

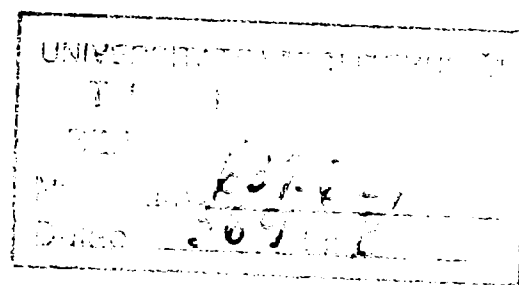
UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” TIMIȘOARA
FACULTATEA DE MECANICĂ

Ing. MIHAI DEMIAN

TEZĂ DE DOCTORAT

STUDIU ASUPRA DURATEI DE VIAȚĂ
A ELEMENTELOR ACTIVE CARE LUCREAZĂ LA
TEMPERATURI ȘI PRESIUNI RIDICATE

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA „POLITEHNICĂ”
TIMIȘOARA



CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:

Prof. Dr. Ing. MARIN TRUȘCULESCU

Membru titular al Academiei de Științe Tehnice din România

2002

CUPRINS

Introducere	3
Capitolul I. Elementele active analizate	9
I.1. Analiza din punct de vedere constructiv a elementelor active.....	9
I.2. Parametri de lucru ai elementelor active.....	17
I.3. Principalele oțeluri termorezistente utilizate.....	19
I.4. Concluzii.....	35
Capitolul II. Metode de control a elementelor active	37
II.1. Metode distructive de control.....	37
II.1.1. Încercări mecanice aplicate oțelurilor termorezistente.....	37
II.1.1.1. Analize și încercări specifice materialelor termorezistente.....	37
II.1.1.2. Factori care influențează comportarea la fluaj.....	39
II.1.1.3. Determinarea rezistenței tehnice de durată...	41
II.1.2. Analize structurale.....	51
II.1.2.1. Analize structurale metalografice.....	51
II.1.2.2. Influența duratei de utilizare asupra structurii.....	63
II.2. Metode nedistructive de control.....	65
II.2.1. Replica metalografică ca metodă nedistructivă de control.....	65

II.2.2. Controlul cu ultrasunete ca metodă nedistructivă	
de control.....	74
II.2.2.1. Cercetarea structurii metalelor cu ultrasunete.....	74
II.2.2.2. Aparate ultrasonice folosite.....	79
II.2.2.3. Controlul cu fasciculul ultrasonic longitudinal al grosimii țevilor și a defectelor acestora.....	90
II.2.2.4. Calculul atenuării undelor ultrasonice.....	93
II.2.2.5. Rezultate experimentale ale analizei cu unde ultrasonice.....	95
II.2.2.6. Corelația atenuării unde ultrasonice cu caracteristicile oțelurilor carbon de construcție	101
II.3. Concluzii.....	107
Capitolul III. Durata de viață a elementelor active.....	114
III.1. Determinarea duratei de viață proiectată.....	114
III.2. Determinarea duratei de viață în exploatare.....	133
III.2.1. Metoda parametrului Larson-Miller.....	133
III.2.2. Metoda grăunților degradați.....	150
III.3. Concluzii.....	160
Capitolul IV. Contribuții originale și concluzii finale.....	164
IV.1. Concluzii finale.....	164
IV.2. Contribuții personale.....	176
IV.3. Probleme de viitor.....	180
Bibliografie.....	181
Anexe.....	188

INTRODUCERE

Considerând perioada dezvoltării industriale ca o etapă absolut indispensabilă în dezvoltarea societății omenești, indiferent de sistemul social sau forma de guvernare, ajungem la concluzia necesității unor cantități mereu mai sporite de energie primară. Actualmente, această energie se obține prin exploatarea potențialelor hidroenergetice, prin arderea combustibililor fosili (cărbune, păcură, gaze naturale) și prin dezvoltarea unor tehnologii neconvenționale (energia de fisiune nucleară, solară, eoliană).

Având în vedere faptul că în anumite zone (cum este cazul țării noastre) potențialul hidroenergetic este limitat în raport cu necesitățile, și presupune costuri foarte mari pentru exploatarea sa, iar resursele de combustibili fosili sunt de asemenea limitate, se impune acționarea în două direcții principale.

Una din direcții este aceea de obținere a energiei prin tehnologii neconvenționale (exemplu prin folosirea energiei de fisiune nucleară) și altă direcție este mărirea randamentelor de transformare în procesele tehnologice de producere a energiei care utilizează combustibilii fosili.

Mărirea randamentelor de transformare presupune utilizarea în procesul tehnologic a agenților cu parametri înalți (presiune și temperatură ridicată). Se impune astfel necesitatea găsirii, în ambele cazuri a unor parametri care să asigure funcționarea instalațiilor de producere a energiei în condiții de siguranță absolută.

O problemă deosebit de importantă a zilelor noastre, a economiei naționale, este creșterea fiabilității și mentenabilității precum și perfecționarea continuă a proceselor din instalațiile termoenergetice cât și a construcției acestora. Echipamentele termoenergetice folosesc oțeluri slab aliate, termorezistente care lucrând la temperaturi destul de ridicate (normativele prevăd până la temperaturi de 550 °C) cer mereu oțeluri noi care să satisfacă aceste pretenții. Puterile echipamentelor fiind mari, orice defecțiune afectează grav funcționarea și de aceea preîntâmpinarea unor avarii este un lucru foarte important.

Unul din motivele pentru care apar defecțiuni, este faptul că, dependent de condițiile de exploatare apar modificări structurale ale materialelor termorezistente utilizate și care evident influențează și proprietățile mecanice ale acestora. Este evident, deci, că alegerea materialelor pentru utilizarea la presiuni și temperaturi ridicate se va face în funcție de proprietățile materialelor metalice, corelate cu argumente economice.

Se va avea în vedere utilizarea unor materiale cu:

- caracteristici mecanice cât mai ridicate, deoarece la temperaturi ridicate și o solicitare de durată, ele suferă o deformare plastică (fluaj).

- stabilitatea la corodare-oxidare, deoarece la temperaturi înalte, metalele în contact cu mediul de lucru cu diferiți agenți suferă un atac chimic, realizându-se astfel o corodare, o micșorare a grosimii de material și deci evident o micșorare a rezistenței elementului activ. Coroziunea nu este periculoasă decât la temperaturi superioare, temperaturi de 600 °C, când oxidarea este accelerată și determină o rupere prematură a materialului.

Ruperea materialelor metalice, în cazul temperaturilor ridicate, are loc intergranular în urma fenomenului de fluaj. Mărimea grăunților în acest caz are un rol foarte important, deoarece la temperaturi ridicate, metalele cu grăunți mari au caracteristici mecanice superioare celor cu grăunți fini.

Cercetările anterioare [20], [36], demonstrează că oțelurile slab aliate termorezistente sunt afectate la temperaturi ridicate de câteva mecanisme, și

anume, are loc cățărarea dislocațiilor peste particulele precipitate. Este implicată interacțiunea atomilor dizolvați ai elementelor de aliere aflați în soluția solidă a matricei cu dislocațiile mobile (microfluaj). Trebuie luate deci măsuri de a bloca fenomenul de fluaj, de a îmbunătăți proprietățile, de a modifica valorile reduse ale plasticității, prin aliere cu elemente care formează carburi fin dispersate.

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.

Durata de viață teoretică a echipamentelor termoenergetice este de regulă de 100.000 ore și există tendința de a mări această valoare. Creșterea duratei de viață este dificilă, dar deosebit de importantă este determinarea rezervei de viață.

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

Evitarea apariției avariilor a determinat ISCIR să ceară o monitorizare a instalațiilor energetice prin metode distructive care se dovedesc a fi însă laborioase și costisitoare deoarece au un cost ridicat al încercărilor distructive și presupun oprirea instalației și implicit întreruperea furnizării energiei electrice.

Ținând cont de cele expuse, este justificată realizarea unor cercetări în industria energetică prin care să se determine, evalueze, calitatea și fiabilitatea elementelor active din unitățile energetice, durata de lucru rămasă a acestora în condiții de siguranță. Determinarea acestor parametri, ar permite remedierea la timp fără a se produce avaria. 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. Atât metodele distructive cât și cele nedistructive au demonstrat că avariile sunt legate de modificările structurale din material.

Preocupat de dificila aplicare a metodelor existente, de aprecierea siguranței în exploatare vis-a-vis de ruperea prin fluaj, lucrarea de față încearcă să sintetizeze o metodă modernă de evaluare a proprietăților materialului analizat, metodă de control nedistructiv, metoda controlului cu ultrasunete. Metoda este ușoară, rapidă și nedistructivă.

Scopul urmărit, a fost de a explicita modul în care degradarea în timp, a materialelor elementelor active ce lucrează la presiuni și temperaturi ridicate, influențează parametrii fascicolului de unde ultrasonice. Soluția propusă permite o analiză și în același timp, o cale de evidențiere a transformărilor structurale care au avut loc în materialul metalic, pe baza cărora se pot face evaluări asupra modului în care se va comporta în viitor materialul elementului activ supus analizei.

În cadrul lucrării s-a urmărit implementarea și evidențierea avantajelor metalografiei nedistructive. Am realizat o analiză a materialelor utilizând ultrasunetele și o alta cu ajutorul replicilor metalografice. În cazul replicilor metalografice beneficiem de două aplicații majore ale acestora și anume:

- studiul microstructurii (cavități de fluaj, mărimea grăunților, etc.) folosind replica de suprafață și microscopia optică
- examinarea și identificarea unor mici particule de fază secundară prin tehnicile replicilor de extracție în scopul determinării distanțelor dintre particule.

Examinarea metalografică cu ajutorul replicilor a permis obținerea de informații referitoare la starea de degradare și mă refer la creșterea precipitărilor și sferoidizarea acestora și la starea de distrugere cu referire la dimensiunea cavităților de fluaj și a fisurării.

Definirea noilor parametri propuși, oferă posibilități superioare modului în care pot fi valorificate oțelurile ce lucrează la temperaturi și presiuni ridicate.

Am optat pentru metoda nedistructivă cu replică metalografică de suprafață deoarece prin determinarea parametrului "A" rezultatele obținute sunt destul de concludente și pertinente. Replica metalografică dă informații la nivelul diametrului exterior, dar știind faptul că diametrul interior este mai solicitat, mi-am pus problema folosirii ultrasunetelor pentru aprecierea modificărilor structurale. Negăsind curbe de corelație pentru atenuarea undelor ultrasonice în funcție de starea materialului din instalații, am făcut cercetări și am determinat corelația atenuare a undei ultrasonice proprietăți mecanice și structurale pe oțeluri carbon de calitate. Cercetări similare am făcut și pe oțelurile termorezistente în diverse faze de exploatare, dar rezultatele obținute nu au permis stabilirea unor curbe de corelație.

Pentru controlul dimensional se aplică cu succes controlul cu ultrasunete deoarece pregătirea suprafețelor pentru control este rudimentară. Este important însă ca pregătirea operatorului să fie corespunzătoare.

Utilizarea metodei de control nedistructiv cu ultrasunete, permite, o prelucrare rapidă a datelor experimentale ridicate la elementele active, fără întreruperea procesului de producție, lucru ce duce și la eliminarea unor eventuale avarii, și la diminuarea costurilor cu eventuale reparații și investigații.

Am avut acces la R.A.A.N.- Drobeta Turnu Severin unde am putut analiza diverse degradări ale materialelor folosite la conducta de abur viu, economizor și supraîncălzitor motiv pentru care adresez mulțumiri conducerii unității și laboratorului de control al acesteia. Aceleași mulțumiri, adresez laboratorului de control nedistructiv și conducerii unității M.E.V.A.-Trinity S. A. pentru sprijinul acordat, pentru utilajele și instalațiile din dotare la care am avut acces și le-am folosit.

Am beneficiat de sprijin și informații de la I.C.S.I.M.- Timișoara privind analiza structurală cu replici de suprafață și în acest sens, adresez mulțumiri șefului de secție C.P. 1 dr. inginer Romulus Pascu. Pentru diverse încercări la fluaj, din elementele active analizate, am beneficiat de sprijinul I.C.E.M.- București laboratorul de fluaj cărora le adresez mulțumiri. Analizele structurale

le-am făcut în laboratoarele de metalografie de la Colegiul Universitar Drobeta Turnu Severin al Universității din Craiova Catedra de Matematică Informatică Științe Tehnice și la Universitatea Politehnica din Timișoara Catedra de Știința Materialelor și Tratamente Termice. Îmi fac o datorie de onoare să adresez deosebite mulțumiri acestor instituții de învățământ superior pentru formarea mea ca inginer și pentru sprijinul acordat în pregătirea de doctorat.

Am făcut aceste precizări pentru că monitorizarea elementelor active din termocentrală este deosebit de importantă, deosebit de costisitoare și necesită un volum mare de muncă și sprijin al unor instituții cu dotări și preocupări speciale în domeniu.

Subliniez încă odată aportul adus prin această lucrare de doctorat, la aplicarea unor metode nedistructive, replici de suprafață, unde ultrasonice, metode care vor primi un mare grad de încredere în viitor, după ce se vor face mai multe încercări și o prelucrare statistică mai deosebită. E posibil să se ajungă și la noi să se creeze un institut virtual care să monitorizeze elementele active aplicând metode de control nedistructiv. În alte țări cu industrie avansată funcționează la nivel guvernamental, institute care centralizează toate datele din termocentrale, le prelucrează și impun norme și reglementări care să ducă la prelungirea duratei de viață și creșterea fiabilității. Aș dori ca în mod deosebit să-mi exprim mulțumirile Universității Politehnica din Timișoara în care m-am format ca inginer și care mi-a permis să realizez și o teză de doctorat ce aduce noutăți în domeniu. Fără sprijinul Universității Politehnica din Timișoara privind accesul la baza materială, și fără orientarea, îndrumarea competentă și ajutorul dat în interpretarea rezultatelor de către conducătorul științific, prof. dr. ing. Marin Trușculescu, nu aș fi reușit să termin în timp util această lucrare.

Programul de analizare cu ultrasunete a oțelurilor termorezistente, se va desfășura în continuare și sper ca în curând, să am posibilitatea de a prezenta o corelație între atenuarea undei ultrasonice și proprietățile mecanice și structurale, pentru ca metoda să fie introdusă în normele I.S.C.I.R.

CAPITOLUL I

ELEMENTELE ACTIVE ANALIZATE

I.1. Analiza din punct de vedere constructiv a elementelor active

Atât în țara noastră cât și în întreaga lume, cea mai mare parte a energiei electrice este produsă ca urmare a arderii în cazanele energetice a combustibililor fosili (cărbune, păcură, gaze naturale). Pentru obținerea unor randamente ridicate, este de preferat ca procesul arderii acestor combustibili să aibă loc în cazane energetice de mare capacitate (peste 1000 t/h) așa cum este cazul CTE Turceni care este echipată cu cazane de tip BENSON de 1035 t/h. Dezavantajul acestei soluții este acela că indisponibilitatea unor astfel de cazane atrage după sine scoaterea din funcțiune a unor turbogeneratoare de mare putere, punând în pericol siguranța funcționării Sistemului Energetic, concomitent cu deconectarea unor consumatori de energie electrică, înregistrându-se însemnate pagube economice.

Pentru Sistemul Energetic al României s-a ales un optim între acești doi parametri, construindu-se centralele echipate cu cazane energetice de medie capacitate (420 t/h sau 520 t/h) [48].

I. Generatorul de 420 t/h este un cazan cu circulație naturală cu tambur, având două drumuri de gaze și este conceput și realizat în conformitate cu tipurile similare din lume. Subansamblele în care se realizează schimbul de căldură într-un astfel fel de cazan, sunt: economizorul, vaporizatorul și supraîncălzitorul

În figura nr.1.1, se prezintă schema generală a generatorului, din care se pot deduce cu ușurință elementele constructive și circuitele principale ale acestuia. Cele mai importante circuite sunt:

- circuitul combustibil;
- circuitul aer, gaze de ardere;
- circuitul apă, abur.

Simbolurile utilizate în această schemă sunt următoarele:

- DI_1, DI_2 - debite de injecție pentru reglarea temperaturii aburului supraîncălzit;
- ECO 1,2,3 - treptele înseriate ale economizorului;
- T – tamburul;
- D_p - debitul de purjă;
- D_d, D_e - debitele de drenare și eșapare necesare menținerii stabilității agentului de lucru;
- C_i - colectoarele inferioare ale sistemului vaporizator (similar, colectoare superioare);
- SVR - sistemul vaporizator prin radiație;
- FS - feston, sau sistemul vaporizator de convecție;
- ST - supraîncălzitor tavan;
- S_1, S_2, S_3 – supraîncălzitoare;
- PN - parametrii nominali ai generatorului;
- BC - buncăr cărbune concasat;
- AL - alimentator cu cărbune;
- Ab - aer baraj al morii;
- Mv - moara ventilator;
- Sm - separatorul morii;
- Ap - aer primar;
- As - aer secundar;
- A_2C - arzător cărbune;
- A_2P - arzător păcură;
- Agp - aer grătar postardere;
- K – kratzer;
- Va - ventilator de aer;
- PPA - preîncălzitor prealabil de aer;

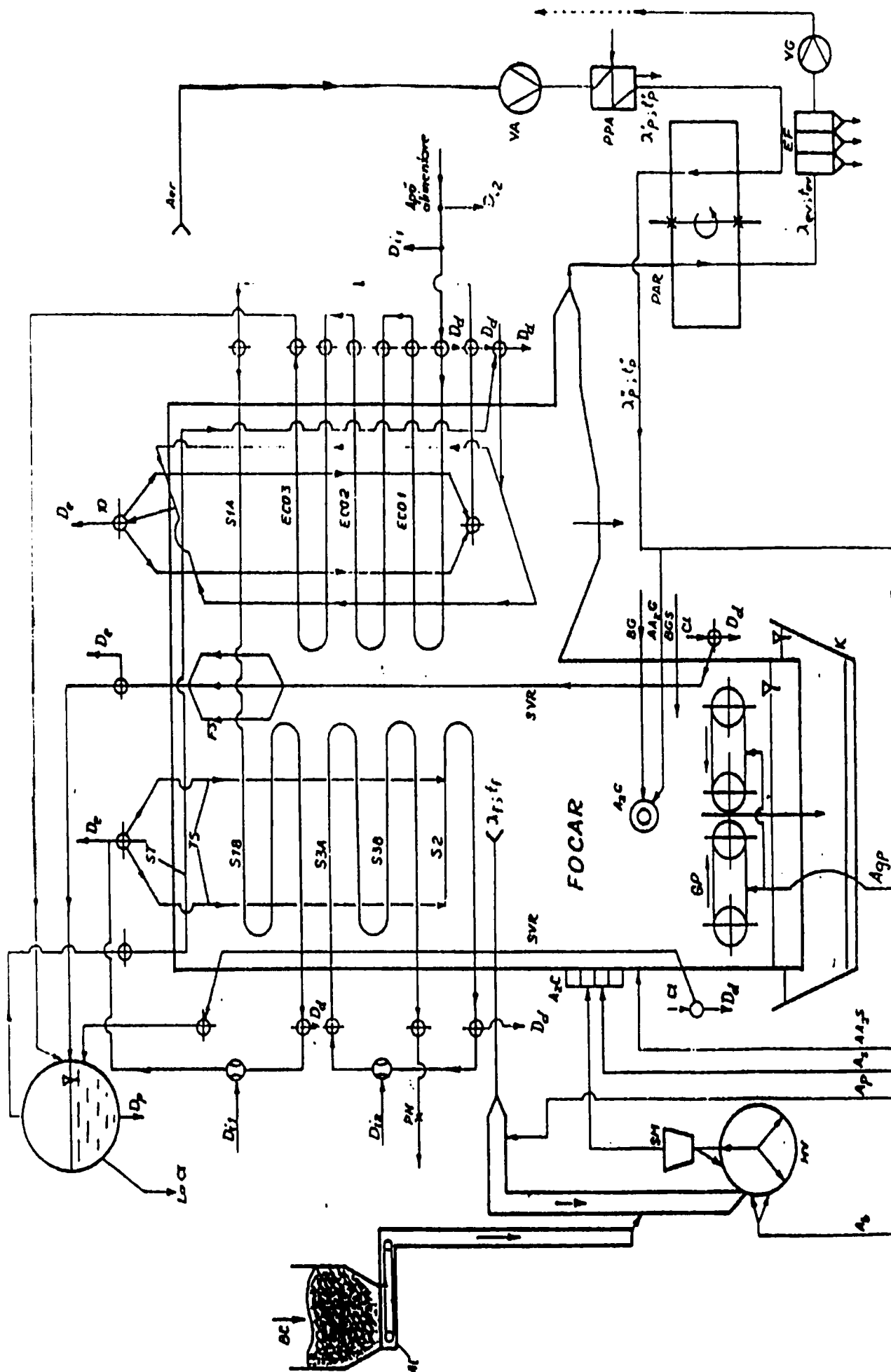


Figura 1.1. Schema generatorului de abur de 420t/h.

- GP - grătar de postardere;
- PAR - preîncălzitor de aer rotativ;
- EF – electrofiltre;
- VG - ventilator de gaze arse;

λ_f, t_f - coeficient conex de aer și temperatura aerului la finele focarului.

Vom descrie în continuare sumar principalele circuite:

a) Cărbunele concasat, aflat în buncărul de cărbune concasat BC, este preluat de alimentatorul de cărbune AL, cu lanț metalic, este introdus în turnul de uscare al morii ventilator, unde este uscat cu gazele de ardere prelevate de la focar.

În moara ventilator MV, cărbunele este măcinat, finețea de măcinare reglându-se prin recirculare în separatorul morii SM, apoi este insuflat sub formă de pulbere fină prin arzătorul de cărbune A_2C în FOCAR. Aici praful de cărbune arde, eliberând energie termică. Particulele grosiere continuă să ardă în cădere și pe grătarul de postardere. Cenușa este preluată de pe grătarul de postardere GP, și eliminată cu ajutorul kratzer-ului.

Particulele fine, au un traseu ascendent, iar cenușa zburătoare este reținută de electrofiltrele EF și evacuator.

b) Aerul este preluat din atmosferă de ventilatorul de aer VA, este introdus în preîncălzitorul prealabil de aer (caloriferul), apoi în preîncălzitorul de aer rotativ PAR, și intră în focarul cazanului sub formă de aer primar A_p , aer secundar A_s și aer la grătarul de postardere A_{gp} . În focar aerul participă la procesul de ardere a combustibilului și formează gazele de ardere.

Aceste gaze sunt absorbite de ventilatoarele de gaze VG, și eliminate în atmosferă prin intermediul coșului de fum.

c) Apa pompată de pompele de alimentare este introdusă pentru preîncălzire în economizorul cazanului care are trei trepte ECO1, ECO2 și ECO3, după care intră în tamburul cazanului. De aici, prin țevile coborâtoare, apa coboară în colectoarele inferioare ce alimentează vaporizatorul cazanului. Sub influența căldurii din focar, în sistemul vaporizator, apa se vaporizează,

formând o emulsie apă-abur, care, având densitate mai mică decât apa, urcă iarăși în tambur. Aici are loc separarea aburului de apă. Aburul intră în circuitul de supraîncălzire, supraîncălzitorul tavan ST, apoi S_1 , S_2 și S_3 , după care este colectat în colectorul de abur viu și printr-un sistem de conducte este trimis la utilizator - turbina cu abur.

II. Turbina este agregatul care transformă energia înmagazinată în aburul viu sub presiune, în energie mecanică și acționează generatorul de energie electrică. Aburul se poate destinde în turbină până la anumite presiuni superioare presiunii atmosferice fiind apoi utilizat ca abur industrial, sau la o presiune inferioară celei atmosferice, transformându-se direct în condensat și reintrând în circuitul apă abur [49].

La turbina de 50 MW tip DSL 50 aburul se destinde de la presiunea de 130 bar până la 70 bar, de unde se preia o cantitate pentru utilizarea în scopuri industriale, apoi până la 13 bar, preluându-se o altă cantitate în aceleași scopuri. Aburul destins până la presiunea de 0,2 bar este utilizat în boilerele de termoficare ce alimentează circuitul de termoficare urbană.

Condensatul realizat din aburul energetic sau utilizat în scopuri industriale se reintroduce în circuitul apă-abur, procesul având un caracter continuu. Gradul anual de continuitate al unui astfel de proces este cuprins între 86% și 98%.

Subansamblele care realizează schimbul de căldură din cazan au următoarele elemente constructive:

Apa străbate economizorul în contracurent cu gazele de ardere și iese prin colectorul de intrare în economizor.

Economizorul, figura 1.2, este străbătut de 128 de serpentine duble (256 țevi) așezate în pachetele a, b, c. materialul țevilor de economizor este OLT 45K/S, iar dimensiunea țevii este de $\varnothing 32 \times 5$ mm.

Suprafața de schimb de căldură a economizorului este de 7600 m^2 .

Colectoarele de intrare și de ieșire din economizor au dimensiunea $\varnothing 219 \times 18$ mm, iar materialul este 16Mo3.

În economizor are loc încălzirea apei de alimentare cu ajutorul gazelor de ardere, temperatura apei la ieșirea din economizor atingând valoare apropiată de cea de saturație.

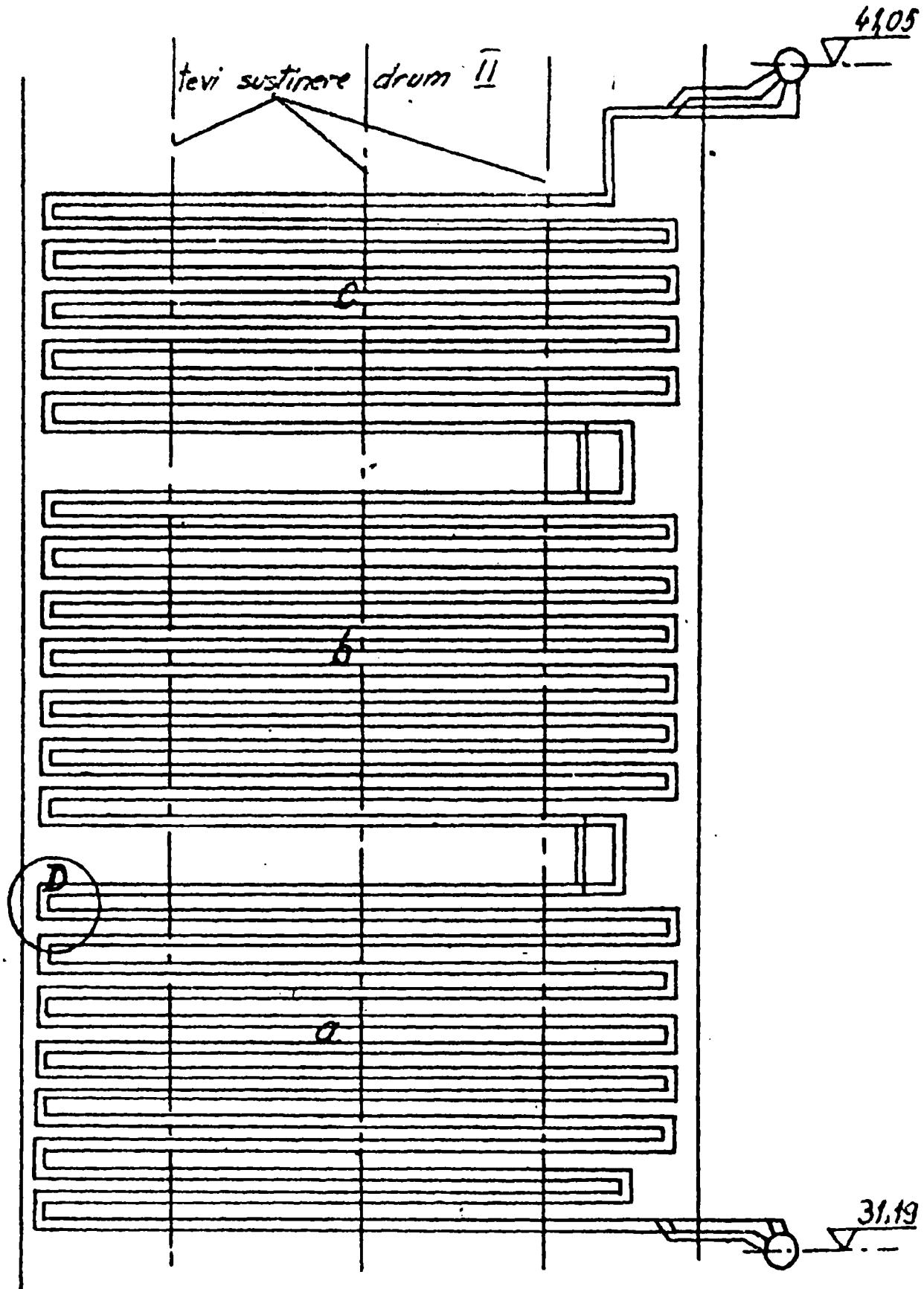


Figura 1.2. Schița economizorului.

Supraîncălzirea vaporilor aflați în tambur are loc în peretele de plafon, pereții laterali, supraîncălzitorul I, supraîncălzitorul II, și supraîncălzitorul III+IV. Temperatura aburului viu ajunge în final la 540°C.

Supraîncălzitorul de perete este format din pereții membrană ai plafonului și din pereții laterali ai drumului de gaze. Atât pereții membrană ai plafonului cât și pereții laterali ai drumului de gaze, sunt alcătuiți din țevi cu dimensiunea $\Phi 38 \times 4,5$ mm având pasul de 80 mm, iar materialul folosit este 16 Mo3.

Supraîncălzitorul I este situat în ambele drumuri de gaze ale cazanului. El este format din 64 de serpentine, fiecare cu câte 6 țevi, în total 384 de țevi. Materialul țevelor este 10CrMo10 și dimensiunile unei țevi sunt $\varnothing 32 \times 5$ mm. Suprafața totală de schimb de căldură a supraîncălzitorului este de 2418 m².

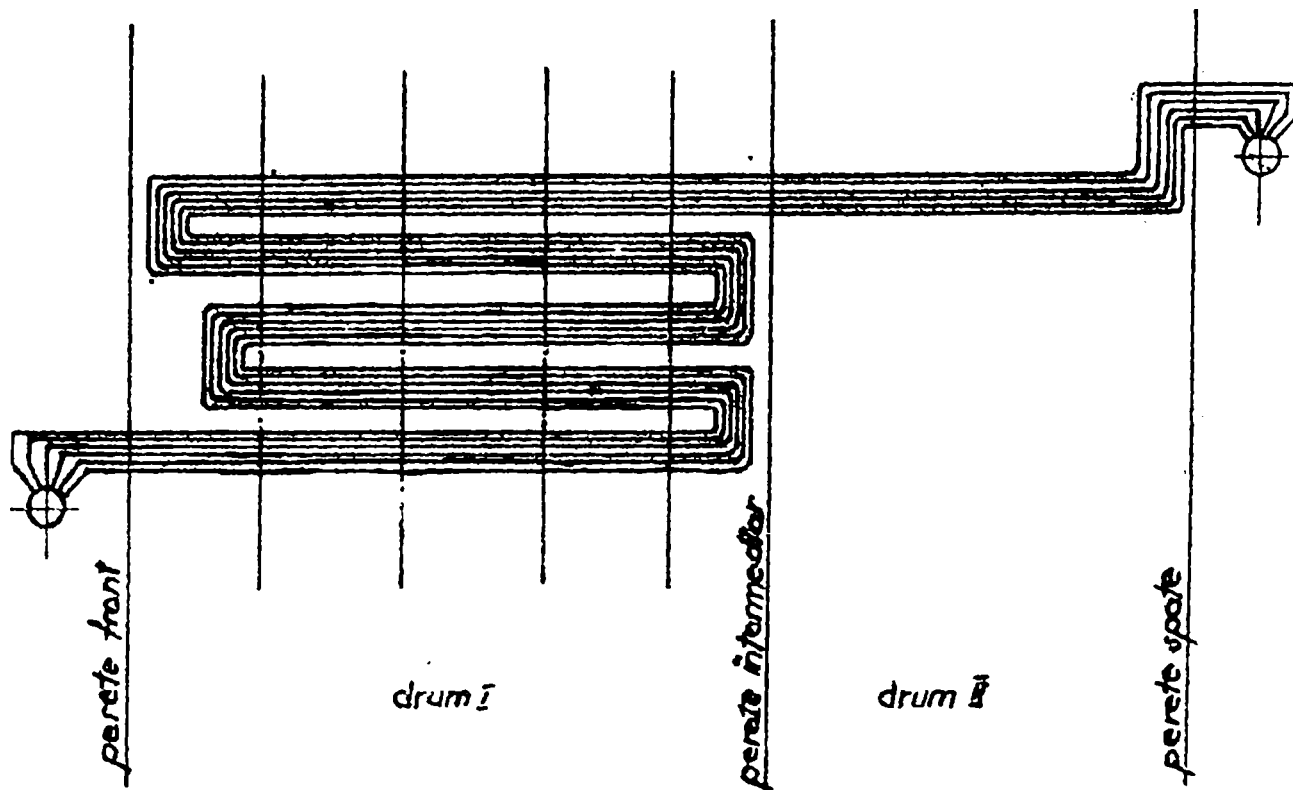
Supraîncălzitorul II este situat chiar deasupra focarului în drumul gazelor arse. El este format din 16 felii, fiecare cu câte 16 țevi, în total 256 de țevi. Materialul țevelor este 10CrMo10 și dimensiunile unei țevi sunt $\varnothing 32 \times 5$ mm. Suprafața totală de schimb de căldură a supraîncălzitorului este de 350 m².

Supraîncălzitorul III este străbătut de abur în contra curent cu gazele de ardere și se află situat sub supraîncălzitorul I și deasupra supraîncălzitorului IV.

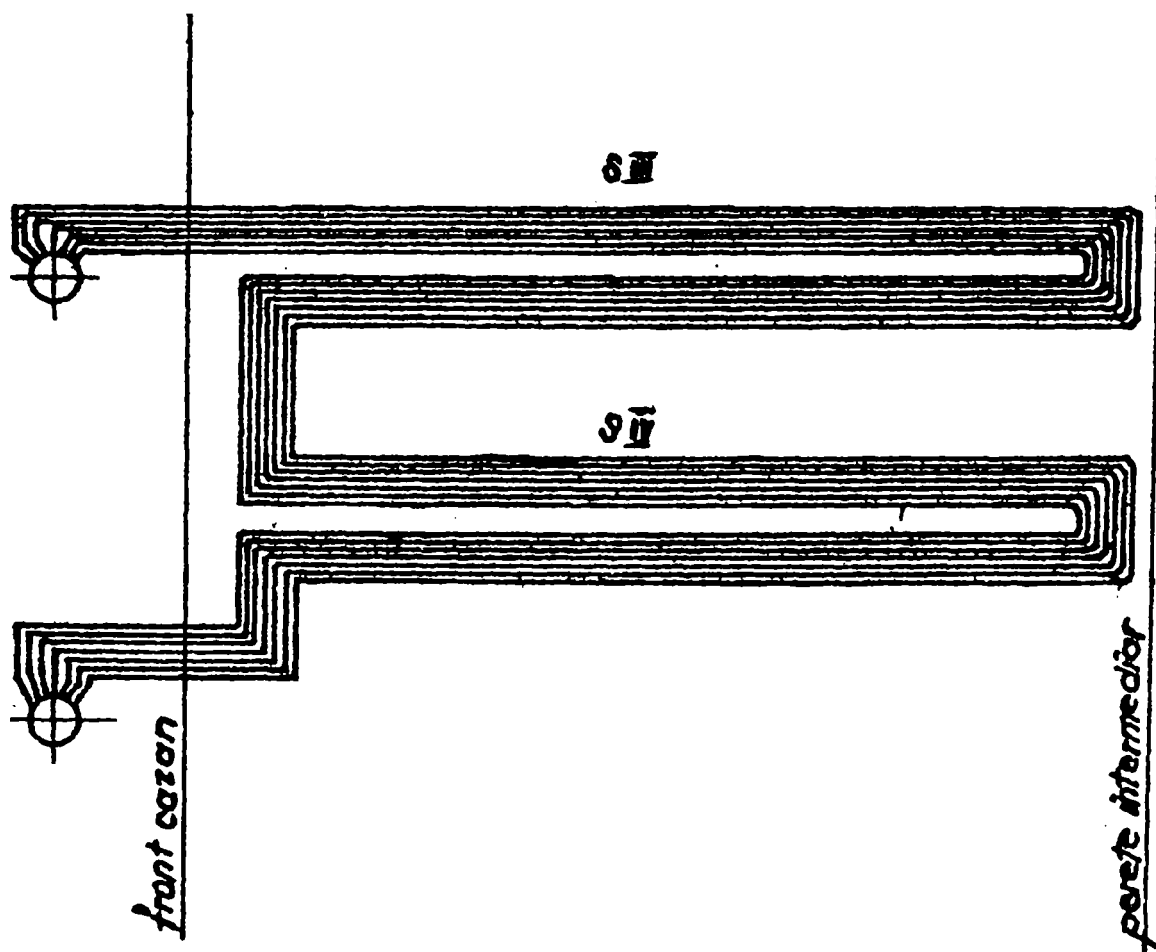
Supraîncălzitorul IV este străbătut de abur în contra curent cu gazele de ardere și este format direct din serpentinele supraîncălzitorului III, în interiorul cazanului fără colector intermediar.

Supraîncălzitoarele III și IV sunt formate fiecare, din 32 de felii, fiecare cu câte 7 țevi, în total 224 de țevi. Materialul țevelor este X20CrMoV121 și dimensiunile unei țevi sunt $\varnothing 38 \times 5$ mm sau $\varnothing 38 \times 7$ mm, dacă materialul este 10CrMo10. Suprafața totală de schimb de căldură a supraîncălzitorului este de 570 m² pentru fiecare dintre ele (fig.1.3).

În schema de principiu al termocentralei se poate identifica cu ușurință economizorul și supraîncălzitorul.



SUPRAÎNCĂLZITORUL I



SUPRAÎNCĂLZITOARELE III + IV

Figura 1.3. Schița supraîncălzitorului.

I.2. Parametri de lucru ai elementelor active

Datorită creșterii volumului și numărului consumatorilor de energie electrică și termică, instalațiile termoenergetice sunt nevoite să lucreze timp îndelungat la parametri maximi. Acest lucru determină o degradare mai rapidă a utilajelor proiectate.

Obiectul de studiu este un generator de abur. Generatorul de abur transformă energia chimică a combustibilului în căldură și poartă numele de cazan de abur. Cazanele de abur se împart în funcție de diferite criterii astfel:

- în funcție de felul în care se furnizează căldura:

- cazan de abur saturat;
- cazan de abur supraîncălzit;
- cazan de H₂O fierbinte.

- în funcție de presiunea nominală:

- cazane cu presiune supracritică ($p_n > p_k$);
- cazane cu presiune subcritică ($p_n < p_k$);

Parametrii principali ai cazanelor de abur sunt:

- temperatura nominală se notează cu t_n în °C sau T_n în °K, care reprezintă temperatura aburului supraîncălzit la ieșirea din supraîncălzitorul de bază la debitul nominal Q_n și presiunea nominală p_n ;
- debitul nominal care reprezintă debitul maxim de abur produs de cazane la presiune nominală și temperatura nominală a aburului (kg/s sau t/h) se notează cu Q_n ;

Parametrii cazanului de 420 t/h care este analizat are următorii parametri:

- debitul nominal al cazanului $Q_n = 420$ t/h;
- presiunea nominală a aburului viu $p_n = 13,7$ MPa;
- temperatura nominală a aburului viu $t_n = 540$ °C; $T_n = 813$ °K;
- presiunea nominală a H₂O de alimentare $p_{n\ H_2O} = 15,8$ MPa.
- temperatura nominala de intrare a H₂O in economizor

$$t_{nH_2O} = 230\ ^\circ C ;$$

$$t_{nH_2O} = 503\ K$$

607-629
2019-10-10

1.3. Principalele oțeluri termorezistente utilizate

Generatorul de abur analizat are în componența sa o mare varietate de materiale începând cu oțeluri simple și ajungând la oțelurile inoxidabile. Vom putea întâlni astfel:

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

Criteriile mai importante de selecție a materialelor metalice utilizate în construcția cazanelor sunt:

- termorezistență la coroziune (gazoasă, chimică);
- rezistență la fragilizare de hidrogen;
- rezistență la eroziune;
- sudabilitate;
- raport favorabil între rezistențe la temperaturi ridicate și cost.

Exploatarea echipamentelor termoenergetice determină o solicitare simultană a materialului metalic la tensiuni și temperaturi pe durată îndelungată și nu de puține ori cu oscilații importante de la valorile prestabilite în funcționare. Pe scară largă sunt folosite oțelurile slab aliate termorezistente de tipul Cr-Mo-V.

Oțelurile termorezistente cuprind 5 clase importante și anume: oțel carbon; oțel slab aliat (CrMoV); oțel mediu aliat (martensitic sau feritic); oțel crom-nichel austenitic și superaliajele[20].

❖ **Oțeluri carbon termorezistente** sunt caracterizate printr-un conținut de carbon cuprins între 0,1% și 0,3% fiind aliate cu mangan în proporție de 0,3%-1,6%, conținând și cantități de aluminiu. Oțelurile caracteristice acestor

clase sunt: OLT 35, K 37, R52, OLT 45. Modul de evoluție a rezistenței de durată funcție de durată până la rupere este ilustrat în figura nr.1.5., [20].

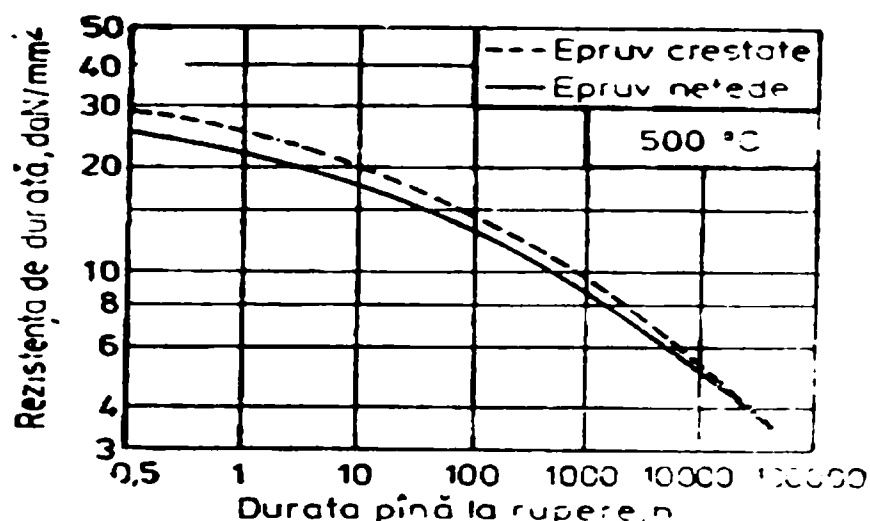


Figura 1.5. Curbele rezistenței de durată până la rupere ale unui oțel carbon 0,22%C, 0,24%Si, 0,5%Mn, [20].

❖ **Oțelurile slab aliate (CrMoV)** se împart, în funcție de compoziție, 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 (bainită omogenă sau sorbitică pentru temperaturi nu prea înalte iar pentru ferită granulară la temperaturi înalte. Temperatura maximă de utilizare este de 500 °C;
- Oțeluri de tip 1,25-0,5 (14 CrMo4 STAS 2883-80 și STAS 8184-80; T34MoCr0,9 STAS 1773-76; 21MoMnCr12 STAS 791-80) sunt utilizate în stare normalizată și revenită la 600-700⁰ 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 H₂;
- Oțeluri de tip 1-1-0,2 (0,12-0,25% C) sunt superioare tipului anterior dar prezintă tendință de fragilizare;
- Oțeluri 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 550⁰C 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: molibden, vanadiu, wolfram[10].

- Oțeluri cu 5-6% Cr îmbunătățite cu molibden 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. (exemplu 20MoCr90)
- Oțeluri cu 11-13% Cr conținând adaosuri de molibden, vanadiu wolfram, niobiu sau cobalt 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 (exemplu 12Cr130; 15Cr130).

❖ Oțeluri Cr-Ni austenitice

Oțelurile feritice sau martensitice sunt limitate la temperaturi de utilizare de 600⁰C 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.

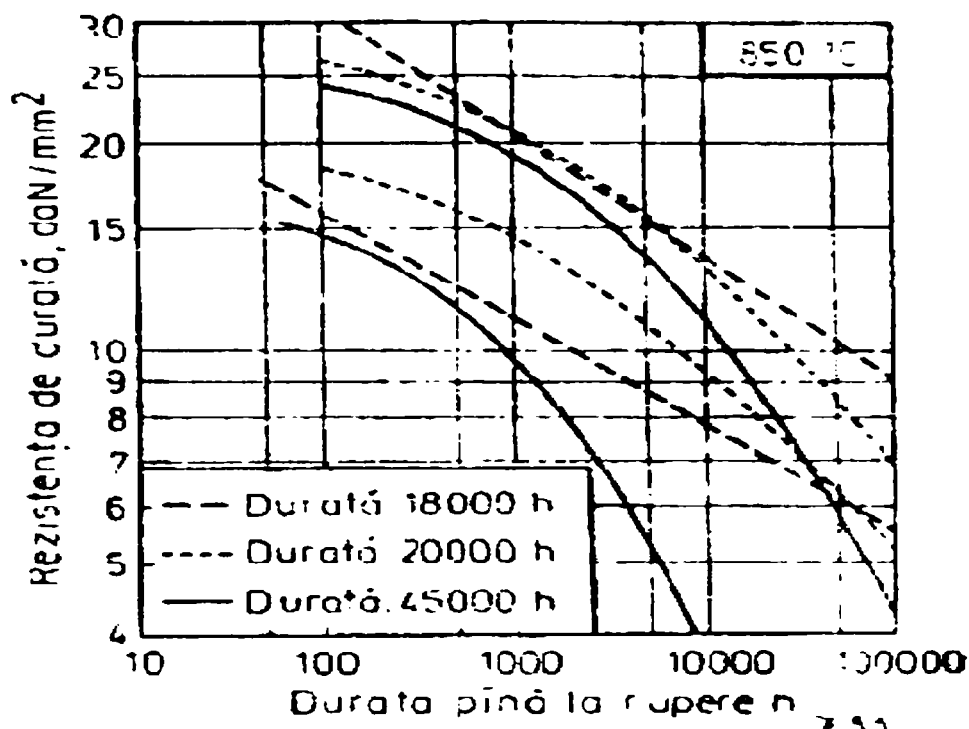


Figura.1.6. Rezistența de durată a oțelului 18-8, funcție de durata la rupere.
 (12NiCr18; 15 NiCr18), [20].

Prezența acestor elemente alfa-gene este necesară pentru stabilizarea austenitei. În figura 1.6 este prezentată rezistența de durată a oțelului 18-8, funcție de durata la rupere [20].

Explicația comportării superioare la fluaj a oțelurilor austenitice constă în faptul că rețeaua CFC a austenitei este compactă și opune o rezistență mai mare deformării în timp [61].

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 700-800⁰C de unde oțelurile austenitice nu mai corespund calitativ. Superaliajele pot fi utilizate până la circa 1100⁰C, temperatura maximă de exploatare atingând pentru cele mai termorezistente circa 0,8 din temperatura de topire. Acestea își dădorec 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 sarcini. În figura 1.7 sunt prezentate evoluțiile rezistențelor de durată a mai multor superaliaje.

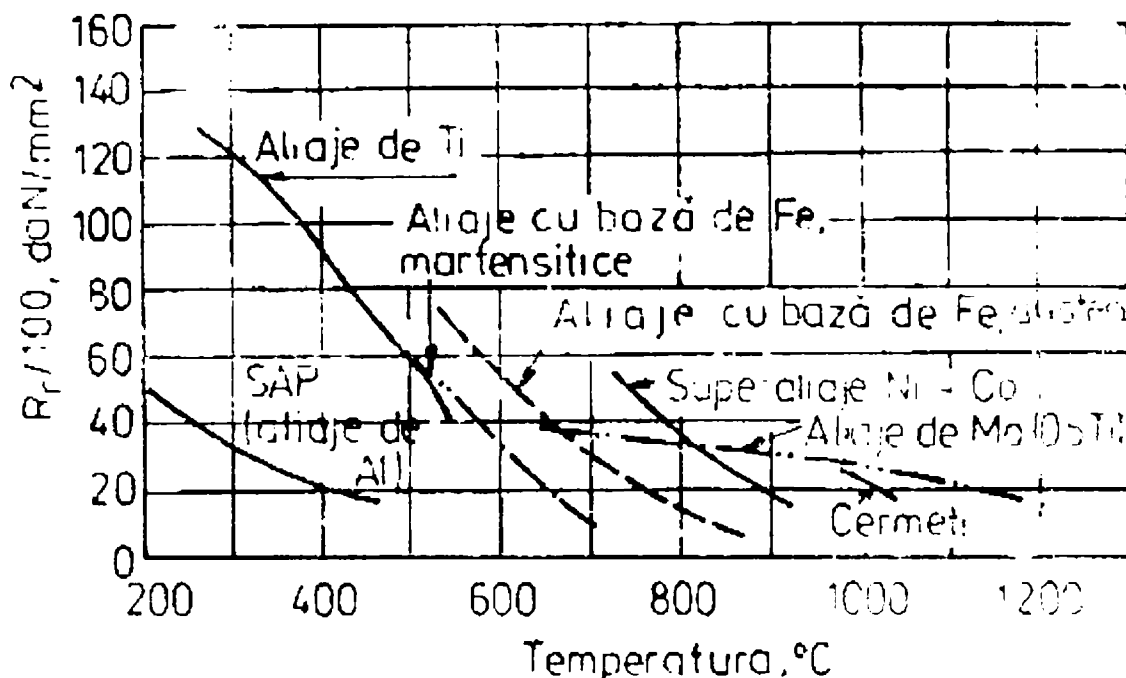


Figura 1.7. Rezistențele de durată pentru diferite aliaje, funcție de temperatura de utilizare [20].

Dacă am centraliza datele pentru oțelurile analizate, obținem următoarea diagramă (figura 1.8) [20]:

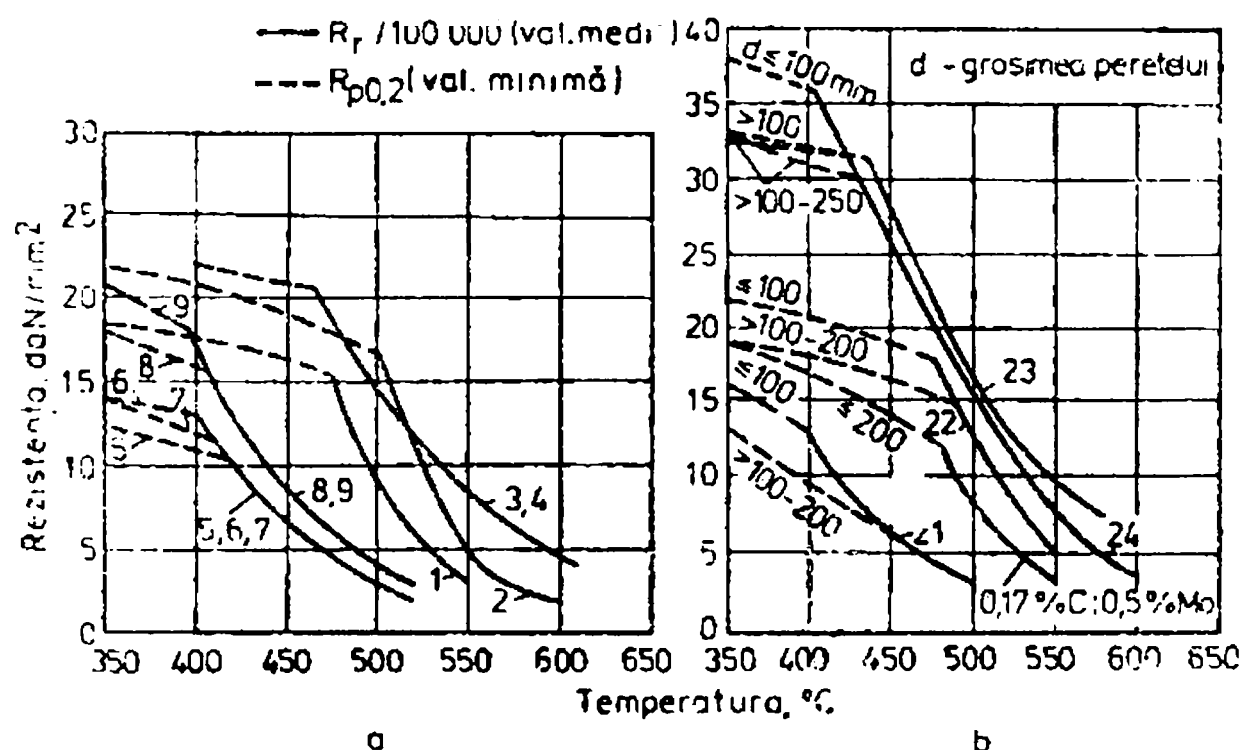


Figura nr. 1.8. Rezistențele de durată pentru diferite aliaje [20].

Notățiile în figură sunt:

1.-.16Mo3	13.-.20Cr130
2.-.14CrMo4	14.-.20VWMoCr120
3.-.14CrMo4 (modificat)	15.-.T12TiMo
4.-.10CrMo10	16.-.2MoNiCr175
5.-.OLT35K	17.-.OLC35(X)
6.-.OLT45	18.-.24VMoCr12
7.-.K41	19.-.24VMoCr12
8.-.K47	20.-.30MoCr11 (modificat)
9.-.K52	21.-.OT50.2
10.-.OLC35	22.-.OT50.2 (1,25Cr; 0,5Mo)
11.-.24VMoCr12	23.-.OT50.2 (1,5Cr; 1,5Mo)
12.-.24VMoCr12 (modificat)	24.-.OT50.2 (12Cr; 1Mo)

Elementele active ale termocentralei de 420 t/h analizate, sunt realizate din materiale ca: 16Mo3, OLT45, 10CrMo10, 14CrMo4, 20CrMoV121, etc.

În tabelul I.1 avem corelațiile denumirii celor mai importante materialelor utilizate, în principalele standarde [85], STAS – Nr.WERKSTOFF – ISO – EURONORM - GOST

Tabelul I.2 conține compozițiile chimice pentru oțelurile din tabelul I.1.

În tabelul I.3 sunt date pentru aceeași oțeluri, caracteristicile mecanice la temperatura mediului ambiant precum și parametri tratamentului termic de călire.

În tabelul I.4 sunt prezentate limitele de elasticitate ale acestor oțeluri la diferite temperaturi.

Tabelul I.5 conține valorile limitei de fluaj a oțelurilor la 1.000h, 10.000h, 100.000h.

În tabelul I.6 se află valorile rezistenței tehnice de durată pentru 10.000h respectiv 100.000h de funcționare la oțelurile analizate.

Tabelul I.1.

Nr. Crt.	Marca oțelului				
	STAS	Nr. Werkstoff	ISO	EURONORM	GOST
1	10CrMo10	17380	C34AH	10CrMo9-10	12Ch8
2	10MoCr50	17362	-	-	-
3	14CrMo4	17335	14Cmo4-5	13CrMo4-5	12ChM 15ChM
4	16Mo3	15415	16Mo3	16Mo3	-
5	OLT35K	10309	-	-	-
6	OLT45K	10418	-	L245MB	-
7	20CrMoV121	14922	X20CrMoNV 11-1-1	X20CrMoV 11-1	-
8	K410	10425	P265 PH265 PH26	P265GH	16K 20K
9	K460	10481	-	P295GH	14G2
10	K510	10473	P355 PH335 PH29	P355GH	-

Tabelul I.4.

Nr. Crt.	Marca oțelului		Limită de elasticitate R_{p02} [N/mm ²]					
	STAS	Nr. Werkstoff	200	300	350	400	450	500
1	10CrMo10	17380	245	220	210	200	190	180
2	10MoCr50	17362	-	275	245	216	186	-
3	14CrMo4	17335	230	205	190	180	170	165
4	16Mo3	15415	215	170	160	150	145	140
5	OLT35K	10309	190	140	120	110	90	-
6	OLT45K	10418	210	160	140	130	110	-
7	20CrMoV121	14922	461	392	373	353	314	265
8	K410	10425	195	155	140	130	115	-
9	K460	10481	225	185	170	155	115	-
10	K510	10473	255	215	200	180	135	-

Tabelul I.6.

Nr. Crt	Marca oțelului		Rezistența de durată R_{th} [N/mm ²]							
			10 000 h				100 000 h			
	STAS	Nr. Werkstoff	450	500	550	600	450	500	550	600
1	10CrMo10	17380	306	196	108	61	221	135	68	34
2	10MoCr50	17362	-	167	78	-	-	108	39	-
3	14CrMo4	17335	370	239	109	49	285	137	49	20
4	16Mo3	15415	298	171	71	-	239	101	31	-
5	OLT35K	10309	112	51	-	-	68	29	-	-
6	OLT45K	10418	112	51	-	-	68	29	-	-
7	20CrMoV121	14922	-	343	216	118	-	255	147	49
8	K410	10425	113	-	-	-	69	-	-	-
9	K460	10481	143	74	-	-	85	41	-	-
10	K510	10473	143	74	-	-	85	41	-	-

Tabel I.2.

Nr. Crt.	Marca oțelului		Compoziție chimică STAS															
	STAS	Nr. Werkstoff	% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Cr	% Mo	% Ni	% V	% Al	% Cu	% Ti	% Altele			
1	10CrMo10	17380	≤0,15	0,15-0,5	0,4-0,7	0,04	0,04	2-2,5	0,9-1,1	≤0,3	-	-	0,3	≤0,02	As≤0,05			
2	10MoCr50	17362	≤0,15	0,15-0,5	0,3-0,6	0,03	0,03	4-6	0,45-0,65	≤0,3	-	-	0,3	≤0,02	As≤0,05			
3	14CrMo4	17335	0,1-0,18	0,15-0,35	0,4-0,7	0,04	0,04	0,7-1	0,4-0,55	≤0,3	-	-	0,3	≤0,02	As≤0,05			
4	16Mo3	15415	0,12-0,2	0,15-0,35	0,5-0,8	0,04	0,04	≤0,3	0,25-0,4	≤0,3	-	0,01-0,03	0,3	≤0,02	As≤0,05			
5	OLT35K	10309	0,17	0,15-0,35	≥0,4	0,04	0,045	≤0,3	-	≤0,3	-	0,02-0,045	0,3	-	As≤0,05			
6	OLT45K	10418	≤0,23	0,15-0,35	0,4-1,2	0,04	0,045	≤0,3	-	≤0,3	-	0,02-0,045	0,3	-	As≤0,08			
7	20CrMoV121	14922	0,17-0,23	≤0,5	≤1	0,03	0,03	10-12,5	0,8-1,2	0,3-0,8	0,25-0,35	-	-	-	-			
8	K410	10425	≤0,2	≤0,35	0,5-1,3	0,035	0,03	≤0,3	-	≤0,3	≤0,03	0,02-0,035	0,3	-	Cr+Ni+Cu ≤0,7			
9	K460	10481	0,12-0,2	≤0,4	0,9-1,4	0,035	0,03	≤0,3	-	≤0,3	≤0,03	0,02-0,035	0,3	-	-			
10	K510	10473	0,15-0,22	0,3-0,6	1-1,6	0,035	0,03	≤0,3	-	≤0,3	≤0,03	0,02-0,035	0,3	-	-			

Tabel I.3.

Nr. Crt	Marca oțelului		Caracteristici mecanice 20°C						T°C călire	Mediu		T°C revenire
	STAS	Nr. Werkstoff	R _{po2} [N/mm ²]	R _t [N/mm ²]	A [%]	KCU [J]	HB ₃₀	Apă		Aer		
1	10CrMo10	17380	290	480-630	18	40	130-175	X	X	680-760		
2	10MoCr50	17362	390	590-740	17	62	175-220	X	X	700-760		
3	14CrMo4	17335	295	450-660	20	44	130-175	X	X	630-730		
4	16Mo3	15415	260	440-590	24	40	130-170	X	X	660-710		
5	OLT35K	10309	230	350-450	26	60	-	-	-	-		
6	OLT45K	10418	260	450-550	21	60	-	-	-	-		
7	20CrMoV121	14922	490	680-830	16	39	205-250	X	X	700-760		
8	K410	10425	245	410-530	23	47	120-155	-	-	-		
9	K460	10481	285	460-580	22	47	130-170	-	-	-		
10	K510	10473	335	510-650	21	47	140-185	-	-	-		

Tabel I.5.

Nr. Crt.	Marca oțelului		Limită de fluaj R_{p1} [N/mm ²]											
	STAS	Nr. Werkstoff	1000 h				10 000 h				100 000 h			
			450	500	550	600	450	500	550	600	450	500	550	600
1	10CrMo10	17380	-	206	118	64	240	147	83	44	166	103	49	22
2	10MoCr50	17362	-	-	-	-	-	90	54	32,5	-	62	36,5	19,5
3	14CrMo4	17335	-	235	127	-	245	157	76	-	191	98	36	-
4	16Mo3	15415	-	-	-	-	216	132	58	-	167	73	24	-
5	OLT35K	10309	-	-	-	-	81	38	-	-	49	20	-	-
6	OLT45K	10418	-	-	-	-	81	38	-	-	49	20	-	-
7	20CrMoV121	14922	-	314	206	108	-	255	157	59	-	206	118	39
8	K410	10425	-	-	-	-	80	-	-	-	49	-	-	-
9	K460	10481	-	-	-	-	93	49	-	-	59	29	-	-
10	K510	10473	-	-	-	-	93	49	-	-	59	29	-	-

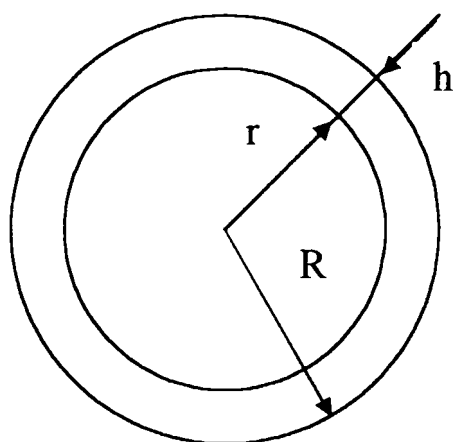
Selecția materialelor pentru fabricarea elementelor active care lucrează la temperaturi și presiuni ridicate am realizat-o, pentru produsul denumit supraîncălzitor. În figura 1.9 am prezentat secțiunea prin conducta supraîncălzitorului [7],[53].

Parametrii de funcționare ai acestuia sunt:

$$p = 140 \text{ bar}$$

$$T_n = 540^{\circ}\text{C}$$

agent de lucru: abur



$$\tau_1 = [(p \times R)/2h] = 24,5 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_2 = [(p \times R)/h] = 49 \text{ daN/mm}^2$$

Figura 1.9. Secțiune prin conducta supraîncălzitorului.

Stabilirea matricii de proprietăți pe care trebuie să le îndeplinească produsul:

C_1 = temperatura maximă de lucru	T_{\max}	$^{\circ}\text{C}$
C_2 = rezistența tehnică de durată	R_Z	N/mm^2
C_3 = limita tehnică de fluaj	R_1	N/mm^2
C_4 = rezistența la oxidare (coroziunea)		
C_5 = rezistența la rupere	R_m	N/mm^2
C_6 = limita de curgere	$R_{p0.2}$	N/mm^2
C_7 = gătuirea la rupere	Z	%
C_8 = alungirea la rupere	A	%
C_9 = reziliența	KCU	J/cm^2
C_{10} = grad aliere		%
C_{11} = cost		lei
$C_1 \dots \dots \dots C_{11}$ – caracteristici		

Se alcătuiește sistemul de punctare pentru fiecare caracteristică anterioară:

Tabelul I.7

Caracteristică	Unit. de măsură	Domeniul de valori	Notă
C ₁ T _{max} de utilizare	⁰ C, [⁰ K] T _{max}	450-500	1
		500-550	2
		550-....	3
C ₂ Rezistența tehnică de durată	R _{v/100000} N/mm ²	30-40	1
		40-50	2
		50-60	3
C ₃ Limita tehnică de fluaj	R _{1/100000} N/mm ²	20-30	1
		30-40	2
		40-50	3
C ₄ Rezistența la oxidare		bună	3
		satisfăcător	2
		nesatisfăcător	1
C ₅ Rezistența la rupere	R _m N/mm ²	300-400	1
		400-500	2
		500-600	3
C ₆ Limita de curgere	R _{po} ² Nmm ²	90-120	1
		120-150	2
		150-180	3
C ₇ Gâtuirea la rupere	Z %	45-49	1
		50-54	2
		55-60	3
C ₈ Alungirea la rupere	A %	15-20	1
		21-25	2
		26-30	3
C ₉ Reziliența	KCU J/cm ²	35-40	1
		45-55	2
		55-65	3
C ₁₀ Grad de aliere	%	Înalt aliat	1
		Slab aliat	2
		Nealiat	3
C ₁₁ Cost	lei	intervalul1	1
		intervalul2	2
		intervalul3	3

Pe baza punctajelor din tabel se pornește la clasificarea materialelor.

Caracteristica numărul unu este decisivă, are caracter eliminativ deoarece, elementul activ, supraîncălzitorul, nu poate funcționa în condiții de siguranță dacă ea nu este îndeplinită.

În calculul pe care l-am efectuat pentru selecția materialului caracteristica a unsprezecea nu am luat în calcul datorită fluctuației pe care o are, dar de ea, proiectantul este obligat să țină cont.

Tabelul. I.8

	C_1^{Tm}	C_2^{Rz}	C_3^{Rl}	C_4^{Ro}	C_5^{Rm}	C_6^{Rz}	C_7^Z	C_8^A	C_9^{KU}	C_{10}^{CA}
C_1^{Tm}	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
C_2^{Rz}	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
C_3^{Rl}	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
C_4^{Ro}	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0
C_5^{Rm}	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0
C_6^{Rz}	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0
C_7^Z	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1
C_8^A	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1
C_9^{KU}	2	2	2	2	2	2	0	0	1	1
C_{10}^{CA}	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
Total	16	16	15	11	10	10	2	2	5	3
Pondere	16/90= 17,77	16/90= 17,77	15/90= 16,66	11/90= 12,22	10/90= 11,11	10/90= 11,11	2/90= 2,77	2/90= 2,77	5/90= 5,55	3/90= 3,33

Calcul ponderii de influență s-a realizat cu ajutorul relației (1.1)

P = Ponderea

$$P_j = \frac{T_i}{\sum_{i=1}^n T_i} \quad [\%] \quad (1.1)$$

Se acordă note N_i , corespunzătoare valorilor "V" ale caracteristicilor

Note N_i : 2 – mai importantă

1 – egal importantă

0 – mai puțin importantă

Alegerea preliminară se face ținând cont de atmosfera de lucru conform STAS 8183-80 oțelurile pentru țevi de temperaturi ridicate sunt [31]:

OLT 35K; OLT 45K; 10CrMo; 10MoCr 50; 16Mo3; 14CrMo4; 12CrMoV3; 20NiWVMoCr 120.

Tabelul I.9.

Oțel		V	N	V	N	V	N	V	N	V	N	V	N
Caract		OLT 35K		OLT 45K		16M ₆ 3		14 CrM ₆ 4		10CrMo10		10MoCr50	
C ₁	T _{max}	500 ⁰ C	-	500 ⁰ C	-	500 ⁰ C	3	560 ⁰ C	3	580 ⁰ C	3	580 ⁰ C	3

După primul criteriu, se renunță la OLT35 și OLT45, deoarece aceste oțeluri nu lucrează la temperatura maximă de lucru a instalației (540⁰C). Notarea celorlalte caracteristici se va face tot pentru temperatura maximă de lucru a instalației (540⁰C).

Tabelul I.10.

Oțel		V	N	V	N	V	N	V	N	V	N	V	N
Caract		OLT35K		OLT45K		16M ₆ 3		14 CrM ₆ 4		10CrMo10		10MoCr50	
C ₂	R _{v/100000}	-	-	-	-	38	1	49	2	64	3	-	-
C ₃	R _{1/100000}	-	-	-	-	28	1	46	3	49	3	-	-
C ₄	R _{oxid}	-	-	-	-	B	3	B	3	B	3	B	3
C ₅	R _m	-	-	-	-	520	3	520	3	530	3	500	3
C ₆	R _{po2}	-	-	-	-	140	2	160	3	90	1	90	1
C ₇	Z	-	-	-	-	55	3	55	3	50	2	45	1
C ₈	A	-	-	-	-	20	2	20	2	20	2	22	3
C ₉	KCU	-	-	-	-	60	3	60	3	60	3	60	3
C ₁₀		-	-	-	-	-	2	-	2	-	2	-	2
T		-	-	-	-	-	24	-	25	-	23	-	17

Rezultă 14 CrMo4

Punctajul se obține prin înmulțirea următoarelor matrici:

$$\begin{bmatrix} N_{11} & N_{12} \dots \dots \dots & N_{1n} \\ N_{21} & N_{22} \dots \dots \dots & N_{2n} \\ \dots \dots \dots & \dots \dots \dots & \dots \dots \dots \\ N_{m1} & N_{m2} \dots \dots \dots & N_{mn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \dots \\ P_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{11}P_1 & N_{12}P_2 \dots \dots \dots & N_{1n}P_n \\ N_{21}P_1 & N_{22}P_2 \dots \dots \dots & N_{2n}P_n \\ \dots \dots \dots & \dots \dots \dots & \dots \dots \dots \\ N_{m1}P_1 & N_{m2}P_2 \dots \dots \dots & N_{mn}P_n \end{bmatrix}$$

Tabelul I.11.

Marca	N _{c1}	N _{c2}	N _{c3}	N _{c4}	N _{c5}	N _{c6}	N _{c7}	N _{c8}	N _{c9}	N _{c10}	Punctaj
16Mo3	3	1	1	3	3	2	3	2	3	2	214,36
14CrMo 4	3	2	3	3	3	3	3	2	3	2	260,79
10CrMo 10	3	3	3	3	3	1	2	2	3	2	269,89
10MoCr 50	3	0	0	3	3	1	1	3	3	2	163,27
Pondere	17,77	17,77	16,66	12,22	11,11	11,11	2,22	2,22	5,55	3,33	

Rezultă că marca de material cu cel mai mare punctaj este: 10CRM010

Proprietățile mecanice ale acestui oțel, verifică condițiile prescripțiilor tehnice C₄ din colecția ISCIR.

Din STAS 8184-80 avem următorul tratament termic:

1. Recoacere de înmuiere Temperatura de încălzire 680...720 °C

2. Tratament termic final

- normalizare $T_{ino} = 900-960$ °C

mediu răcire=aer

- revenire $T_{inc} = 680-780$ °C

mediu răcire = aer

1.4. CONCLUZII

Instalația energetică analizată este o centrală termoelectrică echipată cu un cazan de capacitate medie de 420 t/h cu o presiune nominală a aburului de 140MPa (140 bar) și o temperatură nominală a aburului viu de 540°C (813 K).

Analizând din punct de vedere constructiv instalația energetică am ajuns la concluzia că materialele utilizate sunt în majoritate oțeluri. În funcție de parametrii proceselor tehnologice și soluția constructivă aleasă se stabilesc materialele compatibile pentru elementele active care lucrează la temperaturi și presiuni ridicate.

Pentru a realiza selecția materialelor compatibile la fabricarea elementelor active într-o termocentrală, am împărțit materialele în funcție de cele trei zone distincte: cazan, corp intermediar și turbină.

Am ales pentru studiu pentru elementele active ce lucrează la parametri înalți, conducta de abur viu, economizorul și supraîncălzitorul.

În urma analizei parametrilor tehnologici la care lucrează materialul elementelor active, a parametrilor geometrici și externi, a evoluției cu temperatura a caracteristicilor de rezistență a proprietățile tehnologice (în special sudabilitatea și deformarea plastică), a costurilor, am stabilit o matrice de proprietăți pe care trebuie să le îndeplinească produsul. Pentru produsul studiat și anume supraîncălzitorul, parametri de lucru au fost: presiunea nominală $p_n=140$ MPa, temperatura de funcționare $T_n=540^\circ C$ iar agentul de lucru a fost aburul. Elementele care au compus matricea în cazul supraîncălzitorului au fost: temperatura maximă de lucru, rezistența tehnică de durată, limita tehnică de fluaj, rezistența la oxidare (coroziunea), rezistența de rupere, limita de curgere, gătuirea la rupere, alungirea la rupere, reziliența, gradul de aliere, costul. Prin stabilirea ponderii de influență a acestor proprietăți rezultă o ierarhizare a materialelor analizate și se poate determina ușor materialul optim pentru elementul activ.

La elementele active analizate ponderea de influență cea mai mare o are rezistența de durată, limita de fluaj și caracteristicile mecanice la temperatura de 20°C, motiv pentru care am realizat centralizarea acestor date alături de compoziția chimică, limita de elasticitate și corespondența oțelurilor în diferite standarde. (Tabel I.1; I.2; I.3; I.4; I.5 și I.6.)

Astfel pentru economizor materialul compatibil este 16Mo3, pentru supraîncălzitoare 10CrMo10 și 14CrMo4 iar pentru conducta de abur viu 12H1MF (12CrMoV3).

În condițiile în care dorim o funcționare a instalațiilor termoenergetice cât mai bună, cu o durată de viață cât mai mare, concluzia generală care se desprinde în urma analizei elementelor active, este că pentru fiecare element al instalațiilor termoenergetice, avem o anumită gamă de oțeluri, funcție de temperatura și presiunea la care lucrează.

Informațiile din capitolul I, îmi permit să aleg corect gama de materiale din care sunt confecționate elementele active din termocentrale. Am stabilit în cadrul capitolului materialele pentru fabricarea conductei de abur viu, economizor, supraîncălzitor, oțeluri care vor fi studiate în cuprinsul tezei.

CAPITOLUL II

METODE DE CONTROL A ELEMENTELOR ACTIVE

II.1. Metode distructive de control

II.1.1. Încercări mecanice aplicate oțelurilor termorezistente

Țevile și conductele, majoritatea elementelor termoenergetice, inclusiv cele din industria chimică și petrochimică, formează structuri static determinate sau static nedeterminate. Acestea sunt solicate static sau dinamic la încercări provenite din greutatea elementelor, sarcini tehnologice, presiune, variații de temperatura, acțiuni eoliene sau seismice, determinate de procesele tehnologice care se dezvoltă în instalațiile din care fac parte.

Verificările de rezistență și determinarea tensiunilor în conducte se fac în conformitate cu codul american B313-1990 și a normei tehnice de Ramura NTR 10367-1980, CR - 20-80 pentru verificări nedistructive, CR-29-75 pentru modificări structurale și verificarea deformațiilor.

II.1.1.1. Analize și încercări specifice materialelor termorezistente

Pentru materiale termorezistente analiza de bază se face prin studierea compoziției chimice și a structurii, iar dintre încercări cea mai importantă este încercarea la tracțiune de durată [29].

Avem trei metode de încercare de durată:

I. încercări mecanice de lungă durată:

- a) încercarea la fluaj (la care se mențin constante temperatura și sarcina de încercare și se măsoară alungirea de rupere la fluaj);
- b) încercarea de relaxare (se mențin constante temperatura și o deformație inițială și se determină scăderea tensiunii în timp);

c) încercarea de autostabilizare termică (se mențin constante temperatura și deformația inițială și se determină scăderea temperaturii în timp).

II. încercarea la tracțiune de scurtă durată (determinarea limitei de curgere).

III. încercarea de încovoiere prin șoc la cald pe epruvete cu crestătură.

Caracteristicile definatorii în proiectare sunt:

-limita tehnică de fluaj;

-rezistența tehnică de durată.

Prin limita tehnică de fluaj $R_{\varepsilon/t}$ sau $\sigma_{\varepsilon/t}$ înțelegând tensiunea la care deformația plastică, într-un interval de timp dat, atinge o valoare stabilită.

Valoarea deformației plastice se alege plecând de la condițiile constructive care asigură o exploatare normală a piesei în timpul de funcționare specificat.

Rezistența tehnică de durată $\sigma_{r/t}$ sau $R_{r/t}$ este valoarea tensiunii, calculată prin raportarea la secțiunea inițială a epruvetei, la care ruperea se produce după un interval de timp dat.

Fluajul constă în deformarea (alungirea) lentă și continuă în timp la tensiuni inferioare limitei de curgere, urmată, eventual, de ruperea materialului după o durată cu atât mai scurtă, cu cât sarcina este mai mare.

Prin solicitarea unui metal la temperaturi ridicate (în general peste 400°C) de către o sarcină de tracțiune statică constantă, de durată, material suferă fenomenul de fluaj.

Fluajul este proprietatea materialelor metalice de a se deforma sub acțiunea unor forțe în timp, iar deformarea este lentă și continuă.

Încercarea la fluaj constă în menținerea epruvetei la tensiune și temperatură constantă pe toată durata încercării. Scopul încercării este de a determina deformația remanentă după o anumită durată de solicitare.

Curba de fluaj, se obține prin măsurarea alungirii în funcție de timp și este cea din figura 2.1.,[13].

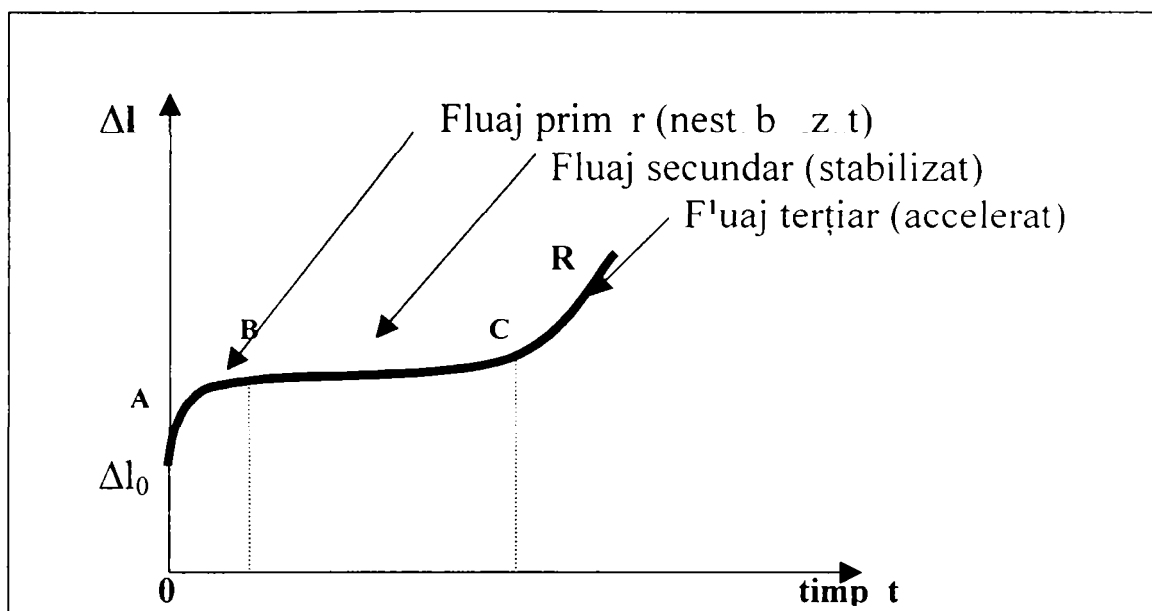


Figura 2.1. Curba caracteristică de fluaj.

unde:

- OA - alungire instantanee corespunzătoare unei alungiri elastice;
- AB - fluaj nestabilizat;
- BC - fluaj cu viteza de deformare minimă și practic constantă;
- CR - viteza fluajului crește puternic și continuu până la ruperea epruvete.

Instalațiile pentru efectuarea încercărilor la fluaj trebuie să asigure o forță și temperatură constantă pe toată durata încercărilor.

În general, odată cu creșterea tensiunii și a temperaturii viteza de deformare crește, iar durata corespunzătoare fluajului stabilizat se micșorează.

II.1.1.2 Factorii care influențează comportarea la fluaj

Adaosurile de elemente străine influențează puternic, chiar și în cantități mici rezistența la fluaj a metalului. Astfel, prezența Mo, V, W, Ti, Nb, Cr, Ni precum și Mn, Si, Cu, Al, B, Ce, ameliorează rezistența la fluaj. Acțiunea adaosurilor de aliere se manifestă prin ridicarea temperaturii de recristalizare, formarea unor carburi stabile sau a compușilor intermetalici și a unui aranjament atomic precedând formarea unor carburi stabile [20].

Comportarea la fluaj este evidențiată în diagrama din figura 2.2:

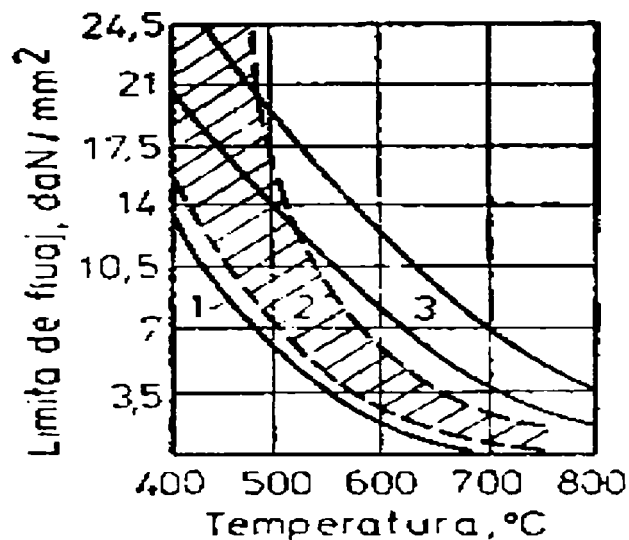


Figura 2.2. Comportarea la fluaj a oțelurilor carbon (1), feritice (2), austenitice (3), [20].

Conținutul maxim în elemente de aliere al acestor aliaje în funcție de conținutul în carbon, pentru ca ele să aibă eficiență maximă asupra rezistenței la fluaj, este dat de diagrama de mai jos, figura 2.3, din ea putând determina conținutul elementelor de aliere în funcție de cel de carbon, optime din punct de vedere al comportării la fluaj.

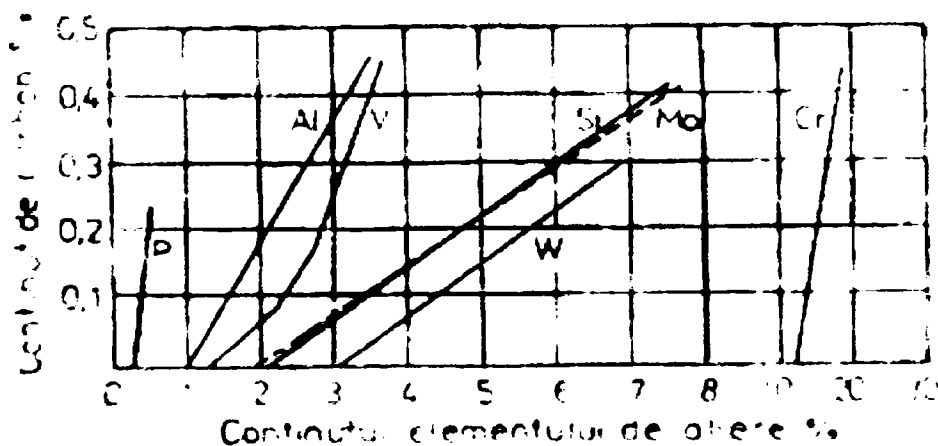


Figura 2.3. Conținuturi optime din punct de vedere al comportării la fluaj ale elementelor de aliere, [20].

Molibdenul - este elementul cel mai frecvent prezent în oțelurile cărora li se cere rezistență la fluaj. Acțiunea lui se face simțită de la un conținut foarte scăzut (~0,1%) și crește progresiv cu mărirea acestuia (de obicei 0,4 - 1% Mo). Modul în care molibdenul influențează viteza de fluaj este ilustrat în figura 2.4.

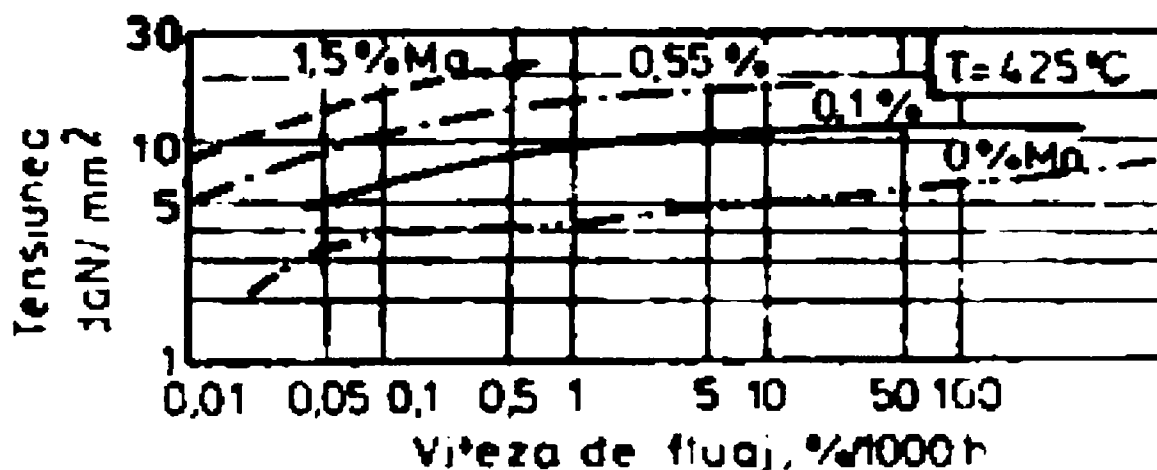


Figura 2.4. Influența conținutului de molibden asupra vitezei de fluaj. [20].

Prezența unor adausuri de 0,3 - 0,5% Mo în oțeluri cu conținut mediu în Cr precum și în cele care conțin Ni, micșorează tendința acestora spre fragilizarea de revenire.

V conferă rezistență la fluaj materialului metalic.

Ti, ca și Nb dealfel, face să avem la oțeluri o rezistență la fluaj ridicată.

II.1.1.3. Determinarea rezistenței tehnice de durată

Determinarea caracteristicii de rezistență tehnică de durată se face conform STAS 8894-81,[74], [75].

Conform STAS 8894/2-81, interpretarea datelor experimentale obținute la încercarea de rupere la fluaj a oțelului la temperaturi ridicate se poate realiza direct sau indirect prin metoda parametrică.

Etapele de calcul pentru metoda parametrică sunt:

- 1.-determinarea constantei de extrapolare;
- 2.-calculul parametrului de extrapolare;
- 3.-stabilirea corelației logaritmice a tensiunilor de încercare și valorile corespunzătoare ale parametrului de extrapolare;
- 4.-determinarea valorii medii a rezistenței tehnice de durată într-un interval de temperatură dat;
- 5.-determinarea valorii indicatorului de fiabilitate.

Determinarea valorii indicatorului de fiabilitate se poate face prin oricare din metodele parametrice enunțate mai jos prin generalizare, ținând cont de populațiile statistice descrise de repartiția Weibull. Repartiția Weibull este definită de trei parametri, iar funcția de repartiție are forma [38]:

$$F(t) = 1 - \exp \left[\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (2.1)$$

unde: β = parametrul de formă al repartiției

γ = parametrul de origine care de regulă este zero

η = parametrul de scară reală

Parametrul de scară reală are aceeași unitate de măsură ca și variabila aleatoare (timpul de rupere la fluaj). Pentru extrapolarea datelor experimentale de rupere la fluaj în baza relațiilor parametrice generalizatoare se înlocuiește valoarea variabilei t sau ecuația care definește parametrul de extrapolare P , specific fiecărei metode, cu valoarea parametrului de scară reală a repartiției Weibull. Parametrul de formă β este o mărime adimensională care definește alura curbelor de densitate ale repartiției Weibull.

La baza prelucrării și interpretării datelor experimentale, stă principiul că fluajul este un fenomen activat termic .

1. Metoda 1 (metoda directă)

Principiul metodei directe constă în aceea că, pentru o temperatură de încercare, există o corelație biunivocă între logaritmul tensiunii de încercare și logaritmul duratelor de rupere la fluaj.

Rezistența tehnică de durată este determinată de relația:

$$\log R_{r/t} = a_0 + a_1 (\log t) + a_2 (\log t)^2 \quad (2.2)$$

în care : t = durata până la rupere , în ore;

a_0, a_1, a_2 = constante experimentale dependente de compoziția, structura materialului și temperatura de încercare $T(^{\circ}\text{K})$.

Corelația biunivocă între logaritmul tensiunii de încercare și logaritmul duratelor de rupere la fluaj este prezentată în figura 2.5.

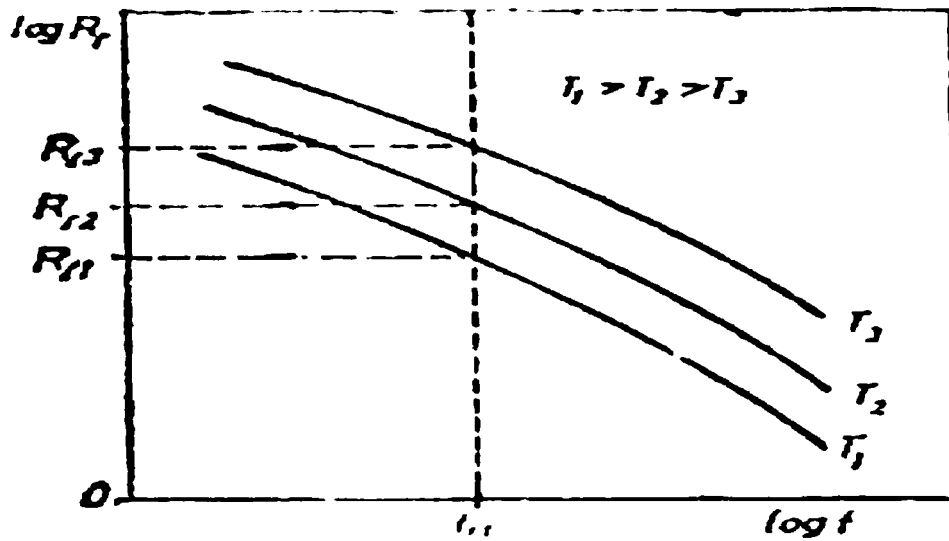


Figura 2.5. Metoda directă, [75].

2. Metoda 2 (Larson-Miller)

Principiul metodei constă în aceea că, dreptele izobare definite de datele experimentale de rupere la fluaj sunt concurente cu logaritmul duratei până la rupere $1/T$, care se află în coordonate.

Valoarea absolută medie a punctului de concurență a familiei de drepte izobare ($-\log t$) este egală cu valoarea constantei de extrapolare Larson-Miller (figura 2.6.)

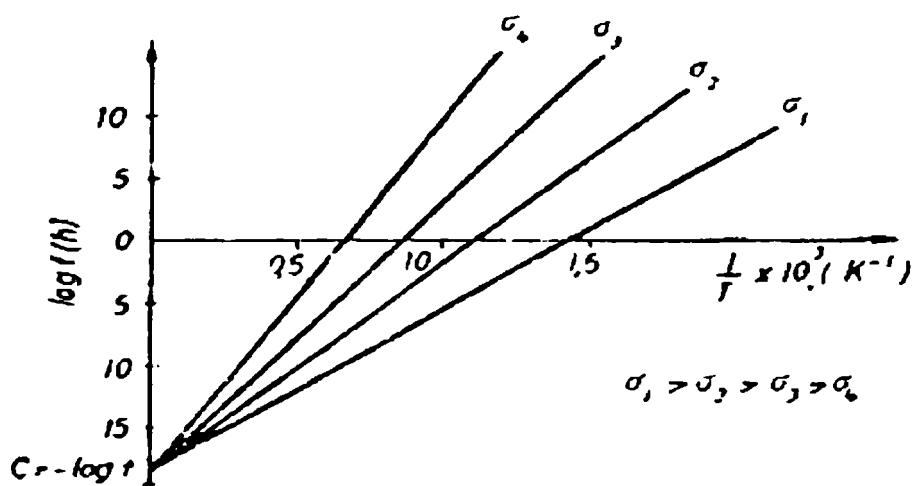


Figura 2.6. Metoda Larson-Miller, [75].

Parametrul de extrapolare este dat de relația:

$$P_1 = T (\log t + C) \tag{2.3}$$

unde: P_1 - este parametrul de extrapolare;

T - temperatura de încercare ($^{\circ}K$).

Rezistența tehnică de durată este determinată de relația:

$$\log R_{r,t} = a_0 + a_1 P_1 + a_2 P_1^2 \quad (2.4)$$

în care: a_0, a_1, a_2 constante experimentale dependente de compoziția, structura materialului și de temperatura de încercare $T(^{\circ}K)$.

3. Metoda 3 (Sherby-Dorn)

Principiul metodei constă în aceea că, dreptele izobare, determinate de datele experimentale de rupere la fluaj, sunt paralele cu logaritmul duratei până la rupere $1/T$, care se află în coordonate.

Valoarea pantei medii unghiulare a familiei de drepte izobare este egală cu valoarea constantei de extrapolare Sherby-Dorn (figura 2.7.)

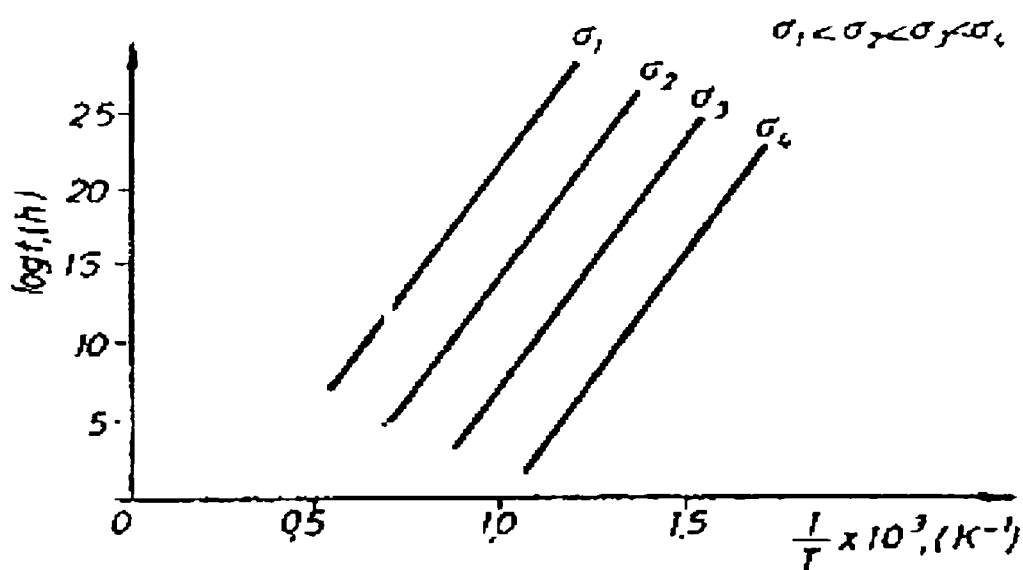


Figura 2.7. Metoda Sherby-Dorn, [75].

Parametrul de extrapolare este dat de relația:

$$P_2 = \log t + B/T \quad (2.5)$$

- în care:
- P_2 = este parametrul de extrapolare;
 - T = temperatura de încercare ($^{\circ}K$);
 - t = durata până la rupere (h);
 - B = constanta de extrapolare, proprie fiecărui material.

Rezistența tehnică de durată este dată de relația:

$$\log R_{v,t} = a_0 + a_2 P_2 + a P_2^2 \quad (2.6)$$

4. Metoda 4 (Manson –Haferd)

Principiul metodei constă în aceea că dreptele izobare definite de datele experimentale de rupere la fluaj sunt concurente cu logaritmul duratei până la rupere T , care se află din coordonate.

Valorile medii ale coordonatelor punctului de concurența sunt egale ,cu valorile constantelor de extrapolare Manson-Haferd (figura 2.8).

Parametrul de extrapolare este determinat de relația:

$$P_3 = (T-T_a) / (\log t - \log t_a) \quad (2.7)$$

in care: - P_3 parametrul de extrapolare;

- T temperatura de încercare (K);

- t durata până la rupere (h);

- T_a, t_a constante de extrapolare proprii fiecărui material.

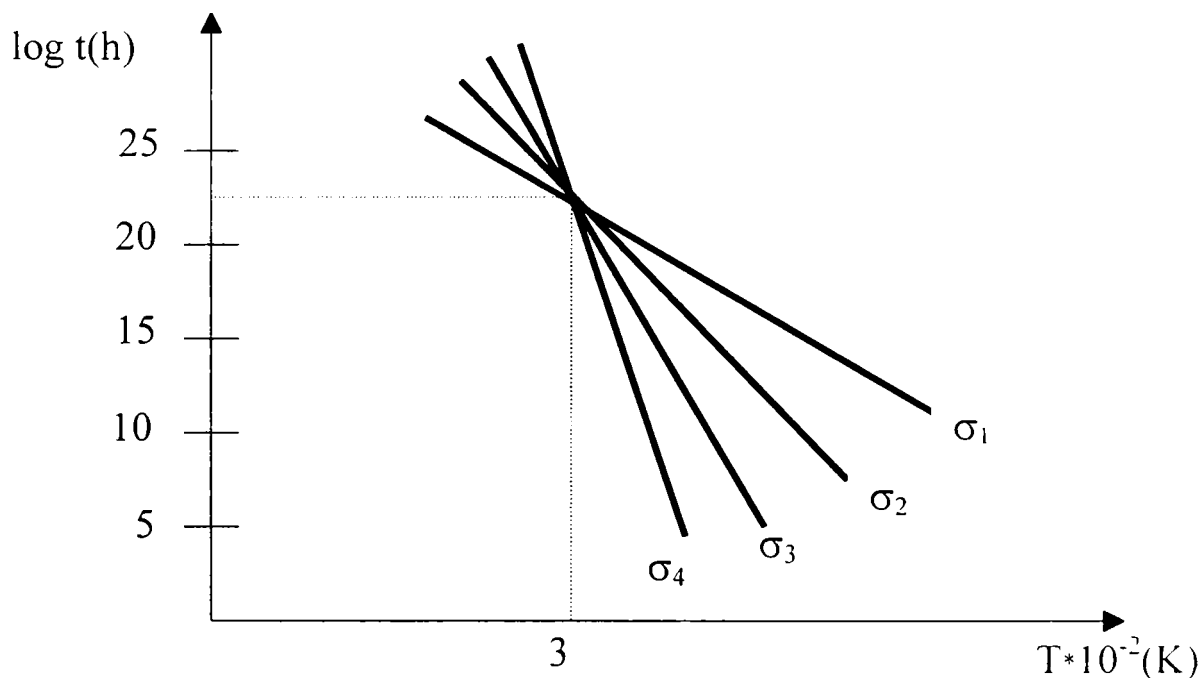


Figura 2.8. Metoda Manson –Haferd, [75].

Rezistența tehnică de durată este determinată de relația:

$$\log R_{r/t} = a_0 + a_1 P_3 + a_2 P_3^2 \quad (2.8)$$

5. Metoda 5 (A.Constantinescu), [75]

Principiul metodei constă în aceea că, dreptele izobare definite de datele experimentale de rupere la fluaj, sunt paralele cu logaritmul duratei până la rupere t , care se află in coordonate.

Valoarea pantei medii unghiulare a familiei de drepte izobare este egală cu valoarea constantei de extrapolare (figura 2.9).

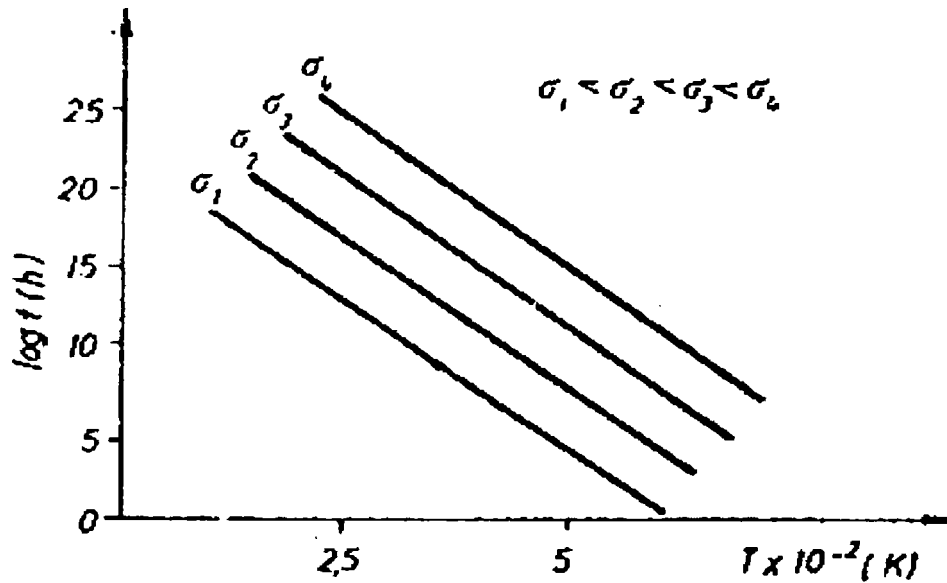


Figura 2.9. Metoda A. Constantinescu.

Parametrul de extrapolare este dat de relația :

$$P_4 = \log t + \alpha T \quad (2.9)$$

în care: - P_4 parametrul de extrapolare;

- T temperatura de încercare ($^{\circ}K$);

- t durata până la rupere (h);

- α constanta de extrapolare, proprie fiecărui material.

Rezistența tehnică de durată este determinată de relația:

$$\log R_{r/t} = a_0 + a_1 P_4 + a_2 P_4^2 \quad (2.10)$$

$$6. \text{ Metoda Murry} \quad \log t = F_0/T + F_1 \quad (2.11)$$

$$F_1 = n F_0 + P \sigma \quad (2.12)$$

$$F_0 = \log t + P \sigma / 1/T - n \quad (2.13)$$

$$7. \text{ Metoda Manson - Succop} \quad P_3 = \lg t_R + \alpha_{ned} \times T \quad (2.14)$$

Metodele expuse mai sus pot fi utilizate atât grafic cât și analitic. Pentru aprecierea posibilității prelungirii duratei de exploatare a unei conducte peste durata de proiectare, este necesar determinarea rezistenței tehnice de durată conform CR 29-75. Metodele parametrice au la bază faptul că fenomenul de fluaj este un fenomen activat termic. Astfel, la o durată de încercare mai mică la temperatură ridicată, se obține aceeași acțiune termică ca și în cazul unor durate

de încercare mai lungi la o temperatură mai coborâtă, în condițiile aceleiași tensiuni σ , dacă parametru timp-temperatură are aceeași valoare. Parametrul timp-temperatură, variază cu tensiunea σ , [41].

Constantele de extrapolare se determină cu ajutorul dreptelor izostatice (σ constant) în sisteme $1/T - \lg t_R$, pentru metoda Larson-Miller și sistemul $T - \lg t_R$ pentru metoda Manson-Succop, Manson-Haferd.

Atunci când trasarea se realizează în sistemul de coordonate $P - \lg \sigma$ se pot obține coeficienți de corelație pentru toate metodele și deci se pot stabili ecuațiile izotermelor pentru temperaturi de 480-600 °C. Rezistența tehnică de durată $R_{t/h}$, se poate determina pentru temperaturi între 480-600 °C, prin calcularea coordonatelor izotermelor corespunzătoare unui anumit model.

În cazul unor temperaturi de peste 350 °C, se iau în calculul de dimensionare caracteristicile de fluaj, ținându-se cont de tipul elementelor, de solicitări, de condiții impuse ISCIR. Coeficienții de siguranță impuși și modul de calcul, se obțin urmărind algoritmi de calcul ASME, ISCIR, etc. Tensiunile medii stabilite pentru materialul metalic rezultă astfel implicit.

Tensiunea admisibilă de calcul σ_d este:

$$\sigma_d = \sigma_K / C \quad (2.15)$$

în care: - σ_K - este caracteristica de fluaj corespunzătoare duratei și temperaturii de serviciu impuse

- C - coeficientul de siguranță

Calcululele care se efectuează, conform [41], au în vedere aspecte legate de fiabilitatea structurii proiectate și anume:

- caracteristicile de fluaj au fost determinate folosind metode parametrice de extrapolare, care reflecta mai mult sau mai puțin satisfăcător comportarea materialului în condiții de solicitare la cald;

- tensiunile medii efective la care lucrează materialul sunt practic egale cu valorile de calcul stabilite pe baza regulilor de dimensionare; concentratorii de tensiune se atenuază prin soluții constructive sau ca urmare a deformațiilor locale prin fluaj.

În aceste condiții, modul de distribuție a rezultatelor experimentale utilizate la determinarea curbei de bază a unui oțel termorezistent se prezintă ca în schema din figura 2.10. Această schemă se poate prezenta în plan ca în figura 2.11, în care se arată cazul unei piese proiectată să funcționeze în condiții de temperatură și durată deserviciu corespunzătoare unei valori P_{1s} a parametrului $P_1=f(\sigma_0)$ și solicitate cu o tensiune efectivă σ_d

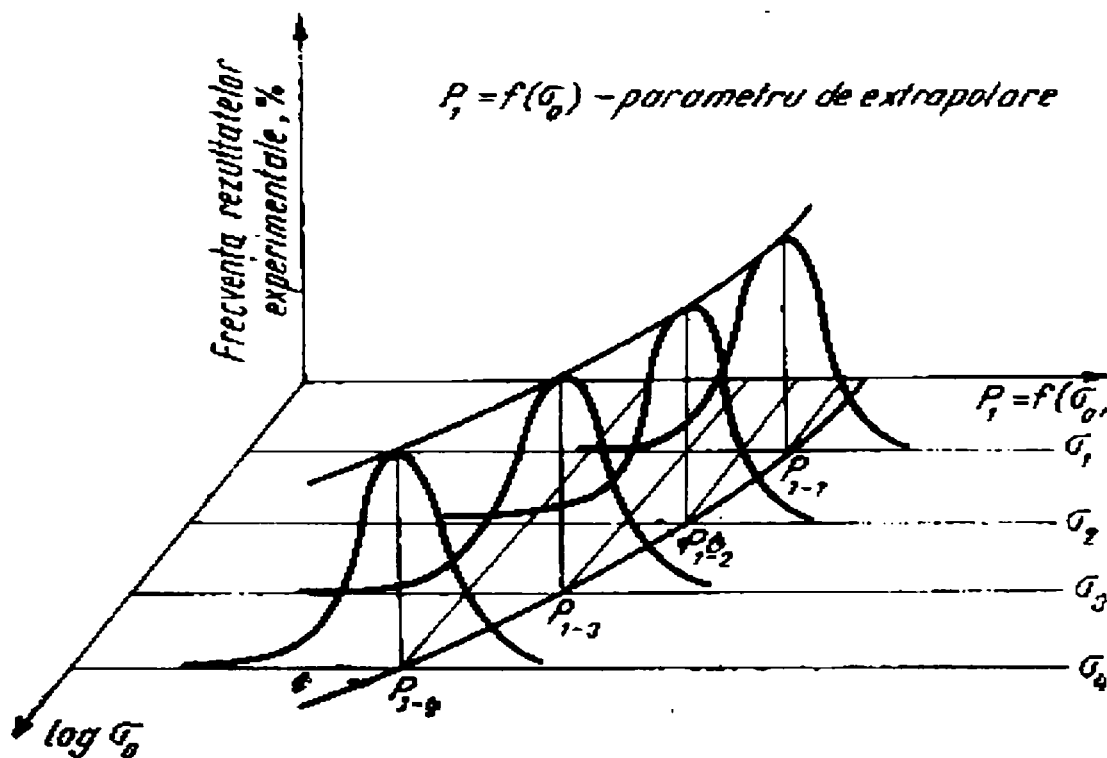


Figura 2.10. Modul de distribuție rezultatelor experimentale în determinarea curbei de bază la un oțel termorezistent, [41].

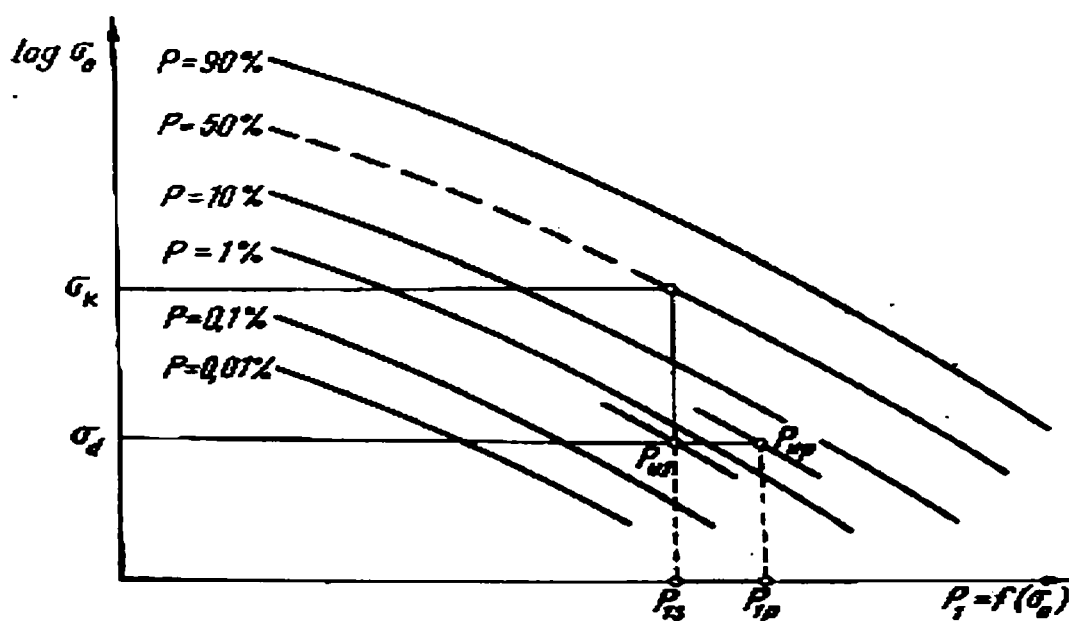


Figura 2.11. Reprezentarea în plan a figurii 2.10., [41].

Valoarea tensiunii σ_d se calculează cu relația (2.15).

Ținând cont de definiția fiabilității, în condițiile de funcționare, există o probabilitate de defectare, de rupere P_{ul} a piesei analizate și atunci termenul de funcționare în siguranță putem spune că este depășit.

Din acest motiv, ceea ce se dorește este prelungirea duratei de serviciu peste durata obținută prin calcul.

Conform diagramei din figura 2.11, ecuația presupune mărirea corespunzătoare a parametrului P_1 de la valoarea P_{1s} la valoarea P_{1p} , ceea ce atrage după sine o scădere a siguranței în exploatare ca urmare a creșterii probabilității de defectare (rupere) la valoarea P_{up} .

Din analiza unor piese din oțel 16 Mo 3 (STAS 8184-80) se ajunge la următoarele concluzii, care se consideră că au un pronunțat caracter general:

- în cazul dimensionării la fluaj, conform regulilor din codurile de calcul ale cazanelor, se admite o probabilitate de rupere la terminarea duratei de serviciu de sub 1%.

- probabilitatea de rupere la fluaj variază în timpul funcționării, în cazul utilizatorilor de lungă durată, diferind față de stadiul inițial cu câteva ordine de mărime; acest fapt justifică controlul periodic al stării elementelor sistemelor care lucrează în condiții de fluaj;

- probabilitatea de rupere crește sensibil în cazul prelungirii utilizării materialului peste durata de serviciu de calcul, chiar cu fracțiuni relativ mici din durata inițială;

- fiabilitatea pieselor care lucrează în condițiile de fluaj este, în general, mai redusă decât fiabilitatea pieselor la care fluajul are influența neglijabilă și la care dimensionarea are la bază caracteristici ca: limita de curgere la cald, rezistența la rupere, etc.

Calculul deformării la fluaj se face cu formula:

$$R_{fx} = \frac{D_x - D_0}{D_0} 100 \quad [\%] \quad (2.16)$$

Calculul vitezei de fluaj se face cu relația:

$$V_{fx} = (D_x - D_{x-1}) / D_{x-1} (t_x - t_{x-1}) \quad [\text{mm/mmh}] \quad (2.17)$$

unde : $-D_x$ = diametrul țevii după x intervale de timp la 20°C [mm];

$-D_{x-1}$ = diametrul precedent la 20°C [mm];

$-D_0$ = diametrul inițial al materialului nesupus la sarcină la 20°C [mm];

$-t_x$ = durata de serviciu după x intervale de timp [h];

$-t_{x-1}$ = durata de serviciu precedentă [h].

Viteza de fluaj este un indicator bun de analiză a duratei de viață, deoarece la valori de $10-20 \times 10^{-8}$ mm/mmh avem fenomenul stabil de fluaj, iar dacă depășesc valori de 90×10^{-8} mm/mmh, părțile analizate trebuie înlocuite. Tot înlocuirea părților analizate se efectuează și atunci când se depășește valoarea de 1% a deformării la fluaj.

Am utilizat o replică metalografică la cazanul de 420 t/h și la conducta de abur viu, unde am avut și condițiile necesare pentru a monta reperele și posibilitatea de măsurare. Conducta de abur viu are dimensiunea de $\varnothing 356 \times 50$ și este realizată din 12CrMoV3, iar parametri de lucru sunt:

- presiunea de lucru $p_n = 140$ bar
- temperatura de lucru $T_n = 540^\circ\text{C}$

Disponerea probelor am realizat-o ca în figura 2.12.

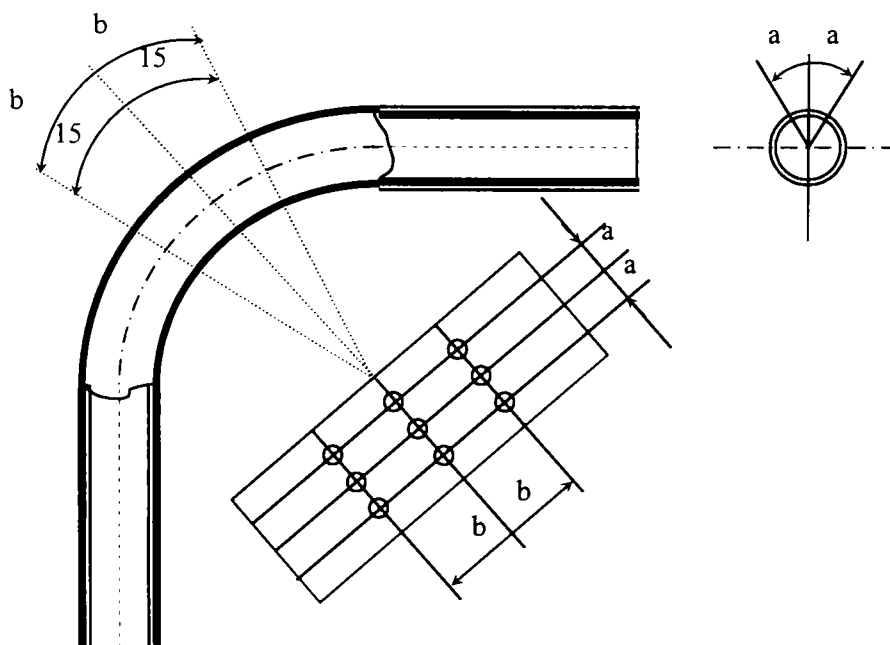


Figura 2.12. Mod de dispunere a reperelor și de măsurare a unui cot.

În urma măsurării cu ultrasunete, diametrul a ajuns la valoarea de 356,55 mm, după aproximativ 17500 h de funcționare.

Înlocuind în relațiile de mai sus se obțin valorile:

- pentru deformația la fluaj $R_{fx} = 15,45 \%$
- pentru viteza de fluaj $V_{fx} = 8,83 \times 10^{-8} \text{ mm/mmh}$ (față de $t=0 \text{ h}$)
 $V_{fx} = 9,40 \times 10^{-8} \text{ mm/mmh}$

Deci, fenomenul de fluaj este stabil.

II.1.2 Analize structurale

Analizele structurale ne dau imaginea asupra structurii oțelului. Această imagine se poate obține direct prin prelucrarea probelor și fotografierea ulterioară sau indirect utilizând microscopul electronic și replicile metalografice.

II.1.2.1 Analize structurale metalografice

În programul de investigații un punct important îl ocupă analiza structurală calitativă și cantitativă a oțelurilor analizate [54].

Am urmărit în cadrul analizelor structurale, dimensiunea medie de grăunte, proporția, natura, suprafața specifică și numărul de particule pe unitatea de volum pentru constituenții structurali (ferită, perlită și bainită).

Proprietățile mecanice sunt dependente de tipul și mărimea grăunților structurii. Din analiza determinării metalografice se pot trage concluzii importante despre calitatea materialului, tratamentul termic, stadiul de degradare, etc.

Practica metalografică face posibilă determinarea atât calitativă cât și cantitativă a constituenților structurali.

În funcție de măsurători avem următoarele determinări metalografice cantitative: - măsurarea lungimilor liniare;

- determinarea mărimii grăunților;
- determinarea cantității constituenților structurali.

Pentru gama oțelurilor carbon de calitate, sunt determinate cantitățile procentuale ale constituenților structurali utilizând metoda intersecției liniare.

Conform acestei metode se trage o linie dreaptă de lungime cunoscută peste domeniul cercetat și prin raportarea porțiunilor de segmente care acoperă constituentul structural considerat de lungimea totală a dreptei, se obține conținutul procentual căutat.

$$\alpha_{\text{vol}} = \varepsilon \ln/L \cdot 100 \quad (\%) \quad (2.18)$$

unde: L = lungimea scării gradate

Precizia determinării crește cu numărul de citiri efectuate.

Obiectul analizei - Materialul analizat

În urma unei avarii ce a avut loc la un cazan de la o uzină termoelectrică, cu ocazia reparației efectuate, au fost prelevate trei ștuțuri de țevă din economizor și patru ștuțuri de țevă din perete plafon spate.

Din aceste ștuțuri au fost prelevate 7 probe metalografice transversale reprezentative în vederea efectuării analizei.

Marcarea probelor metalografice este dată în tabelul nr.1.

Analiza realizată pe probele prelevate, a constat în:

- 1.-control dimensional;
- 2.-aspect macroscopic;
- 3.-identificarea pe cale spectrală a mărcii de oțel;
- 4.-analiza metalografică.

Rezultatele analizei

Pe probele prelevate, în urma analizei macroscopice au fost identificate importante pierderi în dimensiune a conductelor, procese evidente de coroziune și degradare a materialului metalic . S-a trecut apoi la identificarea tipului de material

La identificarea pe cale spectrală a mărcilor de oțel din care au fost executate probele studiate, s-a constatat că acestea se încadrează în mărcile de oțel utilizate, respectiv OLT 45 K3 pentru probele prelevate din țevile de economizor și 16 Mo3 pentru probele prelevate din țevile de perete plafon spate.

Acest lucru este consemnat și în buletinul de analiză spectrală calitativă. Probele prelevate au fost supuse lustruirilor și atacurilor succesive cu reactivi (de câte 3 ori) după care au fost studiate la microscopul metalografic MC 6 la mărimi de 100x, 250x și 150 x, realizându-se micrografiile corespunzătoare..

Reactivul folosit a fost nital 1 %.

Asupra probelor au fost efectuate următoarele operații:

Control dimensional, Aspect macroscopic, Identificarea pe cale spectrală a mărcii de oțel, Analiza metalografică

MARCAREA PROBELOR

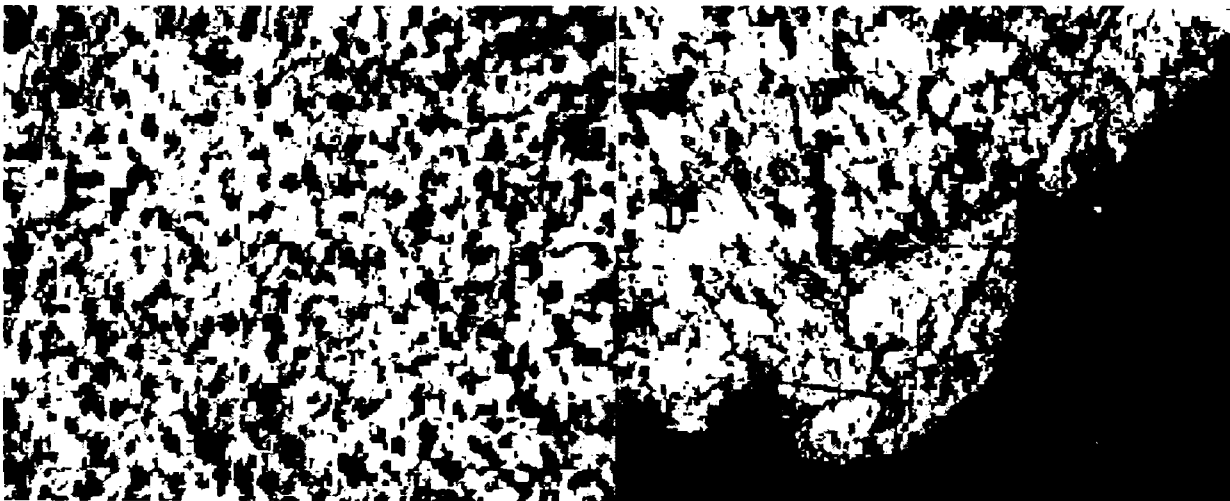
Tabelul II.1

Marcaj probă	Subansamblu	Dimensiuni	Material	Observații
1	Economizor Felia 11 țeava nr.3	Ø 32 x 4,5	OLT 45 K ₃	Erodată Spartă
2	Economizor Felia 21 țeava nr.3	Ø 32 x 4,5	OLT 45 K ₃	Erodată Spartă
3	Economizor Felia 22 țeava 3	Ø 32 x 4,5	OLT 45 K ₃	Erodată Spartă
4	Supraîncălzitor spate plafon țeavă nr.81	Ø 38 x 4,5	16 Mo3	Erodată Spartă
5	Spraîncălzitor spate plafon țeavă nr.82	Ø 38 x 4,5	16 Mo3	Erodare punctiforă Străpunsă
6	Supraîncălzitor spate plafon țeavă nr.83	Ø 38 x 4,5	16 Mo3	Erodată Spartă
7	Supraîncălzitor spate plafon țeavă nr.84	Ø 38 x 4,5	16 Mo3	Erodare punctiforă Străpunsă

Proba nr.1 OLT 45 K3

Proba prezintă eroziuni exterioare în curbă diametrul exterior al acesteia scăzând de la \varnothing 32 mm la \varnothing 27,5 mm. În urma erodării, grosimea peretelui a scăzut la 0,5 mm după care a urmat o rupere pe o lungime de 20 mm, fără smulgere de material.

În secțiunea studiată s-a constatat că, structura materialului este feritoperlitică, grăunții de perlită fiind uniform distribuiți în masa de bază feritică. Proba prezintă coroziune la limită de grăunte precum și cavități corozive spre interiorul țevii.



Proba nr.1 100:1

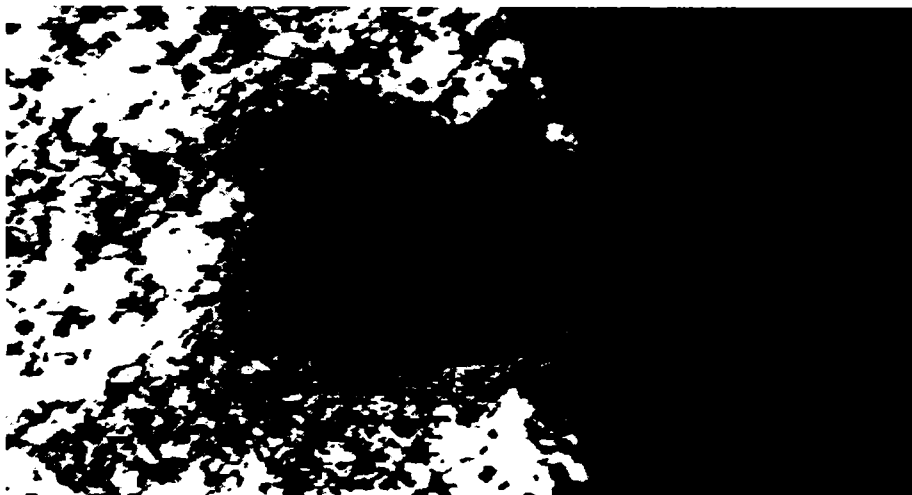
Struktură ferito-perlitică

Atac nital 1%

Proba nr.1 150:1

Coroziune la limitele de grăunți

Atac nital 1%



Proba nr.1 150:1

Cavitate corozivă

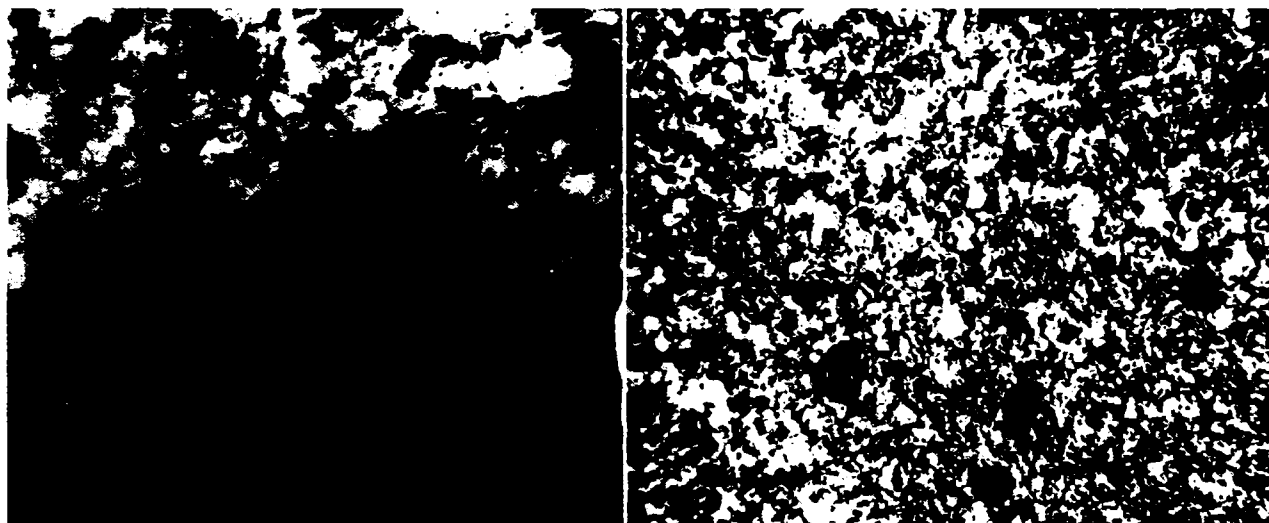
Atac nital 1%

Proba nr.2 OLT 45 K3

La această probă erodarea în curbă a condus la reducerea diametrului exterior de la \varnothing 33 mm la \varnothing 26 mm. Grosimea peretelui țevii a ajuns la 0,3 mm. În această zonă s-a produs o rupere de material pe o suprafață de 24 x13 mm..

Această probă are de asemenea structură feritoperlitică. În zona spărturii s-a constatat prezența incluziunilor nemetalice pe fondul feritoperlitic.

De asemenea se observă la această probă fenomenul de coroziune marginală,interioară.



Proba nr.2 150:1

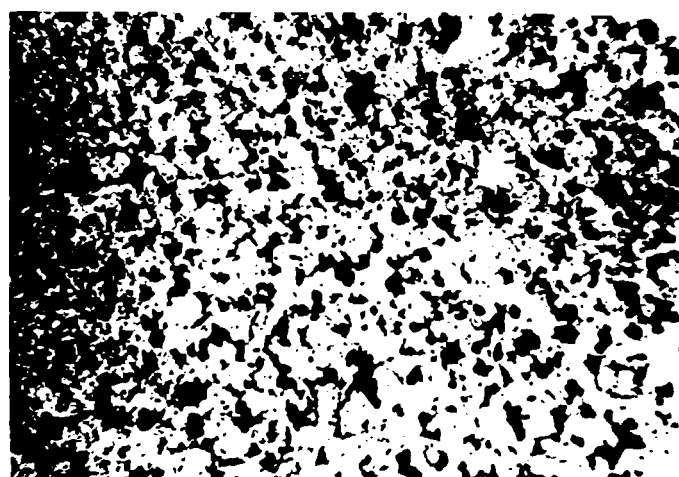
Cavitate corozivă

Atac nital 1%

Proba nr.2 100:1

Structura materialului

Atac nital 1%



Proba nr.2 100:1

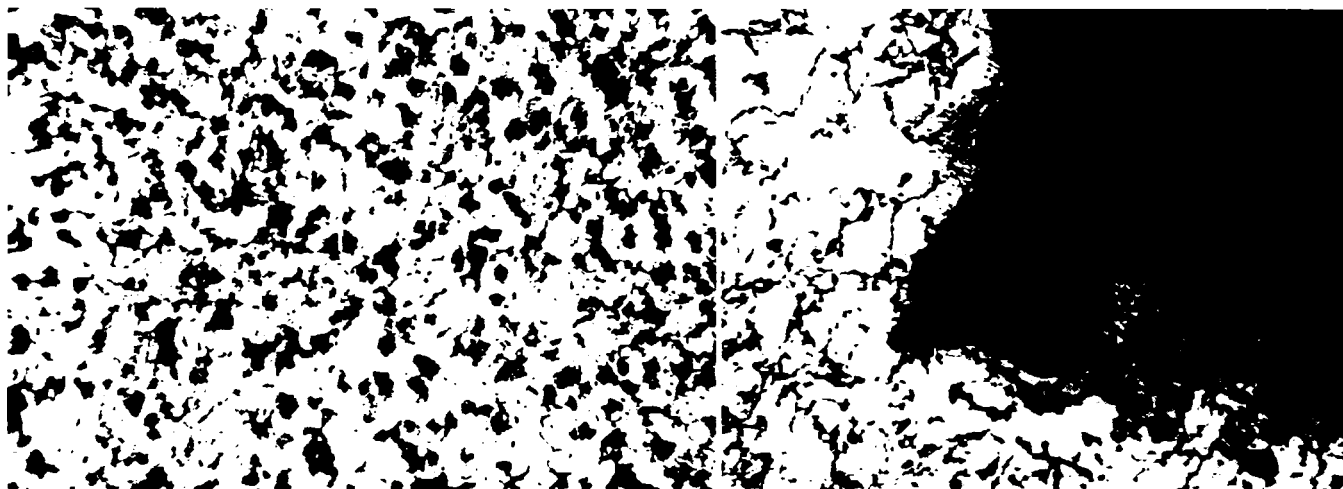
Structura materialului

Atac nital 1%

Proba nr.3. OLT 45 K3

Și această probă prezintă erodarea materialului în imediata vecinătate a curbei, diametrul exterior scăzând de la \varnothing 32 mm la \varnothing 27,3 mm, iar grosimea de perete al țevii ajungând la 0,7 mm. În această zonă s-a produs o rupere cu smulgere de material pe o suprafață de 24 x 16 mm..

Explorarea suprafeței probei studiate a permis observarea unei structuri preponderent feritice și prezența perlitei fine uniform distribuită. Și la această probă este prezent fenomenul de coroziune marginal interioară.



Proba nr.3 100:1

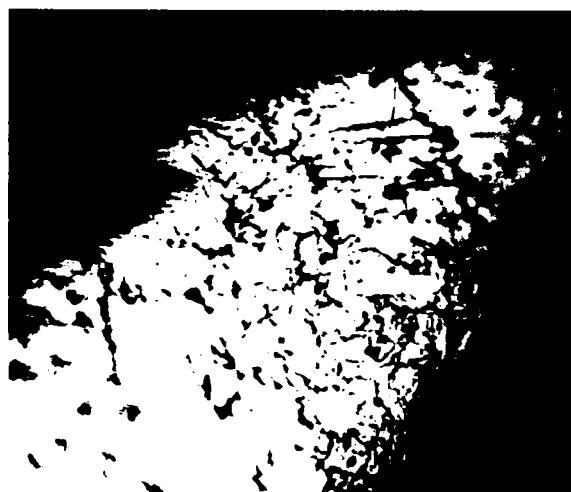
Structura materialului

Atac nital 1%

Proba nr.3 150:1

Cavitate corozivă,

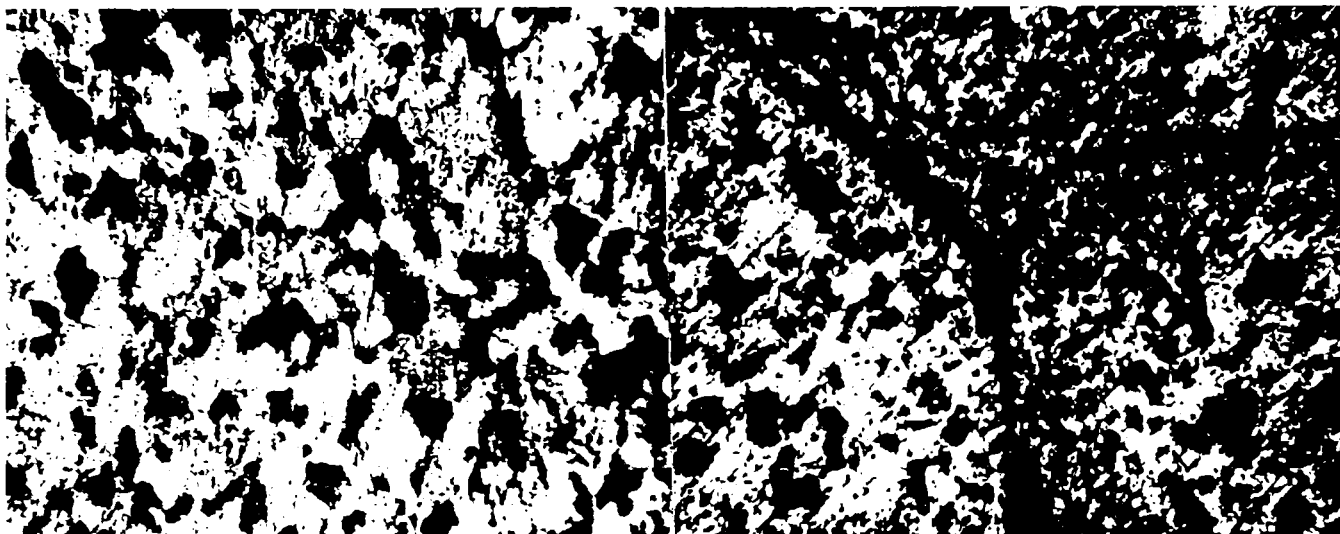
Coroziune marginală, Atac nital 1%



Proba nr.3 150:1

Aspect de smulgere

Atac nital 1%



Proba nr.4 100:1
Structura materialului de bază
Atac nital 1%

Proba nr.4 150:1
Fisuri în materialul de bază
Atac nital 1%

Proba nr. 4. 16Mo3

Proba nr.4 prezintă erodare exterioară. Diametrul exterior al probei a scăzut de la \varnothing 38 mm la \varnothing 35 mm iar grosimea de perete în această zonă a ajuns la 0,4 mm. În această zonă a avut loc o rupere fără smulgere de material pe o lungime de 67 mm.

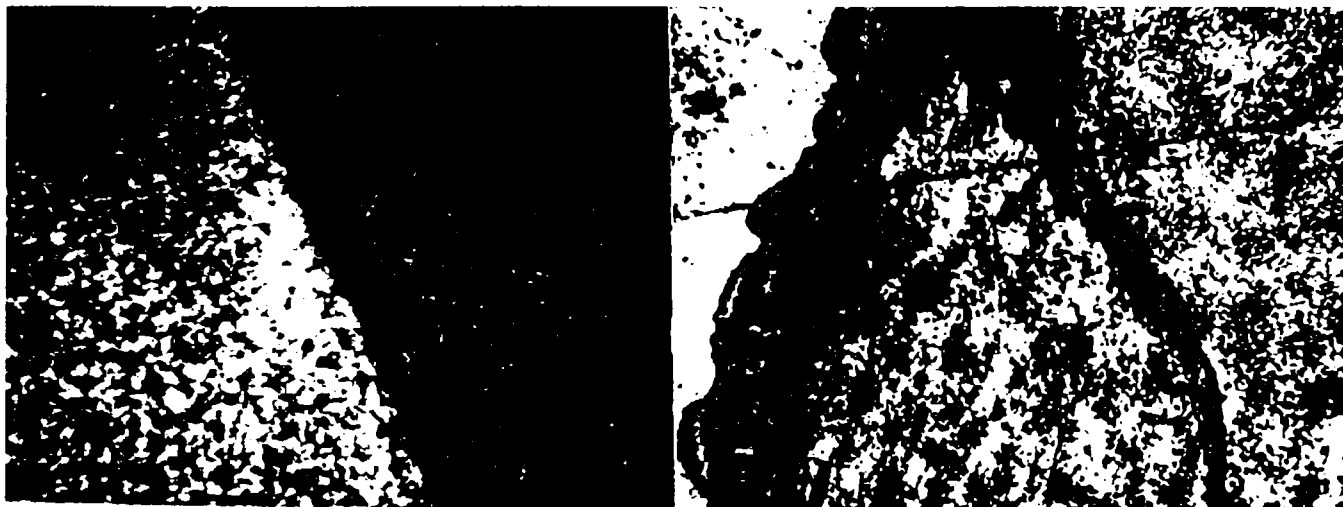
Structura materialului țevii este feritoperlitică caracteristică mărcii de oțel din care a fost confecționată.

În zona influențată termic a avut loc o transformare de fază structura având aspect bainitic.

La această probă s-a constatat prezența cavitațiilor corozive cu fisuri radiale intercrystaline.

De asemenea s-a constatat că proba prezintă nepătrundere la rădăcină în punctul de îmbinare al platbandei de etanșare cu țeava.

Totodată în zona influențată termic a avut loc fisurarea materialului țevii



Proba nr.4 100:1

Nepătrundere

Atac nital 1%

Proba nr.4 150:1

Nepătrundere și fisură în ZIT

Atac nital 1%



Proba nr.4 150:1

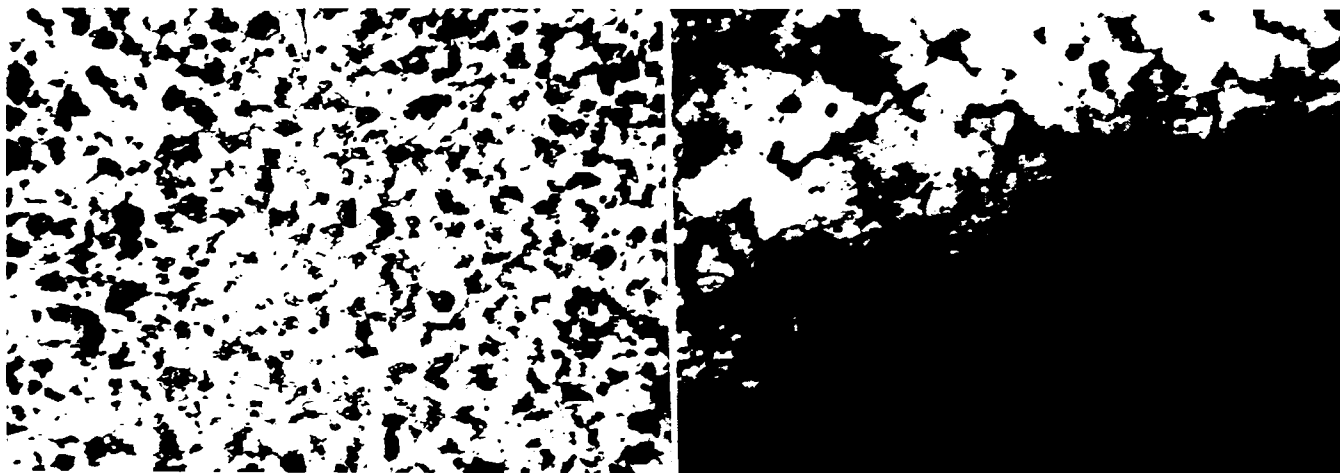
Fisurare corozivă interioară

Atac nital 1%

Proba nr.5. 16Mo3

Proba marcaj nr. 5 prezintă erodarea exterioară străpunsă în puncte în zona depunerii materialului de adaos la îmbinarea platbandei de etanșare cu țeava. Diametrul exterior a scăzut la \varnothing 36,5 mm. Erodarea a avut loc pe o lungime de 40 mm. De asemenea proba mai prezintă și un por diametral opus zonei erodate, por situat în cordonul de sudură.

Proba nr.5 are materialul de bază al țevii cu structură feritoperlitică. În zona influențată termic s-a observat prezența nepătrunderii la rădăcină la îmbinarea platbandei cu țeava, cât și o fisură amorsată în nepătrundere. Totodată s-a constatat prezența coroziunii marginale interioare cât și a coroziunii intercrystaline.



Proba nr.5 100:1

Nepătrundere a sudurii

Atac nital 1%

Proba nr.5 150:1

Coroziune marginală interioară

Atac nital 1%

Proba nr. 6. 16Mo3

Această probă a fost supusă erodării în zona de îmbinare a platbandei de etanșare cu țeava pe o lungime de 60 mm, diametrul exterior scăzând la \varnothing 34,5 mm. Grosimea peretelui țevii a scăzut la 0,4 mm după care a urmat o rupere a materialului pe o lungime de 26 mm.

Structura materialului țevii din care a fost prelevată proba marcaj nr.6 este feritoperlitică. În zona ruperii proba prezintă cavități corozive.

De asemenea este prezent fenomenul de coroziune tensofisurantă. În zona influențată termic proba are o structură bainitică și prezintă nepătrundere la rădăcină.



Proba nr.6 150:1

Coroziune tensofisurantă

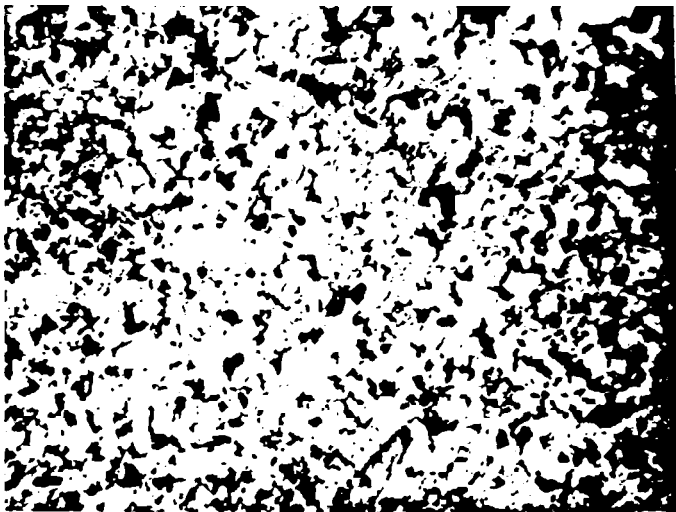
Atac nital 1%



Proba nr.6 100:1

Cavitație corozivă

Atac nital 1%



Proba nr.6 100:1

Structura materialului de bază

Atac nital 1%



Proba nr.6 150:1

Nepătrundere a sudurii

Atac nital 1%

Proba nr.7. 16Mo3

La proba marcaj nr.7 s-a constatat o reducere a diametrului exterior de la \varnothing 38 mm la \varnothing 36 mm prin erodare. Procesul de erodare s-a produs pe o lungime de 45 mm sub un unghi de aproximativ 60° față de axa țevii străpungând în 5 puncte peretele acesteia.

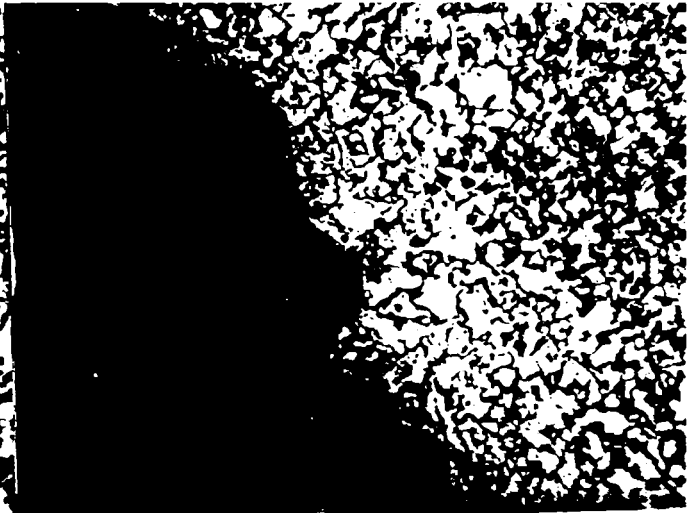
Proba nr.7 prezintă cavități corozive marginale interioare. Structura materialului de bază este feritoperlitică. Și această probă prezintă fenomenul de nepătrundere la rădăcină. În zona influențată termic s-a observat prezența incluziunilor nemetalice globulare.



Proba nr.7 100:1

Structura materialului de bază

Atac nital 1%



Proba nr.7 100:1

Cavitație corozivă

Atac nital 1%



Proba nr.7 150:1

Nepătrundere a sudurii și incluziuni

Atac nital 1%



Proba nr.7 250:1

Structura în ZIT

Atac nital 1%

Încercările mecanice care pun în evidență comportarea materialelor metalice la temperaturi ridicate sunt:

- limita de curgere și duritatea care sunt sensibile la deformarea plastică;
- încercarea la fluaj prin care se obțin indicații asupra rezistenței la fluaj și implicit ductilității pe baza alungirii și gâtuirii la rupere sau prin încercări pe epruvete Charpy V;

-numărul de cicluri la oboseală oligociclică pentru a putea caracteriza fenomenul de epuizare a materialului, comportarea la oboseală oligociclică;

-analiza metalografică permite evidențierea structurii și a clasei de depreciere;

-evidențierea mărimilor fizice, densitate, rezistivitate electrică, modulul de elasticitate, etc.;

-analiza deformației inelastice care împreună cu rezultatele de la fluaj permit a răspunsului la tensiune și deformație a materialului metalic.

Pe baza acestor date obținute din încercările mecanice, se pot aplica diferite metode (cele 7 prezentate la paragraful II.1.1.2.) și criterii pentru determinarea rezervei de viață cum ar fi:

-criteriul deformației la fluaj;

-criteriul rezervei de rezistență la care după normativele de calcul se adoptă valoarea 1,5 indiferent de durata de exploatare;

-criteriul caracteristicilor mecanice prin care materialul trebuie să satisfacă în momentul analizei cerințele normativelor în vigoare;

-criteriul densității materialelor la care dacă se indentifică pori cu dimensiunea mai mare de $4\mu\text{m}$ dispuși în lanț la limita grăunților este necesară înlocuirea elementului activ;

-criteriul bazat pe existența fisurilor, la care în funcție de normative fisurile pot fi acceptate sau nu.

II.1.2.2. Influența duratei de utilizare asupra structurii materialelor și asupra proprietăților mecanice

Oțelul 12CrMoV3 din care este confecționată conducta analizată, este supus atât la solicitări mecanice cât și termice. Faptul că solicitarea termică este dominantă, este evidențiat și de rezultatele determinărilor cantitative asupra constituenților structurali ale probelor prelevate la anumite intervale de timp.

S-a constatat că pe măsura ce durata de utilizare a materialului din care este confecționată conducta crește, în structură crește concentrația în ferită. Această creștere a feritei este în detrimentul bainitei

Apariția feritei în structură în proporții atât de ridicate, duce la diminuări importante ale rezistenței de durată.

Rezultatele pe baza cărora am construit graficele, confirmă datele obținute și de alți autori[22].

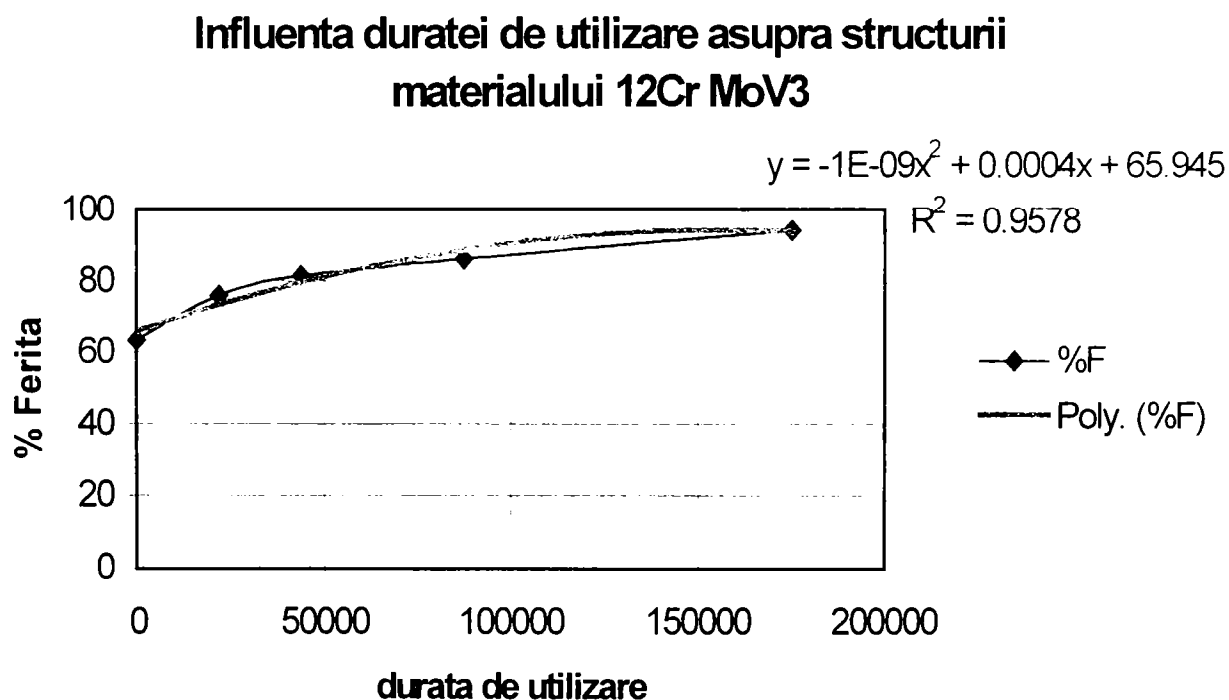


Figura 2.13. Influența duratei de utilizare asupra structurii materialului 12CrMoV3 supus la solicitări termice(%ferită).

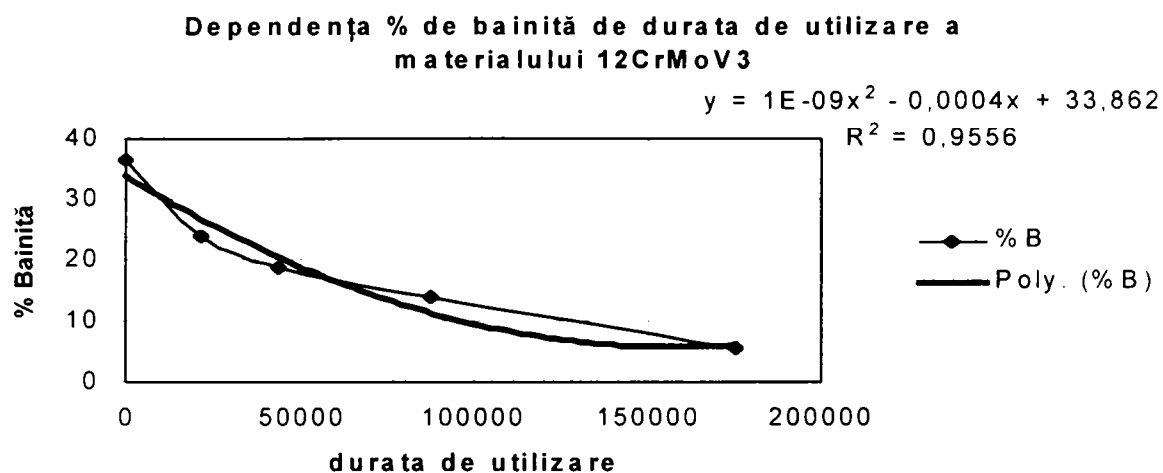


Figura 2.14. Influența duratei de utilizare supra structurii materialului 12CrMoV3 supus la solicitări termice (%bainită).

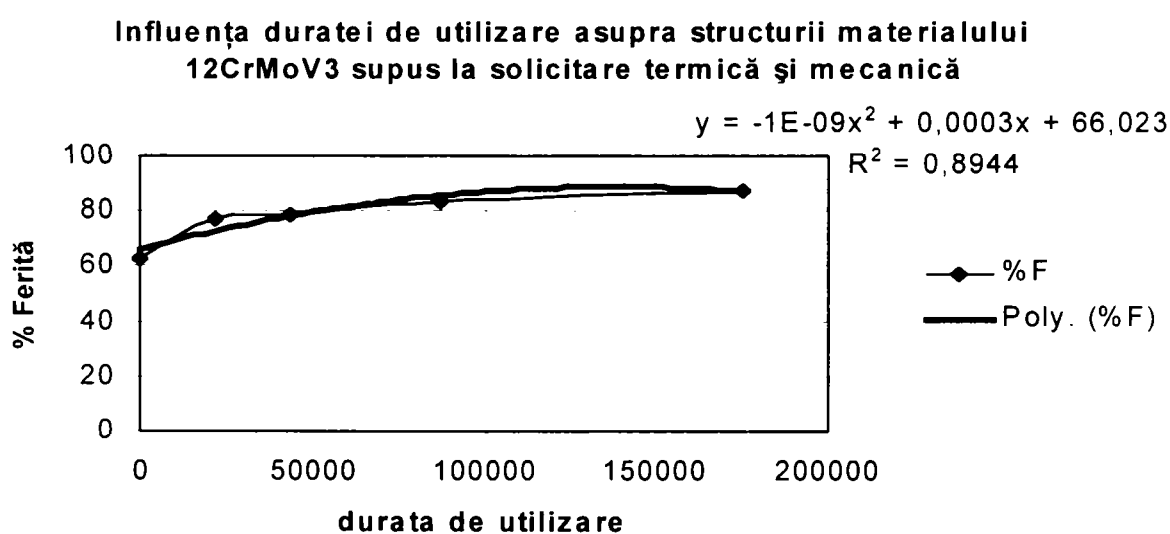


Figura 2.15. Influența duratei de utilizare supra structurii materialului 12CrMoV3 supus la solicitări termice și mecanice (%ferită).

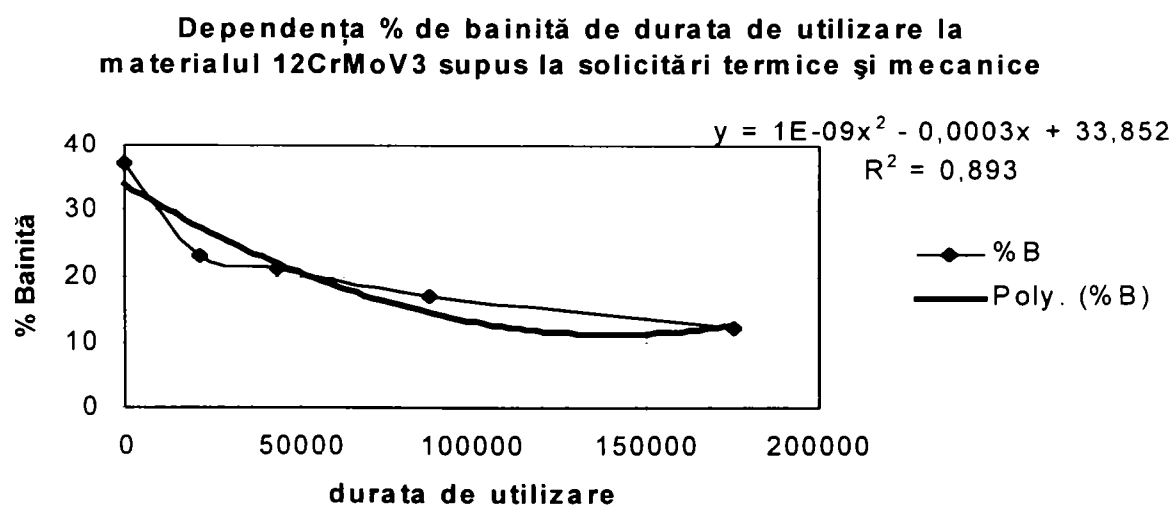


Figura 2.16. Influența duratei de utilizare supra structurii materialului 12CrMoV3 supus la solicitări termice și mecanice (%bainită).

II. 2. Metode nedistructive de control

Principalele metode nedistructive de control utilizate la controlul elementelor active sunt:

- cu radiații penetrante;
- cu ultrasunete;
- cu lichide penetrante;
- cu pulberi magnetice;
- cu replici metalografice pentru determinarea structurii metalice,

iar cele mai frecvent folosite sunt replicile metalografice și ultrasunetele.

II.2.1. Replica metalografică ca metodă nedistructivă de control

Replica metalografică face parte la ora actuală din tehnicile de evaluare a structurii materialelor metalice. Este considerată o metodă nedistructivă rapidă, deoarece pregătirile pentru ridicarea replicii metalografice (șlefuire, lustruire atac chimic, etc.) necesită un timp scurt și se realizează pe produs fără a se preleva probe.

Procedura de obținere a replicii metalografice se realizează conform ISO 3057/1993. La evaluarea componentelor care lucrează la temperaturi înalte în domeniul de fluaj, procedeul replicii de suprafață se realizează conform ASTM E 1351-90. Etapele aplicării replicilor metalografice sunt:

- 1. alegerea zonei ce urmează a fi analizată;
- 2. marcarea zonei ce urmează a fi analizată;
- 3. șlefuire și lustruire mecanică sau electrolitică ce urmează a fi analizată;
- 4. atac chimic sau electrolitic;
- 5. aplicarea replicii metalografice;
- 6. extragere și conservare;
- 7. analiză de laborator.

Aplicarea replicii metalografice se face pe o suprafață foarte bine curățată (șlefuită și lustruită) și atacată chimic cu reactiv. La aplicarea replicii

metalografice reflectorizante pe suprafața replicii ce urmează a fi aplicată se depune un solvent care solubilizează stratul de lac, permițând să devină suficient de maleabil pentru a copia suprafața. În figura 2.17 este prezentată schema cu etapele pregătiri mecanice[86].

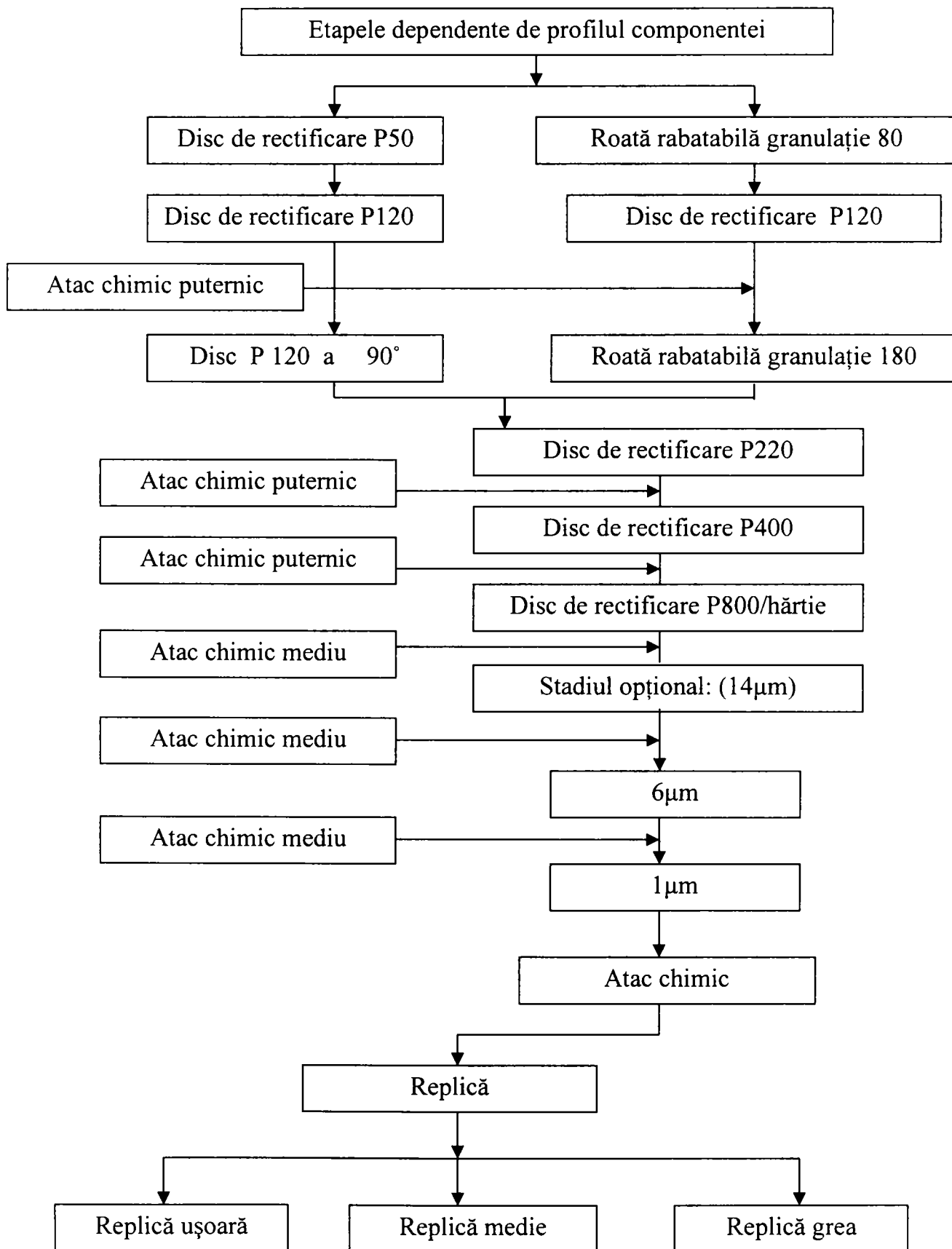


Figura 2.17. Intinerarul pentru pregătirea mecanică replicii.

Desprinderea replicii se face uniform sub un unghi de maxim 80°.

Examinarea replicii se face la microscopul metalografic dând un randament bun în cazul măririlor între 200X și 500X.

Analiza structurilor reliefate de replicile metalografice, permit între anumite limite, determinarea caracteristicilor structurale, a limitelor de grăunți, a distribuției de incluziuni, a eventualelor defecte, fisuri sau microfisuri în suprafața materialului metalic, precum și efectele unui tratament termic.

Prin metoda replicii metalografice, se pot pune în evidență modificările care au loc de la structura recomandată, prin fenomene de:

- decarburare când avem structuri cu duritate și rezistență scăzută;
- carburare – când se obțin structuri dure cu R_m mare dar fragile;
- supraîncălzire sau ardere când proprietățile de rezistență, reziliență, se înrăutățesc,

sau prin defecte inițiale de turnare sau tratare termică cum ar fi:

- defecte de compactitate evidențiate prin existența golurilor, a microporilor și retasurilor în suprafață;

- grupare și orientare, proporție și granulație necorespunzătoare a constituenților structurali;

- fenomene de coroziune fisurantă sub tensiune ce apare datorită factorilor agresivi externi legați de mediul de lucru în prezența unei fisuri combinate cu un factor de tensiune;

- de oboseală tensometrică datorat variațiilor bruște de temperatură și presiune și care se manifestă sub forma unor rețele de fisuri (păienjenis cu aspect de pământ ars);

- fluaj datorat funcționării materialului în condiții de presiune și temperatură ridicate în cazul fluajului, din analiza stărilor acestuia au fost aleși ca parametri de comparație porii de fluaj.

Dacă poziționăm fazele structurale care corespund principalelor zone pe o diagramă a rezistenței la fluaj funcție de durata de lucru, observăm din punct de vedere al modificărilor structurale următoarea evoluție structurală:

-în stadiul fluajului primar (nestabilizat) constituenți structurali nu sunt afectați iar densitatea de dislocații este crescută;

-la stadiul fluajului secundar stabilizat are loc creșterea dislocațiilor și apariția cavitațiilor în structură iar în final are loc separarea cavitațiilor și apariția lanțurilor și grupurilor de cavitații. Cu alte cuvinte, se măresc limitele de grăunți și apoi apar treptat porii de fluaj. Mișcarea dislocațiilor se concentrează la limita grăunților în care există pori iar din aceasta mișcare porii se pot uni atingând valori peste dimensiunile critice (R_{crit}) atingând în finalul stadiului lanțuri de pori și limite lărgite. Dimensiunea critică a fost definită de Lifshitz-Slezov și depinde de durata de funcționare.

$$R_{crit} \cong t^{\frac{1}{3}} \quad (2.19)$$

-la stadiul fluajului terțiar accelerat porii și lărgimea limitelor de grăunți sunt la stadiul critic sau peste dimensiunea critică și prin unirea lanțurilor se ajunge la microfisuri și macrofisuri.

În analiza nedistructivă cu replica metalografică, pentru determinarea zonei de fluaj în care ne aflăm au fost depistate următoarele clase de depreciere:

Clasa 0.-structură nemodificată;

Clasa 1.-structură cu modificări datorate temperaturii, fără micropori;

Clasa 2.-structura modificată cu pori izolați;

Clasa 3.-structura modificată cu lanțuri de micropori în limitele grăunților;

Clasa 4.-structura modificată cu lanțuri de micropori și microfisuri în limitele grăunților;

Clasa 5.- structură cu macrofisuri.

Porii de fluaj sunt un indicator al gradului de depreciere a materialului metalic supus fluajului și cu ajutorul acestor clase, se poate urmări evoluția fenomenului de fluaj la elementele active ce lucrează la presiuni și temperaturi ridicate.

În figura 2.18 sunt prezentate nivelele de degradare la fluaj: pori izolați, pori aliniați, microfisuri și lanțuri de microfisuri.

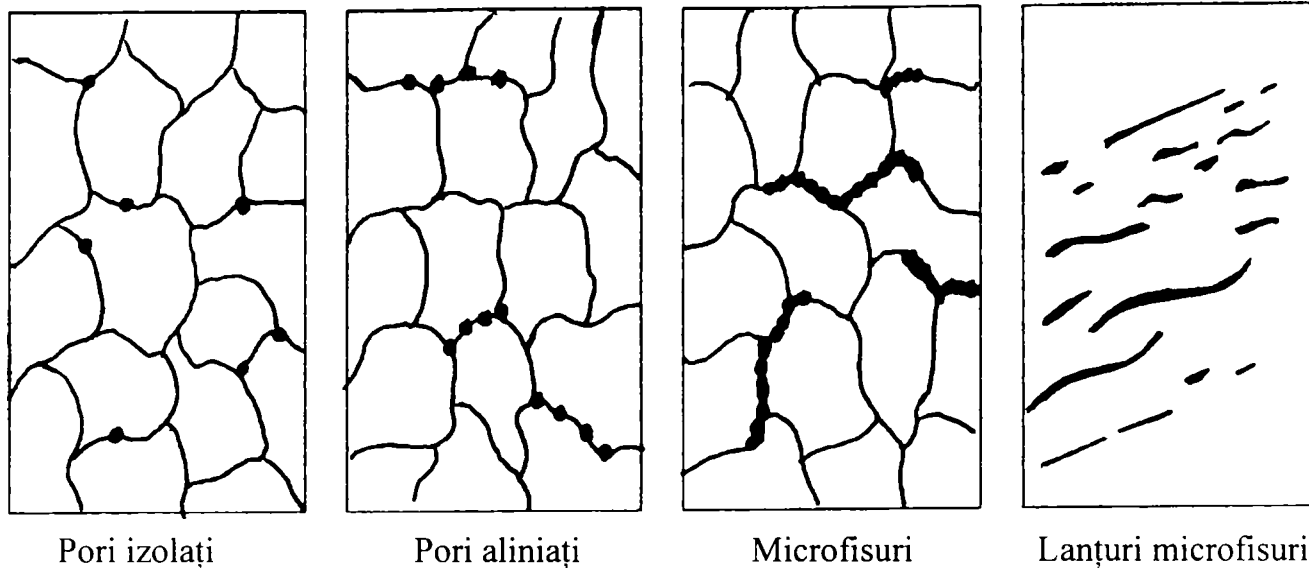


Figura 2.18. Nivele de degradare la fluaj.

În cazul îmbinărilor sudate, replica metalografică permite observarea componentelor structurale și modificările lor în timpul funcționării, caracterul fuziunii materialului depus cu materialul de bază în suduri și modificările din timpul funcționării.

Prin replici metalografice aplicate pe oțeluri CrMoV din supraîncălzitor se pot determina în timpul procesului de fluaj: structuri fără defecte de fluaj; structuri cu separări de microfisuri; structuri cu fisuri sub formă de lanț sau grupate; structuri cu microcavități în microfisuri; structuri cu macrofisuri;

În planșa I de mai jos sunt prezentate replici Struers pentru oțelul 16Mo3 după cum urmează: figura 1 și 2 – structură în stare inițială, neutilizată, normalizată; figurile 3, 4, 5 – structura materialului în stare de funcționare, care conține: ferită, perlită globulară, lamelară și carburi fine de Mo; figurile 6, 7 – structura materialului în stare de funcționare, care conține: ferită, perlită lamelară, globulară și carburi fine de Mo; figurile 8, 9, 10, – structura materialului în stare de funcționare, care conține: ferită, perlită globulară și carburi fine de Mo; figurile 11, 12, 13– structura materialului în stare de funcționare, care conține: ferită, perlită și carburi fine de Mo; figurile 14, 15, 16 – structura materialului în stare de funcționare, care conține: ferită, perlită și carburi de Mo.

Plansa I oțel 16Mo3



Figura nr. 1 500 x
Atac nital 3%



Figura nr. 2 500 x
Atac nital 3%



Figura nr. 3
Atac nital 3%



Figura nr. 4
Atac nital 3%

Plansa.I (continuare) oțel 16Mo3



Figura nr. 5 500 X

Atac nital 3%



Figura nr. 6 500 X

Atac nital 3%



Figura nr. 7 500 X

Atac nital 3%



Figura nr. 8 500 X

Atac nital 3%

Plansa I (continuare) oțel 16Mo3



Figura nr. 9 500 X
Atac nital 3%



Figura nr. 10 500 X
Atac nital 3%



Figura nr. 11 500 X
Atac nital 3%



Figura nr. 12 500 X
Atac nital 3%

Planșa I (continuare) oțel 16Mo3



Figura nr. 13 500 X
Atac nital 3%



Figura nr. 14 500 X
Atac nital 3%



Figura nr. 15 500 X
Atac nital 3%



Figura nr. 16 500 X
Atac nital 3%

II.2.2. Controlul cu ultrasunete ca metodă nedistructivă de control

II.2.2.1. Cercetarea structurii metalelor cu ultrasunete [57], [75], [87].

Asigurarea calității în procesul de producție are un rol foarte important.

În acest scop trebuie cunoscute proprietățile materialului înainte de intrarea în lucru și în timpul funcționării, în scopul declarat de a preveni eventualele avarii. Controlul acestor proprietăți se poate realiza distructiv sau nedistructiv. Controlul nedistructiv al materialelor metalice se poate realiza prin mai multe metode (radiații penetrante, lichide penetrante, pulberi magnetice, ultrasunete, etc.).

Un control rapid și pe care l-am ales datorită ușurinței cu care se lucrează este cel cu ultrasunete.

Sunetul este o mișcare mecanică a materiei ce ia naștere în gaze, solide și fluide. Are loc o oscilație a atomilor și moleculelor ce compun mediul de propagare, în jurul poziției lor de echilibru și astfel, se transmite mișcarea atomilor sau moleculelor învecinate. Oscilația se propagă cu viteză sonică specifică “v”.

Ansamblul oscilațiilor particulelor unui mediu poartă denumirea de unda elastică..

Undele în funcție de mecanismul de propagare pot fi: longitudinale, transversale, unde Lamb, unde Rayleigh (de suprafață).

Distanța dintre două poziții simetrice este definită de lungimea de undă λ . Între lungimea de undă λ și frecvență există relația:

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (2.20)$$

Ultrasunetele sunt sunete ce au frecvența peste 20 KHz, deci peste limita de percepție a urechii umane care este de 18 KHz.

Obținerea ultrasunetelor se realizează prin efect piezoelectric (figura 2.19), prin magnetostricțiune, prin generare electrodinamică și prin stimulare cu laser.

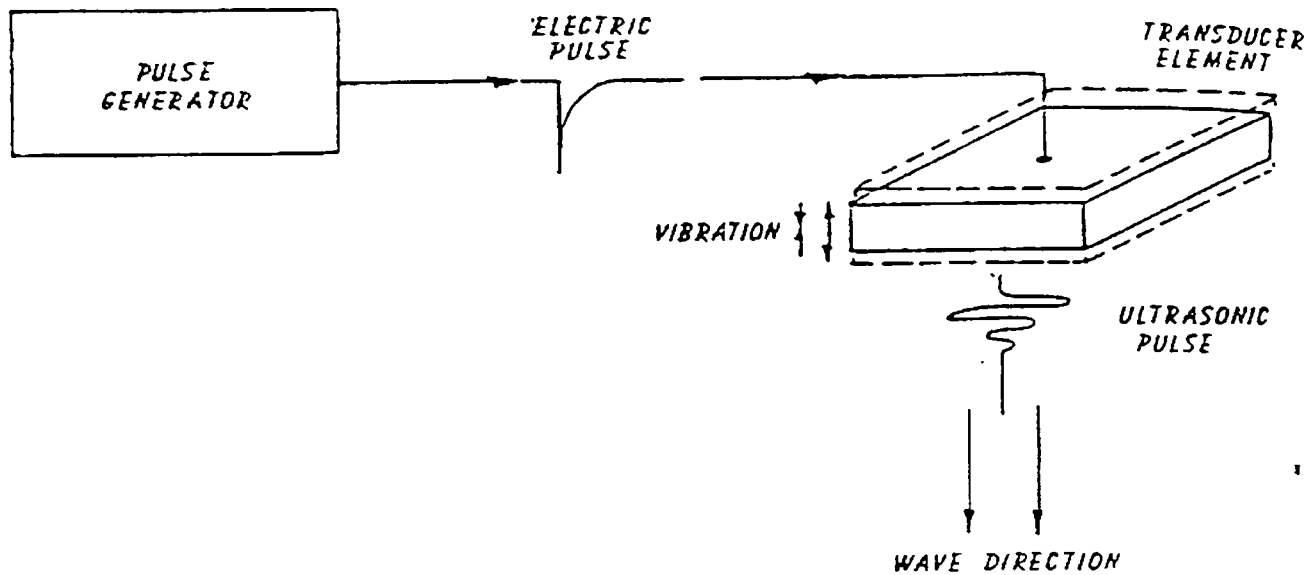


Figura 2.19. Schema de principiu pentru obținerea undelor ultrasonice prin efect piezoelectric.

Câmpurile sonice obținute se pot caracteriza utilizând noțiuni de teoria oscilațiilor. Astfel:

-Într-o perioadă T unda se deplasează cu lungimea de undă λ

$$\lambda = v \cdot T \quad (2.21)$$

-Viteza cu care se deplasează punctul geometric, căruia în orice moment îi corespunde aceeași elongație a punctului material cu care se suprapune, definește viteza de propagare a undei.

$$x - \sqrt{\frac{E}{\rho}} t = ct \quad (2.22)$$

derivând în raport cu timpul această relație obținem:

$$\left(\frac{dx}{dt} \right)_{u=ct} - \sqrt{\frac{E}{\rho}} = 0 \quad (2.23)$$

$$v_L = \left(\frac{dx}{dt} \right)_{u=ct} = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2.24)$$

unde: v_L = viteza undei longitudinale

E = modul de elasticitate

ρ = densitatea mediului

În cazul undelor transversale expresia vitezei de propagare a undelor este aceeași dar avem modulul de elasticitate transversal care ajută la definirea acestuia.

$$v_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \cong (0,55 \dots 0,6)v_L \quad (2.25)$$

- Energia media a undei

$$E_m = \frac{mA^2\omega^2}{2} = 2\pi^2 mA^2 y^2 \quad (2.26)$$

unde: A = amplitudinea mișcării

ω = viteza unghiulară, împreună cu amplitudinea fiind mărimi constante

- Intensitatea ultrasunetului I (intensitatea acustică)

$$I = \frac{E_m}{St} = \frac{P}{S} = \frac{1}{2} \rho v \omega^2 A^2 \quad (2.27)$$

unde: P = puterea

- Presiunea ultrasonică “p” apare la transportul de energie fiind favorizată de oscilația ultrasonică

$$dp = \frac{dF}{S} \quad (2.28)$$

$$dp = \int_{p_0}^p p \Rightarrow p = p_0 + A\rho v \omega \sin\omega\left(t - \frac{x}{v}\right) \quad (2.29)$$

Notându-se cu : $U = A \cdot \omega$ presiunea acustică sau severă (2.30)

$R_a = \rho \cdot v$ - rezistența acustică (2.31)

$P = \rho \cdot v \cdot \underline{u}$ - viteza de oscilație a particulei (2.32)

-Nivelul de intensitate sonor

$$I_s = 20 \log \frac{I}{I_0} \quad (2.33)$$

I_0 = intensitatea acustică de referință [dB]

- Nivelul de presiune sonoră

$$p_s = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad (2.34)$$

p_0 = presiunea acustică de referință [dB]

În figura 2.16 avem evidențiate mărimile caracteristice ale câmpului ultrasonic prezent la un traductor pentru unde longitudinale.

D – diametrul oscilatorului (membrana pistonului circular) [mm]

N – lungimea câmpului apropiat [mm]

D_{eff} – diametrul porțiunii eficiente [mm]

D_B – diametrul fascicolului ultrasonic [mm]

s – parcurs ultrasonic [mm]

ϑ - unghi de divergență [°]

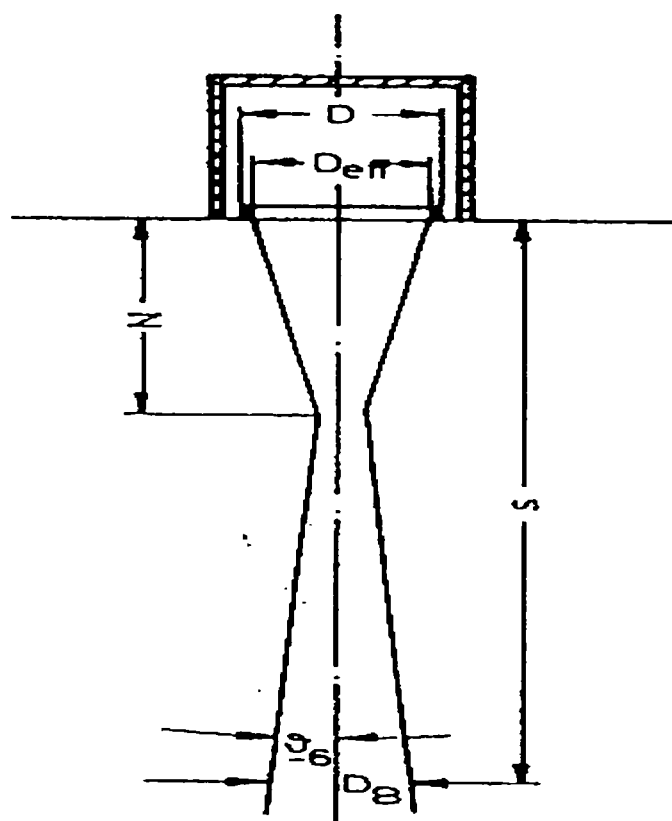


Figura 2.20. Mărimi caracteristice pentru traductorul cu unde longitudinale.

- lungimea câmpului apropiat N ;

$$N = \frac{D^2}{4 \cdot \lambda} \quad (2.35)$$

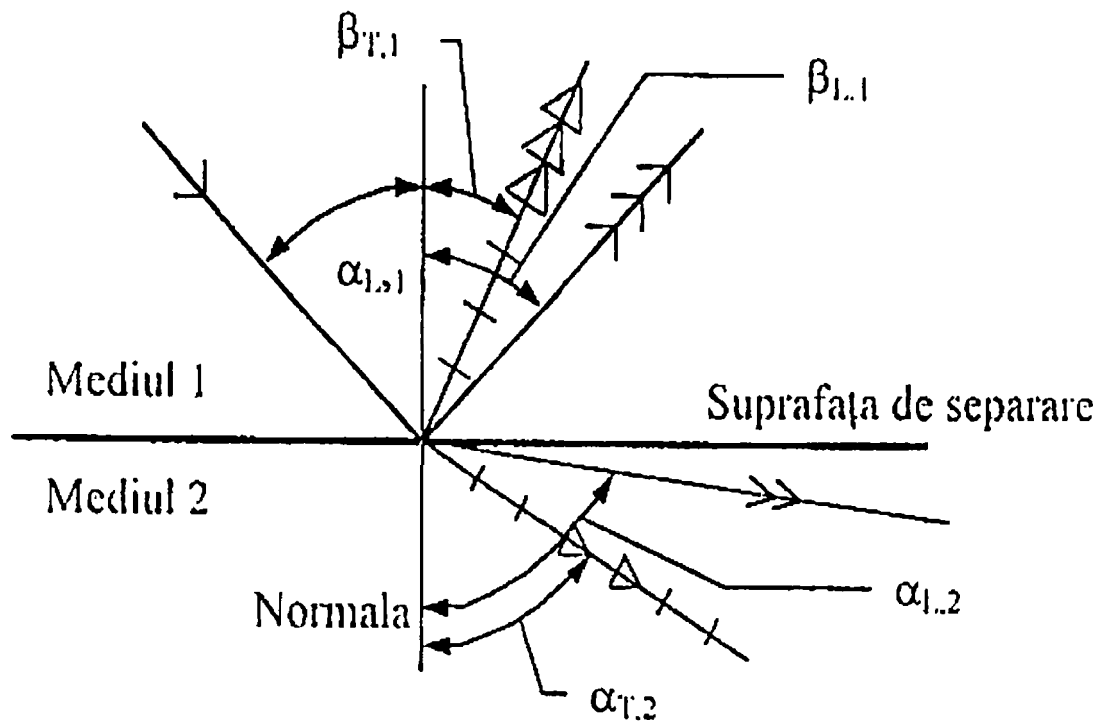


Figura 2.21. Reflexia, Refracția și transformarea undelor.

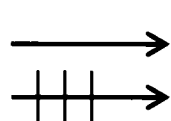
În figura 2.21 avem ilustrat modul în care are loc reflexia, refracția și transformarea undelor și mărimile caracteristice

$\beta_{L,1}$ = unghiul de reflexie al undelor longitudinale

$\beta_{T,1}$ = unghiul de reflexie al undelor transversale

$\alpha_{L,1}$ = unghiul de refracție al undelor longitudinale

$\alpha_{T,1}$ = unghiul de refracție al undelor transversale


Undă longitudinală
Undă transversală

Dacă unghiul direcției de propagare se schimbă în urma refracției, în punctele în care se schimbă direcția de propagare are loc o transformare a undelor. În urma transformării, relația între intensitățile undelor longitudinale și transversale depinde de proprietățile celor două medii și de unghiul de incidență.

Undele longitudinale, care cad sub un unghi $\alpha_i > 0$ pe suprafața de separare, produc, lucru important, și unde transversale.

II.2.2.2. Aparate ultrasonice folosite [5], [57], [87].

Echipamentul pentru controlul ultrasonic are următoarele elemente:

- 1 - aparatul generator US
- 2 - palpatoare
- 3 - mediu de cuplare
- 4 - blocurile de etalonare și referință pentru corecții și etalonare a aparatului US
- 5 - accesorii specifice

Avem reprezentată în figura 2.22, schema de principiu pentru funcționarea aparatelor de control cu unde ultrasonice .

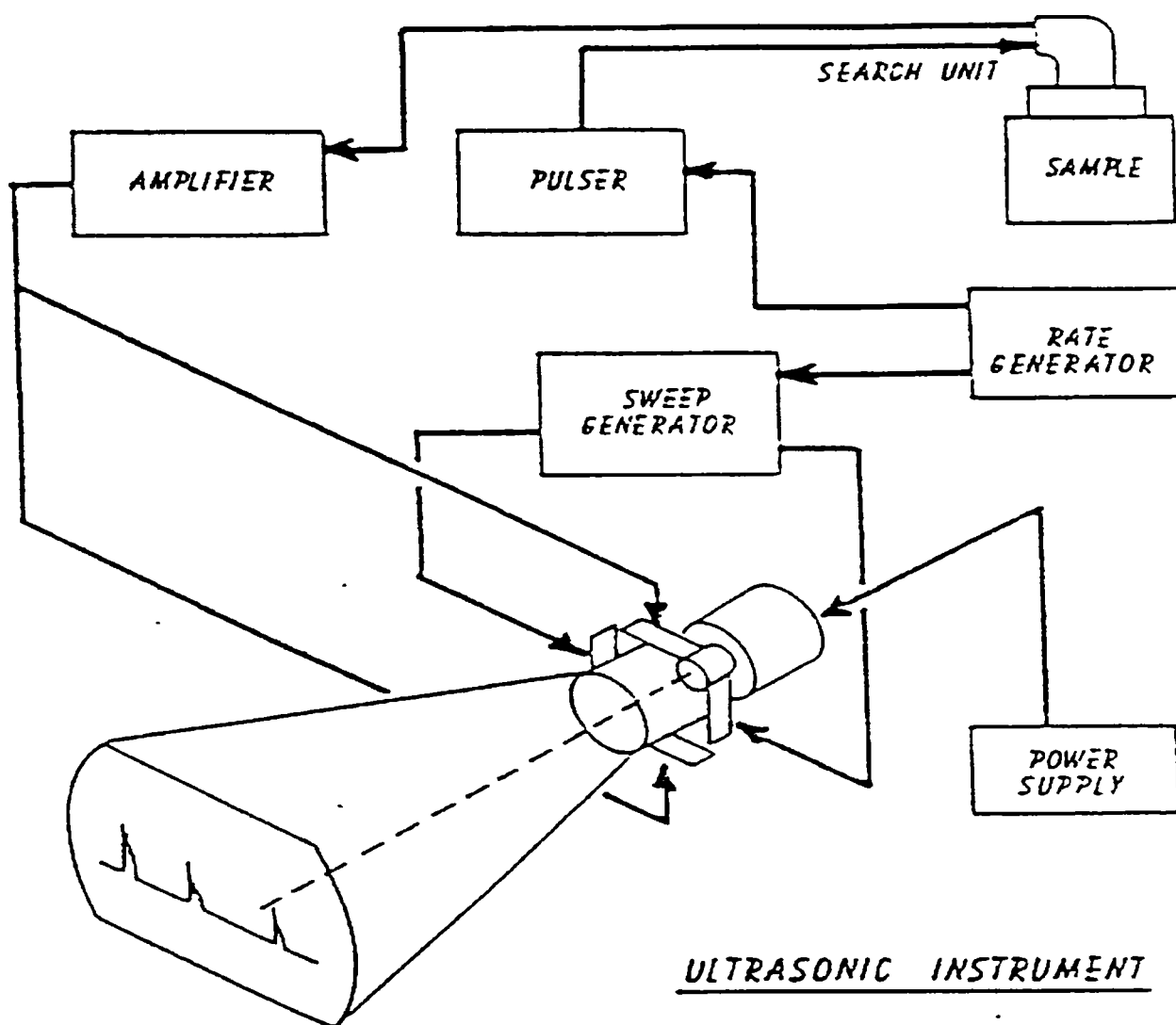


Figura 2.22. Schema de principiu al unui aparat de măsură ultrasonic.

La ora actuală aparatele generatoare US sunt prevăzute calculatoare electronice și imprimante, astfel încât informațiile sunt în mare parte prelucrate. Aparatul US cu care s-au realizat măsurătorile este SONIC 136 plus.

Aparatul SONIC 136 plus este dotat cu cea mai avansată tehnologie a microprocesoarelor, existente la ora actuală în U.S.A. și este unul dintre cele mai mici aparate portabile cu ultrasunete folosit în detectarea defectelor și măsurarea grosimilor. Comanda se face simplu, corect și cu precizie având acces la parametrii de lucru. Aparatul permite programarea și memorizarea oscilogramelor cu înregistrare directă a datelor prin interfața RS232.

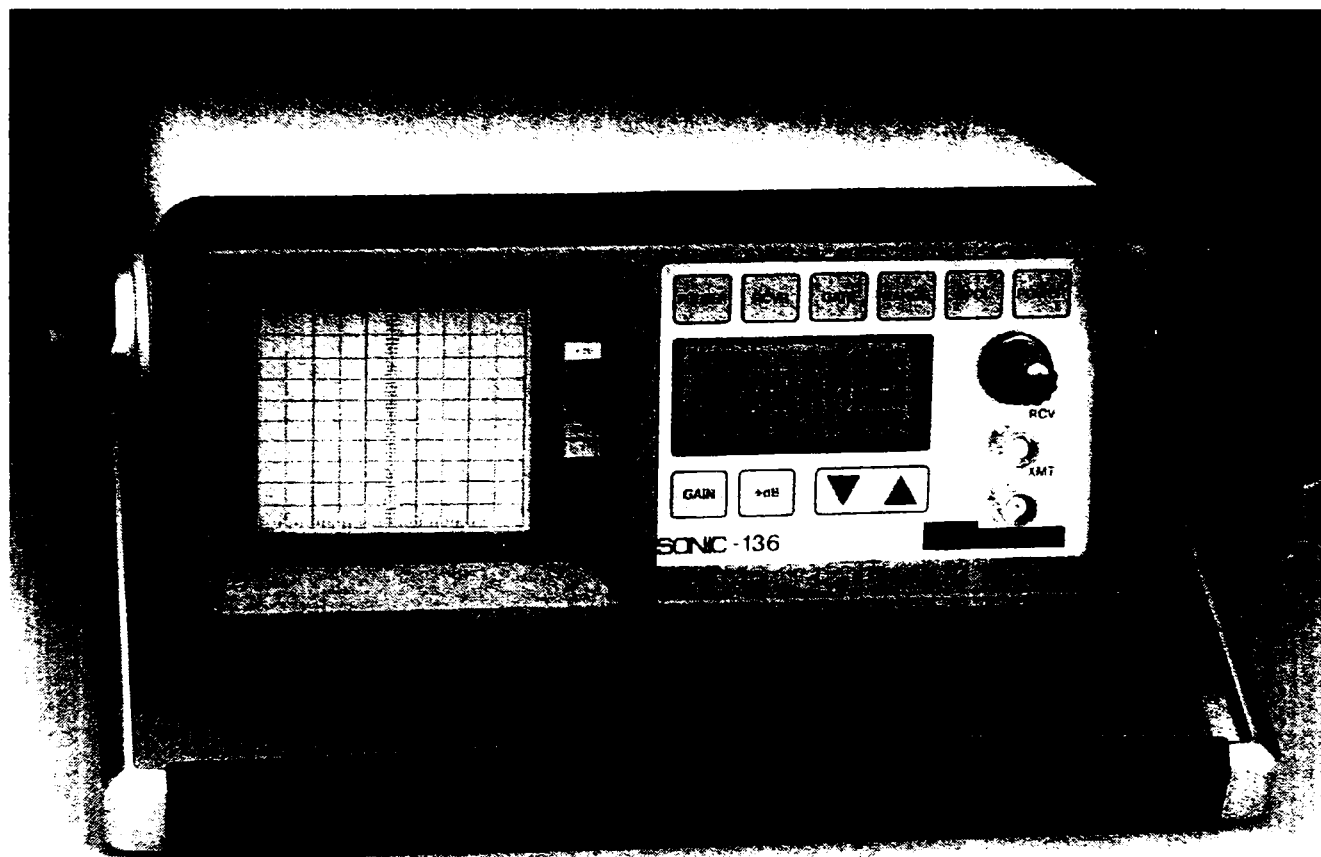


Figura 2.23. Aparatul SONIC 136 Plus.

SONIC 136 plus este un aparat digital, controlat de microprocesor, programabil, interfațabil cu calculatorul dar cu ecran analogic pentru o rezoluție optimă și viteză maximă de răspuns. Este dotat cu un display LCD alfanumeric pe care apar toate datele și parametri de control, ce pot fi imprimate sub forma unui buletin, împreună cu prezentarea corespunzătoare (Anexa 1).

În comparație cu cele mai noi și avansate aparate de ultrasunete construite în Europa, aparatul SONIC 136 Plus le depășește în prezent prin:

- rezoluție și liniaritate excepțională. Autodiagnoză funcțională.
- lățime reglabilă a impulsurilor pe osciloscop între 40 și 1000 nanosecunde

- rata repetiției semnalelor se reglează automat prin microprocesor între 0,25 kHz și 4 kHz evitându-se apariția ecourilor fantomă, obținând și o viteză mare de lucru.
- Impulsurile sub forma undelor pătrate conferă o putere mai mare față de aparatele ce au impulsurile cu unde sinusoidale.
- Simplitate în utilizare, toate reglajele se realizează cu un singur buton
- Aparatul este ușor și permite conectarea tuturor tipurilor de traductori existenți în Europa.

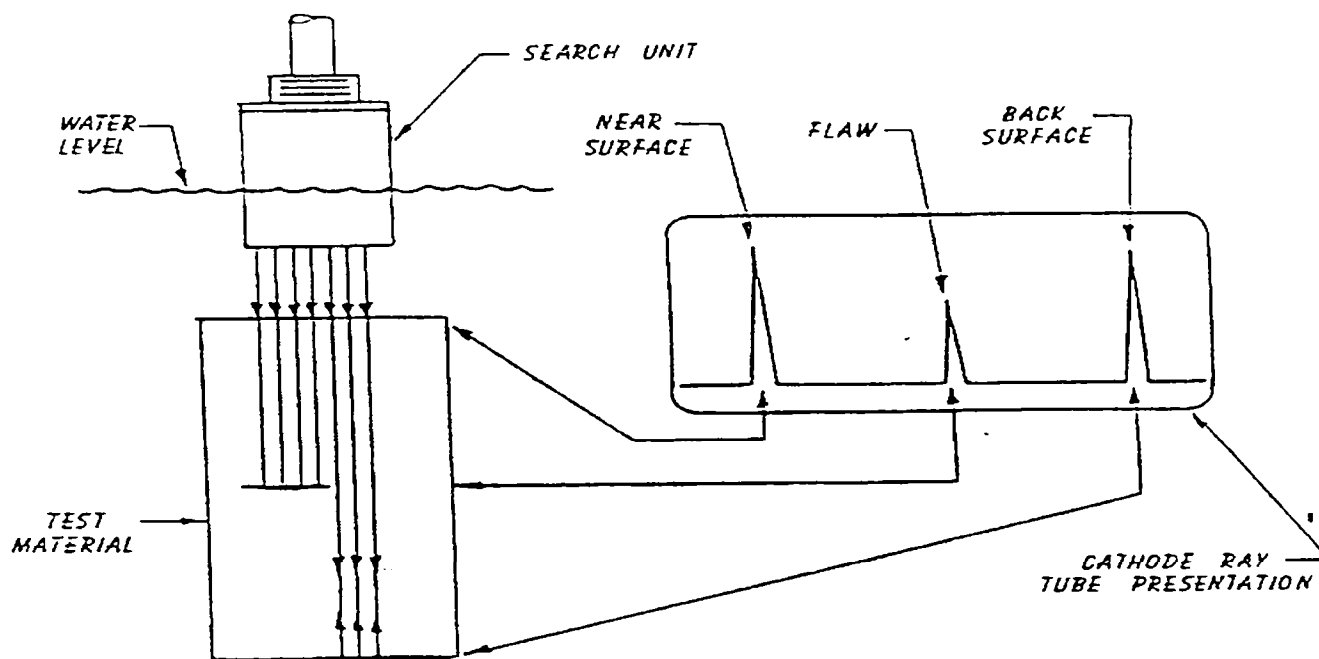


Figura 2.24. Schema principiului de măsurare cu ultrasunete.

Mediul de cuplare este foarte important în efectuarea măsurărilor .

Se poate folosi ca mediu de cuplare:

uleiul – care are avantajul unei cuplări foarte bune, dar dezavantajul că este lichid și se prelinge de pe suprafața piesei și poate fi folosit la suprafețele cu rugozitate mică, după care este necesară degresarea.

vaselina – avantajul constă în cuplare bună nu se prelinge de pe suprafața de control, poate fi utilizat la suprafețe cu rugozitate mare. Dezavantajul constă în necesitatea degresării suprafețelor după examinare.

cleiul de piele sau de oase – avantajul constă în faptul că este ușor lavabil

amestec glicerină-apă - bun mediu de cuplare și inhibitor pentru coroziune.

În alegerea cuplantului decisive sunt următoarele:

- poziția suprafeței ce urmează a fi analizată
- rugozitatea suprafeței
- compoziția materialului ce se examinează
- temperatura materialului analizat

Am ales ca mediu de cuplare vaselina, datorită ușurinței cu care se lucrează cu ea și faptul că este prezentă în cantități suficiente la prețuri relativ mici. În controlul nedistructiv este avantajos controlul cu frecvențe între 1...5MHz, având în acest caz un compromis între parcurs și rezoluție.

Palpatoarele folosite (figura 2.25) la acest aparat în cazul măsurătorilor pe care le-am efectuat au fost: NORTEC ZTM 1/4" – 5 MHz

NORTEC ZTM 1/2" – 5 MHz

unde: ZT - înseamnă că modelul este prevăzut cu pană interschimbabilă

M - indică existența unei membrane de protecție



Figura 2.25. Tipuri de palpatoare.

Palpatorul este un traductor electroacustic care emite și recepționează energia ultrasonică. Randamentul traductorului la transformarea impulsului electric în impuls ultrasonic și înapoi la transformarea impulsului ultrasonic reflectat din piesă într-un impuls electric influențează înălțimea ecoului pe ecran. Aici, se mai adaugă atenuarea în parcursul preliminar și în stratul de protecție. În figura 2.26 este prezentată construcția unui palpator.

Palpatorul determină frecvența de lucru, deoarece ea depinde de grosimea traductorului. Și obiectul de controlat, care reprezintă o amortizare a traductorului influențează frecvența de lucru.

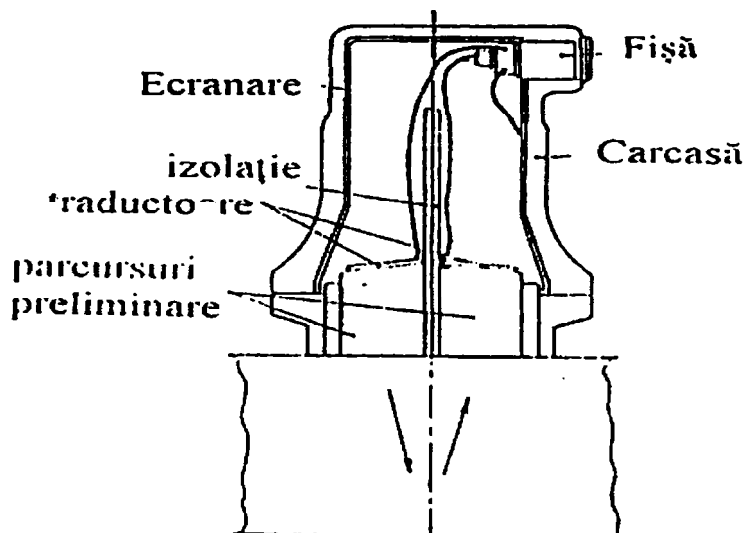


Figura 2.26. Palpator emisie – recepție.

Fiecare traductor are o frecvență centrală cu o vibrație fixă, dar în realitate traductorul lucrează într-o bandă de frecvență cuprinsă între 3 și 5 MHz, pentru exemplul din figura 2.27, unde vibrația fixă este de 4 MHz.

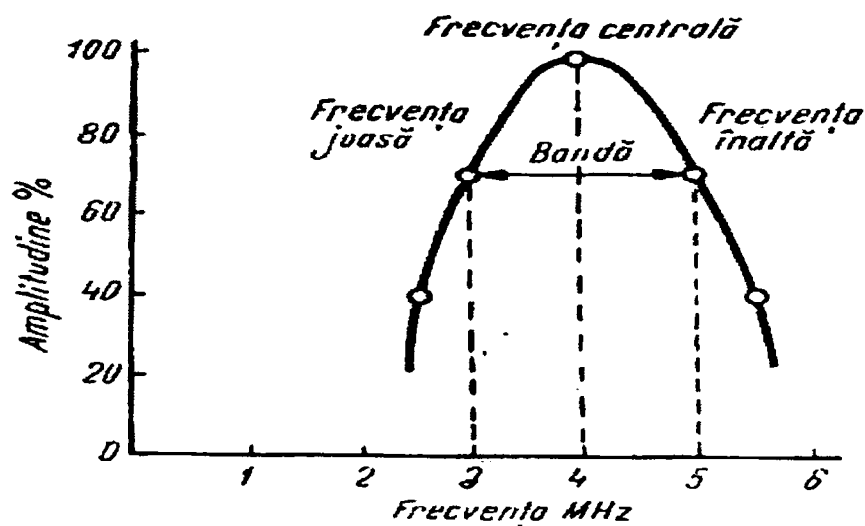


Figura 2.27. Banda de frecvență a palpatorului.

La o piesă la care se utilizează pentru măsurare un palpator ce transmite un fascicul de ultrasunete, și la care se măsoară intensitatea fascicolului la diverse distanțe, se constată că:

- în zona A intensitatea fascicolului variază neregulat
- în zona B intensitatea descrește continuu cu distanța

Acest lucru este evidențiat în figura 2.28, în care sunt identificate și câmpurile apropiate respectiv depărtate.

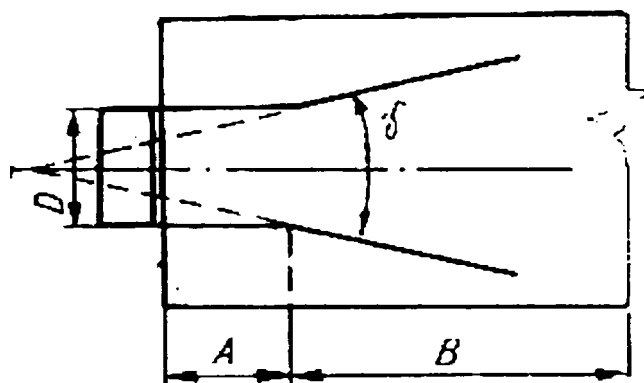


Figura 2.28. Forma fascicolului ultrasonic la un palpator de unde longitudinale

Unde: - D diametrul palpatorului

- A câmpul apropiat

- B câmpul depărtat

- γ unghiul fascicolului

În scopul obținerii unor rezultate corecte înaintea efectuării unei examinări cu US am realizat reglarea și verificarea aparaturii. Această reglare și verificare am realizat-o utilizând blocuri de calibrare și blocuri de referință care sunt într-un număr foarte mare. (A_1, A_2, A_3, A_4 , etc.)

Cu ajutorul blocurilor de calibrare am efectuat:

- calibrarea scărilor fixe sau detașabile de măsurare a distanțelor
- corecția punctului
- verificarea liniarității scării de calibrare a distanțelor
- verificarea și reproducerea sensibilității aparatului
- verificarea zonei moarte

O corecție importantă este corecția de transfer care reprezintă surplusul de amplificare necesar pentru compensarea diferenței pierderilor de energie ce au loc în stratul limită dintre suprafața palpatorului și suprafața piesei examinate. Corecția de transfer în cazul claselor inferioare de transfer este de ± 6 dB iar la clasele superioare este de ± 3 dB. Dacă diferențele de cuplaj sunt mai mari atunci suprafața analizată trebuie prelucrată suplimentar pentru a-i micșora rugozitatea.

O diagramă importantă, în controlul ultrasonic, este diagrama DAM (Distanță - Amplitudine - Mărime), ea purtând diferite nume (AVG, etc.).

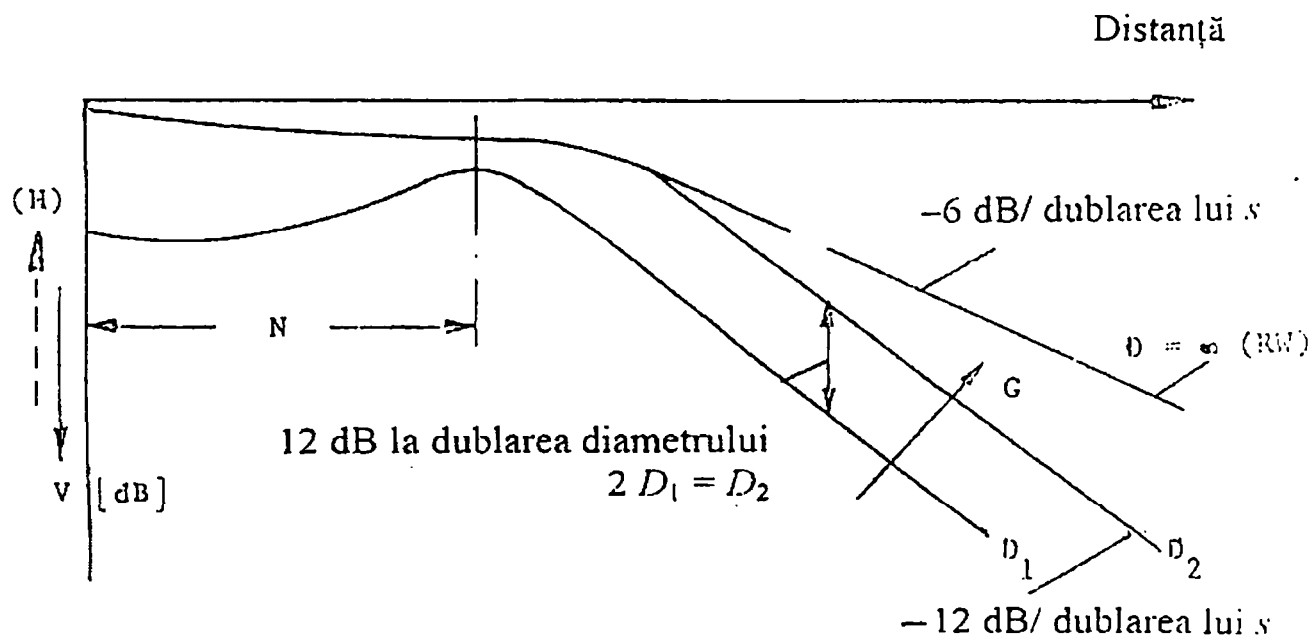


Figura 2.29. Diagrama DAM în construcție de principiu.

Această diagramă, figura 2.29, reprezintă transpunerea grafică a legilor distanței și mărimilor unui reflector ideal. Tot această diagramă prin liniile de referință, descrie influența geometriei câmpului ultrasonic (legi ale distanței și mărimii) asupra înălțimii ecoului în condiții ideale și permite calcularea coeficientului de atenuare.

Diagramele DAM sunt influențate de lungimea câmpului apropiat al palpatorului. Conform DIN 54125, domeniul de evaluare al unei diagrame DAM, denumit și câmp informativ, este fixat conform figurii 2.26 prin:

- înălțimea ecoului peretelui de fund, reprezentată prin curba ecourilor pereților de fund în diagrama DAM.
- influențarea înălțimii ecoului reflectorilor apropiați de palpator prin impulsul de emisie, reprezentată prin zona de influență a impulsului de emisie.
- suprapunerea ecourilor discontinuităților mici respectiv mai îndepărtate peste indicații de structură din obiectul de controlat și peste indicații electrice de zgomot, care își au originea în echipamentul de control.

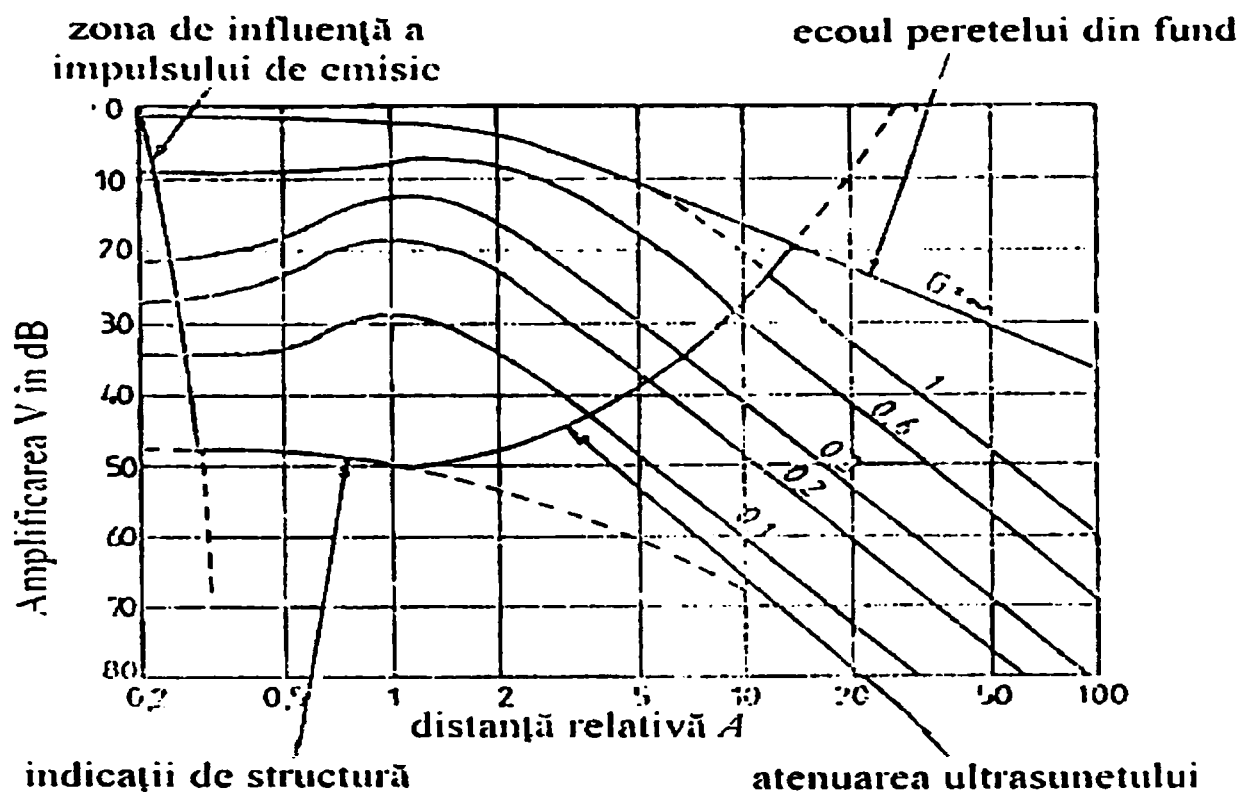


Figura 2.30. Reprezentare schematică a domeniului de evaluare (câmp informativ) în diagrama DAM generalizată, conform DIN 54124 – partea I.

S-a demonstrat că între coeficientul de atenuare și mărimea mijlocie a granulelor există o strânsă legătură. Munca este îngreunată de faptul că pe lângă mărimea grăunților, asupra atenuării mai acționează și anizotropia proprietăților elastice ale metalului și neomogenitățile structurale mici (micropori, incluziuni), fin distribuite în întregul material.

Materialele cu aceeași granulație dar cu anizotropie diferită, posedă atenuări diferite iar neomogenitățile fin distribuite duc la atenuări suplimentare.

Urmărirea corelației structura cristalină - atenuare poate fi stabilită numai dacă sunt menținuți constanți ceilalți doi factori.

O altă dificultate ce apare la realizarea analizei, este prezența mai multor faze precum și existența unor segregatii.

În literatura de specialitate există trasate curbe experimentale valabile numai pentru metalul considerat și pentru un anumit domeniu de frecvență. Pe probele de oțel carbon de calitate pe care am făcut determinările metalografice am făcut controlul cu unde ultrasonore. Utilajul cu care am

efectuat măsurătorile este SONIC – 136 plus și palpatorul utilizat a fost NORTEC ZTM 1/4” – 5 MHz, NORTEC ZTM 1/2” – 5 MHz.

Parametrii utilizați sunt:

- poarta de referință 45. dB
- frecvența ultrasunetului 4 MHz
- viteza 5920 m/s
- întârzierea 1,20 mm
- domeniul măsurat 100mm
- rata de repetiție este de 4 KHz

Parametrul analizat este atenuarea undelor ultrasonore la trecerea prin materialul metalic.

Analiza materialelor am făcut-o cu ajutorul undelor longitudinale la care direcția de mișcare a particulelor coincide cu direcția de propagare a undei.

Mărimile caracteristice undei sunt : lungimea de undă D, elongația, perioada și viteza de fază.

Viteza cu care se deplasează punctul geometric căruia în orice moment îi corespunde aceeași elongație a punctului material cu care se suprapune reprezintă viteza de propagare a undei.

În cazul nostru viteza undelor longitudinale se determină cu relația:

$$V_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}} = (0,55 - 0,6) v_L \Rightarrow V_2 = \frac{v_T}{0,55-0,6} \quad (2.36)$$

În urma parcurgerii de către undă a unui mediu de propagare se produce o atenuare a acesteia, deoarece în medii reale are loc o interacțiune între mediu și unda elastică, o parte din energia undei fiind transferată sub formă de căldură mediului. Atenuarea are loc datorită vâscozității, conductivității termice, radiației termice, schimbului intermolecular de energie și nu în ultimul rând fenomenului de absorbție.

Cauzele unor reflexii multiple și neregulate ale unui fascicol ultrasonic sunt de regulă defectele (incluziuni, pori) și mărimea grăunților cristalini, dând naștere fenomenului de difuziune.

Difuzia este definită ca fiind, fenomenul de interacțiune între fascicolul ultrasonic și suprafețele care formează limitele de grăunți ale materialului metalic.

În funcție de raportul în care se află mărimea de grăunte D și lungimea de undă λ există următoarele mecanisme de difuzie:

1. Pentru $D \ll \lambda$ - practic procesul de propagare al undei este neperturbat. Neputând pune în evidență difuzia, putem afirma că nu există.

2. Pentru $D \in (0,02 \dots 0,2)$ avem difuzia Rayleigh, foarte des întâlnită în practica de zi cu zi.

3. Pentru $D \cong \lambda$ avem dispersie stochastică specifică structurilor cu grăunți mari. În aceste condiții avem pierderi mari de energie datorate fenomenelor de rezistență, reflexie, refracție și chiar transformări de undă. Coeficientul de difuzie crește în acest caz cu pătratul frecvenței.

4. Pentru $D \gg \lambda$ avem o reflexie difuză evidențiată prin indicații discrete pe ecran ale reflexiilor ultrasonice pe limitele de grăunți.

Fenomenul de absorbție se datorează conductibilității și radiației termice și a vâscozității mediului de propagare. Mărimea grăunților influențează astfel: dacă dimensiunea grăuntelui cristalin are valori superioare cu mult lungimii de undă, unda ultrasonică suferă o absorbție aproape totală dimensiunea corpului neputând fi măsurată.

Dacă dimensiunea grăuntelui cristalin are valori mai mici decât lungimea de undă se poate considera că presiunea sonoră a undei ultrasonice este aceeași în toate părțile.

Dacă între dimensiunea grăuntelui cristalin și lungimea de undă nu există diferențe mari, pentru aceleași valori ale presiunii, deformația va fi diferită de la un grăunte cristalin la altul.

În metale atenuarea are loc ca urmare a celor două fenomene : de absorbție și difuziune, fenomene caracterizate de:

α_a - coeficient de absorbție

α_d – coeficient de difuziune

Coeficientul de absorbție nu depinde de mărimea grăunților, dar este direct proporțional cu frecvența vibrațiilor ultrasonice, în timp ce, coeficientul de difuziune depinde, atât de mărimea grăunților cristalini cât și de frecvența vibrațiilor ultrasonice.

Presiunea undei cât și intensitatea ei, variază exponențial astfel:

$$dp = - \alpha p dx \quad (2.37)$$

$$\int \frac{dp}{p} = - \int \alpha dx ; \quad (2.38)$$

$$p = p_0 e^{-\alpha l} = p_0 e^{-(\alpha_a + \alpha_d)l}, \quad (2.39)$$

unde: α = este coeficientul de atenuare datorită absorbției și difuziei ultrasonice; $\alpha = (\alpha_a + \alpha_d)$ (2.40)

l = distanța între două puncte în care presiunea ultrasonică ia valorile p și p_0 .

Cum $p \sim I^2$, se poate scrie:

$$I = I_0 e^{-2(\alpha_a + \alpha_d)l} \quad (2.41)$$

Coeficientul de atenuare α se exprimă în neperi/cm sau beli/cm (decibeli/cm):

$$\alpha = \frac{1}{l} \ln \frac{p_0}{p} \left[\frac{Np}{cm} \right] = \frac{1}{l} 2 \log \frac{I_0}{I} \left[\frac{B}{cm} \right]. \quad (2.42)$$

Pentru recalcularea dintr-o unitate în alta, se folosește transformarea:

$$\alpha(dB/cm) = 8,7\alpha(Np/cm). \quad (2.43)$$

Unități de măsură a nivelului intensității sonore. Senzația de tărie a unui sunet depinde de intensitatea acustică, definită prin relația:

$$I = \frac{E_m}{St} = \frac{P}{S} = \frac{1}{2} \rho v A^2 \omega^2 \left[\frac{W}{m^2} \right]. \quad (2.44)$$

Din acest moment putem calcula la fel de ușor și dimensiunea grăunților cristalini. Din expresia pentru coeficientul de atenuare a undelor longitudinale dat de Mason și Mn Skimin avem:

$$\alpha_L = \frac{32\pi^2}{525} \cdot \frac{\mu^2 D^3}{\rho^2 v_L^8} f^4 \quad (2.45)$$

Unde: μ = coeficientul lui Poisson

D^3 = dimensiunea grăuntelui cristalin

f = frecvența

ρ = densitatea mediului de propagare (pentru oțel $\rho = 7,85 \text{ g/cm}^3$)

$$D = \sqrt[3]{\frac{525}{32\pi^2} \cdot \frac{\rho^2 v_L^8}{\mu^2 f^4}} \quad (2.46)$$

II.2.2.3. Controlul cu fasciculul ultrasonic

longitudinal al grosimii țevilor și a defectelor acestora

Pe lângă defectele ce apar în mod curent la țevi ca discontinuitățile de material incluziuni, stratificări, fisuri, trebuie să se țină seama și de coroziunile și variațiile de grosime ale pereților țevii, factor ce modifică drumul parcurs de fasciculul ultrasonic.

Prin materialul țevii fasciculul ultrasonic parcurge un drum în zig-zag ca în figura nr.2.31.

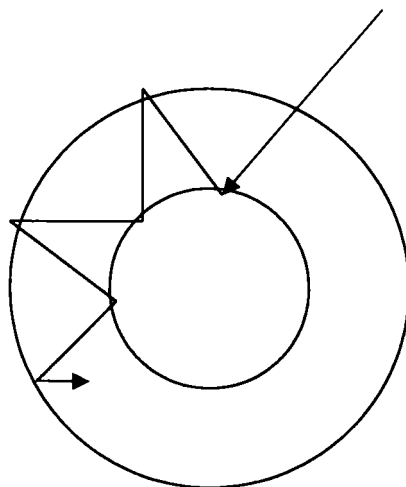


Figura 2.31. Propagarea fasciculului ultrasonic într-o țevă.

Dacă țevile au pereți foarte groși atunci fasciculul ultrasonic poate să formeze în cursul propagării sale un poligon dar în acest caz defectele situate pe suprafața interioară nu se pun în evidență.

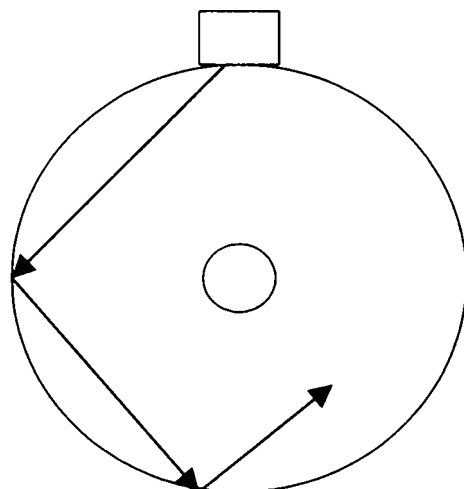


Figura 2.32. Propagarea fasciculului ultrasonic într-o țevă cu pereți groși.

În cazul examinării unei țevi cu grosimea de 15 mm și diametrul exterior de 100 mm, verificarea grosimii se face cu ajutorul unui fascicul longitudinal de ultrasunete. Se folosește un palpator cu frecvența 3-5MHz.

Vom alege scale de distanțe astfel ca pe ecranul osciloscopului să apară un număr mai mare de ecouri succesive. În acest caz alegem domeniul de 0-100 mm, deci pentru al cincilea ecou corespunde diviziune de 75.

Dacă ținem cont de toleranța de execuție a țevii de $\pm 0,6$ mm rezultă că țeava se va încadra în toleranțele de execuție când al cincilea ecou de fund va fi cuprins între gradația de 72 și 78 (fig.2.33.), [53].

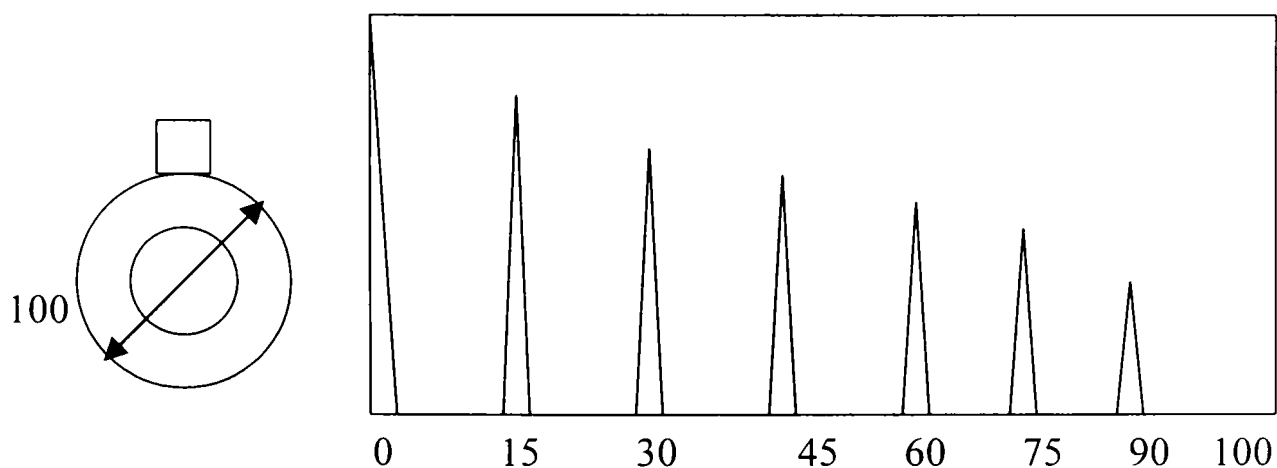


Figura 2.33. Controlul cu fascicul ultrasonic longitudinal al unei țevi cu diametrul exterior de 100 mm și grosimea de 15 mm.

Pentru măsurarea grosimii unor țevi cu diametre exterior mai mic este necesară utilizarea unui suport de prindere a palpatorului confecționat dintr-un aliaj ușor.

Măsurarea grosimii se va executa pe două diametre perpendiculare A – A' și B-B' marcate pe suprafața țevii (fig.2.34.) iar apoi la distanțe egale de 500-1000 mm în lungul țevii.

Aceste valori se introduc într-un tabel ce va ajuta la alegerea porțiunilor de țevă ce se încadrează în toleranțele prescrise .

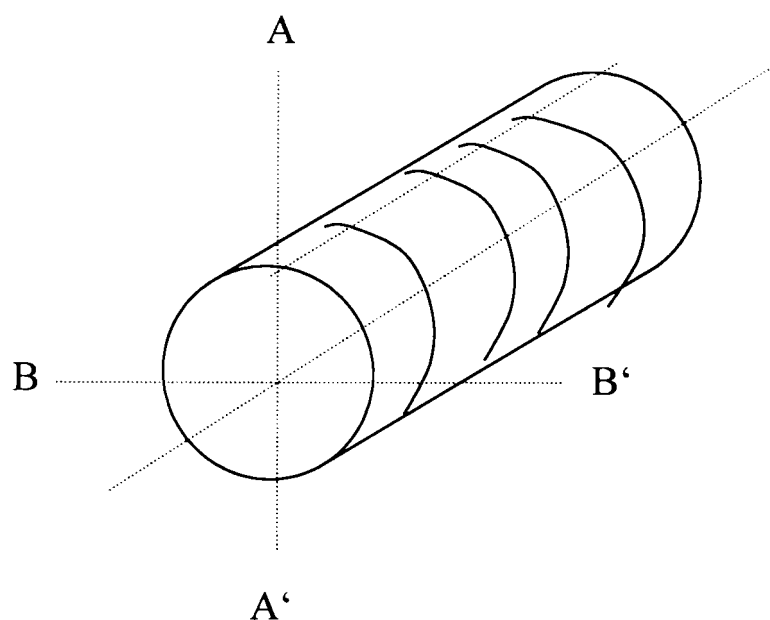


Figura 2.34. Distribuția punctelor de măsurare a grosimii peretelui la o țevă.

Măsurarea grosimii pereților dealungul țevelor, este un element important pentru analiza sistemului de conducte, a elementelor active, în scopul determinării duratei de viață epuizate.

II.2.2.3. Calculul atenuării undelor ultrasonice

Pentru a aprecia cât mai corect atenuarea și a elimina respectiv micșora la minim erorile de calcul am realizat o reglare a aparatului ultrasonic astfel încât să apară pe ecran maxim patru ecouri de fund iar înălțimea primului ecou de fund se va regla astfel încât să ocupe 80% din înălțimea ecranului. În vederea eliminării influenței erorilor de măsurare am urmărit ca suprafețele de controlat să fie plane și netede, deoarece eventualele deformații ale fascicolului ultrasonic determină erori ale diferenței de amplificare. S-a urmărit de asemenea eliminarea unei rugozități ridicate sau a unor defecte. Marea problemă a fost legată de înălțimea indicațiilor pe ecran, lucru pe care l-am rezolvat prin atingerea unei înălțimi între 80% - 90% din cea maximă a ecranului și în urma mai multor măsurători, am ales o valoare medie, după ce în prealabil am eliminat erorile grosolane de măsurare.

Utilajul folosit pentru analiza ultrasonică a fost SONIC 136 plus care are un palpator de 1/2" în regim de lucru de 5MHz.

Impulsul de unde longitudinale se propagă perpendicular pe suprafața de contact, ajungând la aceasta prin intermediul unui cuplant.

Probele supuse analizei ultrasonice sunt oțeluri carbon de construcție și pentru fiecare în cadrul laboratorului am realizat încercările mecanice, respectiv duritatea și rezistența la rupere. Probele supuse controlului nedistructiv cu ultrasunete au lungimea de 25mm și sunt obținute prin debitări transversale urmate de operații de finisare a suprafețelor. Analiza s-a realizat cu unde ultrasonice longitudinale.

Cu ajutorul aparatului SONIC 136 plus, calculul se simplifică foarte mult. Beneficiind de unitate de calcul și imprimantă, valorile sunt extrase calculate și trecute în formularul scos pe imprimanta care conține de asemenea și curba de atenuare. Pentru rezolvarea matematică se măsoară direct pe diagramă valorile intensității undei ultrasonice valorile putând fi înlocuite în relațiile de mai sus.

Din Anexa 1 se pot extrage următoarele date:

înălțimea ecranului = 67 mm

înălțimea primului ecou = 59 mm

înălțimea celui de-al doilea ecou = 38 mm

distanța dintre cele doua ecouri = 18,1 mm

Înălțimea ecranului (67mm) corespunde unei amplificări de 53,8 dB deci prin calcul matematic amplificarea pentru primul și al doilea ecou este:

67 mm 53,8 dB

59 mm x

$$x = 53,8 \cdot 59 / 67 \text{ dB} = 47,37 \text{ dB}$$

67 mm 53,8 dB

38 mmx

$$x = 53,8 \cdot 38 / 67 \text{ dB} = 30,51 \text{ dB}$$

$\Delta x = 18,1 \text{ mm}$ din diagramă

Înlocuind datele în relația (2.45), conform tabelului II.8.

$$\alpha \cdot 10^3 \text{ (dB/mm)} = 211 \text{ dB/mm,}$$

deci $\alpha_L = 0.021 \text{ dB/cm}$ din care ne rezultă că avem un oțel în care preponderent este fenomenul de dispersie.

Determinarea dimensiunii grăuntelui se face cu relația:

$$\alpha_L = \frac{32\pi}{525} \cdot \frac{\mu^2 D^3}{\rho^2 v_L^8} \cdot f^4 \quad (2.47)$$

$$\rho = 7,85 \text{ g/cm}^3$$

$$\alpha_L = 0,021$$

$$v_L = 5.92 \text{ mm/s}$$

$$f = 5 \text{ MHz}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{525}{32\pi} \cdot \frac{\rho^2 v_L^8}{\mu^2 f^4}} \quad (2.48)$$

înlocuind datele în relația (2.48), obținem valoarea $D = 8,7 \times 10^{-3} \text{ mm}$.

Calculul este realizat rapid și ușor, folosind programul Microsoft Excel, Anexa2.

În anexe avem calculele pentru oțelurile OLC 15, OLC 20, OLC 25, OLC45, OLC55, OLC60, OSC 8, și Fe_α .

II.2.2.5. Rezultate experimentale ale analizei cu unde ultrasonice

După determinarea coeficientului de atenuare α am realizat corelații între:

- | | |
|-------------------------------------------------|--------------|
| 1) $\alpha = \theta$ (%C) | Tabelul II.2 |
| 2) %C = θ (%P) – teoretică experimentală | Tabelul II.3 |
| 3) $\alpha = \theta$ (Mărimea de grăunte) | Tabelul II.4 |
| 4) $\alpha = \theta$ (HV) | Tabelul II.5 |
| 5) $\alpha = \theta$ (R_m) | Tabelul II.6 |
| 6) $\alpha = \%$ (%P) | Tabelul II.7 |
| 7) $\alpha = f$ (HB) | Tabelul II.8 |
| 8) $\alpha = f$ (% constituenți structurali) | Tabelul II.9 |

Din analiza acestor funcții se pot extrage direct extrem de multe valori importante. Procedeu este rapid și destul de precis. Se observă din diagrame câteva lucruri esențiale. Se disting trei intervale principale de concentrații de carbon:

-de la 0 la 0,2% C, când avem un coeficient de atenuare cu o curbă de scădere severă;

-de la 0,2%C la 0,55%C când avem un coeficient de atenuare aproximativ constant;

-de la 0,55%C la 0,8%C când avem o creștere lentă a coeficientului de atenuare.

Existența Fe_{α} și P , determină și proprietăți mecanice conform tabelului II.6, în care se observă că există un coeficient de atenuare extrem 50-55 pentru care R_m are valori scăzute și anume pe cele ale R_m la Ferită. Dacă în stabilirea constituenților valorile obținute sunt apropiate, obținem valori exacte în ceea ce privește proprietățile mecanice la momentul efectuării analizei.

Tabelul II.2 $\alpha = \theta$ (%C)

%C	0	0,15	0,20	0,25	0,35	0,45	0,55	0,60	0,80	1
α	55	15	11	13	23	11	13	15	16,5	32

Tabelul II.3 %P = θ (%C)

%C	0,006	0,15	0,20	0,25	0,35	0,45	0,55	0,60	0,81	1
%P	0	17,9	24,1	30,3	42,8	55,2	67,6	73,9	100	96,8

Tabelul II.4 $\alpha = \theta$ (MG x 10⁻³)

α	55	15	11	13	23	16,5	32
MG	50	33,5	30	32	39	34,8	43

Tabelul II.5 $\alpha = \theta$ (HV)

	Fe_{α}	OLC15	OLC20	OLC25	OLC45	OLC55	OLC60	OSC8
α	55	15	11	13	11	13	15	16,5
HV	85	211	200	220	190	205	213	308

Tabelul II.6 $\alpha = \theta$ (R_m)

%C	Ferită	OLC 15	OLC 20	OLC 25	OLC 35	OLC 45	OLC 55	OLC 60	OSC 8
α	55	15	11	13	23	11	13	15	16,5
R_m	30	39,8	43,3	46,5	53,5	60,4	67,2	70,6	85

Tabelul II.7 $\alpha = \theta$ (%P) ; $\alpha = \theta$ (%C)

%C	0,006	0,5	0,20	0,25	0,35	0,45	0,55	0,60	OSC 8
α	55	15	11	13	23	11	13	15	16,5
%P	0	17,9	24,1	30,3	42,8	55,2	67,6	73,9	100

Tabelul II.8 %C = θ (α) ; $\alpha = \theta$ (HB_{exp})

%C	Fe_{α}	15	20	25	45	55	60	0,8
α	55	15	11	13	11	13	15	16,5
HB	80	124	146	163	180	204	230	222

Tabelul II.9 $\alpha = \theta$ (%C); $\alpha = \theta$ (%P); $\alpha = \theta$ (%Fe);

	Teoretic (% P + %Fe)	Experimental (% P + %Fe)	α (Db)
Fe_{α}	0 + 100%F	0+100 %F	55
OLC 15	18 + 82	20 + 75	15
OLC 20	24 + 76	22+78	11
OLC 25	30 + 70	40 + 60	13
OLC 45	55 + 45	60 + 40	11
OLC 55	68 + 32	70 + 30	130
OLC 60	74 + 26	80 - 20	15
OSC 8	100% + 0%	98	16,5

Calculul constituenților structurali s-a realizat matematic, după diagrama fier-carbon în cazul determinării teoretice și după poze în cazul determinărilor experimentale. Pozele au fost realizate pe probele pe care s-au efectuat măsurătorile cu ultrasunete, atacul metalografic realizându-se după ridicarea măsurătorilor, deoarece acesta influențează mult parcursul ultrasunetelor.

Pentru determinările teoretice se pot trasa următoarele diagrame:

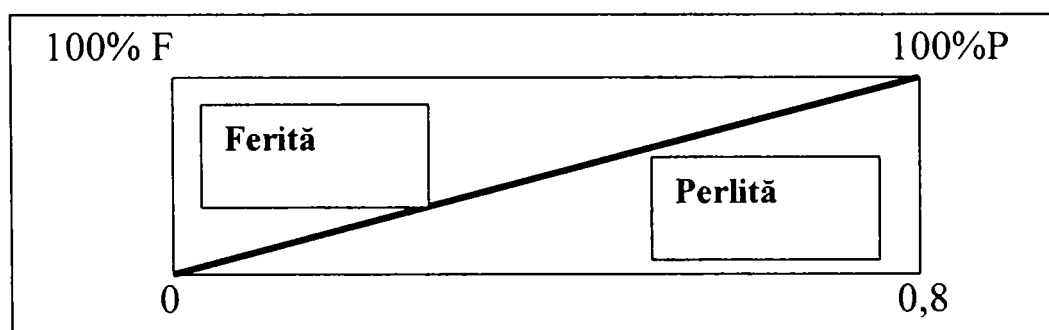


Figura 2.35. Evoluția feritei și perlitei la oțelurile hipoeutectice.

Sunt prezentate în figurile de mai jos structurile materialelor analizate:

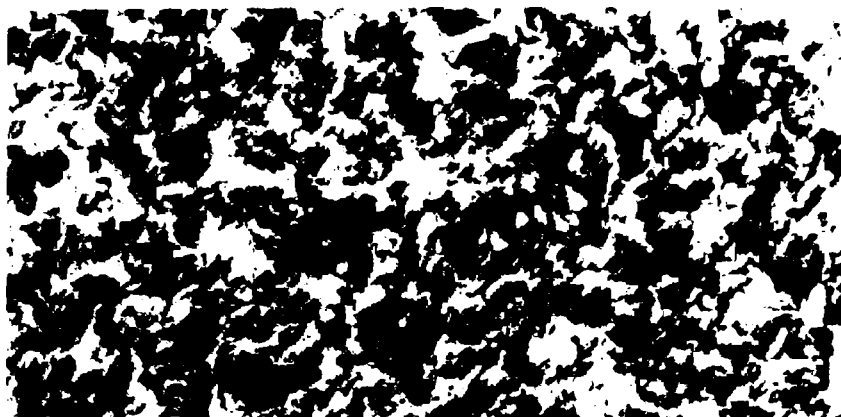


Figura 2.36 Proba OLC10 500 : 1
Atac Nital 2%

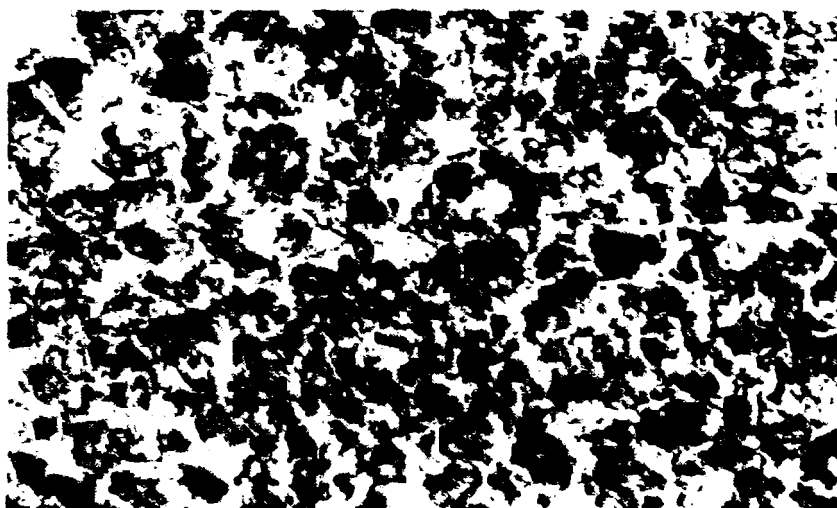


Figura 2.37. Proba OLC25 500 : 1
Atac Nital 2%

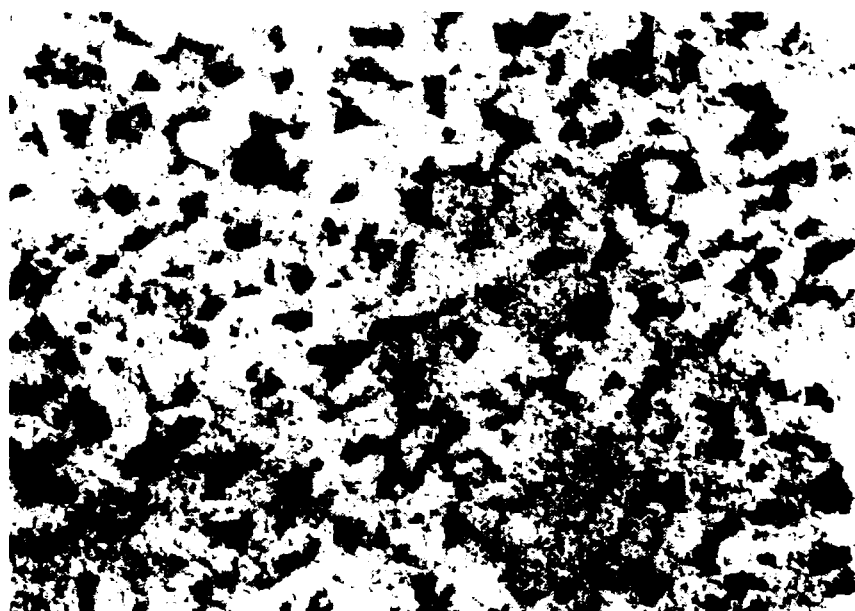


Figura 2.38. Proba OLC15 500 : 1
Atac Nital 2%

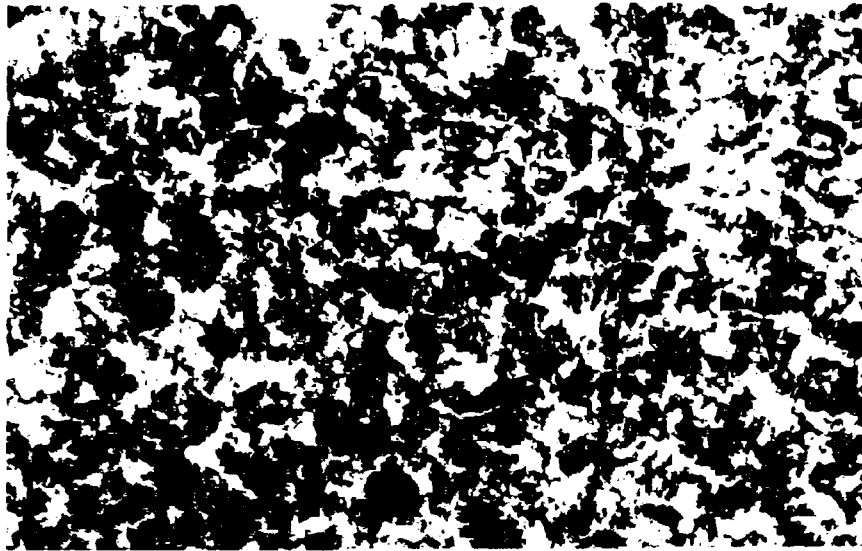


Figura 2.39. Proba OLC20 500 : 1
Atac Nital 2%

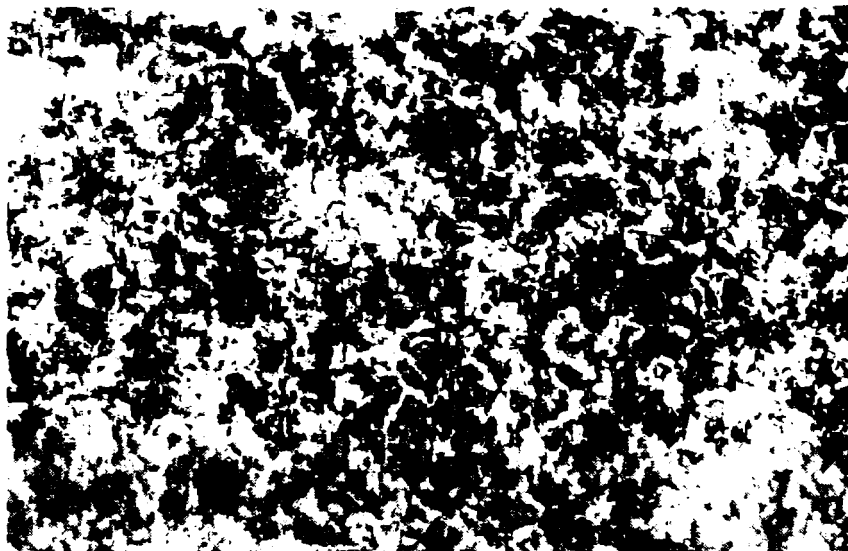


Figura 2.40. Proba OLC45 500 : 1
Atac Nital 2%

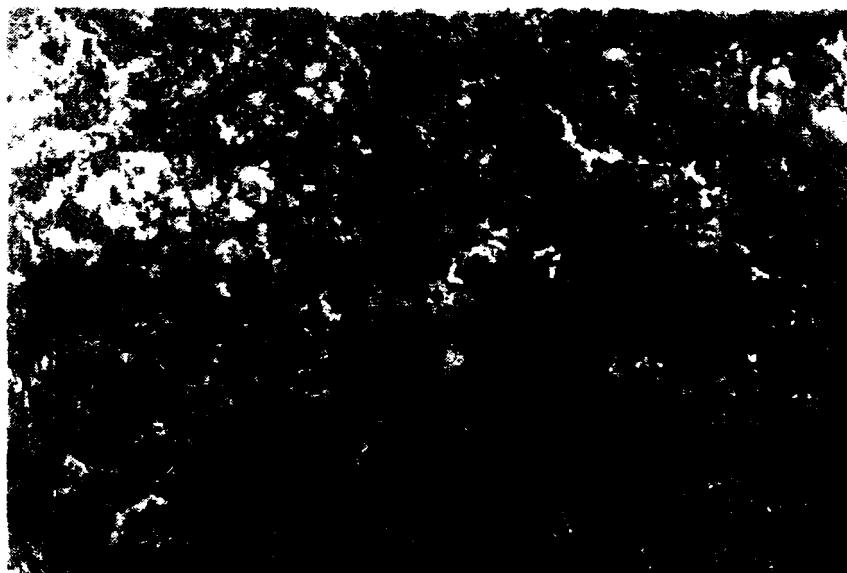


Figura 2.41. Proba OLC 50 500 : 1
Atac Nital 2%

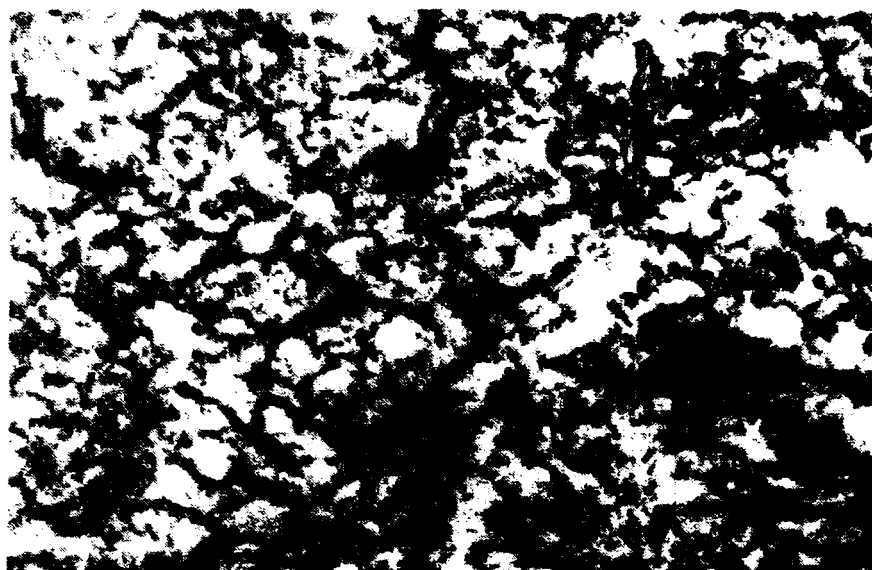


Figura 2.42. Proba OLC 60 500 : 1
Atac Nital 2%



Figura 2.43. Proba OSC 8 500 : 1
Atac Nital 2%

II.2.2.6. Corelația atenuării undei ultrasonice cu caracteristicile oțelurilor carbon de construcție

Citind și extrăgând din diagramele existente în Anexa 1, mărimile necesare, se poate calcula coeficientul de atenuare precum și alte mărimi necesare.

Folosind relațiile de calcul specifice se obțin următoarele valori pe baza cărora se pot construi și graficele corespunzătoare.

Tabelul II.10

Atenuarea	%C	Rm	HV
55	0	30	85
11	0,2	43	190
13	0,25	46	209
11	0,45	60	190
13	0,55	67	204
15	0,6	70	222
16,5	0,8	85	235

Unitățile de măsură utilizate :

- pentru rezistența mecanică (R_m) avem daN/mm²
- pentru duritate avem unități Vickers
- pentru atenuare avem dB/cm
- când vorbim de atenuare fac referire la coeficientul de atenuare α .

În figurile 2.44 și 2.45 sunt trasate liniile de tendință precum și abaterea pătratică medie, obținută pentru fiecare funcție.

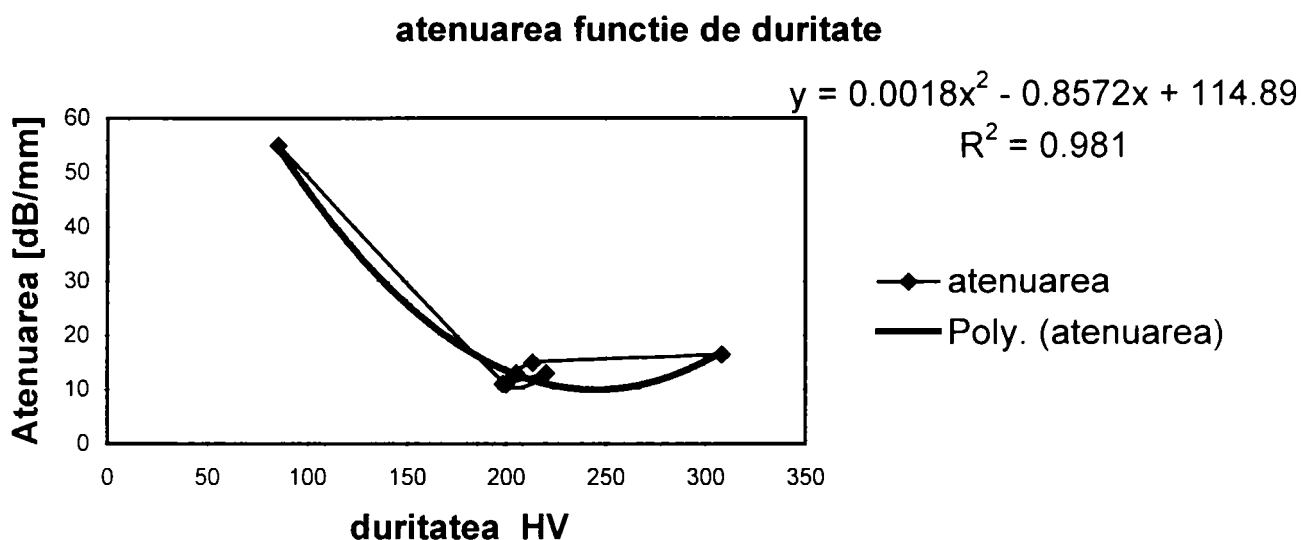


Figura 2.44. Variația atenuării în raport cu duritatea oțelurilor.

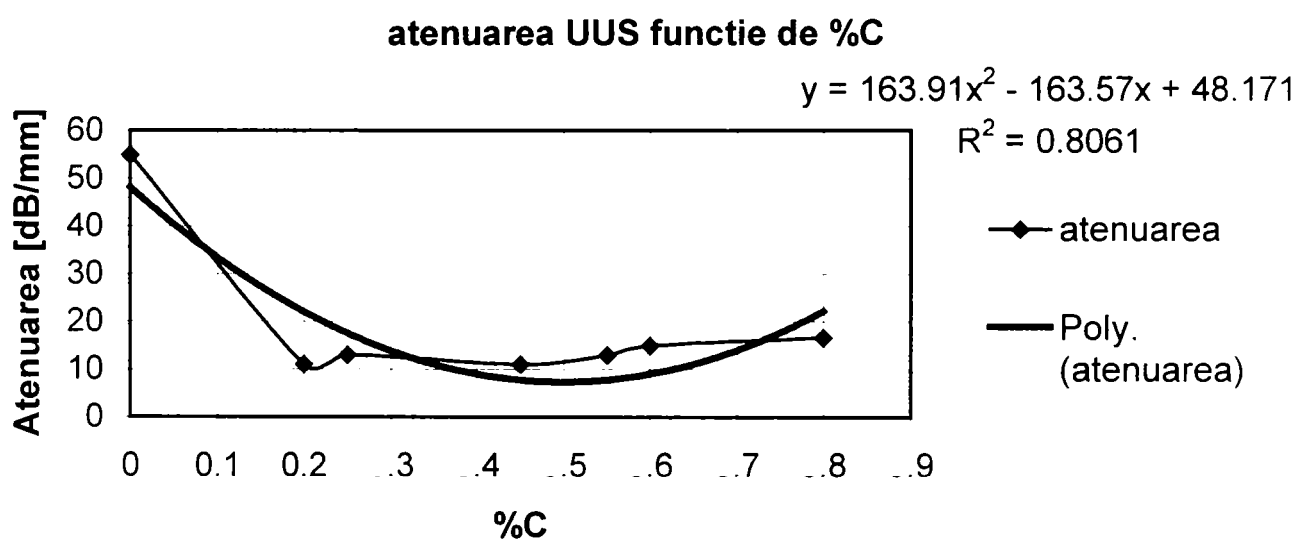


Figura 2.45. Variația funcției de atenuare în raport cu concentrația în carbon.

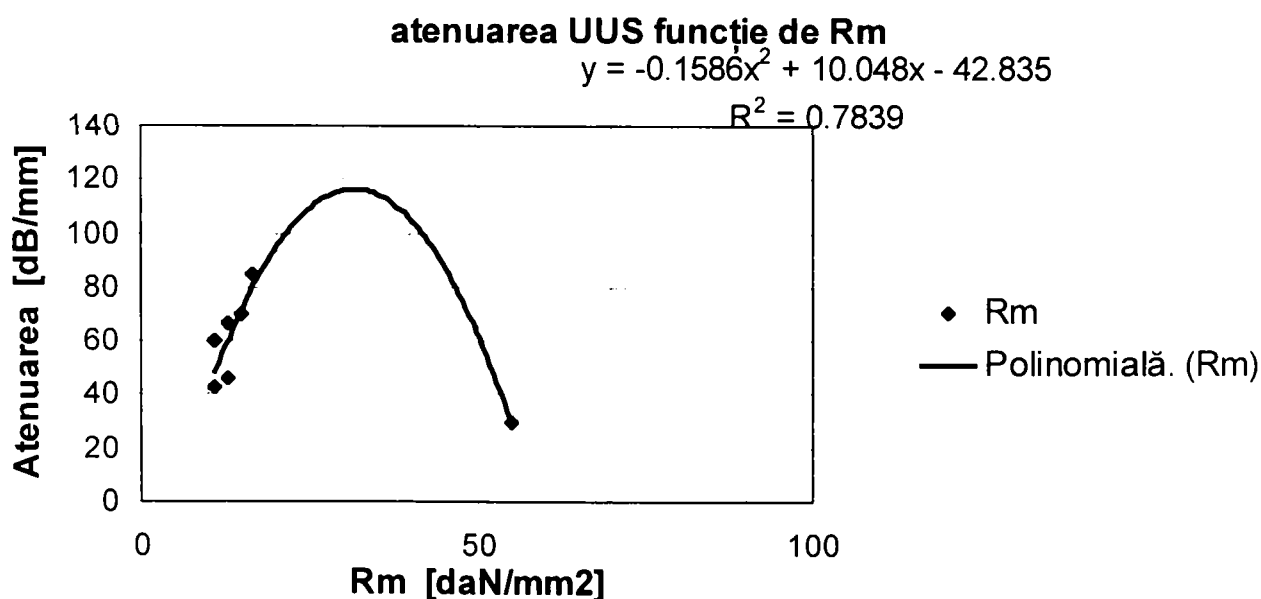


Figura 2.46. Variația funcției de atenuare în raport de rezistența mecanică.

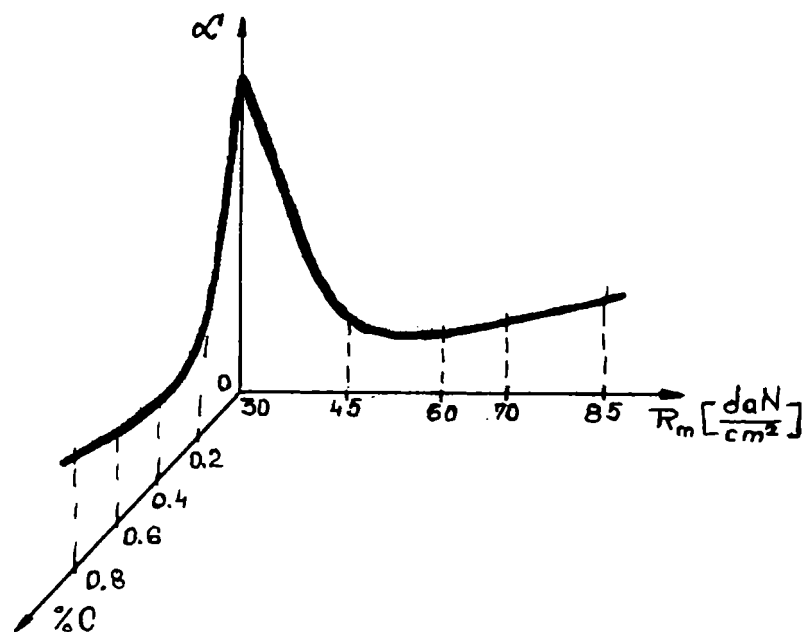


Figura 2.47. Reprezentarea grafică a interdependenței atenuare, $\%C$, R_m .

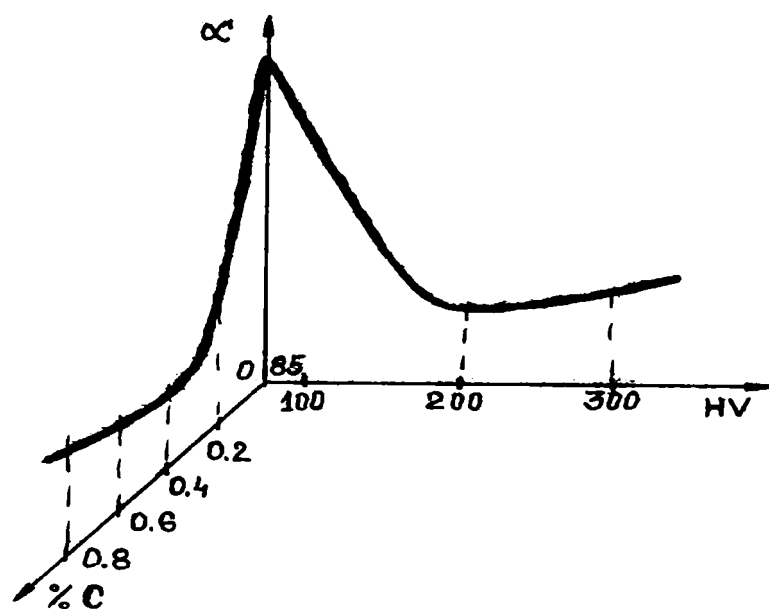


Figura 2.48. Reprezentarea grafică a interdependenței atenuare, $\%C$, HV .

Diagramele obținute permit determinarea aproximativă a valorilor rezistenței mecanice atunci când se cunoaște valoarea coeficientului de atenuare, figura 2.44. Conform figurii 2.45., după determinarea coeficientului de atenuare, ridicat pe o probă metalică, se poate determina concentrația în carbon a probei analizate, iar cu ajutorul figurii 2.46. se poate determina duritatea probei. În figurile 2.47. și 2.48. avem diagrame ce permit corelarea unei de atenuare ultrasonice cu caracteristicile oțelurilor carbon de calitate.

Pe baza cercetărilor făcute, pentru stabilirea interdependenței dintre parametrii utilizați am folosit graficele:

-influența concentrației de carbon asupra coeficientului de atenuare (figura 2.45)

-influența concentrației de carbon asupra durității (figura 2.49)

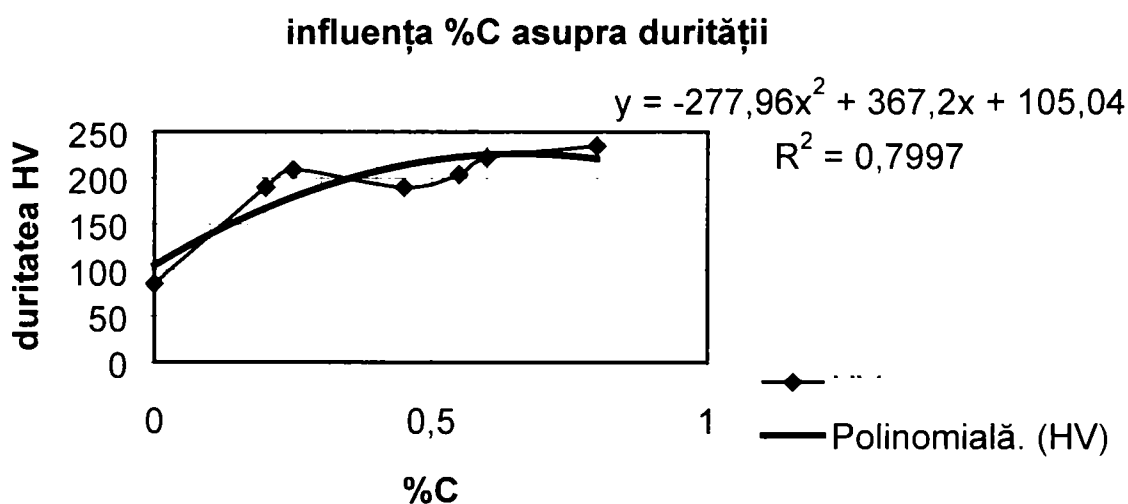


Figura 2.49. Influența concentrației de carbon asupra durității.

facem notațiile:

$$z = 163,91x^2 - 163,57x + 48,171$$

$$y = -277,96x^2 + 367,2x + 105,04$$

z- valoarea atenuării

y- valoarea durității

x- valoarea concentrației de carbon

$$y - z = -277,96x^2 + 367,2 + 105,04 - (163,91x^2 - 163,57x + 48,171)$$

$$y - z = -441,87x^2 + 530,77x + 56,869$$

Scriind ecuația sub forma:

$$\Rightarrow -441,87x^2 + 530,77x + 56,869 - y + z = 0 \quad (2.49)$$

ecuația este cea a unei quadrice. Cuadricea este ecuația unei suprafețe algebrice de gr. 2 a cărei formă vrem s-o determinăm. Cuadricea are următoarea ecuație generală:

notăm $g : R^3 \rightarrow R$

$$g(x, y, z) = a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{33}z^2 + 2a_{12}xy + 2a_{13}xz + 2a_{23}yz + 2a_{10}x + 2a_{20}y + 2a_{30}z + a_{00} \quad (2.50)$$

cu condiția :

$$a_{11}^2 + a_{22}^2 + a_{33}^2 + a_{12}^2 + a_{13}^2 + a_{23}^2 \neq 0 \quad (2.51)$$

Pentru a identifica coeficienții comparăm relațiile (1) și (2)

$$\begin{array}{lll} a_{11}= 441,87 & a_{12}= 0 & a_{10}= 265,385 \\ a_{22}= 0 & a_{13}= 0 & a_{20}= -1/2 \\ a_{33}= 0 & a_{23}= 0 & a_{30}= 1/2 \qquad a_{00}= 56,869 \end{array}$$

calculăm:

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{10} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{20} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{30} \\ a_{01} & a_{02} & a_{03} & a_{00} \end{vmatrix} \quad \text{unde: } a_{ij} = a_{ji} \quad (2.52)$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 441,87 & 0 & 0 & 265,385 \\ 0 & 0 & 0 & -1/2 \\ 0 & 0 & 0 & 1/2 \\ 265,385 & -1/2 & 1/2 & 56,869 \end{vmatrix} = 0 \quad \text{deoarece are două linii identice}$$

Apare evident că există o cuadrică degenerată.

Se calculează δ ,

$$\delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} \quad \text{unde: } a_{ij} = a_{ji} \quad (2.53)$$

$$\delta = \begin{vmatrix} -441,87 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} = 0$$

$$a_{11} = |-441,87| \neq 0 \quad \text{deci rangul lui } A=1$$

$$\begin{vmatrix} -441,87 & 265,385 \\ 0 & -1/2 \end{vmatrix} \neq 0 \quad \text{deci rangul lui } A = 2 \neq 1$$

deci ne aflăm în situația unui **cilindru parabolic** de ecuație $y^2 = 2px$ (2.54)

care are forma generală ca în figura 2.50:

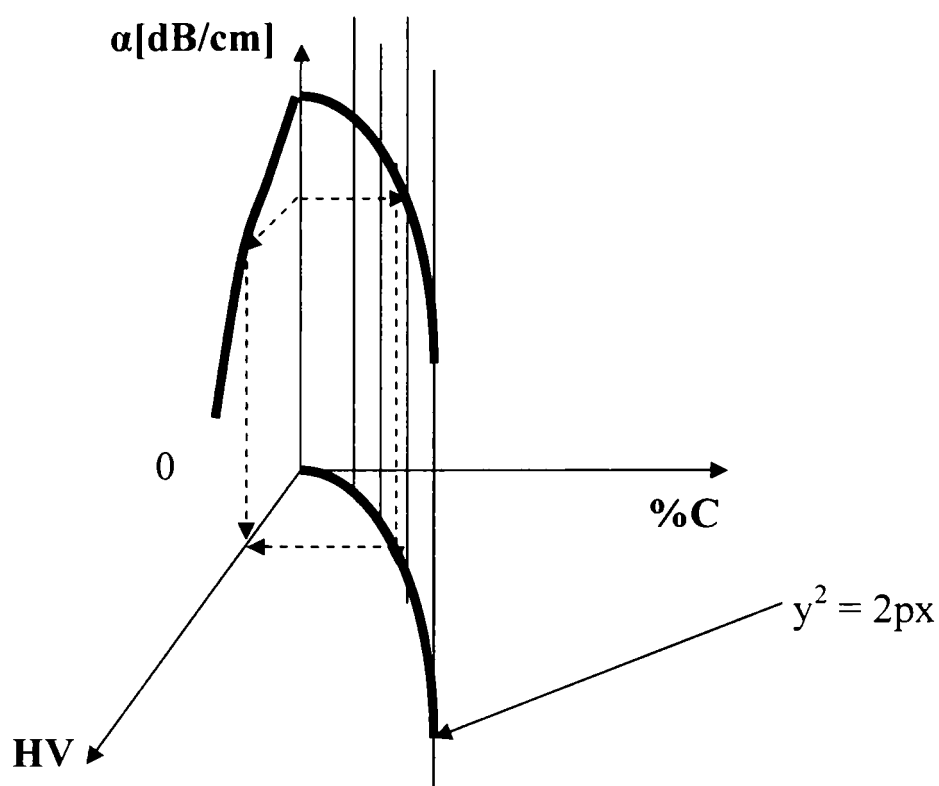


Figura 2.50. Corelație $\alpha = \Phi(\%C, HV)$.

Ecuția 2.54 pentru experimentul nostru are forma particulară :

$$(y - 56,869)^2 = 2 \cdot 18490 \cdot x \quad (2.55)$$

Luând în considerare datele experimentale (tabelul II.10) și prelucrarea matematică a lor se face reprezentarea grafică a ecuației (2.55) și se obține : $\alpha = \Phi(\%C, HV)$, fig.2.54.

Folosirea acestui grafic conform indicațiilor prin săgeți permite stabilirea în funcție de atenuarea undei ultrasonore, a durității și a conținutului în carbon al oțelului.

II.3. Concluzii

Concluziile parțiale ale primului capitol au arătat că avem nevoie de determinarea unei anumite game de oțeluri și de selecția corectă a oțelului din această gamă în scopul declarat de a avea o funcționare cât mai bună și cu o durată de viață a elementului activ cât mai mare. În capitolul II am studiat metode de control utilizate în vederea determinării caracteristicilor mecanice, fizice, chimice și a duratei de viață a elementelor active din termocentrală ce lucrează la presiuni și temperaturi ridicate.

Metodele de control a elementelor active se împart în două mari categorii:

- metode distructive pe care le-am efectuat conform normei tehnice de ramură NTR 10367-1980 ținând cont și de codul american B313-1990;
- metode nedistructive conform CR 20-80.

În ambele cazuri am utilizat și CR 29-82 pentru modificări structurale și verificarea deformațiilor.

În cazul metodelor distructive de control am efectuat încercări de fluaj, tracțiune, măsurători de duritate centralizate în tabelele: II.5., II.6., II.7., și s-au determinat mărimi a căror valoare va fi folosită la calcule ulterioare pentru realizarea unor corelații între proprietățile materialelor și caracteristicile ultrasonice.

Determinarea compoziției chimice am realizat-o prin identificare pe cale spectrală pentru fiecare tip de oțel după care, prin determinări experimentale prin analizele structurale am obținut procentajele de constituenți structurali din material, tabelul II.3. respectiv II.9.

Încercările distructive pun în evidență comportarea materialelor metalice la temperaturi ridicate prin mărimile date de încercările mecanice, (limită de curgere, duritate, încercare la fluaj) analiză metalografică, mărimi fizice. Compararea valorilor mărimilor obținute prin încercări distructive cu valorile inițiale ale materialului metalic pentru aceleași mărimi ne ajută la stabilirea duratei remanente de viață.

Avantajele metodelor distructive sunt:

- caracterizează comportarea materialului metalic utilizat în condiții de temperatură ridicate, printr-o analiză concretă a valorilor de la încercările de fluaj având o precizie destul de bună;
- încercările sunt accelerate realizându-se la temperaturi mai ridicate decât cele din exploatare;
- posibilitatea de realizare a unor încercări mecanice complexe în scopul obținerii unor caracteristici mecanice suplimentare.

Ca dezavantaje ale metodelor distructive de control putem enumera:

- creșterea temperaturii în momentul realizării încercărilor distructive prin metode accelerate conduce la modificări ale mecanismului ruperii;
- tehnica de încercare pentru determinarea caracteristicilor de mecanica ruperii la temperatură ridicată, este sofisticată, iar munca de cercetare este laborioasă;
- utilizarea încercărilor de scurtă durată pentru determinarea caracteristicilor de lungă durată nu se poate aplica pentru orice material și orice condiții;
- este necesară oprirea instalației pentru prelevarea de probe, ceea ce duce la pierderi economice datorate atât nefuncționării cât și înlocuirii elementelor din care au fost prelevate probe.

Dintre metodele nedistructive de control, am studiat replica metalografică precum și controlul cu ultrasunete ca metodă de evaluare a structurii materialului metalic 16Mo3.

După ce am determinat și marcat zonele de aplicare a replicilor, metalografice am trecut la șlefuirea și lustruirea mecanică a zonei respective după care am aplicat replica metalografică. După extragerea și conservarea replicii am făcut analiza microscopică la o mărire de 500X iar rezultatele au fost centralizate în planșa I.

Pentru conducta de abur viu cu dimensiunea Φ 356 x 50 realizată din oțelul 12CrMoV3 ce lucrează la presiunea $p_n=140$ bar și temperatura $T_n=540^\circ\text{C}$ cu o durată de funcționare de 17.500 ore, am calculat deformarea la fluaj și viteza de fluaj.

Relațiile de calcul folosite 2.16 și 2.17, conțin mărimi ce pot fi obținute ușor fără a folosi metode distructive, dar cu oprirea instalației. Este vorba de diametrul țevii după "X" intervale de timp, diametrul materialului nesupus la sarcină la 20°C și de durata de serviciu după "x" intervale de timp și de durata de serviciu precedentă.

Viteza de fluaj este un bun indicator de analiză a duratei de viață și ne permite să stabilim dacă fenomenul de fluaj este stabil.

În urma valorilor obținute pentru deformarea la fluaj și pentru viteza de fluaj, concluzia este că pentru conducta de abur viu, fenomenul de fluaj este stabil.

În continuare am evidențiat evoluția structurală a materialului metalic de-a lungul duratei de funcționare. În acest scop am realizat un studiu comparativ între starea inițială și starea după 75.000 ore de funcționare la un element activ confecționat din oțelul 16Mo3.

Oțelul 16Mo3 are în stare neutilizată structură ferito-perlitică granulară cu carburi fine de Mo.

După 75.000 ore de funcționare în structură s-a identificat ferită, perlită și carburi fine de Mo, fără însă a observa pori izolați, aliniați sau microfisuri. Analizele microscopice au pus în evidență evoluția microstructurală și anume descompunerea perlitei în ferită și carburi, lucru determinat de temperatura și tensiunile mecanice din exploatare.

Examinarea microscopică utilizând metoda replicilor metalografice, scoate în evidență faptul că materialul analizat nu prezintă defecte în exploatare, dar structurile feritice cu carburi fine prezente în structura materialului,

diminuează valoarea inițială a caracteristicilor mecanice și pot produce fenomene de îmbătrânire specifice acestor oțelurilor.

Am ales cercetarea structurii metalelor cu ultrasunete deoarece este o metodă foarte rapidă, ușoară și prin intermediul ei am realizat o corelație între caracteristicile ultrasonice analizate pe material și structura acestuia.

Am folosit pentru acest lucru un aparat ultrasonic modern, Sonic 136 plus prevăzut cu calculator și imprimantă de lucru și alimentare cu acumulatori care îi conferă o mare autonomie. Mediul de cuplare dintre piesă și palpator a fost întotdeauna același și anume vaselina. Frecvența de lucru în timpul controlului a fost de regulă de 5 MHz iar palpatoarele folosite au fost Nortec ZTM ¼” și Nortec ZTM ½”. Dintre parametri utilizați mai avem: viteza undei ultrasonice 5920m/s, întârzierea semnalului ultrasonic 1,2 mm, domeniul de măsură de 100mm pentru simplitate în calculele ulterioare iar rata de repetiție între 2 și 4 KHz.

Palpatoarele folosite în determinarea mărimilor acustice au folosit unde longitudinale la care direcția de mișcare a particulelor coincide cu direcția undei.

Măsurătorile efectuate cu ajutorul palpatoarelor au primit coeficientul de încredere bazat pe ecuația drepte de regresie $y=a+bx$ având $\alpha > 80$ ($\text{tg}\alpha = y_i/x$ – panta drepte de regresie).

Ridicând valorile utile din diagramele obținute cu ajutorul imprimantei, de la Sonic 136 plus, am putut urmări algoritmul de calcul al atenuării, iar valorile le-am centralizat în tabelul II.2.

În urma efectuării mai multor măsurători a rezultat clar că:

- pentru grăunți mici, transparența undelor ultrasonice este mare, deci fenomenul de difuziune este redus;
- se observă că pentru frecvență mare, deci lungime de undă mică, avem o atenuare mare iar pentru frecvență mică, lungime de undă mare, atenuarea este mică;

- atenuarea depinde de natura structurii oțelului supus examinării, atenuarea fiind maximă în cazul feritei;
- atunci când cristalele sunt mici comparativ cu lungimea de undă iar orientarea lor este dezordonată, este indicat să realizăm analiza cu o viteză medie a ultrasunetului indiferent de direcția de propagare (utilizăm o astfel de viteză la oțelurile feritice cu granulație fină);
- materialele metalice au proprietăți mecanice dependente structură. Proprietățile acustice sunt de asemenea influențate de structură, deci va trebui să găsim și între proprietățile mecanice și cele acustice o dependență. Pentru aceasta am calculat mai întâi coeficientul de atenuare cu relația:

$$\alpha = \frac{1}{l} \ln \frac{p_0}{p} \left[\frac{Np}{cm} \right] = \frac{1}{l} 2 \log \frac{I_0}{I} \left[\frac{B}{cm} \right].$$

Mărimile din această relație le-am extras din diagrama obținută cu aparatul Sonic 136 plus. Cunoscând valoarea coeficientului de atenuare a undei se poate determina mărimea de grăunte cu relația:

$$D = \sqrt[3]{\frac{525}{32\pi^2} \cdot \frac{\rho^2 v_L^8}{\mu^2 f^4}}$$

Am realizat pe baza rezultatelor experimentate corelația dintre atenuarea undelor ultrasonice și:

- duritate $\alpha = f(H.V.)$ fig. 2.44;
- concentrație în carbon $\alpha = f(\%C)$ fig.2.45;
- rezistență mecanică $\alpha = f(R_m)$ fig.2.46;

Pentru curbele obținute în figurile de mai sus am determinat forma de variație a atenuării prin funcția $y=f(x)$ afișată în dreptul fiecărui grafic.

Cunoscând funcția de $y=f(x)$ și mărimea atenuării U.U.S. se pot determina valorile pentru duritate, rezistență mecanică, %C, dimensiune de grăunte, concentrație de constituenți structurali.

Determinând ușor mărimea grăunților cristalini putem stabili dacă materialul ce urmează a fi exploatat are nevoie de tratamente termice.

Metoda de control nedistructivă cu ultrasunete are următoarele avantaje:

- măsurătorile dimensionale sunt precise și se pot realiza în zone greu accesibile prin alte metode;
- dă posibilitatea determinării defectelor de tip fisură, care este cea mai posibilă degradare a materialului prin oboseală;
- analiza materialului se realizează prin ridicarea de date în timpul funcționării elementelor active, cu o pregătire sumară a suprafeței;
- controlul elementelor active se realizează rapid și nu necesită decât un singur operator.

Ca dezavantaj este faptul că materialul poate să se afle în stare avansată de degradare dar fără a avea fisuri și sunt necesare determinări multiple pentru a determina curbe de corelare.

În urma experimentelor pe care le-am efectuat, rezultă că atenuarea ultrasunetului este datorată transformării energiei ultrasonice în căldură prin fenomene de absorbție, precum și devierii parțiale a razei ultrasonice de la direcția inițială prin fenomene de difuzie și refracție, lucru datorat structurii materialului metalic, și durtății acestuia.

Aceste constatări mi-au permis reprezentarea grafică a interdependenței atenuare, concentrație chimică, rezistență mecanică, figura 2.47 respectiv reprezentarea grafică a interdependenței atenuare, concentrație chimică, duritate, figura 2.48.

Concluzia importantă rezultată este că după determinarea coeficientului de atenuare ridicat pe o probă metalică, se poate determina rapid %C, duritatea materialului și rezistența mecanică cu ajutorul diagramelor din fig. 2.47. și 2.48.

Folosind elementele matematice corespunzătoare, am obținut o corelație matematică între atenuare, concentrația de carbon și duritate de forma $\alpha = f(\%C, HV)$, a cărei ecuație este $y^2 = 2px$ și se reprezintă grafic sub forma unui cilindru parabolic.

Utilizarea materialului grafic și a relațiilor matematice, ne permit practic, să pornim la determinarea mărimilor enunțate mai sus, pentru un material metalic, doar cu ajutorul echipamentului de control ultrasonic, care efectuează un control ușor și rapid și în locuri greu accesibile.

Baza de date obținută a permis realizarea unui program de calcul în Visual C, prin care să putem determina oricare din mărimile analizate.

Pasul de lucru este de 0,01, dar el poate fi modificat .

Programul permite schimbarea bazei de date, introducerea de datei noi sau completarea celor vechi. Putem constitui astfel programe de calcul pe tipuri de oțel.

CAPITOLUL III

DURATA DE VIAȚĂ A ELEMENTELOR ACTIVE

III.1. Determinarea duratei de viață proiectată

Fiabilitatea este probabilitatea ca un produs în condiții bine determinate, să îndeplinească funcția pentru care a fost creat, în decursul unui interval de timp t (la un moment dat). Calitatea unui produs este determinată de ansamblul proprietăților (caracteristicilor) sale utile, care se pot observa, încerca și măsura sau cel puțin compara cu un etalon [4].

Fiabilitatea este deci capacitatea de menținere în timp a caracteristicilor calitative ale produsului.

Definiția fiabilității are trei idei de bază:

- fiabilitatea este o probabilitate deoarece ea exprimă cum se va comporta produsul în viitor, deci reprezintă o probabilitate;
- fiabilitatea impune ca produsul să fie utilizat, conservat, depozitat în condiții bine precizate și respectate;
- timpul “ t ” variază de la un produs la altul, putând să însemne km pentru un autoturism, număr de conectări la un întrerupător, ore de funcționare la parametrii de lucru pentru un element activ, etc.

Fiabilitatea are patru forme distincte:

- fiabilitate previzională (proiectată);
- fiabilitate experimentală (de laborator), se poate determina prin metode accelerate (suprasolicitări) normale;

- fiabilitate operațională (efectivă) - se determină în condiții reale de funcționare;

fiabilitate nominală (***durata de viață***) - se înscrie pe produs și este garantată de furnizor.

În termocentrale elementele active sunt supuse la fluaj și la oboseală oligociclică. Între fenomenul de fluaj și fenomenul de oboseală oligociclică există o diferență esențială, unul lucrează cu nivel de tensiuni, iar celălalt cu interval de tensiuni. Fenomenul de fluaj este un fenomen activat termic, prin care materialul suportă o deformare lentă și continuă la tensiuni inferioare limitei de curgere fiind determinat de intensitatea nivelului de tensiuni. El este fenomenul principal care apare în elementele active din termocentrale.

Fenomenul de oboseală oligociclică este rezultatul contracției și dilatației termice din elementele active supuse la presiuni și temperaturi ridicate, fiind determinat de intensitatea intervalului de tensiuni.

Vom avea deci tensiuni principale care determină fenomenul de fluaj și tensiuni secundare care determină oboseala oligociclică. Tensiunile principale sunt cele care apar datorită presiunii, temperaturii și greutateii și exprimă nivelul de tensiuni pentru fluaj, iar tensiunile secundare sunt cele care apar contracției și dilatației termice și exprimă intervalul de tensiuni pentru oboseala oligociclică.

Tensiunile primare și secundare acționează simultan.

În estimarea fracțiunii de viață consumată a produsului se va ține cont de fracțiunea de viață consumată de fluaj q_f și de fracțiunea de viață consumată de oboseala oligociclică q_Δ .

$$q_f + q_\Delta = 1 \quad (3.1)$$

În conductă iau naștere tensiuni dispuse ca în figura 3.1.

Folosind relațiile Von Mises pentru intensitatea tensiunilor avem:

$$\sigma_1 = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_\theta^2 - \sigma_x \sigma_\theta + 3\tau_{x\theta}^2} \quad (3.2)$$

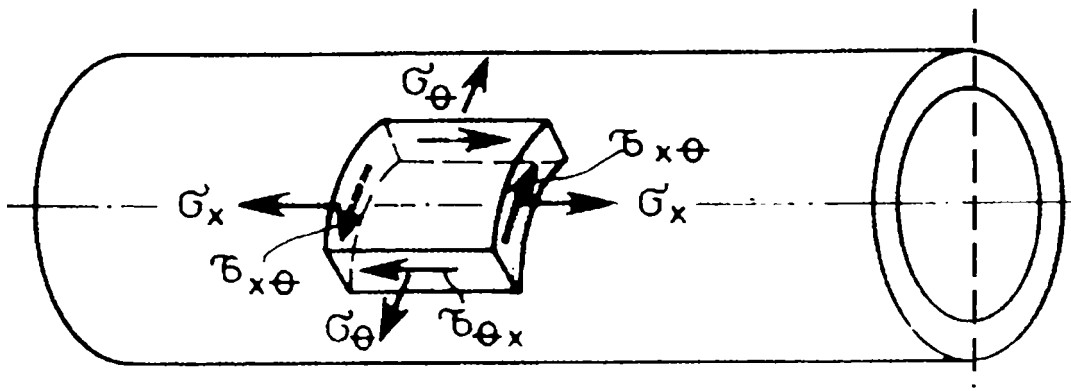


Figura 3.1. Eforturi în conductele elementelor active. [53]

unde: - $\sigma_x = \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_x + \mu \cdot \varepsilon_\theta)$ - tensiune maximă de-a lungul axei x

- $\sigma_\theta = \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_\theta + \mu \cdot \varepsilon_x)$ - tensiune maximă de-a lungul axei θ

- $\sigma_{x\theta} = \frac{\gamma_{x\theta}}{G}$ - tensiune maximă în secțiune transversală

- $\varepsilon_x; \varepsilon_\theta; \gamma_{x\theta}$ - deformații specifice

- μ - coeficientul lui Poisson

Notațiile folosite în calcule sunt: tensiuni provenite din presiune au indicele p

($\sigma_{xp}; \sigma_{\theta p}$); tensiuni provenite din greutate au indicele g ($\sigma_{xg}; \sigma_{\theta g}$);

tensiuni provenite din contracție termică au indicele Δ ($\sigma_x^\Delta; \sigma_{x\theta}^\Delta$).

Conform bibliografiei [] se pot scrie relațiile:

- pentru tuburi subțiri $t/D_0 \leq 0,1$ și $\sigma_{\theta p} = 2 \sigma_{xp}$ avem:

- intensitatea nivelului tensiunilor primare provenite din presiune σ_{ip} .

$$\sigma_{ip} = \sqrt{\sigma_{xp}^2 + \sigma_{\theta p}^2 - \sigma_{xp} \sigma_{\theta p}} = \sqrt{3\sigma_{xp}^2} \quad (3.3)$$

- intensitatea nivelului tensiunilor primare provenite din greutate σ_{ig}

$$\sigma_{ig} = \sqrt{\sigma_{xg}^2 + 3\tau_{x\theta g}^2} \quad (3.4)$$

$$\sigma_{\theta g} = 0 \quad ; \quad (3.5)$$

- intensitatea tensiunilor secundare provenite din expansiune termică

$$\sigma_i^\Delta = \sqrt{(\sigma_x^\Delta)^2 + 3(\tau_{x\theta}^\Delta)^2} \quad (3.6)$$

- intensitatea tensiunilor principale

$$\sigma_{ipr} = \sqrt{\sigma_{ig}^2 + \sigma_{ip}^2} \quad (3.7)$$

- condiție $\sigma_{ipr} < \sigma_{cc}$ (σ_{cc} = limita de curgere la cald) (3.8)

Norma tehnică ISCIR C29-82 care reglementează modul de determinare și urmărire a fluajului, nu ia în considerare efectul ciclurilor de dilatare-contrație termică. Se urmărește prin această normă deformația specifică (cu ajutorul unor repere de control) și se evidențiază durata de viață.

Pornind la calcul în situația acțiunii simultane a oboselii oligociclice și a fluajului avem următorul algoritm de calcul conform bibliografiei [53]:

- se definește un număr echivalent de cicluri N_{ef} care corespunde unei durate efective de viață H_{ef} ore. N_f proporțional cu H_{ef}
- pentru fluaj se determină o durată de viață τ_d
- se compară H_{ef} cu τ_d iar procesul de calcul tinde spre valori egale ale acestor mărimi de calcul.
- se păstrează coeficienții de siguranță definiți pentru fiecare fenomen în parte.
- formula lui Coffin permite determinarea intensității tensiunilor σ_{ir} și numărul de cicluri de rupere N_r

$$\frac{\sigma_{ir}}{2} = mN_r^{-n} \quad (3.9)$$

$$N_r = \left(\frac{m}{\sigma_{ir}}\right)^{1/n} \cdot 2^{1/2} \quad (3.9')$$

Unde : σ_{ir} - intensitatea tensiunii de rupere

N_r - numărul de cicluri de rupere

m, n – coeficienți ce depind de calitatea materialului conductei

pentru $n = 0,2$ coeficientul de siguranță este 32

Conform criteriului de degradare cumulativă (Palmer, Louger, Minner) stările de degradare S_{ij} și S_{0j} provocate de solicitarea σ_i pe durata n_{ij} cicluri și solicitarea σ_0 pe o durata n_{ij}^e cicluri sunt echivalente dacă relația este adevărată

$$\frac{n_{ij}}{N_i} = \frac{n_{ij}^e}{N_0} \quad (3.10)$$

unde : - n_{ij} - număr de cicluri

- n_{ij}^e - număr de cicluri echivalent

- N_i - număr de cicluri maxime la solicitări cu amplitudine constanta σ_i

- N_0 - număr de cicluri maxime la solicitări cu amplitudine constanta σ_0

Forma generală a relației dintre $\sigma_{E\Delta}$ și N_E este:

$$\frac{i \cdot \sigma_{E\Delta}}{2} = m \cdot N_E^{-n} \quad (3.11)$$

unde: - n, m = coeficienți ce depind de calitatea materialului

- i = factor de intensificare a tensiunilor

- N_E = număr de cicluri efective

- $\sigma_{E\Delta}$ = interval de tensiuni efective datorat contracției termice

Pentru oțeluri carbon obișnuite relația devine:

$$\frac{i \cdot \sigma_{E\Delta}}{2} = 17248 \cdot N_E^{-n} \quad (3.11')$$

și se poate scrie sub formă generală astfel:

$$\sigma = m \cdot N^{-n} \quad (3.11'')$$

- intensitatea admisibilă a intervalelor tensiunilor provenite din expansiunea

contractia termică (σ_{iA}) este:

$$\sigma_{iA} = \left(\frac{7300}{N_{ef}}\right)^n [1,25\sigma_{ar} + 0,5\sigma_{ac}] \quad (3.12)$$

în care: $n = 0,2$

N_{ef} = numărul de cicluri echivalent

După acest număr durata de viață la oboseala oligociclică este epuizată

Numărului de cicluri echivalent N_{ef} îi corespunde o durată de viață în ore H_{ef} fracția de viață consumată de ciclurile provenite din expansiunea – contractia termică este :

$$q_{\Delta} = \left(\frac{\sigma_i^{\Delta}}{\sigma_{iA}}\right)^{1/n} \quad (3.13)$$

pentru $n = 0,2$ ($n = 0,2$ unanim acceptat de reglementările internaționale)

$$\Rightarrow q_{\Delta} = \left(\frac{\sigma_i^{\Delta}}{\sigma_{iA}}\right)^5 \quad (3.14)$$

$$q_f = 1 - q_{\Delta} \quad (3.15)$$

pentru stabilirea duratei de viață la fluaj relația de bază este:

$$\tau_r = m \cdot \sigma_{lpr}^{-n} \quad (3.16)$$

unde: τ_r - durata de viață

m – coeficient ce depinde de material

n – exponentul la rupere dependent de temperatură ce se extrage din diagramele de determinare a fracțiunii de coroziune din figura nr. 3.2 (nu este $n = 0,2$ de la oboseala oligociclică) și se determină pornind de la 2 starea de tensiune σ_{ipr1} σ_{ipr2} .

$$\tau_1 \sigma_{ipr1}^n = \tau_2 \sigma_{ipr2}^n = const. \quad (3.17)$$

$$n = \lg \frac{\tau_2}{\tau_1} / \lg \frac{\sigma_{ipr1}}{\sigma_{ipr2}} \quad (3.18)$$

unde: τ_1 și τ_2 sunt duratele până la rupere.

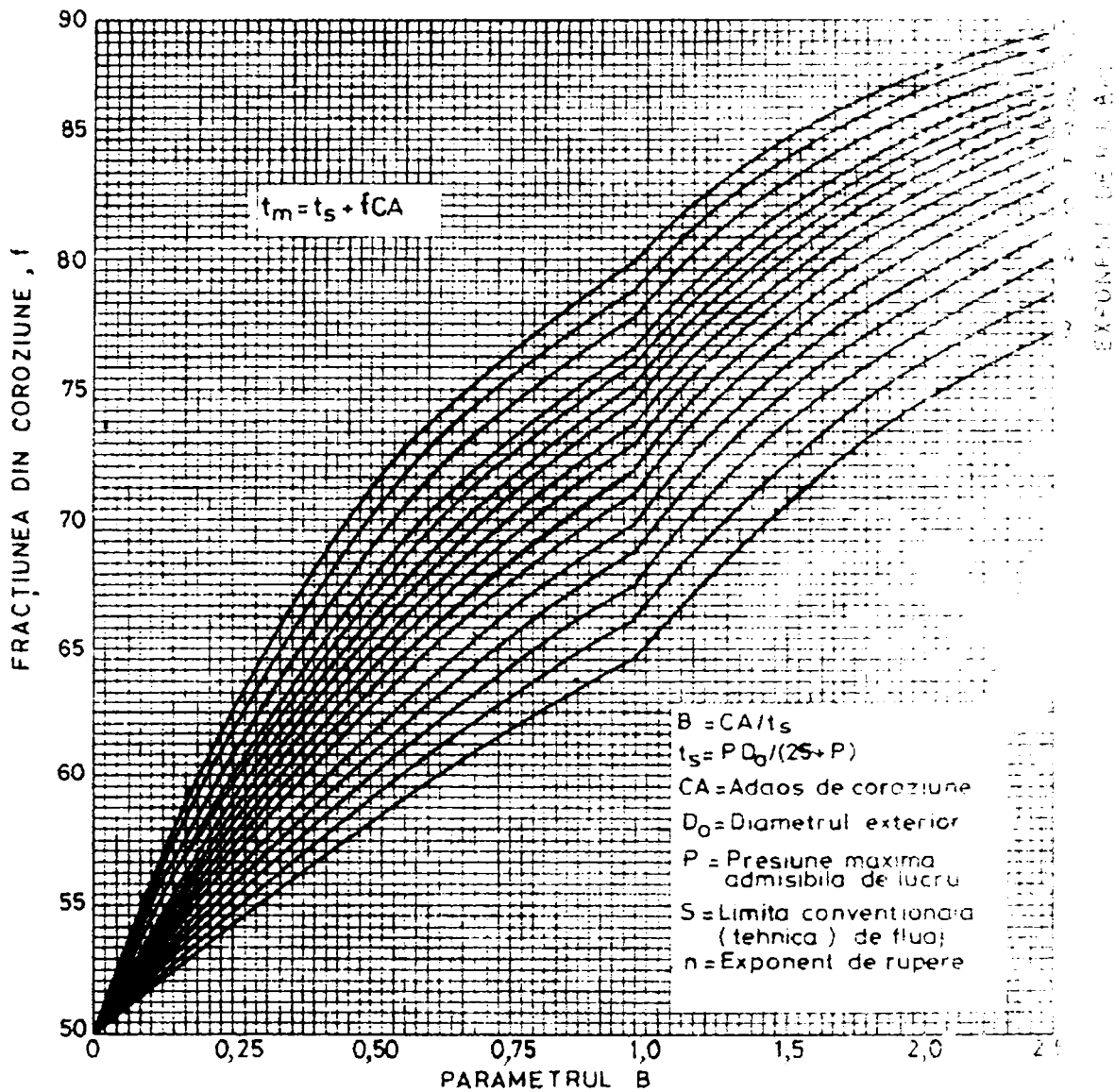


Figura 3.2. Diagrama de determinare a fracțiunii de coroziune, [53].

- se notează cu τ'_d – timpul de proiectare determinat în cazul când fluajul ar acționa singur. Cu fracția de viață disponibilă q_f și durata de viață efectivă la fluaj în condițiile acțiunii simultane ale fluajului și oboselii oligociclice τ_d se obține:

$$\tau'_d = \tau_d / q_f \quad (3.20)$$

$$P_{LM} = (T_d^0 C + 273) (C + \lg \tau'_d) \quad (3.21)$$

$$\tau'_d = 10 \frac{P_{LM}}{T_d + 273} - C \quad (3.22)$$

se utilizează parametrul Larson-Miller (P_{LM}) sub forma:

$$P_{LM} = (T_d + 273) \cdot (C + \tau_d) \quad (3.19)$$

unde: T_d = temperatura de pierdere în $^{\circ}\text{C}$

τ_d = durata prevăzută în proiectare pentru fluaj

c = parametrii de material 15 – pentru oțeluri feritice

20 – pentru oțeluri austenitice

- cu P_{LM} și tensiunea din sistem conform diagramelor ASTM A213T11 A335P11, A200T11 sau A161 T1, A103 GrB, A 58 GrB, se permite determinarea rezistenței de rupere medie și minimă la fluaj după 100.000 h de funcționare și pot fi utilizate pentru estimarea rezistenței admisibile la rupere pentru durate de viață între 20.000 ore și 200.000 ore.

pentru acțiunea simultană oboseală oligociclică– fluaj

$$\tau_d = \tau'_d \cdot q_f \quad (3.23)$$

$$\tau_d \sigma_{ipr1}^n = \tau'_d \sigma_{ipr}^n \quad (3.24)$$

în care: σ_{ipr} este intensitatea tensiunilor primare din sistemul considerat.

Dacă fluajul ar acționa singur, în funcție de proba analizată, durata de viață proiectată, sau durata de viață rămasă τ'_d se obține cu relația 3.25

$$\tau'_d = \tau_d \left(\frac{\sigma_{ipr1}}{\sigma_{ipr}} \right)^n \quad (3.25)$$

Introducând și coeficientul de siguranță la fluaj C_f a cărui valori sunt între 1,1 și 1,3 relația (3.25) devine:

$$\tau'_d = \tau_d \left(\frac{\sigma_{ipr1}}{C_f \cdot \sigma_{ipr}} \right)^n \quad (3.26)$$

În cazul prelungirii duratei de viață, τ_d are ca reper momentul decupării probei de țevă.

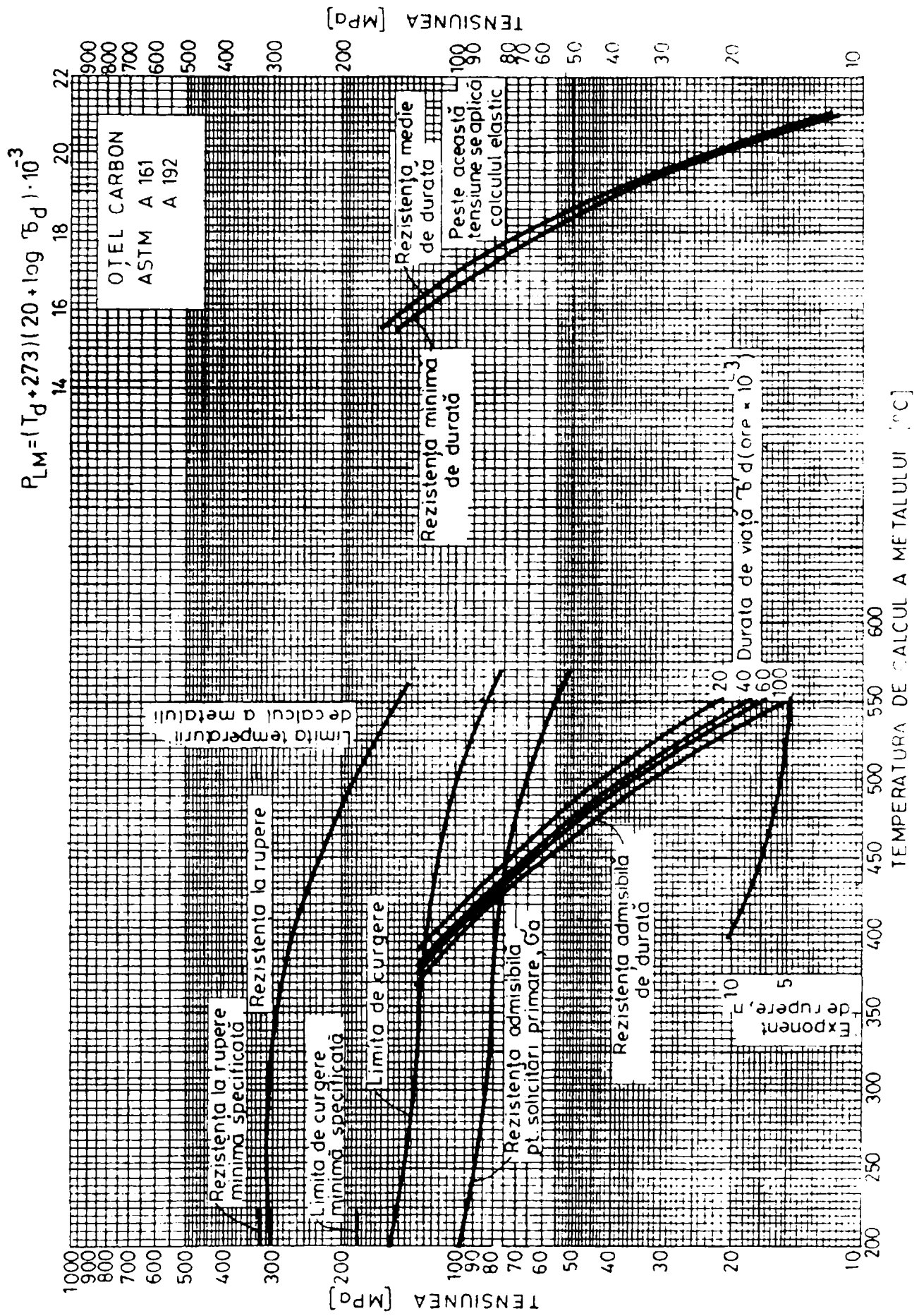


Figura 3.3. Diagrama de calcul pentru oțeluri carbon, [53].

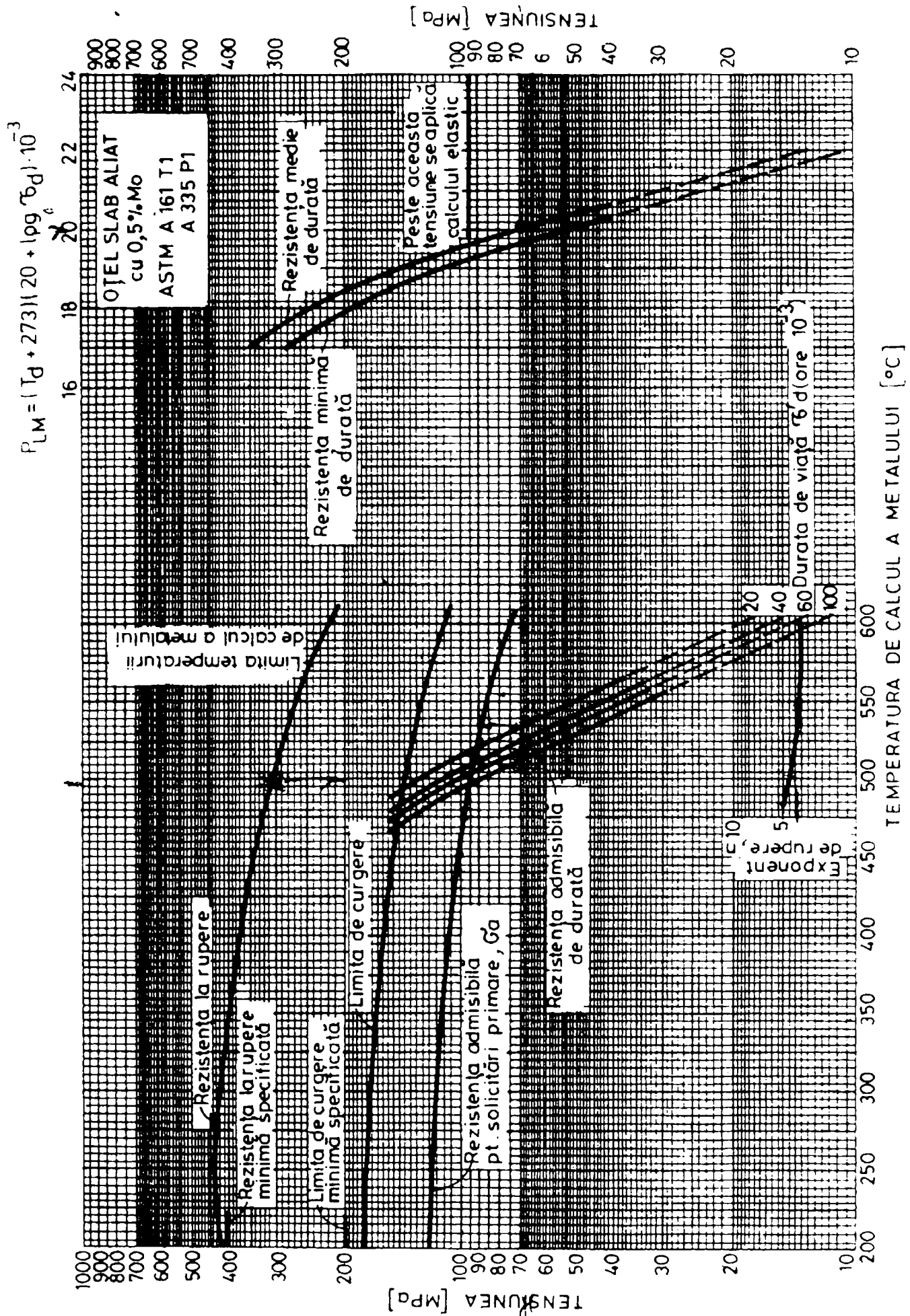


Figura 3.4. Diagrame de calcul pentru oțeluri slab aliate, [53].

Etapele calculului la oboseală oligociclică și fluaj conform bibliografiei [53], sunt:

- se stabilesc tensiunile longitudinale σ_x^Δ , și tangențiale $\tau_{x\theta}^\Delta$, provenite din expansiunea contracția termică, după care se alege perechea σ_x^Δ , $\tau_{x\theta}^\Delta$ pentru care intensitatea acestor tensiuni este maximă conform relației (3.6)

$$\sigma_i^\Delta = \sqrt{(\sigma_x^\Delta)^2 + 3(\tau_{x\theta}^\Delta)^2} \quad (3.27)$$

- se stabilesc tensiunile longitudinale, σ_{xg} și $\tau_{x\theta g}$, provenite din greutate, după care se alege perechea σ_{xg} și $\tau_{x\theta g}$ pentru care intensitatea acestor tensiuni este maximă conform relației (3.5)

$$\sigma_{ig(t)} = \sqrt{\sigma_{xg(t)}^2 + 3\tau_{x\theta g(t)}^2} \quad (3.28)$$

- se stabilește valoarea numărului echivalent de cicluri N_{ef} cu relația (3.29)

$$N_{ef} = n_1 \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_E} \right)^5 + n_2 \left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_E} \right)^5 + \dots + n_n \left(\frac{\Delta T_n}{\Delta T_E} \right)^5 \quad (3.29)$$

în care: - n_j este numărul de cicluri ce se produc cu diferența de temperatură ΔT_j

- ΔT_E este ΔT_j maxim.

- se stabilesc valorile intensității admisibile a intervalelor tensiunilor din expansiunea contracția termică σ_{iA} cu relațiile (3.30 sau 3.31)

$$\sigma_{iA} = \left(\frac{7300}{N_{ef}} \right)^{0.2} [1,25 \cdot \sigma_{ar} + 0,25 \cdot \sigma_{ac}] \quad \text{pentru } N_{ef} \geq 7300, \quad (3.30)$$

$$\sigma_{iA} = 1,25 \cdot \sigma_{ar} + 0,25 \cdot \sigma_{ac}, \quad \text{pentru } N_{ef} \leq 7300, \quad (3.31)$$

unde:- σ_{ar} - este rezistența admisibilă la rece;

- σ_{ac} - rezistență admisibilă la cald.

- se determină valoarea inițială a fracției de viață consumată la oboseala oligociclică și a fracției de viață disponibilă pentru fluaj:

-a) fracțiunea de viață consumată de expansiunea contractia termică q_{Δ} este dată de relația (3.32).

$$q_{\Delta} = \left(\frac{\sigma_i^{\Delta}}{\sigma_{i,A}} \right)^5 \quad (3.32)$$

- b) fracțiunea de viață disponibilă pentru fluaj q_f este dată de relația (3.32)

$$q_f = 1 - q_{\Delta} \quad (3.33)$$

- determinarea duratei de viață la fluaj:

- se determină succesiv pentru fiecare diametru și grosime a peretelui

$$t_s = t - c_a; \quad (3.34)$$

$$B = c_a / t_s, \quad (3.35)$$

unde t - este grosimea inițială a peretelui conductei ;

c_a - adaosul de coroziune.

- se determină coeficientului de rupere n din diagramele de fluaj ale oțelului conductei, pentru temperatura de proiectare dată.

- se determină cu diagrama din figura 3.2 fracția de coroziune pentru fiecare diametru și grosime a peretelui conductei. Frația de coroziune se poate obține prin calcul numeric și din ecuația:

$$\frac{1}{(n-1)B} \cdot \left[\frac{1}{(1+fB-B)^{n-1}} - \frac{1}{(1+fB)^{n-1}} \right] = 1. \quad (3.36)$$

- se determină grosimea convențională t_m pentru fiecare diametru și grosime a peretelui

$$t_m = t_s + f \cdot c_a. \quad (3.37)$$

- se stabilesc valorile intensității tensiunilor primare provenite din presiune (3.40):

$$\sigma_{\theta TM} = p (D_0 - t_m) / 2t_m, \quad (3.38)$$

$$\sigma_{xp TM} = \sigma_{\theta} TM / 2 \quad (3.39)$$

$$\sigma_{ip TM}^2 = 3 \sigma_{xp TM}^2 \quad (3.40)$$

Se adoptă σ_{ip}^{TM} maxim .

- se stabilesc valorile intensității tensiunilor primare provenite din greutate care sunt calculate cu grosimea t_m . Pentru diametrele diferite și grosimi de perete diferite se alege perechea $\sigma_{xg(tm)}$ și $\tau_{x\theta g}^{TM}$ care face ca intensitatea tensiunilor provenite din greutate să fie maximă.

$$\sigma_{ig(tm)}^2 = \sigma_{xg(tm)}^2 + 3\tau_{x\theta g(tm)}^2 \quad (3.41)$$

- se determină intensitatea tensiunilor primare (3.43)

$$\sigma_{ipr(tm)} = \sqrt{\sigma_{ip(tm)}^2 + \sigma_{ig(tm)}^2} \quad (3.42)$$

Din diagrama de fluaj a oțelului conductei cu σ_{ipr}^{TM} , exprimat în (Mpa) sau (N/mm^2), se obține parametrul Larson-Miller notat P_{LM} și constanta C (vezi figura nr.3.3, fig.3.4,).

- se determină durata de viață la fluaj ca și cum ar acționa singur τ'_d (3.63)

$$\tau'_d = \frac{P_{LM}}{10^{T^0 C + 273}} - C \quad (\text{ore}) \quad (3.43)$$

- se ia în considerație suprapunerea fluajului cu oboseala oligociclică (3.62)

$$\tau_d = \tau'_d \cdot q_f \quad (\text{ore}) \quad (3.44)$$

- durată de viață H_{ef} ore corespunde celor N_{ef} cicluri. Durata de viață la fluaj, τ_d , obținută mai sus nu este egală (în majoritatea cazurilor) cu H_{ef} și deci epuizarea duratei de viață la oboseală oligociclică și la fluaj nu se produce simultan.

În această situație se disting două cazuri:

- $\tau_d \geq H_{ef}$, și nu este necesar să se efectueze nici un calcul, adoptându-se durată N_{ef} pentru ambele fenomene
- $\tau_d \leq H_{ef}$ (caz frecvent), este necesar un calcul iterativ pentru a stabili o durată de viață, aceeași pentru ambele fenomene

Iterațiilor care se fac sunt pentru a corecta fracția de viață la oboseala oligociclică până se obține egalitatea $\tau_d = H_{ef}$.

Astfel:

- se execută o primă iterație pentru determinarea fracțiunii de viață la oboseala oligociclică cu durata de viață la fluaj τ_d determinată conform relației 3.44

$$q_{\Delta 1} = q_{\Delta} \frac{\tau_d}{H_{ef}} \quad (3.45)$$

$$q_{\Gamma 1} = 1 - q_{\Delta 1} \quad (3.46)$$

- se determină adaosul de coroziune consumat în τ_d ore pentru fiecare diametru și grosime a peretelui.

- se determină intensitatea tensiunilor primare pentru fiecare diametru și grosime medie a peretelui conductei t_{m1} .

$$\sigma_{ipr1} = \sqrt{\sigma^2 ip1 + \sigma^2 ig1} \quad (3.47)$$

Cu valoare lui σ_{ipr1} , în (Mpa) sau (N/mm²), se intră în diagramele de fluaj ale oțelului din care este construită conducta și se obține P_{LM1} obținându-se apoi

$$\tau'_{d1} = \frac{P_{LM1}}{10^{T^0C} + 273} - C \quad (\text{ore}) \quad (3.48)$$

$$\tau_{d1} = \tau'_{d1} \cdot q_{\Gamma 1} \quad (\text{ore}) \quad (3.49)$$

Diferența τ_d și τ_{d1} poate fi:

- nesemnificativă și procesul se oprește, epuizarea la oboseala oligociclică și fluaj producându-se simultan după τ_{d1} ore.
- Semnificativă și interațiile continuă până când $[\tau_{d(j-1)} - \tau_{dj}]$ devine cu adevărat mică.

La această metodă ne rezultă o grosime inițială t_0 pentru care durata de viață la fluaj și la oboseală oligociclică, este aceeași, când ele acționează împreună. Cu toate că avem coeficienți de siguranță, datorită cărora avem rezerve la sfârșitul duratei de viață comune pentru fluaj și oboseală oligociclică, este necesar ca în ultima treime de viață a conductei să se facă încercările de lungă durată.

Aceste etape de calcul pot fi folosite nu numai odată cu proiectarea ci și pentru determinarea rezervei de viață a conductei.

Datorită faptului că în țară la noi este dificil de urmărit și de măsurat fenomenul de oboseală oligociclică, Institutul Român de Standardizare a acceptat ca durata de viață să fie monitorizată prin prelucrarea și interpretarea datelor experimentale de la fluaj (STAS 8894/2-81).

Rezistența tehnică de durată poate fi determinată conform acestui STAS prin metoda directă, prin metoda Larsson – Miller, prin metoda Sherby – Dorn, prin metoda Manosn – Hanfred și prin metoda Constantinescu

Etapele de calcul sunt asemănătoare la aceste metode și constau în determinarea constantei de extrapolare care permite determinarea parametrului de extrapolare. Cunoscând parametrul de extrapolare corespunzător metodei de lucru, se poate stabili o corelație între acesta și logaritmul tensiunilor de încercare.

Prin determinarea valorii medii a rezistenței tehnice de durată se poate trece la determinarea valorii indicatorului de fiabilitate adică a duratei de viață.

Unul din elementele active analizate în teză este Supraîncălzitorul. Am supus spre analiză tronsonul de conductă sub formă de inele de la conducta de abur supraîncălzit al cazanului de 420 t/h.

Analiza secțiunilor transversale ale conductei s-au realizat conform recomandărilor prescripțiilor tehnice C29-75.

Durata de viață proiectată este de regulă de 100.000 de ore ,ea putând fi mărită dacă regimul de lucru al conductei este mai puțin solicitant.

În proiectare se disting două metode importante:

- pentru o durată de viață de 100.000 de ore se determină materialul care satisface cerințele impuse de regimul de lucru;
- alegând un material convenabil pentru construcția elementului activ și utilizând rezistența tehnică de durată și parametri Weibull, elemente

determinate cu ajutorul normelor ISCIR se determină dimensiunile de lucru ce satisfac regimul de lucru impus.

Cele două metode au avantaje și dezavantaje specifice, putându-se ajunge la situații de extrem, când fie am un material prea scump, fie am o supradimensionare a conductei. Există și posibilitatea impunerii atât a materialului cât și a dimensiunilor și determinarea cu aproximație din standarde a duratei de viață.

Atunci când se trece la proiectarea instalațiilor care lucrează la presiuni și temperaturi ridicate se are în vedere necesitatea exploatării în condiții de siguranță a construcției ce urmează a fi calculată. Deoarece oțelurile din domeniul energetic au condiții deosebite de funcționare, datele pe care le folosim în proiectare sunt:

- presiunea p (MPa), temperatura T ($^{\circ}\text{C}$ sau $^{\circ}\text{K}$), durată de lucru (ore), tensiune, care sunt parametri de lucru și de încărcare;
- parametri de material (incluzând și rezistența tehnică de durată și limita de fluaj);
- normele ISCIR în vigoare;
- peste 450°C se ia în considerare fluajul.

În cele ce urmează sunt date exemple de folosire a datelor în proiectare, utilizând cele două metode prezentate mai sus.

Se consideră țeava din Supraîncălzitorul I cu dimensiunile $\Phi 32 \times 5$ ce lucrează la temperatura de 450°C și presiunea $p = 14,61\text{MPa}$. Tensiunile ce iau naștere în secțiunea transversală se datorează presiunii interioare și sunt indicate în figura nr. 3.5, iar expresiile de calcul ale tensiunilor sunt:

- tensiunea normală pe direcție tangențială σ_{θ} ;

$$\sigma_{\theta} = pr_m/h \quad (3.50)$$

- tensiunea normală pe direcție longitudinală $\sigma_{x,p}$;

$$\sigma_{x,p} = pr_m/2h \quad (3.51)$$

unde: r – este raza mediană a secțiunii.

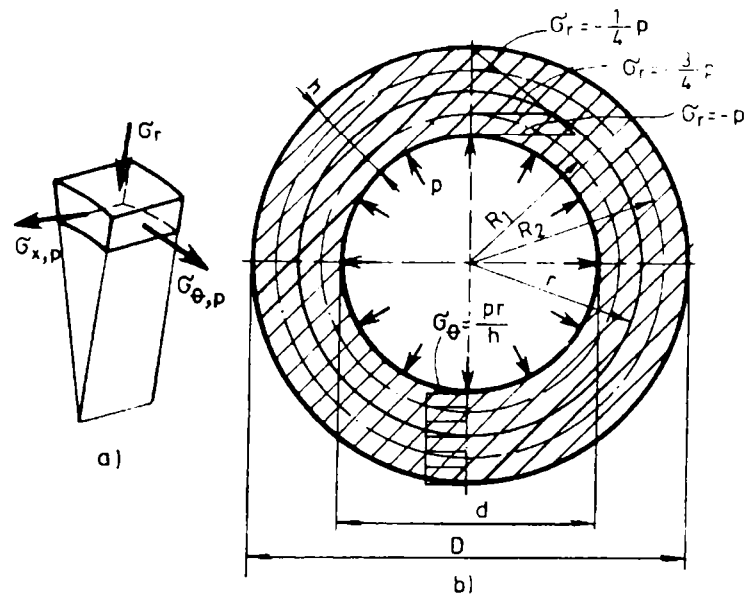


Figura 3.5. Tensiuni produse în secțiunea transversală a unei conducte, [53].

Înlocuind în relațiile (3.45) și (3.46) datele cunoscute se obțin următoarele valori:

$$\sigma_{\theta} = 43,10 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{xp} = 21,55 \text{ MPa}$$

Aplicând valorii maxime σ_{θ} , un coeficient de corecție (care este un coeficient de siguranță cu valori între 1,3...2) de 1,5 se obține o valoare de calcul a tensiunii de aproximativ $\sigma_a = 64,65 \text{ MPa}$.

Conform prescripțiilor ISCR – C4, tensiunea admisibilă de calcul se stabilește ca fiind valoarea cea mai mică dintre valorile:

- 2/3 din rezistența de curgere la temperatura de lucru proiectată
- 5/12 din rezistența tehnică de durată la temperatura de lucru proiectată

Ținând cont de prescripțiile tehnice C4 – ISCIR ne rezultă valori ale tensiunii pentru temperatura de 450°C , corespunzătoare oțelului 16Mo3.

Determinarea diametrului interior pentru același tip de conductă, dar la care temperatura de lucru este de 530°C , iar materialul este 14 CrMo4, se face în modul următor:

- diametrul exterior $D = 32 \text{ mm}$

- presiunea în conductă $p = 140$ bari
- temperatura de lucru $T = 520$ °C ; (793K)
- durata de calcul 100.000 ore

Pentru aceste date ne rezultă:

- rezistența tehnică de durată $R_{r,h} = 94$ daN/mm²
- parametrul de formă $\beta = 2,8$
- parametrul de scară reală $\eta = 99.443$

Utilizând normele ISCR și formulele (3.45) , (3.46) avem:

- rezistența admisibilă $\sigma_a = 46$ MPa. ($2/3R_{p0.2/100000}$)
- grosimea de perete calculată $h = 4,85$ mm

Aproximarea dimensiunii grosimii conductei se face spre limita superioară la 5 mm ,cea ce face sa avem o tensiune efectivă în conductă, corespunzătoare grosimii de perete adoptate.

Tensiunea efectivă în conductă va fi în acest caz $\sigma_{ef} = 44,8$ MPa.

Probabilitatea de rupere la fluaj după 100.000 de ore se face folosind diagrama caracteristică de fiabilitate a oțelului 14CrMo4 din figura nr. 3.6

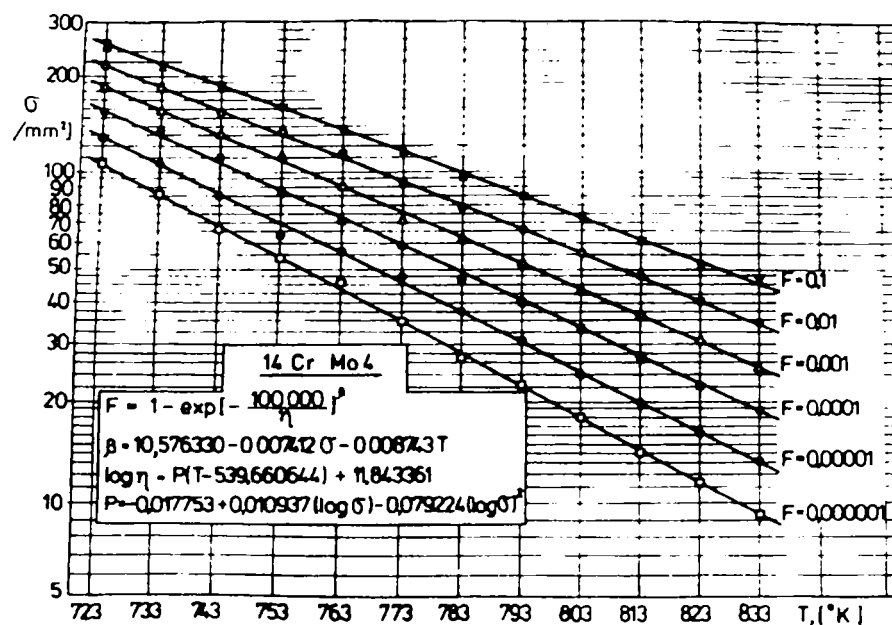


Figura 3.6. Diagrama caracteristică de fiabilitate pentru durată de 100.000 ore la oțelul 14CrMo4[38].

Se observă din diagramă că pentru conducta analizată, probabilitatea de rupere la fluaj după 100.000 de ore, “F”, este mai mică decât 10^{-3} .

Valoarea probabilității de rupere la fluaj după 100.000 de ore, “F” se calculează cu relația:

$$F = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (3.52)$$

Înlocuind cu valori în relația (3.52) se obține $F = 4,7711 \times 10^{-4}$, ceea ce ne demonstrează că dimensionarea este corespunzătoare.

III.2. Determinarea duratei de viață în exploatare

III.2.1. Metoda Parametrului Larson- Miller

Determinarea duratei de viață în exploatare aduce ca noutate față de durata de viață proiectată, un calcul și o analiză ce se bazează pe starea materialului la un moment dat. Momentul este cerut fie de normele ISCIR, fie de faptul că elementul activ se apropie de durata de viață proiectată.

În determinarea duratei de viață în exploatare este necesar realizarea de încercări distructive și nedistructive în funcție de metodele folosite. Se efectuează asupra conductelor analizate următoarele analize și încercări:

- analize chimice cu scopul determinării compoziției chimice, a cantităților procentuale de elemente componente;
- analize metalografice cu replici metalografice sau prin metode tradiționale în scopul determinării structurii materialului și a altor elemente specifice:
- încercări de scurtă durată ca :
 - a) încercări de duritate pentru determinarea durtății Vickers sau Brinell
 - b) încercări la tracțiune prin care se determină rezistența la rupere R_m , limita de curgere convențională $R_{p0.2}$, alungirea la rupere A_5 , gătuirea la rupere Z
 - c) încercări la încovoiere prin șoc pentru determinarea rezilienței KCU
 - d) încercări de lungă durată cum ar fi încercarea la fluaj între anumite temperaturi

În cazul încercărilor distructive, rezultatele experimentale obținute permit prin metode de calcul specifice determinarea succesivă a parametrului Larsson-Miller (P_{LM}) și a rezistențelor tehnice de durată, respectiv rezerva duratei de viață a elementului supus analizei.

În cazul încercărilor nedistructive, se folosește replica metalografică Struers. Metoda grăunților degradați realizează o evaluare a degradării structurii prin intermediul parametrului "A", în urma analizei imaginii structurii obținute la

microscop pe replica metalografică. În funcție de parametrul “A”, se obține valoarea fracției duratei de viață consumate, pe baza căreia se determină durata remanentă de viață. În teză sunt prezentate metoda parametrului Larsson-Miller, metoda dată de NTR10401 și metoda grăunților degradați.

Analiza duratei de viață am realizat-o pe oțeluri din termocentrale mai noi de tip 12CrMoV3 precum și pe oțeluri foarte frecvente în termocentrale mai vechi cum ar fi 16Mo3 și 12H1MF.

Prelevarea probelor s-a realizat în funcție de dimensiunile conductelor analizate. În cazul conductei din material 12H1MF cu dimensiunile $\phi 426 \times 16$ mm ce lucrează la presiuni de 24,4 bar și temperaturi de 540°C . prelevarea de probe s-a realizat pe direcție transversală întrucât grosimea peretelui de conductă a permis acest lucru. S-au prelevat atât probe pentru încercări mecanice cât și analize metalografice.

Probele pentru analiza metalografică s-au realizat conform STAS-ului în vigoare atât pe direcție longitudinală cât și pe direcție transversală. Analiza cu microscopul optic a permis vizualizarea celor trei zone distincte din secțiunea transversală a unei conducte, zona interioară, centrală și exterioară.

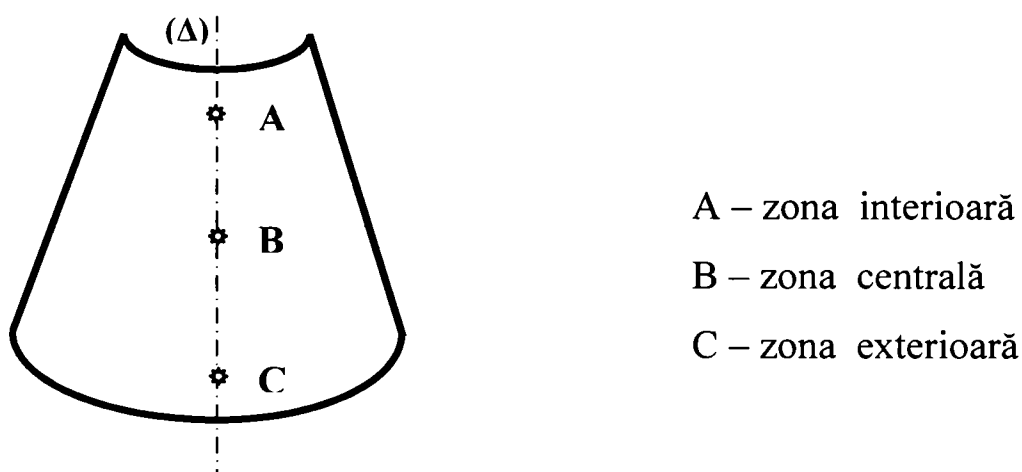


Figura 3.7. Zonele principale ale conductei analizate.

Compoziția chimică s-a realizat prin identificare spectrală și are valorile din tabelul III.1. Comparând valorile obținute cu cele prescrise observăm că oțelul se încadrează în limitele prescrise.

material	Compoziția chimică									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Ni	Cu
Determinată experimental	0,15	0,30	0,46	0,010	0,016	1,00	0,25	0,19	0,13	0,10
Prescripții Pentru 12H1MF	0,08	0,17	0,40	Max	Max	0,90	0,25	0,15	0,12	Max
	-	-	-	0,025	0,025	-	-	-	-	0,20
	0,15	0,37	0,70			1,2	0,35	0,30	0,25	

Tabelul III.1

În Planșa 2 sunt prezentate rezultatele obținute în urma examinării metalografice a conductei cercetate.

PLANȘA 2

Conducta $\phi 426 \times 16$ mm; material 12H1MF; ore de funcționare = 84556

presiune = 24,4bari;

temperatură = 540 °C



Figura nr.1 nital 2%

Zona A 500 : 1



Figura nr.2 nital 2%

zona A 1000 : 1



Figura nr.3 nital 2%

Zona B 500 : 1



Figura nr.4 nital 2%

zona B 1000 : 1

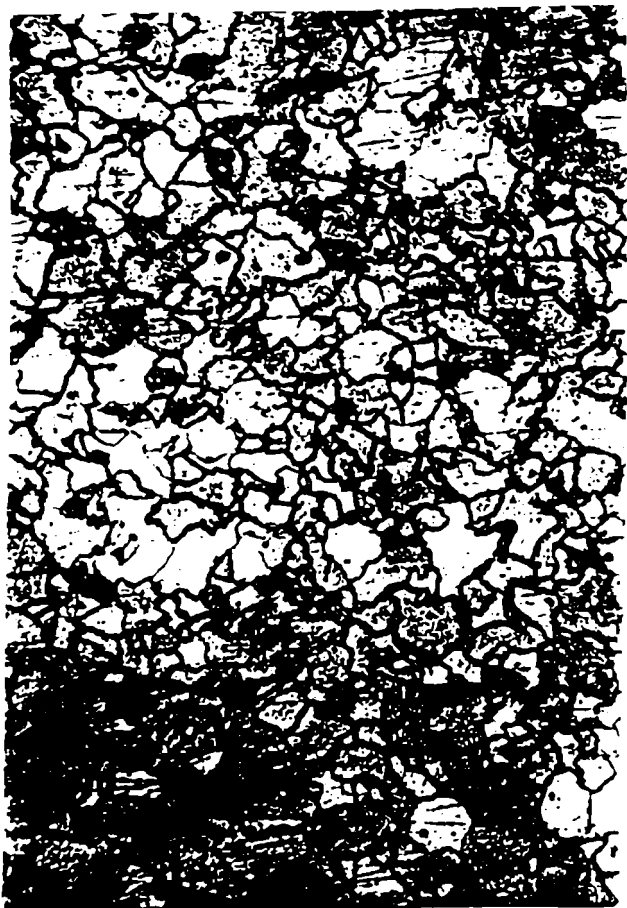


Figura nr.5 nital 2%
Zona C 500 : 1



Figura nr.6 nital 2%
zona C 1000 : 1

Analiza metalografică pune în evidență următoarele:

- e) granulația oțelului este fină, corespunzătoare unui punctaj $N = 8 \dots 9$
- f) microstructura oțelului utilizat la analiză este ferito-bainito-feritică
- g) se constată apariția de carburi grosolane la limita de grăunți și de asemenea îngroșarea limitelor grăunților.

Ținând cont că procesul de degradare a structurii este avansat, se poate afirma, că o utilizare în continuare la parametri actuali de lucru ai conductei duce la o diminuare a siguranței în exploatare.

Cercetările metalografice s-au realizat pe un microscop optic Epityp 2, utilizând ca reactiv Nital cu concentrație 1%.

Epruvetele confecționate și supuse la încercări de scurtă durată au permis determinarea următoarelor caracteristici mecanice:

- limita de curgere convențională $R_{P0,2}$ MPa
- rezistența la rupere R_m Mpa
- alungirea la rupere A_5 %
- gătuirea la rupere Z %
- duritatea Vickers unități Vickers
- reziliența KCU J/cm²

Încercările s-au executat pe o mașină de încercat la tracțiune de 100kN de fabricație VEB Werkstoffprüf machinen, la temperatură normală (20 °C) și la temperaturi ridicate: 520 °C, 550 °C, 565 °C, 580 °C. Încălzirea probelor s-a realizat în cuptor electric cu aer.

Au fost efectuate încercări de duritate Vickers pe secțiunea transversală a conductei, de-a lungul dreptei (Δ) din figura 3.5 iar rezultatele sunt cele prezentate în figura nr.3.6

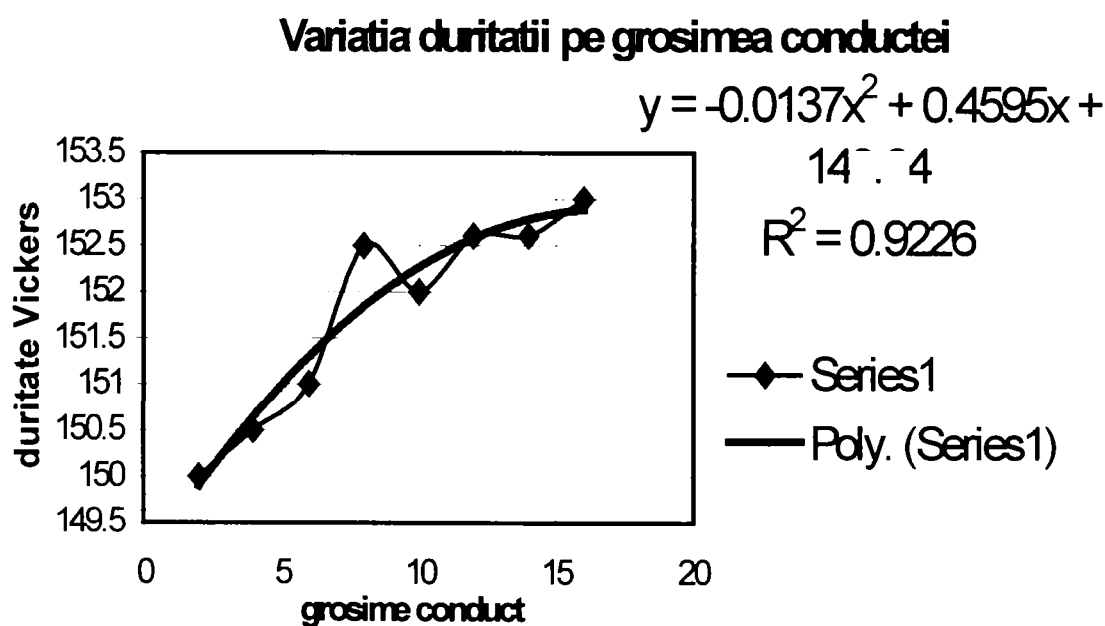


Figura 3.8. Variația durității pe grosimea conductei.

Valorile caracteristicilor mecanice sunt concentrate în tabelul III.2 unde am adăugat și valorile prescrise pentru oțelul 12H1MF.

Material	T °C încercare	R _m MPa			R _{P0,2} MPa			A ₅ %			Z %			KCU J/cm ²		
		m	M	X	m	M	X	m	M	X	m	M	X	m	M	X
	20	522	525	524	322	334	328	26	27,7	26,9	68,3	68,3	68,3	114	166	142
	520	354	361	358	222	238	232	28,2	33,7	31,3	72,4	75	73,4	163	196	181
	550	326	328	327	207	218	214	33,5	38,7	36,9	77,4	78,6	77,8	147	165	155
	565	316	319	318	209	219	213	34,2	37,5	35,5	77,4	80,8	79,0	165	207	186
	580	301	302	302	197	202	199	38	41,2	39,7	80,8	80,8	80,8	134,4	172,1	157
	Valori prescrise GOST 20 °C	480			260			21 (L) 19 (T)			55 (L) 50 (T)			100		

139

Tabelul III.2

Notații: m – valoarea minimă; M – valoarea maximă; X – valoarea medie

Numărul epruvetelor: - la tracțiune 3buc.

- la încovoiere prin șoc 4buc.

Încercările la fluaj s-au executat la temperaturi cuprinse între 500 °C și 640°C cu tensiuni de încercare în secțiunea transversală de 100; 150 și 200 MPa. Pentru fiecare epruvetă s-a determinat durata până la ruperea epruvetei t_r .

Încercările de fluaj au avut ca scop determinarea rezistențelor tehnice de durată $R_{T/10000}$ și $R_{T/20000}$ la temperatura de 540 °C (813 °K), ele reprezentând baza de calcul pentru metoda parametrică Larson – Miller. Calculul de extrapolare al rezultatelor experimentale prin metoda Larson – Miller este:

h) parametrul timp – temperatură are relația:

$$P_{LM} = T (\lg t_r + C) \quad (3.53)$$

în care:

- T = temperatura de încercare, în °K
- t_r = durata până la ruperea epruvetei, în ore
- C = constanta de extrapolare proprie fiecărui material (C = 20)

relația 3.20 devine:

$$P_{LM} = T (\lg t_r + 20) \quad (3.54)$$

Folosind relația 3.54 și rezultatele încercărilor experimentale am calculat valorile parametrului Larson – Miller, P_{LM} , pentru toate epruvetele încercate. Rezultate sunt concentrate în tabelul 3.4.

Aplicând relația 2.4 de calcul a rezistenței tehnice de durată și ținând cont că avem o parabolă de gradul 2 care trece prin cele trei nivele ale tensiunii de încercare se pot determina coeficienții A, B, C ai parabolei.

$$\lg \sigma = A + B \cdot P_{LM} + C \cdot P_{LM}^2 \quad (3.55)$$

Impunem următoarele condiții:

$$\lg \sigma (= 200 \text{ MPa}) = 2,30103 = A + B \cdot P_{LM} + C \cdot P_{LM}^2 \quad (3.56)$$

$$\lg \sigma (= 150 \text{ MPa}) = 2,1760913 = A + B \cdot P_{LM} + C \cdot P_{LM}^2 \quad (3.57)$$

$$\lg \sigma (= 100 \text{ MPa}) = 2,0 = A + B \cdot P_{LM} + C \cdot P_{LM}^2 \quad (3.58)$$

Prin rezolvarea sistemului de trei ecuații 3.56; 3.57; 3.58, cu trei necunoscute A, B, C, se obține ecuația de forma:

$$\lg \sigma = - 2,200534 + 5,58131 \cdot 10^{-4} \cdot P_{LM} - 1,72978 \cdot 10^{-8} \cdot P_{LM}^2 \quad (3.59)$$

Folosind relația 3.54 putem determina parametrul Larson – Miller pentru temperatura de 540 °C (813 °K) și durata de rupere $t' = 10000$ ore, respectiv pentru durata de rupere $t'' = 20000$ ore.

$$P'_{LM} = 813 \cdot (\lg 10000 + 20) = 19512 \quad (3.60)$$

$$P''_{LM} = 813 \cdot (\lg 20000 + 20) = 19756,737 \quad (3.61)$$

Înlocuind relațiile 3.60 și 3.61 în relația 3.59 ne rezultă:

$$\lg \sigma_{r/10000} = 2,1041318 \quad (3.62)$$

$$\lg \sigma_{r/20000} = 2,0744862 \quad (3.63)$$

Deci rezistențele tehnice de durată a conductei din material 12H1MF la temperatura de 540 °C după 84.556 ore de funcționare sunt:

$$\sigma_{r/10000} = \sigma_{r/10000/540} = 127,1 \text{ MPa} \quad (3.64)$$

$$\sigma_{r/20000} = \sigma_{r/20000/540} = 118,7 \text{ MPa} \quad (3.65)$$

Standardul GOST recomandă pentru acest oțel în stare neutilizată

$$\sigma_{r/10000/540} = 134 \text{ MPa}$$

Ținând cont de rezultatele încercărilor de scurtă durată și de încercările la fluaj, putem spune că degradarea materialului nu a afectat într-o măsură însemnată caracteristicile mecanice sau rezistența tehnică de durată, deci se poate recomanda prelungirea duratei de funcționare a conductei analizate cucca. 20.000 de ore.

Determinarea duratei rezervei de viață a conductei, se poate face și conform NTR10401 capitolul F cu relația 3.66

$$\tau'_s = \tau_{20} \left(\frac{R_{t/20}}{c_f \cdot \sigma_{\max}^f} \right)^{N_t} \quad (3.66)$$

unde:

- R_{vh} – rezistența tehnică de durată la 20.000 ore

- N_t – valoarea caracteristică a conductei dependentă de temperatura de regim și de material

- c_f – coeficient de siguranță mai mare decât 1,5

- σ_{\max}^f – tensiunea maximă din conductă

Conform relației 3.67, ținând cont de [53] ,

$$\tau_r (\sigma_a^t)^{N_t} = \text{const} \quad (3.67)$$

se poate determina N_t dacă avem în vedere rezistența tehnică de durată la 10.000 de ore și la 20.000 de ore

$$\tau_{10} (R_{r/20.000})^{N_t} = \tau_{20} (R_{r/10.000})^{N_t} \quad (3.68)$$

logaritmând relația 3.68 se obține N_t , conform relației 3.69

$$N_t = \frac{\lg 20.000 - \lg 10.000}{\lg(R_{t/10.000}) - \lg(R_{t/20.000})} \quad (3.69)$$

Metoda necesită să se determine experimental R_{vh} a materialului din care este confecționată conducta, lucru pe care îl realizăm determinând parametrul Larsson-Miller întâi.

Aplicând pe supraîncălzitor, cu calculele făcute anterior obținem:

$$R_{v10.000} = 127,1 \text{ MPa}$$

$$R_{v20.000} = 118,7 \text{ MPa}$$

$$N_t = 9,406$$

$$\tau_s = 20.983 \text{ ore}$$

Tabelul III.3

Nr. crt.	σ MPa	t °C	t_r ore	$T^{\circ}K$	$lg t_r$	$lg t_r + 20$	P_{LM}	$P_{LM\ med}$
1	200	500	339	723	2,530199	22,530199	16289,33	16320,43
2	200	500	359	723	2,555094	22,555094	16307,33	
3	200	500	336	723	2,526339	22,526339	16286,54	
4	200	500	480	723	2,681241	22,681241	16398,54	
5	150	560	504	833	2,702430	22,702430	18911,12	18827,09
6	150	560	672	833	2,827369	22,827369	19015,19	
7	150	550	816	823	2,911690	22,911690	18856,32	
8	150	550	1024	823	2,010300	22,010300	18937,48	
9	150	540	812	813	2,909556	22,909556	18625,47	
10	150	540	932	813	2,969416	22,969416	18674,13	
11	150	530	2424	803	3,384533	23,384533	18777,78	
12	150	530	2730	803	3,436162	23,436162	18819,24	
13	100	640	108	913	2,033424	22,033424	20116,52	
14	100	640	138	913	2,139879	22,139879	20213,71	
15	100	630	562	903	2,749736	22,749736	20543,01	
16	100	630	572	903	2,757396	22,757396	20549,93	
17	100	610	720	883	2,857332	22,857332	20183,02	
18	100	610	852	883	2,930439	22,930439	20247,58	

PLANȘA 3

Conducta $\phi 273 \times 32$ mm; material 12H1MF; ore de funcționare = 44538
presiune = 140 bari; temperatură = 550 °C



Figura nr.1 nital 2%

Zona A 500 : 1



Figura nr.2 nital 2%

zona A 1000 : 1



Figura nr.1 nital 2%

Zona B 500 : 1



Figura nr.2 nital 2%

zona B 1000 : 1

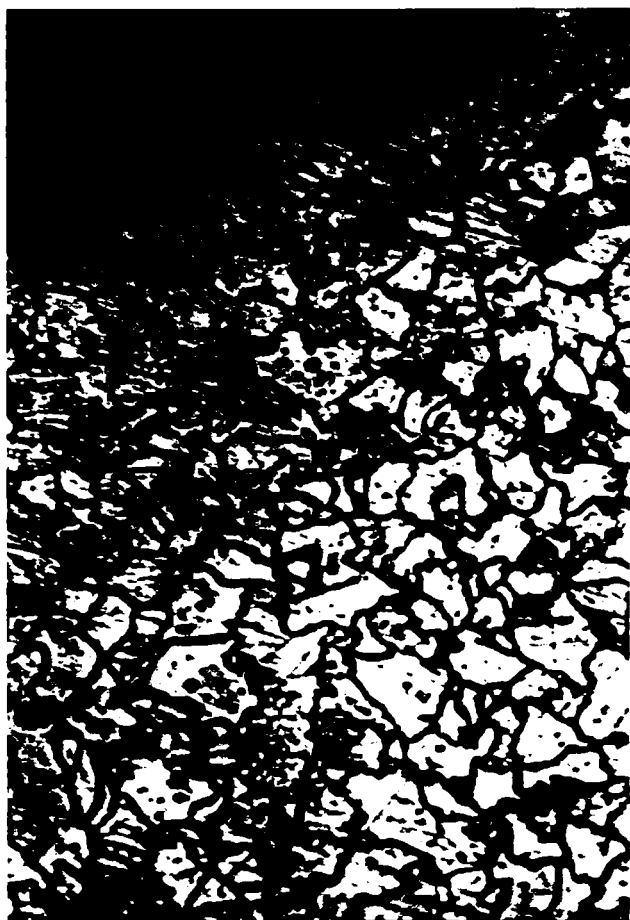


Figura nr.1 nital 2%

Zona C 500 : 1



Figura nr.2 nital 2%

zona C 1000 : 1

Planșa nr.3 conține microstructurile obținute pe o conductă din oțel 12H1MF cu dimensiunile $\Phi 273 \times 32$ mm ce lucrează la presiuni de 110 bari și temperaturi de 510°C , după o durată de funcționare de 44.538 ore. Au fost prelevate din material probe și în mod similar s-au obținut rezultate experimentale ce au fost concentrate în tabelul III.7

Se observă că materialul deși are o durată de funcționare de numai 44.538 ore comparativ cu cazul anterior care avea 84.556 ore de funcționare, are microstructura semnificativ degradată. Degradarea este dată de existența precipitărilor de carburi ale elementelor de aliere la limita de grăunți, lucru ce a dus la îngroșarea omogenă a limitelor de grăunți. Caracteristicile mecanice însă, sunt superioare celor prescrise, iar pentru o evaluare completă ar trebui realizate încercările la fluaj.

Material	T °C încercare	R _m MPa			R _{PO,2} MPa			A ₅ %			Z %			KCU J/cm ²		
		m	M	X	m	M	X	m	M	X	m	M	X	m	M	X
12H1MF	20	499	509	505	302	322	314	28,5	28,7	28,6	66,9	68,3	67,4	113	120	118
	520	338	342	340	222	222	222	29	32	30,5	69,6	73,7	71,7	119	136	127
	550	310	319	315	203	208	205	30	34,5	31,6	72,4	73,7	72,9	109	115	113
	565	296	298	297	193	197	195	37,5	37,5	37,5	75	75	75	112	142	123
	580	273	277	275	177	181	179	33,5	35	34,2	75	77,4	76,2	104	117	112
Valori prescrise GOST 20 °C	480	260	21 (L) 19 (T)	55 (L) 50 (T)	100											

Tabelul III.4

Notații: m – valoarea minimă; M – valoarea maximă; X – valoarea medie

Numărul epruvetelor: - la tracțiune 3buc.

- la încovoiere prin șoc 4buc.

PLANȘA 4

Conducta $\phi 273 \times 20$ mm; material 12H1MF; ore de funcționare = 0



Figura nr.1 500 : 1
Zona A atac nital 2%

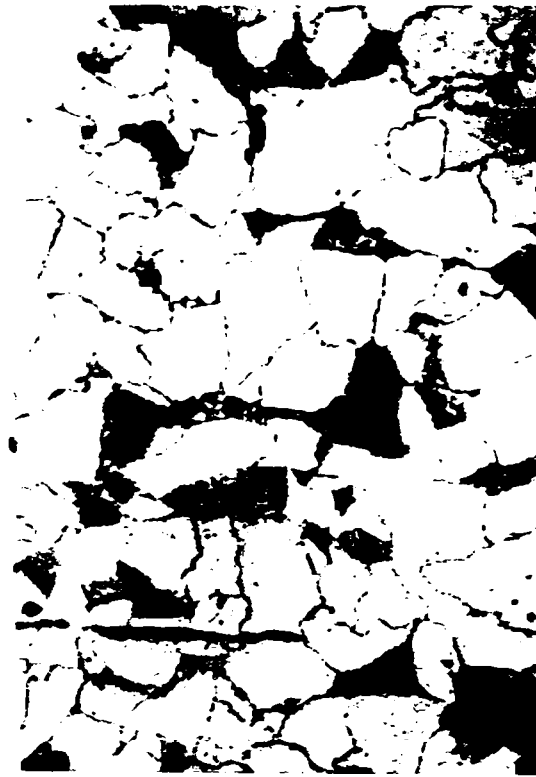


Figura nr.2 1000 : 1
zona A atac nital 2%



Figura nr.1 500 : 1
Zona B atac nital 2%

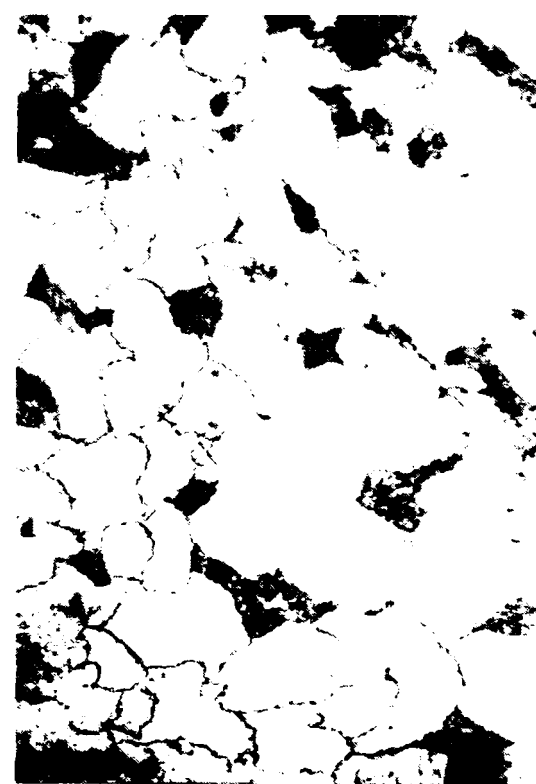


Figura nr.2 1000 : 1
zona B atac nital 2%

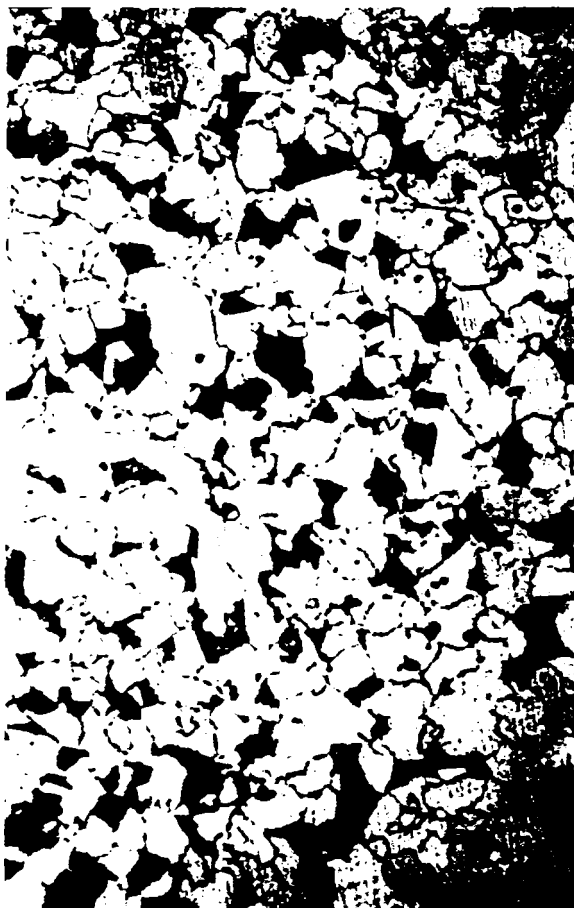


Figura nr.1 500 : 1

Zona C atac nital 2%



Figura nr.2 1000 : 1

zona C atac nital 2%

Investigațiile la conductă din oțel 12H1MF cu dimensiunile $\phi 273 \times 20$ mm în zonele A, B și C ne arată că microstructura în stare neutilizată a materialului este constituită din ferită, bainită și mici cantități de perlită.

Fiind o conductă cu “0” ore de funcționare caracteristicile mecanice și chimice au fost și ele în limitele prescrise de normative.

PLANȘA 5

Conducta $\phi 32 \times 5$ mm; material 12H1MF; ore de funcționare = 0

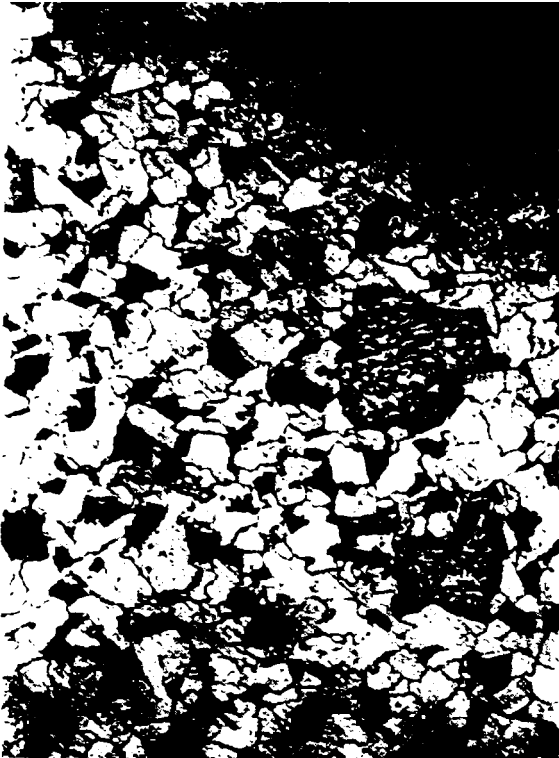


Figura nr.1 500 : 1



Figura nr.2 1000 : 1

Conducta $\phi 32 \times 5$ mm; material 12H1MF; ore de funcționare = 86900



Figura nr.3 500 : 1



Figura nr.4 1000 : 1

III.2. Metoda grăunților degradați. Determinarea parametrului A

Metoda grăunților degradați este o metoda nedistructivă atunci când se lucrează cu replici metalografice [86].

Replicile de suprafață obținute se pot examina cu ajutorul microscopului optic utilizând mărimi până la 500 de ori, sau cu ajutorul microscopului electronic, dar atunci replicile trebuie să fie imersate parțial în acetonă pentru a se realiza dizolvarea filmului de acetal și de a obține astfel o imagine pozitivă a replicii.

Evaluarea prin metoda grăunților degradați, presupune cunoașterea stării inițiale a materialului analizat, deoarece aceasta servește ca standard de comparație pentru microstructurile ce vor fi găsite în timpul investigațiilor.

Conform standardului SP249 tehnicile metalografice pentru predicția durabilității materialelor metalice pot fi calitative și cantitative.

Tehnicile calitative ne permit determinarea formei de degradare, în cazul nostru la fluaj, și clasificarea degradărilor pe baza propunerilor lui Neubauner.

Schema degradării structurale este prezentată în figura nr.3.9

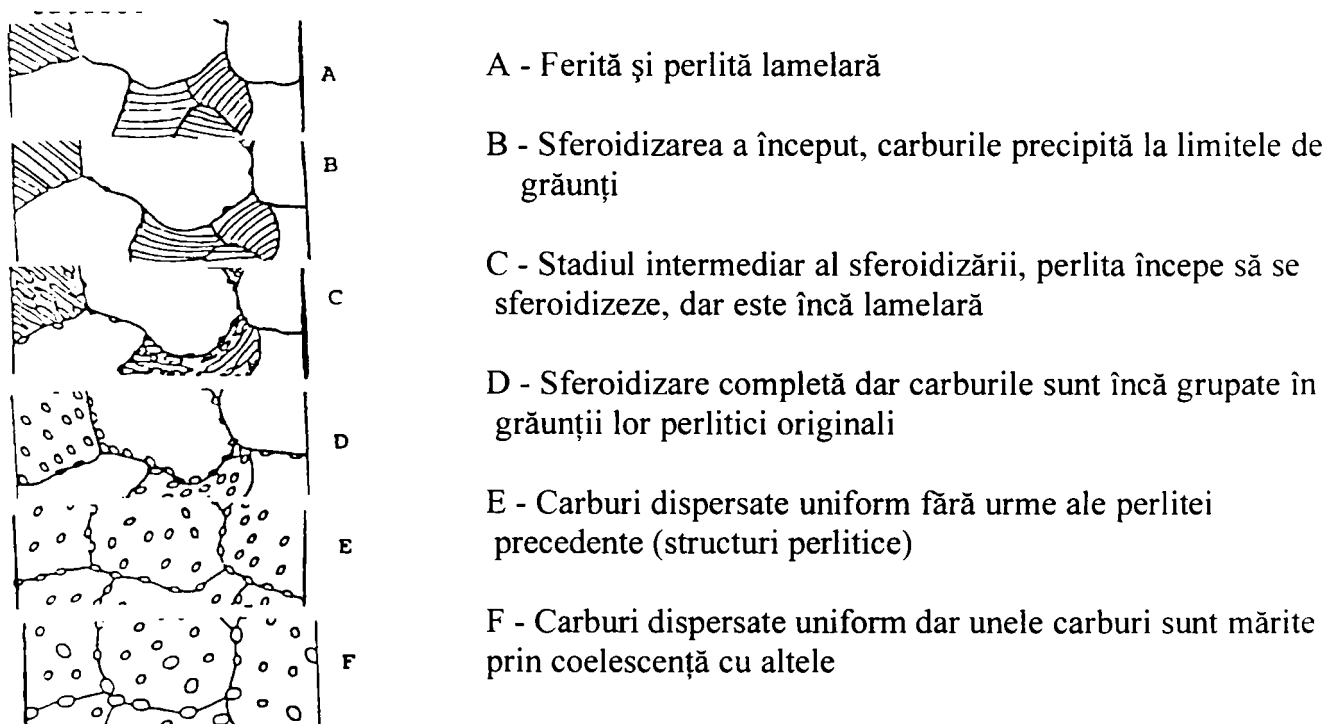


Figura 3.9. Schema degradării microstructurale.

Clasele de degradare propuse de diferiți autori sunt prezentate în tabelul III.5 de mai jos.

Tabelul III.5

Scara de degradare	Fără degradare	Fără cavități	Cavitații izolate	Cavități orientate	Microfisuri	Macrofisuri
Neubaner		A	B	C	D	E
NT TR 170	0	1	2.1; 2.2; 2.3	3.1; 3.2; 3.3	4.1; 4.2; 4.3	5
VGB– TW 507	0	1	2a; 2b;	3a; 3b;	4	5
ISQ		0	0/1; 1	1/2; 2	2/3; 3; 3/4	4

În cadrul tehnicilor cantitative sunt validate două metode de evaluare cantitativă a cavitațiilor, pentru zonele specifice microstructurilor îmbinărilor sudate.

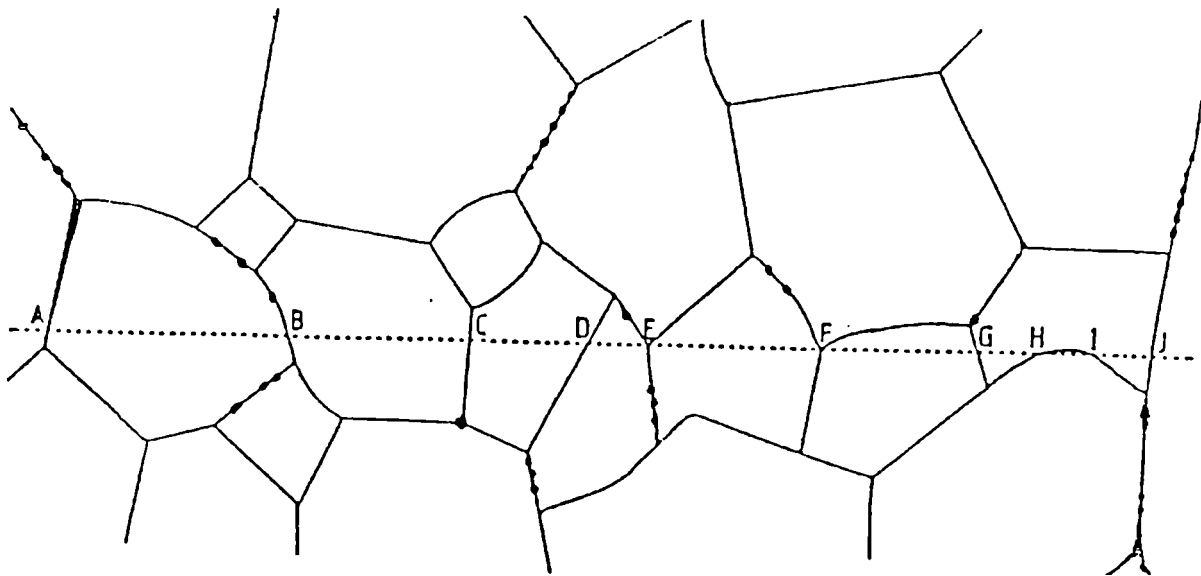
Prima metodă este cea a parametrului “A” care se poate aplica atât la materialul de bază, cât și la zona influențată termic cu granulație mare sau în metalul cusăturii sudate. Metoda a doua este cea a densității de cavități care se aplică la zona influențată termic cu granulație mică, în regiunea intercritică și în regiunea de vârf a cusăturii.

Metoda parametrului “A” permite definirea unui număr fracționar al cavităților de grăunți întâlniți într-o linie paralelă la direcția tensiunii principale maxime. Acest număr poartă denumirea de parametrul “A”. Măsurătorile parametrului “A” sunt realizate direct, utilizând un microscop optic cu un nivel de mărire de 400 de ori până la 500 de ori și folosind o montură micrometrică pentru măsurarea replicii, fie utilizând în determinări fotografii.

În funcție de cum limitele de grăunți sunt intersectate de liniile reticulului, ne rezultă zone degradate sau zone nedegradate, folosind următorul set de reguli:

- Regula 1: O limită de grăunți e observată doar între primul punct triplu pe fiecare parte a intersecției. Dacă limita se extinde sub câmpul vizual atunci punctul la care ea se coboară se tratează ca un punct triplu.
- Regula 2: O limită de grăunți e clasificată ca degradată dacă ea conține una sau mai multe cavități (sau microfisuri) de-a lungul lungimii sale de observare incluzând cavități centrate pe însuși punctul triplu, altfel limita e nedegradată. Dacă există dubii în privința cavității, ea se ignoră.
- Regula 3: Intersecțiile multiple cu aceeași limită sunt fiecare contorzate și sunt clasificate cu stare de degradare a întregii limite.
- Regula 4: Intersecțiile cu punctele triple se contorizează ca o intersecție a limitei. Clasificarea degradată sau nedegradată e determinată printr-un vot majoritar a stărilor degradate datorate a trei limite întrunite.

În figura nr.3.10 limitele A,B, și C sunt degradate conform reguli 2 iar limitele D,G și J sunt nedegradate conform aceleași reguli.



Limite degradate: A, B, C, E

Limite nedegradate: D, F, G, H, I, J

Figura 3.10. Reguli pentru determinarea parametrului "A".

Intersecțiile limitelor H și I sunt ambele contorizate și ele trebuie să aibă stare de degradare nedegradată pentru că ele sunt pe aceeași limită (Regula 3). Intersecțiile E și F sunt exemple de intersecții triple clasificate conform votului majoritar după Regula 4, deci E este degradată iar F este nedegradată.

Dacă numărul de limite degradate se notează cu N_D și de limite nedegradate cu N_U atunci numărul fracționar al limitelor cu cavități “A” este:

$$A = \frac{N_D}{N_U + N_D} \quad (3.70)$$

Dacă notăm lungimea traversării cu L , atunci dimensiunea grăuntelui l , definită ca interceptia liniară medie se calculează cu relația 3.71.

$$l = \frac{L}{N_U + N_D} \quad (3.71)$$

Valorile parametrului “A” au precizie suficientă dacă se numără un minim de 400 de limite de grăunți.

Metoda densității de cavități definește numărul de cavități pe unitatea de suprafață. Măsurarea acestora poate fi realizată direct sau prin fotografii. Nu se acceptă intersectarea câmpurilor vizuale și se înregistrează lungimea totală a traversării sau suma lungimilor câmpurilor vizuale.

Replica este traversată în direcția tensiunii principale maxime și acolo unde există dubii de identificare se ignoră pentru a nu influența numărul total de cavități din câmpul analizat. Dacă se identifică lanțuri de cavități acestea se contorizează separat.

Determinarea densității de cavități pentru fiecare traversare, împreună cu parametrul “A” ne servește ca verificare a omogenității degradării.

Tehnici metalografice pentru predicția durabilității se determină conform standardului SP 249 [55].

a) Calculul bazat pe metoda clasificării cavitațiilor

O evaluare calitativa a nivelului degradării pe această bază se prezintă in [55].

De asemenea, clasificarea degradării poate fi legata direct de funcția durabilității. In fig.3.11 se prezintă graficul clasificării distrugerii in funcție de fracția durabilității de unde se pot obține fracțiile duratei remanate minime si maxime.

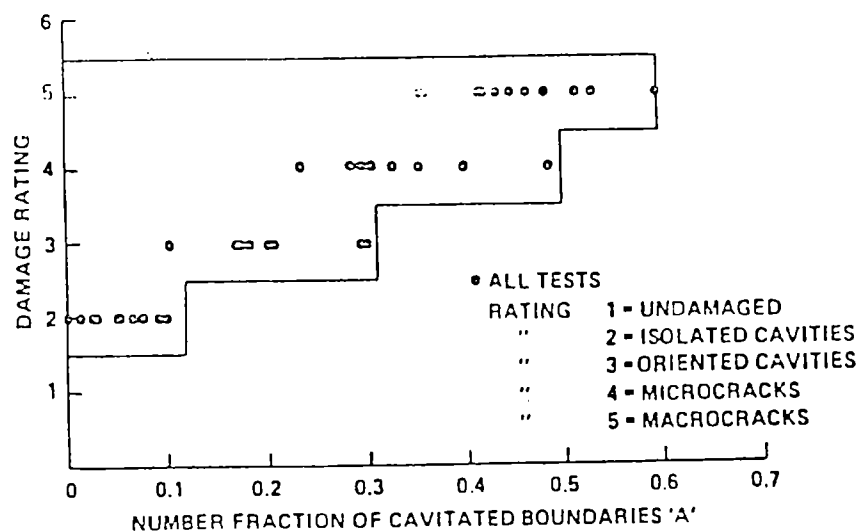


Figura 3.11. Relația între clasa de cavitații Neuberger și parametru A. [55].

Pentru o fracție a duratei consumate evaluate a lui LF după timpul de serviciu t_{serv} in relația de mai jos se da durata remanenta de serviciu t_{reman} :

$$t_{reman} = t_{serv} \frac{1 - LF}{LF}$$

In tabelul de mai jos, sunt date valorile pentru factorul $(1-LF)/LF$ care leagă durata remanentă ca o funcție de nivel de distrugere [55]:

Tabelul III.6

Nivel de distrugere	„A” maxim	Domeniul fracției duratei consumate LF	Factorul duratei remanente	
			minim	maxim
1	0	0,00-0,12	7,33	necunoscut
2	0,12	0,64-0,46	1,17	24,0
3	0,3	0,3-0,5	1,00	2,33
4	0,48	0,3-0,84	0,19	2,33
5	0,6	0,72-1,00	0 = cedare	0,39

t_{reman} se leagă de timpul de inițiere a fisurii sau de cedare, depinzând de distribuția distrugerii de secțiune. În prezenta unei fisuri, ductibilitatea remanentă poate fi calculată din estimarea parametrului A.

Am analizat prin metoda grăunților degradați materialul 12H1MF în diferite stadii de lucru, cu parametri diferiți și dimensiuni diferite ale căror valori sunt centralizate în tabelul III.7

Tabelul III.7

Material	Dimensiuni [mm]	Ore funcționare [ore]	Temperatură [°C]	Presiune [bar]
12H1MF	Φ273 x 20	0	510	110
	Φ273 x 32	44.538	550	140
	Φ273 x 35	45.000	560	140
	Φ325 x 38	52.659	550	140
	Φ426 x 16	84.556	540	24,4

Folosind Planșa 6, Planșa 7, Planșa 8, Planșa 9 și Planșa 10, am determinat valorile parametrului A în trei puncte (zone) ale unei conducte A, B, C pe care le-am centralizat în tabelele III.8; III.9; III.10; III.11; III.12.

Tabelul III.8

Material	ZONA	N_D	$N_D + N_U$	$\bar{A} = \frac{N_D}{N_D + N_U}$	\bar{A}_i	\bar{A}
12H1MF 0 ore	A	1	16	0,05	0,025	0,034
		0	17	0		
		1	13	0,076		
		0	15	0		
		0	18	0		
		0	19	0		
	B	0	15	0	0,027	
		0	18	0		
		1	13	0,076		
		0	13	0		
		1	14	0,071		
		0	11	0		
	C	0	17	0	0,051	
		1	17	0,058		
		1	16	0,062		
		1	16	0,076		
		1	13	0,052		
		1	19			

Tabelul III.9

Material	ZONA	N_D	$N_D + N_U$	$\bar{A} = \frac{N_D}{N_D + N_U}$	\bar{A}_i	\bar{A}
12H1MF 44.538	A	4	8	0,41	0,51	0,474
		3	9	0,5		
		5	5	0,5		
		8	6	0,57		
		6	4	0,6		
		6	7	0,46		
	B	8	7	0,56	0,51	
		8	7	0,56		
		6	5	0,55		
		8	7	0,56		
		7	9	0,43		
		7	7	0,5		
	C	5	9	0,35	0,4	
		5	9	0,35		
		5	6	0,45		
		5	7	0,41		
		5	7	0,41		
		5	7	0,41		

Tabelul III.10

Material	ZONA	N_D	$N_D + N_U$	$\bar{A} = \frac{N_D}{N_D + N_U}$	\bar{A}_i	\bar{A}
12H1MF 45.000	A	5	9	0,55	0,43	0,468
		5	7	0,72		
		2	5	0,4		
		3	11	0,27		
		3	10	0,3		
		4	10	0,4		
	B	5	9	0,55	0,52	
		4	8	0,5		
		4	9	0,44		
		4	9	0,44		
		2	6	0,33		
		2	8	0,25		
	C	5	8	0,62	0,46	
		5	10	0,5		
		5	9	0,55		
		3	8	0,37		
		3	8	0,37		
		5	13	0,38		

Tabelul III.11

Material	ZONA	N_D	$N_D + N_U$	$\bar{A} = \frac{N_D}{N_D + N_U}$	\bar{A}_i	\bar{A}
12H1MF 52.659	A	5	17	0,29	0,33	0,35
		3	9	0,33		
		5	1	0,44		
		5	16	0,34		
		4	12	0,33		
		5	16	0,34		
	B	8	17	0,47	0,37	
		6	20	0,3		
		7	21	0,34		
		9	19	0,5		
		7	20	0,35		
		6	19	0,31		
	C	8	22	0,36	0,37	
		9	25	0,36		
		8	26	0,30		
		9	21	0,42		
		8	22	0,36		
		6	14	0,43		

Tabelul III.12

Material	ZONA	N_D	$N_D + N_U$	$\bar{A} = \frac{N_D}{N_D + N_U}$	\bar{A}_i	\bar{A}
12H1MF 84.556	A	8	10	0,8	0,62	0,607
		8	11	0,72		
		7	14	0,5		
		8	11	0,72		
		7	14	0,5		
		8	14	0,57		
	B	5	15	0,33	0,59	
		9	16	0,5		
		8	13	0,61		
		8	12	0,66		
		8	13	0,61		
		10	14	0,71		
	C	10	19	0,52	0,62	
		10	16	0,62		
		9	14	0,64		
		11	16	0,68		
		11	18	0,61		
		8	12	0,66		

Material	Dimensiuni	Ore funcționare	Parametri		Zona A	Zona B	Zona C	Ā	LF	Factorul duratei	Durata remanentă de viață [ore]
			Temperatură	Presiune							
12H1MF	Φ237X20	0	510 ^o C	110 bar	0,025	0,027	0,051	0,034	0 0,12	Nec 7,33	Necunoscută Necunoscută
12H1MF	Φ237X32	44.538	550 ^o C	140 bar	0,51	0,51	0,4	0,474	0,3 0,84	2,33 0,19	103.773 8.462
12H1MF	Φ237X35	45.000	560 ^o C	140 bar	0,43	0,52	0,46	0,468	0,3 0,84	2,33 0,19	104.850 8.550
12H1MF	Φ325X38	52.659	550 ^o C	140 bar	0,33	0,37	0,37	0,349	0,3 0,84	2,33 0,19	122.695 10.000
12H1MF	Φ426X16	84.556	540 ^o C	24,4 bar	0,62	0,59	0,62	0,607	0,72 1	0,39 0	32.976 0

Tabelul III.13

III. 3. Concluzii

Durata de viață reprezintă fiabilitatea nominală a unui produs. În centralele termoelectrice determinarea corectă a fracțiunii de viață consumată este importantă dar determinarea duratei de viață remanentă este vitală datorită consecințelor unei eventuale avarii. Durata de viață fiind proiectată de regulă pentru 100.000 de ore, impune ca în ultima treime de viață, materialul să fie investigat pentru a se observa dacă mai satisface cerințele impuse de regimul de lucru.

Bazat pe concluziile capitolului al doilea am trecut la determinarea duratei de viață prin:

- metode distructive folosind parametri de fluaj;
- metode nedistructive folosind replicile Struers;
- metode nedistructive folosind controlul ultrasonic.

Corelațiile dintre atenuarea undei ultrasonice, structură și proprietăți s-a făcut pe oțeluri carbon de construcție și s-a evidențiat dependența atenuării de mărimea de grăunte, concentrația în carbon, rezistența mecanică și duritatea materialului situație prezentată în detaliu în capitolul al doilea.

Am efectuat măsurători ultrasonice pe elemente active din termocentrală studiate. Dat fiind numărul mic de măsurători comparativ cu factori de influență care apar în acest caz, nu s-au putut stabili corelații precise între caracteristicile undei ultrasonice și proprietățile oțelurilor termorezistente.

Mi-am propus să realizez programul de control ultrasonic pe metode statistico-matematice, deoarece stabilirea unei corelații precise impune necesitatea unui număr mare de măsurători.

Folosind diagrama de fiabilitate pentru materialul 14CrMo4 [38] am determinat diametrul interior pentru o conductă la care temperatura de lucru este de 515°C și presiunea de 140 MPa. În urma dimensionării am realizat o scădere a tensiunii la pereții conductei până la valoarea de 44,8 MPa iar probabilitatea de rupere la fluaj după 100.000 de ore calculată cu relația:

$T = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$ este de $4,7711 \times 10^{-4}$. Această valoare a probabilității de

rupere la fluaj demonstrează că dimensionarea a fost corect făcută.

Pentru a putea aplica metoda Larson–Miller, de determinare a duratei de viață remanente, la materialul 12H1MF, utilizat la temperatura de 540°C presiunea de 24,4 bar cu o durată de funcționare de 84.556 ore, am efectuat:

- analiza chimică a materialului, prin identificarea pe cale spectrală;
- analiza metalografică;
- încercări mecanice pentru determinarea limitei de curgere convențională, rezistența la rupere, reziliența și duritatea.

Măsurătorile de duritate mi-au permis să desprind concluzia că duritatea materialului crește la o conductă de la interior spre exterior fig. 3.8 datorită diferenței de temperatură dintre peretele interior și cel exterior al conductei.

Determinarea duratei până la rupere a epruvetei supusă la încercări de fluaj s-a realizat pentru temperaturi cuprinse între 500 și 640°C la tensiuni de încercare în secțiune transversală de 100; 150; 200 MPa. Cu datele obținute și utilizând metoda Larson-Miller, am determinat rezistențele tehnice de durată la 10.000 de ore și la 20.000 de ore.

Relațiile de calcul utilizate sunt:

$$P_{LM} = T (\lg t_r + 20) \quad (3.54)$$

$$\lg \sigma = A + B \cdot P_{LM} + C \cdot P_{LM}^2 \quad (3.55)$$

Pentru relația 3.55 se impun cele trei valori de încercare ale tensiunii. Prin rezolvarea sistemului apărut și cu ajutorul relației 3.54 se obțin valorile rezistenței tehnice de durată la 10.000 de ore și la 20.000 de ore.

$$\sigma_{r/10000} = \sigma_{r/10000/540} = 127,1 \text{ MPa} \quad (3.64)$$

$$\sigma_{r/20000} = \sigma_{r/20000/540} = 118,7 \text{ MPa} \quad (3.65)$$

Comparând valorile din relația 3.64, 3.65 cu cea recomandată de standardul pentru oțelul 12H1MF, am ajuns la concluzia că se poate prelungi durata de funcționare cu încă 20.000 de ore.

Paralel cu metoda Larson-Miller, am utilizat pentru determinarea rezervei duratei de viață o altă relație de calcul dată în NTR 10.401.

$$\tau'_S = \tau_{20} \cdot \left(\frac{R'_r / 20}{C_f \cdot \sigma'_{\max}} \right)^{N_r} \quad (3.66)$$

Utilizând relația 3.66 folosită și de [50] a rezultat că prelungirea duratei de viață se poate face cu 20.983 ore. Deoarece valorile rezultate prin cele două metode sunt apropiate, putem afirma cu siguranță că rezerva duratei de viață este de minim 20.000 de ore.

O altă metodă de predicție a rezervei de viață aplicată a fost metoda degradării limitei de grăunți. Studiul s-a efectuat pe oțelul 12H1MF aflat în diferite stadii de funcționare.

A fost investigat oțelul la:

- 0 ore de funcționare, material nou nefolosit;
- 44.538 ore de funcționare la $T_n=550^{\circ}C$ și $p_n=140\text{bar}$;
- 45.000 ore de funcționare la $T_n=560^{\circ}C$ și $p_n=140\text{bar}$;
- 52.659 ore de funcționare la $T_n=550^{\circ}C$ și $p_n=140\text{bar}$;
- 84.556 ore de funcționare la $T_n=540^{\circ}C$ și $p_n=24,4\text{bar}$;

Cu ajutorul analizei metalografice, obținute pe baza replicilor metalografice, am determinat forma de degradare și mărimea acesteia prin calculul parametrului "A".

Parametrul "A" calculat , reprezintă numărul fracționar al cavităților de grăunți întâlniți de-a lungul unei linii analizate.

Numărul fracționar al limitelor de cavități "A" este definit de raportul dintre numărul de limite degradate N_D și numărul total de limite întâlnite pe direcția analizată, degradate sau nedegradate.

Măsurătorile pentru determinarea parametrului "A" le-am făcut după regulile stabilite de standardul SP249 pentru predicția durabilității materialelor metalice .

O limită de grăunți este observată doar între primul punct triplu pe fiecare parte a intersecției. Dacă limita se extinde sub câmpul vizual atunci punctul la care ea se coboară se tratează ca un punct triplu.

Astfel, limita de grăunți este clasificată degradată dacă, conține una sau mai multe cavități de-a lungul liniei de observare iar dacă avem intersecții cu puncte triple se determină un vot majoritar a stărilor degradate pe cele trei limite întrunite. Dacă există dubii în privința cavităților, se ignoră.

Intersecțiile multiple cu aceeași limită sunt fiecare contorizate și sunt clasificate cu starea de degradare a întregii limite.

Valorile obținute sunt centralizate în tabelele III.8; III.9; III.10; III.11; III.12.

Rezultatele obținute se pot utiliza pentru o prelungire a duratei de viață cu valoarea minimă calculată pentru rezerva duratei de viață (durata remanentă de viață) reținută în tabelul III.13 intervalul de valori în cazul materialului 12H1MF cu 84.556 ore de funcționare este de minim 0 ore, maxim 32.976 ore.

Pe baza valorilor obținute în tabelul III.13 se poate observa că intervalul de predicție între valoarea minimă și valoarea maximă a rezervei duratei de viață este destul de mare. Datorită însă costurilor relativ reduse în realizarea investigațiilor, cât și a faptului că instalația nu trebuie oprită din funcționare, se recomandă utilizarea acestei metode nedistructive pentru aprecierea unei rezerve minime a duratei de viață, procedeul putând fi reluat la epuizarea predicției inițiale.

Evoluția în timp a structurii materialului, la temperaturile de serviciu, duce pe lângă creșterea graunților și sferoidizarea precipitatelor de carburi și la apariția cavităților. Tot în SP249 se poate determina rezerva duratei de viață în funcție de evoluția în timp a structurii materialului, de cavitățile apărute, izolate, orientate, microfisuri, lanțuri de microfisuri putem identifica zona de degradare și de fluaj în care se află materialul. Datele experimentale avute nu mi-au permis să aplic și această metodă.

CAPITOLUL IV

CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI CONCLUZII FINALE

IV.1. Concluzii finale

Instalația energetică analizată este o centrală termoelectrică echipată cu un cazan de capacitate medie de 420 t/h cu o presiune nominală a aburului de 140MPa (140 bar) și o temperatură nominală a aburului viu de 540°C (813 K).

Analizând din punct de vedere constructiv instalația energetică am ajuns la concluzia că materialele utilizate sunt în majoritate oțeluri. În funcție de parametrii proceselor tehnologice și soluția constructivă aleasă se stabilesc materialele compatibile pentru elementele active care lucrează la temperaturi și presiuni ridicate.

Pentru a realiza selecția materialelor compatibile la fabricarea elementelor active într-o termocentrală, am împărțit materialele în funcție de cele trei zone distincte: cazan, corp intermediar și turbină.

Am ales pentru studiu pentru elementele active ce lucrează la parametri înalți, conducta de abur viu, economizorul și supraîncălzitorul.

În urma analizei parametrilor tehnologici la care lucrează materialul elementelor active, a parametrilor geometrici și externi, a evoluției cu temperatura a caracteristicilor de rezistență a proprietățile tehnologice (în special sudabilitatea și deformarea plastică), a costurilor, am stabilit o matrice de proprietăți pe care trebuie să le îndeplinească produsul. Pentru produsul studiat și anume supraîncălzitorul, parametri de lucru au fost: presiunea nominală $p_n=140$ MPa, temperatura de funcționare $T_n=540^\circ C$ iar agentul de lucru a fost

aburul. Elementele care au compus matricea în cazul supraîncălzitorului au fost: temperatura maximă de lucru, rezistența tehnică de durată, limita tehnică de fluaj, rezistența la oxidare (coroziunea), rezistența de rupere, limita de curgere, găuirea la rupere, alungirea la rupere, reziliența, gradul de aliere, costul. Prin stabilirea ponderii de influență a acestor proprietăți rezultă o ierarhizare a materialelor analizate și se poate determina ușor materialul optim pentru elementul activ.

La elementele active analizate ponderea de influență cea mai mare o are rezistența de durată, limita de fluaj și caracteristicile mecanice la temperatura de 20°C, motiv pentru care am realizat centralizarea acestor date alături de compoziția chimică, limita de elasticitate și corespondența oțelurilor în diferite standarde. (tabel I.1; I.2; I.3; I.4; I.5 și I.6.)

Astfel pentru economizor materialul compatibil este 16Mo3, pentru supraîncălzitoare 10CrMo10 și 14CrMo4 iar pentru conducta de abur viu 12H1MF (12CrMoV3).

În condițiile în care dorim o funcționare a instalațiilor termoenergetice cât mai bună, cu o durată de viață cât mai mare, concluzia generală care se desprinde în urma analizei elementelor active, este că pentru fiecare element al instalațiilor termoenergetice, avem o anumită gamă de oțeluri, funcție de temperatura și presiunea la care lucrează.

Informațiile din capitolul I, îmi permit să aleg corect gama de materiale din care sunt confecționate elementele active din termocentrale. Am stabilit în cadrul capitolului materialele pentru fabricarea conductei de abur viu, economizor, supraîncălzitor, oțeluri care vor fi studiate în cuprinsul tezei.

Concluziile parțiale ale primului capitol au arătat că avem nevoie de determinarea unei anumite game de oțeluri și de selecția corectă a oțelului din această gamă în scopul declarat de a avea o funcționare cât mai bună și cu o durată de viață a elementului activ cât mai mare. În capitolul II am studiat metode de control utilizate în vederea determinării caracteristicilor mecanice,

fizice, chimice și a duratei de viață a elementelor active din termocentrală ce lucrează la presiuni și temperaturi ridicate.

Metodele de control a elementelor active se împart în două mari categorii:

- metode distructive pe care le-am efectuat conform normei tehnice de ramură NTR 10367-1980 ținând cont și de codul american B313-1990;
- metode nedistructive conform CR 20-80.

În ambele cazuri am utilizat și CR 29-82 pentru modificări structurale și verificarea deformațiilor.

În cazul metodelor distructive de control am efectuat încercări de fluaj, tracțiune, măsurători de duritate centralizate în tabelele: II.5., II.6., II.7., și s-au determinat mărimi a căror valoare va fi folosită la calcule ulterioare pentru realizarea unor corelații între proprietățile materialelor și caracteristicile ultrasonice.

Determinarea compoziției chimice am realizat-o prin identificare pe cale spectrală pentru fiecare tip de oțel după care, prin determinări experimentale prin analizele structurale am obținut procentajele de constituenți structurali din material, tabelul II.3. respectiv II.9.

Încercările distructive pun în evidență comportarea materialelor metalice la temperaturi ridicate prin mărimile date de încercările mecanice, (limită de curgere, duritate, încercare la fluaj) analiză metalografică, mărimi fizice. Compararea valorilor mărimilor obținute prin încercări distructive cu valorile inițiale ale materialului metalic pentru aceleași mărimi ne ajută la stabilirea duratei remanente de viață.

Avantajele metodelor distructive sunt:

- caracterizează comportarea materialului metalic utilizat în condiții de temperatură ridicate, printr-o analiză concretă a valorilor de la încercările de fluaj având o precizie destul de bună;
- încercările sunt accelerate realizându-se la temperaturi mai ridicate decât cele din exploatare;

- posibilitatea de realizare a unor încercări mecanice complexe în scopul obținerii unor caracteristici mecanice suplimentare.

Ca dezavantaje ale metodelor distructive de control putem enumera:

- creșterea temperaturii în momentul realizării încercărilor distructive prin metode accelerate conduce la modificări ale mecanismului ruperii;
- tehnica de încercare pentru determinarea caracteristicilor de mecanica ruperii la temperatură ridicată, este sofisticată, iar munca de cercetare este laborioasă;
- utilizarea încercărilor de scurtă durată pentru determinarea caracteristicilor de lungă durată nu se poate aplica pentru orice material și orice condiții;
- este necesară oprirea instalației pentru prelevarea de probe, ceea ce duce la pierderi economice datorate atât nefuncționării cât și înlocuirii elementelor din care au fost prelevate probe.

Dintre metodele nedistructive de control, am studiat replica metalografică precum și controlul cu ultrasunete ca metodă de evaluare a structurii materialului metalic 16Mo3.

După ce am determinat și marcat zonele de aplicare a replicilor, metalografice am trecut la șlefuirea și lustruirea mecanică a zonei respective după care am aplicat replica metalografică. După extragerea și conservarea replicii am făcut analiza microscopică la o mărire de 500X iar rezultatele au fost centralizate în planșa I.

Pentru conducta de abur viu cu dimensiunea Φ 356 x 50 realizată din oțelul 12CrMoV3 ce lucrează la presiunea $p_n=140$ bar și temperatura $T_n=540^\circ\text{C}$ cu o durată de funcționare de 17.500 ore, am calculat deformarea la fluaj și viteza de fluaj. Relațiile de calcul folosite 2.16 și 2.17, conțin mărimi ce pot fi obținute ușor fără a folosi metode distructive, dar cu oprirea instalației. Este vorba de diametrul țevii după "X" intervale de timp, diametrul materialului

nesupus la sarcină la 20°C și de durată de serviciu după “x” intervale de timp și de durată de serviciu precedentă.

Viteza de fluaj este un bun indicator de analiză a duratei de viață și ne permite să stabilim dacă fenomenul de fluaj este stabil.

În urma valorilor obținute pentru deformarea la fluaj și pentru viteza de fluaj, concluzia este că pentru conducta de abur viu, fenomenul de fluaj este stabil.

În continuare am evidențiat evoluția structurală a materialului metalic de-a lungul duratei de funcționare. În acest scop am realizat un studiu comparativ între starea inițială și starea după 75.000 ore de funcționare la un element activ confecționat din oțelul 16Mo3.

Oțelul 16Mo3 are în stare neutilizată structură ferito-perlitică granulară cu carburi fine de Mo. După 75.000 ore de funcționare în structură s-a identificat ferită, perlită și carburi fine de Mo, fără însă a observa pori izolați, aliniați sau microfisuri. Analizele microscopice au pus în evidență evoluția microstructurală și anume descompunerea perlitei în ferită și carburi, lucru determinat de temperatura și tensiunile mecanice din exploatare. Examinarea microscopică utilizând metoda replicilor metalografice, scoate în evidență faptul că materialul analizat nu prezintă defecte în exploatare, dar structurile feritice cu carburi fine prezente în structura materialului, diminuează valoarea inițială a caracteristicilor mecanice și pot produce fenomene de îmbătrânire specifice acestor oțelurilor.

Am ales cercetarea structurii metalelor cu ultrasunete deoarece este o metodă foarte rapidă, ușoară și prin intermediul ei am realizat o corelație între caracteristicile ultrasonice analizate pe material și structura acestuia.

Am folosit pentru acest lucru un aparat ultrasonic modern, Sonic 136 plus prevăzut cu calculator și imprimantă de lucru și alimentare cu acumulatori care îi conferă o mare autonomie. Mediul de cuplare dintre piesă și palpator a fost întotdeauna același și anume vaselina. Frecvența de lucru în timpul controlului a fost de regulă de 5 MHz iar palpatoarele folosite au fost Nortec ZTM ¼” și Nortec ZTM ½”. Dintre parametri utilizați mai avem: viteza undei ultrasonice

5920m/s, întârzierea semnalului ultrasonic 1,2 mm, domeniul de măsură de 100mm pentru simplitate în calculele ulterioare iar rata de repetiție între 2 și 4 KHz.

Palpatoarele folosite în determinarea mărimilor acustice au folosit unde longitudinale la care direcția de mișcare a particulelor coincide cu direcția undei.

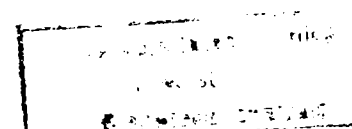
Măsurătorile efectuate cu ajutorul palpatoarelor au primit coeficientul de încredere bazat pe ecuația dreptei de regresie $y=a+bx$ având $\alpha > 80$ ($\text{tg}\alpha = y_i/x$ – panta dreptei de regresie).

Ridicând valorile utile din diagramele obținute cu ajutorul imprimantei, de la Sonic 136 plus, am putut urmări algoritmul de calcul al atenuării, iar valorile le-am centralizat în tabelul II.2.

În urma efectuării mai multor măsurători a rezultat clar că:

- pentru grăunți mici, transparența undelor ultrasonice este mare, deci fenomenul de difuziune este redus;
- se observă că pentru frecvență mare, deci lungime de undă mică, avem o atenuare mare iar pentru frecvență mică, lungime de undă mare, atenuarea este mică;
- atenuarea depinde de natura structurii oțelului supus examinării, atenuarea fiind maximă în cazul feritei;
- atunci când cristalele sunt mici comparativ cu lungimea de undă iar orientarea lor este dezordonată, este indicat să realizăm analiza cu o viteză medie a ultrasunetului indiferent de direcția de propagare (utilizăm o astfel de viteză la oțelurile feritice cu granulație fină);
- materialele metalice au proprietăți mecanice dependente structură. Proprietățile acustice sunt de asemenea influențate de structură, deci va trebui să găsim și între proprietățile mecanice și cele acustice o dependență. Pentru aceasta am calculat mai întâi coeficientul de atenuare cu relația:

$$\alpha = \frac{1}{l} \ln \frac{p_0}{p} \left[\frac{Np}{cm} \right] = \frac{1}{l} 2 \log \frac{I_0}{I} \left[\frac{B}{cm} \right].$$



Mărimile din această relație le-am extras din diagrama obținută cu aparatul Sonic 136 plus. Cunoscând valoarea coeficientului de atenuare a undei se poate determina mărimea de grăunte cu relația:

$$D = \sqrt[3]{\frac{525}{32\pi^2} \cdot \frac{\rho^2 v_L^8}{\mu^2 f^4}}$$

Am realizat pe baza rezultatelor experimentate corelația dintre atenuarea undelor ultrasonice și:

- duritate $\alpha = f(H.V.)$ fig. 2.44;
- concentrație în carbon $\alpha = f(\%C)$ fig.2.45;
- rezistență mecanică $\alpha = f(R_m)$ fig.2.46.

Pentru curbele obținute în figurile de mai sus am determinat forma de variație a atenuării prin funcția $y=f(x)$ afișată în dreptul fiecărui grafic.

Cunoscând funcția de $y=f(x)$ și mărimea atenuării undei ultrasonice se pot determina valorile pentru duritate, rezistență mecanică, %C, dimensiune de grăunte, concentrație de constituenți structurali.

Determinând ușor mărimea grăunților cristalini putem stabili dacă materialul ce urmează a fi exploatat are nevoie de tratamente termice.

Metoda de control nedistructivă cu ultrasunete are următoarele avantaje:

- măsurătorile dimensionale sunt precise și se pot realiza în zone greu accesibile prin alte metode;
- dă posibilitatea determinării defectelor de tip fisură, care este cea mai posibilă degradare a materialului prin oboseală;
- analiza materialului se realizează prin ridicarea de date în timpul funcționării elementelor active, cu o pregătire sumară a suprafeței;
- controlul elementelor active se realizează rapid și nu necesită decât un singur operator.

Ca dezavantaj este faptul că materialul poate să se afle în stare avansată de degradare dar fără a avea fisuri și sunt necesare determinări multiple pentru a determina curbe de corelare.

În urma experimentelor pe care le-am efectuat, rezultă că atenuarea ultrasunetului este datorată transformării energiei ultrasonice în căldură prin fenomene de absorbție, precum și devierii parțiale a razei ultrasonice de la direcția inițială prin fenomene de difuzie și refracție, lucru datorat structurii materialului metalic, și durtității acestuia.

Aceste constatări mi-au permis reprezentarea grafică a interdependenței atenuare, concentrație chimică, rezistență mecanică, figura 2.47 respectiv reprezentarea grafică a interdependenței atenuare, concentrație chimică, duritate, figura 2.48.

Concluzia importantă rezultată este că după determinarea coeficientului de atenuare ridicat pe o probă metalică, se poate determina rapid %C, duritatea materialului și rezistența mecanică cu ajutorul diagramelor din fig. 2.47. și 2.48.

Folosind elementele matematice corespunzătoare, am obținut o corelație matematică între atenuare, concentrația de carbon și duritate de forma $\alpha = f(\%C, H.V)$, a cărei ecuație este $y^2 = 2px$ și se reprezintă grafic sub forma unui cilindru parabolic.

Utilizarea materialului grafic și a relațiilor matematice, ne permit practic, să pornim la determinarea mărimilor enunțate mai sus, pentru un material metalic, doar cu ajutorul echipamentului de control ultrasonic, care efectuează un control ușor și rapid și în locuri greu accesibile.

Durata de viață reprezintă fiabilitatea nominală a unui produs. În centralele termoelectrice determinarea corectă a fracțiunii de viață consumată este importantă dar determinarea duratei de viață remanentă este vitală datorită consecințelor unei eventuale avarii. Durata de viață fiind proiectată de regulă pentru 100.000 de ore, impune ca în ultima treime de viață, materialul să fie investigat pentru a se observa dacă mai satisface cerințele impuse de regimul de lucru.

Bazat pe concluziile capitolului al doilea am trecut la determinarea duratei de viață prin:

- metode distructive folosind parametri de fluaj;
- metode nedistructive folosind replicile Struers;
- metode nedistructive folosind controlul ultrasonic.

Corelațiile dintre atenuarea undei ultrasonice, structură și proprietăți s-a făcut pe oțeluri carbon de construcție și s-a evidențiat dependența atenuării de mărimea de grăunte, concentrația în carbon, rezistența mecanică și duritatea materialului situație prezentată în detaliu în capitolul al doilea.

Am efectuat măsurători ultrasonice pe elemente active din termocentrală studiate. Dat fiind numărul mic de măsurători comparativ cu factori de influență care apar în acest caz, nu s-au putut stabili corelații precise între caracteristicile undei ultrasonice și proprietățile oțelurilor termorezistente.

Mi-am propus să realizez programul de control ultrasonic pe metode statistico-matematice, deoarece stabilirea unei corelații precise impune necesitatea unui număr mare de măsurători.

Folosind diagrama de fiabilitate pentru materialul 14CrMo4 [38], am determinat diametrul interior pentru o conductă la care temperatura de lucru este de 520°C și presiunea de 140 MPa. În urma dimensionării am realizat o scădere a tensiunii la pereții conductei până la valoarea de 44,8 MPa iar probabilitatea de rupere la fluaj după 100.000 de ore calculată cu relația:

$$T = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \text{ este de } 4,7711 \times 10^{-4}. \text{ Această valoare a probabilității de}$$

rupere la fluaj demonstrează că dimensionarea a fost corect făcută.

Pentru a putea aplica metoda Larson–Miller, de determinare a duratei de viață remanente, la materialul 12H1MF, utilizat la temperatura de 540°C presiunea de 24,4 bar cu o durată de funcționare de 84.556 ore, am efectuat:

- analiza chimică a materialului, prin identificarea pe cale spectrală;
- analiza metalografică;
- încercări mecanice pentru determinarea limitei de curgere convențională, rezistența la rupere, reziliența și duritatea.

Măsurătorile de duritate mi-au permis să desprind concluzia că duritatea materialului crește la o conductă de la interior spre exterior fig. 3.8 datorită diferenței de temperatură dintre peretele interior și cel exterior al conductei.

Determinarea duratei până la rupere a epruvetei supusă la încercări de fluaj s-a realizat pentru temperaturi cuprinse între 500°C și 640°C la tensiuni de încercare în secțiune transversală de 100 MPa; 150 MPa; 200 MPa. Cu datele obținute și utilizând metoda Larson-Miller, am determinat rezistențele tehnice de durată la 10.000 de ore și la 20.000 de ore.

Relațiile de calcul utilizate sunt:

$$P_{LM} = T (\lg t_r + 20) \quad (3.54)$$

$$\lg \sigma = A + B + B \cdot P_{LM} + C \cdot P_{LM}^2 \quad (3.55)$$

Pentru relația 3.55 se impun cele trei valori de încercare ale tensiunii. Prin rezolvarea sistemului apărut și cu ajutorul relației 3.54 se obțin valorile rezistenței tehnice de durată la 10.000 de ore și la 20.000 de ore.

$$\sigma_{r/10000} = \sigma_{r/10000/540} = 127,1 \text{ MPa} \quad (3.64)$$

$$\sigma_{r/20000} = \sigma_{r/20000/540} = 118,7 \text{ MPa} \quad (3.65)$$

Comparând valorile din relația 3.64, 3.65 cu cea recomandată de standardul pentru oțelul 12H1MF, am ajuns la concluzia că se poate prelungi durata de funcționare cu încă 20.000 de ore.

Paralel cu metoda Larson-Miller, am utilizat pentru determinarea rezervei duratei de viață o altă relație de calcul dată în NTR 10.401.

$$\tau'_S = \tau_{20} \cdot \left(\frac{R'_r / 20}{C_f \cdot \sigma'_{\max}} \right)^{N_r} \quad (3.66)$$

Utilizând relația 3.66 folosită și de [53] a rezultat că prelungirea duratei de viață se poate face cu 20.983 ore. Deoarece valorile rezultate prin cele două metode sunt apropiate, putem afirma cu siguranță că rezerva duratei de viață este de minim 20.000 de ore.

O altă metodă de predicție a rezervei de viață aplicată a fost metoda degradării limitei de grăunți. Studiul s-a efectuat pe oțelul 12H1MF aflat în diferite stadii de funcționare.

A fost investigat oțelul la:

- 0 ore de funcționare, material nou nefolosit;
- 44.538 ore de funcționare la $T_n=550^{\circ}C$ și $p_n=140\text{bar}$;
- 45.000 ore de funcționare la $T_n=560^{\circ}C$ și $p_n=140\text{bar}$;
- 52.659 ore de funcționare la $T_n=550^{\circ}C$ și $p_n=140\text{bar}$;
- 84.556 ore de funcționare la $T_n=540^{\circ}C$ și $p_n=24,4\text{bar}$;

Cu ajutorul analizei metalografice, obținute pe baza replicilor metalografice, am determinat forma de degradare și mărimea acesteia prin calcul parametrului "A".

Parametrul "A" calculat, reprezintă numărul fracționar al cavităților de grăunți întâlniți de-a lungul unei linii analizate.

Numărul fracționar al limitelor de cavități "A" este definit de raportul dintre numărul de limite degradate N_D și numărul total de limite întâlnite pe direcția analizată, degradate sau nedegradate.

Măsurătorile pentru determinarea parametrului "A" le-am făcut după regulile stabilite de standardul SP249 pentru predicția durabilității materialelor metalice.

O limită de grăunți este observată doar între primul punct triplu pe fiecare parte a intersecției. Dacă limita se extinde sub câmpul vizual atunci punctul la care ea se coboară se tratează ca un punct triplu.

Astfel, limita de grăunți este clasificată degradată dacă, conține una sau mai multe cavități de-a lungul liniei de observare iar dacă avem intersecții cu puncte triple se determină un vot majoritar a stărilor degradate pe cele trei limite întrunite. Dacă există dubii în privința cavităților, se ignoră.

Intersecțiile multiple cu aceeași limită sunt fiecare contorizate și sunt clasificate cu starea de degradare a întregii limite.

Valorile obținute sunt centralizate în tabelele III.8; III.9; III.10; III.11; III.12.

Rezultatele obținute prin metoda parametrului „A” se pot utiliza pentru o prelungire a duratei de viață cu valoarea minimă calculată pentru rezerva duratei de viață (durata remanentă de viață) reținută în tabelul III.13 intervalul de valori în cazul materialului 12H1MF cu 84.556 ore de funcționare este de minim 0 ore, maxim 32.976 ore.

Pe baza valorilor obținute în tabelul III.13 se poate observa că intervalul de predicție între valoarea minimă și valoarea maximă a rezervei duratei de viață este destul de mare. Datorită însă costurilor relativ reduse în realizarea investigațiilor, cât și a faptului că instalația nu trebuie oprită din funcționare, se recomandă utilizarea acestei metode nedistructive pentru aprecierea unei rezerve minime a duratei de viață, procedeul putând fi reluat la epuizarea predicției inițiale.

Evoluția în timp a structurii materialului, la temperaturile de serviciu, duce pe lângă creșterea grăunților și sferoidizarea precipitatelor de carburi și la apariția cavitațiilor. Tot în SP249 se poate determina rezerva duratei de viață în funcție de evoluția în timp a structurii materialului, de cavitațiile apărute, izolate, orientate, microfisuri, lanțuri de microfisuri putem identifica zona de degradare și de fluaj în care se află materialul. Datele experimentale avute nu mi-au permis să aplic și această metodă.

IV. 2. Contribuții personale

Creșterea consumului de energie pe plan mondial și național a impus mărirea producției de energie. O mărire a producției de energie se poate face prin creșterea randamentelor de transformare sau prin crearea de noi unități de producție. Datorită investițiilor mari pentru crearea de noi capacități de producție a energiei termice s-a optat în principal pe varianta creșterii randamentelor de transformare, lucru ce determină utilizarea unor presiuni și temperaturi ridicate în procesul tehnologic.

Procesele tehnologice realizate cu randamente ridicate de transformare au impus dezvoltarea unei game largi de oțeluri cu utilizare în special a celor termorezistente cu grad de aliere scăzut, datorită costurilor mai mici. Pornind de la aceste aspecte, am urmărit în lucrare câteva direcții de analiză, cu scopul aprofundării cercetărilor realizate pentru determinarea duratei de viață a unui material metalic.

Una din direcțiile principale ale lucrării a fost monitorizarea evenimentelor ce au loc la elementele active din termocentrală în scopul identificării instalațiilor a căror mentenanță trebuie îmbunătățită. Avarii frecvente au apărut la economizor, supraîncălzitor și conducta de abur viu cu predilecție în zonele cu curburi pronunțate. Am stabilit astfel elementele active ce urmează a fi analizate urmărind în paralel parametrii de funcționare ai acestora. Am stabilit astfel un studiu documentar pentru acesta pornind de la etapa de proiectare și ajungând până la etapa finală de avarie, creând totodată și baza de date necesară pentru etape ulterioare de analiză.

O altă direcție importantă în care s-a acționat a fost stabilirea parametrilor de influență în faza de proiectare pentru alegerea materialului adecvat la elementele active supuse la temperaturi și presiuni ridicate. Majoritatea parametrilor de influență au fost analizați de-a lungul timpului pe elementele active studiate (economizor supraîncălzitor și conductă de abur viu) în scopul

stabilirii ponderii de influență a acestora în faza de proiectare, iar cei neanalizați au fost ierarhizați în funcție de importanța lor.

Am considerat ca dând direcție foarte importantă de studiu, metodele experimentale de control a elementelor active.

Metodele de control folosite s-au realizat în conformitate cu prevederile și instrucțiunile în vigoare, cu normele tehnice de ramură.

S-au utilizat în cadrul cercetării, atât metode distructive cât și nedistructive scopul a fost de a perfecționa metode nedistructive având ca element de comparație rezultatele de la metodele nedistructive.

Încercările distructive au cuprins încercările mecanice specifice pentru obținerea de informații, rezultate specifice utilizării de lungă durată. Am utilizat mașini de încercat atât pentru încercări mecanice de scurtă durată cât și pentru încercări mecanice de lungă durată pe oțeluri termorezistente ale elementelor active.

Pe baza informațiilor obținute prin încercările mecanice am putut utiliza metoda Parametrului Larson-Miller pentru determinarea rezervei de viață a conductei de abur viu din material 12 H 1 MF. Folosind datele obținute am putut stabili dacă în faza de proiectare s-a dimensionat corect și pentru metoda Weibull am determinat funcția de defiaibilitate adică probabilitatea de rupere la fluaj a materialului după 100.000 de ore de funcționare. Prin analize metalografice cantitative, distructive și prin analize metalografice nedistructive cu ajutorul replicilor metalografice am încercat o corelare a modificărilor caracteristicilor.

Rezultatele obținute au evidențiat veridicitatea concluziilor din bibliografii și în plus au permis realizarea cu ajutorul funcțiilor matematice a corelațiilor între acestea. Au fost efectuate încercări nedistructive, pe două direcții.

A fost analizată structura materialului metalic prin metoda replicii metalografice, rezultatul fiind o imagine microstructurală. Prin analiza imaginii microstructurale cu ajutorul microscopului și ținând cont de regulile impuse de

standarde, am determinat rezerva de viață pentru materialele analizate. Creșterea gradului de încredere la această metodă se face odată cu creșterea câmpurilor măsurate.

A doua metodă nedistructivă utilizată a fost cea a controlului cu ultrasunete prin care se pot determina eventualele defecte și estima atât mărimea lor cât și gradul de periculozitate al acestora.

Controlul cu ultrasunete permite și analiza structurii materialului studiat prin intermediul caracteristicilor undei ultrasonice. Caracteristica undei ultrasonice ce a fost utilizată în scopul analizării oțelurilor este atenuarea.

Prin determinarea valorilor atenuării, pentru diferite oțeluri de construcție, s-au putut stabili pe baze matematice, corelații între caracteristica de atenuare a undei ultrasonice și caracteristicile mecanice, chimice și structurale ale materialului metalic. Corelațiile s-au concretizat în reprezentări grafice, completate de forma matematică a funcției, pentru a putea permite determinarea mărimilor dorite, atunci când se cunoaște una dintre ele. Am realizat un program pe calculator, în Visual C, ce permite rapid determinarea oricărei valori implicate în corelații cu un pas de 0,01.

Interdependența dintre caracteristici, a permis determinarea unei suprafețe de variație și anume cea a unui cilindru parabolic.

Scopul principal atât al determinării funcțiilor de dependență cât și a programului în Visual C, a fost de obținere a unor caracteristici mecanice, chimice și structurale atunci când valoarea atenuării obținută prin control nedistructiv este cunoscută. Această metodă propusă prezintă avantajul unui control rapid, ușor de realizat iar prin corelațiile obținute determinările sunt foarte rapide.

La majoritatea încercărilor experimentale, la citirile cu aparatul ultrasonic cât și la calculele parametrului "A" de la metoda limitei de grăunți degradați, am respectat procedeele statistice standard.

În general, elaborarea oricărui studiu implică mai multe faze: culegerea datelor, prelucrarea datelor și elaborarea de concluzii. Procesul

tehnologic de prelucrare a informației cunoaște la rândul său trei etape: prelucrarea manuală, mecanică și automată. Indiferent dacă prelucrarea este manuală sau automată rezultatele ei trebuie să fie înfățișate într-o formă care să le facă proprii utilizării de către beneficiari, să înlesnească aplicarea metodelor statisticii descriptive și, mai departe, analizei.

Problema nouă și de mare importanță, pusă în studiul repartițiilor multidimensionale, primește legăturile între variabilele observate și prin ele, între fenomenele pe care le reprezintă și este cunoscută sub numele de corelație. Ea include două probleme fundamentale: prima constă în a descrie legea de variație medie a unei variabile în funcție de o alta (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.

Matematic, corelația se traduce prin formarea ecuației ce dă valoarea unei variabile în funcție de o alta sau de mai multe altele. În ceea ce privește regresia, această variație a unei variabile, la care cealaltă variabilă reacționează, vizual se poate constata acest lucru pe tabelul de corelație. Am abordat ambele probleme, determinând atât linia de regresie cât și abaterea pătratică medie, pentru a determina gradul de încredere al măsurătorilor.

Prin ajustare am realizat operația de înlocuire a valorilor empirice ale unei serii statistice cu valori calculate prin metode statistico-matematice, eliminându-se variațiile întâmplătoare și scoțându-se în evidență tendința esențială de dezvoltare. Pentru ajustarea datelor am folosit metode grafice, metode mecanice și metode analitice. Acestea se aplică și în operațiile de interpolare și extrapolare.

Metoda grafică se sprijină mai ales pe reprezentarea datelor și trasarea vizuală a liniei de tendință urmărind alura curbei datelor, empirice pe rețeaua graficului.

La majoritatea graficelor din lucrare am trasat linia de tendință și am determinat ecuația acesteia, precum și metoda celor mai mici pătrate.

IV.3. Probleme de viitor

Transpunerea în practică a metodologiei prezentate presupune mărirea bazei de date în conformitate cu condițiile impuse de procedeele statistico-matematice standard.

Consider că pe viitor cercetările în acest domeniu ar trebui să atingă următoarele probleme:

- realizarea unui program de cercetare prin care baza de date existentă să crească prin realizarea de determinări a caracteristicilor undei ultrasonice, pe oțeluri slab aliate termorezistente ;
- aprofundarea cercetărilor pentru determinarea caracteristicilor mecanice, chimice și structurale la oțelurile termorezistente utilizate în instalațiile termoenergetice, atât în termocentrale cât și în institutele de cercetare și proiectare de profil;
- metoda parametrului “A”, este o metodă foarte rapidă, dar ea necesită o perfecționare în scopul creșterii gradului ei de încredere, deoarece depinde foarte mult de experiența operatorului, de modul de interpretare al imaginilor microstructurale.

Consider important formularea unor direcții noi de lucru, într-o problemă de mare importanță tehnică și economică, ca cea vizând determinarea rezervei de viață a elementelor active din termocentrală, în scopul creșterii siguranței în exploatare.

BIBLIOGRAFIE:

- [1]. Aloman A. – Statistică și probabilitate în experimentul științific. Editura Matrix-Rom București 1998
- [2]. Anghel Al., Grigore N. – Diagnosticarea duratei de serviciu în condiții de fluaj a sistemelor de conducte, publicat în lucrările „A 6-a Conferință a specialiștilor în frecare, ungere, uzare”. Tribotehnica. Cluj-Napoca, 27-29 septembrie, 1990.
- [3]. Bădărău E., Grumăzescu M., - Bazele acusticii moderne. Editura Tehnică București 1982.
- [4]. Baron T., Isaic –Maniu A., ș.a. – Calitate și fiabilitate. Editura Tehnică București 1988.
- [5]. Bohățiel T., Năstase E., - Defectoscopie ultrasonică fizică și tehnică. Editura Didactică și Pedagogică București 1981.
- [6]. Bunea D., Șaban R., Vasile T., Gheorghe D., Brânzei M., - Alegerea și tratamente termice ale materialelor metalice. Editura Didactică și Pedagogică București 1996.
- [7]. Buzdugan Gh. ș.a. – Rezistența materialelor. Editura Tehnică București 1979.
- [8]. Carțiș I., Mitelea I. – Tratamente termice. Institutul Politehnic Timișoara 1982.
- [9]. Cioclov D., - Recipiente sub presiune. Editura Academiei, București, 1983.
- [10]. Cheșa I., Lascu-Simion N., Nedelcu C., Rizescu C., Teodorescu M., - Alegerea și utilizarea oțelurilor. Editura Tehnică București 1984.

- [11]. Constantinescu Georgeta, Constantinescu A. Îndrumar pentru alegerea oțelurilor în construcția de mașini. Oficiul de informare documentară pentru aprovizionarea tehnico-materială București 1986.
- [12]. Constantinescu P., Nemeș A. – Controlul prin ultrasunete a metalelor și îmbinărilor sudate. Ministerul Construcțiilor București 1967.
- [13]. Constantinescu A ș.a. – Fluajul metalelor. Editura Tehnică, București, 1970.
- [14]. Demian M., Trușculescu M. – Analiza cu ultrasunete a stării structurale și a proprietăților mecanice ale oțelurilor carbon de construcție. Zilele Academice Timișene ediția a VII –a 24-25 mai 2001. Simpozion: Materiale avansate, tratamente termice și calitatea managementului. Editura Politehnica 2001, pag.45-48.
- [15]. Demian M. – Corelația undei ultrasonore cu caracteristicile oțelurilor carbon de construcție. Zilele Academice Timișene ediția a VII –a 24-25 mai 2001. Simpozion: Materiale avansate, tratamente termice și calitatea managementului. Editura Politehnica 2001, pag.49-53.
- [16]. Demian M., Demian Gabriela. – Studii privind dependența dintre atenuarea ultrasunetelor și caracteristicile oțelurilor. Simpozion internațional „Universitaria ROPET 2001”. Editura. Focus – Petroșani 2001.
- [17]. Demian M., Demian Gabriela. – Simularea cu laser în piese a ultrasunetelor și aplicații ale acestora în industria metalurgică. Simpozion Internațional „Universitaria ROPET 2001”. Editura Focus-Petoșani 2001.
- [18]. Demian M., Demian Gabriela. - Calculul de atenuare al undelor ultrasonice. Colocviul internațional de fizică „Evrika” ediția a V- a, Baia Mare 1998.
- [19]. Deutsch V., und M.Vogt – Ultraschallprüfung von SchwBverbindungen. Die SchweBtechnische Praxis Band 28 DVS – Verlag Dusseldorf 1995.
- [20]. Domșa A., Domșa S., - Materiale metalice în construcția de mașini și instalații. Vol. I-II, Editura Dacia Cluj-Napoca 1981.

- [21]. Fleser T. – Mentenanța utilajelor tehnologice – Universitatea Politehnica Timișoara 1994.
- [22]. Fleser – Cercetări ale caracteristicilor structurale și mecanice la oțelurile termorezistente. Teză de doctorat 1981, Timișoara.
- [23]. Florențiu Al., - Calculul mecanic al sistemelor de conducte cu dilatări termice. Editura Tehnică, București, 1985.
- [24]. Geru N., Gurgu C., Cosmeleață Georgeta – Analiza structurii materialelor metalice. Editura Tehnică București, 1990.
- [25]. Geru Nicolae – Proprietățile metalelor și metode fizice de control. Editura Didactică și Pedagogică București, 1967.
- [26]. Geru N.- Teoria structurală a proprietăților metalelor. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980, pag.229-243, 126-136.
- [27]. Grigore N., Anghel Al., Posea N., - Calculul la fluaj al sistemelor de conducte, partea a II-a, St. Cerc. Mec. apl.4 (1986).
- [28]. Institutul Român de standardizare – Culegere de standarde comentate vol. I. Încercarea materialelor. Încercări tehnologice. București 1996.
- [29]. Institutul Român de standardizare. – Culegere de standarde comentate vol. I. Încercarea materialelor. Încercări mecanice. București 1996.
- [30]. Institutul Român de standardizare. – Culegere de standarde comentate vol. I. Încercarea materialelor. Metode de examinare a structurii. București 1998.
- [31]. Institutul Român de standardizare.– Culegere de standarde comentate vol. I. Oțeluri. Mărci și condiții tehnice. București 1994.
- [32]. Institutul Român de standardizare. – Culegere de standarde comentate vol. III. Oțeluri. Produse Lungi. București 1995.
- [33]. Institutul Român de standardizare. – Culegere de standarde comentate vol. I. Oțeluri. Supliment mărci. București 1999.
- [34]. Institutul Român de standardizare. – Culegere de standarde comentate vol. II. Oțeluri. Supliment produse. București 1999.

- [35]. 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* *21* 1973* Nr 10.
- [36]. Luca E., Chiriac M., Strat M., Bărboiu V. – Analize structurale prin metode fizice. Vol. I-II, Editura Academiei Române București, 1985.
- [37]. Mangra M. - Știința materialelor Reprografia Universitatea din Craiova 1994.
- [38]. Mazilu E.- Analiza fiabilistică a rezistenței tehnice de durată a oțelurilor termorezistente. Teză de doctorat 1979.
- [39]. MeLay A., Lilley J.- "The advantages of ultrasonic techniques as an aid to condition monitoring of industrial plant". *Insight* 36 (1994) pag.441-444.
- [40]. Mitelea I., Budău V. – Studiul metalelor. Îndreptar tehnic. Editura Facla.
- [41]. Mocanu D.R. ș.a. – Încercarea materialelor. Vol. I-II Încercări distructive. Editura Tehnică București 1982.
- [42]. Mocanu D.R. ș.a. – Încercarea materialelor. Vol. III Controlul Nedistructiv al metalelor. Editura Tehnică București 1986.
- [43]. Mocanu D.R. – Rezistența materialelor. Editura Tehnică, București, 1980.
- [44]. Necșulescu C., Berceanu E., Constantin N., Îndrumar de prelucrarea datelor experimentale utilizând teoria probabilităților și statistica matematică. Universitatea „Politehnica” București 1993.
- [45]. Nichici A., Cicală E., - Prelucrarea datelor experimentale. Universitatea „Politehnica” Timișoara 1996.
- [46]. Negulescu L. – Considerații privind chimismul coroziunii fisurante sub tensiune la cazanele de abur. *Revista Energetica* *38* 1990* Nr6-7.
- [47]. Pascu R., Furdui I., Moisă T., - Cercetări privind estimarea prelungirii duratei de viață a unor poduri rulante cu durată de viață expirată. *Buletinul institutului de sudură și încercări de materiale Timișoara*, numărul 3 /1997.
- [48]. Pănoiu A. N., - Cazane de abur. Editura Didactică și Pedagogică București 1982.

- [49]. Popa T., Mușatescu V., Marinuș Liliana – Instalații termoenergetice. Editura Didactică și Pedagogică 1985.
- [50]. Posea N., Anghel Al, Grigore N – Determinarea duratei de serviciu în condiții de fluaj a sistemelor de conducte. Sesiune jubiliară de comunicări științifice 175 de ani de învățământ tehnic, superior. Institutul Politehnic Iași – 1988.
- [51]. Posea N., Anghel Al., Grigore N. – Calculul la fluaj al sistemelor de conducte. PI, S.C. mec. aplic.1986.
- [52]. Posea N., Anghel Al., Grigore N., Metodă generală pentru calculul la fluaj al sistemelor de conducte, Revista Mine, Petrol și Gaze, 10 (1986).
- [53]. Posea N., Anghel N., Grigore N., Mincu V. – Statica și dinamica sistemelor de conducte. Editura Academiei Române 1996.
- [54]. Rădulescu Maria, Drăgan N., Hildegard Hubert, Opriș C. Atlas Metalografic. Editura Tehnică București.
- [55]. Rășănescu I., Fenomene de transfer. Editura Didactică și Pedagogică București 1984.
- [56]. Saban R., Vasile T., Bunea D., Gheorghe D., Brânzu M., Ioniță Gh., Studiu și ingineria materialelor. Editura Didactică și Pedagogică București 1995.
- [57]. Safta Voicu I., - Defectoscopie nedistructivă industrială. Editura Sudura Timișoara 2001.
- [58]. Tănăsescu F. T., Stanciu V., Nițu Smaranda Nițu C. – Agenda Tehnică. Editura tehnică București 1990.
- [59]. Trușculescu M., Tache Ana Maria, Mitelea I, Budău V. Studiu metalelor. – Tehnici de laborator. Editura Facla Timișoara 1977.
- [60]. Trușculescu M., - Studiul materialelor. Editura Didactică și Pedagogică București 1977.
- [61]. Trușculescu M., Ieremia I. – Oțeluri inoxidabile și refractare. Facla Timișoara 1983.

- [62]. Trușculescu M., Mitelea I., Farbaș V. – Cercetări asupra modificărilor structurale la fluajul oțelurilor CrMoV pag 123-129 Buletin Științific și Tehnic I.P.Timișoara, fasc 2 Tom 24 (38) – 1979.
- [63]. Trușculescu M., Fleșer T. – Influența morfologiei particulelor de carburi asupra proprietăților mecanice ale oțelurilor 12H1MF și 12CrMoV3 – Revista Metalurgia 9/33 – 1981 pag 461-466.
- [64]. Trușculescu M., Fleșer T. – Caracteristicile structurale și tenacitatea oțelurilor 12H1MF și 12CrMoV3 pag 120-126, Vol I. - Simpozionul de Studiul Metalelor și Tratamente Termice I.P.Timișoara 1981.
- [65]. Trușculescu M., Fleșer T. – Influența conținutului de ferită și bainită asupra rezistenței tehnice de durată a oțelurilor 12H1MF și 12CrMoV3 pag 127-138 vol I. – Simpozionul de Studiul Metalelor și Tratamente Termice I.P.Timișoara 1981.
- [66]. Trușculescu M., Fleșer T. – Dependența caracteristicilor de tracțiune de structura oțelurilor 12H1MF și 12CrMoV3 pag 283-291. Revista Cercetări Metalurgice nr. 23- 1982.
- [67]. Trușculescu M., Fleșer T.- Studiul asupra comportării la temperaturi a oțelului 12CrMoV3 pag 594-598. Revista Metalurgia nr. 11-36/1984.
- [68]. Trușculescu M., Fleșer T. – The influence of structural states over the life – time of some active elements from electric power station vol. I - Welding Power Industry Belgrade 1995.
- [69]. Trușculescu M., Demian M. – Ultrasonic analysis of the structure and mechanical properties of construction carbon steel. Procesing 11th Symposium on Metallography. Metallography 2001, 25-27 april 2001 Stara-Lesna Propad Slovacia.

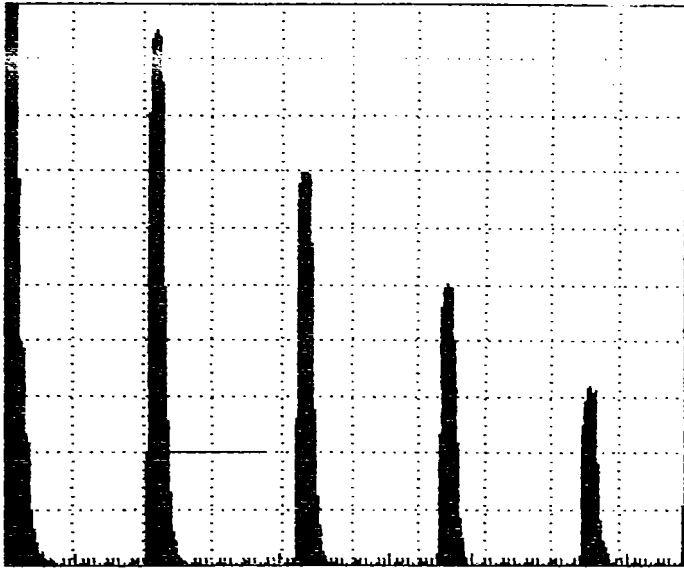
- [70]. Turcu Liana, Stanciu Aurelia – Metalografia nedistructivă metodă de expertizare și diagnosticare a materialelor din componența utilajelor energetice. Revista Energetica *43* 1995* nr. 5.A.
- [71]. Turcu Liana, Grăpinoiu V. –Metalografia nedistructivă metodă de expertizare și diagnosticare a materialelor din componența utilajelor energetice. Revista Energetica *28* 1980* Nr 10-11.
- [72]. Turcu Liana, Zabunov A. – Probleme legate de stabilirea rezervei de viață pentru conductele de abur ale unui grup energetic. – Revista Energetica *44* 1996* Nr2-A.
- [73]. Turcu Liana – Metode de prognozare a duratei de viață a tubulaturii cazanelor energetice. Revista Energetica *43* 1995* Nr 6-A.
- [74]. Turcu Liana, Grăpinoiu V. - Aspecte mecano-metalurgice rezultate în urma examinării unei avarii la o conductă de abur viu. Revista Energetica *28* 1980* Nr10-11.
- [75]. Volker Deutsch, Platle Michael, Vogt Maufred, Ultraschallprufung. Grundlagen und industrielle Anwendungen. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1997.
- [76]. Udriște C. – Algebră liniară și geometrie analitică. Geometry Balkan Press. București 1996
- [77]. Vodă V. – Planuri de eșantionare pentru verificarea fiabilității. Tribuna calității nr.9/1997
- [78]. Vodă V . – De la probabilități la control statistic. Tribuna calității nr.6/1997
- [79]. Voicu Safta I. – Controlul îmbinărilor și produselor sudate. vol I-II Editura Facla Timișoara 1984.
- [80]. Zamfir S., Vidu R., Brânzoi V. –Coroziunea materialelor metalice. Editura Didactică și Pedagogică București 1994.

- [81]. x x x – Prescripții tehnice pentru verificarea deformațiilor și modificărilor structurale ale conductelor și elementelor cazanelor de abur care funcționează la temperaturi ridicate C29-82. Editura tehnică București 1983.
- [82]. x x x – STAS 8874-80 Încercarea la fluaj a oțelului la temperaturi ridicate.
- [83]. x x x – STAS 8894-81 Încercarea la rupere la fluaj a oțelului, la temperaturi ridicate.
- [84]. x x x – STAS 6596-81 Încercarea la fluaj a oțelurilor la temperaturi ridicate fără întreruperea sarcinii.
- [85]. x x x – Stallssuhullse 2000. Catalog de oțeluri.
- [86]. x x x – SP 249 – Tehnici metalografice pentru predicția durabilității.
- [87]. x x x – Sonic 136 Plus. Carte tehnică.
- [88]. x x x – Stabilirea eforturilor unitare de comparație și a eforturilor unitare efective provenite din dilatare termică împiedicată a sistemelor de conducte din oțel NTR 10367-80.
- [89]. x x x – Prescripții tehnice pentru verificarea deformațiilor și modificărilor structurale ale conductelor și elementelor cazanelor de abur care funcționează la temperaturi ridicate C29-82 ET București 1983.
- [90]. x x x ANSI/ASME BPV-III (section III) – ”Rules fan construction of Nuclear Power Plant Components” – 1977.
- [91]. x x x – Posibilități de evaluare a durabilității remanente a produselor energetice și chimice oficiul de informare documentară pentru industria construcțiilor de mașini.
- [92]. x x x – Normă Tehnică Românească NTR 10401.
- [93]. x x x – Încercările mecanice ale metalelor. Institutul Român de Standardizare STAS 6967-88.
- [94]. x x x – Calitatea – curs. Asociația Română pentru Calitate, Iași 1997.
- [95]. x x x – ISO 9001 și organizarea pentru calitate – Tribuna calității nr.3/1997.

ANEXA I

Diagrame de analiză ultrasonică

STORED DISPLAY # 3



RANGE
 RANGE 100mm
 DELAY 0.830mm
 VEL 5.92 mm/us
 UNITS mm

GATE
 LEVEL 20%
 POSN 22.9mm
 WIDTH 15.5mm
 POLARITY +

GAIN REFERENCE
 GAIN 46.8dB
 REF LVL 93.0dB
 % CHANGE XXXX
 dB CHANGE -46.2

RECEIVER
 GAIN 46.8dB
 DISPLAY FILT1
 FREQ 5MHz
 REJECT OFF

PULSER
 PULSE 130ns
 DAMPING 50°
 PULSE ECHO
 REP RATE 4 KHz

DISTANCE TO ECHO
 23.2mm

INSPECTION REPORT

COMPANY _____

ADDRESS _____

OPERATOR _____ TIME _____

INSP. PROCEDURE _____

CODE/SPEC _____

ACCEPTANCE LEVEL _____

JOB NUMBER _____

OBJECT _____ MATERIAL *Fec*

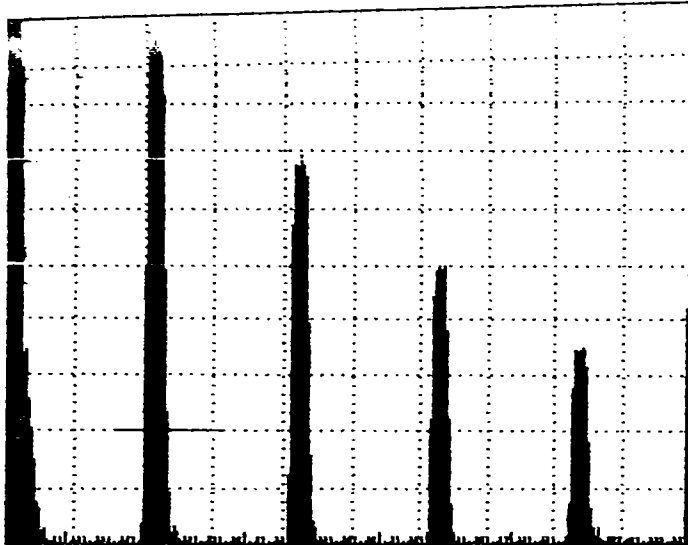
TRANSDUCER TYPE _____

COMMENTS *67-64-47*

SIGNATURE _____ DATE _____

STAVELEY INSTRUMENTS — SONIC 136 PLUS DATA REPORT

STORED DISPLAY # 4



RANGE		RECEIVER	
RANGE	100mm	GAIN	46.8dB
DELAY	0.830mm	DISPLAY	FILT1
VEL	5.92 mm/us	FREQ	5MHz
UNITS	mm	REJECT	OFF
GATE		PULSER	
LEVEL	20%	PULSE	130ns
POSN	16.8mm	DAMPING	50 Ω
WIDTH	15.5mm	PULSE ECHO	
POLARITY	+	REP RATE	4 KHz
GAIN REFERENCE		DISTANCE TO ECHO	
GAIN	46.8dB		21.2mm
REF LVL	93.0dB		
% CHANGE	XXXX		
dB CHANGE	-46.2		

INSPECTION REPORT

COMPANY _____

ADDRESS _____

OPERATOR _____ TIME _____

INSP. PROCEDURE _____

CODE/SPEC _____

ACCEPTANCE LEVEL _____

JOB NUMBER _____

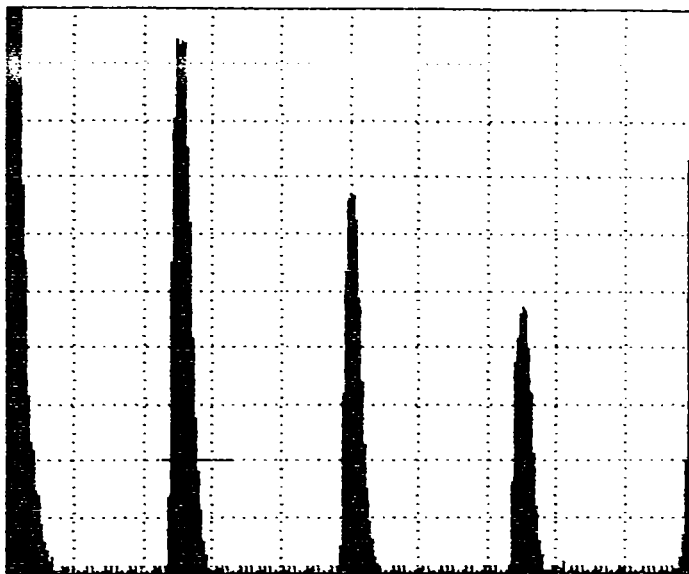
OBJECT _____ MATERIAL *Fe α*

TRANSDUCER TYPE _____

COMMENTS *67-60-47*

SIGNATURE _____ DATE _____

STORED DISPLAY # 5 -2.1



<u>RANGE</u>		<u>RECEIVER</u>	
RANGE	100mm	GAIN	45.0dB
DELAY	1.20mm	DISPLAY	FILT1
VEL	5.92 mm/us	FREQ	5MHz
UNITS	mm	REJECT	OFF
<u>GATE</u>		<u>PULSER</u>	
LEVEL	20%	PULSE	86ns
POSN	24.3mm	DAMPING	100Ω
WIDTH	10.0mm	PULSE ECHO	
POLARITY	+	REP RATE	4 KHz
<u>GAIN REFERENCE</u>		<u>DISTANCE TO ECHO</u>	
GAIN	45.0dB		25.2mm
REF LVL	45.0dB		
% CHANGE	0.0		
dB CHANGE	0.0		

INSPECTION REPORT

COMPANY _____

ADDRESS _____

OPERATOR _____ TIME _____

INSP. PROCEDURE _____

CODE/SPEC _____

ACCEPTANCE LEVEL _____

JOB NUMBER _____

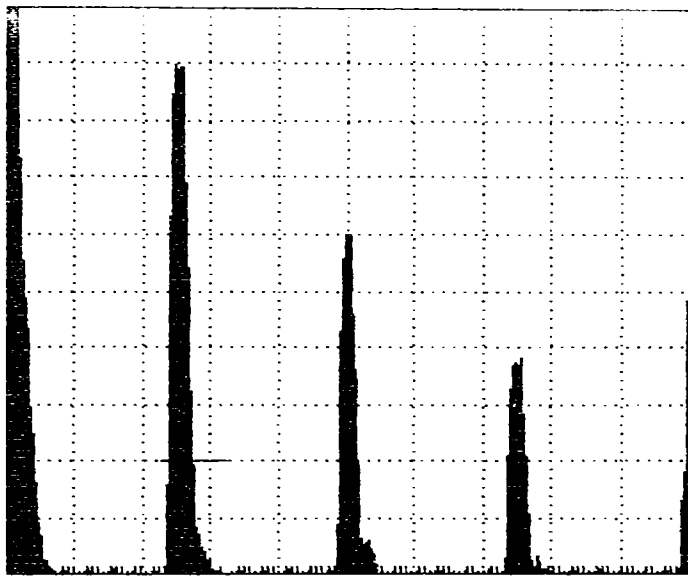
OBJECT _____ MATERIAL OLC15

TRANSDUCER TYPE _____

COMMENTS 67-64-45,5

SIGNATURE _____ DATE _____

STORED DISPLAY # 1 -2.2



RANGE		RECEIVER	
RANGE	100mm	GAIN	45.0dB
DELAY	1.20mm	DISPLAY	FILT1
VEL	5.92 mm/us	FREQ	5MHz
UNITS	mm	REJECT	OFF
GATE		PULSER	
LEVEL	20%	PULSE	86ns
POSN	24.3mm	DAMPING	100 ²
WIDTH	10.0mm	PULSE ECHO	
POLARITY	+	REP RATE	4 KHz
GAIN REFERENCE		DISTANCE TO ECHO	
GAIN	45.0dB		25.2mm
REF LVL	45.0dB		
% CHANGE	0.0		
dB CHANGE	0.0		

INSPECTION REPORT

COMPANY _____

ADDRESS _____

OPERATOR _____ TIME _____

INSP. PROCEDURE _____

CODE/SPEC _____

ACCEPTANCE LEVEL _____

JOB NUMBER _____

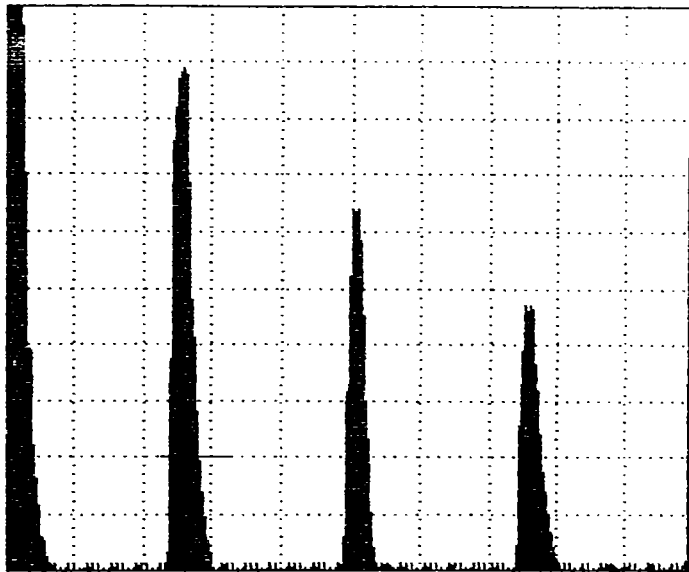
OBJECT _____ MATERIAL OLC 15

TRANSDUCER TYPE _____

COMMENTS 67-61-40,5

SIGNATURE _____ DATE _____

STORED DISPLAY # 5-3.2



RANGE		RECEIVER	
RANGE	100mm	GAIN	45.0dB
DELAY	1.20mm	DISPLAY	FILT1
VEL	5.92 mm/us	FREQ	5MHz
UNITS	mm	REJECT	OFF
GATE		PULSER	
LEVEL	20%	PULSE	86ns
POSN	24.3mm	DAMPING	100%
WIDTH	10.0mm	PULSE ECHO	
POLARITY	+	REP RATE	4 KHz
GAIN REFERENCE		DISTANCE TO ECHO	
GAIN	45.0dB		25.2mm
REF LVL	45.0dB		
% CHANGE	0.0		
_B C_A_N_E	0.0		

INSPECTION REPORT

COMPANY _____

ADDRESS _____

OPERATOR _____ TIME _____

INSP. PROCEDURE _____

CODE/SPEC _____

ACCEPTANCE LEVEL _____

JOB NUMBER _____

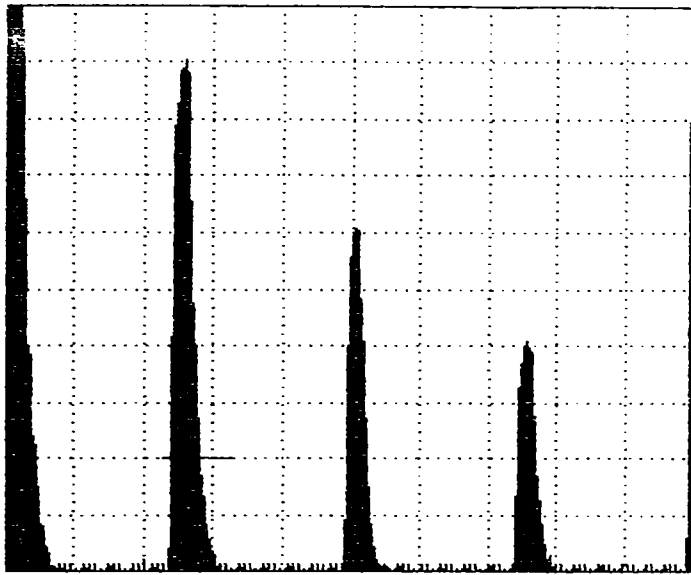
OBJECT _____ MATERIAL OLC20

TRANSDUCER TYPE _____

COMMENTS 67-60-43

SIGNATURE _____ DATE _____

STORED DISPLAY # 2 -3.2



RANGE
 RANGE 100mm
 DELAY 1.20mm
 VEL 5.92 mm/us
 UNITS mm

RECEIVER
 GAIN 45.0dB
 DISPLAY FILT1
 FREQ 5MHz
 REJECT OFF

GATE
 LEVEL 20%
 POSN 24.3mm
 WIDTH 10.0mm
 POLARITY +

PULSER
 PULSE 86ns
 DAMPING 100%
 PULSE ECHO
 REP RATE 4 KHz

GAIN REFERENCE
 GAIN 45.0dB
 REF LVL 45.0dB
 % CHANGE 0.0
 dB CHANGE 0.0

DISTANCE TO ECHO
 25.2mm

INSPECTION REPORT

COMPANY _____

ADDRESS _____

OPERATOR _____ TIME _____

INSP. PROCEDURE _____

CODE/SPEC _____

ACCEPTANCE LEVEL _____

JOB NUMBER _____

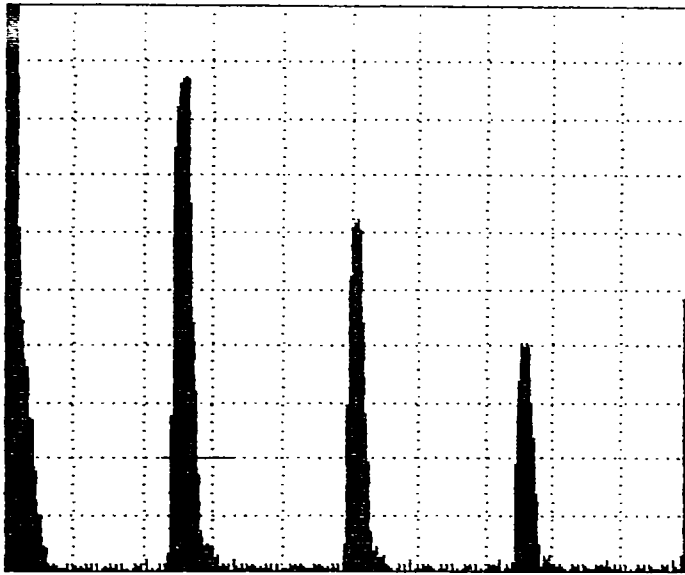
OBJECT _____ MATERIAL 01C20

TRANSDUCER TYPE _____

COMMENTS 67-61-41

SIGNATURE _____ DATE _____

STORED DISPLAY # 1-4.2



RANGE		RECEIVED	
RANGE	100mm	GAIN	45.0dB
DELAY	1.20mm	DISPLAY	FILT1
VEL	5.92 mm/us	FREQ	5MHz
UNITS	mm	REJECT	OFF
GATE		PULSER	
LEVEL	20%	PULSE	86ns
POSN	24.3mm	DAMPING	100 ^Ω
WIDTH	10.0mm	PULSE ECHO	
POLARITY	+	REP RATE	4 KHz
GAIN REFERENCE		DISTANCE TO ECHO	
GAIN	45.0dB		
REF LVL	45.0dB		25.2mm
% CHANGE	0.0		
dB CHANGE	0.0		

INSPECTION REPORT

COMPANY _____

ADDRESS _____

OPERATOR _____ TIME _____

INSP. PROCEDURE _____

CODE/SPEC _____

ACCEPTANCE LEVEL _____

JOB NUMBER _____

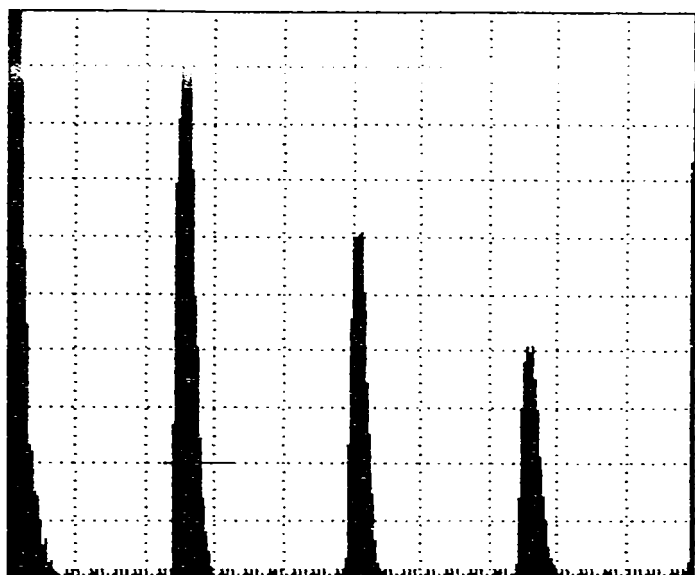
OBJECT _____ MATERIAL OLC 25

TRANSDUCER TYPE _____

COMMENTS 67-59-42

SIGNATURE _____ DATE _____

STORED DISPLAY # 5 - 41



RANGE		RECEIVER	
RANGE	100mm	GAIN	45.0dB
DELAY	1.20mm	DISPLAY	FILT1
VEL	5.92 mm/us	FREQ	5MHz
UNITS	mm	REJECT	OFF
GATE		PULSER	
LEVEL	20%	PULSE	86ns
POSN	24.3mm	DAMPING	100%
WIDTH	10.0mm	PULSE ECHO	
POLARITY	+	REP RATE	4 KHz
GAIN REFERENCE		DISTANCE TO ECHO	
GAIN	45.0dB	25.2mm	
REF LVL	45.0dB		
% CHANGE	0.0		
dB CHANGE	0.0		

INSPECTION REPORT

COMPANY _____

ADDRESS _____

OPERATOR _____ TIME _____

INSP. PROCEDURE _____

CODE/SPEC _____

ACCEPTANCE LEVEL _____

JOB NUMBER _____

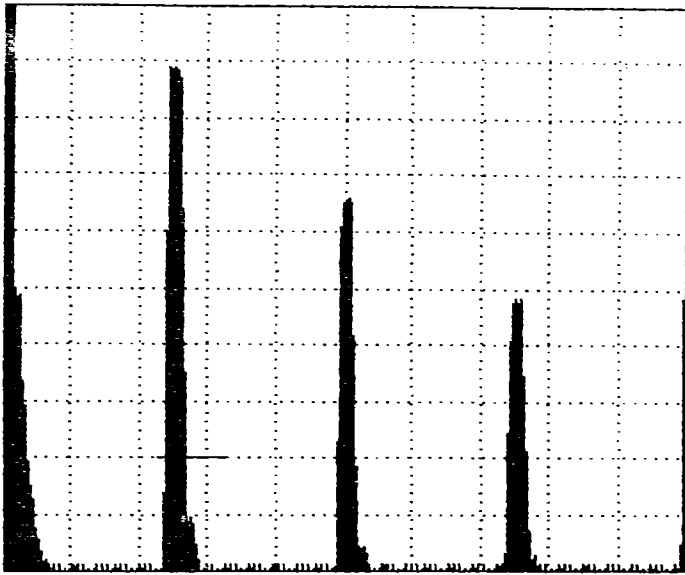
OBJECT _____ MATERIAL OLC25

TRANSDUCER TYPE _____

COMMENTS 67-61-41

SIGNATURE _____ DATE _____

STORED DISPLAY # 1 -C1



<u>RANGE</u>		<u>RECEIVER</u>	
RANGE	100mm	GAIN	45.0dB
DELAY	1.20mm	DISPLAY	FILT1
VEL	5.92 mm/us	FREQ	5MHz
UNITS	mm	REJECT	OFF
<u>GATE</u>		<u>PULSER</u>	
LEVEL	20%	PULSE	86ns
POSN	24.3mm	DAMPING	100%
WIDTH	10.0mm	PULSE ECHO	
POLARITY	+	REP RATE	4 KHz
<u>GAIN REFERENCE</u>		<u>DISTANCE TO ECHO</u>	
GAIN	45.0dB		25.2mm
REF LVL	45.0dB		
% CHANGE	0.0		
dB CHANGE	0.0		

INSPECTION REPORT

COMPANY _____

ADDRESS _____

OPERATOR _____ TIME _____

INSP. PROCEDURE _____

CODE/SPEC _____

ACCEPTANCE LEVEL _____

JOB NUMBER _____

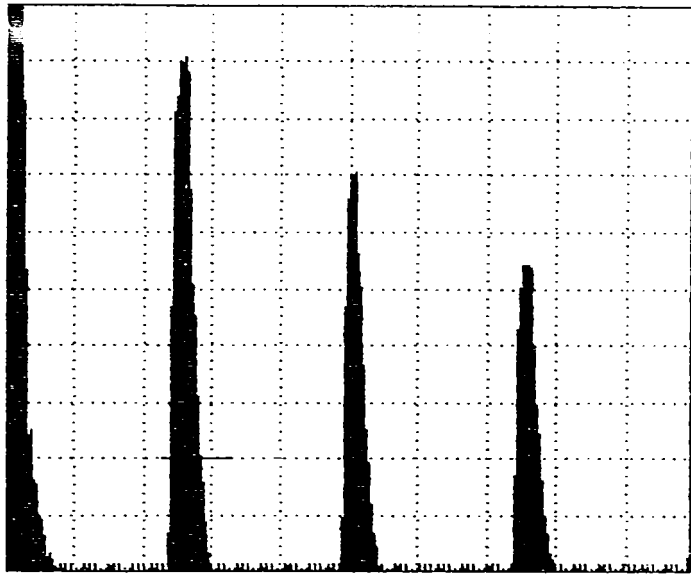
OBJECT _____ MATERIAL QLC 45

TRANSDUCER TYPE _____

COMMENTS 67-60-44,5

SIGNATURE _____ DATE _____

STORED DISPLAY # 2 - C.1



RANGE		RECEIVER	
RANGE	100mm	GAIN	45.0dB
DELAY	1.20mm	DISPLAY	FILT1
VEL	5.92 mm/us	FREQ	5MHz
UNITS	mm	REJECT	OFF
GATE		PULSER	
LEVEL	20%	PULSE	86ns
POSN	24.3mm	DAMPING	100 ^Ω
WIDTH	10.0mm	PULSE ECHO	
POLARITY	+	REP RATE	4 KHz
GAIN REFERENCE		DISTANCE TO ECHO	
GAIN	45.0dB		25.2mm
REF LVL	45.0dB		
% CHANGE	0.0		
dB CHANGE	0.0		

INSPECTION REPORT

COMPANY _____

ADDRESS _____

OPERATOR _____ TIME _____

INSP. PROCEDURE _____

CODE/SPEC _____

ACCEPTANCE LEVEL _____

JOB NUMBER _____

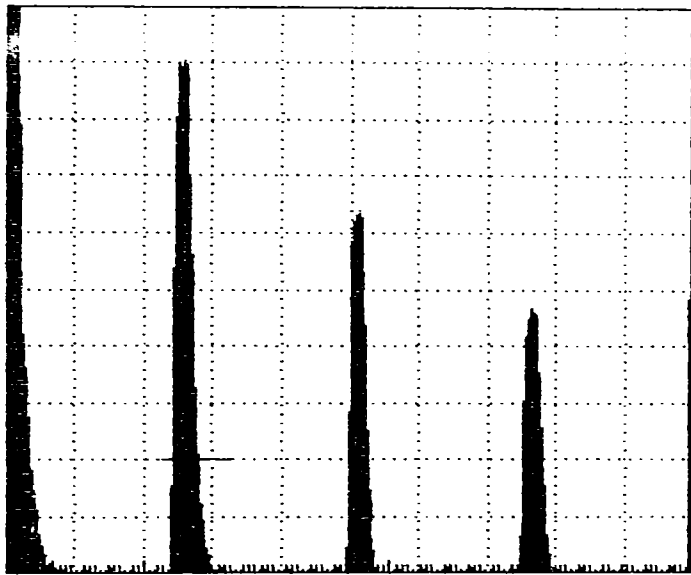
OBJECT _____ MATERIAL 01C 45

TRANSDUCER TYPE _____

COMMENTS 67-61,5-47,5

SIGNATURE _____ DATE _____

STORED DISPLAY # 1-72



<u>RANGE</u>		<u>RECEIVER</u>	
RANGE	100mm	GAIN	45.0dB
DELAY	1.20mm	DISPLAY	FILT1
VEL	5.92 mm/us	FREQ	5MHz
UNITS	mm	REJECT	OFF
<u>GATE</u>		<u>PULSER</u>	
LEVEL	20%	PULSE	86ns
POSN	24.3mm	DAMPING	100%
WIDTH	10.0mm	PULSE ECHO	
POLARITY	+	REP RATE	4 KHz
<u>GAIN REFERENCE</u>		<u>DISTANCE TO ECHO</u>	
GAIN	45.0dB		25.6mm
REF LVL	45.0dB		
% CHANGE	0.0		
dB CHANGE	0.0		

INSPECTION REPORT

COMPANY _____

ADDRESS _____

OPERATOR _____ TIME _____

INSP. PROCEDURE _____

CODE/SPEC _____

ACCEPTANCE LEVEL _____

JOB NUMBER _____

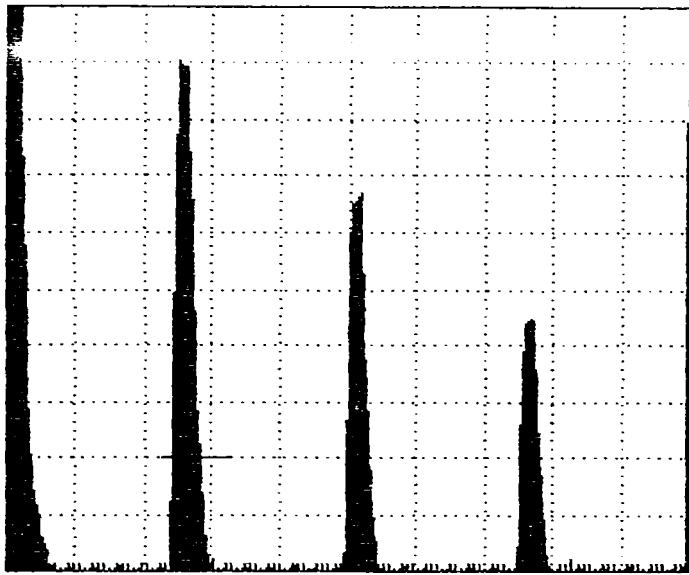
OBJECT _____ MATERIAL DLC50

TRANSDUCER TYPE _____

COMMENTS 67-61-43

SIGNATURE _____ DATE _____

STORED DISPLAY # 2-72



RANGE		RECEIVER	
RANGE	100mm	GAIN	45.0dB
DELAY	1.20mm	DISPLAY	FILT1
VEL	5.92 mm/us	FREQ	5MHz
UNITS	mm	REJECT	OFF
GATE		PULSER	
LEVEL	20%	PULSE	86ns
POSN	24.3mm	DAMPING	100%
WIDTH	10.0mm	PULSE ECHO	
POLARITY	+	REP RATE	4 KHz
GAIN REFERENCE		DISTANCE TO ECHO	
GAIN	45.0dB	25.6mm	
REF LVL	45.0dB		
% CHANGE	0.0		
dB CHANGE	0.0		

INSPECTION REPORT

COMPANY _____

ADDRESS _____

OPERATOR _____ TIME _____

INSP. PROCEDURE _____

CODE/SPEC _____

ACCEPTANCE LEVEL _____

JOB NUMBER _____

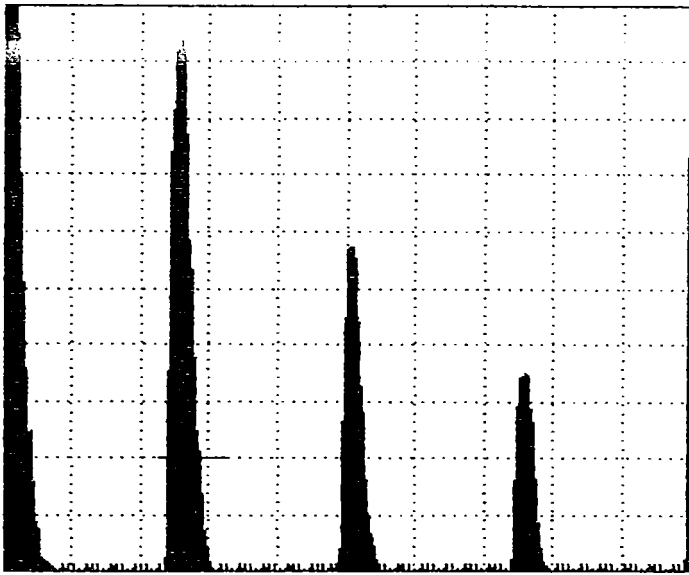
OBJECT _____ MATERIAL QLC50

TRANSDUCER TYPE _____

COMMENTS 67-61-45

SIGNATURE _____ DATE _____

STORED DISPLAY # 8-1



RANGE
 RANGE 100mm
 DELAY 1.20mm
 VEL 5.92 mm/us
 UNITS mm

GATE
 LEVEL 20%
 POSN 24.3mm
 WIDTH 10.0mm
 POLARITY +

GAIN REFERENCE
 GAIN 45.0dB
 REF LVL 45.0dB
 % CHANGE 0.0
 dB CHANGE 0.0

RECEIVER
 GAIN 45.0dB
 DISPLAY FILT1
 FREQ 5MHz
 REJECT OFF

PULSER
 PULSE 86ns
 DAMPING 100Ω
 PULSE ECHO
 REP RATE 4 KHz

DISTANCE TO ECHO
 25.2mm

INSPECTION REPORT

COMPANY _____

ADDRESS _____

OPERATOR _____ TIME _____

INSP. PROCEDURE _____

CODE/SPEC _____

ACCEPTANCE LEVEL _____

JOB NUMBER _____

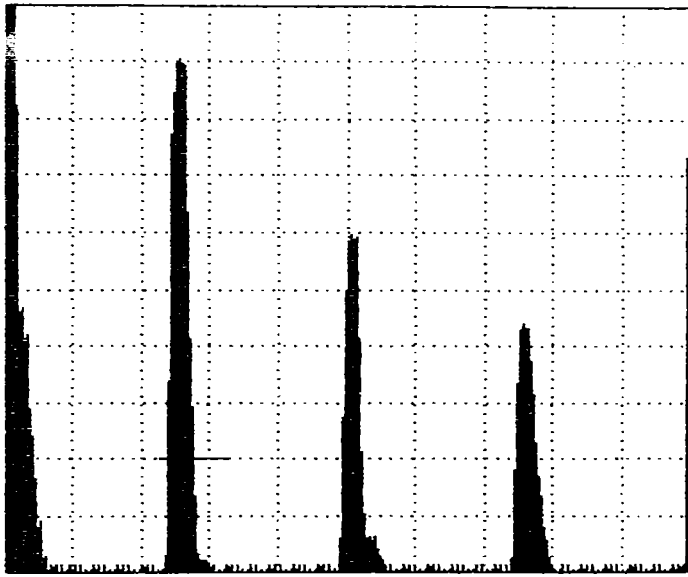
OBJECT _____ MATERIAL OLC 60

TRANSDUCER TYPE _____

COMMENTS 67-63-38,5

SIGNATURE _____ DATE _____

STORED DISPLAY # 5 - 8.1



<u>RANGE</u>		<u>RECEIVER</u>	
RANGE	100mm	GAIN	45.0dB
DELAY	1.20mm	DISPLAY	FILT1
VEL	5.92 mm/us	FREQ	5MHz
UNITS	mm	REJECT	OFF
<u>GATE</u>		<u>PULSER</u>	
LEVEL	20%	PULSE	86ns
POSN	24.3mm	DAMPING	100Ω
WIDTH	10.0mm	PULSE ECHO	
POLARITY	+	REP RATE	4 KHz
<u>GAIN REFERENCE</u>		<u>DISTANCE TO ECHO</u>	
GAIN	45.0dB		25.2mm
REF LVL	45.0dB		
% CHANGE	0.0		
dB CHANGE	0.0		

INSPECTION REPORT

COMPANY _____

ADDRESS _____

OPERATOR _____ TIME _____

INSP. PROCEDURE _____

CODE/SPEC _____

ACCEPTANCE LEVEL _____

JOB NUMBER _____

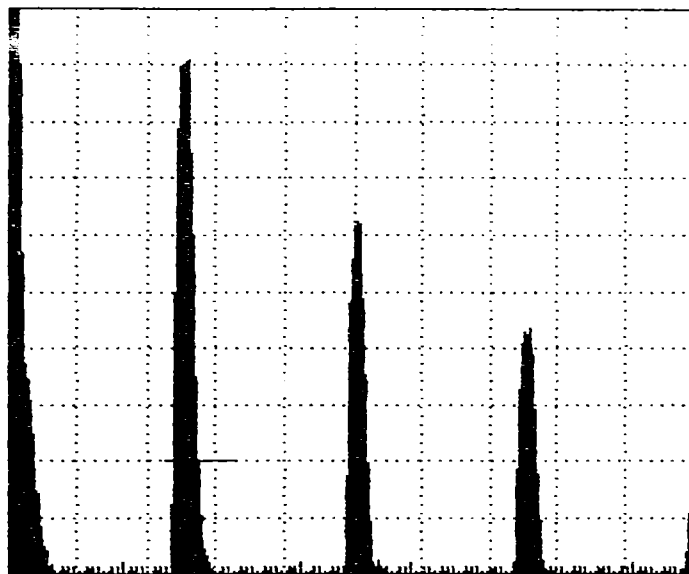
OBJECT _____ MATERIAL OLC 60

TRANSDUCER TYPE _____

COMMENTS 67-61-40

SIGNATURE _____ DATE _____

STORED DISPLAY # 3-92



RANGE		RECEIVER	
RANGE	100mm	GAIN	45.0dB
DELAY	1.20mm	DISPLAY	FILT1
VEL	5.92 mm/us	FREQ	5MHz
UNITS	mm	REJECT	OFF
GATE		PULSER	
LEVEL	20%	PULSE	86ns
POSN	24.3mm	DAMPING	100Ω
WIDTH	10.0mm	PULSE ECHO	
POLARITY	+	REP RATE	4 KHz
GAIN REFERENCE		DISTANCE TO ECHO	
GAIN	45.0dB		25.2mm
REF LVL	45.0dB		
% CHANGE	0.0		
dB CHANGE	0.0		

INSPECTION REPORT

COMPANY _____

ADDRESS _____

OPERATOR _____ TIME _____

INSP. PROCEDURE _____

CODE/SPEC _____

ACCEPTANCE LEVEL _____

JOB NUMBER _____

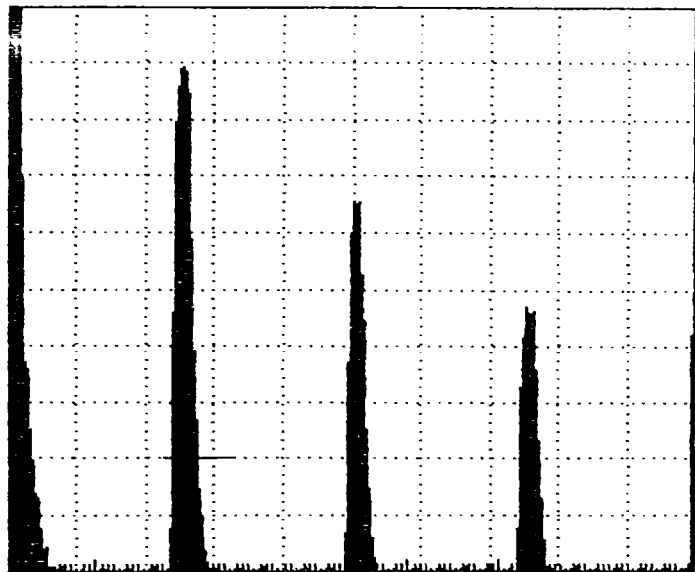
OBJECT _____ MATERIAL ASC8

TRANSDUCER TYPE _____

COMMENTS 67-61-42

SIGNATURE _____ DATE _____

STORED DISPLAY # 4-9.2



RANGE
 RANGE 100mm
 DELAY 1.20mm
 VEL 5.92 mm/us
 UNITS mm

RECEIVER
 GAIN 45.0dB
 DISPLAY FILT1
 FREQ 5MHz
 REJECT OFF

GATE
 LEVEL 20%
 POSN 24.3mm
 WIDTH 10.0mm
 POLARITY +

PULSER
 PULSE 86ns
 DAMPING 100%
 PULSE ECHO
 REP RATE 4 KHz

GAIN REFERENCE
 GAIN 45.0dB
 REF LVL 45.0dB
 % CHANGE 0.0
 dB CHANGE 0.0

DISTANCE TO ECHO
 25.2mm

INSPECTION REPORT

COMPANY _____

ADDRESS _____

OPERATOR _____ TIME _____

INSP. PROCEDURE _____

CODE/SPEC _____

ACCEPTANCE LEVEL _____

JOB NUMBER _____

OBJECT _____ MATERIAL QSC8

TRANSDUCER TYPE _____

COMMENTS 67-60-44

SIGNATURE _____ DATE _____

ANEXA II

Calculul atenuării undelor ultrasonice

ANEXA 2

Otelul	Gain	C1	C2	dist	67	Pi	Pr	A	InPi/Pr	alfa	alfa*10 ³	a ^{1/3}	D	
Fe alfa m	61	61	46.5	4.61	67	55.53731	42.33582	13.20149	0.271422	0.058877	58.87669	3.890282	0.053045	
	61	61	51	4.28	67	55.53731	46.43284	9.104478	0.179048	0.041834	41.8337	3.471433	0.047334	
	61	63	46.5	4.66	67	57.35821	42.33582	15.02239	0.303682	0.065168	65.1679	4.024185	0.054871	
OLC15	45	60	41	25.2	67	40.29851	27.53731	12.76119	0.380772	0.01511	15.11002	2.472227	0.033709	
	45	61.5	39	25.2	67	41.30597	26.19403	15.11194	0.455476	0.018074	18.07443	2.624348	0.035784	
	45	64	45	25.2	67	42.98507	30.22388	12.76119	0.352221	0.013977	13.97701	2.408822	0.032845	
	45	61.5	40.5	25.2	67	41.30597	27.20149	14.10448	0.417735	0.016577	16.57679	2.549765	0.034767	
	45	64	45.5	25.2	67	42.98507	30.5597	12.42537	0.341171	0.013539	13.53852	2.383364	0.032498	
	45	61	40.5	25.2	67	40.97015	27.20149	13.76866	0.409572	0.016253	16.25285	2.533047	0.034539	
	45	60	41.5	25.2	67	40.29851	27.87313	12.42537	0.368651	0.014629	14.62901	2.44571	0.033348	
	45	60	41.5	25.2	67	40.29851	27.87313	12.42537	0.368651	0.014629	14.62901	14.62901	2.44571	0.033348
	45	57	49	25.2	67	38.28358	32.91045	5.373134	0.151231	0.006001	6.001229	1.817245	0.024778	
	45	61.5	50	25.2	67	41.30597	33.58209	7.723881	0.207014	0.008215	8.214848	2.017746	0.027512	
	45	60	40.5	25.2	67	40.29851	27.20149	13.09701	0.393043	0.015597	15.59693	2.498502	0.034066	
	OLC20	45	61.5	45	25.2	67	41.30597	30.22388	11.08209	0.312375	0.012396	12.39582	2.314329	0.031556
45		61.5	47	25.2	67	41.30597	31.56716	9.738806	0.26889	0.01067	10.67022	2.201529	0.030018	
45		61	43	25.2	67	40.97015	28.8806	12.08955	0.349674	0.013876	13.87594	2.403002	0.032765	
45		61.5	47	25.2	67	41.30597	31.56716	9.738806	0.26889	0.01067	10.67022	2.201529	0.030018	
45		61	39	25.2	67	40.97015	26.19403	14.77612	0.447312	0.01775	17.75048	2.608575	0.035568	
45		61	40	25.2	67	40.97015	26.86567	14.10448	0.421994	0.016746	16.74581	2.558402	0.034884	
45		61	41	25.2	67	40.97015	27.53731	13.43284	0.397302	0.015766	15.76594	2.507495	0.03419	
45		60	43	25.2	67	40.29851	28.8806	11.41791	0.333144	0.01322	13.22002	2.364526	0.032241	
45		60	44.5	25.2	67	40.29851	29.88806	10.41045	0.298855	0.011859	11.85934	2.280448	0.031094	
45		60	43	25.2	67	40.29851	28.8806	11.41791	0.333144	0.01322	13.22002	2.364526	0.032241	

ANEXA 2 (continuare)

Otelul	Gain	C1	C2	dist	67	Pi	Pr	A	InPi/Pr	alfa	alfa*10 ^{^3}	a ^{^1/3}	D
OLC25	45	61.5	42	25.2	67	41.30597	28.20896	13.09701	0.381368	0.015134	15.13363	2.473514	0.033727
	45	60	45	25.2	67	40.29851	30.22388	10.07463	0.287682	0.011416	11.41596	2.251667	0.030702
	45	61	44	25.2	67	40.97015	29.55224	11.41791	0.326684	0.012964	12.96366	2.349142	0.032031
	45	61	45	25.2	67	40.97015	30.22388	10.74627	0.304211	0.012072	12.07188	2.293991	0.031279
	45	61	41	25.2	67	40.97015	27.53731	13.43284	0.397302	0.015766	15.76594	2.507495	0.03419
	45	59	42	25.2	67	39.62687	28.20896	11.41791	0.339868	0.013487	13.48682	2.380326	0.032456
	45	61	43.5	25.2	67	40.97015	29.21642	11.75373	0.338113	0.013417	13.41718	2.376222	0.0324
	45	61.5	42	25.2	67	41.30597	28.20896	13.09701	0.381368	0.015134	15.13363	2.473514	0.033727
	45	62	44	25.2	67	41.64179	29.55224	12.08955	0.342945	0.013609	13.60892	2.387488	0.032554
	45	62.5	35	25.2	67	41.97761	23.50746	18.47015	0.579818	0.023009	23.00867	2.844224	0.038782
OLC45	45	60	44.5	25.2	67	40.29851	29.88806	10.41045	0.298855	0.011859	11.85934	2.280448	0.031094
	45	61.5	47.5	25.2	67	41.30597	31.90299	9.402985	0.258307	0.01025	10.2503	2.172262	0.029619
	45	63	50.5	25.2	67	42.31343	33.91791	8.395522	0.221161	0.008776	8.776246	2.062701	0.028125
	45	61.5	44	25.2	67	41.30597	29.55224	11.75373	0.334848	0.013288	13.2876	2.368548	0.032296
	45	63	47	25.2	67	42.31343	31.56716	10.74627	0.292987	0.011626	11.62647	2.265423	0.030889
	45	61.5	46.5	25.2	67	41.30597	31.23134	10.07463	0.279585	0.011095	11.09464	2.23034	0.030411
	45	61	46	25.2	67	40.97015	30.89552	10.07463	0.282232	0.0112	11.1997	2.237358	0.030507
	45	61	45.5	25.2	67	40.97015	30.5597	10.41045	0.293162	0.011633	11.63339	2.265873	0.030896
	45	62	44	25.2	67	41.64179	29.55224	12.08955	0.342945	0.013609	13.60892	2.387488	0.032554
	45	62	46	25.2	67	41.64179	30.89552	10.74627	0.298493	0.011845	11.84496	2.279526	0.031082
OLC50	45	61.5	47.5	25.6	67	41.30597	31.90299	9.402985	0.258307	0.01009	10.09014	2.160888	0.029464
	45	61	43	25.6	67	40.97015	28.8806	12.08955	0.349674	0.013659	13.65913	2.390421	0.032594
	45	60	34.5	25.6	67	40.29851	23.17164	17.12687	0.553385	0.021617	21.61661	2.785667	0.037983
	45	63	43	25.6	67	42.31343	28.8806	13.43284	0.381935	0.014919	14.91932	2.461783	0.033567
	45	60.5	40	25.6	67	40.63433	26.86567	13.76866	0.413764	0.016163	16.16265	2.528352	0.034475

ANEXA 2 (continuare)

Otelul	Gain	C1	C2	dist	67	Pi	Pr	A	InPi/Pr	alfa	alfa*10^3	a^1/3	D
OLC50	45	61	43	25.6	67	40.97015	28.8806	12.08955	0.349674	0.013659	13.65913	2.390421	0.032594
	45	61	45	25.6	67	40.97015	30.22388	10.74627	0.304211	0.011883	11.88326	2.28198	0.031115
	45	61	48.5	25.6	67	40.97015	32.57463	8.395522	0.22931	0.008957	8.957424	2.076799	0.028318
	45	60	44	25.6	67	40.29851	29.55224	10.74627	0.310155	0.012115	12.11543	2.296746	0.031317
	45	60	40	25.6	67	40.29851	26.86567	13.43284	0.405465	0.015838	15.83848	2.511334	0.034243
OLC60	45	62	49.5	25.2	67	41.64179	33.24627	8.395522	0.225162	0.008935	8.934989	2.075063	0.028294
	45	61	44.5	25.2	67	40.97015	29.88806	11.08209	0.315385	0.012515	12.51526	2.321739	0.031657
	45	61.5	38.5	25.6	67	41.30597	25.85821	15.44776	0.468379	0.018296	18.29605	2.635031	0.035929
	45	63	38.5	25.2	67	42.31343	25.85821	16.45522	0.492476	0.019543	19.54272	2.69357	0.036727
	45	61	40	25.2	67	40.97015	26.86567	14.10448	0.421994	0.016746	16.74581	2.558402	0.034884
OSC7	45	61	42	25.6	67	40.97015	28.20896	12.76119	0.373204	0.014578	14.57829	2.44288	0.033309
	45	61	44	25.6	67	40.97015	29.55224	11.41791	0.326684	0.012761	12.7611	2.336842	0.031863
	45	61	40	25.6	67	40.97015	26.86567	14.10448	0.421994	0.016484	16.48416	2.545007	0.034702
	45	61	42	25.6	67	40.97015	28.20896	12.76119	0.373204	0.014578	14.57829	2.44288	0.033309
	45	61.5	40	25.6	67	41.30597	26.86567	14.4403	0.430158	0.016803	16.80304	2.561313	0.034924
OSC7	45	62.5	43	25.2	67	41.97761	28.8806	13.09701	0.373966	0.01484	14.83994	2.457409	0.033507
	45	60.5	43	25.2	67	40.63433	28.8806	11.75373	0.341443	0.013549	13.54934	2.383999	0.032506
	45	62	39.5	25.2	67	41.64179	26.52985	15.11194	0.450834	0.01789	17.89023	2.615403	0.035662
	45	61	39	25.2	67	40.97015	26.19403	14.77612	0.447312	0.01775	17.75048	2.608575	0.035568
	45	61	39.5	25.2	67	40.97015	26.52985	14.4403	0.434573	0.017245	17.24497	2.583573	0.035228
OSC7	45	57.5	34.5	25.2	67	38.6194	23.17164	15.44776	0.510826	0.020271	20.27086	2.726616	0.037178
	45	60	42	25.2	67	40.29851	28.20896	12.08955	0.356675	0.014154	14.15377	2.418934	0.032983
	45	61	42	25.2	67	40.97015	28.20896	12.76119	0.373204	0.01481	14.80969	2.455738	0.033484
	45	60	44	25.2	67	40.29851	29.55224	10.74627	0.310155	0.012308	12.30774	2.308834	0.031481
	45	56	37	25.2	67	37.61194	24.85075	12.76119	0.414434	0.016446	16.44578	2.54303	0.034675
OSC7	45	62	39	25.2	67	41.64179	26.19403	15.44776	0.463573	0.018396	18.39574	2.639809	0.035994

ANEXA III

Program interpretare datelor furnizate
de analiza cu ultrasunete

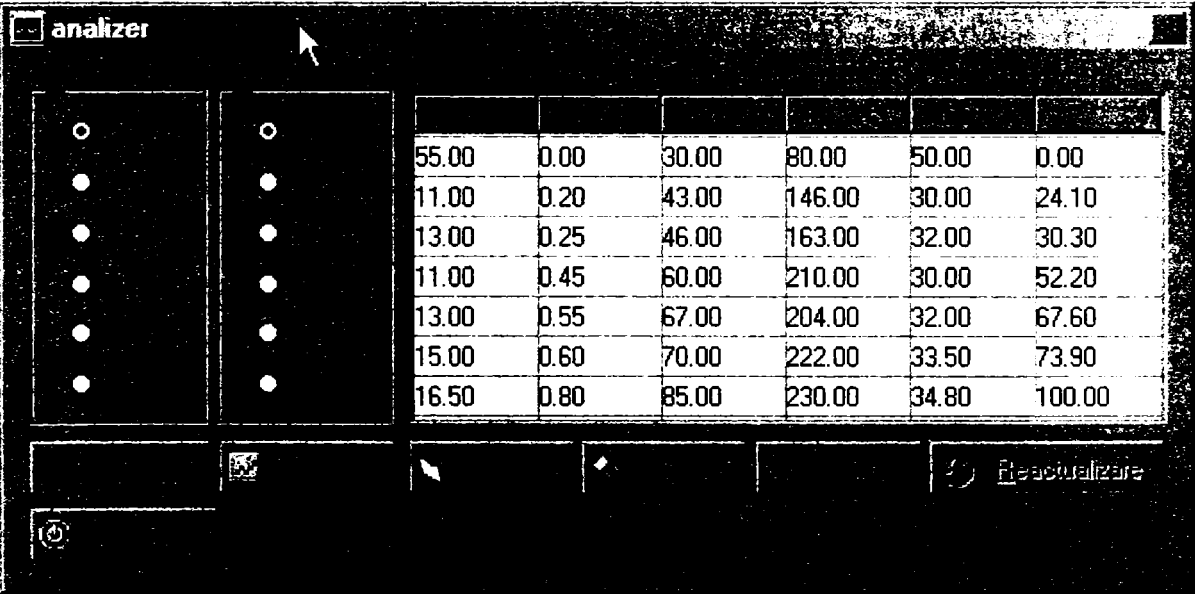
Analizer

Programul are rolul de a permite interpretarea datelor culese prin experimente în puncte a căror valoare nu poate fi interpretată decât prin metoda grafică. Acesta a fost dezvoltat în VisualC++ 6.0, iar principalele argumente ce au dus la alegerea acestui mediu de dezvoltare sunt:

- Viteza ridicată în procesarea datelor;
- Biblioteca grafică complexă;

Prezentarea programului

La pornire aplicația încarcă un set de valori implicite, culese prin măsurători (Figura 1),



The screenshot shows a window titled 'analizer'. On the left, there are two vertical columns of radio buttons. The main area contains a table with 6 columns and 7 rows of numerical data. At the bottom right, there is a button labeled 'Reactualizare' with a circular arrow icon.

55.00	0.00	30.00	80.00	50.00	0.00
11.00	0.20	43.00	146.00	30.00	24.10
13.00	0.25	46.00	163.00	32.00	30.30
11.00	0.45	60.00	210.00	30.00	52.20
13.00	0.55	67.00	204.00	32.00	67.60
15.00	0.60	70.00	222.00	33.50	73.90
16.50	0.80	85.00	230.00	34.80	100.00

Figura 1

unde avem:

- 'y=f(x)', permite deschiderea unei ferestre (Figura 2) în care se reprezintă mărimea aleasă din grupul y în funcție de mărimea aleasă din grupul x. Se pot alege diferite combinații de reprezentare dar trebuie ținut cont ca programul nu permite ca x să fie la fel cu y.

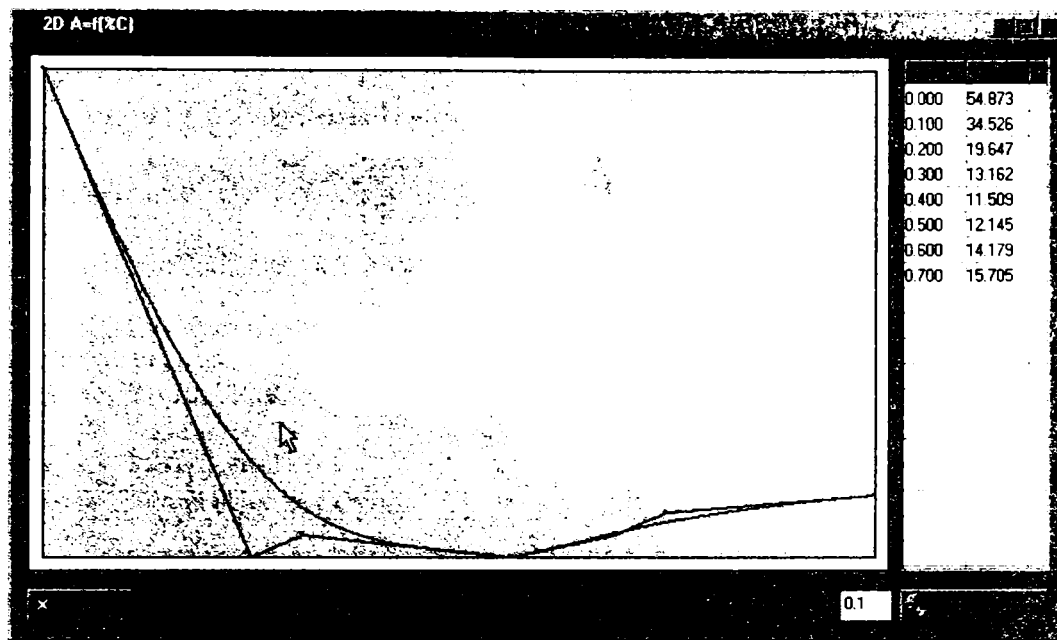


Figura 2

In dreapta graficului avem reprezentat într-un tabel diferite valori ale lui y funcție de x , la diferiți pași de eșantionare. Dacă se dorește modificarea pasului de eșantionare, acest lucru este posibil modificându-se valoarea din căsuța de editare de sub tabel după care acționează butonul 'Reactualizează'

- '3D' permite vizualizarea in coordonate 3D a atenuării, HV si %C astfel: z -atenuarea, $y=HV$, $X=%C$;
- 'Salvează' permite salvarea setului de valori din tabelul din Figura 1 intr-un fișier (Figura 3);

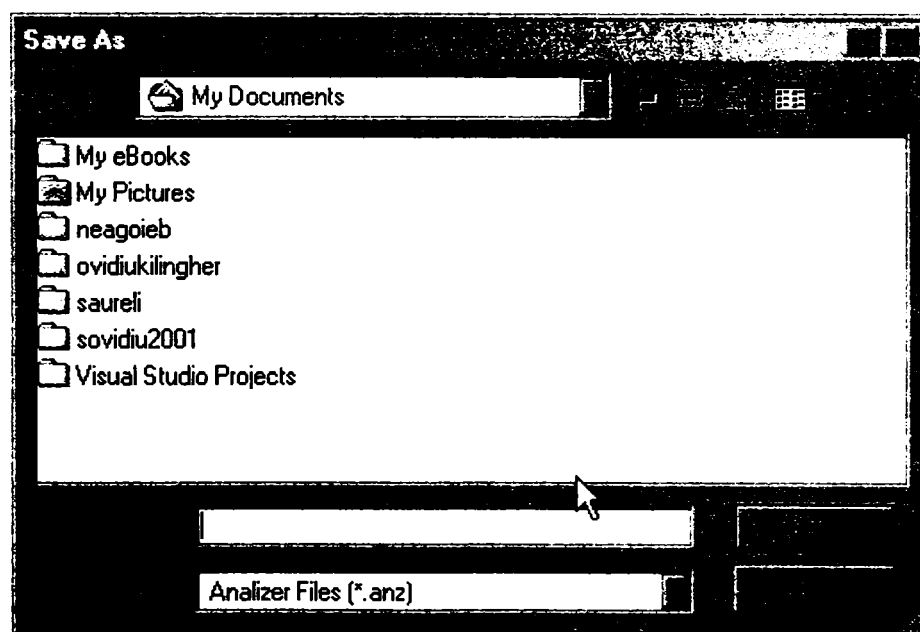


Figura 3

- ‘Deschide’ permite încărcarea unui set de valori în tabelul din Figura 1 dintr-un fișier (Figura 4);

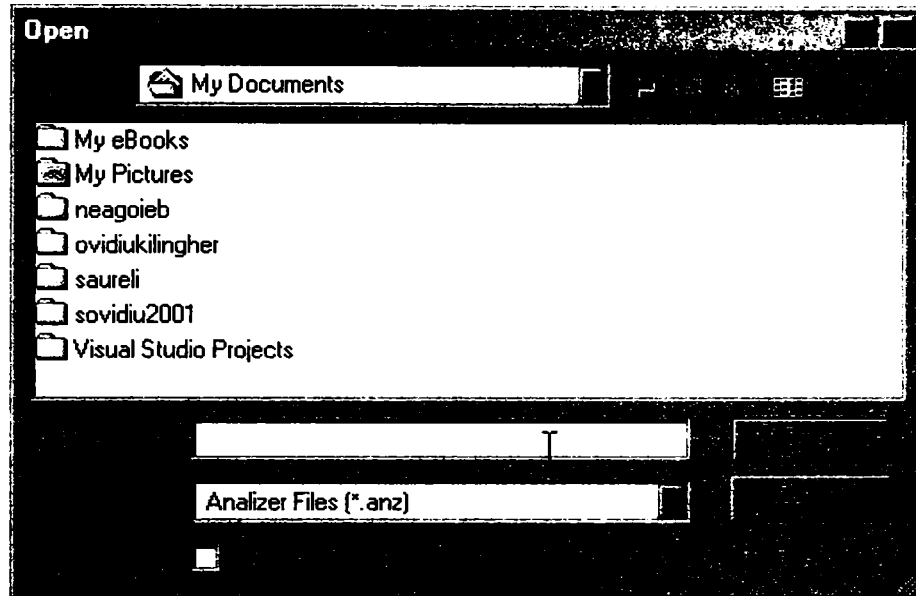


Figura 4

- ‘Setări’ după acționarea butonului permite pornirea aplicației cu un set de valori inițiale, valori luate din tabel;
- ‘Reactualizează’ după acționarea prin dublu clic a butonului stâng al Mouse-ului în una din căsuțele cu valori ale tabelului apare posibilitatea de a modifica acea valoare, modificare care nu duce la memorarea mărimii pentru afișarea grafică decât după acționarea acestui buton (Figura 5). Butonul nu este activ decât după modificarea mărimii respective, iar după reactualizare acesta devine inactiv.

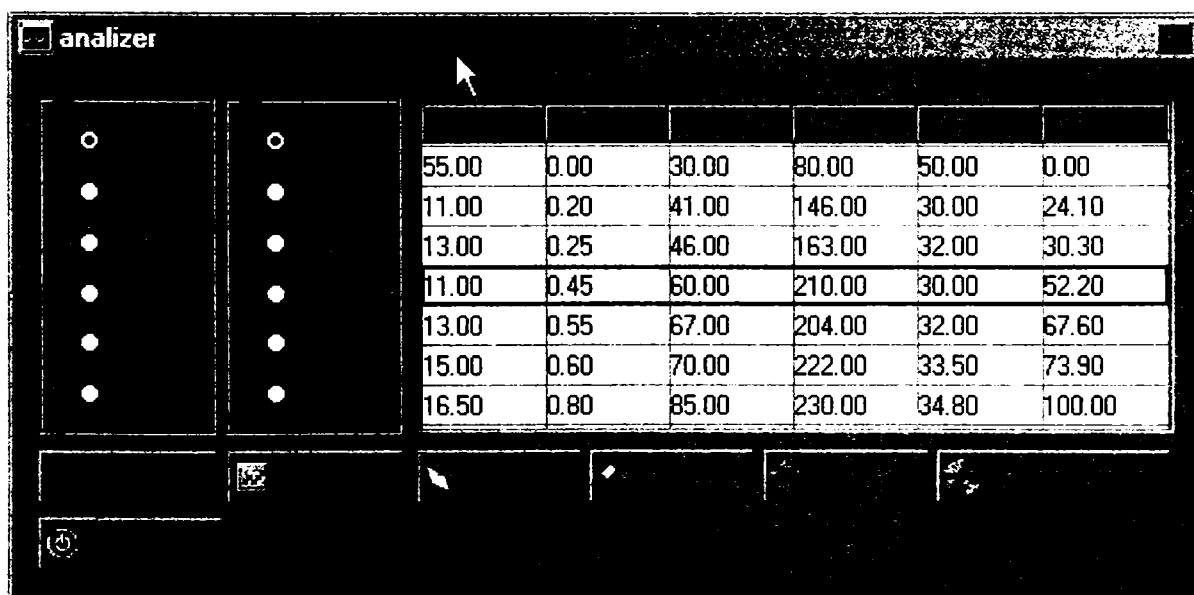


Figura 5

Programul „Analizer” permite folosirea bazei de date obținută în urma controlului ultrasonic, pentru a caracteriza și analiza oțelurile studiate.

Schimbarea bazei de date și înlocuirea ei cu una nouă, pentru fiecare tip de oțel termorezistent, va permite determinarea caracteristicilor acestuia.

Putem constitui astfel programe de calcul pe tipuri de oțel.