figurile 7.15.a; 7.15.b. respectiv 7.15.c. Valorile energiilor de rupere obținute în urma investigațiilor sunt mult superioare valorii minim impuse (28J) pentru marca de oțel [121].

Creșterea conținutului de carbon spre valoarea maxim impusă (max.0,12 %) duce la obținerea unor energii de rupere mai mari (vezi fig.7.15.a). Conținutul de crom între limitele 0,12%...0,23% nu are influență asupra modificării energiei de rupere (vezi fig.7.15.b). Valoarea maximă a caracteristicii mecanice la încovoiere prin șoc se obține pentru un conținut de aproximativ 3,32% nichel și scade odată cu creșterea conținutului acestui element de aliere (vezi fig.7.15.c). Acest lucru indică faptul că utilizarea conținutului maxim al domeniului impus prin compoziția chimică (3,80% Ni) a mărcii de oțel [121] nu este justificată.

4. Oțelul 10Ni35R are ca și destinație realizarea de țevi, elemente pentru cazane respectiv recipienti sub presiune [122].

Pentru determinarea caracteristicii mecanice la încovoiere prin șoc s-au utilizat epruvete cu creștătură V [112], prelevate după direcția longitudinală, iar temperatura scăzută de încercare a fost de -100°C (173K).

În Anexa 7.5. sunt prezentate rezultatele obținute în urma investigațiilor, împreună cu compoziția chimică a șarjelor de oțel din care s-au prelevat probele respectiv caracteristicile mecanice la tracțiune.

Diagramele din figurile 7.16.a; 7.16.b respectiv 7.16.c reprezintă variația energiei de rupere în funcție de conținutul de carbon, crom respectiv nichel.

De remarcat este faptul că, valorile KV-100 sunt mai mari decât valoarea minim impusă (min.28J) mărcii de oțel analizate [122], pentru toate șarjele luate în studiu. Acest lucru arată comportamentul tenace al oțelului și în condițiile temperaturii scăzute de -100°C .

Carbonul asigură cea mai mare energie de rupere pentru un conținut care corespunde valorii maxim admise (0,12%C). Influența cromului asupra energiei de rupere este puțin semnificativă pentru întreg domeniul (0,14%...0,30%). Creșterea conținutului de nichel spre

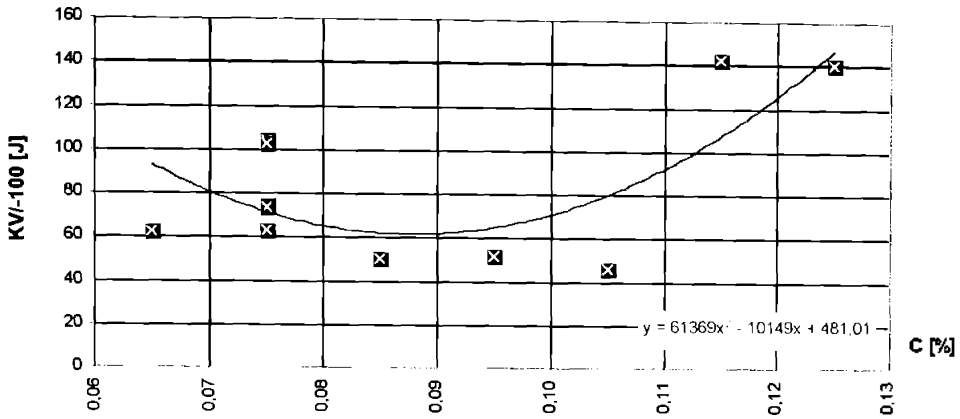


Fig.7.16.a. Variația energiei de rupere funcție de conținutul de carbon

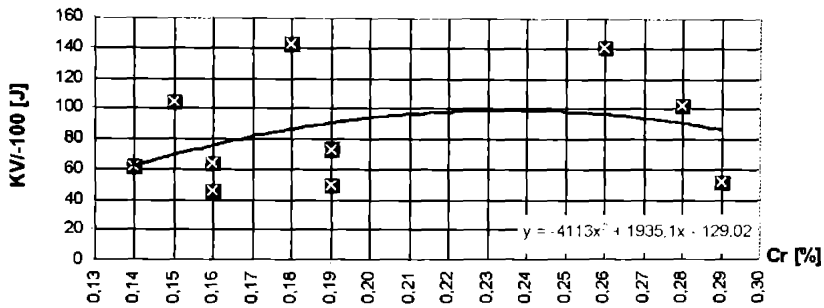


Fig. 7.16.b Variația energiei de rupere funcție de conținutul de crom

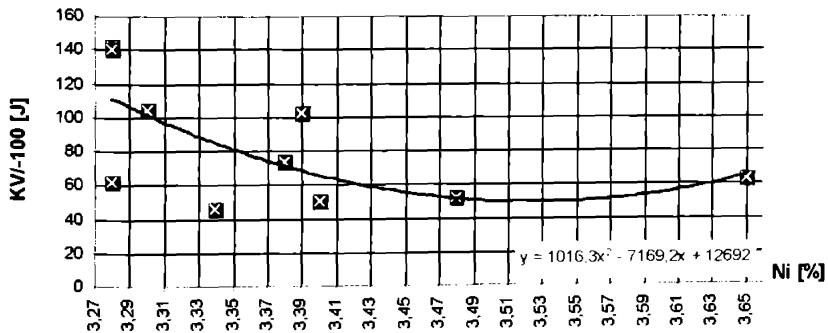


Fig.7.16.c. Variația energiei de rupere funcție de conținutul de nichel

valoarea maximă a domeniului (3,8%Ni) nu este justificată (similar cu rezultatele de la marca 10Ni35) deoarece creșterea energiei de rupere este puțin semnificativă. Astfel, se poate recomanda utilizarea unui conținut de nichel de 3,20...3,30%, pentru a se obține o energie de rupere cât mai mare.

Observație. Toate concluziile prezentate, privind influența elementelor carbon, crom respectiv nichel asupra comportamentului oțelurilor la temperaturile scăzute, sunt valabile numai din punctul de vedere al caracteristicii mecanice obținute în urma încercării la încovoiere prin șoc (reziliența respectiv energia de rupere).

7.4. Încercarea la răsucire

7.4.1. Noțiuni generale

Încercarea la răsucire, ca și metodă pentru determinarea caracteristicilor mecanice este mai puțin utilizată, nefiind reglementată printr-un normativ național, deși constituie o modalitate de examinare a comportării metalelor sub acțiunea tensiunilor tangențiale. Rezultatele încercării permit determinarea rezistenței la răsucire și a deformabilității metalelor, putându-se face o apreciere asupra tenacității acestora [66].

Avantajele încercării la răsucire constau în faptul că epruveta nu își modifică substanțial dimensiunile, condițiile încercării rămân aproximativ constante și nu intervin factori exteriori care să influențeze rezultatele încercării.

Epruvetele care se utilizează pot fi cilindrice respectiv tubulare cu pereți subțiri, dar dimensiunile acestora diferă de la autor la autor (vezi 6.4).

Schema solicitării la răsucire pentru o bară (epruvetă) de secțiune circulară este prezentată în fig. 7.17.a. Ca urmare a aplicării unui moment de răsucire, în secțiunile transversale ale barei se produc tensiuni tangențiale, iar secțiunile se rotesc în jurul axei cu un unghi φ care până la o anumită limită este proporțional cu distanța l dintre planurile cuplurilor [6], [20] și [66]

Deformația unghiulară maximă, numită **lunecarea specifică** se calculează cu relația:

$$\gamma_{\max} = \frac{r \cdot \varphi}{l} = \frac{d \cdot \varphi}{2 \cdot l} \quad (7.7)$$

În timpul încercării la răsucire se măsoară (sau se înregistrează) momentul de răsucire aplicat epruvetei și unghiul de rotire φ între două secțiuni aflate la o distanță l , una față de cealaltă. Prin **curba caracteristică la răsucire** [6] se definește graficul care exprimă dependența între M_t și φ (fig. 7.17.b).

Variația tensiunii tangențiale, în secțiunea transversală a unei epruvete de secțiune circulară solicitată la răsucire, este neuniformă, prezentând în domeniul elastic o distribuție liniară, cu valoarea zero în centrul epruvetei respectiv o valoare maximă în fibrele extreme (fig.7.17. c.):

$$\tau_{\max} = \frac{M_r}{W_p} = \frac{16M_r}{\pi d^3} \quad (7.8)$$

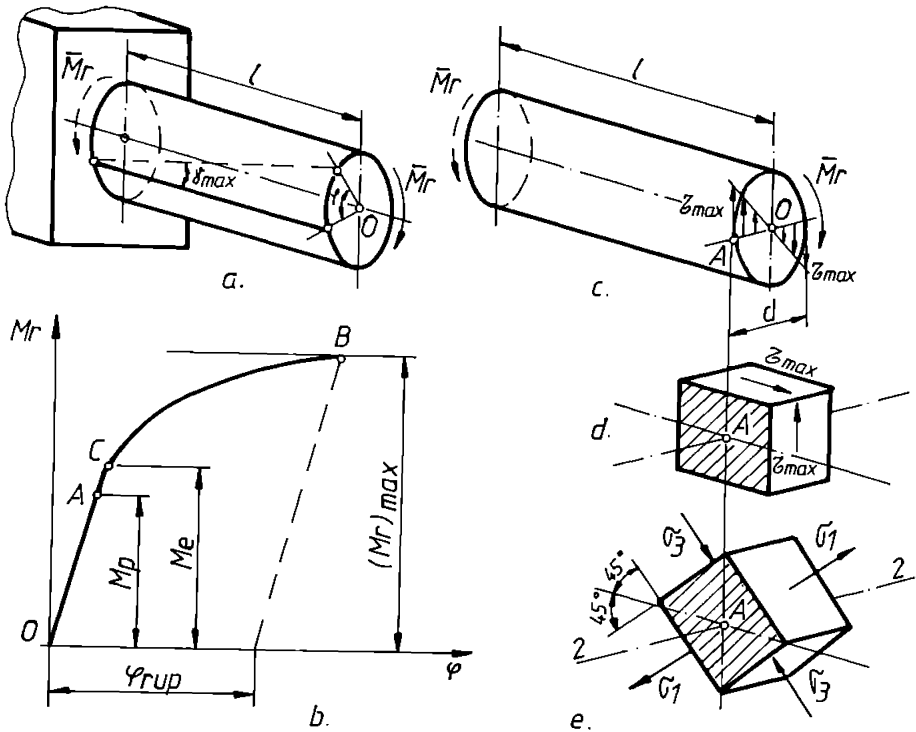


Fig.7.17. Elementele caracteristice solicitării la răsucire a epruvetelor de secțiune circulară

Starea de tensiune din punctul A se prezintă pe un element de volum [6] schematizat în fig.7.17.d. Direcțiile principale ale tensiunilor din punctul A sunt 1; 2 respectiv 3, din fig.7.17.e; planul hașurat este tangent la cilindru, direcția 2 este perpendiculară pe acest plan, iar direcțiile 1 și 3 sunt cuprinse în plan și fac unghiuri de 45° cu generatoarea cilindrului. Tensiunile principale au valorile $\sigma_1 = \tau_{\max}$; $\sigma_2 = 0$; $\sigma_3 = -\tau_{\max}$, iar lunecarea specifică în punctul A, între direcțiile 1 și 3 este $\gamma = \varepsilon_1 - \varepsilon_3$. Deoarece $\varepsilon_1 = -\varepsilon_3$, rezultă $\gamma = 2\varepsilon_1 = -2\varepsilon_3$ și deci se poate obține lunecarea specifică din A, măsurând alungirile pe direcțiile 1 și 3.

Dacă epruveta supusă la răsucire este tubulară cu pereți subțiri (cu diametrele D și d), atunci se poate considera că starea de tensiune în epruvetă este omogenă, iar tensiunea tangențială maximă (în domeniul elastic) se poate calcula cu formula:

$$\tau_{\max} = \frac{M_r}{W_p} = \frac{16 D \cdot M_r}{\pi (D^4 - d^4)} \quad (7.9)$$

De pe curba caracteristică (fig.7.17.b) se pot calcula tensiunile tangențiale maxime în epruvetă, la diferitele valori ale M_r . În domeniul elastic sunt valabile relațiile (7.8) și (7.9). Pentru domeniul plastic, tensiunea tangențială dintr-o epruvetă de secțiune circulară cu diametrul d se calculează cu relația [6]; [66]:

$$\tau = \frac{4 \left(3M_r + \varphi \frac{dM_r}{d\varphi} \right)}{(\pi d^3)} \quad (7.10)$$

Tensiunea tangențială corespunzătoare momentului ruperii epruvetei (corespunzătoare punctului B) se numește **rezistență la răsucire** τ_r , și deoarece punctul B se situează pe o zonă aproximativ orizontală a curbei caracteristice, cu $dM_r/d\varphi = 0$, rezultă

$$\tau_r = \frac{12M_r}{(\pi d^3)} \quad (7.11)$$

În cazul epruvetelor cu secțiunea inelară (epruvete tubulare) rezistența la răsucire se calculează cu formula:

$$\tau_r = \frac{12M_r}{\pi (D^3 - d^3)} \quad (7.12)$$

7.4.2. Utilajul folosit pentru executarea încercării la răsucire

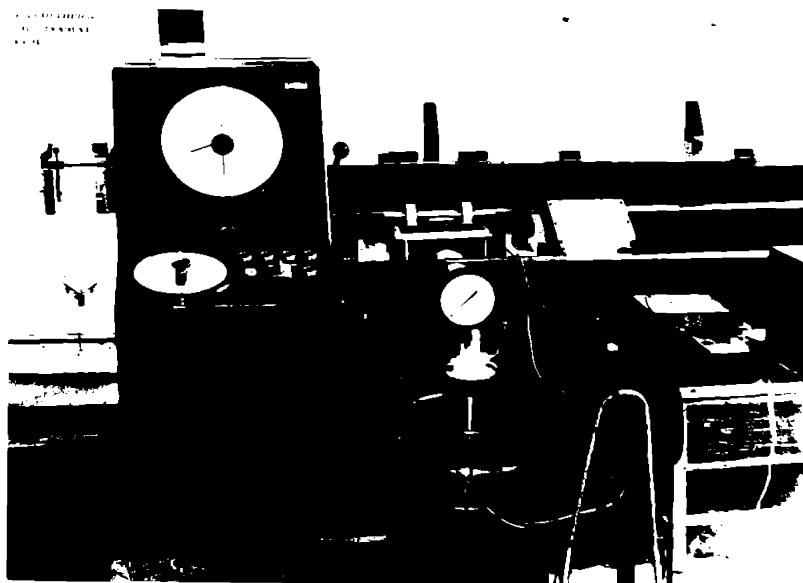
7.4.2.1. Mașina de încercare la răsucire

Pentru încercarea la răsucire a epruvetelor, de secțiune circulară respectiv inelară (vezi 6.4., fig.6.4.) s-a utilizat o mașină tip MODELL TAD III aflată în dotarea laboratorului de Rezistența materialelor a Facultății de Inginerie Hunedoara. La această mașină s-a atașat o incintă frigorifică proiectată și realizată de către autor (vezi 4.2.3., fig.4.6.), care utilizează ca și agent de răcire, vaporii de azot.

În poza 7.2. este prezentată mașina de încercare la răsucire cu incinta frigorifică montată și echipamentul necesar pentru obținerea, reglarea și menținerea temperaturii scăzute necesare încercării.

Mașina de încercare la răsucire este prezentată schematic în fig.7.18.

Pe batiul mașinii (1) sunt montate două coloane orizontale de ghidare (2) ale capului mobil (4), care cuprinde un mecanism ce preia mișcarea de rotație de la un arbore canelat (3) și o transmite dispozitivului de prindere activ (9). Poziționarea capului mobil, funcție de lungimea



Poza 7.2. Mașina de încercare la răsucire echipată în vederea executării experimentărilor epruvetei, se face manual prin deplasarea acestuia spre dreapta sau spre stânga pe coloanele de ghidare, iar fixarea de cablul (5) se realizează cu un șurub (8).

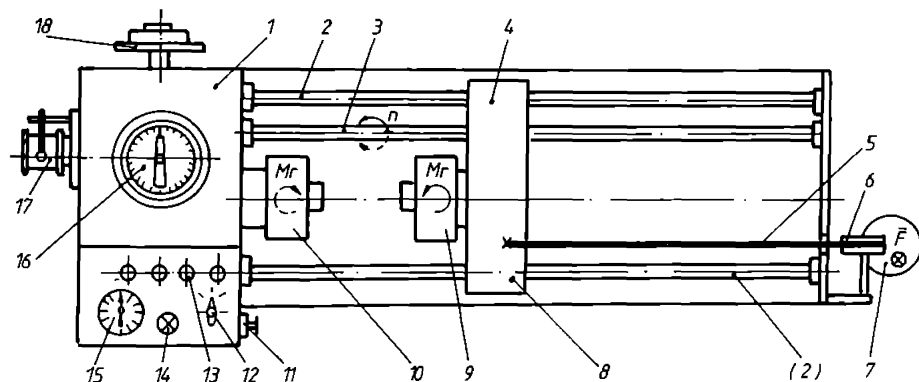


Fig.7.18. Schema mașinii de încercare la răsucire

Pentru încărcarea axială a epruvetei (circa 1...2% din forța de rupere la tracțiune a materialului epruvetei) se utilizează greutateți etalonate, care se așează pe un taler (7) fixat la capătul cablului (5) care este trecut peste un scripete (6).

Epruveta se montează între dispozitivul de prindere activ (9) al capului mobil respectiv dispozitivul de prindere (10) al capului fix.

Panoul de comandă al mașinii cuprinde un întrerupător central (11); un comutator (12) prin care se comandă rotirea în sens orar respectiv antiorar al dispozitivului de prindere activ, o lampă

de semnalizare (14); patru butoane (13) prin care se impune viteza de încărcare a epruvetei (exprimată în rot/min); un cadran (15) pe care se citesc numărul de rotații până la rupere și un cadran (16) pe care se vizualizează variația momentului de răsucire.

Sistemul de înregistrare (17) al mașinii permite trasarea diagramei momentului de răsucire (M_r) în funcție de unghiul de deformație (φ). Mecanismul de măsurare al momentului de răsucire cuprinde un pendul (18) la care se atașează greutateți etalonate, prin care se stabilesc domeniile de lucru ale mașinii de încercat.

Mașina tip MODELL TAD III are următoarele caracteristici:

- viteza de încărcare exprimată în rot/min are patru valori de lucru (6;12;30 respectiv 60 rot/min), selectate prin comanda unor butoane (13);
- mecanismul de măsurare al momentului de răsucire are patru domenii de lucru (15;30;75 respectiv 150 kgf·m), care se obțin prin atașarea unor greutateți etalonate la pendulul (18) acestuia;
- lungimea maximă a epruvetelor (în cazul sârmelor) este de 1m,
- diametrul epruvetelor este de 5...15 mm, pentru cazul sârmelor, respectiv de 10...30 mm pentru cazul epruvetelor scurte, de secțiune circulară respectiv inelară;
- încărcarea la răsucire se poate realiza în sens orar respectiv antiorar.

7.4.2.2 Stand pentru încercarea la răsucirea sârmelor

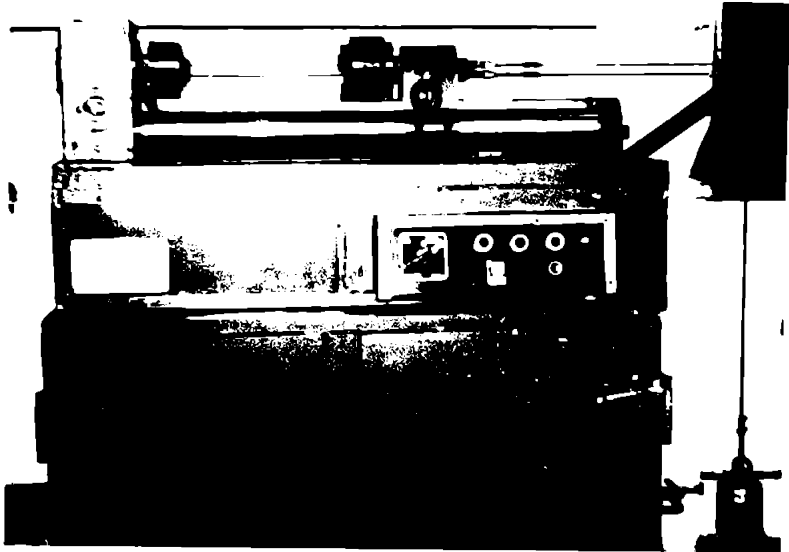
Pentru încercarea la răsucirea sârmelor, autorul a proiectat și realizat un stand experimental pentru care a obținut Certificat de inovator [84]. Standul permite încercarea sârmelor de oțel și de neferoase într-o gamă a diametrelor cuprinsă între 0,3 mm și 15 mm cu respectarea prescripțiilor din *STAS 1750-90* respectiv *SR ISO 9649:1996* (modificarea lungimii dintre dispozitivele de fixare a epruvetei, variația turației capului mobil de răsucire; schimbarea sensului de răsucire, încărcarea axială a epruvetei respectiv contorizarea numărului de răsuciri).

În poza 7.3. este prezentat standul pentru încercarea la răsucirea sârmelor.

Schema de principiu a standului este redată în fig. 7.19. Epruveta (4) se fixează între două capete de prindere - unul mobil, cu dispozitivul de fixare (3) care asigură încărcarea la răsucire și unul fix (8), pentru o anumită lungime activă, cu dispozitivul de fixare (6).

Capul activ de răsucire (3) este montat pe arborele de ieșire al reductorului melcat (1) care este acționat de motorul de curent continuu (13). Motorul (13) este alimentat de la un grup motor de curent alternativ-generator de curent continuu (14), care permite modificarea turației de răsucire a epruvetei. În funcție de lungimea activă a epruvetei, capul de prindere (8) este deplasat axial pe ghidaj (5) prin intermediul unui angrenaj roală dințată-cremalieră și apoi se fixează de ghidaj prin intermediul a două șuruburi. Capul (8) este prevăzut cu un limitator de cursă (7) și un limitator de încărcare (12). Întinderea epruvetei se realizează de către o forță

constantă F prin intermediul piesei (9), cablului (10) și a rolei (11). Forța de întindere se realizează cu greutăți etalonate, așezate pe un taler fixat la capătul cablului (10). În reductor (1) se află montat microîntrerupătorul (2) al numărătorului de răsuciri.



Poza 7.3. Stand pentru încercarea la răsucirea sârmelor

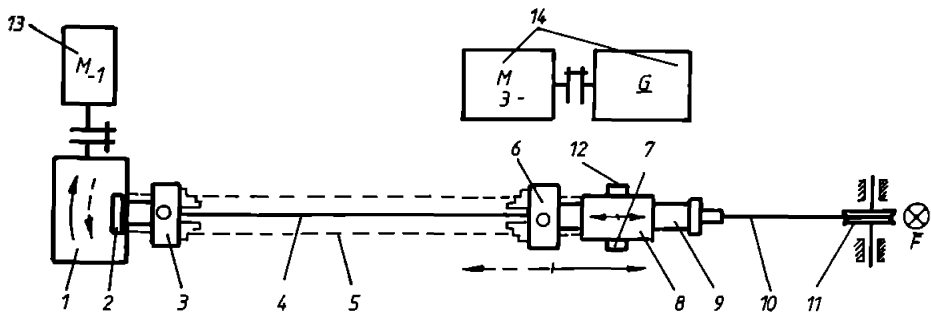


Fig.7.19. Schema standului pentru încercarea la răsucirea sârmelor

Dispozitivul de fixare (6) prevăzut cu piesa de capăt (9) se poate deplasa axial, față de capul de prindere (8), prin intermediul a două pene paralele, fiind astfel poziționat încât limitatorii de cursă (7) respectiv de sarcină (12) să fie pe poziția deschisă. În momentul ruperii epruvetei, dispozitivul de fixare (6) se deplasează axial, spre dreapta, sub acțiunea forței F (este de maxim 2% din forța de rupere la întindere a sârmei) și închide limitatorul de sarcină (12) care comandă întreruperea alimentării motorului de curent continuu și contorizarea numărului de răsuciri.

Panoul de comandă al standului este prezentat în fig.7.20 pe care s-au notat:

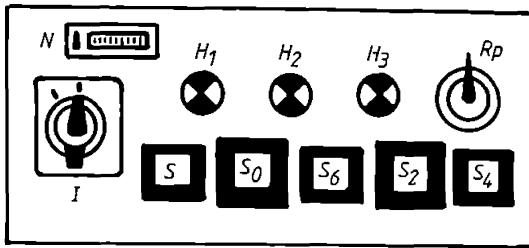


Fig.7.20. Panoul de comandă al standului

H_1 - lampă de semnalizare a cuplării grup și excitație; H_2 - lampă semnalizare a încărcării;
 H_3 - lampă de semnalizare a rotirii capului mobil și R_p - potențiometru de reglaj al turației

Caracteristicile tehnice ale standului pentru încercarea la răscucirea sârmelor sunt:

- Tensiunea de alimentare a grupului M -G este de 380V;
- Gama turațiilor motorului de curent continuu: 50...3000 rot/min;
- Raportul de transmitere al reductorului melcat $i = 50$;
- Domeniul turațiilor capului de răscucire 1...60 rot/min;
- Diametrul sârmelor de încercat cuprins între 0,3 mm și 15 mm;
- Lungimea epruvetelor cuprinsă între 100 mm și 800 mm.

Executarea încercării la temperatura ambiantă comportă următoarele operații:

1. Verificarea și reglarea standului experimental (cuplarea la rețeaua electrică de alimentare; reglarea distanței dintre capetele de prindere în funcție de lungimea epruvetei; aducerea la zero a numărătorului de răsuciri; pornirea grupului M-G și reglarea turației de răscucire);
2. Pregătirea epruvetelor constă în îndreptarea sârmei din colac și debitarea la lungimea $l = (L+60)$ mm;
3. Montarea epruvetei între dispozitivele de fixare ale capetelor de prindere;
4. Se încarcă epruveta, la întindere, cu o forță constantă prescrisă, prin așezarea de greutate etalonate pe talerul dispozitivului de încărcare;
5. Se pornește motorul de antrenare al capului mobil de răscucire;
6. În momentul ruperii epruvetei se citește numărul întreg de răsuciri la care a rezistat epruveta, la numărătorul montat pe panoul de comandă;
7. Se repetă încercarea pentru un număr de minim trei epruvete de același tip (formă și dimensiuni) și din același material;
8. În buletinul de încercare se menționează - forma și dimensiunile epruvetei; materialul epruvetei; sarcina de întindere; felul răsucirii; numărul de răsuciri suportat și caracterul ruperii

I - întrerupător rețea;
 N-numărătorul electromagnetice;
 S_0 -buton de oprire a grupului M-G;
 S_1 -buton de pornire a grupului M-G;
 S_2 -buton de stop;
 S_3 -buton comandă rotire în sens
 antiorar;
 S_4 -buton comandă rotire în sens
 orar

(tenace, fragil, în planul transversal sau în plan înclinat).

Observație. Pentru încercarea la răsucirea sârmelor, în domeniul temperaturilor scăzute, se montează pe batiul standului, între capetele de prindere ale epruvetei, o incintă frigorifică (vezi 4.2.3., fig.4.6.) în care se asigură răcirea acesteia în palierul de temperatură dorit. Înainte de executarea încercării propriu-zise este necesară reglarea temperaturii în incinta frigorifică și menținerea epruvetei în aceste condiții un timp determinat, până la uniformizarea temperaturii în întreaga masă a ei. Datorită faptului că în timpul încercării temperatura crește, trebuie asigurată o subrăcire față de palierul dorit de temperatură scăzută.

Schema electrică a standului experimental este prezentată în fig.7.21.

Acționarea standului pentru încercarea la răsucirea sârmelor se realizează cu un motor de curent continuu, alimentat de la un grup motor (de curent alternativ) - generator (de curent continuu).

Modificarea turației motorului de curent continuu se face liniar, prin intermediul potențiometrului R_p , care este reglat pentru gama de turații 50...3000 rot/min, obținându-se la ieșirea din reductorul melcat (raportul de transmitere $i = 50$) turații cuprinse între 1 rot/min și 60 rot/min. Corecția limitelor admise pentru turația motorului de c.c. (50...3000 rot/min) se realizează prin rezistențele semireglabile R_1 și R_2 .

Motorul M_1 poate fi rotit în sens orar sau antiorar, butoanele de comandă fiind S_4 și S_5 .

Excitația generatorului G este alimentată prin transformatorul T_1 și redresorul P_1 , curentul de excitație putând varia între limitele 0,4...0,8 A.

Excitația motorului de curent continuu M_1 , este alimentată prin transformatorul T_2 , redresorul P_2 și rezistența semireglabilă R_3 . Curentul de excitație se poate regla între limitele 2...2,5 A.

Motorul asincron M este prevăzut cu un bloc de rele termice θ , pentru protecția la suprasarcină. În cazul unor defecte interioare, protecția motorului M se realizează prin siguranțele fuzibile F_1 , F_2 și F_3 .

Schema electrică permite contorizarea numărului de răsuciri ale epruvetei până la rupere, semnalizarea cuplării electrice a grupului motor-generator ($M-G$) și a excitației (lampa H_1); semnalizarea încărcării (lampa H_2) și a rotirii capului de prindere mobil (lampa H_3).

Cuplarea standului experimental la rețeaua de alimentare se realizează prin întrerupătorul tripolar I .

Acționând butonul de pornire S_1 se alimentează bobina contactorului K , care realizează cuplarea la rețea a motorului asincron M .

Cuplarea grupului motor-generator este semnalizată prin lampa H_1 , aprinderea ei are loc numai după acționarea contactelor K și K' (alimentarea bobinei contactorului K' se face printr-un contact auxiliar normal deschis al contactorului K).

Prin contactorul K' se realizează cuplarea la rețea a transformatoarelor T_1 și T_2 și alimentarea în curent continuu a schemei de comandă.

Cu standul astfel pregătit, se deplasează dispozitivul de fixare al capului de prindere fix astfel încât limitatorul de încărcare la întindere S_8 să fie închis, iar lampa de semnalizare H_2 stinsă. La o depășire a cursei dispozitivului de fixare va fi acționat limitatorul de cursă S_7 prin deschiderea contactului normal închis al acestuia și are loc întreruperea alimentării excitației generatorului G .

După ce s-a reglat turația motorului de c.c. (respectând limitele impuse) se acționează butonul de comandă S_6 , care închide circuitul de alimentare al bobinei contactorului K_1 (bobina acestuia rămâne alimentată prin contactul de autoîntreținere K_1).

Prin acționarea lui K_1 are loc alimentarea excitației generatorului G astfel încât motorul M_1 să se rotească în sens orar.

După ruperea epruvetei, dispozitivul de fixare al capului de prindere fix se va deplasa spre dreapta, sub acțiunea forței de întindere, va acționa microîntrerupătorul S_6 care decuplează motorul M_1 (se întrerupe alimentarea bobinei contactorului K_1).

Microîntrerupătorul S_9 , amplasat pe peretele interior al reductorului melcat și acționat de către un știft montat pe arborele roții melcate, comandă numărătorul electromagnetic N , care contorizează numărul de răsuciri ale epruvetei până în momentul ruperii. Numărătorul este prevăzut cu un mecanism de aducere la zero.

Pentru a roti motorul de curent continuu în sens antiorar, se apasă butonul de comandă S_4 , care determină alimentarea bobinei contactorului K_2 (aceasta rămâne alimentată prin contactul de automenținere K_2).

Acționarea contactelor K_1 și K_2 este semnalizată prin aprinderea lămpii H_3 .

7.4.3. Experimentări privind studiul comportării la răsucire, în condiții de temperaturi scăzute, pentru mărcile de oțel 10Ni35R, 34MoCrNi16X și OL37-2k

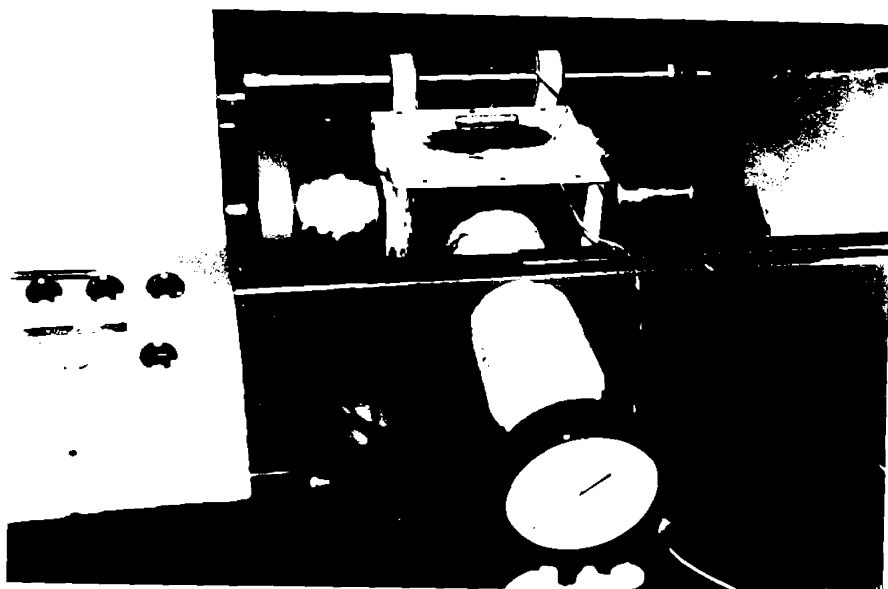
7.4.3.1. Generalități

Încercarea la răsucire s-a executat pe epruvete de secțiune circulară, inelară (epruvete tubulare cu pereți subțiri) respectiv pe sârme. Forma și dimensiunile epruvetelor folosite sunt prezentate în 6.4., poza 6.2 și fig.6.4., iar modul de prelevare și tratamentele termice aplicate în 6.6.

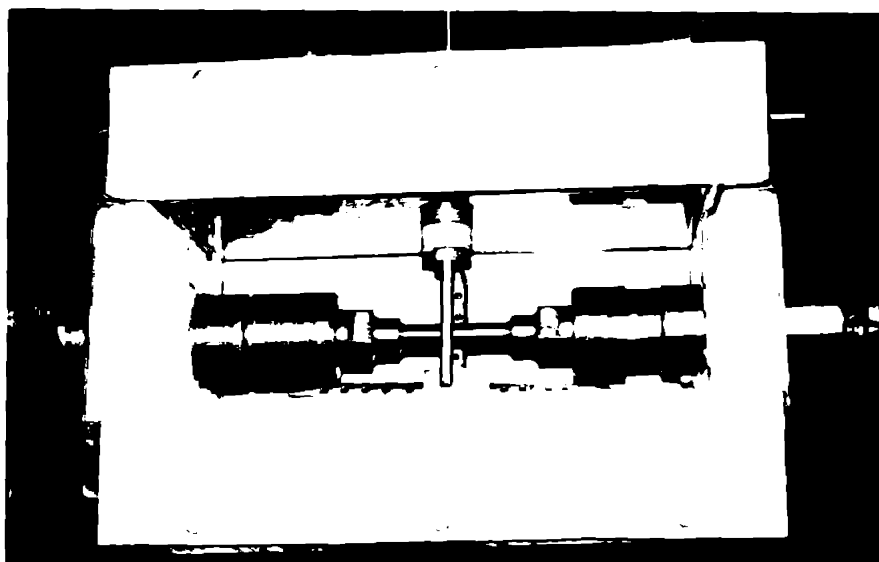
Utilajul utilizat pentru încercarea mecanică este prezentat în 7.4.2, incinta frigorifică în 4.2.3 și fig.4.6, iar D.R.A.T.S în 5.4.2., poza 5.3 și fig.5.9.

Incinta frigorifică folosește ca și agent de răcire vaporii de azot obținuți prin presurizarea vasului Dewar, în care se află azotul lichid, după varianta a III-a.

În poza 7.4. este prezentată incinta frigorifică montată la mașina de încercare tip MODELL TAD III, iar în poza 7.5. se arată modul de montare a epruvetei, de secțiune circulară, în incinta frigorifică (fără capac). Se remarcă modul de poziționare a termorezistenței PT 100 și țevile de cupru, cu orificii, care asigură o distribuție uniformă a agentului de răcire (vapori de azot) în incinta frigorifică.



Poza 7.4. Incintă frigorifică pentru încercarea la răscuire, montată la mașina de încercare



Poza 7.5. Epruvetă de secțiune circulară montată în incinta frigorifică

Experimentările s-au efectuat pe trei sortimente de oțel: 10Ni35R; 34MoCrNi16X și OL37-2k (sârmă). Compoziția chimică și caracteristicile mecanice la tracțiune, în condițiile încercării la temperatura ambiantă, pentru șarjele de oțeluri din care au fost prelevate epruvetele necesare încercării la răsucire sunt prezentate în tabelul 7.16. Aceste rezultate au fost puse la dispoziție de către laboratoarele din S.C."SIDERURGICA" S.A. Hunedoara.

Tabelul 7.16.
Compoziția chimică și caracteristicile mecanice la tracțiune a oțelurilor
utilizate pentru încercarea la răsucire

Materialul	COMPOZIȚIA CHIMICĂ							CARACTERISTICILE MECANICE			
	C	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	R _{p0,2}	R _m	A ₅	Z
	%	%	%	%	%	%	%	[N/mm ²]	[N/mm ²]	%	%
10Ni35R	0,105	0,40	0,023	0,020	0,15	3,25	0,02	518	612	27	75
								506	600	28	75
34MoCrNi16X	0,345	0,485	0,010	0,016	1,50	1,50	0,20	1074	1124	15	63
								1068	1118	16	64
OL37-2k	0,07	0,4	0,024	0,028	0,05	0,05	-	249	434	42	-

7.4.3.2. Comportarea la răsucire a oțelului 10Ni35R

Încercarea la răsucire s-a executat pe mașina de încercare (vezi 7.4.2.1) la care s-a montat incinta frigorifică (vezi poza 7.4.). Modul de prelevare a epruvetelor și tratamentele termice au fost prezentate în 6.6.

Pentru epruvetele de secțiune circulară (epruvetele cilindrice) s-au efectuat încercări în domeniul de temperaturi +20°C...-60°C, din zece în zece grade Celsius. La fiecare palier de temperatură s-au încercat câte trei epruvete și s-au înregistrat curbele caracteristice la răsucire (M_r în funcție de φ). Valorile maxime ale momentelor de răsucire și numărul de rotații (răsuciri simple) până la rupere s-au citit pe scările cadranelor mașinii de încercare. Unghiul de rotire φ al secțiunilor epruvetei s-a calculat ținându-se cont că $1 \text{ rot} = (2\pi) \text{ rad}$.

Pentru toate încercările s-a utilizat viteza de încărcare 5 rot/min

Curbele caracteristice la răsucire pentru un lot de epruvete la temperaturi cuprinse între +20°C și -60°C sunt prezentate în fig.7.22.

Diagrama înregistrată la încercarea efectuată la +20°C a fost făcută utilizând scara cu domeniul de măsurare 0...30 kgf·m, iar pentru celelalte temperaturi de încercare înregistrările s-au realizat pe scara cu domeniul de măsurare 0...75 kgf·m.

Valorile caracteristicilor mecanice la răsucire, măsurate respectiv calculate, sunt date în tabelul 7.17.

În poza 7.6 se prezintă un lot de epruvete, cu secțiunea circulară, rupte prin răscuire la diferitele temperaturi.

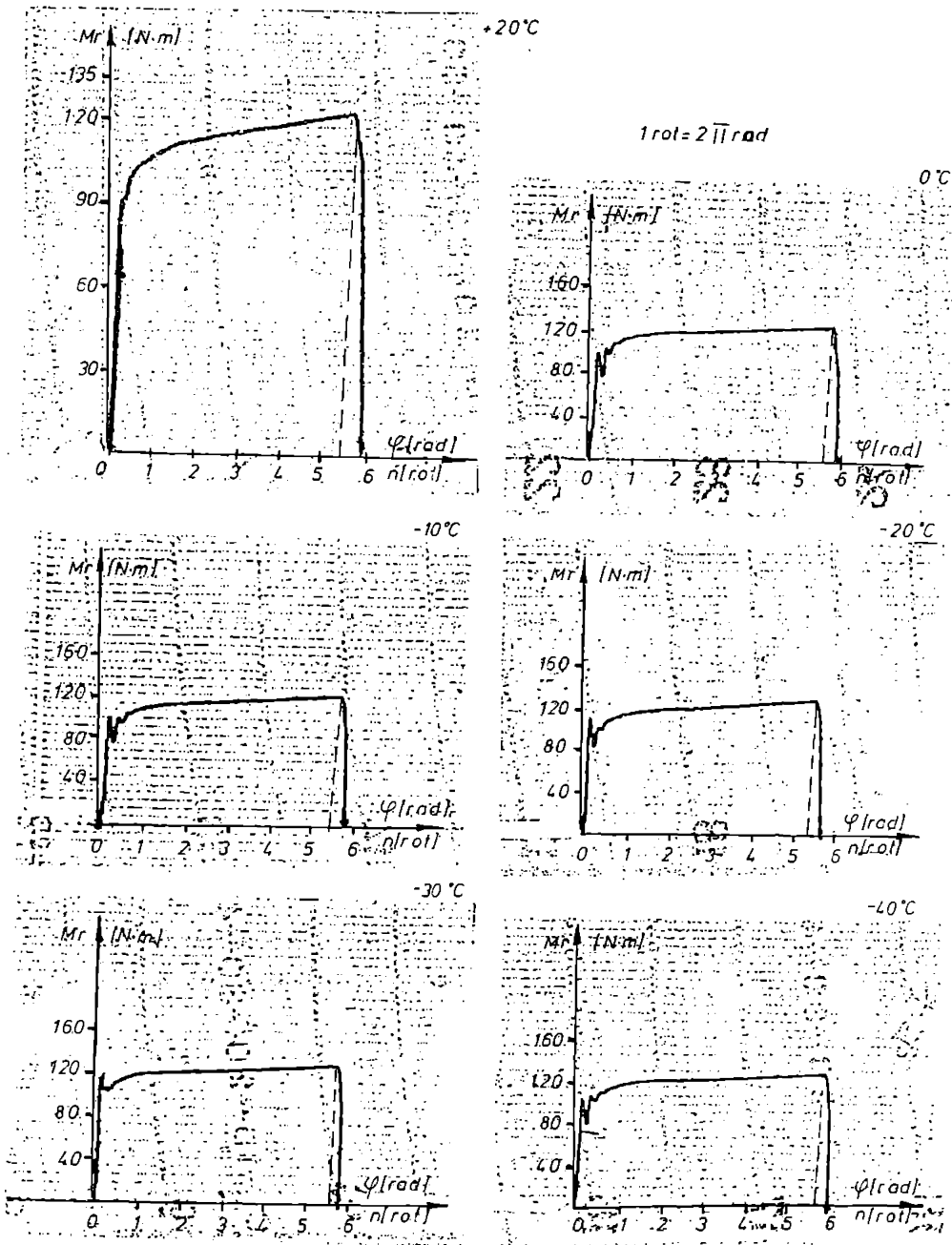


Fig.7.22. Curbele caracteristice la răscuire pentru epruvetele de secțiune circulară, din 10Ni35R

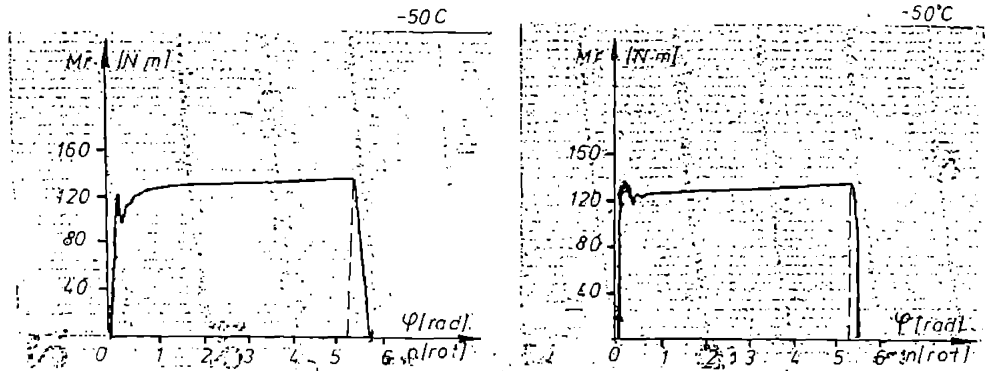
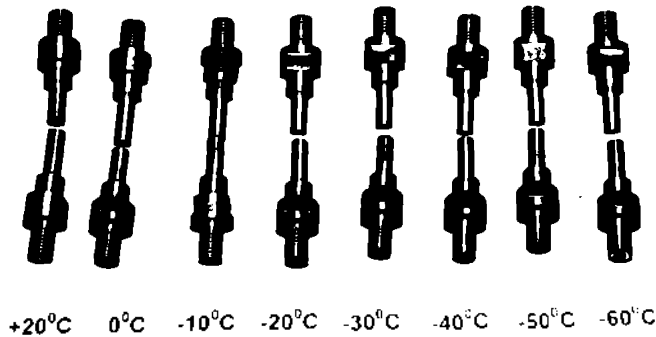


Fig.7.22. Curbele caracteristice la rășucire pentru epruvetele de secțiune circulară, din 10Ni35R

Rezistența la rășucire s-a calculat cu relația (7.11), iar lunecarea specifică cu formula (7.7); mărimile măsurate și caracteristicile calculate sunt prezentate în tabelul 7.17.

Analizând alurile curbelor din fig.7.22 se constată că pentru încercarea la temperatura ambiantă, curba este continuă și crescătoare până la valoarea lui $(M_r)_{max}$, iar pentru cele obținute la temperaturi scăzute se pune în evidență o zonă de curgere a metalului, cu limită maximă respectiv minimă a momentului de rășucire. Acest lucru atestă faptul că oțelul 10Ni35R prezintă o bună tenacitate chiar și la temperatura de -60°C .



Poza 7.6. Epruvete de secțiune circulară rupte prin rășucire la temperaturi scăzute

În fig.7.23 se prezintă modul de variație a rezistenței la rășucire respectiv a lunecării specifice în funcție de temperatura scăzută de încercare. Se constată că între temperaturile de

Tabelul 7.17

Caracteristicile mecanice la răscuire ale oțelului 10Ni35R, determinate pe epruvete de secțiune circulară

Nr. crt.	Temperatura de încercare	$(M_r)_{max}$		n	φ_{max}	τ_r	γ_{max}
	[°C]	[kgf·m]*	[N·m]	[rot]	[rad]	[N/mm ²]	[rad]
1	+20	12,20	119,680	5,46	34,28	457,375	3,428
2		12,25	120,172	5,38	33,77	459,256	3,377
3		12,15	119,191	5,41	33,97	455,507	3,397
Media		12,20	119,682	5,41	33,97	457,379	3,397
1	0	12,25	120,172	5,38	33,77	459,256	3,377
2		12,28	120,369	5,37	33,72	460,008	3,372
3		12,26	120,270	5,44	34,16	459,630	3,416
Media		12,26	120,270	5,39	33,88	459,631	3,338
1	-10	12,30	120,612	5,42	34,03	460,937	3,403
2		12,29	120,564	5,37	33,72	460,754	3,372
3		12,34	121,105	5,35	33,59	462,821	3,359
Media		12,31	120,761	5,38	33,78	461,504	3,378
1	-20	12,40	121,512	5,40	33,91	464,377	3,391
2		12,35	121,116	5,36	33,66	462,863	3,366
3		12,44	122,016	5,32	33,41	466,303	3,341
Media		12,39	121,546	5,36	33,66	464,514	3,366
1	-30	12,50	122,625	5,31	33,34	468,630	3,334
2		12,42	121,840	5,48	34,42	465,630	3,442
3		12,46	122,232	5,28	33,15	467,128	3,315
Media		12,46	122,232	5,35	33,63	467,129	3,363
1	-40	12,55	123,101	5,45	34,22	470,449	3,422
2		12,51	122,682	5,31	33,34	468,848	3,334
3		12,57	123,270	5,25	32,96	471,095	3,296
Media		12,54	123,0,17	5,33	33,60	470,130	3,360
1	-50	13,51	132,485	5,21	32,71	506,312	3,271
2		13,42	131,593	5,33	33,47	502,903	3,347
3		13,46	132,042	5,28	33,15	504,619	3,315
Media		13,46	132,042	5,27	33,11	504,611	3,311
1	-60	13,62	133,612	5,18	32,53	510,619	3,253
2		13,58	133,219	5,21	32,71	509,117	3,271
3		13,51	132,485	5,26	33,03	506,312	3,303
Media		13,57	133,105	5,21	32,75	508,682	3,275

* Scările de pe cadranul mașinii de încercat sunt etalonate în kgf·m.

+20°C și -40°C, rezistența la răsucire crește lent urmând apoi o creștere bruscă între temperaturile de -40°C și -50°C.

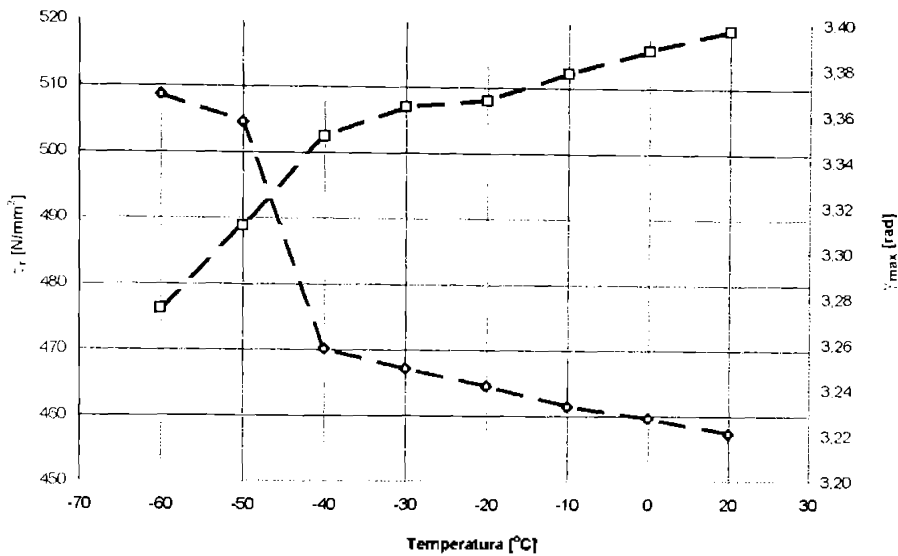


Fig. 7.23. Variația caracteristicilor τ_r și γ_{max} în funcție de temperatura de încercare

Concomitent, lunecarea specifică prezintă, pe aceleași intervale de temperaturi, o scădere lentă urmată de una relativ bruscă. Aceste elemente duc la concluzia că între -40°C și -50°C are loc o tendință de fragilizare a oțelului.

Comportamentul tenace al oțelului 10Ni35R la temperaturile scăzute, rezultă și din faptul că epruvetele s-au rupt după secțiunea transversală (după planul cu tensiunea tangențială maximă).

Pentru a pune în evidență procentual, creșterea rezistenței la răsucire între valorile obținute la diversele temperaturi de încercare, se calculează rapoartele:

$$\frac{(\tau_r)_{-60}}{(\tau_r)_{+20}} \cdot 100 = \frac{508,682}{457,379} \cdot 100 = 111,216 \%$$

$$\frac{(\tau_r)_{-40}}{(\tau_r)_{+20}} \cdot 100 = \frac{470,130}{457,379} \cdot 100 = 102,787 \%$$

$$\frac{(\tau_r)_{-60}}{(\tau_r)_{-20}} \cdot 100 = \frac{508,682}{470,130} \cdot 100 = 108,201 \%$$

La temperatura de -60°C rezistența la răsucire este cu aproximativ 11% mai mare decât cea obținută la +20°C. Pe intervalul de temperaturi +20°C ... -40°C creșterea este lentă (aproximativ 3%), iar între -40°C și -60°C creșterea este mai pronunțată (aproximativ 8%)

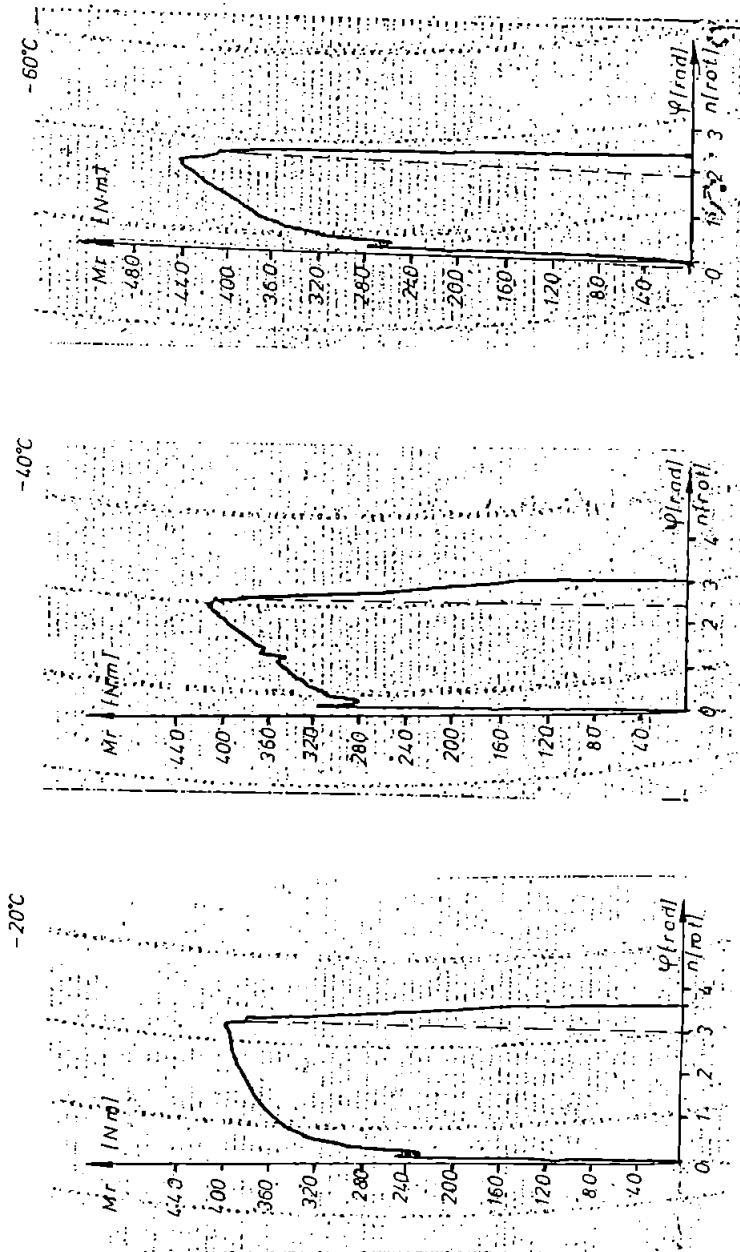


Fig.7.24. Curbele caracterice la răsucire pentru epruvetele de secțiune inelară, din 10Ni35R

Încercarea la răsucire, în domeniul temperaturilor scăzute, s-a efectuat și pe epruvete de secțiune inelară (epruvetă tubulară cu pereți subțiri) în care se realizează o stare de tensiune biaxială omogenă (stare de tensiune numită "forfecare pură"). Pentru aceste epruvete se utilizează un miez (vezi 6.4., fig.6.4.b și fig.6.4.c), introdus cu ajustaj alunecător în epruvetă și care are rolul de a asigura menținerea stabilității acesteia în timpul încercării.

Curbele caracteristice pentru un lot de epruvete tubulare, încercate la temperaturile de -20°C ; -40°C și -60°C sunt prezentate în fig.7.24. Pentru fiecare palier de temperatură s-au încercat câte două epruvete.

Încercările s-au efectuat la viteza de încărcare de 6 rot/min, iar diagramele au fost înregistrate utilizând scara cu domeniul de măsurare 0...75 kgf.m.

Rezistența la răsucire s-a calculat cu relația (7.12), iar lunecarea specifică cu formula (7.7). Mărimile măsurate și caracteristicile calculate sunt prezentate în tabelul 7.18.

Tabelul 7.18

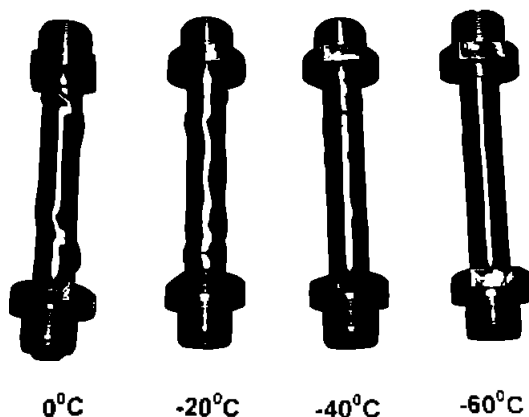
Caracteristicile mecanice la răsucire ale oțelului 10Ni35R, determinate pe epruvete tubulare

Nr. crt.	Temperatura de încercare	$(M_r)_{\max}$		n	φ_{\max}	τ_r	γ_{\max}
	[$^{\circ}\text{C}$]	[kgf.m]*	[N.m]				
1	0	39,52	387,691	3,12	19,59	379,937	1,763
2		40,12	393,577	2,96	18,58	385,705	1,672
Media		39,82	390,634	3,04	19,09	382,821	1,717
1	-20	41,12	403,387	2,78	17,45	395,319	1,570
2		40,94	401,621	2,54	15,95	393,580	1,435
Media		41,03	402,504	2,66	16,70	394,453	1,503
1	-40	41,52	407,311	2,38	14,94	399,164	1,344
2		42,14	413,393	2,41	15,13	405,125	1,361
Media		41,83	410,352	2,39	15,03	402,144	1,352
1	-60	44,51	436,643	1,92	12,05	427,910	1,084
2		44,48	436,348	1,87	11,74	427,621	1,056
Media		44,49	436,495	1,89	11,89	427,765	1,070

* Scările de pe cadranul mașinii de încercat sunt etalonate în kgf.m.

În poza 7.7. se prezintă un lot de epruvete, cu secțiunea inelară, rupte prin răsucire la temperaturi scăzute.

În fig.7.25. se prezintă curbele de variație a rezistenței la răsucire respectiv a lunecării specifice în funcție de temperatura scăzută de încercare. Se constată o creștere uniformă a rezistenței la răsucire concomitent cu micșorarea lunecării specifice, odată cu scăderea temperaturii de încercare. La temperatura de -60°C rezistența la răsucire este cu aproximativ 12% mai mare decât cea obținută la 0°C .



Poza 7.7. Epruvete tubulare din 10Ni35R rupte prin răscuire, la temperaturi scăzute

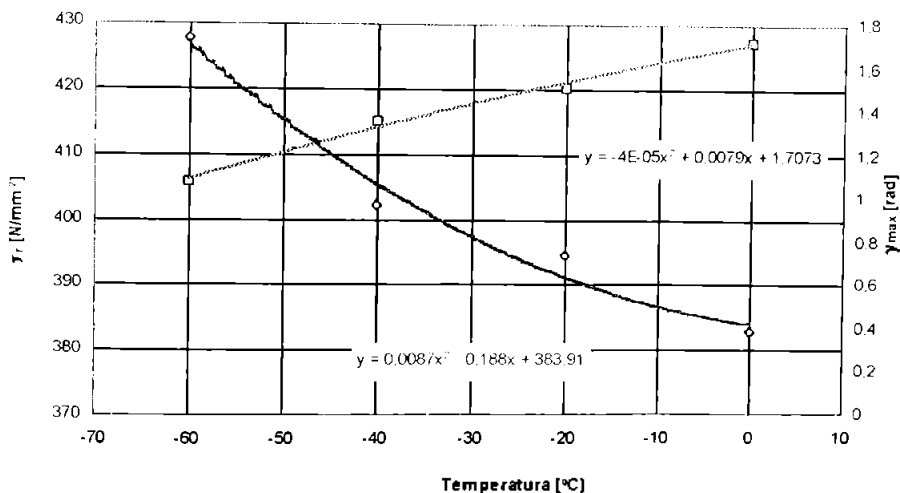


Fig.7.25. Variația caracteristicilor τ_r și γ_{max} în funcție de temperatura de încercare

Analizând epruvetele tubulare, după ruperea acestora, se constată că la temperatura de încercare de 0°C s-a manifestat tendința de pierdere a stabilității cu toate că a existat miezul de ghidare în interiorul acestora. Ruperea a avut loc totuși, după o secțiune transversală. Odată cu scăderea temperaturii de încercare, tendința de pierdere a stabilității epruvetei nu se mai manifestă.

Comparându-se valorile rezistențelor la răsucire obținute pe epruvetele cilindrice respectiv pe cele inelare se constată faptul că, pentru primele, valoarea caracteristicii mecanice la răsucire este aproximativ cu 18% mai mare decât pentru celelalte, indiferent de temperatura scăzută de încercare.

7.4.3.3. Comportarea la răsucire a oțelului 34MoCrNi16X

A fost luată în studiu și comportarea la răsucire, în condiții de temperaturi scăzute, a mărcii de oțel 34MoCrNi16X. Modul de prelevare a epruvetelor și tratamentele termice aplicate au fost prezentate în 6.6. Epruvetele cilindrice respectiv tubulare folosite au aceleași dimensiuni ca și cele realizate din marca de oțel 10Ni35R.

Dintre curbele caracteristice sunt prezentate în fig.7.26 cele obținute pe epruvetele de secțiune circulară, la temperaturile de încercare $+20^{\circ}\text{C}$, -40°C și -80°C , iar în fig.7.27 cele rezultate în urma încercării la răsucire pe epruvetele de secțiune inelară la temperaturile de încercare $+20^{\circ}\text{C}$ și -40°C . Pentru fiecare treaptă a temperaturii de încercare s-au folosit câte două epruvete.

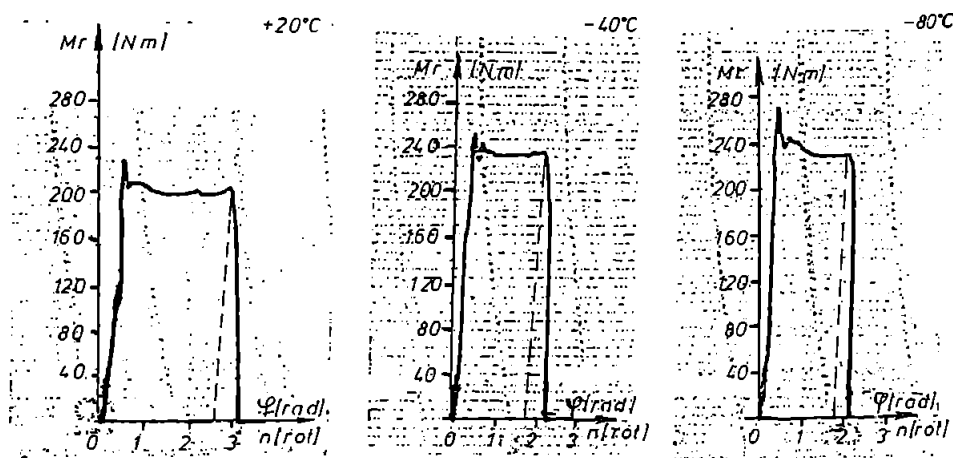


Fig.7.26. Curbele caracteristice la răsucire pentru epruvetele cilindrice, din 34MoCrNi16X

Rezistența la răsucire s-a calculat cu relațiile (7.11) respectiv (7.12), iar lunecarea specifică cu formula (7.7).

Valorile măsurate respectiv a celor calculate sunt prezentate în tabelul 7.19. (pentru epruvetele cilindrice) și tabelul 7.20 (pentru epruvetele tubulare cu pereți subțiri).

Alura curbelor caracteristice ale epruvetelor cilindrice, diferă față de cele obținute pentru marca de oțel 10Ni35R prin faptul că, după atingerea unei valori maxime a momentului de

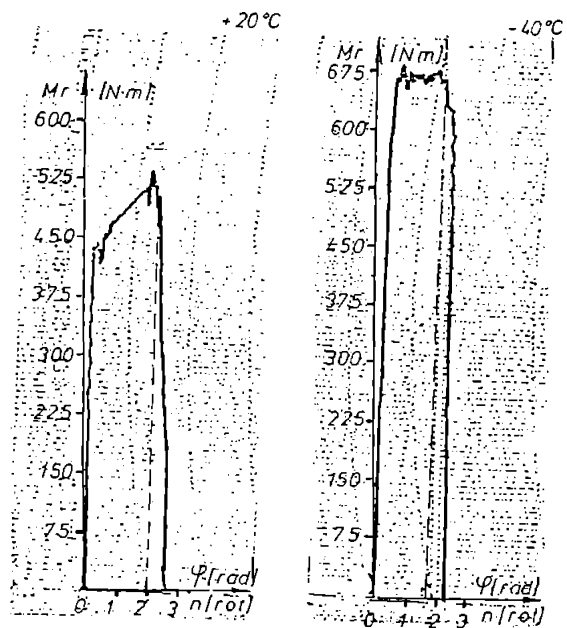


Fig.7.27. Curbele caracteristice la răsucire pentru epruvetele tubulare, din 34MoCrNi16X

Observație. La calculul rezistenței la răsucire s-a utilizat valoarea maximă a momentului de răsucire de pe fiecare diagramă și nu momentul de răsucire din momentul ruperii epruvetei.

răsucire, la sfârșitul porțiunii de variație liniară, acesta scade și apoi rămâne aproximativ constant până în momentul ruperii (vezi fig.7.26). Pentru epruvetele tubulare acest fenomen se întâmplă numai la temperatura scăzută (vezi fig.7.27). Explicația constă în faptul că, oțelul având o rezistență la răsucire relativ mare, în perioada în care se trece de la zona cu comportament elastic spre cea a comportamentului elasto-plastic respectiv plastic a materialului, apare o încălzire care este compensată, numai parțial, de către temperatura scăzută.

Observație. La calculul rezistenței la răsucire s-a utilizat valoarea

Tabelul 7.19
Caracteristicile mecanice la răsucire ale oțelului 34MoCrNi16x, determinate pe epruvete cilindrice

Nr. crt.	Temperatura de încercare	$(M_r)_{max}$		n	ϕ_{max}	τ_r	γ_{max}
	[°C]	[kgf·m]*	[N·m]				
1	+20	22,51	220,823	2,53	15,86	843,909	1,586
2		21,78	213,661	2,41	15,13	816,538	1,513
Media		22,14	217,193	2,47	15,51	830,223	1,551
1	-20	22,82	223,864	2,24	14,06	855,531	1,406
2		22,61	221,804	2,18	13,69	847,658	1,369
Media		22,71	222,834	2,21	13,87	851,594	1,387
1	-40	24,75	242,797	1,73	10,86	927,886	1,086
2		23,94	234,851	1,68	10,55	897,519	1,055
Media		24,34	238,824	1,70	10,70	912,703	1,070
1	-60	25,32	248,389	1,85	10,36	949,257	1,036
2		24,95	244,759	1,59	9,98	935,384	0,998
Media		25,13	246,574	1,62	10,17	942,321	1,017
1	-80	27,22	267,028	1,62	10,17	1020,469	1,017
2		28,12	275,857	1,58	9,92	1054,230	0,992
Media		27,67	271,442	1,60	10,05	1037,359	1,005

* Scările de pe cadranul mașinii de încercat sunt etalonate în kgf·m.

Tabelul 7.20
Caracteristicile mecanice la răsucire ale oțelului 34MoCrNi16x, determinate pe epruvete tubulare

Nr. crt.	Temperatura de încercare	$(M_r)_{max}$		n	φ_{max}	τ_r	γ_{max}
	[°C]	[kgf·m]*	[N·m]	[rot]	[rad]	[N/mm ²]	[rad]
1	+20	53,25	522,382	1,98	12,43	511,934	1,11
2		54,12	530,917	1,90	11,93	520,298	1,07
Media		53,68	526,649	1,94	12,18	516,116	1,09
1	-40	68,25	669,532	1,62	10,17	656,141	0,91
2		67,52	662,371	1,71	10,73	649,123	0,96
Media		67,88	665,951	1,66	10,45	652,631	0,94

* Scările de pe cadranul mașinii de încercat sunt etalonate în kgf·m.

În fig.7.28 se prezintă curbele de variație ale caracteristicilor τ_r și γ_{max} funcție de temperatura de încercare pentru epruvetele de secțiune circulară. Se constată creșterea rezistenței la răsucire respectiv micșorarea luncării specifice odată cu scăderea temperaturii de încercare. La -80°C rezistența la răsucire este cu aproximativ 25% mai mare decât cea obținută la +20°C.

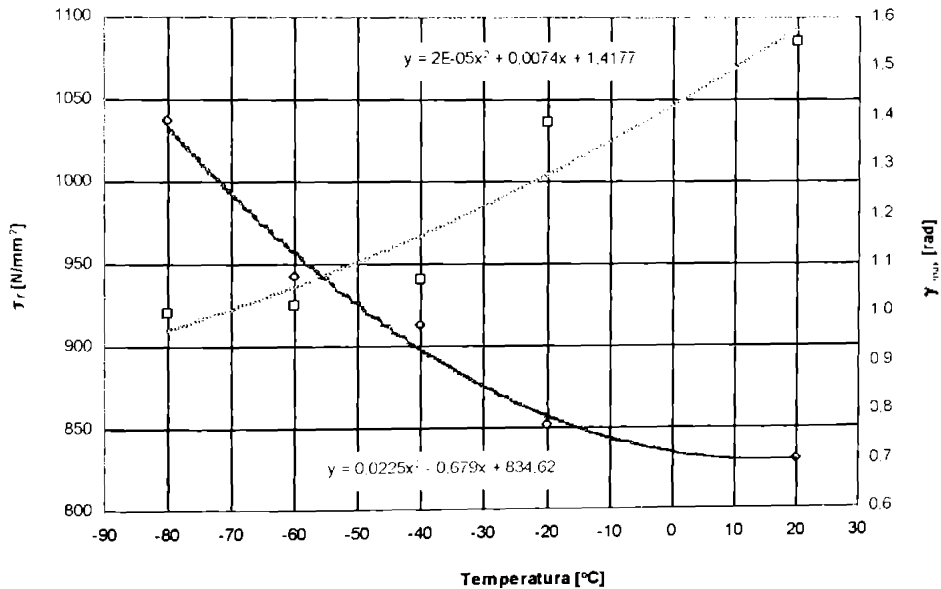


Fig.7.28. Variația caracteristicilor mecanice la răsucire în funcție de temperatura de încercare

Pentru epruvetele de secțiune inelară, rezistența la răsucire la -40°C este cu 26% mai mare decât cea de la +20°C.

7.4.3.4. Comportarea la răsucire a sârmelor din oțelul OL37-2k

Pentru a studia modul de comportare la răsucire, în domeniul temperaturilor scăzute, a unui oțel de uz general pentru construcții s-a ales marca de oțel OL37-2k, laminată în sârme.

S-au utilizat sârme cu diametrul de 6 mm, debitate la lungimea de 360 mm din care porțiunea calibrată de 300 mm [115]; [116].

Experimentările s-au realizat atât pe mașina de încercare la răsucire (vezi 7.4.2.1) cât și pe standul pentru încercarea la răsucirea sârmelor (vezi 7.4.2.2). La aceste utilaje a fost atașată incinta frigorifică pentru încercarea la răsucire (vezi 4.2.3., fig.4.6) care utilizează vaporii de azot ca și agent frigorific.

Pentru fiecare treaptă a temperaturii de încercare s-au utilizat câte cinci epruvete: trei au fost încercate pe mașina MODELL TAD III și s-au obținut diagramele $M_t = f(\varphi)$ respectiv numărul de răsuciri simple până la rupere, iar două au fost încercate pe standul experimental [84] determinându-se numărul de răsuciri simple (joacă rol de încercare tehnologică).

În fig.7.29 se prezintă un set de curbe caracteristice obținute pe epruvetele încercate la răsucire, în condițiile de temperatură ambiantă și scăzută (+20°C; 0°C; -20°C; -40°C; -50°C și -60°C). La înregistrarea curbelor s-a utilizat scara cu domeniul de măsurare 0...15 kgf·m.

Rezistența la răsucire s-a calculat cu relația (7.11) iar lunecarea specifică cu formula (7.7). Mărimile determinate experimental și caracteristicile mecanice calculate sunt prezentate în tabelul 7.21.

Tabelul 7.21

Nr. crt.	Temperatura de încercare [°C]	$(M_t)_{max}$		n	φ_{max}	τ_t	γ_{max}
		[kgf·m]*	[N·m]				
1	+20	1,95	19,13	34,40	216,03	338,409	1,060
2		2,01	19,72	34,32	215,52	348,846	1,078
3		1,98	19,42	34,28	215,27	343,539	1,076
Media		1,98	19,42	34,33	215,60	343,598	1,078
1	0	2,07	20,30	28,80	180,86	355,107	0,904
2		2,04	20,01	28,52	179,73	353,976	0,898
3		2,03	19,91	28,12	176,59	352,208	0,882
Media		2,04	20,01	28,61	179,06	353,975	0,895
1	-20	2,1	20,60	25,10	157,62	354,414	0,788
2		2,06	20,40	24,82	155,86	360,876	0,779
3		2,06	20,20	25,34	159,13	357,308	0,795
Media		2,08	20,40	25,08	157,53	360,876	0,787
1	-40	2,06	20,40	24,20	151,97	360,876	0,759
2		2,09	20,50	23,84	149,71	362,645	0,748
3		2,12	20,77	24,32	152,72	367,421	0,763
Media		2,09	20,50	24,12	151,47	362,645	0,756
1	-50	1,98	19,42	23,50	147,58	343,539	0,737
2		2,12	20,77	22,94	144,06	367,421	0,720
3		2,18	21,38	22,78	143,06	378,912	0,715
Media		2,09	20,50	23,07	144,89	362,645	0,724
1	-60	2,12	20,77	21,20	133,13	367,421	0,665
2		2,08	20,40	20,84	130,87	360,876	0,654
3		2,14	20,98	20,42	128,23	371,313	0,641
Media		2,11	20,70	20,82	130,74	366,183	0,653

* Scările de pe cadranul mașinii de încercat sunt etalonate în kgf·m.

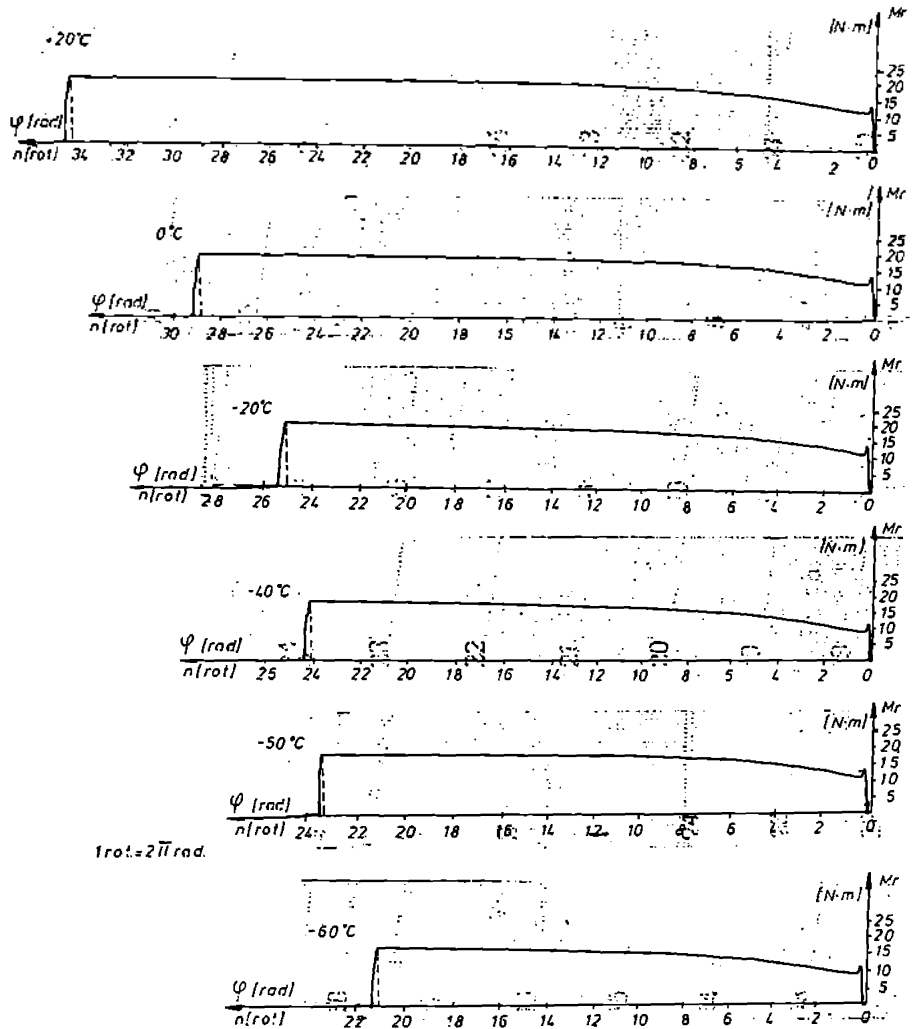


Fig.7.29. Curbele caracteristice la răscuire pentru sârmele de ϕ 6mm, din OL37-2k

Analizând curbele din fig.7.29 se constată că, odată cu scăderea temperaturii de încercare, momentul de răscuire crește lent (19,42 N·m la $+20^{\circ}\text{C}$ față de 20,7 N·m la -60°C)

concomitent cu o scădere a numărului de răsuciri simple până la rupere (34 rot. la +20°C față de 21 rot. la -60°C).

Temperatura scăzută influențează mai puțin rezistența la răsucire (la -60°C este cu aproximativ 6% mai mare decât la +20°C) și mai mult alunecarea specifică (la +20°C este cu 65% mai mare decât la -60°C).

La încercarea executată în condițiile temperaturii ambiante, numărul de răsuciri simple fiind relativ mare, se produce o încălzire a epruvetei care favorizează comportamentul tenace al materialului sârmei. Pentru încercările efectuate la temperaturi scăzute se produce o compensare a tendinței de încălzire a materialului epruvetei care face ca acesta să aibe un comportament mai puțin tenace, cu tendință de fragilizare.

Modul de variație al caracteristicilor mecanice la răsucire funcție de temperatura de încercare se prezintă în fig. 7.30.

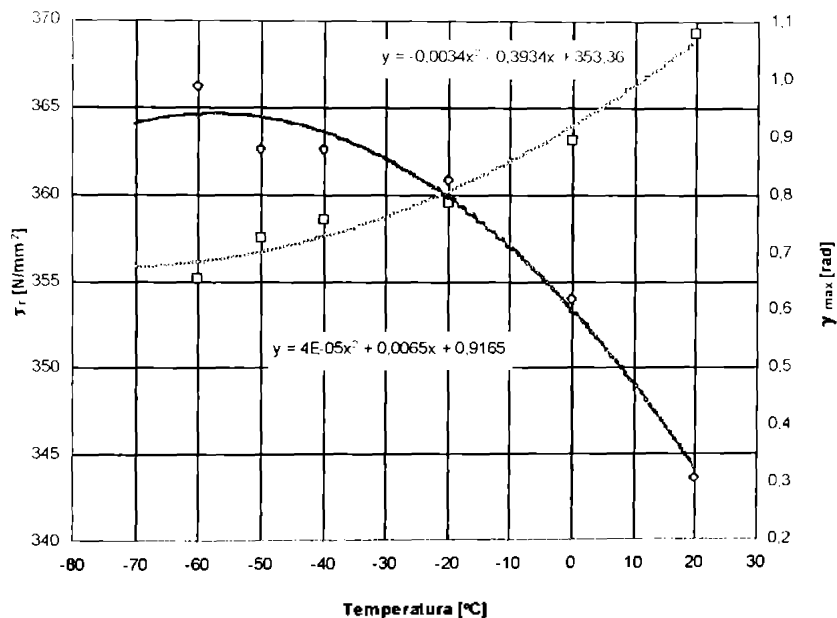


Fig. 7.30. Variația caracteristicilor τ_r și γ_{max} în funcție de temperatură pentru sârma de ϕ 6 mm din OL37-2k

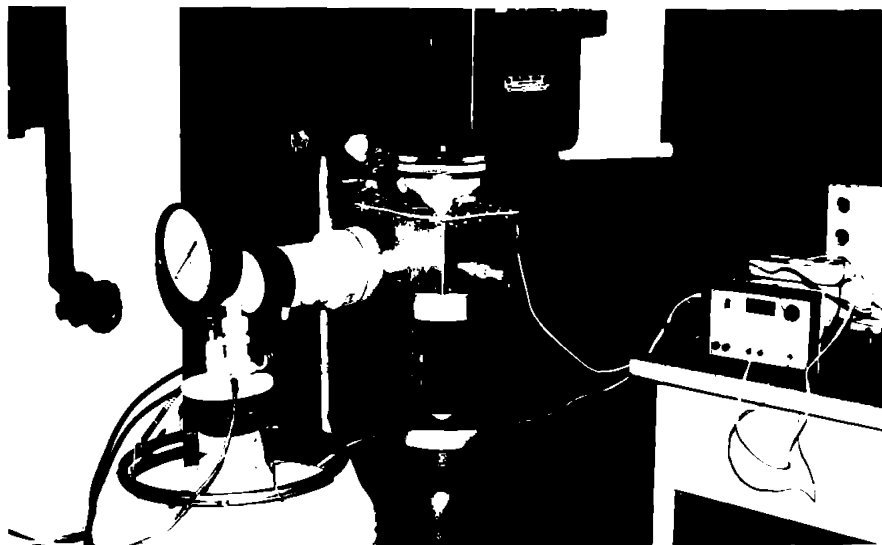
Observație. Exprimările efectuate pe standul pentru încercarea la răsucire au permis determinarea numărului de răsuciri preluate de către epruvetele realizate din sârma de OL37-2k, la temperaturile scăzute, care sunt în concordanță cu cele obținute pe mașina de încercare la răsucire (vezi tabelul 7.21).

7.5. Încercarea de duritate

În cadrul prezentei lucrări s-au efectuat și încercări privind determinarea durității Brinell în condiții de temperaturi scăzute.

Utilajul utilizat a fost un durometru Brinell PH-C-02/02 produs de "Balanța" Sibiu. A fost necesară o modificare a schemei electrice pentru a se anula comanda de rabatere a capului de încărcare și realizarea unui sistem de încărcare care să asigure protecția termică a aparatului Brinell (vezi 4.2.4., fig.4.8).

Răcirea epruvetelor s-a efectuat într-o incintă frigorifică proiectată și realizată de către autor (vezi 4.2.4. fig.4.7), care utilizează ca și agent de răcire vaporii de azot obținuți prin varianta a III-a de presurizare a vasului Dewar. Ansamblul format din durometrul Brinell, incinta frigorifică amplasată pe masa aparatului și sistemul de obținere, reglare și menținere a temperaturii scăzute de încercare se prezintă în poza 7.8



Poza 7.8. Durometrul Brinell echipat pentru încercările la temperaturi scăzute

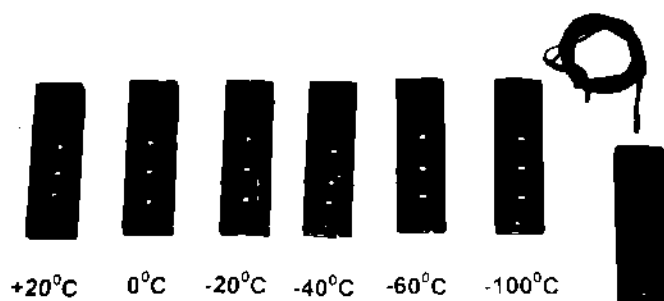
Deoarece duritatea Brinell se obține ca și medie a trei încercări a fost necesară realizarea unor epruvete care să aibă dimensiunile (lățimea respectiv grosimea) impuse prin normativul [118], iar lungimea să fie suficient de mare încât să permită montarea unei termorezistențe în interiorul acestora. Forma și dimensiunile epruvetelor utilizate, care țin cont de toate considerentele amintite, sunt prezentate în 6.5., fig.6.7.

Pentru a se executa toate cele trei încercări, pe fiecare epruvetă introdusă în incinta frigorifică, s-a asigurat deplasarea secvențială a acesteia, față de poziția penetratorului, cu ajutorul unei tije montată la epruvetă și acționată din exteriorul incintei frigorifice.

Pentru încercarea de duritate a fost utilizată marca de oțel 10Ni35R din care s-au prelevat epruvete care au fost tratate termic. Experimentările s-au efectuat atât pe un lot de epruvete normalizate cât și pe unul formal din epruvete care au fost călite și ulterior supuse la o revenire înaltă.

Epruvetele normalizate au fost încercate la temperatura ambiantă și la temperaturi scăzute de până la -80°C , iar cele călite și revenite până la temperatura scăzută de -100°C .

În poza 7.9 sunt prezentate epruvetele din 10Ni35R călite și revenite, după încercările de duritate la temperaturile scăzute. În partea din dreapta a pozei se observă o epruvetă echipată cu o termorezistență de platină tip TRFA 101 (de dimensiuni mici) și bucșa de teflon prin care trec firele de legătură



Poza 7.9. Epruvetele încercate la duritate în condiții de temperaturi scăzute

După ce epruvetele au fost încercate s-a procedat la măsurarea a câte doi diametri perpendiculari ai fiecărei amprente, s-a calculat diametrul mediu și din tabele [118] a rezultat valoarea durității Brinell.

Rezultatele măsurătorilor, valorile calculate și mărimea durității sunt prezentate în tabelul 7.22. pentru epruvetele normalizate și în tabelul 7.23 pentru cele călite și revenite.

Cu valorile durităților cuprinse în tabele s-au trasat curbele de variație ale durității în funcție de temperatura de încercare

Pentru epruvetele normalizate se constată o creștere ușoară a durității până la temperatura de -20°C , apoi un mic salt la -40°C urmat de valori aproape stabilizate între temperaturile de -60°C respectiv -80°C . Prin aceasta se demonstrează că, duritatea oțelului

Tabelul 7.22.
Duritatea Brinell, la temperaturi scăzute, a oțelului 10Ni35R, după normalizare

Nr. crt.	Temperatura de incercare [°C]	Diametrul [mm]				Duritatea Brinell [HBS]				
		d	Amprenta			Media	Amprenta			Media
			1	2	3		1	2	3	
1	+20	d ₁	4,68	4,70	4,69	4,695	164	163	164	163,33
		d ₂	4,69	4,70	4,71		164	163	162	
		d _m	4,685	4,70	4,70		164	163	163	
2	0	d ₁	4,63	4,66	4,66	4,65	169	166	166	166,66
		d ₂	4,64	4,64	4,57		167	167	165	
		d _m	4,635	4,65	4,665		168	166,5	165,5	
3	-20	d ₁	4,58	4,58	4,59	4,59	172	172	171	171
		d ₂	4,59	4,60	4,60		171	170	170	
		d _m	4,585	4,59	4,595		171,5	171	170,5	
4	-40	d ₁	4,50	4,52	4,51	4,516	179	177	178	177,33
		d ₂	4,52	4,52	4,53		177	177	176	
		d _m	4,51	4,52	4,52		178	177	177	
5	-60	d ₁	4,50	4,51	4,50	4,508	179	178	179	178,16
		d ₂	4,51	4,52	4,51		178	177	178	
		d _m	4,505	4,515	4,505		178,5	177,5	178,5	
6	-80	d ₁	4,42	4,43	4,50	4,468	185	185	179	181,16
		d ₂	4,48	4,49	4,49		180	179	179	
		d _m	4,45	4,46	4,495		182,5	182	179	

Tabelul 7.23.
Duritatea Brinell, la temperaturi scăzute, a oțelului 10Ni35R, după călire și revenire

Nr. crt.	Temperatura de incercare [°C]	Diametrul [mm]				Duritatea Brinell [HBS]				
		d	Amprenta			Media	Amprenta			Media
			1	2	3		1	2	3	
1	+20	d ₁	4,49	4,50	4,48	4,496	179	179	180	178,83
		d ₂	4,48	4,53	4,50		180	176	179	
		d _m	4,485	4,515	4,49		179,5	177,5	179,5	
2	0	d ₁	4,42	4,43	4,50	4,468	185	185	179	181,16
		d ₂	4,48	4,49	4,49		180	179	179	
		d _m	4,45	4,46	4,495		182,5	182	179	
3	-20	d ₁	4,40	4,39	4,44	4,413	187	188	184	186,00
		d ₂	4,43	4,41	4,41		185	186	186	
		d _m	4,415	4,40	4,425		186	187	185	
4	-40	d ₁	4,39	4,36	4,31	4,370	188	191	196	190,00
		d ₂	4,40	4,41	4,35		187	186	192	
		d _m	4,395	4,385	4,33		187,5	188,5	194	
5	-60	d ₁	4,32	4,31	4,32	4,310	195	196	195	196,00
		d ₂	4,30	4,31	4,30		197	196	197	
		d _m	4,31	4,31	4,31		196	196	196	
6	-100	d ₁	4,29	4,29	4,21	4,256	198	198	205	200,83
		d ₂	4,30	4,23	4,22		197	203	204	
		d _m	4,295	4,26	4,215		197,5	200,5	204,5	

10Ni35R în stare normalizată, nu mai depinde substanțial de temperatura scăzută de încercare (la valori mai mici de -60°C).

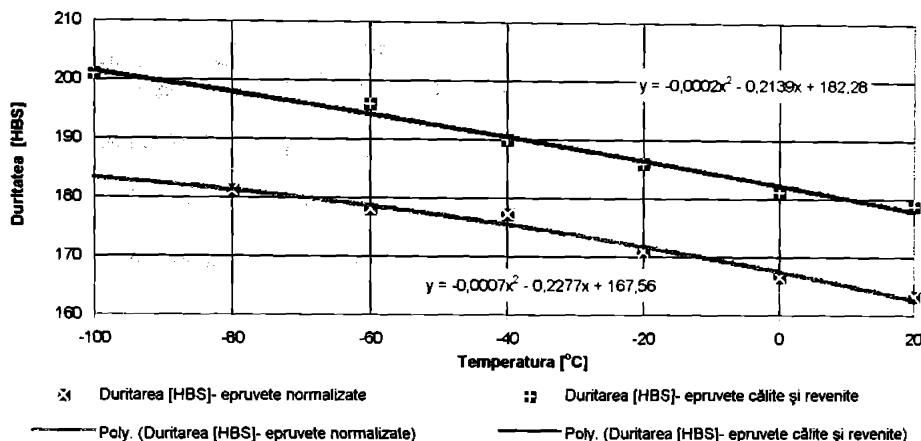


Fig.7.31. Variația durității în funcție de temperatura de încercare, pentru epruvetele din 10Ni35R: 1-după normalizare; 2-după călire și revenire

În cazul epruvetelor supuse tratamentului de călire urmată de revenire, duritatea crește uniform cu temperatura de încercare și are valori mai mari decât pentru epruvetele normalizate.

Oțelul 10Ni35R are duritate relativ mică comparativ cu alte oțeluri care au fost supuse la aceleași tipuri de tratamente termice (de exemplu, la marca 34MoCrNi16X duritatea la temperatura ambiantă pentru epruvetele recoapte este de până la 248 HBS, iar pentru cele călite și revenite de aproximativ 330 HBS), lucru justificat de conținutul relativ ridicat de nichel.

Faptul că această marcă de oțel nu are valori ridicate ale durității, iar creșterea acesteia odată cu scăderea temperaturii de încercare este uniformă, fără salturi evidente, justifică utilizarea oțelului pentru realizarea de elemente de rezistență care trebuie să aibă un comportament tenace la temperaturi scăzute și care nu preiau solicitări mari de contact.

CAPITOLUL 8

PRINCIPALELE CONTRIBUȚII ALE AUTORULUI. APLICAȚII ȘI PERSPECTIVE ALE REALIZĂRILOR OBTINUTE

8.1. Principalele contribuții ale autorului

În cadrul cercetărilor efectuate, pe o durată lungă de timp, autorul a reușit să aducă o serie de contribuții personale care pot fi grupate după cum urmează a fi prezentate.

8.1.1. Analiza normativelor existente pentru încercările la temperaturi scăzute și a tehnicilor experimentale de încercare

Cu toate că încercările mecanice la temperaturi scăzute sunt reglementate printr-un număr relativ mic (3) de standarde naționale, inclusiv asimilate din normative europene s-a impus efectuarea unei analize a conținutului lor (vezi 7.1. tabelul 7.1). În urma acesteia, autorul a formulat unele propuneri privind:

- necesitatea uniformizării denumirilor noțiunilor la care se face referire (agenți frigorifici, medii de răcire, agenți de răcire, incinte frigorifice etc.);
- impunerea unor limite admise unitare, în domeniul temperaturilor scăzute și joase, pentru fiecare interval al temperaturii de încercare;
- reglementarea duratei de menținere în agentul de răcire și a gradului de subrăcire a epruvetelor pentru acele încercări unde se impune acest lucru (încercarea la încovoiere prin șoc respectiv încercarea la răsucire);
- elaborarea unor normative naționale care să reglementeze metodologia pentru încercările la tracțiune prin șoc, la răsucire, de duritate etc.

Autorul a făcut o prezentare (vezi Capitolul 3) a tehnicilor actuale de încercare a metalelor la temperaturi scăzute și joase, în limita documentației la care a avut acces, remarcându-se faptul că literatura de specialitate prezintă mai multe realizări în domeniul criogenic (temperaturi joase), obținute în laboratoare cu dotări speciale, decât în cel al temperaturilor scăzute.

Este necesar să se pună accent pe încercările mecanice la temperaturi scăzute, efectuate în laboratoarele uzinale, care trebuie să reprezinte modalități de certificare a proprietăților metalelor care lucrează în acest domeniu de temperaturi. Pentru realizarea acestui deziderat se impun:

- realizarea unui cadru metodologic de efectuare a încercărilor, revizuirea stasurilor existente și întocmirea altora noi;
- asigurarea unor dotări unitare, la nivel național, pentru laboratoarele uzinale de încercări.

8.1.2. Realizarea de echipamente pentru încercările la temperaturi scăzute

Având în vedere că industria românească nu produce standuri experimentale respectiv incinte frigorifice sau criogenice, pentru încercările mecanice la temperaturi scăzute și joase, autorul a trebuit să se preocupe de realizarea și testarea acestora.

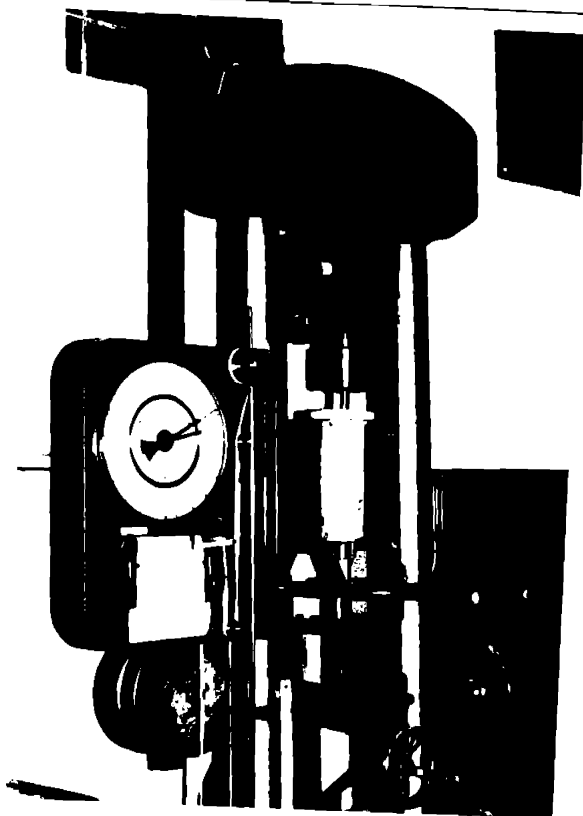
Astfel, au fost realizate șapte incinte frigorifice (vezi poza 4.1), funcție de felul încercării, temperatura scăzută utilizată, agenții frigorifici, mediile de răcire respectiv agenții de răcire folosiți:

- Incinte frigorifice pentru încercarea la tracțiune, în trei variante constructive, funcție de agentul de răcire utilizat:
 - a) Cu agent de răcire lichid (dioxid de carbon solid cu acetonă sau alcoolul etilic, respectiv azot lichid cu eterul de petrol), descrisă în 4.2.1.1. și redată schematic în fig.4.1. Această incintă montată la mașina universală de încercat tip ZDM 5 este prezentată în poza 8.1;
 - b) Cu agent de răcire azotul lichid pulverizat (vezi 4.2.1.2., fig.4.2);
 - c) Cu agent de răcire gazos (vapori de azot), descrisă în 4.2.1.3 și redată schematic în fig.4.3. Poza 8.2 prezintă incintă frigorifică montată la mașina universală de încercat tip SZF 1.
- Incinte frigorifice pentru încercarea la încovoiere prin șoc, în două variante constructive:
 - a) Cu agent de răcire lichid (vezi 4.2.2.1., fig.4.4);
 - b) Cu agent de răcire lichid sau gazos (vezi 4.2.2.2., fig.4.5);
- Incintă frigorifică pentru încercarea la răsucire, cu agent de răcire gazos-vaporii de azot (vezi 4.2.3., fig.4.6);
- Incintă frigorifică pentru încercarea de duritate care utilizează vaporii de azot ca și agent de răcire (vezi 4.2.4., fig.4.7).

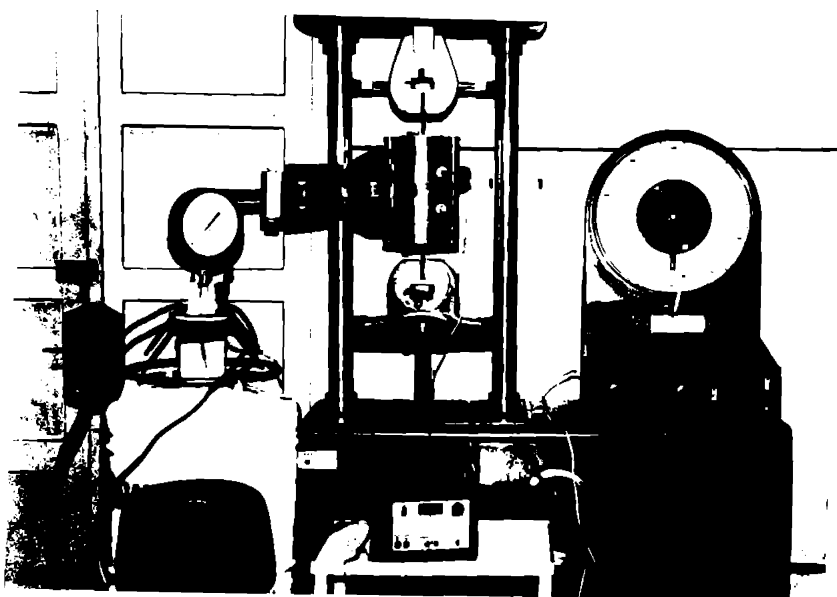
Pentru efectuarea încercărilor la temperaturi scăzute, autorul a contribuit la realizarea utilajului necesar, prin:

- ♦ proiectarea și realizarea unui stand experimental [84], pentru încercarea la răsucirea sârmelor, descris în 7.4.2.2., prezentat în poza 7.3. și schematic în fig 7.19;
- ♦ adaptarea unui aparat Brinell, pentru încercarea de duritate în acest domeniu de temperaturi, prin modificări în schema electrică și la ansamblul sistemului de încărcare (vezi 4.2.4., fig.4.8).

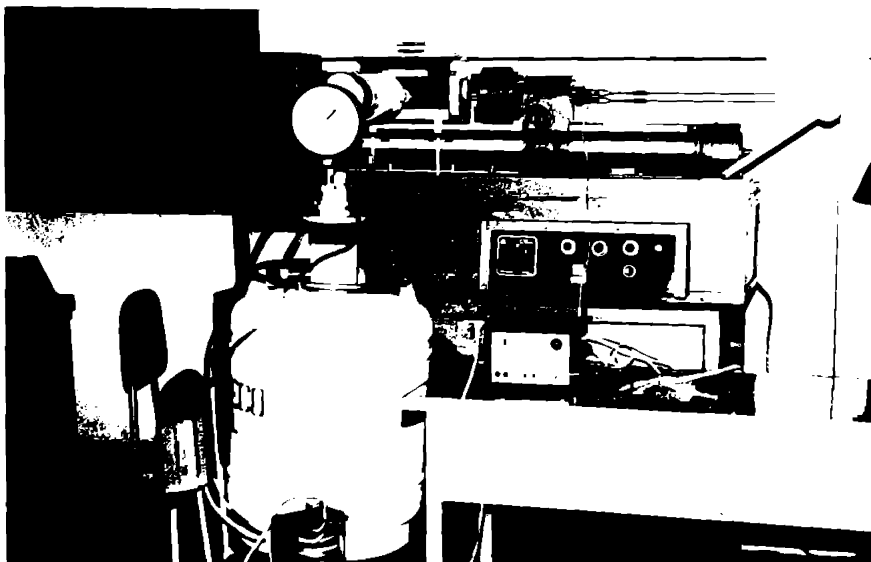
În poza 8.3 se prezintă standul pentru încercarea la răsucirea sârmelor, având incinta frigorifică montată pe batiu și cu echipamentul necesar obținerii și reglării temperaturii scăzute, iar în poza 8.4. aparatul Brinell în timpul încercării de duritate.



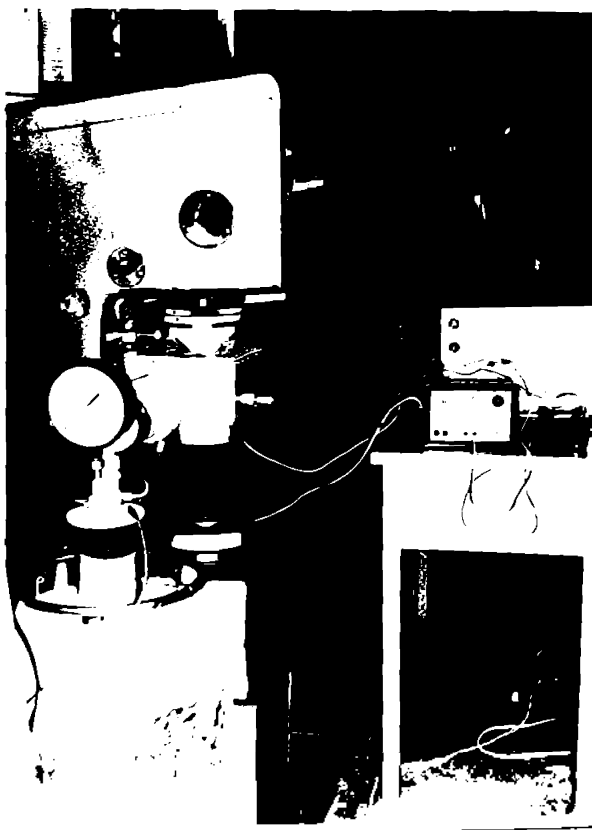
Poza 8.1. Incintă frigorifică cu agent de răcire lichid montată la mașina universală de încercat



Poza 8.2. Incintă frigorifică cu agent de răcire gazos montată la mașina universală de încercat



Poza 8.3. Standul pentru încercarea la răscuire a sârmelor în domeniul temperaturilor scăzute



Poza 8.4. Aparatul Brinell echipat în vederea încercării de duritate la temperaturi scăzute

8.1.3. Contribuții la cercetarea modului de obținere, reglare și menținere a temperaturilor scăzute pentru încercările mecanice

În cazul utilizării agentului de răcire lichid, temperatura scăzută se realizează prin asigurarea unui raport cantitativ, bine determinat, dintre agentul frigorific și mediul de răcire. Operația se efectuează manual, iar gradul de precizie este relativ scăzut, fiind necesară respectarea unor reguli stricte de protecția muncii.

În cazul folosirii azotului lichid ca și agent frigorific și a vaporilor de azot ca și agent de răcire s-au utilizat trei variante de presurizare a vasului Dewar (vezi 5.2., fig.5.3). Pentru această operație este necesară închiderea vasului Dewar, la partea lui superioară, cu dispozitive (dopuri) de construcție specială, pentru etanșare și asigurare.

Autorul a realizat două astfel de dopuri prezentate în poza 5.2. și schematic în fig.5.4 (pentru varianta I-a) respectiv fig.5.5 (pentru variantele a II-a și a III-a de presurizare).

Pentru reglarea și menținerea, în limitele admise, a temperaturii scăzute necesară experimentărilor, au fost realizate două dispozitive de reglare automată a acestora:

- ◆ Bucălă de automatizare (vezi 5.4.1 și fig.5.6) folosită în cadrul unei instalații [85] care utilizează prima variantă de presurizare a vasului Dewar;
- ◆ Dispozitiv pentru reglarea automată a temperaturilor scăzute (D.R.A.T.S.), utilizat în variantele a II-a și a III-a de presurizare a vasului Dewar, prezentat în 5.4.2., poza 5.3 și schema bloc din fig.5.9.

8.1.4. Studiul transferului termic în epruvetele utilizate în cadrul încercărilor mecanice

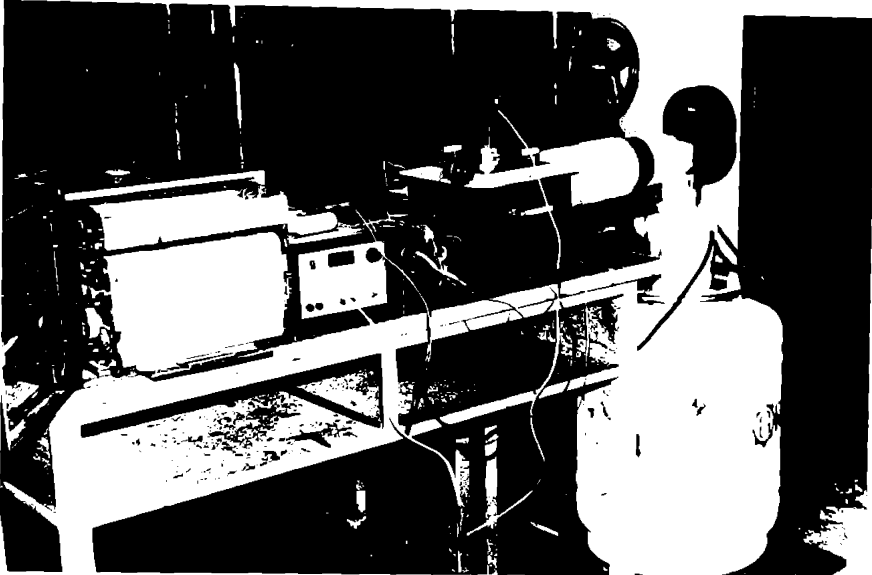
Deoarece declanșarea încercării trebuie făcută în momentul în care s-a obținut temperatura scăzută dorită, în întreaga masă a epruvetei, a fost necesar un studiu al transferului termic realizat prin:

- Modelarea matematică a acestui transfer (vezi 5.5.1) prin întocmirea unei metodologii și a unor programe de calcul în **MATLAB**;
- Experimentarea transferului termic prin epruvete de diferite dimensiuni (cilindrice cu ϕ 10 mm respectiv ϕ 20 mm), materiale și tratamente termice aplicate, care a presupus:
 - a) realizarea unor epruvete prevăzute cu termorezistențe de dimensiuni mici (vezi 5.5.2., poza 5.4 și fig.5.24);
 - b) alcătuirea unui stand experimental format dintr-un vas Dewar, în care se află stocat azotul lichid; un dop care asigură realizarea variantei a III-a de presurizare; o încălțură frigorifică în care se introduce epruveta echipată cu termorezistențe; D.R.A.T.S. și un sistem de înregistrare a temperaturii (vezi 5.5.2. și poza 5.5).

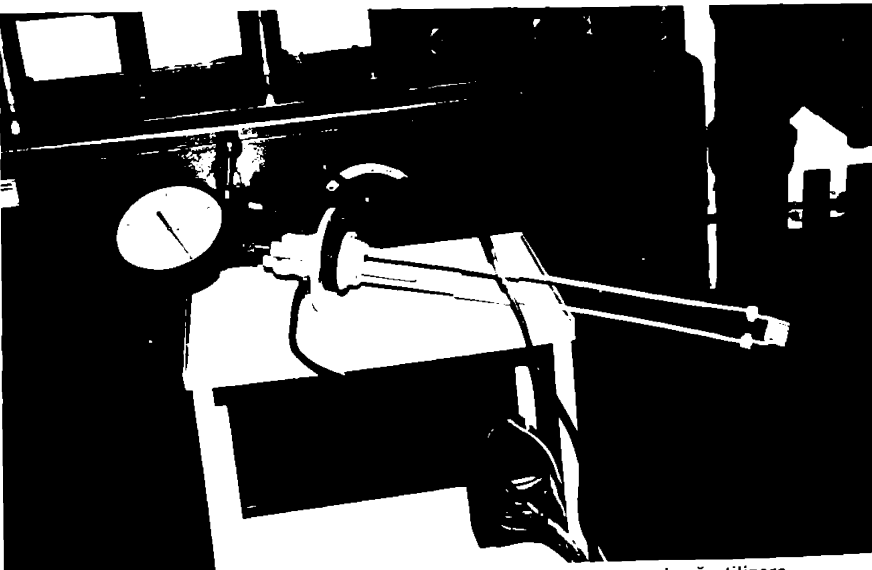
Cu ajutorul standului experimental au fost testate două modalități de obținere și reglare a temperaturii prin:

- prescrierea directă a temperaturii scăzute dorite;
- prescrierea în trepte a temperaturii scăzute de încercare.

În urma încercărilor efectuate s-a constatat că în varianta prescrierii directe, cu D.R.A.T.S., a temperaturii scăzute, timpul este mai scurt decât în varianta prescrierii în trepte. Consumul de



Poza.8.5. Standul experimental pentru studiul transferului termic prin epruvete



Poza 8.6. Dopul folosit pentru presurizarea vasului Dewar, după utilizare

agent frigorific (azotul lichid) este mai mare în cazul prescrierii directe a temperaturii.

Poza 8.5 prezintă standul pentru studiul transferului termic, iar în poza 8.6. este reprezentat dopul utilizat pentru presurizarea vasului Dewar, imediat după utilizare.

8.1.5. Investigații privind obținerea caracteristicilor mecanice la temperaturi scăzute

Cu dotările realizate de către autor s-au întreprins cercetări prin care s-a urmărit determinarea caracteristicilor mecanice pentru o largă gamă de oțeluri cu destinații speciale: 8Ni90; 15VMoCr14X; 34MoCrNi15X-M; 34MoCrNi15X-RS; 34MoCrNi16X; 10Ni35 și 10Ni35R.

S-au executat încercări standardizate (la tracțiune respectiv la încovoierea prin șoc) și încercări încă nestandardizate. Autorul aduce contribuții la stabilirea metodologiei de lucru pentru:

- încercarea la răsucire (vezi 7.4.3);
- încercarea la răsucirea a sârmelor, ca și încercare tehnologică (vezi 7.4.3.4);
- încercare de duritate (vezi 7.5).

Pentru unele mărci de oțeluri, asimilate în producția S.C."SIDERURGICA" S.A.Hunedoara s-a luat în studiu încercarea la încovoiere prin șoc, în domeniul temperaturilor scăzute, care a vizat:

- ⇒ stabilirea unor corelații între caracteristicile obținute pe epruvetele prelevate longitudinal respectiv transversal;
- ⇒ influența locului de proveniență a epruvetelor din lingou (cap, mijloc respectiv picior de lingou) asupra caracteristicii mecanice (energia de rupere respectiv reziliența);
- ⇒ analiza variației cristalinității respectiv fibrozității secțiunilor epruvetelor rupte, la diferite temperaturi scăzute și legătura acestora cu caracteristica mecanică.

În urma studiului experimental care a vizat stabilirea corelației între caracteristica mecanică la încovoiere prin șoc, obținută pe epruvete prelevate longitudinal respectiv transversal, indiferent de locul de proveniență (cap, mijloc sau picior de lingou) și temperatura scăzută s-a ajuns la concluzia că raportul este supraunitar și pare a fi o constantă de material.

Deoarece prin standardele de produse sau caietele de sarcini, pentru unele elemente ale compoziției chimice se impun domenii largi de variație admise, s-a luat în studiu stabilirea conținutului optim care să asigure valoarea maximă a caracteristicii la încovoierea prin șoc. Astfel, s-au efectuat încercări pe epruvete prelevate dintr-un număr relativ mare de șarje din același oțel și s-a studiat influența conținutului de C, Cr și Ni asupra rezilienței respectiv energiei de rupere obținute prin încercări la o anumită temperatură scăzută impusă (vezi 7.3.3).

8.2. Aplicații și perspective ale realizărilor obținute

Cu echipamentele, standurile și instalațiile experimentale realizate, împreună cu rezultatele obținute în urma cercetărilor efectuate privind încercările oțelurilor la temperaturi scăzute, laboratorul de Rezistența materialelor al Facultății de Inginerie Hunedoara a intrat în rândul laboratoarelor în care se pot executa încercări standardizate (la tracțiune respectiv la încovoiere prin șoc) și nestandardizate (la răsucire și de duritate).

Cercetările întreprinse până în prezent pot fi extinse și aprofundate urmărindu-se:

- * realizarea de noi incinte frigorifice mai performante din punct de vedere al soluției constructive și al izolației termice utilizate;
- * determinarea caracteristicilor mecanice, la temperaturi scăzute, pentru noi mărci de oțeluri cu destinații speciale asimilate de industria siderurgică românească;
- * studierea influenței conținutului elementelor de aliere asupra caracteristicilor mecanice, pentru diferite paliere de temperaturi scăzute, funcție de temperatura de exploatare a elementelor de rezistență realizate din aceste oțeluri;
- * extinderea cercetărilor privind stabilirea unor corelații între caracteristicile mecanice la diverse încercări în condiții de temperaturi scăzute (de exemplu, între caracteristica la încovoiere prin șoc și duritatea oțelului);
- * influența unor tratamente termice asupra caracteristicilor mecanice obținute la temperaturi scăzute.

Dotările realizate de către autor pot fi utilizate și în alte domenii decât încercările mecanice de materiale. Dintre aplicațiile unde își găsesc utilitate se menționează:

- ◆ asamblarea prin fretare a organelor de mașini în condiții de temperaturi scăzute (numită impropriu - fretare criogenică);
- ◆ tratamentele termice la temperaturi scăzute pentru unele mărci de oțeluri;
- ◆ prelucrările mecanice prin așchiere în domeniul temperaturilor scăzute.

Cercetările teoretice și experimentale efectuate până în prezent de către autor s-au materializat prin trei contracte de cercetare științifică [91]; [92] și [93]; nouă lucrări publicate și trei în curs de publicare precum și două certificate de inovator [84]; [85], iar o propunere de inovație este în curs de analizare.

BIBLIOGRAFIE

1. Abuşenkov, D.I.,
Cernecikin, K.V., ş.a. Pristavka dlea opredelenia mehaniceschih svoystv materialov pri krioghenâh temperaturah, Zavodskaia Laboratoria, nr. 2, pag. 79-81, Moscova, 1981.
2. Aleşkin, F. I.,
Nistratov, I.I. Ispalzovanie freona-22 dlea ohajdenia obrasciov pri mehaniceschih ispătaniiah metalov, Zavodskaia Laboratoria, nr. 11, Moscova, 1981.
3. Alic, C., Weber, F. Considerații privind analiza condițiilor de rezistență la elementele structurale metalice, în zonele cu concentrații de tensiune, A VI-a Conferință de Construcții metalice, vol.3, pag. 229-236, Timișoara, 1991.
4. Arone, G.R. Ob isledovanie stali v usloviah dvihosnogo rastiajenia pri comnatnoi i poniženoi temperaturah, Zavodskaia Laboratoria, nr.10, Moscova 1976.
5. Arone, G.R.,
Karpov, G.N. O hladnolocomcosti stali v usloviah ploscogo napriajenogo sostoiania, Zavodskaia Laboratoria, nr.1, Moscova 1975.
6. Atanasiu, C., ş.a. Încercarea materialelor, vol. I, Editura Tehnică, București, 1982.
7. Balddeweg, H.,
Dienel, G., ş.a. Werkstoffprüfung von Metallen, vol. II, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1978.
8. Baron, A.A. Oţenca hladnolocomcosti stalei po tverdosti pri nizchih temperaturah, Zavodskaia Laboratoria, nr. 1, pag.65-68, Moscova 1990.
9. Becker, E.,Michalzik, G.,
Morgner, W. Praktikum Werkstoffprüfung, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig, 1979.
10. Blumenauer, H., ş.a. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1978.
11. Cartiş, Gh. I. Tratamente termice, Editura Facla, Timișoara, 1982.
12. Cheviet, A.,
Prudhomme, M. Essais de rupture fragile sur grosses eprouvettes, C. I. T., nr.9, 1968.
13. Chidreafev, I.V. Ustalosti svarnâh construcții, "Maşinostroenie", Moscova, 1976.
14. Chiriac, Fl., Bivol, G.,
Mera, D. Instalații frigorifice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981.
15. Cioclov, Dragoş Mecanica ruperii materialelor, Editura Academiei, R.S.R. București, 1977.
16. Cristea, I., Weber, F. Particularități de calcul a turbodetoarelor criogenice, Sesiunea de comunicări științifice "Tehnologii și echipamente tehnologice industriale" vol.IV, pag. 73-79, Hunedoara, 1992.
17. Cristea, I., Weber, F. Instalație experimentală pentru obținerea și purificarea heliului și a neonului din amestecul azot, neon și heliu, Sesiunea de comunicări științifice "Tehnologii și echipamente tehnologice industriale" vol.IV, pag. 80-85, Hunedoara, 1992.
18. Cristea, I., Weber, F. Instalație experimentală pentru obținerea și purificarea neonului din amestecul azot, neon și heliu, Sesiunea aniversară de comunicări științifice a Facultății de Inginerie Hunedoara, vol. V, pag.52-56, Hunedoara,1995.
19. Damachi, E.,ş.a. Electronică, E.D.P., București, 1979.
20. Dieter, G.E. Metalurgie mecanică, Editura Tehnică, București, 1970.
21. Drăghici, S. Unele aspecte cu privire la deformabilitatea oțelului inoxidabil austenitic 10 TiNiCr 180, Revista Metalurgia, nr 8-9, pag.34 - 37, București, 1996.
22. Gavrilov, I. N. Novii sposob ohlajdenia obrasciov pri ispătaniiah na ustanovche tipa Imaş - 5S- 65 v usloviah nizchih temperatur, Zavodskaia Laboratoria, nr. 2, pag. 228-229, Moscova, 1978.

23. Gladštejn, L.I. O țelesobraznosti ispătanii stroitelnoi stali na sclonosti c mehanicescomu stareniiu, Zavodskaia Laboratoria, nr. 5, pag.64-68, Moscova 1990.
24. Glizmanenko, D.L. Spravocinic - Chislorod, Moscova - Metalurgia, 1973.
25. Glizmanenko, D.L. Tehnologia fabricării oxigenului, Editura Tehnică, București, 1964.
26. Grumbach, M., Sanz, G. Essais de resilience, essais Schnadt, essais de traction par choc, C.I.T., nr.9, 1968.
27. Heckel, K. Einführung in die technicsche Anwendung der Bruchmechanik, Carl Hanser Verlag, Munchen, 1978.
28. Ilicev, V., Cerneciki, V. K., ș.a. Ustroistva dlea opredelenia mehaniceschih svoistv obrasciov constructionâh metalov pri nizchin temperaturah, Zavodskaia Laboratoria, nr. 8, pag. 766-768, Moscova, 1980.
29. Ilescu, C-tin., ș.a. Măsurători electrice și electronice, E.D.P., București, 1983.
30. Ivanova, S.V., Terentev, F.V.
31. Kennedy, A. J. Processes of creep and fatigue in metals, Olivier and Boyd Edinburg and London 1962, Editura Metalurgia, Moscova, 1965 (traducere).
32. Krasobski, A. Hrupkosti metallov pri nizchih temperaturah, Naukova Dimka, Kiev, 1980.
33. Krisch, A., Hussman, W. Temperaturmessungen an Kerbschlagproben verschiedener Breite, Materialprüfung, nr.12, pag. 408-413, 1970.
34. Lebedev, D.V., ș.a. Udarnaia viazcosti nizcoleghirovanoii constructionoi stali v zavisimosti ot mesta nanesenia nadreza na standartnom obrazțe, Zavodskaia Laboratoria, nr. 6,pag.68-69, Moscova, 1987.
35. Mahutov, A.N., Tananov, I. A. ș.a. Metodă opredelenia caracteristic viazcosti razrușenia plachirovanâh metalov, Zavodskaia Laboratoria, nr.1, Moscova 1982.
36. Manolescu, P., Ionescu, C. Măsurători electrice și electronice, E.D.P., București, 1979.
37. Marchidan, D. I., Ciopec, M. Temperatura - scân, metode și mijloace de măsurare, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1977.
38. Mc Lean, D. Mechanical Properties of Metals, New York, Metalurgia, Moscova, 1965 (traducere).
39. Metus, G.S., ș.a. Ustroistovo dlea ispătanii na rasteajenie pri nizchih temperaturah, Zavodskaia Laboratoria, nr. 8, pag. 85-86, Moscova 1987.
40. Mikleaeab, G., Neșpor, S., Kidreșov, G. V. Kinetica razrușenie, Metalurgia, Moscova, 1979.
41. Mitelea, I. Contribuții la studiul mecanismului de durificare prin tratament termomecanic a oțelurilor criogenice cu baza de nichel, Teză doctorat, Timișoara, 1977.
42. Nădășan, Șt., ș.a. Manualul tehnicianului din laboratorul de încercări de metale, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1969.
43. Nădășan, Șt.,ș.a. Încercări și analize de metale, Editura Tehnică, București, 1965.
44. Neamțu, I., Toma, M. Comportarea oțelului OL 37 - 3k la temperaturi scăzute, Metalurgia, nr.9, pag. 467-471, București, 1981.
45. Novicov, N.V., Maistrenco, A.L. Construcționaia procinosti pri nizchih temperaturah, "Naukova Dumca", Moscova, 1989.

46. Novikov, N. V.,
Novogrudski, S.L. Ustanovka dlea isledovania vliania electricescovo toca na mehaniceschie haracteristichi metalov v intervale temperatur 4,2 ...300 K, Zavodskaia Laboratoria, nr. 4, pag. 374-375, Moscova, 1979.
47. Obmen, Opâtom Ustanovka nastolnogo tipa dlea ispâtanii na polzucest pri temperaturah 295 i 77 K, Zavodskaia Laboratoria, nr. 5, Moscova 1980.
48. Petersoh, R. Coeficient conțentrații napreaenii, Izdatelstvo "Mir" Moscova, 1977.
49. Ponomariov, S.D.,
Biderman, L.V., ș.a. Calculul de rezistență în construcția de mașini, vol. I, II, III, Editura Tehnică, București, 1960.
50. Popa, B., ș.a. Manualul inginerului termotehnician, vol. I, II și III, Editura Tehnică, București, 1986.
51. Proschirin, V.V.,
Șepilov, V.B. Ustroistvo dlea mehaniceschih ispâtanii materialov pri nizchih temperaturah, Zavodskaia Laboratoria, nr. 4, pag.71-74, Moscova 1987.
52. Radcenco, C., ș.a. Procese în instalații frigorifice, E.D.P., București, 1983.
53. Radcenco, V., ș.a. Instalații frigorifice și criogenice - Probleme și aplicații, Editura Tehnică, București, 1987.
54. Razumov, N.O.,
Tomașevski, A. N. Prastoi criostat dlea isledovania efecta Mesbauera pri temperaturah 65 i 77 K, nr.4, Moscova, 1978.
55. Rău, A., Tripșa, I. Metalurgia oțelului, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1973.
56. Sanho, K.,
Iablonski, S.I. Metodica ispâtanii na viazcosti razrușenia pri nizcoi temperature, Zavodskaia Laboratoria, nr. 8, pag. 1006-1008, Moscova 1978.
57. Sârbu, I. Instalații frigorifice, Litografia Universității "Politehnica" Timișoara, 1993.
58. Sauz, G., Rabbe, P. Essais de fragilité. Recherches recentes sur le mecanisme de la rupture brutale, C.I.T. nr. 9, 1968.
59. Schmidtman, T. Die Ausbildung der Wohlerkurve eines niedriggekohlten Stahles bei Zug - Druck - Wechselbeanspruchung unter Berücksichtigung von Verfestigungs und Entfestigungsvorgängen, Archiv fur dar Eisenhutenwesen, nr.8, pag.651-660, Germania, 1969.
60. Siebel, Erich Die Prüfung der metallischen Werkstoffe, Springer-Verlag, Berlin, Gottingen, Heidelberg, 1975.
61. Stamatescu, C., ș.a. Criogenie tehnică, Editura Tehnică, București, 1982.
62. Stamatescu, C., ș.a. Tehnica frigului, vol. II, Editura Tehnică, București, 1979.
63. Starțev, I.V., Ilicev, V.,
Pustovaloh, V.V. Plasticinosti i procinosti metallov i splavov pri nizchih temperaturah, Metalurghia, Moscova, 1975.
64. Strijalo, V.A. Tichescaia pricinosti i polzucesti metalov pri maloțiclovom nagrujenii b usloviah nizchih i vâsochih temperatur, " Naucova Dumca" Kiev, 1978.
65. Șvidenko, I.V. Ustroistvo dlea nizcotemperaturanovo ohlajdenia obrazcea pri isledovanii termicescoi ustalosti materialov, Zavodskaia Laboratoria, nr. 7, pag. 885-887, Moscova 1978.
66. Tăpălagă, I., ș.a. Criogenia în construcția de mașini, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1988.
67. Timoșuc, L.T. Mehaniceschie ispâtanii metalov, " Metalurghia", Moscova, 1971.
68. Todor, Al., ș.a. Asimilarea tehnologiilor de fabricație a oțelurilor cu proprietăți deosebite realizate prin "Procedeele de retopire cu electrozi consumabili", Studiu de cercetare, C.I.S.Hunedoara - secția Cercetare, Hunedoara, 1979.

69. Troščenko, T., Hamaza, A.L., Şabanev, V.G. Metodă iscorenovo opredelenia vânoslivosti metalov na osnove deformaţionâh i energheticeschih criteriiev, "Naukova Dimka", Kiev, 1979.
70. Truşculescu, M., Ieremia, A. Oţeluri inoxidabile şi refractare, Editura Facla, Timişoara, 1983.
71. Truşculescu, M. Unele consideraţii asupra elaborării şi deformării plastice a oţelurilor criogenice tip 12N90 şi 12N90Co40, Metalurgia 27, nr.8-9, Bucureşti, 1975.
72. Truşculescu, M. Studiul Metalelor, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1977.
73. Truşculescu, M., Mitelea, I. Caracteristicile de tracţiune ale oţelului criogenic aliat cu 9 % Ni tratat termomecanic, Metalurgia, nr.2, pag.67-72, Bucureşti, 1977.
74. Ulianin, E.A., Sorochina, N.A. Stali i splavâ dlea krioghenoi tehnichi, Spravocinic, "Metalurghia" Moscova, 1984.
75. Ushik, G. W. Festlikeit und plastizität von Metallen bei tiefen Temperaturen, Leipzig, 1971.
76. Vacu, S., ş.a. Elaborarea oţelurilor aliate, vol. I şi vol.II, Editura Tehnică, Bucureşti, 1980 şi 1983.
77. Vepşek, I. Izmerenie nizchih temperatur electriceschimi metodami, Energhia, Moscova, 1980.
78. Veselov, V.A., ş.a. Vlianie masştabnovo factora na sclonosti construcţionah staley c hrupcomu razruşeniui, Zavodskaia Laboratoria, nr. 8, pag. 72-74, Moscova 1987.
79. Weber, F. Tehnici experimentale pentru încercarea metalelor la temperaturi scăzute, A XI-a Sesiune de comunicări tehnico-ştiinţifice a Institutului de Subingineri Hunedoara, 1983.
80. Weber, F. Incinte frigorifice pentru încercarea metalelor în stare biaxială de tensiune, A XI-a Sesiune de comunicări tehnico-ştiinţifice a Institutului de Subingineri Hunedoara, 1983.
81. Weber, F., Maksay, Şt. Modelarea matematică a câmpului termic la temperaturi scăzute - Buletin ştiinţific - Universitatea Tehnică Petroşani, vol. XXIII, Fascicola 1A, , Petroşani, 1991.
82. Weber, F., Prejban, I. Studiul privind influenţa temperaturilor scăzute asupra tenacităţii oţelului aliat cu nichel - 8 Ni 90, A VI-a Conferinţă de Construcţii metalice, vol.3, pag. 237-242, Timişoara, 1991.
83. Weber, F., ş.a. Cercetări privind determinarea rezilienţelor la temperaturi scăzute pentru oţelul 34 MoCrNi 15 X - Buletin ştiinţific - Universitatea Tehnică Petroşani, vol. XXIII, Fascicola 1A, pag. 93-97, Petroşani, 1991.
84. Weber, F. Stand pentru încercarea la răsucire a sârmelor , Certificat de inovator nr.8/1989- Ministerul Industriei Metalurgice.
85. Weber, F. Instalaţie pentru reglarea temperaturii scăzute cu agent de răcire azotul lichid - Certificat de inovator nr.12 / 1994 - S.C. "SIDERURGICA" S.A. Hunedoara
86. Weber, F., Alic, C. Consideraţii asupra criteriilor fenomenologice şi a cineticii de propagare a fisurilor în materialele metalice , A VI-a Conferinţă de Construcţii metalice, vol.3, pag. 223-228, Timişoara, 1991.
87. Weber, F., Coşniţă, D. Instalaţie de răcire pentru fretarea criogenică, Sesiunea aniversară de comunicări ştiinţifice a Facultăţii de Inginerie Hunedoara, vol. IV, pag.67-72. Hunedoara,1995.
88. Weber, F., Coşniţă, D. Incintă de răcire pentru tratamentul criogenic, Sesiunea aniversară de comunicări ştiinţifice a Facultăţii de Inginerie Hunedoara, vol. IV, pag.79-84, Hunedoara,1995.

89. Weber, F., Hodor, I. Cercetări experimentale privind reglarea temperaturii pentru efectuarea încercării materialelor la temperaturi scăzute - Buletin științific - Universitatea Tehnică Petroșani, vol. XXIII, Fascicola 1A, pag. 100-103, Petroșani, 1991.
90. Weber, F., Hodor, I. Instalație experimentală, cu azot lichid, pentru reglarea temperaturilor scăzute - Analele Universității "Eftimie Murgu" Reșița, Fascicola II, pag.415-420, Reșița, 1996.
91. Weber, F., Prejban, I. Cercetarea influenței temperaturilor scăzute asupra tenacității oțelurilor aliate cu nichel elaborate la C.S.Hunedoara-Contract de cercetare științifică nr.70/1976.
92. Weber, F., ș.a. Lamine de noi mărci de oțeluri carbon aliate și înalt aliate pentru industria auto și de tractoare, industria chimică, industria petrolieră, industria navală etc. - Contract de cercetare științifică nr.47 /1990 - pentru S.C. "SIDERURGICA" S.A. Hunedoara.
93. Weber, F., ș.a. Instalație de asamblare prin fretare criogenică a organelor de mașini și pentru tratarea criogenică a oțelurilor rapide - Contract de cercetare științifică nr.226/1996 - pentru S.C. "SIDERURGICA" S.A. Hunedoara.
94. Winfried, Dahl Grundlagen des Festigkeits - und Bruchverhaltens, Verlag Stahleisen M.B.H., Düsseldorf, 1979
95. Winfried, Dahl Grundlagen des Festigkeits - und Bruchverhaltens, Verlag Stahleisen, M.B.H., Dusseldorf, 1974.
96. Zamfir, S. Cercetări privind tratamentul termomecanic de temperatură joasă aplicat oțelului 7 NC 180, Metalurgia, Nr.6, pag. 290 - 294, București, 1977.
97. Zincenko, I. A., Strijala, A. V. Ghelievăi criostat dlea dlitelnăh maloșciclovăh ispătanii, Zavodskaja Laboratoria, nr. 11, pag. 1407-1410, Moscova, 1977.
98. *** Synthese, Die mechanischen Eigenschaften von stählen bei tiefen Temperaturen, Technik und Betrieb, nr.2,3,4, pag 48, 79-80,112, 1976.
99. *** Catalog de produse - Cryo diffusion - Reservoirs cryogeniques portables - LERY FRANCE, 1995.
100. *** Conrad Electronic - Electronic Actuell - Catalog de produse, Hirschau, Germania, 1996.

NORME ȘI STANDARDE

101. STAS 7324-75 Încercările metalelor. *Luarea probelor din oțel pentru încercări mecanice.*
102. SR EN ISO 3785:1997 Oțel. *Notarea axelor epruvetelor.*
103. STAS 4203-74 Metalografie. *Luarea și pregătirea probelor metalografice.*
104. STAS 6967-88 *Încercările mecanice ale metalelor.* Clasificare
105. STAS 1965-75 *Încercările metalelor* Terminologie
106. SR EN 10002-1:1995 Materiale metalice. *Încercarea la tracțiune* Partea 1: Metodă de încercare (la temperatura ambiantă).
107. STAS 6834-75 Încercările metalelor. *Încercarea la tracțiune la temperaturi scăzute.*
108. STAS 10897/5-86 Încercările metalelor. *Încercări mecanice ale îmbinărilor lipite la temperaturi scăzute.*
109. STAS 1400-75 Încercările metalelor. *Încercare de încovolare prin șoc pe epruvete cu creștătură în U.*

110. STAS 1511-81 Încercările metalelor. *Încercare de încovoiere prin șoc pe epruvete cu creștătură în V.*
111. STAS 6833-79 Încercările metalelor. *Încercarea de încovoiere prin șoc la temperaturi scăzute.*
112. SR EN 10045-1:1993 (înlocuiește STAS 1400-75, STAS 1511-81 și STAS 6833-79) Materiale metalice. *Încercarea la încovoiere prin șoc pe epruvete Charpy. Partea 1: Metodă de încercare.*
113. STAS 10026-75 Încercările metalelor. Încercarea de încovoiere prin șoc pe epruvete cu creștătura în U și V. *Determinarea cristalinității și fibrozității rupturii.*
114. STAS R 10025-75 Încercările metalelor. Încercarea de încovoiere prin șoc pe epruvete cu creștătura în U și V. *Tabel comparativ al rezilienței și al energiei de rupere.*
115. STAS 1750-90 Încercările metalelor. *Încercare la răsucire a sârmelor.*
116. SR ISO 9649:1996 Materiale metalice. Sârmă. *Încercarea la răsucire alternantă.*
117. STAS 10919-78 Încercările metalelor. *Încercări de duritate.* Terminologie
118. SR EN 10003-1:1997 Materiale metalice. *Încercarea de duritate Brinell.*
Partea 1: Metodă de încercare
119. STAS 791-88 *Oțeluri aliate pentru tratament termic destinate construcției de mașini.* Mărci și condiții tehnice de calitate.
120. STAS 1097/1-91 Piese forjate din oțel. *Piese forjate destinate construcției de mașini.* Condiții generale de calitate.
121. STAS 10382-88 *Oțeluri pentru țevi utilizate la temperaturi scăzute.* Mărci și condiții tehnice de calitate.
122. STAS 9858-93 *Blumuri, țagle și bare laminate la cald din oțeluri pentru cazane și recipiente sub presiune.* Condiții tehnice de calitate.
123. STAS R 4400/1-80 Oțeluri standardizate. *Oțeluri laminate sau trase.* Corespondența mărcilor.
124. STAS 500/2-80 *Oțeluri de uz general pentru construcții.* Mărci.
125. SR EN 10025+A1:1994 *Produse laminate la cald din oțeluri de construcție nealiate.*

CUPRINSUL TEZEI DE DOCTORAT

CONTRIBUȚII LA STUDIUL COMPORTĂRII OȚELURILOR LA TEMPERATURI SCĂZUTE

CAP.1.	INTRODUCERE	1
	1.1. Necesitatea și importanța temei.....	1
	1.2. Cuprinsul comentat al lucrării.....	3
CAP.2.	ELEMENTE ȘI NOȚIUNI NECESARE ÎN VEDEREA EFECTUĂRII CERCETĂRILOR EXPERIMENTALE	6
	2.1. Temperaturi utilizate la încercările mecanice de materiale metalice.....	8
	2.2. Instrumente pentru măsurarea temperaturilor scăzute și joase (criogenice).....	9
	2.3. Agenți frigorifici, medii de răcire și agenți de răcire.....	12
	2.3.1. Noțiuni generale.....	12
	2.3.2. Agenți frigorifici.....	12
	2.3.3. Medii de răcire.....	14
	2.3.4. Agenți de răcire.....	15
	2.4. Recipienți pentru transportul agenților frigorifici.....	16
	2.5. Procedeele tehnologice de obținere a mărcilor de oțeluri utilizate în domeniul temperaturilor scăzute.....	18
	2.5.1. Generalități.....	18
	2.5.2. Tratarea în vid a oțelului în oala de turnare.....	19
	2.5.3. Retopirea electrică sub strat de zgură (R.E.Z.).....	20
	2.6. Influența elementelor de aliere asupra caracteristicilor oțelurilor.....	22
CAP.3.	TEHNICI EXPERIMENTALE DE ÎNCERCARE A METALELOR LA TEMPERATURI SCĂZUTE ȘI CRIOGENICE	24
	3.1. Generalități.....	24
	3.2. Dispozitive pentru încercarea la tracțiune în domeniul temperaturilor scăzute.....	24
	3.2.1. Dispozitiv de tip AMSLER pentru încercarea la tracțiune.....	25
	3.2.2. Dispozitiv tip reversor pentru încercarea la tracțiune.....	26
	3.3. Instalații pentru încercarea la tracțiune în domeniul temperaturilor criogenice.....	27
	3.3.1. Instalație care utilizează ca și agent frigorific heliul lichid.....	28
	3.3.2. Instalație care utilizează ca și agent frigorific hidrogenul lichid.....	29
	3.4. Instalații pentru încercare la tracțiune cu dispozitive de fixare a mai multor epruvete.....	31
	3.5. Instalație pentru încercarea la încovoiere statică în condiții de temperaturi scăzute și criogenice.....	36
	3.6. Echipamente pentru încercările dinamice prin șoc la temperaturi scăzute.....	38
	3.6.1. Noțiuni generale.....	38
	3.6.2. Echipamente pentru încercarea la încovoiere prin șoc la temperaturi scăzute.....	40
	3.6.3. Încercarea la tracțiune prin șoc la temperaturi scăzute.....	43
	3.7. Dispozitive pentru răcirea epruvetelor prin pulverizarea azotului lichid.....	45

CAP.4.	INCINTE FRIGORIFICE PENTRU ÎNCERCĂRILE MECANICE ALE METALELOR LA TEMPERATURI SCĂZUTE	47
4.1.	Noțiuni generale.....	47
4.2.	Contribuții privind realizarea de incinte frigorifice.....	48
4.2.1.	Incinte frigorifice pentru încercarea la tracțiune.....	49
4.2.1.1.	Incintă frigorifică cu agent de răcire lichid.....	50
4.2.1.2.	Incintă frigorifică cu agent de răcire azotul lichid pulverizat.....	52
4.2.1.3.	Incintă frigorifică cu agent de răcire gazos (vapori de azot).....	52
4.2.2.	Incinte frigorifice pentru încercarea la încovoiere prin șoc.....	56
4.2.2.1.	Incintă frigorifică cu agent de răcire lichid.....	56
4.2.2.2.	Incintă frigorifică cu agent de răcire lichid sau gazos.....	57
4.2.3.	Incintă frigorifică pentru încercarea la răsucire.....	60
4.2.4.	Incintă frigorifică pentru încercarea de duritate.....	62
CAP.5.	CERCETĂRI PRIVIND REGLAREA ȘI MENȚINEREA TEMPERATURILOR SCĂZUTE	66
5.1.	Instrumente utilizate la experimentările efectuate pentru măsurarea temperaturilor scăzute.....	66
5.2.	Variante constructive pentru obținerea presurizării vasului Dewar.....	69
5.3.	Contribuții la realizarea dispozitivului de închidere, etanșare și asigurare a vasului Dewar.....	71
5.4.	Contribuții la concepția și realizarea dispozitivelor pentru reglarea automată a temperaturilor scăzute.....	74
5.4.1.	Bucă de automatizare pentru reglarea temperaturilor scăzute.....	75
5.4.2.	Dispozitiv pentru reglarea automată a temperaturilor scăzute.....	78
5.4.2.1.	Descrierea blocurilor din componența D.R.A.T.S.....	80
5.4.2.2.	Modul de funcționare al D.R.A.T.S.....	87
5.5.	Cercetări privind transferul termic în epruvetele utilizate pentru încercări la temperaturi scăzute.....	90
5.5.1.	Modelarea matematică a câmpului termic în epruvete.....	90
5.5.2.	Investigații experimentale asupra transferului termic în epruvete, la temperaturi scăzute.....	97
CAP.6.	EPRUVETE UTILIZATE ÎN CADRUL INVESTIGAȚIILOR EXPERIMENTALE	108
6.1.	Noțiuni generale.....	108
6.2.	Epruvete pentru încercarea la tracțiune.....	110
6.3.	Epruvete pentru încercarea la încovoiere prin șoc.....	113
6.4.	Epruvete pentru încercarea la răsucire.....	115
6.5.	Epruvete pentru încercarea de duritate.....	119
6.6.	Tratamentele termice aplicate materialelor epruvetelor.....	123
CAP.7	CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND COMPORTAREA UNOR OȚELURI LA TEMPERATURI SCĂZUTE	129
7.1.	Considerații asupra încercărilor mecanice la temperaturi scăzute, standardizate în România.....	129
7.2.	Încercarea la tracțiune a oțelului 15VMoCr14X.....	132
7.3.	Încercarea la încovoiere prin șoc.....	137
7.3.1.	Cercetări privind influența temperaturilor scăzute asupra tenacității oțelului aliat cu nichel - 8Ni90.....	137

7.3.2.	Investigații asupra caracteristicilor mecanice ale oțelului 34MoCrNi15X-M.....	144
7.3.3.	Studiul influenței temperaturii scăzute asupra caracteristicii mecanice la încovoierea prin șoc, funcție de poziția de prelevare a epruvetelor și de elemente ale compoziției chimice.....	151
7.4	Încercarea la răsucire.....	162
7.4.1.	Noțiuni generale.....	162
7.4.2.	Utilajul folosit pentru executarea încercării la răsucire.....	164
7.4.2.1.	Mașina de încercare la răsucire.....	164
7.4.2.2.	Stand pentru încercarea la răsucirea sârmelor.....	166
7.4.3.	Experimentări privind studiul comportării la răsucire, în condiții de temperaturi scăzute, pentru mărcile de oțel 10Ni35R, 34MoCrNi16X și OL37-2k.....	171
7.4.3.1.	Generalități.....	171
7.4.3.2.	Comportarea la răsucire a oțelului 10Ni35R.....	173
7.4.3.3.	Comportarea la răsucire a oțelului 34MoCrNi16X.....	181
7.4.3.4.	Comportarea la răsucire a sârmelor din oțelul OL37-2k.....	184
7.5	Încercarea de duritate.....	187
CAP.8.	PRINCIPALELE CONTRIBUȚII ALE AUTORULUI. APLICAȚII ȘI PERSPECTIVE ALE REALIZĂRILOR OBTINUTE.....	191
8.1.	Principalele contribuții ale autorului.....	191
8.2.	Aplicații și perspective ale rezultatelor obținute.....	198
	BIBLIOGRAFIE.....	199
	CUPRINS.....	205
	ANEXE.....	208
A.5.1.	Program WGENFCT.m - generarea funcției Bessel de ordinul zero.....	209
A.5.2.	Program WEX1.m - determină cea mai apropiată rădăcină a funcției Bessel de numărul indicat.....	209
A.5.3.	Valorile rădăcinilor calculate.....	210
A.5.4.	Program WTEMP.m - stabilește distribuția câmpului termic într-un cilindru infiniț lung.....	211
A.5.5.	Datele rezultate din rularea programului WTEMP.m.....	211
A.5.6.	Program WPARDR.m - stabilește distribuția temperaturii într-un paralelipiped infiniț.....	212
A.5.7.	Datele rezultate din rularea programului WPARDR.m.....	213
A.5.8.	Program WTCILF.m - stabilește distribuția câmpului termic într-un cilindru de lungime infiniță.....	214
A.5.9.	Datele rezultate din rularea programului WTCILF.m.....	215
A.5.10.	Program WPARDRF.m - stabilește distribuția temperaturii într-un paralelipiped infiniț.....	216
A.5.11.	Datele rezultate din rularea programului WPARDRF.m.....	217
A.7.1.	Compoziția chimică și caracteristicile mecanice ale oțelului 34MoCrNi15X-RS.....	229
A.7.2.	Caracteristicile mecanice ale oțelului 34MoCrNi15X-RS (racord sudat).....	234
A.7.3.	Compoziția chimică și caracteristicile mecanice ale oțelului 34MoCrNi16X.....	235
A.7.4.	Compoziția chimică și caracteristicile mecanice ale oțelului 10Ni35.....	239
A.7.5.	Compoziția chimică și caracteristicile mecanice ale oțelului 10Ni35R.....	242

ANEXE

```

» % ANEXA 5.1
%
%
% PROGRAM WGENFCT.m - GENEREAZA FUNCTIA BESSEL
% DE ORDINUL ZERO
%
function F=test(x)
niu = 0;
F=besselj(niu,x);

% ANEXA 5.2
%
%
% PROGRAM WEX1.m DETERMINA CEA MAI
% APROPIATA RADACINA A FUNCTIEI BESSEL
% DE NUMARUL INDICAT

niu=0;format long
x(1)=fzero ('genfct',3);
x(2)=fzero ('genfct',6);
x(3)=fzero ('genfct',9);
x(4)=fzero ('genfct',12);
x(5)=fzero ('genfct',15);
x(6)=fzero ('genfct',18);
x(7)=fzero ('genfct',21);
x(8)=fzero ('genfct',24);
x(9)=fzero ('genfct',27);
x(10)=fzero ('genfct',30);
x(11)=fzero ('genfct',33);
x(12)=fzero ('genfct',36);
x(13)=fzero ('genfct',40);
x(14)=fzero ('genfct',43);
x(15)=fzero ('genfct',46);
x(16)=fzero ('genfct',49);
x(17)=fzero ('genfct',53);
x(18)=fzero ('genfct',56);
x(19)=fzero ('genfct',59);

x=rot90(x,-1)

```

» % ANEXA 5.3

»

»

» x

x =

2.40482555769577
5.52007811028631
8.65372791291101
11.79153443901428
14.93091770848779
18.07106396791092
21.21163662987926
24.35247153074930
27.49347913204026
30.63460646843198
33.77582021357357
36.91709835366405
40.05842576462823
43.19979171317673
46.34118837166181
49.48260989739781
52.62405184111500
55.76551075501998
58.90698392608094

» % ANEXA 5.4

```
% PROGRAM WTEMP.m STABILESTE DISTRIBUTIA CAMPULUI TERMIC
% INTR-UN CILINDRU INFINIT LUNG
```

```
tc=-80;to=20;a=.02;s=0;g(1,1)=1;R=10;ind=0;indi=0;
disp('r= 0 .25*R .5*R .75 *R R ')
ta=[5 10 15 20 25 30 40 50 60 70 80 90 100 150 200 400];
for k=1:length(ta)
    tau=ta(k);
    indi=indi+1; ind=0;
    ab(indi)=tau;
    for r =0:2.5:R;
        for i=1:19;
            G=0;
            G=1/x(i)*1/(besselj(1,x(i))*besselj(0,x(i)*r/R);
            G=G*2*exp(-x(i)^2*a*tau/R^2);
            s=s+G;
        end
        ind=ind+1;ord(ind)=r;
        g(indi,ind)=tc+(to-tc)*s;s=0;
    end
end
format bank;format compact
end
end
g
```

ANEXA 5.5

r=	0	.25*R	.5*R	.75 *R	R
g =	20.00	19.96	18.23	-4.51	-80.00
	19.63	18.33	8.91	-23.84	-80.00
	17.05	13.47	-1.60	-34.92	-80.00
	11.77	6.61	-10.94	-42.29	-80.00
	4.84	-1.01	-18.98	-47.69	-80.00
	-2.71	-8.63	-25.93	-51.90	-80.00
	-17.31	-22.68	-37.32	-58.23	-80.00
	-29.85	-34.20	-46.20	-62.88	-80.00
	-40.09	-43.59	-53.20	-66.46	-80.00
	-48.30	-51.09	-58.74	-69.27	-80.00
	-54.83	-57.05	-63.13	-71.49	-80.00
	-60.03	-61.79	-66.62	-73.25	-80.00
	-64.15	-65.55	-69.38	-74.64	-80.00
	-75.01	-75.46	-76.66	-78.32	-80.00
	-78.43	-78.57	-78.96	-79.47	-80.00
	-79.98	-79.99	-79.99	-79.99	-80.00

» %

ANEXA 5.6

```
% PROGRAM WTEMPDR.m STABILESTE DISTRIBUTIA TEMPERATURII
% INTR-UN PARALELIPIED INFINIT
```

```
tc=-80;to=20;L=5;b=12.5;format compact;format bank
x=[0 L/3 2*L/3 L];y=[0 b/4 b/2 3*b/4 b];
disp('    0        b/3        2b/3        b')
disp('    L/4')
disp('    L/2')
disp('    3L/4')
disp('    L')
a=0.02;
ta=[10 100 200 300 400 600];
for k=1:length (ta);
tau=ta(k)
disp(' ')
g=zeros(length(y),length(x));
for m=1:length (x)
for n=1:length (y)
s=0 ;
for i=1:19
for j=1:19
di=(2*i-1)*pi/2;dj=(2*j-1)*pi/2;
bet=(di/L)*2+(dj/b)*2;
ter=1/(di*dj)*cos(di*x(m)/L)*cos(dj*y(n)/b);
ter=ter*exp(-bet*a*tau)*sin(di)*sin(dj);
ter=ter^4;
s=s+ter;
end
end
g(n,m)=tc+(to-tc)*s;
end
end
disp (g)
end
```

ANEXA 5.7

0	b/3	2b/3	b
L/4			
L/2			
3L/4			
L			
tau =			
10.00			
9.32	8.13	1.78	-80.00
8.67	7.49	1.18	-80.00
7.90	6.73	0.48	-80.00
4.71	3.58	-2.44	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
tau =			
100.00			
-55.55	-58.29	-66.76	-80.00
-56.29	-58.95	-67.16	-80.00
-59.03	-61.38	-68.64	-80.00
-65.82	-67.41	-72.32	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
tau =			
200.00			
-75.40	-76.01	-77.69	-80.00
-75.66	-76.23	-77.81	-80.00
-76.47	-76.94	-78.22	-80.00
-77.95	-78.22	-78.97	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
tau =			
300.00			
-79.19	-79.29	-79.59	-80.00
-79.24	-79.34	-79.62	-80.00
-79.41	-79.49	-79.70	-80.00
-79.67	-79.71	-79.84	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
tau =			
400.00			
-79.86	-79.88	-79.93	-80.00
-79.87	-79.89	-79.93	-80.00
-79.90	-79.91	-79.95	-80.00
-79.94	-79.95	-79.97	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
tau =			
600.00			
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00

```

% ANEXA 5.8
%
%
%
% PROGRAM WTCILF.m STABILESTE DISTRIBUTIA CAMPULUI TERMIC
% INTR-UN CILINDRU DE LUNGIME FINITA

tc=-80;to=20;a=.02;s=0;g(1,1)=1;R=10;h=42.5;ind=0;indi=0;
ab(1)=0;ord(1)=0;
z=40
disp('r= 0 .25*R .5*R .75 *R R ')
for tau=100:100:600
    indi=indi+1; ind=0;
    ab(indi)=tau;
    for r =0:2.5:R;
        for m=1:19;
            for i=1:19;
                del=(2*m-1)*pi/2;
                bet=(del/h)^2+(x(i)/R)^2;
                G=0;
                G=1/x(i)*cos(del*z/h)*1/besselj(1,x(i))*besselj(0,x(i)*r/R);
                G=G*(exp(-bet*a*tau))/del*sin(del);
                s=s+G;
            end
        end
    end
    ind=ind+1;ord(ind)=r;
    g(indi,ind)=tc+4*(to-tc)*s;s=0;
end
end
format bank;format compact
g

```

ANEXA 5.9

z =

0

r=:	0	.25'R	.5'R	.75 'R	R
g =	20.03	20.00	18.26	-4.48	-80.00
	19.63	18.33	8.91	-23.84	-80.00
	17.05	13.47	-1.60	-34.92	-80.00
	11.77	6.61	-10.94	-42.29	-80.00
	4.84	-1.01	-18.98	-47.69	-80.00
	-2.71	-8.63	-25.93	-51.90	-80.00

z =

15.00

r=:	0	.25'R	.5'R	.75 'R	R
g =	19.97	19.94	18.20	-4.53	-80.00
	19.63	18.32	8.91	-23.84	-80.00
	17.05	13.47	-1.60	-34.92	-80.00
	11.77	6.61	-10.94	-42.29	-80.00
	4.84	-1.01	-18.98	-47.69	-80.00
	-2.71	-8.63	-25.93	-51.90	-80.00

z =

30.00

r=:	0	.25'R	.5'R	.75 'R	R
g =	20.01	19.97	18.24	-4.50	-80.00
	19.63	18.32	8.91	-23.84	-80.00
	17.02	13.44	-1.63	-34.93	-80.00
	11.61	6.45	-11.06	-42.36	-80.00
	4.40	-1.42	-19.29	-47.86	-80.00
	-3.54	-9.39	-26.50	-52.20	-80.00

z =

40.00

r=:	0	.25'R	.5'R	.75 'R	R
g =	-1.05	-1.08	-2.45	-20.40	-80.00
	-17.91	-18.72	-24.59	-45.00	-80.00
	-28.61	-30.51	-38.49	-56.13	-80.00
	-37.05	-39.47	-47.68	-62.35	-80.00
	-44.04	-46.52	-54.13	-66.30	-80.00
	-49.84	-52.15	-58.90	-69.04	-80.00

» % ANEXA 5.10

**% PROGRAM WPARDRF.m STABILESTE DISTRIBUTIA TEMPERATURII
% INTR-UN PARALELIPIPED FINIT**

```

tc=-80;to=20;L=4;b=12.6;H=42.5;format compact;format bank
x=[0 L/4 L/2 3*L/4 L];y=[0 b/3 2*b/3 b];a=0.02;
z=40;
ta=[5 20 35 50 65 80];
disp('    0      b/4      b/2      3b/4      b')
disp('    L/3')
disp('    2L/3')
disp('    L'),
for k=1:length(ta)
tau=ta(k);
vec(1)=z;vec(2)=tau;
disp(' ')
disp('    z      t'),disp (vec)
disp(' ')
g=zeros(length(y),length(x));
for m=1:length (x)
for n=1:length (y)
s=0 ;
for i=1:30
for j=1:30
for k=1:30
di=(2*i-1)*pi/2;dj=(2*j-1)*pi/2;dk=(2*k-1)*pi/2;
bet=(di/L)^2+(dj/b)^2+(dk/H)^2;
ter=1/(di*dj*dk)*cos(di*x(m)/L)*cos(dj*y(n)/b)*cos(dk*z/H);
ter=ter*exp(-bet*a*tau)*sin(di)*sin(dj)*sin(dk);
ter=ter*b;
s=s+ter;
end
end
end
g(n,m)=tc+(to-tc)*s;
end
end
disp (g)
end

```

ANEXA 5.11.1

η	0	b/4	b/2	3b/4	b
L/3					
2L/3					
L					
z	tau				
0	10.00				
6.09	5.33	2.26	-8.17	-80.00	
5.97	5.20	2.14	-8.28	-80.00	
3.62	2.88	-0.11	-10.24	-80.00	
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	
z	tau				
0	100.00				
-61.87	-63.11	-66.81	-72.71	-80.00	
-62.88	-64.06	-67.55	-73.12	-80.00	
-67.27	-68.15	-70.74	-74.88	-80.00	
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	
z	tau				
0	200.00				
-77.53	-77.71	-78.25	-79.05	-80.00	
-77.77	-77.94	-78.42	-79.15	-80.00	
-78.59	-78.69	-79.00	-79.46	-80.00	
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	
z	tau				
0	300.00				
-79.68	-79.70	-79.77	-79.88	-80.00	
-79.72	-79.74	-79.80	-79.89	-80.00	
-79.83	-79.84	-79.88	-79.94	-80.00	
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	
z	tau				
0	400.00				
-79.96	-79.96	-79.97	-79.98	-80.00	
-79.96	-79.97	-79.97	-79.99	-80.00	
-79.98	-79.98	-79.99	-79.99	-80.00	
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	
z	tau				
0	500.00				
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	

ANEXA 5.11.2

»	0	b/4	b/2	3b/4	b
»	L/3				
	2L/3				
	L				
	z	tau			
	0	5.00			
	11.69	11.43	9.68	4.28	-80.00
	12.34	12.08	10.31	4.88	-80.00
	11.21	10.96	9.21	3.85	-80.00
	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
	z	tau			
	0	20.00			
	-5.29	-6.69	-12.11	-28.17	-80.00
	-6.03	-7.42	-12.78	-28.68	-80.00
	-10.21	-11.52	-16.58	-31.58	-80.00
	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
	z	tau			
	0	35.00			
	-20.93	-22.90	-30.03	-46.99	-80.00
	-22.04	-23.97	-30.96	-47.61	-80.00
	-27.85	-29.60	-35.68	-50.86	-80.00
	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
	z	tau			
	0	50.00			
	-34.17	-36.28	-43.40	-57.77	-80.00
	-35.43	-37.48	-44.41	-58.38	-80.00
	-41.78	-43.54	-49.48	-61.47	-80.00
	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
	z	tau			
	0	65.00			
	-44.94	-46.89	-53.15	-64.44	-80.00
	-46.21	-48.09	-54.12	-65.01	-80.00
	-52.35	-53.89	-58.82	-67.73	-80.00
	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
	z	tau			
	0	80.00			
	-53.45	-55.11	-60.23	-68.86	-80.00
	-54.64	-56.23	-61.12	-69.36	-80.00
	-60.13	-61.38	-65.21	-71.86	-80.00
	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00

ANEXA 5.11.3

z	$b/4$	$b/2$	$3b/4$	b
0				
L/3				
2L/3				
L				
z	τ			
10.00	5.00			
13.65	13.39	11.60	6.09	-80.00
14.32	14.05	12.26	6.70	-80.00
13.17	12.91	11.13	5.65	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	τ			
10.00	20.00			
-4.46	-5.88	-11.35	-27.59	-80.00
-5.21	-6.61	-12.03	-28.11	-80.00
-9.44	-10.76	-15.87	-31.04	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	τ			
10.00	35.00			
-20.59	-22.57	-29.74	-46.80	-80.00
-21.70	-23.65	-30.68	-47.43	-80.00
-27.65	-29.30	-35.63	-50.69	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	τ			
10.00	50.00			
-34.03	-36.15	-43.29	-57.71	-80.00
-35.29	-37.35	-44.30	-58.32	-80.00
-41.67	-43.43	-49.39	-61.41	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	τ			
10.00	65.00			
-44.88	-46.84	-53.10	-64.42	-80.00
-46.15	-48.04	-54.08	-64.98	-80.00
-52.30	-53.85	-58.79	-67.71	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	τ			
10.00	80.00			
-53.42	-55.09	-60.22	-68.85	-80.00
-54.82	-56.21	-61.10	-69.35	-80.00
-60.11	-61.36	-65.20	-71.65	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00

»

ANEXA 5.11.4

0	b/4	b/2	3b/4	b
L/3				
2L/3				
L				
z	tau			
20.00	5.00			
13.26	13.00	11.22	5.73	-80.00
13.93	13.66	11.87	6.34	-80.00
12.78	12.52	10.75	5.29	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	tau			
20.00	20.00			
-4.65	-6.07	-11.52	-27.72	-80.00
-5.39	-6.80	-12.20	-28.24	-80.00
-9.61	-10.94	-16.04	-31.17	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	tau			
20.00	35.00			
-20.68	-22.66	-29.61	-46.85	-80.00
-21.79	-23.73	-30.75	-47.47	-80.00
-27.63	-29.38	-35.69	-50.74	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	tau			
20.00	50.00			
-34.07	-36.19	-43.32	-57.73	-80.00
-35.33	-37.39	-44.33	-58.34	-80.00
-41.70	-43.47	-49.42	-61.43	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	tau			
20.00	65.00			
-44.90	-46.86	-53.12	-64.43	-80.00
-46.17	-48.06	-54.09	-64.99	-80.00
-52.32	-53.86	-58.80	-67.72	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	tau			
20.00	80.00			
-53.43	-55.10	-60.22	-68.85	-80.00
-54.62	-56.22	-61.11	-69.35	-80.00
-60.12	-61.37	-65.20	-71.66	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00

ANEXA 5.11.5

0	b/4	b/2	3b/4	b
L/3				
2L/3				
L				
z	tau			
30.00	5.00			
10.47	10.22	8.49	3.17	-80.00
11.12	10.86	9.12	3.76	-80.00
10.01	9.75	8.03	2.74	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	tau			
30.00	20.00			
-5.76	-7.16	-12.54	-28.49	-80.00
-6.60	-7.88	-13.20	-29.00	-80.00
-10.65	-11.96	-16.98	-31.89	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	tau			
30.00	35.00			
-21.11	-23.07	-30.17	-47.09	-80.00
-22.21	-24.14	-31.11	-47.71	-80.00
-28.01	-29.74	-36.01	-50.95	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	tau			
30.00	50.00			
-34.23	-36.34	-43.45	-57.80	-80.00
-35.49	-37.54	-44.45	-58.41	-80.00
-41.84	-43.59	-49.52	-61.49	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	tau			
30.00	65.00			
-44.96	-46.91	-53.16	-64.45	-80.00
-46.23	-48.11	-54.13	-65.02	-80.00
-52.36	-53.90	-58.83	-67.74	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	tau			
30.00	80.00			
-53.45	-55.12	-60.24	-68.86	-80.00
-54.64	-56.23	-61.12	-69.36	-80.00
-60.14	-61.38	-65.21	-71.66	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00

ANEXA 5.11.6

»	0	b/4	b/2	3b/4	b
»	L/3				
	2L/3				
	L				
	z	tau			
	40.00	5.00			
	24.55	24.25	22.26	16.10	-80.00
	25.29	25.00	22.98	16.79	-80.00
	24.01	23.72	21.73	15.51	-80.00
	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
	z	tau			
	40.00	20.00			
	-0.82	-2.30	-8.04	-25.06	-80.00
	-1.60	-3.07	-8.75	-25.60	-80.00
	-6.03	-7.42	-12.78	-28.68	-80.00
	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
	z	tau			
	40.00	35.00			
	-21.40	-23.36	-30.42	-47.26	-80.00
	-22.50	-24.42	-31.35	-47.87	-80.00
	-28.27	-30.00	-36.23	-51.09	-80.00
	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
	z	tau			
	40.00	50.00			
	-37.20	-39.17	-45.82	-59.24	-80.00
	-38.37	-40.29	-46.76	-59.81	-80.00
	-44.31	-45.95	-51.50	-62.69	-80.00
	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
	z	tau			
	40.00	65.00			
	-49.02	-50.74	-56.27	-66.25	-80.00
	-50.14	-51.80	-57.13	-66.75	-80.00
	-55.56	-56.93	-61.28	-69.16	-80.00
	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
	z	tau			
	40.00	80.00			
	-57.70	-59.10	-63.40	-70.64	-80.00
	-58.70	-60.04	-64.14	-71.06	-80.00
	-63.31	-64.36	-67.58	-73.00	-80.00
	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00

ANEXA 5.11.7

0	b/4	b/2	3b/4	b
L/3				
2L/3				
L				
z	tau			
41.00	5.00			
14.87	14.60	12.79	7.21	-80.00
15.55	15.28	13.45	7.83	-80.00
14.38	14.12	12.31	6.76	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	tau			
41.00	20.00			
-13.56	-14.80	-19.62	-33.90	-80.00
-14.21	-15.45	-20.21	-34.36	-80.00
-17.93	-19.10	-23.60	-36.94	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	tau			
41.00	35.00			
-33.66	-35.21	-40.79	-54.11	-80.00
-34.53	-36.04	-41.53	-54.89	-80.00
-39.09	-40.46	-45.39	-57.14	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	tau			
41.00	50.00			
-47.64	-49.13	-54.16	-64.31	-80.00
-48.53	-49.98	-54.87	-64.74	-80.00
-53.02	-54.26	-58.45	-66.91	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	tau			
41.00	65.00			
-57.37	-58.63	-62.67	-69.96	-80.00
-58.19	-59.41	-63.30	-70.32	-80.00
-62.15	-63.15	-66.33	-72.08	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	tau			
41.00	80.00			
-64.14	-65.14	-65.20	-73.34	-80.00
-64.85	-65.80	-68.73	-73.64	-80.00
-68.13	-68.88	-71.17	-75.02	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00

»

»

»

ANEXA 5.11.8

0	b/4	b/2	3b/4	b
L/3				
2L/3				
L				
z	tau			
0	5.00			
14.72	14.30	12.64	6.76	-80.00
14.33	13.91	12.26	6.40	-80.00
12.45	12.05	10.43	4.69	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	tau			
0	20.00			
-4.52	-5.94	-11.41	-27.63	-80.00
-5.31	-6.71	-12.12	-28.18	-80.00
-9.54	-10.87	-15.97	-31.12	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	tau			
0	35.00			
-20.66	-22.64	-29.79	-46.84	-80.00
-21.77	-23.72	-30.74	-47.46	-80.00
-27.61	-29.36	-35.68	-50.73	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	tau			
0	50.00			
-34.07	-36.19	-43.32	-57.72	-80.00
-35.33	-37.39	-44.33	-58.33	-80.00
-41.70	-43.46	-49.42	-61.42	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	tau			
0	65.00			
-44.90	-46.86	-53.12	-64.43	-80.00
-46.17	-48.06	-54.09	-64.99	-80.00
-52.32	-53.86	-58.80	-67.72	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	tau			
0	80.00			
-53.43	-55.10	-60.22	-68.85	-80.00
-54.62	-56.22	-61.11	-69.35	-80.00
-60.12	-61.37	-65.20	-71.66	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00

»

ANEXA 5.11.9

»	0	b/4	b/2	3b/4	b
»	L/3				
»	2L/3				
	L				
	z	tau			
	10.00	5.00			
	14.72	14.31	12.85	6.76	-80.00
	14.33	13.92	12.26	6.40	-80.00
	12.46	12.05	10.43	4.69	-80.00
	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
	z	tau			
	10.00	20.00			
	-4.52	-5.93	-11.40	-27.63	-80.00
	-5.30	-6.71	-12.12	-28.18	-80.00
	-9.54	-10.86	-15.97	-31.12	-80.00
	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
	z	tau			
	10.00	35.00			
	-20.66	-22.64	-29.79	-46.84	-80.00
	-21.77	-23.71	-30.74	-47.46	-80.00
	-27.61	-29.36	-35.68	-50.73	-80.00
	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
	z	tau			
	10.00	50.00			
	-34.07	-36.18	-43.32	-57.72	-80.00
	-35.33	-37.39	-44.33	-58.33	-80.00
	-41.70	-43.46	-49.42	-61.42	-80.00
	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
	z	tau			
	10.00	65.00			
	-44.90	-46.85	-53.12	-64.43	-80.00
	-46.17	-48.06	-54.09	-64.99	-80.00
	-52.32	-53.86	-58.80	-67.72	-80.00
	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
	z	tau			
	10.00	80.00			
	-53.43	-55.10	-60.22	-68.85	-80.00
	-54.82	-56.22	-61.11	-69.35	-80.00
	-60.12	-61.37	-65.20	-71.66	-80.00
	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00

ANEXA 5.11.10

n	0	$b/4$	$b/2$	$3b/4$	b
	L/3				
	2L/3				
	L				
	z	tau			
	20.00	5.00			
	14.74	14.33	12.66	6.78	-80.00
	14.35	13.93	12.28	6.42	-80.00
	12.48	12.07	10.45	4.71	-80.00
	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
	z	tau			
	20.00	20.00			
	-4.51	-5.92	-11.39	-27.62	-80.00
	-5.29	-6.70	-12.11	-28.17	-80.00
	-9.53	-10.85	-15.96	-31.11	-80.00
	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
	z	tau			
	20.00	35.00			
	-20.65	-22.63	-29.79	-46.84	-80.00
	-21.76	-23.71	-30.73	-47.46	-80.00
	-27.61	-29.36	-35.68	-50.73	-80.00
	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
	z	tau			
	20.00	50.00			
	-34.07	-36.18	-43.32	-57.72	-80.00
	-35.33	-37.38	-44.33	-58.33	-80.00
	-41.70	-43.46	-49.41	-61.42	-80.00
	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
	z	tau			
	20.00	65.00			
	-44.90	-46.86	-53.12	-64.43	-80.00
	-46.17	-48.06	-54.09	-64.99	-80.00
	-52.32	-53.86	-58.80	-67.72	-80.00
	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
	z	tau			
	20.00	80.00			
	-53.43	-55.10	-60.22	-68.85	-80.00
	-54.62	-56.22	-61.11	-69.35	-80.00
	-60.12	-61.37	-65.20	-71.66	-80.00
	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00

ANEXA 5.11.11

0	b/4	b/2	3b/4	b
L/3				
2L/3				
L				
z	tau			
30.00	5.00			
14.83	14.41	12.75	6.86	-80.00
14.43	14.02	12.37	6.50	-80.00
12.56	12.15	10.53	4.78	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	tau			
30.00	20.00			
-4.45	-5.87	-11.34	-27.58	-80.00
-5.24	-6.64	-12.06	-28.13	-80.00
-9.48	-10.81	-15.91	-31.07	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	tau			
30.00	35.00			
-20.63	-22.61	-29.77	-46.83	-80.00
-21.74	-23.69	-30.71	-47.45	-80.00
-27.69	-29.34	-35.66	-50.72	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	tau			
30.00	50.00			
-34.06	-36.18	-43.32	-57.72	-80.00
-35.32	-37.38	-44.32	-58.33	-80.00
-41.69	-43.46	-49.41	-61.42	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	tau			
30.00	65.00			
-44.90	-46.86	-53.12	-64.43	-80.00
-48.17	-48.05	-54.09	-64.99	-80.00
-52.31	-53.86	-58.60	-67.72	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00
z	tau			
30.00	80.00			
-53.43	-55.10	-60.22	-68.85	-80.00
-54.62	-56.22	-61.11	-69.35	-80.00
-60.12	-61.37	-65.20	-71.66	-80.00
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00

ANEXA 5.11.12

θ	0	$b/4$	$b/2$	$3b/4$	b
L/3					
2L/3					
L					
z	τ				
40.00	5.00				
17.49	17.06	15.35	9.30	-80.00	
17.08	16.66	14.95	8.93	-80.00	
15.15	14.74	13.07	7.16	-80.00	
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	
z	τ				
40.00	20.00				
-3.63	-5.07	-10.60	-27.01	-80.00	
-4.43	-5.85	-11.32	-27.57	-80.00	
-8.71	-10.05	-15.22	-30.54	-80.00	
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	
z	τ				
40.00	35.00				
-22.38	-24.31	-31.25	-47.81	-80.00	
-23.46	-25.35	-32.17	-48.41	-80.00	
-29.14	-30.84	-36.97	-51.58	-80.00	
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	
z	τ				
40.00	50.00				
-37.54	-39.49	-46.09	-59.40	-80.00	
-38.70	-40.60	-47.02	-59.97	-80.00	
-44.59	-46.22	-51.72	-62.83	-80.00	
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	
z	τ				
40.00	65.00				
-49.13	-50.85	-56.36	-66.30	-80.00	
-50.25	-51.91	-57.21	-66.80	-80.00	
-55.55	-57.01	-61.35	-69.20	-80.00	
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	
z	τ				
40.00	80.00				
-57.74	-59.14	-63.43	-70.66	-80.00	
-58.74	-60.07	-64.17	-71.08	-80.00	
-63.34	-64.39	-67.60	-73.01	-80.00	
-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	-80.00	

Compoziția chimică și caracteristicile mecanice ale oțelului 34MoCrNi15X-RS (racord sudat)

Nr. șarjei (Dimens)	COMPOZIȚIA CHIMICĂ										CARACTERISTICILE MECANICE										Duritatea probei tratată termic HB
	C	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	R _{po2}	R _m	A ₅	Z	Reziliența KCU 2			-30°C (243 K)			HB			
												L	T	L	T	L	T		L	T	
%	%	%	%	%	%	%	[N/mm ²]	[N/mm ²]	%	%	[J/cm ²]	[J/cm ²]	[J/cm ²]	[J/cm ²]	[J/cm ²]	[J/cm ²]	[J/cm ²]				
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16					
62199 140	0,31	0,47	0,015	0,018	1,56	1,44	0,16	948 Media	1061 Media	16 Media	61 Media	98 95	57 50	62 67	43 43	330/325 (C.R.)					
62355 140	0,32	0,52	0,012	0,020	1,40	1,45	0,16	911 924 Media	1036 1056 Media	17 17 Media	64 64 Media	166 161 186	61 71 54	135 115 121	39 37 44	207/212 Recopl 302/311 (C.R.)					
64145 140/80	0,33	0,43	0,008	0,018	1,46	1,64	0,19	991 981 Media	1059 1050 Media	17 17 Media	63 63 Media	162 168 168	66 60 62	143 147 145	40 48 46	316/318 (C.R.)					
64178 140	0,32	0,44	0,010	0,018	1,55	1,45	0,21	937 911 Media	1043 1017 Media	16 16 Media	65 63 Media	168 177 171	88 86 98	151 151 143	66 62 70	321/331 (C.R.)					
65358 140	0,31	0,50	0,012	0,017	1,60	1,42	0,17	924 978 993 Media	1030 1067 1086 Media	16 16 Media	64 54 Media	172 169 166	90,66 81 73	148,33 110 120	66 55 59	319/333 (C.R.)					
66819 140	0,33	0,44	0,022	0,024	1,46	1,42	0,22	985,5 1010 Media	1076,5 1105 Media	16,5 16 Media	58 62 Media	166 136 150	78,33 67 67	119 86 86	54,66 50 45	331/331 (C.R.)					
66813 140	0,38	0,57	0,010	0,016	1,54	1,45	0,22	978 967 Media	1099 1105 Media	17 18 Media	62 62 Media	136 128 140	96 86 92	86 89 92	57 67 60	341/341 (C.R.)					
								972,5	1102	17,5	62	134,66	91,33	89	61,33						

Anexa 7.1.continuarre

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
66817 140	0,32	0,55	0,016	0,018	1,55	1,51	0,18	961 Media	1061 Media	16 Media	66 Media	184 171	62 62	140 148	59 57	331/331 (C.R.)
66805 140	0,34	0,57	0,015	0,018	1,46	1,49	0,17	956 Media	1056 Media	18 Media	64 Media	132 137	72 72	92 89	49 44	321/321 (C.R.)
66809 140	0,33	0,47	0,020	0,020	1,58	1,44	0,17	956 Media	1056 Media	17 Media	63,5 Media	138,66 147	68 60	93,66 100	46,33 46	341/341 (C.R.)
66795 140	0,34	0,51	0,014	0,025	1,74	1,42	0,25	974 Media	1087 Media	17 Media	64 Media	152 145	48 60	93 91	30 31	321/331 (C.R.)
66800 140	0,35	0,59	0,011	0,014	1,48	1,57	0,20	977,5 Media	1090 Media	16,5 Media	64,5 Media	148 188	56 114	91,66 131	35 80	311/311 (C.R.)
66786 140	0,35	0,44	0,013	0,018	1,51	1,54	0,17	990 Media	1100 Media	16 Media	62 Media	147 156	68 70	103 108	40 45	321/323 (C.R.)
66782 140	0,36	0,45	0,020	0,019	1,48	1,51	0,23	980 Media	1092,5 Media	15,5 Media	62,5 Media	147,66 140	68,33 67	105,33 105	42,66 43	321/321 (C.R.)
66778 140	0,35	0,44	0,016	0,018	1,48	1,46	0,21	999 Media	1105 Media	16 Media	62 Media	157 155	68 68	105 112	41 43	325/331 (C.R.)
								955 Media	1086 Media	18 Media	59 Media	125 144	55 64	101 112	44 50	
								950 Media	1083 Media	16,5 Media	59 Media	131,33 60,33	62 60,33	112 108,33	45 46,33	

Anexa 7.1. continuare

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16					
67791 140	0,33	0,58	0,014	0,018	1,50	1,58	0,18	978	1061	16	64	174	82	105	71	321/321 (C.R.)					
								Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media		Media	Media	Media	Media	Media
								978	1061	16,5	63,5	158	81,66	110,33	70						
67731 140	0,33	0,62	0,014	0,022	1,60	1,54	0,16	898	1010	18	63	145	75	81	60	302/305 (C.R.)					
								Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media		Media	Media	Media		
								911	1026,5	18	62,5	129	72	89	57						
67752 140	0,32	0,56	0,025	0,024	1,72	1,55	0,21	948	1049	18	62	148	60	77	40	318/320 (C.R.)					
								Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media		Media	Media	Media		
								948	1046	17,5	62	148	58	94	50						
67755 140	0,29	0,65	0,018	0,025	1,56	1,47	0,16	882	981	20	64	160	50	86	43	302/308 (C.R.)					
								Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media		Media	Media	Media		
								882	981	18	64	163	52	91	41						
67744 140	0,38	0,58	0,025	0,024	1,62	1,48	0,17	951	1039	17	61	157	46	88	31	311/321 (C.R.)					
								Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media		Media	Media	Media		
								951	1039	17,5	61	145,33	47,33	90,66	33,66						
67734 140	0,32	0,50	0,010	0,017	1,56	1,44	0,18	931	1020	18	64	181	99	141	62	302/321 (C.R.)					
								Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media		Media	Media	Media		
								922	1010	17	64	161	97	110	62						
67750 140	0,32	0,54	0,011	0,020	1,53	1,52	0,18	926,5	1015	17,5	64	172,33	95,66	130	63,33	302/311 (C.R.)					
								Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media		Media	Media	Media		
								970	1070	18	64	170	74	115	40						
67748 140	0,32	0,44	0,020	0,018	1,51	1,43	0,17	951	1049	16	61	146	43	97	34	311/311 (C.R.)					
								Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media		Media	Media	Media		
								922	1010	17	64	138	42	85	41						
								936,5	1029,5	16,5	62,5	141,66	41,33	91,66	40						

Aneka 7.1.continuare

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
67727 140	0,32	0,51	0,012	0,017	1,53	1,49	0,18	912 Media 906	1024 Media 1018	17 Media 17	62 Media 63	138 Media 147	88 Media 84	119 Media 128	64 Media 69	321/321 (C.R.)
67690 140	0,35	0,42	0,015	0,020	1,48	1,68	0,17	949 Media 943	1049 Media 1043	18 Media 18	67 Media 66	165 Media 153	94 Media 94	140 Media 130	77 Media 73	321/302 (C.R.)
67014 140	0,33	0,48	0,015	0,020	1,60	1,48	0,20	985 Media 1005	1080 Media 1098	19 Media 19	68 Media 68	171 Media 169	89 Media 77	137 Media 137	59 Media 54	331/331 (C.R.)
68948 140	0,34	0,45	0,014	0,017	1,62	1,60	0,26	995 Media 949	1089 Media 1049	19 Media 15	58 Media 65	170,33 Media 166	83,33 Media 84	133,66 Media 141	56,66 Media 66	321/321 (C.R.)
68924 140	0,33	0,40	0,012	0,015	1,56	1,46	0,18	955 Media 952	1055 Media 1052	16 Media 15,5	64 Media 64,5	157 Media 161	84 Media 81,66	148 Media 143	65 Media 67,66	321/321 (C.R.)
68898 140	0,35	0,52	0,015	0,018	1,55	1,42	0,17	912 Media 936,5	1010 Media 1030	14 Media 15	64 Media 64	136 Media 132,33	83 Media 79	109 Media 105,66	55 Media 57,66	321/321 (C.R.)
68890 140	0,34	0,40	0,012	0,020	1,52	1,65	0,18	922 Media 902	1010 Media 1000	16 Media 18	65 Media 65	158 Media 176	66 Media 59	130 Media 130	33 Media 41	321/321 (C.R.)
68897 140	0,34	0,46	0,014	0,015	1,43	1,49	0,25	917 Media 936,5	1005 Media 1029,5	17 Media 16,5	65 Media 64,5	167 Media 149	64 Media 89,66	125,66 Media 132	38 Media 57	321/321 (C.R.)

Anexa 7.1.continutare

0	1	2	3	4	5	6	7	6	9	10	11	12	13	14	15	16
68903 140	0,34	0,41	0,020	0,016	1,45	1,51	0,18	912	1010	15	64	164	78	135	56	321/321 (C.R.)
								951	1040	16	64	153	80	121	71	
								Media	Media	Media	Media	152	74	135	74	
68907 140	0,35	0,56	0,012	0,022	1,54	1,56	0,17	931,5	1025	15,5	64	156,33	77,33	130,33	67	320/320 (C.R.)
								981	1020	15	64	158	79	147	41	
								Media	Media	Media	Media	154	83	118	60	
68913 140	0,34	0,43	0,013	0,015	1,40	1,70	0,18	946,5	1020	15	64	162,66	80,33	128,33	50,66	321/321 (C.R.)
								931	1010	17	64	154	71	131	61	
								Media	Media	Media	Media	147	71	136	62	
								916,5	1005	17	64	73,66	132,33	59		

STAS 791-86	C	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	R _{po2}	R _m	A ₅	Energia de rupere min. 50J KCU 2 = 62,5 J / mm ²		Max. 248 Recopl
											Z	min.	
	0,30 ...0,38	0,40 ...0,70	max. 0,025	max. 0,025	1,40 ...1,70	1,40 ...1,70	0,15 ...0,30	min. 700 N/mm ²	900...1100 N/mm ²	min. 12%	min. 55%		

Caracteristicile mecanice ale oțelului 34MoCrNi15X-RS (racord sudat)

Nr. șarjei (Dimensi)	COMPOZIȚIA CHIMICĂ										CARACTERISTICILE MECANICE												Duritatea HB		
	C	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	R _m	R _{p0.2}	A ₅	Z	Reziliența KCU 2						321/321 (C.R.)							
												+20°C (293 K)			-30°C (243 K)				U	L	T	U		L	T
												A	T	L	A	T	L								
%	%	%	%	%	%	%	[N/mm ²]	[N/mm ²]	%	%	[J/cm ²]	[J/cm ²]	[J/cm ²]	[J/cm ²]	[J/cm ²]	[J/cm ²]	[J/cm ²]	[J/cm ²]							
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20					
67018	0,31	0,42	0,010	0,017	1,53	1,45	0,20	1010	1086	16	64	174	100	169	108	148	86	145	89						
140								Media	Media	Media	Media	171	100	179	110	131	87	144	90						
								1013,5	1089,5	15,5	63	176,66	105	175,66	108,66	143	86,66	146,33	91,33						
67026	0,35	0,56	0,020	0,020	1,48	1,45	0,18	986	1080	14	59	147	67	136	62	104	55	100	53						
140								Media	Media	Media	Media	147	64	131	69	102	53	101	54						
								986	1080	15,5	60	145,33	67,66	130,66	67	102	53,66	101,33	54,33						
67037	0,32	0,54	0,014	0,020	1,56	1,51	0,16	937	1030	17	61	194	98	179	102	143	81	116	76						
140								Media	Media	Media	Media	184	108	183	109	145	78	136	79						
								930,5	1023,5	16,5	62,5	189,33	105	180,33	106,66	144,33	79	130	79,33						
								Media	Media	Media	Media	190	109	179	109	145	78	136	83						
								930,5	1023,5	16,5	62,5	189,33	105	180,33	106,66	144,33	79	130	79,33						

Compoziția chimică și caracteristicile mecanice ale oțelului 34MoCrNi15X

Nr. șarjei (Dimensi) mm	COMPOZIȚIA CHIMICĂ								CARACTERISTICILE MECANICE										Duritatea probei tratată termic HB
	C	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	Poziția probei	R _{0,2} [N/mm ²]	R _m [N/mm ²]	A ₅ %	Z %	Reziliența KCU 2 -30°C (243 K)						
													L	T	L	T			
													[J/cm ²]	[J/cm ²]	[J/cm ²]	[J/cm ²]			
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
77678 4250 110 80 35	0,34	0,51	0,015	0,018	1,50	1,53	0,16	A	889	988	17	65	167	116	116	124	320/320 (C.R.)		
									871	998	17	65	159	115	118	83			
									Media	Media	Media	Media	156	113	115	81			
									880	993	17	65	160,66	114,66	119	83			
									922	1024	18	66	163	115	121	84			
912	1010	19	64	153	116	113	85												
Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	155	110	115	80				
917	1017	17	65	157	113,66	116,33	83	879	992	18	64	164	129	121	94	321/321 (C.R.)			
869	980	18	66	172	134	127	98												
Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	163	127	121	93				
874	986	18	65	166,33	130	123	95												
875	986	15	64	176	109	128	78												
885	974	17	64	163	116	121	81	860	980	16	64	166,33	111,33	122,33	76,33	302/305 (C.R.)			
Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	160	109	118	76				
992	1001	17	66	159	108	118	79												
882	1008	17	66	158	111	118	80												
Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	160	109	118	78				
887	1005	17	66	159	109,33	118,33	79	878	989	16	64	157	119	116	87	310/320 (C.R.)			
882	997	18	66	160	108	119	79												
Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	165	113	122	82				
880	993	17	65	160,66	113,33	119	82,66												
Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media												

Anexa 7.3.continuafe

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17									
78424 8250 <u>110</u> 80 35	0.32	0.57	0.016	0.021	1.54	1.47	0.20	A	890	986	18	60	191	142	141	104	321/329 (C.R.)									
									Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media		Media	Media	Media	Media	Media	Media			
									893	983	18	61	188,33	145	136	106		107								
									940	1030	17	68	174	120	129	87										
									946	1042	19	64	155	113	115	81										
									Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media		Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media
									943	1036	18	66	165	118	122,33	85,33										
									890	980	17	66	177	132	131	96										
									894	992	17	68	161	131	119	93										
									Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media		Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media
887	986	17	67	171,33	131	126,66	94,66																			
895	1006	18	67	167	104	123	76																			
889	992	18	65	161	98	119	72																			
Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media										
887	999	18	66	166,33	100,66	123	79,66																			
896	994	17	66	159	93	118	68																			
890	1004	19	66	147	106	109	77																			
Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media										
883	989	18	66	149,66	99,33	111	72,33																			
858	967	20	70	170	109	126	81																			
864	985	20	68	161	116	119	85																			
Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media										
861	986	20	69	169	111,66	125	82																			
869	988	18	68	173	98	128	70																			
879	998	19	66	172	102	128	75																			
Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media										
874	993	18	67	169,33	100,33	125	72,33																			
917	1030	20	68	169	103	125	76																			
905	1018	18	66	169	101	127	72																			
Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media										
911	1024	19	67	165,66	101	123,33	72,66																			
861	972	16	65	168	100	123	73																			
875	988	18	67	175	103	130	76																			
Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media										
868	980	17	66	175	100,66	129,33	79,33																			

Anexa 7.3.continutare																	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
79879	0,31	0,49	0,020	0,019	1,59	1,44	0,16	A	878	994	16	66	196	121	145	88	318/319 (C.R.)
									862	980	16	64	198	132	147	96	
									Media	Media	Media	Media	201	121	146	85	
									870	987	16	65	198,33	124,66	146	89,66	
									888	996	16	67	187	108	139	77	
800	981	16	65	180	116	134	85	321/321 (C.R.)									
Media	Media	Media	Media	182	128	135	93										
879	989	16	66	183	117,33	136	85										
861	973	16	68	191	113	142	81										
875	987	16	66	182	106	135	78										
80311	0,33	0,50	0,018	0,022	1,51	1,47	0,22	A	868	980	16	67	184,66	107,66	136,66	78	318/321 (C.R.)
									919	1024	16	60	133	80	98	58	
									929	1036	16	60	130	79	96	58	
									Media	Media	Media	Media	128	80	94	59	
									924	1030	16	60	130,33	79,66	96	58,33	
80455	0,33	0,48	0,020	0,016	1,52	1,51	0,15	C	961	1068	17	58	128	79	95	57	322/323 (C.R.)
									949	1054	15	62	130	74	96	54	
									Media	Media	Media	Media	123	76	90	55	
									955	1061	16	60	127	76,33	93,66	53,33	
									939	1045	15	64	138	79	101	55	
80455	0,33	0,48	0,020	0,016	1,52	1,51	0,15	C	921	1015	15	64	143	84	106	61	316/320 (C.R.)
									Media	Media	Media	Media	145	74	107	55	
									930	1030	15	64	142	79	104,66	57	
									862	991	19	69	187	112	138	82	
									874	1003	21	72	184	114	139	83	
80455	0,33	0,48	0,020	0,016	1,52	1,51	0,15	C	Media	Media	Media	Media	180	113	133	85	331/331 (C.R.)
									868	997	19	70	183,66	113	136,66	83,33	
									920	1014	18	67	171	125	128	91	
									928	1020	19	69	196	116	142	87	
									Media	Media	Media	Media	194	118	143	86	
80455	0,33	0,48	0,020	0,016	1,52	1,51	0,15	C	924	1017	17	68	187	119,66	137,66	88	320/331 (C.R.)
									869	982	18	68	178	110	131	80	
									867	978	18	70	192	116	142	84	
									Media	Media	Media	Media	185	114	135	83	
									868	980	18	69	185	113,33	136	82,33	
80455	0,33	0,48	0,020	0,016	1,52	1,51	0,15	C	868	980	18	69	185	113,33	136	82,33	324/332 (C.R.)

Anexa 7.4.

Compoziția chimică și caracteristicile mecanice ale oțelului 10Ni35

Nr. șarjei (Dimens)	COMPOZIȚIA CHIMICĂ										CARACTERISTICILE MECANICE				
	C	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	R _{po.2}	R _m	A ₅	Z	Energia de rupere la -100° C (173 K) KV			
mm	%	%	%	%	%	%	%	[N/mm ²]	[N/mm ²]	%	%	[J]			
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
56404 220/80	0,07	0,41	0,014	0,019	0,16	3,32	0,05	Media 405	Media 500	Media 29,5	Media 79,5	Media 38			
58732 120/80	0,04	0,30	0,022	0,016	0,16	3,28	0,02	370 Media 370	450 Media 450	34 Media 34,5	79 Media 80	114 87 106			
62594 ϕ 90/80	0,06	0,40	0,018	0,025	0,16	3,47	0,04	370 Media 390	510 Media 520	32 Media 32	75 Media 74,5	52 48 44 48			
63656 200/80	0,05	0,47	0,015	0,016	0,19	3,29	0,07	440 Media 465	550 Media 565	28 Media 26,5	71 Media 69,5	65 71 64 66,66			
63812 ϕ 180/80	0,09	0,42	0,014	0,015	0,17	3,29	0,04	390 Media 390	530 Media 530	32 Media 32	74 Media 74	70 78 75 74,33			
63919 ϕ 100/80	0,05	0,40	0,020	0,020	0,18	3,27	0,05	390 Media 390	510 Media 505	33 Media 33	80 Media 79,5	76 82 86 81,33			
64083 ϕ 140/80	0,08	0,45	0,012	0,017	0,14	3,44	0,03	370 Media 375	500 Media 505	32 Media 32	80 Media 80	62 50 50 51,33			

Anexa 7.4. continuare

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
64098	0,07	0,41	0,015	0,015	0,22	3,37	0,04	390	490	34	77	46
ψ 180/80								Media	Media	Media	Media	50
								390	495	34	77	46
64506	0,11	0,48	0,008	0,017	0,13	3,25	0,05	440	550	29	77	38
130/80								440	540	30	77	44
								Media	Media	Media	Media	56
64671	0,07	0,48	0,017	0,015	0,12	3,26	0,05	440	545	29,5	77	46
130/80								410	500	34	80	84
								Media	Media	Media	Media	62
64720	0,07	0,46	0,019	0,016	0,14	3,29	0,05	410	500	33	78,5	78,66
130/80								400	510	35	78	78
								400	510	34	78	38
								Media	Media	Media	Media	40
65442	0,09	0,47	0,018	0,021	0,19	3,30	0,04	400	510	34,5	78	36,66
ψ 180/80								410	530	32	79	96
								410	530	30	79	102
								Media	Media	Media	Media	84
65573	0,09	0,44	0,012	0,026	0,20	3,40	0,03	410	520	31	79	94
120/80								410	520	31	76	47
								Media	Media	Media	Media	62
								Media	Media	Media	Media	39
65884	0,05	0,46	0,022	0,017	0,17	3,34	0,05	410	525	31,5	75,5	49,33
ψ 120/80								530	840	18	60	124
								380	490	32	80	100
								Media	Media	Media	Media	116
								455	665	25	70	113,33
66033	0,07	0,40	0,016	0,018	0,23	3,29	0,05	390	510	32	79	96
ψ 120/80								390	500	32	77	80
								Media	Media	Media	Media	100
								390	505	32	78	92
66139	0,09	0,48	0,014	0,018	0,22	3,40	0,04	420	530	33	77	88
130/80								390	520	29	77	102
								Media	Media	Media	Media	56
								405	525	31	77	88

Anexa 7.4. continuare

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	STAS 10362-68	C	Mn	S	P	Cr	Ni	Al	R _{po.2}	R _m	A ₅	Z	KV [-100° C] min. 28 J	
																										max.
66422	0,08	0,48	0,012	0,020	0,15	3,38	0,05	410	520	30	76	42														
φ110/80								Media	Media	Media	Media															
68004	0,07	0,48	0,018	0,020	0,14	3,25	0,04	470	540	32	75	58														
φ90/80								Media	Media	Media	Media															
68005	0,08	0,45	0,012	0,020	0,20	3,20	0,06	460	540	35	76	82														
φ130/80								Media	Media	Media	Media															
67503	0,11	0,30	0,022	0,015	0,13	3,27	0,04	440	520	34	74	98														
φ120/80								Media	Media	Media	Media															
62085	0,07	0,55	0,017	0,020	0,14	3,33	0,05	430	510	34	79	118														
φ120/80								Media	Media	Media	Media															
68028	0,04	0,39	0,030	0,015	0,20	3,38	0,04	370	510	35	73	82														
φ180/25								Media	Media	Media	Media															
69248	0,08	0,46	0,012	0,015	0,15	3,36	0,05	430	520	36	78	108														
φ130/80								Media	Media	Media	Media															
69144	0,11	0,44	0,010	0,017	0,16	3,40	0,05	410	530	35	73	84														
φ120/80								Media	Media	Media	Media															
								420	540	34,5	72,5	87,33														

Anexa 7.5

Compoziția chimică și caracteristicile mecanice ale oțelului 10Ni35R

Nr. șarjei (Dimens) mm	COMPOZIȚIA CHIMICĂ										CARACTERISTICILE MECANICE				
	C	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	R _{po.2}	R _m	A ₅	Z	Energia de rupere la -100° C (173 K) KV [J]			
	%	%	%	%	%	%	%	[N/mm ²]	[N/mm ²]	%	%				
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	104		
63546 φ150/80	0,07	0,46	0,021	0,018	0,15	3,30	0,05	400	500	37	79	110	98		
								Media	Media	Media	Media		104		
								405	500	36,5	79				
64292 φ120/80	0,06	0,38	0,018	0,012	0,14	3,28	0,05	370	490	30	79	74	50		
								380	500	30	78		62		
								Media	Media	Media	Media		62		
								375	495	30	78,5				
64905 φ130/80	0,07	0,48	0,015	0,017	0,16	3,65	0,06	390	510	27	80	68	42		
								380	510	33	80		80		
								Media	Media	Media	Media		63,33		
								385	510	30	80	114			
64924 φ130/80	0,07	0,47	0,018	0,021	0,28	3,39	0,05	390	510	30	78	88	106		
								420	530	34	78		102,6		
								Media	Media	Media	Media		42		
								405	520	32	78	62			
65060 130/80	0,10	0,46	0,016	0,018	0,16	3,34	0,05	400	530	30	78	42	34		
								400	530	31	75		46		
								Media	Media	Media	Media				
								400	530	30,5	76,5				

Anexa 7.5. continuare

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
65081	0,09	0,41	0,020	0,016	0,32	3,48	0,06	420	540	31	77	38
ψ130/80								Media	Media	Media	Media	74
								420	535	31,5	77	44
66134	0,08	0,52	0,015	0,013	0,19	3,40	0,04	410	530	30	77	46
ψ130/80								410	530	30	77	62
								Media	Media	Media	Media	42
								410	530	30	77	50
68356	0,11	0,45	0,012	0,017	0,18	3,28	0,06	400	550	34	74	138
ψ120/80								410	550	33	73	142
								Media	Media	Media	Media	147
								405	550	33,5	73,5	142,3
68350	0,12	0,42	0,012	0,015	0,26	3,26	0,05	460	590	31	71	136
ψ130/80								480	590	31	72	140
								Media	Media	Media	Media	145
								470	590	31	71,5	140,3
68084	0,07	0,47	0,010	0,014	0,19	3,38	0,06	430	510	33	78	82
ψ130/80								410	510	35	77	66
								Media	Media	Media	Media	74
								420	510	34	77,5	74
68084	0,07	0,47	0,010	0,014	0,19	3,38	0,06	390	510	31	79	74
ψ140/80								390	510	32	78	85
								Media	Media	Media	Media	60
								390	510	31,5	78,5	73,33

STAS 9859-93	C max. 0,12	Mn 0,30 .. 0,60	S max. 0,035	P max. 0,035	Cr	Ni	Al	R _{ed,2} 340 [N/mm ²]	R _m 440-640 [N/mm ²]	A ₅ 20%	Z Nu se specifică	KV [-100°C] min. 28 J	KCU ₂ [-120°C] min. 60J/cm ²
							0,02						
							0,02 .. 0,6						
							3,80						