

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

**ing. LĂPUȘAN AMALIA ANA**

**CONTRIBUȚII LA STUDIUL COMPORTĂRII  
OȚELURILOR LA TEMPERATURI RIDICATE**

Teză de doctorat

369<sup>642.445</sup>  
E

**Conducător științific,**  
**Prof.Dr.Ing.Eur.Ing. TIBERIU DIMITRIE BABEU**  
*Membru titular al Academiei de Științe  
Tehnice din România*

**2004**

## Cuprinsul tezei de doctorat

<b>INTRODUCERE.....</b>	<b>1</b>
<b>Cap.1. CONSIDERAȚII GENERALE ASUPRA COMPORTĂRII OȚELURILOR LA TEMPERATURI RIDICATE.....</b>	<b>4</b>
1.1. Noțiuni introductive.....	4
1.2. Mărcile de oțeluri utilizate la temperaturi ridicate.....	10
1.3. Metode de apreciere a comportării oțelurilor .....	19
1.3. Concluzii și contribuții personale.....	28
<b>Cap.2. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR ȘI TEHNICILOR EXPERIMENTALE PRIVIND COMPORTAREA OȚELURILOR LA TEMPERATURI RIDICATE.....</b>	<b>29</b>
2.1. Generalități .....	29
2.2. Tehnici experimentale de încercare a oțelurilor la temperaturi ridicate .....	30
2.2.1. Tehnici experimentale pentru încercarea la tracțiune de scurtă durată .....	31
2.2.1.1. Dispozitiv de încălzire a epruvetelor și măsurare a deformațiilor.....	32
2.2.1.2. Cuptorul mașinii Amsler-Wolpert pentru încercarea la tracțiune.....	33
2.2.1.3. Instalație de încălzire a epruvetelor.....	35
2.2.1.4. Dispozitive de încălzire simultană a mai multor epruvete.....	36
2.2.1.5. Alte variante constructive de cuptoare de încălzire.....	37
2.2.2. Tehnici experimentale pentru încercarea la încovoiere prin șoc.....	38
2.2.3. Tehnici experimentale pentru încercări de duritate .....	40
2.2.3.1. Scurt istoric asupra metodelor de determinare a durității.....	40
2.2.3.2. Principiul măsurării durității la temperaturi ridicate.....	45
2.2.3.3. Aparat pentru măsurarea durității la temperaturi ridicate.....	46
2.2.3.4. Variante constructive de incinte pentru măsurători de duritate.....	49
2.2.4. Tehnici experimentale pentru încercarea de răsucire.....	51
2.2.5. Încercarea de forfecare la cald.....	52
2.3. Epruvete utilizate în cadrul experimentărilor efectuate.....	53
2.3.1. Generalități.....	53
2.3.2. Epruvete pentru încercări mecanice la temperaturi ridicate.....	54
2.3.2.1. Epruvete pentru încercarea de tracțiune.....	56
2.3.2.2. Epruvete pentru încercarea de încovoiere prin șoc.....	58
2.3.2.3. Epruvete pentru încercarea la răsucire.....	61
2.3.2.4. Epruvete pentru încercarea de duritate.....	63
2.3.3. Tratamente termice aplicate materialelor epruvetelor.....	67
2.4. Instrumente, dispozitive și aparate pentru măsurarea temperaturii .....	73
2.5. Influența elementelor de aliere asupra oțelurilor.....	82
2.6. Concluzii și contribuții personale.....	84
<b>Cap.3. CONTRIBUȚII LA REALIZAREA DE INCINTE PENTRU ÎNCERCĂRILE MECANICE LA TEMPERATURI RIDICATE.....</b>	<b>85</b>
3.1. Noțiuni generale.....	85
3.2. Contribuții privind realizarea de incinte (cuptoare) de încălzire.....	87
3.2.1. Incintă pentru încercarea la tracțiune .....	88
3.2.2. Incintă pentru încercarea de răsucire .....	90
3.2.3. Incintă pentru încercarea de duritate .....	91
3.2.4. Incintă pentru încercarea de încovoiere prin șoc.....	96
3.3. Concluzii și contribuții personale.....	97

<b>Cap.4. CERCETĂRI PRIVIND TRANSFERUL TERMIC, REGLAREA ȘI MENȚINEREA TEMPERATURILOR RIDICATE.....</b>	<b>98</b>
4.1. Considerații asupra transferului termic.....	98
4.2. Modelarea matematică a transferului termic în epruvetele utilizate pentru încercări mecanice la temperaturi ridicate.....	100
4.3. Contribuții privind realizarea unui sistem de reglare automată a temperaturilor...	106
4.4. Concluzii și contribuții personale.....	114
<b>Cap.5 CERCETĂRI EXPERIMENTALE EFECTUATE ASUPRA UNOR MĂRCI DE OȚELURI TERMOREZISTENTE PENTRU STUDIUL COMPORTĂRII LOR LA TEMPERATURI RIDICATE.....</b>	<b>115</b>
<b>5.1. Încercarea la tracțiune.....</b>	<b>115</b>
5.1.1. Încercarea la tracțiune a oțelului 16 Mo3, material neutilizat.....	115
5.1.2. Încercarea la tracțiune a oțelului OLT 35K.....	121
5.1.2.1. Încercarea la tracțiune a oțelului OLT 35K, prelevat din focar.....	121
5.1.2.2. Cercetări experimentale privind modul de variație a limitei de curgere convenționale pentru oțelul OLT 35K, în funcție de principalele elemente ale compoziției chimice .....	126
5.1.3. Încercarea la tracțiune a oțelului OLT 45 K .....	134
5.1.3.1. Încercarea la tracțiune a oțelului OLT 45 K, prelevat din supraîncălzitor.....	136
5.1.3.2. Încercarea la tracțiune a oțelului OLT 45 K, prelevat din economizor.....	137
5.1.3.2. Încercarea la tracțiune a oțelului OLT 45 K, material neutilizat.....	139
5.1.3.4. Cercetări experimentale privind modul de variație a limitei de curgere convenționale pentru oțelul OLT 45K, în funcție de principalele elemente ale compoziției chimice.....	142
<b>5.2. Încercări de duritate .....</b>	<b>149</b>
5.2.1. Încercarea de duritate a oțelului OLT 35K.....	150
5.2.2. Încercarea de duritate a oțelului OLT 45 K .....	151
5.2.3. Încercarea de duritate a oțelului 16 Mo3.....	151
<b>5.3. Încercarea de încovoiere prin șoc.....</b>	<b>153</b>
5.3.1. Încercarea de încovoiere prin șoc a oțelului 16 Mo3.....	153
5.3.2. Încercarea de încovoiere prin șoc a oțelului 12MoCr90.....	157
<b>5.4. Încercarea la răsucire a oțelului 16 Mo3.....</b>	<b>160</b>
<b>5.5. Cercetări experimentale privind variația unor caracteristici mecanice de rezistență și tenacitate, în funcție de unele elemente din compoziția chimică, pentru oțelurile OLT 35K și OLT 45K.....</b>	<b>166</b>
<b>5.6. Studiul influenței V, Mn, Cr asupra limitei de curgere tehnice <math>R_{p0,2/500}</math> a oțelului 12VMoCr10, efectuat prin metode numerice.....</b>	<b>173</b>
5.7. Concluzii și contribuții personale.....	174
<b>Cap.6. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII ALE AUTOAREI. APLICAȚII ȘI PERSPECTIVE ALE REALIZĂRILOR OBTINUTE .....</b>	<b>176</b>
<b>Bibliografie.....</b>	<b>182</b>
<b>Anexe</b>	
<b>Anexa 1. Elementele constructive din care au fost prelevate materiale pentru încercările efectuate.....</b>	<b>189</b>
<b>Anexa 2. Fișierul cu date din programul de calcul al transferului termic. Schemele logice de reglare a temperaturii. Interfața de lucru LABVIEW.....</b>	<b>193</b>

<b>Anexa 3.</b> Compoziția chimică și caracteristicile mecanice ale oțelului OLT 35 K.....	200
Compoziția chimică și caracteristicile mecanice ale oțelului OLT 45 K.....	204
Compoziția chimică și caracteristicile mecanice ale oțelului 12VMoCr10.....	208
<b>Anexa 4.</b> Fișierele cu rezultatele programului de calcul pentru variația limitei de curgere la cald, pentru OLT 35K, OLT 45K și 12VMoCr10.....	212
<b>Anexa 5.</b> Diagramele de variație a caracteristicilor mecanice de rezistență și tenacitate cu elemente ale compoziției chimice, obținute pentru oțelul OLT 45K.....	254
<b>Anexa 6.</b> Corelații grafice de ordinul II, funcție de principalele elemente de aliere, pentru marca de oțel 12VMoCr10.....	258

# INTRODUCERE

În contextul economiei actuale, procesele tehnologice trebuie realizate cu randamente ridicate de transformare. La ora actuală, aceste randamente pot fi crescute, doar prin presiuni și temperaturi ridicate în procesele tehnologice, acesta fiind motivul pentru care se impune dezvoltarea unei game de oțeluri, în special oțeluri termorezistente, preferabile fiind cele cu grad de aliere scăzut, din cauza costurilor mai mici.

De altfel, deciziile referitoare la materiale sunt esențiale în toate domeniile practicii industriale, deoarece orice activitate tehnică trebuie să se concretizeze în final, într-o structură de rezistență sau într-un dispozitiv funcțional. La rândul său, fiecare nou proces tehnologic atrage după sine și dezvoltarea unui nou material deoarece realizarea structurilor și/sau dispozitivelor este condiționată de existența și folosirea lor.

Utilizarea oțelului optim din punct de vedere al proprietăților cerute, al costului de achiziție și al celor de fabricație, precum și al disponibilității a stat întotdeauna în atenția proiectanților și fabricanților din industrie.

**Temperatura de lucru** constituie un factor care este privit cu interes tot mai mare, deoarece se poate afirma că, într-un anumit sens, noile dezvoltări tehnologice depind, în numeroase sectoare, de modul în care se stăpânește *comportarea materialelor sub tensiune la temperaturi ridicate*.

Fiabilitatea și calitatea elementelor care lucrează la temperaturi și presiuni ridicate este parte componentă a fiabilității unităților de producere a energiei electrice și termice. Funcționarea acestor unități la parametri optimi este importantă deoarece, în caz contrar implicațiile de ordin social și economic sunt enorme.

Prelungirea duratei de funcționare a elementelor care lucrează la temperaturi și presiuni ridicate este un obiectiv primordial pentru toate centralele termoelectrice românești și nu numai. Această prelungire a duratei de funcționare nu poate fi făcută oricum, fără a cunoaște comportarea reală a materialului, ci numai cu stricta păstrare a condițiilor de siguranță, precum și cu menținerea parametrilor optimi de funcționare.

Evitarea apariției avariilor presupune cunoașterea caracteristicilor mecanice, fizice, chimice, metalografice și de orice natură, în cât mai multe condiții, apropiate de cele din exploatare, adică cunoașterea comportării reale a materialului, cunoaștere care este bazată pe cercetări teoretice și experimentale.

Temperatura ridicată introduce, însă, numeroase probleme conexe, iar tendința cercetătorilor și a proiectanților de a facilita rezolvarea problemelor complexe prin introducerea unor ipoteze simplificatoare care rețin numai acei factori ce influențează comportarea de bază a materialului face ca informația deținută să poată fi dificil aplicată în aceste probleme.

Aceste aspecte, preocupări și concluzii justifică importanța elaborării tezei de doctorat cu titlul **“Contribuții la studiul comportării oțelurilor la temperaturi ridicate”**, în cuprinsul

căruia s-a urmărit prezentarea sistematică a stadiului actual al cercetărilor privind tehnicile experimentale de încercare a oțelurilor la temperaturi ridicate, realizarea de echipamente necesare efectuării acestor încercări precum și realizarea de încercări experimentale pentru determinarea influenței temperaturii de lucru asupra caracteristicilor mecanice ale unor oțeluri termorezistente la temperaturi ridicate. Importanța lucrării rezultă și din faptul că autoarea a luat în studiu determinarea caracteristicilor mecanice pentru câteva mărci de oțeluri elaborate la S.C.Siderurgica S.A. Hunedoara, frecvent utilizate la temperaturi ridicate.

Lucrarea este structurată pe 6 capitole și cuprinde: 264 pagini, 88 figuri, 24 poze, 38 tabele, precum și 44 formule și relații matematice; la ea sunt atașate 6 anexe prezentate pe 76 pagini.

**Capitolul 1** al tezei intitulat “**Considerații generale asupra comportării oțelurilor la temperaturi ridicate**” cuprinde o analiză a elementelor de rezistență solicitate la temperaturi ridicate în procesul de exploatare, a categoriilor de oțeluri frecvent utilizate în construcția cazanelor de abur existente, fiind efectuată o analiză riguroasă a caracteristicilor mecanice ale acestor oțeluri, privind modul de alegere a unei mărci de oțel pentru acest domeniu de utilizare. Sunt analizate condițiile reale de lucru a elementelor de rezistență (conducte de abur) la temperaturi ridicate precum și factorii care pot determina modificări structurale la aceste oțeluri în timpul exploatării. De asemenea sunt prezentate principalele metode de apreciere a comportării unui oțel.

**Capitolul 2** al tezei intitulat “**Stadiul actual al cercetărilor și tehnicilor experimentale privind comportarea oțelurilor la temperaturi ridicate**” prezintă modalitățile de determinare a caracteristicilor mecanice de rezistență și tenacitate pentru unele oțeluri termorezistente, în condiții de temperaturi ridicate, precum și posibilitățile de efectuare a acestor încercări, motiv pentru care au fost studiate modalitățile de realizare a cuptoarelor (incintelor) de încălzire a epruvetelor, existente în literatura de specialitate; modul de prelevare a epruvetelor din diferite elemente de rezistență, cu respectarea standardelor în vigoare; posibilitățile de măsurare cât mai corectă a temperaturii de încercare, pe parcursul experimentărilor, folosind diverse tehnici și instrumente; factorii care pot să influențeze rezultatele experimentărilor efectuate și posibilitățile de diminuare a factorilor cu efect negativ.

În **Capitolul 3** intitulat “**Contribuții la realizarea de incinte (cuptoare) pentru încercările mecanice la temperaturi ridicate**” se prezintă contribuțiile privind realizările practice ale autoarei în domeniul proiectării și construcției de cuptoare (incinte) necesare încălzirii epruvetelor destinate încercărilor mecanice de tracțiune, răsucire, duritate, încovoiere prin șoc, efectuate în condiții de temperaturi ridicate.

**Capitolul 4**, intitulat “**Cercetări privind transferul termic, reglarea și menținerea temperaturilor ridicate**” prezintă cercetările întreprinse de autoare în vederea menținerii și reglării temperaturii ridicate în camerele de lucru ale cuptoarelor de încălzire, pentru efectuarea încercărilor mecanice, precum și unele studii ale autoarei în domeniul transferului termic în epruvetele utilizate pentru încercări mecanice la temperaturi ridicate. Se efectuează o analiză critică a modurilor de transfer termic la încălzirea epruvetelor, și se prezintă rezultatele obținute în urma rulării unui program de modelare numerică, realizat în MATLAB 5.0.

În **Capitolul 5** intitulat “**Cercetări experimentale efectuate asupra unor mărci de oțeluri termorezistente pentru studiul comportării lor la temperaturi ridicate**” se prezintă

cercetările experimentale realizate de autoare, privind comportarea oțelurilor la temperaturi ridicate. De asemenea se prezintă un studiu asupra caracteristicii mecanice  $R_{p0,2}$  funcție de elemente ale compoziției chimice, folosind programul MATLAB 5.0, urmărindu-se determinarea unei concentrații optime între două elemente ale compoziției chimice, care permit determinarea valorilor maxime ale caracteristicii mecanice, încă din faza de elaborare a unei mărci de oțel. Cunoșterea corelațiilor multiple, de ordinul II furnizează informații privind influența a două din elementele din compoziția chimică asupra caracteristicilor de rezistență și tenacitate. Prin reprezentarea grafică și cunoașterea valorilor pentru liniile de contur putem determina valoarea caracteristicii mecanice dorite, pentru orice conținut al unui element din compoziția chimică. De asemenea, putem stabili domeniile de variație pentru aceste elemente, funcție de valorile dorite ale parametrul studiat.

Cunoașterea relațiilor de dependență, estimate atât analitic cât și grafic sunt de un real folos inginerilor metalurghi, deoarece aceștia pot estima valorile pentru parametrul impus, în funcție de compoziția chimică, ceea ce permite reglarea compoziției chimice, pe parcursul elaborării, în vederea obținerii caracteristicilor mecanice impuse de beneficiar care, pe baza corelațiilor stabilite, analizate în paralel cu caracteristicile mecanice, pot selecta (alege, utiliza) materialul cel mai adecvat, atât din punct de vedere calitativ cât și economic.

Capitolul 6 intitulat **“Concluzii și contribuții ale autoarei. Aplicații și perspective ale realizărilor obținute”** prezintă concluzii și perspective de perfecționare a cercetărilor în domeniu, pentru ca rezultatele obținute să poată fi aplicate cu succes în industrie, în direcțiile studierii modalităților de îmbunătățire a proprietăților metalelor și a posibilităților de înlocuire a unor metale scumpe și deficitare cu altele mai ieftine, accesibile, dar cu calități echivalente.

Cercetările efectuate permit lărgirea gamei de încercări în vederea obținerii unor caracteristici ale metalelor, specifice pentru anumite elemente de rezistență, respectându-se condițiile de exploatare ale acestora și orientarea cercetărilor spre determinarea condițiilor în care se produce degradarea metalelor, a produselor și stabilirea mijloacelor respectiv metodelor de conservare și prelungire a durabilității lor.

# CAPITOLUL 1

## CONSIDERAȚII GENERALE ASUPRA COMPORTĂRII OȚELURILOR LA TEMPERATURI RIDICATE

### 1.1. Noțiuni introductive

Utilizat în orice domeniu pentru confecționarea elementelor constructiv-funcționale ale diverselor investiții industriale sau socio-culturale, precum și ale aparatelor, mașinilor, utilajelor și echipamentelor, *oțelul* răspunde tuturor cerințelor, dovedindu-se în majoritatea cazurilor, de neînlocuit atât din punct de vedere tehnic, cât și economic. Avantajele pe care le oferă oțelul ca material de construcție sunt, însă, într-o oarecare măsură, limitate de faptul că deseori, alegerea oțelurilor pentru o întrebuințare specifică se face fără a se ține seama, pe de o parte de *ansamblul condițiilor de exploatare* (natura și nivelul solicitării, condițiile de lucru – temperatură, mediu etc., ușurința întreținerii și reparării, nivelul de siguranță față de apariția unor evenimente posibile etc.), iar pe de altă parte de *considerentele de ordin economic* (cantitatea consumată, dificultatea prelucrării și, corelat, consumul de scule, calificarea necesară a personalului care efectuează operațiile de prelucrare, durabilitate etc.) [33].

O altă cauză care împiedică punerea în valoare, în mai mare măsură, a proprietăților potențiale ale oțelurilor ca material industrial este legată de înțelegerea greșită a noțiunii de marcă de oțel, definită de mulți ingineri (atât din sectoarele prelucrătoare, cât și din cele productive) ca o compoziție chimică standard, delimitată precis prin documentele tehnico-normative (specificațiile tehnice). În realitate, însă, *o marcă de oțel reprezintă rezultatul unui număr practic nelimitat de combinații chimice, cărora le corespund proprietăți mecanice care pot fi cuantificate prin intermediul unor caracteristici fundamentale*, selectate și stabilite cu grijă în vederea folosirii optime a oțelului respectiv sau alegerea celei mai potrivite mărci de oțel pentru o anumită situație.

Pentru ca alegerea unui oțel să fie cât mai corectă trebuie să cunoaștem caracteristicile lui mecanice și fizice, în cât mai multe condiții de exploatare.

Dintre domeniile tehnice în care elementele componente ale structurilor, utilajelor etc., confecționate din oțel, preiau fluxuri termice puternice și, simultan, sunt solicitate prin sarcini mecanice de mare intensitate se menționează, [99]:

- echipamentul termoenergetic, în special tamburele de cazane, corpurile supraîncălzitoarelor și răcitoarelor de apă, rotoarele (paletele) și corpurile de turbină, unele componente de conducte termoenergetice (armături, elemente fasonate, tubulaturi etc.);
- echipamentul termoenergetic naval, cu porniri și opriri frecvente, care include agregate de cazane și conducte, turbine de diferite tipuri, instalații Diesel, motoare reactive, etc., la care tubulaturile sau conductele sunt spălate periodic de apă și de abur, sunt repetat răcite la



interior prin picăturile de apă împrăștiate în zone mai fierbinți, sunt accidental contactate de apă pe suprafețele cu *temperaturi ridicate*, prezintă suduri între componentele din oțeluri de calitate diferite, etc.;

- echipamentul nucleare-energetic și mai ales reactoarele, turbinele de mare putere, etc.;
- utilajul metalurgic și siderurgic implicat în procesele de topire și turnare (oale de turnare, lingotiere etc.) a metalelor și aliajelor, prelucrare la cald (matrițe, poansoane, componente de laminor etc.), tratamente termice, ș.a.

În cadrul prezentei lucrări ne-am oprit asupra elementelor componente ale unui cazan de abur (generator de abur) IP-01, care are în componența sa o varietate destul de mare de mărci de **oțel termorezistent**, și a cărei schemă generală este prezentată în fig.1.1.

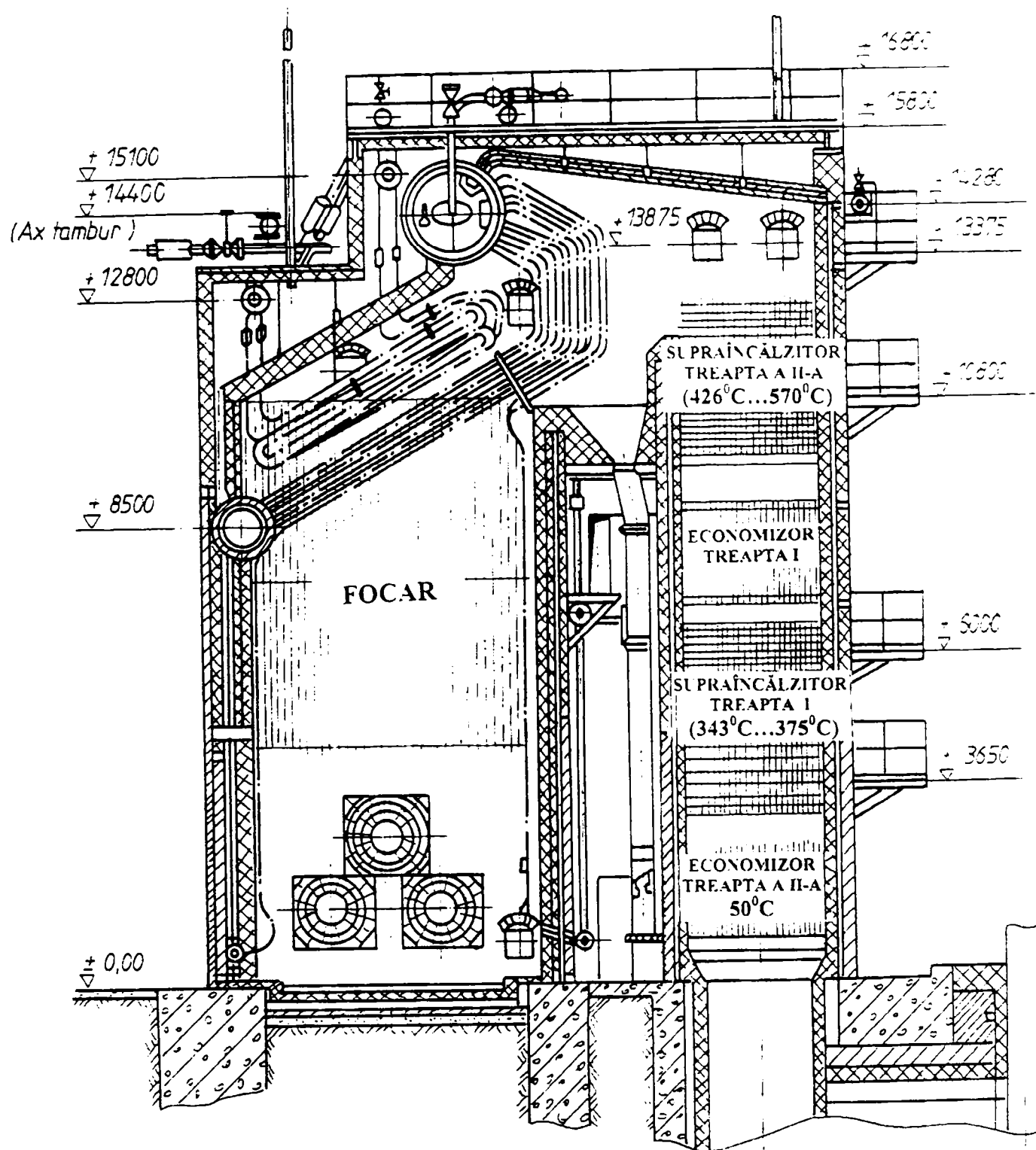


Fig.1.1. Schema generală a cazanului de abur IP-01 având capacitatea de 50 t/h

Acest cazan de abur cu circulație naturală, face parte din categoria cazanelor cu țevi mult înclinate, iar avantajul principal al lui constă în elasticitatea pe care o prezintă țevile curbate și în consecință, în reducerea într-o mare măsură a tensiunilor produse în pereții tamburilor de forțele rezultate din dilatarea țevilor. Schimbul de căldură se realizează prin intermediul subansamblelor cazanului cum sunt: economizorul, focarul, supraîncălzitorul, etc.

Principalele circuite ale cazanului sunt: circuitul combustibil, circuitul aer-gaze de ardere și circuitul apă-abur.

Principalele caracteristici ale generatorului de abur IP-01 sunt cuprinse în tabelul 1.1.

Tabelul 1.1

## Caracteristicile generatorului de abur IP-01

Denumirea parametrului	Caracterisitica
Debitul de abur nominal	50 t/h
Presiunea nominală	39,2 bar
Temperatura aburului	450 <sup>0</sup> C
Suprafața de încălzire fierbătoare - din care de radiație:	624 m <sup>2</sup> 153 m <sup>2</sup>
Suprafața încălzitorului	1048 m <sup>2</sup>
Suprafața economizorului	511 m <sup>2</sup>
Numărul de tambure și lungimea:	2 buc/8,3 m
Diametrul exterior și grosimea tamburelor: [mm/mm]	1500/41 800/30
Diametrul exterior și grosimea țevilor - fierbătoare radiație [mm x mm]: - fierbătoare convecție [mm x mm]:	57 x 3 51 x 3
Numărul, diametrul exterior [mm] și grosimea țevilor coborâtoare [mm]	88/ 76 x 3
Distanța între axele țevilor în focar, [mm]:	90
Debit specific de abur, [kg/m <sup>2</sup> h]	80,2

Generatorul de abur are în componență un *supraîncălzitor* compus din două trepte cu suprafața totală de 1048 m<sup>2</sup>. Treapta I se compune din 43 de serpentine orizontale din țeavă de  $\phi$  38 x 3,5 mm din OLT 45K, iar treapta a doua din 78 de serpentine din țeavă de  $\phi$  38 x 3,5 mm.

*Economizorul* are suprafața de încălzire de 511 m<sup>2</sup> și este format din 43 de serpentine din țeavă de  $\phi$  38 x 3,5 mm, din OLT 45K. Temperatura apei de alimentare este de 130<sup>0</sup>C.

Preîncălzitorul de aer de tip tubular, având suprafața de 1290 m<sup>2</sup> este divizat în două trepte egale, formate din 2779 țevi de  $\phi$  45 x 1,5 mm, între care este dispus economizorul.

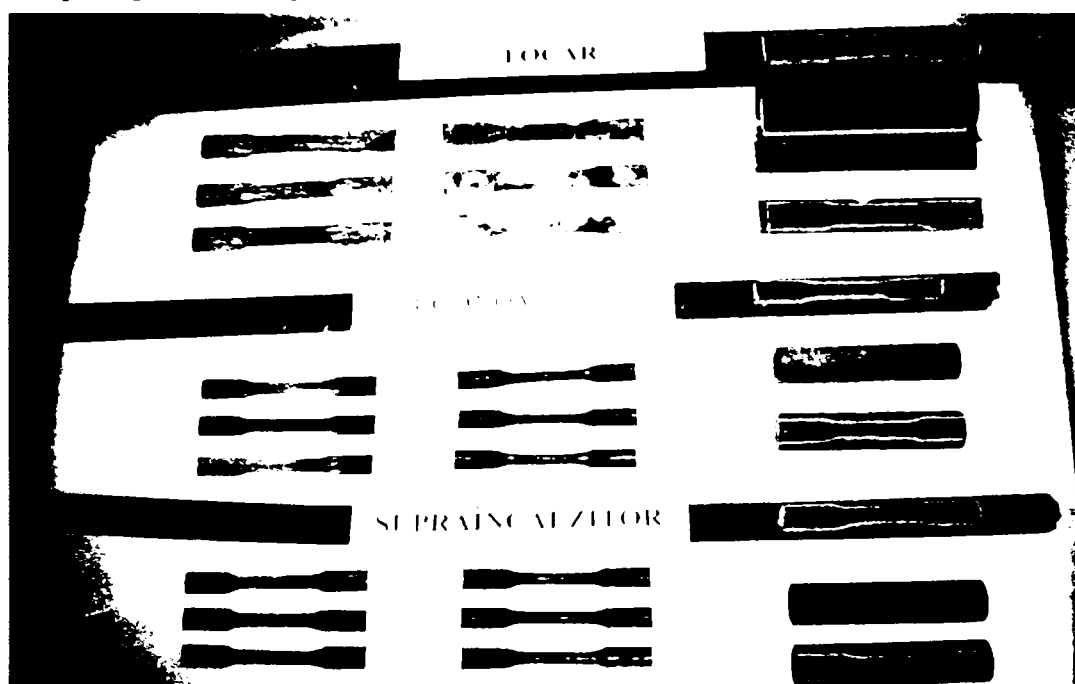
Aerul necesar arderii se introduce cu un ventilator de 45 000 m<sup>3</sup>/h la 25<sup>0</sup>C și suprapresiunea de 650 mm H<sub>2</sub>O (6370 N/m<sup>2</sup>).

Combustibilul este introdus prin șase arzătoare mixte IP-01-104 (gaz de furnal – gaze naturale – păcură) dispuse câte trei pe fiecare perete lateral. Gazele de ardere, după părăsirea focarului, spală succesiv prima parte a fascicolului de convecție, treapta a II-a a supraîncălzitorului, cea de-a doua parte a fascicolului de convecție, supraîncălzitorul I, preîncălzitorul de aer I și sunt împinse pe coș de un exhaustor tip ITCME-AG 5 cu debitul de 155 000 m<sup>3</sup>/h la 200<sup>0</sup>C și depresiunea de 175 mm H<sub>2</sub>O (1715 N/m<sup>2</sup>).

Acest generator de abur funcționează în cadrul secției CT<sub>3</sub> a S.C. Siderurgica S.A. Hunedoara și produce aburul tehnologic necesar turbogeneratoarelor de producere a curentului electric pentru fluxul tehnologic din cadrul acestui combinat siderurgic. Gradul anual de continuitate al unui astfel de proces este între 86 % și 98 %.

Cu ocazia unei avarii produse la acest generator au fost prelevate 9 tronsoane de țevă din acest cazan, astfel: 3 din focar, 3 din economizor și alte 3 din supraîncălzitor. Elementele constructive ale acestora sunt prezentate în Anexa 1 și ele au lucrat la temperaturi ridicate. De asemenea ne-a fost pusă la dispoziție un tronson de țevă nouă (neutilizată) care urma să fie utilizată.

Scopul acestor prelevări l-a constituit studiul caracteristicilor mecanice de rezistență și tenacitate pe probe prelevate direct din exploatare, confecționate din oțeluri termorezistente. În Poza 1.1. se prezintă tipul epruvetelor prelevate.



Poza.1.1. Epruvete prelevate din exploatare

Din aceste materiale au fost prelevate probe metalografice transversale, sub formă de inele, pentru efectuarea unei analize metalografice respectiv epruvete pentru încercarea la tracțiune la temperaturi ridicate, conform normativelor în vigoare [150]; [151];[152].

Efectuând o analiză din punct de vedere constructiv a componentelor din structura cazanului supuse presiunii și *temperaturii*, acestea se pot clasifica în [37]:

- conducte de abur și apă;
- corpuri cilindrice cu pereți groși și dimensiuni mari;
- țevi de cazan;

Conductele prin care circulă apă și abur sunt supuse la *presiuni și temperaturi ridicate*, și au un rol important în funcționarea cazanelor de abur, ele alcătuind *sistemul de conducte* ce transportă agentul termic de la cazan la consumator (abur – „viu” sau intermediar). De asemenea ele sunt supuse acțiunii corozive a mediilor din exteriorul și interiorul cazanului. Acesta este unul din motivele pentru care materialul de construcție al acestor elemente trebuie să fie bine cunoscut în ceea ce privește comportarea lui în timpul prelucrării și mai ales în timpul exploatării.

În acest sens proiectantul instalației de cazane trebuie să dispună de următoarele date referitoare la caracteristicile mecanice ale metalului folosit în construcția acestuia: rezistența de rupere la tracțiune, limita de curgere, alungirea procentuală după rupere, coeficientul de gătuire, limita de fluaj pentru o deformare de 1 % și rezistența de rupere la fluaj pentru un interval de timp determinat (de exemplu 100 000 h). Numai cunoscând aceste proprietăți se va putea realiza o construcție rațională, asigurându-se un consum minim de materiale și totodată siguranță în exploatare.

Conductele de abur se înlocuiesc în următoarele cazuri:

- la apariția de fisuri “*deosebite*” care sub acțiunea sarcinilor variabile sau de durată se pot deschide, conducând la avarii. Se consideră “*deosebite*” acele fisuri care prezintă pericol de rupere pentru elementul respectiv și a căror reparare nu conduce în mod cert la înlăturarea acestui pericol;
- la atingerea gradului de epuizare de 100%;
- la atingerea unei deformării remanente de 2%;
- la atingerea unei deformării remanente de 1% într-o zonă cu grad de epuizare de cel puțin 60%.

Prelungirea duratei de funcționare a conductelor de abur nu poate fi făcută oricum, ci numai cu stricta păstrare a condițiilor de siguranță. Această prelungire conduce la beneficii deosebite pentru centrala respectivă. De asemenea, menținerea parametrilor de funcționare (presiune și temperatură), este o altă cerință care trebuie avută în vedere.

Toate acestea la un loc, nu pot fi atinse fără o cunoaștere a comportării reale a materialului conductelor, cunoaștere care are la bază *cercetări teoretice și experimentale*.

Aceste componente, pe lângă faptul că sunt componente complexe și scumpe, sunt supuse la importante *solicitări mecanice și termice* în timpul funcționării. Starea acestor componente poate fi evaluată numai pe baza unor investigații atente și bine fundamentate, în urma cărora se iau decizii referitoare la siguranța și disponibilitatea instalației, care pot fi: menținerea în funcțiune cu sau fără restricții; efectuarea unor lucrări de reparații; înlocuirea unor componente.

*Conducta principală de abur viu* dintr-un cazan de abur este partea cea mai solicitată a unui circuit, solicitarea materialului fiind complexă, iar starea de tensiune care apare are valori superioare limitei de elasticitate a materialului.

Prin termenul de *conductă* se înțelege un ansamblu de elemente componente cuprinzând: țevi, fittinguri, flanșe, armături, șuruburi, prezoane, piulițe, garnituri, suporturi, compensatoare de dilatație, aparatură de măsură și control etc., care servește la transportul fluidelor între două utilaje sau între două instalații.

Odată cu creșterea parametrilor de funcționare (*temperaturi până la 600°C* și presiuni până la 300 bari), conductele au căpătat o importanță deosebită și în consecință, mentenanța acestora a devenit o preocupare majoră [37].

Solicitările ciclice care apar, în special datorită operațiilor de pornire-oprire, pot duce la cicluri cu tensiuni mari pe durata de viață a unei cazan, ceea ce are ca efect apariția fisurilor. În Poza 1.2. se prezintă o fisură apărută într-o țevă dintr-un cazan de abur.



**Poza 1.2. Eșantion de țevă de abur fisurată, prelevată din exploatare**

În Poza 1.2 se observă că fisura apărută în țevă prezintă un aspect de "gură de pește", iar apariția unor asemenea fisuri este deosebit de periculoasă.

Fisura, odată apărută în pereții conductelor, se poate dezvolta (propaga) prin oboseală, ajungând la dimensiuni care pot scoate conducta din funcțiune. Dezvoltarea fisurii se poate produce cu deformații plastice mari (umflarea zonei respective) sau fără deformații plastice, materialul comportându-se elastic. Deoarece aceste conducte funcționează în condiții variabile de temperatură și presiune, oțelul din care sunt confecționate trebuie să prezinte calități de deformabilitate și de rezistență cât mai bune [121].

Regimurile care se întâlnesc în funcționarea unui cazan de abur pot fi, [17]: **regim staționar**, în care tensiunile termo-mecanice nu depășesc valorile admise, și **regim nestaționar**, în care apar oscilații considerabile ale încărcărilor și **variații bruște de temperatură**. Acest regim se produce în timpul opririlor cazanului. În cazul funcționării în regim de manevră, numărul acestor cicluri crește. O schemă de funcționare cu vârfuri de sarcină duce la apariția timpurie a fisurilor în locurile cu concentratori de tensiune și fluajului accelerat.

Dacă viteza de creștere a temperaturii este destul de mare, pe grosimea conductei se instalează un gradient termic (deoarece temperatura aburului nu este resimțită instantaneu decât la suprafața interioară), care generează o repartiție tranzitorie a tensiunilor, dând astfel naștere la tensiuni termice.

Conductele de abur din instalațiile termoenergetice fac parte din categoria **conductelor normale**, adică ele constituie trasee de conducte plane și spațiale ce formează structuri static determinate sau nedeterminate. În condițiile desfășurării procesului tehnologic, conductele de abur sunt solicitate static sau dinamic de presiunea interioară, greutatea proprie sau a diferitelor elemente, *variația de temperatură*, șoc termic, acțiuni seismice etc.

În afara solicitărilor datorate presiunii și temperaturii, asupra conductelor mai apar și alte influențe, care pot fi, [17]:

- efecte dinamice: forțe de impact (datorate modificărilor de debit), fenomene naturale;
- încărcări datorate greutății proprii, aburului, a izolației etc.;
- efectul dilatării sau contracției termice, datorită restricțiilor, atunci când acestea sunt împiedicate; datorită *gradientului de temperatură în peretele conductei* (cauzate de variații mari și rapide de temperatură sau de distribuția neuniformă a acesteia, în regim staționar);

- efectul reducerii ductilității, ce poate rezulta din modul de execuție al cordoanelor de sudură, al tratamentului termic, al operației de forjare, îndoire etc.;
- efectul fluajului, care duce la redistribuirea tensiunilor;
- efectul ciclic al încărcărilor, care se referă la modificări ciclice de temperatură și presiune;
- posibilitatea apariției deformației progresive în anumite condiții de solicitare.

Toate aceste efecte enumerate pot fi grupate în următoarele categorii:

- **încărcări principale** – care determină tensiuni primare ce nu se autolimitează (presiune, greutate etc.); tensiuni primare generale de membrană; tensiuni primare locale de membrană; tensiuni primare de încovoiere;
- **încărcări secundare** – care determină tensiuni care se autolimitează (dilatarea termică împiedicată);
- **tensiuni de vârf** – cele mai mari tensiuni dintr-o zonă, care în zone cu defecte sau creștături pot produce cedarea sau ruperea prin oboseală.

La ora actuală, una dintre problemele deosebit de importante la nivel național este cea de creștere a fiabilității și mentenabilității instalațiilor termoenergetice, corelată cu perfecționarea continuă a proceselor care au loc în interiorul acestora.

O altă problemă actuală este necesitatea de a extinde durata de viață a componentelor unei centrale termoenergetice [37], peste cea stabilită prin proiectare.

Stabilirea duratei de viață reziduale a unei componente în serviciu se face prin metode directe, adică prin prelevarea de material pentru epruvete (când acest lucru este posibil) și testarea acestora în condiții accelerate, pentru a le vedea rezistența actuală. În acest caz însă, dispersia rezultatelor poate constitui un impediment.

Din cauză că normativele prevăd ca echipamentele termoenergetice să lucreze la temperaturi destul de ridicate, este necesară elaborarea de oțeluri noi care să satisfacă pretențiile cerute de aceste temperaturi.

Ținând cont de cele prezentate anterior, este justificată realizarea unor cercetări în industria energetică și termoenergetică, prin care să se determine și să se evalueze calitatea și fiabilitatea componentelor, precum și durata de viață rămasă a acestora în condiții de siguranță.

O soluție la această problemă ar fi aplicarea metodelor nedistructive care să permită o apreciere a stării materialului elementelor active în diverse etape de exploatare.

Pot exista situații când evaluarea degradării unui component nu este posibilă fără prelevarea de material și determinarea caracteristicilor reale ale acestuia, cu toate implicațiile pe care le ridică aceste lucrări.

## 1.2. Mărcile de oțeluri utilizate la temperaturi ridicate

Alegerea materialelor, compatibile unor condiții industriale și utilizarea lor corectă, prin punerea la punct a unor noi modalități de întreținere, pentru a îmbunătăți eficacitatea lor sau chiar prin dezvoltarea de noi materiale, constituie responsabilitatea directă a inginerului proiectant.

Pentru a îndeplini acest lucru, proiectantul trebuie să posede o *înțelegere completă a caracterului și comportării fiecărui material*. Nu trebuie neglijat faptul că numeroase aspecte ale

comportării materialelor – în condiții reale de exploatare – rămân încă în afara cunoștințelor teoretice, și ele nu pot fi studiate cu succes decât prin întregirea acestor cunoștințe cu date experimentale, obținute prin cercetări de laborator sau la scară pilot.

**Temperatura de lucru** constituie un factor care este privit cu interes crescut, deoarece se poate afirma că, într-un anumit sens, noile dezvoltări tehnologice depind, în numeroase sectoare, de modul în care se cunoaște *comportarea materialelor sub tensiune la temperaturi ridicate*. Temperatura ridicată introduce însă numeroase probleme conexe, iar tendința cercetătorilor și a proiectanților de a facilita rezolvarea problemelor complexe prin introducerea unor ipoteze simplificatoare care rețin numai acei factori ce influențează comportarea de bază a materialului face ca informația deținută să poată fi dificil aplicată în aceste probleme.

De regulă, comportarea pieselor componente de mașini, utilaje și echipamente care lucrează la temperaturi ridicate poate fi examinată **independent** sau **dependent** de timp.

Fenomenul de bază al **comportării materialelor metalice la temperaturi ridicate** îl constituie creșterea continuă a deformațiilor, ceea ce impune un mod de dimensionare care să asigure ca deformațiile respective să nu depășească, la sfârșitul duratei de serviciu prevăzute, anumite limite peste care funcționalitatea elementului de rezistență este periclitată.

În cazul studiului comportării elementelor care lucrează la temperaturi ridicate în care timpul nu este implicat, analiza stărilor limită ce determină dimensionarea se face prin formulele clasice ale rezistenței materialelor, în practică putându-se întâlni două situații:

a) *Scoaterea din uz datorită deformațiilor elastice mari*. Sarcina limită scade odată cu creșterea temperaturii, deoarece modulul de elasticitate și deci, rigiditatea piesei se diminuează.

b) *Scoaterea din uz datorită rezistenței*. Analiza cedării în funcție de atingerea limitei de curgere sau a rezistenței la rupere se face ținând seama de următoarele aspecte:

- ruperea fragilă nu constituie un criteriu de stare limită la temperaturi ridicate;
- valorile limitei de curgere și ale rezistenței la rupere la tracțiune se modifică odată cu creșterea temperaturii; modificări apar nu numai în ceea ce privește valorile caracteristicilor mecanice, ci și a alurei curbelor caracteristice (la 500<sup>0</sup>C limita de curgere aparentă dispare).

Toate acestea conduc la impunerea limitei de curgere convenționale ca principal parametru de alegere a materialelor pentru confecționarea de elemente ce lucrează la temperaturi ridicate durate scurte de timp și a căror dimensionare se face pe criterii de rezistență.

Creșterea temperaturilor și a presiunilor de funcționare a necesitat utilizarea de materiale termorezistente, îndeosebi oțeluri, a căror preț este cu mult mai mare decât a materialelor obișnuite. În cazul funcționării la temperaturi ridicate apar fenomene mecanice suplimentare (fluajul), respectiv modificări structurale care de regulă au efect negativ, concretizat în degradarea mai accelerată a elementelor respective. În consecință, după un anumit număr de ore de funcționare, elementele trebuie înlocuite, ceea ce are implicații majore asupra costurilor de producere a energiei (sau a altor utilaje în cazul tubulaturilor din uzinele chimice).

De aceea, unele studii de specialitate în domeniu, urmăresc elaborarea de oțeluri termorezistente mai performante, iar altele evaluarea posibilităților de menținere în exploatare un timp cât mai îndelungat, peste durata de exploatare estimată inițial, dar în condiții de deplină siguranță.

În acest scop trebuie studiate cât mai amănunțit condițiile de exploatare: variația presiunii și a temperaturii, regimurile de pornire și oprire ale instalațiilor, șocurile termice ce pot determina producerea unor tensiuni suplimentare etc., studii care vor permite efectuarea unor încercări mecanice cât mai concludente.

Cunoașterea caracteristicilor mecanice, în special de rezistență și deformabilitate, a oțelurilor termorezistente în diferite condiții, este posibilă numai prin executarea unor **încercări experimentale** corespunzătoare. Rezultatele încercărilor trebuie să ducă la concluzii cât mai clare cu privire la comportarea oțelului respectiv, în diferite condiții de solicitare.

*Cunoașterea comportării materialului, în cât mai multe condiții de exploatare permite luarea unor decizii referitoare la înlocuirea totală a zonei supusă observației sau eventuala prelungire a duratei de funcționare a acesteia, sub o permanentă supraveghere a evoluției defectului existent [122].*

Mărimea care definește o anumită caracteristică a unui material se numește *proprietate*. Proprietățile unui material furnizează baza necesară pentru prevederea comportării sale în diverse condiții de exploatare. [33].

Cele mai importante proprietăți ale oțelurilor sunt:

- mecanice: rezistență, rigiditate, plasticitate, sensibilitate la încreștere, duritate etc.;
- electrice: conductibilitate, permeabilitate, rezistență dielectrică etc.;
- magnetice: permeabilitate, forță coercitivă, histerezis etc.;
- termice: căldură specifică, dilatare termică, conductivitate;
- fizice: dimensiuni, densitate, porozitate, structură, dilatabilitate, etc.;

Din punct de vedere al materialului, conductele sunt confecționate din oțeluri aliate sau slab aliate utilizate la temperaturi ridicate, numite în literatura de specialitate **oțeluri termorezistente**. Ele au fost frecvent studiate în literatura de specialitate, [1], [4], [9], [11], [17], [20], [35], [36], [45], [53], [54], [57], [61], [63], [76], [77], [85], [87], [94], [105], [121], [124], etc., și pot fi împărțite astfel:

- oțeluri și aliaje de fier cu proprietăți termice și magnetice speciale;
- oțeluri cu rezistență mare la uzură;
- oțeluri refractare
- oțeluri termorezistente;
- oțeluri inoxidabile;

Pe scară largă sunt folosite oțelurile slab aliate termorezistente de tipul Cr-Mo-V, care cuprind 5 clase importante și anume, [36]:

- oțel carbon;
- oțel slab aliat (CrMoV)
- oțel mediu aliat (martensitic sau feritic);
- oțel crom-nichel austenitic;
- feroaliajele.

**Oțelurile carbon** termorezistente sunt caracterizate printr-un conținut de carbon cuprins între 0,1...0,3 %, fiind aliate cu mangan în proporție de 0,3...1,6%, conținând și cantități de aluminiu. Oțelurile caracteristice acestor clase sunt: OLT 35K, K37, R52, OLT 45.



**Oțeluri slab aliate (CrMoV)** se împart, în funcție de compoziția chimică, în:

- **oțeluri de tip 0,5 Mo** (16Mo3 - STAS 2883-80 și STAS 8184-80); sunt utilizate în stare normalizată și la mențineri îndelungate în exploatare au tendința periculoasă de grafitizare, ceea ce limitează la 500°C temperatura maximă de utilizare. O îmbunătățire substanțială a rezistenței la fluaj a oțelului 0,5%Mo normalizat la 970°C și revenit la 690°C se obține prin adaos de 0,2%V;

- **oțeluri de tip 0,5-0,5** (0,15%...0,25%C) sunt utilizate de obicei în stare normalizată și revenită și au o comportare la fluaj dependentă de structura inițială. Temperatura maximă de utilizare este de 500°C.

- **oțeluri de tip 1,25-0,5** (14CrMo4 - STAS 2883-80 și STAS 8184-80; T34MoCr0,9 - STAS 1773-76; 21MoMnCr12 - STAS 791-80) sunt utilizate în stare normalizată și revenită la 600-700°C și sunt superioare calitativ oțelurilor 0,5-0,5.

- **oțelurile 2,25-1** (10CrMo10 - STAS 8184-80) utilizat în stare recoaptă și revenit la 650-700°C sunt utilizate în atmosfere reducătoare de H<sub>2</sub>.

- **oțeluri de tip 1-1-0,2** (0,12-0,25%C) sunt superioare tipului anterior dar prezintă tendința de fragilizare;

- **oțeluri de tip 1,25-0,5-0,2** (24VMoCr12 - STAS 11522-80) recomandate a se utiliza în stare normalizată sau călită în ulei și revenită la 650...750°C în funcție de modul de călire. Creșterea grăunților cristalini duce la rezistențe ridicate și la fragilizări accentuate.

#### **Oțeluri mediu aliate cu crom martensitice sau feritice**

Utilizarea oțelurilor anterioare era limitată la temperatura de 550°C datorită oxidării în aer, vapori de apă sau gaze de ardere. Pentru temperaturi superioare este necesar să se apeleze la oțeluri cu conținut de crom mai mare, cu mare stabilitate chimică, a căror rezistență la fluaj este îmbunătățită de prezența unor elemente ca: Mo, V, W.

- oțeluri cu 5-6 % Cr îmbunătățite cu Mo anulează tendința de fragilizare a oțelurilor (exemplu: 10MoCr50);

- oțeluri cu 7-10% Cr îmbunătățite cu aluminiu (0,5%) și titan (1%) dau proprietăți mecanice la cald foarte bune (ex. 20MoCr90).

- oțeluri cu 11-13% Cr conținând adaosuri de Mo, V, W, Nb sau Co fac ca rezistența la oxidare să fie bună și să poată lucra la temperatura de 650°C. Cu cât conținutul în elemente care formează carburi este mai mare, cu atât este mai ridicată rezistența la cald (ex. 12Cr130, 15Cr130).

#### **Oțeluri Cr-Ni austenitice**

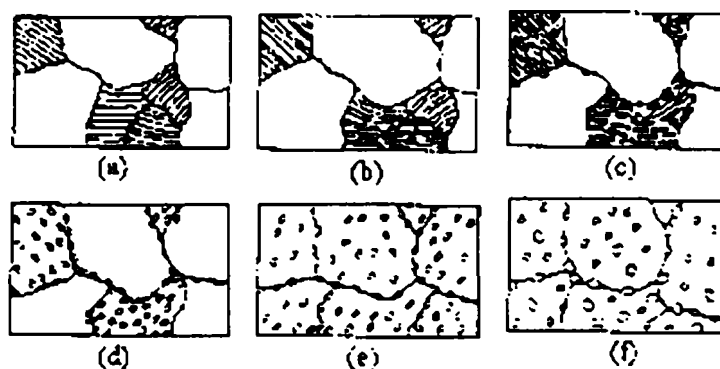
Oțelurile feritice sau martensitice sunt limitate la temperaturi de utilizare de 600°C și deci peste această temperatură este indicată utilizarea oțelurilor austenitice. De exemplu: oțelul 18% Cr și 8% Ni va conține deseori adaosuri de Ti, Mo, Nb pentru a îmbunătăți caracteristicile de fluaj. Prezența acestor elemente alfa-gene este necesară pentru stabilizarea austenitei.

Aceste oțeluri se folosesc în urma unui tratament termic de hipercălire la 1050-1350°C. Rezistența la fluaj a oțelurilor 18-8 este cu atât mai mare cu cât conținutul de carbon este mai mare, datorită formării carburilor precipitate la limita grăunților de austenită.

**Superaliajele** sunt utilizate pentru temperaturi mai mari de 700-800°C de unde oțelurile austenitice nu mai corespund calitativ. Superaliajele pot fi utilizate până la circa 1100°C, temperatura maximă de exploatare atingând pentru cele termorezistente circa 0,8 din temperatura

de topire. Acestea își datoresc rigiditatea la cald, formării și precipitării carburilor sau fazelor intermetalice create de o serie de elemente (Mo, V, W, Nb, Ti, Al) prezente într-o soluție solidă. Precipitarea se produce în cursul unui tratament de îmbătrânire realizat înainte de utilizare sau spontan în timpul menținerii sub sarcină.

Conductele utilizate în centralele termoelectrice sunt realizate prin tragere (fără sudură). În afara acestei categorii, se folosesc și conductele sudate longitudinal, îndeosebi în circuitele a căror parametri de funcționare au valori reduse.



**Fig.1.2. Degradarea microstructurală a unui oțel slab aliat utilizat la conductele de abur**  
 a-structură ferito-perlitică; b-precipitare a carburilor la limitele de grăunți; c-inițierea sferoidizării carburilor din perlită; d-finalizarea sferoidizării carburilor din perlită; e-carburi disperse (dispariția structurii ferito-perlitice; f) coalescența carburilor

Atât metodele distructive cât și cele nedistructive au demonstrat că avariile sunt legate de modificările structurale din material.

Mecanismele de degradare caracteristice acestor tipuri de componente sunt: fluajul; oboseala; coroziunea și/sau eroziunea; modificările structurale, iar în majoritatea cazurilor, interacțiunea dintre aceste mecanisme intensifică procesul de degradare.

Cele mai importante mecanisme de degradare ale materialului de bază ale conductelor care funcționează la presiuni și temperaturi ridicate, le reprezintă **degradarea microstructurală la temperatură** manifestată prin creșterea grăunților și aglomerarea de carburi și degradarea la fluaj prin micropori, așa cum se prezintă în fig. 1.2. Degradările prin eroziune și coroziune afectează într-o mică măsură aceste tipuri de componente. Degradarea la fluaj depinde de patru factori principali: **timp, temperatură, deformație și tensiune**.

Degradarea microstructurală apare în special în zonele critice care prezintă un nivel ridicat al tensiunilor. În materialul de bază, aceste zone se localizează îndeosebi la coturi, componente forjate (robinete, ramificații sub formă de T sau Y), redușii, care prezintă în anumite locuri concentratori de tensiune (racordările, muchiile orificiilor, etc.). Degradarea în aceste zone va fi mai accentuată decât în zonele adiacente (porțiuni drepte), acolo unde nivelul de tensiune este mai redus, astfel încât aceste zone sau elemente puternic sollicitate determină durata de viață a întregii conducte. O evaluare generală a nivelului de tensiune în sistemul de conducte, constituie un mijloc important în selectarea zonelor care vor fi cu prioritate analizate.

O clasificare a componentelor centralelor termoenergetice care funcționează la temperaturi și presiuni ridicate, în funcție de temperatura lor de funcționare poate fi făcută după cum urmează:

- componente care funcționează în domeniul temperaturilor sub limita de fluaj;

- componente care funcționează în domeniul temperaturilor de fluaj.

Caracteristicile mecanice ale componentelor care funcționează în domeniul temperaturilor **sub limita de fluaj**, utilizate în calculele de proiectare, sunt raportate la caracteristicile mecanice de rupere la tracțiune și la limita de curgere, la temperatura de calcul.

Oțelurile utilizate în acest domeniu se aleg pe baza proprietăților de rezistență determinate prin **încercări de scurtă durată la temperatura de utilizare**; ele sunt impuse ca proprietăți fundamentale prin prescripțiile tehnice ISCIR, care stabilesc drept tensiune admisibilă de calcul cea mai mică valoare dintre:

- 2/3 din limita de curgere convențională (tehnică), la temperatura de calcul (serviciu);
- 5/12 din rezistența la tracțiune, la +20°C.

Utilizarea oțelurilor cu proprietăți superioare de rezistență din seria OCS55, OCS58, R55, R58 sau a celor în stare îmbunătățită, de tip OCS90, se impune ca deosebit de avantajoasă în cazul aparatelor și recipientelor sub presiune, care lucrează în medii ce nu pot provoca coroziunea fisurantă sub sarcină. În astfel de situații sunt necesare măsuri constructive și tehnologice speciale pentru a evita accidentele determinate de o fragilitate excesivă.

În cazurile în care oțelurile carbon sau cele aliate, cu conținut mic în elementele de aliere, satisfac condițiile de rezistență impuse elementelor la temperatura de exploatare, dar nu fac față din punct de vedere al agresivității chimice a mediilor de lucru, soluția cea mai economică constă în folosirea acestor oțeluri placate sau protejate prin depunerea unui strat de protecție din oțel rezistent la coroziunea provocată de mediul de lucru.

Un fenomen care trebuie tratat cu mare atenție în cazul aparatelor și recipientilor sub presiune este cel al destrămării (fisurării) lamelare.

Principalii factori care pot determina destrămarea lamelară a îmbinărilor sudate sunt:

- nivelul tensiunilor din materialul de bază pe direcția transversală, determinat de valoarea tensiunilor efective, de rigiditatea îmbinării sudate, de volumul și modul de răcire, precum și de rezistența materialului de adaos;

- conținutul de hidrogen difuzabil în îmbinarea sudată;

- plasticitatea produselor plate, mai mică pe direcția grosimii, în comparație cu direcția de laminare.

Ținând seama de implicațiile deosebit de costisitoare pe care le are în industria siderurgică garantarea proprietăților de plasticitate pe direcția grosimii produselor, la această condiție tehnică specială trebuie să se recurgă numai în situațiile deosebite, când o astfel de garanție este absolut necesară.

În fapt, destrămarea lamelară poate fi combătută cu succes chiar și în cazul utilizării unor oțeluri cu proprietăți mai scăzute pe direcția grosimii, prin recurgerea la o serie conjugată de măsuri constructive și tehnologice cum sunt:

- înlocuirea îmbinărilor în L sau T cu îmbinări cap la cap sau, când acest lucru nu este posibil, prin plasarea acestor tipuri de îmbinări în zone de rigiditate scăzută;

- folosirea unor materiale de adaos cu rezistență mai mică decât a metalului de bază și care să asigure un conținut redus de hidrogen în cordonul de sudură;

- aplicarea unei preîncălziri adecvate;

- sudarea multistrat și/sau sudarea în atmosferă de gaze protectoare.

În situația în care aparatele și recipientele sub presiune lucrează în condiții de oboseală, alegerea materialului are mai puțină importanță, combaterea eventualelor ruperi prin oboseală efectuându-se prin soluții constructive și tehnologice adecvate.

Caracteristicile mecanice utilizate în proiectarea componentelor care funcționează la temperaturi în **domeniul fluajului** sunt raportate timpului până la rupere sau timpului până la apariția unui anumit nivel de deformare la temperatura de calcul (caracteristici mecanice de rezistență la fluaj), [37].

Proprietățile fundamentale, care decid alegerea materialelor în acest domeniu de utilizare, sunt caracteristicile de rezistență și deformare de lungă durată la temperatura de lucru (fluaj), care sunt înscrise în documentele normative de standardizare referitoare la produsele metalurgice (profile lungi, produse plate, țevi), [26].

În țara noastră, ca de altfel în toate celelalte țări, utilajele ce fac parte din această categorie se află în supravegherea organului de stat de specialitate, atât în ceea ce privește proiectarea, cât și exploatarea lor.

În privința valorii tensiunii admisibile ce trebuie adoptată în calculele de dimensionare, prescripțiile tehnice prevăd utilizarea celei mai mici dintre valorile:

- 2/3 din valoarea rezistenței tehnice pe o durată de 100 000 ore, la temperatura de serviciu;
- limita tehnică de fluaj corespunzătoare unei deformații de 1% pe o durată de 100 000 ore, la temperatura de serviciu.

**Tabelul.1.2**

**Temperaturile limită și exemple de utilizare a oțelurilor termorezistente și rezistente mecanic la cald**

Simbolul mărcii de oțel	Temperatura limită pentru utilizările de lungă durată, °C	Exemple de utilizare	Produsele metalurgice folosite
OLT 35K OLT 45K K41 K52	400	Ecrane pentru cazane de aburi, fascicule și plăci tubulare pentru schimbătoare de căldură cu flux termic de max. 230kW/m <sup>2</sup> la presiuni de până la 200 bari	țevi laminate la cald (STAS 404/3-87); țevi laminate sau trase la rece (STAS 530/3-87);
16Mo3	430	Ecrane pentru cazane de aburi, fascicule și plăci tubulare pentru schimbătoare de căldură cu flux termic de max. 460kW/m <sup>2</sup> la presiuni de până la 200 bari	țevi pentru schimbătoare de căldură (STAS 9377-90); oțel rotund laminat la cald (STAS 333-87); oțel lat pentru cazane
	480	Focare de supraîncălzitoare	
14MoCr10	470	Ecrane pentru cazane de aburi, fascicule și plăci tubulare pentru schimbătoare de căldură cu flux termic de max. 460kW/m <sup>2</sup> la presiuni de până la 200 bari	țevi laminate la cald (STAS 404/3-87); țevi laminate sau trase la rece (STAS 530/3-87) țevi pentru schimbătoare de căldură (STAS 9377-90); oțel rotund laminat la cald (STAS 333-87); oțel lat pentru cazane
	540	Focare de supraîncălzire	
10MoCr22	580	Focare de supraîncălzitoare la presiuni de peste 80 bari și instalații tehnologice care lucrează în condiții de fluaj	
20VMoCr120	600		
20VWMoCr120	620		
12TiNiCr180	800		

Alegerea oțelurilor pentru aparate și recipiente sub presiune, ce lucrează la temperaturi de peste 400°C, se face pe baza proprietăților de fluaj la temperatura de serviciu și a nivelului acesteia, fiecare marcă de oțel termorezistent având o temperatură limită peste care nu poate fi întrebuințată, și care pentru unele oțeluri este prezentată în tabelul 1.2.

Astfel, de exemplu, la temperatura de 450°C – în cazul focarelor de supraîncălzitoare – pot fi întrebuințate atât marca de oțel 16Mo3, cât și 14MoCr10 sau 10MoCr22

În astfel de cazuri se exclud de la utilizare mărcile de oțel care conduc la grosimi prea mari ale secțiunii și, prin aceasta îngreunează schimbul de căldură și, la fel, cele care determină grosimi prea mici, care nu asigură rigiditatea necesară a utilajelor proiectate.

În plus, în cazurile în care există tendința de a folosi oțeluri înalt aliate, se recomandă ca – pentru fundamentarea cât mai corectă a deciziei ce trebuie luată în privința alegerii oțelului corespunzător – să fie făcut un calcul de eficiență bazat pe compararea economiei de metal (realizată prin ușurarea utilajului sau elementelor constructive) cu nivelul costurilor suplimentare determinate de prețul de achiziție și a costurilor de prelucrare a oțelurilor ce intră în discuție.

În numeroase cazuri, chiar în situația în care intervin, datorită condițiilor efective de lucru, la atingerea duratei de calcul (100 000 ore) materialul posedă, încă, valențe potențiale de rezistență ce permit utilizarea lui în continuare și peste această durată limită.

În astfel de cazuri, în preajma atingerii duratei de viață luată în calcul (100 000 ore) trebuie să se efectueze un ansamblu complex de încercări de laborator pe probe prelevate din elementele constructive, care au fost exploatate timp de aproape 100 000 ore.

Prin efectuarea acestor încercări și examinarea rezultatelor obținute se evaluează rezerva de rezistență de care mai dispun materialele în cauză și pe această bază se stabilește prelungirea duratei de exploatare.

Concomitent trebuie analizată și starea de ansamblu a echipamentelor, utilajelor sau instalațiilor urmărindu-se, îndeosebi, existența sau inexistența unor fisuri și/sau deformații exagerate, cauzate de fluajul oțelurilor, mai ales în zonele în care au suportat temperaturi mai ridicate decât cele de calcul sau în care există concentratori de tensiune cauzăți de forma geometrică a zonelor respective. Cum majoritatea acestor cercetări au relevat importante rezerve de rezistență a materialelor, numeroși specialiști au adoptat o nouă durată limită de dimensionare, de 200 000 ore.

După cum se observă din datele înscrise în tabelul 1.2, intervalele de temperatură și condițiile de lucru (flux termic și presiuni) se suprapun, existând domenii în care pot fi utilizate mai multe mărci de oțel.

Corpurile cilindrice cu pereți groși și dimensiuni mari din componența cazanelor de abur, reprezintă unele dintre cele mai complexe componente energetice întrucât sunt supuse unor condiții severe de funcționare (temperaturi și presiuni ridicate). Ele sunt componente neredundante (disponibilitatea agregatului depinde direct de disponibilitatea acestora), configurația lor (cu numeroase orificii și racorduri) determinând apariția în pereții acestora a unei distribuții complexe de tensiuni. Avarierea unui asemenea component poate cauza pierderi materiale importante și în același timp, poate produce accidente grave sau chiar pierderi de vieți omenești. De asemenea, aceste componente sunt deosebit de scumpe [37].

642.445  
369 E 17

În cazul tamburelor cazanelor de abur, a căror temperatură de funcționare este moderată (sub limita de fluaj), cele mai frecvente defecțiuni apar de regulă în spațiul de sub apă, sub forma unor fisuri pe suprafața interioară, dispuse radial în jurul orificiilor, având punctul de plecare muchia acestuia, fisuri care, în unele cazuri se extind și pe suprafața interioară a orificiului. Fisurile de acest tip se pot dezvolta în direcția axială, iar unindu-se între ele de-a lungul punților de legătură între orificii, conduc la situații deosebit de periculoase pentru siguranța tamburului. Cauza principală ar putea fi solicitările termo-ciclice determinate de gradientii mari de temperatură pe grosimea peretelui și șocurile termice produse în timpul exploatarei.

O altă proprietate importantă pe care trebuie să o aibă oțelurile termorezistente este stabilitatea la corodare-oxidare. În contact cu mediul de lucru și/sau cu diferiți agenți oțelurile suferă un atac chimic (ca urmare a corodare) respectiv o micșorare a grosimii de material, ceea ce implică o micșorare a rezistenței elementului în cauză. Coroziunea este periculoasă la temperaturi superioare temperaturii de 600°C, când oxidarea este accelerată și determină o rupere prematură a materialului.

În cazul temperaturilor ridicate, ruperea materialelor metalice are loc intergranular, în urma fenomenului de fluaj, un rol foarte important avându-l mărimea grăunților. Astfel, la temperaturi ridicate, metalele cu grăunți mari au caracteristici mecanice superioare celor cu grăunți fini.

Unele din cercetările anterioare, demonstrează că **oțelurile slab aliate termorezistente sunt afectate la temperaturi ridicate de câteva mecanisme, și anume are loc cățărarea dislocațiilor peste particulele precipitate**. În acest caz are loc interacțiunea atomilor dizolvați ai elementelor de aliere aflați în soluția solidă a matricei cu dislocațiile mobile (microfluaj) și deci trebuie luate măsuri de blocare a fenomenului de fluaj, de îmbunătățire a proprietăților, de modificare a valorilor reduse ale plasticității, prin aliere cu elemente care formează carburi fin dispersate.

Evitarea amorsării și/sau propagării ruperilor fragile într-o structură mecano-sudată presupune un ansamblu de măsuri constructive, tehnologice și de exploatare. În cadrul acestor măsuri, calitatea oțelului folosit este importantă, fără a juca rolul primordial.

Rezultatele statistice ale analizelor efectuate asupra unui număr mare de structuri mecano-sudate scoase din uz prin ruperi fragile și departajarea lor pe cauzele care au provocat aceste ruperi sunt prezentate în continuare. Astfel:

- **51%** din ruperile examinate s-au datorat existenței unor concentratori de tensiune (generați, în 61% din cazuri, de forma constructivă necorespunzătoare stabilită în proiecte, respectiv în 39% din cazuri de erorile tehnologice ce s-au produs în timpul execuției; în toate aceste cazuri examinate, materialul folosit nu a constituit niciodată cauza ruperii premature a structurilor examinate;
- **18%** din cazurile de ruperi fragile au fost determinate de incapacitatea metalului folosit de a prelua vârfurile accidentale de tensiune sau de a opri propagarea ruperii fragile și aceasta ca urmare a efectelor aplicării unor procese necorespunzătoare de sudare și nu a alegerii greșite a metalului folosit;
- **17%** din ruperile fragile cercetate s-au datorat tenacității scăzute a materialului folosit, deci unei alegeri greșite a acestuia;

- **14%** dintre cazurile analizate aveau la bază încărcarea excesivă a structurii, provocată de: existența unor tensiuni reziduale ridicate (9%); solicitări mecanice exterioare excesive (4%), ceea ce echivalează cu o dimensionare greșită și de tensiunile termice provocate în timpul exploatarei (1%).

Întrucât toți factorii care provoacă ruperea fragilă a structurilor mecano-sudate pot acționa simultan sau independent, ruperile fragile pot fi evitate prin luarea unor măsuri, cum ar fi:

- limitarea tensiunilor efective din elementele constructive ale structurii mecano-sudate la un nivel situat sub pragul de propagare a ruperilor fragile (50-70 N/mm<sup>2</sup>);

- limitarea aceluiași tensiuni la o valoare situată sub limita de curgere a materialului folosit, de regulă  $0,65 \sigma_c$ , și respectarea unor măsuri de precauție (în timpul execuției și al exploatarei) prin care să se asigure menținerea structurii în condițiile în care materialele din care este confecționată se comportă tenace;

- stabilirea defectelor limită ce pot fi admise în elementele ce compun structura mecano-sudată, ținând seama de natura și dimensiunile, poziția defectelor în secțiunea materialului și interacțiunea lor cu cele învecinate, starea de tensiune a structurii, precum și proprietățile de rezistență, ductilitate și tenacitate ale oțelului folosit.

**Concluzia:** la alegerea materialului pentru realizarea unui element de rezistență, un rol hotărâtor îl are modul de comportare al acestuia, în diferite condiții de solicitare și de mediu. Un material corespunzător trebuie să aibă o rezistență ridicată și să prezinte bune calități de deformabilitate, adică să fie tenace. Această alegere se face numai pe baza cunoașterii caracteristicilor de rezistență și deformabilitate.

Pentru ca alegerea materialului să fie cât mai corectă trebuie ca toate proprietățile mecanice și fizice să fie cunoscute atât pentru temperatura normală cât și pentru cea ridicată. Materialul ales pentru conducte de abur supraîncălzit, de înaltă și medie presiune, este supus pe lângă fenomenul de fluaj și oxidare și la fenomenul de îmbătrânire, care este foarte periculos și care de altfel impune și durata de viață a unui element ce lucrează în aceste condiții.

### 1.3. Metode de apreciere a comportării oțelurilor

Cunoașterea caracteristicilor mecanice, în special de rezistență și deformabilitate, a oțelurilor (și a celor termorezistente) în diferite condiții, este posibilă numai prin executarea unor încercări experimentale corespunzătoare. Rezultatele încercărilor trebuie să ducă la concluzii cât mai clare cu privire la comportarea oțelului respectiv, în diferite condiții de solicitare.

În tabelele 1.3 respectiv 1.4 se prezintă principalele încercări mecanice și tehnologice pe baza cărora se poate aprecia comportarea unui material, [135].

Comportarea materialului epruvetei la solicitarea la tracțiune, se poate evalua din **curba caracteristică a materialului** (convențională sau reală) care exprimă legătura dintre tensiunea normală  $\sigma$  și deformația specifică (alungirea)  $\varepsilon$  (A).

În fig.1.3 se prezintă forma curbei caracteristice la tracțiune  $\sigma$ - $\varepsilon$  pentru un oțel termorezistent, din care sunt confecționate conductele de abur, [122].

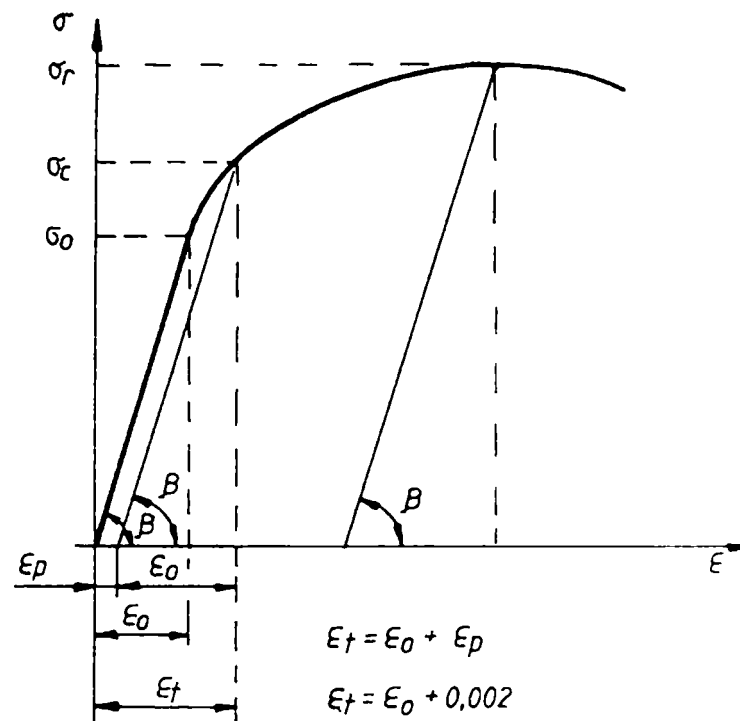


Fig.1.3. Forma curbei caracteristice la tracțiune a unui oțel termorezistent

În fig.1.4 s-au reprezentat, în mod schematic, diagramele de variație ale principalelor caracteristici de rezistență (rezistența la rupere  $R_m$ , limita de curgere  $R_{p0,2}$ , alungirea procentuală după rupere  $A$ , coeficientul de gătuire  $Z$ ) în funcție de temperatură pentru un oțel carbon. Cu excepția intervalului  $150...300^{\circ}\text{C}$  rezistența la rupere și limita de curgere se micșorează, iar alungirea procentuală după rupere și coeficientul de gătuire cresc cu creșterea temperaturii.

Pentru a obține rezultate comparabile și reproductibile, încercarea la tracțiune până la rupere trebuie executată astfel încât rezistența de rupere să corespundă unei anumite durate de încercare (de exemplu 20 minute). La aceasta se ajunge prin interpolarea grafică a rezultatelor obținute din încercarea a 3...5 epruvete cu durate diferite până la rupere.

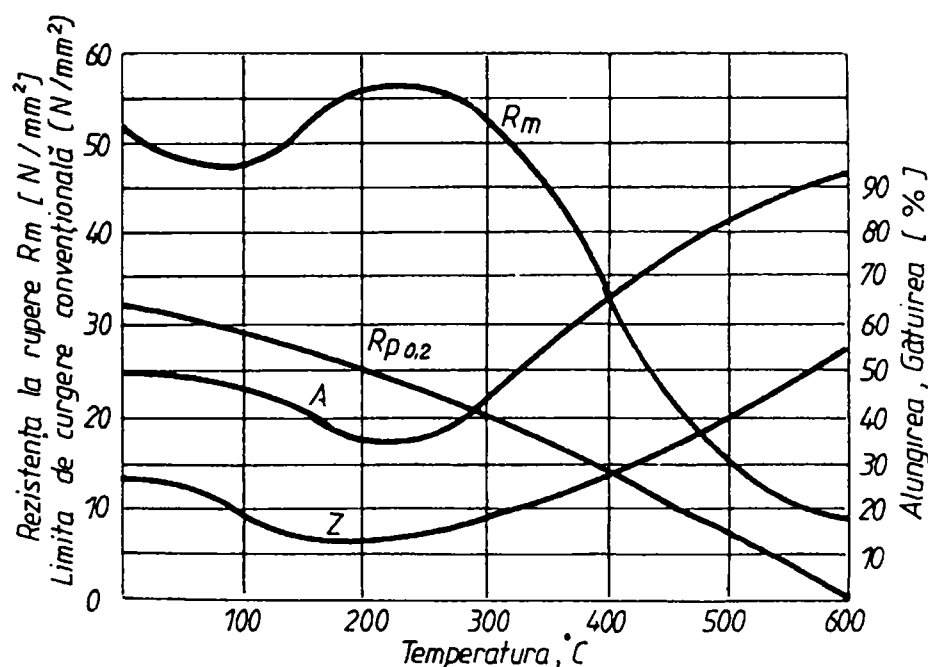


Fig.1.4. Variația cu temperatura a unor caracteristici mecanice

**Limita de curgere la cald** a unui oțel este cea mai importantă caracteristică pentru calculul elementelor de rezistență solicitate static la temperaturi ridicate. Aceste temperaturi sunt



## Clasificarea încercărilor mecanice

Tabelul 1.3

SOLICITAREA		Nr. de solicitări	Acțiunea în timp		INCERCAREA		Caracteristici determinate
Tipul	Modul		Variația	Durata	Domeniul de aplicare	Normativul*	
0	1	2	3	4	5	6	7
ÎNȚINDERE	Statică	Unică	Progresivă	Scurtă	Tracțiune	SR EN 10002-1:1994	Caracteristicile din condiția de rezistență respectiv rigiditate
					Tracțiune la temperaturi ridicate	SR EN 10002-5:1995	
					Tracțiune la temperaturi scăzute	STAS 6834-75	
					Tracțiune pe direcția grosimii	STAS 11417-86	
	Statică	Unică	Constantă	Lungă	Tracțiune la cabluri	STAS 2172-84	Rezistența la tracțiune și alungirea procentuală după rupere
					Tracțiune la fonte cenușii	STAS 9644-87	
	Dinamică	Unică	Regresivă	Lungă	Fluajul oțelurilor la temperaturi ridicate fără întreruperea sarcinii	STAS 6596-81	Rezistența la tracțiune Alungirea la fluaj; limita de fluaj convențională (tehnică) și limita de fluaj statică
					Ruperea prin fluaj la temperaturi ridicate	STAS 8894/1-80	
	Dinamică	Repetate	Prin șoc	Scurtă	Relaxarea sârmelor și produselor din sârmă pentru beton precomprimat	STAS 7209-87	Relaxarea standard Energia de rupere și limita de curgere
					Tracțiune dinamică	-	
Oscilantă					STAS 8027-78		
Oboseală cu sarcini axiale							
Statică	Unică	Progresivă	Scurtă	Compreziune	STAS 1552-78	Caracteristicile mecanice din condiția de rezistență respectiv condiția de rigiditate	
Dinamică	Repetate	Oscilantă	Scurtă sau Lungă	Oboseală prin încovoiere rotativă	STAS 1660-80	Rezistența la încovoiere și săgeata la încovoiere	
					STAS EN 10045-1:1993		
					STAS 6774-79		
					STAS 9633-74		
Statică	Unică	Progresivă	Scurtă	Oboseală prin șoc a fontelor	STAS 5878-77	Rezistența la șocuri repetate Durabilitatea și limita de oboseală	
Dinamică	Repetate	Oscilantă	Scurtă sau Lungă	Oboseală prin șoc a fontelor	STAS 6774-79	Energia absorbită prin rupere KV sau KV	
Dinamică	Repetate	Oscilantă	Scurtă sau Lungă	Oboseală prin șocuri repetate	STAS 9633-74	Rezistența la șocuri repetate Durabilitatea și limita de oboseală	

Tabloul 1.3 (continuare)

Clasificarea încercărilor mecanice

0	1	2	3	4	5	6	7
RĂSUCIRE	Statică	Unică	Progresivă Prin șoc	Scurtă	Răsucire	-	Caracteristicile de rezistență respectiv rigiditate
	Dinamică	Repetate	Oscilantă	Scurtă sau Lungă	Răsucire dinamică	-	Energia de rupere
FORFECARE	Statică	Unică	Progresivă	Scurtă	Oboseală prin răsucire	STAS 11399-80	Durabilitatea și limita la oboseală
					Forfecarea pură Forfecarea	STAS 7926-67 STAS 7927-67	Rezistența la sofocare
PRESIUNE DE CONTACT	Statică	Unică	Progresivă	Scurtă	Strivire	-	Rezistența la strivire
					Duritate Brinell	SR EN 10003-1:1997	Duritatea Brinell
					Duritate Rockwell	STAS 493-91	Duritatea Rockwell scările A; B; C; D; E; F; G; H și K
					Duritate superficială Rockwell	STAS 8525-84	Duritatea Rockwell, scările N și T
					Duritate Rockwell pe suprafețe curbe convexe	STAS 8251-82	Duritatea Rockwell, scările A, B; C; F; G și superficială N și T
					Duritate Vickers	STAS 492/1-85 STAS 492/2-85	Microduritate Vickers
					HV 5...HV 100; HV 02...HV 3	STAS 7057-78	Duritatea Knoop
					Microduritate Vickers	STAS 12580-87	Duritate prin zgâriere
					Duritate prin zgâriere	STAS 10251-80	Duritate de durată
					Duritate de durată	STAS 8315-81	Duritate Shore
SOLICITĂRI	Dinamică	Repetate	Prin șoc	Lungă Scurtă sau Lungă	Oboseală de contact	-	Durabilitatea
			Oscilantă		Tenacitate la rupere sau în condițiile stării plane de deformare; în condițiile stării plane de deformare;	STAS 9780-84	Tenacitatea la rupere $K_{IC}$ Deschiderea critică la vârful fisurii (COD) Tenacitatea la rupere $J_{IC}$
	Statică	Unică	Progresivă	Scurtă	Trașiune (excentric) sau încovoiere pe epruvete cu fisură produsă prin oboseală	-	Dependența tenacității la rupere ( $K_{IC}$ , COD sau $J_{IC}$ ) de extindere stabilă a fisurii

\*Normativele menționate sunt cele din

Tabelul 1.4

SOLICITAREA		ÎNCERCAREA		Caracteristici stabilite
		Tipul	Numărul de solicitări	
Compresione	Viteza de solicitare Statică sau dinamică	Unică Repetate Unică	Domeniul de aplicare	STAS 2233-80
			Refulare	SR ISO 7438:1993 STAS 2080-67
			Îndoire (simplă)	STAS 7737-90
Încovoiere	Statică	Repetate	Îndoire dublă la table și benzi	SR ISO 7801:1993
			Îndoire alternantă a tablelor și benzilor	STAS 6622-90
			Îndoire alternantă a sârmelor	STAS 1750-90
			Înfășurarea sârmelor de oțel	SR ISO 9649:1996
Răsucire	Statică	Unică Repetate	Răsucire la sârme	SR EN 10232:1996
			Răsucirea alternantă a sârmelor	SR EN 10233:1996
Solicitări compuse	Statică	Unică	Îndoirea tronsonului (tevi)	SR EN 10234:1996
			Aplatizare (tevi)	SR EN 10235:1996
			Lărgire (tevi)	SR EN 10236:1996
			Răsfângere (tevi)	SR EN 10237:1996
			Lărgire a inelului (tevi)	SR 1111:1995
			Tracțiune pe inel (tevi)	STAS 2112-86
			Presiune hidrolică (tevi)	STAS 7569-66
			Ambutisare după metoda Erichsen	
			Ambutisare după metoda Erichsen pentru benzi cu lățimea sub 90 mm	
Tăiere	Statică	Unică Repetate	Forfecare	
			Prelucrabilitate	
Presiune de contact	Dinamică	Repetate	Uzare prin abraziune	STAS 9639-81
			Îndoirea epruvetelor încărcate cu sudură longitudinală	STAS 7748-85
Solicitări diverse	Statică	Unică Repetate Unică Repetate	Fisurare la cald a metalului depus prin sudare	STAS 10221-83
			Fisurare la rece a îmbinărilor sudate	STAS 10882-84
			Încovoierea prin șoc pe epruvete încărcate cu sudură	STAS 9261-84
			Încovoiere prin șoc vertical	STAS 11152-78

\*Normativele menționate sunt cele din SR EN ISO 7438:1993, SR EN ISO 7438:1993, SR EN ISO 7438:1993.

determinate de temperatura de regim a piesei executată din respectivul oțel, și ele pot fi de exemplu:  $350^{\circ}\text{C}$  la elementele de rezistență din oțel carbon și  $400\dots450^{\circ}\text{C}$  la cele din oțel aliat.

La oțelurile cu conținut redus de carbon, **limita de curgere aparentă** la temperaturi sub  $300^{\circ}\text{C}$  se determină ca și la temperatura ambiantă, stabilindu-se valoarea sarcinii indicată pe cadranul dinamometrului mașinii de încercat, în momentul primei opriri sau coborâri ale acului indicator, care se raportează la secțiunea transversală inițială  $S_0$  a epruvetei.

În mod similar se determină și **limita de curgere convențională**, care se va nota  $R_{p0,2/T}$ , unde  $T$  este temperatura la care s-a făcut încercarea. Pe baza rezultatelor măsurătorilor se construiește o curbă pe care se trasează o paralelă cu porțiunea cvasiliniară a curbei, la o distanță egală cu deformația specifică remanentă prescrisă (0,2%). Ordonata punctului de intersecție cu curba reprezintă **limita de curgere tehnică**.

Pentru obținerea unor rezultate comparabile, normele corespunzătoare acestor încercări la tracțiune de scurtă durată prescriu respectarea următoarelor condiții suplimentare față de cele stabilite pentru temperatura ambiantă:

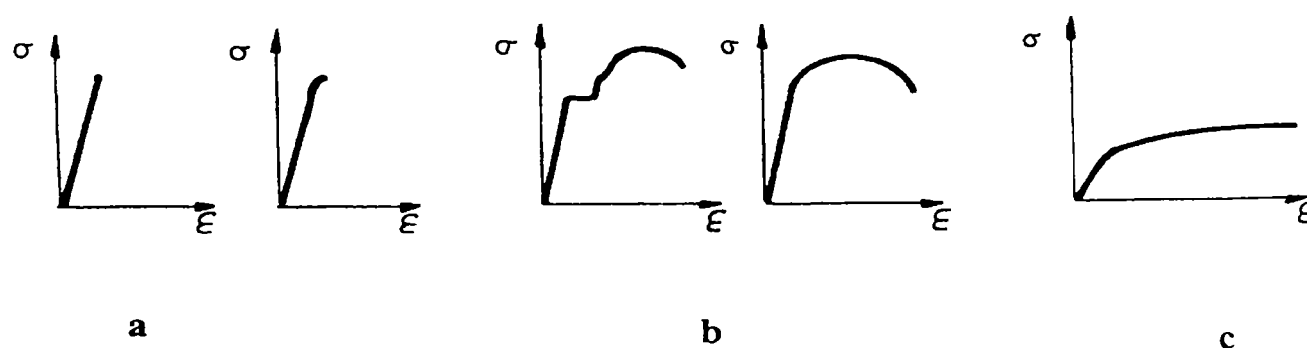
- sarcina inițială de încărcare va fi egală cu cel mult 10% din sarcina corespunzătoare  $R_{p0,2}$  și se aplică numai după ce s-a atins temperatura impusă; apoi se reglează indicația de zero a extensometrului și se urmărește variația în timp a acestei indicații;

- în continuare încărcarea epruvetei se face după ce se constată că temperatura ei rămâne constantă cel puțin 10 minute, timp în care extensometrul trebuie să indice aceeași valoare a deformației. Se aplică lent, continuu și fără șocuri, cu o viteză de încercare de  $2\dots8 \text{ daN/mm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ .

Determinarea limitei de curgere convenționale (tehnice) se poate face prin metoda cu descărcări repetate, prin metoda fără descărcări sau metoda prin încărcări continue. În toate cazurile, este importantă respectarea vitezei de încărcare prescrise.

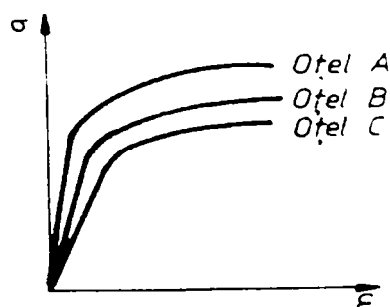
La metoda fără descărcare, epruveta se încarcă cu un tensiune egală cu maximum 10% din valoarea probabilă a limitei de curgere tehnică și se reglează extensometrul. Încărcarea se efectuează în trepte de cel mult  $30 \text{ N/mm}^2$ , cu viteză uniformă, măsurându-se alungirile respective. Durata încărcării de la o treaptă la alta va trebui să fie mai lungă decât durata de menținere a sarcinii pe o anumită treaptă în vederea efectuării măsurătorilor.

Valoarea limitei de curgere scade în măsură însemnată cu descreșterea vitezei de încărcare (sau de deformație) a epruvetei. Această scădere este în general, cu atât mai pronunțată cu cât temperatura de încercare este mai ridicată.

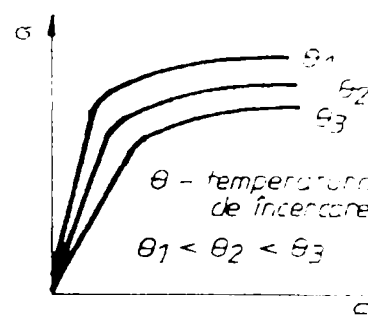


**Fig.1.5. Forma diagramelor caracteristice pentru diverse materiale:  
a- fragile; b-ductile; c-maleabile**

**Diagrama caracteristică la tracțiune** poate fi utilizată pentru aprecierea comportării unui oțel, deoarece forma ei (fig.1.5) dă indicii cu privire la caracterul ductil sau fragil, [122]. Este recomandat ca diagrama caracteristică la tracțiune să fie utilizată pentru aprecierea comportării în cazul fie a mai multor mărci de oțel încercate în aceleași condiții (fig 1.5.a), fie în cazul unui singur oțel încercat în condiții diferite (fig.1.5.b).



**Fig.1.6.a. Diagrame caracteristice pentru trei oțeluri diferite, încercate în aceleași condiții**



**Fig.1.6.b. Diagrame caracteristice pentru același oțel, încercate la temperaturi diferite**

**Alungirea procentuală după rupere și coeficientul de gătuire**, determinate conform [150], [151] dau informații asupra caracterului ductil sau fragil al ruperii oțelurilor.

Oțelurile ductile prezintă valori ridicate pentru  $A_n$  și  $Z$ , iar cele fragile, prezintă valori scăzute. Numai pe baza alungirii și găturii la rupere nu se recomandă a se trage concluzii cu privire la comportarea oțelului studiat.

**Limita de curgere aparentă sau convențională** ( $\sigma_c$ ,  $R_{p0,2}$ ) și **rezistența la rupere** ( $\sigma_r$ ,  $R_m$ ) sunt caracteristici mecanice de bază pentru oțeluri. În țara noastră aceste caracteristici sunt utilizate frecvent la aprecierea comportării mecanice a oțelurilor.

Experimental, s-a constatat că oțelurile cu limită de curgere și rezistență la rupere ridicate, au tendință spre rupere fragilă. Dacă raportul: limită de curgere/rezistență la rupere tinde spre 1, această tendință este și mai pronunțată.

**Aspectul suprafeței de rupere** obținut la încercarea de tracțiune, dă cele mai complete informații cu privire la comportarea ductilă sau fragilă la rupere a oțelului. Astfel, la oțelurile ductile maleabile, întreaga suprafață de separație este înclinată la  $45^0$  față de direcția de solicitare. La materialele fragile, suprafața de separație este transversală (normală la direcția de solicitare), iar la materialele ductile tenace, suprafața de rupere prezintă un aspect mixt: rupere prin forfecare și prin separație transversală (clivaj). Mărimea uneia din cele două suprafețe, comparativ cu cealaltă, oferă informații despre tendința mai mică sau mai mare spre un anumit tip de rupere: ductilă sau fragilă, sau asupra tenacității oțelului, [122], fig.1.7.

**Alungirea și gătuirea la rupere, limita de curgere, rezistența la rupere, aspectul suprafeței de rupere, sunt mărimi care se determină în urma unor încercări statice de tracțiune.**

În literatura de specialitate [53], sunt date diverse forme ale diagramelor caracteristice obținute la încercările oțelurilor, la diferite temperaturi. **Concluzia studiilor** este că zona de curgere, caracteristica unora dintre oțeluri la temperatura ambiantă, se micșorează cu creșterea temperaturii ajungând să dispară complet la temperaturi peste  $300^0\text{C}$ . La temperaturi peste  $300^0\text{C}$ , datorită dispariției zonei de curgere, în locul limitei de curgere (aparentă)  $\sigma_c$  se determină limita de

curgere tehnică  $\sigma_{0,2}$ , așa cum se procedează în cazul oțelurilor la care zona de cugere lipsește chiar și la temperatura ambiantă.

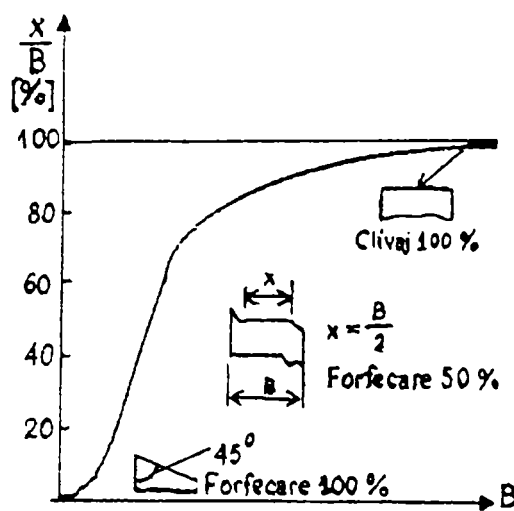


Fig.1.7.a. Definierea tipului de rupere pe baza mărimii suprafeței de rupere



Fig.1.7.b. Rupere ductilă



Fig.1.7.c. Rupere fragilă

În fig.1.8 se prezintă diagramele  $\sigma - \epsilon$ , obținute pentru un oțel moale încercat la diferite temperaturi cu aceeași viteză de încărcare constantă, iar în fig.1.9, diagramele înregistrate la temperatura de  $250^{\circ}\text{C}$ , cu viteze de încărcare constante, dar de valori diferite.

#### Reziliența (KCU), energia la rupere (KV) și contracția transversală specifică (T)

Încercarea clasică de încovoierie prin șoc pe epruvete cu creștătură (tip Charpy) [156] este cea mai răspândită metodă de apreciere a tendinței de rupere a oțelurilor, și ea se utilizează pentru aprecierea tenacității oțelurilor.

În cazul utilizării epruvetelor cu creștătură, după ruperea acestora se determină cristalinitatea (Cr), fibrozitatea (Fb) [157], precum și contracția specifică.

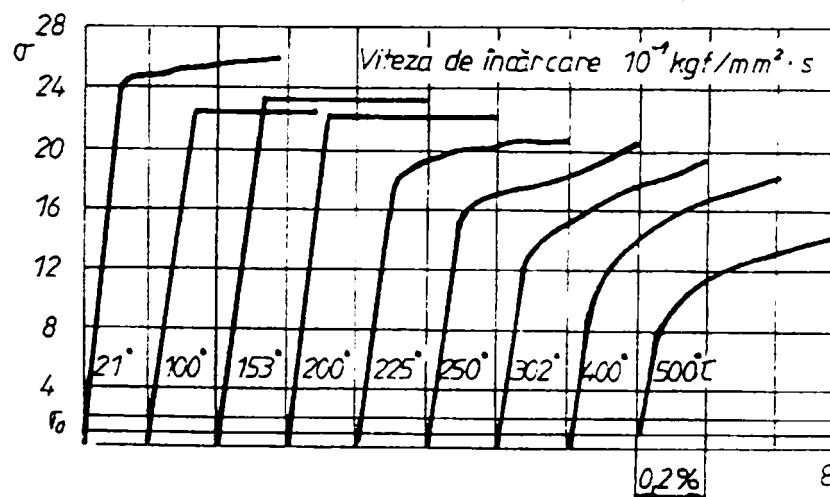
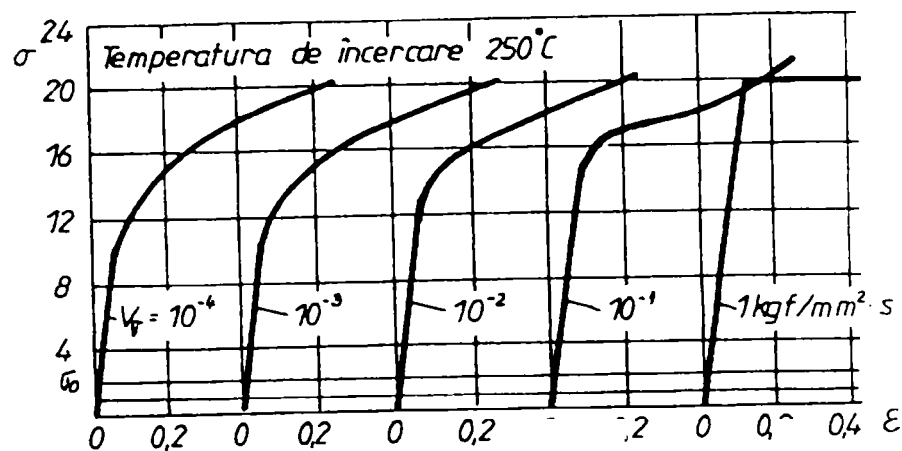


Fig.1.8. Diagramele  $\sigma - \epsilon$ , pentru un oțel moale, funcție de temperatură și viteza de încărcare

Aprecierea comportării oțelurilor la ruperea prin șoc se face prin valorile obținute pentru reziliență, energia de rupere, cristalinitate, fibrozitate, contracția transversală specifică [158].

Oțelurile care prezintă o reziliență redusă, respectiv o valoare scăzută pentru energia de rupere, sunt predispuse ruperilor fragile. În funcție de cristalinitate și fibrozitate, în ultimă instanță de mărimea suprafețelor rupte ductil sau fragil (prin forfecare sau clivaj) din suprafața totală de rupere, se apreciază caracterul ductil sau fragil al ruperii. Oțelurile care prezintă o fragilitate ridicată, au contracția transversală specifică redusă, iar cele ductile, o contracție transversală specifică ridicată.



**Fig.1.9. Diagramele  $\sigma - \epsilon$ , pentru un oțel moale, funcție de temperatură, cu viteze de încărcare constantă**

De cele mai multe ori, pentru aprecierea ductilității, fragilității sau tenacității oțelurilor, rezultatele obținute prin încercări pe epruvete cu creștătură, se corelează cu cele obținute pe epruvete fără creștătură, sau cu cele obținute în regim static de solicitare.

**Încercările dinamice**, față de cele statice, prin caracteristicile care se determină, oferă posibilitatea unor *aprecieri mai corecte asupra comportării ductile sau fragile în procesul de rupere al oțelurilor*.

Ușurința determinărilor caracteristicilor mecanice în regim dinamic și faptul că *în unele cazuri există o bună concordanță cu comportarea reală a oțelurilor*, au făcut ca aceste încercări, efectuate pe epruvete fără creștătură sau cu creștătură, să fie astăzi utilizate în cercetarea experimentală.

**Încercarea de tracțiune dinamică** are drept scop determinarea caracteristicilor mecanice dinamice ale oțelurilor, în condițiile unor viteze de deformare mai mari decât în condițiile statice de solicitare. Dintre caracteristicile dinamice se amintesc: limita de proporționalitate, limita de curgere, rezistența la rupere, alungirea și gătuirea la rupere, modificarea suprafeței de rupere, energia de rupere.

**Diagrama la tracțiune dinamică.** Pe baza diagramei temperatură-coeficient de concentrare, determinată la încercarea de tracțiune dinamică, pe piese cu concentrator de tensiune, se poate aprecia tendința de rupere fragilă a oțelurilor. Caracterizarea gradului de fragilizare al oțelului se face pe baza lucrului mecanic specific de contracție la rupere, obținut dintr-o curbă limită temperatură-coeficient de contracție. Lucrul mecanic specific de contracție la rupere este o caracteristică energetică, care depinde de material, starea de tensiune, temperatură și viteză de

deformație, ceea ce-i conferă caracterul unei constante de material.

### **Temperatura de tranziție ductil-fragil**

Cele mai multe din metodele de investigare a comportării ductile sau fragile în procesul de rupere al oțelurilor, preconizează determinarea unei temperaturi critice de fragilizare, denumită *temperatură de tranziție*.

Temperatura de tranziție este definită pe baza mai multor caracteristici mecanice. Comportarea la rupere se face pe baza unor valori ale acestor caracteristici mecanice pe care oțelul le mai posedă la acea temperatură. O definiție precizează că *temperatura de tranziție este temperatura la care limita de curgere devine egală cu rezistența la rupere*, moment ce corespunde unei instabilități în modul de comportare al ruperii. De asemenea, temperatura de tranziție este temperatura de ductilitate nulă a unui material.

Cercetările de până acum arată că rezultatele depind de metoda de determinare folosită și că fiecare din metode conduce la o altă valoare a temperaturii de tranziție. Cu toate acestea, temperatura de tranziție este mult folosită pentru aprecierea comportării oțelurilor în procesul de rupere.

**Încercarea durtății la temperaturi ridicate** a căpătat de asemenea tot mai multă importanță, deoarece elementele de rezistență din construcția cazanelor, turbinelor cu gaz și abur, reactoarelor etc. lucrează la temperaturi ridicate timp îndelungat, fiind solicitate de sarcini mecanice considerabile. Încercarea durtății la temperatură ridicată în acest caz prezintă avantajul față de încercările la tracțiune, în sensul că se execută rapid și cu aparatură mult mai simplă.

### **1.4. Concluzii și contribuții personale**

Prin analiza elementelor de rezistență solicitate la temperaturi ridicate în procesul de exploatare, efectuată în cadrul acestui capitol, s-au pus în evidență categoriile de oțeluri frecvent utilizate în construcția cazanelor de abur existente.

În cadrul acestui capitol **contribuțiile personale** constau în:

- analiza condițiilor reale de lucru a elementelor de rezistență (conducte de abur) la temperaturi ridicate, într-un cazan de abur dintr-un combinat siderurgic;
- analiza riguroasă a caracteristicilor mecanice ale acestor oțeluri privind modul de alegere a unei mărci de oțel pentru acest domeniu de utilizare;
- analiza factorilor care pot determina modificări structurale la aceste oțeluri în timpul exploatării;
- prezentarea succintă a metodelor de apreciere a comportării unui oțel.



## CAPITOLUL 2

### STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR ȘI TEHNICILOR EXPERIMENTALE PRIVIND COMPORTAREA OȚELURILOR LA TEMPERATURI RIDICATE

#### 2.1. Generalități

Concluzia studiilor efectuate până la ora actuală și prezentate în literatura de specialitate, [1], [4], [9], [11], [17], [20], [35], [36], [45], [53], [54], [57], [61], [63], [76], [77], [85], [87], [94], [105], [121], [124] este aceea că *“numeroase aspecte ale comportării materialelor, în condiții reale de exploatare rămân încă în afara cunoștințelor teoretice și ele nu pot fi studiate cu succes decât prin mijloace experimentale, iar orice studiu al comportării materialelor, în condiții bine precizate, este incomplet fără întregirea cunoștințelor teoretice cu date experimentale, obținute prin cercetări de laborator”*.

Deoarece anumite materiale metalice și nemetalice, utilizate pentru organe de mașini sau elemente de rezistență, lucrează în condiții de **temperaturi ridicate** sau **temperaturi înalte**, 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 internaționale. Nu toate tipurile de încercări sunt 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 condiții de temperatură ridicată sunt: industria siderurgică, industria energetică, termoenergetică, industria nucleară, etc., care reprezintă ramuri de vârf ale industriei.

Încercările mecanice se execută cu aceleași mașini universale de încercat, pe care se fac încercări la temperatură ambiantă, la care se atașează cuptoare, incinte sau diverse dispozitive. Acestea sunt utilizate pentru încălzirea epruvetelor (probelor) și menținerea lor la temperatura dorită pe toată durata efectuării încercării.

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

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.

Încercările mecanice, 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 standardelor de produs, respectiv a "Caietelor de sarcini" stabilite între părți (producătorul de material și beneficiarul acestuia).

În laboratoarele uzinale, marea majoritate a încercărilor mecanice de materiale se execută la **temperatura ambiantă** care este considerată cuprinsă între  $10^{\circ}\text{C}$  și  $35^{\circ}\text{C}$  în cazul general, respectiv pentru încercările efectuate în condiții controlate trebuie să fie de  $(23 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ , iar pentru unele materiale este necesară efectuarea încercărilor mecanice la temperaturi mai mari decât temperatura ambiantă - **încercări la temperaturi ridicate**.

Cea mai mare parte a încercărilor mecanice la temperaturi ridicate se fac pe epruvete din oțel, deoarece piesele de mașină care sunt solicitate timp îndelungat la temperaturi ridicate sunt confecționate aproape exclusiv din oțel de diferite calități.

## 2.2. Tehnici experimentale de încercare a oțelurilor la temperaturi ridicate

Încercările mecanice de rezistență la temperaturi ridicate, în funcție de durata de acționare a sarcinii, se împart în două grupe [92]:

- **încercări statice de scurtă durată** - la care încercarea se face similar cu încercarea statică la temperatura ambiantă, dar după atingerea temperaturii de încercare impuse;
- **încercări statice de lungă durată** la care epruveta încălzită se încarcă cu o anumită sarcină, constantă sau variabilă, pentru a se putea stabili influența combinată a temperaturii ridicate și duratei lungi de încărcare asupra caracteristicilor de rezistență și de deformabilitate a oțelului respectiv.

**În cadrul acestei lucrări ne vom opri doar asupra încercărilor statice de scurtă durată**, cele de lungă durată fiind frecvent analizate în alte lucrări de specialitate, [4], [17], [36], [57], [77], [78], [85], [87], [93], [94], [99].

În cadrul *încercărilor statice de scurtă durată*, încercarea de bază, executată în laboratoarele uzinale pentru domeniul de temperaturi ridicate, este încercarea la tracțiune, [151], care permite evidențierea destul de corectă a influenței temperaturii și duratei de aplicare a sarcinii asupra comportării oțelului, iar la cererea beneficiarului se pot efectua și *încercarea la răsucire*, *încercarea de duritate* respectiv *încercarea la încovoiere prin șoc*.

*Încercările statice de lungă durată* s-au impus ca urmare a constatărilor experimentale care au arătat că procesul de deformare al unui element de rezistență încărcat static cu o sarcină inferioară chiar limitei de elasticitate, nu se termină la sfârșitul perioadei de încărcare ci continuă și pe durata menținerii constante a sarcinii. Fenomenul de deformare lentă și continuă a materialelor sub acțiunea unor sarcini constante se numește *fluaj* sau *curgere lentă*, el fiind influențat de următoarele mărimi: timp, tensiune, lungire specifică și temperatură. Efectuarea de încercări în care să se realizeze variația simultană a celor trei parametri, în funcție de timp, ar conduce la rezultate a căror interpretare și utilizare practică este deosebit de dificilă, iar ca urmare au fost puse la punct metodologii de încercare care urmăresc determinarea caracteristicilor mecanice funcție de durata solicitării, menținându-se constanți câte doi dintre cei trei parametri menționați.

După modul de alegere a mărimii fizice, care variază în funcție de timp, se deosebesc trei metode de încercare statică de lungă durată:

**Încercarea de rupere prin fluaj**, la care se mențin constante temperatura și sarcina de încărcare pe toată durata încercării, și se măsoară alungirea de rupere la fluaj sau se stabilește durata până la rupere.

**Încercarea de relaxare a tensiunilor**, la care se mențin constante temperatura și o deformație inițială, și se determină scăderea tensiunii în timp.

**Încercarea de autostabilizare termică (sau dilatometrică)**, la care se mențin constante, pe toată durata încercării, tensiunea și o deformație inițială, și se determină scăderea temperaturii în funcție de timp.

Primele două metode – metode izoterme - sunt uzuale în încercările de durată, prima fiind cel mai frecvent utilizată. Cu ajutorul lor se stabilesc caracteristicile de rezistență necesare în practica de proiectare a instalațiilor care lucrează la temperaturi ridicate. Cea de-a treia este folosită numai în cazurile efectuării unor cercetări cu caracter științific.

### 2.2.1. Tehnici experimentale pentru încercarea la tracțiune de scurtă durată

Încercarea la tracțiune în domeniul temperaturilor ridicate este reglementată prin **SR EN 10002-5/1995 Materiale metalice. Încercarea la tracțiune. Partea 5: Metoda de încercare la temperatură ridicată**, și conform lui, constă în încălzirea epruvetei la temperatura de încercare specificată în standardul de produs și menținerea apoi la această temperatură, în anumite limite prescrise, pe toată durata încercării, urmată de aplicarea lentă a unei sarcini progresive de tracțiune, în direcția axei longitudinale a epruvetei, în vederea determinării anumitor caracteristici mecanice. Deci, ca și principiu încercarea se efectuează în același mod ca și încercarea la temperatura ambiantă. Normativul nu prevede un anumit timp de încălzire și menținere ci prevede doar că “epruveta trebuie încălzită, într-un dispozitiv de încălzire, la temperatura specificată și menținută apoi cel puțin 10 minute înainte de încărcare”. Dispozitivul trebuie astfel conceput încât epruveta să poată fi încălzită la temperatura specificată iar abaterile admisibile între temperatura specificată și cea indicată pot fi:

$\pm 3^{\circ}\text{C}$  – pentru temperaturi de încercare mai mici de  $600^{\circ}\text{C}$ ;

$\pm 4^{\circ}\text{C}$  – pentru temperaturi de încercare cuprinse între  $600^{\circ}\text{C} \dots 800^{\circ}\text{C}$ ;

$\pm 5^{\circ}\text{C}$  – pentru temperaturi de încercare cuprinse între  $800^{\circ}\text{C} \dots 1000^{\circ}\text{C}$ .

Mașina de încercat la tracțiune trebuie să îndeplinească toate condițiile specificate în **STAS 1510-80**.

Încercarea la tracțiune mono-axială 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 mono-axială 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 limită de tensiune).

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

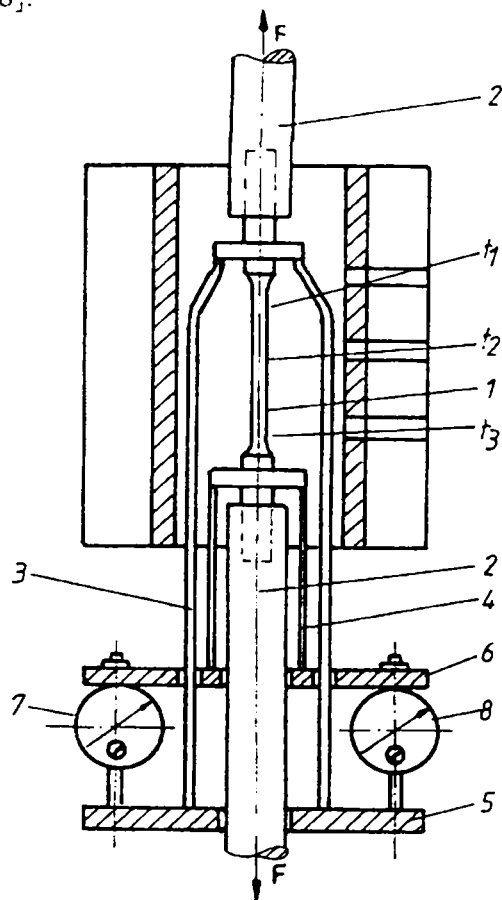
- prin măsurarea creșterii distanței dintre două repere marcate pe porțiunea calibrată a epruvetei (lungimea inițială între repere  $L_0$  respectiv lungimea ultimă între repere  $L_u$ ) utilizând și curba numită **caracteristica epruvetei** [ $F = f(\Delta L)$ ] trasată pe sistemul de înregistrare a 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.

### 2.2.1.1. Dispozitiv de încălzire a epruvetelor și măsurare a deformațiilor

Mașinile clasice de încercat la tracțiune prezintă dezavantajul unor viteze de deformare reduse față de cele ale utilajelor de prelucrare a metalelor și aliajelor din industrie. Aceasta a determinat utilizarea unor mașini de încercat cu viteză de lucru mare, specifice încercărilor la cald, [88].

001.



**Fig.2.1. Schema de principiu a încercării de tracțiune la cald**

La montajul din fig.2.1, [92], epruveta (1) situată pe axa cuptorului, se înșurubează în dispozitivele de prindere (2), fixate în fălcile unei mașini de tracțiune. Extensometrul folosit la măsurarea alungirii epruvetei constă din două perechi de tije (3) și (4), care sunt fixate la un capăt de epruvetă, iar la celălalt sunt prelungite în afara cuptorului și legate două câte două de riglele orizontale (5) și (6). Odată cu alungirea epruvetei perechile de tije (3) și (4), inclusiv riglele (5) și (6), se deplasează una în raport cu cealaltă, iar această deplasare se măsoară cu comparatoarele (7) și (8) montate între riglele (5) și (6).

La acest montaj epruveta este încălzită de aerul din mufa cuptorului. Pentru eliminarea curenților de aer și a pierderilor mari de căldură, cât și pentru asigurarea unei încălziri uniforme a epruvetei pe toată lungimea ei calibrată, capetele mufei cuptorului se închid cu rondel de amoniac și plăci de azbest, lăsând doar trecerea tijelor de tracțiune, a tijelor extensometrului și a tubului termocuplelor. Mufa peste care se înfășoară sârma

de rezistență este căptușită spre exterior cu un material termoizolant. Temperatura epruvetei se măsoară de preferință cu trei termocuple dispuse cu lipitura caldă la distanțe egale pe lungimea calibrată. Dacă din măsurătorile de verificare se observă că după trecerea unui anumit timp de egalizare variațiile de temperatură în lungul epruvetei se mențin în limitele toleranțelor prescrise de standard, atunci încercările de serie se pot executa utilizând pentru măsurători numai un singur termocuplu dispus la mijlocul epruvetei.

Se precizează că încălzirea epruvetei la temperatura de încercare specificată și menținerea ei la o valoare constantă de-a lungul lungimii calibrate trebuie asigurată pe toată durata încercării, astfel încât abaterea să nu depășească  $\pm 3^{\circ}$  pentru temperaturi până la  $600^{\circ}\text{C}$  și  $\pm 4^{\circ}$  pentru temperaturi până la  $800^{\circ}\text{C}$ .

Dacă nu sunt impuse unele valori pentru durata de încălzire, atunci se recomandă:  $t_{\max} = 60$  minute pentru atingerea temperaturii prescrise și  $t_{\min} = 10$  minute pentru uniformizarea încălzirii.

Sarcina se aplică lent și progresiv, până la atingerea limitei de curgere inferioare sau a limitei de curgere convențională.

Viteza de deformare a epruvetei trebuie să fie  $V_{\Delta l} = (1 \dots 3) \cdot 10^{-1} \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ .

Pentru măsurători de deformații cu precizie ridicată, necesare de exemplu pentru determinarea modulului de elasticitate la temperaturi ridicate, se utilizează extensometrul Martens cu oglinzi. Când încercarea la tracțiune se execută până la ruperea epruvetei, pe lungimea calibrată a acesteia se marchează, în prealabil, niște repere, iar montarea ei în cuptor se face fără extensometru.

### 2.2.1.2. Cuptorul mașinii Amsler-Wolpert pentru încercarea la tracțiune

Mașina pentru încercarea de tracțiune la cald tip Wolpert-Amsler, aflată în dotarea Laboratorului de Încercări Mecanice de la S.C."Siderurgica" S.A.Hunedoara, are în dotare un *cuptor electric vertical*, care este conectat la un sistem de măsurare a temperaturii, așa cum se observă în fig.2.2.

Pentru executarea încercării mașina va fi astfel reglată încât distanța dintre capătul superior și inferior de fixare să fie de circa 560 mm.

Se fixează colierul de strângere (1) pe una dintre coloanele mașinii astfel încât distanța superioară să fie de 240 mm (respectiv 260 mm când mașina este cu capete de prindere deschise). Peste colier se așează suportul cuptorului (2), astfel încât acesta să fie bine fixat. Apoi se împinge cuptorul electric cu prelungitorul (4) așezat peste consola (3) și se fixează cu piulița (5). Cuptorul se așează astfel încât să se asigure buna poziționare a capetelor A și B. Centruarea cuptorului în mașina de încercat se face prin intermediul bucșei izolatoare superioare (6). Amplasarea termocuplelor la cuptorul electric se face numai după fixarea epruvetei.

Epruveta (10), va fi înfiletată în capetele de fixare superior, respectiv inferior, scoase din mașină. Înainte de montare, filetul trebuie uns cu pastă de grafit, vaselină pentru rulmenți sau ulei cu cărbune + grafit. Peste tija prelungitoare inferioară (14) se împinge bucșa (7) care joacă rol de lagăr axial, împreună cu bucșa din două bucăți (8).

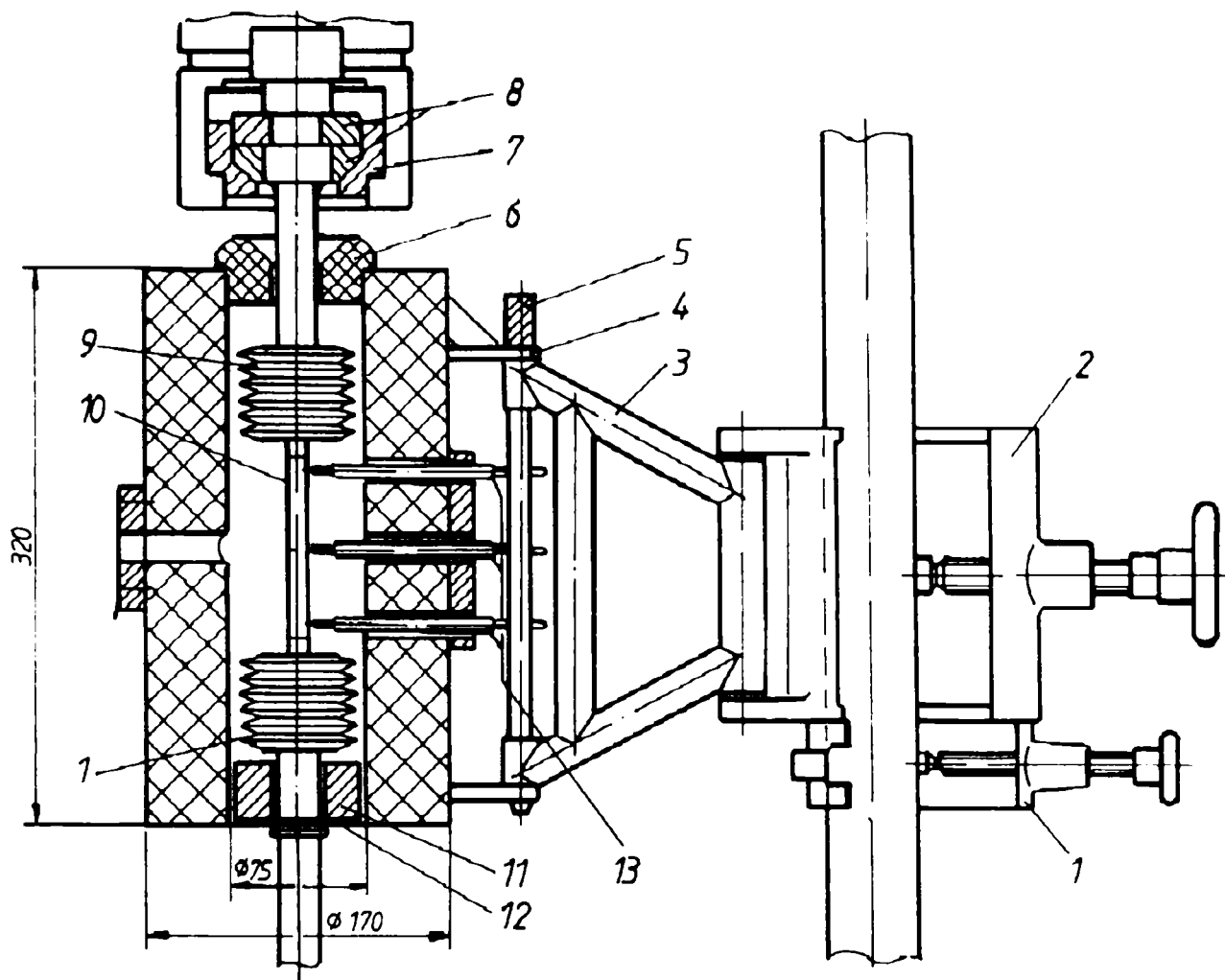
Pentru a putea monta extensometrul, se tensionează capul de prindere inferior cu elementul (7) și (8) în poziție verticală.

Capul de prindere inferior (15) se montează la tija de tensionare (16) și la țeava de măsurare (17). După aceea, această parte va fi introdusă pe inelul (18) al probei și, cu cele patru piulițe (19) se montează pe bolțul filetat (20) și se fixează. După aceea se montează capul de prindere inferior.

Tijele de măsurare (21) trebuie de asemenea montate concentric în țevile de măsurare (17), neavând voie să le atingă pe întreaga lungime.

La bolțurile (23) vor fi fixate arcurile (24). La partea inferioară a tijeii (16), va fi împinsă,

prin intermediul unui arc (25), rola (26). La un montaj corect trebuie ca tija (16) să aibă posibilitatea de mișcare numai prin această rolă.



**Fig.2.2. Elementele constructive ale cuptorului mașinii Amsler**

Bucșa izolatoare inferioară (11) se așează la capătul de prindere inferior, susținută de talerul (12) și se împinge aceasta, pentru asigurarea contactului celor două elemente, astfel încât bucșa izolatoare superioară să fie montată.

Bucșa (7) a lagărului axial și bucșa din două părți (8) vor fi așezate pe capul de prindere superior. Între bucșa superioară (7) și cuptorul electric va fi montat un distanțier (27), din lemn, astfel încât epruveta și extensometrul să fie așezate la înălțimea corespunzătoare în cuptorul electric.

Cuptorul electric și părțile componente vor fi montate cu atenție în capetele de prindere ale mașinii. Capătul superior de fixare va fi ușor ridicat, astfel încât distanțierul (27), care poate fi confecționat din lemn sau metal să poată fi scos afară. În final se procedează la asigurarea bucșei (7) ca să nu cadă în exterior.

Termocuplul folosit la mașina de încercat la tracțiune la temperatură ridicată tip Amsler de la Laboratorul de Încercări Mecanice al S.C. "Siderurgica" S.A. Hunedoara este NiCr-Ni (Cromel-Alumel).

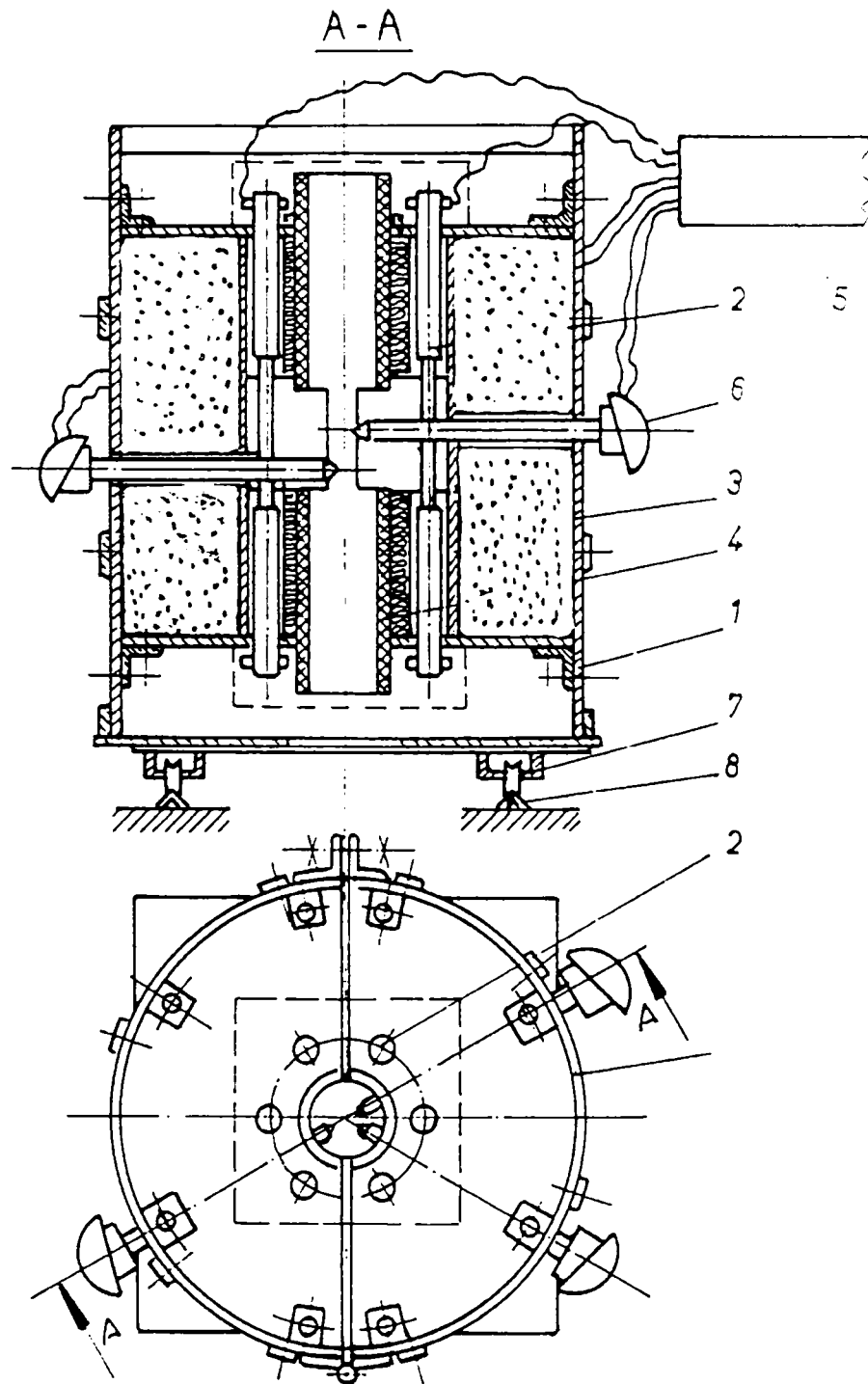
Termoelectrodul pozitiv (cromel) al acestui termocuplu este confecționat dintr-un aliaj alcătuit din 89% Ni, 10%Cr și 1% Fe, iar termoelectrodul negativ (alumel) este confecționat dintr-

un aliaj alcătuit din 94% Ni, 2,5% Mn, 2% Al, 1%Si și 0,5% Fe. Acest termocuplu poate fi folosit la temperaturi înalte (max.1250<sup>0</sup>C) atât în mediu reducător cât și inert.

### 2.2.1.3. Instalație de încălzire a epruvetelor

În fig.2.3 se prezintă o instalație de încălzire a epruvetelor, [25] compusă dintr-un cuptor electric vertical, de formă cilindrică (1).

Părțile componente sunt: rezistorii (2) din bare de carbură de siliciu (6 bucăți), izolația termică (3) din fibră ceramică, tubul central (4) din oțel refractar pentru protecția barelor (2), și semicapacele 5 (superior și inferior) între care sunt prinse celelalte elemente ale cuptorului (2,3,4).



**Fig.2.3. Instalație de încălzire a epruvetelor:**  
1-perete cilindric; 2-rezistori; 3- izolație termică; 4- tub din oțel refractar; 5- instalație electrică;  
6- termocuple PtRh-Pt, 7- cărucior mobil; 8- ghidaje

Instalația electrică de comandă și control a încălzirii (9), termocuplele (6) Pt-RhPt 10% (3 bucăți) și căruciorul (7) de susținere și deplasare a cuptorului pe ghidajele (8) ale suportului de susținere a cuptorului, sunt elemente anexate cuptorului pentru funcționarea acestuia în timpul experimentărilor de laborator efectuate pe mașina de tracțiune.

Termocuplurile (6) sunt ghidate spre epruvetă prin tuburi din țevă metalică refractară, fixate cu distanțiere de semi-capacele (5).

Fibra ceramică este fixată de pereții interiori ai cuptorului, cu ajutorul unor ancore refractare cu diametrul de 5 mm

Barele din carbură de siliciu (2) sunt introduse în tuburi din șamotă refractară, decupate numai către camera de încălzire a epruvetei, în zona acesteia.

Tubul central (4) din oțel refractar este decupat pe două laturi opuse pe lungimea camerei de încălzire a epruvetei, care este egală cu lungimea calibrată a acesteia.

Căruciorul mobil (7) se deplasează pe ghidajele (8) împreună cu cuptorul (1) de care este prins prin șuruburi (M6), după fiecare rupere a unei epruvete, pentru înlocuirea acesteia cu alta, pentru o nouă încercare.

Cele trei termocupluri Pt-RhPt sunt cuplate (după împerecherea lor) astfel: primul pentru reglarea instalației electrice de alimentare, la temperatura fixată pentru determinare, al doilea este legat la o instalație de măsurare digitală a temperaturii epruvetei, iar al treilea este montat la un aparat înregistrator de temperatură pe durata efectuării determinărilor practice.

Pentru o mai ușoară întreținere a părții interioare a cuptorului, acesta este alcătuit din două jumătăți semicilindrice (cu un plan de separare vertical ce trece prin axul cilindrului) care se îmbină prin balamale și elemente de strângere cu șuruburi. Între izolația din fibră ceramică (rezistentă până la 1250<sup>0</sup>C) și pereții metalici exteriori s-a interpus un strat de azbest gros de 6 mm.

#### **2.2.1.4. Dispozitive de încălzire simultană a mai multor epruvete**

Unele studii în domeniu spun că la încercarea de tracțiune la temperaturi ridicate nu este recomandată încălzirea fiecărei probe în parte (cum se procedează în mod curent), din cauza pierderilor foarte mari de timp, și de aceea trebuie elaborate metode mai productive, direcționate spre reducerea timpului de încălzire, excluzând influența accelerării încălzirii asupra rezultatelor încercărilor.

În scopul creșterii productivității în cazul încercărilor mecanice la tracțiune la temperaturi ridicate, se recomandă următoarele metode:

a) Încălzirea simultană până la temperatura dată, în mai multe cuptoare, și încercarea ulterioară a probelor;

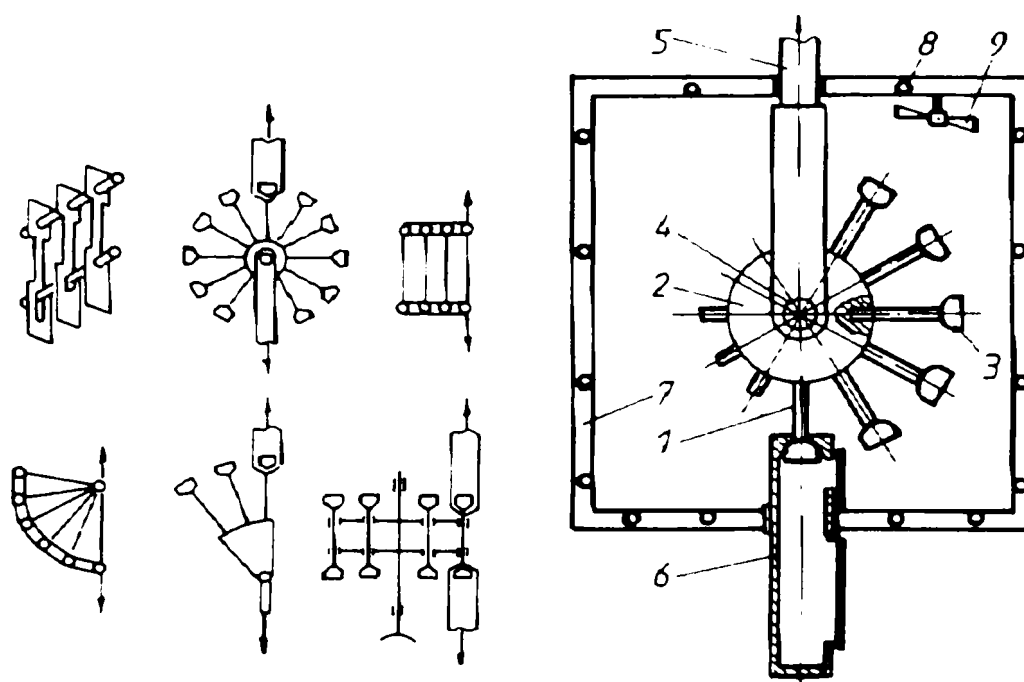
b) Încălzirea individuală a unor serii de probe în camere separate de încălzire și apoi executarea încercărilor;

a) Intensificarea procesului de încălzire a probelor până la o anumită temperatură, în incinta de încălzire.

Pentru aceasta se pot folosi diverse dispozitive (la încercări în hidrogen lichid și heliu) care se amplasează în camere de încălzire, asigurând obținerea temperaturilor necesare la toate probele în același timp, ceea ce constituie un avantaj din punct de vedere al duratei încercării.



În fig.2.4 se prezintă schema unui dispozitiv pentru încălzirea în același timp a unor serii de probe și încercarea lor ulterioară la tracțiune.

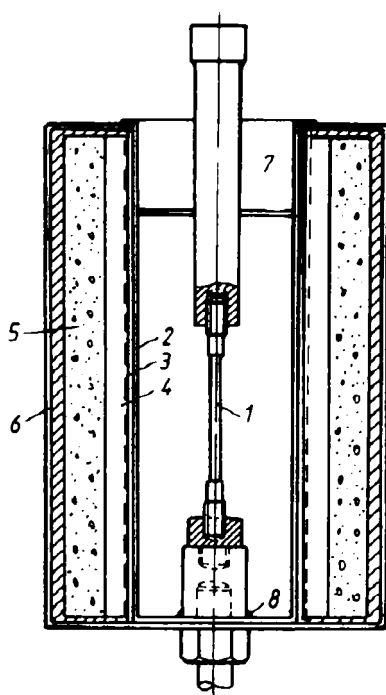


**Fig.2.4. Dispozitiv pentru încălzirea în același timp a unor serii de probe și încercarea lor ulterioară la tracțiune**

1-proba; 2-roată; 3- șaibă de susținere; 4-ax central; 5-tijă superioară; 6-tijă inferioară; 7-camera de lucru; 8- elementul de încălzire, 9-ventilator

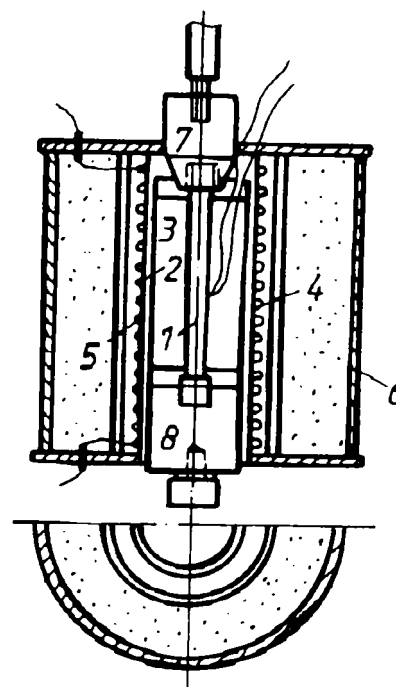
Aceste dispozitive au ca dezavantaje: dimensiunile relativ mari ale incintei de încălzire și timpul mare de menținere a probelor la temperatura de încercare (mai ales la prima și la ultima probă).

#### 2.2.1.5. Alte variante constructive de cuptoare de încălzire



**Fig.2.5.a. Cuptor electric cu săruri pentru încălzirea probelor**

1-probă; 2-carcasa cuvei de lucru; 3-căptușeală de protecție; 4-rezistență de încălzire; 5- izolație; 6-carcasă exterioară; 7-capacul carcasei; 8-sistemul de prindere



**Fig.2.5.b. Cuptor electric cu plumb pentru încălzirea probelor pentru încercări mecanice**

1-probă; 2-carcasa cuvei de lucru; 3-căptușeală de protecție; 4-rezistență de încălzire; 5- izolație; 6-carcasă exterioară; 7-capacul carcasei; 8-sistemul de prindere

Literatura de specialitate nu este foarte exactă vizavi de modul de construcție al incintelor pentru încercarea la tracțiune, dar sunt prezentate totuși unele variante constructive, care respectă principiile metodei.

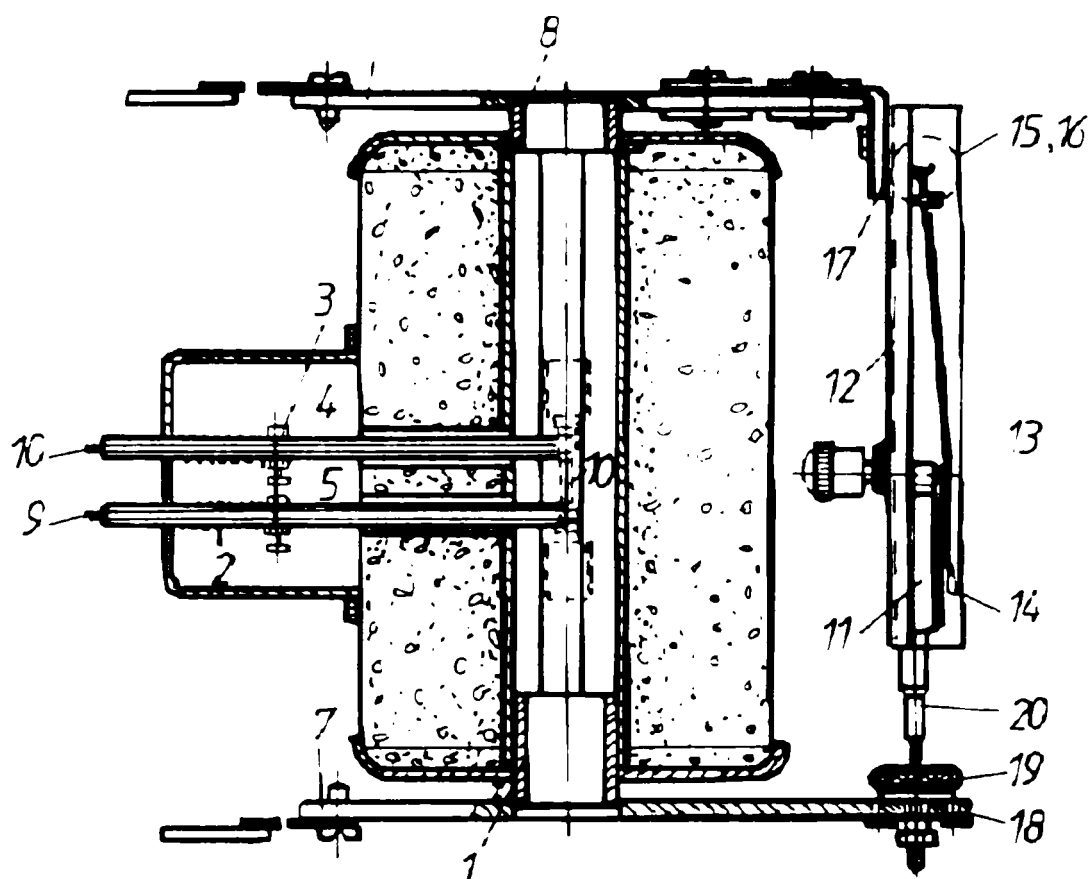


Fig.2.5.c. Cuptor cu regulator termic pentru încălzirea probelor la încercarea de tracțiune

Se prezintă în fig.2.5 diverse variante constructive de cuptoare pentru încălzirea epruvetelor în vederea efectuării încercării de tracțiune la temperatură ridicată. Se observă modul de prindere a epruvetelor, elementele componente ale cuptoarelor, elementele de izolație, modul de montare a instrumentelor de măsurare a temperaturii.

### 2.2.2. Tehnici experimentale pentru încercarea la încovoiere prin șoc

Pentru a studia comportarea materialelor la viteze mari de încărcare și pentru 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*.

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 1511-81 și STAS 6833-79), celelalte încercări făcând obiectul unor lucrări de cercetare.

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

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

Încălzirea epruvetelor, în domeniul temperaturilor ridicate, se realizează în cuptoare 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 încălzire. Cuptoarele sunt fie livrate ca și anexe ale utilajului de încercare, fie sunt realizate în laboratoarele uzinale de încercări mecanice. După ce epruveta atinge temperatura ridicată dorită, se asigură un timp de menținere la această temperatură și apoi se scoate din cuptorul de încălzire și se așează pe dispozitivul sau utilajul de încercare în vederea efectuării experimentului.

Timpul scurs pentru manevrarea epruvetei între cuptor și utilajul de încercare trebuie să fie suficient de scurt, astfel încât epruveta să nu își modifice substanțial temperatura de încercare. Experimentările în domeniul temperaturilor ridicate sunt mai dificil de realizat deoarece spre deosebire de alte încercări mecanice, la încovoierea prin șoc este necesară o manevrare a epruvetei de la cuptor la utilajul de încercare, timp în care temperatura acesteia se poate modifica substanțial.

Odată cu *creșterea temperaturii de încercare*, caracterul ruperii este influențat și de o serie de factori cum sunt: 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.

Stările de tensiune respectiv de deformație sunt, în general, greu de evidențiat prin măsurători datorită vitezei mari de desfășurare a încercării, pentru aceasta fiind necesare 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.

Pentru un studiu aprofundat al fenomenelor 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 tensiune-timp, permit analiza mai amănunțită a mecanismului ruperii epruvetei în timpul încercării la încovoiere prin șoc, la temperaturi ridicate.

În cazul utilizării epruvetelor cu creștătură, după ruperea acestora se determină **crystalinitatea (Cr) și fibrozitatea (Fb)** [157], precum și **contractia specifică (T)**.

Aprecierea comportării oțelurilor la rupere prin șoc se face prin valorile obținute pentru reziliență, energia de rupere, cristalinitate, fibrozitate, contractia transversală specifică [79].

**Încercările dinamice**, față de cele statice de tracțiune, prin caracteristicile care se determină, oferă posibilitatea unor *aprecieri mai corecte asupra comportării ductile sau fragile în procesul de rupere al oțelurilor*.

Ușurința determinărilor caracteristicilor mecanice în regim dinamic și faptul că *în unele cazuri există o bună concordanță cu comportarea reală a oțelurilor*, au făcut ca aceste încercări, efectuate pe epruvete fără creștătură sau cu creștătură, să fie astăzi utilizate în cercetarea experimentală.

Utilajul folosit pentru încercarea la încovoiere prin șoc, la temperaturi ridicate, 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)*.

Unele din încercările experimentale pe care autoarea le-a efectuat în cadrul prezentei lucrări, la temperatura ambiantă au fost efectuate pe ciocanul-pendul Charpy existent în dotarea Laboratorului de Încercări Mecanice de la S.C.Siderurgica S.A. Hunedoara, care este un echipament performant din punct de vedere constructiv.

### 2.2.3. Tehnici experimentale pentru încercări de duritate

#### 2.2.3.1. Scurt istoric asupra metodelor de determinare a durității

**Duritatea** este definită ca proprietatea materialelor de a se opune la acțiunile de distrugere a suprafeței cu ajutorul unui corp mai dur. Această definiție, bazată exclusiv pe urmărirea diferențierii calitative dintre materiale, rămâne echivocă atât timp cât nu se stabilesc condițiile de exercitare a forțelor și caracterul distrugerii suprafețelor, [110].

În primul rând, comportarea mecanică a materialului este condiționată de viteza de solicitare, respectiv de viteza de deformare aplicată. Materiale moi la solicitări statice, pot fi apreciate ca dure la solicitări dinamice. De exemplu o bilă de plumb se turtește la apăsarea statică pe o placă de oțel, în schimb de îndată ce se proiectează cu o viteză mare, reușește să provoace deformări în placa de oțel.

Degradarea suprafeței se provoacă fie prin presiune locală, imprimare, fie prin tăiere locală, zgâriere, fie printr-o combinație între aceste două acțiuni. Aceste condiții distincte de solicitare reflectă în fond și o opoziție, o rezistență diferită a materialului, la comprimare locală sau la tăiere locală.

Fără a se ține seama de necesitatea acestor precizări, primele definiții ale durității formulate la începutul acestui secol se referă numai la „**rezistența opusă la pătrunderea unui corp mai dur**”, definiții date de Martens, Osmond, Hadfield, Unwin și Turner.

Aplicând ecuațiile generale ale teoriei elasticității și metodele teoriei potențialului, Hertz stabilește mărimea deformațiilor elastice și a tensiunilor pe suprafața de contact produsă în urma acțiunii forței de apăsare dispuse după axa care unește centrele de curbură ale suprafețelor corpurilor. Se consideră că în tot cursul deformării elastice aria suprafeței de contact rămâne foarte mică față de suprafețele corpurilor comprimate, iar presiunile normale pe această suprafață prezintă o distribuție elipsoidală. Mărimea durității este identificată de Hertz în „**presiunea specifică maximă de la mijlocul suprafeței de contact, până la care nu apar deformații plastice**”.

Inițiativele înregistrate până în prezent de a fundamenta teoretic duritatea ca mărime de material specifică sau ca mărime derivată a altor caracteristici mecanice nu au ajuns să fie confirmate experimental, întrucât natura comportării straturilor superficiale la solicitări de compresiune locală nu este încă elucidată.

În cercetările fizicii moderne se consideră de A. Cottrell că pe baza teoriei dislocațiilor se va găsi explicația diferențierii dur-moale a materialelor, care se practică de milenii în procesul de producție.

Fără o definiție riguros științifică, noțiunea de duritate este acceptată în publicațiile actuale, după N.F. Ashby, drept „**o măsură a rezistenței față de o continuă deformare sau deteriorare a suprafeței**”.

În dorința de a evidenția modul de deteriorare a suprafeței specific definirii durității, cercetătorii sovietici D.V. Gogoberidze, Hrusciov M.M. ș.a. precizează: „*duritatea este proprietatea corpurilor solide reale de a se opune acțiunilor de deformare, elastică și plastică, sau de rupere, sau la o acțiune combinată a acestora, a particulelor de pe o anumită porțiune a suprafeței corpurilor*”.

În locul acestei circumscrieri largi a posibilităților de degradare a suprafeței, comisia de specialitate a Asociației Elvețiene de Încercări de Materiale (S.V.M.T.) definește duritatea ca: „*rezistența cvasistatică a unui corp față de deformări exclusiv locale, neomogene, sub acțiunea unor centre de forță punctiforme sau liniare*”, după A. Braun.

Această definiție conține explicit atât condițiile de exercitare a solicitării mecanice cât și specificul deteriorării, restrângerea la deformații locale, acoperind integral toate încercările de duritate practicate în prezent la controlul materialelor, metalice și nemetalice.

Prima încercare de duritate propriu-zisă, destinată controlului materialelor în procesul de fabricație, este elaborată în 1900 de către Brinell J.A., utilizând un penetrator cu bilă de oțel. Această metodă se bucură de o largă răspândire și se generalizează în controlul durității diverselor materiale, menținându-se practic neschimbată până în zilele noastre.

În baza studiilor teoretice și experimentale efectuate asupra rezultatelor încercărilor după metoda Brinell, s-a relevat necesitatea înlocuirii penetratorului sferic cu un penetrator conic pentru ca urmele produse să respecte **legile similitudinii geometrice**, independent de mărimea forței aplicate. Utilizarea penetratorului conic din oțel, propusă inițial de Ludwik P. (1907), nu reușește să se impună. După un deceniu, SHORE A.F. (1918) elaborează metodele MONOTRON tot cu un penetrator conic din diamant cu vârful rotunjit. O soluție ideală operativă, bazată tot pe folosirea penetratorului conic cu diamant cu vârful rotunjit o oferă metoda propusă de ROCKWELL S.P. (1920) cu sarcină inițială care permite indicarea directă a durității din măsurarea adâncimii urmei remanente.

Ridicarea preciziei determinării durității, vizând în principal o măsurare cât mai certă a dimensiunii urmei, este obținută prin introducerea penetratorului piramidal din diamant după metoda preconizată de Smith R.L și Sandland G.E, în anul 1922, cunoscută ca metoda VICKERS, după numele firmei constructoare a primelor aparate de încercare a durității cu penetrator cu piramidă pătratică. Metoda Vickers constituie în prezent metoda de determinare a durității cu precizia cea mai ridicată și cu câmpul cel mai larg de exploatare, permițând efectuarea de urme cu diagonala de la 3  $\mu\text{m}$  până la 500  $\mu\text{m}$ . Astfel se conturează posibilități noi de investigație asupra durității pieselor și a straturilor superficiale subțiri, precum și a componentilor structurali.

În locul piramidei Vickers cu baza pătratică, în ultimele două decenii s-au mai propus penetratoare piramidele cu baza rombică – Knoop F (1939) – și cu baza triunghiulară – Berkovici E.S. (1950), - urmărind o reducere a erorilor de măsurare a dimensiunii urmelor mici, în principal la încercările cu microsarcini, sub 10 kN.

Pentru evitarea degradării rapide a penetratorului, Grodzinski P (1950) propune utilizarea unui penetrator din diamant dublu conic, cu baza comună, muchia bazei fiind imprimată în cursul încercării de duritate. În mecanica de precizie se mai folosește un penetrator din diamant în formă

de daltă după metoda lui Attinger M.C (1946) pentru controlul durtății pieselor cilindrice cu diametre sub 1 mm.

Necesitatea de a examina „in situ” – la fața locului – piesele de dimensiuni mari și grele a impulsionat introducerea încercărilor de duritate dinamică lăsând penetratorul să cadă de la o anumită înălțime sau aplicându-se o lovitură penetratorului. Astfel apar metodele dinamico-elastice – denumite impropriu și metode scleroscopice – cu cădere verticală după Shore (1907) și cu pendul după Leesen; duritatea se măsoară la aceste metode din înălțimea de ricoșare. Urmărind dimensiunea urmei imprimate, se introduc în anul 1920 metodele dinamico-plastice cu penetrator greu în cădere liberă – Guilliery R. (1771) – și cu resorturi Baumann-Steinruck.

Tot pe principiul lovirii directe a penetratorului se bazează metodele dinamice cu bare de comparație, penetratorul imprimându-se simultan pe de o parte în piesa examinată și pe de altă parte în bara de comparație, metodele Poldi, Morin, Kubasov.

Pe lângă aceste metode de imprimare la care penetratorul efectuează numai o imprimare normală față de suprafața examinată, se elaborează de Herbert (1923) metoda pendulului cu o mișcare oscilantă a penetratorului și metoda de rulare, bila penetratorului efectuând o mișcare de rostogolire.

În afară de aceste metode de încercare, localizate pe o anumită porțiune a suprafeței de imprimare și zgâriere, se mai practică pentru aprecierea durtății o serie de metode de așchiere a suprafeței cu pile, prin găurire și abraziune. Aceste metode tehnologice se consideră în mod eronat încadrate în categoria încercărilor de duritate, deoarece acțiunea mecanică se exercită pe o suprafață întreagă cu o serie de centre de forțe, punctiforme sau liniare.

Această scurtă privire asupra evoluției metodelor de încercare a urmărit în principal să identifice numai soluțiile esențial diferite, fără de a mai analiza numeroasele variante care se practică în prezent la controlul durtății diverselor materiale.

Metodele statice de determinare a durtății care sunt în prezent utilizate sunt metodele **BRINELL**, **VICKERS** și **ROCKWELL**.

Din cele prezentate anterior se remarcă faptul că în lipsa unei operații experimentale care să permită identificarea unei mărimi fizice, independente de condițiile încercării, a apărut necesitatea de a se recurge la numeroase metode empirice, care fiecare în parte relevă comportarea mecanică doar în anumite condiții particulare. Caracteristicile mecanice stabilite pe baza unei anumite metode au o valabilitate restrânsă specifică și orice echivalare între rezultatele diverselor încercări, are un caracter eminent statistic, afectat de o incertitudine mai mare sau mai mică, fără a releva vreo legătură funcțională.

Deformarea locală a straturilor superficiale cuprinde în mod inerent deformații elastice, iar dacă mărimea acțiunii mecanice este suficient de mare se provoacă și deformații plastice. O parte din metodele de încercare a durtății impun limitarea investigației în domeniul deformațiilor elastice, ca și experiențele lui Hertz. Tot în domeniul deformațiilor cvasi-elastice se încadrează și o parte din încercările dinamice – încercările dinamice elastice după SHORE, LEESEN – la care deformarea plastică fiind foarte redusă se neglijează și nu se exprimă explicit în rezultatele încercării. Mărimea durtății se stabilește la metodele dinamice-elastice din înălțimea de ricoșare a

penetratorului după izbirea suprafeței piesei examinate.

Cele mai multe metode practicate în prezent urmăresc deformarea plastică produsă la încercare, măsurată din dimensiunile **urmei remanente** după îndepărtarea penetratorului, deoarece se consideră că această urmă remanentă ar constitui caracteristica determinantă pentru aprecierea durității metalului, influența deformației inițiale elastice fiind inoperantă.

Limitele în care se respectă metodele de încercare a durității și condițiile unei evaluări de precizie a caracteristicilor sunt în funcție de:

- alegerea penetratorului;
- măsurarea acțiunii mecanice;
- măsurarea urmelor de duritate;
- stabilirea scării de duritate.

**Legea rezistențelor proporționale** stabilește o proporționalitate între lucrul mecanic de deformare și volumul deformat, atât timp cât este asigurată similitudinea geometrică a volumului deformat și a câmpului de tensiuni. Astfel, pentru a se manifesta aceeași rezistență a materialului la diferite încărcări rezultă că, volumele deformate, cu diferite adâncimi de pătrundere, trebuie să fie geometric asemenea.

Particularizând pentru **metoda Brinell**, putem afirma că penetratoarele sferice, preluate după experiențele lui Hertz, nu respectă această similitudine geometrică între urmele imprimate cu diverse sarcini. Pentru a se putea utiliza totuși mai multe sarcini, s-a introdus corespunzător legii rezistențelor proporționale, reglementarea constanței gradului de solicitare, definit ca raportul dintre forța  $F$  și pătratul diametrului bilei  $D^2$  ( $F/D^2 = \text{constant}$ ). Astfel, rezultatele încercărilor de duritate cu același grad de solicitare evidențiază teoretic aceeași rezistență la pătrundere, independent de adâncimea urmei.

Ținând seama de influența modului de acționare, static sau dinamic, asupra rezultatelor încercărilor, în standarde se reglementează în mod curent fie direct viteza de deformare în %/min, fie indirect viteza de solicitare în  $\text{kgf/mm}^2 \cdot \text{s}$ . Pentru încercările de duritate o asemenea condiție dinamică nu este reglementată explicit la nici o metodă. De altfel, specificul încercărilor de duritate prezintă dificultăți de reglementare a vitezei de deformare sau a vitezei de solicitare, întrucât atât deformarea cât și solicitarea variază continuu în cursul imprimării penetratorului; viteza de deformare scade de la viteza inițială de contact până la cvasi-anularea ei la epuizarea duratei de aplicare prescrisă, iar viteza de solicitare se reduce continuu prin majorarea suprafeței de contact și încetinirea pătrunderii în material. O viteză de deformare constantă se poate impune numai încercărilor de zgâriere și de duritate prin rulare, prin reglementarea vitezei de deplasare a penetratorului, după o direcție paralelă cu suprafața piesei de examinat.

Dependența strânsă a caracteristicilor de duritate de modul de acționare, pe deplin confirmată experimental și unanim recunoscută, relevă necesitatea reglementării riguroase a regimului de încărcare. Sub acest aspect, încercările de duritate statice sunt susceptibile unei reproductibilități riguroase prin fixarea unei viteze de aplicare a penetratorului, care să evite acțiuni dinamice suplimentare. Astfel, urma măsurată va fi condiționată numai de mărimea sarcinii statice măsurată în prealabil.

Din studiul bibliografic asupra posibilităților de reglementare și măsurare a acțiunii mecanice cu diferite metode de încercare a durității se poate conchide că în prezent singurele metode susceptibile unei reproductibilități riguroase sunt metodele statice de imprimare, sub rezerva prescrierii vitezei de aplicare a sarcinii. În aceste metode, prin măsurarea sarcinii aplicate, acțiunea care provoacă deformarea locală este determinată univoc.

Cunoaștem deja că *deformațiile locale provocate la încercările de duritate cuprind deformații elastice și plastice*. Raportul dintre aceste două feluri de deformații produse chiar la aceeași încărcare depinde de natura materialului. La metale componenta elastică este în general neglijabilă, la toate metodele aplicate, în schimb la cauciuc, deformațiile elastice sunt predominante, iar la materialele plastice apare aproximativ o egalitate între cele două componente ale deformației totale. Acest specific al comportării mecanice împiedică orice comparare a durității stabilite prin metodele actuale de încercare la materiale care nu prezintă același raport între deformațiile elastice și plastice înglobate în urma produsă, elementul convențional de determinare a caracteristicii de duritate.

La încercarea durității metalelor, determinarea durității trebuie urmărită necondiționat în domeniul deformațiilor plastice întrucât astfel se ajunge la o interpretare incompletă și neconcludentă pentru aprecierea calității materialului: egalitatea deformațiilor elastice nu implică și o egalitate ulterioară a deformațiilor plastice, sub aceeași încărcare locală. Diferența în comportare se datorează capacității distincte de ecruisare a diverselor metode, sau chiar a aceluiași metal sau aliaj cu structuri diferite (turnat, forjat, laminat, normalizat, călit etc.)

În cursul imprimării locale se produce la orice metal o ecruisare mai mult sau mai puțin accentuată, care este asociată inerent de o creștere a rezistenței. Acțiunea de ecruisare afectează o întreagă zonă a materialului din jurul urmei, care participă la împiedicarea imprimării.

Odată cu ecruisarea metalului apare și o alunecare la marginile imprimării, o coborâre față de nivelul suprafeței piesei examinate, întrucât solicitarea exercitată atrage după sine și materialul din vecinătate, a cărui rezistență inițială se menține practic neafectată; se înregistrează ușoare creșteri, dar în nici un caz o diminuare a rezistenței la compresiune locală a metalului din vecinătatea urmei. Dacă metalele au suferit însă înainte de încercare o ecruisare puternică, imprimarea este însoțită de o înălțare a marginilor urmei față de planul suprafeței piesei examinate. Aceste coborâri și înălțări ale marginilor, față de planul suprafeței examinate, ajung până la 30% din înălțimea urmei sferice la încercările Brinell; s-au constatat coborâri de 30% la metalele turnate și înălțări de 30% la metalele prelucrate la rece, respectiv de 10% la metalele prelucrate la cald. Desemenea, denivelări ale marginilor urmei se identifică la orice imprimări cu bile și conuri.

În aplicarea diverselor metode de determinare a durității apar inerent o serie de surse de erori a căror cunoaștere temeinică este absolut necesară pentru a se evita o interpretare greșită a rezultatelor.

Orice executant al încercărilor de duritate, din laboratoare uzinale sau de cercetare științifică trebuie să-și preceadă examinările cu o analiză aprofundată a posibilităților oferite de fiecare metodă de încercare și a susceptibilității de apariție a rezultatelor eronate. După o prealabilă asigurare a funcționării corecte a aparaturii, se impune trecerea la alegerea metodei și a condițiilor



adecvate piesei de examinat și a obiectivului investigației.

În apariția surselor de erori se disting trei factori determinanți:

- neomogenitatea piesei de examinat;
- erorile aparatului de măsură;
- intervenția operatorului.

**Piesa de examinat.** Metalele și aliajele utilizate în construcții prezintă întotdeauna o cvasiomogenitate și o cvasiizotropie macrostructurală. Atât timp cât volumul de material supus încercării este suficient de mare, se permite evidențierea unei **caracteristici globale**, a unei medii statistice a comportării materialului.

În cazul încercărilor de duritate, prin specificul investigației localizate pe o porțiune restrânsă de pe suprafața piesei sau din secțiune, susceptibilitatea de a se evidenția neomogenitatea și anizotropia materialului este deosebit de accentuată. În consecință, operatorul înainte de a trece la încercări trebuie să cunoască natura materialului – compoziția chimică, calitatea probabilă, structura etc. – prelucrările mecanice suferite, tratamentele termice, existența straturilor superficiale tratate. Numai în posesia acestor date inițiale, operatorul va putea alege metoda adecvată pentru investigație.

În funcție de forma geometrică a piesei trebuie să se asigure o sprijinire bună a acesteia și să se evite o deformare elastică a ei. În acest scop se impune ca suportul aparatului să fie neapărat în contact cu piesa în zona aplicării penetratorului. În cazul în care încercarea se execută pe suprafețe curbe (concave, convexe) trebuie să se efectueze corecțiile de curbura respective.

Aparatele de încercat duritatea trebuie să satisfacă o serie de condiții prescrise prin standarde și instrucțiuni de verificare. Construcția aparatului trebuie să fie rigidă și stabilă, pentru a se evita deformările elastice și mișcarea aparatului în cursul încercărilor. Instalarea aparatelor și eventual fixarea lor pe mese solide sau fundații ridică sensibil reproductibilitatea determinărilor. La așezarea piesei pe masa aparatului se urmărește asigurarea perpendicularității axei penetratorului pe suprafața de examinat. **Pe cât posibil se tinde la o imobilizare a piesei în cadrul aparatului prin dispozitive de strângere.**

Încărcarea sarcinilor prescrise, în toleranțele standardizate, se aplică lent și fără șocuri, fiind menținută pe o durată necesară atingerii deformației complet plastice a materialului examinat. Controlul penetratorului se prezintă ca o operație de prim ordin, având în vedere influența deosebită a acestui element.

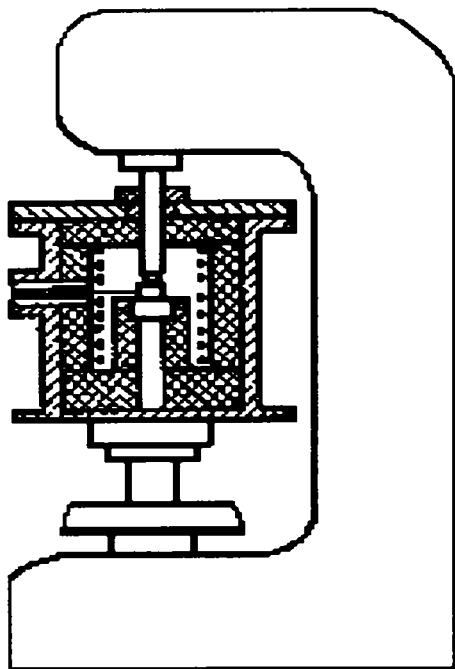
De asemenea măsurarea optică reclamă reglarea adecvată a iluminării și a caracteristicilor aparatului optic – grosisment, apertură numerică. Cercetările din ultimul deceniu au relevat o strânsă dependență dintre mărimea diametrului urmei măsurate și specificul aparatului optic.

### 2.2.3.2. Principiul măsurării durității la temperaturi ridicate

Alături de încercarea la fluaj și încercarea de tracțiune la temperaturi ridicate, încercarea durității la temperaturi ridicate a căpătat tot mai multă importanță, deoarece elementele de rezistență din construcția cazanelor, turbinelor cu gaz și abur, reactoarelor etc. lucrează la temperaturi ridicate timp îndelungat, fiind solicitate de sarcini mecanice considerabile. Încercarea durității la

temperatură ridicată în acest caz prezintă avantajul față de încercările la tracțiune că se execută rapid și cu aparatură mult mai simplă.

Metodele de încercare adecvate sunt metodele Brinell și Vickers și mai puțin metodele dinamice. La utilizarea metodelor Brinell și Vickers se pot folosi aparate de construcție normală la care se adaptează un cuptor de încălzire, ca în fig.2.6.



**Fig.2.6. Adaptarea unui cuptor de încălzire la un aparat de duritate**

Această durată poate fi de la câteva minute până la câteva ore, în cazul încercărilor de durată, și se alege în funcție de natura materialului.

La încercarea durității Brinell, mărimea sarcinii se alege în funcție de diametrul bilei. La încercarea Vickers se alege sarcina în așa fel încât urma să aibă dimensiuni convenabile măsurării cu un microscop obișnuit. Penetratoarele folosite la aceste încercări trebuie să fie rezistente la temperatură. Pentru temperaturi sub 300°C se folosesc bile din oțel aliat, în intervalul 300...600°C se utilizează penetratoare din diamant, iar peste 600°C se folosesc penetratoare din carborund sintetic.

Pentru a evita încălzirea prea puternică a penetratorului, este avantajoasă utilizarea metodelor dinamice la care contactul între penetrator și piesa încălzită se reduce numai la durata loviturii.

Aparatele folosite la încercarea durității pe cale dinamică, la temperaturi ridicate, sunt înzestrate cu un cuptor care se încălzește la temperatura necesară încercării epruvetei cu ajutorul unor rezistențe electrice. Deasupra unui tub de sticlă se află montat un cap de alimentare prevăzut cu un electromagnet, se introduce o bilă din oțel care este atrasă datorită acțiunii câmpului magnetic. La întreruperea curentului din bila electromagnetului, bila cade pe piesa de încercat. Ricoșarea bilei este urmărită prin tubul de sticlă, iar înălțimea la care aceasta ricoșează se măsoară cu ajutorul unei rigle gradate. Bilele utilizate se evacuează ulterior.

### 2.2.3.3. Aparat pentru măsurarea durității la temperaturi ridicate

Cercetările IRSID au dus la necesitatea determinării durității la cald a metalelor și aliajelor și implicit la realizarea aparatelor necesare, [108], pentru determinarea acestei durități. La început

au fost efectuate determinări într-o baie de săruri topite, cu ajutorul unui aparat Brinell, bila de carbură de wolfram fiind montată într-un suport de oțel inoxidabil. Deși sistemul de măsurare era simplu și rapid, s-au constatat o serie de deficiențe cum ar fi:

- oxidarea rapidă a bilei între  $400^{\circ}$  și  $500^{\circ}\text{C}$ ;
- distrugerea creuzetului datorită sărurilor (uneori);
- imposibilitatea de acoperire a unei game mari de durități cu un singur diametru de bilă;
- limitarea numărului posibil de încercări pe aceeași probă, datorită mărimii urmei.

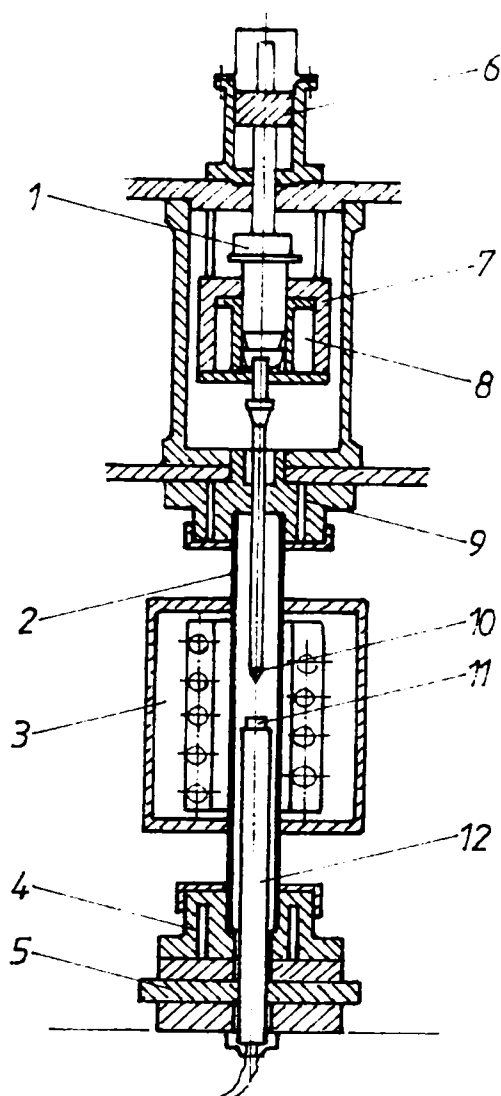
Datorită acestor deficiențe s-au e.ec..... cerce... r.... r.... ă.o.a s-a construit un **aparat special pentru determinarea durității la cald**, care lucrează în vid sau în atmosferă de gaz inert, pentru ca oxidarea probei să fie împiedicată; acesta are un penetrator piramidal de diamant, pentru ca urmele rezultate să fie de dimensiuni mai mici. S-a ales astfel penetratorul Vickers, montat pe o tijă de oțel inoxidabil. Penetratorul fiind descentrat față de probă, prin rotația acesteia se pot obține 24 urme pe un cerc cu diametrul de 10 mm.

Temperatura de încercare poate varia între  $20^{\circ}$  și  $1100^{\circ}\text{C}$ , încărcarea între 1 și 20 kgf, iar timpul de aplicare a sarcinii, între câteva secunde și câteva ore. Citirea numărului durității se face la temperatura camerei cu ajutorul unui microscop sau al unui aparat Vickers.

În fig.2.7 este reprezentat schematic aparatul IRSID pentru determinarea durității la cald.

Proba este sprijinită pe un suport (nicovală) din oțel inoxidabil; nicovala este fixată pe o țevă, care în partea inferioară este solidarizată cu un disc rotitor gradat.

Axa de rotație a ansamblului nicovală-țevă-disc este descentrată față de axa prismei penetratorului.



**Fig.2.7. Schema aparatului IRSID pentru măsurarea durității la cald**

1-contact automat pentru aplicarea sarcinii; 2-mufă de alumina sinterizată; 3-cuptor; 4-răcitor cu apă; 5-disc rotitor gradat; 6-piston; 7-miez mobil; 8,9 – răcitoare cu apă; 10 – prisma penetratorului; 11-proba; 12-termocuplu

După fiecare încercare discul este rotit cu una sau mai multe diviziuni, fiecare diviziune fiind de  $1/24$  dintr-o rotație completă; se pot efectua astfel până la 24 determinări pe aceeași probă. Aparatul poate să fie prevăzut cu cinci nicovale diferite care permit folosirea probelor rotunde de  $\phi$  14, 16 și 19 mm și probe pătrate de  $16 \times 16$  mm și  $19 \times 19$  mm; grosimea tuturor probelor este de 10 mm.

Pentru temperaturi înalte, se utilizează un penetrator din safir, tija de susținere fiind din aliaj inoxidabil sau din molibden.

După montarea probei pe nicovală, partea superioară a aparatului (cuprinzând dispozitivul de aplicare a sarcinii și cuptorul cu mufa lui, pozițiile 3 și 2) se coboară.

Mufa este etanșată pentru vacuum la ambele extremități. Presiunea din tub poate fi redusă până la  $5 \times 10^{-3}$  torr, valoare care este suficientă pentru a menține luciul de oglindă al probei în timpul încercării.

Evacuarea aerului se face cu ajutorul unei pompe mecanice de vid. De asemenea este posibil să se lucreze în atmosferă de argon.

Cuptorul de încălzire este circular și este amplasat în jurul mufei etanș, astfel încât proba și penetratorul să fie încălzite simultan. Temperatura cuptorului este urmărită în permanență fie prin debitarea termică a unei bare, fie printr-un dispozitiv.

Temperatura probei se măsoară cu un termocuplu care trece prin nicovală. Viteza de încălzire poate să fie modificată cu ajutorul unui transformator variabil.

Timpul cel mai scurt pentru a atinge temperatura de  $1000^{\circ}\text{C}$  este de o oră. Răcirea părților superioare și inferioare ale aparatului se asigură printr-un circuit de răcire cu apă.

În scopul reducerii numărului de etanșări, sarcina se aplică cu ajutorul miezului mobil al unui electromagnet situat în partea superioară a aparatului. S-au făcut verificări și s-a stabilit ca fiecărei intensități de curent din spirele electromagnetului să-i corespundă o anumită forță aplicată pe penetrator. Un piston amplasat în partea superioară a aparatului și acționat cu aer comprimat permite ridicarea și coborârea ansamblului miez-tijă-penetrator. Imediat ce prisma penetratorului atinge suprafața probei, pistonul este separat de miezul de oțel moale și se introduce curentul în spirele electromagnetului.

Simultan, un contact electric pune în mișcare un dispozitiv care controlează și comandă durata aplicării sarcinii. După trecerea acestei perioade de timp, curentul în electromagnet se întrerupe și o valvă magnetică comandă introducerea ansamblului miez-tijă-penetrator.

Controlul executării corecte a operațiilor se face vizual cu ajutorul lămpilor de semnalizare, amplasate pe panoul de comandă al aparatului. În plus, un dispozitiv de siguranță menține pistonul în poziția superioară, împiedicând orice operație greșită.

**Duritatea la temperaturi înalte** este numai o valoare de referință, fără semnificație cantitativă, deoarece la aceste temperaturi nu se produce o stabilizare a poziției penetratorului după un anumit timp. În aceste cazuri, între duritate și fenomenul de fluaj există o strânsă corelație și la fiecare valoare a durtății trebuie indicată și durata de aplicare a sarcinii. În acest sens, se pot realiza două tipuri de măsurători care scot în evidență fenomenul de fluaj:

- comparative, făcute cu timp constant de aplicare a sarcinii;
- cu sarcină constantă și timp de aplicare variabil.

Primul tip de încercări permite studiarea relația dintre duritate și rezistența la tracțiune la cald, transformările structurale în funcție de temperatură, transformările izoterme, precum și încercări comparative ale diferitelor aliaje. Încercările efectuate sub sarcină constantă și timp de aplicare variabil sunt mai puțin precise, dar cu toate acestea metoda permite obținerea unor indicații asupra fluajului materialului, care pot fi utilizate ulterior la încercările de fluaj de lungă durată.

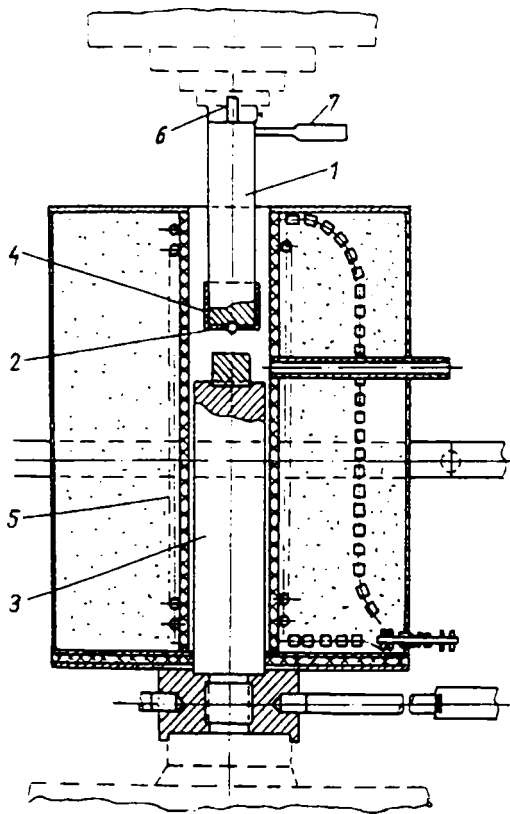
Cu aparatul descris în cadrul IRSID s-au efectuat numeroase studii și măsurători dintre care

se menționează: fenomenul de durificare a unor oțeluri, între  $100^{\circ}$  și  $600^{\circ}\text{C}$ ; duritatea la cald a oțelurilor rapide, în funcție de compoziția chimică; duritatea matrițelor utilizate la turnarea centrifugă; variația durității oxizilor de fier.

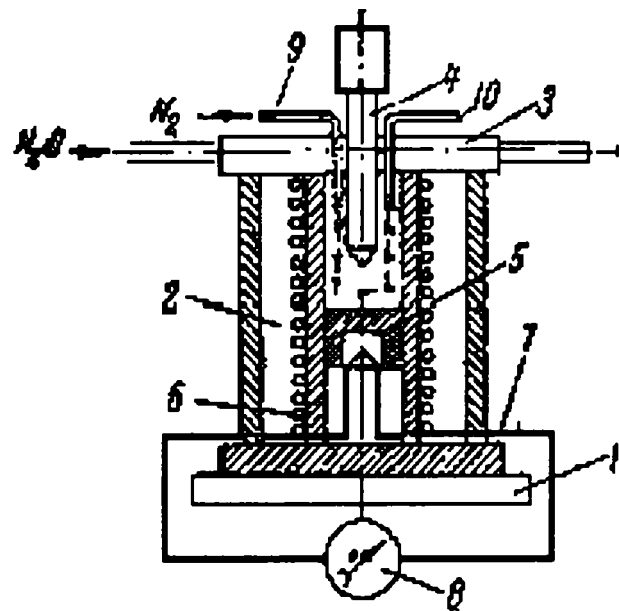
Cunoscând variația durității unui oțel în funcție de temperatură se poate determina repede domeniul de temperaturi în care se produce fenomenul de îmbătrânire.

#### 2.2.3.4. Variante constructive de incinte pentru măsurători de duritate

Se prezintă în continuare unele variante constructive de incinte, [19], care se pot adapta aparatelor de duritate Brinell și/sau Vickers, în scopul efectuării încercării de duritate la temperaturi ridicate.



**Fig.2.8.a. Incintă de încălzire a probelor de duritate, adaptabilă pentru metoda Brinell și Vickers**



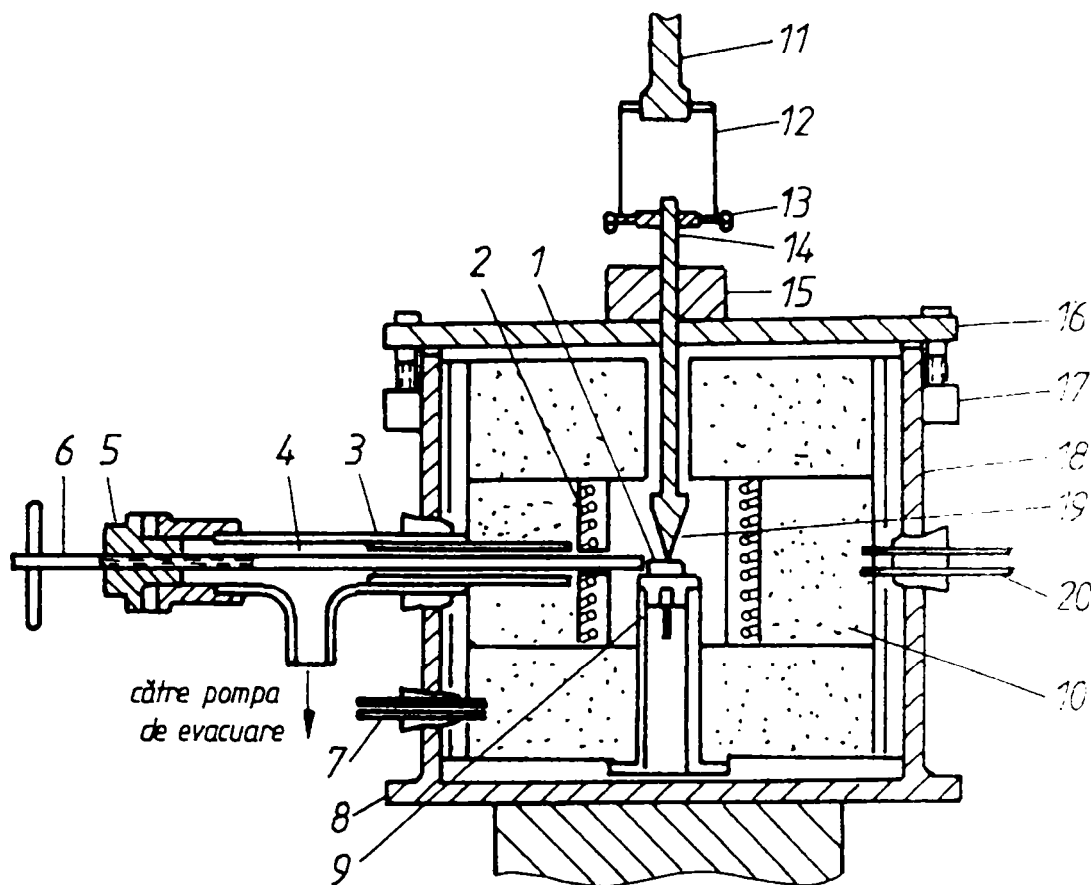
**Fig.2.8.b. Incintă de încălzire a probelor de duritate cu protecție cu gaz inert**

La varianta din fig.2.8.a, la capătul inferior al penetratorului (1), se montează suportul (4), care are prevăzut un orificiu sub bila (2). Tijă (6) se introduce în orificiul de la capătul aparatului Brinell și se fixează de acesta prin intermediul șurubului (7). Tijă (1) cu penetratorul (2) pot fi înlocuite cu un penetrator care are un unghi ascuțit de  $120^{\circ}$ . Pe măsura de lucru a dispozitivului se înșurubează, sau se fixează, suportul cu rola (3), executată din oțel rezistent la temperaturi ridicate, care servește ca suport al probei studiate.

În fig.2.8.b este prezentată o altă variantă constructivă de incintă pentru încercări de duritate la temperaturi ridicate, la care pentru a preveni oxidarea mufei cuptorului, aceasta poate fi protejată, atât la interior cât și la exterior, cu un gaz inert, de exemplu azot. Această protecție poate fi efectuată și în scopul diminuării efectelor stratului de țunder, chiar și foarte fin (subțire), care apare

la suprafața epruvetelor supuse la temperaturi ridicate de încercare. La varianta constructivă din fig.2.8.b, prin țeava 9 trece gazul din balon, iar prin țeava 10 trece gazul excedentar.

Pentru a nu se produce oxidarea probelor în timpul încercărilor de duritate se poate utiliza o incintă în care în camera de lucru se realizează vid, prezentată în fig.2.9, care se poate utiliza pentru metoda Vickers.



**Fig.2.9. Incintă de încălzire cu vid**

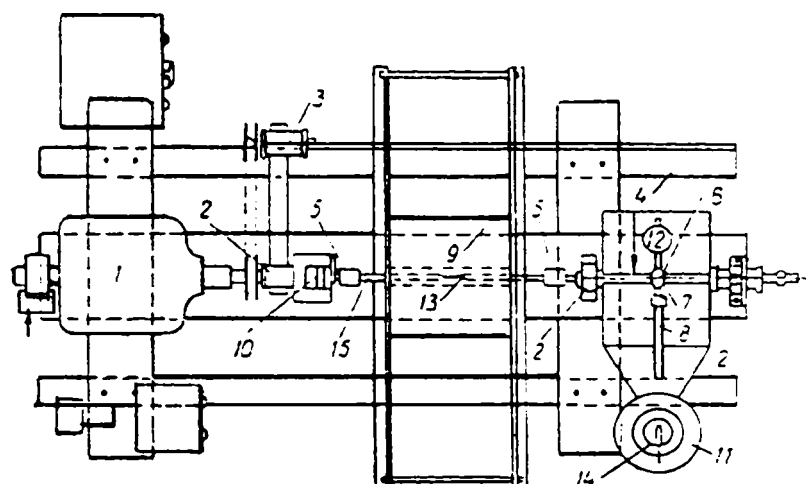
Camera cu vid, având diametrul de 200 mm, are prevăzut un suport masiv de oțel (8), pe care este așezat cuptorul (10) cu rezistența electrică (2), legată prin firele conductoare (7) și (20). Capacul superior (16) este demontabil, putând fi prins cu șuruburile (17) și are un orificiu central pentru penetratorul (14). Pe peretele lateral al camerei (8) s-a așezat țeava orizontală (3) cu racord lateral (3), de care se leagă pompa de vid. Dezavatajul acestei construcții este prezența garniturii cu presetupă în ghidajul (15), care provoacă frânarea tije penetratorului (14) în care s-a fixat penetratorul piramidal (19). De capătul său superior penetratorul este suspendat pe suportul (12) și colierul (13) de tija de încălzire (11) a aparatului Vickers și în poziția de lucru se prinde de ea numai într-un singur punct, ceea ce exclude excentricitatea în cazul când se acționează cu o sarcină de apăsare. În țeava orizontală (3) s-a așezat dopul de alamă (5), care servește în același timp ca piuliță pentru miezul (4) care se deplasează în cazul rotirii manetei (6) pe suprafața (9) pe care se află proba (1), în vederea efectuării câtorva amprente (urme).

**Concluzia:** Principala cerință pentru efectuarea corectă a încercării de duritate în condiții de temperaturi ridicate este egalitatea dintre temperatura probei încercate și cea a penetratorului. Forma incintelor folosite la încercările de duritate la cald nu provoacă dificultăți în realizarea încălzirii probei și a penetratorului la temperatura de încercare prescrisă, atâta timp cât cuptorul este

izolat de măsura dispozitivului cu garnituri de azbest sau orice alt material prin care nu trece căldura.

#### 2.2.4. Tehnici experimentale pentru încercarea de răsucire

Încercarea de răsucire se folosește tot mai mult pentru măsurarea rezistenței și deformabilității la cald a metalelor și aliajelor. Avantajul principal al încercării este că în timpul deformării epruveta, practic, nu-și schimbă dimensiunile, condițiile încercării rămânând aproximativ constante. De asemenea, în timpul deformării nu intervin factori exteriori care să influențeze rezultatele încercării. Schema de principiu a unei instalații de încercare la răsucire este arătată în fig.2.10.



**Fig.2.10. Schema mașinii pentru încercările de scurtă durată la răsucirea la cald**  
 1-motor electric; 2- rulment al axului principal; 3- rulment de contra-acțiune; 4- arc (de alungire); 5- mufă de legătură; 6- pârghia M; 7- bloc mobil; 8- carcasa mecanismului cu greutate; 9- cuptorul electric; 10- contor de rotații; 11- hârtia de înregistrare a mecanismului cu greutate; 12- contragreutatea pârghiei; 13-proba; 14 – fixatorul contactului de alunecare (glisant); 15- capătul probei.

Proba, cu diametrul de 10 mm și lungimea părții active de 38 mm, are capetele alungite, pentru a ușura fixarea acesteia în dispozitivul de prindere.

Proba primește mișcarea de rotație de la un electromotor prevăzut cu un reductor. Viteza de rotație a axului principal poate varia de la 12...60 rot/min. Mărimea momentului de răsucire se reglează cu ajutorul mecanismului cu greutate. Cuptorul cu bobină de platină asigură încălzirea probei încercate până la temperatura maximă timp de o oră. Variația temperaturii pe lungimea probei la 1400<sup>0</sup> nu depășește 4<sup>0</sup>C. Pentru a preveni oxidarea suprafeței probei, prin mufa cuptorului se trece azot, cu o viteză de 2,5-3 litri/h.

Cea mai *simplică metodă de măsurare a unghiului de răsucire* este măsurarea (mai mult sau mai puțin exactă) punctului de suspensie a greutății care acționează pe scripete, fig.2.11.

Dacă raza scripetelui pe care stă suspendată greutatea este egală cu 200 mm, atunci deplasarea liniară a punctului de suspensie a acesteia, în cazul unui unghi de răsucire  $\Delta\varphi = 0,01^0$  va fi egală cu:

$$\Delta l = R \cdot \Delta\varphi = \frac{200 \cdot 0,01}{52} \approx 0,03 \text{ mm.}$$

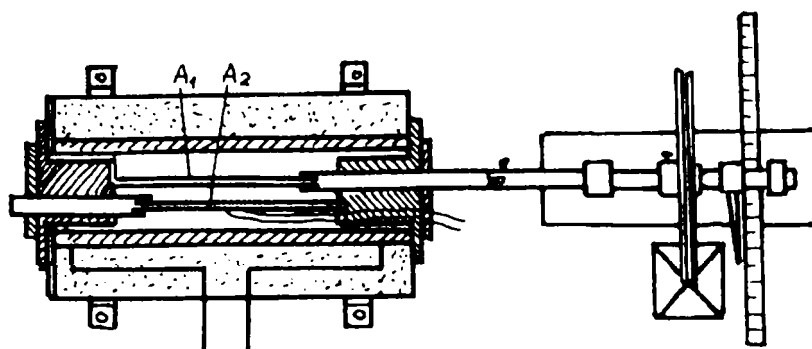


Fig.2.11. Metodă de măsurare a unghiului de răsucire

Măsurarea deplasărilor verticale liniare cu precizia de până la 0,01 mm cu ajutorul oricăror tipuri de aparate optice nu prezintă greutăți deosebite. După unii cercetători, o precizie de 0,01 mm sau apropiată pare a fi suficientă pentru determinarea valorilor modulului de elasticitate transversal, de gradul doi,  $G$ , la diferite temperaturi. La această variantă, o importanță deosebită o prezintă oscilațiile temperaturii din laboratorul de încercare în care se află amplasată mașina.

Mașinile de încercare la răsucire la cald, orizontale, au avantajul ca sunt mai ușor de întreținut și mai simple în construcție, distribuția temperaturii pe lungimea probei este mai ușoară, dar prezintă dezavantajul ca ocupă o suprafață mai mare.

### 2.2.5. Încercarea de forfecare la cald

Această metodă a fost propusă în lucrarea [23], și constă în deformarea la o mașină de încercat la tracțiune a unei epruvete având o formă specială, prevăzută cu o zonă de forfecare de o anumită lungime și grosime. Prin aplicarea la capetele epruvetei a forței se va produce forfecarea simplă a probei în condițiile de temperatură și viteză date. Avantajul metodei constă în păstrarea constantă pe durata încercării a secțiunii de forfecare și a vitezei de deformare, care poate atinge valori mari chiar și la mașinile clasice de încercat.

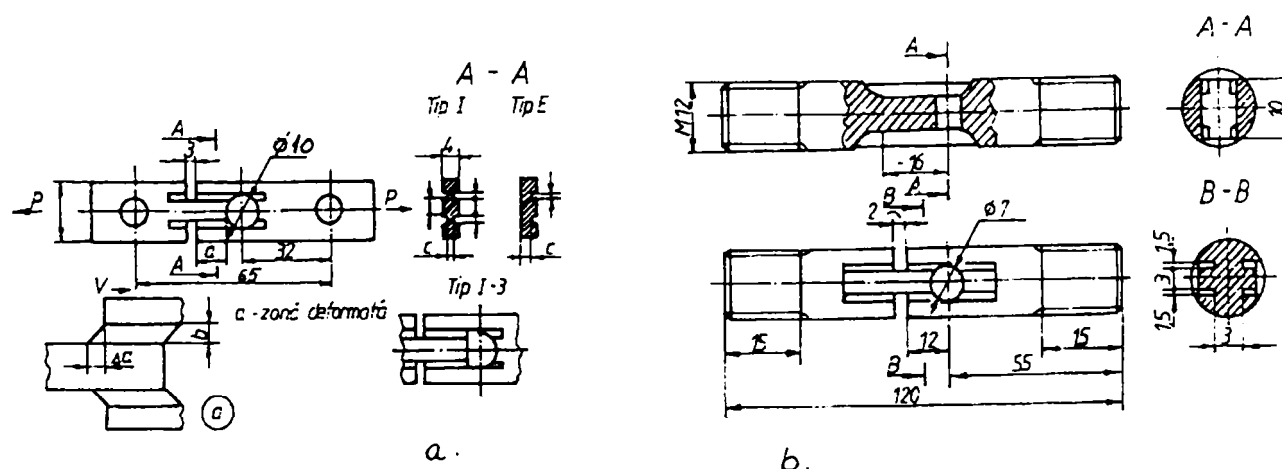


Fig.2.12. Forma epruvetei pentru încercarea de forfecare

Epruveta pentru încercarea de forfecare simplă are forma din fig.2.12. Prin aplicarea unei forțe de tracțiune la capetele epruvetei, în zona canalelor longitudinale pe lungimea  $a$  se va produce o deformare prin forfecare simplă, când tensiunea tangențială dată de forța de tracțiune va atinge



valoarea tensiunii tangențiale de curgere a materialului încercat în condițiile de deformare date. Pentru încercarea probelor prelevate din bare s-a proiectat epruveta din fig.2.12.b.

Elementele geometrice ale zonei deformate au fost astfel stabilite încât tensiunea normală de întindere din zonele marginale și din zona centrală ce delimitează porțiunea de forfecare să fie mai mică decât tensiunea de forfecare. Poziția relativă a zonei de deformare față de capetele epruvetei are importanță numai pentru cazul încălzirii electrice prin contact direct, iar pentru alte metode de încălzire, poziția zonei de deformare se amplasează la mijlocul epruvetei.

## 2.3. Epruvete utilizate în cadrul experimentărilor efectuate

### 2.3.1. Generalități

În funcție de proprietățile materialelor care urmează a fi determinate, încercările experimentale pot fi grupate [88]; [91]; [135] 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 determină elementele constitutive atât din punct de vedere calitativ cât și cantitativ.

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 același material, de forma și dimensiunile epruvetelor, de natura tratamentelor termice aplicate acestora, de metodele de încercare utilizate, de temperatura la care se efectuează 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.

Modul de luare a probelor și condițiile de prelevare respectiv prelucrare a epruvetelor destinate încercărilor mecanice de rezistență sunt reglementate prin:

- **SR EN ISO 377:2000** *Oțel și produse de oțel. Locul de prelevare și pregătirea probelor și epruvetelor pentru încercări mecanice;*
- **SR EN ISO 3785:1997** *Oțel. Notarea axelor epruvetelor*
- **STAS 10782-76** *Încercările metalelor. Luarea probelor din țevi pentru încercările mecanice;*

sau pot fi reglementate prin standardele de produse sau Caietele de sarcini.

**Proba** este cantitatea suficientă de material prelevată din produsul probă pentru executarea uneia sau mai multor epruvete.

**Proba intermediară** este o parte a probei supusă unei prelucrări mecanice, urmată în anumite cazuri de un tratament termic, în vederea executării încercării.

**Epruveta** este partea din **probă** sau din **proba intermediară**, având formă și dimensiuni stabilite, adusă în condițiile cerute pentru a fi supuse unei anumite încercări.

Proba trebuie aleasă astfel încât epruveta să poată fi prelevată în conformitate cu cerințele standardelor, având dimensiunile suficiente pentru a permite prelevarea epruvetelor necesare încercărilor prescrise și a tuturor contraprobelor care pot fi necesare.

Prelevarea probelor trebuie efectuată astfel încât să nu se modifice caracteristicile probei pentru realizarea epruvetelor, motiv pentru care 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.

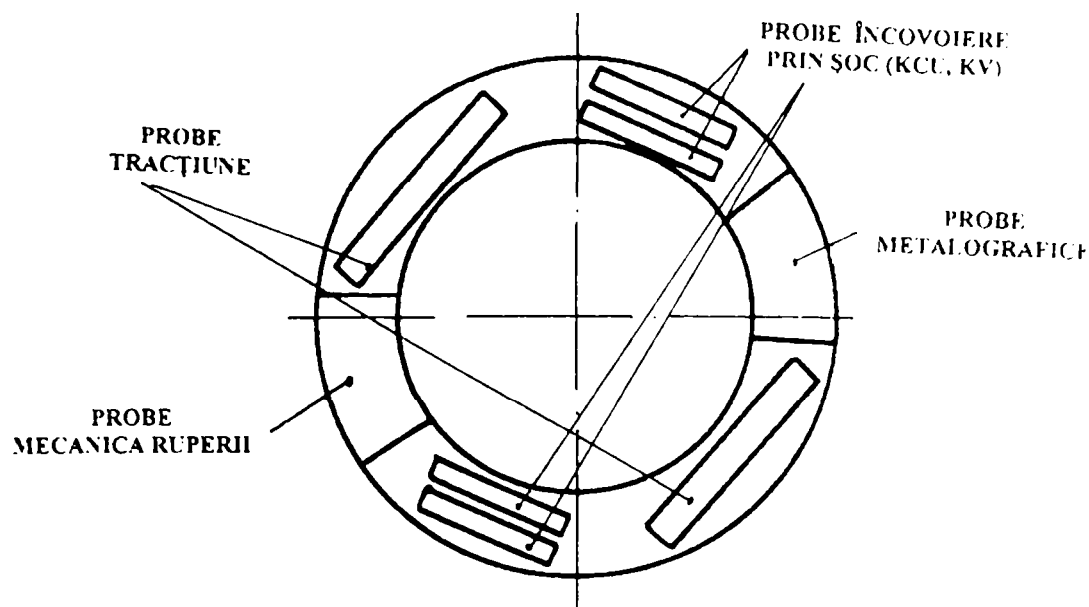
O importanță deosebită o reprezintă și poziția de prelevare a epruvetei, longitudinal sau transversal față de direcția de laminare.

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.

### 2.3.2. Epruvete pentru încercări mecanice la temperaturi ridicate

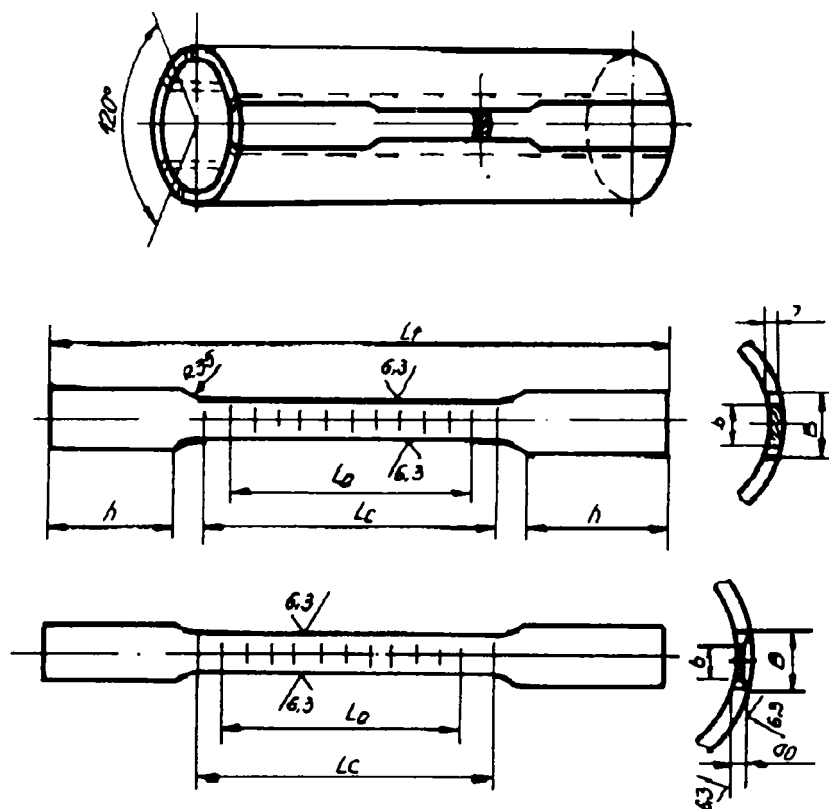
În cadrul încercărilor mecanice la temperaturi ridicate se folosesc, în general, epruvete având forma și dimensiunile celor utilizate la încercările efectuate la temperatura ambiantă. Deoarece epruvetele sunt încălzite în diverse incinte este necesar ca forma și dimensiunile capetelor de prindere să 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 ridicate.

Caracteristicile mecanice ale metalelor, obținute prin încercările efectuate pe epruvete supuse la diverse solicitări, care sunt 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.



**Fig.2.13. Modul de prelevare din țevă, al probelor pentru confecționarea epruvetelor**

Prelevarea de epruvete (probe) pentru diversele tipuri de încercări mecanice aferente determinării caracteristicilor mecanice de rezistență și tenacitate pentru oțelurile termorezistente utilizate la confecționarea conductelor de abur din centralele termoelectrice se face așa cum se arată în fig.2.13, în secțiune transversală, atunci când grosimea pereților țevii respective permite acest lucru.



**Fig.2.14. Modul de prelevare al epruvetelor-fâșii**

În cadrul experimentărilor efectuate în cadrul acestei lucrări, grosimea pereților țevilor prelevate din exploatare nu a permis prelevarea epruvetelor conform acestei metode, motiv pentru care s-au prelevat doar epruvete-fâșii pentru încercarea de tracțiune la temperaturi ridicate.

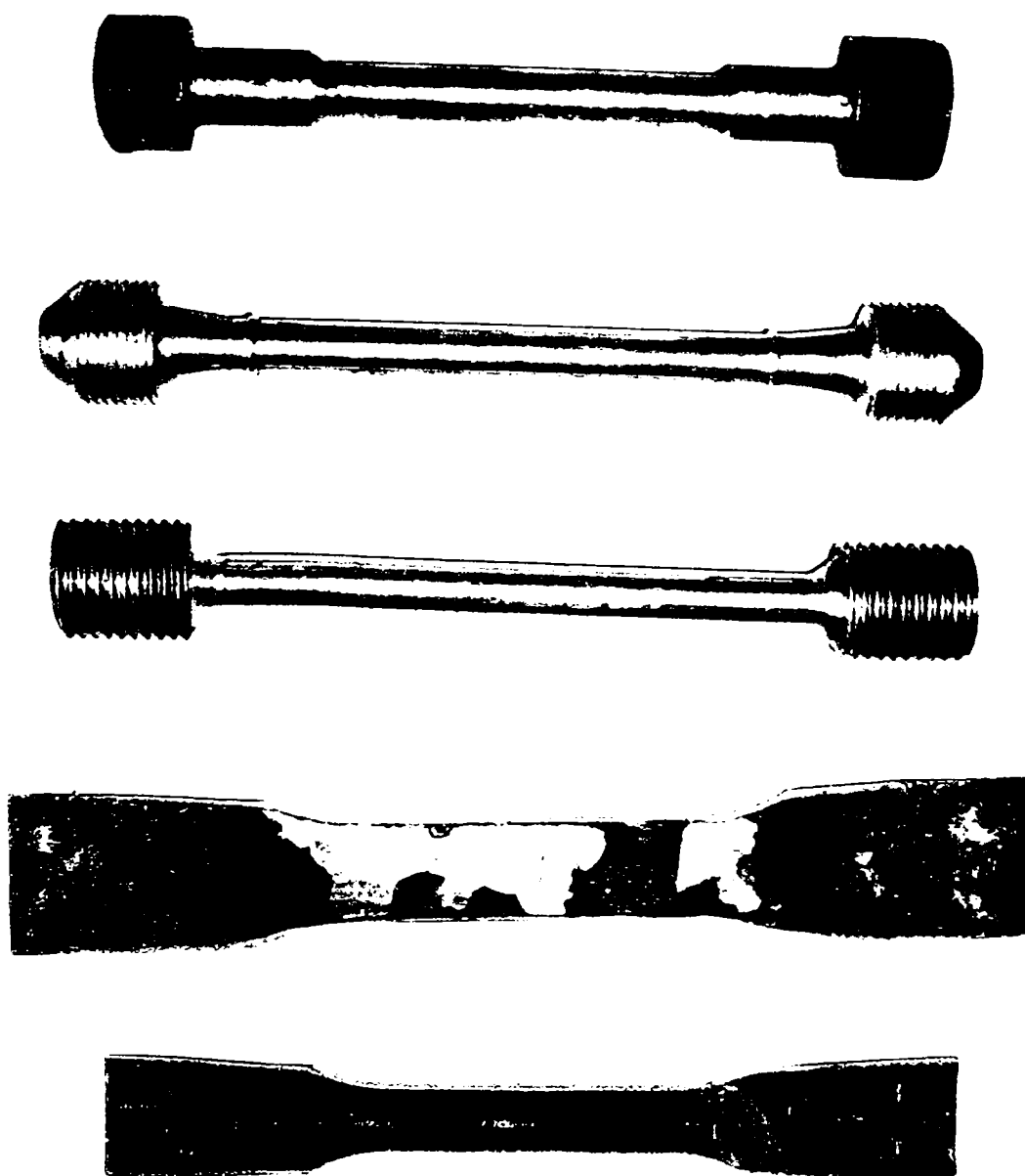
Pentru materialele care au fost încercate în starea de livrare sau după tratamentul termic, epruvetele au fost prelevate respectând normativele în vigoare, enumerate anterior.

În vederea determinării cât mai concludente a rezistenței materialului țevii, încercarea la trebuie să se efectueze direct pe tronsoane de țevi. În general, această cerință nu poate fi realizată în totalitate, deoarece mașinile de încercat din laboratoare nu permit montarea și încărcarea probelor întregi de țevă, decât până la anumite dimensiuni, relativ reduse. În consecință se recurge la examinarea țevilor pe baza unor epruvete-fâșii alese din pereții țevilor.

**Epruvetele fâșii – înguste** la țevi cu diametrul mai mic de 50 mm și **fâșii-normale** la țevi cu diametrul mai mare de 50 mm - se prelevează longitudinal față de axa țevii și în număr de trei, decalate la un unghi de  $120^\circ$  pe conturul probei (fig.2.14).

### 2.3.2.1. Epruvete pentru încercarea de tracțiune

După cum s-a prezentat la subcapitolul 2.1, încercarea la tracțiune monoaxială este o încercare de bază a unui oțel, deoarece oferă posibilitatea determinării unor caracteristici de rezistență respectiv de plasticitate în condiții relativ simple de realizare.



Poza.2.1. Epruvete utilizate pentru încercarea la tracțiune la temperaturi ridicate

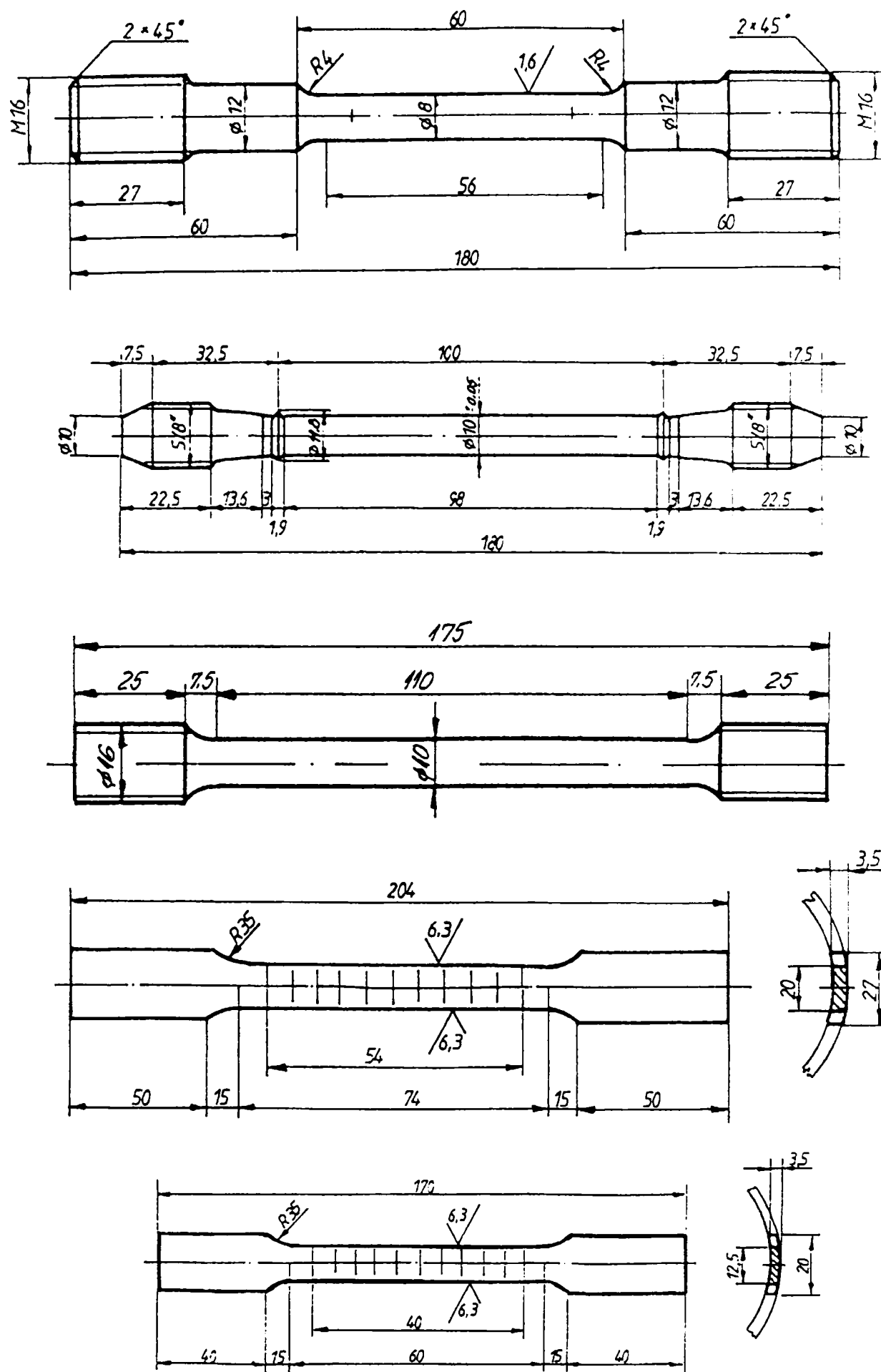


Fig. 2.15. Forma și dimensiunile epruvetelor folosite pentru încercarea la tracțiune, la temperaturi ridicate

Încercarea la tracțiune, reglementată prin normative [150]; [151]; [152] 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.

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 ridicate pot avea forma și dimensiunile reglementate prin normative [150]; [151]; [152] sau sunt specificate prin Caietele de sarcini respectiv normele interne ale producătorului de metal.

În poza 3.1. respectiv fig.2.15 sunt prezentate epruvetele folosite în cadrul experimentărilor.

Epruveta din fig.2.15.a a fost utilizată pentru încercările de tracțiune la temperaturi ridicate care s-au efectuat în cadrul Laboratorului de Încercări Mecanice de la S.C.Siderugica S.A. Hunedoara, pe o mașină de încercat de construcție Wolpert-Amsler. Ea provine de fapt din modelul prezentat în fig.2.15.b care reprezintă forma definită de normele britanice pentru acest tip de încercare. Pentru epruveta din fig.2.15.b, lungimea porțiunii calibrate este de 100 mm și se poate monta la această epruvetă un extensometru de construcție specială.

Forma și dimensiunile epruvetelor folosite pentru încercarea de tracțiune la temperatură ridicată executată pe mașina Wolpert-Amsler, sunt prezentate în fig.2.15 a și b. S-au adoptat epruvete cu secțiunea circulară, având lungimea calibrată  $L_c = L_0 + 2 \cdot d_0$ . Pentru capetele epruvetei s-a adoptat filetul normal M16. De asemenea s-au mai adoptat  $d_0 = 10$  mm,  $h = 20$  mm,  $L_0 = 5 d_0 = 50$  mm,  $L_c = 78$  mm, iar  $S_0 = 78,5$  mm<sup>2</sup>.

Pentru încercările mecanice efectuate în cadrul Laboratorului de Rezistența Materialelor din cadrul facultății, s-a adoptat forma epruvetei din fig.2.15.c, după [19], ale căror capete de prindere au putut fi adaptate mașinii de încercare de 50 kN. Motivul pentru care s-a adoptat această formă este acela că "proprietățile materialelor pot fi studiate cel mai bine în cazul când se experimentează cu epruvete de forma cea mai simplă, a căror stare de tensiune este omogenă", [104].

Epruvetele din fig.2.15.d și fig.2.15.e reprezintă epruvete-fâșii prelevate din elementele cazanului de abur, pentru încercarea la tracțiune la temperaturi ridicate.

Încercarea la tracțiune are avantajul că în timpul încercării pe porțiunea deformabilă a epruvetei nu intervin factori externi (de exemplu fenomenul de frecare), iar ca dezavantaj ar fi faptul că deformarea se produce uniform numai până la începutul găturii, moment după care se produce local cu modificări atât ale vitezei de deformare, cât și ale stării de tensiune din epruvetă.

### 2.3.2.2. Epruvete pentru încercarea de încovoiere prin șoc

Încercarea de încovoiere prin șoc la cald se execută similar cu cea de la temperatura ambiantă, respectând prescripțiile [19]; [156].

Lungimea și secțiunea transversală a epruvetelor folosite pentru încercările la încovoiere prin

șoc se alege în funcție de capacitatea ciocanului-pendul.

Reducerea secțiunii epruvetei trebuie făcută doar atunci când se bănuiește că este insuficientă capacitatea ciocanului-pendul.

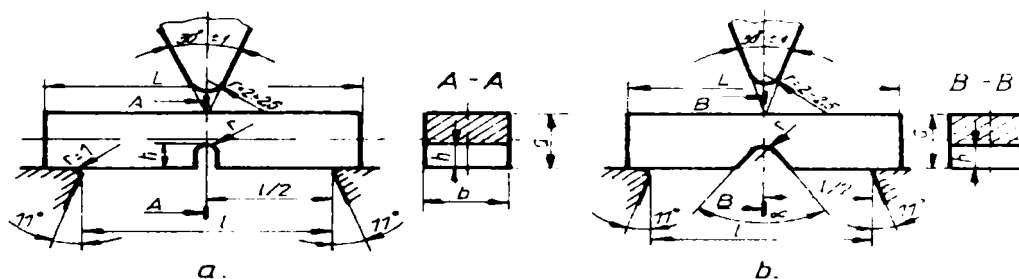
Normativul [156] precizează că "în cazul încercării la temperaturi diferite de temperatura ambiantă, epruveta trebuie să fie cufundată într-un mediu de încălzire, un timp suficient ca temperatura să fie atinsă de întreaga epruvetă (de exemplu, cel puțin 10 minute într-un mediu lichid sau cel puțin 30 de minute într-un mediu gazos).

Ruperea epruvetei trebuie efectuată într-un interval de 5 secunde de la scoaterea ei din instalația de încălzire.

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. Caracteristica determinată se numește **energie absorbită** [J] și caracterizează rezistența la șoc a materialelor.

Pe plan internațional s-a ajuns la o mare varietate de tipuri de epruvete, funcție de forma creștăturii și de dimensiunile acestora.

Uzual, pentru încercarea la încovoiere prin șoc se utilizează epruvetele Charpy cu creștătură în formă de U (fig.2.16.a) respectiv în formă de V (fig.2.16.b). Dimensiunile acestor tipuri de epruvete [19], sunt prezentate în tabelul 2.1.



**Fig.2.16. Epruvete pentru încercarea la încovoiere prin șoc:**  
a-cu creștătură V; b-cu creștătură U

**Tabelul 2.1**

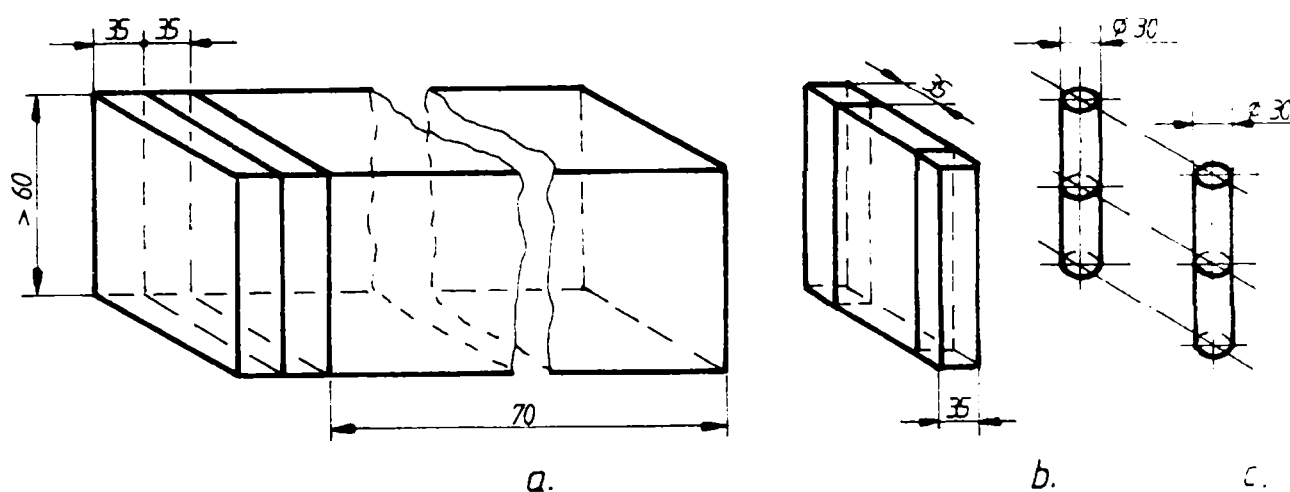
**Dimensiunile epruvetelor pentru încercări la încovoiere prin șoc în domeniul temperaturilor ridicate**

Denumirea epruvetei	Tipul epruvetei	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	5					
Epruvete subțiri de tip Charpy U	Mesnager	55	5	10	1	2	-	40
	DVMF	55	8	10	4	4	-	40
Epruvete de tip Charpy V (SR EN 10045-1:1993)	-	55	10	10	0,25	2	45°	40

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** [91]. 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.



**Fig.2.17. Schema modului de prelevare a epruvetelor transversale din produs laminat**

Modul de obținere al epruvetelor transversale din produs laminat este prezentat schematic în fig.2.17, [135]. Se detașează din produsul laminat, prin așchiere, două șaibe având grosimea de 35 mm (fig.2.17.a) din care apoi se prelucrează câte două probe cu grosimea de 35 mm, de la periferia șaibe (fig.2.17.b). Din aceste probe se obțin prin strunjire, cilindrii cu diametrul de 30 mm (fig.2.17.c), care reprezintă probele intermediare (dacă este cazul unui tratament termic). Prin prelucrări mecanice ulterioare se realizează epruvetele transversale necesare încercărilor la temperatura ambiantă respectiv la temperaturi ridicate. 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 700 mm (fig.2.17.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, 35 mm x 35 mm x 60 mm, de la periferia laminatului care devin probe intermediare (dacă este cazul unui tratament termic) și apoi prin prelucrări mecanice se obțin epruvetele pentru tracțiune respectiv epruvetele longitudinale pentru încovoierea prin șoc.

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.2.18.

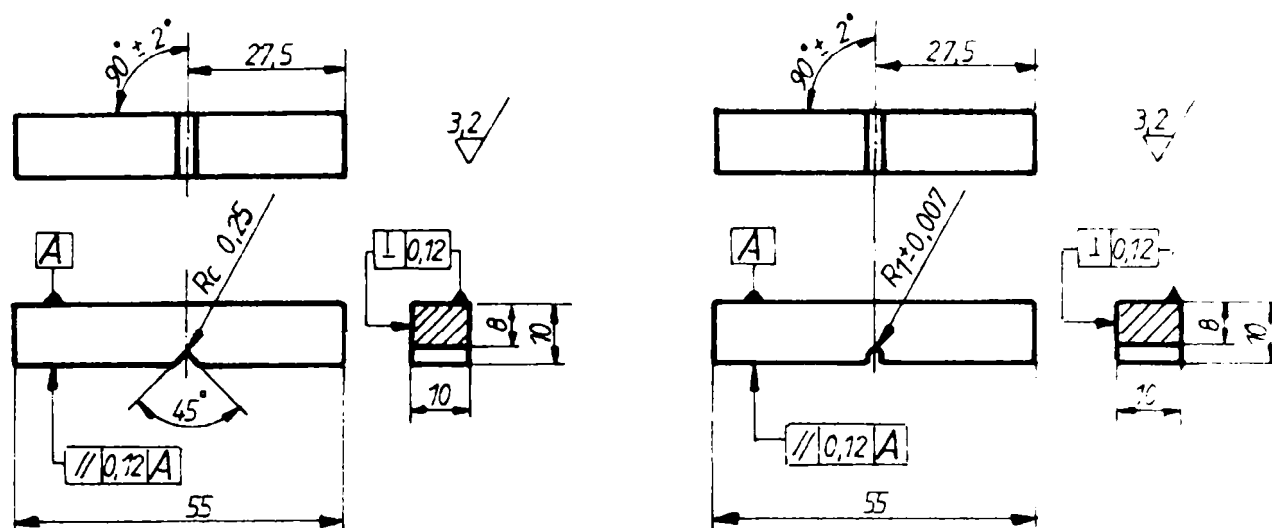


Fig. 2.18. Forma și dimensiunile epruvetelor utilizate la încercări

Pentru oțelurile cu destinație specială, care lucrează în condiții de temperaturi ridicate, din cauza faptului că în normativul [156] nu se specifică nici o variantă de alegere a formei creștăturii epruvetei s-a ales varianta de epruetă cu creștătură în V pentru mărcile de oțeluri încercate în cadrul laboratorului facultății, iar pentru cele încercate la S.C. Siderurgica S.A, (doar la temperatura ambiantă, conform standardelor de produs [159] pentru oțelurile OLT 35K și OLT 45K) s-au utilizat epruvete cu creștătură U. Forma U a creștăturii epruvetelor evidențiază capacitatea unui oțel de a se opune inițierii fisurării acestuia, iar forma V evidențiază capacitatea unui oțel de a se opune propagării unei fisuri deja existente.

În cadrul experimentărilor efectuate, încălzirea epruvetelor în vederea încercării la încovoiere prin șoc la temperaturi ridicate se face în incinta realizate de către autoare în acest scop, urmărindu-se și posibilitatea de evaluare a caracteristicii de încovoiere prin șoc pe epruvetele prelevate transversal în funcție de cea determinată pe epruvete prelevate longitudinal, pentru o anumită temperatură de încercare.

### 2.3.2.3. Epruvete pentru încercarea la răsucire

Încercarea la răsucire nu este reglementată printr-un normativ național. Ea este utilizată totuși pentru determinarea deformabilității la cald a metalelor și aliajelor, constituind 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 la unele 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 [88].

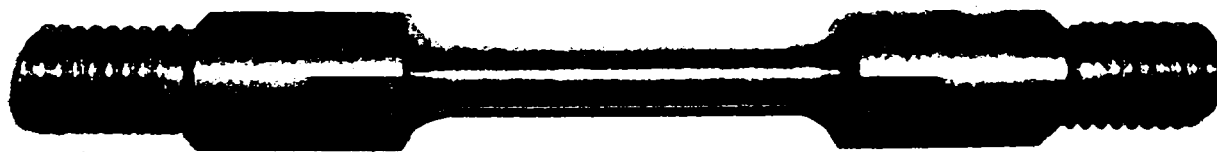
Scopul încercării, conform [92], [135] constă în determinarea curbei caracteristice a materialului la răsucire, care reprezintă dependența tensiunii tangențiale  $\tau$  de lunecarea specifică  $\gamma$ .

Această curbă se obține prin prelucrarea diagramei trasate pe sistemul de înregistrare a mașinii de încercat și care reprezintă dependența dintre momentul de răsucire ( $M_r$ ) și unghiul de răsucire ( $\varphi$ ). De pe curba caracteristică a materialului la răsucire se pot determina limita de proporționalitate ( $\tau_p$ ), limita de elasticitate ( $\tau_e$ ), limita de curgere tehnică ( $\tau_{0,3}$ ) respectiv rezistența la rupere ( $\tau_r$ ).

Forma și dimensiunile epruvetelor utilizate pentru încercarea la răsucire nu sunt unanim acceptate. În lucrarea [92] se menționează că la încercările de răsucire se recomandă utilizarea epruvetelor de secțiune circulară, la care se menține forma inițială plană a secțiunilor în timpul încercării, iar capetele de fixare trebuie să fie mai groase pentru a se evita ruperea sau producerea deformațiilor exagerate în fălcile de fixare. De asemenea se spune că, valoarea rezistenței la rupere este influențată considerabil de forma epruvetei, motiv pentru care la aceste încercări se recomandă menținerea constantă a raportului  $S/l^2$ , în care  $S$  reprezintă secțiunea epruvetei, iar  $l$ - lungimea ei.

În [38] se precizează că epruveta de răsucire are, în general, secțiunea transversală circulară, deoarece reprezintă forma geometrică ce permite calculul cel mai simplu al tensiunilor ce iau naștere. Astfel, diverși autori [38]; [88]; [91]; [135] recomandă valori pentru lungimea epruvetei pe secțiunea calibrată, diametrul epruvetei (pentru cazul secțiunilor circulare), raportul dintre diametrul exterior și grosimea peretelui (pentru epruvetele tubulare).

Având în vedere cele prezentate, autoarea a adoptat pentru epruvetă, dimensiuni care să se încadreze cât mai bine în aceste recomandări. Epruveta utilizată în cadrul încercărilor la răsucire, în condiții de temperaturi ridicate, este prezentată în poza 2.2, iar forma și dimensiunile acesteia sunt redate în fig.2.19. Epruveta de secțiune circulară (fig.2.19.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 5 mm.



Poza 2.2. Epruvete pentru încercarea la răsucire la temperaturi ridicate

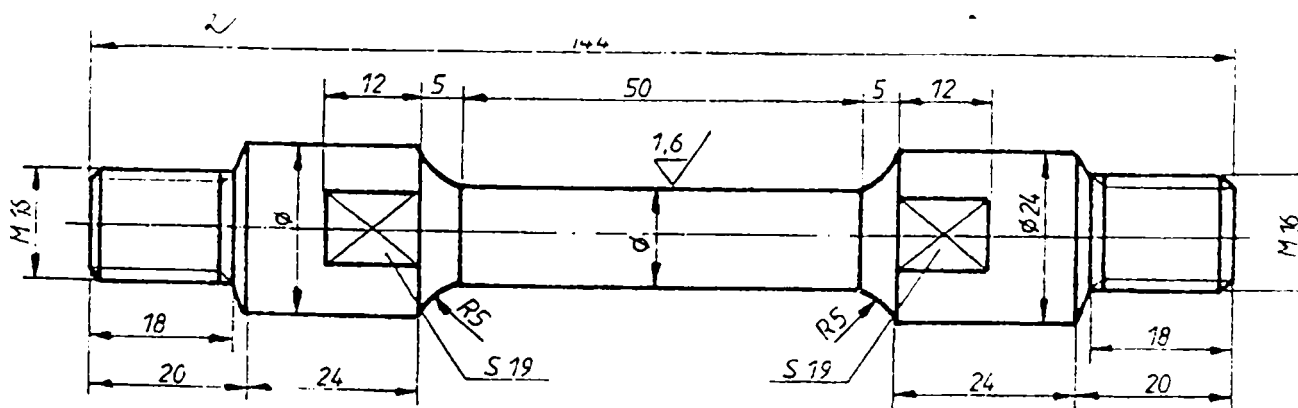


Fig.2.19. Epruvetă utilizată pentru încercarea de răsucire la temperaturi ridicate

Capetele epruvetei au o porțiune filetată prin intermediul căreia se montează într-un prelungitor, care asigură fixarea în dispozitivele de prindere ale mașinii de încercat. Pentru a asigura posibilitatea de desfacere a epruvetelor din tijele prelungitoare în care sunt montate pentru a efectua încălzirea epruvetelor în incintă, acestea sunt prevăzute cu două fețe plane, reprezentate pe desene.

Numărul epruvetelor utilizate s-a considerat minimum 3, pentru un palier de temperatură.

Condițiile privind aspectul epruvetei încercate se referă la următoarele elemente:

- a) **Aspectul rupturii:** ruptura netedă perpendiculară pe axa epruvetei (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.).

#### 2.3.2.4. Epruvete pentru încercarea de duritate

Duritatea este definită [136], [154] 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 nedistructive; 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.

Metodele prezentate în subcapitolul 2.2 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 ridicate, menținându-se principiul metodei și utilizând o incintă care trebuie să îndeplinească următoarele condiții: creșterea temperaturii la valoarea dorită; uniformizarea acesteia în întreaga masă a epruvetei și menținerea constantă pe întreaga durată a încercării.

La alegerea metodei de încercare a durtății la temperaturi ridicate 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 durtății probabile;
- precizia urmărită prin încercare;
- mediul de încălzire (incinta de încălzire, sistemul de reglare și menținere a temperaturii).

Dintre metodele statice de determinare a durtății, la temperaturi ridicate, 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 ridicate și metodele Rockwell sau Vickers.

Dacă determinarea durtății 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 Shore). Această metodă de apreciere a durtății prezintă avantajul unui timp relativ scurt al încercării, dar posibilitatea de a efectua determinările în afara incintei de încălzire, dar prezintă dezavantajul unei precizii relativ scăzute.

Trebuie menționat faptul că, până în prezent, încercările de duritate la temperaturi ridicate nu sunt reglementate prin normative naționale (STAS-uri) sau europene (EN-uri). Puținele cercetări întâlnite în literatura de specialitate [19] au drept scop stabilirea unor corelații între caracteristica de duritate, la temperaturi ridicate și alte caracteristici mecanice de material obținute la aceleași temperaturi (de exemplu: corelația dintre duritate și rezistența la tracțiune sau reziliența la temperaturi ridicate).

Încercarea durtății după metoda Brinell [136], [154] 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.2.20.

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 [mm]; constanta  $= \frac{1}{g_n} = \frac{1}{9,80665} = 0,102$ .

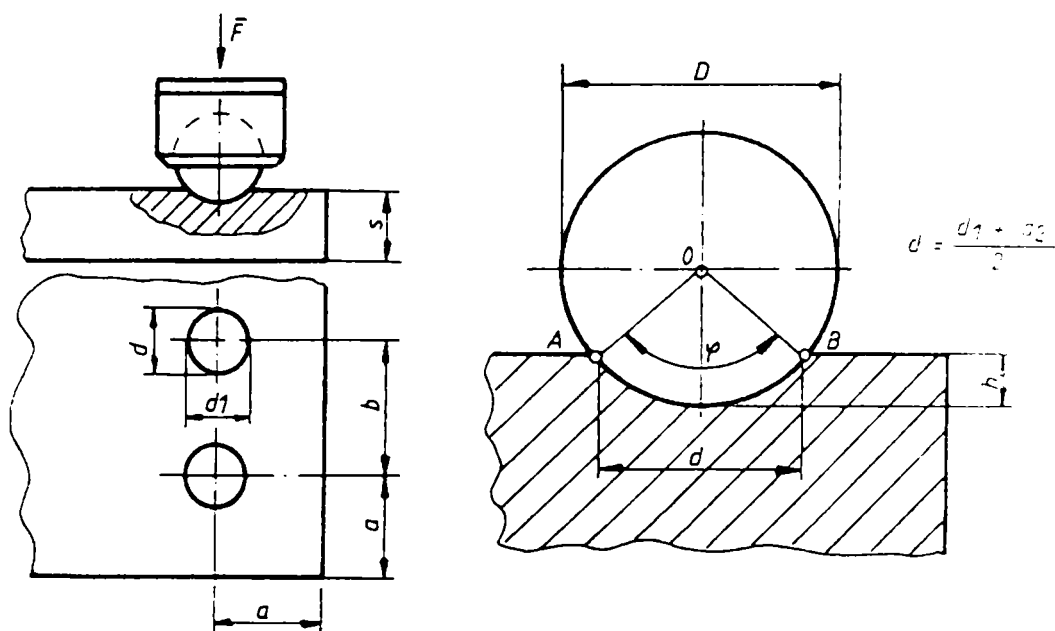


Fig.2.20. Schema de principiu a încercării de duritate Brinell

Simbolul **HBS** sau **HBW** este precedat de valoarea durității 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**.

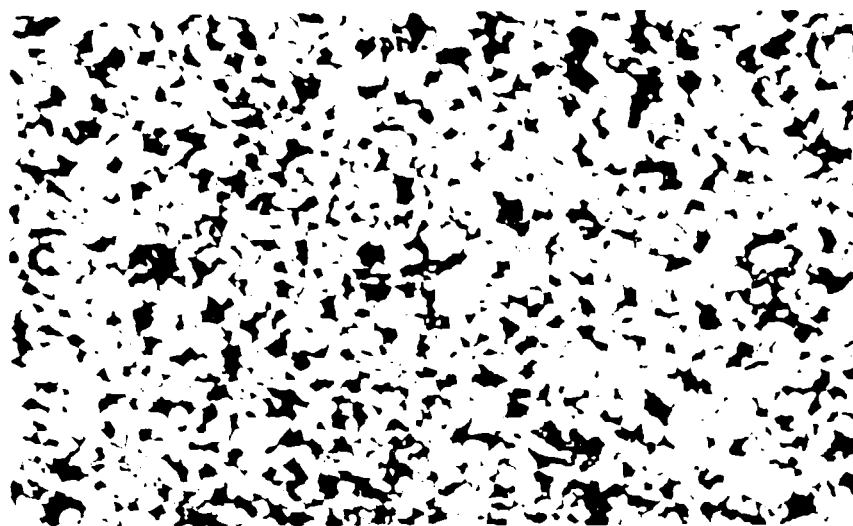
Mărimea sarcinii de apăsare și diametrul bilei trebuie astfel alese încât să fie îndeplinite următoarele condiții:

- 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.

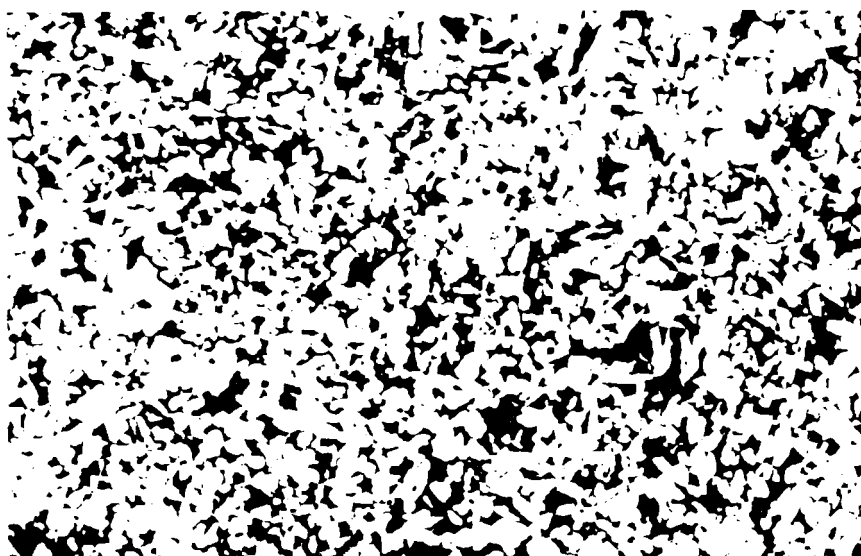
Pentru a putea compara valorile durității Brinell, pentru același material, stabilite cu bile și sarcini de apăsare diferite, se utilizează similitudinea geometrică asigurată de unghiul  $\varphi$  (fig.2.7) identic la toate amprente. S-a introdus astfel noțiunea de **grad de solicitare**  $k = 0,102 F/D^2$  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  $\geq 150$  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  $\geq 150$  HB) respectiv  $b \geq 6d$  (pentru materiale cu duritatea  $< 150$  HB).



a – OLT 35K

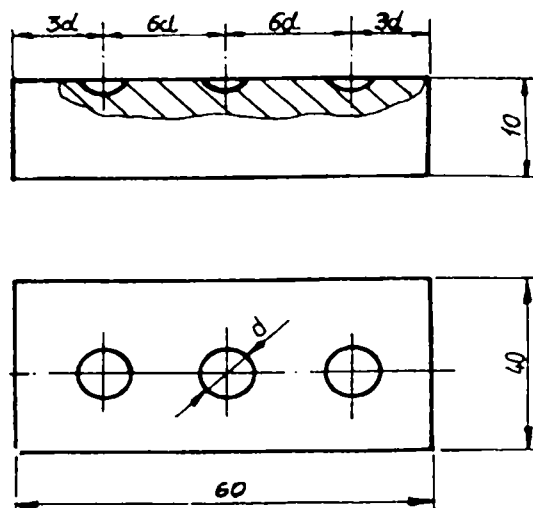


b – OLT 45 K



c – 16Mo3

**Fig.2.21. Structurile inițiale ale oțelurilor OLT35K, OLT 45K și 16Mo3 în starea de livrare**



**Fig.2.22. Forma și dimensiunile epruvetei pentru încercarea de duritate după metoda Brinell**

Ținându-se cont de recomandările prezentate și admitând că duritatea oțelurilor luate în studiu, la temperaturi ridicate, poate fi și mai mică de 150 HB dar și mai mare de 150 HB, se adoptă diametrul mediu al amprente  $d \leq 6 \text{ mm}$ , iar diametrul bilei de oțel  $D = 10 \text{ mm}$  pentru care rezultă:  $a \geq 2,5 \cdot 6 = 12 \text{ mm}$ ,  $b \geq 4 \cdot 6 = 24 \text{ mm}$  și grosimea minimă a epruvetei  $s_{\min} = 8 \text{ mm}$  (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 ridicată de încercare, s-au adoptat pentru epruvete dimensiunile de gabarit  $L \times l \times s = 60 \times 40 \times 10$  reprezentate în fig.2.22.

Epruvetele de duritate au fost analizate din punct de vedere metalografic, în starea de livrare, și apoi după tratamentul termic, iar structurile inițiale sunt prezentate în fig.2.21, pentru mărcile de oțeluri pe care s-au efectuat încercările de duritate la temperaturi ridicate. Reactivul folosit a fost nital 2%, iar probele au fost studiate la mărire de 100 de ori.

Din studiul metalografic a reieșit că oțelul OLT 35K (fig.2.21.a) are o structură ferito-perlitică cu grăunte real de punctaj 7-6 conform SR ISO 643-93. Proba din OLT 45K (fig.2.21.b) are o structură ferito-perlitică ușor neomogenă (prezintă insule cu grăunți mari), iar cea din 16Mo3 are tot o structură ferito-perlitică dar cu insule cu grăunți fini.

Toate structurile corespund stării de livrare precizată în normativul producătorului de metal.

### 2.3.3. Tratamentele termice aplicate materialelor epruvetelor

Pentru încercările mecanice efectuate în domeniul temperaturilor ridicate s-au utilizat următoarele oțeluri: OLT 35K; OLT 45K, 16 Mo3, 12MoCr90, 12VMoCr10.

Menționăm că pentru tracțiune au fost utilizate epruvete provenite din OLT 35K și OLT 45K, prelevate din elemente (țevi) care au funcționat un număr de ore la temperaturi ridicate.

Prelevarea celorlalte probe, 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. Trebuie specificat de asemenea că din cauza numărului mare de epruvete care a fost încercat, produsele laminate au fost forjate la dimensiuni mai reduse, pentru reducerea operațiilor de prelucrare prin așchiere a epruvetelor.

Domeniile de utilizare pentru categoria de oțeluri de țevi utilizate la temperaturi ridicate, sunt prezentate în Capitolul 1. În continuare ne vom opri doar asupra tratamentelor termice efectuate asupra mărcilor de oțeluri studiate.

1. Oțelurile **OLT 35K** și **OLT 45 K – STAS 8184-80**, fac parte din categoria oțelurilor nealiante, utilizate pentru realizarea de țevi care lucrează la temperaturi ridicate.

Probele din aceste oțeluri au fost prelevate din țevi care au lucrat într-un cazan de abur, după cum urmează:

- din focar s-au prelevat epruvete de tracțiune fâșii-normale, materialul fiind OLT 35K;
- din economizor s-au prelevat epruvete de tracțiune fâșii-înguste, materialul fiind OLT45K;
- din materialul neutilizat s-au prelevat epruvete de tracțiune fâșii-înguste, fiindu-ne pus la dispoziție doar OLT 45K.

Este evident faptul că țevile care au fost prelevate din cazanul de abur au fost, anterior montării lor, tratate termic final conform standardului de produs, așa cum reiese din tabelul 2.2.

Tabelul 2.2

### Tratamentele termice aplicate oțelurilor OLT 35K, OLT 45K

Marca de oțel	Normalizare	
	Temperatura [°C]	Mediul de răcire
<b>OLT 35K – Material utilizat</b>	900...930	aer
<b>OLT 45K – material utilizat</b>	870...900	aer
<b>OLT 45K – material neutilizat</b>	870...900	aer

Prelevarea epruvetelor de tracțiune –fâșii s-a efectuat cu o atenție deosebită, tocmai pentru a respecta forma ce o are lungimea calibrată a acestor epruvete, prin procedee de prelucrare mecanică prin așchiere, pentru a nu influența structura acestor materiale.

De asemenea au fost prelevate probe transversale, sub formă de inele, pentru analize metalografice, urmărind punerea în evidență a morfologiei transformărilor de fază din material, determinarea dimensiunii grăunților, a eventualelor fenomene de oxidare sau decarburare și a altor defecte de structură.

Rezultatele acestor analize metalografice se prezintă în continuare, iar compozițiile chimice ale oțelurilor analizate sunt redată în tabelul 2.3 pentru OLT 35K respectiv tabelul 2.4 pentru OLT 45K, realizându-se și o comparație cu standardul de produs aferent.

Tabelul 2.3

### Rezultatele analizei chimice ale materialului prelevat din focar – OLT35K

Material	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Mo
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
<b>Focar – OLT 35K</b>	0,15	0,76	0,34	0,011	-	0,19	0,20	0,17	0,01
<b>STAS 8184-80</b>	Max. 0,17	Min. 0,45	0,15... 0,35	Max. 0,045	Max. 0,040	Max. 0,30	Max. 0,30	Max. 0,30	-

Se constată că materialul supus analizei se încadrează în standardul de produs aferent, cu precizarea că în compoziția chimică se găsește, în proporții mici, molibden. Analizând acest lucru,



conform [33], putem spune că molibdenul, în cantități mici, combate fragilitatea de revenire reversibilă. Dizolvându-se în ferită și formând carburi, molibdenul îmbunătățește proprietățile de rezistență și într-o oarecare măsură și proprietățile de plasticitate ale oțelurilor recoapte sau normalizate, cum este cazul analizat. De asemenea, prin formarea de carburi, molibdenul îmbunătățește rezistența la uzură și frânează procesele de alunecare, determinând o creștere sensibilă a rezistenței oțelurilor la temperaturi ridicate.

Molibdenul este deci elementul de aliere care asigură rezistența mecanică la cald a oțelurilor folosite la temperaturi ridicate.

Tabelul 2.4

**Rezultatele analizei chimice ale materialului prelevat din supraîncălzitor, economizor și a materialului neutilizat (țevă de diametru 38 mm cu grosimea de 3,5mm) – OLT 45K**

Material	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Mo
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
<b>Supraîncălzitor OLT 45K</b>	0,19	0,67	0,24	0,041	-	0,12	0,17	0,18	0,14
<b>Economizor OLT 45K</b>	0,23	0,62	0,25	0,031	-	0,22	0,21	0,18	0,30
<b>Material neutilizat OLT 45K</b>	0,21	0,46	0,27	0,005	-	0,17	0,14	0,20	0,28
<b>STAS 8184-80</b>	Max. 0,23	Min. 0,45	0,15... 0,35	Max. 0,045	Max. 0,040	Max. 0,30	Max. 0,30	Max. 0,30	-

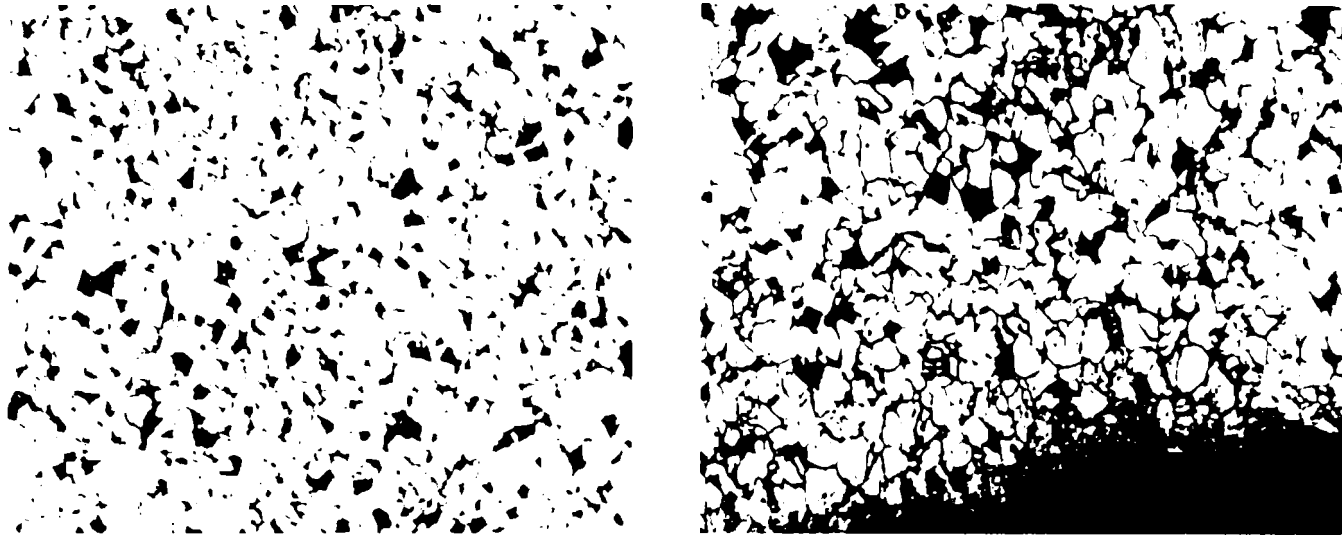
Pentru materialul țevii prelevat din focar, OLT 35K, prezentat în fig.2.23, în urma studiului la microscopul optic s-a observat că acesta prezintă o structură ferito-perlitică cu grăunte real de punctaj 7-8, conform SR ISO 643-93, iar pereții țevii nu au structură decarburată.



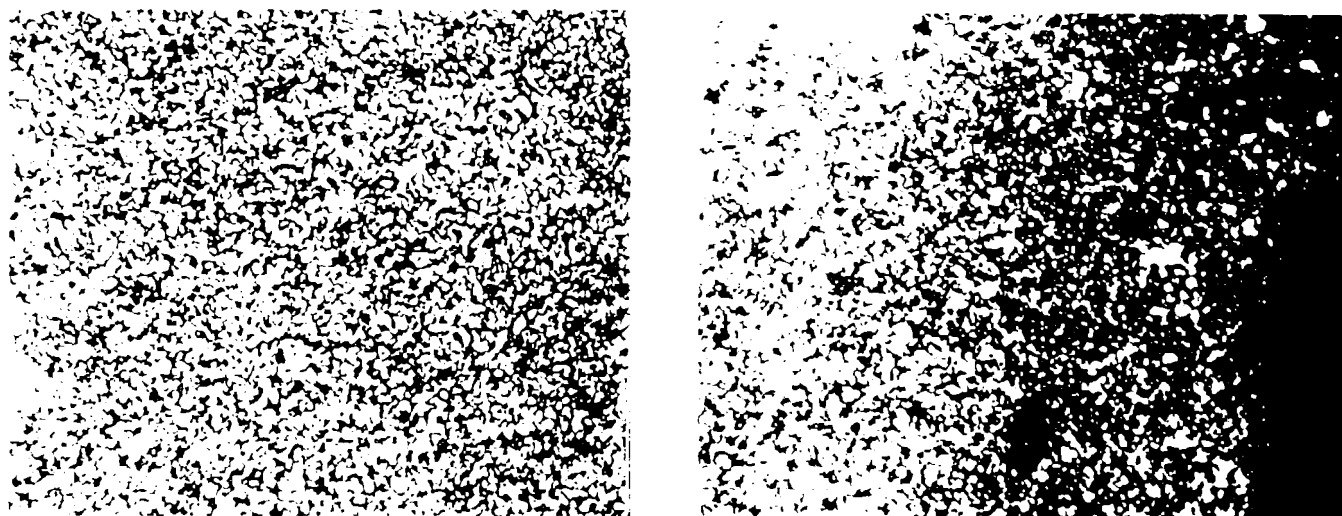
**Fig.2.23. Structura țevii prelevată din focarul cazanului de abur – oțel OLT 35K**

Pentru materialul țevii prelevat din supraîncălzitorul cazanului de abur, OLT 45K, prezentat în fig.2.24, în urma studiului la microscopul optic s-a observat că acesta prezintă o structură ferito-perlitică (fig.2.24.a), iar peretele exterior al țevii are pe anumite porțiuni o structură ușor corodată (fig.2.24.b), dar care nu are implicații negative asupra funcționării în continuare a elementului analizat, din care a fost prelevată pentru studiu.

Pentru materialul țevii prelevat din economizor, OLT 45K, prezentat în fig.2.25, în urma studiului la microscopul optic s-a observat că acesta prezintă o structură ferito-perlitică cu grăunți fini (fig.2.25.a), iar pereții țevii au o structură modificată pe peretele exterior al țevii, în sensul prezenței unei carburări la zona de limită, dar care nu afectează funcționarea în continuare a elementului respectiv (fig.2.25.b).



**Fig.2.24. Structura țevii prelevată din supraîncălzitorul cazanului de abur – oțel OLT 45K**



**Fig.2.25. Structura țevii prelevată din economizorul cazanului de abur – oțel OLT 45K**



**Fig.2.26. Structura țevii din material neutilizat – oțel OLT 45K**

Pentru materialul neutilizat, prelevat din țeava care urma să fie înlocuită, marca OLT 45K, prezentat în fig.2.26, în urma studiului la microscopul optic s-a observat că acesta prezintă o structură ferito-perlitică ușor supraîncălzită (ferita este sub formă aciculară și nu granulară, cum este de obicei), probabil din cauza probelor efectuate la livrarea țevii de către întreprinderea producătoare.

În urma acestor analize metalografice se poate concluziona că deoarece în structura oțelurilor analizate se păstrează o cantitate suficientă de perlită și ferită, iar granulația fină observată în aceste structuri ne poate face să spunem că materialele prezintă încă bune caracteristici mecanice de rezistență, motiv pentru care pot fi exploatare în continuare.

Din toate aceste categorii de materiale au fost prelevate epruvete fâșii pentru încercarea de tracțiune la temperatura ambiantă și la temperaturi ridicate, aferente temperaturilor la care aceste țevi au lucrat în exploatare, prezentate în subcapitolul 2.3.

Pentru încercările efectuate în cadrul Laboratorului de Încercări Mecanice de la S.C. Siderurgica S.A. Hunedoara, compozițiile chimice ale șarjelor de oțel din care s-au efectuat o parte din încercări sunt prezentate în Anexa 3.

**2. Oțelul 16 Mo 3 – STAS 8184-80** face parte din categoria oțelurilor aliate, utilizate pentru realizarea de țevi care lucrează la temperaturi ridicate. Din această marcă de oțel s-au realizat probe pentru toate încercările mecanice care s-au efectuat în cadrul acestei lucrări, materialul fiind în stare de livrare laminat.

Compoziția chimică a materialului utilizat pentru încercările experimentale este prezentată în tabelul 2.5, iar concluzia este că oțelul supus încercărilor mecanice se încadrează în norma de produs aferentă.

Tabelul 2.5

Compoziția chimică a oțelului 16 Mo3

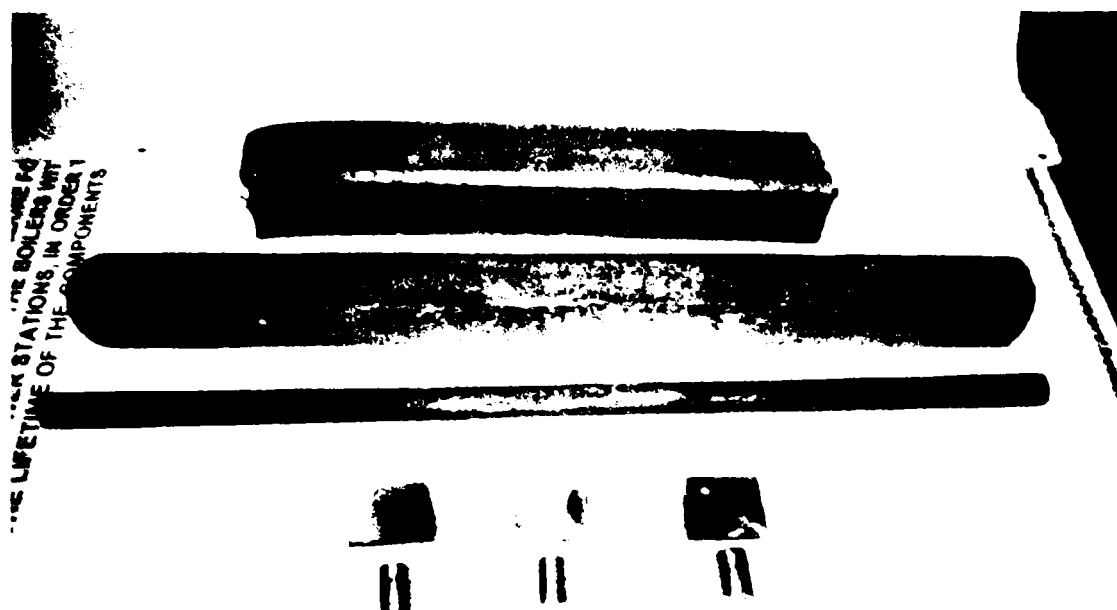
Material	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Mo
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
<b>16Mo3</b>	0,16	0,56	0,20	0,020	0,016	0,20	0,10	0,10	0,26
<b>STAS</b>	0,12...	0,50...	0,15...	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	0,25...
<b>8184-80</b>	0,20	0,80	0,35	0,040	0,040	0,30	0,30	0,30	0,40

Probele pentru tracțiune și răsucire au avut ca bază de plecare o țagă rotundă de diametru 150 mm, din care au fost forjate țagle pătrate la dimensiunile 60 x 60 x 600 [mm] și bare rotunde de diametru 25 mm și lungime 80 mm, prezentate în Poza 2.3.

Din țagle, după tratament termic au fost realizate epruvetele pentru încercarea de încovoiere prin șoc, (longitudinale și transversale față de direcția de laminare) la temperaturi ridicate, și plăcuțele pentru încercarea de duritate.

Din barele forjate rotund au fost realizate epruvetele pentru încercarea de tracțiune și cea de răsucire la temperaturi ridicate.

Tratamentul termic aplicat acestei mărci de oțel, conform STAS 8184-87 este prezentat în tabelul 2.6.



Poza. 2.3. Semifabricate din care au fost prelevate epruvetele de încercare

Tabelul 2.6

Tratamentele termice aplicate oțelului 16Mo3

Marca de oțel	Recoacere de înmuiere		Normalizare	
	Temperatura [°C]	Mediul de răcire	Temperatura [°C]	Mediul de răcire
șagă pătrată 60x60x600 [mm]	680...720	cuptor	910...940	aer
bară forjată de diametru 25 mm	680...720	cuptor	910...940	aer

4. Oțelul **12VMoCr10** este un oțel aliat, destinat tablelor laminate la cald pentru cazane și recipiente sub presiune, care lucrează la temperatură ridicată sau la temperatură ridicată și/sau mediu de hidrogen, conform **STAS 2883/3-88**.

Compoziția chimică a materialului utilizat pentru încercările experimentale este prezentată în Anexa 3, iar concluzia este că oțelul supus încercărilor mecanice se încadrează în norma de produs aferentă.

Pe acest tip de material au fost efectuate doar încercări la tracțiune la temperaturi ridicate, pentru determinarea limitei de curgere la temperatura de 500°C, care au fost prevăzute în norma internă de produs a acestui material, motivația fiind aceea că standardul nu prevede o temperatură la care trebuie garantată limita de curgere la cald pentru acest oțel.

Materialul a fost încercat în starea de tratament termic, prezentată în tabelul 2.7.

Tabelul 2.7

Tratamentul termic aplicat oțelului 12VMoCr10

Marca de oțel	Normalizare	
	Temperatura [°C]	Mediul de răcire
12VMoCr10	960...980	cuptor

5. Oțelul **12MoCr90** este un oțel destinat elementelor de mașini și utilaje care lucrează la temperaturi ridicate (475°C...575°C) și/sau în mediu de hidrogen în industria chimică și petrochimică.

Compoziția chimică a materialului utilizat pentru încercările experimentale este prezentată în tabelul 2.8, iar concluzia este că oțelul supus încercărilor mecanice se încadrează în norma de produs aferentă.

Tabelul 2.8

## Compoziția chimică a oțelului 12MoCr90

Material	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Al	Mo
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
12MoCr90	0,15	0,58	0,55	0,015	0,011	9,42	0,17	0,09	0,95
STAS 8185-77	0,08... 0,15	0,30... 0,60	0,25... 1,00	max. 0,035	max. 0,035	8,00... 10,00	-	0,015- 0,045	0,90... 1,10

Compoziția chimică, caracteristicile mecanice, tratamentul termic aplicat etc. sunt reglementate prin STAS 8185-77.

Din această marcă de oțel s-au prelevat epruvete pentru încercările în domeniul temperaturilor ridicate la încovoierea prin șoc.

Caracteristicile mecanice se determină pe epruvete prelevate din probe de tratament termic, realizate prin forjare. Probele se obțin din bare laminate.

Tratamentul termice aplicat acestui oțel, pentru starea de livrare recopt, este redat în tabelul 2.9.

Tabelul 2.9

## Tratamentul termic aplicat oțelului 12MoCr90

Marca de oțel	Recoacere de înmuiere	
	Temperatura [°C]	Mediul de răcire
12MoCr90 taglă pătrată 60x60x600	840...890	cuptor

Fabricarea și utilizarea acestor categorii de oțeluri se realizează în condițiile unor exigențe tehnice sporite comparativ cu cele întâlnite pentru structuri portante obișnuite. Nivelul ridicat al energiei totale de deformare acumulată într-un înveliș sub presiune justifică controlul atent, produs cu produs, al omogenității de compoziție chimică și de caracteristici mecanice, ca și verificarea naturii și dimensiunii defectelor interne și de suprafață admise pe produsul finit. Pentru realizarea anumitor condiții tehnice prescrise pe fluxul de fabricație se pot folosi măsuri tehnologice ca: barbotarea cu argon; desulfurarea avansată sau degazarea oțelului lichid; turnarea continuă; îndepărtarea prin flamare a defectelor de pe suprafața semifabricatelor; controlul gradului de deformare la laminare pe cele trei direcții principale; tratamentul termic.

## 2.4. Instrumente, dispozitive și aparate pentru măsurarea temperaturii

### 2.4.1. Noțiuni introductive

Temperatura este o mărime fizică ce caracterizează gradul de încălzire sau de răcire al materiei, deci măsoară intensitatea agitației termice a particulelor componente. Pentru determinarea obiectivă a temperaturii unui corp, trebuie să alegem un parametru măsurabil care să depindă de starea de încălzire, în așa fel încât fiecărei valori măsurate să-i corespundă o singură stare de încălzire și reciproc.

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,<sup>73</sup>

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** [82].

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.

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

În tabelul 3.10 se prezintă o sinteză a diverselor forme constructive de termometre cu rezistență și termocupluri utilizate pentru măsurarea temperaturilor ridicate.

În cadrul prezentei lucrări, la experimentările efectuate, temperaturile ridicate din camerele de lucru ale incintelor de încălzire a epruvetelor au fost măsurate cu ajutorul următoarelor instrumente (poza 2.4): termometre de laborator; termorezistențe de platină și termocuple cromel-alumel.

Termometrele de laborator (în număr de două bucăți) au fost utilizate pentru măsurarea temperaturilor în interiorul incintelor, atât în perioada pregătitoare realizării experimentărilor cât și la determinările preliminare efectuate la testarea cuptoarelor.

Unul dintre termometre are scara de măsurare  $0^{\circ}\text{C} \dots +400^{\circ}\text{C}$  iar cel de-al doilea termometru are scara de măsurare de la  $0^{\circ}\text{C} \dots +600^{\circ}\text{C}$  și ambele au precizie ridicată la măsurarea temperaturilor, având drept lichid termometric mercurul.

Datorită dezavantajelor pe care aceste termometre le au și anume: imposibilitatea de a transmite indicațiile la distanță, de a înregistra rezultatele măsurărilor, precum și faptul că au o inerție termică mare, s-a recurs la alte instrumente de măsură denumite uzual **termorezistențe**. Acestea sunt instrumente de măsurare a temperaturii care folosesc variația unei anumite proprietăți electrice (rezistența electrică sau tensiunea termoelectromotoare) în raport cu temperatura.

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.

Ele au ca elemente componente: elementul sensibil la temperatură, teaca de protecție metalică sau ceramică, terminale și cutia de conexiuni cu placă de borne sau fișe de conectare, condițiile lor tehnice generale de calitate fiind standardizate prin **STAS 8420-86**.

Materialul din care se confecționează elementul sensibil trebuie să fie un metal în stare pură și anume: platină, cupru sau nichel, iar în funcție de materialul elementului sensibil, intervalele de măsurare sunt următoarele:

- pentru element sensibil din platină:  $-200 \div 650^{\circ}\text{C}$ ;
- pentru element sensibil din cupru și nichel:  $-50 \div 180^{\circ}\text{C}$ ;



**Poza 2.4. Instrumente utilizate la măsurarea temperaturilor ridicate**

Legea de variație a rezistenței cu temperatura [82], pentru termorezistențele de platină, aferentă intervalului  $0^{\circ}\text{C} \dots 600^{\circ}\text{C}$ , este dată de relația:

$$R_t = R_0 [1 + \alpha t + \beta t^2 + \gamma (t-100) \cdot t^3]; \quad [\Omega] \quad (2.1)$$

în care  $\alpha$ ,  $\beta$  și  $\gamma$  sunt constante stabilite experimental, la etalonarea termorezistenței, iar  $t$  este temperatura în grade Celsius.

Platina pentru aceste termorezistențe trebuie să fie de mare puritate. Determinarea precisă a dependenței tensiune termoelectromotoare-temperatură, s-a făcut prin etalonare.

**Soluția adoptată pentru unele din măsurătorile efectuate a fost adoptarea unei termorezistențe având elementul sensibil confecționat din fir de platină de grosime 0,05 mm.**

Termorezistența de platină este folosită pentru măsurarea temperaturilor ridicate din incintele de încălzire. Această termorezistență a fost utilizată pentru toate incintele realizate în vederea executării încercărilor mecanice.

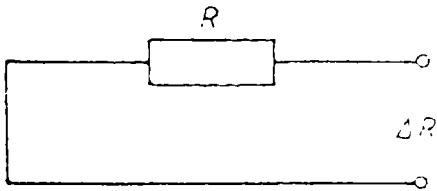

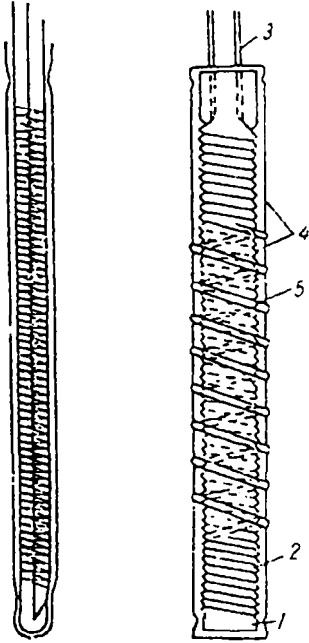
Teaca de protecție asigură elementului sensibil protecția mecanică și protecția împotriva acțiunii agenților chimici ai mediului a cărui temperatură se măsoară, iar fixarea ei de cutia de conexiuni se face prin filet și un șurub de blocaj sau fără filet, cu ajutorul a două șuruburi. Bornele termorezistențelor trebuie să asigure o bună legătură electrică între terminale și conductoarele de legături și să fie protejate împotriva oxidării.

Cele patru capete, două pentru curent și două pentru tensiune, permit măsurarea rezistenței dintre punctele de ramificație, independent de rezistența firelor de conexiune.

Numeroasele măsurători efectuate cu termometre cu rezistența din platină [82] demonstrează că acest metal este cel mai adecvat pentru confecționarea rezistențelor ce trebuie să acopere un domeniu larg de temperaturi, deoarece platina are o bună omogenitate chimică, o variație sensibilă a

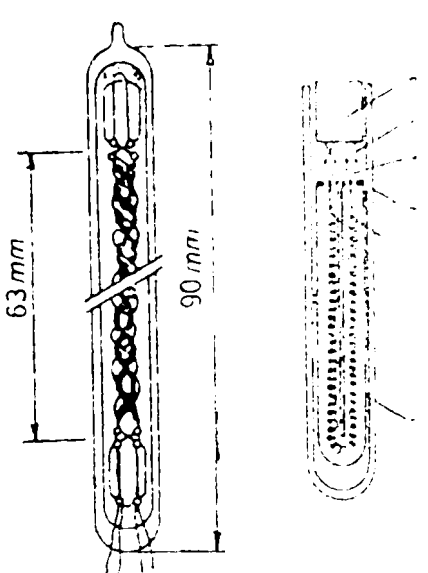
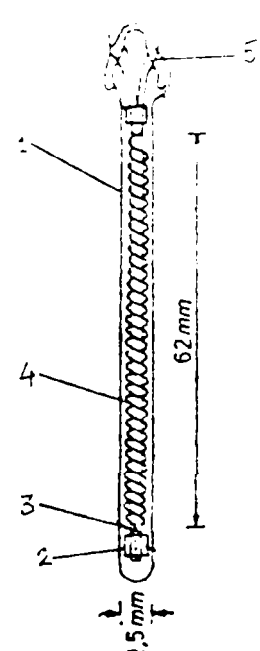
Tabelul 2.10

## Tipuri reprezentative de termometre cu rezistență și termocupluri

Tipul termometrului	Descriere	Schița
0	1	2
Termorezistențe (în general)	<p>Conductor din PLATINĂ cu diametrul de 0,03mm...0,05 mm -200<sup>0</sup>C...+650<sup>0</sup>C (73K...923K)</p> <p>Conductor din CUPRU cu diametrul de 0,1 mm -50<sup>0</sup>C...+180<sup>0</sup>C (223K...453K) Bobinarea se face pe un tub metalic, în câteva straturi.</p> <p>Conductor din NICHEL cu diametrul de 0,05 mm -50<sup>0</sup>C...+180<sup>0</sup>C(223K...453K)</p>	
Termometru etalon cu rezistență din platină  (Construcție generală)	<p>Un element rezistiv bobinat, bifilar, cu patru terminații, confecționat din fir de platină pură și introdus într-un tub protector. Bobinarea se face astfel încât firul să nu fie tensionat și să se mențină în această stare pe toată durata utilizării</p>	
Termometru cu rezistență cu carcasa din sticlă de cuarț	<p>Carcasa din sticlă de cuarț se execută sub forma unui țevi cu diametrul de 3 mm. Pe deasupra înfășurării se îmbracă un al doilea tub de cuarț cu capătul sudat, care cuprinde strâns rimul tubului este sudat împreună cu acesta.</p> <p>1-placă de mică tăiată dințat; 2-sârmă de platină; 3-terminații din sârma de argint; 4-plăci de mică; 5-bandă de argint care fixează plăcile de mică</p>	



Tabelul 2.10 (continuare)

0	1	2
<p>Termometru de platină, răsucită elicoidal pe suport de cuarț</p>	<p>Elicea montată pe părțile opuse ale unei panglici răsucite, confecționată din cuarț, montată într-un tub protector, de asemenea din cuarț.</p> <p>1-tub de sticlă; 2-sârmă de platină 0,075 mm; 3-ecran de sticlă; 4-sârme de 0,05 mm din Pt sau Au; 5-sârmă de Pt de 0,02 mm; 6- tuburi de cuarț cu câte două orificii</p>	
<p>Termorezistență de platină, de diametru mic</p>	<p>1-Tubul de sticlă; 2- Folia de platină (grosimea 0,25 mm); 3-Tubul de cuarț cu două orificii; 4-Firul de platină (<math>\phi</math> 0,075 mm); 5-Firele de conexiune sudate în sticlă</p>	
<p>Termocuplul de tip J</p>	<p>O pereche de conductori legați astfel încât să producă o tensiune termoelectromotoare (t.t.e.m.) atunci când joncțiunile lor sunt la temperaturi diferite poartă denumirea de <b>termocuplu</b>.</p> <p>A-fir dintr-un metal; B-fir din alt metal. Curentul circulă de la un fir de metal la celălalt, traversând întâi joncțiunea rece.</p>	<p>(Fier-constantan) t.t.e.m. = 51,975 mV, (maximă) -200°C...+600°C (73K...873K)</p>
<p>Termocuplul de tip T</p>		<p>(Cupru-constantan) t.t.e.m. = 20,869 mV, (maximă) -200°C...+400°C (73K...673K)</p>
<p>Termocuplul de tip K</p>		<p>(Cromel-alumel) t.t.e.m. = 52,598 mV, (maximă) -200°C...+1000°C (73K...1273K)</p>

rezistenței cu temperatura, se poate obține mai ușor un material omogen respectiv invariabilitatea proprietăților în urma unei acțiuni îndelungate a mediului încălzit.

Precizia măsurării temperaturii cu termorezistență este determinată de stabilitatea și reproductibilitatea rezistenței și de precizia instrumentului de măsură.

Un alt instrument utilizat la măsurarea temperaturii epruvetelor aflate în incintele pentru încercări mecanice, proiectate și realizate de autoare, este **termocuplul**. Termocuplurile utilizate sunt de tip K (cromel-alumel) produse de S.C.CAOM. S.A. Pașcani și ele au fost verificate metrologic.

Termocuplul reprezintă un mijloc de măsurare a temperaturii cu largă răspândire în industrie și în cercetarea științifică, acolo unde temperatura constituie cauza sau efectul diferitelor procese, datorită avantajelor pe care le oferă în comparație cu alte mijloace de măsurare a temperaturii, și anume:

- are o construcție relativ simplă;
- asigură măsurarea temperaturii într-un interval foarte mare ( $-200\dots+3000^{\circ}\text{C}$ );
- poate fi conectat la diferite dispozitive indicatoare, înregistratoare, semnalizatoare sau de comandă;

Dintre dezavantajele termocuplurilor se pot menționa:

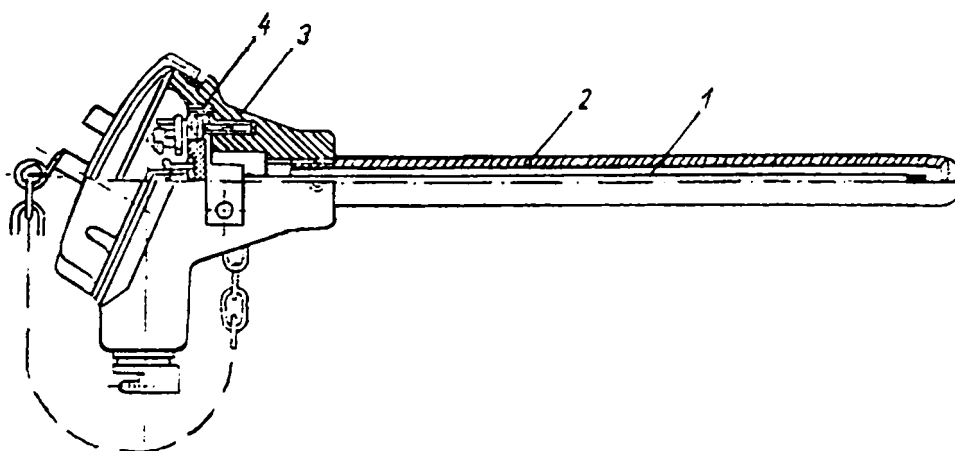
- îmbătrânirea termocuplului datorită folosirii lui la măsurarea unor temperaturi foarte apropiate de temperatura punctelor de topire ale materialelor din care sunt confecționați termoelectrozii;

- variația temperaturii joncțiunii de măsurare față de temperatura de măsurat, care apare în special la măsurarea temperaturilor de suprafață sau în cazurile în care conducția termică de la joncțiunea de măsurare, prin termoelectrozi, este apreciabilă;

- imposibilitatea folosirii termocuplului la măsurarea corpurilor în mișcare, decât numai folosind unele dispozitive speciale;

- necesitatea existenței unui echipament auxiliar pentru măsurarea tensiunii termoelectromotoare.

Termocuplurile se compun din: termoelectrozi, sudați la unul din capete; izolatoare pentru termoelectrozi; teacă de protecție metalică sau ceramică, cutie de conexiuni cu placă de borne sau fișe de conectare, fig.2.27.



**Fig.2.27.Construcția unui termocuplu**

Principiul care stă la baza măsurării temperaturii prin această metodă este cel al fenomenului termoelectric, care poate fi definit astfel: într-un circuit format din doi conductori din materiale diferite, legați între ei (fig.2.28) atunci când în punctele de legătură există temperaturi diferite, apare așa-zisa tensiune termoelectromotoare, a cărei valoare depinde de temperatură, conform relației:

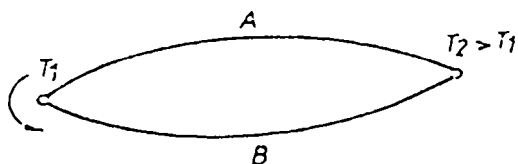


Fig.2.28.Circuit termoelectric format din doi conductori

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0), \quad (2.2)$$

unde forța electromotoare care se produce în circuitul format din cei doi conductori este egală cu diferența dintre forțele electromotoare la capetele acestora (forțele electromotoare  $e_{AB}(t)$  și  $e_{AB}(t_0)$  care se produc depind numai de temperatura acestor capete).

Pentru măsurarea acestei forțe electromotoare (care este de ordinul milivolților), lucru care se poate face numai pe cale experimentală, se introduce în circuit un aparat electric de măsură (milivoltmetru sau potențiomtru), legat de termocuplu prin intermediul unor fire de cupru. Acestea se leagă fie direct, la capetele libere ale termocuplului, fie la așa-zisii conductori de compensație, care au rolul de a îndepărta capetele libere la o oarecare distanță de locul de măsurat, tocmai pentru a nu exista variații mari de temperatură.

Ansamblul format din conductorii A și B, executați din materiale diferite și legați între ei, se numește **termocuplu**, iar considerați separat se numesc **termoelectrozi**. Capătul 1, așezat în mediul a cărui temperatură se măsoară, se numește sudură caldă, („capăt util”), iar capătul 2, așezat în mediul cu temperatură mai joasă și cunoscută, se numește sudură rece („capăt liber al electrozului”). Astfel se poate spune că valoarea forței termoelectromotoare dezvoltate de termocuplu depinde atât de temperatura „sudurii calde”, cât și de temperatura capetelor libere ale electrozilor, iar dacă temperatura capetelor libere nu se modifică, forța electromotoare va fi numai în funcție de temperatura sudurii calde. Putem concluziona astfel că, pentru obținerea unor rezultate corecte, este foarte important ca temperatura capetelor libere să fie menținută la o valoare constantă.

La măsurarea temperaturii suprafeței corpurilor trebuie știut că ceea ce indică aparatul în realitate nu este decât temperatura propriului său element sensibil. Ca urmare nu se măsoară temperatura reală a suprafeței, ci o valoare modificată, cauzată de transferul de căldură dintre corp și mediul înconjurător, care se face prin intermediul termocuplului. Când mediul înconjurător este rece (caz des întâlnit) termocuplul măsoară o răcire a suprafeței a cărei temperatură se măsoară.

Această răcire este mare dacă suprafața a cărei temperatură se măsoară este confecționată dintr-un material cu o conductivitate termică mai mică decât cea a materialului din care sunt confecționați termoelectrozii.

În cele mai multe cazuri există diferențe semnificative între temperatura indicată și temperatura de suprafață reală. Relația dintre temperatura de suprafață indicată și cea adevărată este definită de relația:

$$Z = \frac{T_s - T_i}{T_s - T_a} \quad (2.3)$$

în care: Z – factorul de izolație;

$T_s$  – temperatura de suprafață reală;

$T_i$  – temperatura de suprafață indicată;

$T_a$  – temperatura ambiantă.

Această ecuație exprimă eroarea de măsurare  $T_s - T_i$  ca o fracție a diferenței dintre temperatura suprafeței și a mediului ambiant. Valoarea lui  $Z$  pentru un anumit mod de fixare a termocuplului poate fi calculată sau determinată experimental.

Celor mai uzuale combinații de conductori utilizați în confecționarea termocuplelor le sunt atribuite denumiri literale, astfel încât putem vorbi despre următoarele tipuri de termocupluri: S, R, J, T, K, E.

1) *Termocuplul de tip S*, denumit termocuplul 90 Pt-10 Rh/Pt este destul de rar folosit sub  $300^{\circ}\text{C}$ , și practic niciodată sub  $0^{\circ}\text{C}$ , el fiind folosit foarte frecvent în măsurătorile de precizie ce trebuie făcute peste  $600^{\circ}\text{C}$  deoarece reprezintă cel mai bun termocuplu capabil să furnizeze date precise pentru un timp îndelungat.

2) *Termocuplul de tip R*, adică 87 Pt-13 Rh/Pt este utilizat pentru măsurarea temperaturilor înalte și foarte înalte și are o comportare asemănătoare cu cel de tip S.

3) *Termocuplele de tip J* sunt destinate termometriei industriale, iar reprezentatul tipic este Fier/Constantan (aliaj 57 Cu-43 Ni cu urme de alte elemente); precizia măsurătorilor nu este foarte mare, din cauza firelor care nu pot fi confecționate omogen, ceea ce generează gradienti de temperatură.

4) *Termocuplele de tip T* sunt mai precise decât cele J, iar reprezentantul lor este Cupru-Constantan. Dezavantajele folosirii lor derivă din faptul că nu pot fi folosite decât până la  $350^{\circ}\text{C}$ , deoarece cuprul începe să oxideze și totodată din conductivitatea termică foarte mare a cuprului.

5) *Termocuplele de tip K*, cu reprezentantul lor Cromel-Alumel (Cromel – aliaj 90Ni-10Cr; Alumel – aliaj 94Ni-3Mn-2Al-1Si). Avantajul utilizării lor la temperaturi mai mici de  $500^{\circ}\text{C}$  este că acest tip depășește în sensibilitate tipurile S și R.

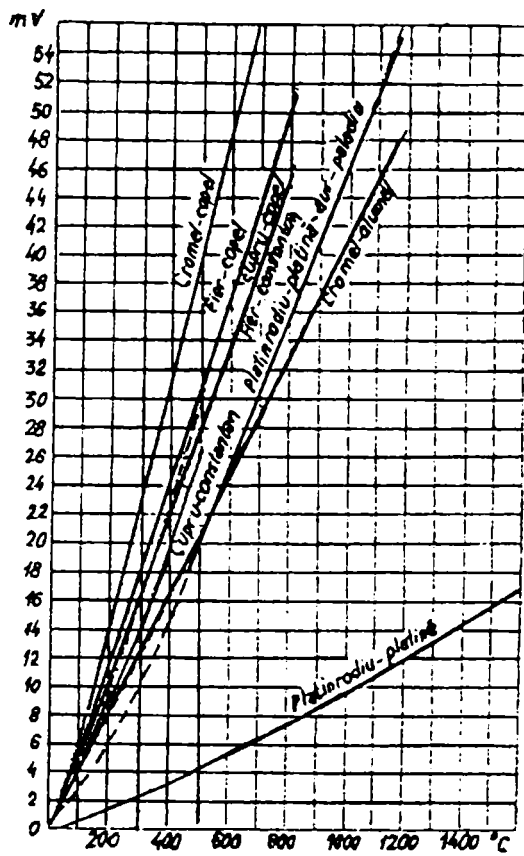
6) *Termocuplele de tip E*, cu reprezentantul lor Cromel/Constantan au o stabilitate bună pe întreg intervalul, conductivitatea cromelului fiind un avantaj, și datorită sensibilității sale mari, acest termocuplu se folosește pentru măsurători diferențiale de temperatură. Pentru măsurări industriale, diversele tipuri de termocupluri de suprafață se construiesc de cele mai multe ori în ansamblu cu aparatul indicator. Cel mai des întâlnite sunt tipurile de termocuplu de suprafață cu bandă, cu disc și cu vârfuri, care se „înfing” în corpul a cărui temperatură trebuie măsurată.

Pentru minimizarea erorilor care apar la măsurarea temperaturii de suprafață sunt necesare următoarele măsuri:

- folosirea unor termocupluri miniaturizate pentru a evita erorile datorită perturbației câmpului de temperatură;
- fixarea termoelectrozilor termocuplului, de la joncțiune, de-a lungul unei izoterme, pe o distanță de cel puțin 20 ori diametrul termoelectrozilor, pentru a reduce erorile de conducție;
- dispunerea joncțiunii de măsurare pe suprafață cât mai strâns posibil;
- alegerea zonei de montare în așa fel, încât să se reducă la minimum perturbarea distribuției temperaturii;
- alegerea și proiectarea soluției tehnice astfel încât timpul de răspuns să fie cât mai mic

posibil:

- reducerea rezistenței de contact dintre joncțiunea de măsurare și suprafața corpului, la cea mai mică valoare posibilă. Dacă suprafața are o conductibilitate termică scăzută se va folosi un colector de căldură (plăcuță sau disc cu conductivitate termică mare).



**Fig.2.29. Curbele de variație a forțelor electromotoare în funcție de temperatură, pentru diferite termocupluri**

Pentru termocuplele din PtRh-Pt se utilizează tuburi din materiale refractare ( cuarț) până la  $1000^{\circ}\text{C}$ , respectiv din porțelan, peste  $1000^{\circ}\text{C}$ .

Pentru protecția termocuplurilor se mai folosesc tuburi cu răcire cu apă, mai ales la măsurătorile de lungă durată..

În tabelul 2.11. sunt redată valorile tensiunii termoelectromotoare pentru câteva tipuri de termoelectrozi, având joncțiunea de referință (capătul liber) la temperatura de  $0^{\circ}\text{C}$ , pentru utilizare în diferite intervale de temperatură; aceasta nu trebuie să nu depășească valorile maxime (măsurate la funcționarea intermitentă) prevăzute în tabel.

Valorile forțelor termoelectromotoare în funcție de temperatura „sudurii calde” sunt date în fig.2.29.

Pentru măsurarea temperaturii unei suprafețe care reprezintă limita dintre un metal și un lichid sau un gaz, există astăzi și alte metode, bine fundamentate. Întrucât lipirea sau sudarea prezintă dezavantajul că schimbă caracterul suprafeței, o metodă satisfăcătoare de stabilire a contactului dintre termocuplu și suprafață rămâne procedeul de ștemuire a termocuplului în corpul metalic, dacă suprafața acestuia permite.

Pentru executarea termocuplurilor se utilizează electrozi din sârmă cu diametrul de 1,5-3 mm în cazul metalelor obișnuite, și sârmă cu diametrul de 0,5 mm, pentru termocuplurile din PtRh-Pt.

Pentru izolarea electrozilor termocuplurilor executate din metale obișnuite, se întrebuințează cărămidă de șamotă sau porțelan.

Pentru protejarea exterioară a electrozilor împotriva deteriorărilor mecanice și acțiunii directe a gazelor, se așează într-un tub protector exterior, iar pentru protejarea exterioară a termocuplurilor, la măsurarea unor temperaturi până la  $650^{\circ}\text{C}$ , se întrebuințează tuburi tras din oțel. Peste  $650^{\circ}\text{C}$  aceste tuburi se acoperă cu diverse straturi protectoare.

Tabelul 2.11

**Valorile maxime admise pentru tensiunea termoelectromotoare a diferitelor tipuri de termoelectrozi**

Materialul termoelectrozilor		Intervale de măsurare, °C			t.t.e.m. pt.funcț. în regim
Denumire	Simbol	Temperatura min.	Funcționare continuă	Funcționare intermitentă	
			Temperatura maximă		
Cromel-Alumel	Cromel- Alumel	-50	900	1300	52,41 ± 0,56
Platin Rhodiu-Platin	PtRh-Pt	0	1300	1600	16,76 ± 0,084
Platin Rhodiu 30% Platin-Rhodiu 6%	PR 18	0	1600	1800	16,76 ± 0,084

Ștemuirea se poate efectua în felul următor: se execută un orificiu în materialul a cărui temperatură trebuie măsurată, puțin mai mare decât joncțiunea de măsurare a termocuplurilor și se introduce în acest orificiu. Apoi se presează metalul suprafeței în jurul termoelectrozilor, până când se obține un contact nemijlocit metal-metal, fără să se afecteze în prea mare măsură caracteristicile inițiale ale suprafeței.

La confecționarea termocuplurilor de suprafață o atenție deosebită trebuie **acordată modului de realizare a joncțiunii de măsurare**. Cel mai des folosită este joncțiunea de formă sferică (bobiță). În această situație temperatura indicată este în funcție de temperatura termoelectrozilor, din care motiv dimensiunile sudurii trebuie să fie cât mai mici, iar termoelectrozii trebuie să fie izolați termic pe suprafață.

Pentru un bun contact termic și pentru a evita apariția unui gradient mare de temperatură, este indicat ca joncțiunea de măsurare să se aplatizeze. Dacă suprafața de măsurare este formată dintr-un material cu o slabă conductibilitate termică, este mult mai corect să se monteze joncțiunea de măsurare pe o plăcuță sau pe un disc dintr-un material cu o bună conductibilitate termică.

Pentru termocuplul Cr-Al, care este unul dintre cele frecvent utilizate, valorile t.t.e.m., considerându-se temperatura punctului rece având valoarea de 0°C, se corelează cu date din tabele complementare [6].

## 2.5. Influența elementelor de aliere asupra oțelurilor

Caracteristicile unui oțel sunt determinate în primul rând de compoziția lui chimică (prin natura și conținutul elementelor de aliere) și de modul de prelucrare plastică și termică, însă de mare însemnătate este *corectitudinea alegerii procedurii de elaborare și turnare*, astfel încât să se obțină oțel curat în ceea ce privește conținuturile de gaze (azot, hidrogen) și de incluziuni nemetalice și lingou (sau semifabricat turnat continuu) cu omogenitate chimică și structurală avansate, [132].

**Realizarea unor oțeluri cu performanțe superioare impune cunoașterea performanțelor cerute de oțeluri în domeniul lor de utilizare, iar cei care folosesc oțelul trebuie să-i cunoască nu numai proprietățile mecanice ci și modul în care acestea poate fi obținute prin compoziție chimică, elaborare și prelucrare plastică și termică.**

Elementele care însoțesc fierul și carbonul în oțeluri pot proveni ca o consecință firească a

proceselor de elaborare, caz în care sunt numite *elemente însoțitoare*, ele găsindu-se în cantități mici în oțeluri. Unele dintre ele, cum sunt Mn, Si, provin din procesul de dezoxidare sau prin reducere din zgură și pot avea efect favorabil asupra proprietăților, iar altele (P, S, O, H, N, Cu, As, Sn) rămân în oțel ca urmare a imposibilității de a le micșora sub o anumită limită și înrăutățesc proprietățile oțelului, constituind deci *elemente dăunătoare*.

Se prezintă în continuare influența unor elemente chimice asupra oțelurilor studiate.

**Manganul**, indiferent de conținutul de carbon al oțelului, mărește după călire și revenire înaltă proprietățile de rezistență ale oțelurilor, micșorând într-o oarecare măsură plasticitatea. Deoarece creșterea rezistenței la rupere la mărirea conținutului de mangan este cu atât mai mare cu cât conținutul de carbon este mai redus, manganul contribuie puternic la durificarea prin călire a oțelurilor sărace în carbon (0,1-0,15%C).

**Siliciul** ridică rezistența la rupere, limita de curgere și duritatea oțelurilor în stare recoaptă. Gâtuirea și alungirea la rupere se modifică relativ puțin până la 2,5% Si, la acest conținut scăzând brusc. Siliciul micșorează reziliența și ridică temperatura de tranziție ductil-fragil a oțelurilor. De asemenea, Si manifestă o puternică influență asupra rezistențelor la coroziune și la oxidare la cald. Acțiunea Si asupra rezistenței la cald se manifestă pregnant asupra oțelurilor aliate cu crom.

**Sulfur** nu diminuează sesizabil caracteristicile mecanice la tracțiune în secțiune longitudinală, dar reduce însă sensibil atât caracteristicile mecanice determinate la tracțiune în direcție transversală cât și reziliența la rece.

**Fosforul** este adus în oțeluri de fonta utilizată la elaborare. O caracteristică importantă a fosforului este marea lui capacitate de segregare, zonele centrale ale grăunților de austenită fiind mult mai sărace în fosfor decât zonele marginale.

Fosforul mărește rezistența la uzare, crește proprietățile de rezistență simultan cu micșorarea proprietăților de plasticitate. El produce fragilizarea la rece a oțelurilor, manifestând o puternică influență asupra temperaturii de tranziție ductil-fragil.

**Molibdenul**, dizolvându-se în ferită și formând carburi, mărește proprietățile de rezistență și într-o oarecare măsură proprietățile de plasticitate ale oțelurilor recoapte sau normalizate. O influență similară, însă mult mai puternică manifestă Mo asupra proprietăților de rezistență ale oțelurilor călite și revenite. De asemenea, formând carburi, mărește rezistența la uzare și frânează procesele de alunecare, ridicând considerabil rezistența oțelurilor la temperaturi ridicate. El se adaugă în proporții mici în oțelurile de îmbunătățire crom, crom-nichel etc. pentru a combate fragilitatea de revenire reversibilă. De asemenea, mărinde rezistența la fluaj el este utilizat în oțelurile rezistente la cald.

**Cromul**, element carburigen, micșorează capacitatea de creștere la încălzire a grăunților de austenită. El este unul dintre elementele care favorizează, în oțelurile cu conținut scăzut în crom, apariția fragilității de revenire. De asemenea acționează relativ slab asupra proprietăților mecanice ale oțelurilor recoapte sau normalizate. El de dizolvă în ferită și o durifică ușor însă într-o măsură mult mai mică decât Si, Mn, Ni, Mo etc. Dacă oțelurile cu puțin carbon 0,15-0,3%C sunt aliate cu 5-10%Cr se îmbunătățesc mult proprietățile mecanice la temperaturi ridicate. De asemenea Cr exercită o puternică influență asupra capacității oțelurilor de a-și păstra proprietățile mecanice la

temperaturi ridicate, adică asupra refractarității. Cromul mărește rezistența la coroziune (și la oxidare) la temperatura ambiantă cât și la temperaturi înalte.

**Vanadiul**, chiar în proporții foarte mici se combină cu carbonul și azotul prezente în oțeluri formând numeroase particule de carburi, nitruri și carbonitruri, care finisând granulația îmbunătățesc proprietățile de rezistență.

## 2.6. Concluzii și contribuții personale

Analiza posibilităților de realizare practică a unor încercări mecanice la temperaturi ridicate a fost realizată pe baza **studiului bibliografic** al cercetărilor la care autoarea prezentei lucrări a avut acces, privind următoarele probleme:

- modalitățile de determinare a caracteristicilor mecanice de rezistență și tenacitate pentru unele categorii de oțeluri, în condiții de temperaturi ridicate;
- posibilitățile de realizare a încercărilor mecanice propuse, utilizând tehnica existentă într-un laborator de Rezistența Materialelor;
- modul de efectuare a acestor încercări, dintre care unele nu sunt reglementate prin normative;
- modurile de realizare a cuptoarelor (incintelor) de încălzire a epruvetelor, existente în practica curentă și în literatura de specialitate;
- modul de prelevare a epruvetelor din diferite elemente de rezistență, cu respectarea standardelor în vigoare, precum și respectarea tehnologiilor de tratament termic care trebuie aplicate oțelurilor respective;
- posibilitățile de măsurare cât mai corectă a temperaturii de încercare, în decursul experimentărilor, folosind diverse tehnici și instrumente.

În cadrul acestui capitol **contribuțiile personale** constau în:

- prezentarea sistematică, sub formă de sinteză documentară, a stadiului actual al cercetărilor privind tehnicile experimentale de încercare a oțelurilor la temperaturi ridicate;
- pregătirea bazei teoretice și practice necesară încercărilor experimentale realizate și care urmează a fi prezentate în continuare;
- evaluarea factorilor care pot să influențeze rezultatele corelată practic cu luarea măsurilor de reducere a factorilor negativi ai încercărilor;
- finalizarea analizei teoretice privind modul de realizare practică a încercărilor prin întocmirea unui program de încercări care v-a fi prezentat în Capitolul V;
- **prelevarea și pregătirea de epruvete destinate încercărilor, atât din oțeluri care au funcționat la temperaturi ridicate în exploatare, cât și din materiale neutilizate, pentru care s-au efectuat tehnologiile de tratament termic impuse prin standardele de produse;**
- **efectuarea analizei metalografice a probelor prelevate din conducte care au funcționat la temperaturi ridicate în exploatare, din componența unui cazan de abur;**
- analiza variantelor de măsurare și reglare a temperaturii prin diverse tehnici și instrumente.



## CAPITOLUL 3

### CONTRIBUȚII LA REALIZAREA DE INCINTE PENTRU ÎNCERCĂRILE MECANICE LA TEMPERATURI RIDICATE

#### 3.1. Noțiuni generale

În vederea încercărilor mecanice de materiale la temperaturi ridicate, propuse a se realiza în cadrul prezentei lucrări, pentru încălzirea epruvetelor s-au utilizat cuptoare de încălzire, special proiectate și realizate practic, denumite în continuare **incinte**. Aceste incinte au fost adaptate mașinilor de încercare existente în dotarea Laboratorului de Rezistența Materialelor din cadrul Facultății de Inginerie din Hunedoara.

Aducerea unui corp sau a unui sistem de corpuri la o anumită temperatură prescrisă, sau menținerea acesteia, se obține prin introducerea, conservarea sau evacuarea unei cantități de energie sub formă de căldură, adică prin încălzire, izolare termică sau răcire. Aceste procese sunt posibile prin transfer de căldură către, sau de la corpul sau sistemul în cauză.

În mod natural, transferul de căldură se produce de la un sistem (corp) cu o temperatură mai înaltă către alt sistem învecinat, cu temperatură mai scăzută sau, în interiorul aceluiași sistem, de la un anumit punct spre punctele imediat învecinate, în aceleași condiții.

Procesele de încălzire se desfășoară în incinte denumite "cuptoare" care sunt dotate cu instalații de producere a căldurii din diferite surse (combustibili solizi, lichizi, gazoși sau energie electrică), căldură care este transferată materialului metalic.

Asigurarea eficienței maxime a unui proces este posibilă prin realizarea transferului de căldură, de la sursa termică la material cu randament maxim.

Forma constructivă a incintelor a fost aleasă în funcție de tipul de încercare mecanică ce urmează a se executa, de forma și dimensiunile epruvetelor utilizate pentru încercări, precum și ținând cont de faptul ca ele să poată fi utilizate și pentru alte tipuri de încercări la temperaturi ridicate care pot fi efectuate în cadrul laboratorului.

La încălzirea materialelor în cuptoarele electrice cu rezistoare, sursa de căldură o constituie un conductor electric (rezistor). Încălzirea rezistorului la temperatura dictată de schimbul de căldură dintre el și materialul de încălzit este condiționată de legea Joule-Lenz, conform căreia, în orice porțiune a unui circuit electric se degajă o cantitate de căldură a cărei valoare este proporțională cu energia electrică din acest circuit.

Pentru orice tip de cuptor, forma și mărimea spațiului de lucru sunt definite de elementele de construcție care-l delimitează.

Izolația cuptoarelor trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- să asigure funcționalitate, durabilitate, etanșeitate, precum și posibilitatea amplasării

aparatorilor de măsură și control;

- să rețină în interiorul spațiului de lucru o cantitate cât mai mare din căldura produsă de sursa termică, adică pierderile de căldură să fie minime, ceea ce înseamnă o rezistență termică foarte bună.

Izolația unui cuptor se execută cu unul, două sau trei straturi din materiale ceramice, cu proprietăți specifice rolului îndeplinit de fiecare strat.

Dacă izolația se execută dintr-un singur strat, aceasta trebuie să asigure atât rezistența la solicitările termice, mecanice și chimice cât și izolarea termică corespunzătoare. De aceea trebuie folosit un material ceramic cu conductibilitate termică foarte scăzută, iar grosimea izolației trebuie să fie suficient de mare pentru a conferi cuptorului rezistența mecanică necesară.

Realizarea zidăriei din două straturi este soluția cea mai utilizată. Stratul de la interior, dinspre spațiul de lucru, trebuie să reziste la solicitările termice, iar cel din exterior, care se numește strat izolator sau termoizolator, trebuie să asigure izolarea termică, adică reducerea la minim a densității de flux termic conductiv. Grosimea izolației se determină pe baza ecuației conducției termice.

Realizarea unui cuptor solicită utilizarea de materiale cu proprietăți speciale, care să răspundă solicitărilor care acționează asupra acestuia. Ele pot fi: *materiale ceramice* și *materiale metalice*.

Materialele ceramice folosite la construcția cuptoarelor pot fi: materiale ceramice refractare și materiale ceramice izolatoare sau termoizolatoare.

Principala caracteristică a materialelor ceramice refractare este rezistența la temperaturi înalte, adică nu se deteriorează sub acțiunea încălzirii și a greutateii proprii. Conform standardelor internaționale, temperatura minimă la care trebuie să reziste un produs ceramic ca să fie refractar este de 1500°C.

Alegerea corectă a unui material refractar pentru un anumit tip de cuptor necesită cunoașterea, pe de o parte, a condițiilor în care acesta va lucra și care depind de modul de funcționare a cuptorului, iar pe de altă parte de proprietățile pe care le au diferitele materiale ceramice.

Pentru alegerea corectă a materialelor necesare cuptoarelor trebuie să se țină seama de următoarele:

- temperatura maximă la care poate fi folosit un material metalic este de 1100°C.
- în toate cazurile se folosesc doar fonte și oțeluri;
- solicitările la care sunt supuse elementele din materiale metalice sunt de natură mecano-termo-chimică. Pentru fiecare caz în parte, natura și mărimea solicitărilor trebuie foarte bine cunoscute, pentru a se alege oțelul sau fonta corespunzătoare.

Se pot defini câteva reguli generale cu privire la utilizarea materialelor metalice în construcția cuptoarelor:

- la temperaturi până la 500°C pot fi folosite fonte turnate sau oțeluri carbon. Acestea pot fi utilizate și la temperaturi mai ridicate, cu condiția să fie răcite cu apă;
- în intervalul 500 ÷ 900°C se folosesc, de regulă, oțeluri feritice refractare;
- peste 900°C, dar maxim 1100°C se folosesc oțeluri refractare austenitice.

Este de precizat faptul că, la alegerea materialelor de construcție ceramice și metalice, pe lângă condițiile menționate anterior trebuie să se ia în considerare și costul lor.

În principiu, fiecare dintre incintele realizate de autoare este compusă din următoarele părți componente:

- **perete metalic exterior;**
- **straturi de izolații termice interioare;**
- **camera de lucru** necesară realizării temperaturii de încercare dorite;
- **sistem de încălzire.**

Pentru realizarea și menținerea temperaturii dorite în camera de lucru este necesar ca izolația termică față de mediul exterior să fie cât mai eficientă.

La efectuarea încercărilor se produc pierderi de căldură și implicit de temperatură la manevrarea epruvetelor, datorită diferențelor de temperatură dintre cea din interior și cea a mediului înconjurător, dar acest lucru se poate remedia, într-o anumită măsură, prin schimbarea rapidă a epruvetelor și închiderea gurilor incintelor cu dopuri din plăci izolante de azbest, care este un bun material termoizolator.

La alegerea tipului de izolație trebuie să se țină cont și de proprietățile termice ale materialului izolației 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 concură toate mecanismele posibile: conducția, convecția și radiația.

### **3.2. Contribuții privind realizarea de incinte (cuptoare) de încălzire**

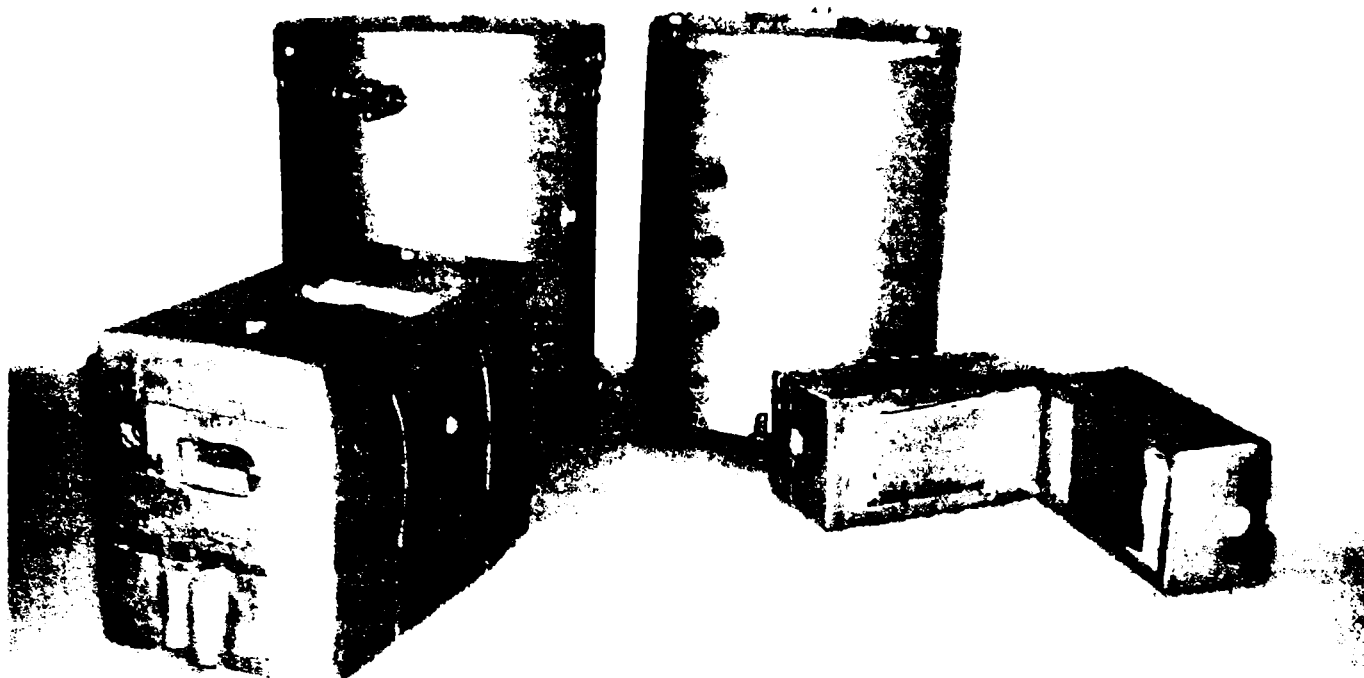
Oțelurile termorezistente studiate în cadrul prezentei lucrări au ca temperaturi maxime de utilizare 500...580°C.

În laboratoarele uzinale, dintre încercările mecanice la temperaturi ridicate, prevăzute în standardele de produse se execută încercarea de tracțiune în vederea determinării limitei de curgere la cald a acestei categorii de oțeluri.

La cererea beneficiarului, pot fi executate și încercarea la încovoire prin șoc, încercarea la răsucire respectiv încercarea de duritate la temperaturi ridicate (aceste încercări mecanice nu sunt reglementate prin normative naționale, dar pot fi cuprinse în Caietul de sarcini), dar utilizând incinte (cuptoare) pentru încălzirea epruvetelor care se pot adapta mașinilor de încercare.

Având în vedere cele prezentate, autoarea a proiectat și realizat practic patru incinte (cuptoare) de încălzire pentru încercările la tracțiune, la încovoire prin șoc, la răsucire și respectiv de duritate. Două dintre aceste incinte au o dublă funcționalitate, ele putând fi utilizate pentru încercarea la tracțiune și pentru încercarea la răsucire, funcție de tipul epruvetelor.

Pentru încercarea la tracțiune a fost realizată o incintă de încălzire care asigură măsurarea temperaturii epruvetei prin intermediul a trei termocuple, prezentată în fig.3.1, iar pentru încercarea de răsucire, o altă incintă, cu măsurarea temperaturii cu ajutorul unui singur termocuplu, fig.3.2. și a experimentat modul de reglare și menținere între limitele impuse a temperaturii de încercare prescrise.



**Poza 3.1. Incinte de încălzire a epruvetelor pentru încercări mecanice**

De asemenea au fost proiectate și realizate alte două incinte, una pentru încercarea de duritate la temperaturi ridicate efectuată pe un durometru Brinell și alta pentru încercarea de încovoiere prin șoc, pe un ciocan pendul Charpy. Aceste incinte sunt prezentate în poza 3.1.

### **3.2.1. Incintă (cuptor) pentru încercarea la tracțiune**

Încercarea la tracțiune la temperaturi ridicate este reglementată prin **SR EN 10002-5/1995 Materiale metalice. Încercarea la tracțiune. Partea 5: Metoda de încercare la temperatură ridicată**. Normativul prevede ca “dispozitivul de încălzire pentru epruvetă trebuie să fie astfel încât epruveta să poată fi încălzită la temperatura specificată”. Abaterile admise ale temperaturii pentru încercările efectuate sub  $600^{\circ}\text{C}$  trebuie să fie de  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ .

De asemenea se precizează clar că “temperaturile indicate sunt temperaturile care se măsoară la suprafața porțiunii calibrate a epruvetei” iar abaterile admisibile la temperatură trebuie respectate pe lungimea inițială între repere  $L_0$ , până la atingerea punctului corespunzător limitei de curgere convenționale.

În general sunt suficiente trei termocuple echidistanțate de-a lungul porțiunii calibrate a epruvetei pentru a garanta uniformitatea temperaturii epruvetei, dar standardul spune că “acest număr se poate reduce dacă pe ansamblul cuptor-epruvetă se dovedește, prin experiență, că variațiile de temperatură ale epruvetei nu depășesc limitele admise”, adică în cazul nostru  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ .

Lipiturile calde ale termocuplelor trebuie de asemenea să realizeze un contact bun cu suprafața epruvetei și trebuie protejate de radiația directă a peretelui cuptorului.

Epruveta trebuie încălzită la temperatura specificată și menținută la acea temperatură cel puțin 10 minute înainte de încărcare, iar în timpul încălzirii temperatura epruvetei nu trebuie să

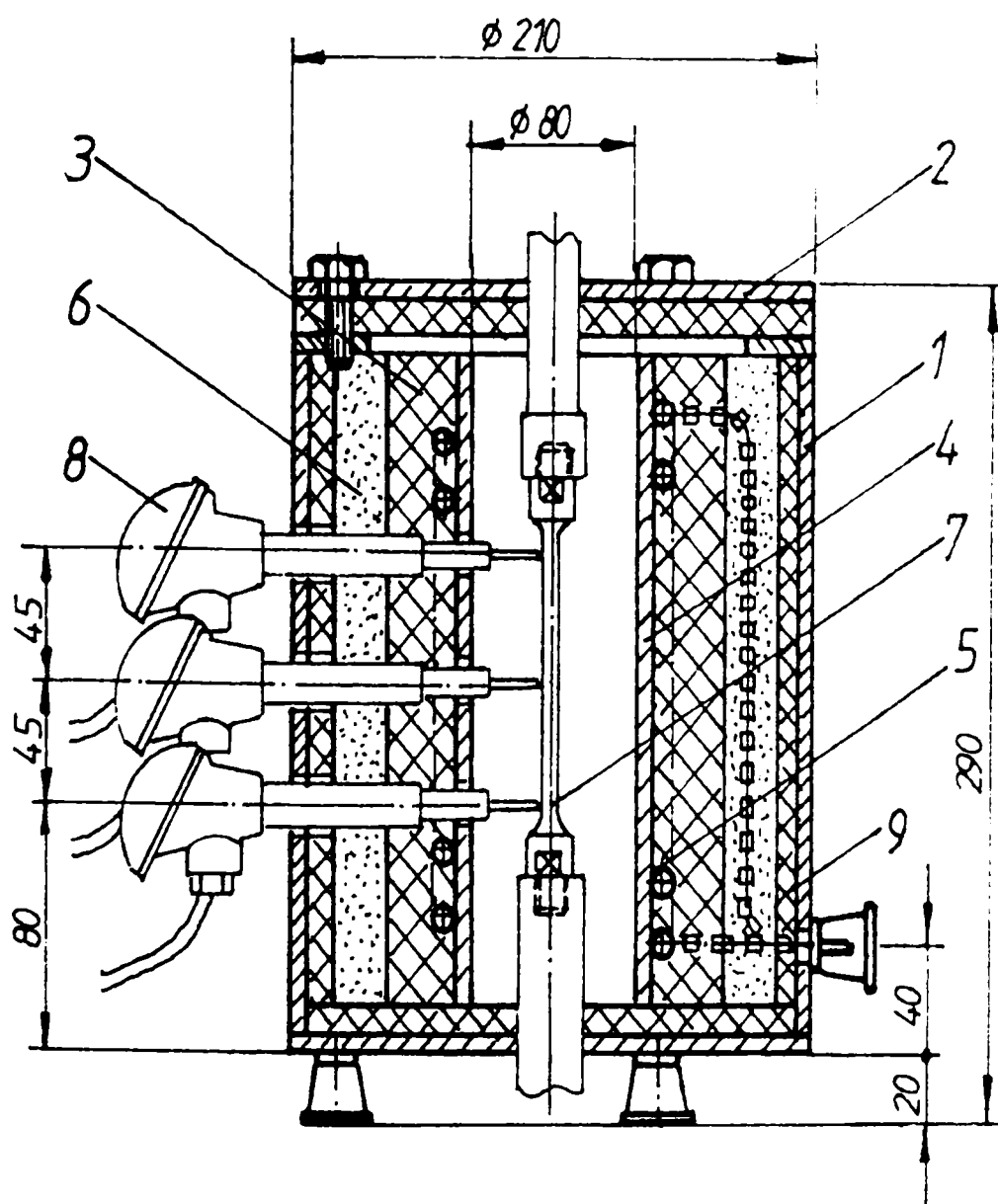
depășească nici un moment temperatura specificată cu toleranțele sale, cu excepția cazurilor convenite între producător și beneficiar.

Ținând cont de toate aceste reglementări ale normativului sus menționat, autoarea a realizat o varianta constructivă de incintă de încălzire a epruvetelor, prezentată schematic în fig.3.1.

Incinta este alcătuită dintr-o manta metalică exterioară (1), realizată din tablă cu grosimea de 5 mm, îmbinată prin sudură. În interiorul incintei se află un tub de ceramică refractară, în care sunt practicate trei orificii pentru introducerea termocuplelor.

Cărămida refractară profilată (3) "îmbracă" tubul de ceramică (4). Pe peretele interior al cărămizii refractare este executat un canal elicoidal, în care se introduce rezistența electrică de încălzire (5). Între mantaua metalică (1) și cărămida (3) se află două tipuri de izolații termice: spre exterior – azbest; spre interior – praf de șamotă.

Epruveta se montează în interiorul incintei prin două tije prelungitoare, pe care, pentru reducerea pierderilor de căldură sunt montate inele izolatoare din azbest.



**Fig.3.1. Incintă (cuptor) de încălzire pentru tracțiune**

Incinta de încălzire este prevăzută la partea inferioară cu doi suportți semicirculari, prinși prin sudură de aceasta, care se așează pe două ghidaje, iar prin sistemul de prindere pe coloanele

mașinii de încercare s-a realizat modalitatea de rabatere a cuptorului la sfârșitul unei încercări, pentru efectuarea schimbului de epruvete și montarea acesteia în cuptor.

### 3.2.2. Incintă (cuptor) de încălzire pentru încercarea de răsucire

Încercarea la răsucire a metalelor, din punct de vedere al determinării caracteristicilor mecanice, nu este reglementată prin normative naționale sau europene.

Pentru încercarea la răsucire în domeniul temperaturilor ridicate, pe diverse tipuri de epruvete, s-a proiectat și realizat o incintă (cuptor) de încălzire, care se montează la **Mașina de încercare la răsucire tip MODELL TAD III**, pentru a se efectua experimentările la temperaturi ridicate.

Incinta este asemănătoare ca formă celei de tracțiune, dar diferită din punct de vedere constructiv. Ea este prezentată schematic în fig.3.2.

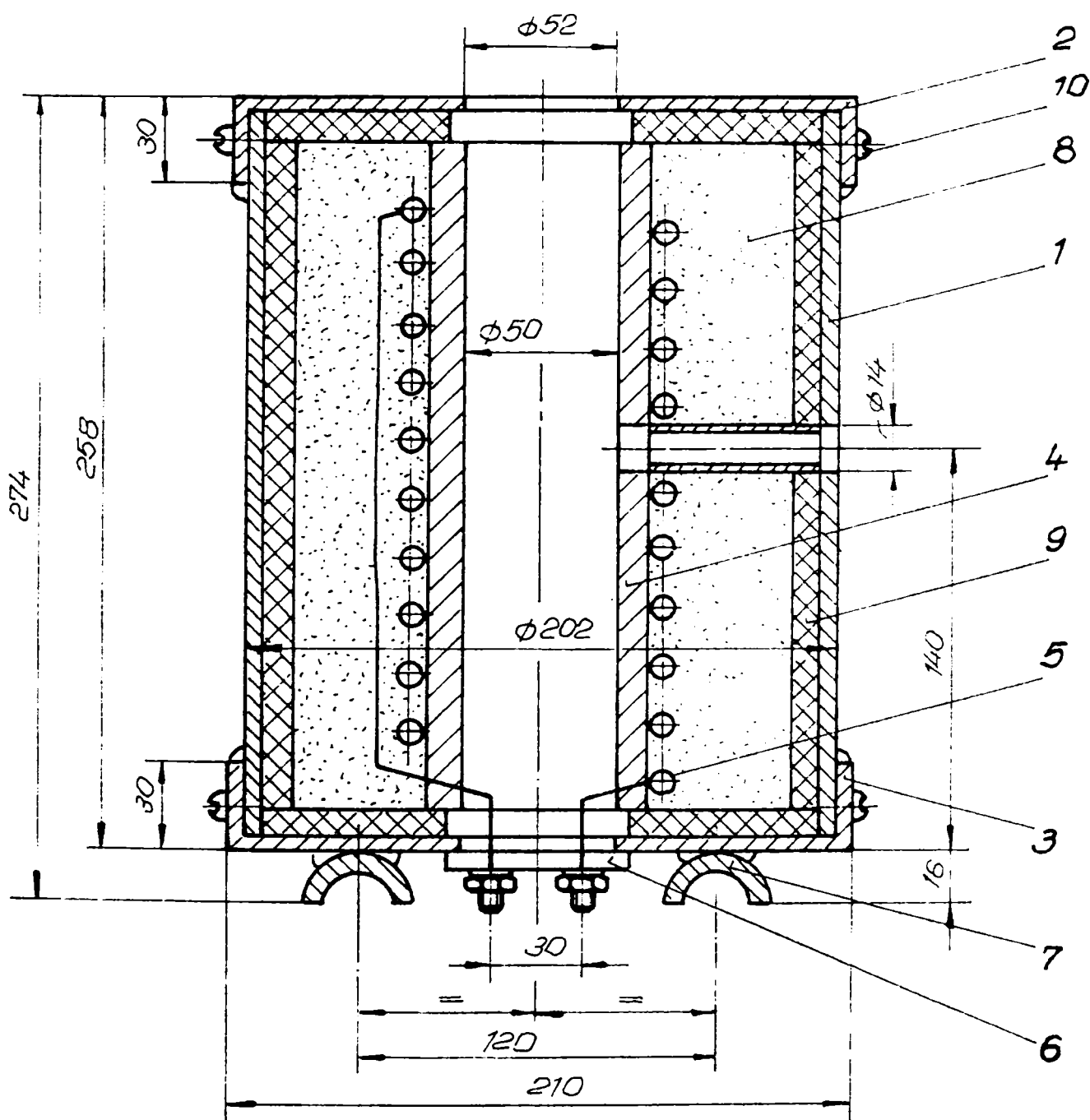


Fig. 3.2. Incintă (cuptor) de încălzire pentru încercarea de răsucire

Incinta realizată se compune dintr-o manta metalică exterioară (1), executată dintr-o tablă de cazane cu grosimea de 5 mm, îmbinată prin sudură. Camera de lucru este delimitată de un tub din ceramică refractară (4), având diametrul interior de 50 mm și grosimea de 10 mm, în care la mijlocul înălțimii lui s-a practicat un orificiu circular, pentru introducerea termocuplei de măsurare a temperaturii, având diametrul  $\phi$  14 mm.

După mai multe încercări experimentale efectuate în scopul asigurării și menținerii unei temperaturi cât mai uniforme pe întreaga lungime calibrată a epruvetelor în timpul încercărilor, s-a adoptat soluția unei înfășurări a rezistenței electrice (5) pe tubul ceramic (4) realizată astfel: pe porțiunea din mijloc a cuptorului s-a realizat un pas al înfășurării mai mare, iar pe porțiunile mai apropiate de gurile laterale ale cuptorului s-a adoptat un pas mai mic. Motivația acestei soluții este aceea că la manevrarea epruvetelor există anumite pierderi de căldură prin gurile cuptorului, care pot fi compensate destul de bine prin soluția adoptată.

Pentru a realiza înfășurarea rezistenței electrice pe tubul ceramic s-a practicat pe acesta un șanț de formă elicoidală, pe întreaga înălțime a incintei, pentru introducerea rezistenței electrice.

Între mantaua metalică exterioară (1) și tubul ceramic (4) s-au utilizat două straturi de izolație termică, unul spre exterior, executat din coală de azbest cu grosimea de 10 mm, care este un bun termoizolator, iar celălalt strat, mult mai gros, s-a realizat din praf de șamotă de granulație 2 mm.

Cuptorul mai are prevăzute două capace laterale (2), executate prin sudură, din același material metalic ca și mantaua exterioară (tablă de cazane), care sunt prinse de aceasta cu șuruburi.

Cuptorul poate fi alimentat la tensiunea industrială de 220V cu frecvența de 50 Hz.

Încălzirea rezistenței electrice s-a efectuat prin intermediul unui variator de putere, comandat de calculator printr-un soft dedicat, realizat în mediul de programare LABVIEW.

Epruveta, având capetele filetate, se montează prin două tije prelungitoare, executate din oțeluri rezistente la temperaturi înalte, în capetele de prindere ale mașinii de încercare. Întreg ansamblul este realizat astfel încât epruveta să fie poziționată la mijlocul incintei de încălzire.

Gurile laterale sunt izolate de exterior prin dopuri, realizate din azbest, și ele se "mulează" etanș pe tijele prelungitoare. Măsurarea temperaturii epruvetei s-a realizat prin intermediul unui termocuplu cromel-alumel.

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

### 3.2.3. Incintă (cuptor) de încălzire pentru încercarea de duritate

Încercarea de duritate la temperaturi ridicate 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 ridicate, preiau solicitări de contact mari. S-au căutat, de asemenea, relații de legătură între valorile durității la temperaturi ridicate și ale rezilienței la aceleași temperaturi.

Conform literaturii de specialitate, [19], principala cerință în vederea efectuării corecte a încercării de duritate în condiții de temperaturi ridicate este egalitatea dintre temperatura probei de

încercat și temperatura penetratorului.

Forma incintei care trebuie adaptată la metoda prin care se execută încercarea de duritate, trebuie să asigure realizarea încălzirii epruvetei și a penetratorului la temperatura de încercare. Incinta trebuie să fie izolată de măsura dispozitivului cu garnituri de azbest sau orice alte garnituri prin care nu trece căldura.

Pentru a se putea efectua încercarea de duritate Brinell autoarea a realizat o incintă de încălzire a epruvetelor, care s-a adaptat la un durometru PH - C-02/02. Schema de principiu a incintei realizate este prezentată în fig.3.3 și Poza 3.2.

Incinta de încălzire este de formă paralelipipedică și este prevăzută cu două orificii laterale, de formă dreptunghiulară, unul, de intrare (a putea introduce epruveta) și celălalt de ieșire (pentru scoaterea epruvetei). Ea este realizată astfel ca să poată fi fixată pe masa de lucru a durometrului Brinell și să rămână acolo tot timpul experimentărilor, modificându-se doar poziția epruvetei față de penetrator, pentru a se putea efectua trei încercări pe o epruvetă. Modificarea poziției epruvetei se face cu ajutorul unei tije, care asigură înaintarea epruvetei printre două ghidaje precum și scoaterea ei din incintă.

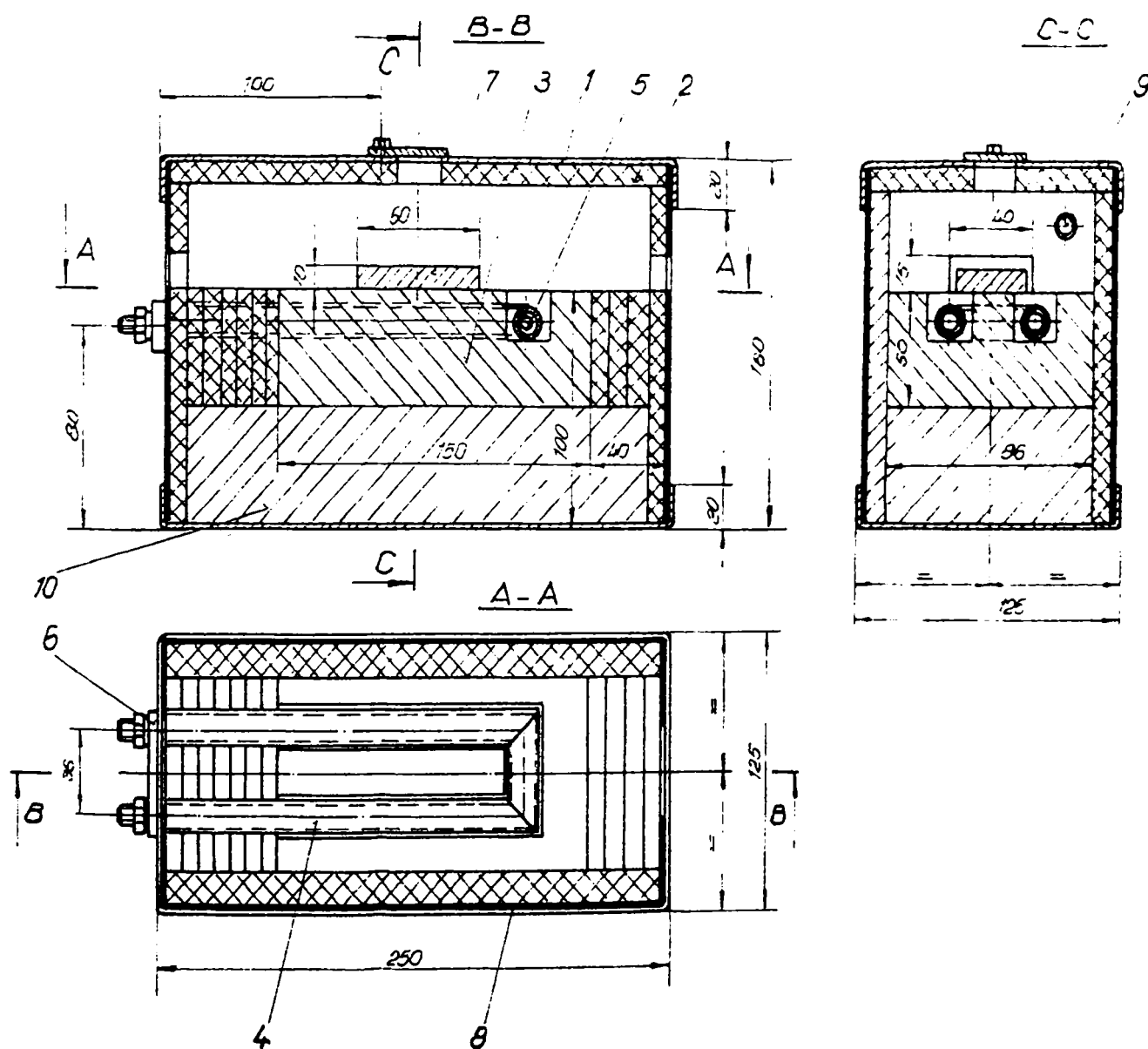


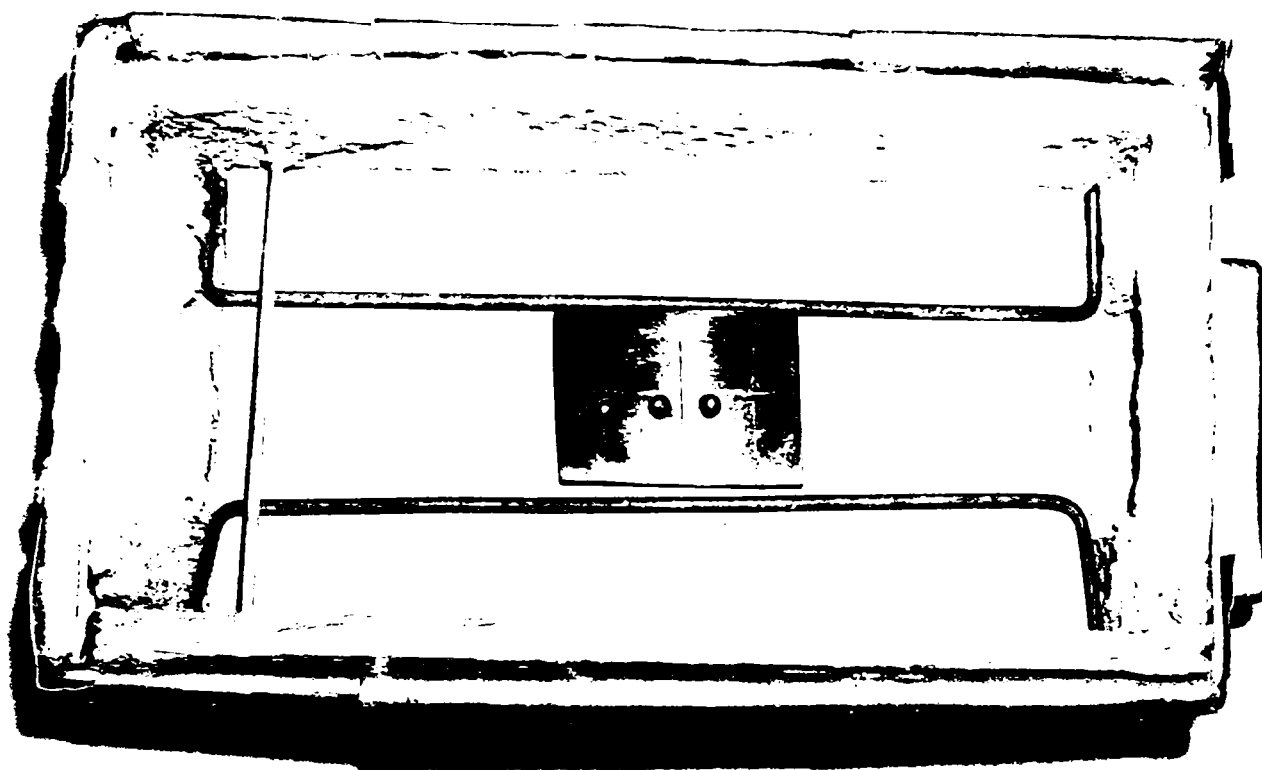
Fig.3.3. Incintă pentru încercarea de duritate



Pentru a executa corect încercarea de duritate, s-au experimentat mai multe variante preliminare de încălzire a plăcuței de duritate (7), pentru ca suportul incintei să nu preia din forța de compresiune. Astfel s-a ajuns la varianta constructivă în care ca suport pentru plăcuță s-a luat o placă dreptunghiulară de oțel (3) cu grosimea de 50 mm, în care s-a practicat un canal prin care trece o rezistență electrică de încălzire (5). Rezistența este izolată de placa de oțel prin intermediul unui tub de ceramică (4) în care aceasta este introdusă, iar alimentarea rezistenței s-a făcut printr-una din lateralele incintei (6). De asemenea rezistența a fost izolată de peretele exterior al incintei, pentru a nu se produce accidente de natură electrică.

Pentru a reduce transmiterea căldurii în elementele aparatului Brinell, placa cu rezistență (3) s-a așezat pe o altă placă (10).

Incinta de încălzire este prevăzută cu orificii (9) pentru montarea instrumentelor de măsurare a temperaturii.



**Poza 3.2. Modalitatea de așezare a plăcuței de duritate**

Peretele metalic exterior (8) al incintei este realizat din tablă de cazane, iar izolația a fost realizată din mai multe straturi de azbest (2). Incinta este prevăzută cu un capac (1) în care s-a executat o degajare pentru a permite pătrunderea tijei penetratorului în ansamblu cu bușă de protecție termică a ei.

Temperatura în incintă și implicit temperatura epruvetelor este reglată prin intermediul calculatorului.

Pentru a putea asigura egalitatea temperaturii epruvetei și a penetratorului (în cazul nostru – bilă de oțel) s-a recurs la varianta executării unei prelungiri a tijei penetratorului precum și la realizarea unei protecții termice a acestei tije, printr-o bușă adecvată capului durometrului Brinell. Aceste variante sunt prezentate în fig.3.4 și Poza 3.3. În interiorul bușei de protecție termică s-au

introduse inele din azbest, care asigură protecția termică și etanșarea zonei dintre camera de lucru și capul de încărcare al aparatului Brinell.

Poziția ansamblului de încărcare se poate regla, pe verticală, astfel încât fața inferioară a bucei să fie la nivelul tangentei la penetrator.

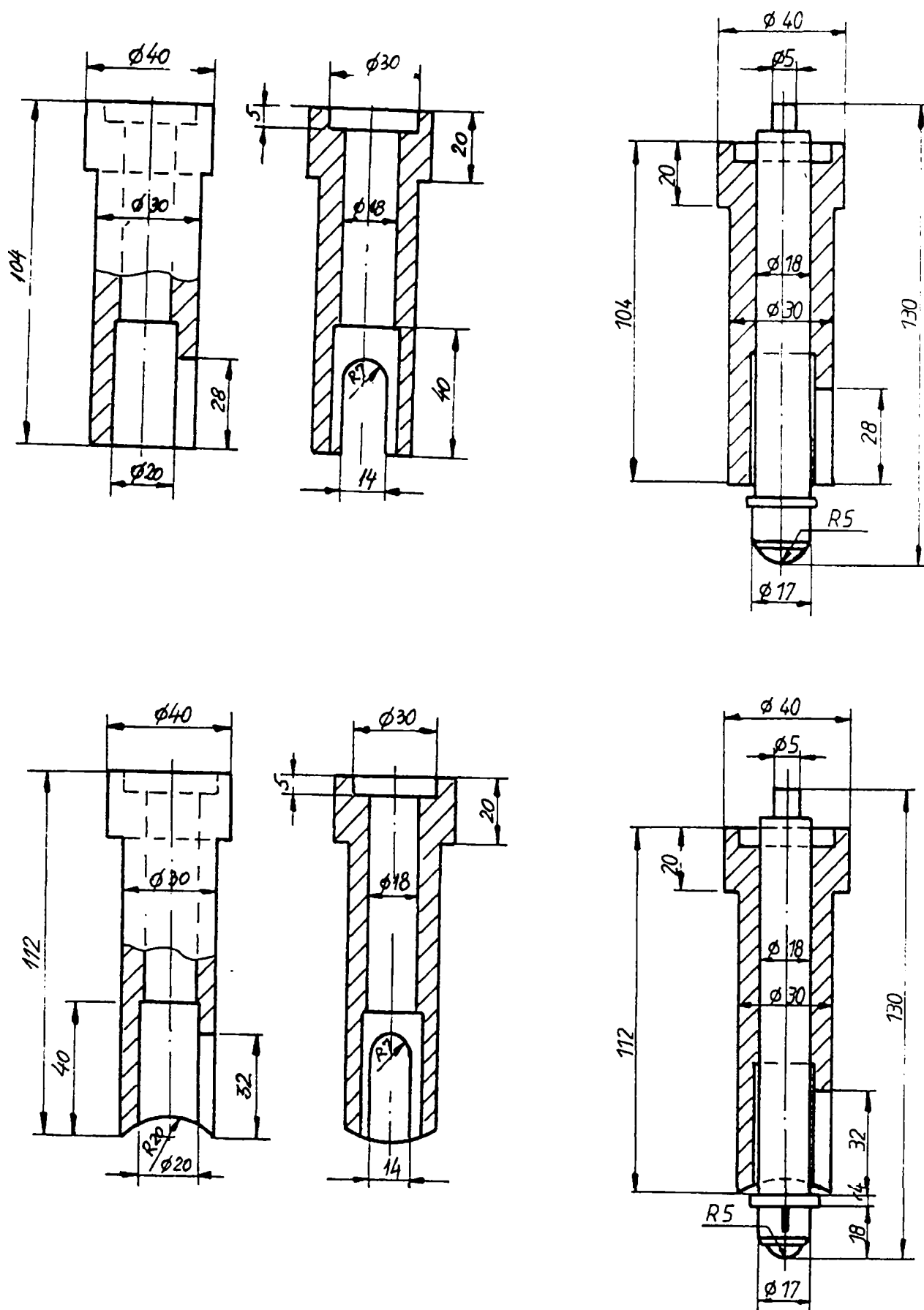
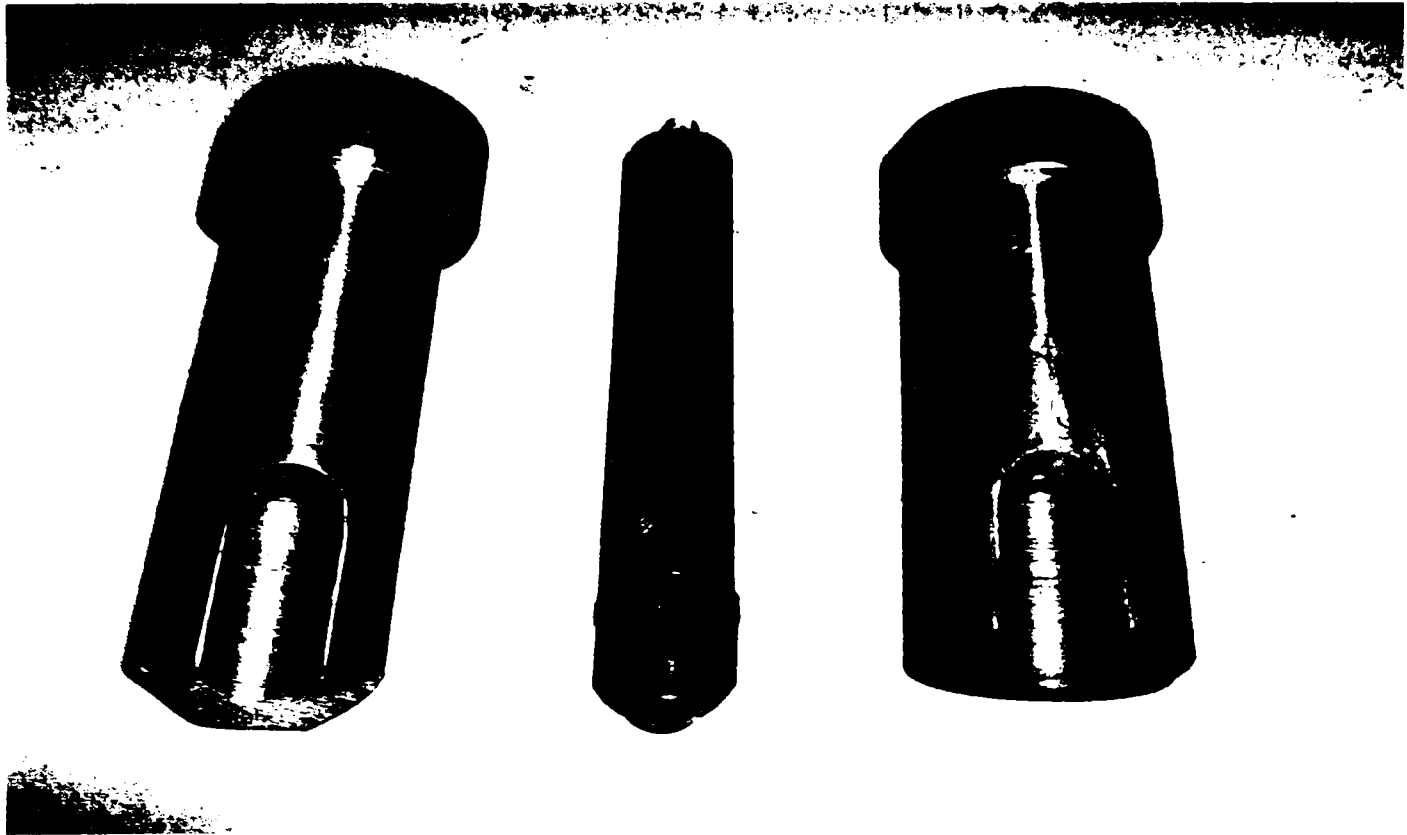


Fig.3.3. Variantele de prelungire a tijei penetratorului și protecția termică pentru tijă pentru suprafețe plane și curbe



**Poza 3.4. Variantele de prelungire a tijeii penetratorului și protecția termică pentru tijă pentru suprafețe plane și curbe**

De asemenea s-a realizat o variantă de prelungire a tijeii penetratorului, cu protecția termică aferentă, pentru efectuarea încercării de duritate Brinell pe țevă. Varianta nu a putut fi experimentată, din cauză că țevile prelevate din cazanul de abur au avut o grosime a peretelui prea mică pentru a se putea efectua corect încercarea.

Epruveta utilizată are o formă paralelipipedică și dimensiuni astfel stabilite, încât se pot executa trei amprente.

Pentru efectuarea încercării de duritate la temperaturi ridicate se parcurg următoarele etape:

- incinta de încălzire se așează pe masa de lucru a durometrului Brinell;
- se introduc epruvetele în incintă și se etanșează orificiile laterale;
- penetratorul aparatului, montat la capătul tijeii prelungitoare, se aduce în contact cu suprafața epruvetei;
- se așează capacele incintei în jurul bușei, care asigură protejarea termică a prelungitorului penetratorului și fixarea epruvetei pentru efectuarea încercării;
- se comandă prin calculator temperatura de încercare.
- după obținerea în epruvetă a temperaturii dorite, se efectuează încercarea de duritate care se repetă de încă două ori fără a fi necesară scoaterea epruvetei din incintă;
- la terminarea încercării, epruveta se scoate din incintă și cu ajutorul unui microscop pentru scule se măsoară câte doi diametri perpendiculari ai aceleiași amprente. Funcție de diametrul mediu al amprente se stabilește duritatea materialului epruvetei.

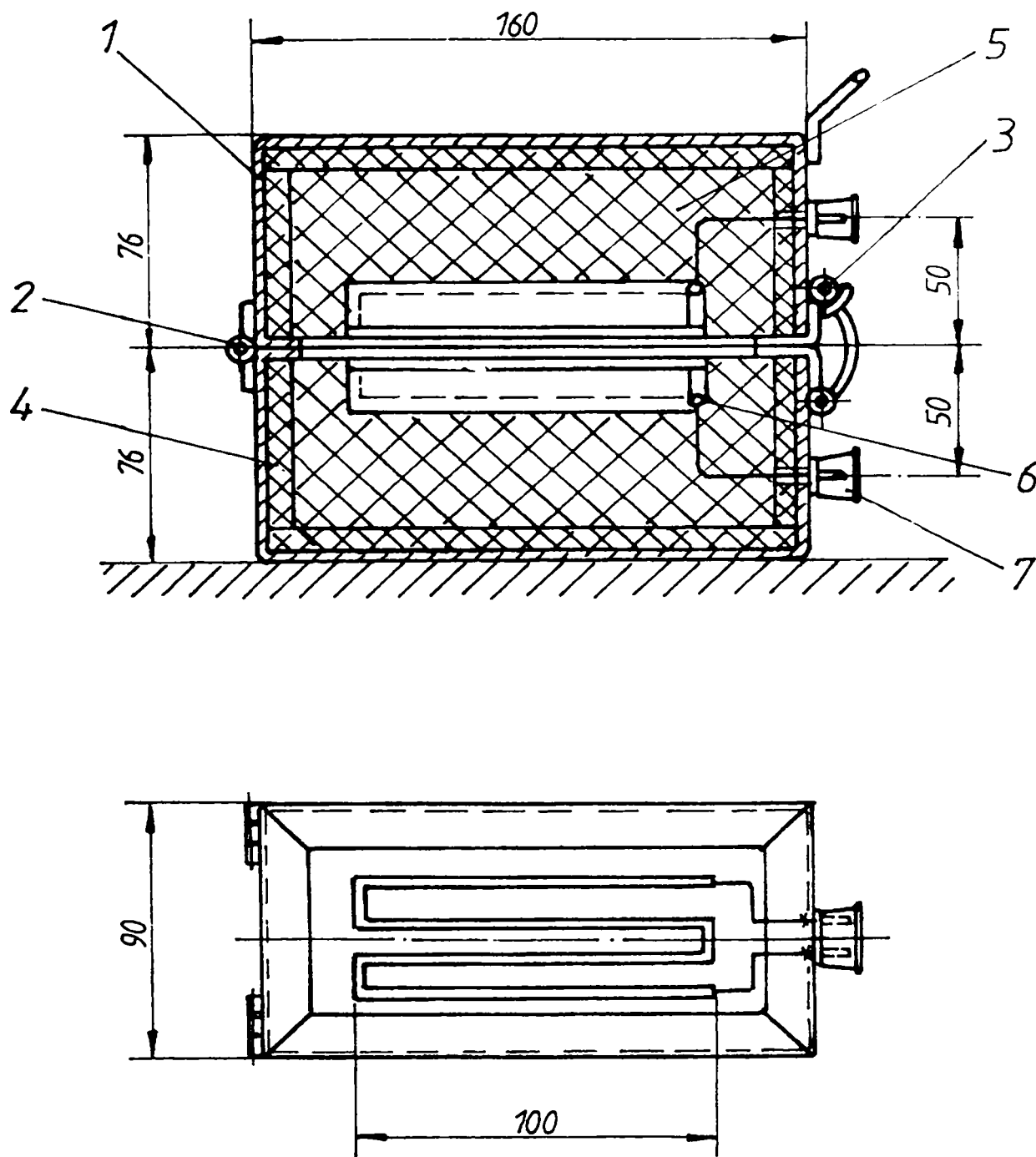
Pentru a se putea executa încercarea pe un aparat de duritate Brinell PH-C-02/02 produs de "Balanța" Sibiu s-au făcut următoarele modificări:

- în schema electrică a fost anulată comanda sistemului de rabatare a capului de încălzire, astfel încât suportul penetratorului să rămână tot timpul în poziție verticală. Acest lucru permite

efectuarea celor trei încercări pe o epruvetă, fără a fi necesară ridicarea celor două semicapace după fiecare încercare, dar nu se mai poate face citirea diametrelor amprentei pe sistemul optic al aparatului:

### 3.2.5. Incintă (cuptor) de încălzire pentru încercarea de încovoiere prin șoc

Încercarea la încovoiere prin șoc este reglementată prin *SR EN 10045-1:1993 Încercarea la încovoiere prin șoc pe epruvete Charpy*, în care sunt specificate și recomandări, cu caracter general, privind condițiile de încercare la temperaturi ridicate.



**Fig.3.5. Incintă pentru încercarea de încovoiere prin șoc**

Încercarea la temperaturi ridicate prezintă particularitatea că epruveta se încălzește 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 ridicată necesară

în momentul în care se produce încercarea. În general, este necesară o supraîncălzire a epruvetei (epruvetelor) în incintă și un timp de manevrare limitat la cel mult 5 secunde.

Ținând cont de aceste considerente, autoarea a realizat o variantă constructivă de incintă pentru încălzirea epruvetelor necesare încercării la încovoiere prin șoc, a cărei schemă se prezintă în fig.3.5.

Incinta este compusă din două părți identice (5), care se închid prin intermediul închizătorului (3). Deschiderea și închiderea lor, pentru extragerea epruvetelor, este asigurată prin balamaua (2). Cele două elemente principale sunt alcătuite fiecare dintr-o cărămidă refractară (5), în care s-a executat un canal pentru introducerea rezistenței de încălzire (6), o manta metalică exterioară (1) și un strat izolator de azbest (4). Ele sunt alimentate cu tensiune, prin intermediul legăturilor electrice (7).

Temperatura epruvetelor, măsurată cu o termorezistență cu fir de platină, este reglată și menținută constantă, prin intermediul calculatorului.

### 3.3. Concluzii și contribuții personale

În acest capitol cercetările au fost îndreptate spre realizarea de echipamente necesare efectuării încercărilor experimentale propuse, deoarece industria românească nu produce standuri experimentale sau incinte (cuptoare) pentru încercări mecanice.

În acest capitol **contribuțiile personale** constau în:

- realizarea practic de incinte (cuptoare) de încălzire a epruvetelor destinate încercărilor mecanice la temperaturi ridicate propuse: tracțiune, răsucire, duritate, încovoiere prin șoc.
- adaptarea unui aparat Brinell pentru încercarea de duritate la temperaturi ridicate, prin: modificarea în schema electrică a sistemului de rabatere a penetratorului, pentru a se putea efectua trei încercări de duritate pe aceeași epruvetă, la aceeași temperatură; realizarea unui sistem de prelungire a tijei penetratorului cu asigurarea protecției termice a acesteia pe parcursul încercării;
- studiul posibilităților de realizare a încercării de duritate Brinell, pe țevă.

## CAPITOLUL 4

### CERCETĂRI PRIVIND TRANSFERUL TERMIC, REGLAREA ȘI MENTINEREA TEMPERATURILOR RIDICATE

#### 4.1. Considerații asupra transferului termic

**Transferul termic** (schimbul de căldură) este un proces de propagare a căldurii într-un spațiu oarecare, datorat unei diferențe de temperatură între două zone ale aceluiași corp, între două corpuri, două fluide, un corp și fluid. Acest proces stă la baza tuturor proceselor termoenergetice, inclusiv a procedurilor tehnologice de prelucrare la cald. Propagarea căldurii respectă principiile termodinamicii astfel că sensul transferului de căldură se face de la sursa cu temperatură mai ridicată către cea cu temperatura mai scăzută, schimbul de căldură încetând în momentul uniformizării temperaturilor.

**Căldura** este forma de transfer de energie microscopică și dezordonată (energie internă), caracteristică sistemelor care nu-și modifică parametrii exteriori în timpul procesului (nu se efectuează lucru mecanic). Cantitatea de energie transferată se numește, impropriu, *cantitate de căldură*.

**Temperatura** este parametrul cu care se apreciază calitatea căldurii și conform termodinamicii, este parametrul comun corpurilor aflate în contact termic la echilibru.

Transferul termic (schimbul de căldură) se poate realiza în trei moduri: **conducție, convecție și radiație**. Aceste trei modalități de realizare a schimbului de căldură se pot obține în aplicațiile tehnice fie independent, fie cumulate câte două sau la limită toate trei.

Procesele de încălzire a materialelor, sunt descrise de ecuații diferențiale cu derivate parțiale de ordin superior, neliniare. După alcătuirea modelului matematic care descrie un anumit proces se pune problema modului în care modelul respectiv poate fi rezolvat. Există două tipuri de metode de rezolvare: analitice și numerice.

**Metodele analitice** sunt acele metode care exprimă soluția prin formule algebrice, serii de puteri, funcții transcendente și altele. Aceste soluții sunt obținute prin operații matematice complexe cum ar fi: separarea variabilelor, transformări de coordonate, superpoziții de soluții, dezvoltări în serie etc. Soluțiile analitice se exprimă de obicei sub formă generală, particularizarea lor făcându-se prin introducerea condițiilor spațiale (pe frontieră) și a celor temporale (inițiale).

Soluțiile analitice obținute pentru cele mai multe procese de încălzire, presupun însă o limitare destul de severă și anume liniaritatea ecuațiilor diferențiale; de exemplu proprietățile de material sunt presupuse independente de temperatură. De asemenea aceste soluții presupun de obicei o geometrie regulată.

Spre deosebire de soluțiile analitice, soluțiile *numerice* sunt obținute prin calcule aritmetice, sub forma valorilor numerice, pentru fiecare aplicație în parte.

**Datorită faptului ca ecuațiile diferențiale care descriu procese termice sunt neliniare, se preferă soluțiile numerice (lipsite de restricția de liniaritate) chiar în cazul în care ar putea fi utilizate tehnici analitice.**

S-au dezvoltat extrem de multe **metode numerice** pentru rezolvarea ecuațiilor diferențiale. Esența acestor metode constă în obținerea unui sistem de ecuații algebrice, de obicei liniare, care aproximează soluția ecuațiilor diferențiale inițiale. Necunoscutele sistemului sunt valorile funcției căutate în nodurile unei rețele de discretizare, care aproximează domeniul de integrare.

În funcție de complexitatea geometriei și a condițiilor de unicitate, numărul ecuațiilor rezultate poate fi foarte mare astfel că rezolvarea sistemului nu se poate face decât cu ajutorul calculatorului electronic, fiind necesară o tehnică numerică suplimentară, pentru rezolvarea sistemului de ecuații algebrice înlocuitor.

Observațiile de mai sus conduc la concluzia că soluția care se poate obține este aproximativă fiind afectată de erorile de reprezentare internă (în calculator) a numerelor și de erorile de metodă (atât cea de integrare a ecuațiilor diferențiale cât și cea de rezolvare a sistemului rezultat). Cu toate acestea, rezultatele pot fi mai apropiate de realitate decât soluțiile analitice obținute pe seama liniarizării ecuațiilor diferențiale.

În **tratarea fenomenelor termice** se au în vedere trei moduri de transfer de căldură (în contextul unui fenomen fizic ideal, care admite că influența celorlalte două moduri de transfer de căldură este nulă în raport cu al treia). Un fenomen fizic real implică totalitatea acestor modalități de transfer, dar în proporții variabile, putând aprecia că, pentru anumite situații particulare, una sau alta dintre modalitățile enunțate anterior este predominantă, ceea ce permite utilizarea ecuațiilor caracteristice acestui mod pentru descrierea fenomenului în ansamblu.

În mod obișnuit se apelează la patru metode de bază în vederea studiului distribuțiilor de temperatură caracteristice funcționării instalațiilor termotehnologice, pentru a obține și exploata informații cât mai complete care să permită optimizarea funcționării acestor instalații:

- măsurători termice, chimice și mecanice (viteze, presiuni, etc.) asupra instalațiilor în funcționare;
- modelare (simulare) fizică și/sau cu substanță de substituție, dezvoltate la scară redusă;
- modelare electrică analogică;
- modelare matematică.

Prima metodă are un câmp limitat de acțiune, prin natura intrinsecă a proceselor implicate, nu întotdeauna putând extrapola datele rezultate în analiza unui proces individualizat. Pe de altă parte, metoda se dovedește supusă unor erori (de multe ori însumate), inerente structurii, construcției și sensibilității aparaturii utilizate, cât și capacității (relevante) anumitor date, din punct de vedere al separării exacte a influenței factorilor perturbatori. Aceasta metodă se dovedește

neadaptată în cazul proiectării și realizării unor instalații sau procese tehnologice nestudiate anterior.

**Modelarea fizică** poate oferi date interesante pentru configurații de instalații, piese, sisteme complexe, neexistente în practica industrială, prin reproducerea la scară redusă a acestor sisteme, sau prin utilizarea de substanțe de substituție. În același timp, anumite informații nu pot fi obținute prin aplicarea unor metode fizice de modelare, pe considerente ce țin de limitele naturale ale procedurii. Astfel, modelele hidraulice sau aerodinamice nu pot reprezenta în mod veridic ponderea și influența transferului radiant de căldură.

**Modelarea prin intermediul schemelor electrice analogice** a fost un moment de tranziție în trecerea de la analiza fenomenelor termice complexe, cu ajutorul modelelor fizice, la metodele de modelare matematică, susținute de dezvoltarea computerelor de mare putere (și evident de accesibilitatea acestora pe scară largă). Relevanța schemelor electrice analogice este suficientă la nivelul fenomenelor termice conductive simple și/sau radiante, dar devine necorespunzătoare pentru situații complexe (ce implică cuplaje termice-chimice-hidraulice).

**Modelarea matematică** se impune drept singura metodă care poate lua în calcul o multitudine de factori (principali sau secundari) și care oferă o interpretare valabilă a acțiunii acestora asupra procesului termic studiat.

**Metodele numerice** (bazate pe scheme analitice, cu diferențe finite, cu elemente finite, etc.) disponibile și aparatura evoluată de calcul reprezintă **premize favorabile utilizării extinse ale acestor metode în studiul transferului complex de căldură**, caracteristic pentru numeroase procese.

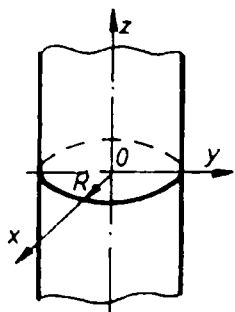
#### **4.2. Modelarea matematică a transferului termic în epruvetele utilizate pentru încercări mecanice la temperaturi ridicate**

În cazul cuptoarelor de încălzire a unor epruvete (similare cu cuptoarele de tratament termic), schimbul de căldură de la elementele de încălzire la epruvete se face prin convecție și radiație, fluxul termic fiind suma schimburilor de căldură prin cele două moduri, iar de la suprafața produsului către miezul acesteia se face prin conducție. În funcție de intensitatea proceselor de transfer termic va exista la un moment dat, o anumită distribuție a temperaturii pe secțiune și, corespunzător o anumită stare de tensiune.

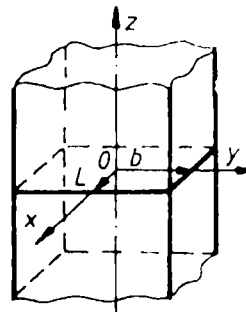
În cazul proiectării unor cuptoare pentru încălzirea probelor pentru diverse încercări mecanice, etc. problema esențială este de a putea asigura obținerea unor temperaturi dorite, pe întreaga secțiune a probei încălzită, într-un interval de timp scurt, deci cu reducerea perioadei de încălzire.

Privind din punct de vedere al posibilităților de modelare matematică a transferului de căldură într-o epruvetă de tracțiune, aflată într-un cuptor de încălzire, se prezintă în continuare câteva cazuri de încălzire a unor corpuri introduse într-o incintă.





**Fig.4.1. Cilindru de rază R și lungime  
infinită**



**Fig.4.2. Prismă dreptunghiulară de secțiune 2b  
x 2L și lungime finită**

În primul caz se va asimila epruveta cu un cilindru de lungime infinită, de rază  $R$  (fig.4.1) și având difuzivitatea termică  $a$ . 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

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left( \frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial t}{\partial r} \right), \quad (4.1)$$

i se atașează condiția inițială

$$t(r, 0) = t_0 \quad (4.2)$$

și condiția la limită

$$t(R, \tau) = t_c. \quad (4.3)$$

Efectuând schimbarea de funcție

$$t(r, \tau) = u(r, \tau) + t_c \quad (4.4)$$

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

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = a \left( \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial u}{\partial r} \right) \quad (4.5)$$

și condițiile

$$u(r, 0) = t_0 - t_c, \quad (4.6)$$

$$u(R, \tau) = 0. \quad (4.7)$$

Căutăm soluția ecuației (4.5) de forma

$$u(r, \tau) = \sum_{i=1}^{\infty} A_i(\tau) I_0 \left( \mu_i \frac{r}{R} \right), \quad (4.8)$$

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

$$I_0(z) = \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \frac{z^{2k}}{2^{2k} (k!)^2} \quad (4.9)$$

Pentru ca funcția dată în (4.8) să satisfacă condiția la limită (4.7) este necesar ca

$$I_0(\mu_i) = 0, \quad (4.10)$$

adică  $\mu_i$  să fie rădăcinile ecuației

$$I_0(z) = 0. \quad (4.11)$$

Pentru determinarea rădăcinilor acestei ecuații s-a întocmit, în **MATLAB 5.0**, programul **GENFCT** de generare a funcției Bessel de ordinul zero prezentat în Anexa 2. Programul **EX 1** (Anexa 2), apelând programul **GENFCT**, 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, care sunt prezentate în Anexa 2.

Substituind expresia (4.8) în ecuația (4.5) și introducând notația

$$z = \frac{\mu_i r}{R} \quad (4.12)$$

rezultă

$$\sum_{i=1}^{\infty} A'_i(\tau) \cdot I_0(z) = a \sum_{i=1}^{\infty} A_i(\tau) \frac{\mu_i}{rR} [zI_0'(z) + I_0(z)]. \quad (4.13)$$

Deoarece

$$I_0'(z) = -I_1(z) \text{ și } zI_0'(z) = (z \cdot I_1(z))', \quad (4.14)$$

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 (4.13) primește forma

$$\sum_{i=1}^{\infty} A'_i(\tau) I_0(z) = -\frac{a}{R^2} \sum_{i=1}^{\infty} \mu_i^2 A_i(\tau) I_0(z) \quad (4.15)$$

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

$$A'_i(\tau) + a \frac{\mu_i^2}{R^2} A_i(\tau) = 0. \quad (4.16)$$

Această ecuație diferențială de ordinul I admite soluția

$$A_i(\tau) = c_i e^{-a\tau(\mu_i/R)^2}, \quad (4.17)$$

care înlocuită în (4.8) conduce la expresia

$$u(r, \tau) = \sum_{i=1}^{\infty} c_i I_0\left(\mu_i \frac{r}{R}\right) e^{-a\tau(\mu_i/R)^2}. \quad (4.18)$$

Funcția (4.18) satisface, după cum a fost construită, ecuația (4.5) și condiția la limită (4.7). Constantele  $c_i$  se vor determina impunând condiția ca funcția (4.18) să satisfacă și condiția inițială (4.6).

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

$$t_0 - t_c = \sum_{i=1}^{\infty} \alpha_i \cdot I_0\left(\mu_i \frac{r}{R}\right). \quad (4.19)$$

Înmulțim relația (4.19) cu  $r I_0\left(\mu_n \frac{r}{R}\right)$  și o integrăm după  $r$  între limitele  $0$  și  $R$ , adică

$$(t_0 - t_c) \int_0^R r I_0\left(\mu_n \frac{r}{R}\right) dr = \sum_{i=1}^{\infty} \alpha_i \int_0^R r I_0\left(\mu_i \frac{r}{R}\right) I_0\left(\mu_n \frac{r}{R}\right) dr. \quad (4.20)$$

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

$$\int_0^1 z I_0(\mu_i z) I_0(\mu_n z) dz = \begin{cases} 0, & \text{pentru } i \neq n, \\ \frac{1}{2} I_1^2(\mu_n), & \text{pentru } i = n, \end{cases} \quad (4.21)$$

unde  $I_1$  este funcția Bessel de ordinul întâi,

$$I_1(z) = \sum_{i=0}^{\infty} (-1)^i \frac{1}{i!(i+1)!} \left(\frac{z}{2}\right)^{2i+1} \quad (4.22)$$

Utilizând relația (4.14), prima integrală din (4.20) devine

$$\int_0^R r I_0\left(\mu_n \frac{r}{R}\right) dr = \frac{R^2}{\mu_n^2} \int_0^{\mu_n} z I_0(z) dz = \frac{R^2}{\mu_n^2} (z I_1(z)) \Big|_0^{\mu_n} = \frac{R^2}{\mu_n} I_1(\mu_n). \quad (4.23)$$

Membrul drept al aceleiași relații devine succesiv

$$\sum_{i=1}^{\infty} \alpha_i \int_0^R r I_0\left(\mu_i \frac{r}{R}\right) I_0\left(\mu_n \frac{r}{R}\right) dr = \alpha_n \int_0^R r I_0^2\left(\mu_n \frac{r}{R}\right) dr = \alpha_n \frac{R^2}{2} I_1^2(\mu_n), \quad (4.24)$$

relația (4.20) 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

$$\alpha_n = \frac{2}{\mu_n I_1(\mu_n)} (t_0 - t_c). \quad (4.25)$$

Expresia  $t_0 - t_c$  din (4.19) primește forma finală

$$t_0 - t_c = 2(t_0 - t_c) \sum_{i=1}^{\infty} \frac{I_0\left(\mu_i \frac{r}{R}\right)}{\mu_i I_1(\mu_i)}. \quad (4.26)$$

Relația (4.18), pentru  $\tau = 0$ , prin identificare cu (4.26), 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

$$t(r, \tau) = t_c + 2(t_0 - t_c) \sum_{i=1}^{\infty} \frac{I_0\left(\mu_i \frac{r}{R}\right)}{\mu_i I_1(\mu_i)} \cdot e^{-a\tau\left(\mu_i/R\right)^2} \quad (4.27)$$

Pentru determinarea distribuției temperaturii în acest caz, s-a întocmit programul **TEMP**, prezentat în Anexa 2 împreună cu datele rezultate din rularea programului, care sunt redată matricial, 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 10;20;20;30;40;50;60;120;360;720;1200;1800;2400;3600;4800. [s].

A doua modelare a fenomenului de încălzire consideră corpul sub formă de prismă dreptunghiulară de lungime infinită (fig.4.2), cu secțiunea  $2b \times 2L$ , cu coeficientul de difuzivitate termică  $a$ , ca și în cazul anterior.

În cazul general această problemă revine la aflarea soluției ecuației

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \right), \quad (4.28)$$

cu condițiile pe suprafață

$$t|_{x=\pm L} = \varphi(\tau), \quad t|_{y=\pm b} = \varphi(\tau), \quad (4.29)$$

și cu condiția inițială

$$t|_{\tau=0} = F(x, y). \quad (4.30)$$

Soluția acestei ecuații, unde

$$\delta_1 = \frac{2l-1}{2} \pi; \quad \delta_m = \frac{2m-1}{2} \pi; \quad \beta = \frac{\delta_1^2}{L^2} + \frac{\delta_m^2}{b^2}, \quad (4.31)$$

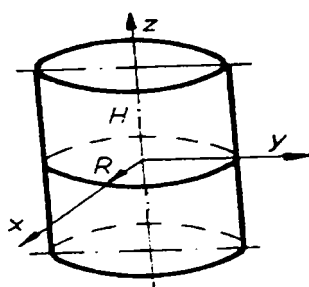
este

$$t = \varphi(\tau) + \frac{1}{Lb} \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \cos\left(\delta_1 \frac{x}{L}\right) \cos\left(\delta_m \frac{y}{b}\right) e^{-\beta \tau} \int_{-L-b}^{+L+b} [(F(x, y) - \varphi(0))] \cos\left(\delta_1 \frac{x}{L}\right) \cos\left(\delta_m \frac{y}{b}\right) dx dy - \\ - 4 \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{(-1)^{l+m}}{\delta_1 \delta_m} \cos\left(\delta_1 \frac{x}{L}\right) \cos\left(\delta_m \frac{y}{b}\right) e^{-\beta \tau} \int_0^{\tau} e^{\beta \tau} \varphi'(\tau) d\tau, \quad (4.32)$$

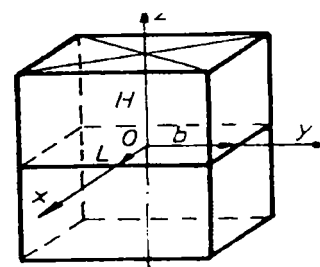
care, în ipoteza  $\varphi(\tau) = t_c = ct.$ ,  $F(x, y) = t_0 = ct.$ , primește forma

$$t = t_c + 4(t_0 - t_c) \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{\delta_1 \delta_m} \cos\left(\delta_1 \frac{x}{L}\right) \cos\left(\delta_m \frac{y}{b}\right) \cdot e^{-\beta \tau} \cdot \sin \delta_1 \sin \delta_m. \quad (4.33)$$

Pentru obținerea datelor numerice s-a întocmit programul **TEMPDR**, care împreună cu datele rezultate sunt prezentate în Anexa 2.



**Fig.4.3. Cilindru de rază R și lungime finită (2H)**



**Fig.4.4. Prismă dreptunghiulară de secțiune 2bx2L și lungime finită (2H)**

În cazul în care se consideră cilindrul de lungime finită  $2H$  (fig.4.3), ecuația conductibilității

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left( \frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right), \quad (4.34)$$

cu condițiile la limită

$$t|_{r=R} = \varphi(\tau), \quad t|_{z=\pm H} = \varphi(\tau), \quad (4.35)$$

și cu condiția inițială

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

admite soluția

$$t = \varphi(\tau) + \frac{2}{HR^2} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \cos\left(\delta_m \frac{z}{H}\right) \frac{1}{I_1^2(\mu_n)} I_0\left(\mu_n \frac{r}{R}\right) e^{-\beta \alpha \tau} \int_{-H}^{+H} [F(r, z) - \varphi(0)] \cos\left(\delta_m \frac{z}{H}\right) I_0\left(\mu_n \frac{r}{R}\right) dz r dr - \\ - \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4(-1)^{m+n}}{\delta_m \mu_n I_1(\mu_n)} \cos\left(\delta_m \frac{z}{H}\right) I_0\left(\mu_n \frac{r}{R}\right) e^{-\beta \alpha \tau} \int_0^{\tau} e^{\beta \alpha \tau} \varphi'(\tau) d\tau, \quad (4.36)$$

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

$$t = t_c + 4(t_0 - t_c) \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\mu_n} \cos\left(\delta_m \frac{z}{H}\right) \frac{1}{I_1(\mu_n)} I_0\left(\mu_n \frac{r}{R}\right) e^{-\beta \alpha \tau} \frac{1}{\delta_m} \sin \delta_m \quad (4.37)$$

Programul utilizat în acest caz este **TCILF**, prezentat împreună cu rezultatele obținute din rularea lui în Anexa 2.

În cazul paralelipipedului dreptunghiular de dimensiuni  $2b \times 2L \times 2H$ , ecuația conductibilității

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right), \quad (4.38)$$

cu condițiile la limită

$$t|_{x=\pm L} = \varphi(\tau), \quad t|_{y=\pm b} = \varphi(\tau), \quad t|_{z=\pm H} = \varphi(\tau), \quad (4.39)$$

și cu condiția inițială

$$t|_{\tau=0} = F(x, y, z), \quad (4.40)$$

admite soluția

$$t = \varphi(\tau) + \\ + \frac{1}{LbH} \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \cos\left(\delta_l \frac{x}{L}\right) \cos\left(\delta_m \frac{y}{b}\right) \cos\left(\delta_n \frac{z}{H}\right) e^{-\beta \alpha \tau} \int_{-L}^{+L} \int_{-b}^{+b} \int_{-H}^{+H} [F(x, y, z) - \varphi(0)] \cos\left(\delta_l \frac{x}{L}\right) \cos\left(\delta_m \frac{y}{b}\right) \cos\left(\delta_n \frac{z}{H}\right) dx dy dz - \\ - \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{8(-1)^{l+m+n}}{\delta_l \delta_m \delta_n} \cos\left(\delta_l \frac{x}{L}\right) \cos\left(\delta_m \frac{y}{b}\right) \cos\left(\delta_n \frac{z}{H}\right) e^{-\beta \alpha \tau} \int_0^{\tau} e^{\beta \alpha \tau} \varphi'(\tau) d\tau \quad (4.41)$$

unde

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

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

Pentru situația din incinta de încălzire soluția primește forma

$$t = t_c + 8(t_0 - t_c) \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\delta_l \delta_m \delta_n} \cos\left(\delta_l \frac{x}{L}\right) \cos\left(\delta_m \frac{y}{b}\right) \cos\left(\delta_n \frac{z}{H}\right) e^{-\beta \alpha \tau} \sin \delta_l \sin \delta_m \sin \delta_n \quad (4.42)$$

Programul utilizat este **PARDRF**, iar datele obținute sunt prezentate în Anexa 2.

Intervalul de timp în care s-a realizat transferul termic confirmă specificațiile din literatura de specialitate și anume: după obținerea temperaturii dorite s-a realizat menținerea acesteia o perioadă suficientă de timp, ceea ce a permis realizarea încercării propuse.

### 4.3. Contribuții privind realizarea unui sistem de reglare automată a temperaturilor ridicate

Pentru obținerea temperaturilor ridicate și menținerea în limitele de toleranță admise, pe toată durata executării încercării mecanice, este necesar să se utilizeze sisteme de reglare automată concepute astfel încât să satisfacă aceste condiții.

În camera de lucru a incintei de încălzire, în contact cu epruveta a cărei temperatură trebuie măsurată se amplasează un traductor de temperatură (termocuplul Cr-Al) care are rolul de a măsura temperatura și de a transmite, prin placa de achiziție, informația la calculator, care comandă reglarea și menținerea temperaturii de încercare dorite.

Pentru menținerea temperaturii ridicate, între limitele admise, a fost realizat un program, care utilizează mediul LABVIEW, prin care se comandă tensiunea de alimentare a rezistenței de încălzire a incintei, în funcție de temperatura sesizată de către termocuplă.

Părțile componente ale sistemului de reglare automată a temperaturii sunt:

- termocuplele Cromel-Alumel;
- placa de achiziție de date;
- interfața de lucru a calculatorului cu softul aferent;
- variatorul de putere (tensiune alternativă), proiectat și realizat de autoare.

Termocuplul redă valoarea temperaturii măsurate în incintă (a epruvetei), prin variația tensiunii lui termoelectromotoare, care se transmite plăcii de achiziție (care poate accepta o tensiune de valoare  $0 \dots \pm 5V$ ). Prin interfața de lucru se permite memorarea datelor achiziționate, iar în funcție de acestea calculatorul dă comanda de creștere sau scădere a temperaturii până la valoarea la care se dorește a se efectua încercarea. Schema logică a aplicației se prezintă în Anexa 2.

Comanda de creștere sau scădere a temperaturii se transmite de la calculator spre variatorul de putere, care permite creșterea sau micșorarea tensiunii de alimentare a rezistenței de încălzire a incintei.

Variatoarele de putere (contactoarele statice) sunt circuite electronice cu rol de întrerupătoare între un consumator și o sursă de tensiune continuă sau alternativă. Ele nu au contacte

în mișcare (relee electromagnetice) și de aceea au fiabilitate ridicată, durată lungă de funcționare, gabarit redus, întreținere simplă, rezistență la șocuri și vibrații, răspuns foarte rapid la comenzi, putere de comandă mică și pot lucra în mediu coroziv. Toate aceste avantaje fac ca variatoarele să fie preferate la puteri mari. Variatoarele pot întrerupe și conecta sarcina la comenzi individuale sau periodice, caz în care este dozată puterea debitată de sursa sarcinii, cu randament foarte bun al circuitului.

Pentru experimentările efectuate s-a adoptat soluția unui variator de putere cu circuit de comandă cu circuit integrat  $\beta$ AA145, bazat pe procedeul amorsării tiristorului la trecerea prin zero a tensiunii, pentru a reduce mult solicitarea triacului prin efect  $di/dt$  și perturbațiile electromagnetice datorate creșterii bruște a curentului. Procedeul se poate folosi numai pentru sarcini cu inerție mare (tipic pentru reglajul temperaturii) motivat de faptul că are perioade de repetiție lungi.

Principiul variatorului cu tiristoare în punte, care necesită un singur circuit de comandă, este reprezentat în fig.4.5.

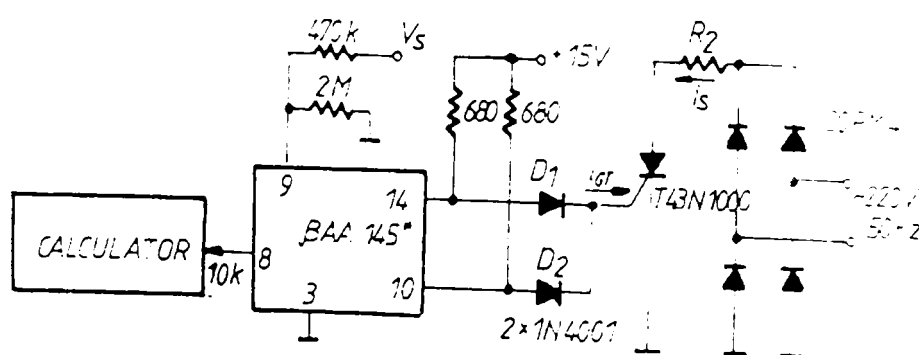
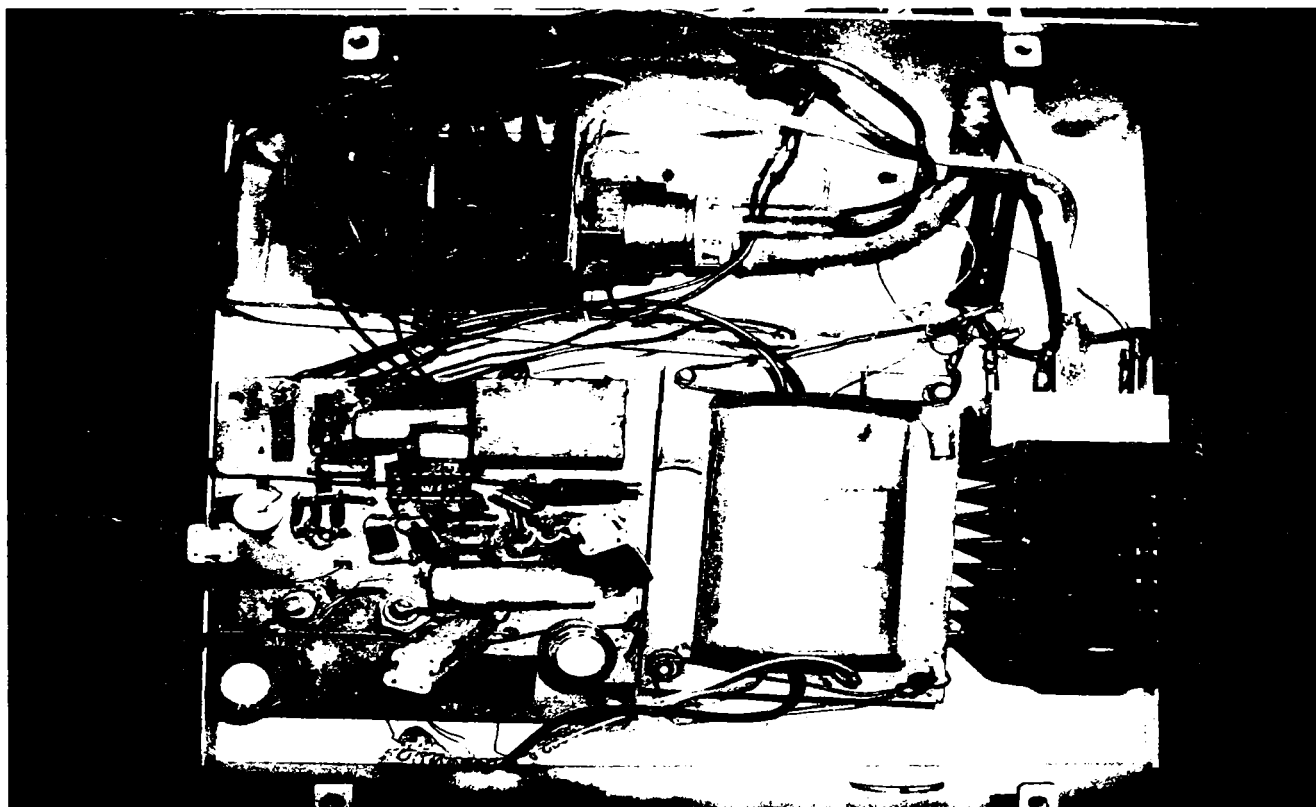


Fig.4.5.Schema electrică de comandă bialternanță cu montaj în punte



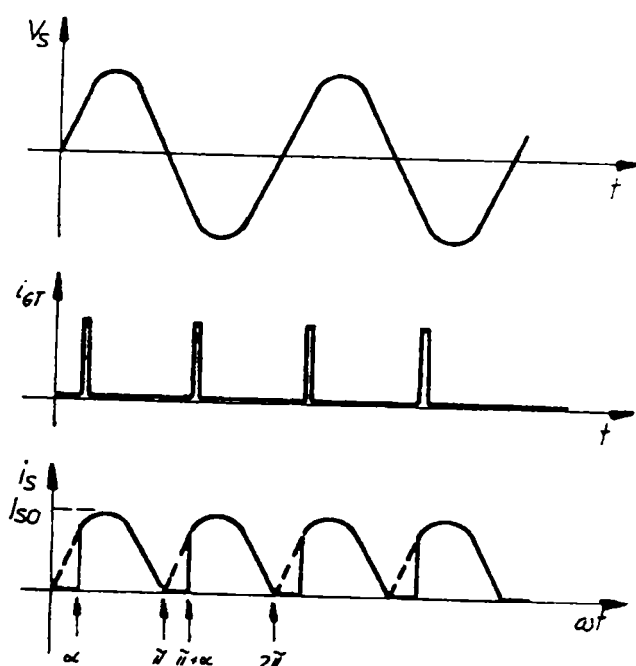
Poza 4.1. Variatorul de tensiune alternativă

Variatorul de tensiune alternativă realizat de autoare se prezintă în Poza 4.1.

Ca și element de reglare a puterii disipate se utilizează un tiristor de tipul **T63N1000** al cărui unghi de deschidere este comandat de circuitul integrat **βAA145**.

Circuitul **βAA145** este utilizat în aplicațiile care necesită comanda în fază a aprinderii tiristoarelor și triacelor, putând fi sincronizat direct cu rețeaua de curent alternativ (de obicei 220V, 50Hz). În aceste aplicații, tensiunea de rețea industrială reprezintă tocmai semnalul de sincronizare, circuitul oferind două impulsuri de aprindere sincrone cu cele două semialternanțe.

În fig.4.6 se prezintă formele de undă ale curentului, necesare acestei comenzi în fază, pentru obținerea tensiunii variabile, la bornele rezistenței de încălzire, prin modificarea unghiului de comandă al tiristorului ( $\alpha$ ). Această valoare ( $\alpha$ ) a unghiului se modifică prin tensiunea variabilă de ieșire de la calculator și care este adusă la pinul 8 al circuitului integrat **βAA145**.



**Fig.4.6. Formele de undă ale curentului, caracteristice comenzii în fază**

Pentru funcționare, circuitul **βAA145** are nevoie de o *sursă de tensiune pozitivă* de 12...18 V, capabilă să furnizeze un curent de sarcină de 100 mA precum și de o *sursă negativă de curent* de 15...25 mA, care se aplică între terminalele 3 și 13 la o tensiune mai mare de 10V. Dioda Zener stabilizează tensiunea pe terminalul 13 la aproximativ 8V.

Pe terminalele 10 și 14, **βAA145** furnizează impulsuri pozitive corespunzătoare celor două semialternanțe ale tensiunii de rețea.

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

**Blocul de sincronizare** are rolul de a sincroniza generarea impulsurilor de aprindere cu apariția semialternanțelor negative sau pozitive în circuitul anodic al tiristorului (triacului) comandat. Asta înseamnă că tensiunea de sincronizare, fie că este sau nu tensiune de rețea, trebuie



să se aplice atât în terminalul 9 al circuitului de sincronizare cât și pe circuitul anodic al tiristorului (triacului).

**Generatorul de rampă** încarcă rapid capacitatea  $C_2$  la +8V la fiecare impuls generat de detectorul de nul pe terminalul 16 și o lasă să se descarce prin  $R_5$  către tensiunea de -8V în perioada dintre două impulsuri de trecere prin zero (durata acestei descărcări este de 10ms pentru un impuls de sincronizare de 50 Hz). Se obține astfel pe terminalul 7 o rampă de tensiune.

În timpul impulsului de trecere prin zero are loc, simultan cu încărcarea capacității  $C_2$  și încărcarea capacității  $C_3$  conectată la terminalul 2, până la valoarea tensiunii de alimentare, stare echivalentă cu activarea monostabilului ("așteptarea" momentului de declanșare a impulsului de aprindere). Rampa de tensiune de pe terminalul 7 se aplică intern, pe intrarea neinversoare a comparatorului.

Comparatorul are pe intrarea neinversoare semnalul triunghiular al generatorului de rampă, iar pe intrarea inversoare tensiunea de comandă și reglaj a unghiului de conducție. Rampa de tensiune este descrescătoare și deci atâta timp cât  $V_7 > V_8$  comparatorul nu este basculat și monostabilul rămâne în starea de "așteptare". Această perioadă de timp în care deși există semialternanța pozitivă sau negativă, tiristorul nu conduce, corespunde unghiului  $\alpha$  "de aprindere", complementar -în raport cu semialternanța ce durează 10 ms (pentru frecvența semnalului de sincronizare de 50 Hz) - unghiului  $\varphi$  "de conducție". În momentul în care tensiunea  $v_7$  devine egală cu tensiunea  $v_8$ , comparatorul își schimbă starea, monostabilul comută, descărcând capacitatea  $C_3$ .

*Monostabilul* are rolul de a fixa durata impulsului de aprindere prin constanta de timp a grupului  $C_3, P_2, R_6$ . Monostabilul este declanșat de bascularea comparatorului. Saltul negativ care apare pe terminalul 2 trece spre terminalul 11 comandând blocul logic de ieșire. Acesta este momentul apariției la ieșire a impulsului de aprindere (pe terminalul 14 sau pe terminalul 10).

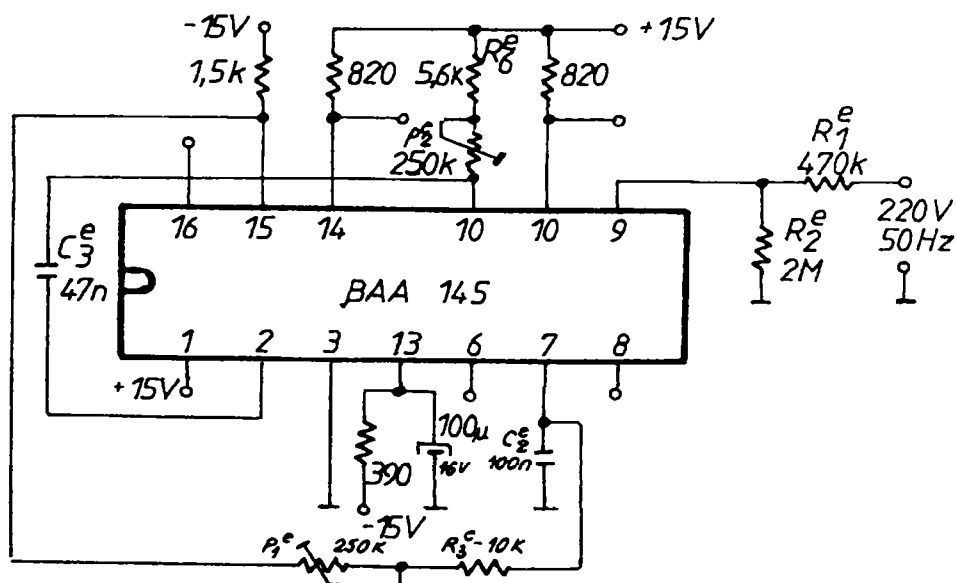


Fig.4.7. Schema de aplicație tipică pentru circuitul integrat  $\beta$ A4145

**Blocul logic și etajele de ieșire** au rolul de a distribui impulsul negativ furnizat de monostabil către ieșirea 14 (corespunzătoare semialternanței pozitive a semnalului de sincronizare) sau către ieșirea 10 (corespunzătoare semialternanței negative). Dacă există semnal (impuls) pe una din ieșiri, pe cealaltă ieșire tensiunea este nulă. Ieșirile fiind de tip *colector în gol*, apariția impulsurilor de aprindere este posibilă numai prin legarea unor rezistențe  $R_7$  și  $R_8$  la o tensiune pozitivă mai mare decât +8V.

Schema de aplicație tipică pentru circuitul integrat  $\beta AA145$  este reprezentată în fig.4.7. Pentru experimentările realizate în cadrul acestei lucrări s-a realizat montajul prezentat în fig.4.8, realizându-se o comandă bialternanță a unui tiristor cu montaj în punte.

Puntea 20PM4 realizează redresarea tensiunii alternative pentru a permite curentului de sarcină să treacă prin tiristorul T63N1000 atât în sensul semialternanței negative cât și a celei pozitive.

Generarea impulsurilor de comandă bialternanță se realizează prin intermediul diodelor  $D_1$  și  $D_2$  care îndeplinesc rolul de “sumator” al impulsurilor furnizate de circuitul  $\beta AA145$  la terminalele 10 și 14.

Impulsurile generate de circuitul integrat sunt amplificate de tranzistorul BD 139 și prin intermediul transformatorului de impulsuri (**Tr.Imp.**) ajung pe poarta tiristorului T63N1000. **Modificarea unghiului de comandă a tiristorului permite reglarea** tensiunii de alimentare a rezistenței elementului de încălzire.

Pentru stabilizarea puterii în rezistența de sarcină conectată în circuitul anodic al tiristorului, tensiunea aplicată pe terminalul 8 trebuie cuprinsă într-o buclă de reacție negativă.

Formele de undă din figura 4.6 permit calculul puterii medii disipate în rezistența de încălzire  $R_s$ , în funcție de unghiul de conducție  $\varphi$  ( $\varphi = \pi - \alpha$ ):

$$P = \frac{1}{\pi} \int_0^{\varphi} v_s i_s d(\omega t) \quad (4.43)$$

în care:

$$V_s = V_s \sin \omega t, \quad i_s = \frac{v_s}{R_s} = \frac{V_s}{R_s} \sin \omega t,$$

$$V_s = 220 \sqrt{2} \text{ V}; \quad 0 \leq \varphi \leq \frac{177}{180} \pi, \quad (\varphi \rightarrow \text{rad})$$

Înlocuind în relația 4.1 rezultă:

$$P = \frac{1}{\pi} \frac{V_s^2}{R_s} \int_0^{\varphi} \sin^2 \omega t d\omega t = \frac{1}{\pi} \frac{V_s^2}{R_s} \left( \frac{1}{2} \varphi - \frac{1}{4} \sin^2 2\varphi \right) \quad (4.44)$$

unde  $\varphi$  este unghiul de conducție, exprimat în radiani.

Tensiunea de comandă, ajustabilă pe circuitul integrat între 0...8V, se obține cu ajutorul calculatorului.

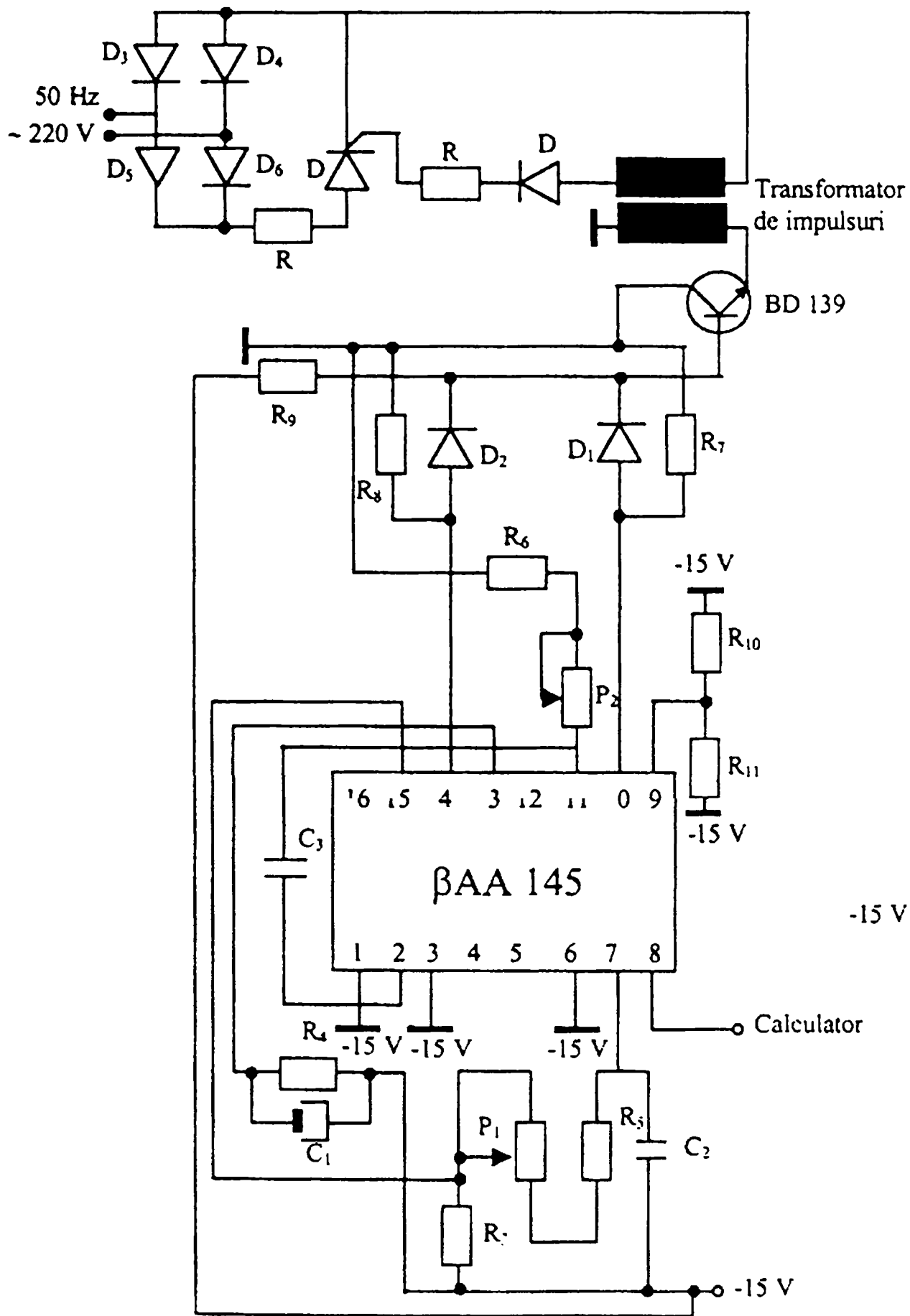


Fig.4.8. Schema electronică a variatorului de putere

**Blocul regulator de tensiune** se compune dintr-un tiristor T63N1000 și blocul de comandă pe grilă, realizat cu ajutorul unui circuit integrat  $\beta$ AA145.

Această variantă constructivă s-a ales deoarece permite variația continuă a tensiunii pe rezistența de încălzire, pentru menținerea temperaturii între limitele admise.

Bucula de automatizare are avantajul unei soluții constructive simple și ușor de realizat, putându-se utiliza la incintele de încălzire, realizate de autoare (vezi Capitolul 3).

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

Traductorul de temperatură utilizat, este un termocuplu Cromel-Alumel care asigură o bună liniaritate în intervalul de temperatură  $+20^{\circ}\text{C} \dots +500^{\circ}\text{C}$  și care este prezentat în Capitolul 2, subcapitolul 2.4.

S-a ales această metodă de obținere, reglare și menținere a temperaturii, prin intermediul tiristorului, pentru a putea realiza un circuit de comandă simplu, care poate fi comandat de către calculator.

Obținerea unor rezultate performante în cazul achiziției de date ce folosește metoda bazată pe componente hard dedicate procesului de achiziție depinde de elementele unui astfel de sistem, care sunt: PC-ul, echipamentul hard destinat achiziției și analizei datelor; software-ul; instrumente de prelucrare de semnale; traductoare.

Caracteristicile unui traductor sunt cele care ajută la stabilirea condițiilor ce trebuie îndeplinite de sistemul de achiziție. Traductorul utilizat are o caracteristică liniară în domeniul de temperatură  $0 \dots 500^{\circ}\text{C}$ , iar panta acestei drepte reprezentată de tensiunea termoelectromotoare generată este de  $51,63 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$  când joncțiunea de referință este la  $20^{\circ}\text{C}$ . Tensiunea generată de termocuplu este preluată de placa de achiziție, programul realizând continuu interogarea plăcii privind temperatura epruvetei. Valorile obținute sunt afișate pe ecranul calculatorului care compară în permanență valoarea citită cu pragul superior și cel inferior al valorii de temperatură impuse și orice scădere sau creștere a acesteia este afișată. În mod automat, calculatorul transmite semnal la tiristorul T63N1000 al cărui unghi de deschidere este comandat de circuitul integrat  $\beta$ AA145.

Cu ajutorul sistemului de reglare automată s-a putut efectua monitorizarea temperaturii în incintele de încălzire, reglarea și menținerea în limitele de toleranță admise, iar schema logică a aplicației de control și reglare a temperaturii este prezentată în Anexa 2.

Placa de achiziție utilizată este tip PCI 6024E, fabricată de firma National Instruments și are următoarele caracteristici:

#### *Intrări analogice*

Intrările 6024E sunt notate astfel: ACH0÷ACH15 intrările unipolare, AIGND masa comună și AISENSE referința comună.

Există trei moduri de achiziție:

- **unipolar referențiat** (*Referenced Single-Ended, RSE*) – pe canalul  $n$  se va măsura diferența de potențial între intrarea ACH $n$  și masa comună AIGND. Se folosește în două cazuri: când sursele de semnal pot fi cuplate galvanic și pot face masă comună cu calculatorul (de ex. un montaj electronic de joasă tensiune) sau când sursele sunt complet independente (de ex. termocuple). Are dezavantajul că perturbațiile electrostatice vor fi aplicate doar pe intrările pozitive (ACH $n$ ), ceea ce conduce la necesitatea unor măsuri speciale de ecranare.

- **unipolar nereferențiat** (*Non-Referenced Single-Ended, NRSE*) – pe canalul  $n$  se va măsura diferența de potențial între intrarea ACH $n$  și referința comună AISENSE. Se poate folosi atunci când sursele pot fi cuplate galvanic între ele, dar nu pot face masă comună cu calculatorul. Deoarece este posibilă (și probabilă) încărcarea electrostatică a AISENSE, este necesară montarea unui rezistor între acesta și masă (un *bias resistor*, de  $100\text{k}\Omega \div 1\text{M}\Omega$ ).

- **diferențial** (*Differential, DIFF*) – în acest mod se folosesc două intrări ACH pentru un singur canal. De exemplu, canalul diferențial 0 va măsura diferența de potențial între ACH0 și ACH8, 1 va măsura ACH1–ACH9 etc. Aceasta conduce la rejecția perturbațiilor electrostatice, deoarece ele se vor aplica ambelor intrări care participă la un canal de achiziție. Și aici este necesară prevenirea încărcării electrostatice prin montarea de rezistoare.

Numărul canalelor de intrare: 16 unipolare sau 8 diferențiale (selectabile prin software pentru fiecare canal). Conversia analog–digitală se realizează printr-un convertor A/D pe 12 biți cu aproximații succesive. Rata maximă de eșantionare este de 200 kHz în cazul achiziției pe un singur canal; deoarece intrările sunt multiplexate aceasta va fi divizată cu numărul de canale (100 kHz pe 2 canale etc.). Intrările sunt prevăzute cu amplificatoare cu câștig programabil (*Programmable Gain Input Amplifier, PGIA*) cu valorile 0,5, 1, 10 sau 100. Domeniul tensiunilor de intrare și eroarea de cuantizare sunt prezentate în tabelul 4.1.

Tabelul 4.1

Domeniul tensiunilor de intrare și eroarea de cuantizare

Câștigul PGIA	Domeniul tensiunilor de intrare	Eroarea de cuantizare
0,5	$\pm 10\text{ V}$	$\pm 2,44\text{ mV}$
1	$\pm 5\text{ V}$	$\pm 1,22\text{ mV}$
10	$\pm 500\text{ mV}$	$\pm 122\text{ }\mu\text{V}$
100	$\pm 50\text{ mV}$	$\pm 12,2\text{ }\mu\text{V}$

Potențialele electrice ale intrărilor (inclusiv AISENSE) trebuie să fie de maximum  $\pm 11\text{V}$  relativ la masă pentru o funcționare corectă a plăcii. Toate intrările sunt protejate la supratensiuni până la următoarele valori (peste care producătorul nu garantează că placa nu se va defecta):

	Sistem pornit	Sistem oprit
ACH0÷ACH15	$\pm 42\text{V}$	$\pm 35\text{V}$
AISENSE	$\pm 40\text{V}$	$\pm 25\text{V}$

Deoarece eșantioanele semnalelor sunt preluate sincron cu o frecvență constantă și care poate fi destul de mare, iar calculatorul “preferă” să le prelucreze în “slave” (nu 1 eșantion la fiecare

5 $\mu$ s, ci 500 la 2500 $\mu$ s de ex.), datele sunt stocate temporar într-o memorie tampon capabilă să stocheze 512 eșantioane. Transferurile între placă și microprocesor se pot face prin DMA, întreruperi și/sau PIO (*Programmed Input-Output*).

Amplificatoarele de intrare (PGIA) au impedanțe de intrare de 100G $\Omega$  și capacitate parazită de 100pF în modul normal de operare. Dacă sistemul este oprit sau protecțiile la supratensiune acționate, impedanța de intrare este de cel puțin 4 k $\Omega$ . Curenții de intrare sunt de cel mult  $\pm 100$  pA. Interferența între canale este mai mică de -60 dB.

#### *Ieșiri analogice*

Placa 6024E are două ieșiri analogice cu domeniu de tensiuni fixat la  $\pm 10$ V și rezoluția de 12 biți. Aceasta conduce la tensiuni de ieșire reglabile în trepte de  $20\text{V}/2^{12} = 4,88$  mV. Tensiunile respective sunt stabilite prin software și sunt aplicate imediat (fără memorie intermediară). Frecvența maximă de actualizare a acestor ieșiri depinde în mare măsură de tipul de transfer între microprocesor și placă, este de aprox. 10kHz pentru DMA și 1kHz pentru PIO.

Impedanța de ieșire garantată de producător este de 0,1 $\Omega$ , iar viteza de stabilire a tensiunii de 10V/ $\mu$ s.

#### *Intrări-ieșiri digitale*

Există 8 canale digitale, a căror sens (intrare sau ieșire) se stabilește prin software. Nivelele de tensiune sunt compatibile cu tehnologiile TTL și CMOS. Transferul datelor între placă și microprocesor se face exclusiv în mod PIO.

### **4.4. Concluzii și contribuții personale**

Prin efectuarea unei **analize a modurilor de transfer termic în epruvetele** utilizate pentru încercările mecanice la temperaturi ridicate, precum și în vederea realizării unei modelări numerice a acestuia, sunt prezentate rezultatele obținute în urma utilizării unui program de modelare numerică, realizat în MATLAB 5.0.

De asemenea au fost analizate posibilitățile de menținere și reglare a temperaturii ridicate în incintele (cuptoare) de încălzire realizate pentru efectuarea încercărilor mecanice.

În cadrul acestui capitol, contribuțiile personale constau în:

- modelarea numerică a transferului termic în epruvetele de încercare utilizate;
- realizarea **unui sistem automat de măsurare și reglare** a temperaturii în incinte.

## CAPITOLUL 5

### CERCETĂRI EXPERIMENTALE EFECTUATE ASUPRA UNOR MĂRCI DE OȚELURI TERMOREZISTENTE PENTRU STUDIUL COMPORTĂRII LOR LA TEMPERATURI RIDICATE

Alegerea și utilizarea oțelului optim, din punct de vedere al caracteristicilor mecanice cerute, pentru un anumit domeniu de utilizare, nu poate fi făcută fără cunoașterea comportării reale a materialului, cunoaștere care este bazată pe **cercetări teoretice și experimentale**.

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).

De asemenea, pentru a putea utiliza oțeluri termorezistente cu caracteristici mecanice de rezistență și tenacitate superioare, așa cum se cere acestei categorii de oțeluri, trebuie cunoscute **influențele pe care elementele compoziției chimice le au**, considerate fiecare în parte și toate, în ansamblul lor.

Cunoașterea relațiilor de dependență, estimate atât analitic cât și grafic sunt de un real folos inginerilor metalurgi, deoarece aceștia pot estima valorile pentru parametrul impus, în funcție de compoziția chimică, ceea ce permite reglarea compoziției chimice, pe parcursul elaborării, în vederea obținerii caracteristicilor mecanice impuse de beneficiar care, pe baza corelațiilor stabilite, analizate în paralel cu caracteristicile mecanice, pot selecta (alege, utiliza) materialul cel mai adecvat, atât din punct de vedere calitativ cât și economic.

Din aceste motive, în cadrul acestui capitol sunt abordate probleme legate de aceste aspecte, iar încercările experimentale efectuate sunt prezentate în continuare.

#### 5.1. Încercarea la tracțiune

##### 5.1.1. Încercarea la tracțiune a oțelului 16 Mo3 –material neutilizat

Oțelul 16 Mo 3 – STAS 8184-80 face parte din categoria oțelurilor aliate, utilizate pentru realizarea de țevi care lucrează la temperaturi ridicate. Oțelul se elaborează în cuptoare electrice, în cuptoare Martin, în convertizoare cu insuflare de oxigen sau prin alte procedee echivalente.

Compoziția chimică a materialului utilizat pentru încercările experimentale este prezentată în tabelul 5.1.

Tabelul 5.1

## Compoziția chimică a oțelului 16 Mo3

Material	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Mo
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
16Mo3	0,16	0,56	0,20	0,020	0,016	0,20	0,10	0,10	0,26
STAS 8184-80	0,12... 0,20	0,50... 0,80	0,15... 0,35	Max. 0,040	Max. 0,040	Max. 0,30	Max. 0,30	Max. 0,30	0,25... 0,40

Valorile caracteristicilor mecanice care se garantează pe produsele livrate sub formă de produse tubulare, determinate pe epruvete prelevate longitudinal, în condițiile atmosferei ambiante de încercare, sunt date în tabelul 5.2.

Tabelul 5.2

## Caracteristici mecanice garantate pentru oțelul 16Mo3

Marca oțelului	Rezistența la rupere) $R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Limita de curgere convențională $R_{p0,2}$ [N/mm <sup>2</sup> ] min.	Alungirea procentuală după rupere A, [%], min.	Coeficientul de gătuire, Z, [%], min.	Reziliența KCU 300/2
16Mo3	450...560	290	20	55	60

În tabelul 5.3 se prezintă valorile limitei de curgere convenționale garantate, funcție de temperatură.

Tabelul 5.3

## Limita de curgere convențională, funcție de temperatură, pentru 16Mo3

16Mo3	Temperatura						
	200 <sup>0</sup> C	250 <sup>0</sup> C	300 <sup>0</sup> C	350 <sup>0</sup> C	400 <sup>0</sup> C	450 <sup>0</sup> C	500 <sup>0</sup> C
	<b>Limita de curgere convențională, <math>R_{p0,2}</math> [N/mm<sup>2</sup>]</b>						
	260	240	210	190	180	170	150

Încercările la tracțiune, în domeniul temperaturilor ridicate s-au realizat pe o mașină universală de încercare, la care a fost adaptată o incintă de încălzire proiectată și realizată de autoare (vezi Cap.3).

Modul de prelevare a epruvetelor și tratamentul termic aplicat acestora au fost prezentate în subcapitolul 2.3.

Caracteristicile mecanice determinate [150]; [151] sunt:

- Rezistența la tracțiune (rezistența la rupere)

$$R_m = \frac{F_{\max}}{S_0} ; \quad [\text{N/mm}^2] \quad (5.1)$$

- Alungirea procentuală după rupere (alungirea la rupere):

$$A_5 = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 ; \quad [\%] \quad (5.2)$$

- Coeficientul de gătuire (gătuirea la rupere):

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100 ; \quad [\%] \quad (5.3)$$



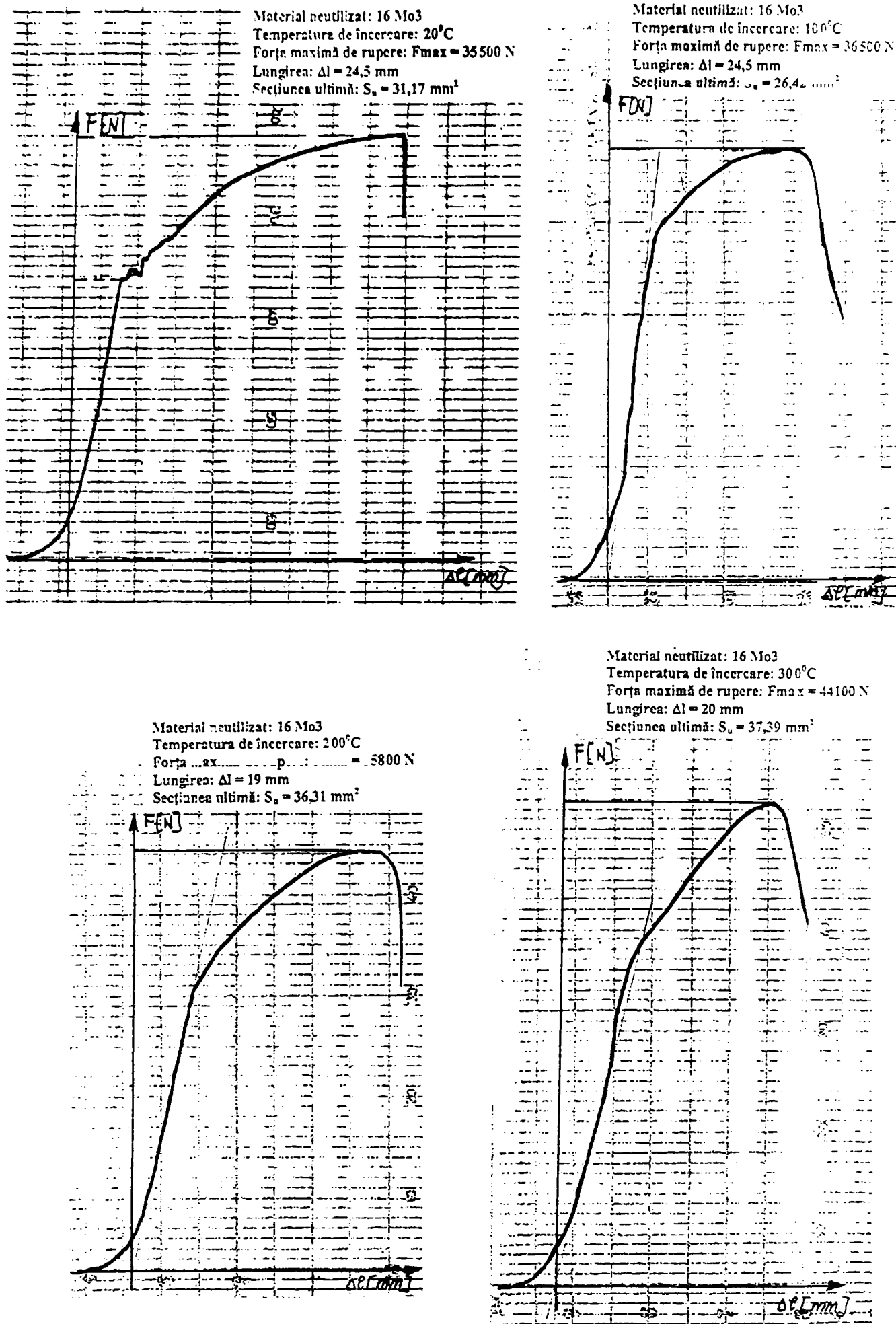


Fig.5.1. a,b,c,d. Diagramele F- $\Delta L$ , la diverse temperaturi, obținute pentru 16Mo3, neutilizat

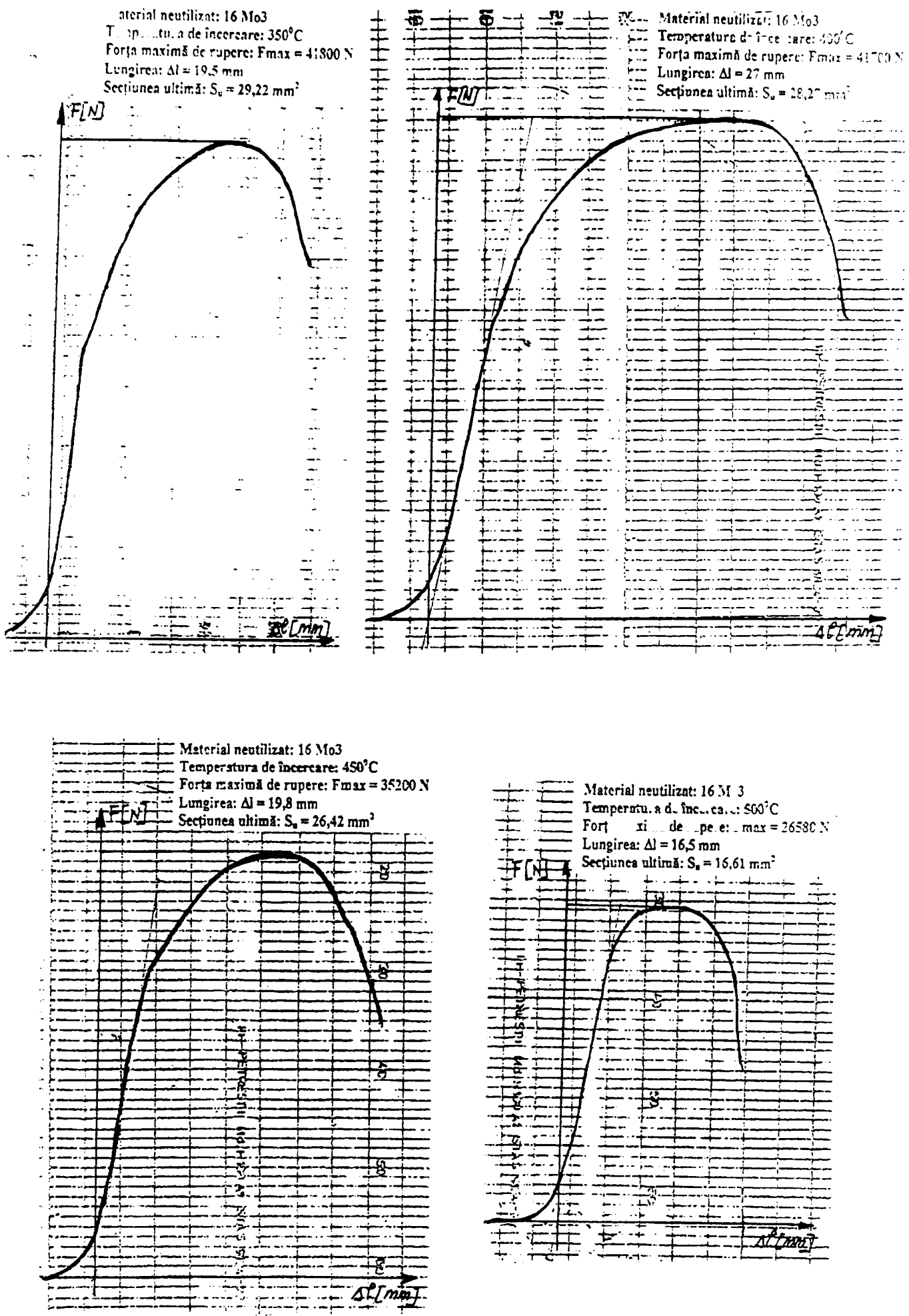


Fig.5.1. e,f,g,h. Diagramele F-ΔL, la diverse temperaturi, obținute pentru 16Mo3, neutilizat

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 [mm<sup>2</sup>];

$S_u$  - aria minimă a secțiunii după rupere [mm<sup>2</sup>].

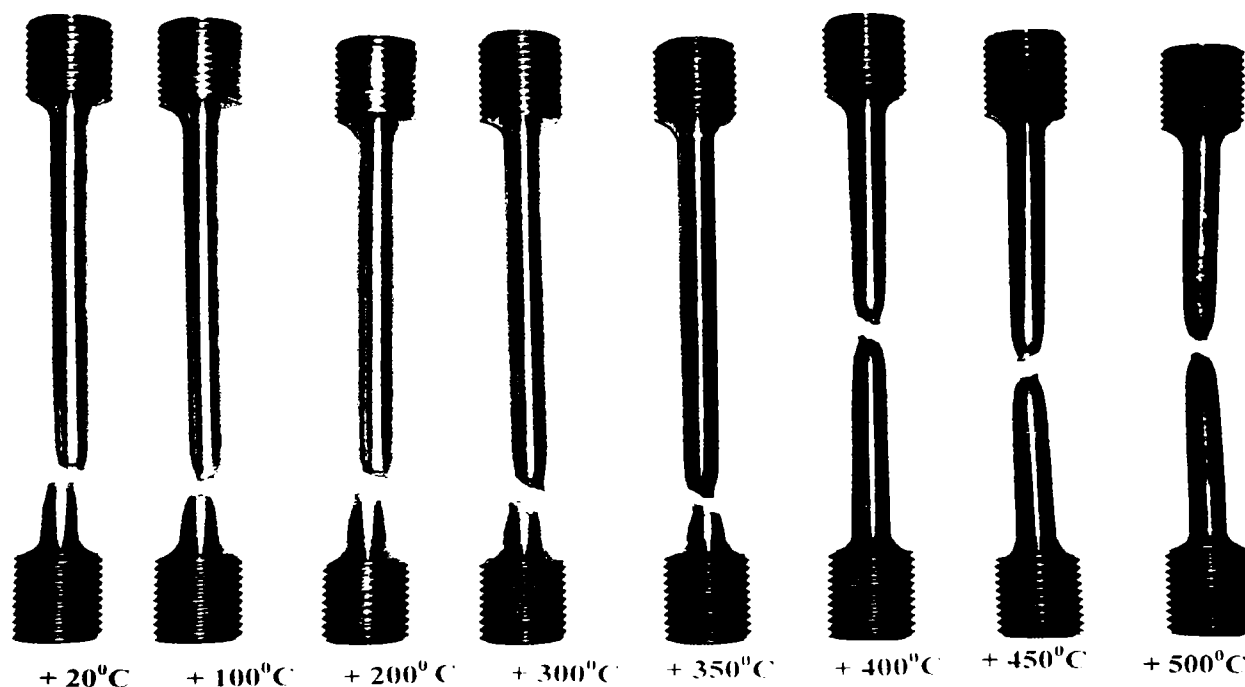
Experimentările pentru determinarea caracteristicilor mecanice la tracțiune s-au efectuat în intervalul +20°C...+500°C, iar rezultatele obținute sunt prezentate în tabelul 5.4.

Tabelul 5.4

## Caracteristicile mecanice la tracțiune ale oțelului 16Mo3

Temperatura de încercare [°C]	Forța de rupere $F_{\max}$ [N]	Rezistența la rupere $R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Alungirea procentuală după rupere A [%]	Coeficientul de gătuire Z [%]
20 <sup>0</sup> C	35500	452,05	22,27	60,30
100 <sup>0</sup> C	36500	464,79	23,18	66,35
200 <sup>0</sup> C	35800	455,87	17,27	53,76
300 <sup>0</sup> C	44100	561,56	18,00	52,00
350 <sup>0</sup> C	41800	532,28	17,70	62,00
400 <sup>0</sup> C	41700	531,00	24,50	64,00
450 <sup>0</sup> C	35200	448,23	18,00	66,00
500 <sup>0</sup> C	26580	338,46	15,00	78,84

În poza 5.1. este prezentat un lot de epruvete rupte la temperaturile 0°C; 100°C; 200°C; 300°C; 350°C; 400°C; 450°C și 500°C.



Poza 5.1. Lot de epruvete din 16Mo3, material neutilizat, încercate la temperaturi ridicate

În fig.5.1. a.-h sunt prezentate curbele  $F - \Delta l$ , obținute pentru un lot din epruvetele încercate, iar valorile caracteristicilor mecanice rezultate sunt sintetizate în tabelul 5.4. Valorile din tabelul 5.4. reprezintă mediile caracteristicilor mecanice obținute din seturi de câte trei epruvete, încercate la fiecare palier de temperatură.

Cu datele din tabelul 5. 4 s-au trasat diagramele de variație ale caracteristicilor mecanice la tracțiune, funcție de temperatura de încercare. Astfel, în fig.5.2.a. se prezintă variația caracteristicii  $R_m$ , iar în fig.5.1.b. a caracteristicilor A și Z.

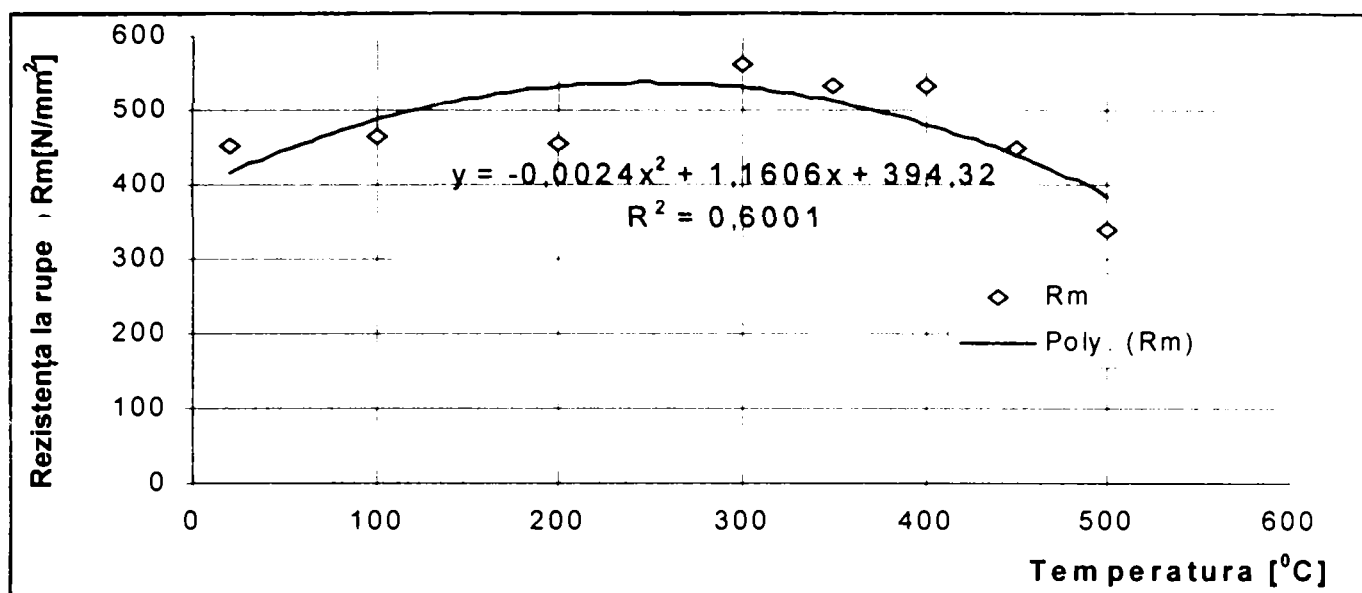


Fig.5.2.a. Variația caracteristicii  $R_m$  a oțelului 16Mo3, cu temperatura

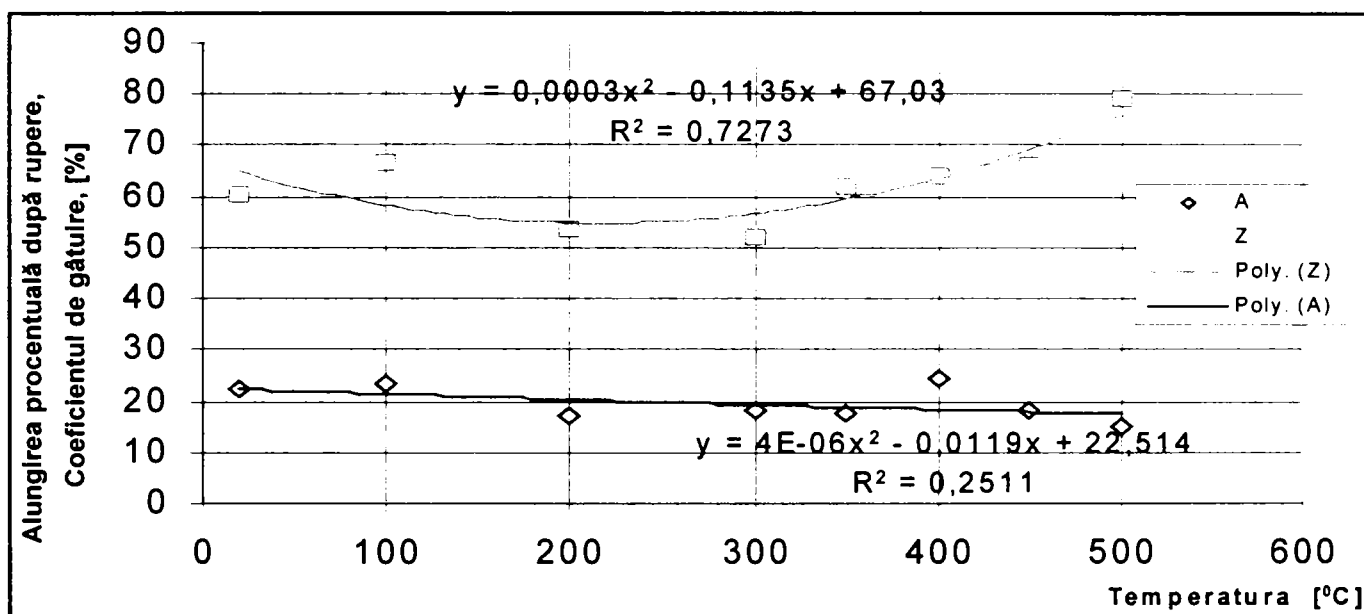


Fig.5.2.b. Variația alungirii A și coeficientului de gătuire Z, pentru oțelul 16Mo3, cu temperatura

Din analiza rezultatelor obținute se constată că rezistența la rupere crește odată cu creșterea temperaturii, până la temperatura de 250°C, după care începe să scadă, pe când coeficientul de gătuire Z scade cu creșterea temperaturii, până în jurul temperaturii de 200°C, după care crește.

Putem spune că valoarea maximă a rezistenței la rupere este însoțită de o valoare minimă a plasticității, (prin coeficientul de gătuire), care apare la acest oțel în jurul valorii de 250°C, explicația datorându-se îmbătrânirii sau fragilității la albastru. Fenomenul de creștere a caracteristicilor mecanice, cunoscut în literatura de specialitate sub denumirea de fragilitate la albastru, se datorează îmbătrânirii dinamice a materialului, cauzată de interacțiunea dintre dislocații și defectele locale ale configurației cristaline.

Alungirea procentuală după rupere nu prezintă mari variații, odată cu creșterea temperaturii, dar are o ușoară tendință de scădere.

Valorile rezistenței la rupere obținute, indiferent de temperatura de încercare sunt superioare celor prevăzute în standardul de produs, mai puțin la temperatura de 500°C, ceea ce de fapt limitează utilizarea acestui oțel peste 480°C (vezi Cap.1, tabelul 1.2).

Este de remarcat faptul că la temperaturile de 200°C, 250°C și 300°C valoarea alungirii este sub limita prevăzută în standard (pentru temperatura ambiantă), iar cu coeficientul de gătuire se întâmplă la fel. Se observă totuși că la temperatura de 450°C, A și Z prezintă valori mult superioare celor impuse la temperatura ambiantă.

Referitor la aspectul zonei de rupere, se observă că la temperatura ambiantă și la cea de 100°C, ruperea este "con-cupă", care arată comportamentul ductil al materialului, iar la temperaturi mai mari, ruperea se produce prin alunecare, ca rezultat al tensiunilor tangențiale care devin maxime, producând plane succesive de alunecare. S-ar putea spune că ruperea s-a produs prin forfecare, ea fiind de tip ductil, deci tensiunea de forfecare este puternic influențată de temperatură.

Ca și concluzie se poate spune că la temperaturi ridicate, caracteristicile oțelului 16Mo3 păstrează valori apropiate celor prevăzute în standardul de produs, dar pentru temperatura ambiantă, cu unele mici scăderi la temperatură.

## 5.1.2. Încercarea la tracțiune a oțelului OLT 35K

### 5.1.2.1. Încercarea la tracțiune a oțelului OLT 35K – utilizat, prelevat din focar

Oțelul OLT 35K – STAS 8184-80 face parte din categoria oțelurilor nealiate, utilizate pentru realizarea de țevi care lucrează la temperaturi ridicate. Oțelul se elaborează în cuptoare electrice, în cuptoare Martin, în convertizoare cu insuflare de oxigen sau prin alte procedee echivalente.

Compoziția chimică a materialului utilizat (prelevat din focar), pentru încercările experimentale este prezentată în tabelul 5.5.

Tabelul 5.5

Compoziția chimică a oțelului OLT 35K prelevat din focar

Material	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Mo
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Focar – OLT 35K	0,15	0,76	0,34	0,011	-	0,19	0,20	0,17	0,01
STAS 8184-80	Max. 0,17	Min. 0,45	0,15... 0,35	Max. 0,045	Max. 0,040	Max. 0,30	Max. 0,30	Max. 0,30	-

Caracteristicile mecanice garantate pe produsele livrate sub formă de produse tubulare, determinate pe epruvete prelevate longitudinal, în condițiile atmosferei ambiante de încercare, sunt date în tabelul 5.6.

În tabelul 5.7 se prezintă valorile limitei de curgere convenționale garantate, funcție de temperatură.

Încercările la tracțiune, în domeniul temperaturilor ridicate s-au realizat pe o mașină universală de încercare, la care a fost adaptată o incintă de încălzire proiectată și realizată de autoare (vezi Cap.3, subcapitolul 3.2.1). Modul de prelevare a epruvetelor și tratamentul termic aplicat acestora au fost prezentate în subcapitolul 2.3.

Tabelul 5.6

## Caracteristici mecanice garantate pentru oțelul OLT 35K

Marca oțelului	Rezistența la rupere) $R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Limita de curgere convențională $R_{p0,2}$ [N/mm <sup>2</sup> ] min.	Alungirea procentuală după rupere A, [%], min	Coeficientul de gătuire, Z, [%] min.	Reziliența KCU 300/2 min.
OLT 35K	350...450	230	26	60	60

Tabelul 5.7

## Limita de curgere convențională, funcție de temperatură, pentru OLT 35K

OLT 35K	Temperatura						
	200 <sup>0</sup> C	250 <sup>0</sup> C	300 <sup>0</sup> C	350 <sup>0</sup> C	400 <sup>0</sup> C	450 <sup>0</sup> C	500 <sup>0</sup> C
	Limita de curgere convențională, $R_{p0,2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]						
	190	170	140	120	110	90	-

În fig.5.3. a.-f sunt prezentate curbele  $F - \Delta l$ , obținute pentru un lot din epruvetele încercate, iar valorile caracteristicilor mecanice rezultate sunt sintetizate în tabelul 5.8.

Tabelul 5.8

## Caracteristicile mecanice la tracțiune ale oțelului OLT 35K

Temperatura de încercare [°C]	Forța de rupere $F_{max}$ [N]	Rezistența la rupere $R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Alungirea procentuală după rupere A [%]	Coeficientul de gătuire Z [%]
20 <sup>0</sup> C	34435	491,92	90,00	37,85
100 <sup>0</sup> C	33800	482,85	85,00	44,07
200 <sup>0</sup> C	27350	390,71	72,22	55,00
300 <sup>0</sup> C	34900	498,57	71,29	33,60
400 <sup>0</sup> C	34200	502,85	64,81	29,57
500 <sup>0</sup> C	39380	562,57	78,70	33,14

## FOCAR



Poza 5.2. Lot de epruvete din OLT 35K, prelevate din focar, încercate la temperaturi ridicate

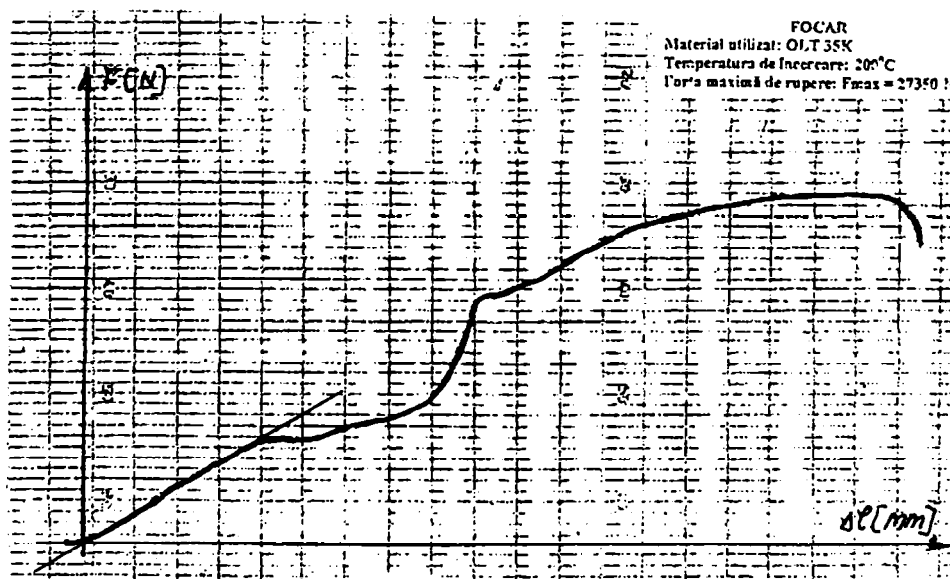
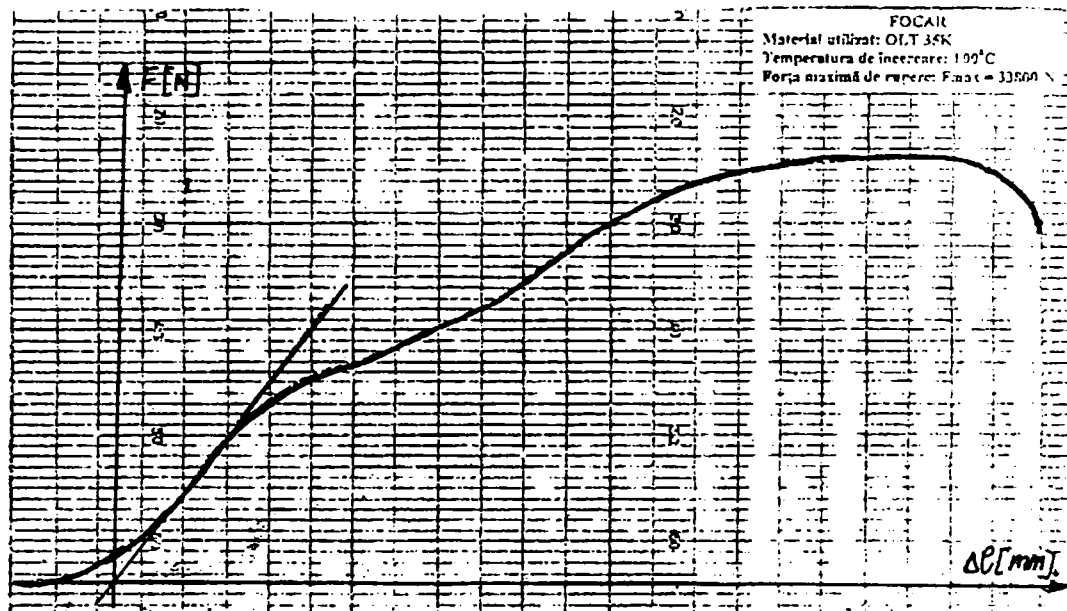
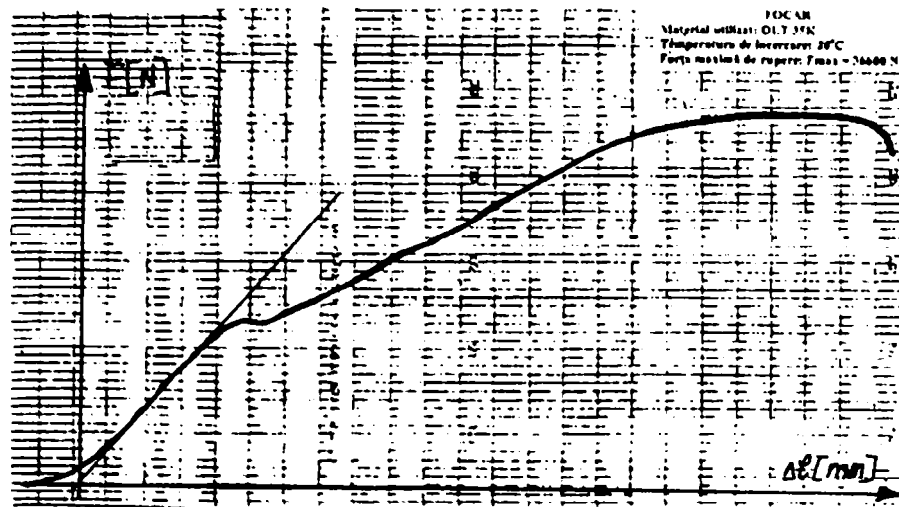


Fig.5.3. Diagramele F- $\Delta L$ , la diverse temperaturi, obținute pentru OLT35K, focar

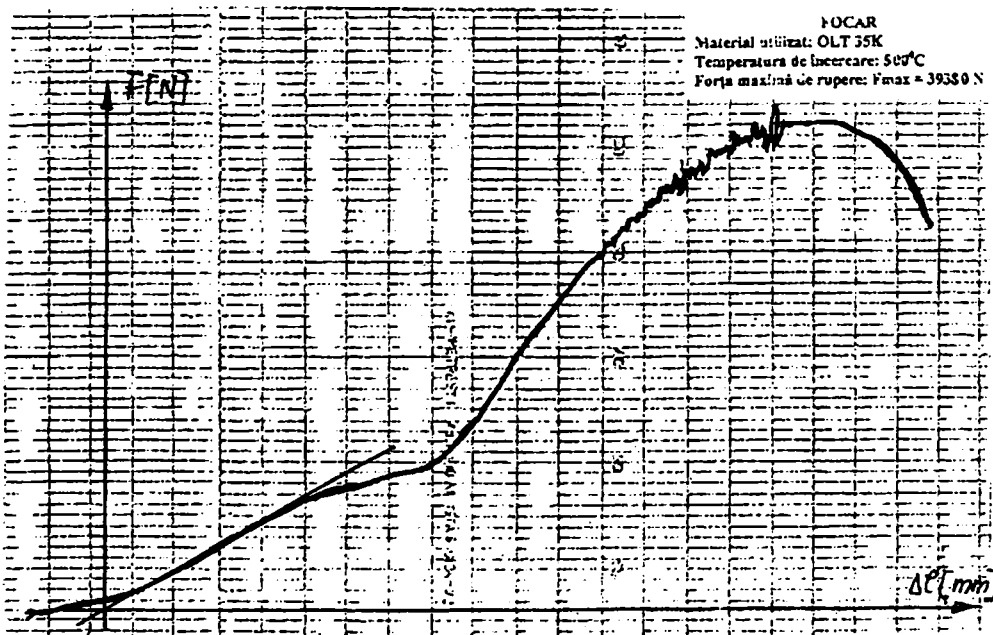
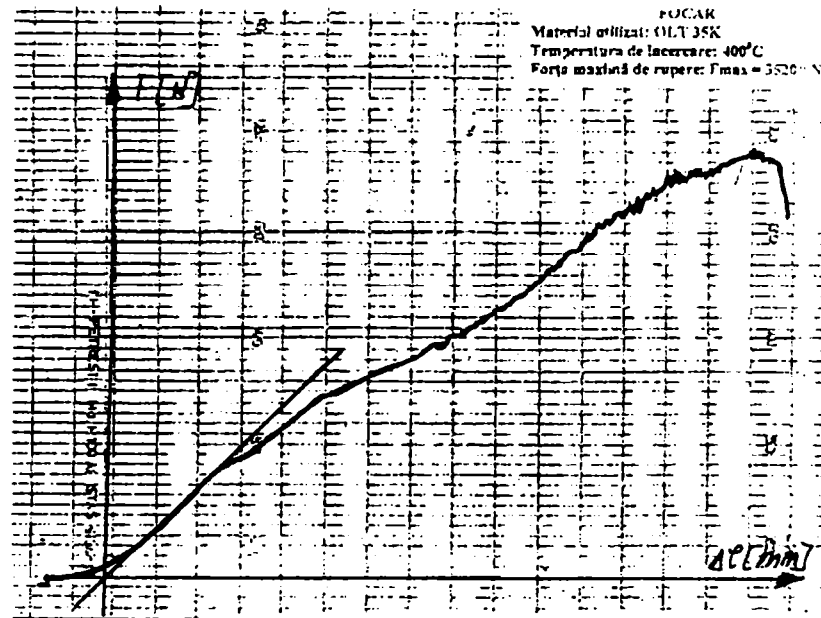
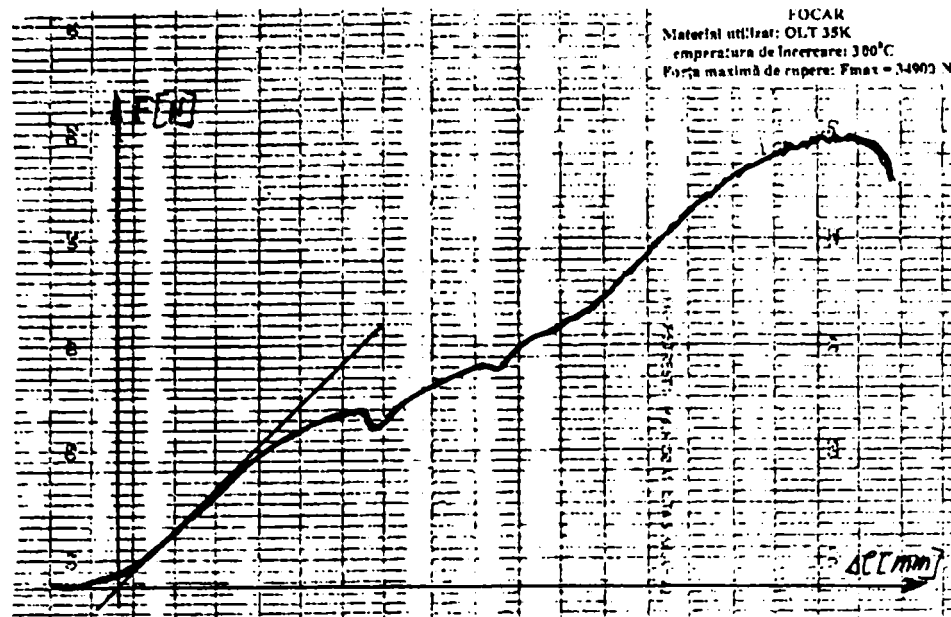


Fig.5.3. Diagramele F- $\Delta L$ , la diverse temperaturi, obținute pentru OLT35K, focar



Experimentările pentru determinarea caracteristicilor mecanice la tracțiune s-au efectuat în intervalul  $+20^{\circ}\text{C} \dots +500^{\circ}\text{C}$ , iar rezultatele obținute sunt prezentate în tabelul 5.8.

Valorile din tabelul 5.8. reprezintă mediile caracteristicilor mecanice obținute din seturi de câte trei epruvete, încercate la fiecare palier de temperatură. Cu datele din tabelul 5.8 s-au trasat diagramele de variație ale caracteristicilor mecanice la tracțiune, funcție de temperatura de încercare. Astfel, în fig.5.4.a. se prezintă variația caracteristicii  $R_m$ , iar în fig.5.4.b. a caracteristicilor A și Z.

În poza 5.2 sunt prezentate un lot de epruvete din OLT 35K, prelevate din focar, încercate la temperaturile de:  $+20^{\circ}\text{C}$ ;  $+100^{\circ}\text{C}$ ,  $+200^{\circ}\text{C}$ ,  $+300^{\circ}\text{C}$ ;  $+400^{\circ}\text{C}$  și  $+500^{\circ}\text{C}$ .

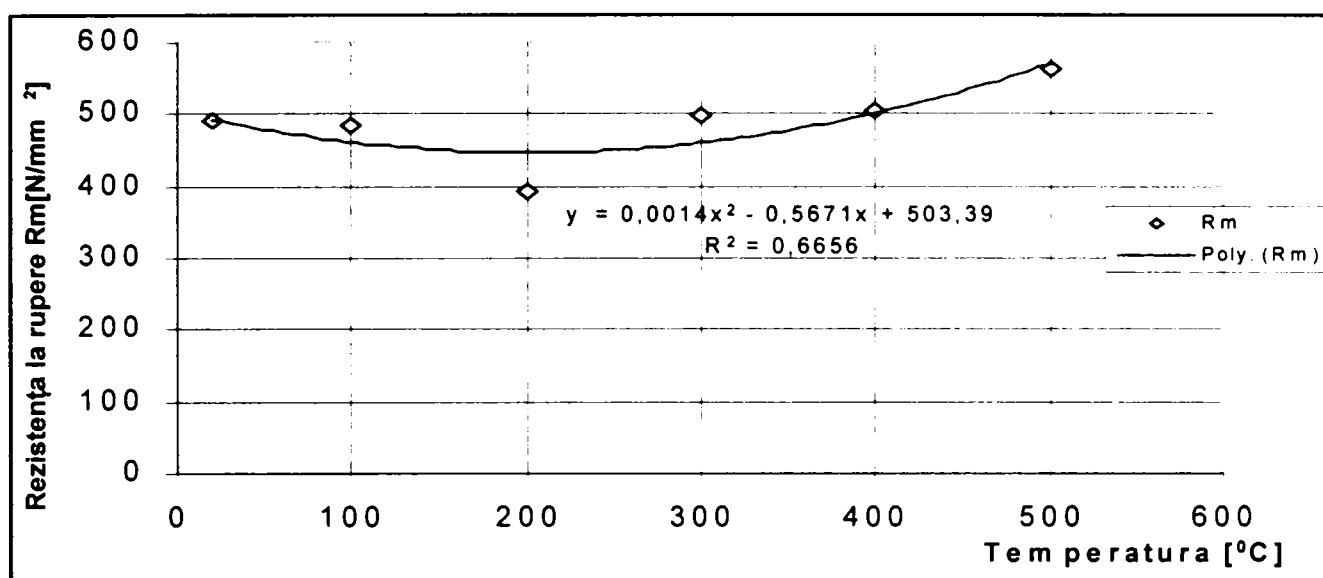


Fig.5.4.a. Variația caracteristicii  $R_m$  a oțelului OLT 35K, cu temperatura

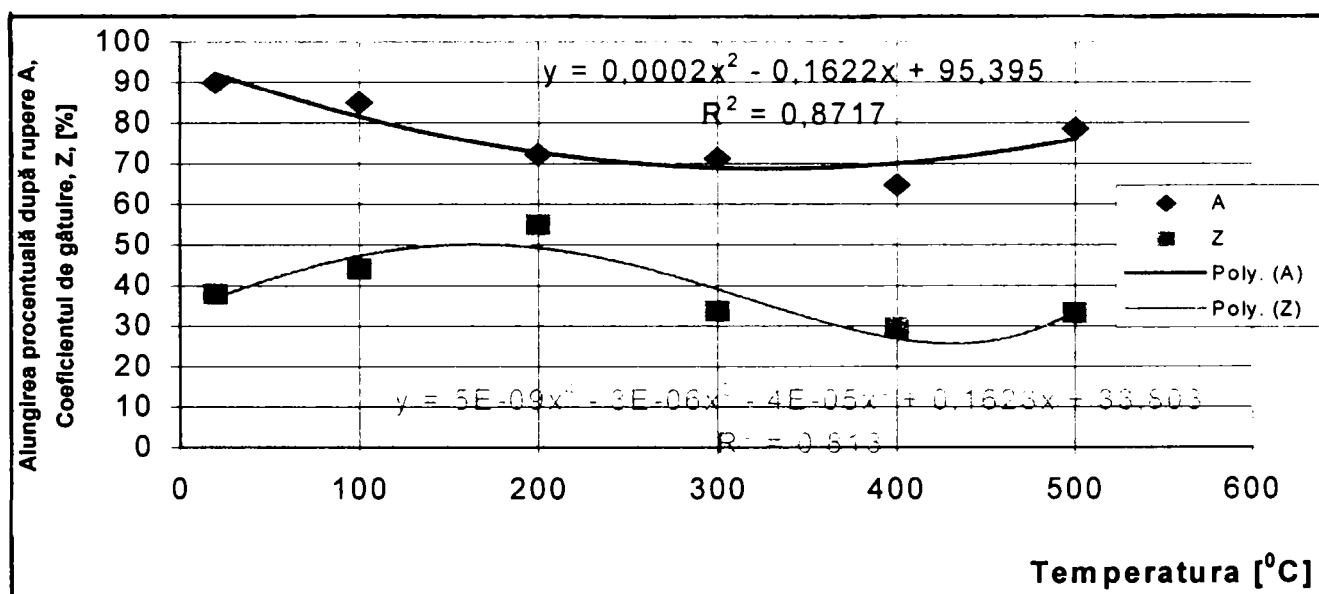


Fig.5.4.b. Variația alungirii A și coeficientului de gătuire Z, pentru oțelul OLT 35K, cu temperatura

Din analiza datelor obținute se constată că, odată cu creșterea temperaturii, rezistența la rupere  $R_m$  și alungirea procentuală după rupere scad, prima până în jurul temperaturii de  $200^{\circ}\text{C}$  iar cea de-a doua până la temperatura de  $300^{\circ}\text{C}$ . Explicația ar putea consta în faptul că oțelul, lucrând în focarul unui cazan de abur, la temperaturi între  $200^{\circ}\text{C}$  și  $300^{\circ}\text{C}$ , acesta și-a pierdut din

caracteristicile de rezistență și plasticitate inițiale, dar totuși rezistența la rupere determinată experimental, nu a scăzut sub valorile impuse de standard, pentru temperatura ambiantă.

Alungirea procentuală după rupere are valori cuprinse între 90 % la temperatura de 20<sup>0</sup>C (maximă) și 64,81 % la temperatura de 400<sup>0</sup>C.

Coeficientul de gătuire are valoarea maximă de 55% pentru temperatura de 200<sup>0</sup>C și minimă de 29,57%, pentru temperatura de 400<sup>0</sup>C.

Analizând aspectul suprafețelor epruvetelor rupte putem spune că temperatura influențează valoarea tensiunilor tangențiale critice din planele de alunecare și mai ales procesul de difuziune al carbonului, astfel că la temperaturi între 250..300<sup>0</sup>C, viteza de difuziune a atomilor de carbon este mare, ceea ce face posibilă deplasarea dislocărilor (după liniile lui Luders) care se produce în material.

### 5.1.2.2. Cercetări experimentale privind modul de variație a limitei de curgere convenționale pentru oțelul OLT 35K, funcție de principalele elemente ale compoziției chimice

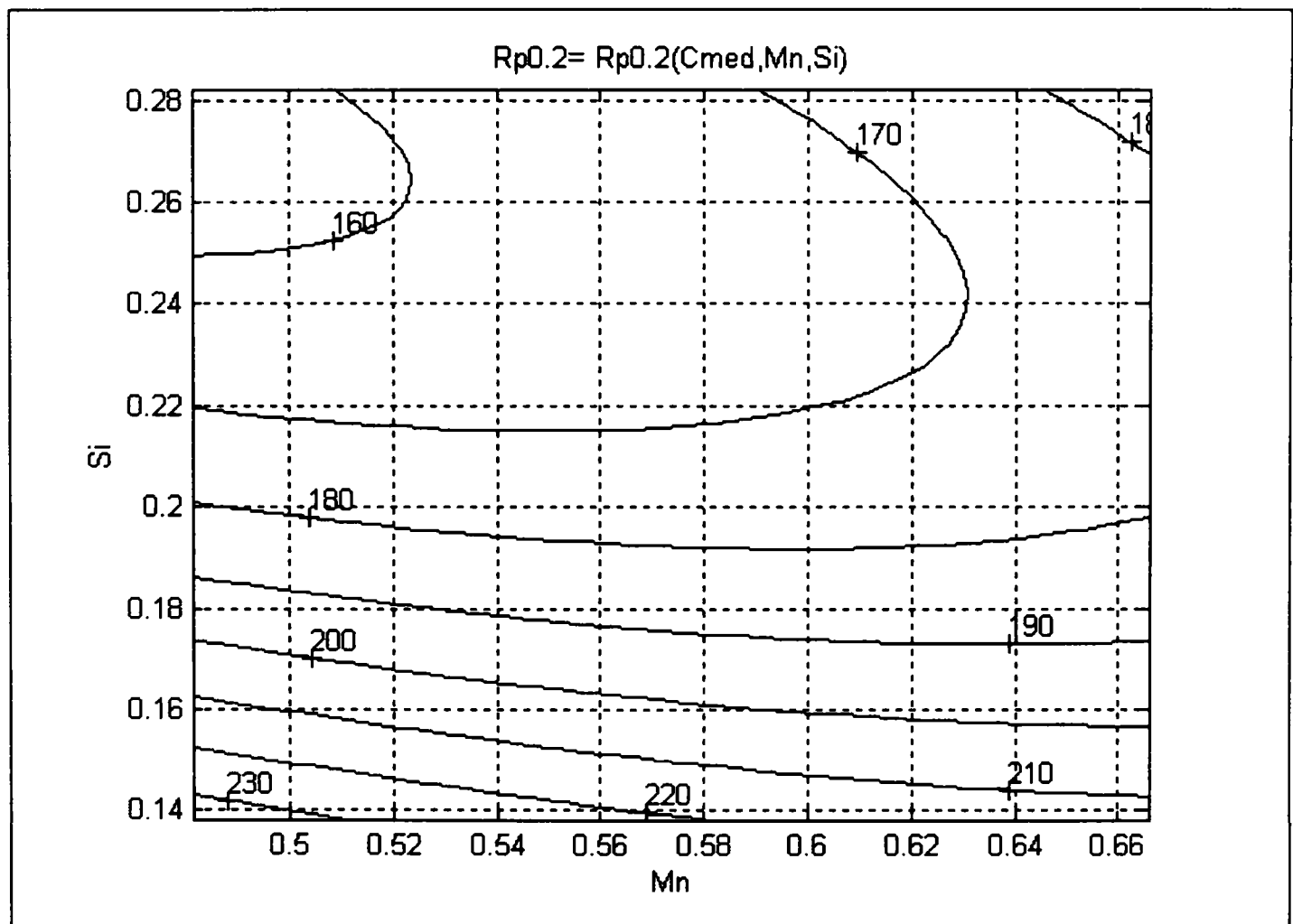
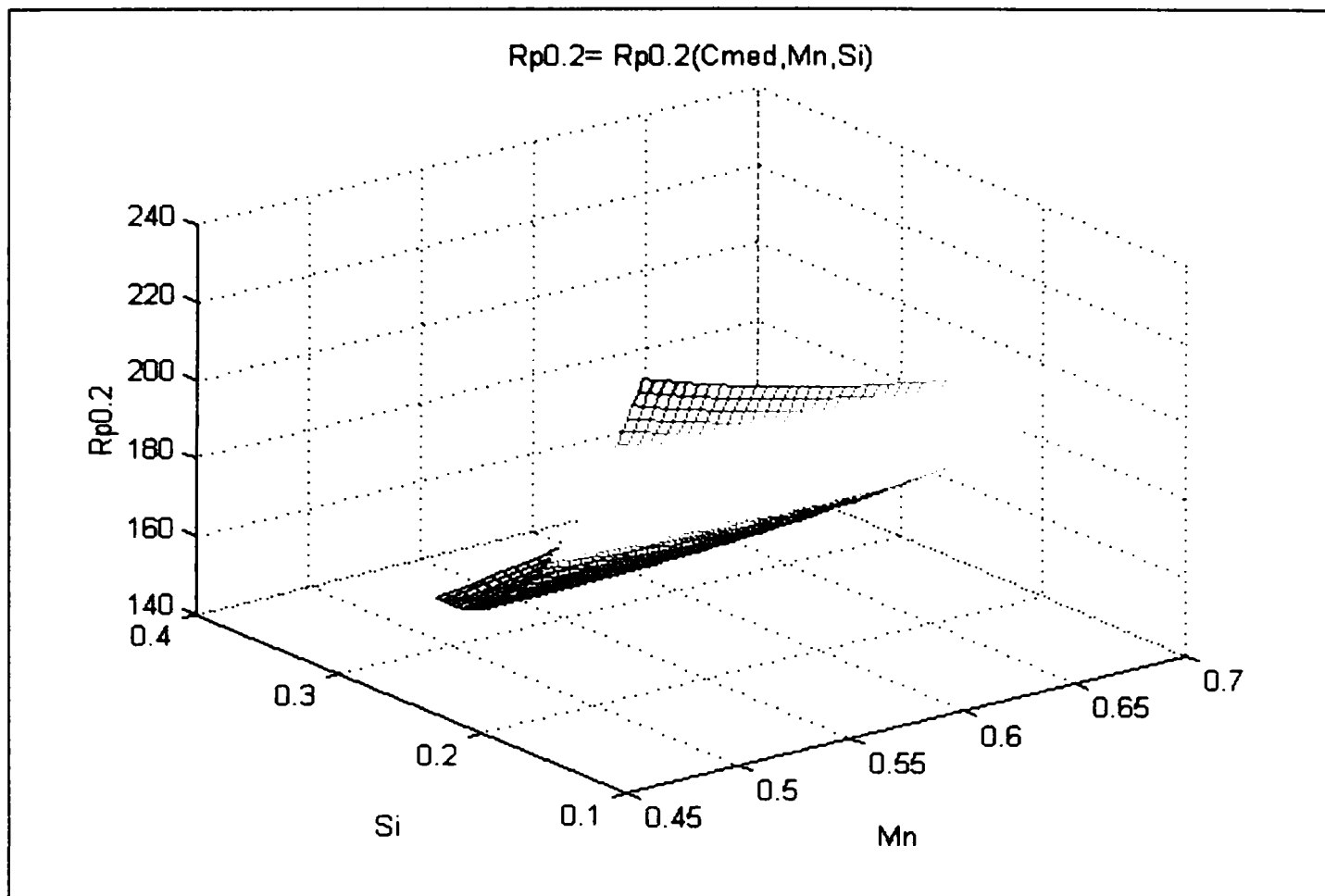
În general elaborarea oricărui studiu implică mai multe faze: culegerea datelor, prelucrarea lor și elaborarea de decizii. Procesul de prelucrare a informațiilor are trei etape: prelucrarea manuală, mecanică și automată.

Indiferent de metoda de prelucrare, rezultatele ei trebuie să fie prezentate într-o formă care să le facă utilizabile de către beneficiar.

O problemă nouă și de mare importanță, pusă în studiul repartițiilor multidimensionale, privește legăturile dintre variabilele supuse analizei, și prin ele, între fenomenele pe care le reprezintă și este cunoscută sub denumirea de **corelație**. Ea include două probleme fundamentale: prima constă în a descrie legea de variație medie a unei variabile în funcție de o altă (sau altele) variabilă, cunoscută sub denumirea de *problema regresiei* și rezolvată pe baza funcției de regresie, iar a doua în caracterizarea intensității legăturii printr-un *coeficient numeric*, independent de unitățile de măsură ale variabilelor corelate.

Calculul și dimensionarea conductelor centralelor termoelectrice sunt detaliate și costisitoare în ceea ce privește utilizarea programelor de element finit, deoarece este foarte greu să se specifice toate încercările la care urmează să fie solicitat sistemul de conducte, pe toată durata de viață estimată. De asemenea sunt dificil de luat în calcul situațiile extreme și accidente posibile în exploatare.

Din aceste considerente, am abordat în prezenta lucrare efectuarea de corelații multiple, de ordinul II, care furnizează informații privind influența a două din elementele din compoziția chimică asupra limitei de curgere tehnică la temperatura garantată de producătorul de metal. Prin reprezentarea grafică și cunoașterea valorilor pentru liniile de contur putem determina valoarea caracteristicii mecanice dorite, pentru orice conținut al unui element din compoziția chimică. De asemenea, putem stabili domeniile optime de variație pentru aceste elemente, funcție de valorile dorite ale parametrul studiat.



**Fig.5.5. Variația limitei de curgere tehnice  $R_{p0,2/450}$  cu conținutul de mangan și siliciu, considerând procentul de carbon mediu**

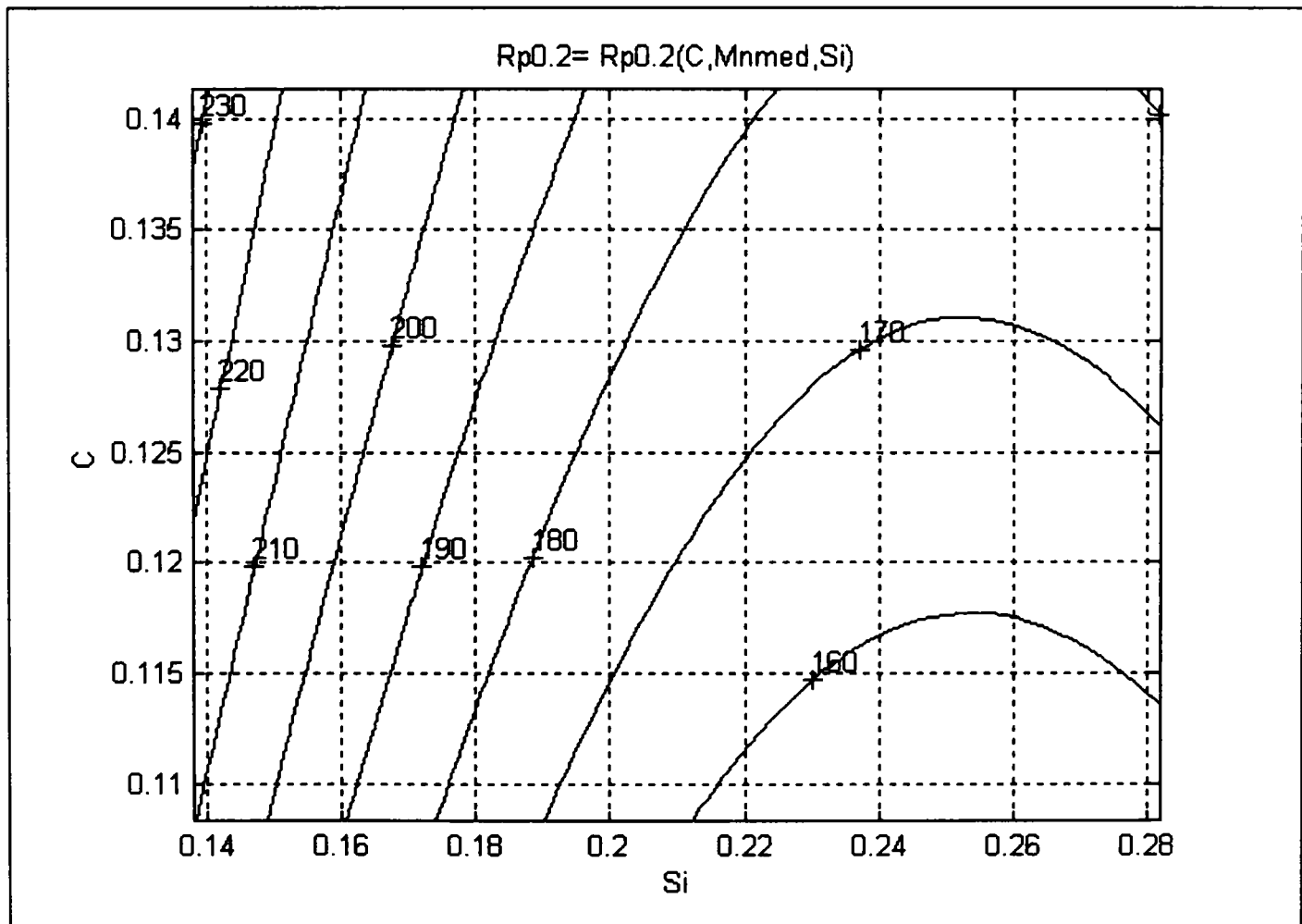
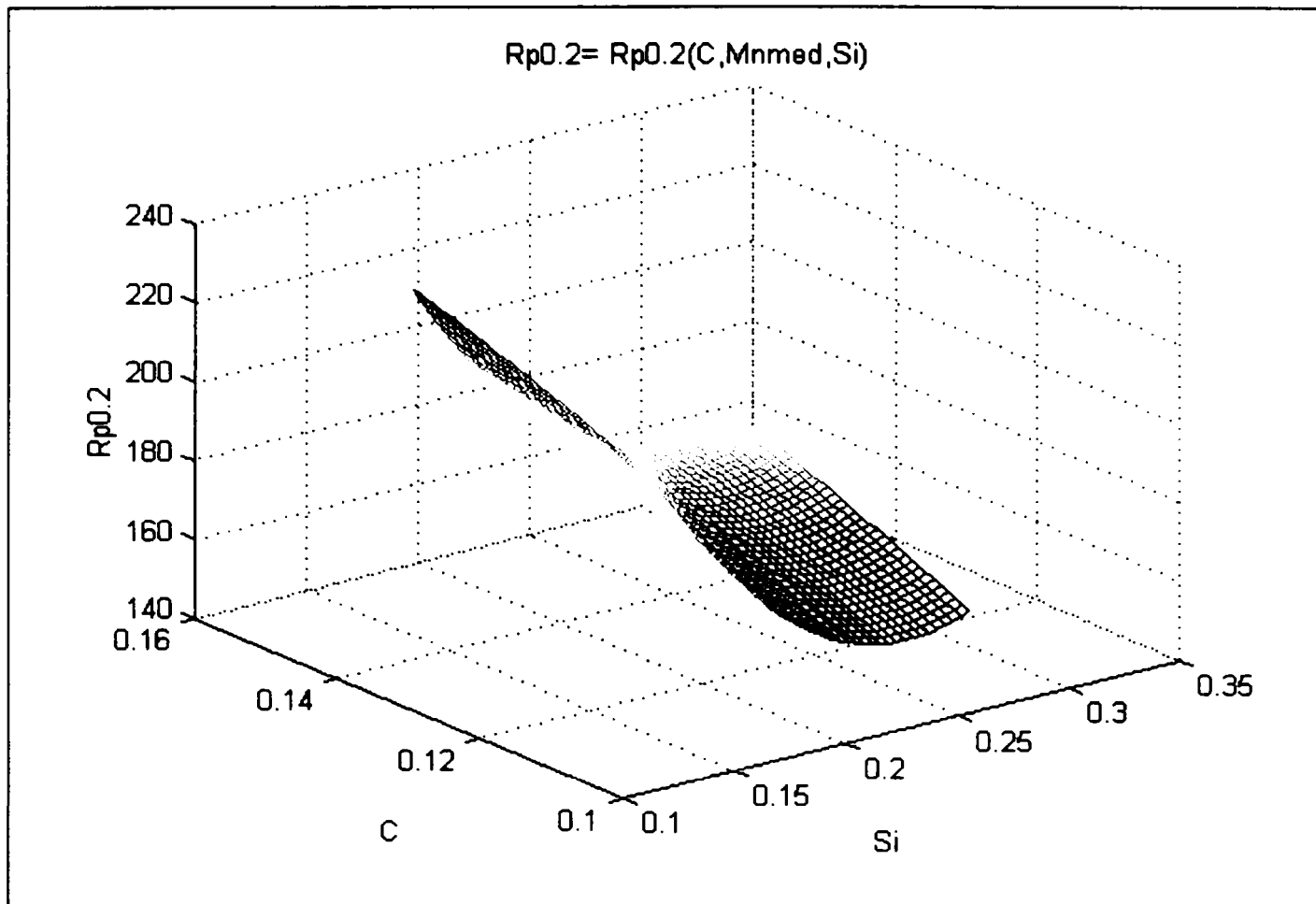


Fig.5.6. Variația limitei de curgere tehnice  $R_{p0,2/450}$  cu conținutul de carbon și siliciu, considerând procentul de mangan mediu

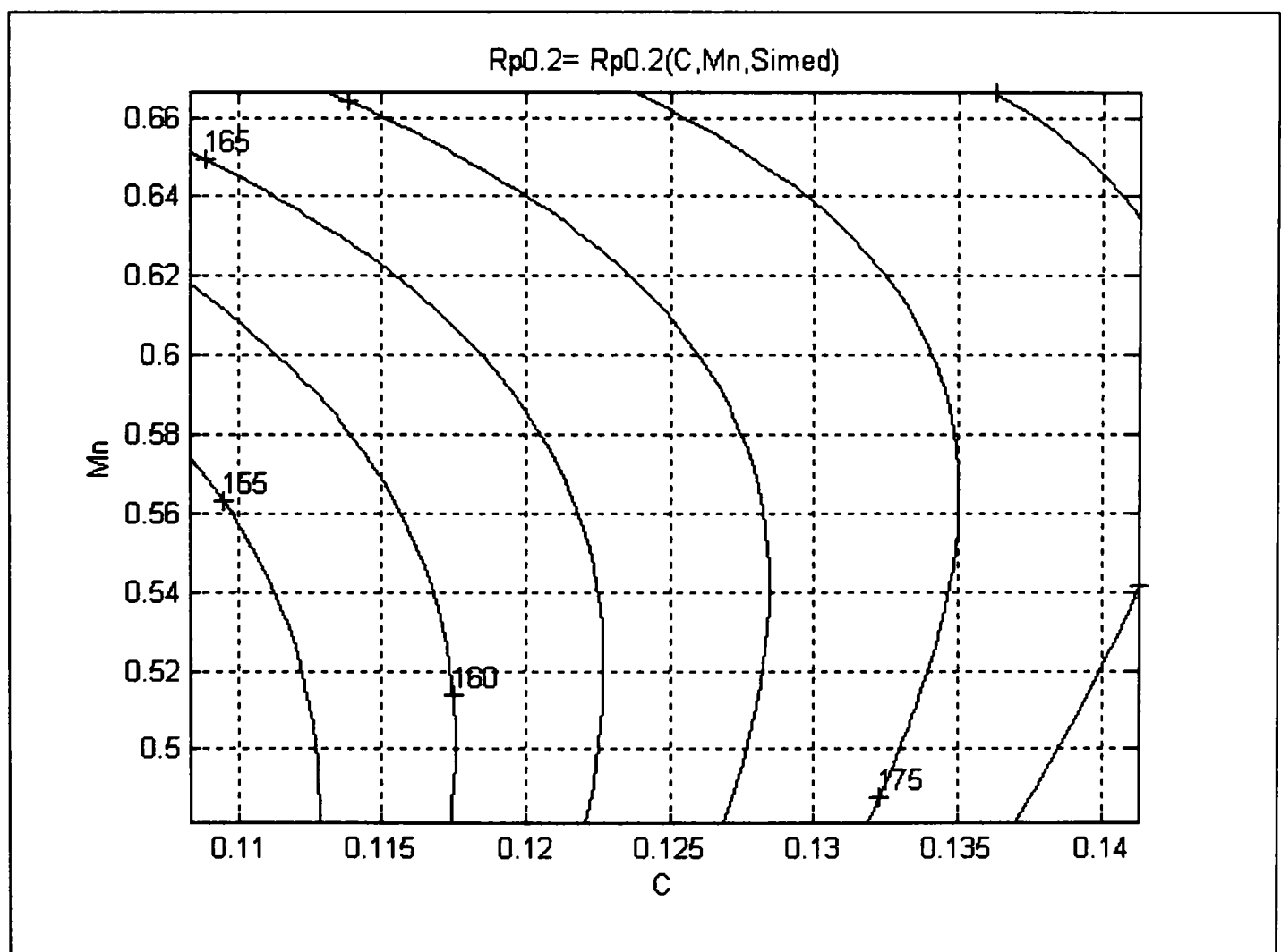
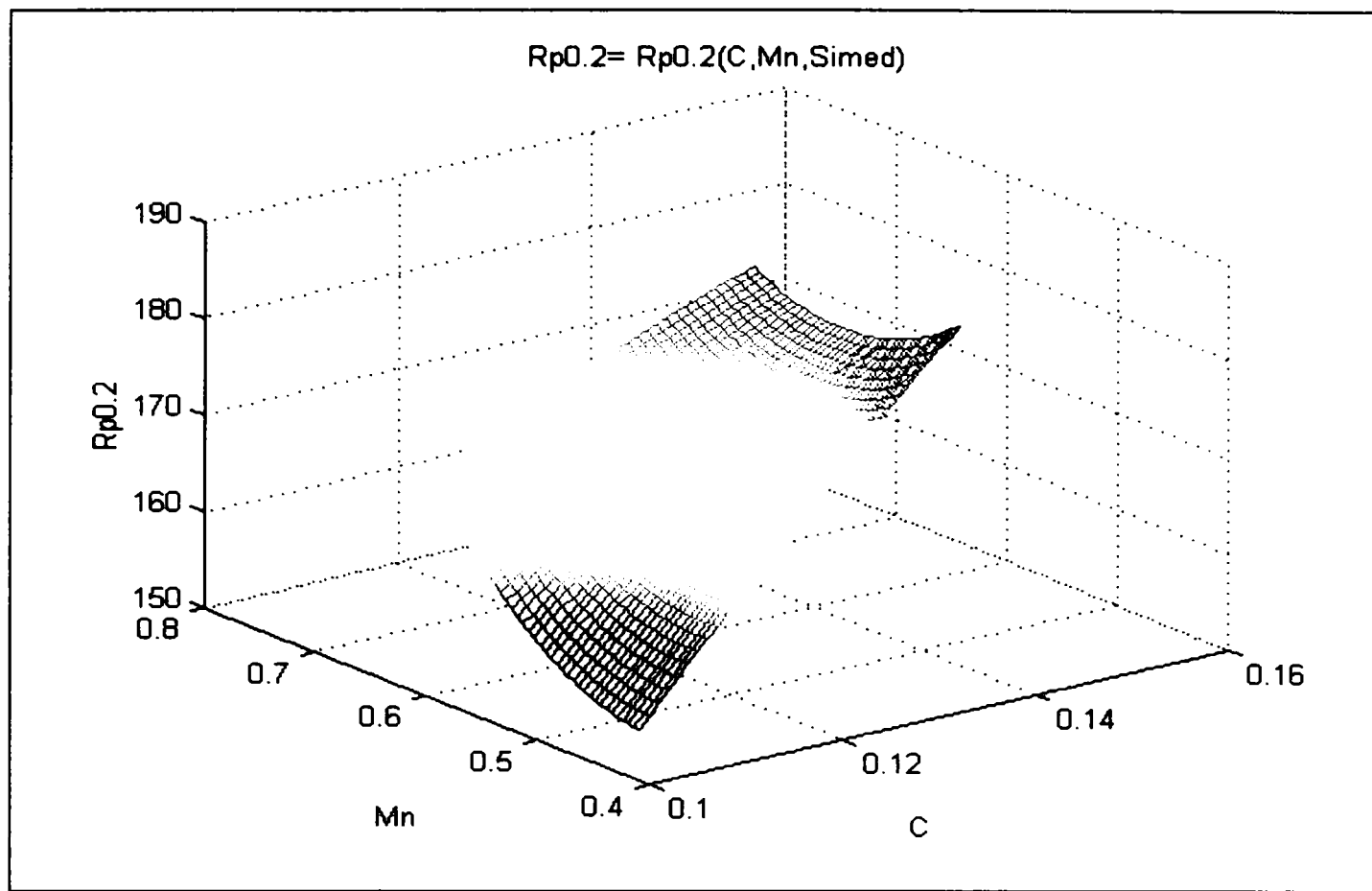


Fig.5.7. Variația limitei de curgere tehnice  $R_{p0,2/450}$  cu conținutul de carbon și mangan, considerând procentul de siliciu mediu

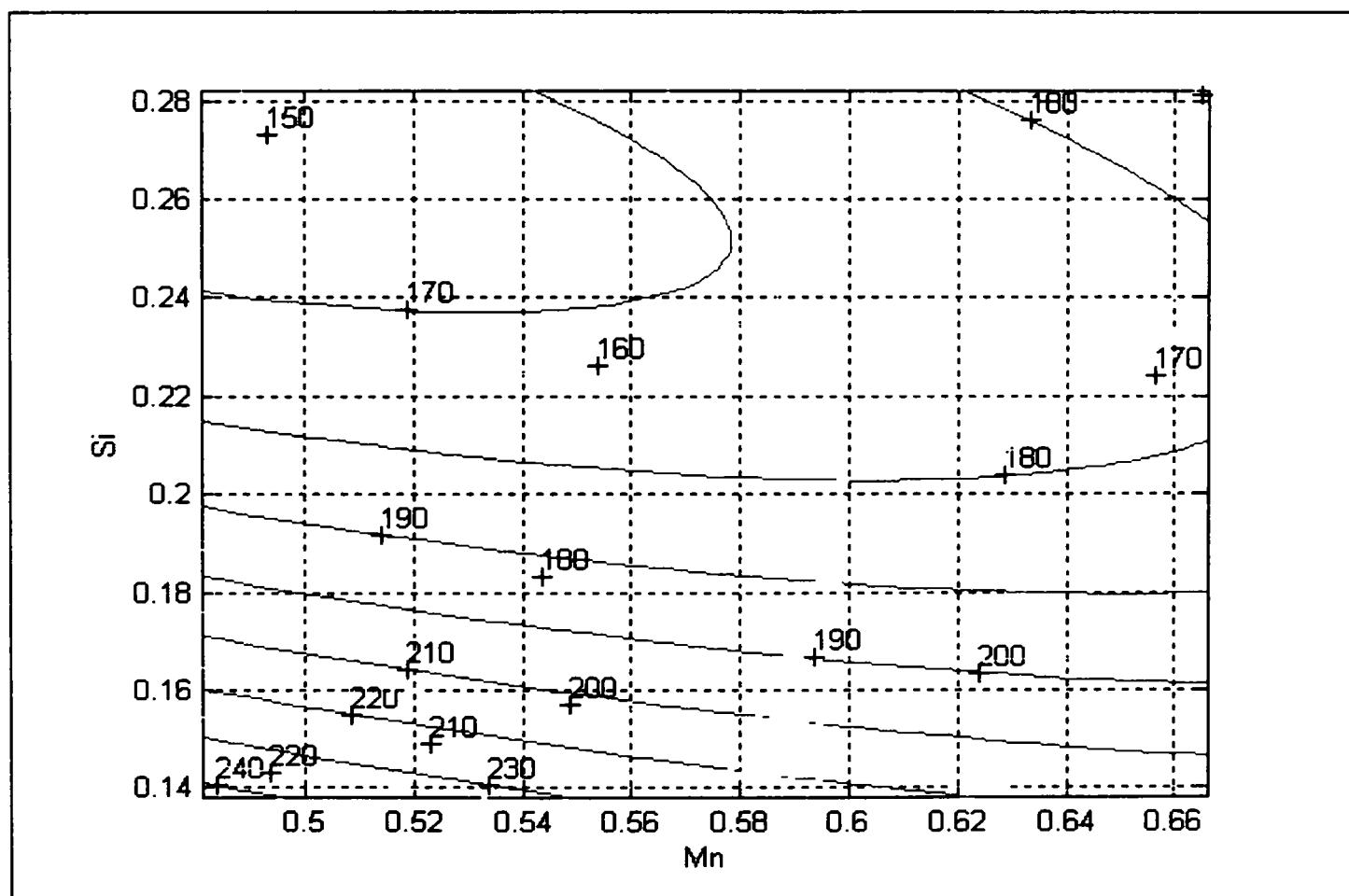
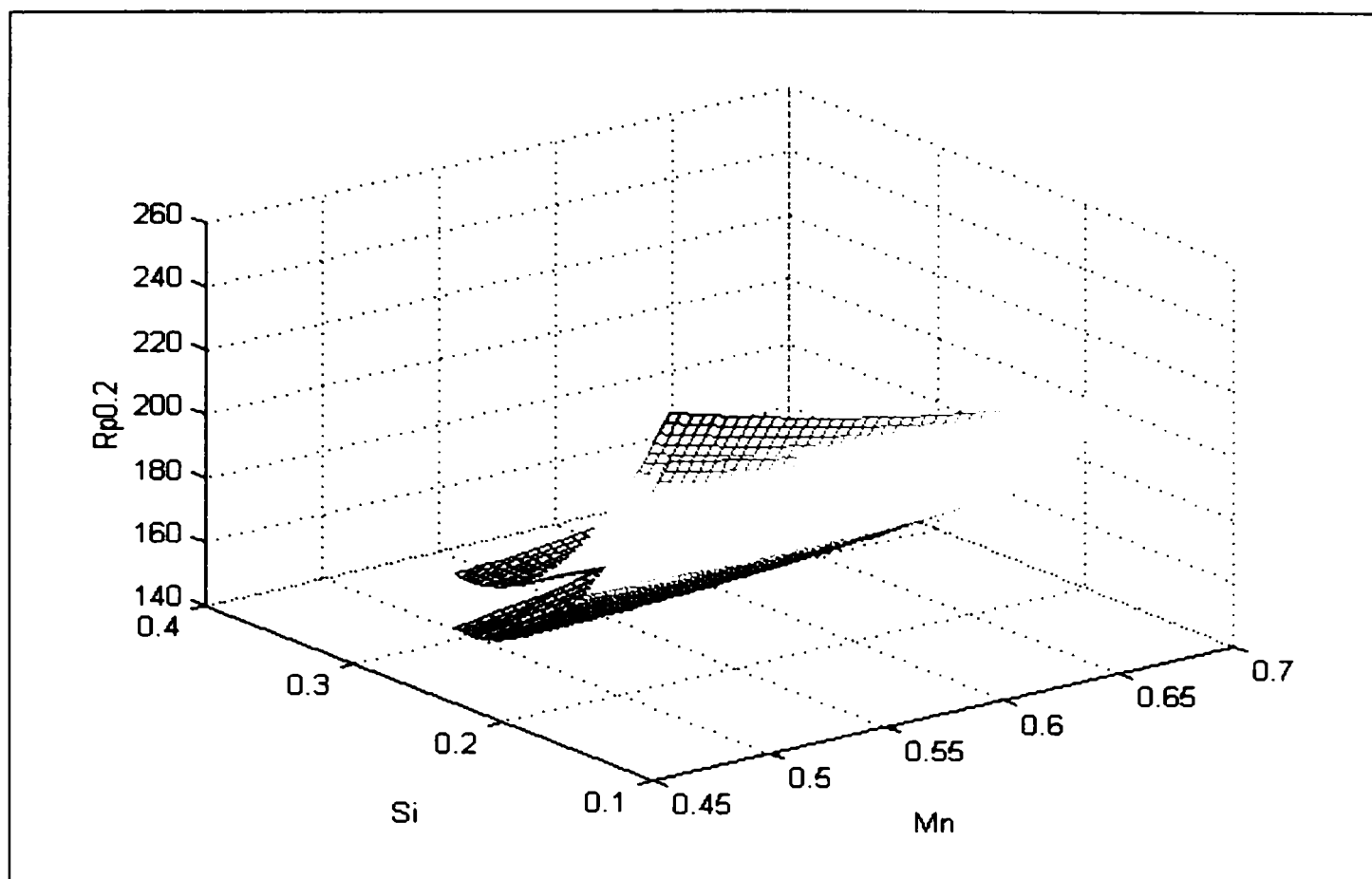


Fig.5.8. Delimitarea domeniului optim pentru limita de curgere tehnice  $R_{p0,2/450}$  în funcție de conținutul de siliciu și mangan, considerând procentul de carbon mediu

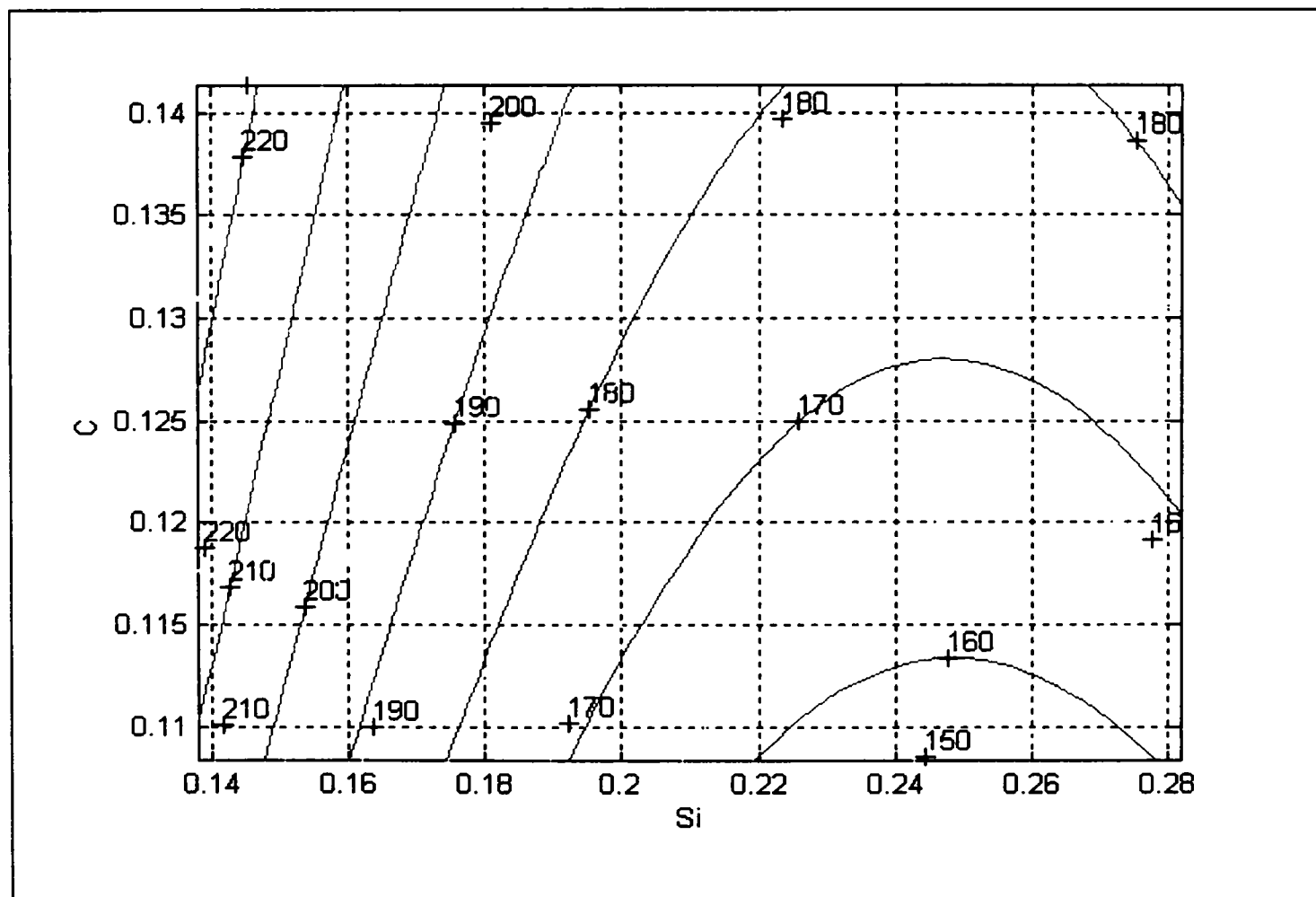
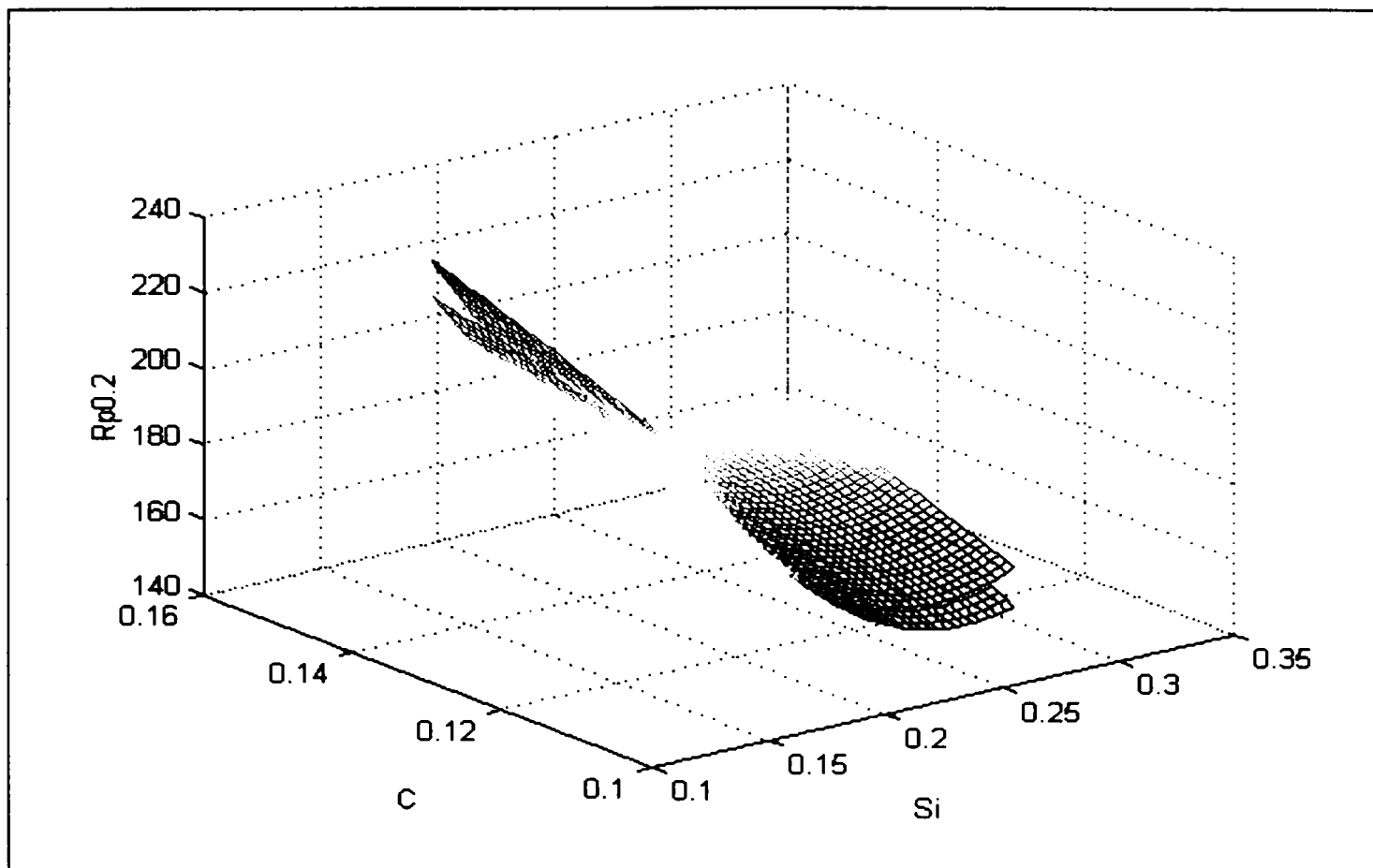


Fig.5.9. Delimitarea domeniului optim pentru limita de curgere tehnică  $R_{p0.2/450}$  în funcție de conținutul de siliciu și carbon, considerând procentul de mangan mediu

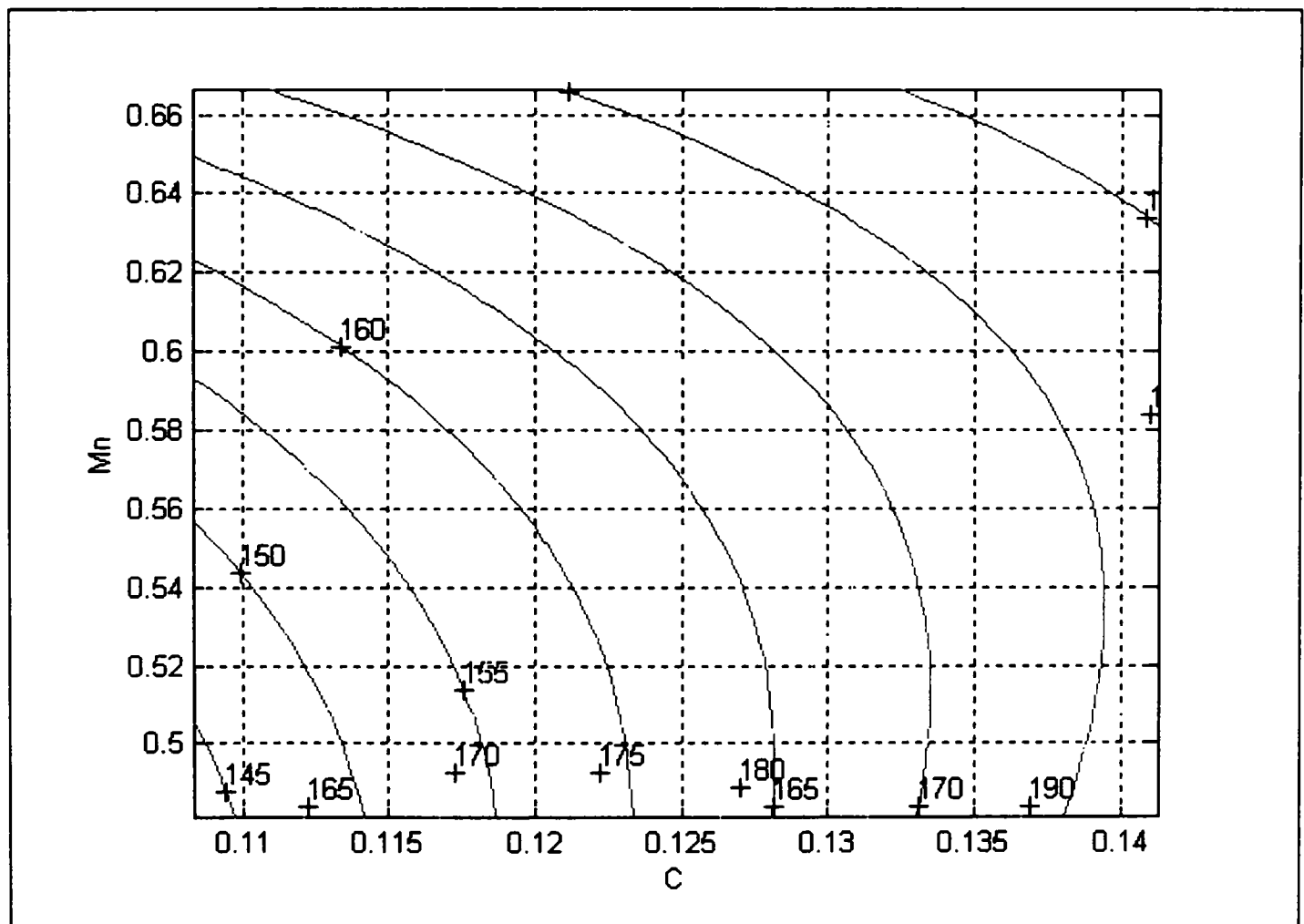
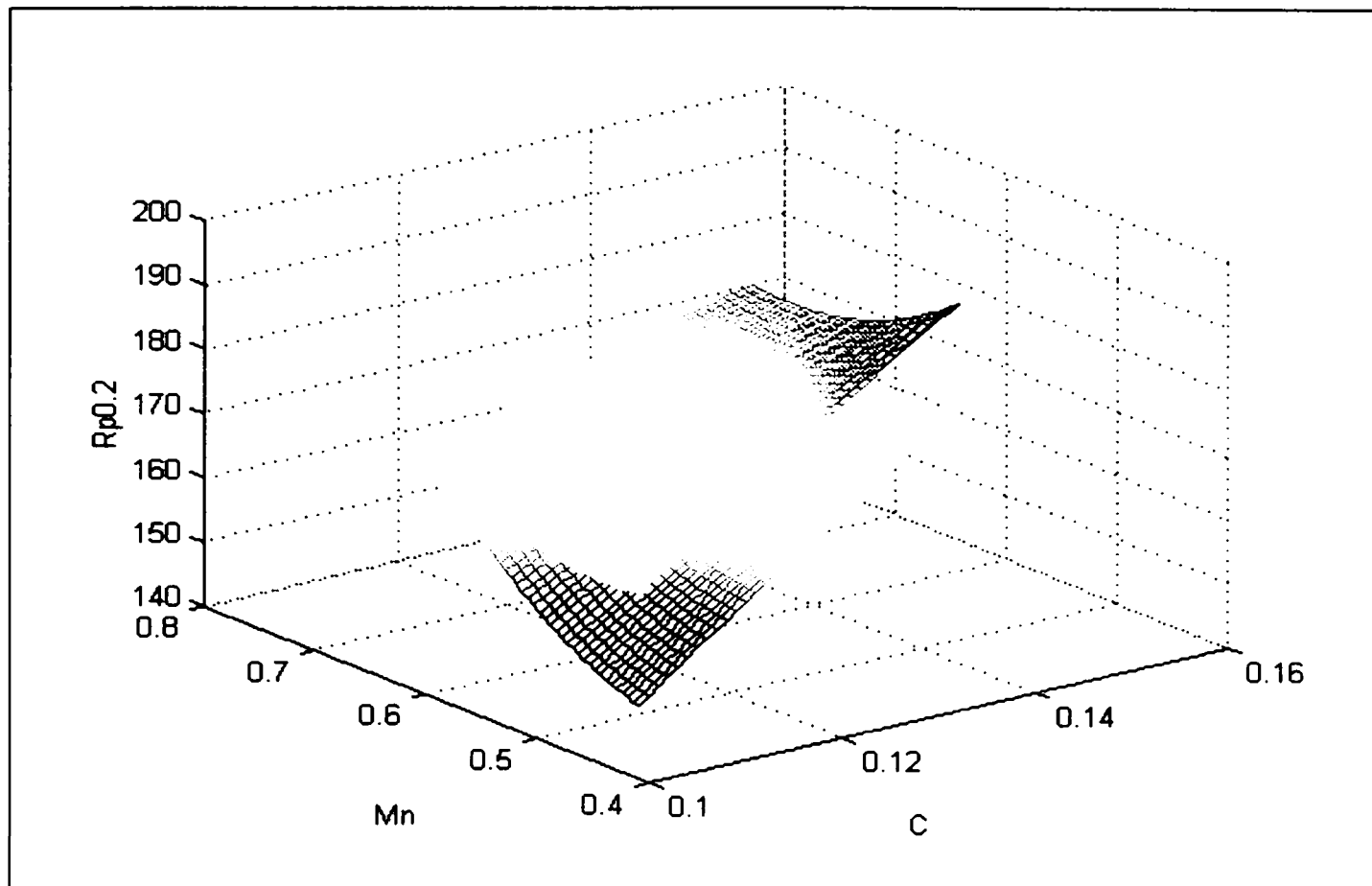


Fig.5.10. Delimitarea domeniului optim pentru limita de curgere tehnică  $R_{p0,2/450}$  în funcție de conținutul de carbon și mangan, considerând procentul de siliciu mediu



**Considerând, conform [121], că modul de elaborare al unei șarje are o importanță însemnată asupra caracteristicilor mecanice ale oțelurilor, cunoașterea acestor corelații sunt de un real folos pentru inginerul metalurg, deoarece acesta poate estima valorile pentru parametrul impus, în funcție de compoziția chimică, ceea ce-i permite reglarea compoziției chimice, pe parcursul elaborării, pentru a obține caracteristicile impuse de beneficiar.**

Pentru a studia modul de variație a limitei de curgere convenționale  $R_{p0,2}$  în funcție de principalele elemente ale compoziției chimice, s-au efectuat încercări mecanice de tracțiune pe loturi de epruvete prelevate dintr-un număr de 30 de șarje, elaborate într-un cuptor electric cu arc, din cadrul S.C.Siderurgica S.A. Hunedoara, a căror compoziție chimică se prezintă în Anexa 3.1.

Pentru fiecare șarjă au fost încercate câte 3 epruvete, forma acestora fiind prezentată în subcapitolul 2.3. Cu aceste date au fost efectuate corelații grafice, utilizând programele MATLAB 5.0 și EXCEL 2002, iar rezultatele obținute privind modul de variație a limitei de curgere convenționale pentru combinații între 3 elemente principale ale compoziției chimice, sunt prezentate în fig. 5.5; fig. 5.6; fig. 5.7; fig. 5.8; fig.5.9, respectiv fig. 5.10.

Fișierele cu datele rezultate din programele de calcul sunt prezentate în Anexa 4.1.

Rezultatele astfel obținute permit determinarea procentului optim între elementele C, Mn, Si ale compoziției chimice a oțelului OLT 35K, astfel încât oțelul să fie elaborat cu anumite caracteristici mecanice impuse.

Datorită volumului mare de date obținute dintr-o astfel de prelucrare a datelor experimentale, ne-am oprit, în cadrul prezentei lucrări doar la caracteristica mecanică  $R_{p0,2/450}$ , care trebuie garantată de producătorul de metal, pentru oțelul analizat.

Analiza a fost efectuată doar între 3 elemente ale compoziției chimice, ea putând fi extinsă și efectuată și pe alte mărci de oțeluri, pentru elemente ale compoziției chimice care interesează.

**NOTĂ:** În figurile notate cu "...b" sunt prezentate liniile de nivel aferente suprafețelor din figurile notate cu "...a", pentru zonele în care caracteristica studiată are valori maxime. Cunoașterea acestor curbe de nivel permite evaluarea valorilor celor două variabile independente, astfel încât să se obțină  $R_{p0,2/450}$  în limitele cerute de beneficiar (impuse).

Din graficele 5.5.a și 5.5.b, considerând %C ca medie, se poate spune că se obțin valori maxime ale caracteristicii  $R_{p0,2/450}$  ( $230 \text{ N/mm}^2$ ) pentru procente de Mn sub 0,50% și Si în proporție de 0,14%, valori care sunt apropiate de limita inferioară a compoziției impusă de standard.

Din graficele 5.6.a și 5.6.b, considerând %Mn ca medie, se poate spune că se obțin valori maxime ale caracteristicii  $R_{p0,2/450}$  ( $230 \text{ N/mm}^2$ ) pentru procente de C sub 0,14% și Si în proporție de 0,14%, valori care sunt apropiate de limita inferioară a compoziției impusă de standard.

Din graficele 5.7.a și 5.7.b, considerând %Si ca medie, se poate spune că odată cu creșterea conținutului de C și Mn, limita de curgere convențională  $R_{p0,2/450}$  crește.

Graficele 5.8, 5.9 și 5.10 dau limitele domeniului optim, în care inginerul metalurg poate alege procentul de element al compoziției chimice, pentru a elabora un oțel având caracteristicile dorite de producător.

Cunoașterea curbelor de nivel permite corelarea celor două variabile independente (conținutul de element chimic) astfel încât să se poată obține  $R_{p0,2T}$  în limitele cerute de beneficiar.

### 5.1.3. Încercarea la tracțiune a oțelului OLT 45K

Oțelul **OLT 45K – STAS 8184-80** face parte din categoria oțelurilor nealiate, utilizate pentru realizarea de țevi care lucrează la temperaturi ridicate. Oțelul se elaborează în cuptoare electrice, în cuptoare Martin, în convertizoare cu insuflare de oxigen sau prin alte procedee echivalente.

Pentru această marcă de oțel au fost efectuate încercări pe materiale provenind din: supraîncălzitor, economizor respectiv pe material neutilizat. Compoziția chimică a materialului utilizat pentru încercările experimentale este prezentată în tabelul 5.9.

Tabelul 5.9

#### Compoziția chimică a oțelului OLT 45K prelevat din supraîncălzitor și economizor

Material	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Mo
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Supraîncălzitor	0,19	0,67	0,24	0,041	-	0,12	0,17	0,18	0,14
Economizor	0,23	0,62	0,25	0,031	-	0,22	0,21	0,18	0,30
Material neutilizat	0,21	0,46	0,27	0,005	-	0,17	0,14	0,20	0,28
STAS 8184-80	Max. 0,23	Min. 0,45	0,15... 0,35	Max. 0,045	Max. 0,040	Max. 0,30	Max. 0,30	Max. 0,30	-

Caracteristicile mecanice garantate pe produsele livrate sub formă de produse tubulare, determinate pe epruvete prelevate longitudinal, în condițiile atmosferei ambiante de încercare, sunt date în tabelul 5.10.

Tabelul 5.10

#### Caracteristici mecanice garantate pentru oțelul OLT 45K

Marca oțelului	Rezistența la rupere) $R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Limita de curgere convențională $R_{p0,2}$ [N/mm <sup>2</sup> ] min.	Alungirea procentuală după rupere A, [%] Min.	Coeficientul de gătuire Z, [%] min.	Reziliența KCU 300/2 min.
OLT 45K	450...550	260	21	60	60

În tabelul 5.11 se prezintă valorile limitei de curgere convenționale garantate, funcție de temperatură.

Tabelul 5.11

#### Limita de curgere convențională, funcție de temperatură, pentru OLT 45K

OLT 45K	Temperaturi						
	200 <sup>0</sup> C	250 <sup>0</sup> C	300 <sup>0</sup> C	350 <sup>0</sup> C	400 <sup>0</sup> C	450 <sup>0</sup> C	500 <sup>0</sup> C
	Limita de curgere convențională, $R_{p0,2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]						
	210	190	160	140	130	110	-

Încercările la tracțiune, în domeniul temperaturilor ridicate s-au realizat pe o mașină universală de încercare, la care a fost adaptată o incintă de încălzire proiectată și realizată de autoare (vezi Cap.3).

Modul de prelevare a epruvetelor și tratamentul termic aplicat acestora au fost prezentate în subcapitolul 2.3.

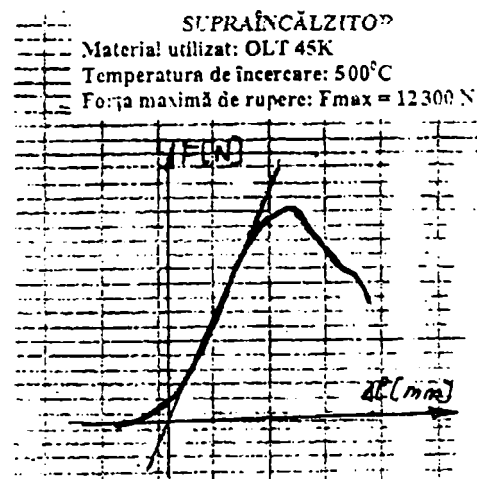
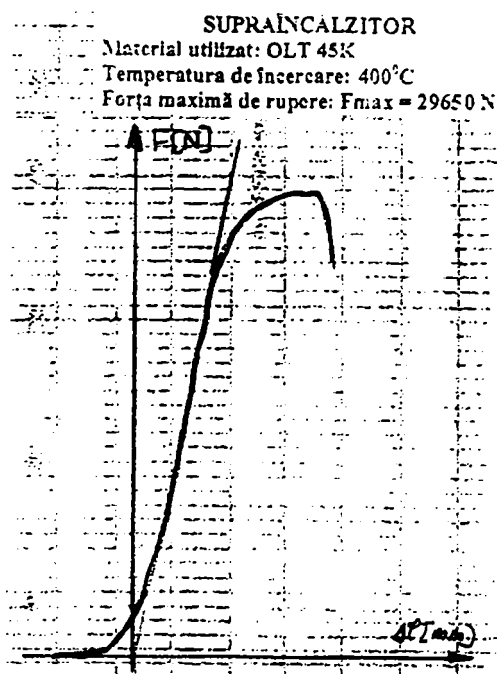
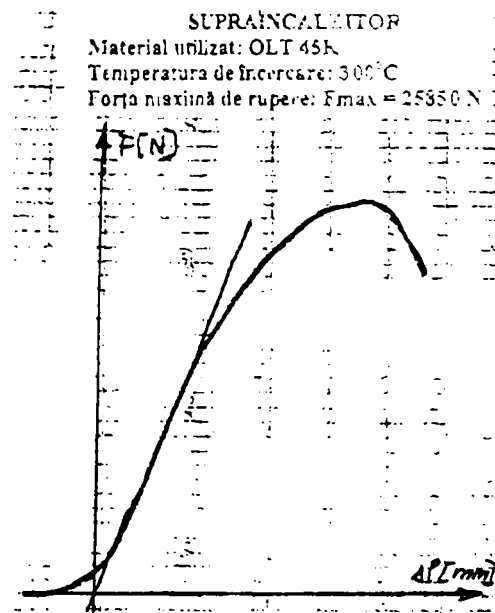
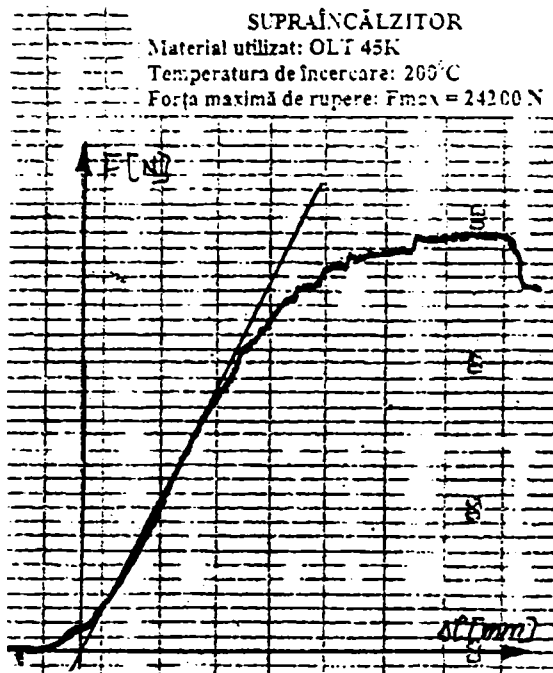
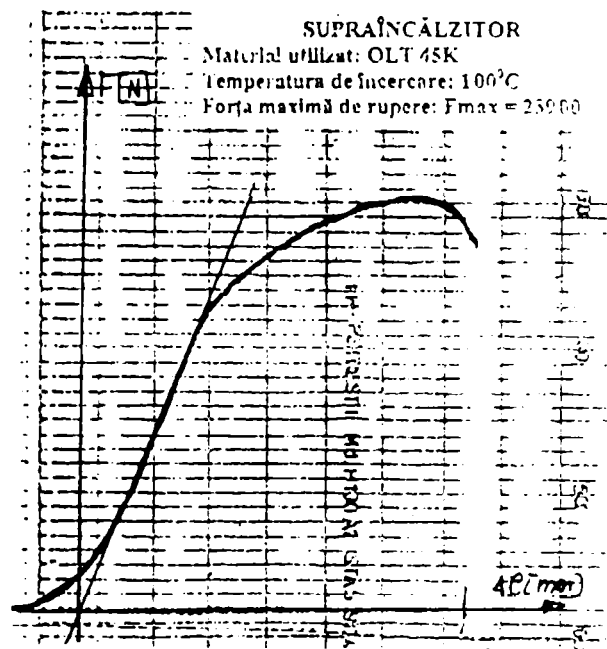
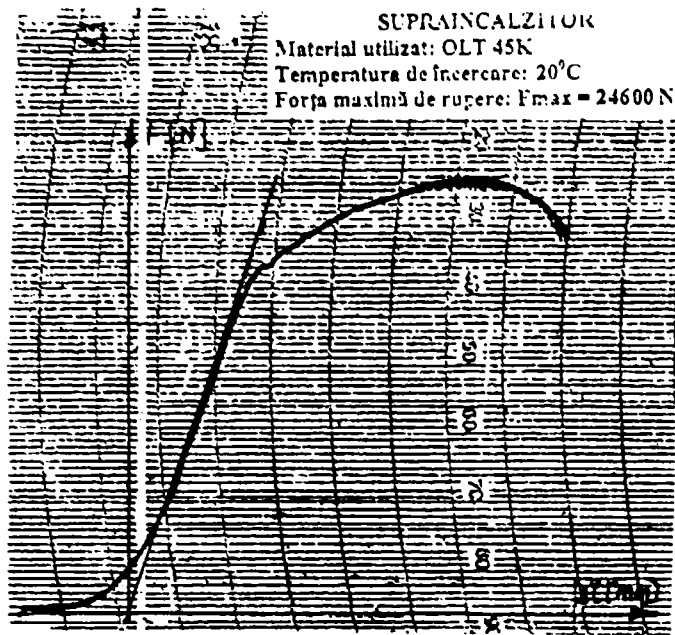


Fig.5.11. Diagramele F- $\Delta L$  obținute pentru OLT 45K, supraîncălzitor

Experimentările pentru determinarea caracteristicilor mecanice la tracțiune s-au efectuat în intervalul  $+20^{\circ}\text{C}$ ... $+500^{\circ}\text{C}$ , iar rezultatele obținute sunt prezentate în continuare detaliat.

### 5.1.3.1. Încercarea la tracțiune a oțelului OLT 45K prelevat din supraîncălzitor

În poza 5.3 sunt prezentate un lot de epruvete din OLT 45K, prelevate din supraîncălzitor, încercate la temperaturile de:  $+20^{\circ}\text{C}$ ;  $+100^{\circ}\text{C}$ ;  $+200^{\circ}\text{C}$ ;  $+300^{\circ}\text{C}$ ;  $+400^{\circ}\text{C}$ ;  $+500^{\circ}\text{C}$ .

În fig.5.11.a ÷ f sunt prezentate diagramele F- $\Delta$ L obținute în urma acestor încercări.

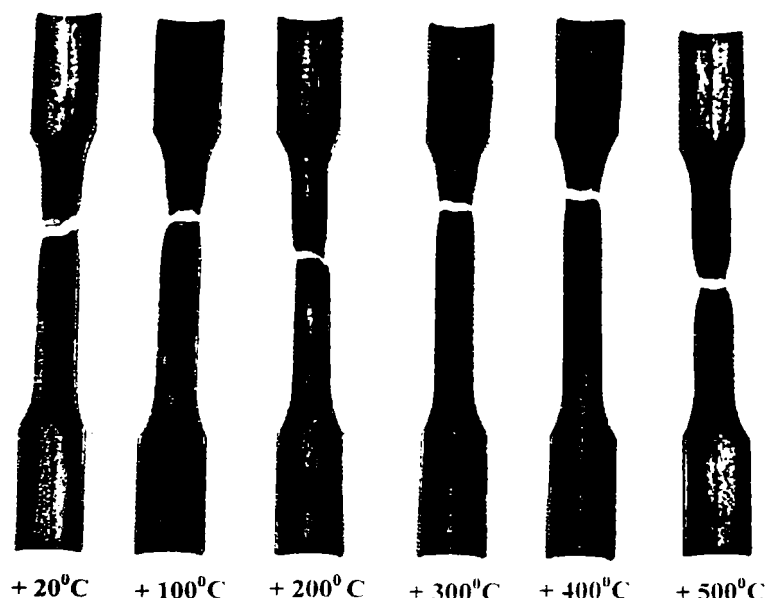
Rezultatele obținute sunt prezentate sintetizat în tabelul 5.12. Valorile din tabelul 5.12. reprezintă mediile caracteristicilor mecanice obținute din seturi de câte trei epruvete, încercate la fiecare palier de temperatură.

**Tabelul 5.12**

**Caracteristicile mecanice la tracțiune ale oțelului OLT 45K -supraîncălzitor**

Temperatura de încercare [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Forța de rupere $F_{\max}$ [N]	Rezistența la rupere $R_m$ [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]	Alungirea procentuală după rupere A[%]	Coeficientul de gătuire Z [%]
$20^{\circ}\text{C}$	26400	562,28	47,50	27
$100^{\circ}\text{C}$	23900	546,28	43,75	24,57
$200^{\circ}\text{C}$	24200	553,14	46,25	26,12
$300^{\circ}\text{C}$	25850	590,85	50	25,76
$400^{\circ}\text{C}$	29650	677,71	65	16,84
$500^{\circ}\text{C}$	12300	281,14	31,75	43,22

## SUPRAÎNCĂLZITOR



**Poza 5.3. Lot de epruvete din OLT 45 K, prelevate din supraîncălzitor, încercate la temperaturi ridicate**

Cu datele din tabelul 5.12, s-au trasat diagramele de variație ale caracteristicilor mecanice la tracțiune pentru oțelul OLT 45K, prelevat din supraîncălzitor, funcție de temperatura de încercare. Rezultatele obținute sunt prezentate la finalul paragrafului referitor la studiul oțelului OLT 45K, comparativ.

### 5.1.3.2. Încercarea la tracțiune a oțelului OLT 45K prelevat din economizor

În poza 5.4 sunt prezentate un lot de epruvete din OLT 45K, prelevate din economizor, încercate la temperaturile de:  $+20^{\circ}\text{C}$ ;  $+100^{\circ}\text{C}$ ;  $+200^{\circ}\text{C}$ ;  $+300^{\circ}\text{C}$ ;  $+400^{\circ}\text{C}$ ;  $+500^{\circ}\text{C}$ .

În fig.5.12.a ÷ f sunt prezentate diagramele  $F-\Delta L$  obținute în urma acestor încercări.

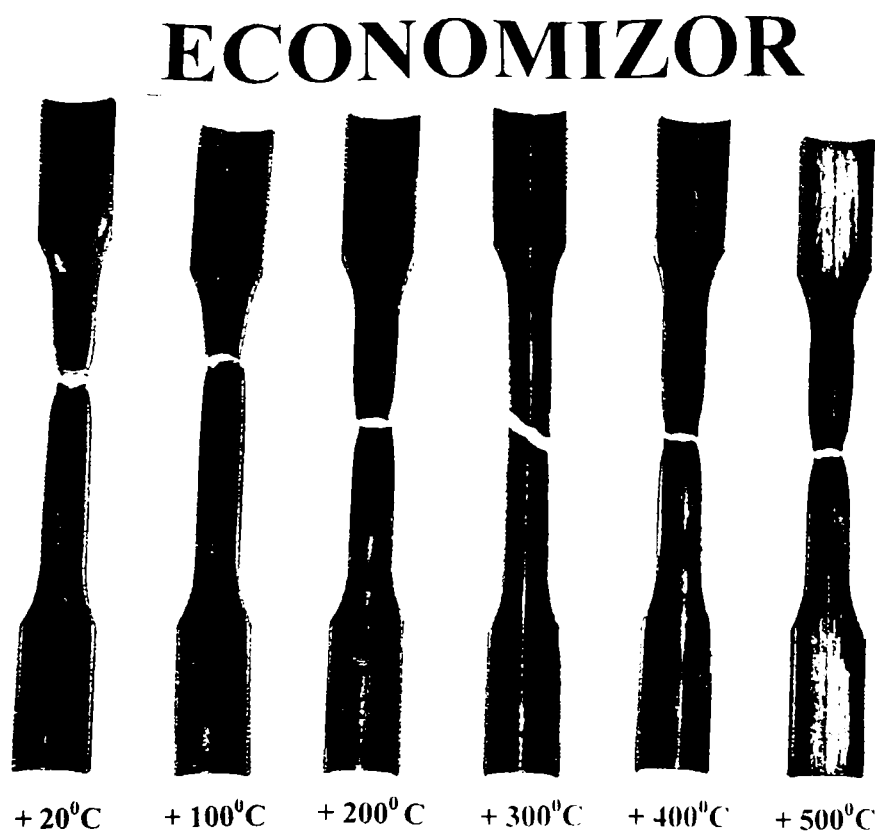
Rezultatele obținute sunt prezentate sintetizat în tabelul 5.13. Valorile din tabelul 5.13. reprezintă mediile caracteristicilor mecanice obținute din seturi de câte trei epruvete, încercate la fiecare palier de temperatură.

**Tabelul 5.13**

#### Caracteristicile mecanice la tracțiune al oțelului OLT 45K, prelevat din economizor

Temperatura de încercare [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Forța de rupere $F_{\max}$ [N]	Rezistența la rupere $R_m$ [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]	Alungirea procentuală după rupere A [%]	Coefficientul de gătuire Z [%]
$20^{\circ}\text{C}$	25150	574,85	58,75	40,54
$100^{\circ}\text{C}$	27350	625,14	43,75	20,80
$200^{\circ}\text{C}$	25900	592,00	43,75	34,81
$300^{\circ}\text{C}$	25350	579,42	52,50	23,47
$400^{\circ}\text{C}$	20400	466,28	50,00	46,78
$500^{\circ}\text{C}$	11300	258,28	31,25	48,89

Cu datele din tabelul 5.13, s-au trasat diagramele de variație ale caracteristicilor mecanice la tracțiune pentru oțelul OLT 45K, prelevat din supraîncălzitor, funcție de temperatura de încercare. Rezultatele obținute sunt prezentate la finalul paragrafului referitor la studiul oțelului OLT 45K, comparativ.



**Poza 5.4. Lot de epruvete din OLT 45K, prelevate din economizor, încercate la temperaturi ridicate**

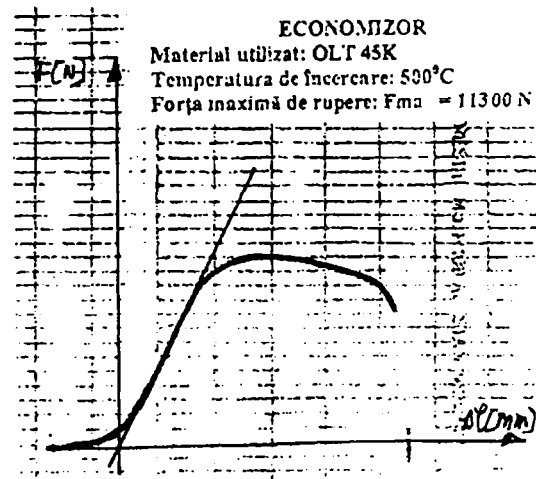
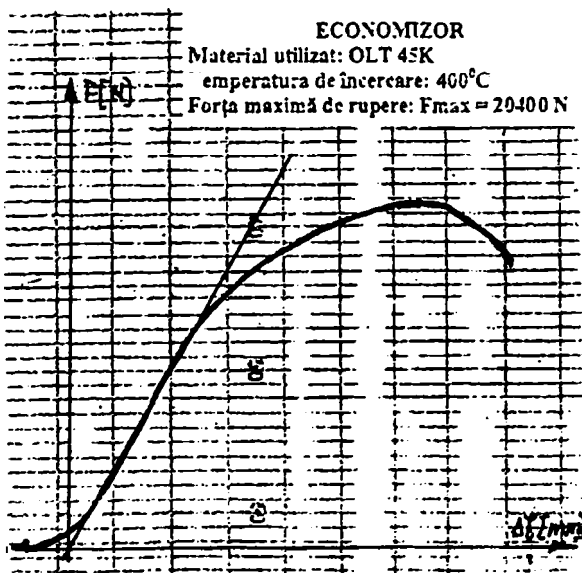
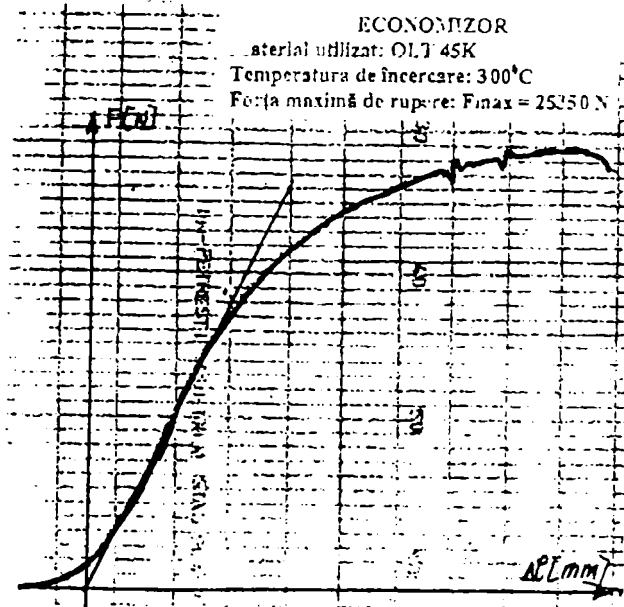
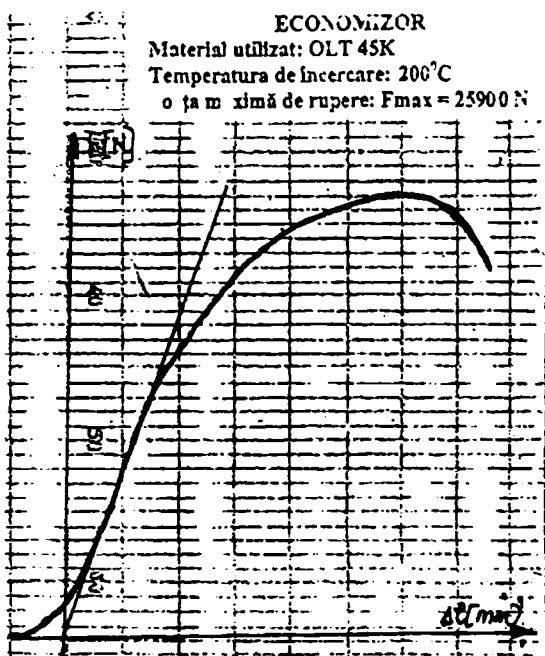
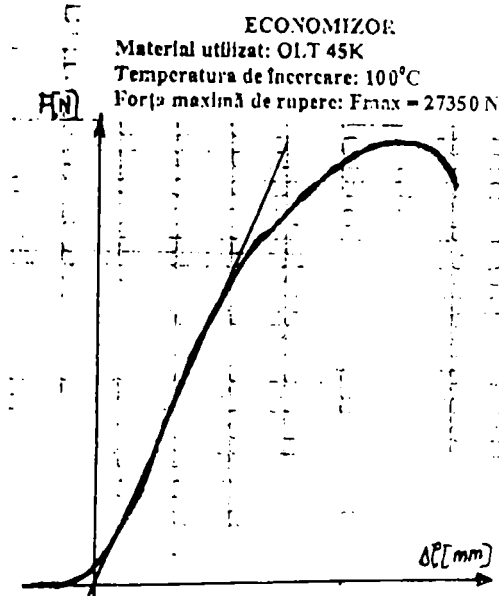
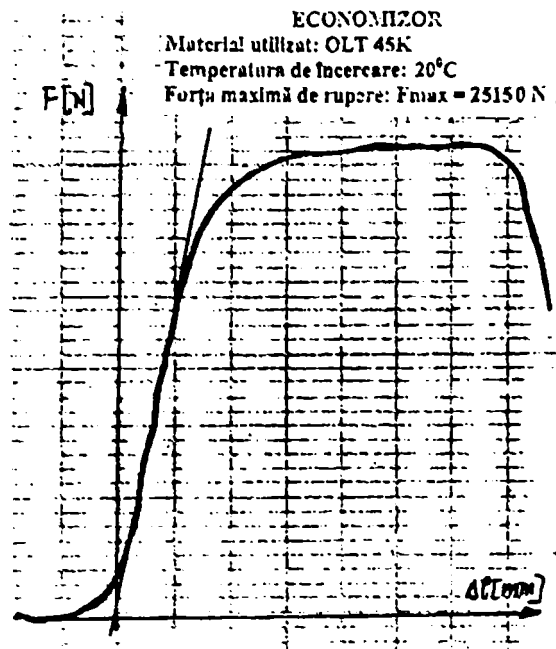
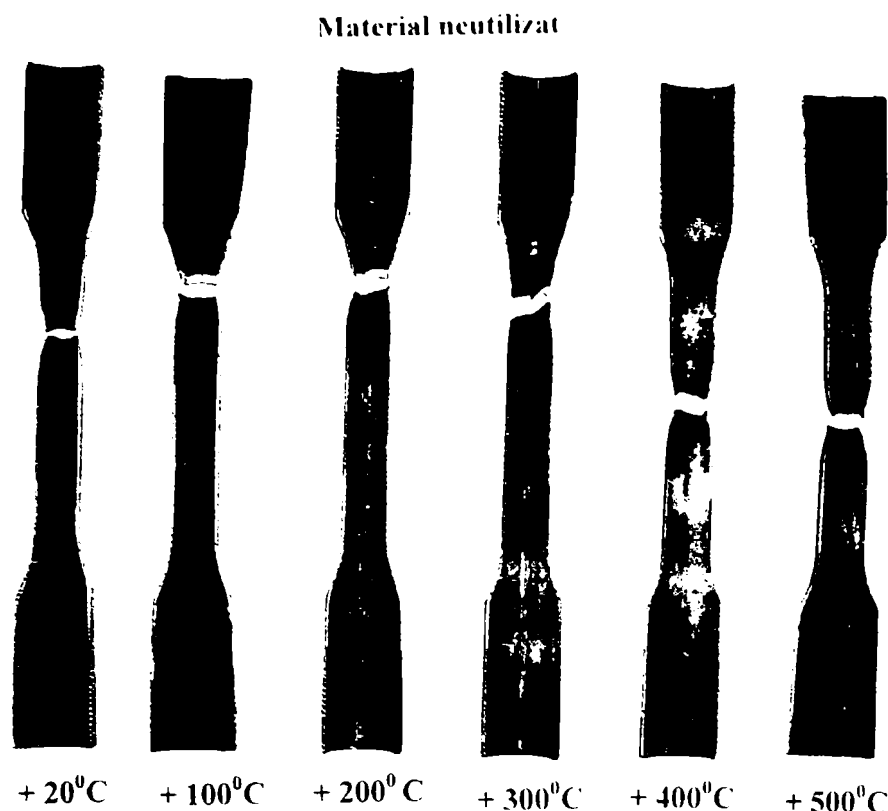


Fig.5.12. Diagramele F- $\Delta L$  obținute pentru OLT 45K, economizor

### 5.1.3.3. Încercarea la tracțiune a oțelului OLT 45K neutilizat

În poza 5.5 sunt prezentate un lot de epruvete din OLT 45K, material neutilizat, încercate la temperaturile de: +20°C; +100°C; +200°C; +300°C; +400°C; +500°C.



**Poza 5.5. Lot de epruvete din OLT45K, material neutilizat, încercate la temperaturi ridicate**

În fig.5.13.a ÷ f sunt prezentate diagramele  $F-\Delta L$  obținute în urma acestor încercări.

Rezultatele obținute sunt prezentate sintetizat în tabelul 5.14. Valorile din tabelul 5.14. reprezintă mediile caracteristicilor mecanice obținute din seturi de câte trei epruvete, încercate la fiecare palier de temperatură.

**Tabelul 5.14**

**Caracteristicile mecanice la tracțiune pentru OLT 45K, material neutilizat**

Temperatura de încercare [°C]	Forța de rupere $F_{max}$ [N]	Rezistența la rupere $R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Alungirea procentuală după rupere A [%]	Coeficientul de gătuire Z [%]
20°C	28500	659,42	66,25	37,00
100°C	30400	694,85	37,50	17,62
200°C	29200	667,42	38,75	21,50
300°C	34700	793,14	43,75	21,55
400°C	22000	502,85	37,50	29,78
500°C	16900	386,28	27,50	53,92

Cu datele din tabelele 5.12, 5.13 și 5.14 s-au trasat diagramele de variație ale caracteristicilor mecanice la tracțiune pentru oțelul OLT 45K, prelevat din supraîncălzitor, din economizor, și OLT 45K, material neutilizat, funcție de temperatura de încercare.

Astfel, în fig.5.14.a. se prezintă variația caracteristicii  $R_m$ , în fig.5.14.b. variația caracteristicii A, iar în fig.5.14.c, variația lui Z.

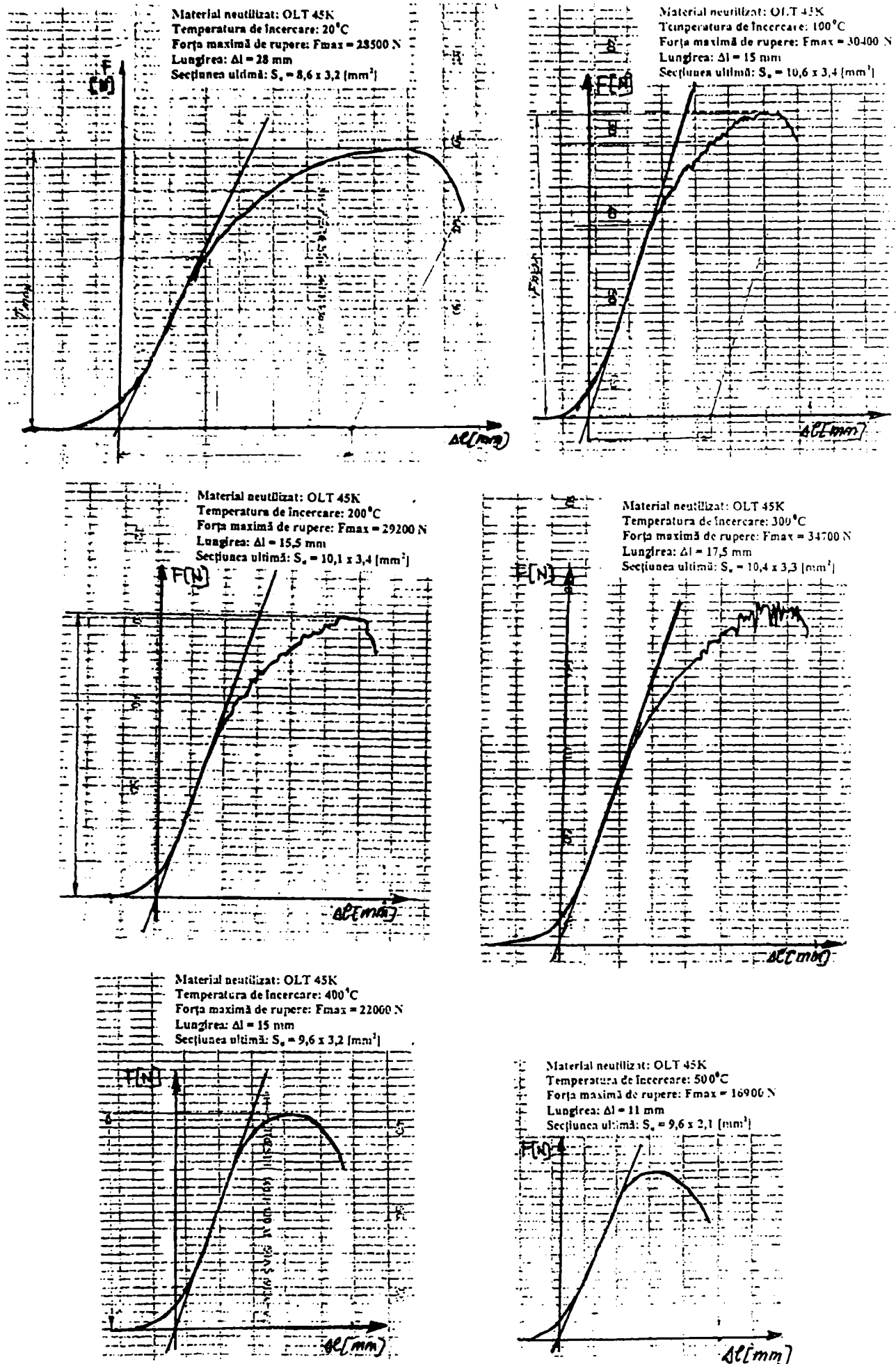


Fig.5.13. Diagrame F- $\Delta L$  obținute pentru OLT 45K, neutilizat



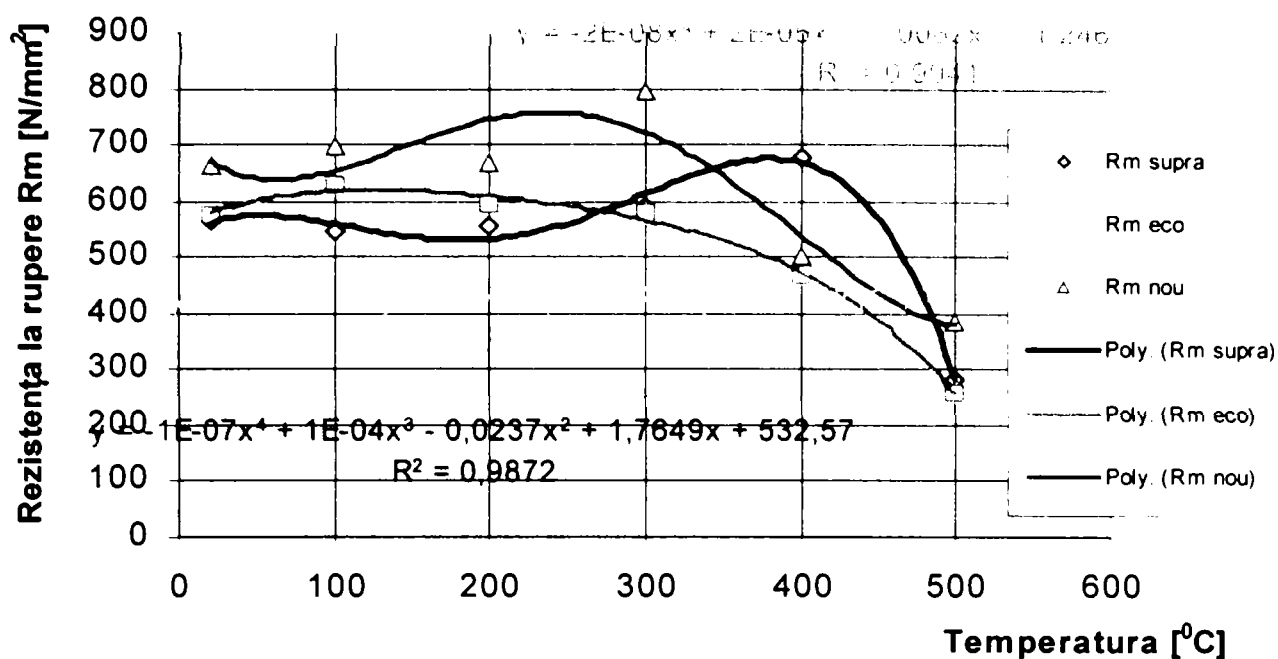


Fig.5.14.a. Variația rezistenței la rupere  $R_m$ , funcție de temperatură, pentru oțelul OLT 45K, în trei variante de utilizare

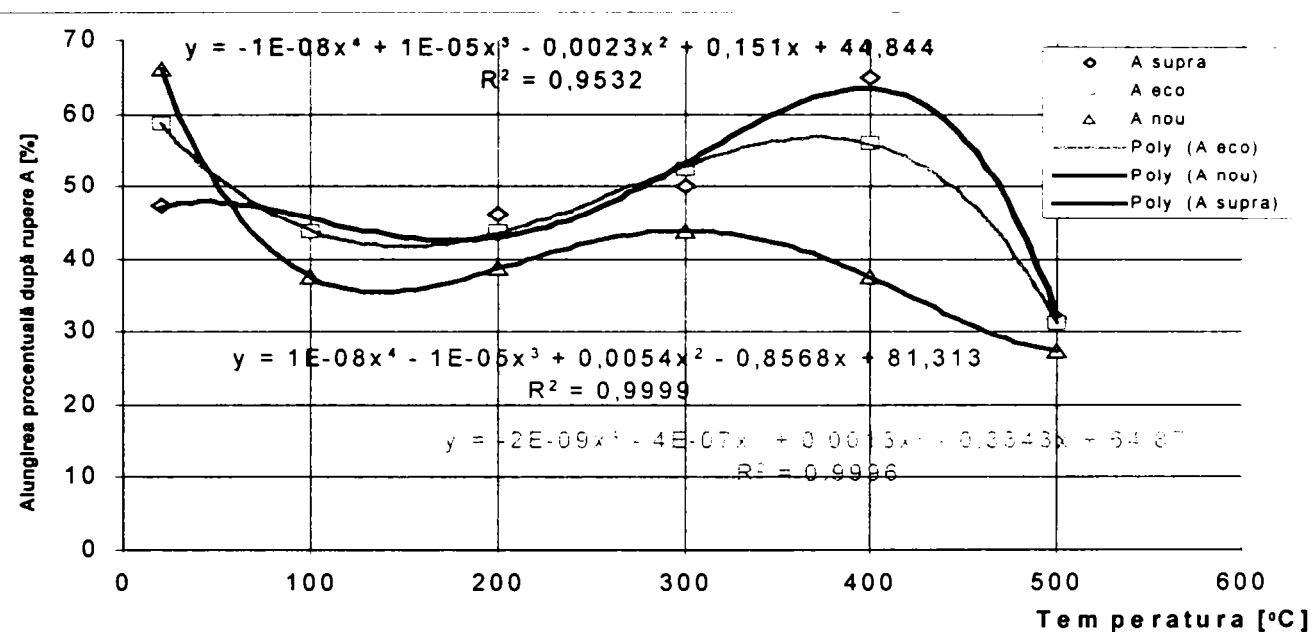


Fig.5.14.b. Variația alungirii procentuale după rupere A, funcție de temperatură, pentru oțelul OLT 45K, în trei variante de utilizare

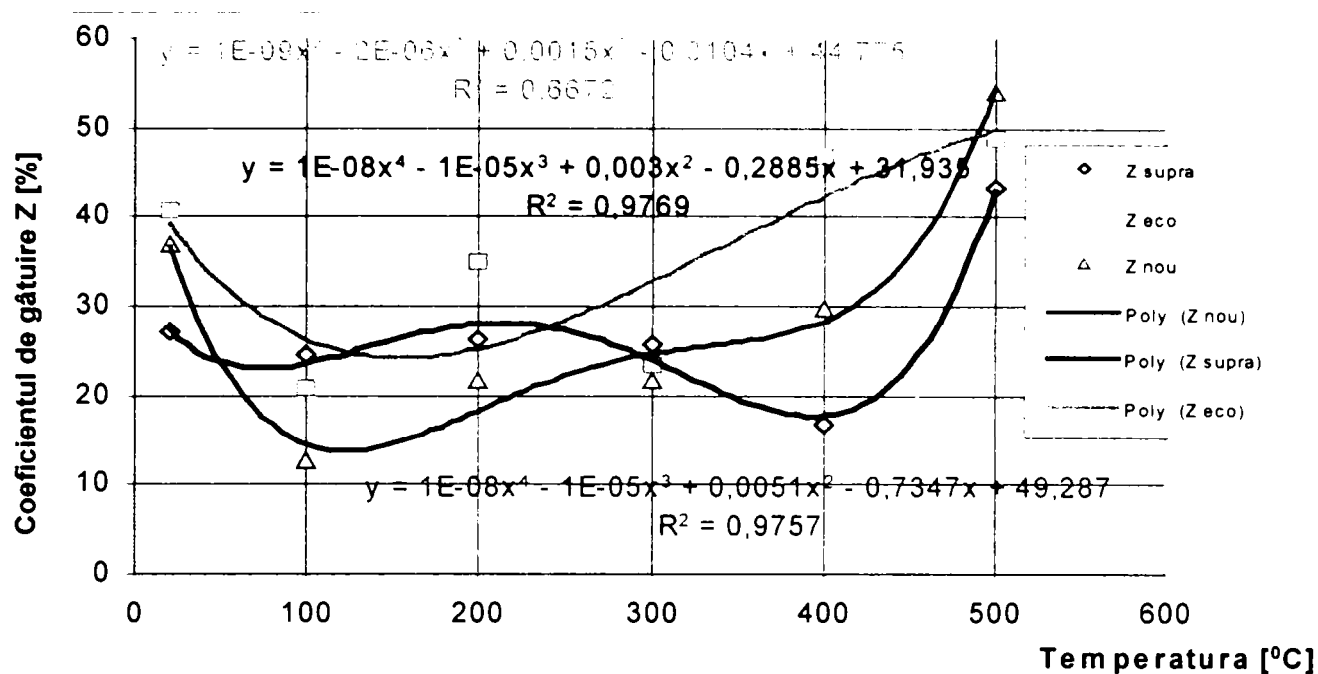
Din analiza rezultatelor obținute, fig. 5.14.a se observă clar că rezistența la rupere a materialului neutilizat este superioară celui utilizat, prelevat din supraîncălzitor și economizor; pentru toate cele trei variante studiate, având valori maxime în jurul temperaturii de  $200^{\circ}\text{C}$ .

Analizând graficul alungirii procentuale după rupere, fig.5.14.b, se constată că aceasta are valori mari, pentru materialul utilizat, comparativ cu valoarea pentru materialul neutilizat. Se observă că temperatura ridicată influențează curba de variație, schimbându-i tendința pe intervalul  $100\text{-}200^{\circ}\text{C}$ .

Coeficientul de gătuire, Z, are valori mari pentru materialele utilizate și evident mai mici,

pentru cel neutilizat, dar încercat în condiții de temperaturi ridicate. Zona critică este în jurul temperaturii de 200°C ...250°C, caracteristică acestor oțeluri, cu conținut scăzut de carbon, care la aceste temperaturi devin fragile la solicitări statice (fragilitate la albastru), [49].

La temperaturi mai mari de 200°C crește coeficientul de găuire Z, și scade alungirea procentuală după rupere A.



**Fig.5.14.c. Variația coeficientului de găuire Z, funcție de temperatură, pentru oțelul OLT 45K, în trei variante de utilizare**

Încercările efectuate pe marca de oțel OLT 45K, pentru toate variantele experimentate, au evidențiat unele diferențe între caracteristicile mecanice ale oțelului (după anumite perioade de utilizare) față de starea inițială (neutilizat). Explicația constă în faptul că variația temperaturii, caracterizată printr-un gradient termic redus, are influențe asupra comportării materialului, în diverse condiții de exploatare.

#### **5.1.3.4. Cercetări experimentale privind modul de variație a limitei de curgere convenționale pentru oțelul OLT 45K funcție de principalele elemente ale compoziției chimice**

Pentru a studia modul de variație a limitei de curgere convenționale  $R_{p0,2}$  în funcție de principalele elemente ale compoziției chimice, s-au efectuat încercări mecanice de tracțiune pe loturi de epruvete prelevate dintr-un număr de 30 de șarje, elaborate într-un cuptor electric cu arc, din cadrul S.C.Siderurgica S.A. Hunedoara, a căror compoziție chimică se prezintă în Anexa 3.

Pentru fiecare șarjă au fost încercate câte 3 epruvete, forma acestora fiind prezentată în subcapitolul 2.3. Cu aceste date au fost efectuate corelații grafice, utilizând programele MATLAB 5.0 și EXCEL 2002, iar rezultatele obținute privind modul de variație a limitei de curgere convenționale pentru combinații între 3 elemente principale ale compoziției chimice, sunt prezentate în fig. 5.15; fig. 5.16; fig. 5.17; fig. 5.18; fig.5.19, respectiv fig. 5.20.

Fișierele cu datele rezultate din programele de calcul sunt prezentate în Anexa 4.2.

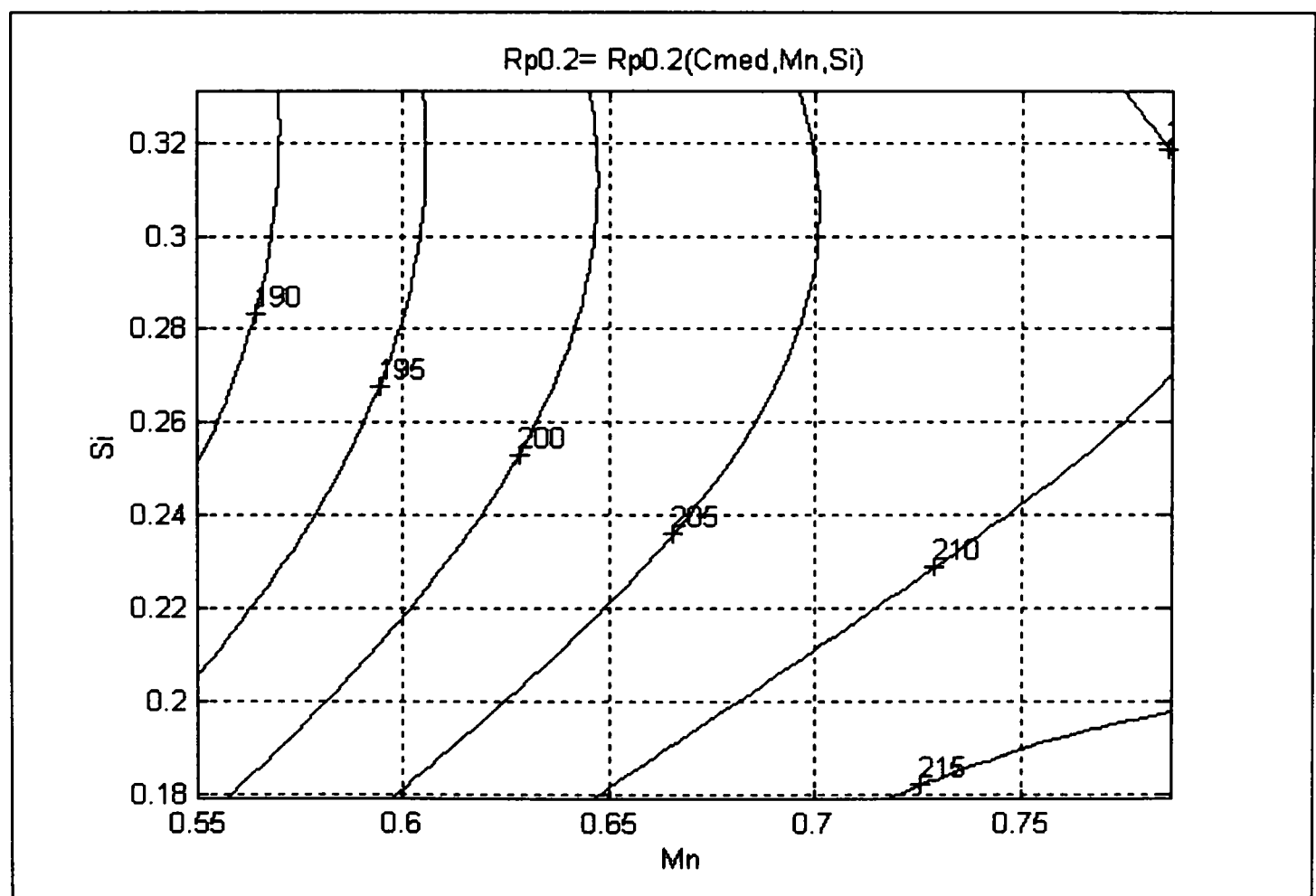
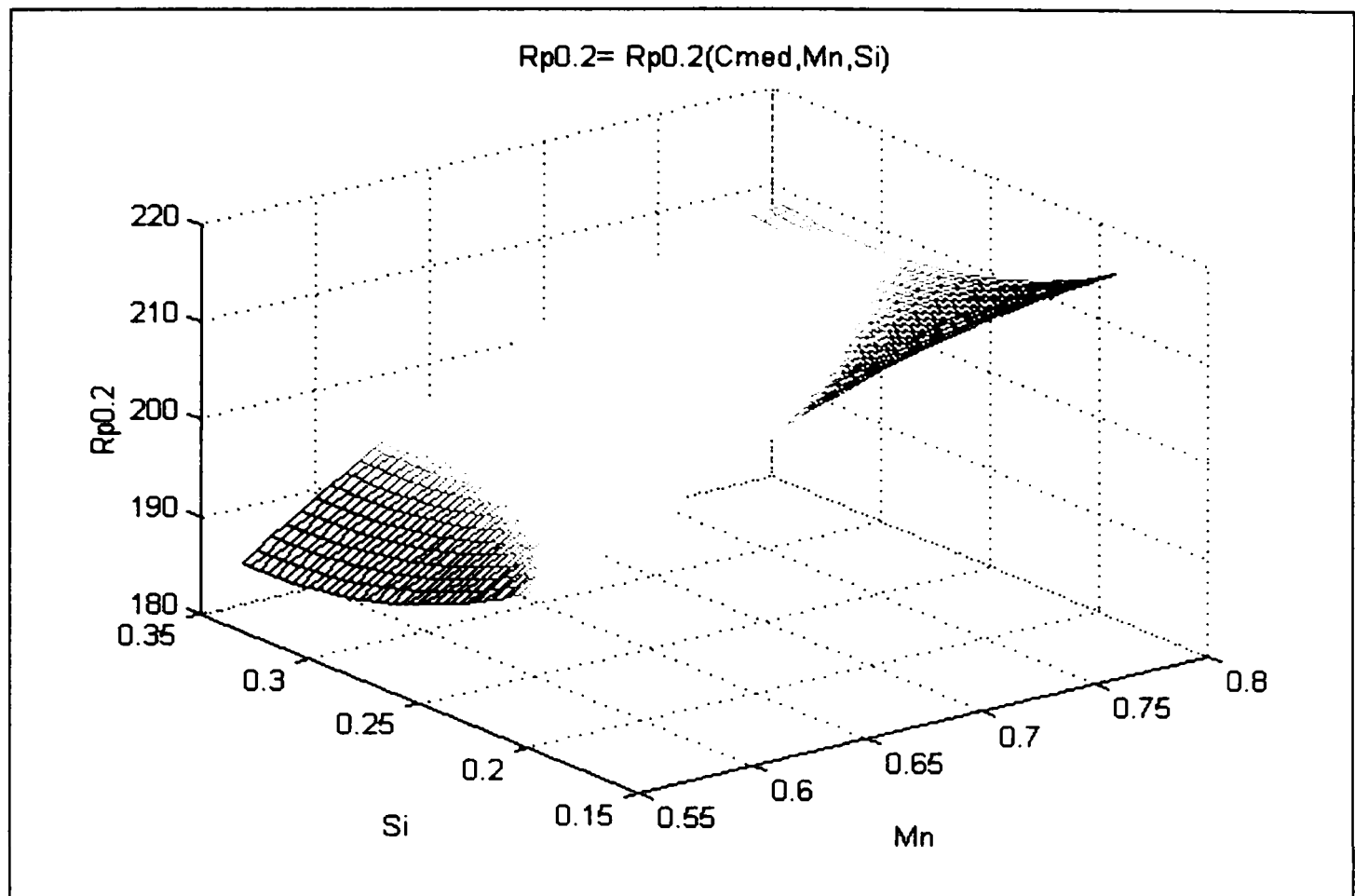
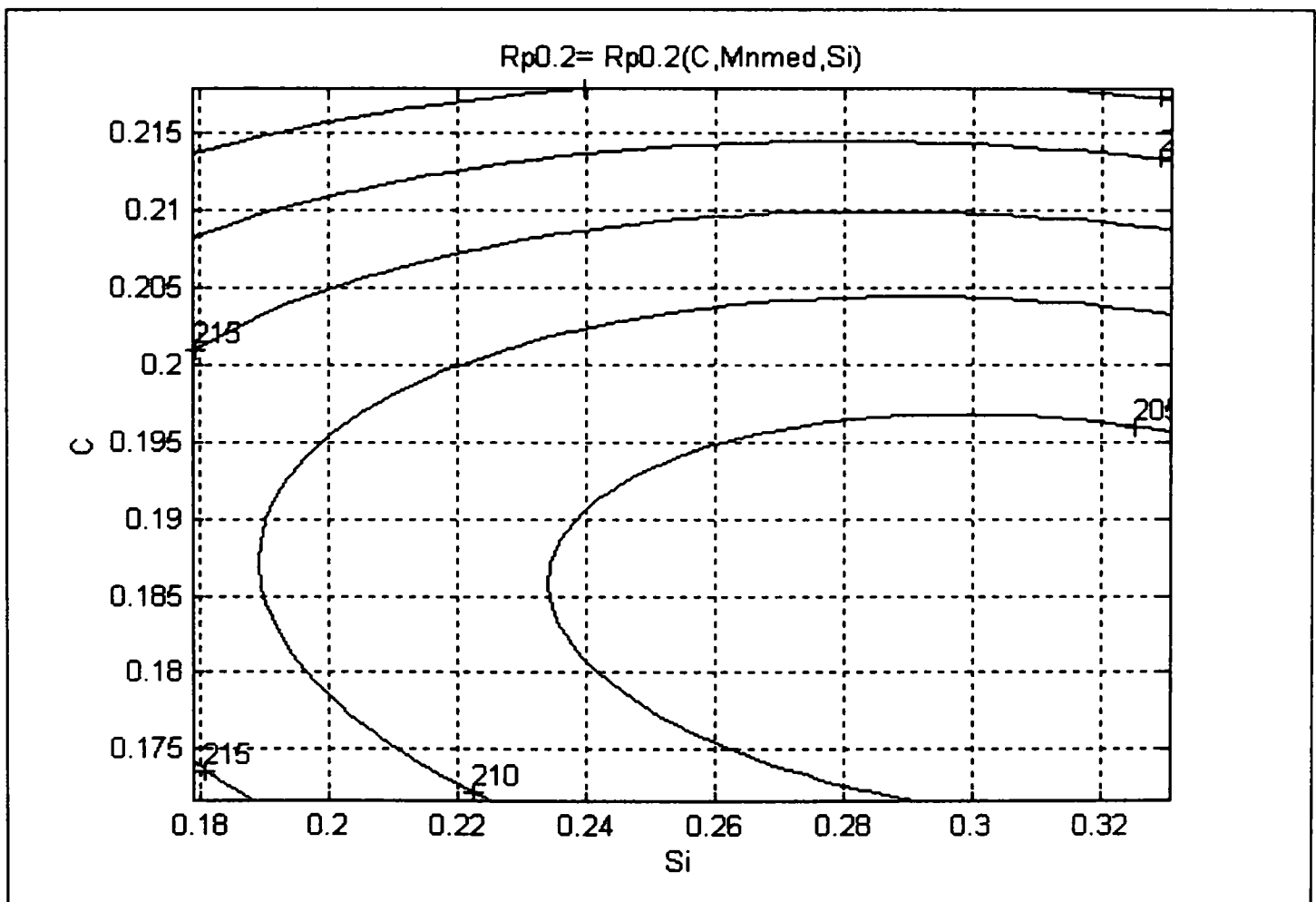
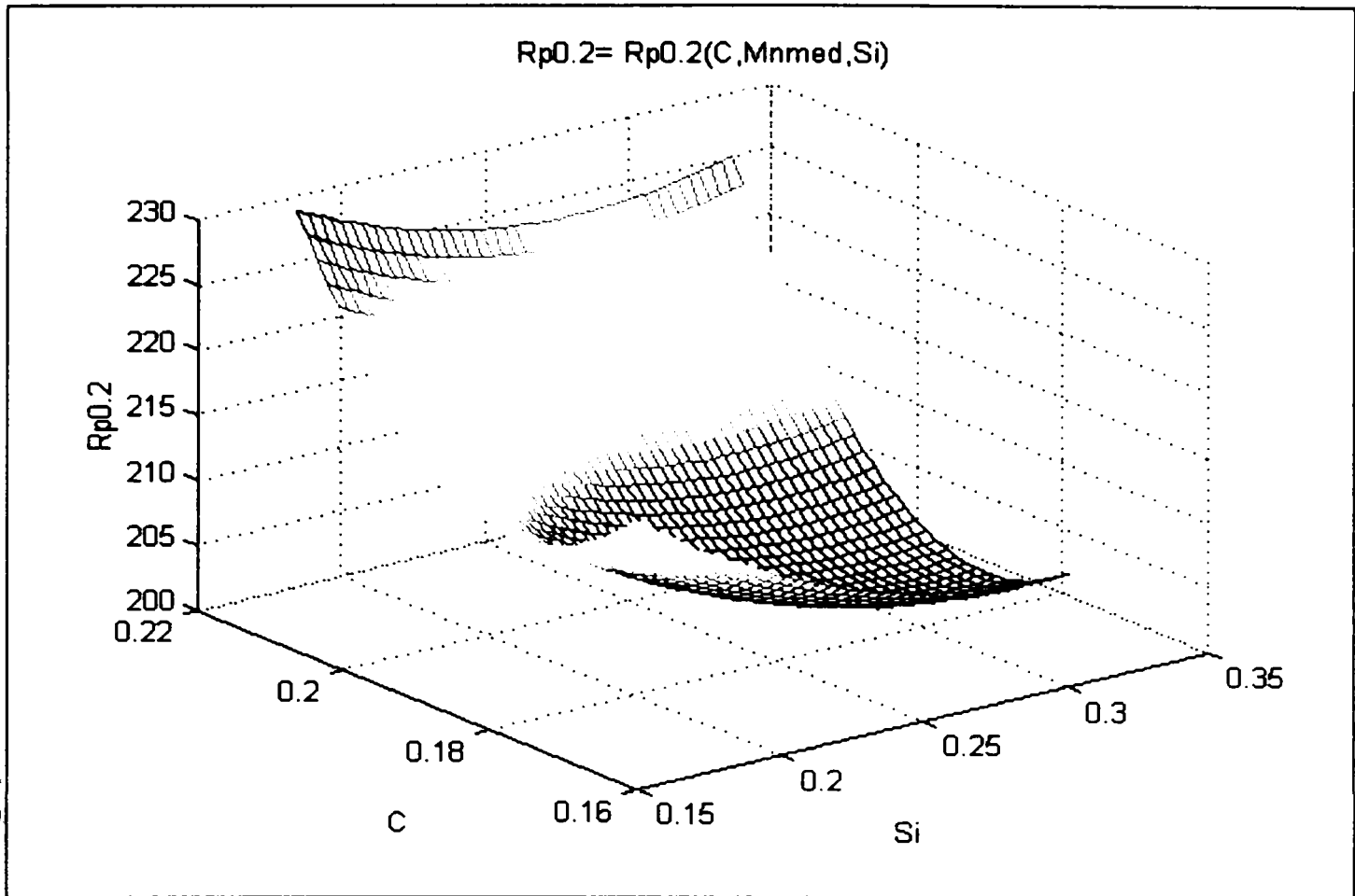


Fig.5.15. Variația limitei de curgere tehnice  $R_{p0,2/450}$  cu conținutul de siliciu și mangan, considerând procentul de carbon mediu



**Fig.5.16. Variația limitei de curgere tehnice  $R_{p0,2/450}$  cu conținutul de carbon și siliciu, considerând procentul de mangan mediu**

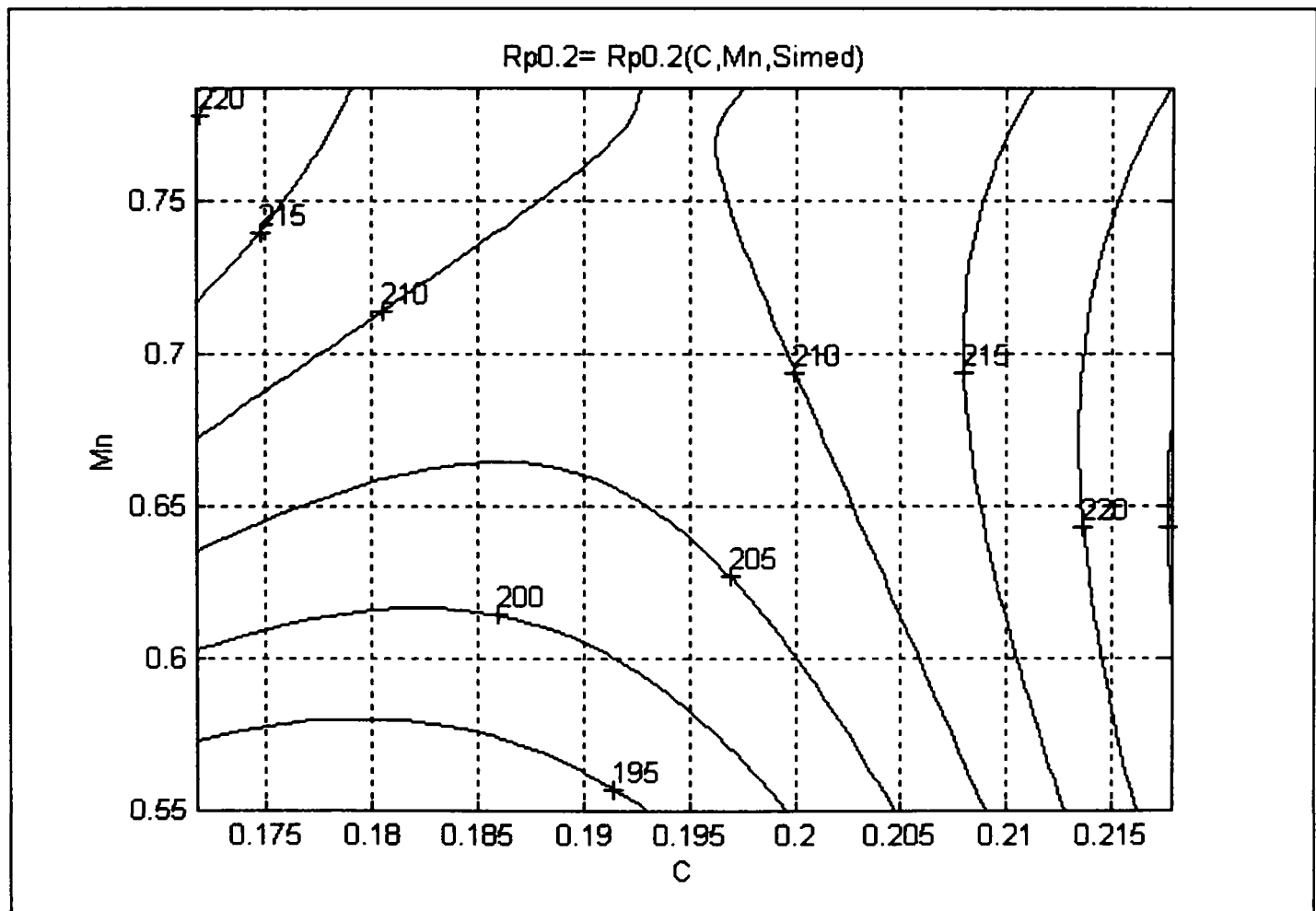
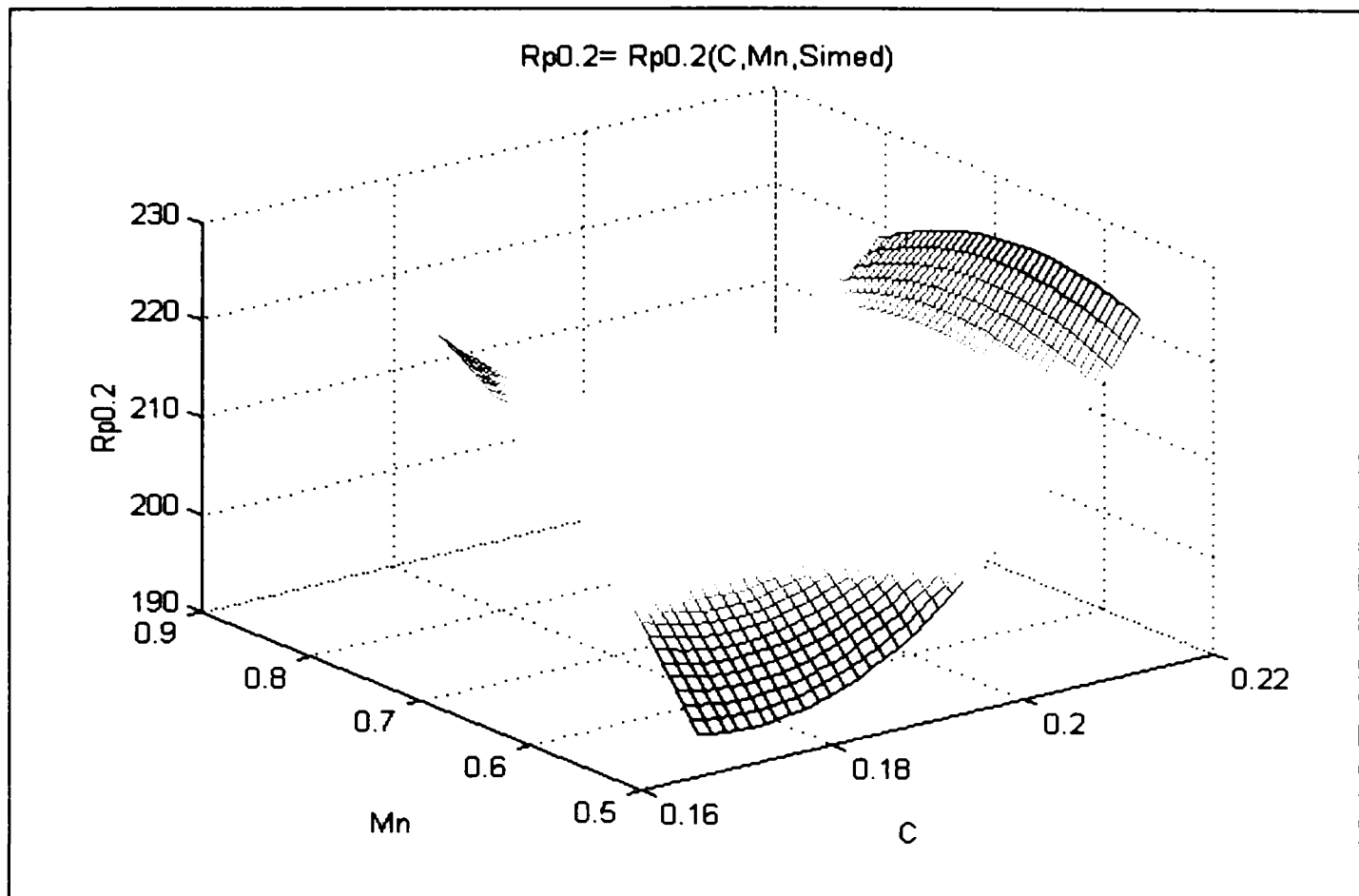


Fig.5.17. Variația limitei de curgere tehnice  $R_{p0,2/450}$  cu conținutul de carbon și mangan, considerând procentul de siliciu mediu

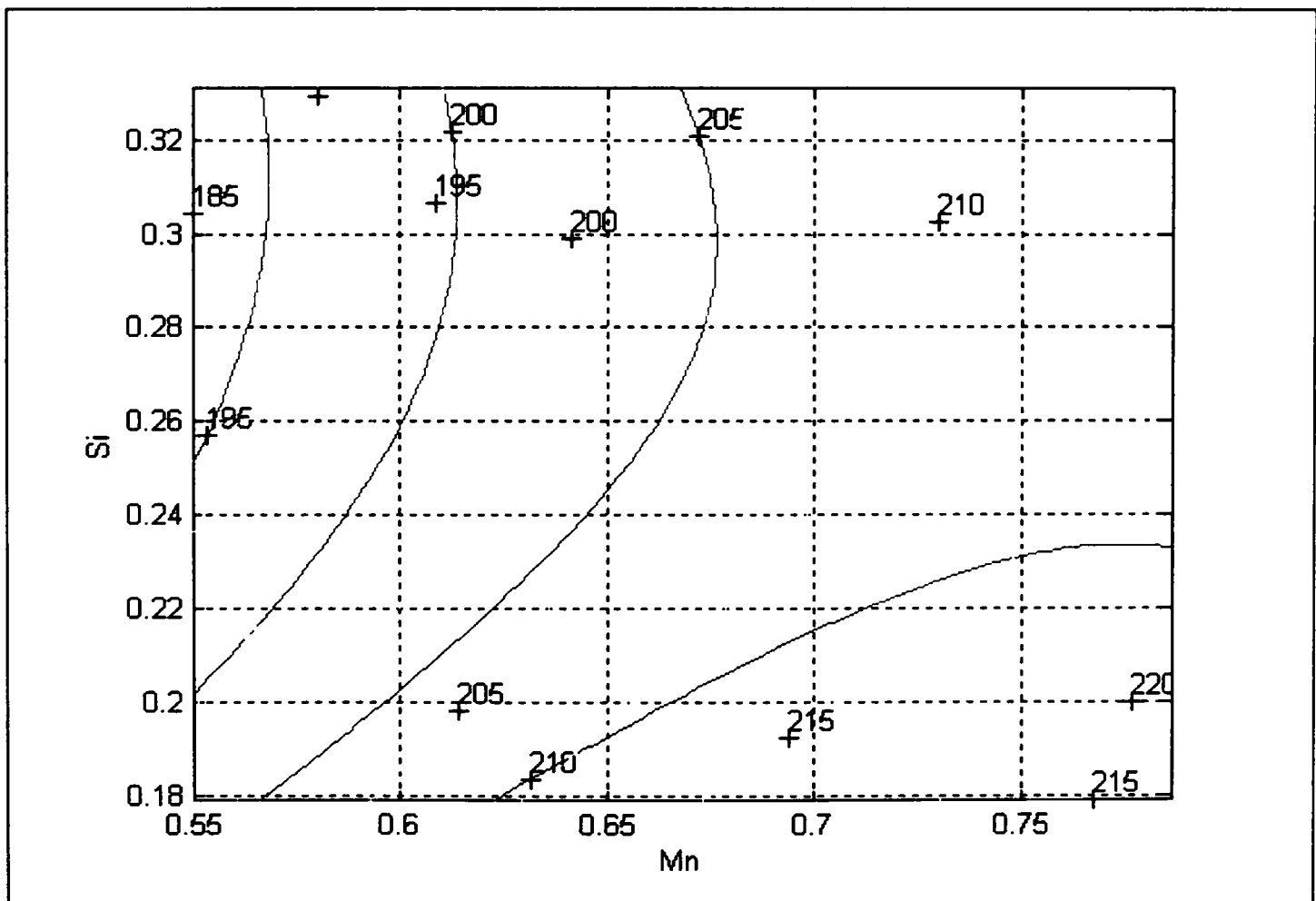
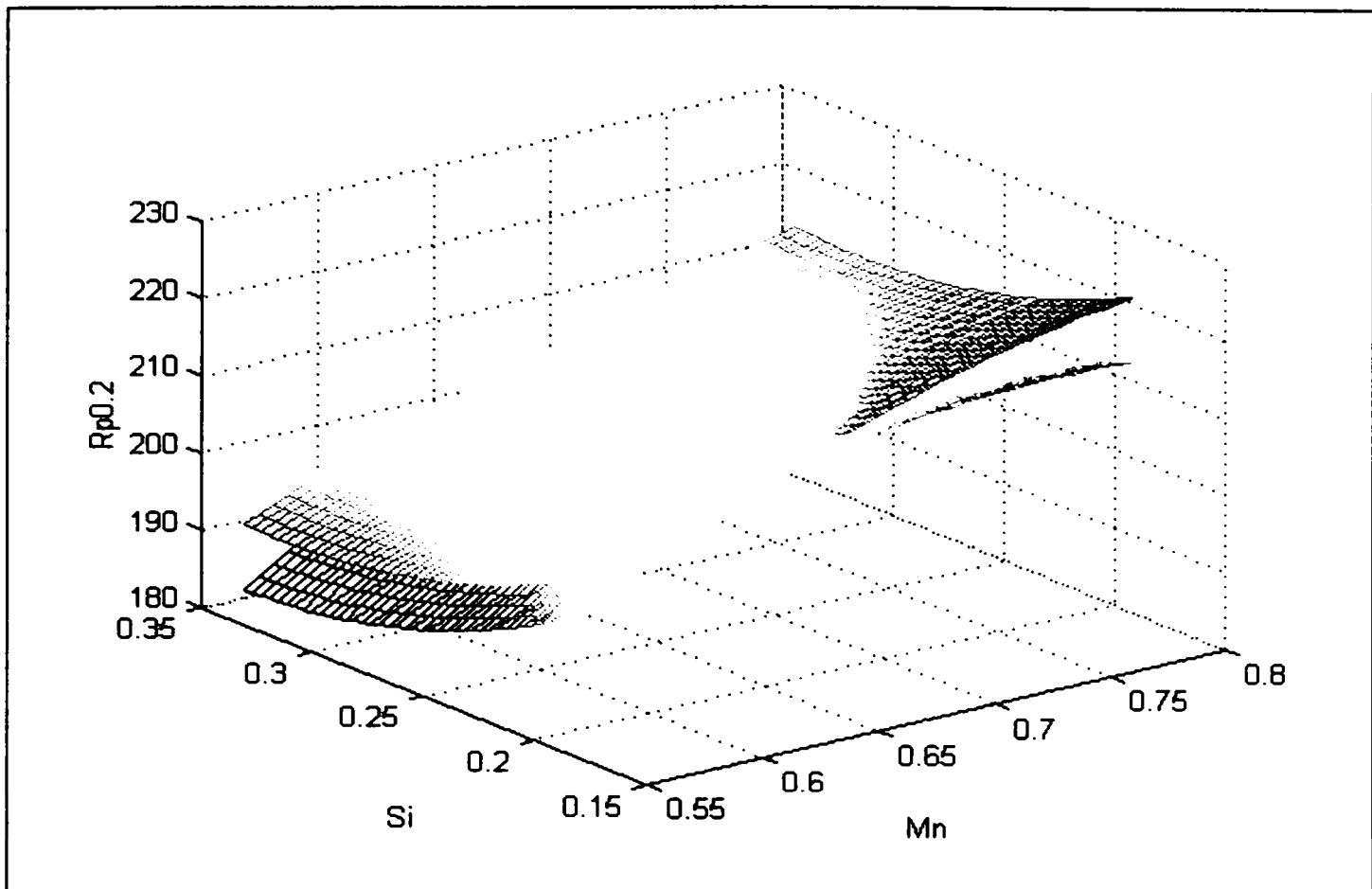


Fig.5.18. Delimitarea domeniului optim pentru limita de curgere tehnice  $R_{p0.2/450}$  în funcție de conținutul de siliciu și mangan, considerând procentul de carbon mediu

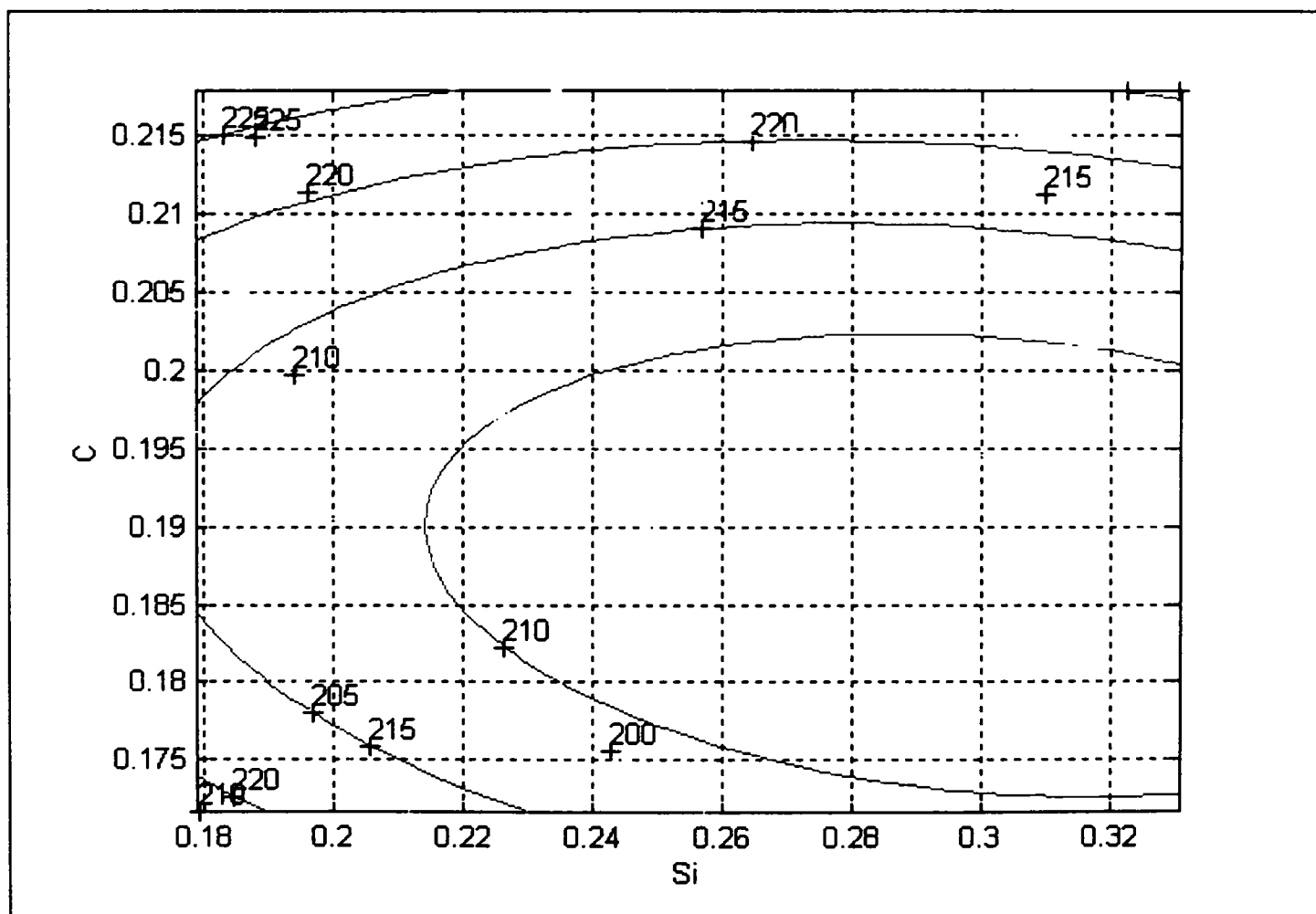
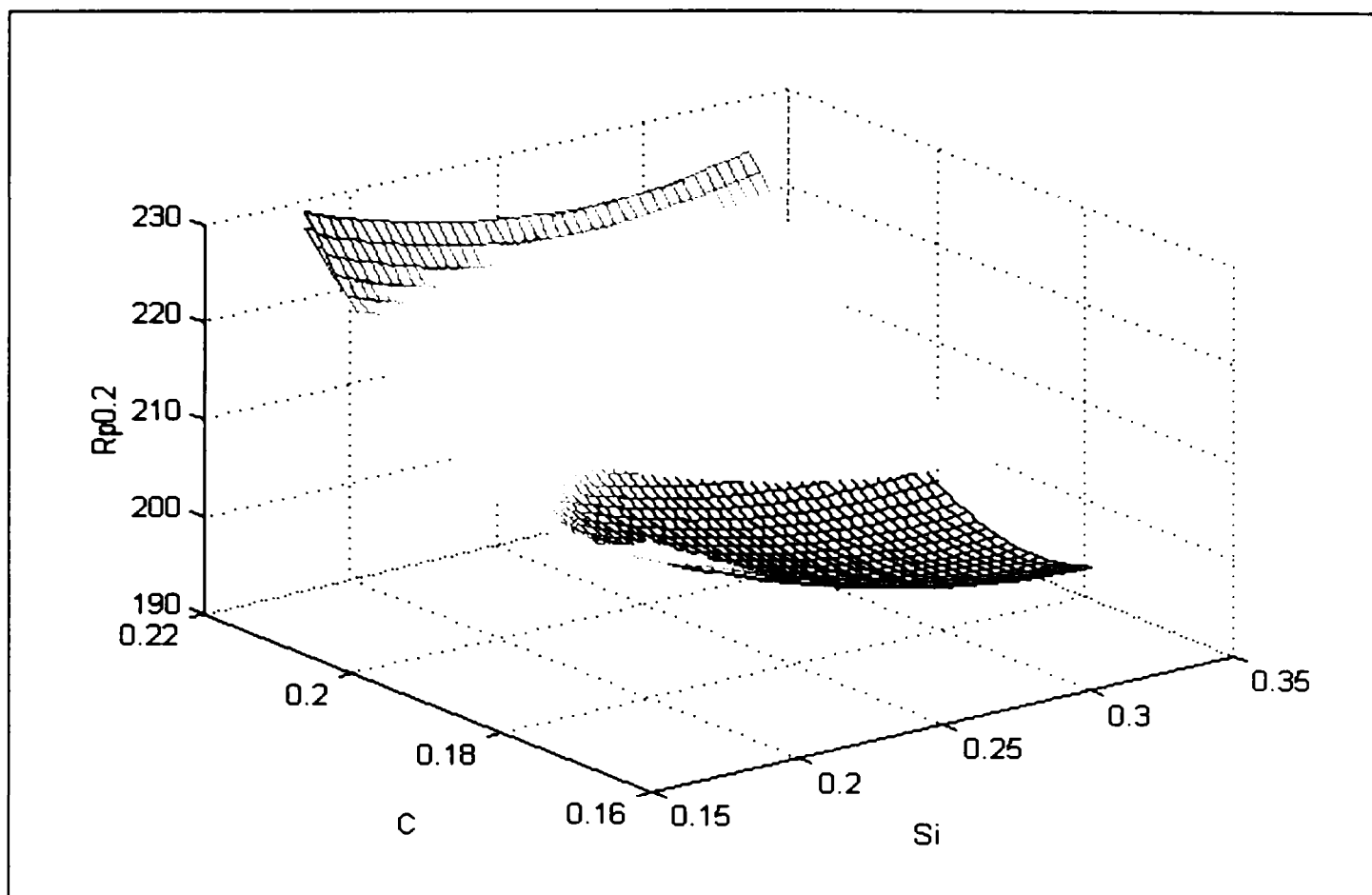


Fig.5.19. Delimitarea domeniului optim pentru limita de curgere tehnice  $R_{p0.2/450}$  în funcție de conținutul de siliciu și carbon, considerând procentul de mangan mediu

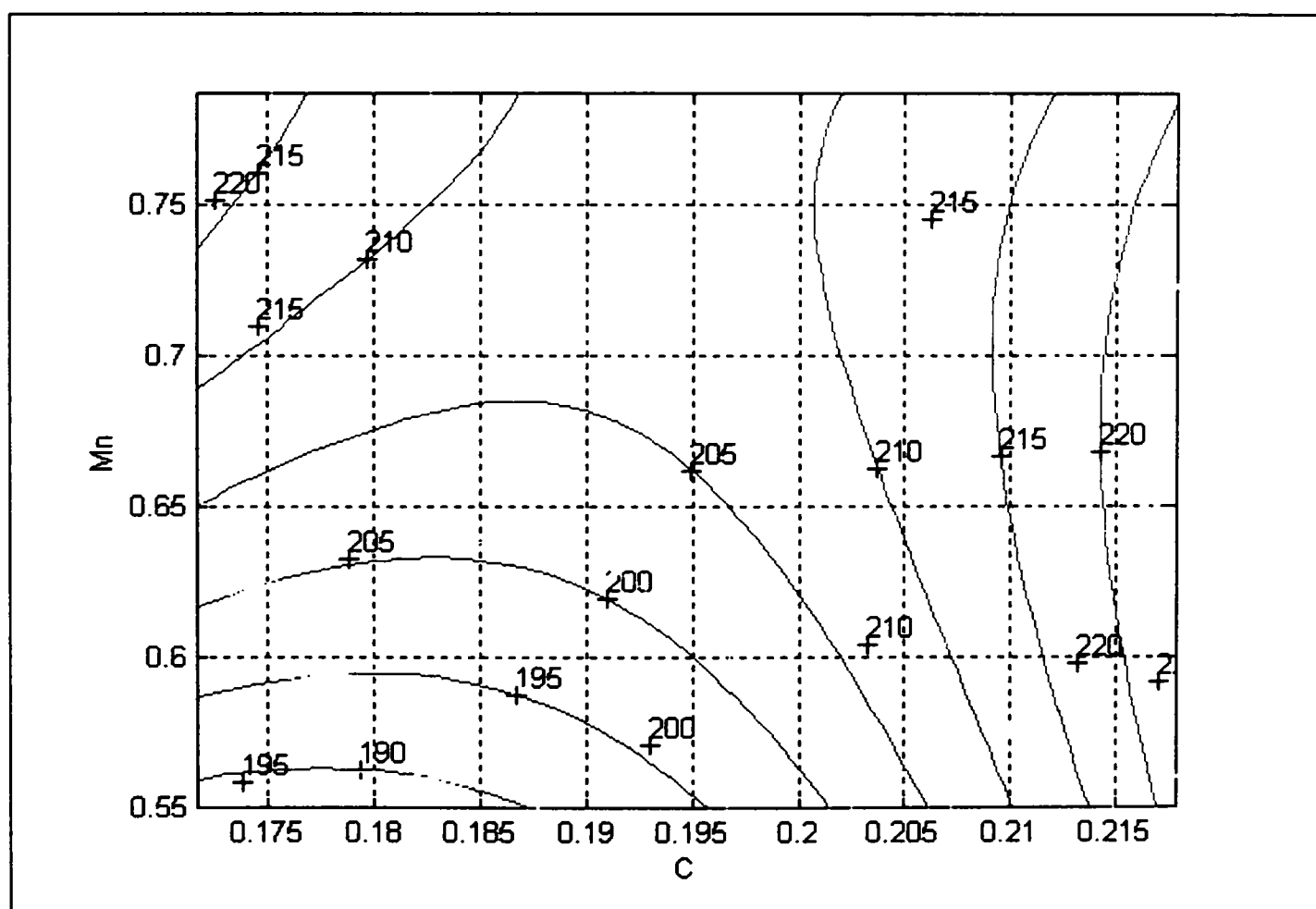
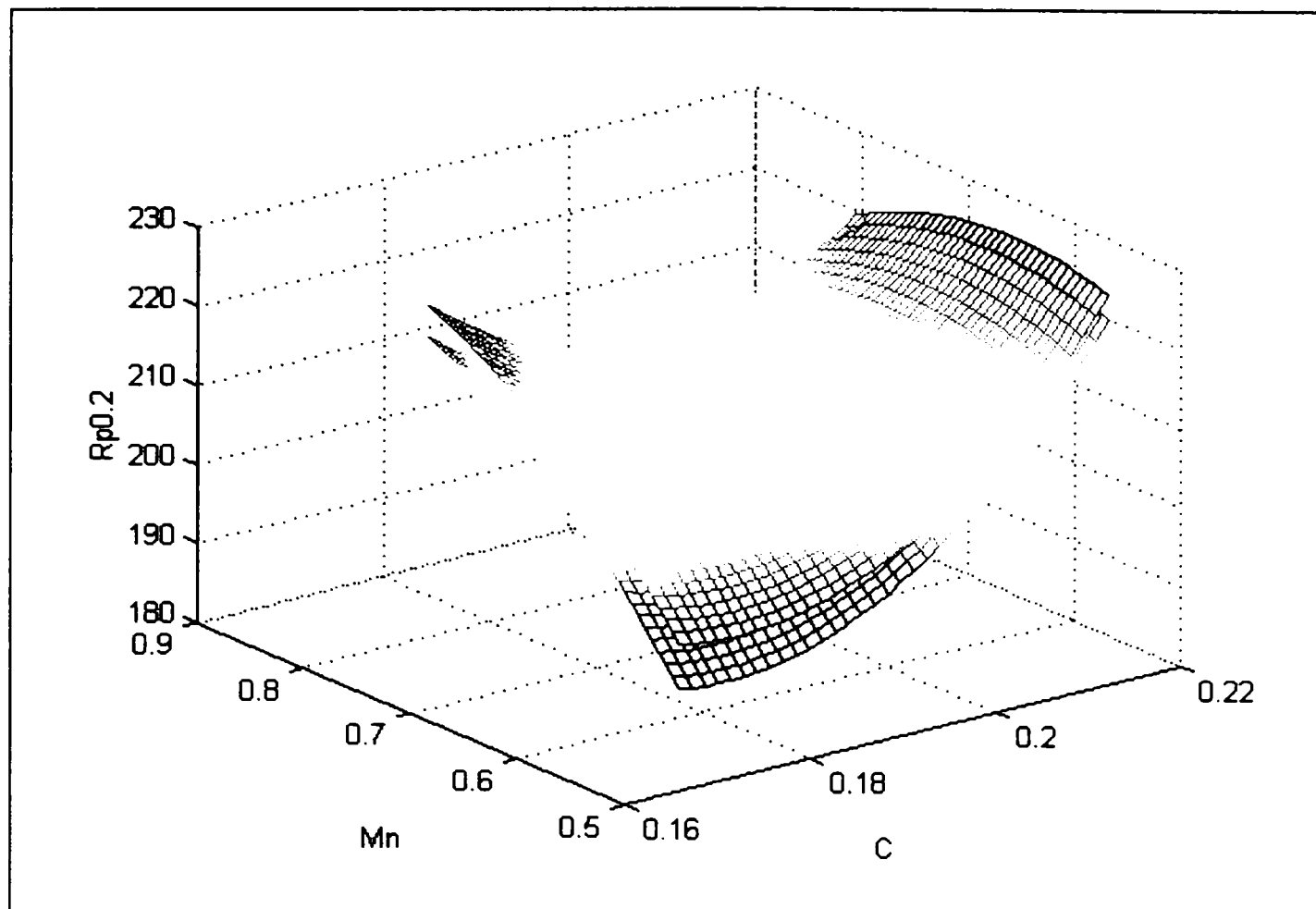


Fig.5.20. Delimitarea domeniului optim pentru limita de curgere tehnică  $R_{p0,2/450}$  în funcție de conținutul de carbon și mangan, considerând procentul de siliciu mediu



Rezultatele astfel obținute permit determinarea procentului optim între elementele C, Mn, Si ale compoziției chimice a oțelului OLT 45K, astfel încât oțelul să fie elaborat cu anumite caracteristici mecanice impuse.

Datorită volumului mare de date obținute dintr-o astfel de prelucrare a datelor experimentale, ne-am oprit, în cadrul prezentei lucrări doar la caracteristica mecanică  $R_{p0,2/450}$ , care trebuie garantată de producătorul de metal.

Analiza a fost efectuată doar între 3 elemente ale compoziției chimice, ea putând fi extinsă și altor mărci de oțeluri, considerând pe rând câte unul din ele având valoare medie.

**NOTĂ:** În figurile notate cu "...b" sunt prezentate liniile de nivel aferente suprafețelor din figurile notate cu "...a", pentru zonele în care caracteristica studiată are valori maxime.

Din graficele 5.15.a și 5.15.b, considerând %C ca medie, se poate spune că obțin valori maxime ale caracteristicii  $R_{p0,2/450}$  ( $215 \text{ N/mm}^2$ ) pentru procente de Mn peste 0,75% și Si în proporție de 0,18%.

Din graficele 5.16.a și 5.16.b, considerând %Mn ca medie, se poate spune că obțin valori maxime ale caracteristicii  $R_{p0,2/450}$  ( $215 \text{ N/mm}^2$ ) pentru procente de C cuprinse între 0,175% și 0,2% și Si în proporție de 0,18%, valori care sunt medii față de limita inferioară a compoziției impusă de standard (pentru carbon) și aproape de limita inferioară pentru % de Si.

Din graficele 5.17.a și 5.17.b, considerând %Si ca medie, se poate spune că pentru valori ale carbonului de 0,17% și Mn aproape 0,80%, caracteristica  $R_{p0,2/450}$  prezintă valoarea maximă de  $220 \text{ N/mm}^2$ .

Graficele 5.18, 5.19 și 5.20 prezintă suprapuneri între rezultatele obținute anterior și dau intervalele optime între care poate fi ales procentul de element al compoziției chimice dorit de producător.

## 5.2. Încercări de duritate

Încercările experimentale efectuate în cadrul prezentei lucrări au cuprins trei mărci de oțeluri termorezistente, din categoria celor utilizate la confecționarea conductelor de abur, și anume: OLT 35K, OLT 45K respectiv 16Mo3.

Epruvetele utilizate, compoziția chimică și analizele metalografice efectuate asupra acestor oțeluri sunt prezentate detaliat în subcapitolul 2.3.2.4.

Încercările au fost efectuate pe un durometru Brinell produs de "Balanța" Sibiu, iar pentru efectuarea încercărilor au fost necesare unele modificări ale capului de încărcare, precum și realizarea unor piese ajutătoare pentru efectuarea încercărilor, prezentate în subcapitolul 3.2.3.

Încălzirea epruvetelor s-a realizat într-o incintă, proiectată și realizată de către autoare, care este prezentată de asemenea detaliat în capitolul 3.

În continuare se prezintă rezultatele încercărilor experimentale efectuate.

Epruvetele normalizate au fost încercate la temperatura ambiantă și la temperaturi ridicate de până la  $+500^\circ\text{C}$ .

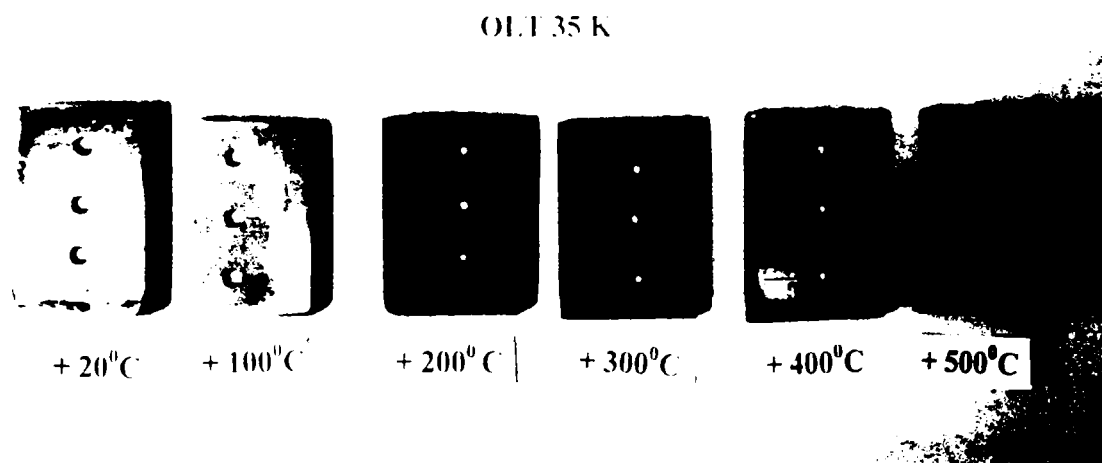
După ce epruvetele au fost încercate s-a procedat la măsurarea a câte doi diametri perpendiculari ai fiecărei amprente, s-a calculat diametrul mediu și din tabele [154] a rezultat valoarea durității Brinell.

Rezultatele măsurătorilor, valorile calculate și mărimea durtății sunt prezentate în tabelele 5.15; 5.16 respectiv 5.17, pentru fiecare marcă de oțel.

Cu valorile durtăților cuprinse în tabele s-au trasat curbele de variație ale durtății în funcție de temperatura de încercare pentru fiecare marcă de oțel, prezentate în fig.5.21.

### 5.2.1. Încercarea de duritate a oțelului OLT 35K

În poza 5.6. sunt prezentate epruvetele din OLT 35K, după încercările de duritate la temperaturi ridicate: +20°C; +100°C; +200°C; +300°C; +400°C; +500°C.



Poza 5.6. Lot de epruvete din OLT 35K, material neutilizat, încercate la temperaturi ridicate

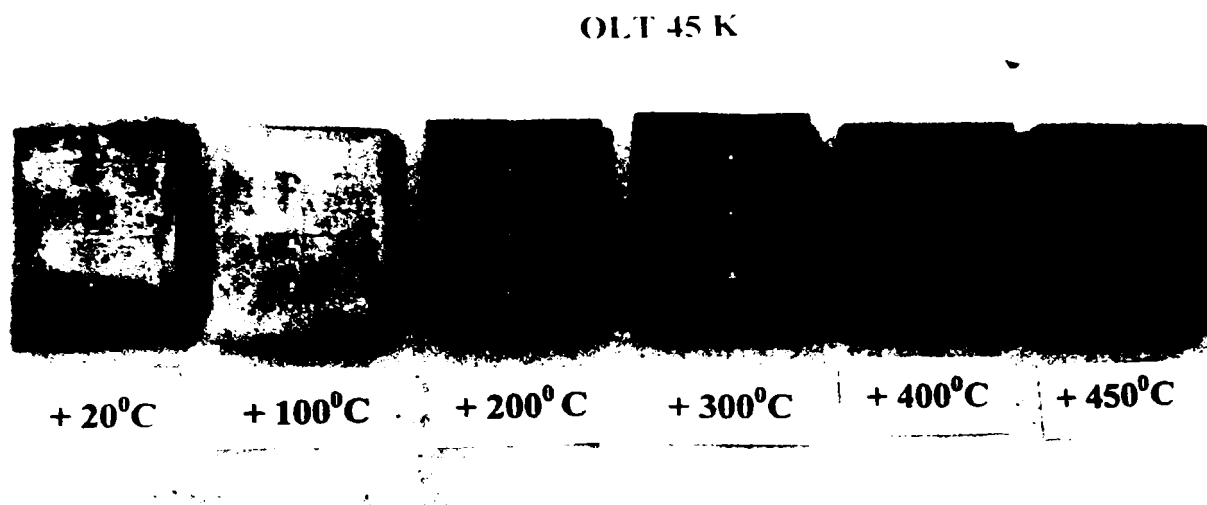
Tabelul 5.15

Duritatea Brinell, la temperaturi ridicate, a oțelului OLT 35K, după normalizare

Nr. crt.	Temperatura de încercare [°C]	Diametrul [mm]				Duritatea Brinell [HBS]				
		d	Amprenta			Media	Amprenta			Media
			1	2	3		1	2	3	
1	+20	d <sub>1</sub>	5,14	5,18	5,16	5,18	134	132	133	132
		d <sub>2</sub>	5,18	5,22	5,20		132	130	131	
		d <sub>m</sub>	5,16	5,20	5,18		133	131	132	
2	+100	d <sub>1</sub>	4,71	4,67	4,69	4,676	162	165	164	164,33
		d <sub>2</sub>	4,73	4,61	4,65		161	170	167	
		d <sub>m</sub>	4,72	4,64	4,67		161	167	165	
3	+200	d <sub>1</sub>	4,54	4,51	4,61	4,533	175	178	170	176
		d <sub>2</sub>	4,48	4,52	4,55		180	177	174	
		d <sub>m</sub>	4,51	4,51	4,58		178	178	172	
4	+300	d <sub>1</sub>	4,78	4,80	4,76	4,765	157	156	158	158
		d <sub>2</sub>	4,75	4,78	4,74		159	157	161	
		d <sub>m</sub>	4,476	4,79	4,74		158	156	160	
5	+400	d <sub>1</sub>	4,92	4,86	4,98	4,923	148	152	144	147,66
		d <sub>2</sub>	4,95	4,90	4,93		146	149	147	
		d <sub>m</sub>	4,935	4,88	4,955		147	150	146	
6	+450	d <sub>1</sub>	5,17	5,17	5,18	5,156	133	133	132	133,66
		d <sub>2</sub>	5,14	5,10	5,20		134	137	131	
		d <sub>m</sub>	5,15	5,13	5,19		134	135	132	

### 5.2.2. Încercarea de duritate a oțelului OLT 45K

În poza 5.7. sunt prezentate epruvetele din OLT 45K, după încercările de duritate la temperaturi ridicate: +20<sup>0</sup>C; +100<sup>0</sup>C; +200<sup>0</sup>C; +300<sup>0</sup>C; +400<sup>0</sup>C; +500<sup>0</sup>C.



**Poza 5.7. Lot de epruvete din OLT 45K, material neutilizat, încercate la temperaturi ridicate**

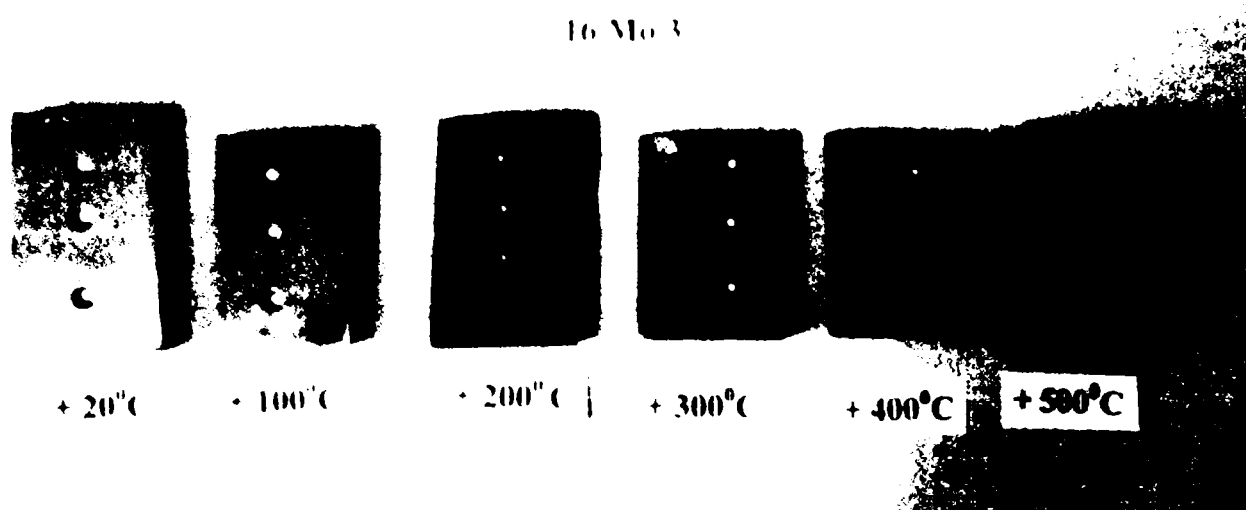
**Tabelul 5.16**

#### Duritatea Brinell, la temperaturi ridicate, a oțelului OLT 45K, după normalizare

Nr. crt.	Temperatura de încercare [°C]	Diametrul [mm]				Duritatea Brinell [HBS]				
		d	Amprenta			Media	Amprenta			Media
			1	2	3		1	2	3	
1	+20	d <sub>1</sub>	5,25	5,24	5,30	5,263	128	129	126	127,66
		d <sub>2</sub>	5,25	5,28	5,26		128	127	128	
		d <sub>m</sub>	5,25	5,26	5,28		128	128	127	
2	+100	d <sub>1</sub>	4,65	4,82	4,79	4,705	167	154	156	162,66
		d <sub>2</sub>	4,57	4,71	4,69		173	162	164	
		d <sub>m</sub>	4,61	4,765	4,74		170	158	160	
3	+200	d <sub>1</sub>	4,52	4,47	4,46	4,520	177	181	182	177
		d <sub>2</sub>	4,58	4,56	4,54		172	174	175	
		d <sub>m</sub>	4,55	4,51	4,50		174	178	179	
4	+300	d <sub>1</sub>	4,73	4,75	4,73	4,738	161	159	161	160,33
		d <sub>2</sub>	4,76	4,63	4,78		158	164	157	
		d <sub>m</sub>	4,745	4,715	4,755		160	162	159	
5	+400	d <sub>1</sub>	4,92	4,92	5,05	4,94	148	148	140	146,33
		d <sub>2</sub>	4,90	4,92	4,94		149	148	146	
		d <sub>m</sub>	4,91	4,92	4,99		148	148	143	
6	+450	d <sub>1</sub>	5,34	5,22	5,21	5,245	124	130	130	128,66
		d <sub>2</sub>	5,30	5,20	5,20		126	131	131	
		d <sub>m</sub>	5,32	5,21	5,205		125	130	131	

### 5.2.3. Încercarea de duritate a oțelului 16Mo3

În poza 5.8. sunt prezentate epruvetele din 16Mo3, după încercările de duritate la temperaturi ridicate: +20<sup>0</sup>C; +100<sup>0</sup>C; +200<sup>0</sup>C; +300<sup>0</sup>C; +400<sup>0</sup>C; +500<sup>0</sup>C.



**Poza 5.8. Lot de epruvete din 16Mo3, material neutilizat,  
încercate la temperaturi ridicate**

**Tabelul 5.17**

**Duritatea Brinell, la temperaturi ridicate, a oțelului 16Mo3, după normalizare**

Nr. crt.	Temperatura de încercare [°C]	Diametrul [mm]				Duritatea Brinell [HBS]				
		d	Amprenta			Media	Amprenta			Media
			1	2	3		1	2	3	
1	+20	d <sub>1</sub>	5,59	5,37	5,39	5,436	112	122	121	119
		d <sub>2</sub>	5,53	5,39	5,35		114	121	123	
		d <sub>m</sub>	5,56	5,38	5,37		113	122	122	
2	+100	d <sub>1</sub>	4,62	4,63	4,75	4,69	169	164	159	164
		d <sub>2</sub>	4,60	4,70	4,79		170	163	156	
		d <sub>m</sub>	4,61	4,69	4,77		170	164	158	
3	+200	d <sub>1</sub>	4,87	4,84	4,83	4,825	151	153	154	154
		d <sub>2</sub>	4,82	4,80	4,79		154	156	156	
		d <sub>m</sub>	4,845	4,82	4,81		153	154	155	
4	+300	d <sub>1</sub>	4,98	4,94	5,00	4,958	144	148	143	145,33
		d <sub>2</sub>	4,95	4,90	4,98		146	149	144	
		d <sub>m</sub>	4,965	4,92	4,99		145	148	143	
5	+400	d <sub>1</sub>	4,78	4,86	4,86	4,84	157	152	152	153,33
		d <sub>2</sub>	4,81	4,93	4,80		155	147	156	
		d <sub>m</sub>	4,795	4,825	4,83		156	150	154	
6	+450	d <sub>1</sub>	5,63	5,59	5,63	5,613	110	112	110	110,66
		d <sub>2</sub>	5,67	5,57	5,59		108	113	112	
		d <sub>m</sub>	5,65	5,58	5,61		109	112	111	

Din datele obținute pentru încercările de duritate, precum și din analiza graficului din figura 5.21. se observă că, pentru oțelurile încercate, duritatea prezintă o variație asemănătoare cu rezistența la rupere la tracțiune  $R_m$ , adică duritatea Brinell crește odată cu creșterea temperaturii, până la 200°C, după care începe să scadă.

Acest lucru ne face să concluzionăm că se poate determina rezistența la rupere la tracțiune a unui oțel, cunoscând duritatea acestuia și invers. De altfel, literatura de specialitate dă relații între cele două caracteristici.

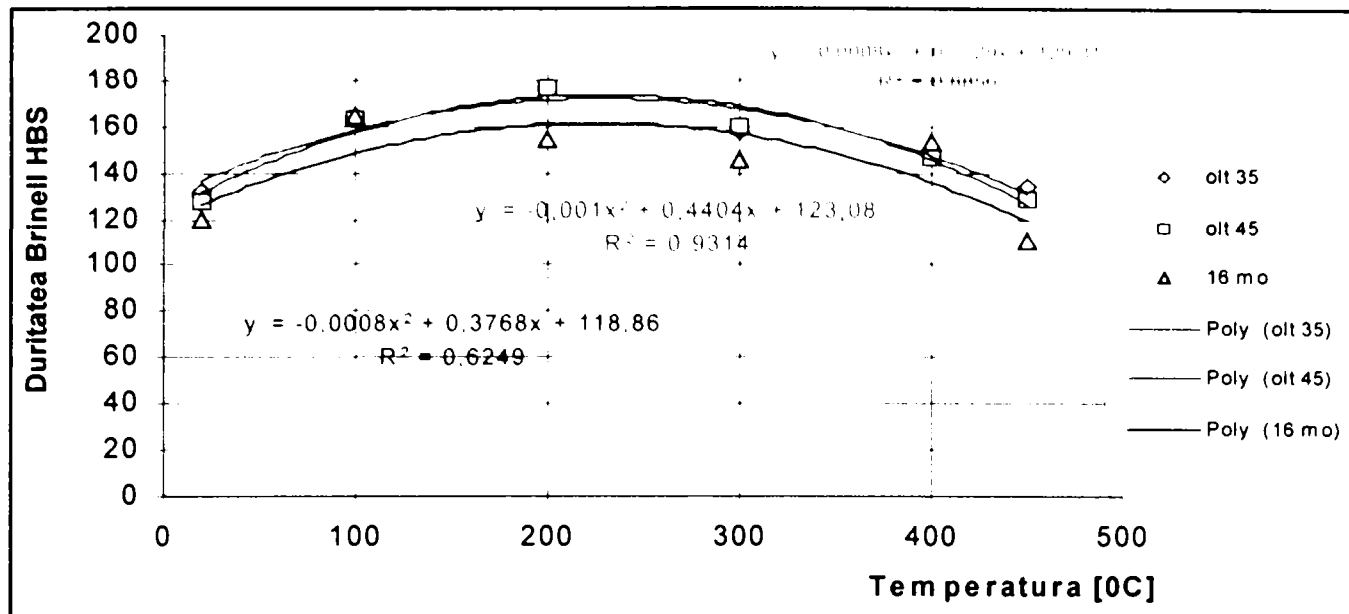


Fig.5.21. Curbele de variație a durității în funcție de temperatură, pentru oțelurile încercate

### 5.3. Încercarea de încovoiere prin șoc

Pentru a demonstra caracterul tenace al oțelurilor luate în studiu, în condiții de temperaturi ridicate, s-au efectuat și încercări la încovoierea prin șoc, pe epruvete prelevate după direcția longitudinală respectiv transversală a fibrelor de laminare.

S-au utilizat epruvete cu lățimea  $b = 10$  mm, cu creștătura V și având adâncimea creștăturii  $h = 2$  mm și epruvete cu creștătura U, având adâncimea  $h = 2$  mm, prevăzute în normativele de produs pentru oțelurile OLT 35K și OLT 45K.

Încercarea la încovoiere prin șoc s-a realizat pe loturi de câte trei epruvete, pentru fiecare palier de temperatură impus, din intervalul  $+20^{\circ}\text{C} \dots +500^{\circ}\text{C}$ .

Valorile și rezultatele experimentale, determinate pentru epruvetele încercate, sunt prezentate în continuare.

#### 5.3.1. Încercarea de încovoiere prin șoc a oțelului 16 Mo3

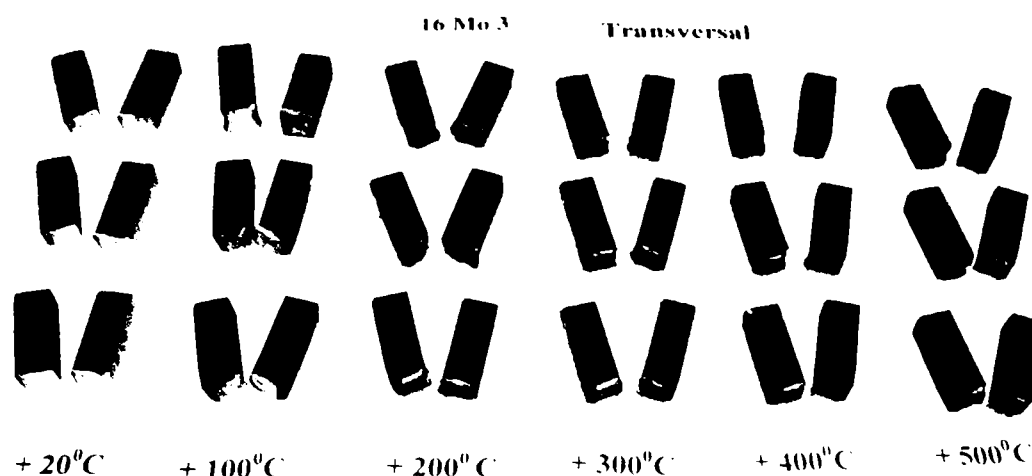
Epruvetele utilizate pentru încercări au fost prelevate dintr-o șarjă de oțel 16Mo3 a cărei compoziție chimică este prezentată în tabelul 5.18. Prelucrarea fețelor epruvetelor s-a realizat prin așchiere, iar creștătura s-a executat prin burghiere (găurire) cu ajutorul unui dispozitiv adecvat.

Tabelul 5.18

Compoziția chimică a oțelului 16 Mo3

Material	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Mo
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
16Mo3	0,16	0,56	0,20	0,020	0,016	0,20	0,10	0,10	0,26
STAS	0,12...	0,50...	0,15...	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	0,25...
8184-80	0,20	0,80	0,35	0,040	0,040	0,30	0,30	0,30	0,40

Încercările s-au efectuat la următoarele temperaturi:  $+20^{\circ}\text{C}$ ;  $+100^{\circ}\text{C}$ ;  $+200^{\circ}\text{C}$ ;  $+300^{\circ}\text{C}$ ;  $+400^{\circ}\text{C}$ ;  $+500^{\circ}\text{C}$ , pe epruvete prelevate transversal și longitudinal față de fibra de laminare. Pentru fiecare treaptă de temperatură s-au utilizat câte 3 epruvete.



**Poza 5.9. Lot de epruvete din 16Mo 3, material neutilizat, prelevate transversal, încercate la temperaturi ridicate**

Valorile experimentale obținute în urma încercărilor sunt prezentate în tabelul 5.19.

**Tabelul 5.19**

**Valorile energiilor de rupere - pentru epruvetele prelevate după direcțiile longitudinală respectiv transversală, ale oțelului 16Mo3**

Temp. [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Energia de rupere KV, pentru epruvete prelevate longitudinal, [J]			Media	Temp. [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Energia de rupere KV pentru epruvete prelevate transversal, [J]			Media
$+20^{\circ}\text{C}$	31	32	33	<b>32,00</b>	$+20^{\circ}\text{C}$	40	34	36	<b>37,00</b>
$+100^{\circ}\text{C}$	136	128	132	<b>132,00</b>	$+100^{\circ}\text{C}$	76	78	88	<b>80,66</b>
$+200^{\circ}\text{C}$	118	102	119	<b>113,00</b>	$+200^{\circ}\text{C}$	70	60	66	<b>65,33</b>
$+300^{\circ}\text{C}$	78	84	81	<b>81,00</b>	$+300^{\circ}\text{C}$	47	48	48	<b>47,66</b>
$+400^{\circ}\text{C}$	92	94	95	<b>93,66</b>	$+400^{\circ}\text{C}$	53	62	54	<b>56,33</b>
$+500^{\circ}\text{C}$	76	77	75	<b>76,00</b>	$+500^{\circ}\text{C}$	58	42	64	<b>54,66</b>

Epruvetele s-au încălzit într-o incintă menținându-se la respectiva temperatură timp de 10 minute, astfel încât abaterile de temperatură din ultimele 5 minute s-au încadrat în abaterile limită admise, [156].

Forma geometrică și dimensiunile epruvetelor sunt prezentate în subcapitolul 2.3.

Incinta folosită pentru încălzirea epruvetelor este descrisă în Capitolul 3.

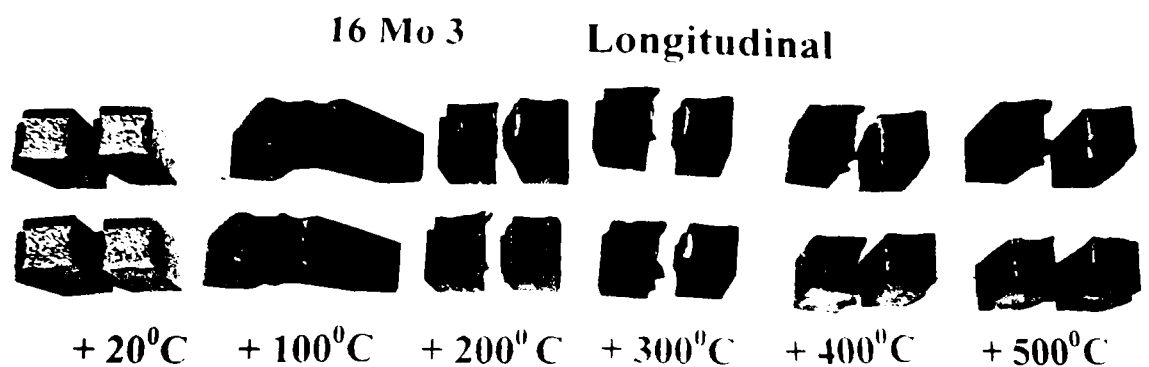
Măsurarea temperaturii epruvetelor s-a efectuat cu ajutorul unui termocuplu Cr-Al, descris în subcapitolul 2.4.

Manevrarea epruvetelor s-a făcut cu un clește de construcție specială, a cărui parte activă s-a încălzit 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 incintă.

În urma încercărilor efectuate s-au determinat energiile absorbite prin rupere KV, pentru

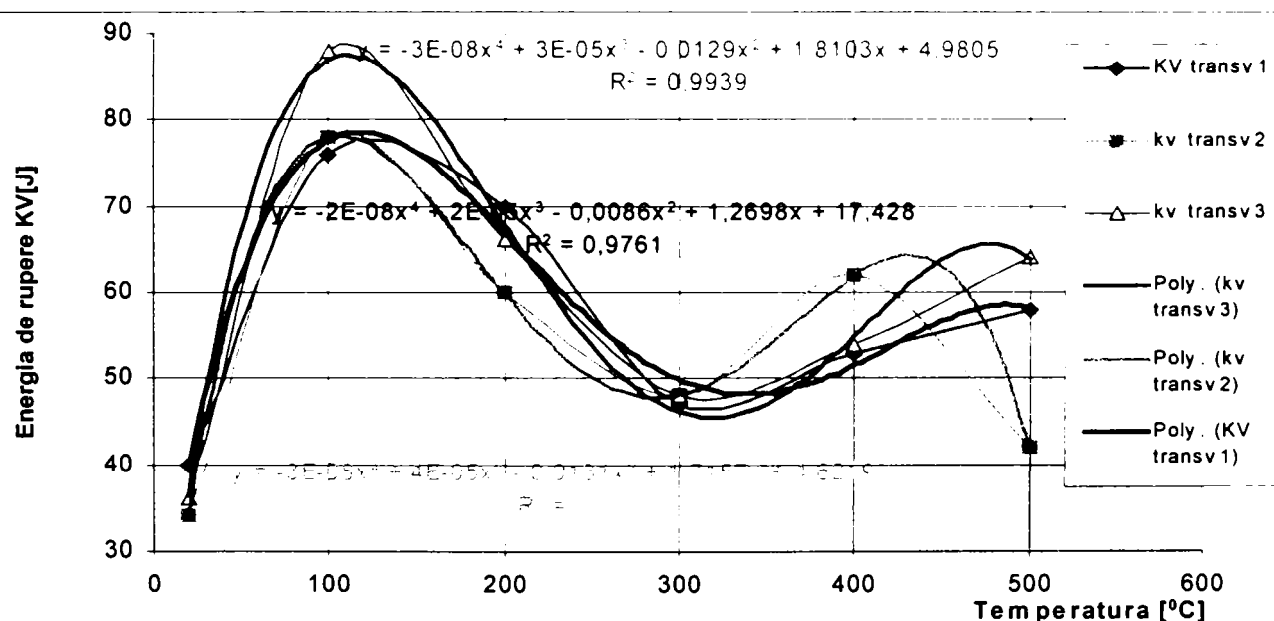
epruvetele prelevate longitudinal respectiv transversal, față de direcția de laminare.

În poza.5.9 se prezintă un lot de epruvete, din 16Mo3, prelevate transversal față de direcția de laminare, încercate la temperaturi ridicate, iar în poza 5.10 un lot din epruvetele prelevate longitudinal.



**Poza 5.10. Lot de epruvete din 16Mo 3, material neutilizat, prelevate longitudinal, încercate la temperaturi ridicate**

Variația energiilor de rupere în funcție de temperatura de încercare este prezentată în fig. 5.22, astfel: în fig. 5.22.a, pentru epruvetele prelevate transversal, iar în fig. 5.22.b pentru epruvetele prelevate longitudinal.



**Fig.5.22.a. Variația energiei de rupere, pentru epruvete prelevate transversal, valori experimentale și funcții de aproximare, pentru 16Mo3**

S-au realizat două tipuri de curbe, una experimentală, prin puncte, și una prin interpolare, cu ajutorul funcției polinomiale de gradul 4. Ambele reprezentări grafice realizate au aproximativ aceeași formă, iar din analiza lor se poate concluziona că energia de rupere KV respectă o lege de variație polinomială de gradul 4, deoarece coeficienții de corelație obținuți au valori între 0,99...și

chiar 1. O singură valoare obținută este de 0,97.

Se poate spune deci că energia de rupere KV crește odată cu creșterea temperaturii, înregistrându-se un maxim în jurul valorii de 120<sup>0</sup>C...130<sup>0</sup>C, după care scade, până la temperatura de 300<sup>0</sup>C. Peste această temperatură are din nou o tendință de creștere, mai puțin pronunțată ca la 100<sup>0</sup>C, (până la 450<sup>0</sup>C) după care începe să scadă. Explicația constă în faptul că, la solicitările dinamice, fenomenul de fragilitate la albastru, care apare la acest oțel, [49], se manifestă în jurul temperaturii de 400...500<sup>0</sup>C.

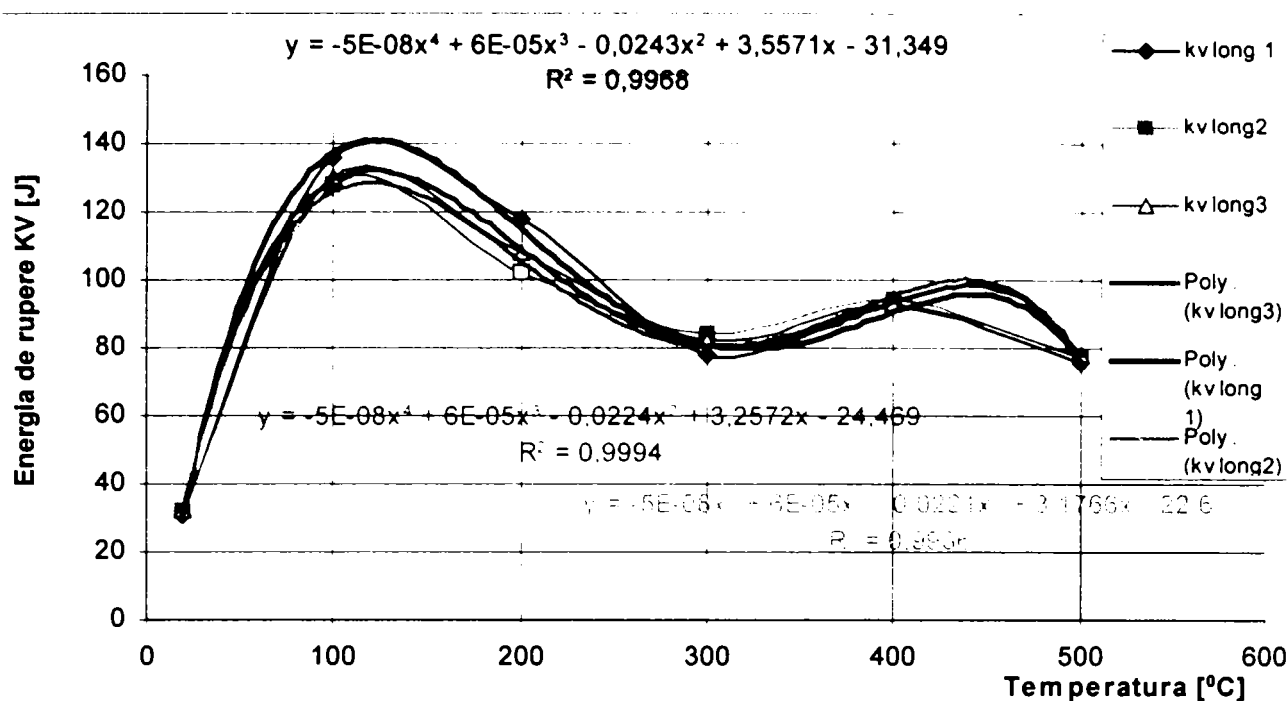


Fig.5.22.b.Variațiile energiei de rupere, pentru epruvete prelevate longitudinal, valori experimentale și funcții de aproximare, pentru 16Mo3

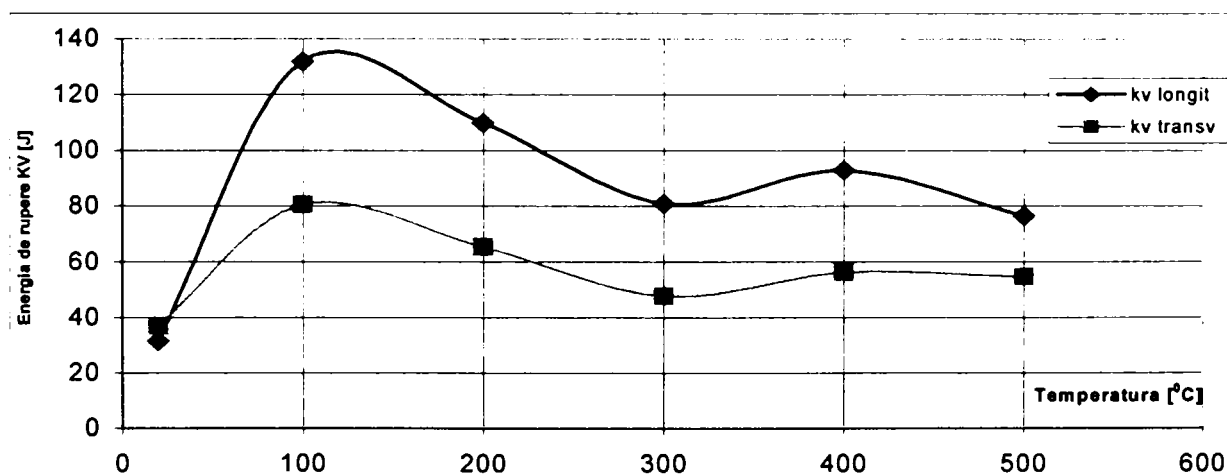


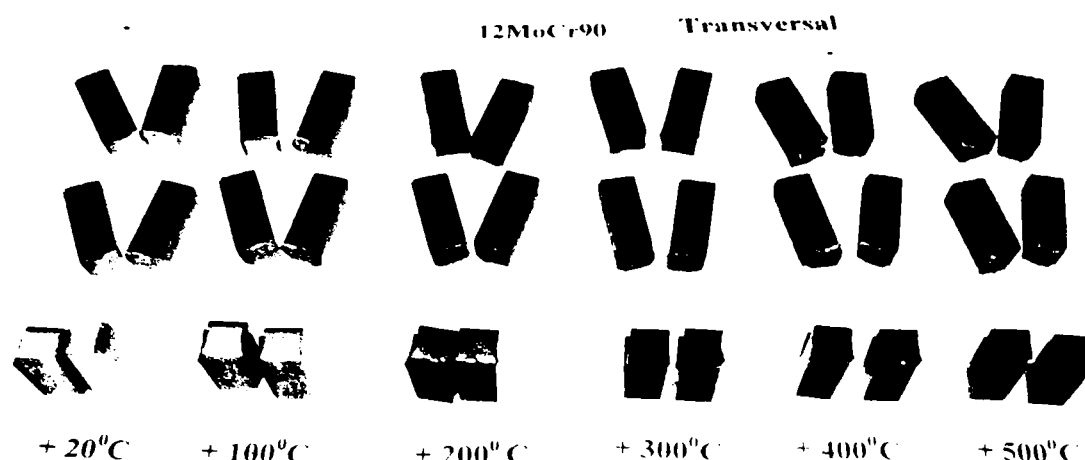
Fig.5.23.Variația energiei de rupere pentru epruvete prelevate longitudinal și transversal, funcție de temperatura de încercare, pentru 16Mo3

Pentru a studia tenacitatea acestui oțel, în funcție de modul de prelevare al epruvetelor (longitudinal sau transversal) s-a realizat graficul din fig. 5.23, din care se observă clar că la temperaturi ridicate energia de rupere pentru probele prelevate longitudinal este net superioară celei pentru probele prelevate transversal.



### 5.3.2. Încercarea de încovoiere prin șoc a oțelului 12MoCr90

Încercările s-au efectuat la următoarele temperaturi: +20<sup>0</sup>C; +100<sup>0</sup>C; +200<sup>0</sup>C; +300<sup>0</sup>C; +400<sup>0</sup>C; +500<sup>0</sup>C, pe epruvete prelevate transversal și longitudinal față de fibra de laminare. Pentru fiecare treaptă de temperatură s-au utilizat câte 3 epruvete.



Poza 5.11. Lot de epruvete din 12MoCr90, material neutilizat, prelevate transversal, încercate la temperaturi ridicate

Valorile experimentale obținute în urma încercărilor sunt prezentate în tabelul 5.20.

Tabelul 5.20

Valorile energiilor de rupere - pentru epruvetele prelevate după direcțiile longitudinală respectiv transversală, ale oțelului 12MoCr90

Temp. [°C]	Energia de rupere KV, pentru epruvete prelevate longitudinal, [J]			Media	Temp. [°C]	Energia de rupere KV pentru epruvete prelevate transversal, [J]			Media
+20 <sup>0</sup> C	132	142	140	<b>138,00</b>	+20 <sup>0</sup> C	40	51	43	<b>44,66</b>
+100 <sup>0</sup> C	146	149	148	<b>147,66</b>	+100 <sup>0</sup> C	52	60	61	<b>57,66</b>
+200 <sup>0</sup> C	174	192	180	<b>182,00</b>	+200 <sup>0</sup> C	54	62	54	<b>56,66</b>
+300 <sup>0</sup> C	175	156	170	<b>167,00</b>	+300 <sup>0</sup> C	62	68	52	<b>60,66</b>
+400 <sup>0</sup> C	172	172	172	<b>172,00</b>	+400 <sup>0</sup> C	86	70	72	<b>76,00</b>
+500 <sup>0</sup> C	169	166	168	<b>167,66</b>	+500 <sup>0</sup> C	66	67	64	<b>65,66</b>

Epruvetele s-au încălzit într-o incintă menținându-se la respectiva temperatură timp de 10 minute, astfel încât abaterile de temperatură din ultimele 5 minute s-au încadrat în abaterile limită admise, [156].

Forma geometrică și dimensiunile epruvetelor sunt prezentate în subcapitolul 2.3.

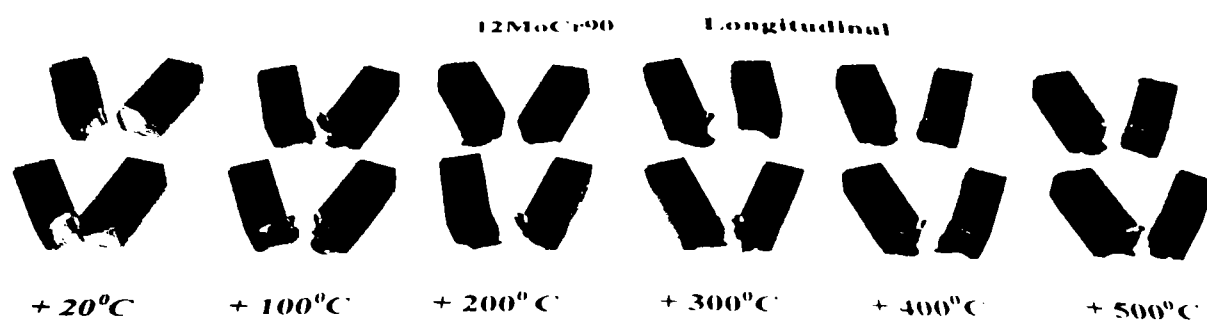
Incinta folosită pentru încălzirea epruvetelor este descrisă în Capitolul 3.

Măsurarea temperaturii epruvetelor s-a efectuat cu ajutorul unui termocuplu Cr-Al, descris în subcapitolul 2.4.

În urma încercărilor efectuate s-au determinat energiile absorbite prin rupere KV, pentru epruvetele prelevate longitudinal respectiv transversal, față de direcția de laminare.

În poza.5.11 se prezintă un lot de epruvete, din 12MoCr90, prelevate transversal față de

direcția de laminare, încercate la temperaturi ridicate, iar în poza 5.12 un lot din epruvetele prelevate longitudinal.



Poza 5.12. Lot de epruvete din 12MoCr90, material neutilizat, prelevate longitudinal, încercate la temperaturi ridicate

Variația energiilor de rupere în funcție de temperatura de încercare este prezentată în fig. 5.24. astfel: în fig. 5.24.a, pentru epruvetele prelevate transversal, iar în fig. 5.24.b pentru epruvetele prelevate longitudinal.

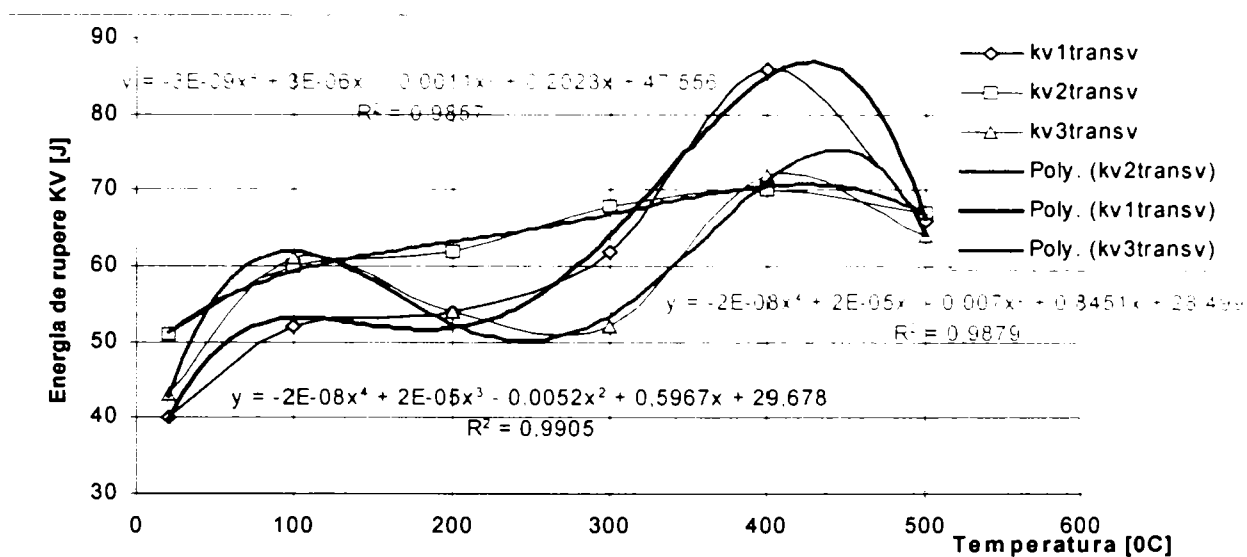


Fig.5.24.a.Variațiile energiei de rupere, pentru epruvetele prelevate transversal, valori experimentale și funcții de aproximare, pentru 12MoCr90

S-au realizat două tipuri de curbe, una experimentală, prin puncte, și una prin interpolare, cu ajutorul funcției polinomiale de gradul 2. Ambele reprezentări grafice realizate au aproximativ aceeași formă, iar din analiza lor putem concluziona că energia de rupere respectă o lege de variație polinomială de gradul 4 deoarece coeficienții de corelație obținuți au valori între 0,98...0,99.

Se poate spune deci că energia de rupere KV crește odată cu creșterea temperaturii, înregistrându-se un maxim în jurul valorii de 100°C după care scade, până la temperatura de 180°C...250°C. Peste această temperatură are din nou o tendință de creștere, mai pronunțată ca la 100°C, (până la 450°C) după care începe să scadă brusc. Aceași explicație constă în faptul că, la solicitările dinamice, fenomenul de fragilitate la albastru, care apare și la acest oțel, [49], se manifestă în jurul temperaturii de 400...500°C.

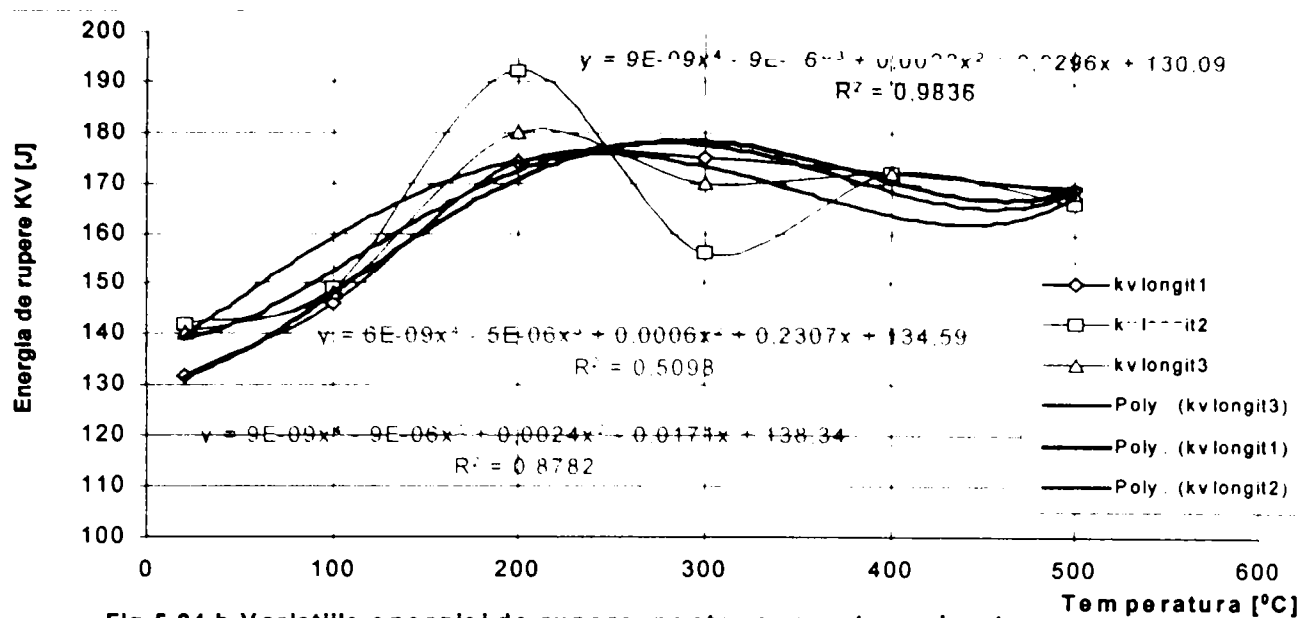


Fig.5.24.b. Variatiile energiei de rupere, pentru epruvete prelevate longitudinal, valori experimentale și funcții de aproximare, pentru 12MoCr90

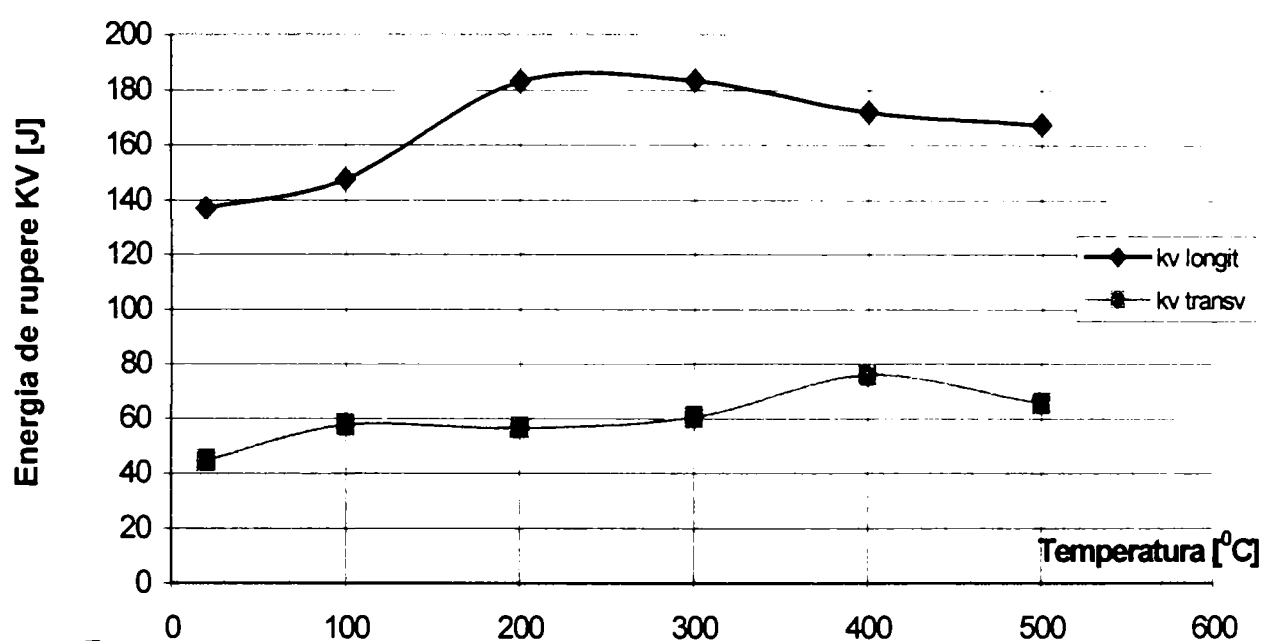


Fig.5.25. Variația energiei de rupere, pentru epruvete prelevate transversal și longitudinal, funcție de temperatura de încercare, pentru 12MoCr90

Experimental s-a constatat, prin trasarea graficelor prin puncte, că pentru marca de oțel studiată, există un maxim al energiei de rupere în jurul temperaturii de 200°C, pentru epruvetele prelevate longitudinal, dacă analizăm curba experimentală.

Pentru a studia tenacitatea acestui oțel, în funcție de modul de prelevare al epruvetelor (longitudinal sau transversal) s-a realizat graficul din fig. 5.25, din care se observă clar că la temperaturi ridicate, energia de rupere pentru probele prelevate longitudinal este net superioară celei pentru probele prelevate transversal. De asemenea pentru toate epruvetele încercate la diverse temperaturi, analizând aspectul suprafețelor de rupere se observă că acestea au o structură fibroasă, caracteristică materialelor tenace.

## 5.4. Încercarea la răsucire a oțelului 16 Mo3

### 5.4.1. 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 [88], [135].

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 .

Schema solicitării la răsucire, [136], pentru o bară (epruvetă) de secțiune circulară este prezentată în fig.5.26. 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  $\varphi$  care până la o anumită limită este proporțional cu distanța  $l$  dintre planurile cuplurilor [88]; [38] și [136].

Deformația unghiulară maximă, numită **lunecarea specifică** se calculează cu relația:

$$\gamma_{\max} = \frac{r \cdot \varphi}{l} = \frac{d \cdot \varphi}{2 \cdot l} \quad (5.4)$$

În timpul încercării la răsucire se măsoară (sau se înregistrează) momentul de răsucire aplicat epruvetei și unghiul de rotire  $\varphi$  între două secțiuni aflate la o distanță  $l$ , una față de cealaltă. Prin **curba caracteristică la răsucire** [88] se definește graficul care exprimă dependența între  $M_r$  și  $\varphi$ .

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.5.26.c.):

$$\tau_{\max} = \frac{M_r}{W_p} = \frac{16M_r}{(\pi d^3)} \quad (5.5)$$

Starea de tensiune din punctul A se prezintă pe un element de volum [88] schematizat în fig.5.26.d. Direcțiile principale ale tensiunilor din punctul A sunt 1; 2 respectiv 3, din fig.5.26.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  $45^\circ$  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.

De pe curba caracteristică (fig.7.26.b) se pot calcula tensiunile tangențiale maxime în epruvetă, la diferitele valori ale momentului de răsucire. În domeniul elastic sunt valabile relațiile (5.8) și (5.9), iar pentru domeniul plastic, tensiunea tangențială dintr-o epruvetă de secțiune

circulară cu diametrul  $d$  se calculează cu relația [88]; [135]:

$$\tau = \frac{4 \left( 3M_r + \varphi \frac{dM_r}{d\varphi} \right)}{(\pi d^3)} \quad (5.6)$$

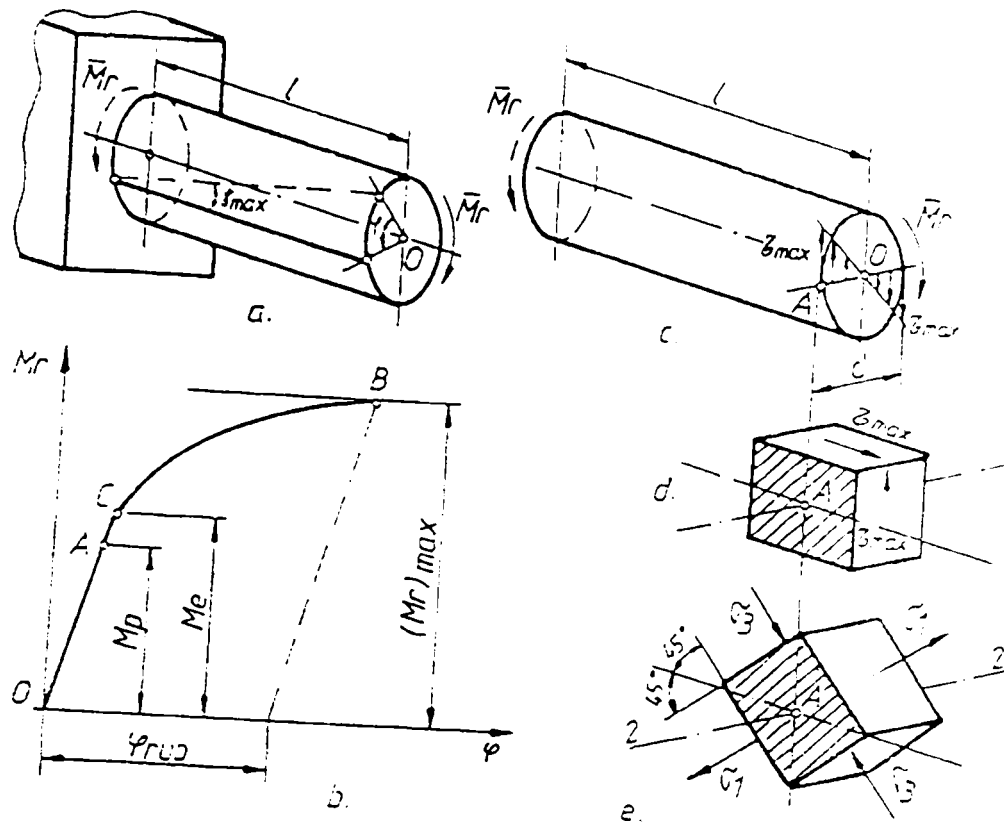


Fig.5.26. Elementele caracteristice solicitării la răsucire a epruvetelor de secțiune circulară

Tensiunea tangențială corespunzătoare momentului ruperii epruvetei (corespunzătoare punctului B) se numește **rezistență la răsucire**  $\tau_r$ , și deoarece punctul B se situează pe o zonă aproximativ orizontală a curbei caracteristice, cu  $dM_r/d\varphi = 0$ , rezultă:

$$\tau_r = \frac{12M_r}{(\pi d^3)} \quad (5.7)$$

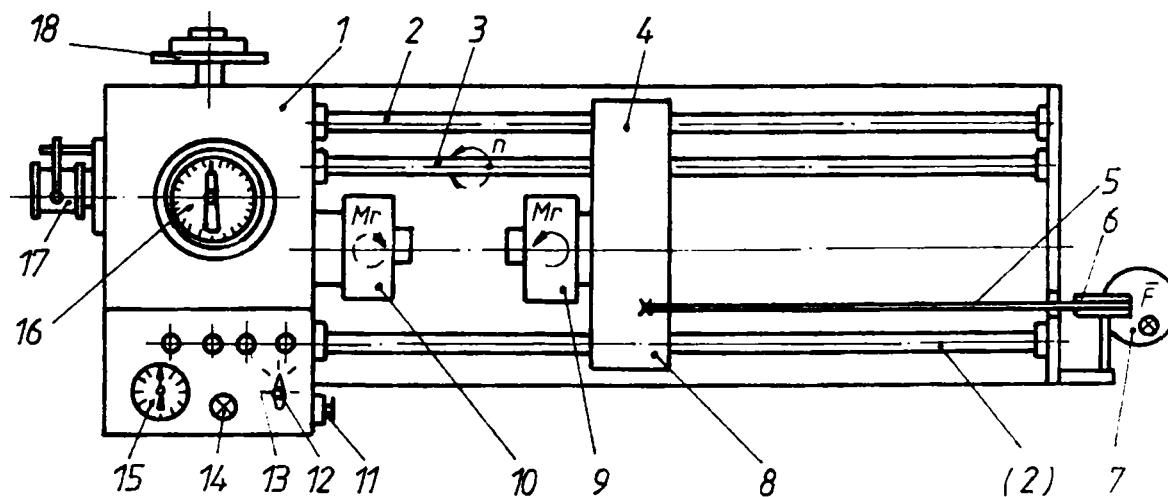
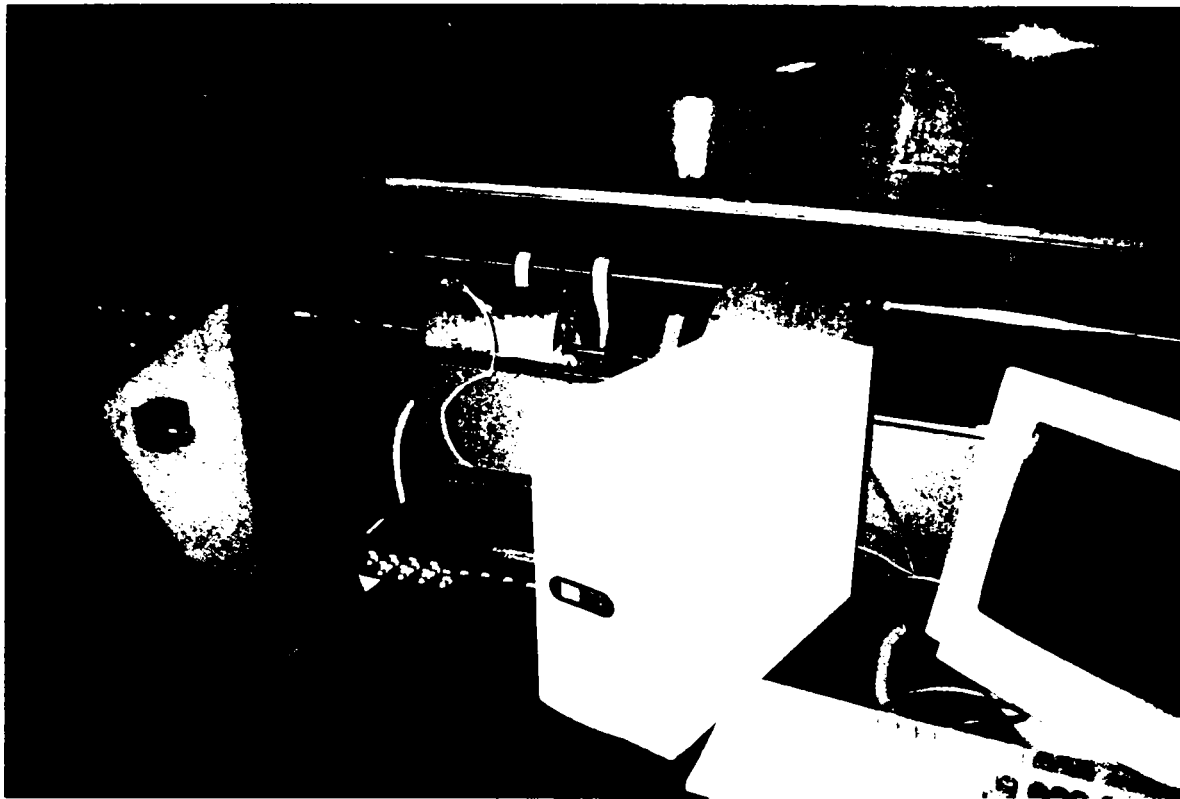


Fig. 5.27. Schema mașinii de încercare la răsucire

Pentru încercarea la răsucire a epruvetelor, de secțiune circulară s-a utilizat o mașină tip **MODELL TAD III** aflată în dotarea laboratorului de Rezistența materialelor a Facultății de Inginerie Hunedoara [135].

Pentru încercările efectuate pe această mașină a fost atașată ei o incintă de încălzire, proiectată și realizată de către autoare iar ansamblul realizat este prezentat în poza 5.14. împreună cu echipamentul necesar pentru obținerea, reglarea și menținerea temperaturii necesare încercării.



**Poza.5.14. Mașina de încercare la răsucire echipată în vederea executării experimentărilor**

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 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).

Pentru încărcarea axială a epruvetei (circa 1...2% din forța de rupere la tracțiune a materialului epruvetei) se utilizează greutăți 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 ( $\varphi$ ). Mecanismul de măsurare al momentului de răsucire

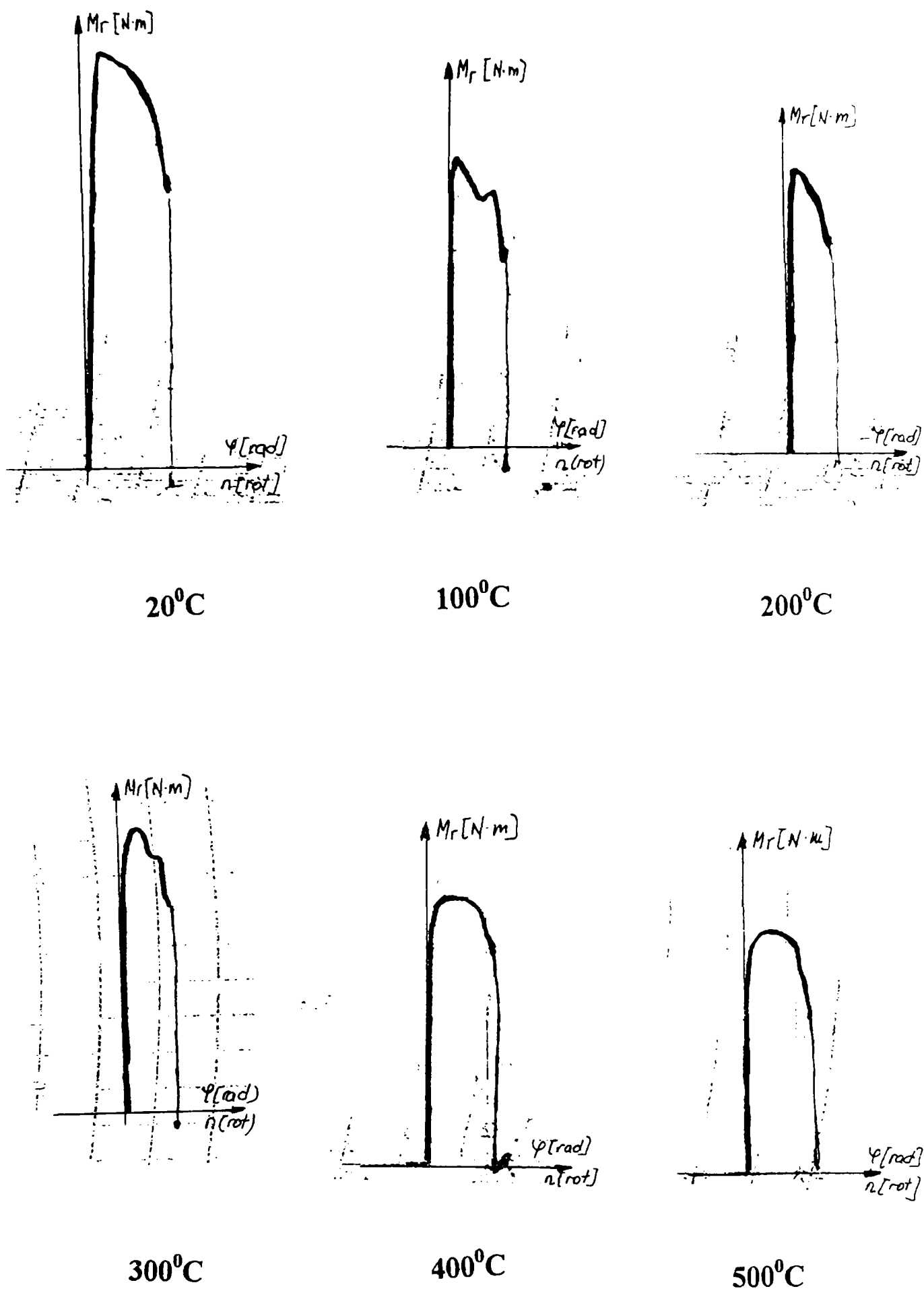


Fig.5.28.a ÷ f. Curbele caracteristice la răsucire pentru epruvetele de secțiune circulară, din 16Mo3

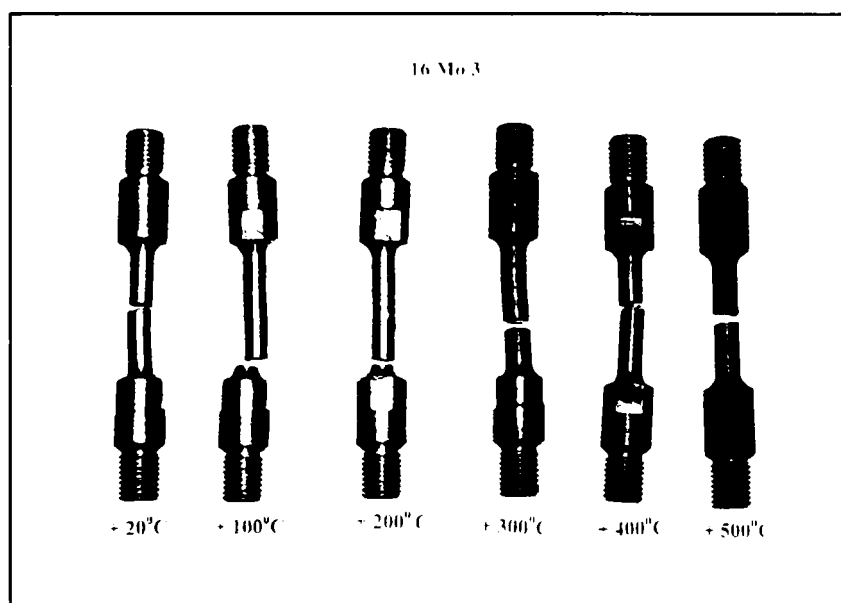
cuprinde un pendul (18) la care se atașează greutatea etalonată, prin care se stabilesc domeniile de lucru ale mașinii de încercat.

Mașina tip MODEL 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 greutăți etalonate la pendulul (18) acestuia;
- lungimea maximă a epruvetelor este de 1m;
- diametrul epruvetelor este de 10...30 mm pentru cazul epruvetelor scurte, de secțiune circulară

Încărcarea la răsucire se poate realiza în sens orar respectiv antiorar.

În poza 5.13 este prezentat un lot de epruvete circulare din 16Mo3, încercate la răsucire la temperaturile de: +20°C; +100°C; +200°C; +300°C; +400°C; +500°C.



Poza 5.13. Lot de epruvete din 16Mo3, încercate la temperaturi ridicate

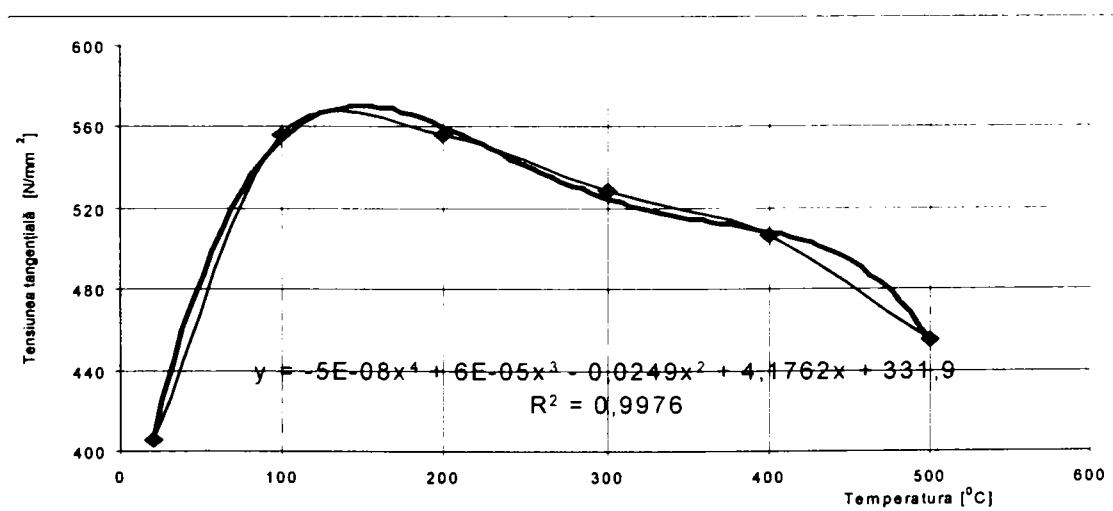
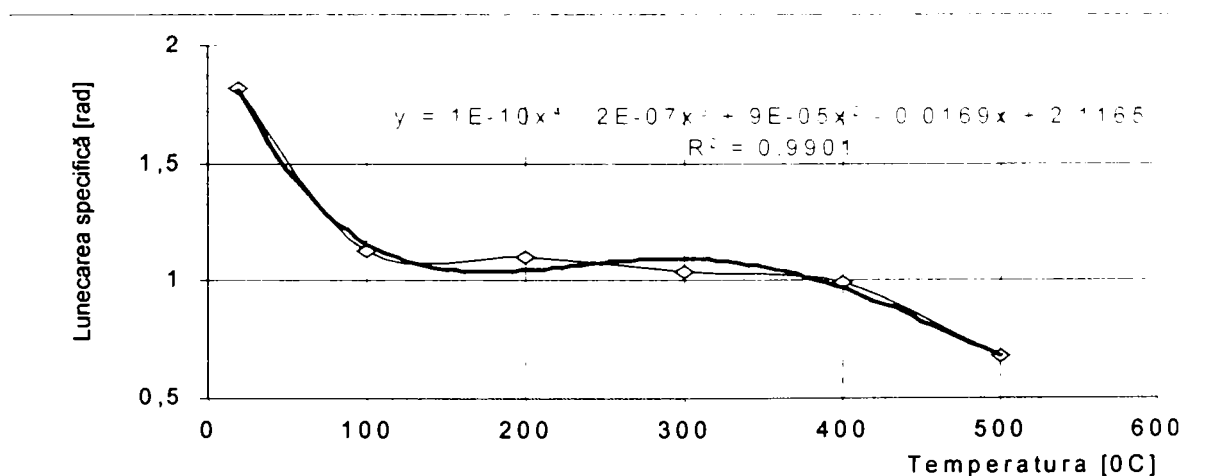


Fig. 5.29.a Variația caracteristicii  $\tau_r$  în funcție de temperatura de încercare



**Caracteristicile mecanice la răsucire ale oțelului 16Mo3, determinate pe epruvete de secțiune circulară**

Nr. crt.	Temperatura de încercare [°C]	$(M_r)_{max}$		n	$\varphi_{max}$	$\tau_r$	$\gamma_{max}$
		[kgf·m]*	[N·m]				
1	+20	10,75	105,457	3,00	18,840	402,816	1,884
2		10,80	105,948	2,90	18,212	404,691	1,821
3		10,90	106,929	2,80	17,584	408,438	1,758
Media		<b>10,81</b>	<b>106,111</b>	<b>2,90</b>	<b>18,212</b>	<b>405,314</b>	<b>1,821</b>
1	+100	14,90	146,169	1,90	11,932	558,324	1,193
2		14,70	144,207	1,80	11,304	550,830	1,130
3		14,95	146,659	1,70	10,676	560,196	1,067
Media		<b>14,85</b>	<b>145,678</b>	<b>1,80</b>	<b>11,304</b>	<b>556,448</b>	<b>1,130</b>
1	+200	14,90	146,169	1,80	11,304	558,324	1,130
2		14,85	145,678	1,70	10,676	556,448	1,067
3		14,75	144,697	1,75	10,990	552,701	1,099
Media		<b>14,83</b>	<b>145,510</b>	<b>1,75</b>	<b>10,990</b>	<b>555,807</b>	<b>1,099</b>
1	+300	14,10	138,321	1,70	10,676	528,347	1,067
2		14,00	137,340	1,65	10,362	524,600	1,032
3		14,15	138,157	1,65	10,362	527,720	1,032
Media		<b>14,08</b>	<b>138,480</b>	<b>1,66</b>	<b>10,424</b>	<b>528,954</b>	<b>1,042</b>
1	+400	13,65	133,906	1,50	9,420	511,483	0,942
2		13,50	132,435	1,60	10,048	505,864	1,004
3		13,40	131,454	1,65	10,362	502,117	1,036
Media		<b>13,51</b>	<b>132,598</b>	<b>1,58</b>	<b>9,922</b>	<b>506,487</b>	<b>0,992</b>
1	+500	12,15	119,191	1,10	6,908	455,276	0,690
2		12,10	118,701	1,00	6,280	453,404	0,628
3		12,20	119,682	1,15	7,222	457,151	0,722
Media		<b>12,15</b>	<b>119,191</b>	<b>1,08</b>	<b>6,782</b>	<b>455,276</b>	<b>0,678</b>



**Fig.5.29.b. Variația caracteristicii  $\gamma_{max}$  în funcție de temperatura de încercare**

Pentru fiecare palier de temperatură s-au înregistrat câte trei epruvete, iar curbele de variație  $M_r = f(\varphi)$ , caracteristice la răsucire, obținute în urma încercărilor experimentale sunt prezentate în fig. 5.28. a-f, pentru fiecare palier de temperatură. 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...15 kgf·m..

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  $\varphi$  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 6 rot/min.

Valorile caracteristicilor mecanice la răsucire, măsurate respectiv calculate, sunt date în tabelul 5.21. Rezistența la răsucire s-a calculat cu relația (5.11), iar lunecarea specifică cu formula (5.7).

Analizând alurile curbelor din fig. 5.29 se constată că odată cu creșterea temperaturii tensiunea tangențială prezintă un maxim în jurul valorii de  $150^{\circ}\text{C}$ , iar lunecarea specifică scade continuu.

### **5.5.Cercetări privind variația unor caracteristici mecanice de rezistență și tenacitate în funcție de unele elemente din compoziția chimică pentru oțelurile OLT 35K și OLT 45K**

Pentru a studia modul de variație în funcție de unele elemente ale compoziției chimice, s-au efectuat încercări mecanice de tracțiune pe loturi de epruvete prelevate dintr-un număr de 30 de șarje, din mărcile de oțeluri OLT 35K și OLT 45K, elaborate într-un cuptor electric cu arc, din cadrul S.C.Siderurgica S.A. Hunedoara, a căror compoziție chimică se prezintă în Anexa 3.

Pentru fiecare șarjă au fost încercate câte 3 epruvete, forma acestora fiind prezentată în subcapitolul 2.3. Cu aceste date au fost efectuate corelații grafice, utilizând programul EXCEL 2002. Corelațiile au fost efectuate prin compararea a câte două dintre caracteristicile determinate, cum ar fi: rezistența la tracțiune  $R_m$  și reziliența KCU, alungirea procentuală după rupere  $A_5$  și coeficientul de gătuire, limita de curgere tehnică  $R_{p0,2}$  la temperatura ambiantă și la temperatura garantată de producătorul de oțel conform normativului STAS 8184-87, adică  $450^{\circ}\text{C}$ .

Epruvetele utilizate în cadrul acestor experimentări sunt prezentate în subcapitolul 2.3.

Valorile caracteristicilor mecanice obținute în urma încercărilor efectuate, cuprinzând un număr mare de șarje analizate sunt sintetizate în Anexa 3, iar corelațiile au fost efectuate cu aceste valori, urmărind variația caracteristicilor analizate în funcție de aproape toate elementele importante ale compoziției chimice.

Rezultatele obținute pentru marca de oțel OLT 35K sunt prezentate în graficele din fig.5.30; 5.31; 5.32; 5.33; 5.34 pentru fiecare element al compoziției chimice pentru care s-a efectuat studiul, iar în fig. 5.35 se prezintă sinteza rezultatelor obținute pentru  $R_m$ ,  $R_{p0,2}$  și  $R_{p0,2/450}$ .

Pe baza fig.5.35 se poate adopta o compoziție chimică a oțelului, funcție de valoarea care se dorește pentru o anumită caracteristică mecanică.

Concluziile care se pot trage din aceste prelucrări grafice a datelor experimentale obținute în decursul încercărilor efectuate sunt:

- pentru un conținut de carbon de circa 0,11% se obțin valori maxime pentru caracteristicile  $R_m$ , KCU, Z și A, iar caracteristicile  $R_{p0,2}$  și  $R_{p0,2/450}$  au valori minime. Dacă conținutul de carbon are valoarea de 0,14% se obțin valori maxime pentru  $R_{p0,2}$  și  $R_{p0,2/450}$  și minime pentru celelalte caracteristici;

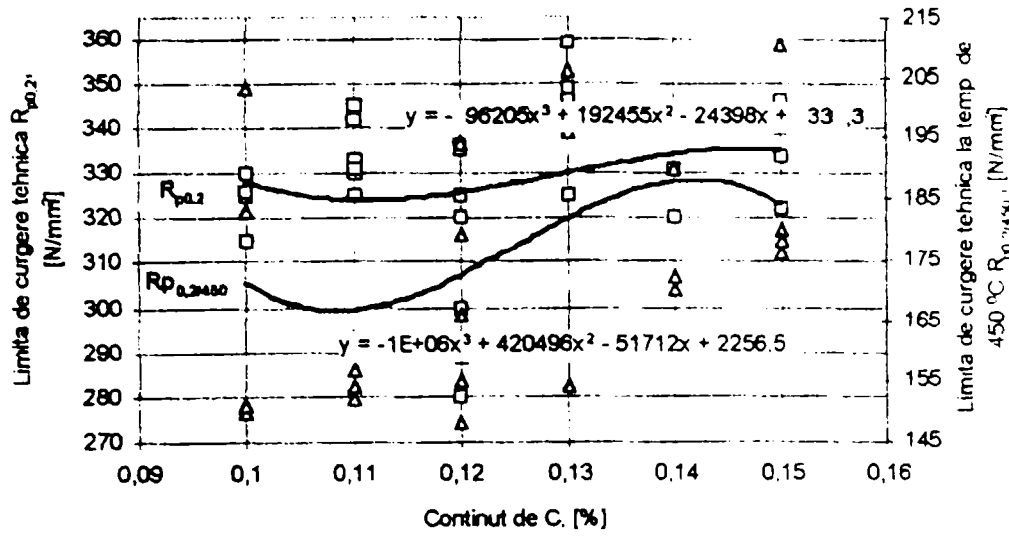


Fig.5.30.a. Variația limitei de curgere tehnice  $R_{p0,2}$  și a limitei de curgere tehnice la temperatura de  $450^{\circ}\text{C}$ ,  $R_{p0,2/450}$  cu conținutul de carbon

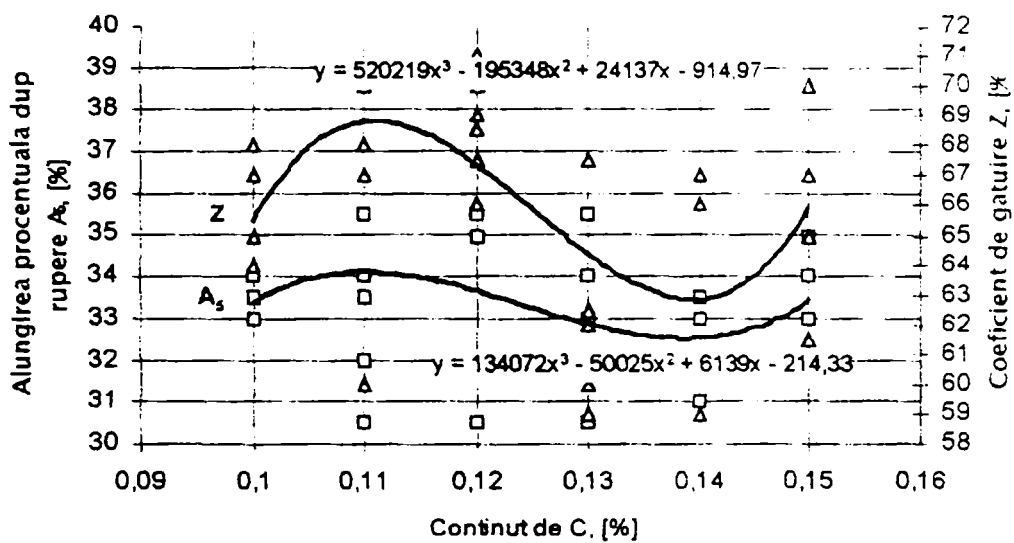


Fig.5.30.b. Variația alungirii procentuale după rupere  $A_5$  și a coeficientului de gătuire  $Z$ , cu conținutul de carbon

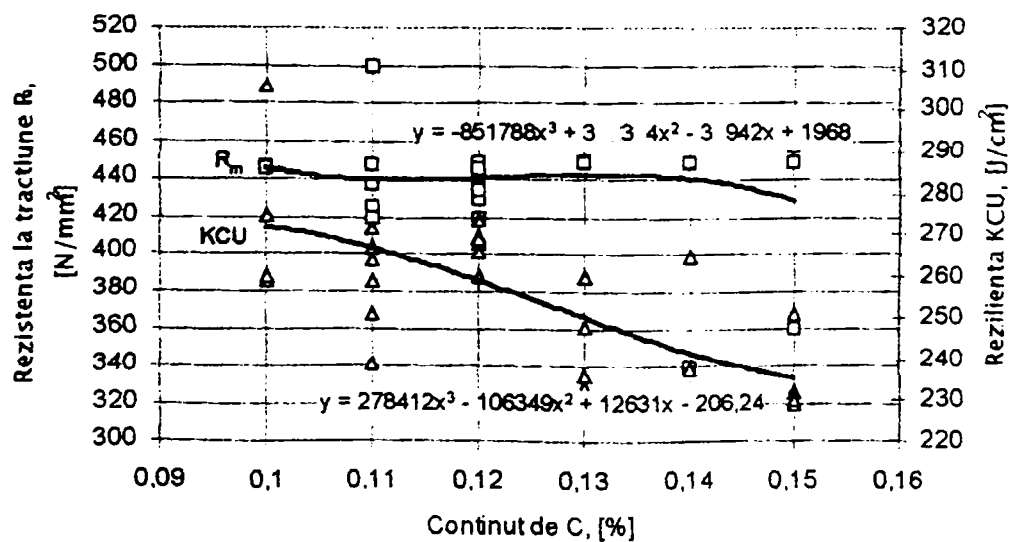


Fig.5.30.c. Variația rezistenței la tracțiune  $R_m$  și a rezilienței  $KCU2$ , cu conținutul de carbon

Fig.5.30. Variația caracteristicilor studiate în funcție de % de C

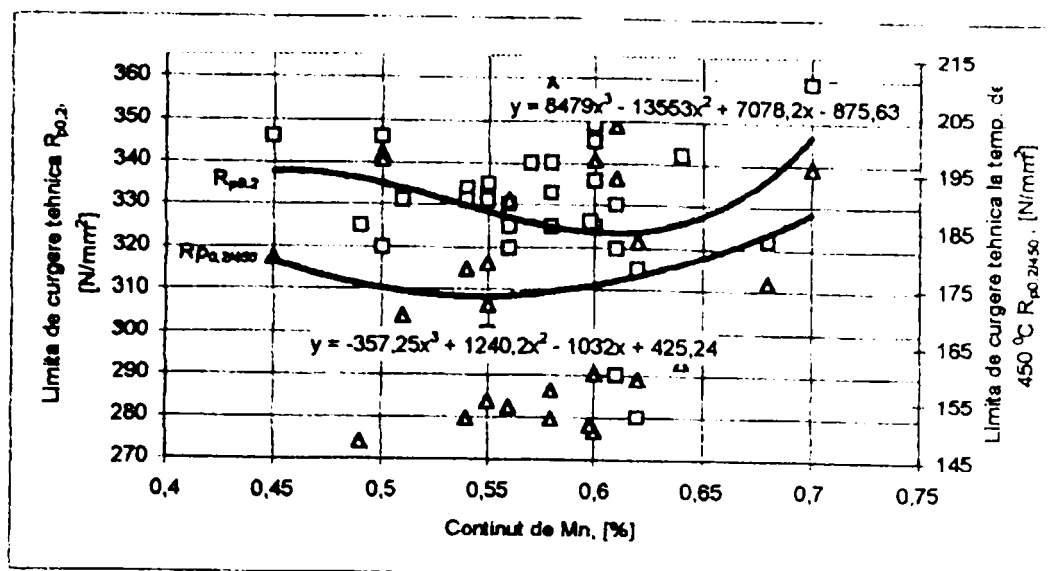


Fig.5.31.a. Variația limitei de curgere tehnice  $R_{p0,2}$  și a limitei de curgere tehnice la temperatura de  $450^{\circ}\text{C}$ ,  $R_{p0,2/450}$  cu conținutul de mangan

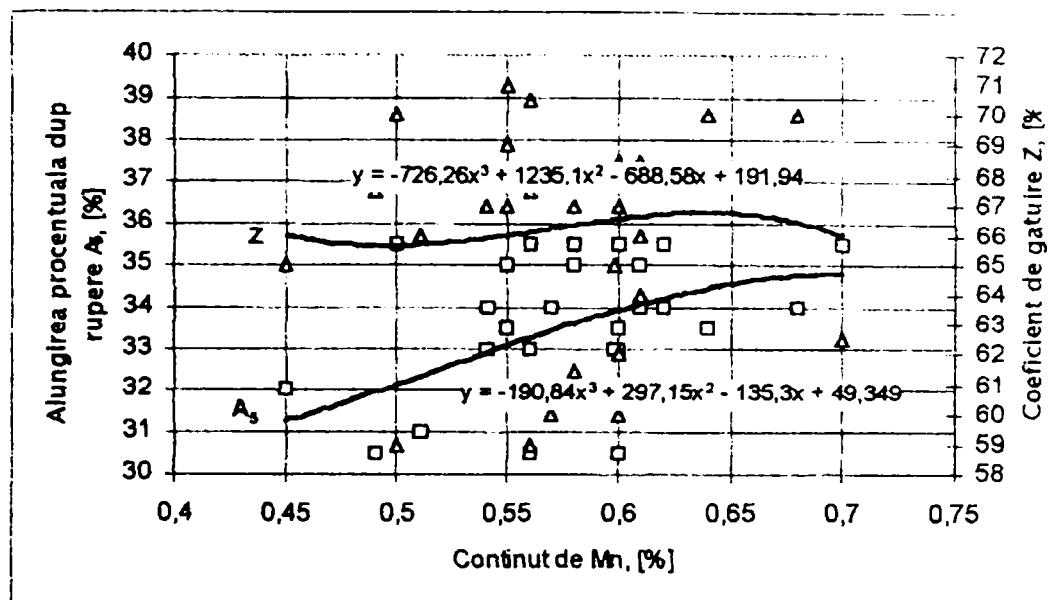


Fig.5.31.b. Variația alungirii procentuale după rupere  $A_5$  și a coeficientului de gătuire  $Z$ , cu conținutul de mangan

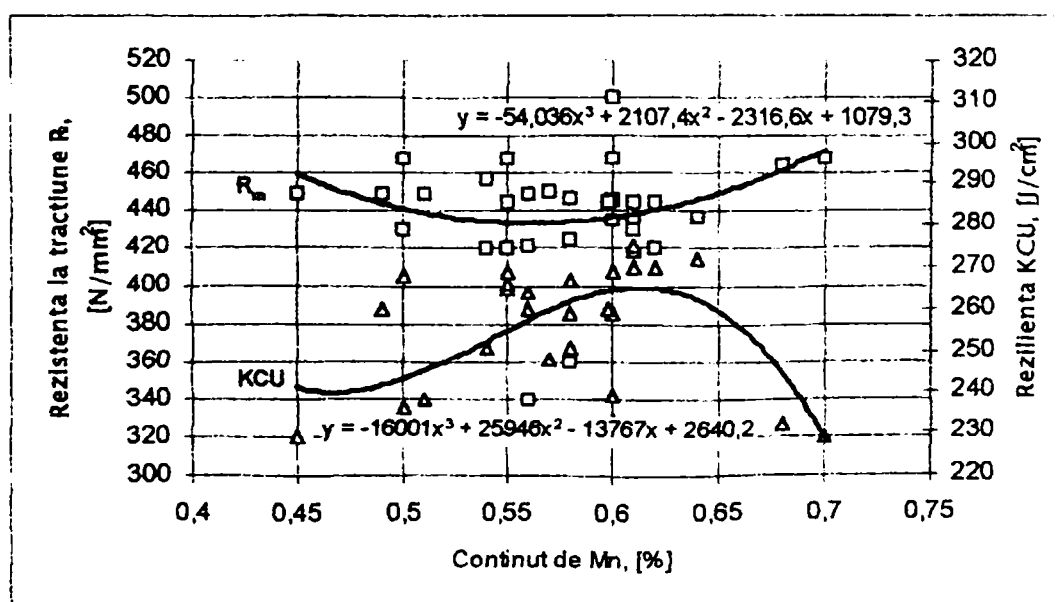


Fig.5.31.c. Variația rezistenței la tracțiune  $R_m$  și a rezilienței  $KCU_2$ , cu conținutul de mangan

Fig. 5.31. Variația caracteristicilor studiate în funcție de % de Mn

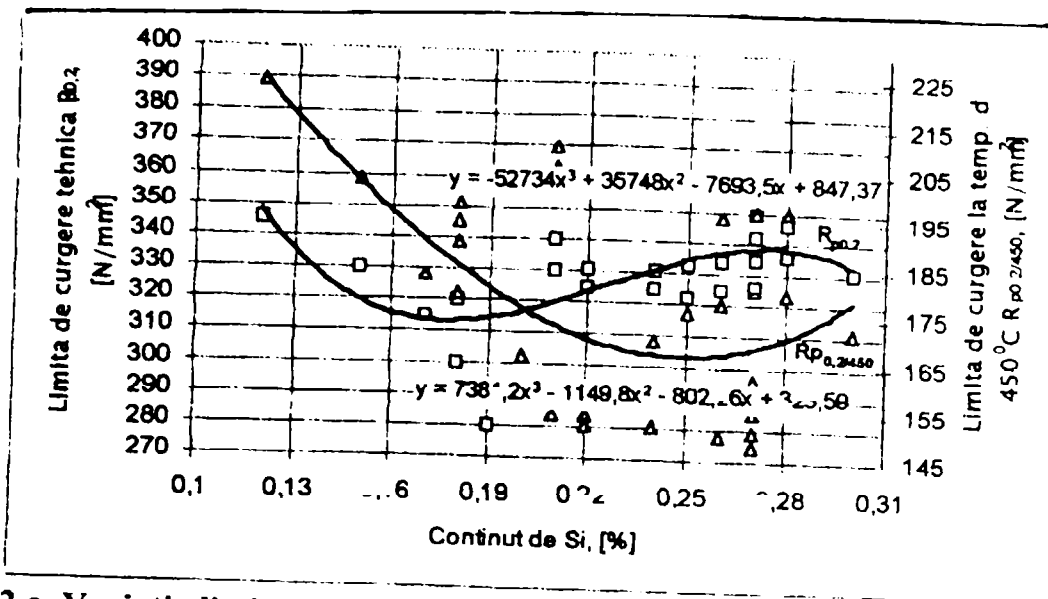


Fig.5.32.a. Variația limitei de curgere tehnice  $R_{p0,2}$  și a limitei de curgere tehnice la temperatura de  $450^{\circ}\text{C}$ ,  $R_{p0,2/450}$  cu conținutul de siliciu

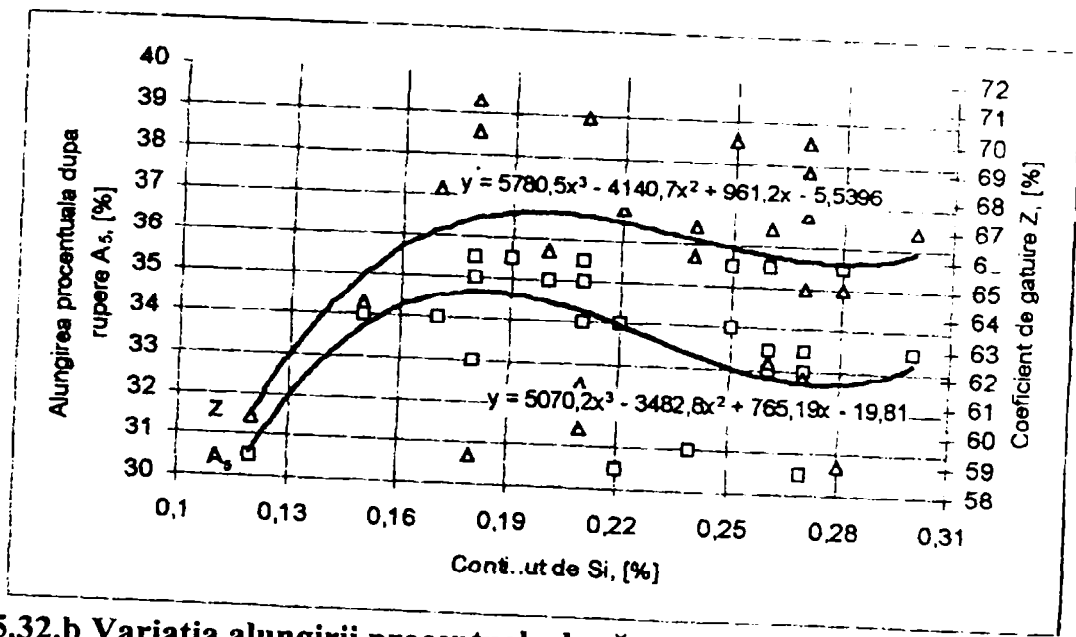


Fig.5.32.b Variația alungirii procentuale după rupere  $A_5$  și a coeficientului de gătuire Z, cu conținutul de siliciu

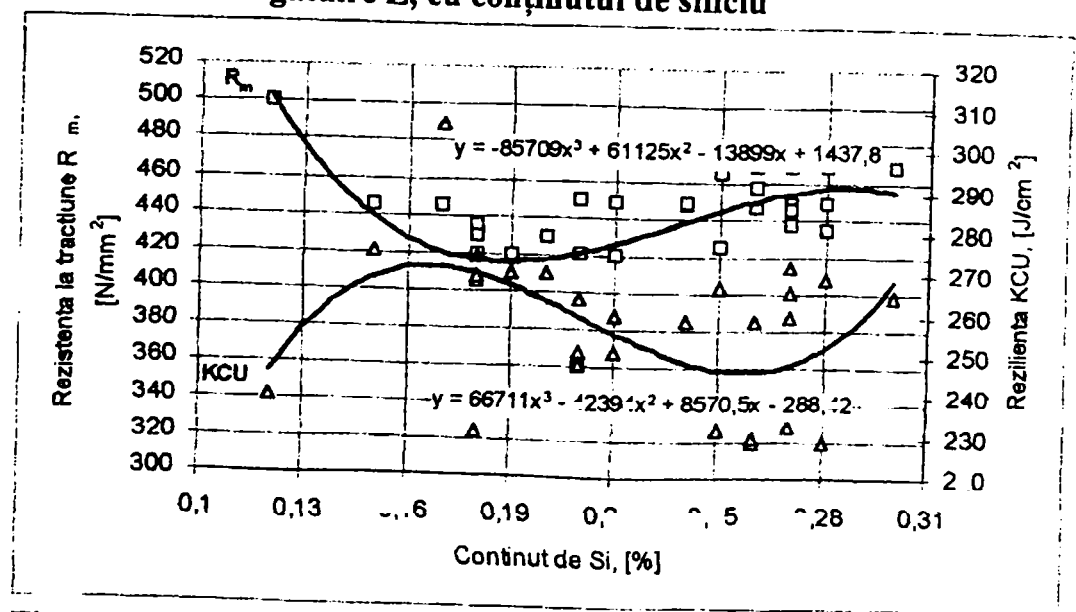


Fig.5.32.c. Variația rezistenței la tracțiune  $R_m$  și a rezilienței KCU2, cu conținutul de siliciu

Fig.5.32. Variația caracteristicilor studiate în funcție de % de Si

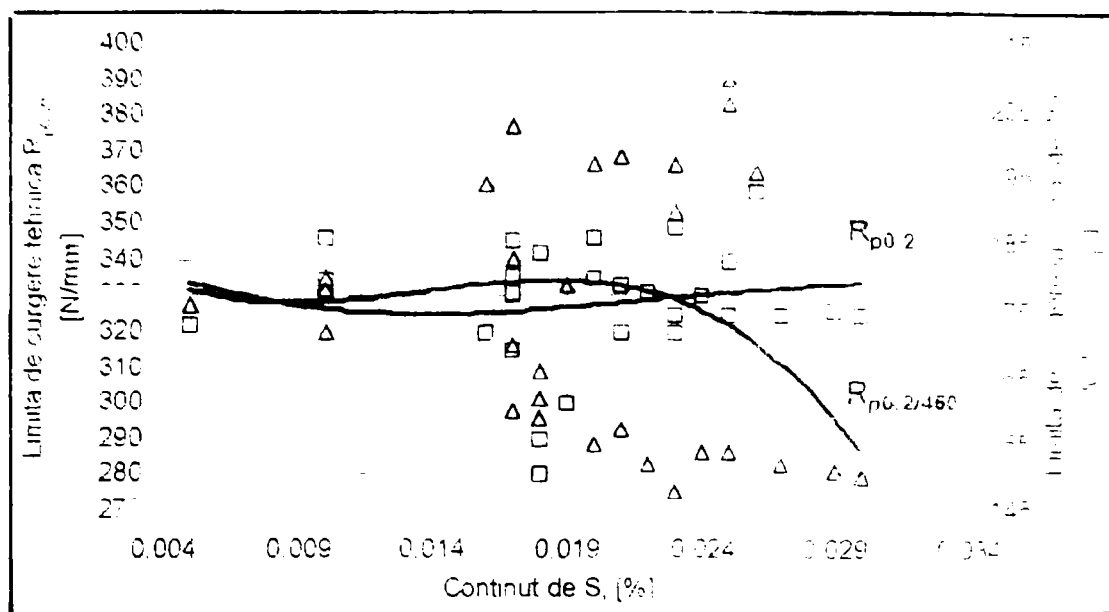


Fig.5.33.a. Variația limitei de curgere tehnice  $R_{p0.2}$  și a limitei de curgere tehnice la temperatura de  $450^{\circ}\text{C}$ ,  $R_{p0.2/450}$  cu conținutul de sulf

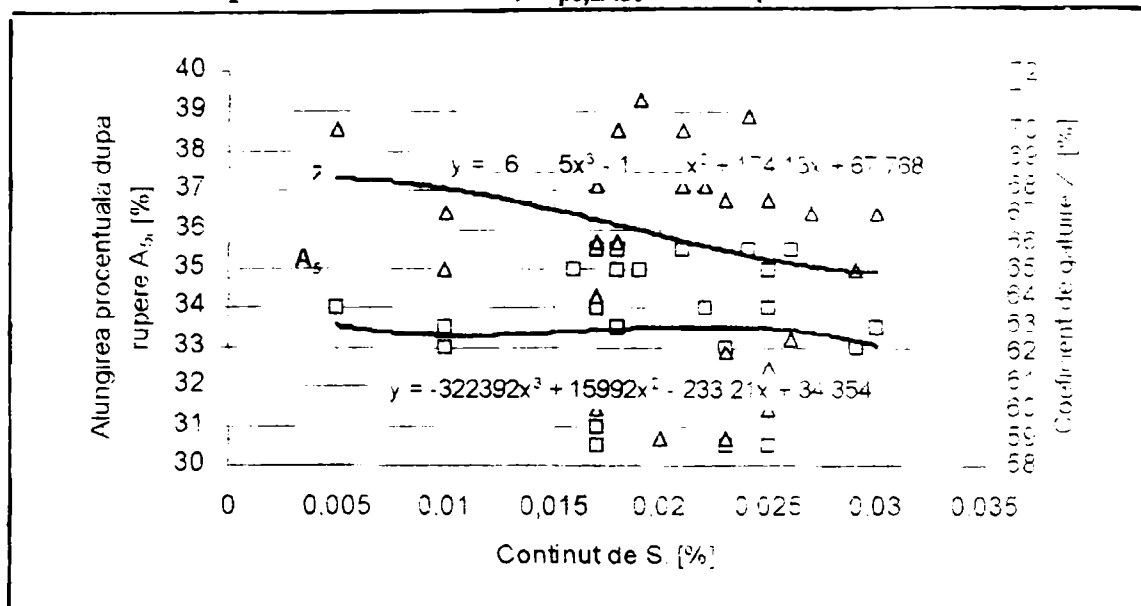


Fig.5.33.b Variația alungirii procentuale după rupere  $A_5$  și a coeficientului de gătuire  $Z$ , cu conținutul de sulf

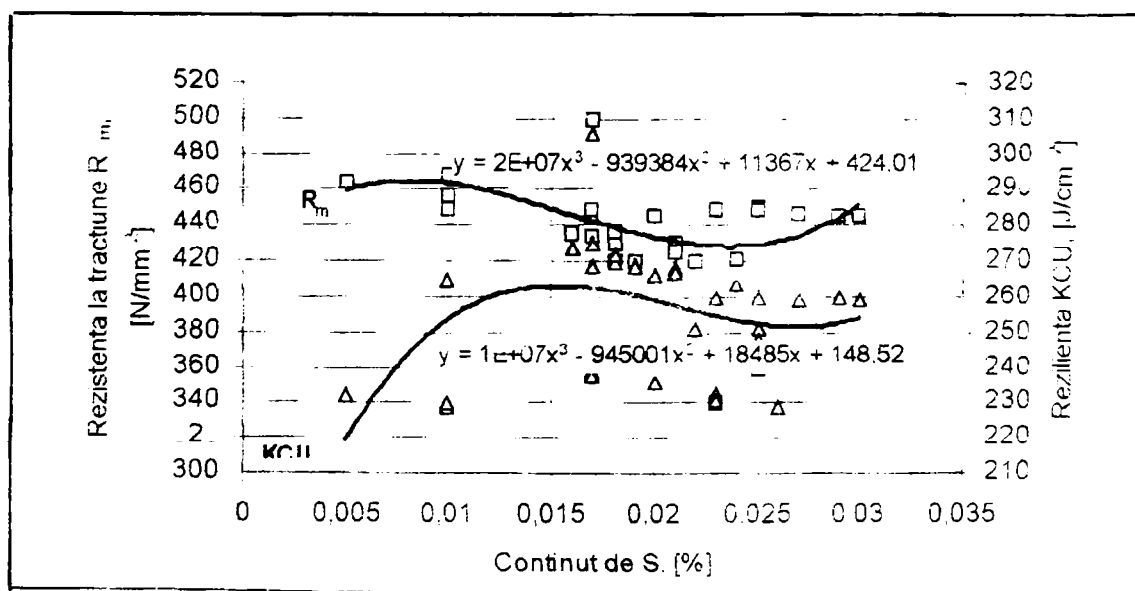


Fig.5.33.c. Variația rezistenței la tracțiune  $R_m$  și a rezilienței  $KCU_2$ , cu conținutul de sulf

Fig.5.33. Variația caracteristicilor studiate în funcție de % de S

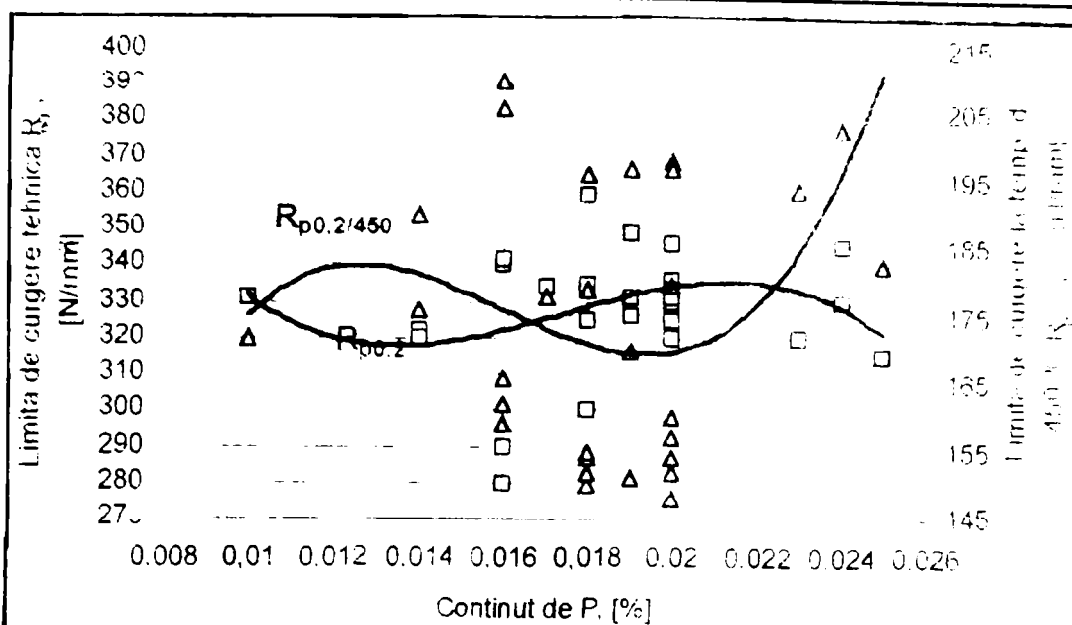


Fig.5.34.a. Variația limitei de curgere tehnice  $R_{p0.2}$  și a limitei de curgere tehnice la temperatura de  $450^\circ\text{C}$ ,  $R_{p0.2/450}$  cu conținutul de fosfor

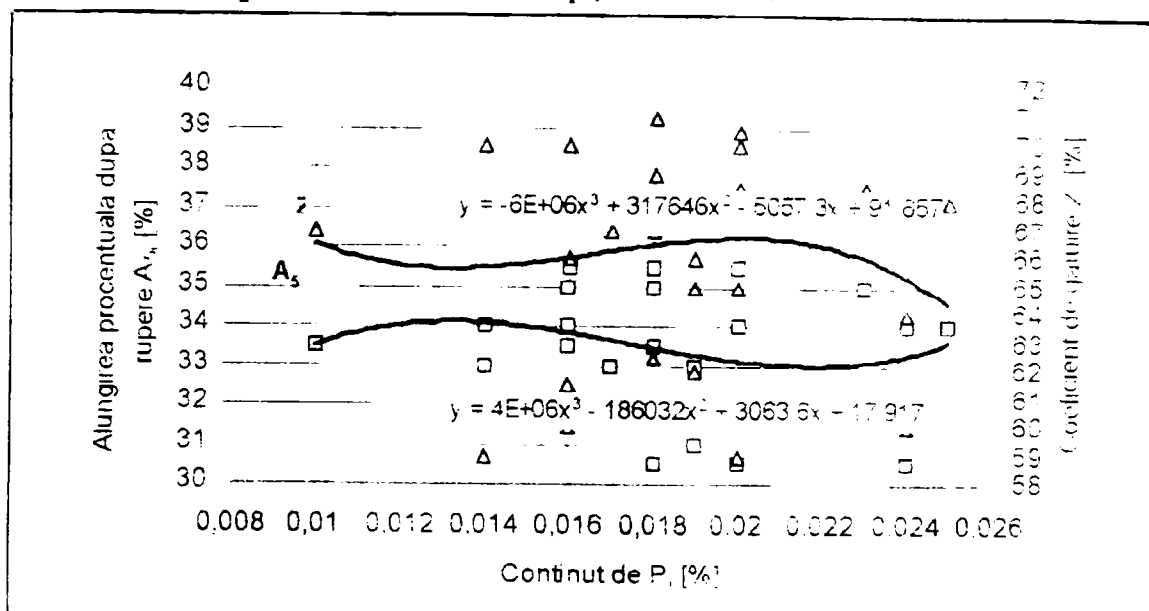


Fig.5.34.b. Variația alungirii procentuale după rupere  $A_5$  și a coeficientului de gătuire Z, cu conținutul de fosfor

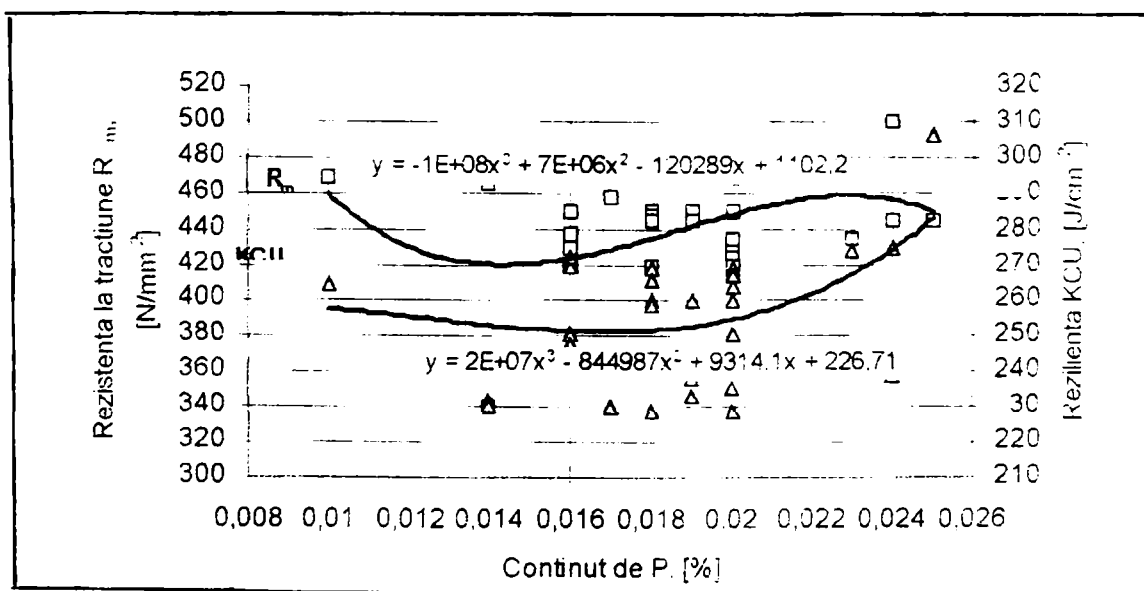


Fig.5.34.c. Variația rezistenței la tracțiune  $R_m$  și a rezilienței KCU2, cu conținutul de fosfor

Fig.5.34. Variația caracteristicilor studiate în funcție de % de P

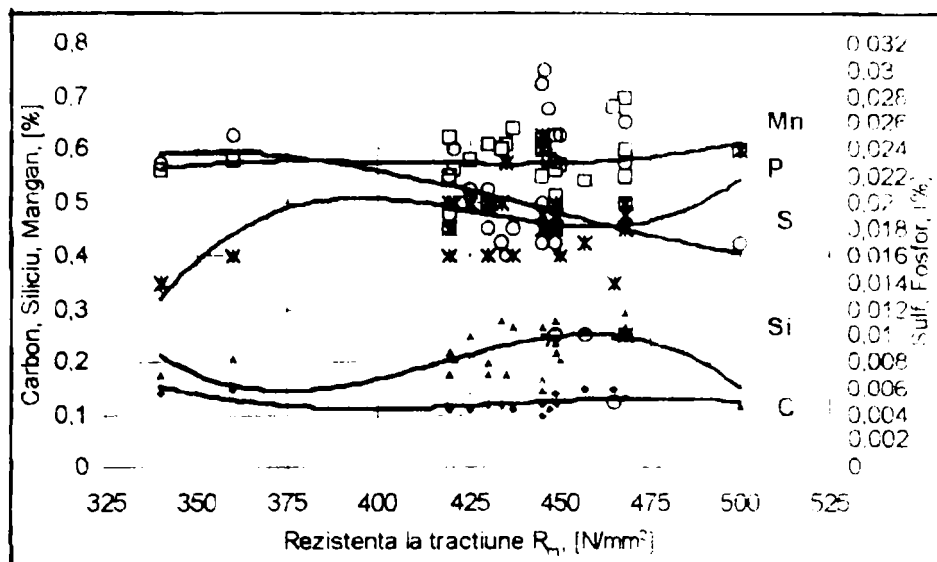


Fig.5.35.a. Variația rezistenței la rupere  $R_m$  cu elementele compoziției chimice

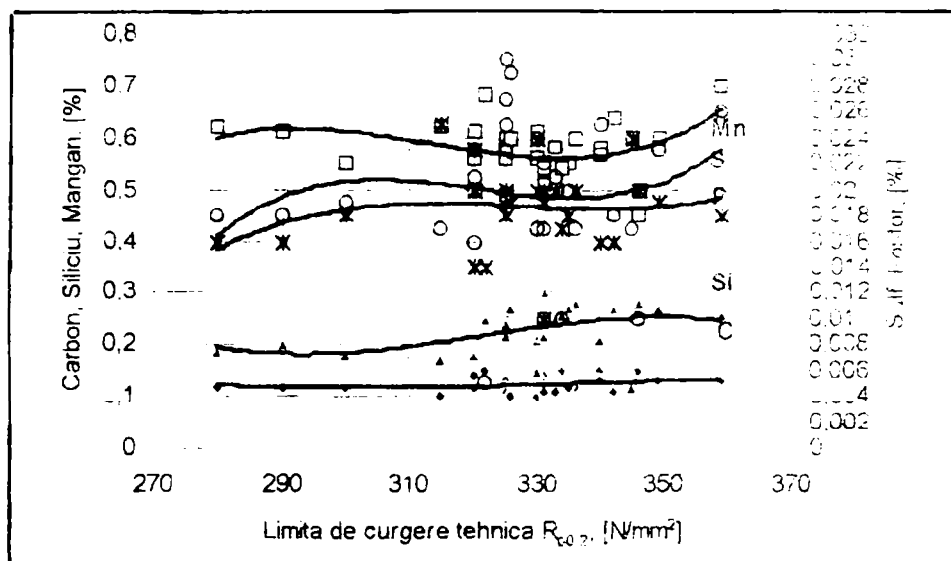


Fig.5.35.b. Variația limitei de curgere tehnice  $R_{p0,2}$  cu elementele compoziției chimice

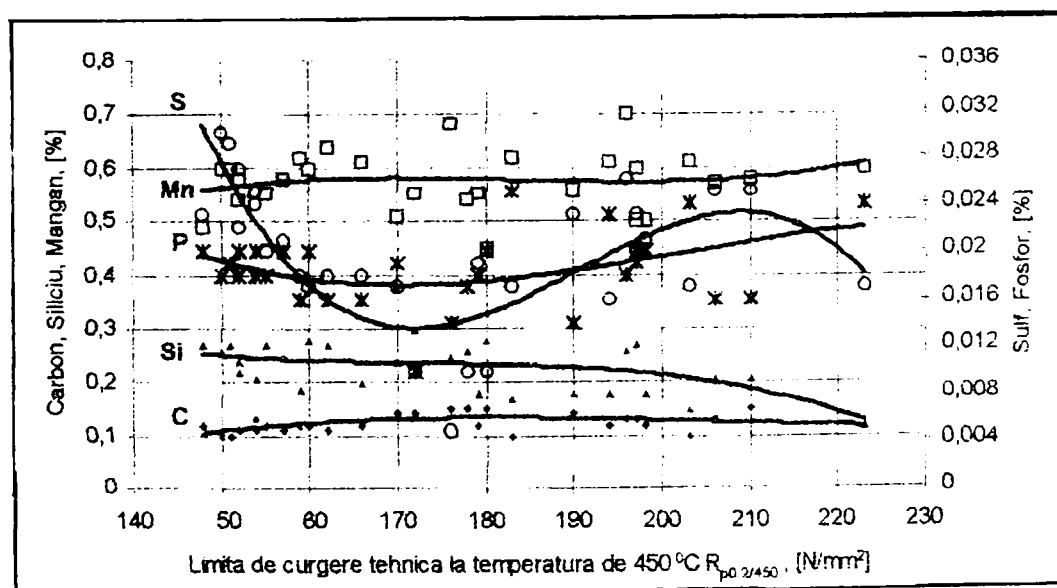


Fig.5.35.c. Variația limitei de curgere tehnice la temperatura de  $450^{\circ}\text{C}$ ,  $R_{p0,2/450}$ , cu elementele compoziției chimice

Fig.5.35. Variația caracteristicilor mecanice de rezistență și tenacitate, funcție de elementele compoziției chimice, pentru oțelul OLT 35K



- în ceea ce privește conținutul de mangan, cu cât acesta este mai mare, circa 0,7%, cu atât cresc valorile caracteristicilor mecanice, mai puțin reziliența KCU care are o valoare maximă la un conținut de mangan de circa 0,6%, conținut pentru care se obțin valori minime ale limitei de curgere tehnice  $R_{p0,2}$  și a rezistenței la tracțiune  $R_m$ ;

- siliciul are o influență destul de pronunțată asupra caracteristicilor mecanice, astfel pentru un conținut de siliciu cuprins în intervalul 0,25-0,28% se obțin valori maxime ale caracteristicilor  $R_{p0,2}$  și  $R_m$  și valori minime pentru caracteristicile  $R_{p0,2/450}$  și KCU. Pentru un conținut de siliciu cuprins în intervalul 0,16-0,19% se obțin valori maxime pentru caracteristicile KCU, Z,  $A_5$ .

- sulful, a cărui conținut în oțelul OLT 35K este limitat la 0,045%, fiind un element rezidual, are și el o influență asupra caracteristicilor mecanice, astfel că odată cu creșterea conținutului de S, scade caracteristica Z, iar pentru un conținut de sulf de 0,015% se obțin valori maxime pentru KCU și pentru un conținut între 0,005-0,010% valori maxime pentru  $R_m$ . După depășirea valorii de 0,019% S în compoziția chimică scade foarte rapid caracteristica  $R_{p0,2/450}$ . Putem spune că sulful nu are influență asupra caracteristicilor  $R_{p0,2}$  și A.

- fosforul, a cărui conținut în oțel este și el limitat la 0,040% (fiind element rezidual), provoacă creșterea pronunțată a caracteristicii  $R_{p0,2/450}$  și KCU la conținuturi ce depășesc 0,022%. Valori maxime pentru  $R_{p0,2}$  se poate obține la conținuturi de P de 0,021%. Caracteristica  $A_5$  prezintă valori maxime la un conținut de 0,014% S, valoare la care  $R_m$  este minimă. Asupra caracteristicii Z, fosforul nu produce variații.

Rezultatele obținute pentru marca de oțel OLT 45K sunt prezentate în Anexa 6, iar concluziile derivă din interpretarea acestor grafice.

#### **5.6. Studiul influenței vanadiului, molibdenului și cromului asupra limitei de curgere tehnice $R_{p0,2/500}$ a oțelului 12VMoCr10, efectuat prin metode numerice**

Pentru a studia modul de variație a limitei de curgere convenționale  $R_{p0,2}$  în funcție de principalele elemente de aliere ale mărcii de oțel 12VMoCr10, s-au efectuat încercări mecanice de tracțiune, cu determinarea limitei de curgere tehnice  $R_{p0,2}$  la temperatura de 500<sup>0</sup>C, pe loturi de epruvete prelevate dintr-un număr de 30 de șarje, elaborate într-un cuptor electric cu arc, din cadrul S.C.Siderurgica S.A. Hunedoara.

Oțelul face parte din categoria oțelurilor destinate tablelor laminate la cald pentru cazane și recipiente sub presiune, care lucrează la temperatură ridicată sau la temperatură ridicată și/sau mediu de hidrogen, conform STAS 2883/3-88.

Compoziția chimică a materialului utilizat pentru încercările experimentale este prezentată în Anexa 3 iar pe acest tip de material au fost efectuate doar încercări la tracțiune la temperaturi ridicate, pentru determinarea limitei de curgere la temperatura de 500<sup>0</sup>C, care au fost prevăzute în norma internă de produs a acestui oțel, motivația fiind aceea că standardul nu prevede o temperatură la care trebuie garantată limita de curgere la cald pentru acest oțel.

Au fost studiate influențele vanadiului, cromului și molibdenului asupra limitei de curgere tehnică la temperatura de 500<sup>0</sup>C, prin efectuarea de corelații grafice, prezentate în Anexa 6. Ele pot servi inginerului metalurg, ca un "punct de plecare" în elaborarea unei șarje din acest oțel.

## 5.7. Concluzii și contribuții personale

În contextul actual, în economia românească, se desfășoară un intens proces de dezafectare a unor întregi uzine, secții, ateliere, etc., ca urmare a efectelor procesului de privatizare. În cadrul S.C.Siderurgica S.A. Hunedoara se află în curs de dezafectare cazane de abur care au funcționat în cadrul acestui combinat siderurgic.

Apare deci o problemă deosebit de interesantă, prin care se propune **reutilizarea unor elemente din aceste cazane de abur la fabricarea cazanelor de apă caldă**, care au o solicitare din ce în ce mai mare pentru producerea agentului termic de încălzire (apă caldă la 90<sup>0</sup>C), din cauza opririi, temporare sau nu, a agenților economici mari, utilizatori și producători de abur industrial.

În același timp, în țara noastră, este pregnantă utilizarea surselor de energie ieftină, secundară, cum ar fi rumegușul sau deșeurile de lemn, care, în multe zone cu exploatare forestiere intense, produc o gravă poluare a mediului.

De aceea se ivește posibilitatea ca, la un preț de cost cât mai redus, să se poată realiza cazane pentru apă caldă, utilizând surse de energie secundară.

Cazanele de abur care funcționează în industrie produc abur saturat sau supraîncălzit în scopuri energetice, tehnologice și de încălzire, fiind concepute să utilizeze combustibil gazos, solid sau lichid. Din motive de siguranță în exploatare, părțile vitale ale cazanului sunt supradimensionate.

Sub acțiunea corozivă a apei și cădurii, elementele care se distrug cel mai repede sunt țevile ecran și preîncălzitoarele de apă (economizoarele), fiind cele mai solicitate, deoarece pe o parte a pereților circulă gaze fierbinți, iar pe cealaltă apă. Desigur că reparația acestor cazane presupune obligatoriu schimbarea țevilor ecran, separatoarelor apă-abur și a camerelor ecran de preîncălzire apă, operații care sunt deosebit de costisitoare.

Deoarece tubulatura reprezintă 30% din masa totală a unui corp cazan, se poate pune problema reutilizării acestor elemente, numai după o verificare foarte exactă.

Această verificare presupune, printre altele, determinarea unor caracteristici mecanice de rezistență și tenacitate ale materialelor care pot fi refolosite, dar în condiții de temperaturi ridicate (la care se dorește a funcționa elementul). În acest scop, în cadrul prezentei lucrări, s-au efectuat o serie de încercări experimentale, prezentate în capitolul 5, pe unele mărci de oțeluri termorezistente, utilizate la confecționarea elementelor ce lucrează la temperaturi și presiuni ridicate.

Cercetările experimentale realizate, privind comportarea oțelurilor la temperaturi ridicate, au fost efectuate utilizând pentru încălzirea epruvetelor incinte, proiectate și realizate de autoare.

În cadrul acestui capitol contribuțiile personale constau în:

- **efectuarea unor încercări experimentale** pentru determinarea influenței temperaturii (de exploatare) asupra caracteristicilor mecanice ale unor oțeluri termorezistente, la temperaturi ridicate.

- **determinarea caracteristicilor mecanice uzuale** pentru câteva mărci de oțeluri elaborate la S.C.Siderurgica S.A. Hunedoara, frecvent utilizate la temperaturi ridicate

În cadrul încercării la tracțiune de scurtă durată, efectuată la temperatura ambiantă și la temperaturi ridicate, aferente temperaturilor din exploatare, s-au efectuat:

- încercarea la tracțiune a oțelului OLT 35K, pe epruvete fâșii-normale, prelevate din focarul unui cazan de abur;

- încercarea la tracțiune a oțelului OLT 45K, pe epruvete fâșii-înguste, pe materiale prelevate din economizor, supraîncălzitor și pe material neutilizat;

- încercarea la tracțiune a oțelului 16Mo3, efectuată pe epruvete prelevate dintr-o țagă rotundă;

Toate încercările au fost adaptate pe o mașină universală de încercare dintr-un laborator de rezistența materialelor, iar diagramele obținute sunt prezentate pentru fiecare temperatură de încercare și fiecare marcă de oțel încercat.

Au fost de asemenea efectuate **încercări experimentale la încovoiere prin șoc**, pe oțelurile aliate 16Mo3 și 12MoCr90 **pe epruvete prelevate după direcție longitudinală și transversală** față de fibra de laminare realizându-se un studiu al caracteristicilor de tenacitate funcție de temperaturile ridicate (de funcționare) ale elementelor analizate.

Au fost efectuate **încercări de duritate Brinell la temperaturi ridicate**, pentru trei mărci de oțeluri termorezistente, utilizând o incintă de încălzire a epruvetelor.

A fost efectuată **încercarea de răsucire la temperaturi ridicate** a uneia dintre mărcile de oțeluri, încercate și prin alte metode, încercare care în prezent nu este reglementată printr-un normativ.

Cu rezultatele experimentale au fost efectuate o serie de **corelații grafice între caracteristicile mecanice obținute** în urma acestor încercări și **temperatura de încercare**.

De asemenea s-a efectuat un **studiu asupra caracteristicii mecanice  $R_{p0.2}$  funcție de elemente ale compoziției chimice**, folosind metode numerice din programul MATLAB 5.0, urmărindu-se determinarea unei concentrații optime între două elemente ale compoziției chimice, care permit determinarea valorilor maxime ale caracteristicii mecanice, încă din faza de elaborare a unei mărci de oțel.

Cunoșterea corelațiilor multiple, de ordinul II furnizează informații privind influența a două din elementele din compoziția chimică asupra caracteristicilor de rezistență și tenacitate. Prin reprezentarea grafică și cunoașterea valorilor pentru liniile de contur putem determina valoarea limitei de curgere tehnică la temperatura dorită, pentru orice conținut al unui element din compoziția chimică. De asemenea, putem stabili domeniile de variație pentru aceste elemente, funcție de valorile dorite pentru parametrul studiat.

**Cunoașterea relațiilor de dependență, estimate atât analitic cât și grafic sunt de un real folos pentru inginerii metalurgi, deoarece acesta poate estima valorile pentru parametrul impus, în funcție de compoziția chimică, ceea ce-i permite reglarea compoziției chimice, pe parcursul elaborării, pentru a obține caracteristicile mecanice impuse de beneficiar.**

În ceea ce privește beneficiarul (în cazul nostru producătorul de componente ale instalațiilor termoenergetice), pe baza corelațiilor stabilite, analizate în paralel cu caracteristicile mecanice, acesta poate să selecteze (să aleagă, să utilizeze) materialul cel mai adecvat, atât din punct de vedere calitativ cât și economic. Acest lucru este de un real folos pentru a putea asigura o fiabilitate ridicată a instalațiilor realizate din elemente confecționate din respectivul material.

## CAPITOLUL 6

### CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII ALE AUTOAREI. APLICAȚII ȘI PERSPECTIVE ALE REALIZĂRILOR OBȚINUTE

Studiile și cercetările efectuate în teza de doctorat au avut ca scop studiul caracteristicilor mecanice la temperaturi ridicate a elementelor de rezistență care lucrează în astfel de condiții, în procesul de exploatare, prin punerea în evidență a unor categorii de oțeluri, aliate și nealiate, frecvent utilizate în construcția cazanelor de abur existente, cu justificări privind modul de alegere a unei mărci de oțel pentru acest domeniu de utilizare. **Acest studiu poate reprezenta o bază teoretică, și chiar practică, pentru alte studii asemănătoare**, ale altor categorii de oțeluri. În acest sens au fost analizate numeroase titluri bibliografice din domeniu, pentru a putea analiza diverse aspecte ale domeniului studiat, așa cum rezultă din conținutul lucrării.

Obiectul acestei lucrări a pornit de la ideea că, **pentru a putea cunoște modul de comportare a unui element de rezistență la temperaturi ridicate, trebuie efectuate încercări experimentale**, care la ora actuală nu sunt decât în mică parte reglementate prin normative naționale, iar tehnicile actuale de încercare sunt puține ca număr.

În vederea efectuării studiului propus, în capitolul 1 al tezei s-au analizat unele aspecte legate de **analiza condițiilor reale de lucru a elementelor de rezistență** (conduce de abur) **care funcționează la temperaturi ridicate**, într-un cazan de abur dintr-un combinat siderurgic, luându-se în studiu **analiza factorilor care pot determina modificări structurale** la aceste oțeluri în timpul exploatării.

Pentru a putea efectua unele încercări mecanice de rezistență la temperaturi ridicate a fost necesară o **analiză a posibilităților de realizare practică a acestora**, analiză care s-a efectuat pe baza studiului bibliografic privind posibilitățile de realizare a încercărilor mecanice propuse, utilizând tehnica existentă într-un laborator de Rezistența Materialelor.

În capitolul 2 se face o **prezentare a tehnicilor actuale de încercare a oțelurilor la temperaturi ridicate**, în limita documentației la care a avut acces, remarcându-se faptul că literatura de specialitate prezintă realizări în acest domeniu, dar, obținute în laboratoare cu dotări performante.

Pe baza acestui studiu bibliografic **s-a realizat o sinteză documentară în vederea pregătirii bazei teoretice și practice necesară încercărilor experimentale propuse** a se efectua, care a vizat următoarele aspecte:

- modalitățile de determinare a caracteristicilor mecanice de rezistență și tenacitate pentru unele oțeluri termorezistente, în condiții de temperaturi ridicate;

- modurile de realizare a cuptoarelor (incintelor) de încălzire a epruvetelor, existente în

literatura de specialitate;

- modul de prelevare a epruvetelor din diferite elemente de rezistență, cu respectarea standardelor în vigoare, precum și respectarea tehnologiilor de tratament termic care trebuie aplicate oțelurilor respective;

- posibilitățile de măsurare și reglare cât mai corectă a temperaturii de încercare, în decursul experimentărilor, folosind diverse tehnici și instrumente.

Autoarea a luat în studiu și o **analiză a factorilor care pot să influențeze rezultatele și posibilitățile de reducere a factorilor negativi ai încercărilor.**

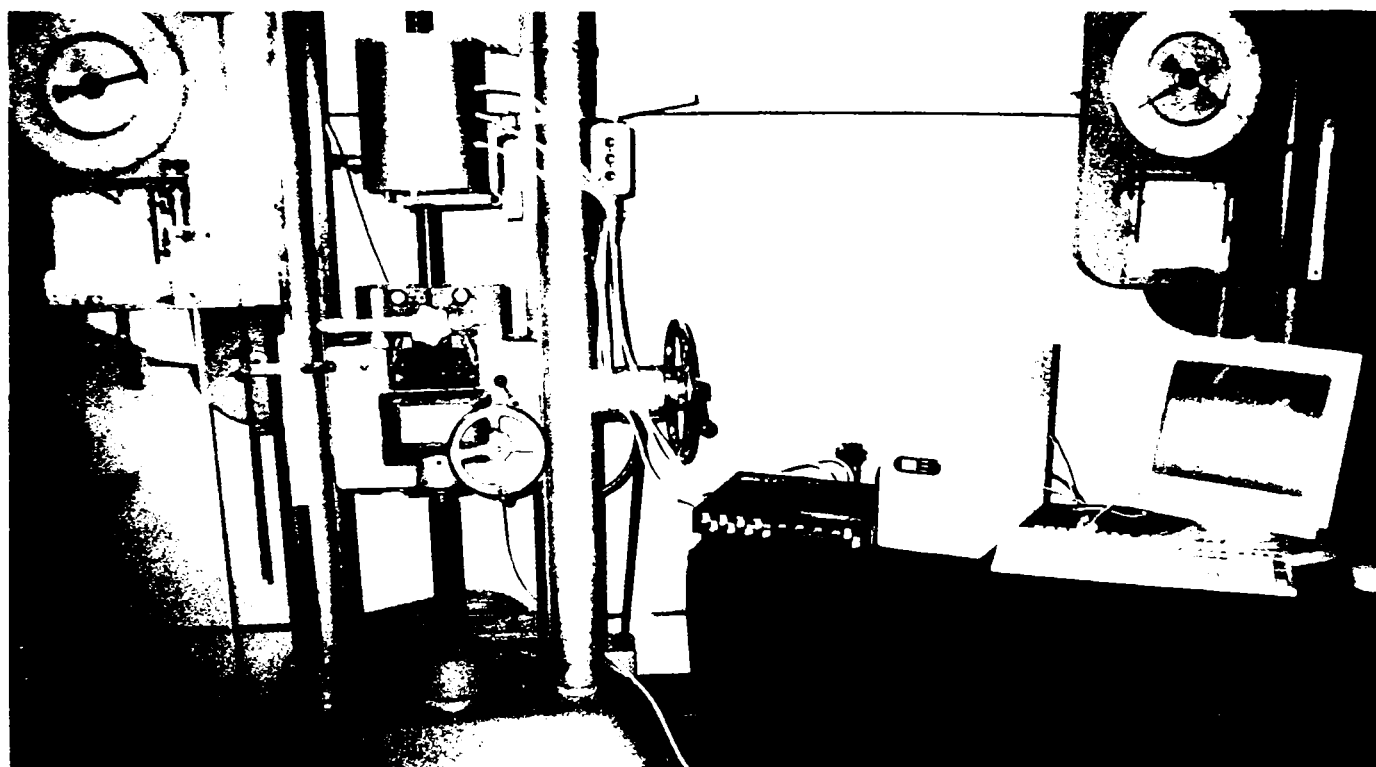
Concluzia acestui capitol este aceea că pentru efectuarea unor încercări experimentale corespunzătoare este necesară o analiză teoretică referitoare la modul de realizare practică a acestor încercări, standardizate și nestandardizate, care au fost finalizate prin **întocmirea unui program de încercări.**

În vederea realizării acestor încercări experimentale s-a efectuat **prelevarea și pregătirea de epruvete destinate încercărilor, atât din oțeluri care au funcționat la temperaturi ridicate în exploatare, cât și din materiale neutilizate, pentru care s-au efectuat tehnologiile de tratament termic** impuse prin standardele de produse.

De asemenea s-au efectuat **analize metalografice a probelor prelevate din conducte care au funcționat** la temperaturi ridicate în exploatare, existente în componența unui cazan de abur.

Contribuțiile autoarei privind aceste tehnici de încercare propuse constau în **prezentarea sistematică a stadiului actual al cercetărilor privind tehnicile experimentale de încercare a oțelurilor la temperaturi ridicate.**

În capitolul 3, cercetările au fost îndreptate spre realizarea **de echipamente necesare efectuării acestor încercări**, deoarece industria românească nu produce standuri experimentale sau incinte (cuptoare) pentru încercări mecanice.



Poza 6.1. Mașina de încercat la tracțiune echipată în vederea încercărilor



Poza 6.2. Aparatul Brinell echipat în vederea încercărilor

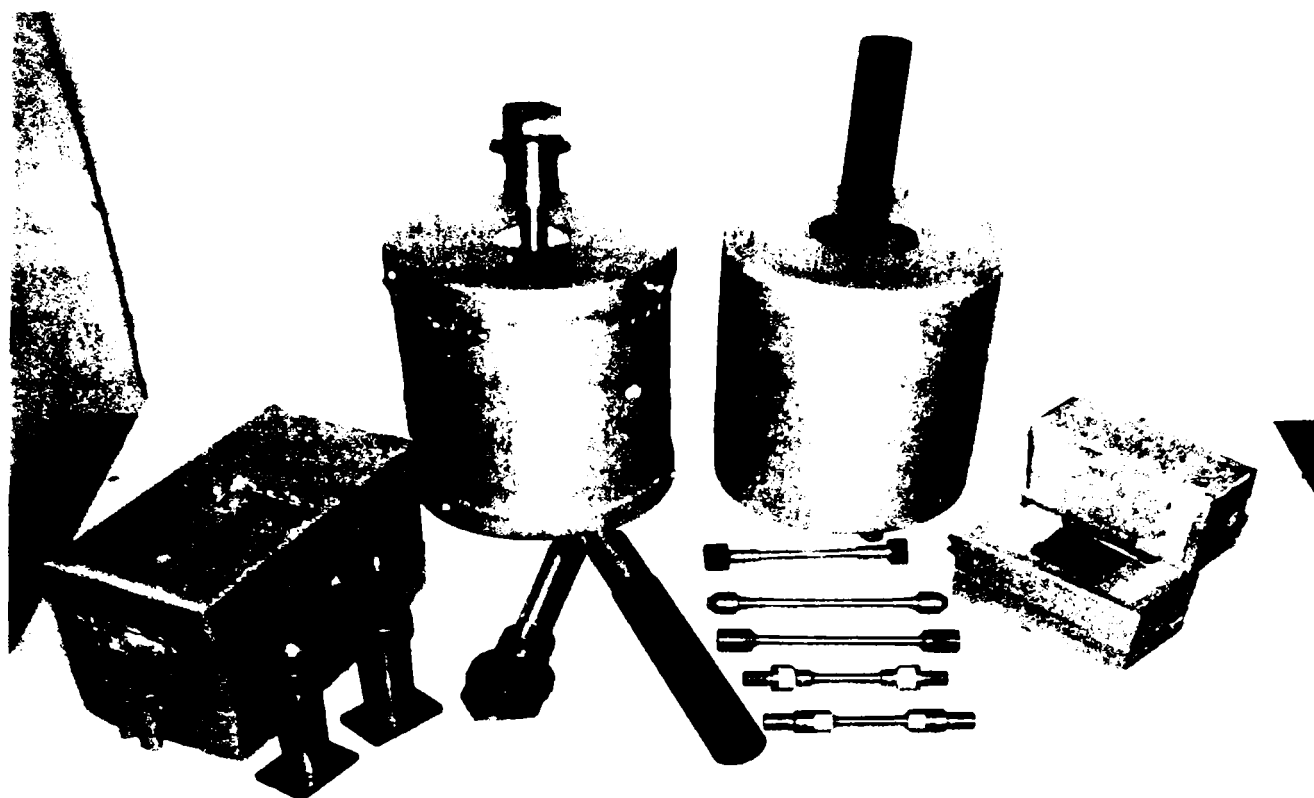


Poza 6.3. Mașina de încercat la răsucire echipată pentru încercări

Capitolul 3 prezintă contribuțiile privind **realizările practice** ale autoarei în domeniul proiectării și construcției de **cuptoare (incinte) necesare încălzirii epruvetelor destinate încercărilor mecanice** de tracțiune, răsucire, duritate, încovoiere prin șoc, efectuate în condiții de temperaturi ridicate.

Două dintre incinte au fost realizate în așa fel încât pot avea o dublă funcționalitate, adică pot fi utilizate pentru două tipuri de încercări mecanice și anume: încercarea de tracțiune și cea de răsucire la cald.

De asemenea s-a efectuat adaptarea unui aparat Brinell, pentru încercarea de duritate la temperaturi ridicate, prin modificări realizate în schema electrică privind sistemul de rabatere a capului penetratorului și realizarea unui sistem de prelungire a tijei penetratorului cu asigurarea protecției termice a acesteia pe parcursul încercării, atât la măsurări de duritate pe suprafețe plane cât și pe țevă.



Poza 6.3. Echipamente destinate încercărilor la temperaturi ridicate

Capitolul 4 abordează cercetările autoarei privind menținerea și reglarea temperaturilor ridicate în incintele (cuptoare) de încălzire, pentru efectuarea încercărilor mecanice.

Pentru reglarea și menținerea automată a temperaturii într-un palier necesar efectuării încercărilor mecanice **propuse s-a realizat un sistem automat de măsurare și reglare**, utilizând o placă de achiziție și de transfer de date, comandată din calculator printr-un soft dedicat.

Capitolul mai cuprinde **cercetări ale autoarei în domeniul transferului termic în epruvetele** utilizate pentru încercări mecanice la temperaturi ridicate, prin efectuarea unei **analize critice a modurilor de transfer termic**, precum și a posibilităților de modelare numerică. Sunt prezentate rezultatele obținute în urma rulării unui program de modelare numerică, realizat în MATLAB 5.0.

Capitolul 5 prezintă cercetările experimentale privind comportarea oțelurilor la temperaturi ridicate, care au fost efectuate utilizând pentru încălzirea epruvetelor incinte, proiectate și realizate de autoare.

Astfel, culelementele realizate de către autoare s-au efectuat:

- **încercări experimentale** pentru determinarea influenței temperaturii (de exploatare) asupra caracteristicilor mecanice ale unor oțeluri termorezistente, la temperaturi ridicate.

- **determinarea caracteristicilor mecanice uzuale** pentru câteva mărci de oțeluri elaborate la S.C.Siderurgica S.A. Hunedoara, frecvent utilizate la temperaturi ridicate

În cadrul încercării la tracțiune de scurtă durată, efectuată la temperatura ambiantă și la temperaturi aferente temperaturilor din exploatare, s-au efectuat:

- încercarea la tracțiune a oțelului OLT 35K, pe epruvete fâșii-normale, prelevate din focarul unui cazan de abur;

- încercarea la tracțiune a oțelului OLT 45K, pe epruvete fâșii-înguste, pe materiale prelevate din economizor, supraîncălzitor și pe material neutilizat;

- încercarea la tracțiune a oțelului 16Mo3, efectuată pe epruvete prelevate dintr-o țagă rotundă;

Toate încercările au fost adaptate pe o mașină universală de încercare din Laboratorul de Rezistența Materialelor al Facultății de Inginerie din Hunedoara, iar diagramele obținute sunt prezentate pentru fiecare temperatură de încercare și fiecare marcă de oțel încercat.

Au fost de asemenea efectuate **încercări experimentale la încovoiere prin șoc**, pe oțelurile aliate 16Mo3 și 12MoCr90 pe **epruvete prelevate după direcție longitudinală și transversală** față de fibra de laminare, realizându-se un studiu al caracteristicilor de tenacitate funcție de temperaturile (de funcționare) elementelor analizate.

Au fost efectuate **încercări de duritate Brinell**, pentru trei mărci de oțeluri termorezistente, utilizând o incintă de încălzire a epruvetelor.

A fost efectuată **încercarea de răsucire** pentru una dintre mărcile de oțeluri, încercate și prin alte metode, încercare care în prezent nu este reglementată printr-un normativ.

Utilizând rezultatele experimentale au fost efectuate o serie de **corelații grafice între caracteristicile mecanice obținute** în urma acestor încercări și **temperatura de încercare**.

De asemenea s-a efectuat un **studiu asupra caracteristicii mecanice  $R_{p0,2/T}$  funcție de elemente ale compoziției chimice**, folosind programul MATLAB 5.0, urmărindu-se determinarea unor concentrații optime între două elemente ale compoziției chimice, care permit determinarea valorilor maxime ale caracteristicii mecanice, încă din faza de elaborare a unei mărci de oțel.

Cunoșterea corelațiilor multiple, de ordinul II furnizează informații privind influența a două din elementele din compoziția chimică asupra caracteristicii studiate. Prin reprezentarea grafică și cunoașterea valorilor pentru liniile de contur putem determina valoarea limitei de curgere tehnică la temperatura dorită, pentru orice conținut al unui element din compoziția chimică. De asemenea, putem stabili domeniile de variație pentru aceste elemente, funcție de valorile dorite pentru parametrul studiat.

**Cunoașterea relațiilor de dependență, estimate atât analitic cât și grafic sunt de un real folos pentru inginerul metalurg, deoarece acesta poate estima valorile pentru parametrul impus, în funcție de compoziția chimică, ceea ce-i permite reglarea compoziției chimice, pe parcursul elaborării, pentru a obține caracteristicile mecanice impuse de beneficiar.**

În ceea ce privește beneficiarul (în cazul nostru producătorul de componente ale instalațiilor termoenergetice), pe baza corelațiilor stabilite, analizate în paralel cu caracteristicile mecanice, acesta poate să selecteze (să aleagă, să utilizeze) materialul cel mai adecvat, atât din punct de vedere calitativ cât și economic. Acest lucru este de un real folos pentru a putea asigura o fiabilitate ridicată a instalațiilor realizate din elemente confecționate din respectivul material.



### **Aplicații și perspective ale realizărilor obținute**

Este necesar să se pună accent pe încercările mecanice la temperaturi ridicate, efectuate în laboratoarele uzinale, care trebuie să reprezinte modalități de certificare a proprietăților metalelor care lucrează în acest domeniu de temperaturi.

Pentru realizarea acestui scop se impun:

- realizarea unui cadru metodologic de efectuare a încercărilor, prin revizuirea stasurilor existente și întocmirea altora noi;
- asigurarea unor dotări unitare, la nivel național, pentru laboratoarele uzinale de încercări.

Cu echipamentele și instalațiile experimentale realizate, împreună cu rezultatele obținute în urma cercetărilor efectuate privind încercările oțelurilor la temperaturi ridicate, **laboratorul de Rezistența Materialelor al Facultății de Inginerie Hunedoara a intrat în rândul laboratoarelor în care se pot executa încercări la tracțiune, răsucire, încovoiere și de duritate la temperaturi ridicate.**

Cercetările întreprinse pot fi extinse și aprofundate urmărindu-se:

- realizarea de noi incinte de încălzire mai performante din punct de vedere al soluției constructive și al izolației termice utilizate;
- determinarea caracteristicilor mecanice, la temperaturi ridicate, pentru noi mărci de oțeluri termorezistente asimilate de industria siderurgică românească;
- studierea influenței conținutului elementelor de aliere asupra caracteristicilor mecanice, pentru diferite paliere de temperaturi ridicate, funcție de temperatura de exploatare a elementelor de rezistență realizate din aceste oțeluri;
- extinderea cercetărilor privind stabilirea și a altor corelații între caracteristicile mecanice la diverse încercări în condiții de temperaturi ridicate.

## BIBLIOGRAFIE

- [1]. Aldea, M., ș.a. *Cazane de abur și recipiente sub presiune - îndrumător*, Editura Tehnică, București, 1982.
- [2]. Aloman, A. *Statistică și probabilitate în experimentul științific*, Editura Matrix-Rom, București, 1998.
- [3]. Ardelean, Z., ș.a. *Partea termică a centralelor electrice*, Editura Mirton, Timișoara, 1999.
- [4]. Anghel, Al., Grigore, N. *Diagnosticarea duratei de serviciu în condiții de fluaj a sistemelor de conducte*, A 6-a Conferință a specialiștilor în frecare, ungere, uzare, Tribotehnica, Cluj-Napoca, 27-29 septembrie, 1990.
- [5]. Anghel, S., **Lăpușan, A.** *Elementele insoțitoare și influența lor asupra caracteristicilor mecanice, pentru oțelul OLC 45X*, REZMAT' 26 „Comportarea materialelor metalice la solicitări statice și dinamice”, Editura MIRTON, Timișoara, pag. 107-114, 2001.
- [6]. Asavinei, I., Niculescu, C. *Ghid pentru utilizarea termocuplurilor în măsurări industriale*, Editura Tehnică, București, 1981.
- [7]. Athanasonovici, V. *Utilizarea căldurii în industrie*, vol. I și II, Editura Tehnică, București, 1997.
- [8]. Babeu, T.D. *Teoria elementară a Rezistenței materialelor*, Editura Mirton, Timișoara, 1998.
- [9]. Babeu, T.D. *Observații asupra coeficientului de dilatare termică a conductelor*, Analele Universității Oradea, Fascicola Mecanică, 1992.
- [10]. Babeu, T.D., Ciubotariu, N. *Comentarii asupra aspectelor globale din examinarea unor conducte în exploatare*, Proceedings of the Scientific Communication Meeting of „Aurel Vlaicu” University, Third Edition, Vol. 4, Arad, 1996.
- [11]. Babeu, T.D., Cristuinea, C., Blaj, L. *Cercetări privind posibilitatea modelării comportării la temperaturi ridicate a unor oțeluri termorezistente*, Conferința Aniversară „75 de ani ai Laboratorului de Rezistența Materialelor”, vol. A, Timișoara, octombrie 1998.
- [12]. Bejan, M. *În lumea unităților de măsură*, Editura Agir, București, 2000.
- [13]. Bejan, M., Matieș, V. *Inginerul în societatea avansat automatizată*, Al II-lea Simpozion Științific al Inginerilor de pretutindeni, București, septembrie, 1998.
- [14]. Bejan, M., Bălan, I., Văsa, C. *Energia – prezent și viitor*, A Doua Conferință Națională „Profesorul Dorin Pavel - fondatorul hidroenergeticii românești”, Sebeș, pag. 21-26, 2002.
- [15]. Bejan, M. *Rezistența Materialelor, vol.1*, Editura AGIR, București, Editura Mega, Cluj-Napoca, 2004.
- [16]. Blaj, L. *Modelarea comportării elasto-vâsco-plastice a materialelor*, Editura Mirton, Timișoara, 1999.
- [17]. Blaj, L. *Cercetări privind modelarea comportării mecanice la temperaturi ridicate a unor oțeluri termorezistente*, Teză de doctorat, Timișoara, 1998.
- [18]. Bodea, M., ș.a. *Circuite integrate lineare. manual de utilizare. vol.IV*, Editura Tehnică, București, 1985.
- [19]. Borzdík, A.M. *Metodî goriaceh mehaniceschih ispitanii metallov*, Moscova, 1962.
- [20]. Budău, V., Liță, M., Crăciunescu, M., *Aspecte ale comportării în exploatare a materialului supraîncălzitorului de abur de la un cazan de 19 t/h*, Conferința de tratamente termice și termochimice, Cluj-Napoca, pag.120-125, septembrie, 1992.
- [21]. Buzdugan, Gh. *Rezistența Materialelor*, Editura Academiei, București, 1986.
- [22]. Buzdugan, Gh. *Proiectarea de rezistență în construcția de mașini*, Editura Academiei, București, 1998.
- [23]. Canta, T. *Unele aspecte privind utilizarea încercării de forfecare simplă în caracterizarea comportării la deformare la cald a metalelor*, Sesiune tehnico-științifică, Universitatea Brașov, pag.1-9, februarie 1986.
- [24]. Carțiș, Gh. I. *Tratamente termice*, Editura Facla, Timișoara, 1982.
- [25]. Cațarschi, V. *Contribuții privind modernizarea tehnologiilor de încălzire a unor oțeluri susceptibile la fisurare în vederea deformării plastice ulterioare*, Rezumat teză de doctorat, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi”, Iași, 1996.

- [26]. Cheșa, I., ș.a. *Alegerea și utilizarea oțelurilor*, Editura Tehnică, București, 1984.
- [27]. Cheșa, I. ș.a. *Mărci și produse din oțel*, Editura Tehnică, București, 1989.
- [28]. Cicală, E.F. *Metode de prelucrare statistică a datelor experimentale*, Editura Politehnica, Timișoara, 1999.
- [29]. Cioclov, D. *Recipiente sub presiune. Analiza stării de tensiune și deformație*, Editura Academiei, București, 1983.
- [30]. Cioclov, D. *Analiza defectelor critice în recipiente sub presiune*, O.I.D-I.C.M., Revista Sudura și Încercări de materiale, nr.6., pag. 3, 1985.
- [31]. Cioclov, D. *Mecanica ruperii materialelor*, Editura Academiei, București, 1977.
- [32]. Constantin, P., ș.a. *Electronică industrială*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.
- [33]. Constantinescu, A. *Criterii de alegere rațională a oțelurilor*, vol. I, II și III, O.I.D-I.C.M., București, 1998 – 1999 - 2000.
- [34]. Constantinescu, I., Golumbovici, D., Militaru, C. *Prelucrarea datelor experimentale cu calculatoare numerice – aplicații din construcția de mașini*, Editura Tehnică, București, 1980.
- [35]. Dănciulescu, C., Momirlan, M., Fătu, D. *Bazele fizico-chimice ale oxidării metalelor la temperaturi ridicate*, Editura Agir, București, 2002.
- [36]. Demian, M. *Studiu asupra duratei de viață a elementelor active care lucrează la temperaturi și presiuni ridicate*, Teză de doctorat, Timișoara, 2002.
- [37]. Delamarian, C. *Manual pentru mentenanța și retehnologizarea instalațiilor termoelectrice industriale*, Editura Sudura, Timișoara, 1999.
- [38]. Dieter, G.F. *Metalurgie mecanică*, Editura Tehnică, București, 1970.
- [39]. Deică, N. *Utilizarea rațională a produselor refractare*, Editura Tehnică, București, 1982.
- [40]. Dobre, I. *Curs de Rezistența Materialelor, vol.I. Solicitări fundamentale – probleme clasice*, Litografia UPT, 1979.
- [41]. Domșa, A., Domșa S. *Materiale metalice în construcția de mașini și instalații*, vol. I și II, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1982.
- [42]. Dumitru, I. *Oboseala la șoc a materialelor*, Editura Mirton, Timișoara, 1998.
- [43]. Dumitru, I., Faur, N., *Elemente de calcul și aplicații în Rezistența materialelor*, Editura Politehnica, Timișoara, 1999.
- [44]. Dorn, J. *Mechanical Behavior of Materials at Elevated Temperature*, Mac-Graw Hill Ltd, New-York, 1961.
- [45]. Fleșer, T. *Cercetări asupra corelației dintre caracteristicile structurale și mecanice ale oțelurilor slab aliate termorezistente*, Teză de doctorat, Timișoara, 1981.
- [46]. Fleșer, T., Ivan, E. *Testarea unui model cuptor pentru încercări mecanice*, Revista Construcția de mașini, nr.37, pag. 282-285, 1985.
- [47]. Francois, D., Pineau, A., Zaoui, A. *Comportement mecanique des materiaux*, Editura Hermes, Paris, 1986.
- [48]. Gaba, A. *Model matematic de calcul al transferului de căldură în cuptoarele de încălzire*, Metalurgia, nr.4, pag. 194-198, 1988.
- [49]. Geru, N. *Teoria structurală a proprietăților metalelor*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980.
- [50]. Gal, A., Gnant, A., Kispal, I. *Reutilizarea corpurilor de presiune a cazanelor de abur tip Aba 2 t/h pentru execuția cazanelor de apă caldă, utilizând combustibil deșeuri de lemn*, A Doua Conferință Națională „Profesorul Dorin Pavel-fondatorul hidroenergeticii românești”, Sebeș, pag. 173-176, 2002.
- [51]. Golfarb, E.M., ș.a. *Calculul cuptoarelor de încălzire*, Editura Tehnică, București, 1960.
- [52]. Gutt, G., ș.a. *Încercarea și caracterizarea materialelor metalice*, Editura Tehnică, București, 2000.
- [53]. Hajdu, I. *Contribuții la studiul influenței temperaturii și vitezei de încărcare asupra limitei de curgere a unui oțel moale*, Teză de doctorat, Timișoara, 1963.
- [54]. Hajdu, I.,ș.a. *Analiza stării de tensiune din peretele unei conducte de abur viu dintr-o centrală termoelectrică de mare putere*, Revista Energetica, nr. 23, 1975.

- [55]. Hajdu, I.,  
Cristuinea, C., *Investigations on the mechanical behavior of some steels and cast irons at elevated temperatures conducted during the last three decades in the Department of Strengths Materials from the „Politehnica” Timisoara, partea I și II, Buletinul Științific al UPT, Seria Mecanică, Tom 45 (59), pag.45-58, 2000.*
- [56]. Hall, R.F.,  
Powell, B.E., *Crack growth in IMI at 550°C under combined high and low cycle fatigue, Materials at High Temperatures 19 (1), Elsevier Science, pag.1-8, 2002.*
- [57]. Ieremiciu, T., *Aplicarea metodelor statistice la analiza comportării la fluaj a oțelului utilizat pentru conductele de abur ale centralelor termoelectrice, Revista Construcția de mașini, nr.32, pag. 369-374, 1980.*
- [58]. Ignea, A., *Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice, Editura de Vest, Timișoara, 1996.*
- [59]. Jalobeanu, C., Rașa, I., *Probleme de calcul numeric și statistic în MATIICAD, Editura Albastră, Cluj-Napoca, 1995.*
- [60]. Jinescu, V.V., *Utilaj tehnologic pentru industrii de proces, vol.2 și 3, Editura Tehnică, București, 1984, 1988.*
- [61]. Lăpușan, A., *Studii și cercetări privind elaborarea și comportarea oțelurilor utilizate în domeniul temperaturilor ridicate, Lucrare de disertație, Hunedoara, 2000.*
- [62]. Lăpușan, A., *Studiu privind modalitățile de realizare a unor incinte pentru încălzirea epruvetelor în vederea încercărilor mecanice de duritate la temperaturi ridicate, A Treia Conferință Națională „Profesorul Dorin Pavel-fondatorul hidroenergeticii românești”, Sebeș, pag. 89-92, 2003.*
- [63]. Lăpușan, A., *Influența elementelor de aliere asupra limitei de curgere convenționale a oțelului 12VMoCr10, în condiții de temperaturi ridicate, REZMAT' 26, „Comportarea materialelor metalice la solicitări statice și dinamice”, Editura MIRTON, Timișoara, pag. 107-114, 2001.*
- [64]. Lăpușan, A., *Determinarea caracteristicilor mecanice la tracțiune, în condiții de temperaturi ridicate, pentru oțelurile 55VMoCrNi16 și 90VMoCr18, Analele Facultății de Inginerie Hunedoara, Tom 2, Fascicola 4, pag. 242-249, 2000.*
- [65]. Lăpușan, A., *Analiză asupra criteriilor de apreciere ale efectelor coroziunii. Modelarea și prognozarea proceselor de coroziune, Analele Facultății de Inginerie Hunedoara, Tom 2, Fascicola 5, pag. 189-196, 2000.*
- [66]. Lăpușan, A., *Cercetări privind comportarea la temperaturi ridicate a oțelurilor pentru țevi. Lucrările Sesiunii de comunicări științifice ale Universității „Petru Maior” Tg. Mureș, vol.1, pag. 137-144, 2000.*
- [67]. Lăpușan, A., *Considerații asupra ruperilor la oboseală a unor organe de mașini. Lucrările Sesiunii de comunicări științifice ale Universității „Petru Maior” Tg. Mureș, vol.1, pag. 129-136, 2000.*
- [68]. Lăpușan, A.,  
Toader, Șt., *Influența debitului apei de răcire asupra variațiilor de temperaturi în cilindrii degrosatori de laminare, Analele Facultății de Inginerie Hunedoara, Tom 3, Fasc. 4, pag. 94-97, 2001.*
- [69]. Lăpușan, A., *Considerații generale asupra stabilității regimurilor termice la care sunt solicitate ghidajele din cajele de laminare, Conferința Internațională BEYOND 2000, Sibiu, Acta Universitas Cibiniensis, Seria Tehnică, vol. XLII, pag. 79-82, 1999.*
- [70]. Lăpușan, A., *Study regarding the ways for practical execution of some enclosures for heating the specimens and their adjustment for the testing machines in order to perform high temperature mechanical tests, VII<sup>th</sup> International Symposium Interdisciplinary Regional Research, ISSIR 2003, Hunedoara, pag. 536-541, 2003.*
- [71]. Lăpușan, A.,  
Popescu, B., *Experimental investigations on a procedure for welding the membrane walls of the boilers within the thermoelectric power stations, in order to increase the lifetime of the components, VII<sup>th</sup> International Symposium Interdisciplinary Regional Research, ISSIR 2003, Hunedoara, pag. 530-535, 2003.*

- [72]. **Lăpușan, A., Babeu, T.D.** *Influența elementelor de aliere asupra limitei de curgere tehnică a oțelurilor pentru țevi, în condiții de temperaturi ridicate*, A Patra Conferință Națională „Profesorul Dorin Pavel-fondatorul hidroenergeticii românești”, Sebeș, în curs de apariție, 2004.
- [73]. **Lăpușan, A., Babeu, T.D.** *Caracteristicile mecanice la răsucire ale oțelului 16Mo3, determinate pe epruvete de secțiune circulară, în domeniul temperaturilor ridicate*, A Patra Conferință Națională „Profesorul Dorin Pavel-fondatorul hidroenergeticii românești”, Sebeș, în curs de apariție, 2003.
- [74]. **Lăpușan, A., Babeu, T.D.** *The behavior on shock bending of OLT 45K steel under high temperature*, 10<sup>th</sup> International Symposium on Experimental Stress Analysis and Materials Testing, 22-23 octombrie 2004, Sibiu, în curs de apariție.
- [75]. **Lăpușan, A., Babeu, T.D.** *The hardness tests under high temperatures*, 10<sup>th</sup> International Symposium on Experimental Stress Analysis and Materials Testing, 22-23 octombrie 2004, Sibiu, în curs de apariție.
- [76]. **Lascu-Simion, N., Mazilu, E.** *Considerații privind stabilirea pe baze probabilistice a caracteristicilor la cald a oțelurilor termorezistente*, Sesiunea ICEM, 7-9 septembrie, 1977.
- [77]. **Lascu-Simion, N., Rotenstein, B., Mazilu, E.** *Modificări ale structurii și proprietăților mecanice ale conductelor de tip Cr-Mo în urma utilizării de durată*, Revista Energetica nr. 21, 1973.
- [78]. **Lascu-Simion, N.** *Oboseala metalelor la temperaturi ridicate*, Studiu de sinteză, Oficiul de documente și publicații tehnice, 1968.
- [79]. **Lemaitre, J., Chaboche, J.L.** *Mecanique des materiaux solides*, Editura Dunod, Paris, 1988.
- [80]. **Lieurade, H.P.** *La pratique des essais de fatigue. Methodes experimentales et analyse des resultats*, Paris, 1982.
- [81]. **Liu, C., Bhole, S.D.** *Fracture behavior in a pressure vessel steel weld*, Material and Design, Elsevier Science, 23, pag.371-376, 2002.
- [82]. **Marchidan, D.I., Ciopec, M.** *Temperatura - scări, metode și mijloace de măsurare*, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1977.
- [83]. **Marșavina, L.** *Metode numerice în Mecanica ruperii*, Editura Mirton, Timișoara, 1998.
- [84]. **Maksay, Șt.** *Matematici speciale*, Editura Politehnica, Timișoara, 2001.
- [85]. **Mateiu, H.** *Fenomenul de degradare la solicitări termomecanice*, Teză de doctorat, Timișoara, 2002.
- [86]. **Menzemer, C.C., Srivatsan, T.S., Ortiz, R., Meslet Al-Hajri, Petraroli, M.** *Influence of temperature on impact fracture behavior of an alloy steel*, Material and Design, no. 22, Elsevier Science, pag. 659-667, 2002.
- [87]. **Minea, R.** *Studii la presiuni și temperaturi ridicate*, Teză de doctorat, Timișoara, 1998.
- [88]. **Mocanu, D.R., ș.a.** *Încercarea materialelor*, vol. I. Încercări distructive ale metalelor, Editura Tehnică, București, 1982.
- [89]. **Mocanu, D.R.** *Analiza experimentală a tensiunilor*, Editura Tehnică, București, 1976.
- [90]. **Nardin, M.** *Comportarea materialelor metalice speciale în condiții de exploatare*, 1998.
- [91]. **Nădășan, Șt., ș.a.** *Manualul tehnicianului din laboratorul de încercări de metale*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1969.
- [92]. **Nădășan, Șt., ș.a.** *Încercări și analize de metale*, Editura Tehnică, București, 1965.
- [93]. **Nădășan, Șt.ș.a.** *Oboseala metalelor*, Editura Tehnică, București, 1962.
- [94]. **Nagesha, A., Valsan, M., Kannan, R., Bhanu Sankara Rao, K., Mannan, S.L.,** *Influence of temperature on the low cycle fatigue behavior of a modified 9Cr-1Mo ferritic steel*, International Journal of Fatigue, no. 24, Elsevier Science, pag. 1285-1293, 2002.
- [95]. **Nichici, A., Cicală, E., Mee, R.** *Prelucrarea datelor experimentale – curs și aplicații*, Litografia UPT, 1996.
- [96]. **Nicolet, S., Sermage, J.Ph.** *Non-linear creep fatigue interactive based on a viscoplastic law coupled with damage*, S6-41, Rev. Materials at High temperatures 15 (3/4), pag. 271-275, 1999.

- [97]. Palaghian, L., Birsan, I.G. *Solicitări mecanice ale oțelurilor în medii corosive*, Editura Tehnică, București, 1999.
- [98]. Pană, T. *Aplicații ingineresti ale mecanicii ruperilor*, Editura Tehnică, București, 1975.
- [99]. Pavel, A. *Oboseala termooligociclică*, Editura Tehnică, București, 1996.
- [100]. Pănoiu, A.N. *Cazane de abur*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982.
- [101]. Pătrășcoiu, N. *Sisteme de achiziție și prelucrare a datelor: instrumentație virtuală*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 2004.
- [102]. Pineau, A. *Assement procedures for defects in the creep range*, Ecole de Mines, Centre de Materiaux Evry, International Conference „High temperature Structural Design”. Venue, 24-26 octombrie, 1990.
- [103]. Poirier, J.P. *Plasticite a haute temperatures des solides cristallins*, Eyrolles, Paris, 1976.
- [104]. Ponomariov, S.D., ș.a. *Calculul de rezistență în construcția de mașini*, vol. I, II și III, Editura Tehnică, București, 1960.
- [105]. Popa, B.ș.a. *Solicitări termice în construcția de mașini*, București, Editura Tehnică, 1978.
- [106]. Posea, N., ș.a. *Statica și dinamica sistemelor de conducte*, Editura Academiei, București, 1996.
- [107]. Prejban, I. *Tratamente termice*, îndrumar pentru lucrări de laborator și proiect, Litografia UPT, 1990.
- [108]. Rabbe, P., Pomey, G. *Aparatul IRSID pentru măsurarea durității la cald*, Colecția Documentare Metalurgică, nr.7, pag. 163-165, 1970.
- [109]. Rășănescu, I. *Fenomene de transfer*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1984.
- [110]. Rațiu, M. *Elemente de sclerometrie*, Editura Mirton, Timișoara, 1998.
- [111]. Samoilă, C., Drugă, L., Stan, L. *Cuptoare și instalații de încălzire*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.
- [112]. Sarkani, S., Tritchkov, V., Michaelov, G. *An efficient approach for computing residual stress in welded joints*, Finite Elements in Analysis and Design, no.35, pag.247-268, Elsevier Science, 2002.
- [113]. Sofonea, G., Frățilă, M., *Rezistența Materialelor*, Universitatea „Lucian Blaga” Sibiu, 1998.
- [114]. Taira, S., ș.a. *Teoria rezistenței materialelor la temperaturi înalte*, Moskva, Metalurgia, 1986.
- [115]. Tanguy, B., Besson, J., Piques, R., Pineau, A. *Numerical Modeling of Charpy V-Notch Tested*, Ecole de Mines de Paris, Centre de Materiaux, from Charpy to Present Impact Testing, Elsevier Science Ltd. Ans ESIS, 2002.
- [116]. Toader, St., **Lăpușan, A.** *Cercetări asupra oboselii termice a cuțitelor foarfecilor pentru tăiere la cald a blumurilor în laminarele de tip blooming*, Analele Facultății de Inginerie Hunedoara, Tom I, Fascicola 3, pag. 39-44, 1999.
- [117]. Toader, St., **Lăpușan, A.** *Determinarea valorii temperaturii medii pe suprafața cilindrilor din cajele laminarelor de tablă*, Analele Facultății de Inginerie Hunedoara, Tom I, Fascicola 3, pag. 45-48, 1999.
- [118]. Toader Șt., **Lăpușan A.** *Research on the resistance to thermal fatigue of some steel grades used in making the arms of the rolling loading machines used in steel plants*, Buletinul Științific al U.P.T. Seria Mecanică, Tom 45(59), Fascicola I, pag. 73-78, 2000.
- [119]. Toader Șt., **Lăpușan, A.** *Studies and research on the temperature variation pattern at the clamping ends of a crane with vertical gripping tongs (Tiegler)*, Buletinul Științific al U.P.T. Seria Mecanică, Tom 45(59), Fascicola I, pag. 79-84, 2000.
- [120]. Taloi, D. ș.a. *Optimizarea proceselor metalurgice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.
- [121]. Tripa, P. *Cercetări asupra tenacității unor oțeluri utilizate la conductele de abur din centralele termoelectrice*, Teză de doctorat, Timișoara, 1997.
- [122]. Tripa, P. *Mecanica ruperii cu aplicații la conducte*, Editura Mirton, Timișoara, 1998.
- [123]. Todorean, I. *Tratarea matematică a datelor experimentale*, Editura Academiei, București, 1976.

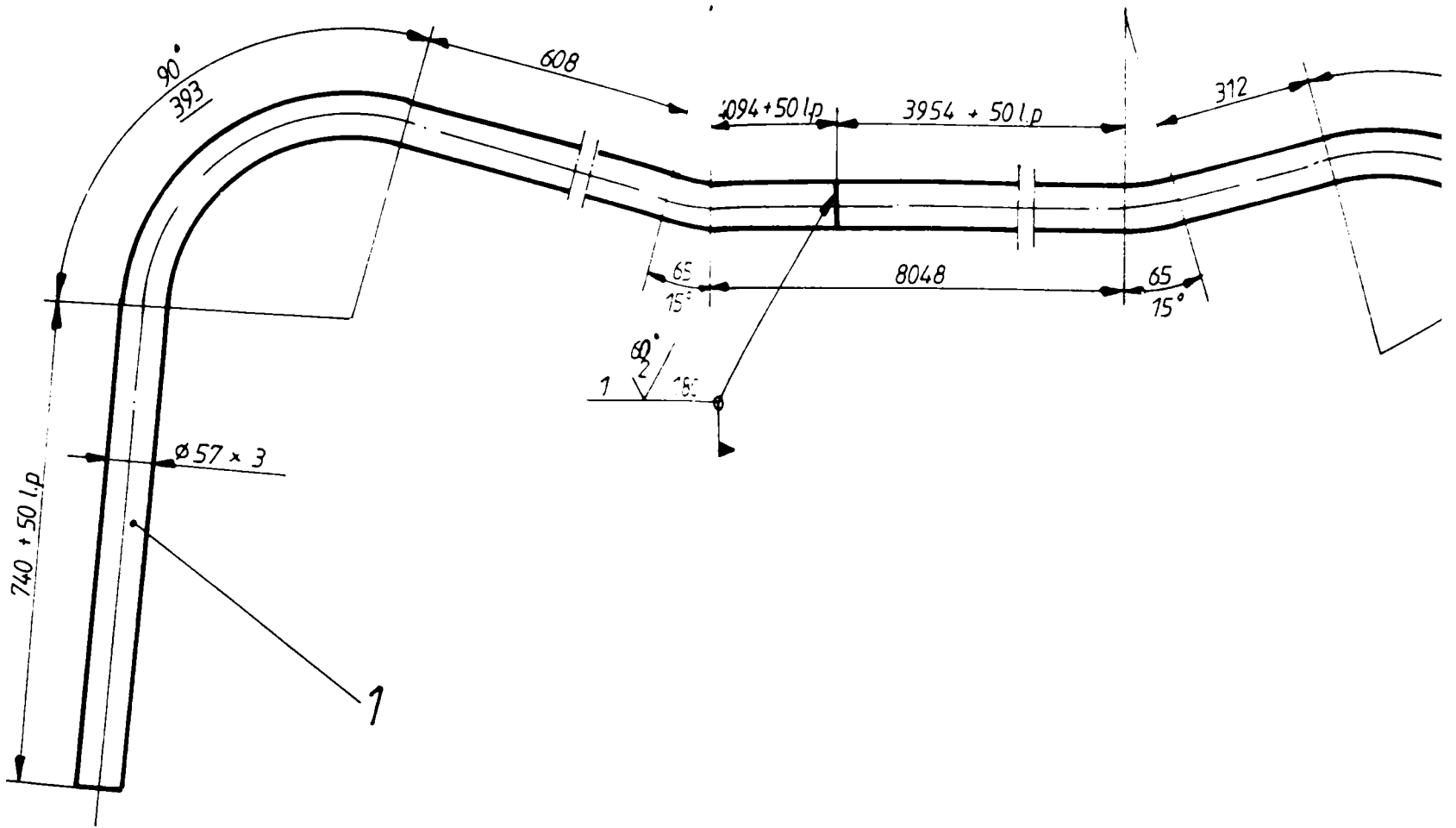
- [124]. Trușculescu, M., Fleșer, T. *Studiul asupra comportării la temperaturi a oțelului 12CrMoV3*, Revista Metalurgia nr.11-36, 1984.
- [125]. Trușculescu, M., Fleșer, T. *Dependența caracteristicilor la tracțiune de structura oțelurilor 12H1MF și 12CrMoV3*, Revista Cercetări Metalurgice nr.23, 1982.
- [126]. Turcu, L. *Probleme legate de stabilirea rezervei de viață pentru conductele de abur ale unui grup energetic*, Revista Energetica 44/1996, nr.2A.
- [127]. Turcu, L., Grăpinoiu V. *Aspecte mecano-metalurgice rezultate în urma examinării unei avarii la o conductă de abur viu*, Revista Energetica 28/1980, nr.10-11.
- [128]. Turcu, L. *Metode de prognozarea duratei de viață a tubulaturii cazanelor energetice*, Revista Energetica 43/1995, nr.6A.
- [129]. Udrescu, L. *Transfer termic și masic la aliaje metalice*, Editura Politehnica, Timișoara, 1999.
- [130]. Ungureanu, C. *Generatoare de abur pentru instalații energetice, clasice și nucleare*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1977.
- [131]. Ungureanu, C., Theil, H., Oanca, N. *Calculul agregatului de cazan, îndrumător de proiectare*, Litografia UPT, 1970.
- [132]. Vacu, S., ș.a. *Elaborarea oțelurilor aliate*, vol. I și II, Editura Tehnică, București, 1984.
- [133]. Vareda, L.V., Spinelli, D. *Fatigue, monotonic and fracture toughness properties of a Cr-Mn-N steel*, International Journal of Fatigue no.23, Elsevier Science, pag. 857-863, 2001.
- [134]. Voinea, V., Voiculescu, D., Simion, F.P. *Introducere în mecanica solidului deformabil cu aplicații în inginerie*, Editura Academiei, București, 1989.
- [135]. Weber, F. *Contribuții la studiul comportării oțelurilor la temperaturi scăzute*, Teză de doctorat, Timișoara, 1998.
- [136]. Weber, F. *Rezistența materialelor*, îndrumar de laborator, Editura Mirton, Timișoara, 2000.
- [137]. Weber, F.(coord.), Lăpușan A., ș.a. *Comportarea materialelor metalice la solicitări statice și dinamice*, Editura Mirton, Timișoara, 2001.
- [138]. Weber, F., Lăpușan, A. *Modelarea matematică a câmpului termic din epruvetele cilindrice respectiv prismatice de lungime infinită, în condiții de temperaturi scăzute*, Analele Facultății de Inginerie Hunedoara, Tom IV, Fascicola 1, pag.191-196, 2002.
- [139]. Weber, F., Lăpușan, A. *Modelarea matematică a câmpului termic din epruvetele cilindrice respectiv prismatice de lungime finită, în condiții de temperaturi scăzute*, Analele Facultății de Inginerie Hunedoara, Tom IV, Fascicola 1, pag.197-200, 2002.
- [140]. Zamfir, S., Vidu, R., Brânzoi, V. *Coroziunea materialelor metalice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1994.
- [141]. Zhang, Z., Delagnes, D., Bernhart, G. *Anisothermal cyclic plasticity modelling of martensitic steels*, International Journal of Fatigue, no.24, Elsevier Science, pg.635-648, 2002.
- [142]. STAS 1963-81 *Rezistența materialelor. Terminologie și simboluri*
- [143]. STAS 6967-88 *Încercările mecanice ale metalelor. Clasificare.*
- [144]. STAS 1965-75 *Încercările metalelor. Terminologie*
- [145]. SR EN ISO 377: 2000 *Oțel și produse de oțel. Locul de prelevare și pregătirea probelor și epruvetelor pentru încercări mecanice.*
- [146]. SR EN ISO 3785:1997 *Oțel. Notarea axelor epruvetelor*
- [147]. STAS 10782-76 *Încercările metalelor. Luarea probelor din țevi pentru încercările mecanice.*
- [148]. STAS 4203-74 *Metalografie. Luarea și pregătirea probelor metalografice.*
- [149]. STAS 13122-93 *Încercările metalelor. Mecanica ruperii. Vocabular.*
- [150]. SR EN 10002-1:1994 *Materiale metalice. Încercarea la tracțiune. Partea 1: Metodă de încercare (la temperatura ambiantă).*
- [151]. SR EN 10002-5:1994 *Materiale metalice. Încercarea la tracțiune. Partea 5: Metoda de încercare la temperatură ridicată.*
- [152]. STAS 6718-85 *Încercările metalelor. Încercarea la tracțiune a țevilor.*
- [153]. STAS 10919-78 *Încercările metalelor. Încercări de duritate. Terminologie*

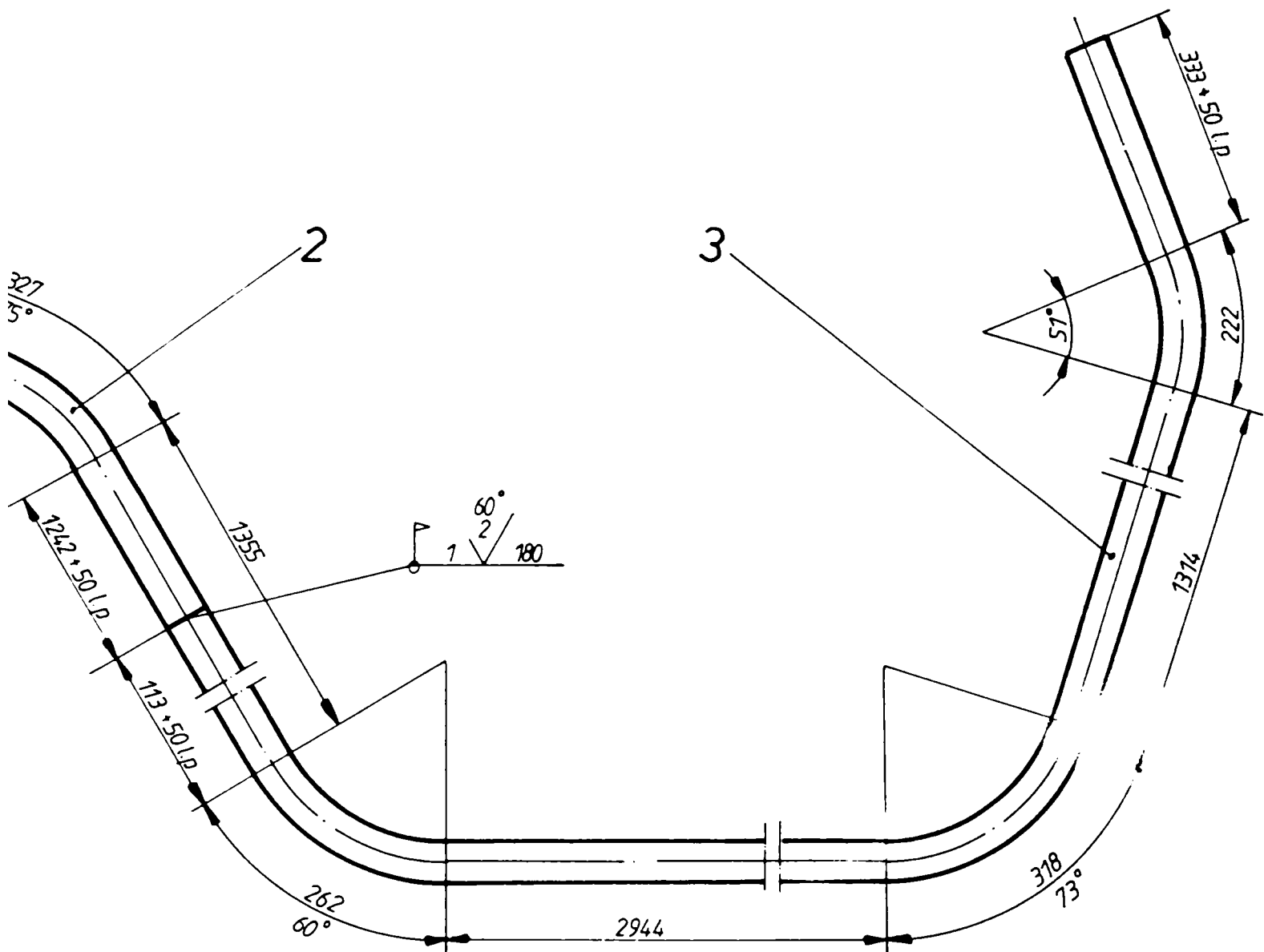
- [154]. SR EN 10003-1:1997 Materiale metalice. Încercarea de duritate Brinell. Partea 1: Metodă de încercare.
- [155]. STAS 7925-84 Încercările metalelor. Așezarea probelor la încercările de duritate
- [156]. SR EN 10045-1:1993 Materiale metalice. Încercarea la încovoiere prin șoc pe epruvete Charpy. Partea 1: Metodă de încercare.  
(Înlocuiește: STAS 1400-75; STAS 1511-81 și STAS 6833-79)
- [157]. STAS 10026-75 Încercările metalelor. Încercarea de încovoiere prin șoc pe epruvete cu creștătura în U și V. Determinarea cristalinității și fibrozității rupturii.
- [158]. 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.
- [159]. STAS 8184 - 87 Oțeluri pentru țevi utilizate la temperaturi ridicate. Mărci și condiții tehnice.
- [160]. STAS 3478-86 Țevi din oțel fără sudură pentru temperaturi ridicate. Condiții tehnice generale de calitate.
- [161]. STAS 2883-3:1988 Oțeluri destinate tablelor de cazane și recipiente sub presiune pentru temperaturi ambiantă și ridicată. Mărci și condiții tehnice de calitate.
- [162]. SR EN 10028-2:1996 Produse plate de oțeluri pentru recipiente sub presiune. Partea 2: Oțeluri nealiat și aliat cu caracteristici specificate la temperaturi ridicate.
- [163]. SR ISO 9330-2: Țevi de oțel sudate utilizate la presiune. Condiții tehnice de livrare. Partea 2: Țevi sudate prin rezistență prin presiune și sudate prin inducție, din oțeluri nealiat și aliat cu caracteristici precizate la temperatură ridicată.
- [164]. SR ISO 9329-2 :1999 Țevi de oțel fără sudură utilizate la presiune. Condiții tehnice de livrare. Partea 2: Oțeluri nealiat și aliat cu caracteristici precizate la temperatură ridicată.
- [165]. STAS 9858-93 Blumuri, țagle și bare laminate la cald din oțeluri pentru cazane și recipiente sub presiune. Condiții tehnice de calitate.
- [166]. STAS 503/3-87 Țevi din oțel fără sudură, trase sau laminate la rece, pentru temperaturi ridicate. Dimensiuni
- [167]. STAS 404/3-87 Țevi din oțel fără sudură, laminate la cald, pentru temperaturi ridicate. Dimensiuni
- [168]. STAS 8421-87 Mijloace de măsurare a temperaturii. Termocupluri tehnice. Condiții tehnice generale de calitate.
- [169]. STAS 8420-86 Mijloace de măsurare a temperaturii. Termometre tehnice cu rezistență. Condiții tehnice generale de calitate
- [170]. STAS 8374/2-82 Termometre tehnice. Termometre tubulare
- [171]. \*\*\* CATALOGUL Standardelor române, Editura Tehnică, București, 2002.
- [172]. \*\*\* Prescripții tehnice pentru verificarea deformațiilor și modificărilor structurale ale conductelor și elementelor cazanelor cu abur care funcționează la temperaturi ridicate, C29-82, I.S.C.I.R., București, 1983.
- [173]. \*\*\* Prescripții tehnice pentru proiectarea, execuția, montarea, repararea, instalarea, exploatarea și verificarea cazanelor de abur și cazanelor de apă fierbinte, C1-85, colecția I.S.C.I.R., București, 1986.
- [174]. \*\*\* Simbolizări și corespondențe de oțeluri, Oficiul de informare documentară al Ministerului Industriei Construcțiilor de Mașini, 1977.
- [175]. \*\*\* Matlab. Manual de utilizare
- [176]. \*\*\* Catalog de produse, Siderurgica Hunedoara.
- [177]. \*\*\* Prospect Amsler Wolpert, 1.60/1961
- [178]. \*\*\* DAQ 6023E/6024E/6025E User Manual Multifunction I/O Boards for PCI, PXI, and CompactPCI Bus Computers, January 1999 Edition, Part Number 322072B-01, National Instruments
- [179]. \*\*\* DAQ Hardware Overview Guide, June 2000 Edition, Part Number 370097B-01, National Instruments
- [180]. \*\*\* NI-DAQ™ User Manual for PC Compatibles, Part Number 321644G-01, June 2000 Edition, National Instruments



# **Anexa 1**

**Elementele constructive din care au fost  
prelevate materiale pentru încercările  
efectuate**

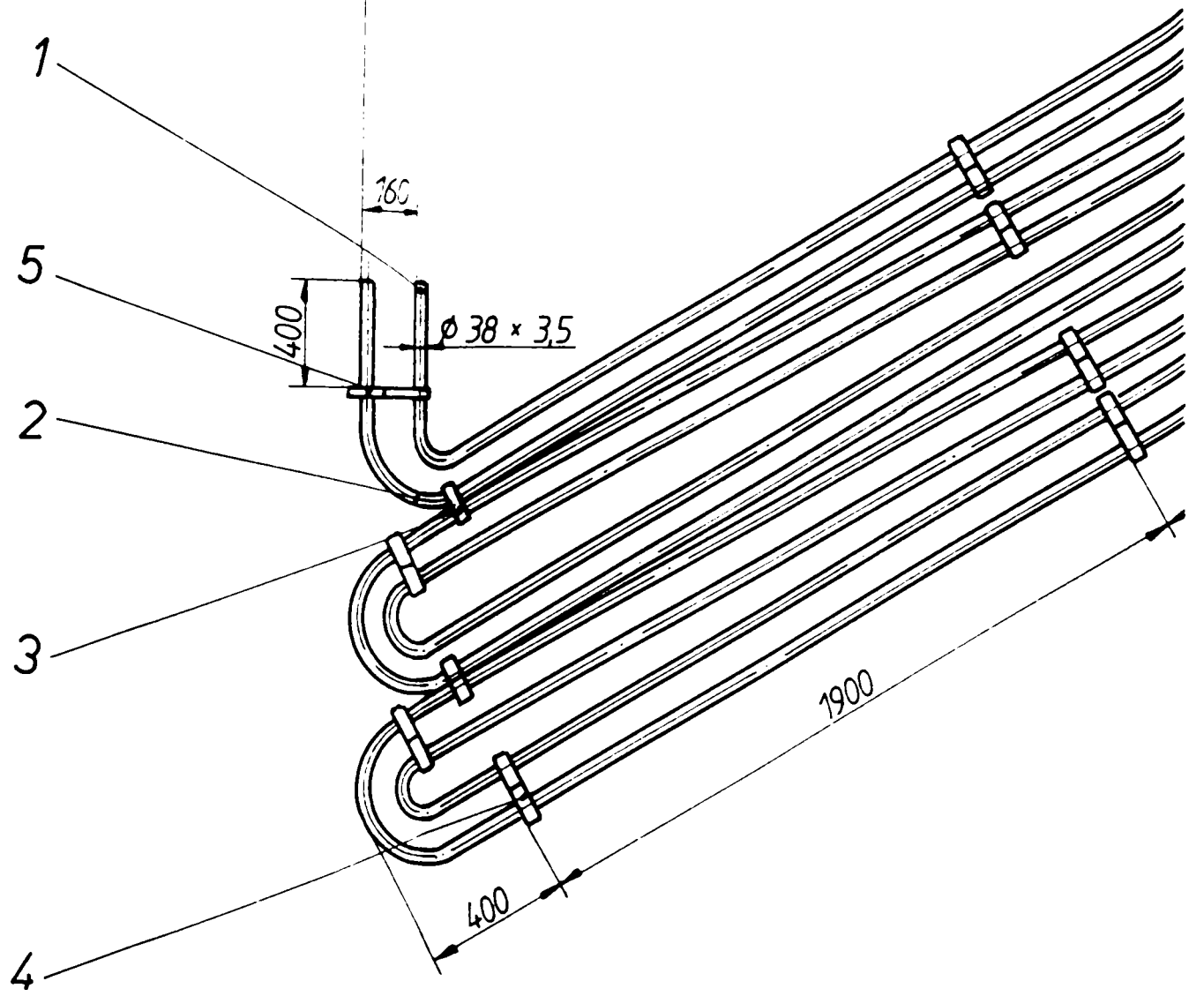


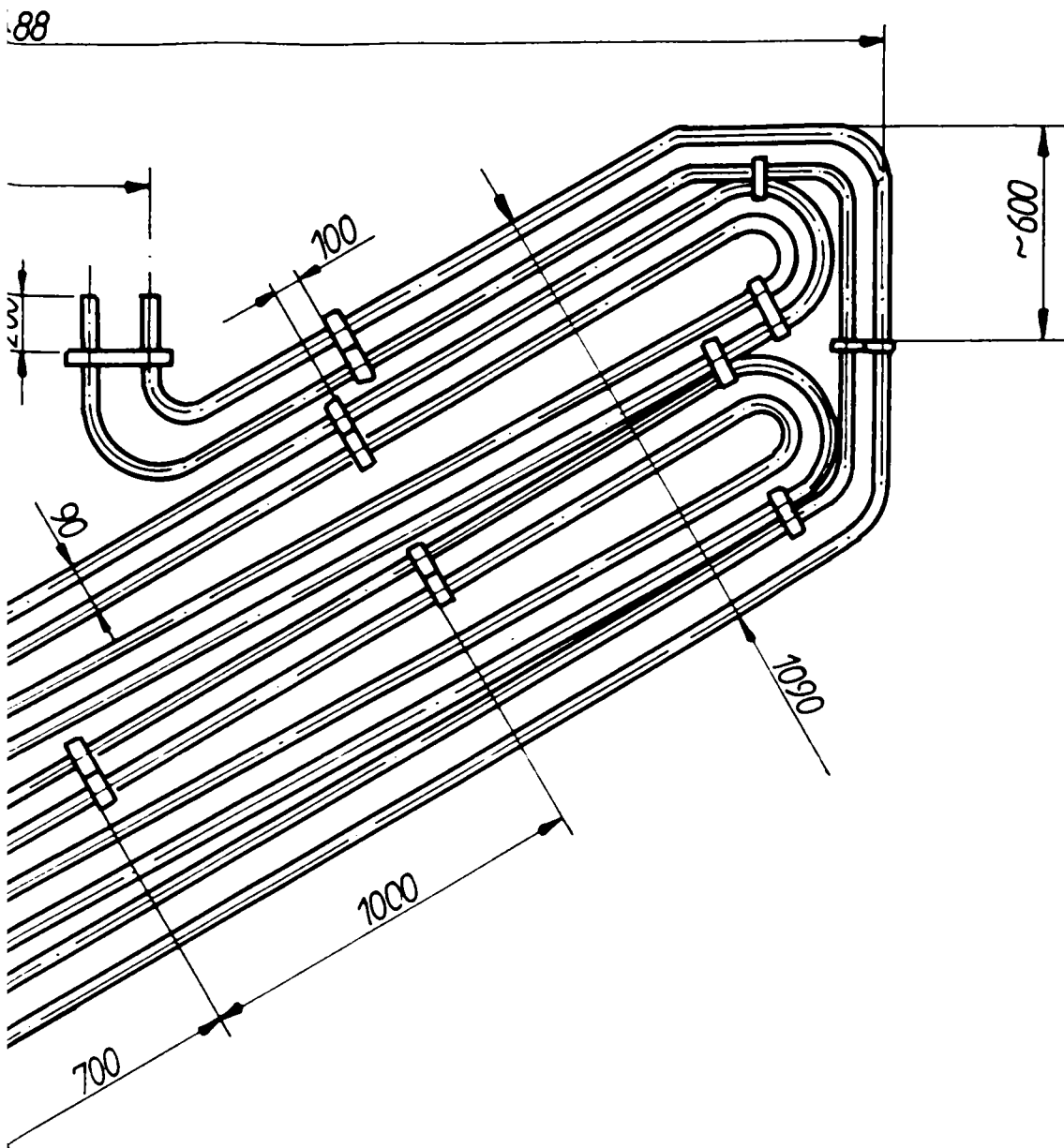


3	Teavă cazan II 57 x 3		1	OLT 35 K	STAS 3478-86	
2	Teavă cazan II 57 x 3		1	OLT 35 K	STAS 3478-86	
1	Teavă cazan II 57 x 3		1	OLT 35 K	STAS 3478-86	
POZ.	DENUMIREA	NR. DESEN SAU STAS	BUC.	MATERIAL	OBS.	MASA kg./buc.
PROIECTAT						
DESENAT						
VERIFICAT						
CONTR. STAS						
APROBAT		MASA NETA :				
FACULTATEA DE INGINERIE HUNEDOARA		1 : 10	ȚEAVĂ ECRAN SPATE			
		DATA : 8.04.2004				

2660

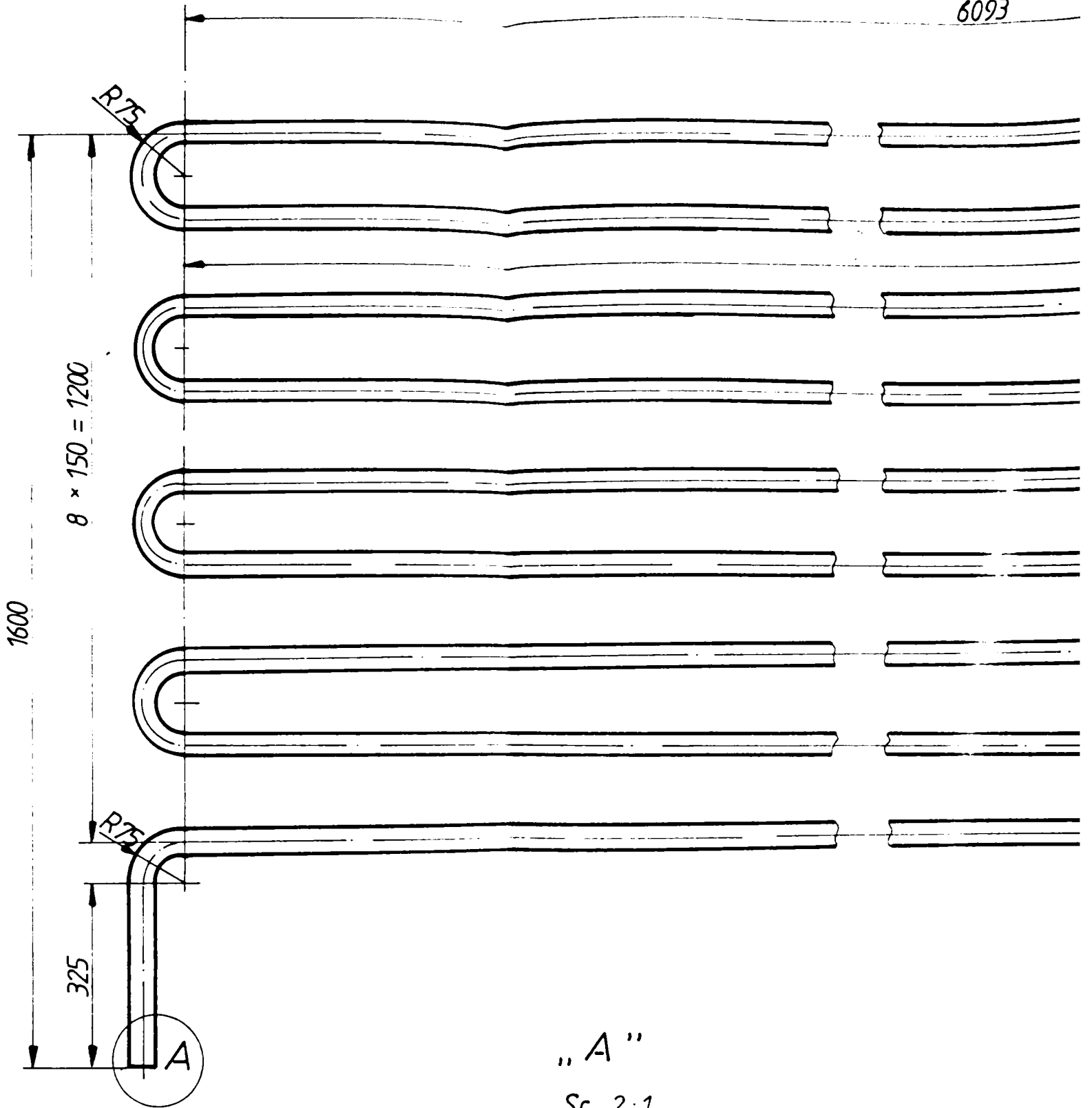
3





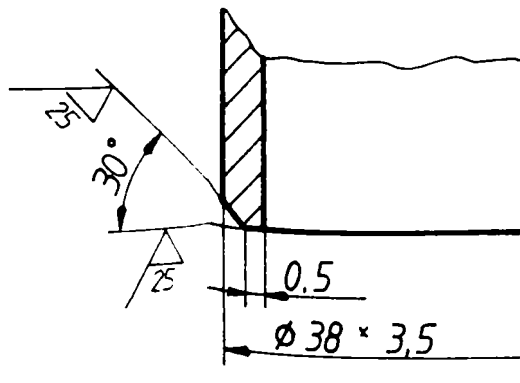
5	Brățară		2			
4	Brățară		13			
3	Brățară		5			
2	Serpentină II		1			
1	Serpentină I		1			
POZ.	DENUMIREA	NR. DESEN SAU STAS	BUC.	MATERIAL	OBS.	MASA kg./buc.
PROIECTAT						
DESENAT						
VERIFICAT						
CONTR STAS						
APROBAT						
		MASA NETA : 140,28 Kg				
FACULTATEA DE INGINERIE H N E D O A R A		1 : 20		SERPENTINĂ DUBLĂ		
		DATA : 6-04-2004				

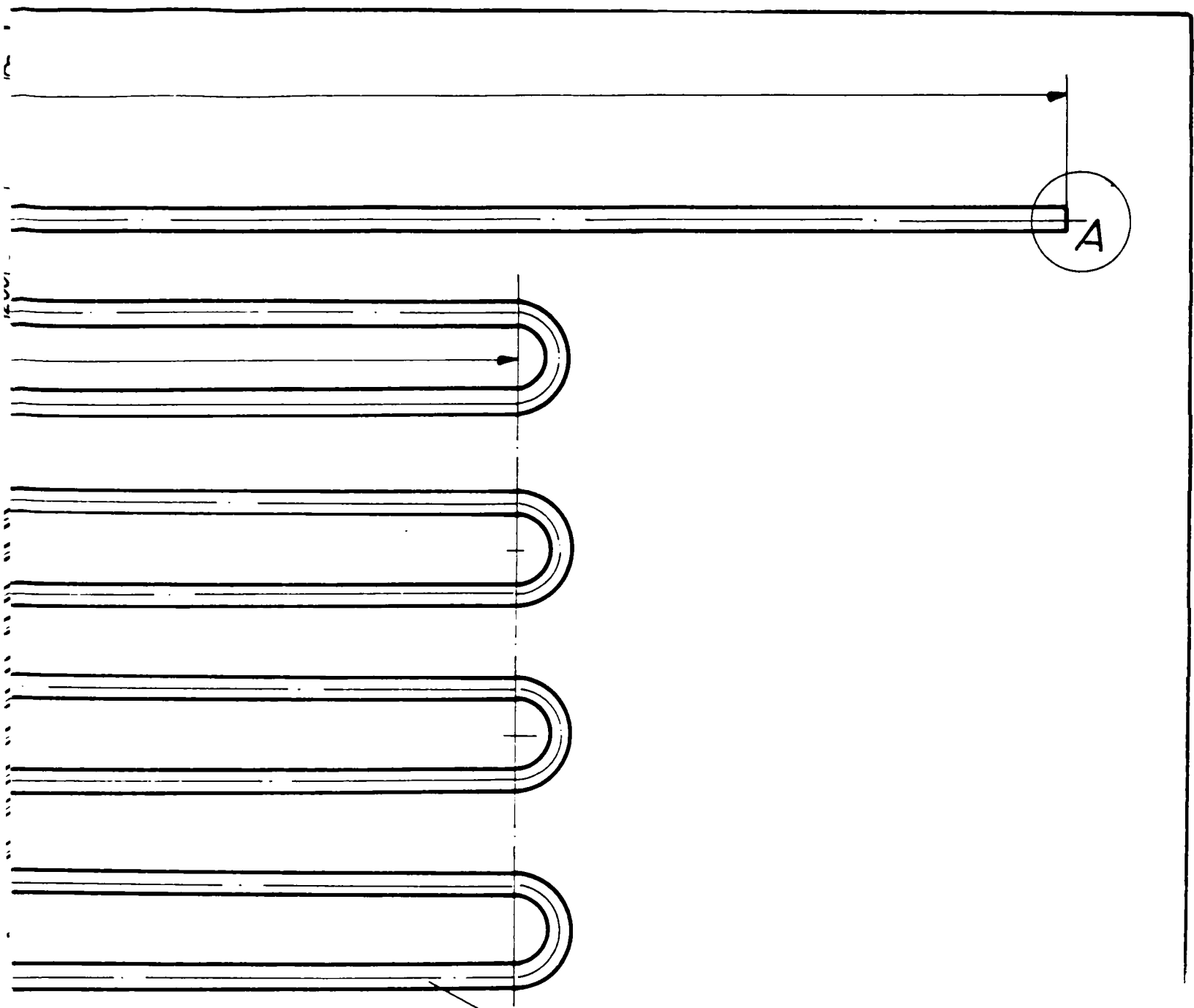
6093



„ A ”

Sc. 2:1





Teavă cazan II 38 x 3,5  
STAS 3478 - 86

[P] / [A]

PROIECTAT									
DESENAT									
VERIFICAT									
CONTR. STAS									
AFROBAT									
FACULTATEA DE INGINERIE HUNEDOARA				OLT 45k					
				MASA NETA: 1090 Kg					
				1 : 10 (2:1)	SERPENTINA				
				DATA: 7-04-2004					

## **Anexa 2**

**Fișierul cu date din programul de calcul al  
transferului termic**

**Schema logică de reglare a temperaturii**

**Interfața de lucru LABVIEW**



```
% PROGRAM GENFCT - GENEREAZA FUNCTIA BESSEL
% DE ORDINUL ZERO
%
    function F=test(x)
    niu =0;
    F=besselj(niu,x);
```

```
% PROGRAM EX1 DETERMINA CEA MAI
% APROPIATA RADACINA A FUNCTIEI BESSEL
% DE NUMARUL INDICAT
```

```
niiu=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)
```

```
» x
x =
```

```
2.40
5.52
8.65
11.79
14.93
18.07
21.21
24.35
27.49
30.63
33.78
36.92
40.06
43.20
46.34
49.48
52.62
55.77
58.91
```

```
% PROGRAM TEMP STABILESTE DISTRIBUTIA CAMPULUI TERMIC
% INTR-UN CILINDRU INFINIT LUNG
```

```
tc=773;to=273+20;a=.026;s=0;g(1,1)=1;
R=0.005;
%R=10
ind=0;
indi=0;
disp('r=: 0      .25*R      .5*R      .75 *R      R ')
ta=[10 20 30 40 50 60 120 360 720 1200 1800 2400 3600 4800];
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
g(indi,:),disp('_____')
end
```

```
%g
R = 10.00
r=:      0      0.25*R      0.5*R      0.75 *R      R
g =
277.20    293.81    293.92    289.85    773.00
285.87    293.39    293.35    291.77    773.00
289.79    293.19    293.13    292.53    773.00
291.56    293.09    293.05    292.83    773.00
292.97    293.00    293.00    293.08    773.00
293.00    293.00    293.00    297.01    773.00
293.00    293.00    293.01    308.72    773.00
293.00    293.00    293.10    324.96    773.00
293.00    293.00    293.46    342.67    773.00
293.01    293.31    304.17    420.91    773.00
295.88    303.92    354.80    514.14    773.00
312.39    331.92    408.47    566.64    773.00
342.95    369.25    454.96    601.41    773.00
380.68    409.14    494.50    626.84    773.00
553.97    573.09    625.68    698.49    773.00
655.57    665.93    694.31    733.30    773.00
710.21    715.76    730.94    751.79    773.00
739.44    742.40    750.52    761.66    773.00
755.06    756.64    760.98    766.94    773.00
772.58    772.62    772.72    772.86    773.00
772.88    772.89    772.92    772.96    773.00
772.97    772.97    772.98    772.99    773.00
ans = 23.00
h = 19.00
h = 20.00
```

```
% PROGRAM TEMPDR stabileste distributia cimpului termic
% intr-un paralelipiped infinit
```

```
tc=600;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=0.026
ta= [10 20 30 40 50 60 120 360 720 1200 1800 3600 4800
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;
di=(2*i-1)*pi/2;dj=-(2*i-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
```

```
g = 142.10    142.26    150.21    254.32    600.00
    239.86    244.57    278.61    397.00    600.00
    301.93    312.93    359.23    461.55    600.00
    350.88    364.90    412.53    497.64    600.00

    391.45    405.81    449.98    520.56    600.00
    425.09    438.48    477.63    536.41    600.00
    452.89    464.83    498.81    548.02    600.00
    475.84    486.27    515.47    556.89    600.00

    494.83    503.84    528.85    563.87    600.00
    510.60    518.35    539.75    569.48    600.00
    523.75    530.41    548.73    574.08    600.00
    534.77    540.49    556.20    577.88    600.00

    544.04    548.97    562.46    581.05    600.00
    551.88    556.12    567.74    583.72    600.00
    558.53    562.19    572.20
```

```

% PROGRAM TCILF stabileste distributia cimpului termic
% intr-un cilindru de lungime finita

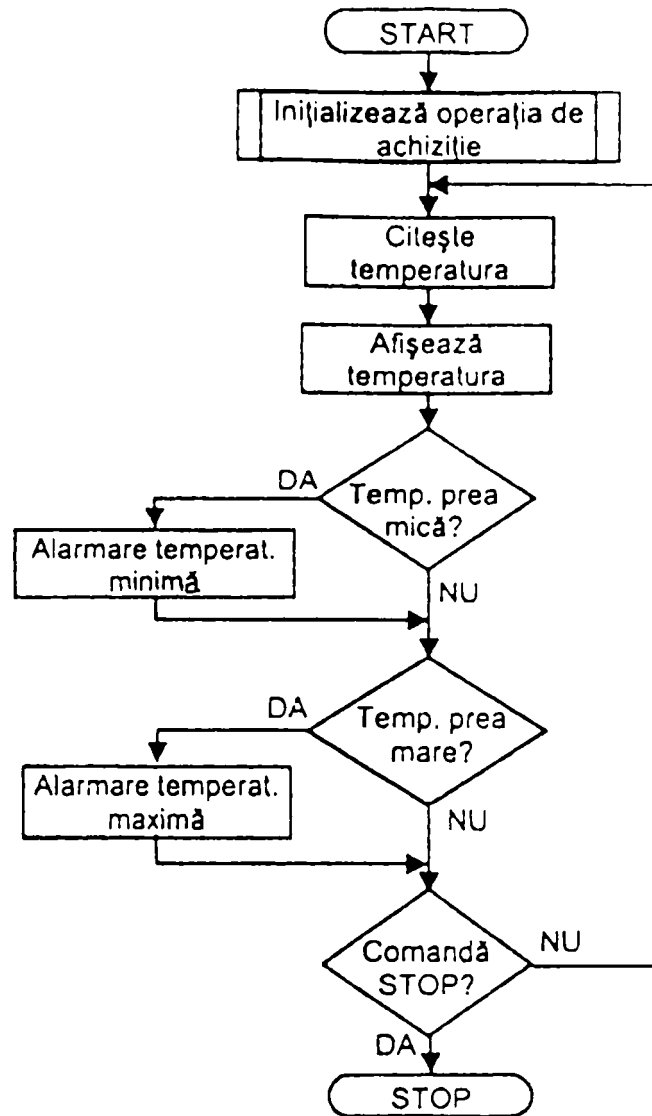
tc=600;to=20;a=.02;s=0;g(1,1)=1;R=10;h=42.5;ind=0;indi=0;
ab(1)=0;ord(1)=0;
z=40
% disp('r= 0      .25*R      .5*R      .75 *R      R ')
for tau=100:100:600
  indi=indi+1; ind=0;
  ab(indi)=tau;
  for r=0:2.5:R;
    for m=1:19;
      for i=1:19;
        del=(2*m-1)*pi/2;
        bet=(del/h)^2+(x(i)/R)^2;
        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

```

h = 42.50000000000000

z = 20

g =	20.25	20.45	30.52	162.33	600.00
	22.16	29.72	84.33	274.30	600.00
	37.09	57.86	145.30	338.54	600.00
	67.73	97.68	199.45	381.29	600.00
	107.95	141.84	246.06	412.59	600.00
	151.70	186.03	286.37	437.02	600.00
	195.18	228.06	321.55	456.96	600.00
	236.41	266.96	352.48	473.75	600.00
	274.53	302.43	379.81	488.18	600.00
	309.25	334.47	404.05	500.75	600.00
	340.60	363.27	425.59	511.81	600.00
	368.78	389.07	444.76	521.58	600.00
	394.03	412.15	461.83	530.24	600.00
	416.60	432.76	477.03	537.95	600.00
	436.76	451.16	490.59	544.80	600.00



### Masurarea temperaturii intr-o incinta

**Termometru indicator**

100  
80  
60  
40  
20  
0

0.00 degC

**Temperatura ambientală**

**Mesaj de eroare la sistemul de achiziție**

**Factor de amplificare pentru traductor**  
0.00

Calea fisierului pentru alarmare

Graficul evoluției în timp a temperaturii

Pict C

0 100

**Prag maxim acceptat**  
0.00 degC

**Prag minim acceptat**  
0.00 degC

**Temperatura prea ridicată**

**Temperatura prea scăzută**

## **Anexa 3**

**COMPOZIȚIA CHIMICĂ ȘI CARACTERISTICILE  
MECANICE ALE OȚELULUI OLT 35 K**

**COMPOZIȚIA CHIMICĂ ȘI CARACTERISTICILE  
MECANICE ALE OȚELULUI OLT 45 K**

**COMPOZIȚIA CHIMICĂ ȘI CARACTERISTICILE  
MECANICE ALE OȚELULUI 12VMoCr10**

## ANEXA 3.1

Compoziția chimică finală și caracteristicile mecanice ale oțelului OLT 35K pentru șarjele studiate.

Nr. șarjei	COMPOZIȚIA CHIMICĂ										CARACTERISTICI MECANICE						
	C [%]	Mn [%]	Si [%]	S [%]	P [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	R <sub>p0,2</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	R <sub>p0,2/450</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	R <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	A <sub>5</sub> [%]	Z [%]	KCU [J/cm <sup>2</sup> ]			
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
1.	0,15	0,58	0,21	0,025	0,016	0,14	0,12	0,04	330	220	350	30	59,5	255			
								Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media			
								<b>340</b>	<b>210</b>	<b>360</b>	<b>35</b>	<b>61,5</b>	<b>251</b>				
2.	0,13	0,57	0,21	0,025	0,016	0,14	0,12	0,04	335	210	458	31	63	251			
								Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media			
								<b>340</b>	<b>206</b>	<b>450</b>	<b>34</b>	<b>60</b>	<b>248</b>				
3.	0,10	0,62	0,17	0,017	0,025	0,30	0,14	0,04	309	187	443	35	70	307			
								Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media			
								<b>315</b>	<b>183</b>	<b>445</b>	<b>34</b>	<b>68</b>	<b>306</b>				
4.	0,11	0,60	0,12	0,017	0,024	0,29	0,15	0,03	340	221	490	31	58	242			
								Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media			
								<b>350</b>	<b>225</b>	<b>510</b>	<b>30</b>	<b>62</b>	<b>236</b>				
5.	0,12	0,61	0,18	0,016	0,023	0,30	0,14	0,04	312	189	430	39	68	278			
								Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media			
								<b>345</b>	<b>223</b>	<b>500</b>	<b>30,5</b>	<b>60</b>	<b>239</b>				
6.	0,12	0,50	0,18	0,021	0,020	0,16	0,10	0,04	328	199	440	31	69	270			
								Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media			
								<b>320</b>	<b>194</b>	<b>435</b>	<b>35</b>	<b>68,5</b>	<b>274</b>				
7.	0,12	0,62	0,19	0,018	0,016	0,11	0,10	0,04	315	197	444	34	67	271			
								Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media			
								<b>320</b>	<b>198</b>	<b>430</b>	<b>35,5</b>	<b>70</b>	<b>268</b>				
								285	162	417	36	71	267				
								275	156	423	35	75	273				
								Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media			
								<b>280</b>	<b>159</b>	<b>420</b>	<b>35,5</b>	<b>73</b>	<b>270</b>				







0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
									336	158	448	34	72	265
24.	0,12	0,55	0,27	0,020	0,018	0,25	0,14	0,03	334	152	442	30	66	267
									Media	Media	Media	Media	Media	Media
									<b>335</b>	<b>155</b>	<b>445</b>	<b>32</b>	<b>69</b>	<b>266</b>
									335	158	423	37	67	266
25.	0,11	0,58	0,25	0,021	0,020	0,20	0,09	0,02	331	156	427	34	69	268
									Media	Media	Media	Media	Media	Media
									<b>333</b>	<b>157</b>	<b>425</b>	<b>35,5</b>	<b>68</b>	<b>267</b>
									335	179	458	35	69	226
26.	0,15	0,54	0,26	0,010	0,017	0,20	0,11	0,03	333	177	456	31	65	234
									Media	Media	Media	Media	Media	Media
									<b>334</b>	<b>178</b>	<b>457</b>	<b>33</b>	<b>67</b>	<b>230</b>
									332	174	451	36	67	240
27.	0,14	0,51	0,24	0,017	0,019	0,28	0,15	0,03	330	166	447	28	65	236
									Media	Media	Media	Media	Media	Media
									<b>331</b>	<b>170</b>	<b>449</b>	<b>31</b>	<b>66</b>	<b>238</b>
									329	152	447	31	66	258
28.	0,10	0,598	0,27	0,029	0,019	0,32	0,17	0,03	323	150	443	35	64	262
									Media	Media	Media	Media	Media	Media
									<b>326</b>	<b>151</b>	<b>445</b>	<b>33</b>	<b>65</b>	<b>260</b>
									318	192	342	35	60	232
29.	0,14	0,56	0,18	0,023	0,014	0,12	0,10	0,02	322	188	338	31	58	230
									Media	Media	Media	Media	Media	Media
									<b>320</b>	<b>190</b>	<b>340</b>	<b>33</b>	<b>59</b>	<b>231</b>
									332	151	425	36	67	250
30.	0,11	0,54	0,22	0,022	0,020	0,15	0,11	0,03	330	153	415	32	69	252
									Media	Media	Media	Media	Media	Media
									<b>331</b>	<b>152</b>	<b>420</b>	<b>34</b>	<b>68</b>	<b>251</b>
<b>STAS 8184-87</b>	<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>	<b>S</b>	<b>P</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Mo</b>	<b>R<sub>p0,2</sub></b>	<b>R<sub>p0,2/450</sub></b>	<b>R<sub>m</sub></b>	<b>A<sub>5</sub></b>	<b>Z</b>	<b>KCU</b>
	[%] max 0,17	[%] 0,40 - 0,90	[%] 0,15 - 0,35	[%] max. 0,40	[%] max. 0,40	[%] -	[%] -	[%] -	[%] -	[N/mm <sup>2</sup> ] min. 235	[N/mm <sup>2</sup> ] 105	[N/mm <sup>2</sup> ] 350 - 450	[%] min. 26	[%] min. 60

## ANEXA 3.2

## Compoziția chimică finală și caracteristicile mecanice ale oțelului OLT 45K pentru șarjele studiate.

Nr. șarjei	COMPOZIȚIA CHIMICĂ											CARACTERISTICI MECANICE						
	C [%]	Mn [%]	Si [%]	S [%]	P [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	R <sub>p0,2</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	R <sub>p0,2/450</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	R <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	A <sub>5</sub> [%]	Z [%]	KCU [J/cm <sup>2</sup> ]				
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14				
1.	0,17	0,58	0,30	0,014	0,025	0,14	0,14	0,04	347	194	439	31	56	154				
									Media	Media	Media	Media	Media	Media				
									<b>349</b>	<b>197</b>	<b>440</b>	<b>30</b>	<b>56,5</b>	<b>152,5</b>				
2.	0,22	0,70	0,28	0,024	0,022	0,19	0,13	0,02	350	230	475	33	60	233				
									354	220	474	34	62	231				
									Media	Media	Media	Media	Media	Media				
									<b>352</b>	<b>225</b>	<b>474,5</b>	<b>33,5</b>	<b>61</b>	<b>232</b>				
3.	0,18	0,59	0,19	0,020	0,016	0,08	0,07	0,02	319	196	470	31	62	208				
									317	192	472	33	60	207				
									Media	Media	Media	Media	Media	Media				
									<b>318</b>	<b>194</b>	<b>471</b>	<b>32</b>	<b>61</b>	<b>207,5</b>				
4.	0,17	0,62	0,19	0,025	0,016	0,08	0,07	0,02	392	256	466	31	59	230				
									393	254	470	33	61	227				
									Media	Media	Media	Media	Media	Media				
									<b>392,5</b>	<b>255</b>	<b>468</b>	<b>32</b>	<b>60</b>	<b>228,5</b>				
5.	0,17	0,51	0,16	0,018	0,022	0,21	0,27	0,06	329	198	461	33	57	197				
									327	202	463	32	55	197				
									Media	Media	Media	Media	Media	Media				
									<b>328</b>	<b>200</b>	<b>462</b>	<b>32,5</b>	<b>56</b>	<b>197</b>				
6.	0,17	0,55	0,16	0,019	0,022	0,21	0,27	0,06	338	205	485	31	59	199				
									337	207	487	33	57	195				
									Media	Media	Media	Media	Media	Media				
									<b>337,5</b>	<b>206</b>	<b>486</b>	<b>32</b>	<b>58</b>	<b>197</b>				
7.	0,18	0,71	0,22	0,015	0,020	0,16	0,09	0,02	337	205	482	33	62	211				
									335	207	486	32	60	209				
									Media	Media	Media	Media	Media	Media				
									<b>336</b>	<b>206</b>	<b>484</b>	<b>32,5</b>	<b>61</b>	<b>210</b>				





0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
									335	197	461	32	65	208	
24.	0,19	0,70	0,23	0,037	0,016	0,10	0,08	0,03	332	203	475	36	62	206	
									Media	Media	Media	Media	Media	Media	
									<b>333,5</b>	<b>200</b>	<b>468</b>	<b>34</b>	<b>63,5</b>	<b>207</b>	
									332	195	468	35	65	210	
25.	0,20	0,69	0,23	0,020	0,016	0,10	0,08	0,03	329	193	462	32	60	206	
									Media	Media	Media	Media	Media	Media	
									<b>330,5</b>	<b>194</b>	<b>465</b>	<b>33,5</b>	<b>62,5</b>	<b>208</b>	
									348	210	480	32	61	177	
26.	0,17	0,65	0,24	0,020	0,014	0,14	0,10	0,03	344	214	488	31	63	183	
									Media	Media	Media	Media	Media	Media	
									<b>346</b>	<b>212</b>	<b>484</b>	<b>31,5</b>	<b>62</b>	<b>180</b>	
									340	215	472	31	68	235	
27.	0,17	0,69	0,20	0,014	0,020	0,16	0,19	0,05	339	223	483	33	64	231	
									Media	Media	Media	Media	Media	Media	
									<b>339,5</b>	<b>219</b>	<b>477,5</b>	<b>32</b>	<b>66</b>	<b>233</b>	
									360	230	528	30	61	190	
28.	0,23	0,80	0,30	0,013	0,015	0,24	0,11	0,03	357	232	534	29	65	194	
									Media	Media	Media	Media	Media	Media	
									<b>358,5</b>	<b>231</b>	<b>531</b>	<b>29,5</b>	<b>63</b>	<b>192</b>	
									320	195	452	33	60	219	
29.	0,19	0,83	0,22	0,015	0,012	0,10	0,11	0,03	316	193	458	35	64	215	
									Media	Media	Media	Media	Media	Media	
									<b>318</b>	<b>194</b>	<b>455</b>	<b>34</b>	<b>62</b>	<b>217</b>	
									373	230	544	27	63	188	
30.	0,21	0,64	0,22	0,018	0,014	0,23	0,15	0,03	370	232	540	33	62	192	
									Media	Media	Media	Media	Media	Media	
									<b>371,5</b>	<b>231</b>	<b>542</b>	<b>30</b>	<b>62,5</b>	<b>190</b>	
<b>STAS 8184-87</b>		<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>	<b>S</b>	<b>P</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Mo</b>	<b>R<sub>p0,2</sub></b>	<b>R<sub>p0,2/450</sub></b>	<b>R<sub>m</sub></b>	<b>A<sub>5</sub></b>	<b>Z</b>	<b>KCU</b>
		[%] max 0,23	[%] min. 0,45	[%] 0,15 - 0,35	[%] max. 0,045	[%] max. 0,040	[%] max. 0,30	[%] max. 0,30	[%] -	[N/mm <sup>2</sup> ] min. 260	[N/mm <sup>2</sup> ] 110	[N/mm <sup>2</sup> ] 450 - 550	[%] min. 21	[%] min. 60	[J/cm <sup>2</sup> ] min. 60

## ANEXA 3.3

## Compoziția chimică finală și caracteristicile mecanice ale oțelului 12VMoCr10 pentru șarjele studiate

Nr. șarjei	COMPOZIȚIA CHIMICĂ										Limita de curgere convențională	
	C [%]	Mn [%]	Si [%]	S [%]	P [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	V [%]	$R_{p0,2/500}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1.	0,110	0,53	0,22	0,025	0,016	1,04	0,16	0,25	0,18	256		
										264		
										Media		
										<b>260</b>		
2.	0,130	0,55	0,28	0,015	0,020	1,11	0,15	0,26	0,16	249		
										255		
										Media		
										<b>252</b>		
3.	0,110	0,56	0,28	0,012	0,020	1,02	0,10	0,25	0,17	270		
										276		
										Media		
										<b>273</b>		
4.	0,100	0,51	0,27	0,014	0,020	1,02	0,16	0,26	0,25	276		
										274		
										Media		
										<b>275</b>		
5.	0,090	0,46	0,26	0,016	0,020	1,02	0,22	0,27	0,18	275		
										279		
										Media		
										<b>277</b>		
6.	0,120	0,50	0,25	0,020	0,022	1,13	0,12	0,25	0,19	240		
										248		
										Media		
										<b>244</b>		
7.	0,100	0,49	0,30	0,017	0,020	1,01	0,25	0,27	0,18	248		
										254		
										Media		
										<b>251</b>		

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8.	0,120	0,53	0,26	0,020	0,020	1,00	0,18	0,17	0,20	248 234 Media 241
9.	0,110	0,52	0,34	0,018	0,021	1,00	0,28	0,27	0,17	269 273 Media 271
10.	0,120	0,52	0,31	0,015	0,018	1,02	0,21	0,25	0,25	266 270 Media 260
11.	0,125	0,52	0,34	0,014	0,016	1,03	0,18	0,26	0,21	260 272 Media 266
12.	0,130	0,52	0,28	0,013	0,015	1,04	0,15	0,27	0,16	269 273 Media 271
13.	0,125	0,52	0,27	0,014	0,015	1,02	0,14	0,26	0,22	270 274 Media 272
14.	0,120	0,53	0,26	0,016	0,016	1,01	0,14	0,26	0,26	268 272 Media 270
15.	0,115	0,53	0,25	0,017	0,017	0,99	0,14	0,25	0,17	255 265 Media 260



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
16.	0,110	0,54	0,25	0,019	0,018	0,97	0,14	0,25	0,17	255 259 Media 257
17.	0,115	0,52	0,22	0,019	0,017	1,05	0,18	0,26	0,16	253 257 Media 255
18.	0,120	0,50	0,20	0,020	0,018	1,08	0,20	0,27	0,20	256 260 Media 258
19.	0,120	0,50	0,27	0,016	0,022	1,02	0,21	0,26	0,19	274 282 Media 278
20.	0,110	0,51	0,27	0,015	0,021	1,02	0,25	0,25	0,22	258 262 Media 260
21.	0,100	0,50	0,28	0,014	0,020	1,02	0,30	0,26	0,18	270 272 Media 271
22.	0,120	0,52	0,27	0,012	0,021	1,03	0,22	0,25	0,19	275 277 Media 276
23.	0,140	0,54	0,28	0,010	0,020	1,05	0,14	0,27	0,21	274 282 Media 278

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
24.	0,120	0,55	0,30	0,017	0,022	1,03	0,17	0,26	0,20	273 277 Media 275
25.	0,100	0,57	0,32	0,024	0,025	1,00	0,20	0,26	0,16	270 276 Media 273
26.	0,110	0,57	0,29	0,024	0,021	1,04	0,17	0,26	0,17	250 254 Media 252
27.	0,140	0,54	0,27	0,023	0,015	1,15	0,14	0,20	0,19	244 248 Media 246
28.	0,140	0,54	0,31	0,010	0,016	1,10	0,11	0,28	0,15	249 251 Media 250
29.	0,120	0,46	0,31	0,025	0,022	1,00	0,18	0,27	0,19	243 253 Media 248
30.	0,130	0,50	0,24	0,018	0,016	1,08	0,27	0,26	0,18	232 230 Media 231
<b>STAS 8184-87</b>	<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>	<b>S</b>	<b>P</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Mo</b>	<b>V</b>	
	[%] 0,08... 0,15	[%] 0,40... 0,70	[%] 0,17... 0,37	[%] - -	[%] - -	[%] 0,90... 1,20	[%] - -	[%] 0,25... 0,35	[%] 0,15... 0,30	

## **Anexa 4**

**Fișierele cu rezultatele programului de calcul pentru variația limitei de curgere la cald pentru OLT 35K, , OLT45K și 12VMoCr10**

## Fișierul cu date de intrare și rezultate în programul de calcul – pentru marca de oțel OLT 35K

TABELUL 1. DATE EXPERIMENTALE

0.15	0.58	0.21	210
0.13	0.57	0.21	206
0.10	0.62	0.17	183
0.11	0.60	0.12	223
0.12	0.61	0.18	194
0.12	0.50	0.18	198
0.12	0.62	0.19	159
0.12	0.61	0.20	166
0.13	0.70	0.26	196
0.13	0.50	0.28	197
0.10	0.60	0.26	150
0.13	0.56	0.22	154
0.12	0.49	0.27	148
0.11	0.64	0.27	162
0.12	0.60	0.28	160
0.11	0.56	0.21	154
0.15	0.45	0.28	180
0.15	0.68	0.25	176
0.14	0.55	0.30	172
0.10	0.61	0.15	203
0.12	0.55	0.18	179
0.13	0.60	0.27	197
0.11	0.58	0.24	152
0.12	0.55	0.27	155
0.11	0.58	0.25	157
0.15	0.54	0.26	178
0.14	0.51	0.24	170
0.10	0.59	0.27	151
0.14	0.56	0.18	190
0.11	0.54	0.22	152

TABELUL 2. LIMITE DE VARIATIE ALE VARIABILELOR

C		0.1	0.15
Mn	0.45	0.7	
Si	0.12	0.3	
Rp0.2		148	223

Limitele de reprezentare grafica

limxi = 0.108333333333333  
 limxs = 0.141666666666667  
 limyi = 0.481250000000000  
 limys = 0.668750000000000  
 limzi = 0.138000000000000  
 limzs = 0.282000000000000

TABELUL 3. VALORILE MEDII SI ABATERILE VARIABILELOR

C	0.123	0.015524
Mn	0.575	0.053151
Si	0.229	0.044747
Rp0.2	175.73	21.021

## ECUAȚIA HIPERSUPRAFETEI DE REGRESIE

$$R_{p0.2} = -3027.1312 \cdot C^2 + 446.4746 \cdot Mn^2 + 4274.8332 \cdot Si^2 - 3262.5548 \cdot C \cdot Mn + 1826.9532 \cdot Mn \cdot Si + 724.691 \cdot Si \cdot C + 3194.3703 \cdot C - 482.3844 \cdot Mn - 3304.3479 \cdot Si + 451.5077$$

## COEFICIENTUL DE CORELATIE

$$r_f = 0.79480166491548$$

## ABATEREA DE LA SUPRAFATA DE REGRESIE

$$s_f = 12.75670711127562$$

TABELUL 4. COMPARAREA DATELOR EXPERIMENTALE CU CELE TEORETICE

1	0.15	0.58	0.21	210	189.08	20.921
2	0.13	0.57	0.21	206	177.04	28.96
3	0.1	0.62	0.17	183	177.63	5.3743
4	0.11	0.6	0.12	223	228.37	-5.3741
5	0.12	0.61	0.18	194	184.28	9.7241
6	0.12	0.5	0.18	198	189.72	8.2843
7	0.12	0.62	0.19	159	179.29	-20.287
8	0.12	0.61	0.2	166	174.71	-8.7057
9	0.13	0.7	0.26	196	186.68	9.3234
10	0.13	0.5	0.28	197	166.06	30.941
11	0.1	0.6	0.26	150	149.92	0.08475
12	0.13	0.56	0.22	154	173.73	-19.735
13	0.12	0.49	0.27	148	154.88	-6.8807
14	0.11	0.64	0.27	162	167.41	-5.4085
15	0.12	0.6	0.28	160	168.84	-8.845
16	0.11	0.56	0.21	154	161.36	-7.3631
17	0.15	0.45	0.28	180	186.23	-6.2311
18	0.15	0.68	0.25	176	187.05	-11.049
19	0.14	0.55	0.3	172	183.23	-11.233
20	0.1	0.61	0.15	203	192.1	10.896
21	0.12	0.55	0.18	179	185.9	-6.9036
22	0.13	0.6	0.27	197	173.3	23.697
23	0.11	0.58	0.24	152	155.15	-3.1508
24	0.12	0.55	0.27	155	159.9	-4.9039
25	0.11	0.58	0.25	157	154.45	2.5525
26	0.15	0.54	0.26	178	182.61	-4.6057
27	0.14	0.51	0.24	170	177.71	-7.7089
28	0.1	0.59	0.27	151	149.06	1.9446
29	0.14	0.56	0.18	190	199.62	-9.6237
30	0.11	0.54	0.22	152	156.69	-4.6937

COORDONATELE PUNCTULUI SEA SUNT :

C	0.17019
Mn	0.71213
Si	0.21989
R <sub>p0.2</sub>	188.2698

COMPORTAMENTUL HIPERSUPRAFETEI IN VECINATATEA PUNCTULUI STATIONAR

ans =

1.0e+002 \*

0.00170186138003	0.00712132357390	0.00209889644178	1.88697245745870
0.00170186138003	0.00712132357390	0.00209889644178	1.88697245745870
0.00170186138003	0.00712132357390	0.00209889644178	1.88697245745870
0.00170186138003	0.00712132357390	0.00209889644178	1.88697245745870
0.00170186138003	0.00712132357390	0.00209889644178	1.88697245745870
0.00177257205815	0.00712132357390	0.00212818576366	1.88295912974023
0.00170186138003	0.00719203425202	0.00212818576366	1.88414480153472
0.00163115070191	0.00712132357390	0.00212818576366	1.88368382074314

0.00170186138003	0.00705061289578	0.00212818576366	1.88597175469007
0.00177257205815	0.00712132357390	0.00212818576366	1.88295912974023
0.00180186138003	0.00712132357390	0.00219889644178	1.87967049302466
0.00170186138003	0.00722132357390	0.00219889644178	1.88314409876609
0.00160186138003	0.00712132357390	0.00219889644178	1.87967049302466
0.00170186138003	0.00702132357390	0.00219889644178	1.88314409876609
0.00180186138003	0.00712132357390	0.00219889644178	1.87967049302466
0.00177257205815	0.00712132357390	0.00226960711990	1.88368382074314
0.00170186138003	0.00719203425202	0.00226960711990	1.88597175469007
0.00163115070191	0.00712132357390	0.00226960711990	1.88295912974023
0.00170186138003	0.00705061289578	0.00226960711990	1.88414480153472
0.00177257205815	0.00712132357390	0.00226960711990	1.88368382074314
0.00170186138003	0.00712132357390	0.00229889644178	1.88697245745870
0.00170186138003	0.00712132357390	0.00229889644178	1.88697245745870
0.00170186138003	0.00712132357390	0.00229889644178	1.88697245745870
0.00170186138003	0.00712132357390	0.00229889644178	1.88697245745870
0.00170186138003	0.00712132357390	0.00229889644178	1.88697245745870
0.00170186138003	0.00712132357390	0.00199889644178	1.89979695718988
0.00170186138003	0.00712132357390	0.00199889644178	1.89979695718988
0.00170186138003	0.00712132357390	0.00199889644178	1.89979695718988
0.00170186138003	0.00712132357390	0.00199889644178	1.89979695718988
0.00170186138003	0.00712132357390	0.00199889644178	1.89979695718988
0.00184328273626	0.00712132357390	0.00205747508554	1.88374364631599
0.00170186138003	0.00726274493014	0.00205747508554	1.88848633349396
0.00156044002379	0.00712132357390	0.00205747508554	1.88664241032763
0.00170186138003	0.00697990221766	0.00205747508554	1.89579414611538
0.00184328273626	0.00712132357390	0.00205747508554	1.88374364631599
0.00190186138003	0.00712132357390	0.00219889644178	1.87058909945374
0.00170186138003	0.00732132357390	0.00219889644178	1.88448352241946
0.00150186138003	0.00712132357390	0.00219889644178	1.87058909945374
0.00170186138003	0.00692132357390	0.00219889644178	1.88448352241946
0.00190186138003	0.00712132357390	0.00219889644178	1.87058909945374
0.00184328273626	0.00712132357390	0.00234031779802	1.88664241032763
0.00170186138003	0.00726274493014	0.00234031779802	1.89579414611538
0.00156044002379	0.00712132357390	0.00234031779802	1.88374364631599
0.00170186138003	0.00697990221766	0.00234031779802	1.88848633349396
0.00184328273626	0.00712132357390	0.00234031779802	1.88664241032763
0.00170186138003	0.00712132357390	0.00239889644178	1.89979695718988
0.00170186138003	0.00712132357390	0.00239889644178	1.89979695718988
0.00170186138003	0.00712132357390	0.00239889644178	1.89979695718988
0.00170186138003	0.00712132357390	0.00239889644178	1.89979695718988
0.00170186138003	0.00712132357390	0.00239889644178	1.89979695718988

## COMPORTAMENTUL HIPERSUPRAFETEI IN VECINATATEA PUNCTULUI MEDIU

ans =

1.0e+002 \*

0.00123000000000	0.00575000000000	0.00219000000000	1.69071366863000
0.00123000000000	0.00575000000000	0.00219000000000	1.69071366863000
0.00123000000000	0.00575000000000	0.00219000000000	1.69071366863000
0.00123000000000	0.00575000000000	0.00219000000000	1.69071366863000
0.00123000000000	0.00575000000000	0.00219000000000	1.69071366863000
0.00130071067812	0.00575000000000	0.00221928932188	1.73294552410354
0.00123000000000	0.00582071067812	0.00221928932188	1.68523179625325
0.00115928932188	0.00575000000000	0.00221928932188	1.62906348546238
0.00123000000000	0.00567928932188	0.00221928932188	1.68025081905410
0.00130071067812	0.00575000000000	0.00221928932188	1.73294552410354
0.00133000000000	0.00575000000000	0.00229000000000	1.73669590620049
0.00123000000000	0.00585000000000	0.00229000000000	1.67101531777237
0.00113000000000	0.00575000000000	0.00229000000000	1.58875965042235
0.00123000000000	0.00565000000000	0.00229000000000	1.66138745033333
0.00133000000000	0.00575000000000	0.00229000000000	1.73669590620049
0.00130071067812	0.00575000000000	0.00236071067812	1.70441872659740
0.00123000000000	0.00582071067812	0.00236071067812	1.65780726089956
0.00115928932188	0.00575000000000	0.00236071067812	1.59908730595042

0.00123000000000	0.00567928932188	0.00236071067812	1.64917237738970
0.00130071067812	0.00575000000000	0.00236071067812	1.70441872659740
0.00123000000000	0.00575000000000	0.00239000000000	1.64934581686091
0.00123000000000	0.00575000000000	0.00239000000000	1.64934581686091
0.00123000000000	0.00575000000000	0.00239000000000	1.64934581686091
0.00123000000000	0.00575000000000	0.00239000000000	1.64934581686091
0.00123000000000	0.00575000000000	0.00239000000000	1.64934581686091
0.00123000000000	0.00575000000000	0.00209000000000	1.72422209424573
0.00123000000000	0.00575000000000	0.00209000000000	1.72422209424573
0.00123000000000	0.00575000000000	0.00209000000000	1.72422209424573
0.00123000000000	0.00575000000000	0.00209000000000	1.72422209424573
0.00123000000000	0.00575000000000	0.00209000000000	1.72422209424573
0.00137142135624	0.00575000000000	0.00214857864376	1.80065914975586
0.00123000000000	0.00589142135624	0.00214857864376	1.70760303764427
0.00108857864376	0.00575000000000	0.00214857864376	1.59434445447936
0.00123000000000	0.00560857864376	0.00214857864376	1.70129498955667
0.00137142135624	0.00575000000000	0.00214857864376	1.80065914975586
0.00143000000000	0.00575000000000	0.00229000000000	1.80158264051863
0.00123000000000	0.00595000000000	0.00229000000000	1.67716867514526
0.00103000000000	0.00575000000000	0.00229000000000	1.50571012896236
0.00123000000000	0.00555000000000	0.00229000000000	1.65791294026718
0.00143000000000	0.00575000000000	0.00229000000000	1.80158264051863
0.00137142135624	0.00575000000000	0.00243142135624	1.74505493674940
0.00123000000000	0.00589142135624	0.00243142135624	1.65640787324759
0.00108857864376	0.00575000000000	0.00243142135624	1.53294271344963
0.00123000000000	0.00560857864376	0.00243142135624	1.63548419991716
0.00137142135624	0.00575000000000	0.00243142135624	1.74505493674940
0.00123000000000	0.00575000000000	0.00249000000000	1.64148639070754
0.00123000000000	0.00575000000000	0.00249000000000	1.64148639070754
0.00123000000000	0.00575000000000	0.00249000000000	1.64148639070754
0.00123000000000	0.00575000000000	0.00249000000000	1.64148639070754
0.00123000000000	0.00575000000000	0.00249000000000	1.64148639070754

Deoarece aceasta hipersuprafața nu poate fi reprezentată în spațiul cu 4 dimensiuni, s-a recurs la înlocuirea, succesiv, a câte unei variabile independente cu valoarea ei medie. Aceste suprafețe, care aparțin spațiului cu 3 dimensiuni pot fi reprezentate și interpretate de tehnologi.

$$Rp_{0.2}C_{med} = 446.4746 * Mn^2 + 4274.8332 * Si^2 + 1826.9532 * Mn * Si - 883.6787 * Mn - 3215.2109 * Si + 798.6178$$

MATRICEA LINIILOR DE CONTUR C1:

$$Rp_{0.2} = Rp_{0.2}(C_{med}, Mn, Si)$$

C1 =

1.0e+002 \*

Columns 1 through 4

1.60000000000000	0.00508991328203	0.00511250000000	0.00513856414478
0.21000000000000	0.00282000000000	0.00280306323299	0.00278400000000

Columns 5 through 8

0.00516250000000	0.00517888912563	0.00521008889924	0.00521250000000
0.00276240989043	0.00274800000000	0.00271200000000	0.00270751995767

Columns 9 through 12

0.00522995518261	0.00523689185811	0.00522680883406	0.00521250000000
0.00267600000000	0.00264000000000	0.00260400000000	0.00258755062781

Columns 13 through 16

0.00519163759397	0.00516250000000	0.00511250000000	0.00511232527397
0.00256800000000	0.00255255609496	0.00253205741463	0.00253200000000

Columns 17 through 20

0.00506250000000	0.00501250000000	0.00496250000000	0.00491250000000
0.00252026446252	0.00251140662208	0.00250496754790	0.00250055347182

Columns 21 through 24

0.00486250000000	0.00481250000000	1.70000000000000	0.00590648129739
0.00249785169863	0.00249661076234	0.58000000000000	0.00282000000000

Columns 25 through 28

0.0059125000000	0.0059625000000	0.00596674943124	0.0060125000000
0.00281636820166	0.00278651440802	0.0027840000000	0.00275456737462
Columns 29 through 32			
0.00602284535868	0.0060625000000	0.00607477186847	0.0061125000000
0.0027480000000	0.00272042051147	0.0027120000000	0.00268337634038
Columns 33 through 36			
0.00612235656894	0.0061625000000	0.00616541743185	0.00620349226189
0.0026760000000	0.00264240768148	0.0026400000000	0.0026040000000
Columns 37 through 40			
0.0062125000000	0.00623639388022	0.0062625000000	0.00626398151981
0.00259403829422	0.0025680000000	0.00253390613549	0.0025320000000
Columns 41 through 44			
0.00628512750105	0.00629974892833	0.00630677848032	0.00630490261203
0.0024960000000	0.0024600000000	0.0024240000000	0.0023880000000
Columns 45 through 48			
0.00629248620655	0.00626746775381	0.0062625000000	0.00622545697835
0.0023520000000	0.0023160000000	0.00231128830902	0.0022800000000
Columns 49 through 52			
0.0062125000000	0.0061625000000	0.00616032145696	0.0061125000000
0.00227204205357	0.00224504201697	0.0022440000000	0.00222580049883
Columns 53 through 56			
0.0060625000000	0.00605719315273	0.0060125000000	0.0059625000000
0.00220952693761	0.0022080000000	0.00219724076222	0.00218690595391
Columns 57 through 60			
0.0059125000000	0.00587100029029	0.0058625000000	0.0058125000000
0.00217813997340	0.0021720000000	0.00217090826932	0.00216542293885
Columns 61 through 64			
0.0057625000000	0.0057125000000	0.0056625000000	0.0056125000000
0.00216094577673	0.00215739305263	0.00215469005842	0.00215276992479
Columns 65 through 68			
0.0055625000000	0.0055125000000	0.0054625000000	0.0054125000000
0.00215157261946	0.00215104409511	0.00215113556172	0.00215180286244
Columns 69 through 72			
0.0053625000000	0.0053125000000	0.0052625000000	0.0052125000000
0.00215300593646	0.00215470835475	0.00215687691768	0.00215948130494
Columns 73 through 76			
0.0051625000000	0.0051125000000	0.0050625000000	0.00503395031813
0.00216249376993	0.00216588887247	0.00216964324392	0.0021720000000
Columns 77 through 80			
0.0050125000000	0.0049625000000	0.0049125000000	0.0048625000000
0.00217386044787	0.00217857908419	0.00218360541575	0.00218892088903
Columns 81 through 84			
0.0048125000000	1.8000000000000	0.00645200695907	0.0064625000000
0.00219450841276	0.0900000000000	0.0028200000000	0.00281400310302
Columns 85 through 88			
0.0065125000000	0.00651547566049	0.0065625000000	0.00657573271764
0.00278567757144	0.0027840000000	0.00275584318042	0.0027480000000
Columns 89 through 92			
0.0066125000000	0.00663290770921	0.0066625000000	1.8000000000000
0.00272476483781	0.0027120000000	0.00269217795617	0.4300000000000
Columns 93 through 96			
0.0048125000000	0.0048625000000	0.0049125000000	0.00493723788642
0.00200901364364	0.00200205431960	0.00199525535557	0.0019920000000
Columns 97 through 100			
0.0049625000000	0.0050125000000	0.0050625000000	0.0051125000000
0.00198879154644	0.00198266340320	0.00197671992111	0.00197096962703
Columns 101 through 104			
0.0051625000000	0.0052125000000	0.00525257130604	0.0052625000000
0.00196542158104	0.00196008541873	0.0019560000000	0.00195502444125
Columns 105 through 108			
0.0053125000000	0.0053625000000	0.0054125000000	0.0054625000000
0.00195039993234	0.00194601523330	0.00194188188483	0.00193801218023
Columns 109 through 112			
0.0055125000000	0.0055625000000	0.0056125000000	0.0056625000000



0.00193441922776	0.00193111701928	0.00192812050603	0.00192544568227
Columns 113 through 116			
0.00571250000000	0.00576250000000	0.00579798583289	0.00581250000000
0.00192310967783	0.00192113086073	0.00192000000000	0.00191955645444
Columns 117 through 120			
0.00586250000000	0.00591250000000	0.00596250000000	0.00601250000000
0.00191842466272	0.00191769092288	0.00191737706276	0.00191750653591
Columns 121 through 124			
0.00606250000000	0.00611250000000	0.00613750305269	0.00616250000000
0.00191810457573	0.00191919836766	0.00192000000000	0.00192087541044
Columns 125 through 128			
0.00621250000000	0.00626250000000	0.00631250000000	0.00636250000000
0.00192321050971	0.00192618763356	0.00192985022226	0.00193424572545
Columns 129 through 132			
0.00641250000000	0.00646250000000	0.00651250000000	0.00653575645243
0.00193942607568	0.00194544823059	0.00195237479579	0.00195600000000
Columns 133 through 136			
0.00656250000000	0.00661250000000	0.00666250000000	1.90000000000000
0.00196067518084	0.00197049844962	0.00198161951012	0.42000000000000
Columns 137 through 140			
0.00481250000000	0.00486250000000	0.00490630876200	0.00491250000000
0.00186218724333	0.00185456567091	0.00184800000000	0.00184709877817
Columns 141 through 144			
0.00496250000000	0.00501250000000	0.00506250000000	0.00511250000000
0.00184002019925	0.00183306941981	0.00182625126573	0.00181957080893
Columns 145 through 148			
0.00516250000000	0.00517067597683	0.00521250000000	0.00526250000000
0.00181303338330	0.00181200000000	0.00180687067834	0.00180090583509
Columns 149 through 152			
0.00531250000000	0.00536250000000	0.00541250000000	0.00546250000000
0.00179510173643	0.00178946466013	0.00178400121516	0.00177871836385
Columns 153 through 156			
0.00548934457662	0.00551250000000	0.00556250000000	0.00561250000000
0.00177600000000	0.00177372719056	0.00176904598626	0.00176456529657
Columns 157 through 160			
0.00566250000000	0.00571250000000	0.00576250000000	0.00581250000000
0.00176029323015	0.00175623833882	0.00175240964827	0.00174881669139
Columns 161 through 164			
0.00586250000000	0.00591250000000	0.00595473077369	0.00596250000000
0.00174546954434	0.00174237886585	0.00174000000000	0.00173957685003
Columns 165 through 168			
0.00601250000000	0.00606250000000	0.00611250000000	0.00616250000000
0.00173715538243	0.00173501563848	0.00173316994655	0.00173163136498
Columns 169 through 172			
0.00621250000000	0.00626250000000	0.00631250000000	0.00636250000000
0.00173041373696	0.00172953175032	0.00172900100300	0.00172883807465
Columns 173 through 176			
0.00641250000000	0.00646250000000	0.00651250000000	0.00656250000000
0.00172906060508	0.00172968738035	0.00173073842751	0.00173223511866
Columns 177 through 180			
0.00661250000000	0.00666250000000	2.00000000000000	0.00481250000000
0.00173420028591	0.00173665834817	0.42000000000000	0.00173669202415
Columns 181 through 184			
0.00486250000000	0.00491250000000	0.00496250000000	0.00501250000000
0.00172882701918	0.00172105610099	0.00171338235252	0.00170580899293
Columns 185 through 188			
0.00502471121315	0.00506250000000	0.00511250000000	0.00516250000000
0.00170400000000	0.00169854463759	0.00169145438996	0.00168447695821
Columns 189 through 192			
0.00521250000000	0.00526250000000	0.00528437341201	0.00531250000000
0.00167761610602	0.00167087576638	0.00166800000000	0.00166439808292
Columns 193 through 196			
0.00536250000000	0.00541250000000	0.00546250000000	0.00551250000000
0.00165815488390	0.00165204553306	0.00164607457821	0.00164024677557

Columns 197 through 200			
0.0055625000000	0.00558587110435	0.0056125000000	0.0056625000000
0.00163456710184	0.0016320000000	0.00162915322501	0.00162399327554
Columns 201 through 204			
0.0057125000000	0.0057625000000	0.0058125000000	0.0058625000000
0.00161899623616	0.00161416781213	0.00160951397826	0.00160504099501
Columns 205 through 208			
0.0059125000000	0.0059625000000	0.00597112484401	0.0060125000000
0.00160075542579	0.00159666415549	0.0015960000000	0.00159290374528
Columns 209 through 212			
0.0060625000000	0.0061125000000	0.0061625000000	0.0062125000000
0.00158937403002	0.00158605616685	0.00158295799898	0.00158008776162
Columns 213 through 216			
0.0062625000000	0.0063125000000	0.0063625000000	0.0064125000000
0.00157745410680	0.00157506613006	0.00157293339920	0.00157106598541
Columns 217 through 220			
0.0064625000000	0.0065125000000	0.0065625000000	0.0066125000000
0.00156947449677	0.00156817011450	0.00156716463223	0.00156647049850
Columns 221 through 224			
0.0066625000000	2.1000000000000	0.0048125000000	0.0048625000000
0.00156610086284	0.4300000000000	0.00162546337268	0.00161729230628
Columns 225 through 228			
0.0049125000000	0.0049625000000	0.00499534031471	0.0050125000000
0.00160920010041	0.00160118908217	0.0015960000000	0.00159335036030
Columns 229 through 232			
0.0050625000000	0.0051125000000	0.0051625000000	0.0052125000000
0.00158576636291	0.00157827322091	0.00157087363210	0.00156357040216
Columns 233 through 236			
0.00523740644016	0.0052625000000	0.0053125000000	0.0053625000000
0.0015600000000	0.00155648600763	0.00154962152568	0.00154286370735
Columns 237 through 240			
0.0054125000000	0.0054625000000	0.00550681069925	0.0055125000000
0.00153621577180	0.00152968106904	0.0015240000000	0.00152328772626
Columns 241 through 244			
0.0055625000000	0.0056125000000	0.0056625000000	0.0057125000000
0.00151720302286	0.00151124253352	0.00150541006960	0.00149970960000
Columns 245 through 248			
0.0057625000000	0.0058125000000	0.00581939517674	0.0058625000000
0.00149414525938	0.00148872135694	0.0014880000000	0.00148360047043
Columns 249 through 252			
0.0059125000000	0.0059625000000	0.0060125000000	0.0060625000000
0.00147865252794	0.00147385743592	0.00146922006527	0.00146474549610
Columns 253 through 256			
0.0061125000000	0.0061625000000	0.0062125000000	0.00621722885265
0.00146043902903	0.00145630619733	0.00145235277979	0.0014520000000
Columns 257 through 260			
0.0062625000000	0.0063125000000	0.0063625000000	0.0064125000000
0.00144870920261	0.00144526603701	0.00144201679282	0.00143896796946
Columns 261 through 264			
0.0064625000000	0.0065125000000	0.0065625000000	0.0066125000000
0.00143612636007	0.00143349906830	0.00143109352625	0.00142891751368
Columns 265 through 268			
0.0066625000000	2.2000000000000	0.00581947998118	0.0058125000000
0.00142697917858	0.2600000000000	0.0013800000000	0.00138080360288
Columns 269 through 272			
0.0057625000000	0.0057125000000	0.0056625000000	0.0056125000000
0.00138672893927	0.00139277204860	0.00139892965576	0.00140519860595
Columns 273 through 276			
0.0055625000000	0.00552847526719	0.0055125000000	0.0054625000000
0.00141157585922	0.0014160000000	0.00141812299902	0.00142491205776
Columns 277 through 280			
0.0054125000000	0.0053625000000	0.0053125000000	0.00526976271391
0.00143180028611	0.00143878499193	0.00144586357964	0.0014520000000

Columns 281 through 284	0.00526250000000	0.00521250000000	0.00516250000000	0.00511250000000
	0.00145306545377	0.00146054615812	0.00146811213083	0.00147576109080
Columns 285 through 288	0.00506250000000	0.00503373367317	0.00501250000000	0.00496250000000
	0.00148349083756	0.00148800000000	0.00149139960335	0.00149952142812
Columns 289 through 292	0.00491250000000	0.00486250000000	0.00481440758496	0.00481250000000
	0.00150771591808	0.00151598115713	0.00152400000000	0.00152432483227
Columns 293 through 296	2.30000000000000	0.00512071654836	0.00511250000000	0.00506250000000
	0.09000000000000	0.00138000000000	0.00138130750883	0.00138939064470
Columns 297 through 300	0.00501250000000	0.00496250000000	0.00491250000000	0.00490085547053
	0.00139754221170	0.00140576052546	0.00141404395640	0.00141600000000
Columns 301 through 302	0.00486250000000	0.00481250000000		
	0.00142256961510	0.00143121030613		

»

$$Rp_{0.2Mnmed} = 4274.8332 * Si^2 + -3027.1312 * C^2 + 724.691 * Si * C + -2253.8499 * Si + 1318.4013 * C + 321.7523$$

MATRICEA LINIILOR DE CONTUR C2:

$$Rp_{0.2} = Rp_{0.2}(C, Mnmed, Si)$$

C2 =

1.0e+002 \*

Columns 1 through 4

1.60000000000000	0.00212059601115	0.00213600000000	0.00214359056089
0.34000000000000	0.00108333333333	0.00109022903327	0.00109333333333

Columns 5 through 8

0.00216793000808	0.00217200000000	0.00219425955711	0.00220800000000
0.00110333333333	0.00110501381430	0.00111333333333	0.00111849090979

Columns 9 through 12

0.00222241008411	0.00224400000000	0.00225310536242	0.00228000000000
0.00112333333333	0.00113061982510	0.00113333333333	0.00114138301993

Columns 13 through 16

0.00228751130942	0.00231600000000	0.00232763446868	0.00235200000000
0.00114333333333	0.00115076264840	0.00115333333333	0.00115874055233

Columns 17 through 20

0.00237724621141	0.00238800000000	0.00242400000000	0.00245211104860
0.00116333333333	0.00116529825438	0.00117043939410	0.00117333333333

Columns 21 through 24

0.00246000000000	0.00249600000000	0.00253200000000	0.00256800000000
0.00117414904704	0.00117644645161	0.00117732340556	0.00117679396183

Columns 25 through 28

0.00260400000000	0.00262075178347	0.00264000000000	0.00267600000000
0.00117487198857	0.00117333333333	0.00117158446840	0.00116695336732

Columns 29 through 32

0.00269778985136	0.00271200000000	0.00274800000000	0.00274974575259
0.00116333333333	0.00116099768115	0.00115374946146	0.00115333333333

Columns 33 through 36

0.00278400000000	0.00279105373095	0.00282000000000	1.70000000000000
0.00114525403145	0.00114333333333	0.00113553331284	0.54000000000000

Columns 37 through 40

0.00190132225898	0.00191585873766	0.00192000000000	0.00193093776277
0.00108333333333	0.00109333333333	0.00109619910552	0.00110333333333

Columns 41 through 44

0.00194618875313	0.00195600000000	0.00196170584694	0.00197776822651
0.00111333333333	0.00111980133632	0.00112333333333	0.00113333333333

Columns 45 through 48

0.00199200000000	0.00199387277471	0.00201086454833	0.00202777669849
0.00114223784587	0.00114333333333	0.00115333333333	0.00116333333333

Columns 49 through 52			
0.00202800000000	0.00204582726719	0.00206381215935	0.00206400000000
0.00116346620773	0.00117333333333	0.00118333333333	0.00118343843791
Columns 53 through 56			
0.00208312226997	0.00210000000000	0.00210256753756	0.00212338457485
0.00119333333333	0.00120210716726	0.00120333333333	0.00121333333333
Columns 57 through 60			
0.00213600000000	0.00214488784968	0.00216750274208	0.00217200000000
0.00121942339550	0.00122333333333	0.00123333333333	0.00123533316044
Columns 61 through 64			
0.00219193619723	0.00220800000000	0.00221779692099	0.00224400000000
0.00124333333333	0.00124981029174	0.00125333333333	0.00126280128554
Columns 65 through 68			
0.00224567560453	0.00227700873575	0.00228000000000	0.00231271233549
0.00126333333333	0.00127333333333	0.00127429279628	0.00128333333333
Columns 69 through 72			
0.00231600000000	0.00235200000000	0.00235566783908	0.00238800000000
0.00128424636048	0.00129264074256	0.00129333333333	0.00129946837019
Columns 73 through 76			
0.00241463827126	0.00242400000000	0.00246000000000	0.00249600000000
0.00130333333333	0.00130469829907	0.00130835007895	0.00131040808750
Columns 77 through 80			
0.00253200000000	0.00256800000000	0.00260400000000	0.00263753065798
0.00131088989874	0.00130981282921	0.00130719394275	0.00130333333333
Columns 81 through 84			
0.00264000000000	0.00267600000000	0.00269687111714	0.00271200000000
0.00130305242495	0.00129744721695	0.00129333333333	0.00129038644602
Columns 85 through 88			
0.00274192684875	0.00274800000000	0.00277940804067	0.00278400000000
0.00128333333333	0.00128191869755	0.00127333333333	0.00127209257965
Columns 89 through 92			
0.00281224174651	0.00282000000000	1.80000000000000	0.00173954168703
0.00126333333333	0.00126095448687	0.49000000000000	0.00108333333333
Columns 93 through 96			
0.00174000000000	0.00175121775802	0.00176284983597	0.00177441672822
0.00108374351428	0.00109333333333	0.00110333333333	0.00111333333333
Columns 97 through 100			
0.00177600000000	0.00178639623017	0.00179838443472	0.00181030489247
0.00111471119739	0.00112333333333	0.00113333333333	0.00114333333333
Columns 101 through 104			
.00181200000000	0.00182267353858	0.00183505798362	0.00184737193763
0.00114476489988	0.00115333333333	0.00116333333333	0.00117333333333
Columns 105 through 108			
0.00184800000000	0.00186023935378	0.00187306732635	0.00188400000000
0.00117384690605	0.00118333333333	0.00119333333333	0.00120190647820
Columns 109 through 112			
0.00188592561357	0.00189932966335	0.00191265743991	0.00192000000000
0.00120333333333	0.00121333333333	0.00122333333333	0.00122887771185
Columns 113 through 116			
0.00192626694898	0.00194024182933	0.00195413710495	0.00195600000000
0.00123333333333	0.00124333333333	0.00125333333333	0.00125468343206
Columns 117 through 120			
0.00196872758490	0.00198335592816	0.00199200000000	0.00199831171179
0.00126333333333	0.00127333333333	0.00127927992792	0.00128333333333
Columns 121 through 124			
0.00201378191454	0.00202800000000	0.00202925313714	0.00204570014125
0.00129333333333	0.00130257676081	0.00130333333333	0.00131333333333
Columns 125 through 128			
0.00206205733433	0.00206400000000	0.00207949311824	0.00209699403912
0.00132333333333	0.00132452944531	0.00133333333333	0.00134333333333
Columns 129 through 132			
0.00210000000000	0.00211568630254	0.00213455016432	0.00213600000000
0.00134506292727	0.00135333333333	0.00136333333333	0.00136410737374
Columns 133 through 136			

0.00215502175538	0.00217200000000	0.00217592458185	0.00219858257681
0.00137333333333	0.00138161238603	0.00138333333333	0.00139333333333
Columns 137 through 140			
0.00220800000000	0.00222276600451	0.00224400000000	0.00224858234210
0.00139751420461	0.00140333333333	0.00141174731183	0.00141333333333
Columns 141 through 144			
1.80000000000000	0.00278443150387	0.00281185001051	0.00282000000000
0.03000000000000	0.00141333333333	0.00140333333333	0.00140039883762
Columns 145 through 148			
1.90000000000000	0.00160551794790	0.00161528069350	0.00162498500829
0.44000000000000	0.00108333333333	0.00109333333333	0.00110333333333
Columns 149 through 152			
0.00163200000000	0.00163473692710	0.00164471136657	0.00165462524830
0.00111060778838	0.00111333333333	0.00112333333333	0.00113333333333
Columns 153 through 156			
0.00166447839913	0.00166800000000	0.00167453546991	0.00168467828042
0.00114333333333	0.00114693184552	0.00115333333333	0.00116333333333
Columns 157 through 160			
0.00169475806476	0.00170400000000	0.00170480889831	0.00171520281133
0.00117333333333	0.00118256069140	0.00118333333333	0.00119333333333
Columns 161 through 164			
0.00172553123134	0.00173579395308	0.00174000000000	0.00174626923398
0.00120333333333	0.00121333333333	0.00121746072916	0.00122333333333
Columns 165 through 168			
0.00175687165738	0.00176740570692	0.00177600000000	0.00177796268770
0.00123333333333	0.00124333333333	0.00125154700638	0.00125333333333
Columns 169 through 172			
0.00178886857064	0.00179970319121	0.00181046630233	0.00181200000000
0.00126333333333	0.00127333333333	0.00128333333333	0.00128476927637
Columns 173 through 176			
0.00182163094790	0.00183280037582	0.00184389514461	0.00184800000000
0.00129333333333	0.00130333333333	0.00131333333333	0.00131706115636
Columns 177 through 180			
0.00185529329900	0.00186683796795	0.00187830456259	0.00188400000000
0.00132333333333	0.00133333333333	0.00134333333333	0.00134833773084
Columns 181 through 184			
0.00189002360994	0.00190199174132	0.00191387808939	0.00192000000000
0.00135333333333	0.00136333333333	0.00137333333333	0.00137852296272
Columns 185 through 188			
0.00192603444811	0.00193848418596	0.00195084810808	0.00195600000000
0.00138333333333	0.00139333333333	0.00140333333333	0.00140753302789
Columns 189 through 192			
0.00196359880239	2.00000000000000	0.00148814079773	0.00149679139279
0.00141333333333	0.42000000000000	0.00108333333333	0.00109333333333
Columns 193 through 196			
0.00150538782568	0.00151392996345	0.00152241767267	0.00152400000000
0.00110333333333	0.00111333333333	0.00112333333333	0.00112521090146
Columns 197 through 200			
0.00153109791347	0.00153977902275	0.00154840383457	0.00155697220515
0.00113333333333	0.00114333333333	0.00115333333333	0.00116333333333
Columns 201 through 204			
0.00156000000000	0.00156568991226	0.00157446291474	0.00158317746541
0.00116689246529	0.00117333333333	0.00118333333333	0.00119333333333
Columns 205 through 208			
0.00159183340881	0.00159600000000	0.00160060408439	0.00160947715927
0.00120333333333	0.00120818201101	0.00121333333333	0.00122333333333
Columns 209 through 212			
0.00161828945812	0.00162704081237	0.00163200000000	0.00163588369567
0.00123333333333	0.00124333333333	0.00124904221672	0.00125333333333
Columns 213 through 216			
0.00164486616333	0.00165378534026	0.00166264104302	0.00166800000000
0.00126333333333	0.00127333333333	0.00128333333333	0.00128943086763
Columns 217 through 220			
0.00167158012206	0.00168068266639	0.00168971919071	0.00169868949467

0.00129333333333	0.00130333333333	0.00131333333333	0.00132333333333
Columns 221 through 224			
0.00170400000000	0.00170775484339	0.00171698979093	0.00172615574635
0.00132930002707	0.00133333333333	0.00134333333333	0.00135333333333
Columns 225 through 228			
0.00173525248999	0.00174000000000	0.00174448205565	0.00175386372987
0.00136333333333	0.00136859503302	0.00137333333333	0.00138333333333
Columns 229 through 232			
0.00176317316378	0.00177241011543	0.00177600000000	0.00178185213795
0.00139333333333	0.00140333333333	0.00140725327586	0.00141333333333
Columns 233 through 236			
2.10000000000000	0.00138270534300	0.00139046233332	0.00139816894828
0.41000000000000	0.00108333333333	0.00109333333333	0.00110333333333
Columns 237 through 240			
0.00140582507591	0.00141343060387	0.00141600000000	0.00142114767589
0.00111333333333	0.00112333333333	0.00112673600295	0.00113333333333
Columns 241 through 244			
0.00142889620420	0.00143659250882	0.00144423646942	0.00145182796528
0.00114333333333	0.00115333333333	0.00116333333333	0.00117333333333
Columns 245 through 248			
0.00145200000000	0.00145961569035	0.00146735513769	0.00147504037224
0.00117356170061	0.00118333333333	0.00119333333333	0.00120333333333
Columns 249 through 252			
0.00148267126434	0.00148800000000	0.00149032651227	0.00149811240901
0.00121333333333	0.00122036831344	0.00122333333333	0.00123333333333
Columns 253 through 256			
0.00150584208600	0.00151351540361	0.00152113222178	0.00152400000000
0.00124333333333	0.00125333333333	0.00126333333333	0.00126712855294
Columns 257 through 260			
0.00152886368084	0.00153664134818	0.00154436048395	0.00155202093683
0.00127333333333	0.00128333333333	0.00129333333333	0.00130333333333
Columns 261 through 264			
0.00155962255500	0.00156000000000	0.00156743785256	0.00157520662300
0.00131333333333	0.00131383415920	0.00132333333333	0.00133333333333
Columns 265 through 268			
0.00158291435182	0.00159056087449	0.00159600000000	0.00159823123967
0.00134333333333	0.00135333333333	0.00136050591051	0.00136333333333
Columns 269 through 272			
0.00160605395890	0.00161381308050	0.00162150842560	0.00162913981465
0.00137333333333	0.00138333333333	0.00139333333333	0.00140333333333
Columns 273 through 276			
0.00163200000000	0.00163690265489	2.20000000000000	0.00151274664305
0.00140711522883	0.00141333333333	0.24000000000000	0.00141333333333
Columns 277 through 280			
0.00150609147863	0.00149937749420	0.00149260483743	0.00148800000000
0.00140333333333	0.00139333333333	0.00138333333333	0.00137659426246
Columns 281 through 284			
0.00148585000348	0.00147919645440	0.00147248628624	0.00146571963581
0.00137333333333	0.00136333333333	0.00135333333333	0.00134333333333
Columns 285 through 288			
0.00145889663949	0.00145201743321	0.00145200000000	0.00144531045106
0.00133333333333	0.00132333333333	0.00132330821649	0.00131333333333
Columns 289 through 292			
0.00143854959453	0.00143173441458	0.00142486503754	0.00141794158937
0.00130333333333	0.00129333333333	0.00128333333333	0.00127333333333
Columns 293 through 296			
0.00141600000000	0.00141112447212	0.00140431675555	0.00139745671531
0.00127055220248	0.00126333333333	0.00125333333333	0.00124333333333
Columns 297 through 300			
0.00139054446877	0.00138358013295	0.00138000000000	2.30000000000000
0.00123333333333	0.00122333333333	0.00121823261196	0.05000000000000
Columns 301 through 304			
0.00140229804678	0.00139636871480	0.00139038513578	0.00138434743278
0.00141333333333	0.00140333333333	0.00139333333333	0.00138333333333

Column 305  
 0.00138000000000  
 0.00137619823378

»

$$Rp0.2Simed = -3027.1312 \cdot C^2 + 446.4746 \cdot Mn^2 + -3262.5548 \cdot C \cdot Mn + 3360.3245 \cdot C + -64.0122 \cdot Mn + -81.0114$$

MATRICEA LINIILOR DE CONTUR C3:  
 Rp0.2 = Rp0.2(C, Mn, Simed)

C3 =

1.0e+002 \*

Columns 1 through 4

1.55000000000000	0.00112794347709	0.00112794557507	0.00112773997211
0.24000000000000	0.00481250000000	0.00486250000000	0.00491250000000

Columns 5 through 8

0.00112731706233	0.00112666663827	0.00112577784296	0.00112463911750
0.00496250000000	0.00501250000000	0.00506250000000	0.00511250000000

Columns 9 through 12

0.00112333333333	0.00112323872027	0.00112157269381	0.00111961940485
0.00515915396014	0.00516250000000	0.00521250000000	0.00526250000000

Columns 13 through 16

0.00111736405574	0.00111479081467	0.00111333333333	0.00111189223418
0.00531250000000	0.00536250000000	0.00538777937991	0.00541250000000

Columns 17 through 20

0.00110865304352	0.00110504462562	0.00110333333333	0.00110106204247
0.00546250000000	0.00551250000000	0.00553412673573	0.00556250000000

Columns 21 through 24

0.00109668280523	0.00109333333333	0.00109188216409	0.00108665226562
0.00561250000000	0.00564751129552	0.00566250000000	0.00571250000000

Columns 25 through 28

0.00108333333333	1.60000000000000	0.00117366247828	0.00117436788397
0.00574180433771	0.38000000000000	0.00481250000000	0.00486250000000

Columns 29 through 32

0.00117488154200	0.00117519432315	0.00117529650932	0.00117517774529
0.00491250000000	0.00496250000000	0.00501250000000	0.00506250000000

Columns 33 through 36

0.00117482698563	0.00117423243618	0.00117338148956	0.00117333333333
0.00511250000000	0.00516250000000	0.00521250000000	0.00521468426339

Columns 37 through 40

0.00117226759170	0.00117087178409	0.00116917847327	0.00116717124749
0.00526250000000	0.00531250000000	0.00536250000000	0.00541250000000

Columns 41 through 44

0.00116483246526	0.00116333333333	0.00116215151133	0.00115911328027
0.00546250000000	0.00549060487709	0.00551250000000	0.00556250000000

Columns 45 through 48

0.00115568569127	0.00115333333333	0.00115185628517	0.00114761017200
0.00561250000000	0.00564336189106	0.00566250000000	0.00571250000000

Columns 49 through 52

0.00114333333333	0.00114290652522	0.00113775010510	0.00113333333333
0.00575801587956	0.00576250000000	0.00581250000000	0.00585161343310

Columns 53 through 56

0.00113208750382	0.00112591536756	0.00112333333333	0.00111919730425
0.00586250000000	0.00591250000000	0.00593188069599	0.00596250000000

Columns 57 through 60

0.00111333333333	0.00111189986085	0.00110400384232	0.00110333333333
0.00600278827007	0.00601250000000	0.00606250000000	0.00606648815135

Columns 61 through 64

0.00109548439412	0.00109333333333	0.00108630118302	0.00108333333333
0.00611250000000	0.00612434463010	0.00616250000000	0.00617768175489

Columns 65 through 68

1.65000000000000	0.00122059589826	0.0012205658706	0.00122333333333
0.51000000000000	0.00481250000000	0.00486250000000	0.00491204922342

Columns 69 through 72	0.00122334520483	0.00122445994249	0.00122538425151	0.00122610847451
	0.00491250000000	0.00496250000000	0.00501250000000	0.00506250000000
Columns 73 through 76	0.00122662228991	0.00122691465377	0.00122697373545	0.00122678684638
	0.00511250000000	0.00516250000000	0.00521250000000	0.00526250000000
Columns 77 through 80	0.00122634036074	0.00122561962739	0.00122460887154	0.00122333333333
	0.00531250000000	0.00536250000000	0.00541250000000	0.00546092676124
Columns 81 through 84	0.00122329138922	0.00122166028287	0.00121968699676	0.00121735037676
	0.00546250000000	0.00551250000000	0.00556250000000	0.00561250000000
Columns 85 through 88	0.00121462748835	0.00121333333333	0.00121150798581	0.00120796485717
	0.00566250000000	0.00568340482592	0.00571250000000	0.00576250000000
Columns 89 through 92	0.00120395909864	0.00120333333333	0.00119949157417	0.00119450664360
	0.00581250000000	0.00581958887360	0.00586250000000	0.00591250000000
Columns 93 through 96	0.00119333333333	0.00118900013706	0.00118333333333	0.00118291469328
	0.00592327711132	0.00596250000000	0.00600910760341	0.00601250000000
Columns 97 through 100	0.00117625007767	0.00117333333333	0.00116895095048	0.00116333333333
	0.00606250000000	0.00608266574518	0.00611250000000	0.00614791528622
Columns 101 through 104	0.00116098329115	0.00115333333333	0.00115231486303	0.00114333333333
	0.00616250000000	0.00620670756858	0.00621250000000	0.00626029058244
Columns 105 through 108	0.00114291132302	0.00113333333333	0.00113273604664	0.00112333333333
	0.00626250000000	0.00630961018467	0.00631250000000	0.00635539631241
Columns 109 through 112	0.00112174993541	0.00111333333333	0.00110991120435	0.00110333333333
	0.00636250000000	0.00639822126923	0.00641250000000	0.00643854009768
Columns 113 through 116	0.00109717514719	0.00109333333333	0.00108349387658	0.00108333333333
	0.00646250000000	0.00647671914833	0.00651250000000	0.00651305668437
Columns 117 through 120	1.70000000000000	0.00113074104903	0.00113333333333	0.00114333333333
	0.56000000000000	0.00662500000000	0.00665428690351	0.00662215680366
Columns 121 through 124	0.00114629400113	0.00115333333333	0.00116071336273	0.00116333333333
	0.00661250000000	0.00658834052811	0.00656250000000	0.00655282082143
Columns 125 through 128	0.00117333333333	0.00117404360678	0.00118333333333	0.00118635701455
	0.00651520834188	0.00651250000000	0.00647495910254	0.00646250000000
Columns 129 through 132	0.00119333333333	0.00119768202060	0.00120333333333	0.00120807363467
	0.00643192568635	0.00641250000000	0.00638554076138	0.00636250000000
Columns 133 through 136	0.00121333333333	0.00121758285874	0.00122333333333	0.00122625704549
	0.00633507162264	0.00631250000000	0.00627955519956	0.00626250000000
Columns 137 through 140	0.00123333333333	0.00123414021896	0.00124129414607	0.00124333333333
	0.00621769979801	0.00621250000000	0.00616250000000	0.00614689074331
Columns 141 through 144	0.00124775060931	0.00125333333333	0.00125353632551	0.00125872821413
	0.00611250000000	0.00606428268798	0.00606250000000	0.00601250000000
Columns 145 through 148	0.00126331902109	0.00126333333333	0.00126738936073	0.00127093607041
	0.00596250000000	0.00596232689766	0.00591250000000	0.00586250000000
Columns 149 through 152	0.00127333333333	0.00127400165245	0.00127663013684	0.00127883104013
	0.00582352857793	0.00581250000000	0.00576250000000	0.00571250000000
Columns 153 through 156				



0.00128063267904	0.00128206092390	0.00128313945728	0.00128333333333
0.00566250000000	0.00561250000000	0.00556250000000	0.00554978368239
Columns 157 through 160			
0.00128389431102	0.00128434009136	0.00128449392802	0.00128437301821
0.00551250000000	0.00546250000000	0.00541250000000	0.00536250000000
Columns 161 through 164			
0.00128399323444	0.00128336924968	0.00128333333333	0.00128252024424
0.00531250000000	0.00526250000000	0.00526043600547	0.00521250000000
Columns 165 through 168			
0.00128145471976	0.00128018397691	0.00127871876014	0.00127706907671
0.00516250000000	0.00511250000000	0.00506250000000	0.00501250000000
Columns 169 through 172			
0.00127524425885	0.00127333333333	0.00127325351103	0.00127111692311
0.00496250000000	0.00491454928804	0.00491250000000	0.00486250000000
Columns 173 through 176			
0.00126883015984	1.75000000000000	0.00123716023988	0.00124333333333
0.00481250000000	0.52000000000000	0.00666250000000	0.00664057843024
Columns 177 through 180			
0.00125105880860	0.00125333333333	0.00126333333333	0.00126371875019
0.00661250000000	0.00660367920315	0.00656405266126	0.00656250000000
Columns 181 through 184			
0.00127333333333	0.00127523116759	0.00128333333333	0.00128564171611
0.00652089841273	0.00651250000000	0.00647377754506	0.00646250000000
Columns 185 through 188			
0.00129333333333	0.00129502072544	0.00130333333333	0.00130343266468
0.00642165532050	0.00641250000000	0.00636310282905	0.00636250000000
Columns 189 through 192			
0.00131096526108	0.00131333333333	0.00131765445031	0.00132333333333
0.00631250000000	0.00629502686413	0.00626250000000	0.00621435702092
Columns 193 through 196			
0.00132354813923	0.00132874321472	0.00133323933421	0.00133333333333
0.00621250000000	0.00616250000000	0.00611250000000	0.00611131480429
Columns 197 through 200			
0.00133713546963	0.00134043719446	0.00134319166817	0.00134333333333
0.00606250000000	0.00601250000000	0.00596250000000	0.00595942996342
Columns 201 through 204			
0.00134546276967	0.00134726427052	0.00134863033093	0.00134959304572
0.00591250000000	0.00586250000000	0.00581250000000	0.00576250000000
Columns 205 through 208			
0.00135018143126	0.00135042178583	0.00135033800070	0.00134995182926
0.00571250000000	0.00566250000000	0.00561250000000	0.00556250000000
Columns 209 through 212			
0.00134928312101	0.00134835002531	0.00134716916964	0.00134575581583
0.00551250000000	0.00546250000000	0.00541250000000	0.00536250000000
Columns 213 through 216			
0.00134412399743	0.00134333333333	0.00134229424693	0.00134027760763
0.00531250000000	0.00529122747258	0.00526250000000	0.00521250000000
Columns 217 through 220			
0.00133807911450	0.00133570885689	0.00133333333333	0.00133317724325
0.00516250000000	0.00511250000000	0.00506565605518	0.00506250000000
Columns 221 through 224			
0.00133050850397	0.00132769445256	0.00132474254806	0.00132333333333
0.00501250000000	0.00496250000000	0.00491250000000	0.00488985427197
Columns 225 through 228			
0.00132167013166	0.00131848233363	1.80000000000000	0.00136221817881
0.00486250000000	0.00481250000000	0.13000000000000	0.00666250000000
Columns 229 through 232			
0.00136333333333	0.00137333333333	0.00137344952404	0.00138333333333
0.00665765752329	0.00661303102537	0.00661250000000	0.00656253982177
Columns 233 through 236			
0.00138334099804	0.00139200196957	0.00139333333333	0.00139952447945
0.00656250000000	0.00651250000000	0.00650383596555	0.00646250000000
Columns 237 through 240			
0.00140333333333	0.00140599272628	0.00141150884392	0.00141333333333

0.00643336052444	0.00641250000000	0.00636250000000	0.00634318079980
Columns 241 through 244			
1.80000000000000	0.00136968630072	0.00137333333333	0.00137386299531
0.18000000000000	0.00481250000000	0.00485628845364	0.00486250000000
Columns 245 through 248			
0.00137796939507	0.00138197735694	0.00138333333333	0.00138589891398
0.00491250000000	0.00496250000000	0.00498007231455	0.00501250000000
Columns 249 through 252			
0.00138972015698	0.00139333333333	0.00139342634614	0.00139703554768
0.00506250000000	0.00511127670864	0.00511250000000	0.00516250000000
Columns 253 through 256			
0.00140051502202	0.00140333333333	0.00140386080947	0.00140708132572
0.00521250000000	0.00525480075240	0.00526250000000	0.00531250000000
Columns 257 through 259			
0.00141014597821	0.00141304448459	0.00141333333333	
0.00536250000000	0.00541250000000	0.00541791388376	

»

## Fișierul cu date de intrare și rezultate în programul de calcul – pentru marca de oțel OLT 45K

TABELUL 1. DATE EXPERIMENTALE

0.17	0.58	0.30	197
0.22	0.70	0.28	225
0.18	0.59	0.19	194
0.17	0.62	0.19	255
0.17	0.51	0.16	200
0.17	0.55	0.16	206
0.18	0.71	0.22	206
0.17	0.66	0.22	206
0.19	0.70	0.25	212
0.18	0.58	0.35	197
0.18	0.83	0.25	231
0.20	0.57	0.25	206
0.22	0.70	0.25	225
0.22	0.71	0.25	225
0.16	0.62	0.28	200
0.17	0.53	0.30	169
0.20	0.68	0.25	194
0.17	0.53	0.16	180
0.17	0.54	0.16	187
0.19	0.79	0.30	219
0.17	0.81	0.28	210.5
0.21	0.80	0.22	231
0.18	0.76	0.25	212
0.19	0.70	0.23	200
0.20	0.69	0.23	194
0.17	0.65	0.24	212
0.17	0.69	0.20	219
0.23	0.80	0.30	231
0.19	0.83	0.22	194
0.21	0.64	0.22	231
0.17	0.65	0.18	206
0.17	0.52	0.18	212

TABELUL 2. LIMITE DE VARIATIE ALE VARIABILELOR

C	0.16	0.23
Mn	0.51	0.83
Si	0.16	0.35
Rp0.2	169	255

Limitele de reprezentare grafica

limxi =	0.171666666666667
limxs =	0.218333333333333
limyi =	0.550000000000000
limys =	0.790000000000000
limzi =	0.179000000000000
limzs =	0.331000000000000

TABELUL 3. VALORILE MEDII SI ABATERILE VARIABILELOR

C	0.18563	0.018864
Mn	0.66375	0.095451
Si	0.235	0.047697
Rp0.2	208.95	17.193

ECUATIA HIPERSUPRAFETEI DE REGRESIE

$$Rp_{0.2} = 19828.0654 \cdot C^2 - 268.3624 \cdot Mn^2 + 571.8135 \cdot Si^2 - 2984.07 \cdot C \cdot Mn + 148.8591 \cdot Mn \cdot Si + 1182.9936 \cdot Si \cdot C - 5668.4577 \cdot C + 962.9562 \cdot Mn - 672.8277 \cdot Si + 472.3753$$

COEFICIENTUL DE CORELATIE

$$r_f = 0.65599451703118$$

ABATEREA DE LA SUPRAFATA DE REGRESIE

$$s_f = 12.97668845383391$$

TABELUL 4. COMPARAREA DATELOR EXPERIMENTALE CU CELE TEORETICE

1	0.17	0.58	0.3	197	191.63	5.3742
2	0.22	0.7	0.28	225	226.51	-1.5052
3	0.18	0.59	0.19	194	202.25	-8.2519
4	0.17	0.62	0.19	255	209.67	45.327
5	0.17	0.51	0.16	200	195.67	4.3333
6	0.17	0.55	0.16	206	203.47	2.5326
7	0.18	0.71	0.22	206	211.29	-5.2875
8	0.17	0.66	0.22	206	211.12	-5.1204
9	0.19	0.7	0.25	212	206.63	5.3741
10	0.18	0.58	0.35	197	190.49	6.5127
11	0.18	0.83	0.25	231	214.7	16.305
12	0.2	0.57	0.25	206	201.21	4.79
13	0.22	0.7	0.25	225	226.66	-1.6644
14	0.22	0.71	0.25	225	226.32	-1.3172
15	0.16	0.62	0.28	200	206.15	-6.1536
16	0.17	0.53	0.3	169	181.5	-12.504
17	0.2	0.68	0.25	194	208.68	-14.679
18	0.17	0.53	0.16	180	199.67	-19.674
19	0.17	0.54	0.16	187	201.6	-14.598
20	0.19	0.79	0.3	219	208.83	10.172
21	0.17	0.81	0.28	210.5	221.29	-10.794
22	0.21	0.8	0.22	231	214.21	16.787
23	0.18	0.76	0.25	212	212.15	-0.15142
24	0.19	0.7	0.23	200	208.01	-8.0137
25	0.2	0.69	0.23	194	210.22	-16.217
26	0.17	0.65	0.24	212	207.51	4.4868
27	0.17	0.69	0.2	219	217.48	1.519
28	0.23	0.8	0.3	231	234.05	-3.0465
29	0.19	0.83	0.22	194	211.24	-17.237
30	0.21	0.64	0.22	231	217	14.004
31	0.17	0.65	0.18	206	215.6	-9.6012
32	0.17	0.52	0.18	212	193.7	18.301

COORDONATELE PUNCTULUI SEA SUNT :

C	0.19417
Mn	0.79343
Si	0.2842
Rp <sub>0.2</sub>	208.473

COMPORTAMENTUL HIPERSUPRAFETEI IN VECINATATEA PUNCTULUI STATIONAR

ans =

1.0e+002 \*

0.00194166851010	0.00793431942725	0.00274201084558	2.08530142378183
0.00194166851010	0.00793431942725	0.00274201084558	2.08530142378183
0.00194166851010	0.00793431942725	0.00274201084558	2.08530142378183
0.00194166851010	0.00793431942725	0.00274201084558	2.08530142378183
0.00194166851010	0.00793431942725	0.00274201084558	2.08530142378183
0.00201237918822	0.00793431942725	0.00277130016746	2.09433805298147
0.00194166851010	0.00800503010537	0.00277130016746	2.08480690629826
0.00187095783198	0.00793431942725	0.00277130016746	2.09552104654972

0.00194166851010	0.00786360874913	0.00277130016746	2.08495576540251
0.00201237918822	0.00793431942725	0.00277130016746	2.09433805298147
0.00204166851010	0.00793431942725	0.00284201084558	2.10455767574936
0.00194166851010	0.00803431942725	0.00284201084558	2.08446124791893
0.00184166851010	0.00793431942725	0.00284201084558	2.10455767574936
0.00194166851010	0.00783431942725	0.00284201084558	2.08446124791893
0.00204166851010	0.00793431942725	0.00284201084558	2.10455767574936
0.00201237918822	0.00793431942725	0.00291272152370	2.09552104654972
0.00194166851010	0.00800503010537	0.00291272152370	2.08495576540251
0.00187095783198	0.00793431942725	0.00291272152370	2.09433805298147
0.00194166851010	0.00786360874913	0.00291272152370	2.08480690629826
0.00201237918822	0.00793431942725	0.00291272152370	2.09552104654972
0.00194166851010	0.00793431942725	0.00294201084558	2.08530142378183
0.00194166851010	0.00793431942725	0.00294201084558	2.08530142378183
0.00194166851010	0.00793431942725	0.00294201084558	2.08530142378183
0.00194166851010	0.00793431942725	0.00294201084558	2.08530142378183
0.00194166851010	0.00793431942725	0.00294201084558	2.08530142378183
0.00194166851010	0.00793431942725	0.00264201084558	2.08701686417851
0.00194166851010	0.00793431942725	0.00264201084558	2.08701686417851
0.00194166851010	0.00793431942725	0.00264201084558	2.08701686417851
0.00194166851010	0.00793431942725	0.00264201084558	2.08701686417851
0.00194166851010	0.00793431942725	0.00264201084558	2.08701686417851
0.00208308986634	0.00793431942725	0.00270058948934	2.12316338097707
0.00194166851010	0.00807574078349	0.00270058948934	2.08503879424420
0.00180024715386	0.00793431942725	0.00270058948934	2.12789535525008
0.00194166851010	0.00779289807101	0.00270058948934	2.08563423066122
0.00208308986634	0.00793431942725	0.00270058948934	2.12316338097707
0.00214166851010	0.00793431942725	0.00284201084558	2.16404187204864
0.00194166851010	0.00813431942725	0.00284201084558	2.08365616072691
0.00174166851010	0.00793431942725	0.00284201084558	2.16404187204863
0.00194166851010	0.00773431942725	0.00284201084558	2.08365616072691
0.00214166851010	0.00793431942725	0.00284201084558	2.16404187204864
0.00208308986634	0.00793431942725	0.00298343220182	2.12789535525008
0.00194166851010	0.00807574078349	0.00298343220182	2.08563423066122
0.00180024715386	0.00793431942725	0.00298343220182	2.12316338097706
0.00194166851010	0.00779289807101	0.00298343220182	2.08503879424420
0.00208308986634	0.00793431942725	0.00298343220182	2.12789535525008
0.00194166851010	0.00793431942725	0.00304201084558	2.08701686417851
0.00194166851010	0.00793431942725	0.00304201084558	2.08701686417851
0.00194166851010	0.00793431942725	0.00304201084558	2.08701686417851
0.00194166851010	0.00793431942725	0.00304201084558	2.08701686417851
0.00194166851010	0.00793431942725	0.00304201084558	2.08701686417851

## COMPORTAMENTUL HIPERSUPRAFETEI IN VECINATAEA PUNCTULUI MEDIU

ans =

1.0e+002 \*

0.00185625000000	0.00663750000000	0.00225000000000	2.05846131390748
0.00185625000000	0.00663750000000	0.00225000000000	2.05846131390748
0.00185625000000	0.00663750000000	0.00225000000000	2.05846131390748
0.00185625000000	0.00663750000000	0.00225000000000	2.05846131390748
0.00185625000000	0.00663750000000	0.00225000000000	2.05846131390748
0.00192696067812	0.00663750000000	0.00227928932188	2.06428414976232
0.00185625000000	0.00670821067812	0.00227928932188	2.06166357893676
0.00178553932188	0.00663750000000	0.00227928932188	2.06687588884851
0.00185625000000	0.00656678932188	0.00227928932188	2.04940003184363
0.00192696067812	0.00663750000000	0.00227928932188	2.06428414976232
0.00195625000000	0.00663750000000	0.00235000000000	2.06815373456847
0.00185625000000	0.00673750000000	0.00235000000000	2.05783033683975
0.00175625000000	0.00663750000000	0.00235000000000	2.07014600158586
0.00185625000000	0.00653750000000	0.00235000000000	2.04027654365372
0.00195625000000	0.00663750000000	0.00235000000000	2.06815373456847
0.00192696067812	0.00663750000000	0.00242071067812	2.05335058890654
0.00185625000000	0.00670821067812	0.00242071067812	2.04969588361699
0.00178553932188	0.00663750000000	0.00242071067812	2.05357634085622

0.00185625000000	0.00656678932188	0.00242071067812	2.03713461831535
0.00192696067812	0.00663750000000	0.00242071067812	2.05335058890654
0.00185625000000	0.00663750000000	0.00245000000000	2.04132591831179
0.00185625000000	0.00663750000000	0.00245000000000	2.04132591831179
0.00185625000000	0.00663750000000	0.00245000000000	2.04132591831179
0.00185625000000	0.00663750000000	0.00245000000000	2.04132591831179
0.00185625000000	0.00663750000000	0.00245000000000	2.04132591831179
0.00185625000000	0.00663750000000	0.00215000000000	2.06874445210200
0.00185625000000	0.00663750000000	0.00215000000000	2.06874445210200
0.00185625000000	0.00663750000000	0.00215000000000	2.06874445210200
0.00185625000000	0.00663750000000	0.00215000000000	2.06874445210200
0.00185625000000	0.00663750000000	0.00215000000000	2.06874445210200
0.00199767135624	0.00663750000000	0.00220857864376	2.09846338221096
0.00185625000000	0.00677892135624	0.00220857864376	2.07415994719341
0.00171482864376	0.00663750000000	0.00220857864376	2.10601284751984
0.00185625000000	0.00649607864376	0.00220857864376	2.04993057121567
0.00199767135624	0.00663750000000	0.00220857864376	2.09846338221096
0.00205625000000	0.00663750000000	0.00235000000000	2.12664179735904
0.00185625000000	0.00683750000000	0.00235000000000	2.06580214624074
0.00165625000000	0.00663750000000	0.00235000000000	2.13062633139383
0.00185625000000	0.00643750000000	0.00235000000000	2.03069455986869
0.00205625000000	0.00663750000000	0.00235000000000	2.12664179735904
0.00199767135624	0.00663750000000	0.00249142135624	2.07896224763592
0.00185625000000	0.00677892135624	0.00249142135624	2.05052227476238
0.00171482864376	0.00663750000000	0.00249142135624	2.07704776439877
0.00185625000000	0.00649607864376	0.00249142135624	2.02510202595059
0.00199767135624	0.00663750000000	0.00249142135624	2.07896224763592
0.00185625000000	0.00663750000000	0.00255000000000	2.03447366091061
0.00185625000000	0.00663750000000	0.00255000000000	2.03447366091061
0.00185625000000	0.00663750000000	0.00255000000000	2.03447366091061
0.00185625000000	0.00663750000000	0.00255000000000	2.03447366091061
0.00185625000000	0.00663750000000	0.00255000000000	2.03447366091061

Deoarece aceasta hipersuprafața nu poate fi reprezentată în spațiul cu 4 dimensiuni, s-a recurs la înlocuirea, succesiv, a câte unei variabile independente cu valoarea ei medie. Aceste suprafețe, care aparțin spațiului cu 3 dimensiuni pot fi reprezentate și interpretate de tehnologi.

$$Rp_{0.2}C_{med} = -268.3624 * Mn^2 + 571.8135 * Si^2 + 148.8591 * Mn * Si + 409.0382 * Mn - 453.2345 * Si + 103.3764$$

MATRICEA LINIILOR DE CONTUR C1:

$$Rp_{0.2} = Rp_{0.2}(C_{med}, Mn, Si)$$

C1 =

1.0e+002 \*

Columns 1 through 4

1.90000000000000	0.00569675062015	0.00569875367767	0.00569967060642
0.26000000000000	0.00331000000000	0.00327200000000	0.00323400000000

Columns 5 through 8

0.00569948906872	0.00569819653933	0.00569578030183	0.00569222744502
0.00319600000000	0.00315800000000	0.00312000000000	0.00308200000000

Columns 9 through 12

0.00569200000000	0.00568762695666	0.00568189603980	0.00567501662878
0.00308015537093	0.00304400000000	0.00300600000000	0.00296800000000

Columns 13 through 16

0.00566697563149	0.00565775975613	0.00564735550727	0.00563574918205
0.00293000000000	0.00289200000000	0.00285400000000	0.00281600000000

Columns 17 through 20

0.00562800000000	0.00562304301118	0.00560931395014	0.00559437158307
0.00279299967743	0.00277800000000	0.00274000000000	0.00270200000000

Columns 21 through 24

0.00557820203015	0.00556400000000	0.00556086409227	0.00554262357845
0.00266400000000	0.00263298156781	0.00262600000000	0.00258800000000

Columns 25 through 28

0.00552314522865	0.00550241499347	0.00550000000000	1.95000000000000
------------------	------------------	------------------	------------------

0.0025500000000	0.0025120000000	0.00250781386311	0.4300000000000
Columns 29 through 32			
0.00604610868534	0.00604985171427	0.00605238295055	0.00605368684096
0.0033100000000	0.0032720000000	0.0032340000000	0.0031960000000
Columns 33 through 36			
0.00605374756493	0.00605254902883	0.00605007486004	0.00604630840085
0.0031580000000	0.0031200000000	0.0030820000000	0.0030440000000
Columns 37 through 40			
0.00604123270227	0.00603483051762	0.00602708429596	0.00601797617534
0.0030060000000	0.0029680000000	0.0029300000000	0.0028920000000
Columns 41 through 44			
0.0060120000000	0.00600760668642	0.00599603451975	0.00598308530027
0.00287030625961	0.0028540000000	0.0028160000000	0.0027780000000
Columns 45 through 48			
0.00596874089374	0.00595298284614	0.0059480000000	0.00593611207122
0.0027400000000	0.0027020000000	0.00269095068803	0.0026640000000
Columns 49 through 52			
0.00591796176275	0.00589838359601	0.0058840000000	0.00587753050050
0.0026260000000	0.0025880000000	0.00256196739715	0.0025500000000
Columns 53 through 56			
0.00585562463933	0.00583227750997	0.0058200000000	0.00580779012533
0.0025120000000	0.0024740000000	0.00245515215900	0.0024360000000
Columns 57 through 60			
0.00578217899923	0.0057560000000	0.00575513619445	0.00572731756742
0.0023980000000	0.00236123893135	0.0023600000000	0.0023220000000
Columns 61 through 64			
0.00569805131042	0.0056920000000	0.00566793056534	0.00563651797475
0.0022840000000	0.00227649247881	0.0022460000000	0.0022080000000
Columns 65 through 68			
0.0056280000000	0.00560423983096	0.00557073399317	0.0055640000000
0.00219812310766	0.0021700000000	0.0021320000000	0.00212465606286
Columns 69 through 72			
0.00553645293635	0.00550090518988	0.0055000000000	2.0000000000000
0.0020940000000	0.0020560000000	0.00205506654225	0.5600000000000
Columns 73 through 76			
0.00557112564786	0.00561682157406	0.0056280000000	0.00566177880502
0.0017900000000	0.0018280000000	0.00183760084936	0.0018660000000
Columns 77 through 80			
0.0056920000000	0.00570576043433	0.00574889229367	0.0057560000000
0.00189228842985	0.0019040000000	0.0019420000000	0.00194848463384
Columns 81 through 84			
0.00579131873647	0.0058200000000	0.00583261299742	0.00587300455938
0.0019800000000	0.00200657537681	0.0020180000000	0.0020560000000
Columns 85 through 88			
0.0058840000000	0.00591250064936	0.0059480000000	0.00595067531814
0.00206675632873	0.0020940000000	0.00212939493839	0.0021320000000
Columns 89 through 92			
0.00598813236931	0.0060120000000	0.00602422071913	0.00605925905135
0.0021700000000	0.00219533644078	0.0022080000000	0.0022460000000
Columns 93 through 96			
0.0060760000000	0.00609306543987	0.00612561176200	0.0061400000000
0.00226505133515	0.0022840000000	0.0023220000000	0.00233969967307
Columns 97 through 100			
0.00615692173613	0.00618689972747	0.0062040000000	0.00621547788945
0.0023600000000	0.0023980000000	0.00242097131050	0.0024360000000
Columns 101 through 104			
0.00624280807060	0.0062680000000	0.00626839565718	0.00629299526050
0.0024740000000	0.00251142734973	0.0025120000000	0.0025500000000
Columns 105 through 108			
0.00631583139358	0.0063320000000	0.00633709023134	0.00635710142641
0.0025880000000	0.00261708385902	0.0026260000000	0.0026640000000
Columns 109 through 112			
0.00637536889351	0.00639191996742	0.0063960000000	0.00640713283783
0.0027020000000	0.0027400000000	0.00275039304768	0.0027780000000

Columns 113 through 116				
0.00642075689154	0.00643268586400	0.00644294661832	0.00645156545297	
0.00281600000000	0.00285400000000	0.00289200000000	0.00293000000000	
Columns 117 through 120				
0.00645856811654	0.00646000000000	0.00646410959600	0.00646807906383	
0.00296800000000	0.00297801591867	0.00300600000000	0.00304400000000	
Columns 121 through 124				
0.00647045537997	0.00647126380187	0.00647052905589	0.00646827535116	
0.00308200000000	0.00312000000000	0.00315800000000	0.00319600000000	
Columns 125 through 128				
0.00646452639308	0.00646000000000	0.00645932656030	0.00645285837960	
0.00323400000000	0.00326692167854	0.00327200000000	0.00331000000000	
Columns 129 through 132				
2.05000000000000	0.00596799779379	0.00601200000000	0.00602015867158	
0.58000000000000	0.00179000000000	0.00182218218337	0.00182800000000	
Columns 133 through 136				
0.00607167017781	0.00607600000000	0.00612262170587	0.00614000000000	
0.00186600000000	0.00186930643277	0.00190400000000	0.00191741489120	
Columns 137 through 140				
0.00617270536581	0.00620400000000	0.00622184919286	0.00626800000000	
0.00194200000000	0.00196643700726	0.00198000000000	0.00201648337449	
Columns 141 through 144				
0.00626997303947	0.00631749541178	0.00633200000000	0.00636394835606	
0.00201800000000	0.00205600000000	0.00206810046842	0.00209400000000	
Columns 145 through 148				
0.00639600000000	0.00640916497734	0.00645327922459	0.00646000000000	
0.00212116625651	0.00213200000000	0.00217000000000	0.00217606604127	
Columns 149 through 152				
0.00649646692292	0.00652400000000	0.00653814086585	0.00657852357956	
0.00220800000000	0.00223337006765	0.00224600000000	0.00228400000000	
Columns 153 through 156				
0.00658800000000	0.00661772088310	0.00665200000000	0.00665504468042	
0.00229341157712	0.00232200000000	0.00235699292791	0.00236000000000	
Columns 157 through 160				
0.00669132629243	0.00671600000000	0.00672560699148	0.00675846367482	
0.00239800000000	0.00242560888210	0.00243600000000	0.00247400000000	
Columns 161 through 164				
0.00678000000000	0.00678929813057	0.00681858374050	0.00684400000000	
0.00250081839109	0.00251200000000	0.00255000000000	0.00258593587217	
Columns 165 through 168				
0.00684551324492	0.00687107319069	0.00689419653493	0.00690800000000	
0.00258800000000	0.00262600000000	0.00266400000000	0.00268923297221	
Columns 169 through 172				
0.00691524511403	0.00693446359454	0.00695128320398	0.00696575582046	
0.00270200000000	0.00274000000000	0.00277800000000	0.00281600000000	
Columns 173 through 176				
0.00697200000000	0.00697820136013	0.00698857549799	0.00699664451302	
0.00283541919544	0.00285400000000	0.00289200000000	0.00293000000000	
Columns 177 through 180				
0.00700245901202	0.00700606813119	0.00700751958916	0.00700685973775	
0.00296800000000	0.00300600000000	0.00304400000000	0.00308200000000	
Columns 181 through 184				
0.00700413361052	0.00699938496938	0.00699265634909	0.00698398910002	
0.00312000000000	0.00315800000000	0.00319600000000	0.00323400000000	
Columns 185 through 188				
0.00697342342905	0.00697200000000	0.00696143877027	2.10000000000000	
0.00327200000000	0.00327632686186	0.00331000000000	0.48000000000000	
Columns 189 through 192				
0.00645682236297	0.00646000000000	0.00652171496627	0.00652400000000	
0.00179000000000	0.00179191850605	0.00182800000000	0.00182938479262	
Columns 193 through 196				
0.00658645946363	0.00658800000000	0.00665104032041	0.00665200000000	
0.00186600000000	0.00186693737738	0.00190400000000	0.00190458647487	
Columns 197 through 200				



0.00671543975071	0.00671600000000	0.00677963729425	0.00678000000000
0.00194200000000	0.00194234397784	0.00198000000000	0.00198022381671
Columns 201 through 204			
0.00684360929403	0.00684400000000	0.00690732824669	0.00690800000000
0.00201800000000	0.00201824241553	0.00205600000000	0.00205641927606
Columns 205 through 208			
0.00697076198758	0.00697200000000	0.00703387265969	0.00703600000000
0.00209400000000	0.00209477773414	0.00213200000000	0.00213334595059
Columns 209 through 212			
0.00709661539597	0.00710000000000	0.00715893661809	0.00716400000000
0.00217000000000	0.00217215822626	0.00220800000000	0.00221125677194
Columns 213 through 216			
0.00722077181432	0.00722800000000	0.00728204260078	0.00729200000000
0.00224600000000	0.00225069412784	0.00228400000000	0.00229053652927
Columns 217 through 220			
0.00734265278081	0.00735600000000	0.00740248298029	0.00742000000000
0.00232200000000	0.00233086867978	0.00236000000000	0.00237180067032
Columns 221 through 224			
0.00746138321976	0.00748400000000	0.00751916243447	0.00754800000000
0.00239800000000	0.00241347826111	0.00243600000000	0.00245609860080
Columns 225 through 228			
0.00757557337132	0.00761200000000	0.00763029029510	0.00767600000000
0.00247400000000	0.00249993506201	0.00251200000000	0.00254537802131
Columns 229 through 232			
0.00768287516504	0.00773346283879	0.00774000000000	0.00778175735713
0.00255000000000	0.00258800000000	0.00259355043600	0.00262600000000
Columns 233 through 236			
0.00780400000000	0.00782621670916	0.00786582870375	0.00786800000000
0.00264593348620	0.00266400000000	0.00270200000000	0.00270449797811
Columns 237 through 240			
2.10000000000000	0.00774798804228	0.00778399137414	0.00780400000000
0.06000000000000	0.00331000000000	0.00327200000000	0.00324876006589
Columns 241 through 244			
0.00781809682200	0.00785059762814	0.00786800000000	2.15000000000000
0.00323400000000	0.00319600000000	0.00317295974625	0.16000000000000
Columns 245 through 248			
0.00717177824072	0.00722800000000	0.00728149560983	0.00729200000000
0.00179000000000	0.00181003895784	0.00182800000000	0.00183166684731
Columns 249 through 252			
0.00735600000000	0.00740028916958	0.00742000000000	0.00748400000000
0.00185253569132	0.00186600000000	0.00187224186282	0.00189096762374
Columns 253 through 256			
0.00753242459600	0.00754800000000	0.00761200000000	0.00767600000000
0.00190400000000	0.00190837538500	0.00192469952881	0.00193943831191
Columns 257 through 260			
0.00768858176981	0.00774000000000	0.00780400000000	0.00786800000000
0.00194200000000	0.00195295654663	0.00196485285843	0.00197498626762

»

$$Rp_{0.2Mnmed} = 571.8135 * Si^2 + 19828.0654 * C^2 + 1182.9936 * Si * C - 574.0225 * Si - 7649.1341 * C + 993.3067$$

MATRICEA LINIILOR DE CONTUR C2:

$$Rp_{0.2} = Rp_{0.2}(C, Mnmed, Si)$$

C2 =

1.0e+002 \*

Columns 1 through 4

2.05000000000000 0.00291186015269 0.00289200000000 0.00285400000000

0.59000000000000 0.00171666666667 0.00171826822761 0.00172163541571

Columns 5 through 8

0.00281600000000 0.00277800000000 0.00276479993308 0.00274000000000

0.00172528321955 0.00172920383786 0.00173066666667 0.00173373803730

Columns 9 through 12

0.00270200000000	0.00266400000000	0.00265956857297	0.00262600000000
0.00173874099984	0.00174401515898	0.00174466666667	0.00175024421237
Columns 13 through 16			
0.00258800000000	0.00257796237692	0.00255000000000	0.00251234461104
0.00175683969915	0.00175866666667	0.00176450772261	0.00177266666667
Columns 17 through 20			
0.00251200000000	0.00247400000000	0.00245995768994	0.00243600000000
0.00177275427162	0.00178282016670	0.00178666666667	0.00179457954761
Columns 21 through 24			
0.00241815612492	0.00239800000000	0.00238594417001	0.00236258674160
0.00180066666667	0.00180932392553	0.00181466666667	0.00182866666667
Columns 25 through 28			
0.00236000000000	0.00234817652431	0.00234231460498	0.00234536840889
0.00183111662796	0.00184266666667	0.00185666666667	0.00187066666667
Columns 29 through 32			
0.00235786944542	0.00236000000000	0.00238153814739	0.00239800000000
0.00188466666667	0.00188601526193	0.00189866666667	0.00190530884680
Columns 33 through 36			
0.00241776965363	0.00243600000000	0.00247002600157	0.00247400000000
0.00191266666667	0.00191783382066	0.00192666666667	0.00192749966447
Columns 37 through 40			
0.00251200000000	0.00254563326507	0.00255000000000	0.00258800000000
0.00193481758948	0.00194066666667	0.00194130493574	0.00194635237187
Columns 41 through 44			
0.00262600000000	0.00266245287605	0.00266400000000	0.00270200000000
0.00195085330441	0.00195466666667	0.00195480669656	0.00195784308579
Columns 45 through 48			
0.00274000000000	0.00277800000000	0.00281600000000	0.00285400000000
0.00196045580286	0.00196265730371	0.00196445956077	0.00196587408613
Columns 49 through 52			
0.00289200000000	0.00293000000000	0.00296800000000	0.00300600000000
0.00196691195353	0.00196758381897	0.00196789994028	0.00196787019547
Columns 53 through 56			
0.00304400000000	0.00308200000000	0.00312000000000	0.00315800000000
0.00196750410023	0.00196681082433	0.00196579920723	0.00196447777281
Columns 57 through 60			
0.00319600000000	0.00323400000000	0.00327200000000	0.00331000000000
0.00196285474332	0.00196093805263	0.00195873535874	0.00195625405566
Columns 61 through 64			
2.10000000000000	0.00225127614418	0.00224600000000	0.00220800000000
0.73000000000000	0.00171666666667	0.00171774406425	0.00172573070802
Columns 65 through 68			
0.00218507119360	0.00217000000000	0.00213200000000	0.00212718696554
0.00173066666667	0.00173424117599	0.00174346835781	0.00174466666667
Columns 69 through 72			
0.00209400000000	0.00207698891552	0.00205600000000	0.00203350632325
0.00175385587327	0.00175866666667	0.00176535213342	0.00177266666667
Columns 73 through 76			
0.00201800000000	0.00199633496991	0.00198000000000	0.00196510243973
0.00177843800404	0.00178666666667	0.00179391941521	0.00180066666667
Columns 77 through 80			
0.00194200000000	0.00193946505258	0.00191958160760	0.00190492454814
0.00181325790081	0.00181466666667	0.00182866666667	0.00184266666667
Columns 81 through 84			
0.00190400000000	0.00189594726453	0.00189244968231	0.00189460308893
0.00184408338138	0.00185666666667	0.00187066666667	0.00188466666667
Columns 85 through 88			
0.00190261727083	0.00190400000000	0.00191714469155	0.00193826105027
0.00189866666667	0.0019000555205	0.00191266666667	0.00192666666667
Columns 89 through 92			
0.00194200000000	0.00196705541081	0.00198000000000	0.00200423830572
0.00192856306001	0.00194066666667	0.00194570453974	0.00195466666667
Columns 93 through 96			
0.00201800000000	0.00205120603838	0.00205600000000	0.00209400000000

0.00195892704951	0.00196866666667	0.00196987598934	0.00197896875082
Columns 97 through 100			
0.00211037970606	0.00213200000000	0.00217000000000	0.00218488669127
0.00198266666667	0.00198695392393	0.00199405075943	0.00199666666667
Columns 101 through 104			
0.00220800000000	0.00224600000000	0.00228089831141	0.00228400000000
0.00200029121598	0.00200587996332	0.00201066666667	0.00201105107367
Columns 105 through 108			
0.00232200000000	0.00236000000000	0.00239800000000	0.00241281121533
0.00201546061630	0.00201954579238	0.00202331348179	0.00202466666667
Columns 109 through 112			
0.00243600000000	0.00247400000000	0.00251200000000	0.00255000000000
0.00202660252584	0.00202950627606	0.00203213869204	0.00203450493249
Columns 113 through 116			
0.00258800000000	0.00262600000000	0.00263091633603	0.00266400000000
0.00203661002619	0.00203845887602	0.00203866666667	0.00203995714345
Columns 117 through 120			
0.00270200000000	0.00274000000000	0.00277800000000	0.00281600000000
0.00204121251558	0.00204224380533	0.00204305482922	0.00204364931757
Columns 121 through 124			
0.00285400000000	0.00289200000000	0.00293000000000	0.00296800000000
0.00204403091695	0.00204420319252	0.00204416963024	0.00204393363913
Columns 125 through 128			
0.00300600000000	0.00304400000000	0.00308200000000	0.00312000000000
0.00204349855332	0.00204286763413	0.00204204407204	0.00204103098860
Columns 129 through 132			
0.00315800000000	0.00318997608878	0.00319600000000	0.00323400000000
0.00203983143826	0.00203866666667	0.00203843298900	0.00203675964810
Columns 133 through 136			
0.00327200000000	0.00331000000000	2.15000000000000	0.00188015412940
0.00203489744779	0.00203284957481	0.05000000000000	0.00171666666667
Columns 137 through 140			
0.00186600000000	0.00182800000000	0.00182740522427	0.00179000000000
0.00172037514961	0.00173050500021	0.00173066666667	0.00174178311226
Columns 141 through 144			
2.15000000000000	0.00179000000000	0.00179575564855	0.00182800000000
0.49000000000000	0.00200920304362	0.00201066666667	0.00201800045528
Columns 145 through 148			
0.00185873619061	0.00186600000000	0.00190400000000	0.00193451339987
0.00202466666667	0.00202609162414	0.00203322217883	0.00203866666667
Columns 149 through 152			
0.00194200000000	0.00198000000000	0.00201800000000	0.00202710152371
0.00203988680074	0.00204579530855	0.00205139286534	0.00205266666667
Columns 153 through 156			
0.00205600000000	0.00209400000000	0.00213200000000	0.00214377181958
0.00205639257918	0.00206102590328	0.00206539098104	0.00206666666667
Columns 157 through 160			
0.00217000000000	0.00220800000000	0.00224600000000	0.00228400000000
0.00206930367244	0.00207289181020	0.00207624492749	0.00207936677779
Columns 161 through 164			
0.00230101691882	0.00232200000000	0.00236000000000	0.00239800000000
0.00208066666667	0.00208216316507	0.00208467080716	0.00208697297523
Columns 165 through 168			
0.00243600000000	0.00247400000000	0.00251200000000	0.00255000000000
0.00208907268810	0.00209097290577	0.00209267653078	0.00209418640966
Columns 169 through 172			
0.00256379451814	0.00258800000000	0.00262600000000	0.00266400000000
0.00209466666667	0.00209545836972	0.00209652625773	0.00209741947690
Columns 173 through 176			
0.00270200000000	0.00274000000000	0.00277800000000	0.00281600000000
0.00209814037132	0.00209869124335	0.00209907435449	0.00209929192632
Columns 177 through 180			
0.00285400000000	0.00289200000000	0.00293000000000	0.00296800000000
0.00209934614138	0.00209923914400	0.00209897304113	0.00209854990317

Columns 181 through 184	0.00300600000000	0.00304400000000	0.00308200000000	0.00312000000000
	0.00209797176478	0.00209724062559	0.00209635845098	0.00209532717284
Columns 185 through 188	0.00314125808787	0.00315800000000	0.00319600000000	0.00323400000000
	0.00209466666667	0.00209412002845	0.00209272341046	0.00209117606697
Columns 189 through 192	0.00327200000000	0.00331000000000	2.20000000000000	0.00179000000000
	0.00208947999706	0.00208763716461	0.46000000000000	0.00208305503781
Columns 193 through 196	0.00182800000000	0.00186600000000	0.00187382896347	0.00190400000000
	0.00208847731290	0.00209364809784	0.00209466666667	0.00209833326844
Columns 197 through 200	0.00194200000000	0.00198000000000	0.00199688678238	0.00201800000000
	0.00210273011948	0.00210690438026	0.00210866666667	0.00211073502120
Columns 201 through 204	0.00205600000000	0.00209400000000	0.00213200000000	0.00215706092355
	0.00211426340780	0.00211759264160	0.00212072542735	0.00212266666667
Columns 205 through 208	0.00217000000000	0.00220800000000	0.00224600000000	0.00228400000000
	0.00212361181570	0.00212621559033	0.00212864182299	0.00213089275874
Columns 209 through 212	0.00232200000000	0.00236000000000	0.00239800000000	0.00239922811452
	0.00213297060496	0.00213487753212	0.00213661567453	0.00213666666667
Columns 213 through 216	0.00243600000000	0.00247400000000	0.00251200000000	0.00255000000000
	0.00213811308347	0.00213945196468	0.00214063664278	0.00214166892068
Columns 217 through 220	0.00258800000000	0.00262600000000	0.00266400000000	0.00270200000000
	0.00214255057326	0.00214328334796	0.00214386896531	0.00214430911940
Columns 221 through 224	0.00274000000000	0.00277800000000	0.00281600000000	0.00285400000000
	0.00214460547843	0.00214475968521	0.00214477335758	0.00214464808895
Columns 225 through 228	0.00289200000000	0.00293000000000	0.00296800000000	0.00300600000000
	0.00214438544873	0.00214398698278	0.00214345421383	0.00214278864198
Columns 229 through 232	0.00304400000000	0.00308200000000	0.00312000000000	0.00315800000000
	0.00214199174502	0.00214106497894	0.00214000977825	0.00213882755644
Columns 233 through 236	0.00319600000000	0.00321860145009	0.00323400000000	0.00327200000000
	0.00213751970632	0.00213666666667	0.00213606032966	0.00213443247021
Columns 237 through 240	0.00331000000000	2.25000000000000	0.00239995282250	0.00239800000000
	0.00213267791006	0.20000000000000	0.00217866666667	0.00217860420174
Columns 241 through 244	0.00236000000000	0.00232200000000	0.00228400000000	0.00224600000000
	0.00217725111214	0.00217575475116	0.00217411355183	0.00217232592421
Columns 245 through 248	0.00220800000000	0.00217000000000	0.00213200000000	0.00210967907791
	0.00217039025504	0.00216830490724	0.00216606821952	0.00216466666667
Columns 249 through 252	0.00209400000000	0.00205600000000	0.00201800000000	0.00198000000000
	0.00216363100927	0.00216096359444	0.00215813116124	0.00215513176022
Columns 253 through 256	0.00194200000000	0.00192720779704	0.00190400000000	0.00186600000000
	0.00215196341106	0.00215066666667	0.00214851881519	0.00214482425532
Columns 257 through 260	0.00182800000000	0.00179000000000	2.25000000000000	0.00313104396169
	0.00214094398043	0.00213687563564	0.06000000000000	0.00217866666667
Columns 261 through 264	0.00315800000000	0.00319600000000	0.00323400000000	0.00327200000000
	0.00217780547261	0.00217647524983	0.00217503117544	0.00217347438684

Column 265  
0.00331000000000  
0.00217180600635

»

$$Rp_{0.2}Simed = 19828.0654 \cdot C^2 - 268.3624 \cdot Mn^2 - 2984.07 \cdot C \cdot Mn - 5390.4542 \cdot C + 997.938 \cdot Mn + 345.8392$$

MATRICEA LINIILOR DE CONTUR C3:  
Rp<sub>0.2</sub> = Rp<sub>0.2</sub>(C, Mn, Simed)

C3 =

1.0e+002 \*

Columns 1 through 4

1.95000000000000	0.00193013349140	0.00192666666667	0.00191623130527
0.22000000000000	0.00550000000000	0.00551749980189	0.00556400000000

Columns 5 through 8

0.00191266666667	0.00190011758385	0.00189866666667	0.00188466666667
0.00557979109998	0.00562800000000	0.00563354143598	0.00567924066609

Columns 9 through 12

0.00187995920498	0.00187066666667	0.00185666666667	0.00185135176428
0.00569200000000	0.00571704577369	0.00574717345453	0.00575600000000

Columns 13 through 16

0.00184266666667	0.00182866666667	0.00181466666667	0.00180066666667
0.00577034553339	0.00578687504802	0.00579712511463	0.00580162058025

Columns 17 through 20

0.00178666666667	0.00177266666667	0.00175866666667	0.00174466666667
0.00580082938712	0.00579517008139	0.00578501816329	0.00577071148233

Columns 21 through 24

0.00173337681649	0.00173066666667	0.00171666666667	2.00000000000000
0.00575600000000	0.00575262274701	0.00573130855621	0.33000000000000

Columns 25 through 28

0.00199652722893	0.00198850344191	0.00198266666667	0.00198020763142
0.00550000000000	0.00556400000000	0.00561024770991	0.00562800000000

Columns 29 through 32

0.00197134718309	0.00196866666667	0.00196179879685	0.00195466666667
0.00569200000000	0.00571136000463	0.00575600000000	0.00580202659111

Columns 33 through 36

0.00195153318117	0.00194066666667	0.00194024270255	0.00192733187472
0.00582000000000	0.00588188745739	0.00588400000000	0.00594800000000

Columns 37 through 40

0.00192666666667	0.00191266666667	0.00191212468998	0.00189866666667
0.00595127757918	0.00601009860491	0.00601200000000	0.00605888643818

Columns 41 through 44

0.00189252469416	0.00188466666667	0.00187066666667	0.00186218960323
0.00607600000000	0.00609774408932	0.00612727849423	0.00614000000000

Columns 45 through 48

0.00185666666667	0.00184266666667	0.00182866666667	0.00181466666667
0.00614823360423	0.00616140963784	0.00616725125532	0.00616649288672

Columns 49 through 52

0.00180066666667	0.00178666666667	0.00178048045058	0.00177266666667
0.00615977407333	0.00614765431280	0.00614000000000	0.00613085337937

Columns 53 through 56

0.00175866666667	0.00174466666667	0.00174044887820	0.00173066666667
0.00610985041673	0.00608482184009	0.00607600000000	0.00605653119768

Columns 57 through 60

0.00171666666667	2.05000000000000	0.00204714079207	0.00204170618554
0.00602507469943	0.46000000000000	0.00550000000000	0.00556400000000

Columns 61 through 64

0.00203866666667	0.00203614926845	0.00203042583246	0.00202470369249
0.00560015807745	0.00562800000000	0.00569200000000	0.00575600000000

Columns 65 through 68

0.00202466666667	0.00201862192601	0.00201252318549	0.00201066666667
0.00575642267316	0.00582000000000	0.00588400000000	0.00590373933624

Columns 69 through 72				
0.00200610584983	0.00199951992397	0.00199666666667	0.00199258602080	
0.00594800000000	0.00601200000000	0.00603994765917	0.00607600000000	
Columns 73 through 76				
0.00198534741127	0.00198266666667	0.00197758652167	0.00196943281115	
0.00614000000000	0.00616385180384	0.00620400000000	0.00626800000000	
Columns 77 through 80				
0.00196866666667	0.00196027409122	0.00195466666667	0.00195024476500	
0.00627407789725	0.00633200000000	0.00637030685653	0.00639600000000	
Columns 81 through 84				
0.00194066666667	0.00193878803447	0.00192666666667	0.00192474365464	
0.00645109298653	0.00646000000000	0.00651689771094	0.00652400000000	
Columns 85 through 88				
0.00191266666667	0.00190522661147	0.00189866666667	0.00188466666667	
0.00656816425196	0.00658800000000	0.00660531851895	0.00662976455647	
Columns 89 through 92				
0.00187066666667	0.00185666666667	0.00184266666667	0.00182866666667	
0.00664258210595	0.00664541639792	0.00663961627833	0.00662629807357	
Columns 93 through 96				
0.00181466666667	0.00180476579214	0.00180066666667	0.00178666666667	
0.00660639362373	0.00658800000000	0.00658091792060	0.00655100302525	
Columns 97 through 100				
0.00177576985050	0.00177266666667	0.00175866666667	0.00175216178021	
0.00652400000000	0.00651679584414	0.00647939142145	0.00646000000000	
Columns 101 through 104				
0.00174466666667	0.00173074607840	0.00173066666667	0.00171666666667	
0.00643894222342	0.00639600000000	0.00639576835865	0.00635072762849	
Columns 105 through 108				
2.10000000000000	0.00192636416655	0.00192485078964	0.00192016317630	
0.33000000000000	0.00786800000000	0.00780400000000	0.00774000000000	
Columns 109 through 112				
0.00191266666667	0.00191099708499	0.00190036374039	0.00189866666667	
0.00769134740380	0.00767600000000	0.00761200000000	0.00760474872963	
Columns 113 through 116				
0.00188881074643	0.00188466666667	0.00187638195517	0.00187066666667	
0.00754800000000	0.00752979118274	0.00748400000000	0.00745846027641	
Columns 117 through 120				
0.00186352440981	0.00185666666667	0.00185042514139	0.00184266666667	
0.00742000000000	0.00738900727807	0.00735600000000	0.00732065206688	
Columns 121 through 124				
0.00183717620841	0.00182866666667	0.00182382818877	0.00181466666667	
0.00729200000000	0.00725299406876	0.00722800000000	0.00718580646426	
Columns 125 through 128				
0.00181041117786	0.00180066666667	0.00179694420378	0.00178666666667	
0.00716400000000	0.00711895119472	0.00710000000000	0.00705233941324	
Columns 129 through 132				
0.00178343988640	0.00177266666667	0.00176990692553	0.00175866666667	
0.00703600000000	0.00698591135155	0.00697200000000	0.00691962532336	
Columns 133 through 136				
0.00175635151336	0.00174466666667	0.00174277817719	0.00173066666667	
0.00690800000000	0.00685345136719	0.00684400000000	0.00678736739496	
Columns 137 through 140				
0.00172919030374	0.00171666666667	2.10000000000000	0.00197543356025	
0.00678000000000	0.00672135676516	0.48000000000000	0.00786800000000	
Columns 141 through 144				
0.00196871663344	0.00196866666667	0.00196334332992	0.00196227118091	
0.00780400000000	0.00780313449436	0.00774000000000	0.00767600000000	
Columns 145 through 148				
0.00196342266978	0.00196586363700	0.00196866666667	0.00196899991244	
0.00761200000000	0.00754800000000	0.00749394291071	0.00748400000000	
Columns 149 through 152				
0.00197189467407	0.00197522794581	0.00197890608305	0.00198266666667	
0.00742000000000	0.00735600000000	0.00729200000000	0.00723134597757	

Columns 153 through 156			
0.00198282897762	0.00198636851126	0.00199013015237	0.00199408210337
0.00722800000000	0.00716400000000	0.00710000000000	0.00703600000000
Columns 157 through 160			
0.00199666666667	0.00199801926548	0.00200180653796	0.00200574036257
0.00699651606256	0.00697200000000	0.00690800000000	0.00684400000000
Columns 161 through 164			
0.00200980495963	0.00201066666667	0.00201368293459	0.00201759906417
0.00678000000000	0.00676717738763	0.00671600000000	0.00665200000000
Columns 165 through 168			
0.00202162413901	0.00202466666667	0.00202566526669	0.00202956636733
0.00658800000000	0.00654115431220	0.00652400000000	0.00646000000000
Columns 169 through 172			
0.00203356095095	0.00203764212289	0.00203866666667	0.00204159910478
0.00639600000000	0.00633200000000	0.00631653025595	0.00626800000000
Columns 173 through 176			
0.00204556966427	0.00204961686362	0.00205266666667	0.00205367431039
0.00620400000000	0.00614000000000	0.00609287559427	0.00607600000000
Columns 177 through 180			
0.00205762553312	0.00206164550777	0.00206573037840	0.00206666666667
0.00601200000000	0.00594800000000	0.00588400000000	0.00586975378997
Columns 181 through 184			
0.00206971399851	0.00207371169797	0.00207776858957	0.00208066666667
0.00582000000000	0.00575600000000	0.00569200000000	0.00564712944521
Columns 185 through 188			
0.00208182593553	0.00208580508720	0.00208983864491	2.15000000000000
0.00562800000000	0.00556400000000	0.00550000000000	0.18000000000000
Columns 189 through 192			
0.00179071542420	0.00178666666667	0.00178621724459	0.00178145940138
0.00786800000000	0.00781072763877	0.00780400000000	0.00774000000000
Columns 193 through 196			
0.00177605755354	0.00177266666667	0.00177017913443	0.00176390108020
0.00767600000000	0.00763997290825	0.00761200000000	0.00754800000000
Columns 197 through 200			
0.00175866666667	0.00175702993835	0.00174986756966	0.00174466666667
0.00749989618226	0.00748400000000	0.00742000000000	0.00737762526204
Columns 201 through 204			
0.00174215163516	0.00173410142065	0.00173066666667	0.00172567043871
0.00735600000000	0.00729200000000	0.00726673386338	0.00722800000000
Columns 205 through 208			
0.00171673259092	0.00171666666667	2.15000000000000	0.00211200985100
0.00716400000000	0.00716355603460	0.45000000000000	0.00786800000000
Columns 209 through 212			
0.00210866666667	0.00210681037450	0.00210197798521	0.00209776457222
0.00782601107722	0.00780400000000	0.00774000000000	0.00767600000000
Columns 213 through 216			
0.00209466666667	0.00209406797098	0.00209066859081	0.00208780296261
0.00762187671509	0.00761200000000	0.00754800000000	0.00748400000000
Columns 217 through 220			
0.00208542573062	0.00208349653635	0.00208197934879	0.00208084189955
0.00742000000000	0.00735600000000	0.00729200000000	0.00722800000000
Columns 221 through 224			
0.00208066666667	0.00208000636707	0.00207950970678	0.00207933870918
0.00721402780362	0.00716400000000	0.00710000000000	0.00703600000000
Columns 225 through 228			
0.00207946857592	0.00207987696412	0.00208054368976	0.00208066666667
0.00697200000000	0.00690800000000	0.00684400000000	0.00683549791811
Columns 229 through 232			
0.00208140017883	0.00208246055324	0.00208371944017	0.00208516451074
0.00678000000000	0.00671600000000	0.00665200000000	0.00658800000000
Columns 233 through 236			
0.00208678443632	0.00208856878909	0.00209050795424	0.00209259305225
0.00652400000000	0.00646000000000	0.00639600000000	0.00633200000000

Columns 237 through 240	0.00209466666667	0.00209480815374	0.00209704166054	0.00209939617873
	0.00627237242479	0.00626800000000	0.00620400000000	0.00614000000000
Columns 241 through 244	0.00210186557717	0.00210444413200	0.00210712649341	0.00210866666667
	0.00607600000000	0.00601200000000	0.00594800000000	0.00591281408503
Columns 245 through 248	0.00210985225509	0.00211260194962	0.00211544121518	0.00211836610697
	0.00588400000000	0.00582000000000	0.00575600000000	0.00569200000000
Columns 249 through 252	0.00212137290850	0.00212266666667	0.00212438680048	0.00212742396117
	0.00562800000000	0.00560138566769	0.00556400000000	0.00550000000000
Columns 253 through 256	2.20000000000000	0.00172548687773	0.00172096377652	0.00171666666667
	0.03000000000000	0.00786800000000	0.00780400000000	0.00774858057866
Columns 257 through 260	2.20000000000000	0.00216139843279	0.00215901618117	0.00215672060472
	0.43000000000000	0.00550000000000	0.00556400000000	0.00562800000000
Columns 261 through 264	0.00215451508742	0.00215240319179	0.00215066666667	0.00215037743597
	0.00569200000000	0.00575600000000	0.00581126881866	0.00582000000000
Columns 265 through 268	0.00214838567887	0.00214650156476	0.00214472977835	0.00214307528020
	0.00588400000000	0.00594800000000	0.00601200000000	0.00607600000000
Columns 269 through 272	0.00214154332733	0.00214013949568	0.00213886970469	0.00213774024414
	0.00614000000000	0.00620400000000	0.00626800000000	0.00633200000000
Columns 273 through 276	0.00213675780363	0.00213666666667	0.00213589319921	0.00213519261091
	0.00639600000000	0.00640314287322	0.00646000000000	0.00652400000000
Columns 277 through 280	0.00213466931328	0.00213433279970	0.00213419325369	0.00213426161274
	0.00658800000000	0.00665200000000	0.00671600000000	0.00678000000000
Columns 281 through 284	0.00213454963942	0.00213507000067	0.00213583635640	0.00213666666667
	0.00684400000000	0.00690800000000	0.00697200000000	0.00702393264918
Columns 285 through 288	0.00213685265105	0.00213808326455	0.00213958821154	0.00214138397428
	0.00703600000000	0.00710000000000	0.00716400000000	0.00722800000000
Columns 289 through 292	0.00214348838240	0.00214592075340	0.00214870205122	0.00215066666667
	0.00729200000000	0.00735600000000	0.00742000000000	0.00746020068467
Columns 293 through 296	0.00215178432942	0.00215511670673	0.00215883713282	0.00216297100382
	0.00748400000000	0.00754800000000	0.00761200000000	0.00767600000000
Columns 297 through 300	0.00216466666667	0.00216737067539	0.00217209938223	0.00217728645542
	0.00770005107791	0.00774000000000	0.00780400000000	0.00786800000000
Columns 301 through 304	2.25000000000000	0.00217866666667	0.00217826625784	0.00217751694433
	0.12000000000000	0.00680694390403	0.00678000000000	0.00671600000000
Columns 305 through 308	0.00217696856641	0.00217661195542	0.00217643849219	0.00217644006642
	0.00665200000000	0.00658800000000	0.00652400000000	0.00646000000000
Columns 309 through 312	0.00217660903974	0.00217693821182	0.00217742078946	0.00217805035817
	0.00639600000000	0.00633200000000	0.00626800000000	0.00620400000000
Column 313	0.00217866666667			
	0.00615294985749			

»



## Fișierul cu date de intrare și rezultate în programul de calcul – pentru marca de oțel 12VMoCr10

TABELUL 1. DATE EXPERIMENTALE

0.18	0.25	1.04	260
0.16	0.26	1.11	252
0.17	0.25	1.02	273
0.25	0.26	1.02	275
0.18	0.27	1.02	277
0.19	0.25	1.13	244
0.18	0.27	1.01	251
0.20	0.17	1.00	241
0.17	0.27	1.00	271
0.25	0.25	1.02	268
0.21	0.26	1.03	266
0.16	0.27	1.04	271
0.22	0.26	1.02	272
0.18	0.26	1.01	270
0.17	0.25	0.99	260
0.17	0.25	0.97	257
0.16	0.26	1.05	255
0.20	0.27	1.08	258
0.19	0.26	1.02	278
0.22	0.25	1.02	260
0.18	0.26	1.02	271
0.19	0.25	1.03	276
0.21	0.27	1.05	278
0.20	0.26	1.03	275
0.16	0.26	1.00	273
0.17	0.26	1.04	252
0.19	0.20	1.15	246
0.15	0.28	1.10	250
0.19	0.27	1.00	248
0.18	0.26	1.08	231

TABELUL 2. LIMITE DE VARIATIE ALE VARIABILELOR

V	0.15	0.25
Mo	0.17	0.28
Cr	0.97	1.15
Rp0.2	231	278

Limitele de reprezentare grafica

limxi	= 0.166666666666667
limxs	= 0.233333333333333
limyi	= 0.183750000000000
limys	= 0.266250000000000
limzi	= 0.988000000000000
limzs	= 1.132000000000000

TABELUL 3. VALORILE MEDII SI ABATERILE VARIABILELOR

V	0.18767	0.024315
Mo	0.25533	0.020774
Cr	1.0367	0.041177
Rp0.2	261.97	12.539

ECUATIA HIPERSUPRAFETEI DE REGRESIE

$$Rp_{0.2} = 2826.1971 \cdot V^2 + 133.7551 \cdot Mo^2 - 2297.3077 \cdot Cr^2 + 4273.5976 \cdot V \cdot Mo - 2969.8059 \cdot Mo \cdot Cr + 2268.4715 \cdot Cr \cdot V - 4500.0759 \cdot V + 2299.3488 \cdot Mo + 5057.683 \cdot Cr - 2220.5645$$

## COEFICIENTUL DE CORELATIE

$$r_f = 0.68947011085945$$

## ABATEREA DE LA SUPRAFATA DE REGRESIE

$$s_f = 9.08233960316196$$

TABELUL 4. COMPARAREA DATELOR EXPERIMENTALE CU CELE TEORETICE

1	0.18	0.25	1.04	260	264.23	-4.23
2	0.16	0.26	1.11	252	245.74	6.2619
3	0.17	0.25	1.02	273	265.69	7.3053
4	0.25	0.26	1.02	275	275.30	-0.29565
5	0.18	0.27	1.02	277	266.59	10.413
6	0.19	0.25	1.13	244	242.46	1.5402
7	0.18	0.27	1.01	251	266.58	-15.581
8	0.20	0.17	1.00	241	241.73	-0.72793
9	0.17	0.27	1.00	271	267.00	3.9994
10	0.25	0.25	1.02	268	271.23	-3.228
11	0.21	0.26	1.03	266	266.82	-0.82192
12	0.16	0.27	1.04	271	265.74	5.2572
13	0.22	0.26	1.02	272	267.70	4.3007
14	0.18	0.26	1.01	270	265.18	4.8191
15	0.17	0.25	0.99	260	263.20	-3.1962
16	0.17	0.25	0.97	257	259.23	-2.2332
17	0.16	0.26	1.05	255	264.56	-9.5598
18	0.20	0.27	1.08	258	260.53	-2.5298
19	0.19	0.26	1.02	278	265.19	12.81
20	0.22	0.25	1.02	260	264.91	-4.9137
21	0.18	0.26	1.02	271	265.48	5.5159
22	0.19	0.25	1.03	276	264.05	11.946
23	0.21	0.27	1.05	278	267.99	10.014
24	0.20	0.26	1.03	275	265.76	9.2413
25	0.16	0.26	1.00	273	267.61	5.3906
26	0.17	0.26	1.04	252	265.12	-13.118
27	0.19	0.20	1.15	246	244.82	1.1849
28	0.15	0.28	1.10	250	245.12	.8847
29	0.19	0.27	1.00	248	265.79	-17.795
30	0.18	0.26	1.08	231	257.65	-26.655

## COORDONATELE PUNCTULUI SEA SUNT :

V	0.23926
Mo	0.1363
Cr	1.1308
Rp <sub>0.2</sub>	257.4441

## COMPORTAMENTUL HIPERSUPRAFETEI IN VECINATATEA PUNCTULUI STATIONAR

ans =

1.0e+002 \*

0.00239258053841	0.00136295679181	0.01120815288803	2.57214365287114
0.00239258053841	0.00136295679181	0.01120815288803	2.57214365287114
0.00239258053841	0.00136295679181	0.01120815288803	2.57214365287114
0.00239258053841	0.00136295679181	0.01120815288803	2.57214365287114
0.00239258053841	0.00136295679181	0.01120815288803	2.57214365287114
0.00246329121653	0.00136295679181	0.01123744220991	2.57357116956003
0.00239258053841	0.00143366746993	0.01123744220991	2.57484408722533
0.00232186986029	0.00136295679181	0.01123744220991	2.57583964102278
0.00239258053841	0.00129224611369	0.01123744220991	2.57187428134481

0.00246329121653	0.00136295679181	0.01123744220991	2.57357116956003
0.00249258053841	0.00136295679181	0.01130815288803	2.57726715771167
0.00239258053841	0.00146295679181	0.01130815288803	2.57457471569900
0.00229258053841	0.00136295679181	0.01130815288803	2.57726715771167
0.00239258053841	0.00126295679181	0.01130815288803	2.57457471569900
0.00249258053841	0.00136295679181	0.01130815288803	2.57726715771167
0.00246329121653	0.00136295679181	0.01137886356615	2.57583964102279
0.00239258053841	0.00143366746993	0.01137886356615	2.57187428134482
0.00232186986029	0.00136295679181	0.01137886356615	2.57357116956003
0.00239258053841	0.00129224611369	0.01137886356615	2.57484408722533
0.00246329121653	0.00136295679181	0.01137886356615	2.57583964102279
0.00239258053841	0.00136295679181	0.01140815288803	2.57214365287115
0.00239258053841	0.00136295679181	0.01140815288803	2.57214365287115
0.00239258053841	0.00136295679181	0.01140815288803	2.57214365287115
0.00239258053841	0.00136295679181	0.01140815288803	2.57214365287115
0.00239258053841	0.00136295679181	0.01140815288803	2.57214365287115
0.00239258053841	0.00136295679181	0.01110815288803	2.56525172969494
0.00239258053841	0.00136295679181	0.01110815288803	2.56525172969494
0.00239258053841	0.00136295679181	0.01110815288803	2.56525172969494
0.00239258053841	0.00136295679181	0.01110815288803	2.56525172969494
0.00239258053841	0.00136295679181	0.01110815288803	2.56525172969494
0.00253400189464	0.00136295679181	0.01116673153179	2.57096179645047
0.00239258053841	0.00150437814804	0.01116673153179	2.57605346711168
0.00225115918217	0.00136295679181	0.01116673153179	2.58003568230150
0.00239258053841	0.00122153543557	0.01116673153179	2.56417424358961
0.00253400189464	0.00136295679181	0.01116673153179	2.57096179645047
0.00259258053841	0.00136295679181	0.01130815288803	2.58574574905704
0.00239258053841	0.00156295679181	0.01130815288803	2.57497598100637
0.00219258053841	0.00136295679181	0.01130815288803	2.58574574905704
0.00239258053841	0.00116295679181	0.01130815288803	2.57497598100637
0.00259258053841	0.00136295679181	0.01130815288803	2.58574574905704
0.00253400189464	0.00136295679181	0.01144957424427	2.58003568230150
0.00239258053841	0.00150437814804	0.01144957424427	2.56417424358962
0.00225115918217	0.00136295679181	0.01144957424427	2.57096179645048
0.00239258053841	0.00122153543557	0.01144957424427	2.57605346711169
0.00253400189464	0.00136295679181	0.01144957424427	2.58003568230150
0.00239258053841	0.00136295679181	0.01150815288803	2.56525172969495
0.00239258053841	0.00136295679181	0.01150815288803	2.56525172969495
0.00239258053841	0.00136295679181	0.01150815288803	2.56525172969495
0.00239258053841	0.00136295679181	0.01150815288803	2.56525172969495
0.00239258053841	0.00136295679181	0.01150815288803	2.56525172969495
0.00239258053841	0.00136295679181	0.01150815288803	2.56525172969495

## COMPORTAMENTUL HIPERSUPRAFETEI IN VECINATATEA PUNCTULUI MEDIU

ans =

1.0e+002 \*

0.00187666666667	0.00255333333333	0.01026666666667	2.64704914483620
0.00187666666667	0.00255333333333	0.01026666666667	2.64704914483620
0.00187666666667	0.00255333333333	0.01026666666667	2.64704914483620
0.00187666666667	0.00255333333333	0.01026666666667	2.64704914483620
0.00187666666667	0.00255333333333	0.01026666666667	2.64704914483620
0.00194737734479	0.00255333333333	0.01029595598855	2.64761404081666
0.00187666666667	0.00262404401145	0.01029595598855	2.65506957358233
0.00180595598855	0.00255333333333	0.01029595598855	2.64938319449980
0.00187666666667	0.00248262265521	0.01029595598855	2.63923521972145
0.00194737734479	0.00255333333333	0.01029595598855	2.64761404081666
0.00197666666667	0.00255333333333	0.01036666666667	2.64872816057522
0.00187666666667	0.00265333333333	0.01036666666667	2.65477925668843
0.00177666666667	0.00255333333333	0.01036666666667	2.64802201859935
0.00187666666667	0.00245333333333	0.01036666666667	2.63658603846081
0.00197666666667	0.00255333333333	0.01036666666667	2.64872816057522
0.00194737734479	0.00255333333333	0.01043737734479	2.64451195129702
0.00187666666667	0.00262404401145	0.01043737734479	2.64672920671942
0.00180595598855	0.00255333333333	0.01043737734479	2.64174416205465
0.00187666666667	0.00248262265521	0.01043737734479	2.63683446461957

0.00194737734479	0.00255333333333	0.01043737734479	2.64451195129702
0.00187666666667	0.00255333333333	0.01046666666667	2.63945402465733
0.00187666666667	0.00255333333333	0.01046666666667	2.63945402465733
0.00187666666667	0.00255333333333	0.01046666666667	2.63945402465733
0.00187666666667	0.00255333333333	0.01046666666667	2.63945402465733
0.00187666666667	0.00255333333333	0.01046666666667	2.63945402465733
0.00187666666667	0.00255333333333	0.01016666666667	2.64395478174943
0.00187666666667	0.00255333333333	0.01016666666667	2.64395478174943
0.00187666666667	0.00255333333333	0.01016666666667	2.64395478174943
0.00187666666667	0.00255333333333	0.01016666666667	2.64395478174943
0.00201808802290	0.00255333333333	0.01022524531043	2.64793960708812
0.00187666666667	0.00269475468957	0.01022524531043	2.66539650795007
0.00173524531043	0.00255333333333	0.01022524531043	2.65601485737991
0.00187666666667	0.00241191197710	0.01022524531043	2.62778818846729
0.00201808802290	0.00255333333333	0.01022524531043	2.64793960708812
0.00207666666667	0.00255333333333	0.01036666666667	2.65755982290852
0.00187666666667	0.00275333333333	0.01036666666667	2.66427713110961
0.00167666666667	0.00255333333333	0.01036666666667	2.65614753895679
0.00187666666667	0.00235333333333	0.01036666666667	2.62789069465436
0.00207666666667	0.00255333333333	0.01036666666667	2.65755982290852
0.00201808802290	0.00255333333333	0.01050808802290	2.64627237097434
0.00187666666667	0.00269475468957	0.01050808802290	2.64277616246320
0.00173524531043	0.00255333333333	0.01050808802290	2.63619984956408
0.00187666666667	0.00241191197710	0.01050808802290	2.62892629002456
0.00201808802290	0.00255333333333	0.01050808802290	2.64627237097434
0.00187666666667	0.00255333333333	0.01056666666667	2.62876454139170
0.00187666666667	0.00255333333333	0.01056666666667	2.62876454139170
0.00187666666667	0.00255333333333	0.01056666666667	2.62876454139170
0.00187666666667	0.00255333333333	0.01056666666667	2.62876454139170
0.00187666666667	0.00255333333333	0.01056666666667	2.62876454139170
0.00187666666667	0.00255333333333	0.01056666666667	2.62876454139170

Deoarece aceasta hipersuprafata nu poate fi reprezentata in spatiul cu 4 dimensiuni, s-a recurs la inlocuirea, succesiv, a catei unei variabile independente cu valoarea ei medie. Aceste suprafete, care apartin spatiului cu 3 dimensiuni pot fi reprezentate si interpretate de tehnologi.

$$Rp_{0.2}V_{med} = 133.7551 \cdot Mo^2 + 2297.3077 \cdot Cr^2 + 2969.8059 \cdot Mo \cdot Cr + 3101.3606 \cdot Mo + 5483.3995 \cdot Cr - 2965.5435$$

MATRICEA LINIILOR DE CONTUR C1:

$$Rp_{0.2} = Rp_{0.2}(V_{med}, Mo, Cr)$$

C1 =

1.0e+002 \*

Columns 1 through 4

2.40000000000000	0.00255623460183	0.00256350000000	0.00258550000000
0.07000000000000	0.01132000000000	0.01131703395967	0.01130824331475

Columns 5 through 8

0.00260750000000	0.00262950000000	0.00264987678888	0.00265150000000
0.01129971685551	0.01129144402157	0.01128400000000	0.01128339465672

Columns 9 through 12

2.45000000000000	0.00184720547343	0.00183750000000	2.45000000000000
0.02000000000000	0.00988000000000	0.00988539203512	0.21000000000000

Columns 13 through 16

0.00230047255115	0.00232150000000	0.00234350000000	0.00236550000000
0.01132000000000	0.01130952772196	0.01129894837076	0.01128873603544

Columns 17 through 20

0.00237597814650	0.00238750000000	0.00240950000000	0.00243150000000
0.01128400000000	0.01127866255874	0.01126875125383	0.01125918322383

Columns 21 through 24

0.00245350000000	0.00245822908311	0.00247550000000	0.00249750000000
0.01124994250702	0.01124800000000	0.01124073333211	0.01123176611821

Columns 25 through 28

0.00251950000000	0.00254150000000	0.00254887063416	0.00256350000000
0.01122310536815	0.01121473714896	0.01121200000000	0.01120643816105

Columns 29 through 32			
0.00258550000000	0.00260750000000	0.00262950000000	0.00265013576652
0.01119831716057	0.01119047038524	0.01118288563919	0.01117600000000
Columns 33 through 36			
0.00265150000000	2.50000000000000	0.00205322892991	0.00205750000000
0.01117553421328	0.36000000000000	0.01132000000000	0.01131725836729
Columns 37 through 40			
0.00207950000000	0.00210150000000	0.00211245043251	0.00212350000000
0.01130351292671	0.01129034481245	0.01128400000000	0.01127739972229
Columns 41 through 44			
0.00214550000000	0.00216750000000	0.00217589449841	0.00218950000000
0.01126468839067	0.01125250899160	0.01124800000000	0.01124046806538
Columns 45 through 48			
0.00221150000000	0.00223350000000	0.00224449849741	0.00225550000000
0.01122871443730	0.01121745110532	0.01121200000000	0.01120638188455
Columns 49 through 52			
0.00227750000000	0.00229950000000	0.00231949942021	0.00232150000000
0.01119551322513	0.01118509674213	0.01117600000000	0.01117506266660
Columns 53 through 56			
0.00234350000000	0.00236550000000	0.00238750000000	0.00240262605459
0.01116500972132	0.01115537412465	0.01114613265770	0.01114000000000
Columns 57 through 60			
0.00240950000000	0.00243150000000	0.00245350000000	0.00247550000000
0.01113713157611	0.01112821399410	0.01111966074647	0.01111145210104
Columns 61 through 64			
0.00249627861084	0.00249750000000	0.00251950000000	0.00254150000000
0.01110400000000	0.01110354950078	0.01109562723045	0.01108802408171
Columns 65 through 68			
0.00256350000000	0.00258550000000	0.00260407917313	0.00260750000000
0.01108072321742	0.01107370896442	0.01106800000000	0.01106692027473
Columns 69 through 72			
0.00262950000000	0.00265150000000	2.50000000000000	0.00207484088711
0.01106015087831	0.01105364756854	0.15000000000000	0.00988000000000
Columns 73 through 76			
0.00205750000000	0.00203550000000	0.00202040557458	0.00201350000000
0.00989188747813	0.00990639765759	0.00991600000000	0.00992052988292
Columns 77 through 80			
0.00199150000000	0.00196950000000	0.00196270621521	0.00194750000000
0.00993454373766	0.00994797092127	0.00995200000000	0.00996129646330
Columns 81 through 84			
0.00192550000000	0.00190350000000	0.00190110086676	0.00188150000000
0.00997425787083	0.00998667870671	0.00998800000000	0.00999912502979
Columns 85 through 88			
0.00185950000000	0.00183750000000	2.55000000000000	0.00229641435509
0.01001111079522	0.01002259831044	0.30000000000000	0.00988000000000
Columns 89 through 92			
0.00227750000000	0.00225550000000	0.00225440666945	0.00223350000000
0.00989666282123	0.00991510930969	0.00991600000000	0.00993369806914
Columns 93 through 96			
0.00221150000000	0.00221068958746	0.00218950000000	0.00216750000000
0.00995136771343	0.00995200000000	0.00996918783223	0.00998609879198
Columns 97 through 100			
0.00216494744056	0.00214550000000	0.00212350000000	0.00211678173736
0.00998800000000	0.01000306739588	0.01001924022725	0.01002400000000
Columns 101 through 104			
0.00210150000000	0.00207950000000	0.00206568209379	0.00205750000000
0.01003526838123	0.01005072626414	0.01006000000000	0.01006571848214
Columns 105 through 108			
0.00203550000000	0.00201350000000	0.00201097454040	0.00199150000000
0.01008048747026	0.01009444878905	0.01009600000000	0.01010845047521
Columns 109 through 112			
0.00196950000000	0.00195173391893	0.00194750000000	0.00192550000000
0.01012177522258	0.01013200000000	0.01013453768741	0.01014725744601
Columns 113 through 116			

0.0019035000000	0.00188670743334	0.0018815000000	0.0018595000000
0.01015927341444	0.01016800000000	0.01017081687823	0.01018228290120
Columns 117 through 120			
0.00183750000000	2.55000000000000	0.00183750000000	0.00185819676272
0.01019311708589	0.49000000000000	0.01130024994452	0.01128400000000
Columns 121 through 124			
0.00185950000000	0.00188150000000	0.00190350000000	0.00190487772724
0.01128293499895	0.01126550251666	0.01124900242502	0.01124800000000
Columns 125 through 128			
0.00192550000000	0.00194750000000	0.00195418131979	0.00196950000000
0.01123239038538	0.01121661626943	0.01121200000000	0.01120098318421
Columns 129 through 132			
0.00199150000000	0.00200667181441	0.00201350000000	0.00203550000000
0.01118591078135	0.01117600000000	0.01117135455710	0.01115695664242
Columns 133 through 136			
0.00205750000000	0.00206311616994	0.00207950000000	0.00210150000000
0.01114334944449	0.01114000000000	0.01112982855407	0.01111684277347
Columns 137 through 140			
0.00212350000000	0.00212454753196	0.00214550000000	0.00216750000000
0.01110456661145	0.01110400000000	0.01109220829778	0.01108050010421
Columns 141 through 144			
0.00218950000000	0.00219243619774	0.00221150000000	0.00223350000000
0.01106942908784	0.01106800000000	0.01105835060670	0.01104779390074
Columns 145 through 148			
0.00225550000000	0.00226889343072	0.00227750000000	0.00229950000000
0.01103780986682	0.01103200000000	0.01102811921337	0.01101859577181
Columns 149 through 152			
0.00232150000000	0.00234350000000	0.00235714230087	0.00236550000000
0.01100958777389	0.01100105822341	0.01099600000000	0.01099278329995
Columns 153 through 156			
0.00238750000000	0.00240950000000	0.00243150000000	0.00245350000000
0.01098464713592	0.01097694286219	0.01096964053171	0.01096271290356
Columns 157 through 160			
0.00246245472575	0.00247550000000	0.00249750000000	0.00251950000000
0.01096000000000	0.01095590618223	0.01094929901038	0.01094303153789
Columns 161 through 164			
0.00254150000000	0.00256350000000	0.00258550000000	0.00259422698965
0.01093708148148	0.01093142846513	0.01092605382028	0.01092400000000
Columns 165 through 168			
0.00260750000000	0.00262950000000	0.00265150000000	2.60000000000000
0.01092077276125	0.01091564729442	0.01091077560519	0.47000000000000
Columns 169 through 172			
0.00251238268046	0.00249750000000	0.00248182915418	0.00247550000000
0.00988000000000	0.00989797963123	0.00991600000000	0.00992367405193
Columns 173 through 176			
0.00245350000000	0.00245088644225	0.00243150000000	0.00241947656577
0.00994910264005	0.00995200000000	0.00997468336093	0.00998800000000
Columns 177 through 180			
0.00240950000000	0.00238753545037	0.00238750000000	0.00236550000000
0.00999969832370	0.01002400000000	0.01002404166877	0.01004880973257
Columns 181 through 184			
0.00235492661438	0.00234350000000	0.00232154859302	0.00232150000000
0.01006000000000	0.01007286422807	0.01009600000000	0.01009605470209
Columns 185 through 188			
0.00229950000000	0.00228718566949	0.00227750000000	0.00225550000000
0.01011967970199	0.01013200000000	0.01014236616518	0.01016434868288
Columns 189 through 192			
0.00225163428797	0.00223350000000	0.00221455469096	0.00221150000000
0.01016800000000	0.01018635271983	0.01020400000000	0.01020706441276
Columns 193 through 196			
0.00218950000000	0.00217549148292	0.00216750000000	0.00214550000000
0.01022783694055	0.01024000000000	0.01024748743599	0.01026662287690
Columns 197 through 200			
0.00213380399744	0.00212350000000	0.00210150000000	0.00208850681237

0.0102760000000	0.01028493285764	0.01030249357108	0.01031200000000
Columns 201 through 204			
0.00207950000000	0.00205750000000	0.00203805054503	0.00203550000000
0.01031914122738	0.01033520816513	0.01034800000000	0.01034982205061
Columns 205 through 208			
0.00201350000000	0.00199150000000	0.00197975379442	0.00196950000000
0.01036449851669	0.01037759021576	0.01038400000000	0.01039006522293
Columns 209 through 212			
0.00194750000000	0.00192550000000	0.00190869980968	0.00190350000000
0.01040198388619	0.01041262695365	0.01042000000000	0.01042246884342
Columns 213 through 216			
0.00188150000000	0.00185950000000	0.00183750000000	2.60000000000000
0.01043215853909	0.01044081675277	0.01044858602580	0.47000000000000
Columns 217 through 220			
0.00183750000000	0.00185158562081	0.00185950000000	0.00188150000000
0.01104468341228	0.01103200000000	0.01102432213304	0.01100447027686
Columns 221 through 224			
0.00189163040435	0.00190350000000	0.00192550000000	0.00193465600849
0.01099600000000	0.01098528653074	0.01096703568212	0.01096000000000
Columns 225 through 228			
0.00194750000000	0.00196950000000	0.00198184332081	0.00199150000000
0.01094932346991	0.01093260419246	0.01092400000000	0.01091670217197
Columns 229 through 232			
0.00201350000000	0.00203509189520	0.00203550000000	0.00205750000000
0.01090142524161	0.01088800000000	0.01088772425749	0.01087377667337
Columns 233 through 236			
0.00207950000000	0.00209782785403	0.00210150000000	0.00212350000000
0.01086134795575	0.01085200000000	0.01084996890496	0.01083864598005
Columns 237 through 240			
0.00214550000000	0.00216750000000	0.00217669419637	0.00218950000000
0.01082854594144	0.01081949523866	0.01081600000000	0.01081075149874
Columns 241 through 244			
0.00221150000000	0.00223350000000	0.00225550000000	0.00227750000000
0.01080252313634	0.01079514811861	0.01078851320592	0.01078252434591
Columns 245 through 248			
0.00228751670851	0.00229950000000	0.00232150000000	0.00234350000000
0.01078000000000	0.01077677052035	0.01077132431930	0.01076641285437
Columns 249 through 252			
0.00236550000000	0.00238750000000	0.00240950000000	0.00243150000000
0.01076197215066	0.01075794804704	0.01075429438383	0.01075097157787
Columns 253 through 256			
0.00245350000000	0.00247550000000	0.00248568920498	0.00249750000000
0.01074794549152	0.01074518652741	0.01074400000000	0.01074255083913
Columns 257 through 260			
0.00251950000000	0.00254150000000	0.00256350000000	0.00258550000000
0.01074005897756	0.01073779516140	0.01073573770232	0.01073386757769
Columns 261 through 264			
0.00260750000000	0.00262950000000	0.00265150000000	2.65000000000000
0.01073216803329	0.01073062425492	0.01072922309553	0.20000000000000
Columns 265 through 268			
0.00265150000000	0.00264667233215	0.00262950000000	0.00261310325252
0.01042374304844	0.01042000000000	0.01040268708091	0.01038400000000
Columns 269 through 272			
0.00260750000000	0.00259270878466	0.00258550000000	0.00258178371641
0.01037487296883	0.01034800000000	0.01032505324074	0.01031200000000
Columns 273 through 276			
0.00257782164022	0.00257912617175	0.00258448936434	0.00258550000000
0.01027600000000	0.01024000000000	0.01020400000000	0.01020001677441
Columns 277 through 280			
0.00259301705168	0.00260409413276	0.00260750000000	0.00261721689146
0.01016800000000	0.01013200000000	0.01012311520397	0.01009600000000
Columns 281 through 284			
0.00262950000000	0.00263203386056	0.00264824221393	0.00265150000000
0.01006648530322	0.01006000000000	0.01002400000000	0.01001755393360

»

$$Rp_{0.2} M_{omed} = -2297.3077 \cdot Cr^2 + 2826.1971 \cdot V^2 + 2268.4715 \cdot Cr \cdot V + 4299.3926 \cdot Cr - 3408.884 \cdot V - 1624.7439$$

MATRICEA LINIILOR DE CONTUR C2:

$$Rp_{0.2} = Rp_{0.2}(V, M_{omed}, Cr)$$

C2 =

1.0e+002 \*

Columns 1 through 4

2.40000000000000 0.01125476376695 0.01125848409019 0.01126273499894

0.13000000000000 0.00166666666667 0.00168666666667 0.00170666666667

Columns 5 through 8

0.01126753137680 0.01127288866934 0.01127882291079 0.01128400000000

0.00172666666667 0.00174666666667 0.00176666666667 0.00178255956734

Columns 9 through 12

0.01128530498236 0.01129219912838 0.01129969580405 0.01130781229154

0.00178666666667 0.00180666666667 0.00182666666667 0.00184666666667

Columns 13 through 16

0.01131656654036 0.01132000000000 2.45000000000000 0.01114817893995

0.00186666666667 0.00187400864076 0.25000000000000 0.00166666666667

Columns 17 through 20

0.01115122693509 0.01115485147522 0.01115907057556 0.01116390300983

0.00168666666667 0.00170666666667 0.00172666666667 0.00174666666667

Columns 21 through 24

0.01116936835050 0.01117548701183 0.01117600000000 0.01118204093128

0.00176666666667 0.00178666666667 0.00178819210953 0.00180666666667

Columns 25 through 28

0.01118924005471 0.01119712501883 0.01120571802985 0.01121200000000

0.00182666666667 0.00184666666667 0.00186666666667 0.00188018878564

Columns 29 through 32

0.01121492588068 0.01122461461163 0.01123504515439 0.01124624161957

0.00188666666667 0.00190666666667 0.00192666666667 0.00194666666667

Columns 33 through 36

0.01124800000000 0.01125783639500 0.01127014022347 0.01128324496175

0.00194962771798 0.00196666666667 0.00198666666667 0.00200666666667

Columns 37 through 40

0.01128400000000 0.01129667419993 0.01131088510774 0.01132000000000

0.00200776171745 0.00202666666667 0.00204666666667 0.00205883256428

Columns 41 through 44

2.50000000000000 0.01102838389283 0.01103052874603 0.01103200000000

0.36000000000000 0.00166666666667 0.00168666666667 0.00169723016621

Columns 45 through 48

0.01103327388904 0.01103660630717 0.01104061075686 0.01104531150727

0.00170666666667 0.00172666666667 0.00174666666667 0.00176666666667

Columns 49 through 52

0.01105073401040 0.01105690497398 0.01106385243995 0.01106800000000

0.00178666666667 0.00180666666667 0.00182666666667 0.00183742781581

Columns 53 through 56

0.01107144694167 0.01107965210871 0.01108867796864 0.01109855540631

0.00184666666667 0.00186666666667 0.00188666666667 0.00190666666667

Columns 57 through 60

0.01110400000000 0.01110908152903 0.01112023492011 0.01113228599358

0.00191684845057 0.00192666666667 0.00194666666667 0.00196666666667

Columns 61 through 64

0.01114000000000 0.01114503728298 0.01115836428001 0.01117263546657

0.00197861050770 0.00198666666667 0.00200666666667 0.00202666666667

Columns 65 through 68

0.01117600000000 0.01118736823396 0.01120291200333 0.01121200000000

0.00203112180667 0.00204666666667 0.00206666666667 0.00207771946840

Columns 69 through 72

0.01121912851573 0.01123592787631 0.01124800000000 0.01125348860692



0.00208666666667	0.00210666666667	0.00212028210832	0.00212666666667
Columns 73 through 76			
0.01127152572212	0.01128400000000	0.01129030361956	0.01130956000403
0.00214666666667	0.00215981690203	0.00216666666667	0.00218666666667
Columns 77 through 80			
0.01132000000000	2.55000000000000	0.01088859874432	0.01088913885874
0.00219702157300	0.45000000000000	0.00166666666667	0.00168666666667
Columns 81 through 84			
0.01089039117300	0.01089238599810	0.01089515538984	0.01089873327619
0.00170666666667	0.00172666666667	0.00174666666667	0.00176666666667
Columns 85 through 88			
0.01090315559597	0.01090846045010	0.01091468826665	0.01092188198127
0.00178666666667	0.00180666666667	0.00182666666667	0.00184666666667
Columns 89 through 92			
0.01092400000000	0.01092975666770	0.01093850626115	0.01094828960889
0.00185188933907	0.00186666666667	0.00188666666667	0.00190666666667
Columns 93 through 96			
0.01095915506615	0.01096000000000	0.01097054511850	0.01098299222875
0.00192666666667	0.00192809572176	0.00194666666667	0.00196666666667
Columns 97 through 100			
0.01099600000000	0.01099656131118	0.01101056863826	0.01102574792268
0.00198580748143	0.00198666666667	0.00200666666667	0.00202666666667
Columns 101 through 104			
0.01103200000000	0.01104161701325	0.01105834958281	0.01106800000000
0.00203436052002	0.00204666666667	0.00206666666667	0.00207747811247
Columns 105 through 108			
0.01107589495321	0.01109415379750	0.01110400000000	0.01111318210915
0.00208666666667	0.00210666666667	0.00211682956133	0.00212666666667
Columns 109 through 112			
0.01113293899881	0.01114000000000	0.01115327773186	0.01117450359691
0.00214666666667	0.00215344598854	0.00216666666667	0.00218666666667
Columns 113 through 116			
0.01117600000000	0.01119599854002	0.01121200000000	0.01121835350705
0.00218801358465	0.00220666666667	0.00222084157792	0.00222666666667
Columns 117 through 120			
0.01124117686078	0.01124800000000	0.01126446487465	0.01128400000000
0.00224666666667	0.00225238800429	0.00226666666667	0.00228285430769
Columns 121 through 124			
0.01128845334743	0.01131276771869	0.01132000000000	2.60000000000000
0.00228666666667	0.00230666666667	0.00231238122472	0.47000000000000
Columns 125 through 128			
0.01071311602530	0.01071060350781	0.01070893231595	0.01070815074585
0.00166666666667	0.00168666666667	0.00170666666667	0.00172666666667
Columns 129 through 132			
0.01070831086237	0.01070946887394	0.01071168555321	0.01071502670985
0.00174666666667	0.00176666666667	0.00178666666667	0.00180666666667
Columns 133 through 136			
0.01071956372354	0.01072537414590	0.01073254238240	0.01074116046657
0.00182666666667	0.00184666666667	0.00186666666667	0.00188666666667
Columns 137 through 140			
0.01074400000000	0.01075075930285	0.01076163639400	0.01077410766603
0.00189234409373	0.00190666666667	0.00192666666667	0.00194666666667
Columns 141 through 144			
0.01078000000000	0.01078764706874	0.01080237720901	0.01081600000000
0.00195509033402	0.00196666666667	0.00198666666667	0.00200326999409
Columns 145 through 148			
0.01081863704542	0.01083557510091	0.01085200000000	0.01085412279596
0.00200666666667	0.00202666666667	0.00204426707625	0.00204666666667
Columns 149 through 152			
0.01087321315991	0.01088800000000	0.01089368143499	0.01091486561968
0.00206666666667	0.00208090541890	0.00208666666667	0.00210666666667
Columns 153 through 156			
0.01092400000000	0.01093694150185	0.01096000000000	0.01096014922454
0.00211470011216	0.00212666666667	0.00214653182493	0.00214666666667

Columns 157 through 160	0.01098357537435	0.01099600000000	0.01100796988150	0.01103200000000
	0.00216666666667	0.00217662139641	0.00218666666667	0.00220566207543
Columns 161 through 164	0.01103321580108	0.01105867343437	0.01106800000000	0.01108479976866
	0.00220666666667	0.00222666666667	0.00223360962814	0.00224666666667
Columns 165 through 168	0.01110400000000	0.01111158141504	0.01113888195866	0.01114000000000
	0.00226083581124	0.00226666666667	0.00228666666667	0.00228745080764
Columns 169 through 172	0.01116631651739	0.01117600000000	0.01119426663163	2.60000000000000
	0.00230666666667	0.00231342148307	0.00232666666667	0.07000000000000
Columns 173 through 176	0.00988000000000	0.00988004015469	0.00988159516010	0.00988218860267
	0.00210698681589	0.00210666666667	0.00208666666667	0.00206666666667
Columns 177 through 180	0.00988175986963	0.00988024314458	0.00988000000000	2.65000000000000
	0.00204666666667	0.00202666666667	0.00202481349073	0.28000000000000
Columns 181 through 184	0.00992310634884	0.00995200000000	0.00995992153611	0.00998800000000
	0.00166666666667	0.00168272983023	0.00168666666667	0.00170209686009
Columns 185 through 188	0.00999743510844	0.01002400000000	0.01003597296741	0.01006000000000
	0.00170666666667	0.00172105478062	0.00172666666667	0.00173943897258
Columns 189 through 192	0.01007610114267	0.01009600000000	0.01011889689034	0.01013200000000
	0.00174666666667	0.00175698281514	0.00176666666667	0.00177322420178
Columns 193 through 196	0.01016669418273	0.01016800000000	0.01020400000000	0.01024000000000
	0.00178666666667	0.00178728616731	0.00179862734278	0.00180414328774
Columns 197 through 200	0.01027600000000	0.01031200000000	0.01031262337514	0.01034094375704
	0.00180154160669	0.00178714546770	0.00178666666667	0.00176666666667
Columns 201 through 204	0.01034800000000	0.01036356721541	0.01038400000000	0.01038469315422
	0.00176192198609	0.00174666666667	0.00172752003851	0.00172666666667
Columns 205 through 208	0.01040254695134	0.01042000000000	0.01042090547465	0.01043732823824
	0.00170666666667	0.00168786379820	0.00168666666667	0.00166666666667
Columns 209 through 212	2.65000000000000	0.01000038890409	0.01001540542912	0.01002400000000
	0.62000000000000	0.00232666666667	0.00230666666667	0.00229480260590
Columns 213 through 216	0.01003050219535	0.01004586465473	0.01006000000000	0.01006085530333
	0.00228666666667	0.00226666666667	0.00224769350673	0.00224666666667
Columns 217 through 220	0.01007667176760	0.01009200108391	0.01009600000000	0.01010800686273
	0.00222666666667	0.00220666666667	0.00220115580133	0.00218666666667
Columns 221 through 224	0.01012391037223	0.01013200000000	0.01014020026885	0.01015695957207
	0.00216666666667	0.00215594395975	0.00214666666667	0.00212666666667
Columns 225 through 228	0.01016800000000	0.01017393048153	0.01019209389979	0.01020400000000
	0.00211279168362	0.00210666666667	0.00208666666667	0.00207281897169
Columns 229 through 232	0.01021084698803	0.01023170278669	0.01024000000000	0.01025627488574
	0.00206666666667	0.00204666666667	0.00203813769647	0.00202666666667
Columns 233 through 236	0.01027600000000	0.01028945196447	0.01031200000000	0.01034800000000
	0.00201206117922	0.00200666666667	0.00199714313669	0.00199381742345
Columns 237 through 240	0.01038400000000	0.01040697977727	0.01042000000000	0.01045600000000
	0.00199912191922	0.00200666666667	0.00201006311792	0.00202422466340
Columns 241 through 244				

0.01046071900760	0.01049200000000	0.01050397923525	0.01052800000000
0.00202666666667	0.00204027896848	0.00204666666667	0.00205771735407
Columns 245 through 248			
0.01054443111132	0.01056400000000	0.01058320744458	0.01060000000000
0.00206666666667	0.00207603871733	0.00208666666667	0.00209495780370
Columns 249 through 252			
0.01062090399670	0.01063600000000	0.01065786401612	0.01067200000000
0.00210666666667	0.00211430028560	0.00212666666667	0.00213395361977
Columns 253 through 256			
0.01069429920462	0.01070800000000	0.01073034722502	0.01074400000000
0.00214666666667	0.00215384190347	0.00216666666667	0.00217391208554
Columns 257 through 260			
0.01076610146599	0.01078000000000	0.01080162751639	0.01081600000000
0.00218666666667	0.00219412596864	0.00220666666667	0.00221445535067
Columns 261 through 264			
0.01083697279307	0.01085200000000	0.01087217242656	0.01088800000000
0.00222666666667	0.00223487895616	0.00224666666667	0.00225538043274
Columns 265 through 268			
0.01090725299842	0.01092400000000	0.01094223499260	0.01096000000000
0.00226666666667	0.00227594700503	0.00228666666667	0.00229656854728
Columns 269 through 272			
0.01097713444902	0.01099600000000	0.01101196410675	2.70000000000000
0.00230666666667	0.00231723693035	0.00232666666667	0.15000000000000
Columns 273 through 276			
0.01031018217425	0.01031200000000	0.01034800000000	0.01037920693461
0.00232666666667	0.00232592771903	0.00231420095176	0.00230666666667
Columns 277 through 280			
0.01038400000000	0.01042000000000	0.01045600000000	0.01049200000000
0.00230549464656	0.00229936704452	0.00229590236041	0.00229485839246
Columns 281 through 284			
0.01052800000000	0.01056400000000	0.01060000000000	0.01061279348011
0.00229602144678	0.00229920226286	0.00230423261856	0.00230666666667
Columns 285 through 287			
0.01063600000000	0.01067200000000	0.01070189027689	
0.00231080749663	0.00231881490423	0.00232666666667	

»

$$Rp_{0.2Crmed} = 2826.1971 \cdot V^2 + 133.7551 \cdot Mo^2 + 4273.5976 \cdot V \cdot Mo - 2148.4272 \cdot V - 779.35 \cdot Mo - 553.7014$$

MATRICEA LINIILOR DE CONTUR C3:

$$Rp_{0.2} = Rp_{0.2}(V, Mo, Crmed)$$

C3=

1.0e+002 \*

Columns 1 through 4

2.55000000000000	0.00201899366998	0.00202666666667	0.00203300445513
0.24000000000000	0.00183750000000	0.00185007591057	0.00185950000000

Columns 5 through 8

0.00204666666667	0.00204903396334	0.00206666666667	0.00206786044921
0.00187853839912	0.00188150000000	0.00190225484907	0.00190350000000

Columns 9 through 12

0.00208666666667	0.00209072119734	0.00210666666667	0.00211970948809
0.00192202023452	0.00192550000000	0.00193846137148	0.00194750000000

Columns 13 through 16

0.00212666666667	0.00214666666667	0.00216021672731	0.00216666666667
0.00195207914713	0.00196325940565	0.00196950000000	0.00197233459428

Columns 17 through 20

0.00218666666667	0.00220666666667	0.00222666666667	0.00224126732826
0.00197956038641	0.00198517259673	0.00198935493511	0.00199150000000

Columns 21 through 24

0.00224666666667	0.00226666666667	0.00228666666667	0.00230666666667
0.00199226232420	0.00199402909146	0.00199477657307	0.00199460529428

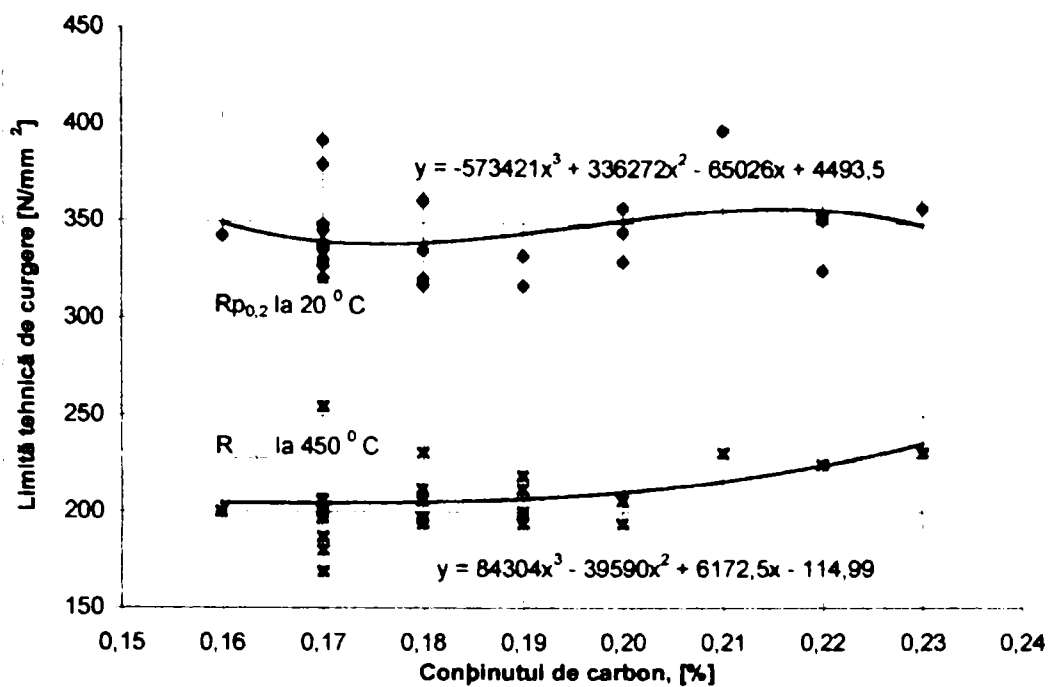
Columns 25 through 28	0.00232666666667	2.60000000000000	0.00183624246439	0.00184006501439
	0.00199360298220	0.45000000000000	0.00183750000000	0.00185950000000
Columns 29 through 32	0.00184416459868	0.00184666666667	0.00184864281694	0.00185357539019
	0.00188150000000	0.00189416992721	0.00190350000000	0.00192550000000
Columns 33 through 36	0.00185890430971	0.00186467302699	0.00186666666667	0.00187113538665
	0.00194750000000	0.00196950000000	0.00197668698962	0.00199150000000
Columns 37 through 40	0.00187828886161	0.00188611947270	0.00188666666667	0.00189518080482
	0.00201350000000	0.00203550000000	0.00203695887176	0.00205750000000
Columns 41 through 44	0.00190525204491	0.00190666666667	0.00191712129308	0.00192666666667
	0.00207950000000	0.00208240431229	0.00210150000000	0.00211735068209
Columns 45 through 48	0.00193089413631	0.00194666666667	0.00194751250499	0.00196666666667
	0.00212350000000	0.00214453181232	0.00214550000000	0.00216573895070
Columns 49 through 52	0.00196866251895	0.00198666666667	0.00199769033343	0.00200666666667
	0.00216750000000	0.00218225175365	0.00218950000000	0.00219500875649
Columns 53 through 56	0.00202666666667	0.00204570577783	0.00204666666667	0.00206666666667
	0.00220468651473	0.00221150000000	0.00221182357289	0.00221680460870
Columns 57 through 60	0.00208666666667	0.00210666666667	0.00212666666667	0.00214666666667
	0.00221997463088	0.00222159103976	0.00222186466288	0.00222096983247
Columns 61 through 64	0.00216666666667	0.00218666666667	0.00220666666667	0.00221169056870
	0.00221905195479	0.00221623327058	0.00221261729162	0.00221150000000
Columns 65 through 68	0.00222666666667	0.00224666666667	0.00226666666667	0.00228666666667
	0.00220828408661	0.00220331378805	0.00219777486406	0.00219172410433
Columns 69 through 72	0.00229334976430	0.00230666666667	0.00232666666667	2.65000000000000
	0.00218950000000	0.00218520144399	0.00217825461729	0.80000000000000
Columns 73 through 76	0.00169889637492	0.00169868119592	0.00169848911758	0.00169832187315
	0.00183750000000	0.00185950000000	0.00188150000000	0.00190350000000
Columns 77 through 80	0.00169818137371	0.00169806973161	0.00169798928765	0.00169794264284
	0.00192550000000	0.00194750000000	0.00196950000000	0.00199150000000
Columns 81 through 84	0.00169793269559	0.00169796268545	0.00169803624485	0.00169815746049
	0.00201350000000	0.00203550000000	0.00205750000000	0.00207950000000
Columns 85 through 88	0.00169833094666	0.00169856193322	0.00169885637181	0.00169922106476
	0.00210150000000	0.00212350000000	0.00214550000000	0.00216750000000
Columns 89 through 92	0.00169966382279	0.00170019365899	0.00170082102948	0.00170155813426
	0.00218950000000	0.00221150000000	0.00223350000000	0.00225550000000
Columns 93 through 96	0.00170241929652	0.00170342144560	0.00170458473795	0.00170593336456
	0.00227750000000	0.00229950000000	0.00232150000000	0.00234350000000
Columns 97 through 100	0.00170666666667	0.00170755273499	0.00170949970277	0.00171178067257
	0.00235410159900	0.00236550000000	0.00238750000000	0.00240950000000
Columns 101 through 104	0.00171446343232	0.00171763544500	0.00172141154537	0.00172594555641
	0.00243150000000	0.00245350000000	0.00247550000000	0.00249750000000
Columns 105 through 108	0.00172666666667	0.00173204858204	0.00173983596068	0.00174666666667
	0.00250061253431	0.00251950000000	0.00254150000000	0.00255706966101
Columns 109 through 112				

0.00175046213732	0.00176666666667	0.00176687017816	0.00178666666667
0.00256350000000	0.00258532060603	0.00258550000000	0.00259997940701
Columns 113 through 116			
0.00180666666667	0.00181119295023	0.00182666666667	0.00184666666667
0.00260697355803	0.00260750000000	0.00260906924874	0.00260788249070
Columns 117 through 120			
0.00184865414512	0.00186666666667	0.00188666666667	0.00190666666667
0.00260750000000	0.00260434754074	0.00259909160918	0.00259253734811
Columns 121 through 124			
0.00192518173048	0.00192666666667	0.00194666666667	0.00196666666667
0.00258550000000	0.00258497538064	0.00257658202364	0.00256755312959
Columns 125 through 128			
0.00197484818291	0.00198666666667	0.00200666666667	0.00201887975729
0.00256350000000	0.00255798288828	0.00254796975663	0.00254150000000
Columns 129 through 132			
0.00202666666667	0.00204666666667	0.00205991982876	0.00206666666667
0.00253758751308	0.00252688365498	0.00251950000000	0.00251591615328
Columns 133 through 136			
0.00208666666667	0.00209910788467	0.00210666666667	0.00212666666667
0.00250470934509	0.00249750000000	0.00249330584078	0.00248172172732
Columns 137 through 140			
0.00213706989370	0.00214666666667	0.00216666666667	0.00217417829118
0.00247550000000	0.00246998451659	0.00245811030050	0.00245350000000
Columns 141 through 144			
0.00218666666667	0.00220666666667	0.00221066853628	0.00222666666667
0.00244611186487	0.00243400993579	0.00243150000000	0.00242180308279
Columns 145 through 148			
0.00224666666667	0.00224669678175	0.00226666666667	0.00228206475849
0.00240951923811	0.00240950000000	0.00239714336407	0.00238750000000
Columns 149 through 152			
0.00228666666667	0.00230666666667	0.00231718174357	0.00232666666667
0.00238470569229	0.00237219706990	0.00236550000000	0.00235963200491
Columns 153 through 156			
2.70000000000000	0.00220492445652	0.00220666666667	0.00222666666667
0.13000000000000	0.00265150000000	0.00264981702274	0.00263030521405
Columns 157 through 160			
0.00222748299369	0.00224666666667	0.00225048713780	0.00226666666667
0.00262950000000	0.00261117787493	0.00260750000000	0.00259240336159
Columns 161 through 164			
0.00227400736297	0.00228666666667	0.00229803165781	0.00230666666667
0.00258550000000	0.00257395009360	0.00256350000000	0.00255579015023
Columns 165 through 166			
0.00232254838077	0.00232666666667		
0.00254150000000	0.00253789875527		

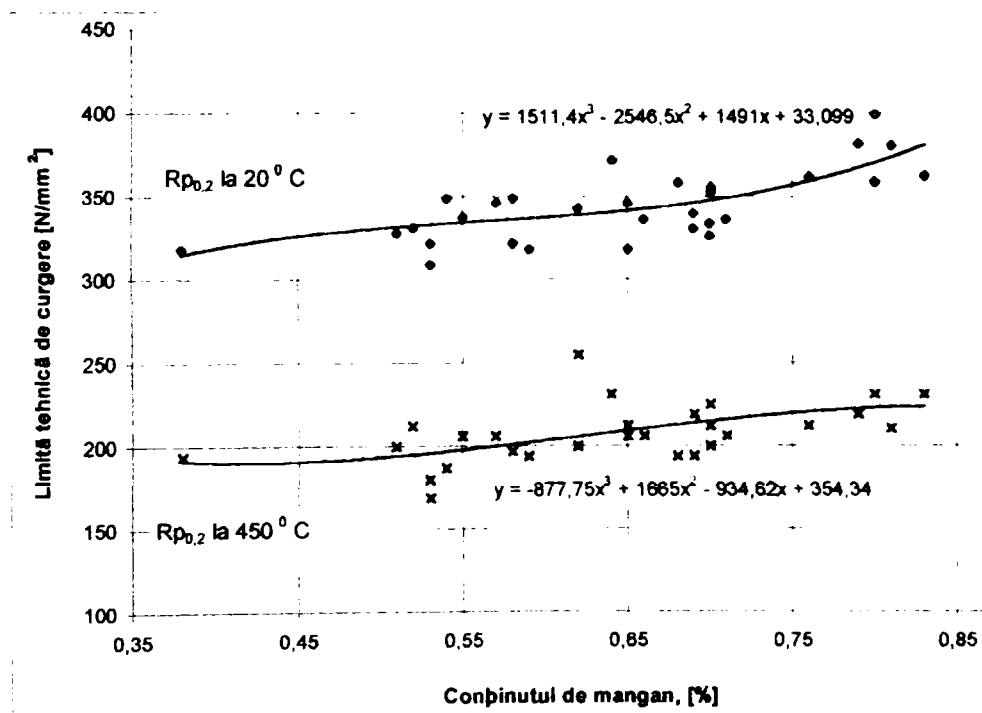
»

## **Anexa 5**

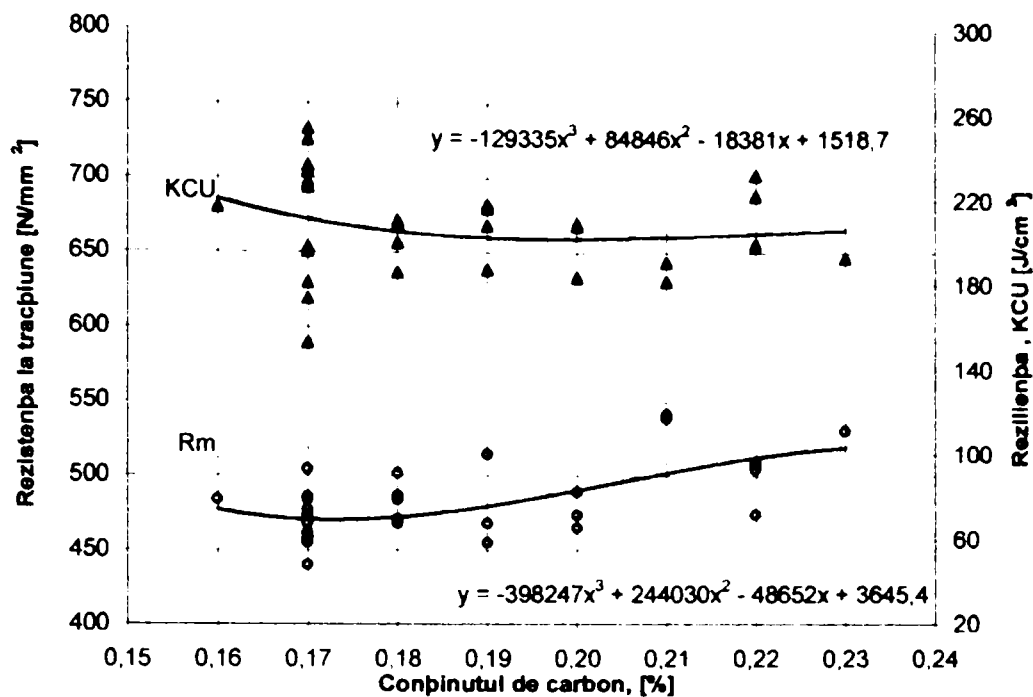
**Diagramele de variație a caracteristicilor  
mecanice de rezistență și tenacitate cu  
elemente ale compoziției chimice, obținute  
pentru oțelul OLT 45K**



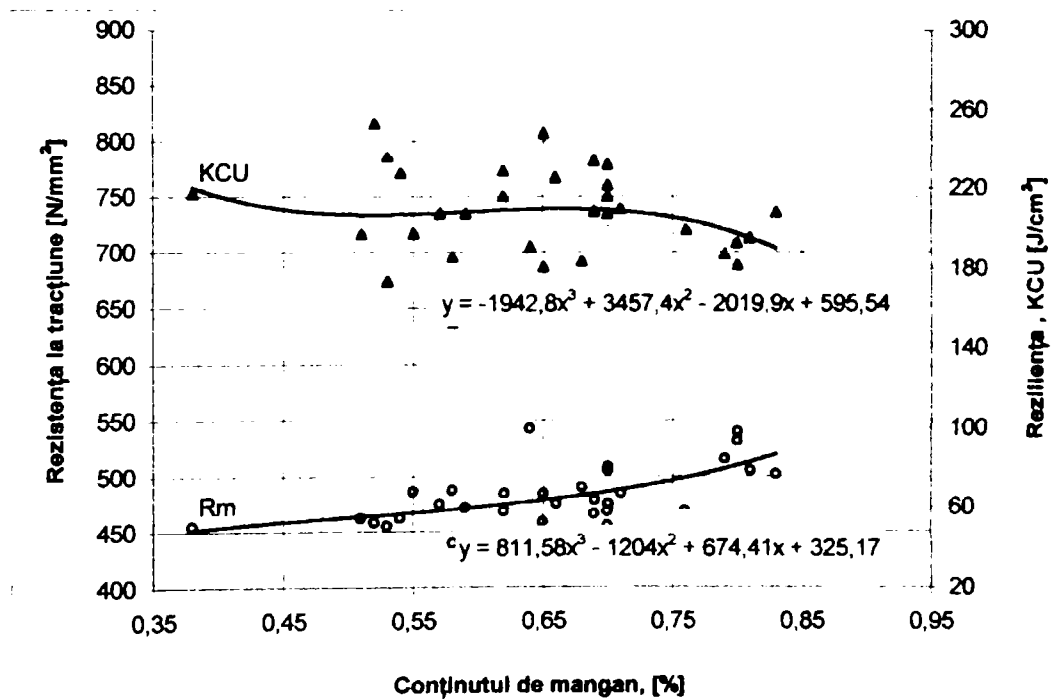
Anexa 5.1. Variația limitei de curgere tehnică la 450°C, în funcție de conținutul de carbon



Anexa 5.2. Variația limitei de curgere tehnică la 450°C, în funcție de conținutul de mangan

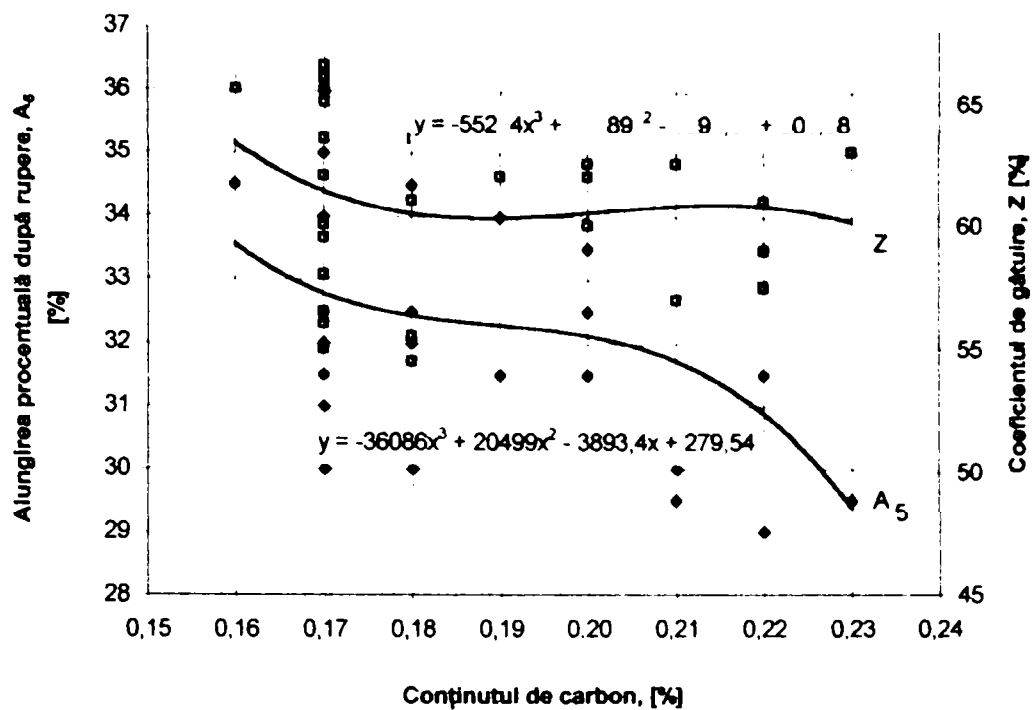


Anexa 5.3. Variația rezistenței la tracțiune și a rezilienței funcție de conținutul de carbon

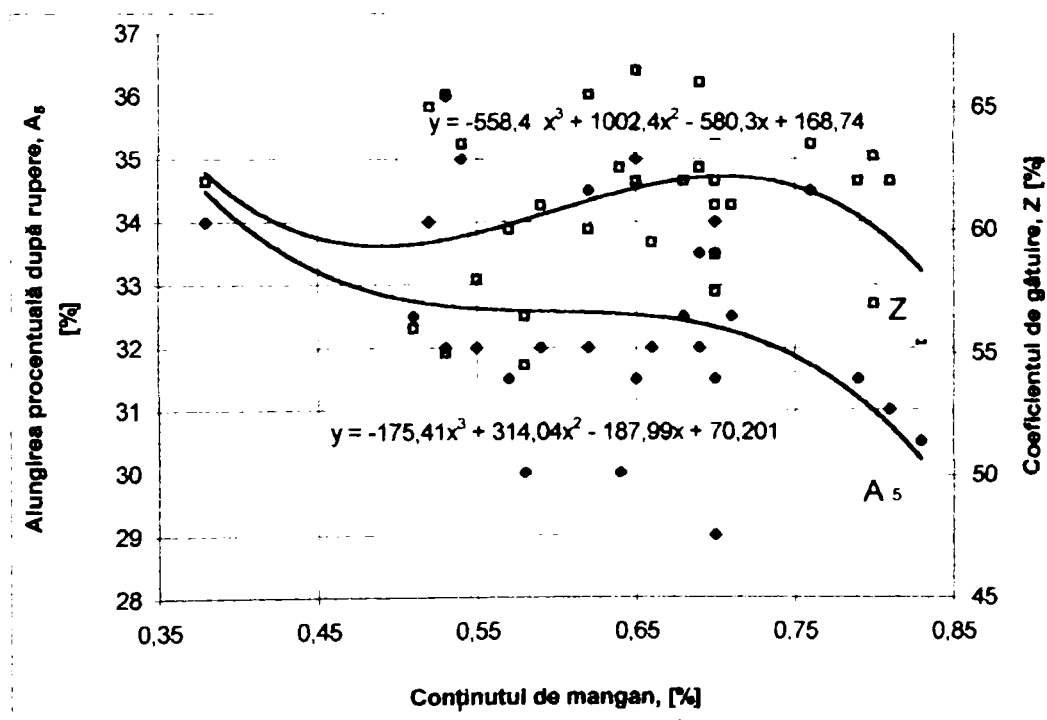


Anexa 5.4. Variația rezistenței la tracțiune și a rezilienței funcție de conținutul de mangan





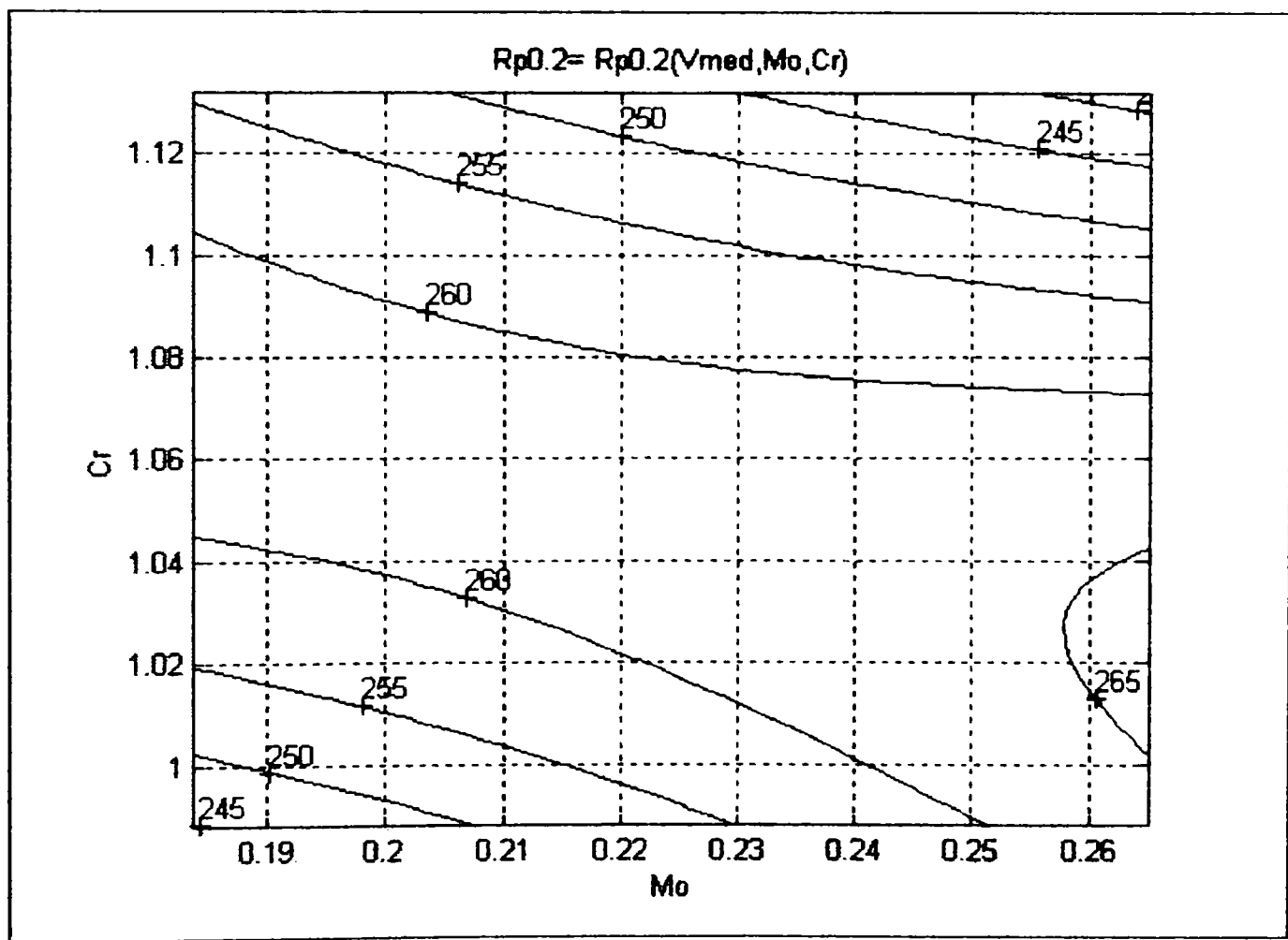
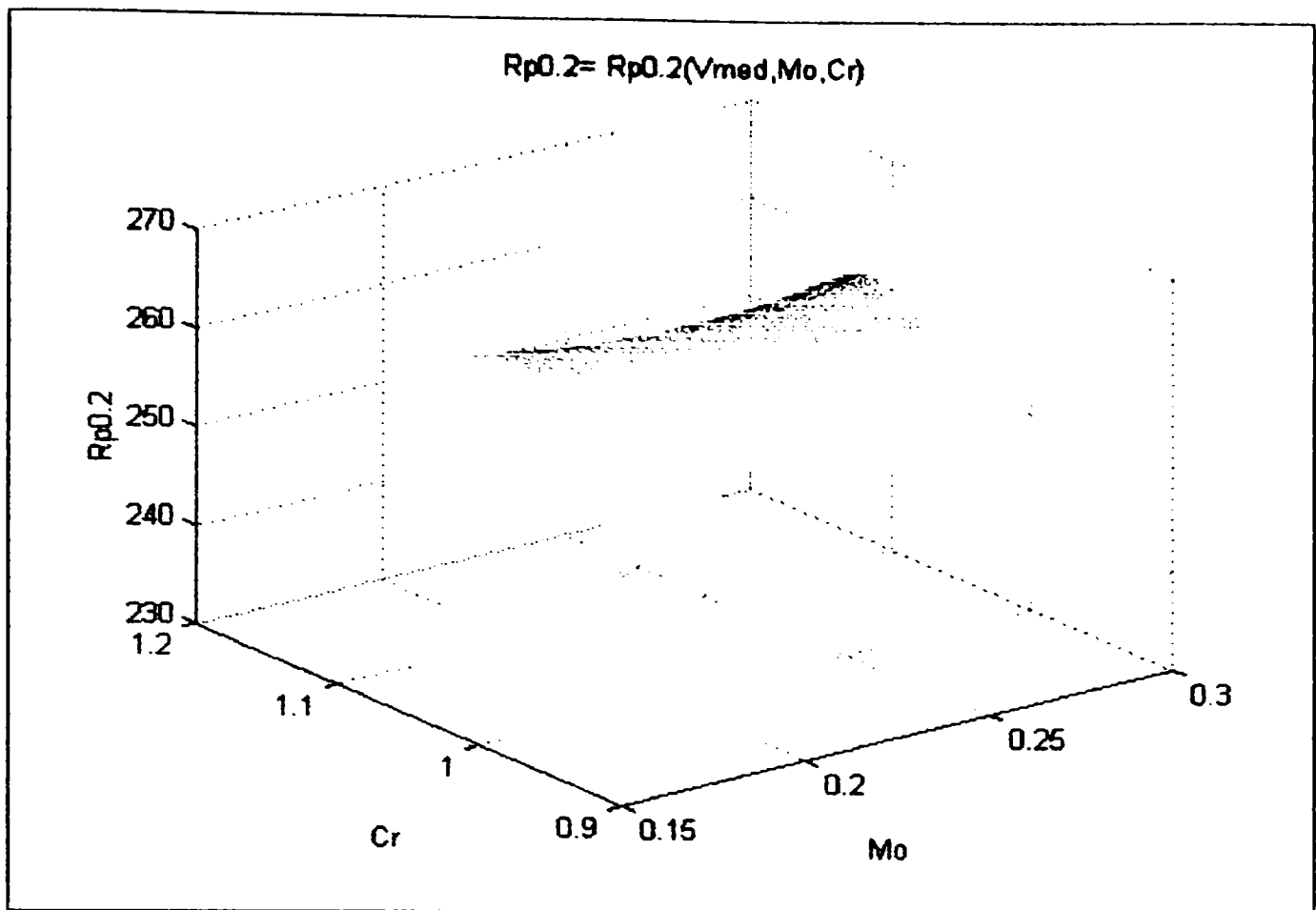
Anexa 5.5. Variația alungirii procentuale după rupere și a coeficientului de gătuire funcție de conținutul de carbon



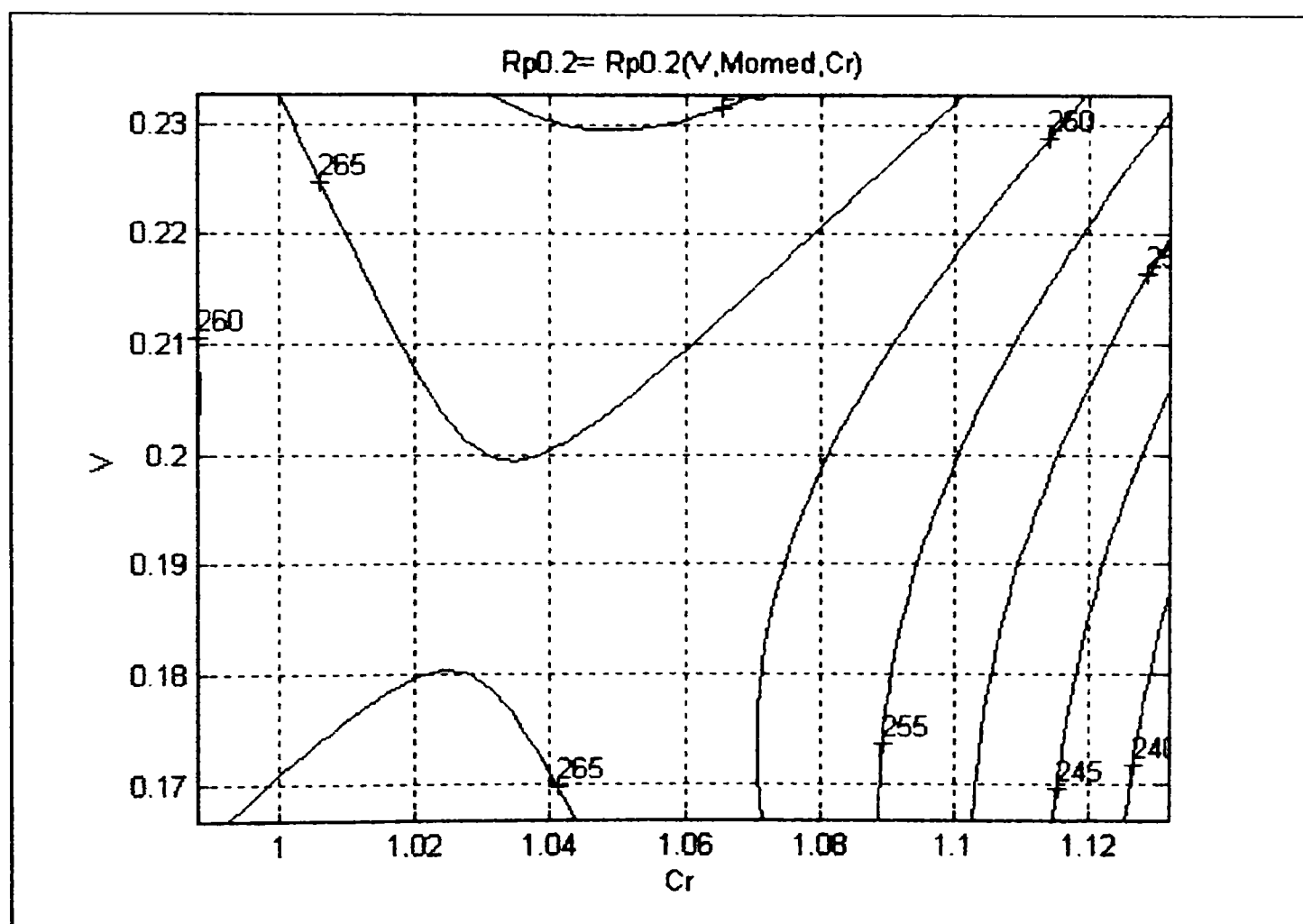
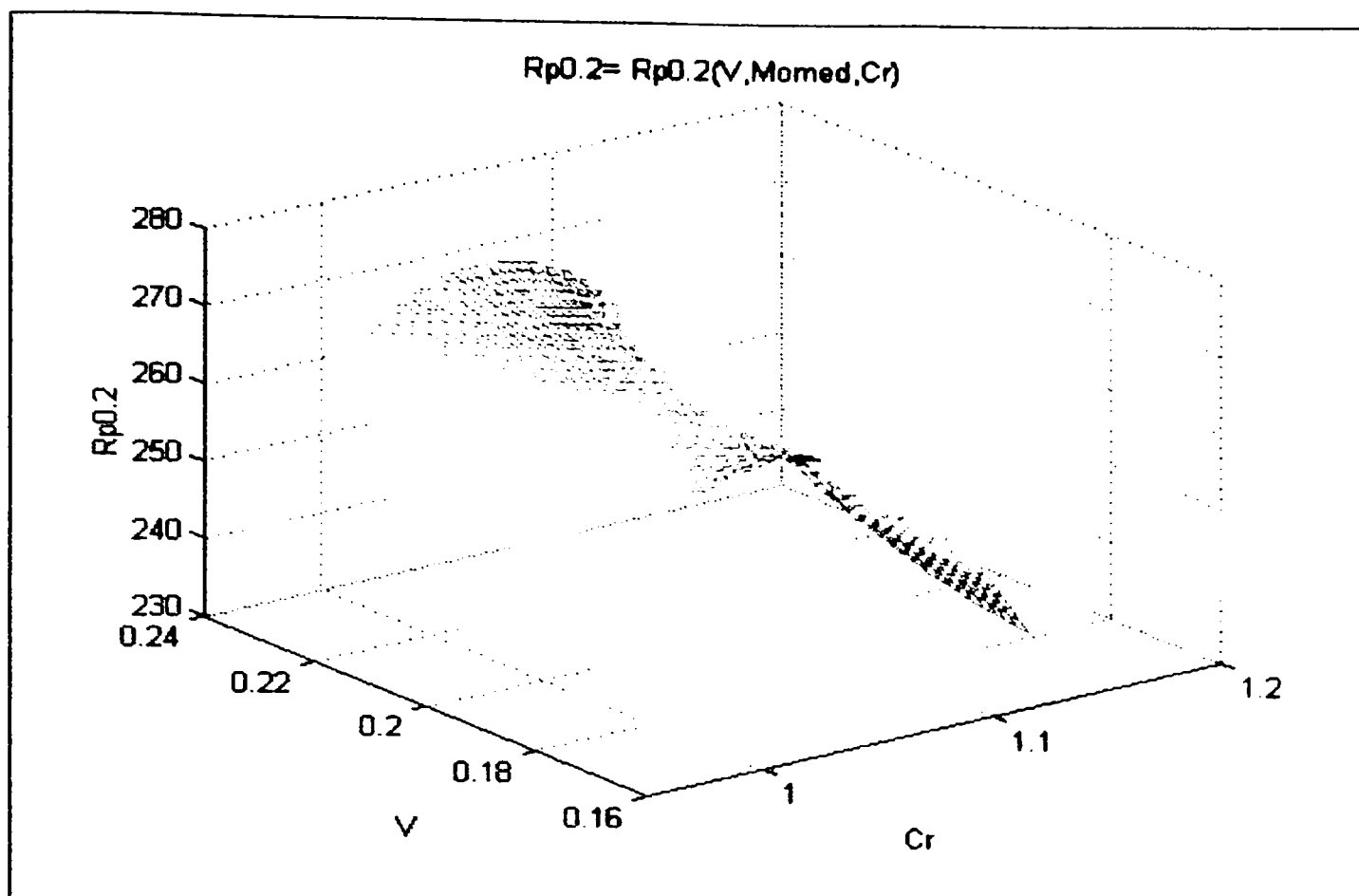
Anexa 5.6. Variația alungirii procentuale după rupere și a coeficientului de gătuire funcție de conținutul de mangan

## **Anexa 6**

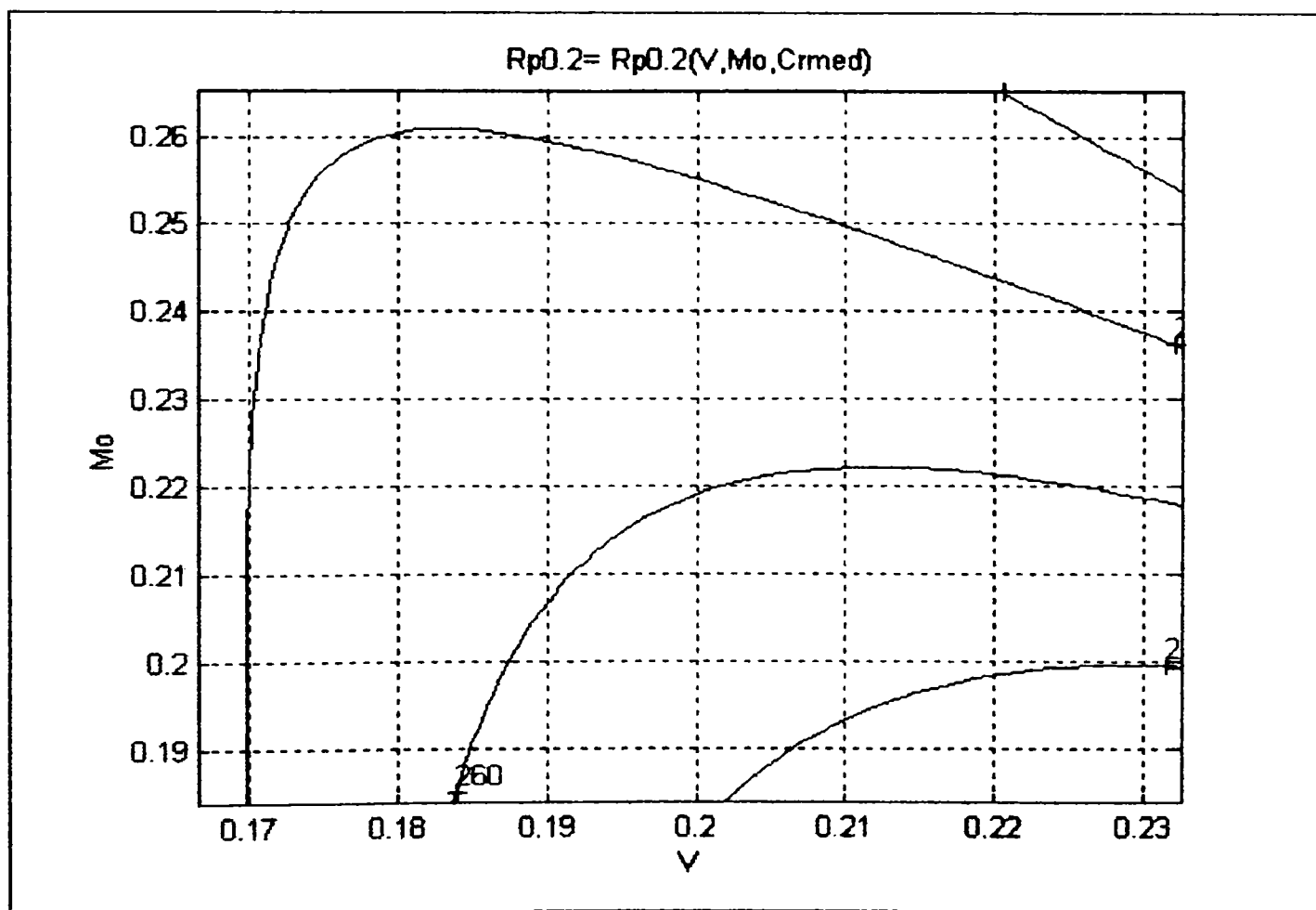
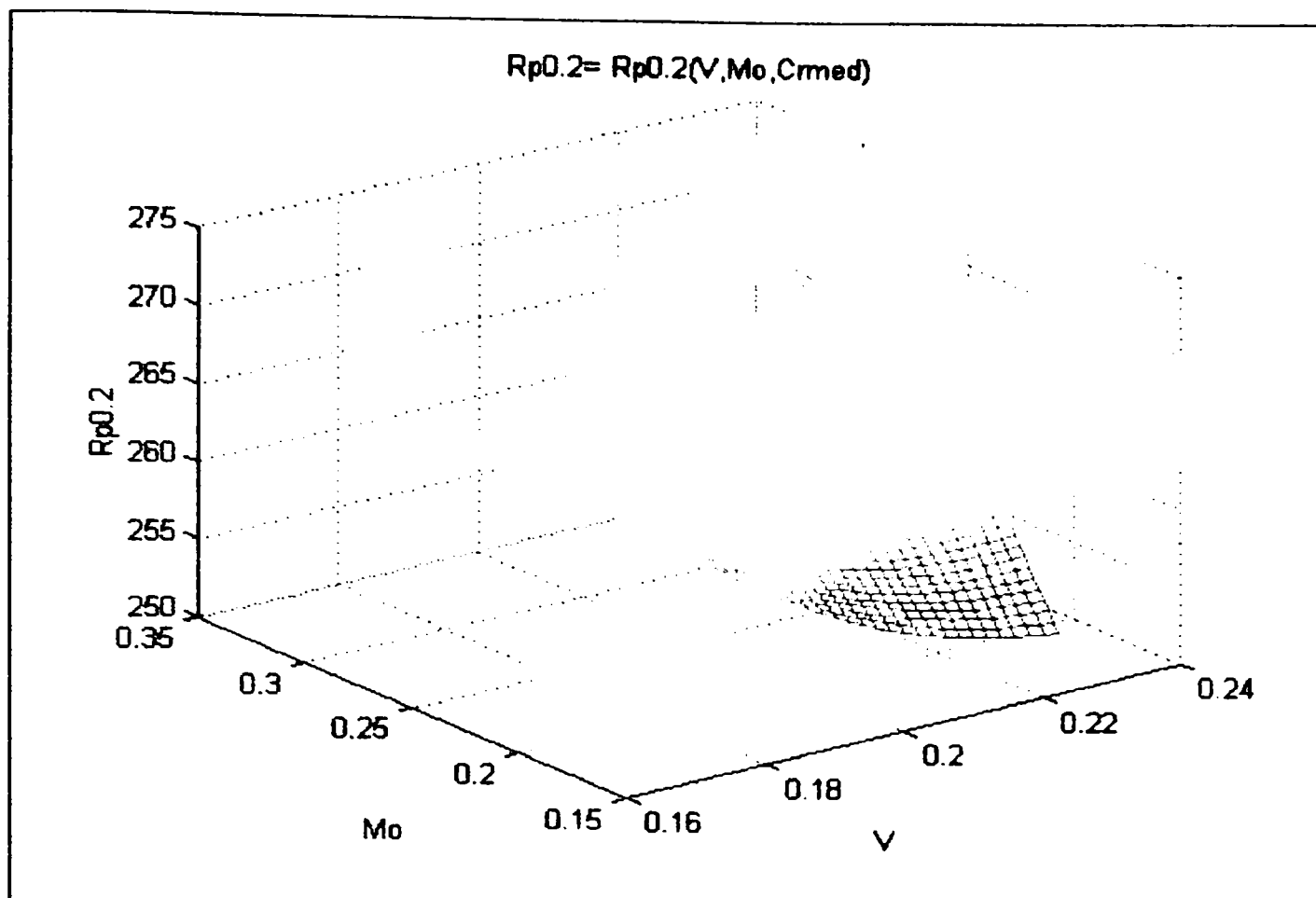
**Corelații grafice de ordinul II, funcție de  
principalele elemente de aliere, pentru  
marca de oțel 12VMoCr10**



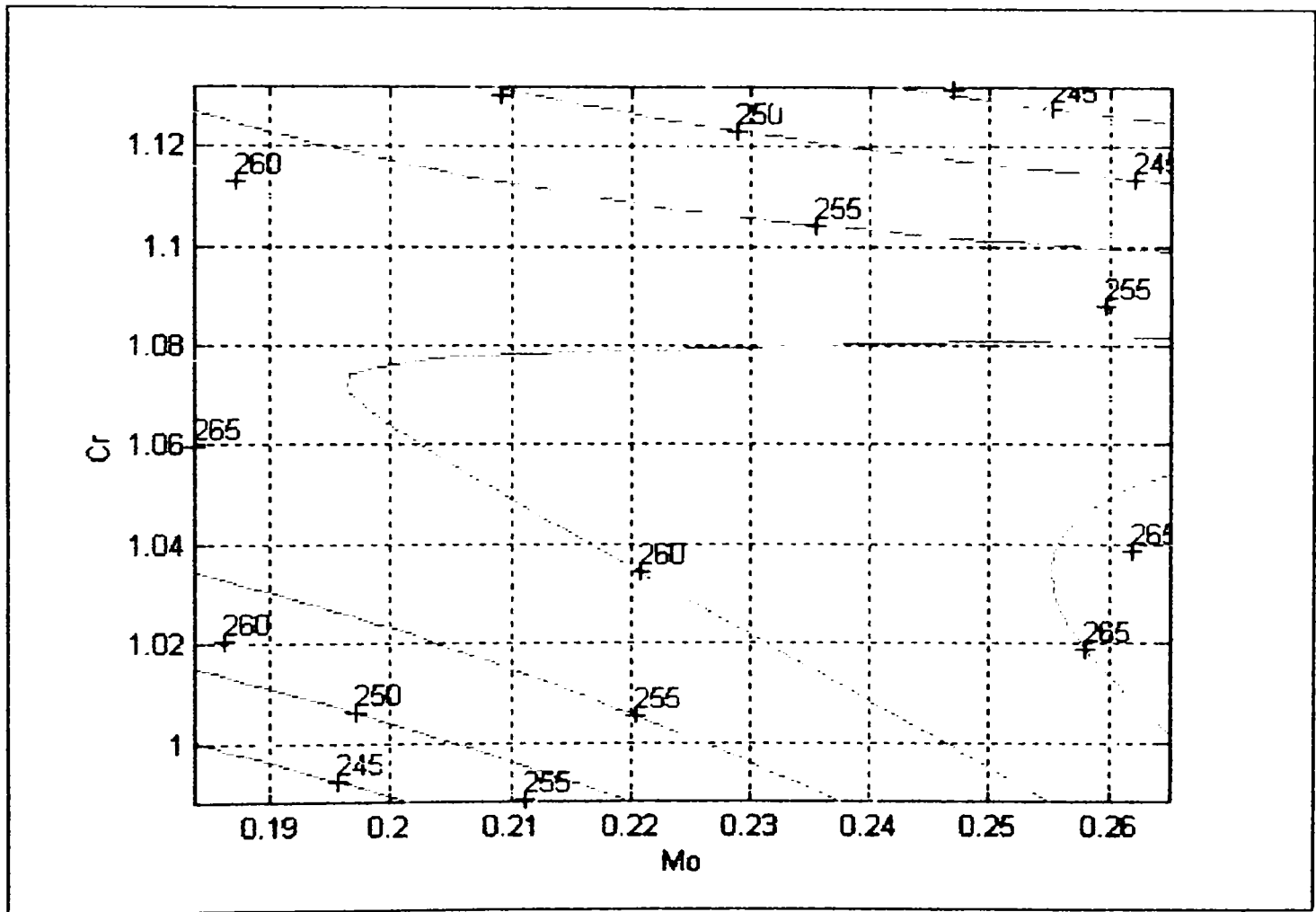
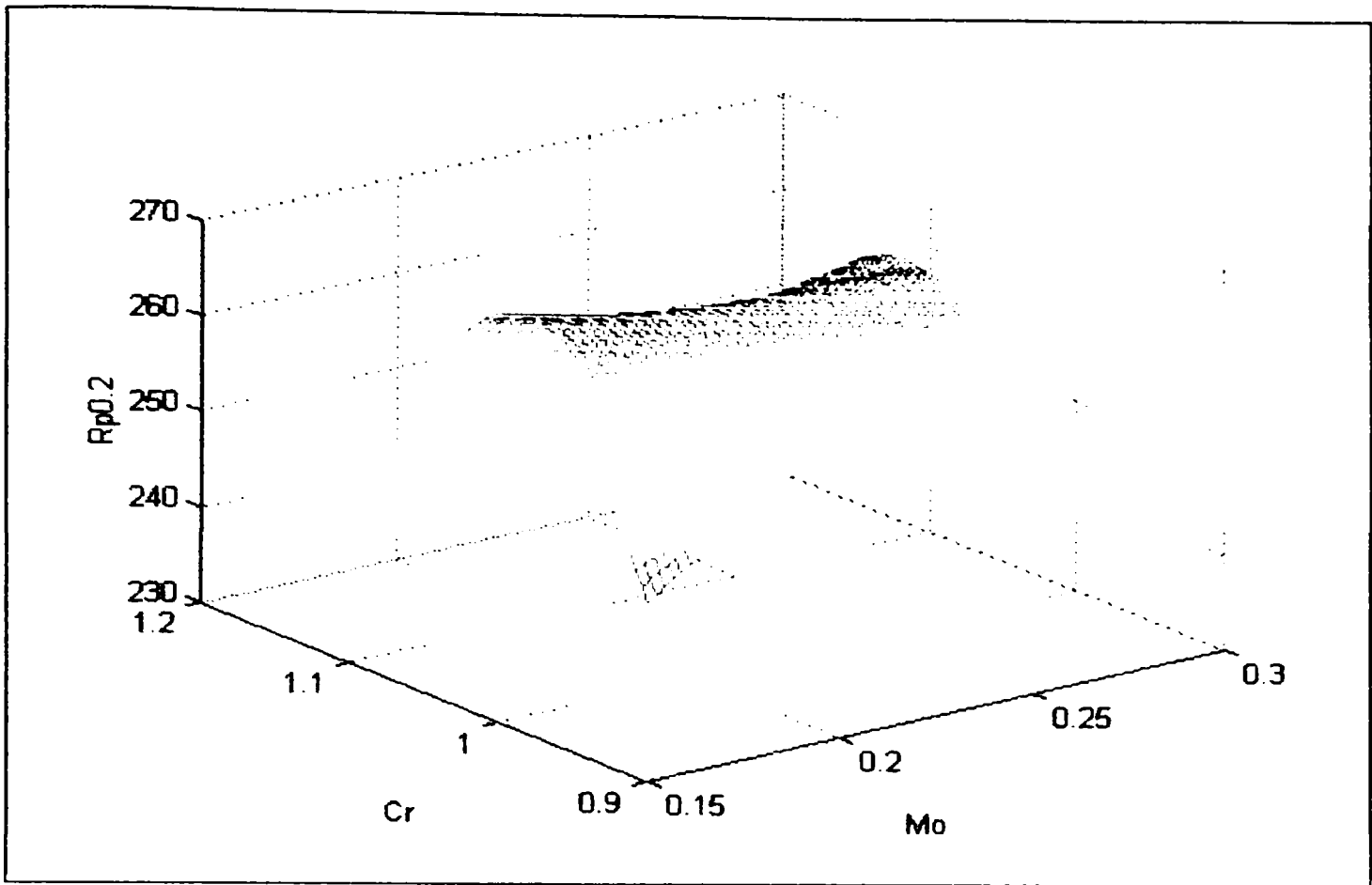
Anexa 5.1. Variația limitei de curgere tehnice  $R_{p0.2/500}$  cu conținutul de molibden și crom, considerând procentul de vanadiu mediu mediu



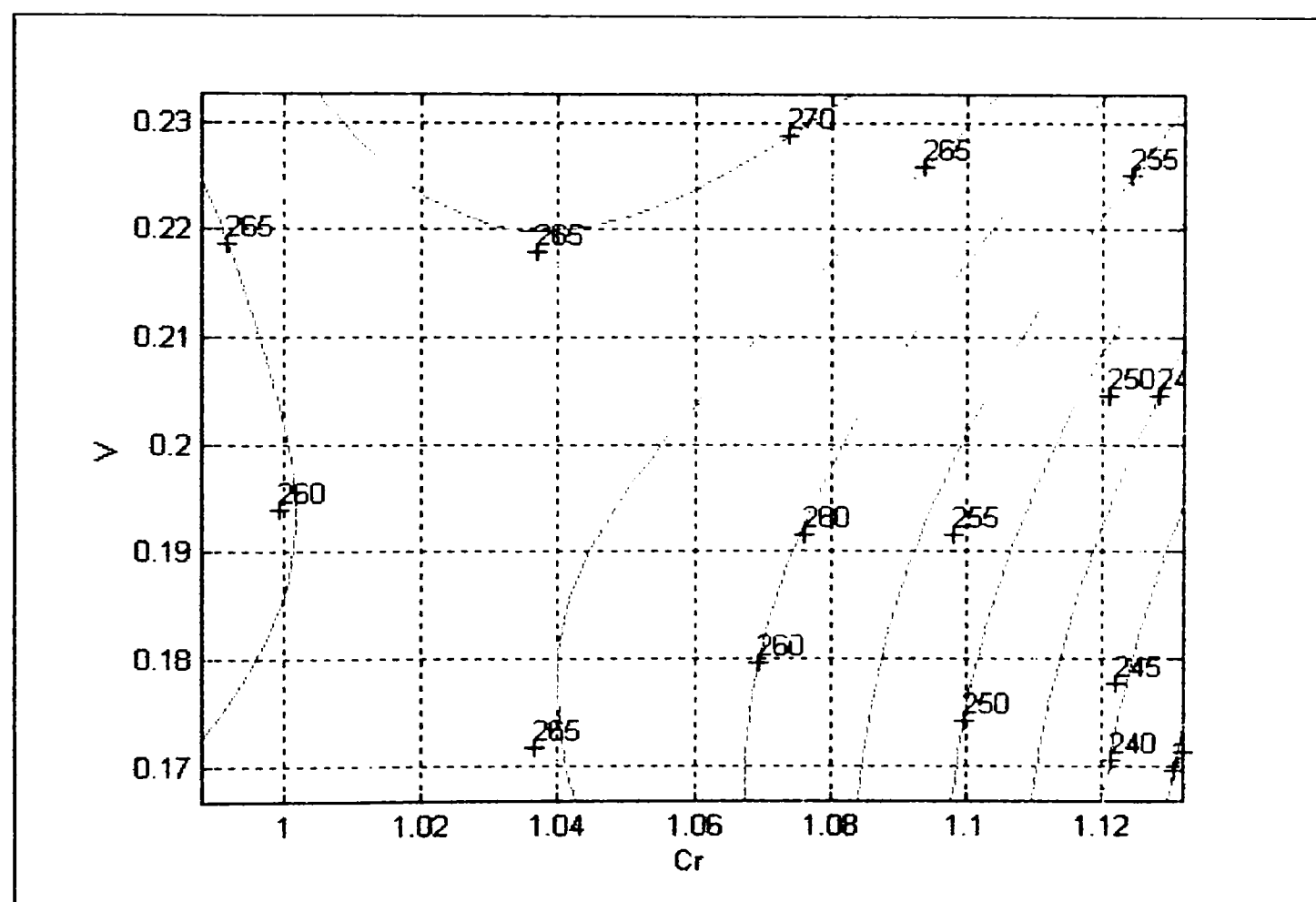
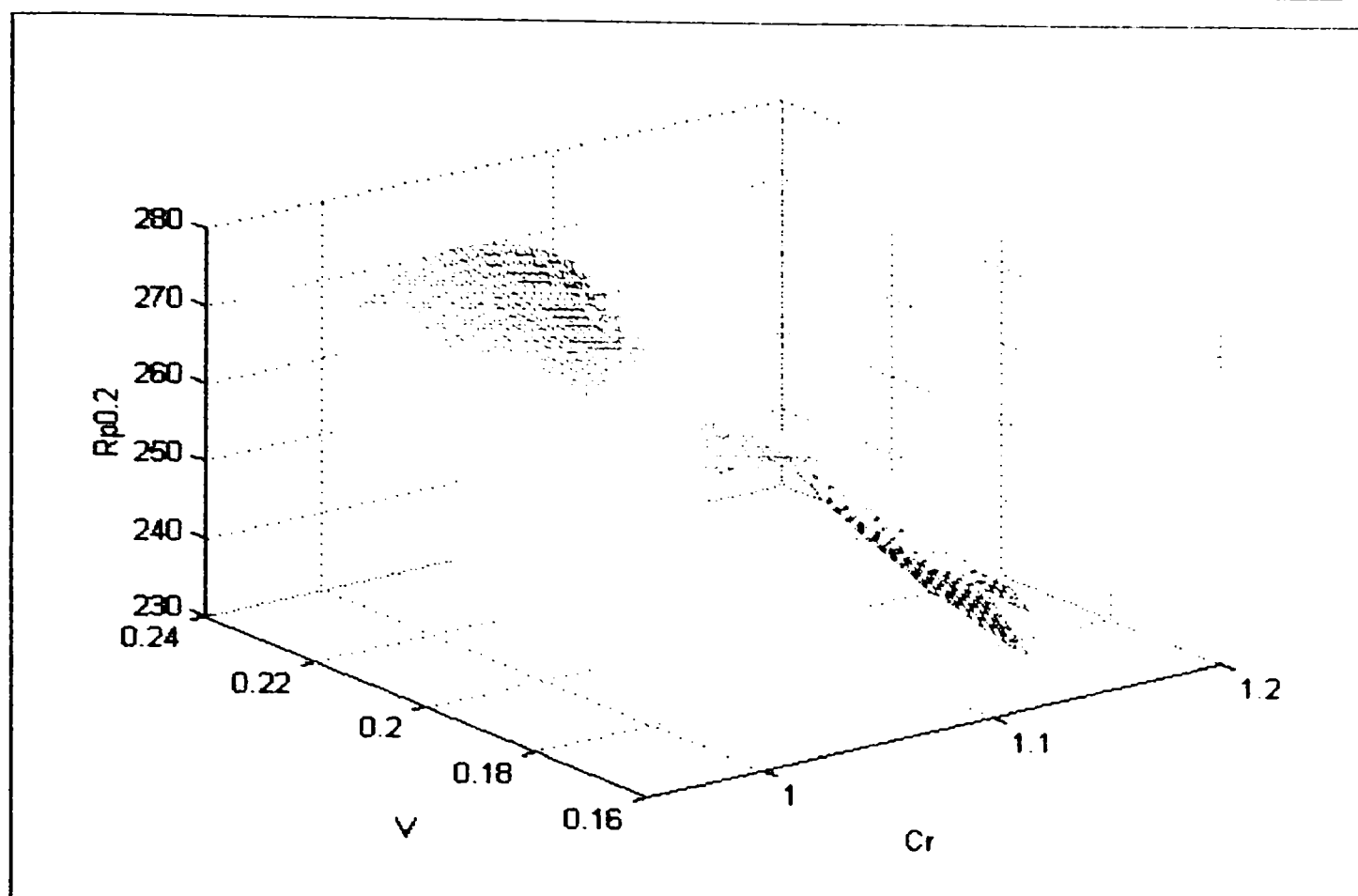
**Anexa 5.2. Variația limitei de curgere tehnice  $R_{p0.2/500}$  cu conținutul de vanadiu și crom, considerând procentul de molibden mediu**



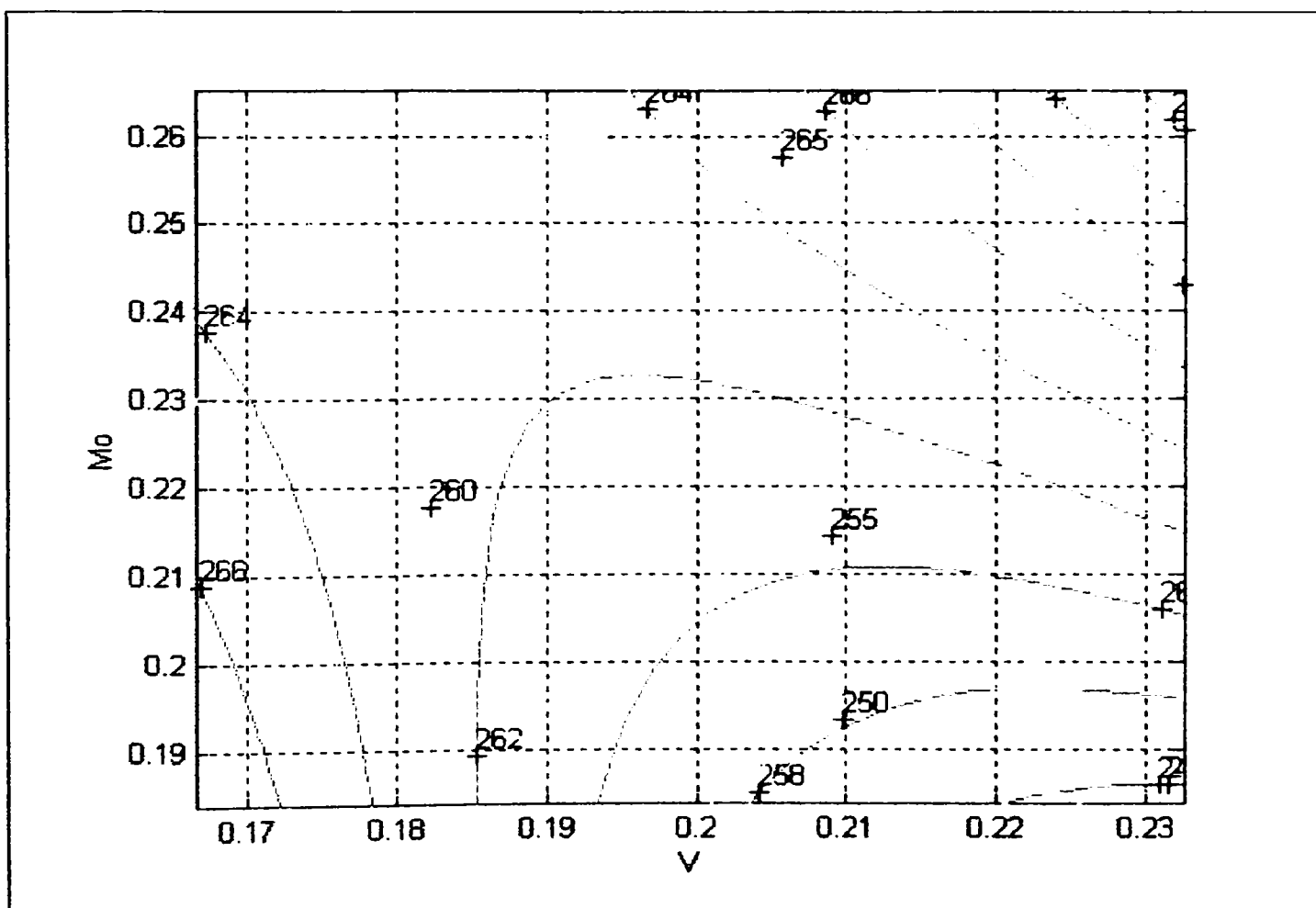
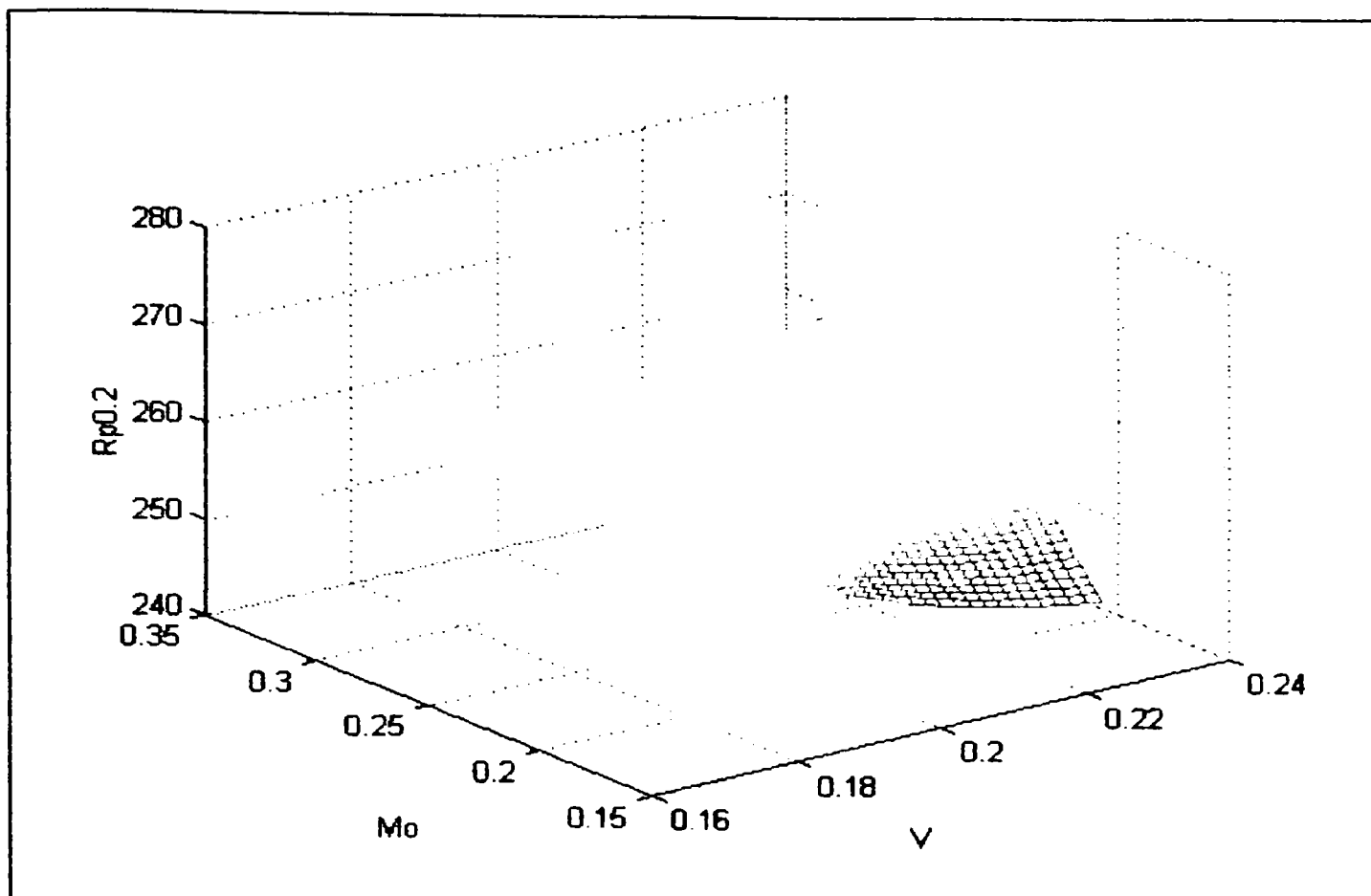
Anexa 6.3. Variația limitei de curgere tehnice  $R_{p0.2/500}$  cu conținutul de molibden și vanadiu, considerând procentul de crom mediu



Anexa 6.4. Delimitarea domeniului optim pentru limita de curgere tehnică  $R_{p0.2/500}$  în funcție de conținutul de crom și molibden, considerând procentul de vanadiu mediu



Anexa 6.5. Delimitarea domeniului optim pentru limita de curgere tehnică  $R_{p0.2/500}$  în funcție de conținutul de vanadiu și crom, considerând procentul de molibden mediu



Anexa 6.6. Delimitarea domeniului optim pentru limita de curgere tehnică  $R_{p0.2/500}$  în funcție de conținutul de vanadiu și molibden, considerând procentul de crom mediu