

UNIVERSITATEA „POLITEHNICĂ” TIMIȘOARA
FACULTATEA DE MECANICĂ

ing. RODIN TRAIKU

TEZĂ DE DOCTORAT

*SISTEM DE MENTENANȚĂ PREDICTIV LA
AGREGATELE ENERGETICE DE BAZĂ
(CAZAN – TURBINĂ) CU APLICAȚIE LA CAZANUL
DE 420 t/h ȘI TURBINA DE 50 MW*

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

Conducător științific,

Prof. dr. ing. CORNELIU UNGUREANU

- 2001 -

CUPRINS

CAPITOLUL I

Introducere în conceptul de mentenanță	1
1.1. Definirea funcției de mentenanță	1
1.2. Definirea mentenanței	1
1.3. Domeniile de acțiune și responsabilități ale mentenanței	2
1.3.1. Conservarea potențialului productiv	2
1.3.2. Asigurarea infrastructurii tehnice	3
1.3.3. Protecția mediului	3
1.3.4. Securitatea muncii	3
1.4. Sisteme de mentenanță	4
1.4.1. Mentenanța corectivă	4
1.4.2. Mentenanța preventivă	5

CAPITOLUL II

Aplicarea programului de mentenanță predictivă la agregatele cazanului din sistemul de preparare praf cărbune și agregatele rotative mari dintr-o centrală termoelectrică	6
2.1. Scop	6
2.2. Domeniu	6
2.3. Planul de referință	7
2.3.1. Definirea planului	7
2.3.2. Metode de lucru	9
2.3.3. Obiective	12
2.3.4. Programarea activităților	12
2.3.5. Pregătirea activităților	13
2.3.6. Execuția lucrărilor de reparații predictive	15
2.3.7. Stabilirea băncii de date	19
2.3.8. Revizuirea și îmbunătățirea programelor	20

CAPITOLUL III

Fiabilitatea sistemului sub presiune al cazanului și al conductelor aferente urmărirea comportării în exploatare și prelungirea duratei de viață	
3.1. Concepte introductive principale	22
3.2. Inspecția în exploatare bazată pe factorul de risc	23
3.3. Analiza datelor de defectare	23
3.3.1. Fisurarea prin coroziune sub tensiune – SCC – Stress Corrosion Cracking	24
3.3.2. Atacul corosiv – CAR- Corrosion Attack	24
3.3.3. Oboseala la coroziune – CF- Corrosion Fatigue	24

3.3.4. Deteriorare la oboseală prin vibrație mecanică poliociclică	24
3.3.5. Degradarea prin lovitura de berbec – WH - Water Hammer	25
3.3.6. Proiectare, fabricație, evenimente naturale induse și defecte de origine necunoscută	25
3.3.7. Deteriorarea sub acțiunea sarcinilor termociclice	25
3.4. Avarii în instalațiile energetice. Avarii caracteristice în instalațiile termomecanice ale centralelor electrice	27
3.4.1. Avarii la cazanele de abur	27
3.4.1.1. Sistemul de vaporizare	27
3.4.1.2. Supraîncălzitorul	28
3.4.1.3. Economizorul	29
3.4.2. Avarii la conducte	29
3.5. Modul de producere și măsurile de prevenire a principalelor tipuri de avarii în instalațiile termomecanice ale centralelor electrice	29
3.5.1. Depășirea solicitărilor	29
3.5.1.1. Solicitări în echipamente termomecanice	29
3.5.1.2. Factori determinanți ai solicitărilor	30
3.5.1.3. Schema de calcul a solicitărilor în echipamentele termomecanice	31
3.5.1.4. Elemente de calcul	31
3.5.1.4.1. Determinarea vitezei admisibile de variație a temperaturii	32
3.5.1.4.2. Durata de viață a elementelor componente ale echipamentelor termomecanice	32
3.5.2. Avarii produse la depășirea solicitărilor limită	34
3.5.2.1. Solicitări ciclice de frecvență coborâtă la cazane	34
3.5.2.2. Depășirea temperaturilor nominale	34
3.5.2.3. Concentratoare de tensiuni la cazane	34
3.6. Mentenanța predictivă a agregatului cazan	36
3.6.1. Analiza termică a focarului	37
3.6.2. Mentenanța sistemelor de conducte de IP și IT aferente agregatului cazan	42
3.6.2.1. Scop	42
3.6.2.2. Direcții principale de monitorizare necesare în procesul de mentenanță	42
3.6.2.3. Facilități ale utilizării bazelor de date în sistemul de monitorizare	42
3.6.2.4. Perspective de lărgire a monitorizării în domeniul măsurărilor	43
3.6.3. Programul de supraveghere parametri tehnologici și mecanici de funcționare	44
3.6.3.1. Evaluarea parametrilor	44
3.6.3.2. Evaluarea defectului	45
3.6.4. Programul de supraveghere a parametrilor funcționali și mecanici	46
3.6.5. Criterii de acceptare	46

3.6.6. Probleme ridicate în mentenanța sistemului sub presiune de coroziune	47
3.6.6.1. Formarea depunerilor pe suprafețele schimbătoare de căldură	47
3.6.6.2. Coroziunea de joasă temperatură	48
3.6.6.2.1. Procesul de formare al acidului sulfuric	48
3.6.6.3. Coroziunea de înaltă temperatură	50
3.6.6.3.1. Mecanismul de coroziune	50
3.6.6.4. Emisiile de poluanți	50
3.6.6.4.1. Dioxidul de sulf (SO ₂)	50
3.6.6.4.2. Oxizii de azot (NO și NO _x)	50
3.6.6.4.3. Suspensii solide	51
3.7. Programul de cercetare privind reducerea coroziunii sulfurice de la cazanele de 420 t/h	51
3.7.1. Efectuarea măsurărilor	51
3.7.2. Reducerea emisiilor de oxizi de sulf	53
3.8. Concluzii finale	60

CAPITOLUL IV

Programul de cercetare privind evaluarea coroziunii fisurante sub tensiune(COFITEN) a oțelurilor și îmbinărilor sudate ce alcătuiesc sistemul sub presiune și conductele de abur viu la Cazanul de 420 t abur/oră tip CR 1244	62
4.1. Considerații generale privind programul de cercetare	62
4.1.1. Studiul fenomenelor de coroziune la presiuni și temperaturi ridicate	62
4.1.1.1. Termodinamica procesului de coroziune	62
4.1.1.2. Influența diferiților factori asupra procesului de coroziune	66
4.1.1.2.1 Factori determinanți de natura metalului	67
4.1.1.2.2. Factori de mediu	67
4.1.1.3. Tipuri principale de coroziune	70
4.1.1.4. Coroziunea în instalațiile de abur și apă fierbinte	73
4.1.1.5. Analiza ecuației COFITEN	76
4.2. Caracterizarea structurală și mecanică a oțelurilor termorezistente aliate sudabile	88
4.3. Caracterizarea structurală și mecanică a îmbinărilor sudate realizate din oțeluri termorezistente aliate în variante similare și disimilare	95
4.3.1. Varianta similară	94
4.3.2. Varianta disimilară	101
4.4. Metodologia de încercare la coroziune sub tensiune (COFITEN) a oțelurilor termorezistente aliate și a îmbinărilor sudate	109
4.5. Montarea și încercarea epruvetelor COFITEN	117
4.6. Analize și încercări privind comportarea la COFITEN a oțelurilor termorezistente sudabile	121

<i>4.7. Interpretarea rezultatelor experimentale ale oțelurilor termorezistente supuse COFITEN</i>	146
CAPITOLUL V	
Concluzii finale și contribuții originale	148
Anexa 1	
<i>Sistemul de urmărire a parametrilor tehnologici și mecanici a conductelor IP-IT</i>	153
Anexa 2	
<i>Fișa de urmărire în funcționare a suportilor</i>	154
Anexa 3	
<i>Sistemul de urmărire a agregatelor dinamice prin măsurarea și interpretarea nivelului de vibrații</i>	156
Bibliografie	

INTRODUCERE ÎN CONCEPTUL DE MENTENANȚĂ

1.1. Definirea funcției de mentenanță

Sfârșitul anilor '70 a consemnat o mini-revoluție industrială prin trecerea atunci de la întreținerea echipamentelor industriale, fără a stăpâni disponibilitatea lor pentru producție, la un concept nou – mentenanță.

Sub presiunea unui anumit număr de factori:

- complexitatea și automatizarea crescândă a echipamentelor;
- fiabilitatea crescândă a sistemelor (dispariția experienței defecțiunilor);
- costul din ce în ce mai ridicat al investițiilor;
- exigența clienților în materie de siguranță în exploatarea echipamentelor.

apare această funcție importantă, ce a condus la posibilitatea de a anticipa, de a prevedea defecțiunile și de a planifica intervențiile care vor permite evitarea acestora.

Funcția de mentenanță reprezintă în medie, în termoenenergetică în cost direct între 8 – 14% din cifra de afaceri (în funcție de tipul combustibilului folosit și de vechimea instalației). Dacă se includ și costurile indirecte, această valoare ajunge până la 25% din cifra de afaceri (urmare a impactului complementar datorat costurilor induse de nou – disponibilitate). Odată cu specialiștii a căror calificare este din ce în ce mai ridicată și în domenii din ce în ce mai diferențiate mentenanța posedă metode specifice și instrumente din ce în ce mai sofisticate.

Patru criterii de proces sunt afectate mentenanței:

- creșterea productivității sistemului, adică a cantității de produs (energie electrică și termică) la un preț cât mai bun, de o manieră stabilă în timp;
- participarea la îmbunătățirea continuă a calității produselor și a serviciilor oferite;
- garantarea securității și a bunei funcționări a sistemului și a oamenilor ce îl deservesc;
- garantarea protecției mediului.

1.2. Definirea mentenanței

O analiză a istoriei apariției acestui termen ne poate conduce la concluzia că provenind din limba franceză încearcă să înglobeze o serie de activități pentru a mentine (a păstra ceva în aceeași stare sau formă în care se află la un moment dat, a face să dureze) a întreține (a păstra în stare bună, în bune condiții), a repara (a face propriu pentru folosire, a reface).

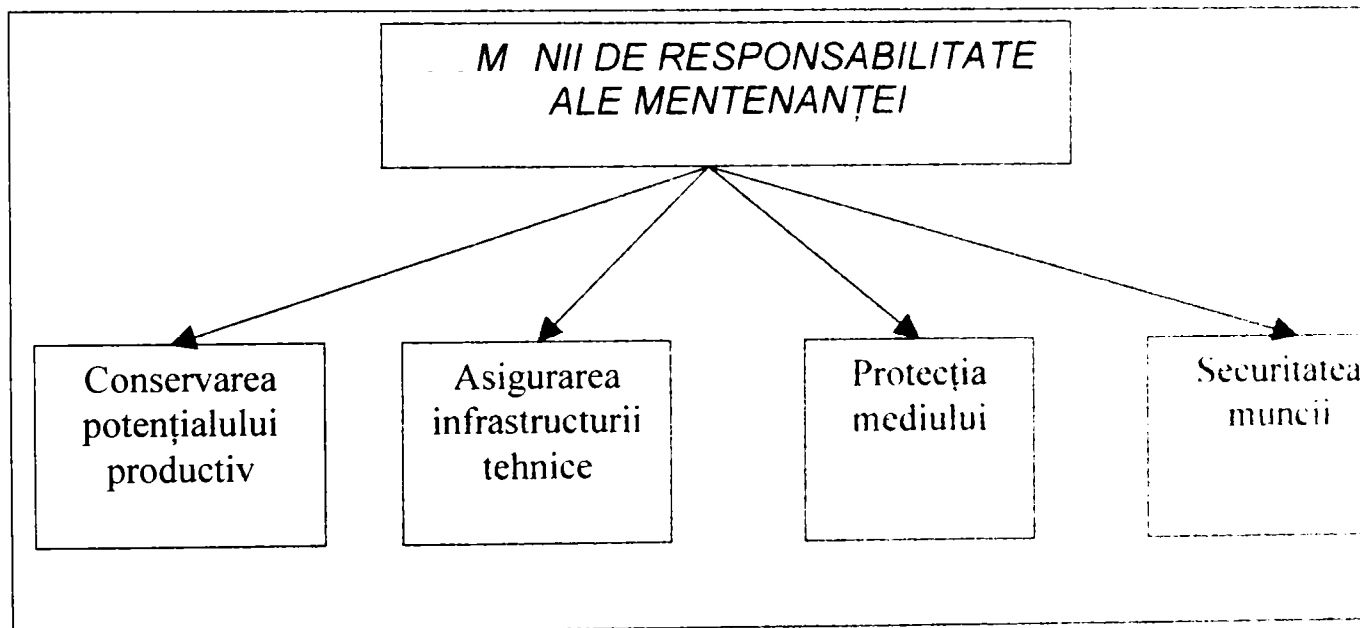
În consecință, prin mentenanță înțelegem un ansamblu de activități tehnico-organizatorice, care au ca scop asigurarea obținerii unor performanțe maxime

pentru bunul considerat (utilaj, instalație, agregat).

În concluzie, considerăm ca termenul de mentenanță caracterizează cuprinzător un fenomen care va avea drept componente de bază activitățile de întreținere și reparații dar și cele administrative și manageriale în întreaga lor complexitate. Se consideră că mentenanța reprezintă o treaptă superioară a deservirii mijloacelor fixe, către care trebuie să aspire toate întreprinderile. o nouă cultură și o optică modernă care conduce la obținerea unei eficiențe maxime a activității economice.

1.3. Domeniile de acțiune și responsabilități ale mentenanței

Mai sus s-au prezentat conceptele de bază ale domeniului managementului activ. În cele ce urmează vom detalia cele patru responsabilități fundamentale care revin acestei funcții de bază a oricărei întreprinderi moderne:



1.3.1. Conservarea potențialului productiv

Pentru conservarea potențialului productiv al întreprinderii, responsabilitățile mentenanței se concretizează în acțiuni destinate:

- remedierii disfuncționalităților constatate;
- reparații și repunerii în funcțiune a echipamentelor în caz de avarie;
- realizării de activități de instalare, amenajare, proiectare de noi metode de mentenanță în vederea utilizării optime a noilor echipamente.

Aceste activități au caracter pur tehnic, se vor fundamenta pe baza unor politici și strategii manageriale specifice mentenanței, apreciindu-se eficiența în concordanță cu o serie de indicatori specifici.

1.3.2. Asigurarea infrastructurii tehnice

Prin infrastructură tehnică înțelegem ansamblul de utilități necesar desfășurării activității de bază (producere de energie electrică și termică), exploatarea parcului logistic al întreprinderii.

Serviciului de mentenanță îi vor reveni responsabilități referitoare la:

- diagnosticul permanent al stării generale de funcționare a rețelelor de utilități;
- executarea de activități specifice de întreținere și reparații;
- proiectarea și instalarea de noi rețele de utilități;
- reducerea consumurilor și pierderilor în transportul și distribuția utilităților.

1.3.3. Protecția mediului

Prin natura sa, un serviciu de mentenanță trebuie să realizeze numai activități care sunt în concordanță cu principiile respectului față de om și mediul său ambiant. În acest sens activitățile specifice ce revin prin excelență acestui compartiment sunt:

- diagnosticul permanent al stării tehnice al utilajelor și instalațiilor în ceea ce privește emanația de noxe;
- prevenirea scurgerilor de fluide;
- controlul permanent al nivelului de poluare datorat activităților specifice producerii de energie electrică și termică și luarea măsurilor de încadrare a acestuia în limitele legale;
- mentenanța și exploatarea instalațiilor de reciclare, recuperare, filtrare a fluidelor reziduale.

1.3.4. Securitatea muncii

Protecția muncii constituie subiectul unor pachete de acte normative, care reglementează exploatarea în deplină securitate a utilajelor și instalațiilor specifice fiecărei ramuri economice în parte.

Serviciul de mentenanță are implicații majore în asigurarea securității prin activități specifice, cum ar fi:

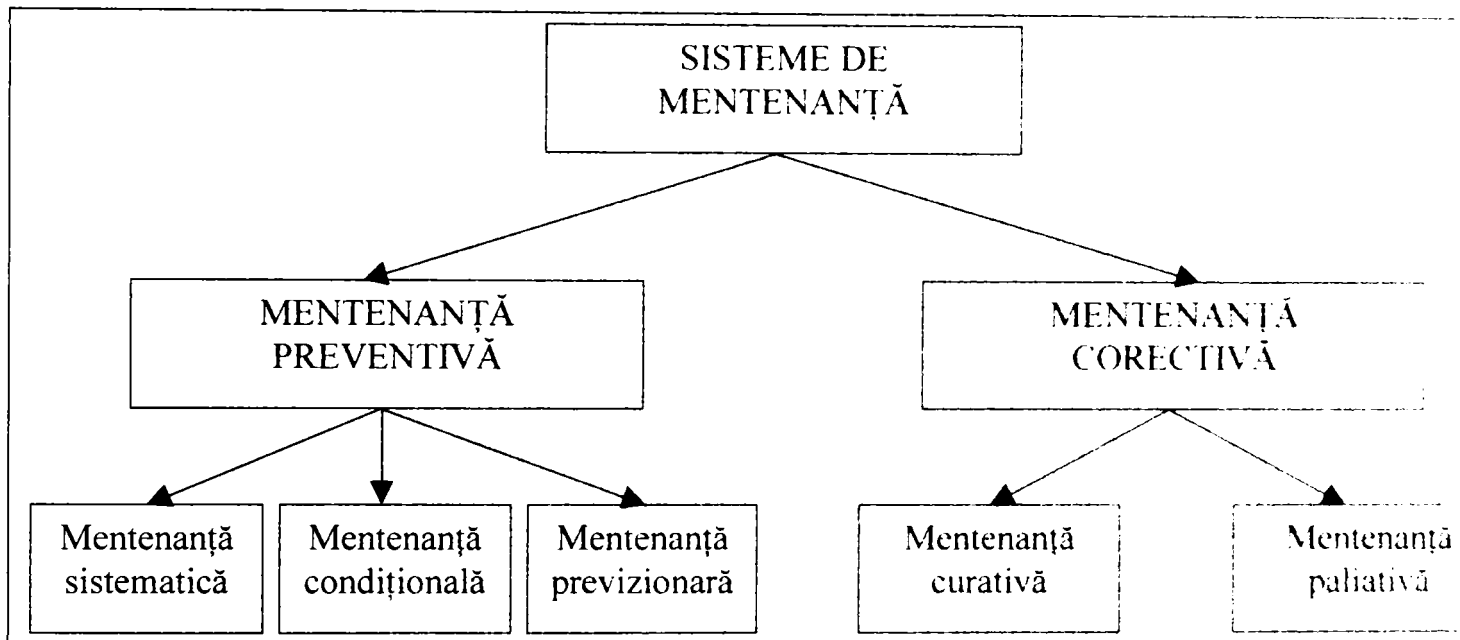
- menținerea în bună stare de funcționare a dispozitivelor de alarmă specifice diferitelor tipuri de utilaje sau instalații;
- mentenanța de ansamblu a echipamentelor prevenind apariția unor accidente de proporții, care pot induce punerea în pericol a procesului de exploatare;
- elaborarea unor norme interne de securitate a muncii, în concordanță cu orice modificare intervenită în structura de bază a utilajelor cu ocazia reparației sau modernizării;
- efectuarea de studii privind securitatea exploatării noilor tipuri de utilaje și elaborarea unor norme specifice;
- dezvoltarea de metode de intervenție rapide și în deplină securitate a

personalului și a mijloacelor fixe.

În activitatea de mentenanță ca și în restul activităților, securitatea muncii este considerată prioritară față de productivitate, realizare preț, cost etc.

1.4. Sisteme de mentenanță

La baza organizării modului de desfășurare a activităților de mentenanță stau aspecte legate de amplasarea termocentralei, profilul de activitate (producerea de energie electrică, termică sau combinată). Abordarea sistemică presupune considerarea următoarelor forme de organizare a mentenanței care, în funcție de resursele alocate și de obiectivele urmărite, sunt destinate a asigura disponibilitatea optimă a sistemelor tehnice.



1.4.1. Mentenanța corectivă

Mentenanța corectivă reprezintă „ansamblul de activități realizate după defectarea unui mijloc de producție sau după degradarea funcției sale în mod neprevăzut. Aceste activități constau în localizarea defectelor și diagnosticul acestora, repunerea în funcțiune cu sau fără modificări și controlul bunei funcționări”. Se descompune în două sub-tipuri:

- mentenanța curativă, care reprezintă „activități de mentenanță corectivă, care au ca obiectiv repunerea unui mijloc de producție într-o stare specifică de funcționare, care îi permite îndeplinirea funcțiilor sale”. Aceste activități pot fi reparații, modificări sau amenajări care au ca obiect suprimarea defectunilor.

- mentenanța paliativă, ce presupune „activități de mentenanță corectivă destinate a permite unui mijloc de producție, în mod provizoriu, îndeplinirea integrală sau parțială a funcțiilor sale”. Se apelează în mod curent la depanare, această mentenanță paliativă fiind în principal constituită din acțiuni cu caracter

provizoriu care trebuie urmate de acțiuni curative.

1.4.2. Mentenanța preventivă

Mentenanța preventivă este „mentenanța care are ca obiect reducerea probabilităților de defectare sau degradare a unui bun sau serviciu”.

Tipurile de mentenanță preventivă pe care le putem aminti sunt următoarele:

- **mentenanța sistematică**, respectiv „mentenanța realizată prin activități de întreținere, reparații curente, revizii și reparații capitale, constituite într-un plan tehnic normat de intervenții, specific fiecărui tip de utilaj în parte”;

- **mentenanța condițională**, cu semnificația „mentenanței realizate prin intermediul urmării parametrilor de uzură ai elementelor subansamblurilor-cheie ale utilajelor, prin intermediul unor instrumente specifice (analizoare de uzură, de vibrații, de ulei etc.)”, urmând ca intervențiile de mentenanță să fie realizate înainte de apariția defectului;

- **mentenanța previzionară**, ce reprezintă „mentenanța preventivă subordonată analizei de evoluție urmărită de parametri semnificativi ai degradării bunului, ce permite întârzierea și planificarea intervențiilor”.

Alte clasificări în lucrări de specialitate presupuneau considerarea sistemelor corective, preventiv-planificată, revizii tehnice și reparații și paliativă sau „după nevoi” și preventiv-planificate.

O modalitate de comparare a eficienței sistemelor enunțate anterior se poate realiza prin intermediul costurilor totale medii de mentenanță pe unitatea de timp.

APLICAREA PROGRAMULUI DE MENTENANȚĂ PREDICTIVĂ LA AGREGATELE CAZANULUI DIN SISTEMUL DE PREPARARE PRAF CĂRBUNE ȘI AGREGATELE ROTATIVE MARI DINTR-O CENTRALĂ TERMoeLECTRICĂ

2.1. Scop

Programul de reparații mecanice predictive are ca scop:

1. Stabilirea "**stării de sănătate**" a echipamentelor tehnologice, părți de sistem, sisteme în totalitate până la nivelul echipamentului energetic de bază, prin monitorizarea în regim continuu și discret a spectrelor de vibrații ale echipamentelor rotative și a parametrilor tehnologici de funcționare ai acestora.

2. Crearea bazei de date specifică programului de reparații mecanice predictive începând cu spectrul de vibrații al echipamentelor rotative și cu parametrii tehnologici de funcționare ai acestora, a sistemelor tehnologice sau a echipamentelor energetice de bază în totalitatea lor, la punerea în funcțiune sau după R.K.

3. Evaluarea prin apreciere, pe baza analizei parametrilor, a momentului probabil de defectare a echipamentului, subansamblului sau a componentei și stabilirea măsurilor necesare a fi luate pentru corectarea deficiențelor.

4. Stabilirea interfeței cu alte colective de muncă (compartimente tehnologice - ISCIR, Lansare Urmărire Reparații –LUR-, Control nedestructiv etc.) a relațiilor și interdependențelor acestora, pentru implementarea unui program unitar de reparații preventive, predictive și corective pentru echipamentele, sistemele tehnologice și echipamentele energetice de bază în totalitatea lor

5. Optimizarea procesului tehnologic exploatare - reparații prin maximizarea producției de energie electrică și termică cu costuri minime de întreținere și reparație.

6. Stabilirea circuitului informațional pentru asigurarea condițiilor normale de desfășurare a programului de reparații predictive prin legarea directă în rețea a sistemului informatic de reparații cu cele din secțiile de exploatare.

2.2. Domeniu

1. Programul de reparații predictive se aplică tuturor echipamentelor rotative din componența centralei electrice prin monitorizarea în regim continuu și discret a spectrelor de vibrații pe un domeniu de frecvență dat și compararea continuă cu spectrul de referință.

2. Programul de reparații mecanice predictive se aplică tuturor echipamentelor rotative, a părților de sistem, a sistemelor tehnologice în totalitatea

lor până la nivel de echipament energetic de bază, inclusiv prin monitorizarea parametrilor tehnologici de funcționare a acestora, respectiv debite, presiuni, temperaturi, deplasări, dilatări, etc. și compararea permanentă cu parametrii de referință ai acestora.

3. Prin compararea spectrelor de vibrații pe un domeniu de frecvență dat și a parametrilor tehnologici de funcționare, cu spectrele de referință a vibrațiilor și parametrii tehnologici de referință, se stabilește "**Starea de sănătate**" la momentul dat.

2.3. Planul de referință

Planul de referință pentru activitățile de reparații predictive la nivelul unui grup energetic apoi prin generalizare la nivelul întregii filiale detaliază modul de desfășurare a acestui program, în totalitatea lui, corelarea acestuia cu alte tipuri de programe de reparații (preventiv, corectiv, etc.) pentru asigurarea scopului principal al activității de reparații-exploatarea în condiții de siguranță, la parametri nominali cu eficiență economică maximă și la costuri de producție minimă.

2.3.1. Definirea planului

Planul de referință pentru reparații predictive este compus din două componente majore:

- 2.3.1.1. Programul de monitorizare vibrații;
- 2.3.1.2. Programul de supraveghere parametrii de funcționare mecanici și tehnologici;

Se fac următoarele precizări:

2.3.1.1. Referitor program monitorizare vibrații:

- acest program este în totalitate aplicabil tuturor echipamentelor rotative din cadrul centralei, care sunt împărțite din considerente de siguranță în funcționare în patru categorii distincte:

***echipamente vitale** - categoria "a" în care sunt incluse echipamentele strict necesare funcționării grupurilor energetice, precum și componente de sistem și echipamente cu repercusiuni deosebite în funcționarea centralei. În această categorie intră:

- turboagregatele - DSL- 50.1- 2 buc.
- DKUL-50 - 1buc.
- DKU - 50 - 1buc.
- electropompele de alimentare - EPA 500-180 -8 buc.
- ventilatoare de aer - 2 buc./cazan 420 t/h
- ventilatoare de gaze - 2 buc./cazan 420 t/h
- EPA cazane 105 t/h

- ventilatoare de aer și gaze K 105 t/h

* **echipamente majore** - categoria "b" - în care sunt incluse acele echipamente din compunerea agregatelor energetice de bază prevăzute cu rezervă tehnologică, precum și componente tehnologice a căror funcționare au repercusiuni economice deosebite. În această categorie intră:

- mori de cărbune - 6 buc. / cazan
- alimentatoare cărbune - 6 buc. / cazan
- grătare postardere
- concasori zgură
- Benzi Kratzer
- electropompe condens principal
- electropompe condens boiler bază
- electropompe transvazare

* **echipamente importante** - categoria "c" - în care sunt incluse acele echipamente, neprinse în categoriile "a" și "b" de mai sus, care pot avea un impact negativ din punct de vedere al siguranței în funcționare a centralei sau din punct de vedere economic. În această categorie se regăsesc:

- electropompe apă circulație
- electropompe apă răcire hidrogen
- electropompe termoficare
- electropompe apă brută
- electropompe apă demineralizată
- electropompe apă agresivă
- acționările benzilor 13,16,20
- electropompe Stații Bagger
- electropompe păcură- Stații pompare tr.II
- compresorii de aer instrumental și tehnologic
- transmisiile mecanice ale M.C. și ale M.S.C. din gospodăria de combustibil

***echipamente obișnuite** - categoria "d" - în care sunt incluse restul echipamentelor rotative mai puțin importante, din componența centralei. În această categorie se regăsesc:

- transmisiile mecanice din gospodăria de combustibil solid
- electropompe păcură tr. I-a
- electropompe apă dedurizată
- electropompe acid, sodă
- electropompe apă recirculată la Stațiile pompe Bagger
- electropompă ulei curent continuu și curent alternativ la turboagregate
- electropompe epuizante, drenaje condens de la toate obiectivele din centrală.

În această categorie se mai regăsesc pompele și ventilatoarele din componența sistemelor centralei, altele decât cele cuprinse la punctele "a, b, c, d" de mai sus.

b) împărțirea efectivă a tuturor echipamentelor rotative din compunerea

sistemelor tehnologice ale centralei se poate face pe categorii după definitivarea sistemului de monitorizare în regim continuu și discret a spectrului de vibrații de către Biroul urmărire utilaje, serviciile tehnologice și secțiile de exploatare;

c) programul de monitorizare vibrații a tuturor echipamentelor împărțite pe categoriile "a, b, c, d," definite ca mai sus trebuie elaborat de la început, respectiv după punerea în funcțiune sau R.K., iar spectrul de vibrații "etalon" înregistrat, cu care ulterior se fac comparații în perioada de exploatare.

2.3.1.2. Referitor program de supraveghere parametrii mecanici și tehnologici:

a) acest program este în totalitate aplicabil tuturor echipamentelor mecanice de tipul turboagregate, pompe, compresori, ventilatoare, transmisii mecanice, schimbători de căldură, recipienti sub presiune, instalații de ridicat, tuturor sistemelor tehnologice și în final agregatelor energetice de bază în totalitatea lor și constă în monitorizarea (supravegherea) parametrilor de funcționare mecanici și tehnologici prin prelevarea acestora de pe aparatele de măsură și control în funcțiune sub forma rapoartelor de parametri și compararea acestora și parametrii la intervale date de timp analizând variația și evoluția lor în timp. Modificarea acestor parametri la regimuri cvasistaționare (sarcini, debite temperaturi, presiuni etc.) pot da indicii privind starea tehnică, diagramele ridicate în timp ale acestor parametri pot da indicații privind estimarea duratei de funcționare a acestor echipamente în limite normale de exploatare conform proiect sau instrucțiuni furnizor;

b) programul de supraveghere (monitorizare) a parametrilor de funcționare trebuie elaborat de la început, respectiv după punerea în funcțiune sau R. K. a fiecărui echipament sau sistem tehnologic, iar acești parametri specifici sunt înregistrați în rapoartele "etalon" cu care ulterior se fac comparații în perioada de exploatare;

c) frecvența de citire și comparare a parametrilor va fi stabilită experimental în baza activității desfășurate în centrală ceea ce va duce în timp la optimizarea supravegherii echipamentelor funcție de importanța lor.

2.3.2. Metode de lucru

Pentru punerea în aplicare a Planului de referință pentru reparații predictive se operează cu următoarele metode de lucru:

2.3.2.1. Referitor program de monitorizare vibrații:

a) monitorizarea vibrațiilor se fac în regim "on-line" pentru turboagregate prin prelevarea automată a valorii măsurate a vibrațiilor lagărelor, prin prelucrarea automată (analiza și evaluarea spectrului de vibrații pe domeniul de frecvență dat), cu vizualizare pe monitor și printare.

b) prin diagrame, vibrații / timp, se poate trasa tendința de evoluție a vibrațiilor pe un interval dat și funcție de nivelul maxim admisibil al acestora (stabilit pe baza diagramelor de furnizor, tabelor ISO etc.) se stabilește momentul limită de oprire în reparație planificată - preventivă a echipamentului respectiv;

c) monitorizarea vibrațiilor se face în regim manual pentru restul de agregate prin măsurarea vibrațiilor la fața locului cu echipament portativ; analiza și evaluarea se face centralizat folosind tehnica de calcul din dotare;

d) pentru monitorizarea vibrațiilor, definite ca mai sus se folosește un sistem complet, dotat cu aparatură BRÜEL & KJÄER, producție Danemarca.

Detalierea componentelor și interconexiunilor acestora în sistem se regăsește în DDE-ul elaborat de ISPE București pentru acest sistem, care asigură monitorizarea complet automată, protectivă (de siguranță) și predictivă (evolutivă) a utilajelor rotative.

Față de alte sisteme deja existente, el aduce în plus caracteristica predictivă a monitorizării, comunicarea cu viteză foarte mare, înmagazinarea centralizată a datelor precum și posibilitatea de a accesa datele și de a le vizualiza în mai multe locuri simultan.

Pe lângă toate acestea, sistemul COMPASS oferă toate uneltele necesare pentru a efectua o analiză și diagnosticare detaliată și precisă a defectelor mașinilor urmărite.

Principalele caracteristici ale sistemului COMPASS:

*sistem eficient și cuprinzător, pentru măsurători continue (ON-LINE) și intermitente (OFF-LINE), cu procesare, analiză și afișare identică într-o baza de date comună;

*sistem modular și cu flexibilitate pentru a satisface aplicații individuale ușor de extins pentru a acoperi cerințe crescânde;

*sistem caracterizat de o strategie de monitorizare adaptabilă funcție de condițiile concrete în care lucrează utilajul;

* modul de stocare a datelor asigură accesul rapid la măsurătorile efectuate, cu o rezoluție de 10 ms, pe o durată de până la 30 de ani;

* procesare digitală a semnalelor asigură o monitorizare detaliată necesară pentru detectarea rapidă a schimbărilor în starea mașinii, această caracteristică permite monitorizarea stărilor tranzitorii din funcționarea unei mașini (porniri, opriri, trecerea prin turații critice etc.);

* tehnologii industriale standard de procesare și transfer (sistem de operare UNIX, transfer prin rețea Ethernet, operare tip Windows).

* asigură posibilitatea interpretării automate a valorilor măsurate, cu ajutorul unui program expert de diagnoză.

Măsurători de bază ce pot fi efectuate automat:

* Amplitudinea semnalului de la 39% -48% din frecvența de rotație, pentru detectarea problemelor de ungere în lagărele de alunecare.

* Amplitudinea și faza primelor 10 armonici ale frecvenței de rotație, pentru detectarea fisurilor în arbori, dezechilibrelor, nealinierilor unghiulare, nealinierilor paralele, slăbirilor mecanice.

* Valori scalare bandă - largă, nefiltrate sau filtrate trece- sus sau trece -jos, pentru a efectua predicția evoluției stării unui utilaj.

* Măsurarea semnalelor DC, pentru a determina poziția arborelui în lagăr și a monitoriza parametrii de proces.

* Măsurarea semnalelor de la sonde tahometrice, pentru a monitoriza turația utilajului.

* Măsurarea semnalelor digitale, pentru a monitoriza parametrii de stare și parametrii de proces - pentru aplicare în viitor.

Măsurători suplimentare ce pot fi efectuate automat:

* Spectru FFT până la 40 kHz.

* Spectru FFT Zoom, centrat pe orice frecvență din spectru.

* Mediere sincronă în domeniul timp, pentru diagnoza defectelor în angrenaje.

* Spectru "Envelope" pentru diagnoza defectelor în lagăre cu rulmenți.

* "Cepstrum " pentru diagnoza defectelor în angrenaje și lagăre cu rulmenți.

* Predicție în bandă-îngustă, pentru a urmări cu mai mare precizie evoluția unui anumit defect al mașinii.

* Spectre CPB până la 44,7 kHz (lățime de bandă de 1, 1/3 și 1/12 Octava).

* Măsurători ciclice, pentru analiza mașinilor cu ciclu de funcționare.

* Determinarea orbitei, folosind două proximitoare, pentru a determina traiectoria axului în lagăr - pentru aplicare în viitor.

Măsurători speciale pentru o diagnoză aprofundată:

* Spectru de vibrație, ciclic.

* Spectru în 3D, la pornirea utilajului.

* Spectru în 3D, la oprirea utilajului.

* Semnale formă de undă, în domeniul timp.

e) monitorizarea în regim manual a vibrațiilor pentru echipamentele din categoria "d" se poate face și cu aparatura SCHENK - Germania din tipul "VIBROPORT" - 30 și "VIBROTEST", însă pe un domeniul de frecvență mai redus -0 ÷ 1000 Hz. Această aparatură se pretează foarte bine la utilizarea pe standul de echilibrare cu turație redusă - 0 ÷ 400 - r.p.m. din dotarea centralei.

2.3.2.2. Referitor la programul de monitorizare a parametrilor de funcționare:

a) din punct de vedere al activității de reparații, centrala este împărțită pe ateliere și acestea divizate în formații de lucru la nivel de șefi de echipă, asigurându-se în acest fel o distribuție relativ uniformă a sarcinii de reparații

b) conform prevederilor Programului de referință pentru reparații preventive, este în sarcina personalului de exploatare pe zona sa de activitate, de a supraveghea funcționarea echipamentelor centralei; personalul de reparații afectat zonelor respective urmărește la rândul său comportarea din punct de vedere mecanic al echipamentelor respective - monitorizarea vibrațiilor revenind

personalului din cadrul Biroului de urmărire a utilajelor;

c) în situația în care se constată abateri semnificative ale parametrilor de funcționare de la parametri nominali, coroborat și cu regimul de încărcare a echipamentului respectiv, pentru personalul de reparații afectat zonei respective de comun acord cu personalul de exploatare în tura respectivă, se emite autorizație de lucru, care se procesează pe filiera normală; în situația în care echipamentul este complex, prin consultări la nivelul șefului de atelier reparații cu secția de exploatare responsabilă a echipamentului, se decid măsurile necesare a fi luate pentru a nu periclita funcționarea echipamentului respectiv, a sistemului tehnologic chiar a echipamentului energetic de bază;

d) supravegherea parametrilor de funcționare tehnologici și mecanici se face prin citirea acestora pe aparatura existentă și în funcțiune pe fiecare echipament - sistem, montată la fața locului, sau pe aparatura montată în camera de comandă;

e) înregistrarea parametrilor de funcționare se face fie manual, prin înregistrare în formulare tipizate - raport de exploatare - fie prin înregistrarea acestora pe diagramele înregistratoarelor din panourile sinoptice;

f) evaluarea inițială se face la nivelul personalului de exploatare în tură cu formația de reparații, după care toate înregistrările se predau serviciilor tehnologice pentru analiză și evaluare de fond; funcție de rezultatul analizei se transmit informațiile necesare compartimentului de programare pentru prevederea în programul de reparații, a măsurilor corective necesare a fi luate.

2.3.3. Obiective ale planului de referință pentru reparații:

a) să asigure menținerea echipamentelor și a sistemelor tehnologice la nivelul performanțelor stabilite prin specificațiile tehnice și de îmbunătățirea fiabilității în funcționare a acestora;

b) să reducă la minimum acceptabil durata de oprire în prevenire sau lichidare de avarie a echipamentelor și sistemelor, respectiv reducerea duratei de staționare în reparație a echipamentelor energetice de bază prin diagnoze exacte a deficiențelor constatate;

c) să reducă costurile activităților de reparații;

d) să colecteze informațiile relevante pentru fiecare echipament rotativ în parte, sau componente ale acestuia, pentru îmbunătățirea performanțelor funcționale ale acestora prin monitorizarea spectrelor de vibrații și a parametrilor funcționali;

e) informațiile colectate să poată fi utilizate în reproiectarea de echipamente, subansamble și componente mai fiabile.

2.3.4. Programarea activităților:

2.3.4.1. Programul pentru reparații predictive mecanice trebuie să planifice

toate activitățile de monitorizare vibrații și de supraveghere a parametrilor de funcționare, pe baza următoarelor criterii:

- recomandările furnizorilor de componente și echipamente;
- consecințele opririi în reparație neplanificată (corectivă) în prevenire sau lichidare de avarie a echipamentului respectiv;
- experiența acumulată în alte centrale - similare din punct de vedere al echipamentului - privind monitorizarea vibrațiilor și a parametrilor tehnologici;
- experiența proprie a personalului de monitorizare vibrații și a personalului din activitatea de programare a reparațiilor;

2.3.4.2. Programul pentru reparații predictive se reactualizează și se aduce permanent la zi, pe baza experienței acumulate privind desfășurarea programului în sine, a fiabilității componentelor, a îmbunătățirii calității componentelor prin reproiectare, folosirea materialelor noi și a tehnologiilor noi de fabricație și reparație.

2.3.4.3. Frecvența activităților de monitorizare a vibrațiilor pe fiecare echipament rotativ în parte și de supraveghere a parametrilor tehnologici și mecanici de funcționare se stabilește în funcție de:

- categoriile de încadrare a echipamentelor rotative din cadrul centralei definite ca la punctul 2.3.1.1.;
- capacitatea de prelucrare a sistemului de monitorizare vibrații;
- asigurarea forței de muncă specializată pentru monitorizare în regim manual a vibrațiilor echipamentelor;
- experiența acumulată de personalul de monitorizare vibrații și de supraveghere a parametrilor tehnologici și mecanici, pe parcursul desfășurării activității, prin reactualizarea programului în sine;
- fiabilitatea în funcționare demonstrată a echipamentelor și sistemelor tehnologice, plecând de la premisa că echipamentele și sistemele vitale și majore (parte din ele) vor fi monitorizate bisăptămânal.

2.3.5. Pregătirea activităților:

2.3.5.1. Pentru desfășurarea în condiții normale a activităților de reparații predictive, în cele două componente majore, pentru echipamentele și sistemele tehnologice din compunerea unui echipament energetic de bază trebuie asigurate următoarele condiții prealabile:

- a) sistemul de monitorizare vibrații în regim continuu și discret, realizat și pus în funcțiune;
- b) dotarea compartimentului de diagnoză prin vibrații cu toată tehnica de dotare necesară, inclusiv aparatura de etalonare, calibrare, întreținere, eventual

contractarea service-ului cu o firmă specializată, de preferință furnizorul echipamentului;

c) pregătirea și perfecționarea personalului desemnat pentru monitorizarea și diagnoză vibrații;

d) pregătirea și elaborarea pachetului de documente specifice reparațiilor predictive, constând în:

* Manualul de monitorizare și diagnoză vibrații;

* Procedurile de lucru și de control specifice activităților de monitorizare și diagnoză vibrații și de supraveghere parametrilor de funcționare tehnologică și mecanică;

* Elaborarea documentelor de evidență primară pentru implementarea programului de reparații predictive;

* Desemnarea personalului care se ocupă de supravegherea parametrilor tehnologici și mecanici.

2.3.5.2. Asigurarea condițiilor prealabile, conform prevederilor programului, respectiv pregătirea activităților de reparații predictive se face astfel:

a) referitor sistem de monitorizare vibrații în regim continuu și discret:

* realizarea fizică și punerea în funcțiune a sistemului pentru toate cele patru turboagregate care trebuie să aibă capacitatea de monitorizare în regim automat, continuu și discret a spectrelor de vibrații;

* procurarea și punerea în funcțiune a sistemului informatic necesar pentru prelucrarea datelor, precum și procurarea sistemelor de programe necesare.

b) referitor la pregătirea și perfecționarea personalului:

* personalul desemnat al compartimentului de monitorizare și diagnoză vibrații trebuie selecționat din timp, prins în programul de pregătire pentru însușirea deprinderilor de lucru cu tehnica de calcul, a cunoștințelor fundamentale privind vibrațiile și diagnoza de defecte prin interpretarea spectrelor vibrațiilor (pregătire care trebuie să se facă prin cursuri susținute de furnizorul sistemului de monitorizare vibrații);

c) referitor la pregătirea și elaborarea pachetului de documente specifice

- Manualul de monitorizare și diagnoză vibrații - se elaborează prin grija personalului din compartimentul de monitorizare și diagnoză vibrații și pe baza documentelor de referință privind aspecte teoretice și practice (bibliografie tehnică în domeniul vibrațiilor și specificații de furnizor), soluționează următoarele probleme:

* noțiuni de teoria vibrațiilor expuse la nivel mediu și superior cu multe exemple practice privind aplicabilitatea;

* noțiuni teoretice de echilibrare statică și dinamică fundamentale, precum și tehnici și tehnologii de echilibrare a ansamblelor rotative concrete pentru situații specifice în cadrul centralei F.E. Dr. Tr. Severin;

* descrierea constructivă și funcțională a echipamentelor de monitorizare și diagnoză vibrații din cadrul sistemului, prin prelucrarea informațiilor specifice cuprinse în cărțile tehnice ale furnizorilor de echipamente;

* *diagnoză și vibrații, prin descrierea efectivă a deficiențelor mecanice de natura dezechilibrelor, defecte de lagăr de alunecare sau rostogolire, slăbirea prinderii pe fundații, dezalineri, ax îndoit, pinioane cu dantură defectă, defect electric etc. pe baza formei spectrului de frecvență a vibrației respective.*

Manualul de monitorizare și diagnoză vibrații, este totodată și material cu caracter didactic pentru pregătirea și perfecționarea profesională a componentilor colectivului de monitorizare și diagnoză; pe măsura acumulării de experiență în domeniul respectiv, manualul se reactualizează de câte ori este nevoie prin grija șefului de compartiment.

- **Procedurile de lucru și de control și instrucțiunile tehnice** specifice activității sunt documentele prin care se stabilește cadrul tehnic, sau organizatoric necesar desfășurării în condiții normale a activităților respectiv:

* **procedurile de lucru** - stabilesc cerințele tehnice pentru desfășurarea activităților;

* **procedurile de control** - stabilesc criteriile de acceptare a spectrelor de vibrații pe fiecare echipament în parte.

Aceste proceduri au conținutul cadru, elaborat în prealabil de șeful compartimentului și sunt definitive de membrii colectivului de diagnoză vibrații în cooperare cu serviciile tehnice și după caz pot fi documente separate sau document unic, care soluționează ambele aspecte - de lucru și control.

- **Instrucțiunile tehnice** specifice sunt documente prin care sunt soluționate probleme de natură organizatorică, de circulație a fluxului de informații în cadrul sistemului și în relația cu alte compartimente implicate în aceste activități.

Nomenclatorul și programul de elaborare a procedurilor de lucru, de control și a instrucțiunilor tehnice specifice intră în obligația de elaborare a șefului de compartiment de monitorizare și diagnoză vibrații și este vizat de Directorul adj. cu reparațiile. Aceste activități se elaborează în paralel cu procedurile operaționale de reparații ale utilajelor, iar compatibilitatea acestora este vizată de Directorul adj. cu reparațiile. Conform organigramei actuale această activitate este prinsă acum în cadrul Biroului tehnic proiectare. Având în vedere reorganizarea RENEL și dispariția organigramelor impuse, aceste activități vor fi nominalizate ulterior, sarcina Directorului adj. cu reparațiile fiind pregătirea logistică a acestor activități și desfășurarea lor într-o organigramă adecvată.

2.3.6. Execuția lucrărilor de reparații predictive

A. Programul de monitorizare vibrații

Programul de monitorizare vibrații se efectuează cu personalul special desemnat din cadrul formației de monitorizare și diagnoză vibrații, conform unui program clar definit, elaborat prin grija colectivului din cadrul Biroului de urmărire a utilajelor în colaborare cu serviciile tehnologice prin folosirea tehnicii din dotare.

A.1. Punerea în funcțiune

Prin punerea în funcțiune a unui echipament rotativ se înțelege prima punere în funcțiune a acestuia, după terminarea lucrărilor de montaj, sau punerea

în funcțiune după efectuarea unei reparații prin care s-a intervenit la ansamblul rotor, la centrul după semicuple, la prinderea de fundație a respectivului echipament, sau la lagăre.

Prima punere în funcțiune este în sarcina organizației de montaj, împreună cu personalul de exploatare al beneficiarului, iar punerea în funcțiune după efectuarea unei reparații este în sarcina secției de reparații care a efectuat intervenția respectivă, împreună cu personalul de exploatare.

A.2. Analiza spectrului inițial de vibrații

* Premergător primei puneri în funcțiune a unui echipament rotativ formația de lucru AMC verifică terminarea lucrărilor de montaj la sistemul de monitorizare vibrații prevăzut în proiect (traductori montați în pozițiile normale, cablurile aferente, cutiile de joncțiuni, alimentarea traductorilor, semnalele aduse până la multiplexorii alocați etc.), iar echipa de monitorizare și diagnoză vibrații își montează echipamentul aferent pe poziție și îl pune în funcțiune.

Aceste verificări se fac pentru echipamentele din categoria turboagregatelor, și cele de la punctul "a".

* Odată cu punerea în funcțiune a echipamentului rotativ, respectiv prin grija formației de monitorizare și diagnoză vibrații, se face prima măsurătoare a vibrațiilor pe tot spectrul de frecvență; pentru turboagregate prin folosirea sistemului automat de monitorizare vibrații, iar pentru celelalte prin folosirea tehnicii portative de investigare.

* După înregistrarea vibrațiilor pe tot spectrul de frecvență prin folosirea tehnicii din dotare (analizorul de vibrații, tehnica de calcul aferentă) se efectuează analiza vibrației, pe întreg domeniul de frecvență care se înregistrează atât pe suport magnetic cât și pe imprimanta din completul de dotare.

* În continuare sunt posibile două situații:

- Spectrul de vibrații pe domeniul de frecvență analizat este "**ACCEPTABIL**", situație în care se procedează în felul următor - se recomandă preluarea echipamentului respectiv de la organizația de montaj sau reparație și se înregistrează spectrul vibrației pe tot domeniul de frecvență analizat, denumit în continuare "**BASE LINE SIGNATURE-SPECTRUL DE REFERINȚĂ**", care devine informația de referință pentru perioada următoare de exploatare, prin comparare cu spectrele de vibrații, obținute prin monitorizarea aceluiași echipament, în aceleași condiții de exploatare, conform prevederilor programului de monitorizare vibrații.

In acest moment se consideră ca fiind îndeplinite condițiile pentru începerea execuției efective a programului de monitorizare vibrații, pe durata de exploatare a echipamentului, cu frecvența impusă de cerințele programului.

- Spectrul de vibrații este "**INACCEPTABIL**" situație în care se procedează la informarea organizației de montaj sau reparații, pentru luarea măsurilor corective necesare aducerii echipamentului în parametri de proiect.

* Dacă echipamentul a fost preluat în exploatare se pot desprinde două situații:

- exploatare fără modificării a valorilor vibrațiilor și a spectrului acestora, pentru echipamentul respectiv, urmare a derulării normale a programului de

monitorizare, și înregistrarea de rutină a vibrațiilor și a spectrului acestora pe domeniul de frecvență dat și compararea permanentă cu spectrul de referință a echipamentului respectiv. Din acest moment activitatea este de rutină și se desfășoară în continuare conform documentelor aplicabile în vigoare.

- modificări semnificative a valorii vibrațiilor și a spectrului acestora caz în care se procedează după cum urmează:

❖ analiza spectrului pe întreg domeniul de frecvență a vibrației echipamentului respectiv, atât cu aparatura de monitorizare continuă, cât și cu cea portabilă funcție de urgența situației și de accesibilitatea echipamentului în timpul funcționării acestuia. Se face analiza înregistrărilor și diagnoza cauzelor vibrației și împreună cu metode de investigarea suplimentare (analiză ulei, zgomote anormale, creșterea temperaturilor pe lagăre, modificarea parametrilor tehnologici etc.) pentru determinarea cauzelor incidentului, și se recomandă metodele corective necesare a fi aplicate pentru eliminarea acestora.

A.3. Evaluarea defectului

În urma acțiunilor prezentate mai sus se stabilesc cauzele modificării spectrului de vibrații și prin comparare cu înregistrările anterioare se poate evalua tendința de evoluție a defectului existent, deja decelat. Evaluarea va conduce la concluzia că defectul este "minor" și funcție de viteza evoluției nefavorabile a acestuia poate fi introdusă lucrarea de reparație în programul de reparații preventive sau pentru a preveni deteriorarea și mai gravă a componentei echipamentului, agregatului se cere oprirea acestuia în prevenire de avarie și introducerea imediată în programul de reparații corective.

Note:

a. prin "**defect minor**" se înțelege defectul generator de vibrații modificate nesemnificativ față de spectrul de referință original al echipamentului respectiv, deci echipamentul poate funcționa în continuare în condiții de siguranță, cu condiția mării frecvenței de monitorizare, diagnoză și evaluare a mărimii defectului, pentru a avea permanent certitudinea că exploatarea în aceste condiții nu pune în pericol integritatea echipamentului.

b. prin "**defect major**" se înțelege defectul generator de vibrații modificate semnificativ față de spectrul de referință de bază al echipamentului, deci defectul este evolutiv nefavorabil rapid, deci echipamentul nu mai poate funcționa în continuare în condiții de siguranță.

c. definirea noțiunii de "**ACCEPTABIL**" și "**INACCEPTABIL**" se face pe baza criteriilor de acceptare stabilite prin norme și standarde internaționale, prin diagrame și nomograme anexe la acestea, de regulă folosindu-se documente ISO.

B. Programul de supraveghere parametri tehnologici și mecanici de funcționare

Programul de supraveghere parametri tehnologici și mecanici de funcționare a echipamentelor, subsistemelor, sistemelor tehnologice, până la nivel de echipament energetic de bază, se efectuează în cadrul Biroului de urmărire a utilajelor, cu personal special desemnat, fiecare în zona sa de activitate conform unui program clar definit, împreună cu specialiști din compartimentul tehnologic.

123
50

Parametrii tehnologici și mecanici avuți în vedere pentru aducerea la îndeplinire a prevederilor programului sunt:

- debite,
- presiuni,
- temperaturi,
- nivele,
- dilatări (relative și totale),
- deplasări,
- încărcarea suportilor (în principal cei de efort constant),
- caracteristicile apei de alimentare,
- caracteristicile fluidelor de ungere și acționare hidraulică.

B.1. Evaluarea parametrilor

B.1.1. Pentru măsurarea parametrilor tehnologici și mecanici de funcționare a echipamentelor se folosesc formulare tipizate conform PE - urilor.

- Formulare de exploatare tipizate care se folosesc în mod curent de personalul de exploatare pentru înregistrarea operativă a parametrilor tehnologici de funcționare,

- Formulare de măsurători tipizate pentru parametrii mecanici folosite de personalul de reparații în exclusivitate pentru supravegherea acestor parametrii ---

Elaborarea acestor formulare se face prin grija serviciilor tehnologice, fiecare în domeniul său de activitate, formatul și conținutul acestora înainte de implementarea în practică fiind convenite cu personalul de exploatare, cu respectarea prescripțiilor specifice (ISCIR, C-29 etc.). La elaborarea acestor formulare trebuie avute în vedere respectarea cerințelor de simplitate, comoditate, claritate, ușurință în completare, pe care trebuie să le satisfacă. Formularele trebuie să conțină, pentru fiecare parametru monitorizat valorile limită maximă și minimă pentru evaluarea imediată, evaluarea finală fiind făcută la nivelul serviciilor tehnologice, fiecare în domeniul său de activitate prin personalul de specialitate a acestora, consultând documentația specifică (ICPET, ISPE, Cărți tehnice etc.).

B.1.2. Analiza parametrilor înregistrați

În continuare avem două situații distincte:

a. **parametrii normali** - respectiv parametrii de funcționare tehnologici și mecanici care se încadrează, funcție de regimul de încărcare, în domeniul normal de funcționare caz în care se procedează astfel:

* înregistrarea parametrilor pe diagrame special elaborate, după caz, în evidențe speciale pentru păstrarea acestora pe toată durata de funcționare a echipamentului sau sistemului tehnologic respectiv.

* introducerea în programul de supraveghere a parametrilor tehnologici și mecanici, a frecvențelor de efectuare a supravegherii conform programului inițial, sau cu frecvență mărită funcție de evoluția acestora în timpul exploatării.

b. **parametrii anormali**, respectiv parametrii tehnologici și mecanici nu se încadrează în domeniul normal de funcționare, caz în care se procedează astfel:

* analiza și expertiza cauzelor care conduc la depășirea valorii normale.

Această analiză se face de personalul de exploatare, prin șeful de tură ca

fiind cei mai buni cunoscători ai stării tehnice operative a sistemelor, personalul de reparații prin maestrul șef de formație, după caz, funcție de gravitatea situației de șeful său ierarhic (respectiv șeful de atelier, secție) și de inginerul responsabil din cadrul serviciilor tehnologice.

Funcție de complexitatea și gravitatea situației pentru analiză și expertizare se apelează la proiectanți de specialitate, specialiști ai furnizorului de echipament, specialiști din alte filiale cu echipamente de același tip.

Funcție de rezultatul și concluziile la care se ajunge în urma analizei se fac recomandări pentru remedierea defectului, pentru exploatarea în continuare a echipamentului sau agregatului, inclusiv supravegherea specială a acestuia dacă este cazul.

B.2. Evaluarea defectului

a. prin "**defect minor**" se înțelege acel defect care prin funcționarea în continuare al echipamentului sau sistemului nu pune în pericol integritatea acestuia și nu conduce la pierderea funcțiilor tehnologice din cadrul echipamentului energetic de bază. După caz se iau următoarele măsuri - funcționarea sub supraveghere atentă în continuare și introducerea imediată în programul de reparații preventive pentru perioada următoare a acestuia.

b. prin "**defect major**" se înțelege acel defect, care prin funcționarea în continuare a echipamentului sau sistemului pune în pericol integritatea acestora și poate conduce imediat sau în scurt timp de funcționare în aceste condiții la pierderea funcțiilor tehnologice în cadrul echipamentului energetic de bază.

După caz se iau următoarele măsuri - pregătirea pentru oprire în regim controlat, în prevenire de avarie și asigurarea condițiilor pentru reparații și introducerea imediată în programul de reparații corective.

Având clar modul de desfășurare a programului de reparații predictive, în cele două laturi ale sale definite anterior sunt create premisele necesare de implementare a cerințelor acestui program, aplicarea lui întocmai fiind condiționată de asigurarea cadrului tehnic, organizatoric și de dotare care trebuie să pună personalul de exploatare și de reparații mecanice în situația cunoașterii permanente a stării tehnice a echipamentelor și sistemelor tehnologice pe de o parte și pe de altă parte deciziile și hotărârile care se iau privind acțiunile preventive sau corective care trebuie să fie luate pentru menținerea stării tehnice la standardul de calitate impus sunt întotdeauna în perfectă cunoștință de cauză bazate pe realitățile efective, determinate prin analize - expertize obiective.

2.3.7. Stabilirea băncii de date

Activitățile specifice programului de reparații predictive pot fi conduse în mod corect și de manieră corespunzătoare scopului numai prin implementarea eficientă a unui puternic sistem de calcul, care operează cu programe de calcul eficiente, având la dispoziție o bază de date complete.

Baza de date se constituie din informațiile conținute, conform specificului de activitate în următoarele:

2.3.7.1. Referitor program monitorizare și diagnoză vibrații:

- a. codul de identificare al fiecărui echipament rotativ din cadrul secțiilor exploatare;
- b. categoriile de clasificare a echipamentelor rotative;
- c. caracteristicile tehnice funcționale, specifice fiecărui echipament rotativ;
- d. după caz, caracteristici constructive specifice fiecărui echipament rotativ;
- e. criteriile de evaluare a stării tehnice privind starea de vibrații, pe baza nomogramelor, diagramelor și tabelelor de conversie a mărimii vibrațiilor;
- f. "spectrul de referință" pentru fiecare echipament rotativ;
- g. elementele și datele generale și specifice ale programului propriu - zis de monitorizare și diagnoză vibrații;
- h. caracteristicile tehnico funcționale ale tehnicii din dotare specifice activității de monitorizare - analiză - diagnoză vibrații (completul de furnitură a sistemului de monitorizare vibrații în regim continuu și discret);
- i. programul de întreținere și reparații preventive a completului de furnitură a sistemului de monitorizare vibrații în regim continuu și discret.

2.3.7.2. Referitor la programul de supraveghere a parametrilor funcționali și mecanici:

- a. Codul de identificare a fiecărui echipament, subsistem, sistem tehnologic conform codificării alfa numerice date de proiectantul general al centralei - ISPE;
 - b. Caracteristicile tehnice și funcționale ale echipamentelor, componentelor, sistemelor tehnologice, a parametrilor tehnologici și mecanici ai acestora care se regăsesc în documentațiile proiectantului general ISPE, proiectanților de echipamente și subsisteme - ICPET, PROMT, VULCAN etc.;
 - c. Diagramele graficele și tablele specifice supravegherii echipamentelor și sistemelor tehnologice;
 - d. Informațiile conținute în rapoartele de tură care se prelevează pentru programul de supraveghere a parametrilor funcționali și mecanici.
- Toate aceste documente se elaborează în cadrul Biroului de urmărire a utilajelor cu ajutorul serviciilor tehnologice, în colaborare cu secțiile de reparații și exploatare.

2.3.8. Revizuirea și îmbunătățirea programelor

2.3.8.1. Din cele spuse la punctele anterioare, întreaga activitate de programare, execuție, raportare, postcalcul al reparațiilor se desfășoară folosind intensiv tehnica de calcul pe bază de programe clar stabilite, elaborate astfel:

- a. pentru programul de monitorizare vibrații, se vor folosi pachetele de programe strict specializate, care se vor procura odată cu sistemul de monitorizare de la firma BRÜEL & KJÄER;

b. pentru programul de supraveghere parametrii de funcționare tehnologici și mecanici se vor folosi programe proprii și programe concepute împreună cu proiectantul general ISPE.

2.3.8.2. Ținerea la zi a acestor programe se face de către:

a. personalul compartimentului de monitorizare și diagnoză vibrații, împreună cu personalul serviciilor tehnice, fiecare în domeniul său de activitate, pentru programul de monitorizare vibrații;

b. Personalul ISCIR împreună cu personalul serviciilor tehnice și maiștrii șefi de formații de lucru reparații, fiecare în domeniul său de activitate, pentru programul de supraveghere parametrii tehnologici și mecanici.

2.3.8.3. Revizuirea programelor de calculator și a programării activităților descrise mai sus, în sensul îmbunătățirii acestora pentru asigurarea de performanțe de funcționare cât mai bune se face prin grija personalului definit la punctul 2.3.8.2. pe măsura stabilizării echipamentelor, subsistemelor, sistemelor tehnologice, agregatelor energetice de bază în funcționare sigură și de durată, economică, și pe baza experienței acumulate în activitățile specifice descrise în acest document de personalul efectiv implicat în acesta.

FIABILITATEA SISTEMULUI SUB PRESIUNE AL CAZANULUI ȘI AL CONDUCTELOR AFERENTE. URMĂRIREA COMPORTĂRII ÎN EXPLOATARE ȘI PRELUNGIREA DURATEI DE VIAȚĂ

3.1. Concepte introductive principale

Din punct de vedere ingineresc de la caz la caz, prin defect se poate înțelege:

a) orice imperfecțiune materială, fizică, geometrică, de stare, de configurare, constructivă;

b) orice deranjament, deteriorare sau stricăciune care împiedică funcționarea normală a unui sistem tehnic nominalizat (aparate, instalații, conductă, tambur cazan, rezervor etc);

c) tot ce constituie abatere față de anumite prescripții, reguli, norme, instrucțiuni stabilite pentru circumstanțe definite, într-un domeniu precizat ca atare

Acțiunea de a (se) defecta și rezultatul acesteia, împreună sau distinct, constituie o defectare, care mai poate fi și pierderea prin uzare sau prin avariere a însușirilor unui sistem tehnic corespunzătoare asigurării condițiilor normale de serviciu.

Când defectul împiedică buna funcționare a unui sistem tehnic dat sau desfășurării normale a unei acțiuni atunci este vorba de o defecțiune.

Defectarea – se înțelege ca fiind încetarea aptitudinii unui element sau dispozitiv (component sau sistem industrial) de a-și îndeplini funcția specifică.

Astfel definită defectarea poate fi, de la caz la caz, datorită utilizării necorespunzătoare, inerentă, primară (independentă), secundară (dependentă) datorită uzurii, bruscă (instantanee, brutală, rapidă) progresivă (treptată, gradată, lentă) totală sau intermitentă, catastrofală, prin degradare (prin derivă de parametrii, majoră, minoră etc.).

Riscul defectării în cazul unui component industrial este definit ca o combinație a posibilității de defectare a componentului (de obicei prin fisurarea sau deformare succesivă) și consecința acesteia.

Posibilitatea de defectare a unui component se referă la rata de defectare sau frecvența apariției fenomenului de defectare a componentului.

Consecințele defectării sunt legate de probabilitatea ca un accident grav să conducă la fenomenul de cedare.

Factorul de risc în succesiunea unui accident poate fi definit ca produsul frecvenței accidentului și consecințele care rezultă.

Modul clasic de a reduce probabilitatea defectării instalațiilor sub presiune este efectuarea de inspecții periodice cu rata de timp determinată prin acte normative și instrucțiuni interne bazate pe experiența istorică și judecata inginerească. Urmare a acestor inspecții periodice instalația este supusă

procesului de reparare sau înlocuire a componentelor ce prezintă semne de degradare sau deteriorare.

În ultimii ani sau dezvoltat metode pentru fixarea locurilor și intervalelor de inspecție pe baza factorului de risc ceea ce a condus la apariția unei metodologii cunoscute ca fiind bazate pe factorul de risc, respectiv inspecția în exploatare pe baza informației privind factorul de risc. Fiabilitatea structurii (**SR – Structural reliability**) și /sau probabilitica mecanicii ruperii (**PFM- Probabilistic fracture mechanics**) este utilizat în continuare pentru evaluarea probabilității de apariție a fenomenului de defectare a instalațiilor, iar sistemele metodologiei de evaluare a factorului de risc sunt utilizate pentru determinarea efectului defectării instalațiilor în întregul sistem.

Aceste estimări ale factorului de risc sunt utilizate pentru a clasifica importanța componentelor instalațiilor și instalațiile în cadrul sistemului conform gradului de risc.

Clasificarea conform potențialului de defectare este cheia strategiilor ISI- In-Service Inspection.

3.2. Inspecția în exploatare bazată pe factorul de risc

O instalație sau o componentă de sistem se poate defecta din motive întâmplătoare, în locuri întâmplătoare la ore întâmplătoare.

Strategia ISI se bazează pe o luare de probe, reprezentativă a locurilor de examinare și o examinare aleatoare.

Locurile de inspecție sunt definite pe baza înțelegerii degradării active a materialului sau a deteriorării mecanismului.

Scopul inspecției în exploatare este de reduce încărcările asociate cu inspecția în exploatare și menținerea unor nivele ridicate de siguranță

Rezultatul de bază poate fi exprimat sub forma unei matrice a factorului de risc care definește trei categorii mari de potențial de defectare și patru categorii de potențial de defectare dintr-o cuantificare fundamentală a probabilităților condiționale a unei deteriorări, conducând la cedarea unui component.

Pentru a aborda această problemă sau urmărit două moduri de cuantificare a probabilității de producere a fenomenului de defectare și a frecvenței acestora:

- Analiza datelor de defectare prin estimări statistice și corelări cu factori cheie (ISI raționale).

- Evaluarea factorului de risc la defectare prin analiza structurală, în special prin intermediul probabiliticii mecanicii ruperii (PFM).

3.3. Analiza datelor de defectare

Datele privind defectarea instalațiilor sunt de obicei cuantificate în termenii ratelor de defectare sau probabilităților pe unitatea de timp. Datele disponibile pot fi corelate cu mecanismele de defectare care sunt luate în considerare ca și combinații ale condițiilor de exploatare și încărcare și diferite mecanisme de degradare a materialelor care fie conduc direct la cedarea conductei sau

recipientului sau reduc capacitatea de a rezista în condițiile de încărcare tranzitorie.

În primul rând se ia în considerare influența tensiunii la proiectare care este specificată în proiecte și caiete de sarcini. Analiza datelor de exploatare a arătat totuși că nu există corelare între probabilitatea reală de cedare și tensiunile de proiect.

O caracterizare globală, a modurilor de defectare este necesară, iar în scopul analizei statistice pot fi acceptate două categorii largi:

- scurgeri (fisuri pori)
- ruperi (explozii).

Astfel mecanismele referitoare la defectarea elementelor sub presiune pot fi analizate după cum urmează:

3.3.1. Fisurarea prin coroziune sub tensiune – SCC – Stress Corrosion Cracking

Se referă la fisurarea cauzată de prezența simultană a tensiunii de întindere și mediului corosiv. Variabilele care guvernează în cazul SCC sunt: temperatura fluidului de lucru și P_h – ul acestuia, compoziția și structura metalului de bază, conținutul de impurități și tensiunile aplicate. S-au observat atât fisurare intergranulară și transgranulară. Tensiunile pot apare din orice sursă, direct aplicată, remanentă, sau tensiuni termice. Concentratorii de tensiune locală măresc în mare măsură SCC. Coroziunea fisurantă sub tensiune se analizează prin metode specifice pe epruvete COFITEN.

3.3.2. Atacul corosiv – CAR- Corrosion Attack

Atacul coroziv uniform prin fluidul de lucru, coroziunea fisurantă și în puncte pot fi grupate în această categorie.

3.3.3. Oboseala la coroziune – CF- Corrosion Fatigue

Comparația de coroziuni locale și tensiuni de întindere alternative interacționează pentru a accelera inițierea fisurii și a mării în continuare rata de propagare a fisurii la oboseală. Atacul coroziv al suprafeței metalului și defectele care rezultă, puncte și alte discontinuități sunt producători de tensiuni și amorse pentru inițierea fisurării la oboseală. Tensiunile de întindere mari cauzează deformația plastică locală ("pozitivarea "metalului crește) și ruperea peliculei de oxid protector (magnetită) accelerând astfel coroziunea locală.

3.3.4. Deteriorare la oboseală prin vibrație mecanică policiclică

- HCVF – High Cycle Mechanical Vibration Fatigue Damage
- Sub acțiunea vibrației mecanice de nivel înalt datorată:

- proiectării defectuoase a componentelor mecanice
- proiectării defectuoase a circuitului aer- gaze
- exploatarea defectuoasă a agregatului cazan
- curgere turbulentă în sistemul fierbător și convectiv al cazanului etc.
- tensiunile induse alternative sunt peste limitele de oboseală a componentelor.

Caracteristic pentru acest tip de deteriorare, este că aproape toată durata de viață la oboseală a componentelor supuse vibrației este consumată în perioada de inițiere.

Odată inițiată fisura, urmează repede cedarea.

3.3.5. Degradarea prin lovitura de berbec – WH - Water Hammer

Această degradare este tipică pentru țevi supuse accelerării sau decelerării rapide a curgerii fluidului cauzate de porniri de pompe, acțiunea elementelor de reținere din circuitul hidraulic sau a celor de închidere.

3.3.6. Proiectare, fabricație, evenimente naturale induse și defecte de origine necunoscută

Această categorie de defecte diseminează erorile de proiectare, alegerea materialului, uzinare, montaj echipamente, teste și verificări incomplete sau nerelevante la care se asociază factori naturali precum: solicitări eoliene, îngheț, temperaturi ambiante mult peste media adoptată ca bază în proiectare etc.

3.3.7. Deteriorarea sub acțiunea sarcinilor termociclice

Am lăsat la urmă această categorie de solicitări, datorită importanței deosebite în funcționarea sistemului sub presiune al agregatelor energetice cu efect direct și determinant asupra fiabilității acestora.

Pe măsura creșterii parametrilor (în special temperaturii și presiunii) proceselor tehnologice și termoenergetice moderne, transmiterea de căldură între mediile implicate și elementele sau componentele adiacente acestora s-a intensificat, starea corespunzătoare de tensiuni termice (EUT) s- a accentuat și ca urmare ponderea procentuală a deteriorărilor datorită acțiunii de sarcini termice variabile ciclic (sarcini termociclice) față de totalul deteriorărilor de natură mecanică și termomecanică (cauzate de sarcini statice, cvasisistemice, variabile, șocuri, etc) s- a mărit considerabil.

Astfel în special tamburele de cazane, sistemele vaporizatoare, fascicule supraîncălzitoare, răcitoarele de abur, conductele de înaltă presiune și temperatură, organele de închidere și de reglare din circuitele apă alimentare și abur viu sunt elementele preponderent supuse acestor sarcini din echipamentele unui CET modern.

Fenomenologic, cunoașterea proceselor de oboseală termică continuă să se afle în permanență evoluție și dat fiind deteriorările implicate de solicitările

termociclice se justifică interesul pentru studierea acestora. Cedarea prin oboseală termică "pură", datorită sarcinilor termociclice cu modificare de semn sau sens se întâlnește foarte rar și doar la elementele solicitate, concomitent printr-o sarcină mecanică nesemnificativă.

De cele mai multe ori, acțiunea deterioratoare a oboselii termice se materializează în combinație cu presurizarea interioară (tambure de cazan, sistem fierbător, conducte termoenergetice etc.), cu forțe centrifuge și sarcini din vibrații (paletaj turbină), cu alte multe tipuri de acțiuni (corosive, oxidante, erozive, radiante etc). Drept consecință deteriorarea termociclică a straturilor superficiale ale elementelor constituie doar o primă sursă de inițiere a dezvoltării fisurilor, respectiv a cedării ulterioare, finale prin acțiunea tensiunilor mecanice, statice sau ciclic variabile.

Deocamdată nu au putut fi formulate criterii de rezistență și recomandarea unor metode de calcul, care să fie universal valabile ca pentru stările de oboseală mecanică datorită, pe de o parte diferențelor mari de caracteristici ale materialelor utilizate în domeniul termoenergetic, iar pe de altă parte aspectelor mult mai complicate ale solicitării materialelor în condiții de oboseală termică (fiecare ciclu include procese de ecruisare la rece, succedate de deteriorarea ca efect al temperaturii ridicate, ciclică și statică). Totuși unele probleme au caracter de generalitate și pe baza unei generalizări a datelor – informațiilor- calitative și cantitative existente și disponibile în baza unui sistem de mentenanță predictiv adaptat specificului instalației existente rezultă elemente utile reparatorului, tehnologului și proiectantului, pentru elaborarea de soluții tehnice care elimină efectele nefaste ale tensiunilor termice (EUT).

Analiza problematicii de oboseală termică (OT) era limitată la determinarea tensiunilor termice în stadiul comportării elastice al elementelor și structurilor materiale. Ca etapă a analizei ingineresti asemenea evaluare este necesară dar nu dă informații suficiente despre disponibilitatea finală de rezistență a materialelor ductile (tenace). Pentru asemenea materiale este importantă comportarea lor în domeniul neelastice, respectiv influența deformațiilor remanente (plastice) –care apar la depășirea limitei de curgere σ_c , precum și materializarea deformațiilor plastice în condițiile acțiunii ciclice, termice și mecanice. Interpretarea tensiunilor și deformațiilor termice determinate analitic sau experimental, cu sau fără implicarea efectului fluajului va fi dependentă de starea de funcționare a elementului sau structurii și cunoașterea caracteristicii de material în mediul precizat.

Potrivit celor de mai sus exploatarea unor sisteme și structuri moderne în termoenergetică se caracterizează prin fluxul termoenergetic puternice, niveluri înalte ale intensității sarcinilor mecanice, caracterul ciclic al acțiunii solicitărilor etc.

Crescând parametrii de lucru (puteri unitare, temperaturi, presiuni), în condițiile diminuării consumurilor specifice de metal, evident s-a ajuns la amplificarea "stresului" atât a componentelor cât și a sistemelor, iar ca o particularitate principală a funcționării acestora s-a impus nestaționaritatea solicitărilor termice și mecanice, iar aceasta determină caracterul ciclic al proceselor de deformare elastoplastică a materialului, proces ce se derulează în condiții neizotermice.

Caracterul ciclic al regimurilor termice de exploatare, pe de o parte și succedarea etapelor tranzitorii cu cele staționare, pe de altă parte, generează în elemente, componente, sisteme etc. - câmpuri nestaționare de temperatură cu gradiente considerabile.

Așadar factorii generatori de deteriorări statico – repetabile în elementele, componentele, structurile și sistemele solificate puternic sunt în principal următorii:

- nestaționaritatea mecanică și termică, în funcționarea lor, materializată sub forma succesiunii de regimuri nestaționare (tranzitorii, variabile) cu cele staționare sau cvasistaționare ,

- caracterul ciclic al temperaturii și nivelul înalt la limita maximă a acestuia,
- gradientele mari de temperatură în anumite direcții (pe grosimea peretelui în lungul generatoarelor etc.)

- frecvențele mici sau relativ mici ale solicitărilor corespunzătoare ,

- agresivitatea multivocă a mediilor implicate ,

-durata considerabilă a regimurilor staționare față de cea a regimurilor tranzitorii.

Marea majoritate a elementelor și componentelor de utilaj termoenergetic funcționează în condițiile stării complexe (volumice pentru cele cu perete gros și plane pentru cele cu perete subțire) de tensiuni, în principal asigurate prin presurizarea interioară de către fluidul de lucru. Starea de tensiune are de asemenea caracter neunidimensional în cazul general al elementelor constructive cu configurație complicată, dacă acestea sunt supuse schimburilor termice, dar spre deosebire de starea de tensiuni datorită exclusiv presurizării interioare, la care simplexul tensiunilor principale este constant, în condițiile cu termocicluri apare o variație extinsă a simplexului componentelor tensiunilor în funcție – pentru elementul dat-de predominanța specifică solicitării termociclice (întindere, compresiune, încovoiere, răsucire). Exploatarea instalațiilor termoenergetice staționare se caracterizează prin fluaj la temperaturi nu prea ridicate, cu gradienti termice mici și pentru tensiuni statice mari de întindere (mai ales în zonele cu concentratori) datorită presurizării interioare.

3.4. Avarii în instalațiile energetice. Avarii caracteristice în instalațiile termomecanice ale centralelor electrice

În cele ce urmează se va prezenta o imagine de ansamblu a defectelor constatate până în prezent grupate pe tipuri de echipamente, forma lor de manifestare și cauzele posibile care le-au generat.

3.4.1. Avarii la cazanele de abur

3.4.1.1. Sistemul de vaporizare

* Tambur, colectoare, expandoare. Defectele apărute sunt de **tip fisură**.

Pomirile și opririle sunt însoțite de variații de temperatură al căror efect îl reprezintă **obosirea materialului**.

Fisurile sunt localizate în:

- zonele cu concentratori de tensiune,
- zonele cu ovalitate mare, rază de curbură mică,
- zonele cu defecte de prelucrare ,
- zonele tensionate datorită îmbinărilor prin sudură.

Dezvoltarea fisurilor este favorizată de fenomenul de **coroziune sub tensiune alternantă**.

**** Țevi de ecran.** Solicitări alternante nu apar doar la pomiri-opriri ci și în cazul spargerii unei țevi de ecran datorită scăderii bruște a presiunii.

Șocurile termice apărute în timpul efectuării probei de presiune în urma unei reparații conduc la solicitări mecanice și termice. Astfel de șocuri termice apar și în cazul declanșării PIP –urilor.

Cercetarea cauzelor vizează:

- analiza chimică a materialului,
- încercări mecanice,
- analiză metalografică.

Se va stabili caracterul fisurii (**intercristalin sau transcristalin**), tipul solicitării (**static sau dinamic**) precum și aportul coroziunii la producerea fisurii.

Cauzele spargerii țevilor de vaporizator:

- coroziunea sub tensiune,
- coroziunea sub depunere,
- răcire insuficientă a materialului țevii,
- coroziune în profunzime,
- eroziune ,
- defecte de fabricație: - excentricități, suprapuneri, fisuri, incluziuni.

3.4.1.2. Supraîncălzitorul

Temperatura ridicată la care funcționează materialul conduce la deteriorarea țevilor prin fenomenul de **fluaj**. Alte cauze care conduc la avarierea țevilor sunt:

- coroziunea interioară produsă de abur,
- coroziunea exterioară produsă de gaze,
- oxidare pronunțată (formare de scori),
- coroziunea vanadică,
- coroziunea sub depunere,
- fragilizarea îmbinărilor sudate ,
- dilatări termice frânate,
- șocuri termice (injectii) ,
- eroziune de gaze și cenușă.

3.4.1.3. Economizorul

Țevile de economizor suferă avarieri datorită următoarelor cauze:

- eroziune de cenușă ,
- eroziune cu jet de apă de la o altă țeavă,
- uzură mecanică (frecare între țevi sau țeavă și suport).

3.4.2. Avarii la conducte

Conductele sunt supuse la următoarele tipuri de eforturi:

- mecanice, datorate presiunilor interioare ale fluidului ,
- termice
 - ▶ statice - datorate dilatărilor frânate
 - ▶ dinamice – datorate diferenței de temperatură din peretele țevii apărută în perioadele tranzitorii în funcționare

Variația ciclică a acestor solicitări conduce la **obosirea materialului**. La temperaturi ridicate oboseala se suprapune peste fenomenul de degradare **prin fluaj**.

Într-o asemenea situație rezultatul îl constituie **aparitia fisurilor** în cele mai solicitate porțiuni ale sistemului de conducte.

Concentratorii de tensiune sunt reprezentați de:

- piese fasonate,
- curbe ovalizate,
- îmbinări prin sudură (tensiuni remanente, modificări structurale).

3.5. Modul de producere și măsurile de prevenire a principalelor tipuri de avarii în instalațiile termomecanice ale centralelor electrice

3.5.1. Depășirea solicitărilor

3.5.1.1. Solicitări în echipamente termomecanice

Echipamentul termomecanic este supus în timpul funcționării la solicitări complexe. Acestea depind de:

- natura solicitării,
- geometria elementului solicitat,
- evoluția în timp a solicitării.

Din punct de vedere al naturii, solicitările se clasifică în:

solicitări mecanice generate de forțe exterioare (presiunea agentului gravitație, forțe aplicate din exterior),

- solicitări termice generate de dilatări termice împiedicate
- solicitări interne reprezentate de tensiunile remanente provenite din tratamentele termice și din deformarea plastică în funcțiune a materialului.

Referitor la elementele geometrice se reține faptul că acestea conduc la

variația eforturilor unitare într-o anumită secțiune a piesei solicitate. Acestea sunt reprezentate de:

- neregularități geometrice,
- concentratoare de tensiune,
- neuniformități spațiale a cauzei care produce solicitarea.

Evoluția solicitărilor în timp. Solicitățile sunt periodice și se caracterizează prin frecvență relativ joasă (solicitățile de natură termică și mecanică).

Aceste solicitări provoacă obosirea materialului care se suprapun peste degradarea prin fluaj la temperatură ridicată, fiind determinante în calculul duratei de viață a elementului analizat.

3.5.1.2. Factori determinanți ai solicitărilor

A. Solicitări mecanice Presiunea fluidului vehiculat prin țevă, solicită materialul pe direcție axială, tangențială și radială. În materialul țevii iau naștere:

- * eforturi unitare tangențiale σ_{tp}
- * eforturi unitare axiale σ_{ap}
- * efortul unitar radial σ_{rp}

B. Tensiuni interne. Acestea sunt generate de:

- * procesul de fabricație (contractia după turnare și tratament termic),
- * montajul (contractia materialului după sudură, efectul TT),
- * exploatarea (probe hidraulice, procese tranzitorii),

C. Concentratoarele de tensiune. Acestea sunt reprezentate în general de:

- * neomogenități geometrice (orificii, șanțuri superficiale, modificări de grosime etc.),
- * ovalități ale secțiunilor circulare.

Eforturile unitare maxime apar în zona concentratorilor de tensiune

Coefficientul de concentrare depinde de:

- tipul concentratorului,
- natura solicitării (mecanică, termică, statică, dinamică).

D. Fluajul

Degradarea materialului metalic apare în urma exploatării de lungă durată sub efort unitar constant și temperatură constantă.

Accelerarea procesului de degradare prin fluaj are loc în timpul proceselor tranzitorii datorită eforturilor unitare mai mari decât cele de regim.

Temperatura ridicată modifică compoziția fazelor și morfologia constituenților metalografici. Rezultă în aceste condiții scăderea rezistenței materialului. Modificarea de structură conduce la deformarea continuă și remanentă, **curgere lentă a materialului** în timp cunoscută sub denumirea de fluaj.

Stadiile fluajului sunt:

- **fluajul primar** în care fenomenul nu este încă stabilizat
- **fluajul propriu-zis** în care fenomenul progresa uniform în timp **fluajul**

accelerat corespunde momentului premergător de distrugere prin rupere a materialului.

Fluajul este un fenomen care apare încă de la punerea în serviciu a materialului.

Distrugerea materialului prin fluaj, la nivel microstructural se manifestă atât **intercristalin** cât și **transcristalin** prin formarea de microspații (pori) și microfisuri dispuse pe limita grăunților cristalini sau pornind din vecinătatea acestora.

3.5.1.3. Schema de calcul a solicitărilor în echipamentele termomecanice

Complexitatea problemei derivă din:

- modificarea de stare a agentului termic,
- calculul coeficienților de transfer de căldură,
- determinarea câmpului de temperatură în materialul piesei solicitate,
- calculul solicitărilor mecanice și termice,
- calculul solicitărilor echivalente și compararea cu solicitarea admisibilă.

Rezolvarea se bazează pe tehnici de calcul care țin cont de natura fenomenelor, structura pieselor și ipotezele simplificatoare.

Metoda de calcul.

Sinteza metodelor de calcul definește:

- principiul metodei ,
- tehnologie de rezolvare,
- rezultatele obținute.

Metoda diferențelor. Este utilizată pentru determinarea câmpului de temperatură.

Coeficientul de transfer de căldură. Se reține că la funcționare în regim tranzitoriu, acesta variază în limite largi ,determinarea lui fiind condiționată de curgerea fluidului.

Solicitările. Acestea sunt de natură mecanică (presiune ,gravitație) și de natură termică. Solicitarea totală este evident una singură, rezultată prin însumarea celor două tipuri de solicitări, ponderea lor fiind determinată de regimul de solicitare (staționar sau tranzitoriu).

Caracteristicile materialului. Solicitățile efective se compară cu solicitările admisibile care depind de material (rezistența la fluaj și la oboseală), însă se va ține seama de variația proprietăților materialului cu temperatura, în special a limitei de curgere.

3.5.1.4. Elemente de calcul

Elementele de calcul sunt utilizate la dimensionarea tuburilor sub presiune, încălzite în regim staționar, cvasistaționar și în regim de joc termic.

Determinarea stării de tensiune se bazează pe calculul următoarelor elemente:

ciclică și la fluaj, modificând ordinea de aplicare a celor două tipuri de solicitări. Se constată că rezistența materialului depinde și de ordinea de aplicare a solicitărilor.

Durata de viață a echipamentelor solicitate la fluaj rezultă din modul de calcul al acestora.

În general se admite un efort unitar de calcul σ determinat din rezistența de rupere a materialului după 100 000 ore de funcționare, la temperatura de funcționare t , $\sigma_{r,10^5}^t$, prin împărțirea cu un coeficient de siguranță, a cărui valoare este de obicei 1,5

$$\sigma = \frac{\sigma_{r,10^5}^t}{1,5} \quad (3.2)$$

În consecință, la dimensionare se prevede o rezervă, în funcție de material, cu o prelungire a duratei medii de viață efective. O parte din rezervă acoperă dispersia valorilor de rezistență a materialului, în jurul valorii medii de calcul. Limitele între care se încadrează dispersia este de $\pm 20\%$. Luând în considerare limita inferioară a rezistenței, se poate defini ca durată minimă de viață a materialului care corespunde **valorii 0,8** $\sigma_{r,10^5}^t$.

Durata de viață este influențată, pe lângă fluaj, și de caracterul oscilant al solicitărilor, care contribuie la obosirea materialului, de mărimea factorilor de concentrare a tensiunilor și de abaterile de funcționare de la valoarea nominală a temperaturii. De aceea durata de viață restantă trebuie să fie verificată în cursul exploatării instalațiilor. Modificările de structură a materialului, ca urmare a obosirii materialului, pot fi detectate în principiu prin determinarea comparativă a densității, a conductivității termice și electrice, a permeabilității și a altor proprietăți fizice. Între o stare inițială etalon și starea constatată după o perioadă de funcționare. Aceste posibilități principiale nu au putut fi încă valorificate în cadrul unor metode de verificare în exploatare a stării materialului.

Sfârșitul duratei poate fi caracterizat prin apariția unei fisuri a cărei lungime este critică, adică a cărei dezvoltare este spontană. Efortul unitar necesar pentru dezvoltarea spontană este:

$$K = c\sigma\sqrt{a} \quad (3.3)$$

în care: c - este o constantă; a - lungimea fisurii; σ - efortul unitar nominal normal pe planul fisurii.

Lungimea critică a fisurii este:

$$a = \left(\frac{K_{10}}{c\sigma} \right)^2 \quad (3.4)$$

în care K_{10} este valoarea limită critică a efortului unitar.

3.5.2. Avarii produse la depășirea solicitărilor limită

Elementele componente ale echipamentelor termomecanice sunt supuse la solicitări limită, în condiții în care funcționarea este caracterizată de:

- solicitări ciclice de frecvență coborâtă la cazane ,
- depășirea temperaturilor nominale,
- prezența concentratoarelor de tensiune,
- împiedicarea dilatării libere a țevilor,
- suprasarcinile în focare,
- calitatea materialului,
- defecte de execuție.

3.5.2.1. Solicitări ciclice de frecvență coborâtă la cazane

Solicitările ciclice au două componente caracterizate prin frecvență și amplitudine. Se disting:

- solicitări cu frecvență coborâtă și amplitudine mare specifice regimurilor tranzitorii ,
- solicitări cu frecvență ridicată și amplitudine mică specifice regimurilor staționare de frecvență.

Un exemplu elocvent al primului tip de solicitare, îl constituie pornirea unui cazan. În fig. 3.9 este ilustrată grafic variația presiunii și temperaturii în timpul pornirii, creșterea de presiune fiind **constantă sau optimizată**, urmărindu-se ca **solicitarea termică să fie constantă**.

În zonele concentratoarelor de tensiune, se produc amplitudini locale maxime ale solicitărilor ciclice, provocatoare de **fisuri** (tambur, colectarea, vaporizator s.a)

3.5.2.2. Depășirea temperaturilor nominale

Prin depășirea temperaturilor nominale de funcționare, se reduce durata de **“viață”**. Avariile au avut loc la elementele în care schimbul de căldură are loc atât prin **radiație** cât și prin **convenție**.

3.5.2.3. Concentratoare de tensiuni la cazane

S-a subliniat faptul că solicitarea locală maximă, apare în zona concentratorilor de tensiune reprezentați în primul rând de neregularitățile geometrice.

Un caz tipic îl constituie coturile țevilor neîncălzite ale cazanelor. Avariile se manifestă prin spargeri longitudinale în zona neutră a coturilor.

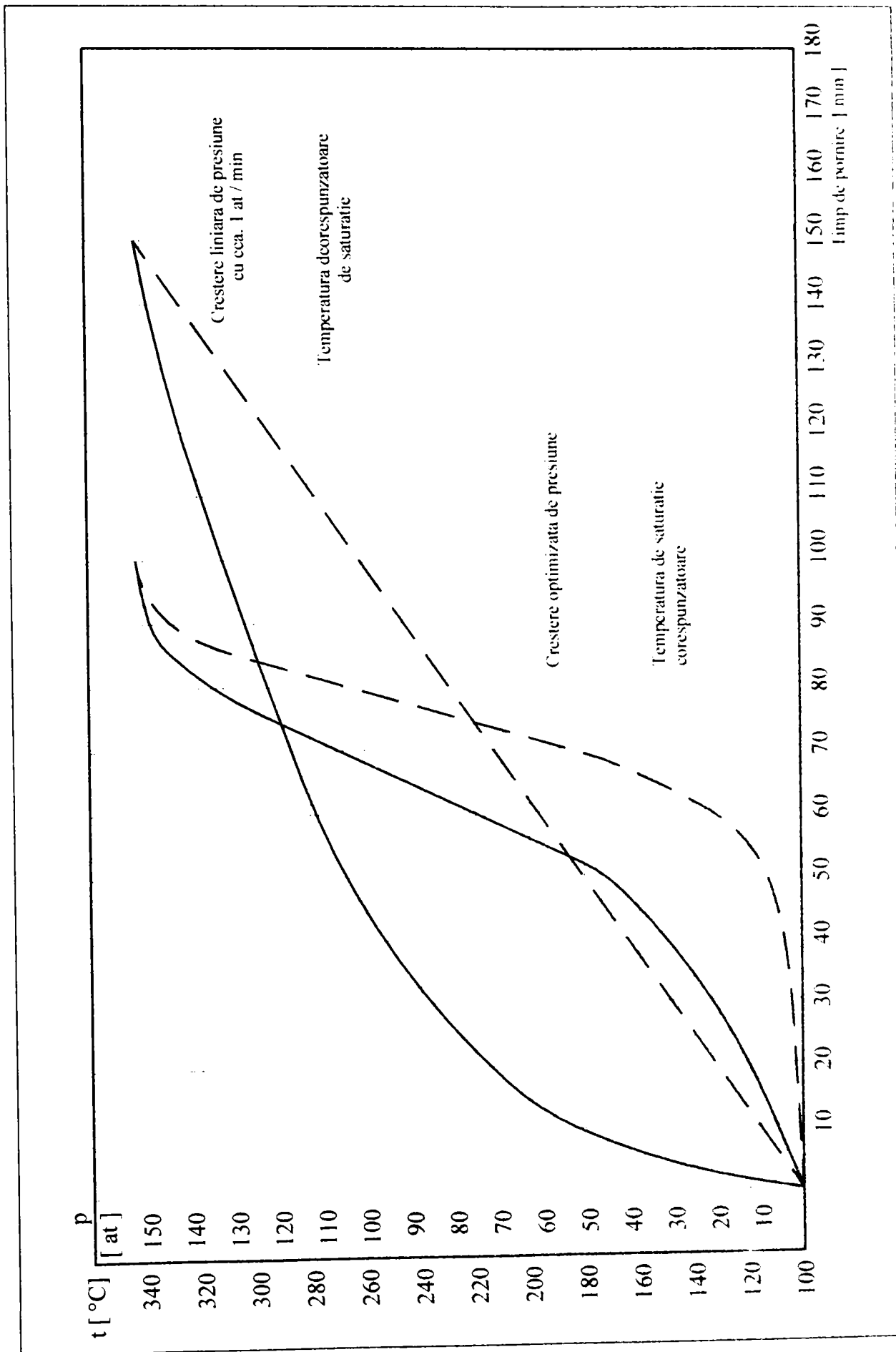


Fig. 3.1. Creșterea temperaturii de saturație, la creșterea liniară și optimizată a presiunii (1 at = 0,981 bar)

Împiedicarea dilatării libere a țevilor

Dilatarea împiedicată creează în material eforturi foarte mari, care dacă depășesc limita de rupere a materialului, pot conduce la avarii.

Astfel de situații se întâlnesc în cazul țevilor de supraîncălzitor, vaporizator, colectoare, unde frâna o constituie înzidirile, suportii de susținere, elementele învecinate s.a.

Suprasarcini în focare

Suprasarcinile apărute în focarele generatoarelor de abur conduc în majoritatea cazurilor la spargeri de țevi. Datorită impulsului, spărtura din țeavă se amplifică și poate provoca avarierea țevilor învecinate sau distrugerea zidăriei.

Pentru a evita acest tip de avarii se proiectează sistemul fierbător din țevi cu diametru mic, țevile coborâtoare fiind așezate în spațiul deschis.

Efectul distructiv este diminuat în situația în care ecranele sunt construite din țevi cu aripioare sudate între ele. Un alt tip de avarie este explozia ce are loc în focar în cazul în care drept combustibil se utilizează gazul.

Calitatea materialului

Există cazuri în care elementele echipamentului termomecanic suferă avarii datorită faptului că au fost ignorate criteriile de selecție ale materialelor precum: termorezistența, rezistența la coroziune, prelucrabilitatea, sudabilitatea, răspunsul la tratament termic și altele.

Defecte de execuție

La fabricație pot apare diferite tipuri de neomogenități ale materialului precum: suprapuneri, stratificări, rizuri, incluziuni, fisuri, provocate de obicei de incluziunile conținute în blocul brut. Asemenea defecte se regăsesc în special la elementele fasonate de tip "Y".

Execuția sudurilor care lucrează la presiuni și temperaturi ridicate, constituie și ea cauza a numeroase defecțiuni.

Apariția fisurilor transversale în cazul unei îmbinări prin sudură cu modificare de secțiune nu pot fi explicate numai prin eforturile mecanice de durată care iau valori maxime pe generatoarea țevii. Eforturile care produc fisuri transversale în apropierea sudurilor, provin din eforturile produse de presiunea internă, concentrarea de eforturi prin modificarea diametrului sau grosimii peretelui celor două piese îmbinate prin sudură și componenta longitudinală a tensiunilor interne din sudură.

3.6. Mentenanța predictivă a agregatului cazan

În procesul curent de exploatare a cazanelor de abur din centralele termoelectrice, un loc important îl ocupă organizarea și planificarea activității de întreținere și reparație.

Pentru a optimiza aceste activități (vizând în special reducerea costurilor de reparație și de creștere a gradului de disponibilitate a agregatului cazan și a siguranței în exploatare) tendința este de a elabora și implementa o strategie unitară privind repararea, întreținerea, modernizarea și modul de exploatare a cazanelor de abur. Reușita acestei activități implică necesitatea culegerii de

informații cât mai corecte privind exploatarea cazanului analizat, un program de mentenanță coerent și unitar racordat la sistemul computerizat de achiziție a datelor de proces și urmărire a principalilor parametri ai instalației în exploatare

Îmbinarea analizei termice a focarului, pentru diferite sarcini de funcționare și pentru diferite configurații de arzătoare (pentru combustibilul de adaos) cu metodologiile de determinare a tensiunilor termice din pereții membrană și cu metodele de determinare a duratei de viață remanente a țevilor din cadrul sistemului vaporizator, poate asigura succesul programului prin:

- stabilirea zonelor focarului cele mai încărcate termic comparând tensiunile termice din peretele membrană în funcționarea cu cele admisibile;

- stabilirea gradului de epuizare a duratei de viață a pereților – membrană, în ansamblul lor, datorită neuniformității regimului de funcționare a cazanului în timp.

3.6.1. Analiza avariilor la sistemul sub presiune al cazanului și aplicarea mentenanței predictive și preventive (aplicație la K de 420 t/h)

La CET Halânga în cadrul sistemului de mentenanță conform Planului de referință pentru reparații, analiza avariilor produse la sistemul sub presiune al cazanului se face în cadrul unui colectiv mixt care le monitorizează gestionând „Managementul spargerilor țevilor de cazan”.

În acest colectiv sunt suprinși specialiști din următoarele compartimente:

- Secția Exploatare Cazane
- Tratarea Chimică a Apei
- Responsabili I.S.CI.R. care asigură secretariatul comisiei
- Responsabilul cu sudura din cadrul Atelierului de Sudură și Control

Nedistructiv

- Șeful Serviciului Tehnic

și Directorul însărcinat cu reparațiile în centrală care coordonează această activitate.

Analiza fiecărui incident este abordată prin prisma tuturor solicitărilor la care este supus elementul analizat:

- parametri de exploatare
- parametri chimici ai fluidului care circulă prin conductă
- istoricul fabricației montajului și reparațiilor executate până la data avariei
- analizele macro și microscopice asupra materialului de bază și a îmbinărilor sudate executate.

Toate informațiile sunt cuantificate în cadrul unui program care are ca principal scop:

- identificarea cauzei reale a avariei;
- trasarea hărții incidentelor la suprafețele schimbătoare de căldură ale cazanului pentru o eventuală înlocuire în cadrul reparațiilor planificate;
- eliminarea defectelor sistematice;
- îmbunătățirea condițiilor de exploatare;
- îmbunătățirea parametrilor chimici ai apei de cazan;

- mărirea gradului de disponibilitate ale agregatului cazan.
 Figurile 3.2, 3.3, 3.4 și 3.5 exemplifică succint aspecte din această activitate.

Studiu metalografic - Copyright (c) 1997, 3sd

Selecție

Avarie Reparație anuală
 Reparație tehnică Reparație capitală

Tip: Data avarie: 21.08.2000
 Cazanul: Tip sup. de schimb: E - Economizor

Localizare E: Zona: a Felia: 4 Teava: 26
 Câmpul: IV Serpentina: S1

Poziția față de sensul G.A.: Forma de manifestare:

Poziționare: Vertical Stut colector
 Orizontal Cot

EROZIUNE - nepatrunsa
 - pătunsa
 POR TEAVA - in peretele tevii
 - in sudura fabrica, montaj
 FISURA - in peretele tevii
 - in sudura fabrica, montaj
 - in sudura reparatie
 EXPLOZIE TEAVA
 DEZAXARE SUDURA MONTAJ

Detect provocat de:
 Lovire de alta teava
 Eroziune prin jet din alta teava
 Eroziune prin frecare suportii sau tevi
 Eroziune prin cenusă
 Eroziune prin jet sulfatori
 Calitatea necorespunzătoare a materialului tevii

Mod de remediere:
 Stularie
 Incaiere cu sudura
 Anulare serpentina cu scoalere
 Anulare serpentina fara scoalere
 Repunere in pozitie a tevii cazute

Date analiza
 Material: Dunitate MB: UM MB: Dunitate ZIT:
 UM ZIT: Dunitate SU: UM SU: Comp chimica:
 Cale imagine:

Aadauga
 Modifica
 Sterge
 Selecție ▼

V5 - Visualizare rapida/E8 - Detali avarie/E7 - Localizare avarie/

Fig. 3.2. Plan referință reparații C.F.HAI. ANGA. Aplicație program de mentenanță predictivă. Detaliu avarie I

Selecție

Vizualizare rapida

Caz	Tip	Data	Tip supr.	schimb	Descr. forma manif.1	Descr. defect	Descr. mod remed.	Teava
1 A	E	21.08.2000	Economizor		Eroz nepatrunsa	Erodare prin cenusa	Stutare	26
1 A	E	21.08.2000	Economizor		Eroz nepatrunsa	Erodare prin cenusa	Stutare	26
1 A	V	26.09.2000	Vaporizor		Por t in peretele tevii	Calitate necoresp. mal Inlocuire parte PM	PM	36
1 A	V	26.09.2000	Vaporizor		Fisura in zona sud -Long	Tehnologie necoresp. mal Inlocuire parte PM	PM	91
1 A	V	26.09.2000	Vaporizor		Fisura in zona sud -Trans	Tehnologie necoresp. mal Inlocuire parte PM	PM	110
1 A	V	26.09.2000	Vaporizor		Eroz nepatrunsa	Erodare	Inlocuire parte PM	111
1 A	V	26.09.2000	Vaporizor		Eroz nepatrunsa	Erodare	Inlocuire parte PM	117
1 A	V	26.09.2000	Vaporizor		Fisura in zona sud -Trans	Tehnologie necoresp. mal Inlocuire parte PM	PM	118
1 A	V	26.09.2000	Vaporizor		Fisura in zona sud -Long	Tehnologie necoresp. mal Inlocuire parte PM	PM	34
1 A	V	28.09.2000	Vaporizor		Por t in peretele tevii	Calitate necoresp. mal Inlocuire parte PM	PM	53
1 A	V	29.09.2000	Vaporizor		Por t in peretele tevii	Calitate necoresp. mal Inlocuire parte PM	PM	57
1 A	V	29.09.2000	Vaporizor		Fisura in zona sud -Long	Tehnologie necoresp. mal Inlocuire parte PM	PM	2
1 A	V	12.10.2000	Vaporizor		Fisura in zona sud -Long	Tehnologie necoresp. mal Inlocuire parte PM	PM	139
1 A	V	12.10.2000	Vaporizor		Fisura in zona sud -Trans	Tehnologie necoresp. mal Inlocuire parte PM	PM	75
1 A	E	12.10.2000	Economizor		Eroz patrunsa	Erodare jet alla teava	Stutare	17
1 A	E	12.10.2000	Economizor		Eroz nepatrunsa	Erodare jet alla teava	Stutare	18
1 A	E	12.10.2000	Economizor		Eroz patrunsa	Erodare jet alla teava	Stutare	17
1 A	E	12.10.2000	Economizor		Eroz nepatrunsa	Erodare jet alla teava	Stutare	18
1 A	E	12.10.2000	Economizor		Eroz nepatrunsa	Erodare jet alla teava	Stutare	17
1 A	E	12.10.2000	Economizor		Eroz nepatrunsa	Erodare jet alla teava	Stutare	18
1 A	E	12.10.2000	Economizor		Eroz patrunsa	Erodare jet alla teava	Stutare	15
1 A	E	12.10.2000	Economizor		Eroz patrunsa	Erodare jet alla teava	Stutare	18
1 A	SFS	12.10.2000	Supraincalz pt		Eroz patrunsa	Erodare	Stutare	65
1 A	SFS	12.10.2000	Supraincalz pt		Eroz nepatrunsa	Erodare	Stutare	65

F5 - Vizualizare rapida / F6 - Detalii avarie / F7 - Inlocuire avarie

Adauga
Modifica
Sterge
Selecție

Info
Exit

Fig. 3.3. Plan referință reparații CHEILĂŢI. Aplicație program de mentenanță predictivă. Detalii avarie 2

Selecție

Vizualizare rapida

Descr. defect	Descr. mod remed.	Teava	Calea spre imagine	Data sfarsit	Descr. forma mar
Erodare pînă cenusă	Stutare	26			
Erodare pînă cenusă	Stutare	26			
Calitate necoresp. mal înlocuire parte PM		36			
Tehnologie necoresp. înlocuire parte PM		91			
Tehnologie necoresp. înlocuire parte PM		110			
Erodare	înlocuire parte PM	111			
Erodare	înlocuire parte PM	117			
Tehnologie necoresp. înlocuire parte PM		118			
Tehnologie necoresp. înlocuire parte PM		34			
Calitate necoresp. mal înlocuire parte PM		53			
Calitate necoresp. mal înlocuire parte PM		57			
Tehnologie necoresp. înlocuire parte PM		?			
Tehnologie necoresp. înlocuire parte PM		139			
Tehnologie necoresp. înlocuire parte PM		75			
Erodare jet alta teava	Stutare	17			
Erodare jet alta teava	Stutare	18			
Erodare jet alta teava	Stutare	17			
Erodare jet alta teava	Stutare	18			
Erodare jet alta teava	Stutare	17			
Erodare jet alta teava	Stutare	18			
Erodare jet alta teava	Stutare	15			
Erodare jet alta teava	Stutare	18			
Erodare	Stutare	65			
Erodare	Stutare	65			

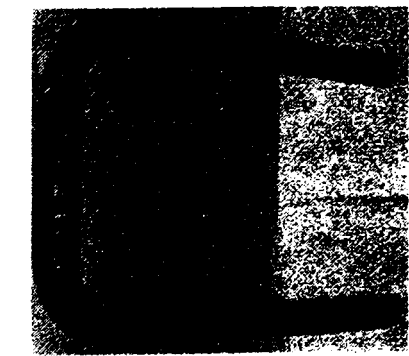
Navigatione pînă avante/reparabile cazandului 1. Sortare după DATA AVARIEI

V5 - Vizualizare rapida / E - Detalii avarie / F - Vizualizare 3D

- Adauga
- Modifica
- Sterge
- Selecție ▾

11/10
1997

Fig. 3.4. Plan referință reparații CHEHALANGA. Aplicație program de mentenanță predictivă. Detalii avarie 3



Probă marcaj nr. 2, 100×
Structura materialului de bază.
Atac nital 1%.



Probă marcaj nr. 2
Coroziune marginală interioară, 150%
Atac nital 1%



Probă marcaj nr. 2, 100×
Incluziuni nemetalice.
Atac nital 1%.

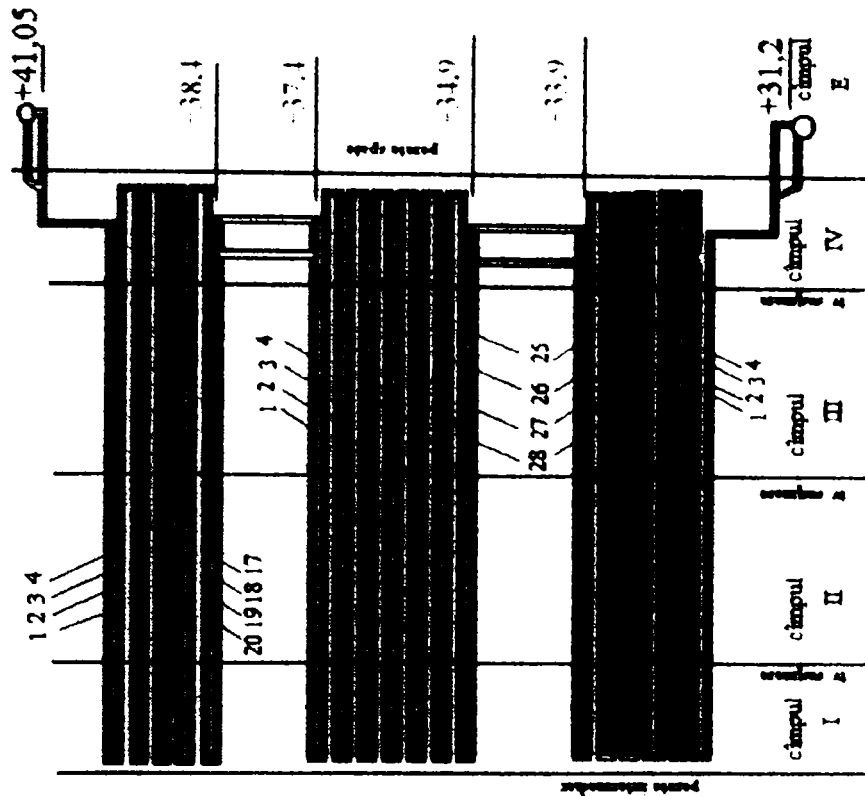


Fig. 3.5. Avarie economizor K1 din data de 21.08.2000

3.6.2. Menținerea sistemelor de conducte de Înaltă Presiune (IP) și Înaltă Temperatură (IT) aferente agregatului cazan

3.6.2.1. Scop

Pentru a putea realiza un calcul al duratei restante de viață a conductelor aferente cazanului de 420 t/h este necesar un volum mare de informații care se referă la funcționarea conductelor suporturilor și echipamentelor conexe. Aceste informații pot fi obținute din:

- Înregistrările privitoare la funcționarea conductelor IP, IT (presiune, temperatură, debit)
- Măsurători la rece și la cald pentru funcționarea suporturilor;
- Urmărirea înlocuirilor realizate în sistemul de conducte față de proiect și față de modificările ulterioare;
- Măsurători de sarcini pe suport și deplasări ale conductelor cu ajutorul unor sisteme de măsurare;
- Măsurarea nivelului vibratoriu al conductelor;
- Determinarea prin calcul a nivelului vibratoriu;
- Determinarea răspunsului conductelor la acțiunea undelor seismice sau a undelor de șoc provenite de la curgerea nestaționară;

Toate aceste activități reprezintă modul în care a conceput monitorizarea având drept scop primordial culegerea datelor necesare realizării unui calcul cât mai precis al duratei de viață al cărei scop final este determinarea zonelor care trebuie înlocuite.

3.6.2.2. Direcții principale de monitorizare necesare în procesul de mentenanță

Direcțiile principale de monitorizare sunt de fapt două și anume:

- monitorizarea comportării statice a conductelor IP, IT;
- monitorizarea comportării dinamice a conductelor IP, IT;

Monitorizarea comportării statice a conductelor IP, IT include:

- înregistrările privitoare la funcționarea conductelor IP, IT (presiune, temperatură, debit)
- măsurători ale suporturilor la montaj, la rece și la cald;
- urmărirea înlocuirilor realizate în sistemul de conducte față de proiect și față de modificările ulterioare;
- măsurători de sarcini pe suport și deplasări ale conductelor cu ajutorul unor sisteme de măsurare.

3.6.2.3. Facilități ale utilizării bazelor de date în sistemul de monitorizare

Pentru o folosire eficientă a informațiilor la care ne-am referit anterior este necesar un acces rapid la informație și un acces gradual pe diferite nivele. Din

acest motiv se alege ca suport de stocare al acestor informații o bază de date relațională care permite ca accesul la informație să se facă rapid și să se poată extrage informațiile de care avem nevoie în timp foarte scurt, cu următoarele avantaje:

- accesarea ușoară și în timp foarte scurt a datelor folosite în calculul duratei restante de viață
- depistarea rapidă a locului de tăiere în cazul apariției unor fisuri prin cunoașterea cartogramei sudurilor
- posibilitatea realizării automate a specificației de materiale pentru fiecare circuit, necesară comandării unor subansamble
- posibilitatea rapidă de identificare a tuturor elementelor componente ale unui subansamblu (ex. Suport cu elemente componente) totul până la datele de catalog ale elementului respectiv cu posibilitatea de scoatere la imprimantă a oricărei informații de pe ecran 24h din 24h (vezi anexa 2).
- posibilitatea rapidă de identificare a elementelor componente ale unui tronson cu tot cu date funcționale și desen de execuție pentru fiecare din ele 24 h din 24h.

3.6.2.4. *Perspective de lărgire a monitorizării în domeniul măsurărilor directe ale forțelor pe suport ale deplasărilor conductei în diferite puncte în domeniul vibrațiilor conductelor datorate echipamentelor și în domeniul răspunsului conductelor la acțiunea undelor seismice.*

În viitor suntem preocupați de o lărgire a gamei de monitorizare atât a componentei statice cât și de o extindere în domeniul dinamic.

Pentru domeniul static, măsurarea efectivă a forței pe suporti, lucru ce se poate realiza printr-un traductor de forță montat pe una din mufele de prelungire sau strângere din cadrul lanțului elementelor componente ale unui suport. Acest lucru creează posibilitatea verificării în primul rând a răspunsului static reprezentat de forța rezultată din calcul într-un anumit punct de pe circuit cât și posibilitatea studierii variației caracteristicilor arcurilor sau a suportilor cu sarcină constantă după câteva porniri și opriri ale blocului rezultând de aici eventual schimbarea unor arcuri sau SSC datorită deteriorării caracteristicilor stabilite la fabricație.

Măsurarea deplasărilor conductelor în anumite puncte ne creează premisele studierii încadrării în anumite limite admise ale acestora, precum și verificarea răspunsului static al conductelor din punct de vedere al deplasărilor.

Prin montarea traductoarelor pentru măsurarea deplasărilor în punctele în care sunt anumiți suporti importanți obținem de fapt răspunsul static real al sistemului de conducte precum și limitele de variație al acestuia la rece la cald și în domeniu intermediar.

Extinderea monitorizării în domeniu dinamic a devenit o necesitate datorită deselor probleme care se datorează unor efecte dinamice care nu au avut o pondere importantă în proiectarea care s-a realizat până acum. În condițiile de azi în care se pune problema unei mentenanțe predictive a unui sistem de conducte efectele dinamice nu mai pot fi neglijate și ocupă un loc tot mai important în

activitatea de proiectare. În ultima vreme se observă pe plan mondial tendința de proiectare sau re-proiectare a unui sistem de conducte care să fie cât mai elastic în defavoarea curentului de rigidizare care a fost folosit până acum. În acest caz efectele dinamice au o importanță deosebită datorită faptului că elasticizarea unui sistem de conducte duce la scăderea frecvenței proprii a sistemului ce poate duce la o posibilă suprapunere a acesteia peste frecvența proprie a unui subsansamblu component al sistemului (ex. pompa), rezultatul ducând la crearea de probleme deosebite. Din acest motiv apare necesitatea unui calcul dinamic al circuitului în care să se ia în considerație toate fenomenele dinamice ce pot să apară de la cele datorate frecvenței proprii de funcționare la regim a unor echipamente până la cele datorate loviturilor de berbec, eșapărilor. etc.

3.6.3. Programul de supraveghere parametrilor tehnologici și mecanici de funcționare

Programul de supraveghere parametrilor tehnologici și mecanici de funcționare a echipamentelor, subsistemelor, sistemelor tehnologice, până la nivel de echipament energetic de bază, se efectuează în cadrul Biroului de urmărire a utilajelor, cu personal special desemnat, fiecare în zona sa de activitate conform unui program clar definit, împreună cu specialiștii din compartimentul tehnologic.

- parametrilor tehnologici și mecanici avuți în vedere pentru aducerea la îndeplinire a prevederilor programului sunt:

- debite,
- presiuni,
- temperaturi,
- nivele,
- dilatări (relative și totale),
- deplasări,
- încărcarea suporturilor (în principal cei de efort constant),
- caracteristicile apei de alimentare ,
- caracteristicile fluidelor de ungere și acționare hidraulică.

3.6.3.1. Evaluarea parametrilor

3.6.3.1.1. Pentru măsurarea parametrilor tehnologici și mecanici de funcționare a echipamentelor se folosesc formulare tipizate conform PE –urilor:

- Formulare de exploatare tipizate care se folosesc în mod curent de personalul de exploatare pentru înregistrarea operativă a parametrilor tehnologici de funcționare;

- Formulare de măsurători tipizate pentru parametrilor mecanici folosite de personalul de reparații în exclusivitate pentru supravegherea acestor parametrilor.

Elaborarea acestor formulare se face prin grija serviciilor tehnologice, fiecare în domeniul său de activitate, formatul și conținutul acestora înainte de

implementarea în practică fiind convenite cu personalul de exploatare, cu respectarea prescripțiilor specifice (ISCIR, C-29 etc.). La elaborarea acestor formulare trebuie avute în vedere respectarea cerințelor de simplitate, comoditate, claritate, ușurință în completare, pe care trebuie să le satisfacă. Formularele trebuie să conțină, pentru fiecare parametru monitorizat valorile limită maximă și minimă pentru evaluarea imediată, evaluarea finală fiind făcută la nivelul serviciilor tehnologice, fiecare în domeniul său de activitate prin personalul de specialitate a acestora, consultând documentația specifică (ICPET, ISPE, Cărți tehnice etc.).

În continuare avem două situații distincte:

a. parametrii normali - respectiv parametri de funcționare tehnologici și mecanici care se încadrează, funcție de regimul de încărcare, în domeniul normal de funcționare caz în care se procedează astfel:

* înregistrarea parametrilor pe diagrame special elaborate, după caz, în evidențe speciale pentru păstrarea acestora pe toată durata de funcționare a echipamentului sau sistemului tehnologic respectiv.

* introducerea în programul de supraveghere a parametrilor tehnologici și mecanici, a frecvențelor de efectuare a supravegherii conform programului inițial, sau cu frecvență mărită funcție de evoluția acestora în timpul exploatării.

b. parametrii anormali, respectiv parametri tehnologici și mecanici nu se încadrează în domeniul normal de funcționare, caz în care se procedează la analizarea și expertizarea cauzelor care conduc la depășirea valorii normale.

Această analiză se face de personalul de exploatare, prin șeful de tură ca fiind cei mai buni cunoscători ai stării tehnice operative a sistemelor, personalul de reparații prin maestrul șef de formație, după caz, funcție de gravitatea situației de șeful său ierarhic (respectiv șeful de atelier, secție) și de inginerul responsabil din cadrul serviciilor tehnologice.

Funcție de complexitatea și gravitatea situației pentru analiză și expertizare se apelează la proiectanți de specialitate, specialiști ai furnizorului de echipament, specialiști din alte filiale cu echipamente de același tip.

* Funcție de rezultatul și concluziile la care se ajunge în urma analizei se fac recomandări pentru remedierea defectului, pentru exploatarea în continuare a echipamentului sau agregatului, inclusiv supravegherea specială a acestuia dacă este cazul.

3.6.3.2. Evaluarea defectului

a. prin "**defect minor**" se înțelege acel defect care prin funcționarea în continuare al echipamentului sau sistemului nu pune în pericol integritatea acestuia și nu conduce la pierderea funcțiilor tehnologice din cadrul echipamentului energetic de bază. După caz se iau următoarele măsuri, și anume funcționarea sub supraveghere atentă în continuare și introducerea imediată în programul de reparații preventive pentru perioada următoare a acestuia.

b. prin "**defect major**" se înțelege acel defect, care prin funcționarea în continuare a echipamentului sau sistemului pune în pericol integritatea acestora și poate conduce imediat sau în scurt timp de funcționare în aceste condiții la

pierderea funcțiilor tehnologice în cadrul echipamentului energetic de bază.

După caz se iau următoarele măsuri - pregătirea pentru oprire în regim controlat, în prevenirea de avarie și asigurarea condițiilor pentru reparații și introducerea imediată în programul de reparații corective.

Având clar modul de desfășurare a programului de reparații predictive, în cele două laturi ale sale definite anterior sunt create premisele necesare de implementare a cerințelor acestui program, aplicarea lui întocmai fiind condiționată de asigurarea cadrului tehnic, organizatoric și de dotare care trebuie să pună personalul de exploatare și de reparații mecanice în situația cunoașterii permanente a stării tehnice a echipamentelor și sistemelor tehnologice pe de o parte și pe de altă parte deciziile și hotărârile care se iau privind acțiunile preventive sau corective care trebuie să fie luate pentru menținerea stării tehnice la standardul de calitate impus sunt întotdeauna în perfectă cunoștință de cauză bazate pe realitățile efective, determinate prin analize - expertize obiective.

3.6.4. Referitor la programul de supraveghere a parametrilor funcționali și mecanici, se precizează:

a. Codul de identificare a fiecărui echipament, subsistem, sistem tehnologic conform codificării alfa numerice date de proiectantul general al centralei – ISPE;

b. Caracteristicile tehnice și funcționale ale echipamentelor, componentelor, sistemelor tehnologice, a parametrilor tehnologici și mecanici ai acestora care se regăsesc în documentațiile proiectantului general ISPE, proiectanților de echipamente și subsisteme - ICPET, PROMT, VULCAN etc.;

c. Diagramele graficele și tabelele specifice supravegherii echipamentelor și sistemelor tehnologice;

d. Informațiile conținute în rapoartele de tură care se prelevează pentru programul de supraveghere a parametrilor funcționali și mecanici.

Toate aceste documente se elaborează în cadrul Biroului de urmărire a utilajelor cu ajutorul serviciilor tehnologice, în colaborare cu secțiile de reparații și exploatare.

3.6.5. Criterii de acceptare

3.6.5.1. *Criteriile de acceptare pentru cele două categorii majore de activități specifice programului de reparații predictive se stabilesc , teoretic, încă din faza de desfășurare a probelor tehnologice, de punere în funcțiune a echipamentelor, fiind clar precizate în procedurile operaționale de lucru și control specifice pe activități.*

Deoarece această activitate este în faza de început în RENEL respectiv în cadrul FE Drobeta Tr. Severin, aceste proceduri vor fi elaborate în timp, iar aplicarea lor va fi aproape simultană cu aceasta.

Aceste proceduri au la bază următoarele:

3.6.5.1.1. Referitor program de monitorizare și diagnoză vibrații.

- a. *Recomandările furnizorului de echipament.*
- b. *Clasificarea echipamentului respectiv din punct de vedere al severității vibrațiilor admise, pe nivele, conform prevederilor standardelor ISO.*
- c. *Spectrul de referință înregistrat la punerea în funcțiune, respectiv după RK cu aducerea la parametrii de proiect a echipamentului.*

3.6.5.1.2. Referitor program de supraveghere parametrii de funcționare tehnologici și mecanici:

- a. *Recomandările furnizorilor de echipamente.*
- b. *Parametrii de funcționare tehnologici impuși prin cărțile tehnice și instrucțiunile de exploatare ale echipamentelor.*
- c. *Parametrii tehnologici, respectiv domeniul acestora considerat ca fiind cel normal, conform prevederilor manualelor de exploatare, prescripțiilor ISCIR, C-29, PE -uri etc.*

3.6.5.2. Criteriile de acceptare se stabilesc pentru fiecare echipament în parte, pentru fiecare sistem tehnologic.

3.6.5.3. Confirmarea conformității respectării criteriilor de acceptare pe cele două categorii de activități ale programului de reparații predictive se face de personalul de execuție definit ca mai sus, după caz împreună cu personalul de exploatare, împreună cu personalul serviciilor tehnologice, fiecare în domeniul său de activitate.

Procesarea documentelor specifice, modul de desfășurare efectivă a activităților se detaliază prin proceduri operaționale, specifice acestor categorii de activități, aprobate de Director adj. reparații.

3.6.6. Probleme ridicate în mentenanța sistemului sub presiune de coroziune

Utilizarea la ardere a sorturilor de păcură cu conținut de sulf are efecte negative asupra funcționării cazanelor:

- *formarea depunerilor pe suprafețele schimbătoare de căldură.*
- *aparitia coroziunii sulfurice pe partea finală a cazanului*
- *poluarea atmosferei.*

3.6.6.1. Formarea depunerilor pe suprafețele schimbătoare de căldură

În funcție de locul apariției și temperatura de formare se clasifică:

- depuneri în zonele de temperatură ridicată;
- depuneri care se formează la temperaturi coborâte.

În urma trecerii prin focar, componentii inițiali ai cenușii păcurii suferă o serie de transformări complexe, modificându-și atât compoziția cât și legăturile chimice inițiale. Dacă temperatura de înmuiere a unora dintre compuși este mai mică decât temperatura gazelor de ardere, dar mai mare decât a suprafețelor de schimb de căldură pe țevile respective are loc o depunere selectivă a componentelor cenușii. Va rezulta creșterea temperaturii suprafeței de schimb de căldură, apar fenomene de sinterizare și de captare a particulelor solide din cenușa zburătoare astfel că murdărirea se propagă foarte rapid.

Formarea depunerilor în zonele de joasă temperatură este strâns legată de prezența coroziunii sulfurice, depunerile sunt prezente în special în zonele aflate sub valoarea punctului de rouă acidă, prin combinarea oxizilor de sulf cu oxizii de fier, se formează inițial sulfați de fier la care aderă în continuare o serie de particule solide din cenușa zburătoare.

Factori favorizanți:

a) prezența funinginii în gazele de ardere datorită:

- amestecului imperfect aer – combustibil;
- atingerii flăcării de ecrane.

b) conținutul de cenușă al păcurii, compoziția cenușii, condiții de ardere.

c) parametrii constructivi și regimul termic al cazanului (intensificarea procesului odată cu creșterea solicitărilor termice.

d) pulverizarea și arderea necorespunzătoare a păcurii.

Efecte:

- micșorarea schimbului de căldură pe suprafețele respective
- mărirea temperaturii de evacuare la coș ,
- reducerea randamentului cazanului ,
- scăderea temperaturii aburului ,
- formarea coroziunilor de joasă și înaltă temperatură pe suprafețele de schimb de căldură și canalele de gaze de ardere.

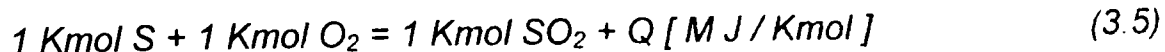
3.6.6.2. Coroziunea de joasă temperatură

Afectează suprafețele metalice a căror temperatură este mai mică de 160°C (preîncălzitoare de aer, canale de gaze de ardere, ventilatoare, coșuri metalice etc.).

Se produce datorită SO₃ în faza gazoasă care în contact cu vaporii de apă formează H₂SO₄.

SO₂ aflat în gazele de ardere poate deveni coroziv în contact cu vaporii de apă și se poate transforma în H₂SO₄ la T < 80° C, mult sub nivelul termic la care are loc evacuarea gazelor de ardere la coș.

3.6.6.2.1. Procesul de formare a acidului sulfuric

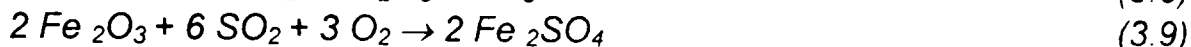


O mică parte (1÷5 %) se oxidează în SO₃ prin:

- disocierea oxigenului molecular la temperatură înaltă,



- oxidarea catalitică în prezența oxizilor de Fe sau V produși de coroziune pe suprafețele de transfer termic (cataliză heterogenă) sau prin oxizii de azot prezenți în gazele de ardere (cataliză omogenă)



Reacția dintre SO₃ și vaporii de apă este practic totală la 200 °C.

“ Punctul de rouă ” - în gazele de ardere este temperatura la care condensează vaporii de apă conținuți în aceste gaze.

Valoarea acesteia depinde de presiunea parțială a vaporilor de apă în gazele umede, precum și de conținutul de SO₃. Pentru aceeași presiune parțială a vaporilor de apă creșterea conținutului de SO₃ conduce la ridicarea valorii temperaturii punctului de rouă care capătă acum denumirea de punct de rouă acid. Astfel:

dacă: SO₃ = 0 P.R. ~ 45 °C

SO₃ = 20 ÷ 60 p.p.m. în gazele de ardere P.R. ~ 140 °C - 150 °C

Reacția de formare a H₂SO₄ gazos prin combinarea SO₃ cu vaporii de apă are loc prin răcirea gazelor de ardere în intervalul de temperatură 500 °C - 200 °C (zona economizoare și a preîncălzitoarelor de aer)

H₂SO₄ condensează și este activ sub punctul de rouă acidă (140 °C - 150 °C) până la aprox. 70 °C. Maximul de coroziune este atins la ~ 30°C sub valoarea punctului de rouă.

Gradul de coroziune în aceleași condiții de ardere, a aceleiași cantități de păcură depinde de:

- temperatura de evacuare a gazelor la coș,
- conținutul de S al păcurii.

Se manifestă deosebit de intens și în zona canalelor de evacuare, a coșului de fum atacând atât suprafețele metalice cât și zidăria. Dacă gazele sunt sub punctul de “rouă umedă ” apa condensează și SO₂ se dizolvă în condensat formând acid sulfuros – foarte coroziv.

Pentru suprimarea completă a riscului de coroziune sulfurică:

- S < 0,5%;
- reducerea excesului de aer;
- controlul permanent al arderii – pentru evitarea arderii incomplete;
- menținerea suprafeței de încălzire peste temperatura punctului de rouă.
- utilizarea unor materiale rezistente la coroziune în confecționarea cazanului;
- utilizarea de aditivi în păcură sau în focar, fie pe traseul gazelor de ardere.

3.6.6.3. Coroziunea de înaltă temperatură

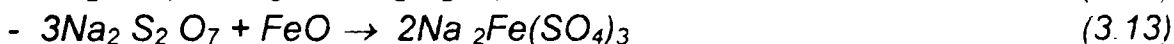
Este legată de formarea depunerilor în zonele de înaltă temperatură. Depinde de:

- configurația cazanului,
- natura păcurii
- compoziția chimică a cenușii.

3.6.6.3.1. Mecanismul de coroziune

Prin arderea păcurii rezultă compuși foarte agresivi: V_2O_5 , compuși alcalini, sulfați alcalini care atacă metalul la temperaturi de lucru. Când temperatura de combustie este foarte ridicată și λ mic se formează oxizii inferiori de V ca V_2O_3 și VO_2 care nu sunt corozivi. La o temperatură de 1300 C, cu un exces mare de oxigen se formează V_2O_5 cu punct de topire scăzut ~ 675 C. Se știe că pentru producerea coroziunii este necesară existența unei faze lichide. Coroziunea se produce prin:

- vanadit – vanadat – prin producere de O_2
- V_2O_5 – catalizator pentru oxidarea SO_2 la SO_3 rezultat formează pirosulfații cu puncte de topire foarte scăzute.



- coroziuni prin topituri bogate în V și SO_3 în exces
- coroziuni datorate compușilor sulfului cu oxigenul (sulfați complecși cu puncte joase de topire).

Pentru prevenirea coroziunii vanadice:

- arderea unor păcuri cu conținut de Na și V cât mai mic
- utilizarea aditivilor în scopul creșterii punctului de topire a cenușilor din păcură.

3.6.6.4. Emisiile de poluanți

Prin arderea păcurilor vâscoase cu conținut mare de sulf au loc emisii de bioxid de sulf, oxizi de azot și suspensii solide.

3.6.6.4.1. Dioxidul de sulf (SO_2)

- Funcție de conținutul de S în păcură. La un conținut de:

1% S – emisii 1700 mg/Nm³ gaze uscate cu $O_2=3\%$

2% S - 3400 mg/Nm³

3% S- 5100 mg/Nm³

3.6.6.4.2. Oxizii de azot (NO și NOx) provin din:

- oxidarea azotului din combustibil

- oxidarea azotului molecular din aer, la temperaturi >1300 °C.
- Producerea lor este influențată de:
 - parametrii constructivi ai focarului și arzătoarelor, temperatura aerului de ardere, de procesul de ardere.

3.6.6.4.3. Suspensii solide

- cenuși zburătoare
- particule solide tip cocs (rezultate în urma arderii incomplete a picăturilor de păcură
 - particule de depuneri formate pe suprafețe de schimb de căldură și antrenate prin ardere. Limitarea acestora prin Ord. 462/07.1993 al MA. PPMA.
- SO_2 – 1700 mg/m^3 (3% O_2 în gazele de ardere la instalații < 150 MW)
- 3400 mg/m^3 restul instalațiilor energetice
- NO_x – 450 mg/m^3
- Pulberi – 50 mg/m^3 (3 % O_2 în gazele de ardere)
- În vederea reducerii emisiilor la arderea păcurii sulfuroase și menținerea lor la nivelul prevăzut în normele legale se pot aplica:
 - injecția în flacără a unor produse alcaline $CaCO_3$ – la temperatura flăcării $900-1000$ °C pentru ca $CaSO_4$ rezultat să fie stabil
 - desulfurarea gazelor de ardere:
 - * procedeul umed – cu soluții de $CaCO_3$, CaO , Na_2CO_3 , NH_3 , NH_4^+ sau Na rezultând produse secundare sulfați, sulfiți
 - desuflarea semiuscată – atomizarea fină a unei soluții neutralizante de $CaCO_3$ sau CaO
 - desulfurarea uscată – într-un reactor folosind Na_2CO_3 sau CaO .
- Pentru reducerea emisiilor de pulberi:
 - instalații de desprăfuire
 - arderea unei emulsii apă – păcură cu efecte de:
 - * reducerea depunerilor pe suprafețele de transfer de căldură
 - * reducerea concentrației de SO_3 în gazele de ardere
 - crește randamentul cazanului ca urmare a arderii complete a hidrocarburilor
 - scade emisia de NO_x prin reducerea temperaturii în focar
 - scăderea emisiei de particule solide ca urmare a arderii complete a combustibilului.

3.7. Programul de cercetare privind reducerea coroziunii sulfurice de la cazanele de 420 t/h

3.7.1. Efectuarea măsurătorilor

În subcapitolul 3.6.7.2. s-a pus în evidență procesul de formare a acidului sulfuric și mecanismul de coroziune cunoscută sub denumirea de coroziune la

joasă temperatură sau coroziune sulfurică.

În aceleași condiții constructive și funcționale efectele coroziunii la joasă temperatură sunt evident atât mai puternice cu cât concentrația SO_x-ului respectiv SO₃-ului în gazele de ardere este mai ridicată. Ca urmare, în aceste condiții, micșorarea efectului de coroziune este intrinsec legată de reducerea concentrației oxizilor de sulf în gazele de ardere, ceea ce reprezintă în fond o măsură predictivă de creștere a mentenanței.

Ținând seama de acest lucru am organizat împreună cu U.P. Timișoara un program de măsurători termotehnice de noxe (NO_x, SO_x, CO, praf) emise de instalațiile de ardere din cadrul sucursalei RAAN ROMAG - TERMO Drobeta - Turnu Severin.

Determinarea compoziției gazelor de ardere uscate s-a făcut cu ajutorul gazoanalizatorului TESTO 33 al cărui principiu de funcționare este prezentat în lucrările [57,58].

Concentrația masică a noxelor în gazele de ardere uscate cu un conținut O_{2.ref}= 6%, rezultate din arderea lignitului în focarele cazanelor K1 și K2 din CET ROMAG-TERMO este prezentată în tabelul 3.1. Din comparația valorilor medii măsurate cu cele ale concentrațiilor limită admise de Legea Protecției Mediului 137/95 rezultă că în cazul oxizilor de sulf concentrația acestora este de circa 8,6 ori mai mare decât cea admisă de lege. Ca urmare, se impune în primul rând luarea măsurilor necesare de reducere a concentrației oxizilor de sulf în gazele de ardere.

Tabelul 3.1. Concentrația masică medie a noxelor în gazele de ardere uscate cu un conținut O_{2.ref}= 6%, rezultate din arderea lignitului în focarele cazanelor K1 și K2 din CET ROMAG-TERMO. Pentru micșorarea efectului poluant asupra mediului ambiant, dar totodată în acest mod se acționează și în sensul reducerii coroziunii sulfurice, ceea ce reprezintă o măsură predictivă de creștere a mentenanței.

TABEL 3.1

DENUMIRE	SIMBOL	U.M.	VALOARE MEDIE MĂSURATĂ	CONCENTRAȚIA LIMITĂ CONF. LEGII PROTECȚIEI MEDIULUI 137/95
Concentrația monoxidului de carbon	C _{CO}	mg/m ³ _N	138,6	250
Concentrația oxizilor de azot	C _{NO_x}	mg/m ³ _N	259,5	400
Concentrația oxizilor de sulf	C _{SO₂}	mg/m ³ _N	7 296,3	850 ^x
Concentrația prafului	C _{praf}	mg/m ³ _N	87,1 ^{xx}	100

^x) prin interpolare lineară, ^{xx}) pentru coșul de fum CF1

3.7.2. Reducerea emisiilor de oxizi de sulf

Așa cum s-a mai afirmat și mai înainte, prin oxidare sulful combustibil S_c se transformă în proporție de peste 95% în SO_2 , iar restul în SO_3 . Reducerea emisiilor de oxizi de sulf formați în procesul de ardere a combustibililor se poate face prin:

a) epurarea combustibililor în faza de precombustie în scopul reducerii conținutului de sulf;

b) măsuri primare, care constau în aplicarea unor tehnologii de ardere nepoluantă intracombustie, ca de exemplu desulfurarea promptă cu injecție de calcar sau dolomită;

c) măsuri secundare, care constau în desulfurarea post combustie a produselor arderii (fumului) prin diverse procedee tehnologice costisitoare, înainte de evacuarea acestora în mediul ambiant.

3.7.2.1. Epurarea combustibilului în faza de precombustie.

Literatura de specialitate [58] [59] [60] arată că reducerea conținutului de sulf al cărbunelui până la limita ce ar permite respectarea normelor de emisie privind conținutul de SO_x în fum, ar conduce la creșterea prețului combustibilului în așa măsură încât cărbunele epurat nu ar mai putea fi utilizat economic în scopuri energetice.

3.7.2.2. Măsuri primare pentru diminuarea producției de oxizi de sulf

În cazul metodelor primare se urmărește legarea dioxidului de sulf imediat după formarea sa intracombustie, prin acțiunea unui aditiv, injectat în focar. De regulă se insuflă praf de carbonat de calciu ($CaCO_3$) și se obține un grad de desulfurare maxim de 50%.

În cazul metodelor secundare, desulfurarea gazelor de ardere are loc după ce acestea părăsesc focarul, sau, cel mai adesea într-un reactor, utilizându-se un procedeu semiuscat (cu un grad de desulfurare de 80%) sau umed (care asigură desulfurarea într-un procent între 80 și 90%), dar care în același timp este și procedeul cel mai costisitor atât din punct de vedere al investițiilor cât și al cheltuielilor de exploatare. De menționat că amplasarea reactorului, unde are loc spălarea gazelor de ardere, necesită un spațiu destul de mare, care rareori poate fi găsit în cazul construcțiilor de termocentrale din țara noastră.

3.7.2.2.1. Desulfurarea gazelor de ardere folosind metoda primară de introducere în focar a carbonatului de calciu ($CaCO_3$)

Carbonatul de calciu ($CaCO_3$) se introduce în focar sub formă de praf fin de calcar sau carbonat de calciu deșeu, unde la temperaturi între 850° și 1080° C au loc.

În principal următoarele reacții chimice:



Cu producerea sulfatului de calciu. O fracțiune de circa 10% din particulele de sulfat de calciu formate se desprind din curentul ascensional al gazelor din focar și, împreună cu o parte din cenușă (cu zgura), formează așa numita "căzătură", care se evacuează cu ajutorul crațerului. Restul particulelor, de circa 90%, sunt antrenate de gazele de ardere ce părăsesc focarul și sunt captate în electrofiltru.

În legătură cu modul de introducere a calcarului în focar se folosesc în principal două căi, și anume:

- banda Redler, care servește pentru alimentarea morilor cu cărbune și pe care se dozează cantitatea corespunzătoare de calcar;

- injecția prafului de calcar cu ajutorul aerului secundar insuflat prin arzătorul de praf de cărbune sau cu aerul terțiar insuflat deasupra flăcării.

În ultimul timp, se acordă o mare atenție carbonatului de calciu deșeu. În procesul de fabricație a îngrășămintelor complexe (NPK) rezultă ca deșeu carbonatul de calciu (CaCO_3). Prețul de cost al acestuia, incomparabil mai mic față de prețul calcarului fin măcinat, precum și faptul că se prezintă sub formă pulverulentă (ușor aglomerată), cu un grad de puritate de peste 90%, fac, ca acolo unde este posibil, carbonatul de calciu deșeu să fie utilizat în exclusivitate, întrucât costul procedurii de desulfurare rezultă foarte mic.

3.7.2.2.2. Măsuri secundare pentru desulfurarea gazelor de ardere

Procedeele de desulfurare a gazelor de ardere sunt numeroase și pot fi clasificate în următoarele grupe:

1. **Procedee uscate**, care constau în filtrarea gazelor de ardere, în prealabil desprăfuite, printr-un strat de coals activ sau oxid de cupru;

2. **Procedee semiuscate**, caracterizate prin pulverizarea unei soluții apoase alcaline de hidroxid de calciu sau carbonat acid de sodiu, într-un reactor de evaporare, amplasat între electrofiltru și exhaustorul de gaze. În urma reacțiilor chimice care au loc, se leagă o parte a SO_2 -ului din gazele de ardere, dând naștere la CaSO_4 , respectiv Na_2SO_4 , care se regăsesc în picăturile formate prin pulverizarea soluției apoase alcaline. În urma evaporării apei din aceste picături iau naștere niște cristale fine, care se rețin de regulă într-o instalație de filtrare cu saci sau chiar electrofiltre.

3. **Procedee umede**, care se bazează pe legarea chimică (absorbție) a SO_2 -ului într-o soluție apoasă sau într-o suspensie cu care se "spală" gazele de ardere. În funcție de proprietățile fizico-chimice ale agenților absorbanti, procedeele umede de desulfurare a gazelor de ardere se clasifică în:

3.1- procedee cu folosirea unui absorbant alcalin;

3.2- procedee cu folosirea amoniacului ca absorbant;

3.3- procedee cu folosirea unui absorbant alcalino-pământos.

Gradul de desulfurare a gazelor de ardere depășește 90%, dar instalațiile

necesare sunt complexe, necesită investiții mari și cheltuieli de exploatare ridicate, au nevoie de mult spațiu pentru amplasare și deservire, mai ales când se urmărește și realizarea unui produs final vandabil (ghips, acid sulfuric, sulf.etc.) pentru reducerea cheltuielilor de exploatare.

Din aceste motive, în ultimul timp, se acordă o atenție din ce în ce mai mare așa numitele **procedee hibride**, care realizează desulfurarea gazelor de ardere în prima fază prin metode primare prompte intracombustie, iar, în cea de-a doua fază, prin metode secundare semiuscate.

3.7.2.2.3. Unele observații și propuneri privind desulfurarea gazelor de ardere provenite de la cazanele $K_1...K_9$ din CET Halînga

Din cele prezentate mai înainte rezultă foarte clar că reducerea conținutului (concentrației) de SO_2 în gazele de ardere emise, la valori mai mici sau egale cu concentrația limită admisă de Legea Protecției Mediului nr.137/95 este posibilă numai prin procedee secundare sau cel mult hibride, care, practic, în stadiul actual, nu se pot lua în considerare din lipsa de spațiu și a cheltuielilor foarte mari pentru investiție și exploatare.

Ca atare, pentru cazanele $K_1...K_6$ care funcționează cu cărbune, se sugerează luarea în considerare a metodei primare de desulfurare a gazelor de ardere prin introducerea în focar a carbonatului de calciu deșeu, procurat de la CS DOLJCHIM SA sau alte surse convenabile.

Experimentările urmează să se desfășoare pe un singur cazan, în două etape, și anume:

a) În prima etapă reactivul (calcar deșeu) va fi dozat în cantitatea corespunzătoare pe banda REDLLER, care servește pentru alimentarea morilor de cărbune;

b) În etapa a doua, reactivul (calcar deșeu) va fi injectat sub formă de pulbere fină cu ajutorul aerului secundar, insuflat prin fanta superioară a arzătorului pentru praf de cărbune.

Înainte și în timpul experimentărilor este necesar să se facă măsurători termotehnice după un program bine stabilit, care să vizeze atât modificarea concentrației noxelor în gazele de ardere, cât și mersul economic și în siguranță al cazanului. În urma rezultatelor obținute se va decide care dintre cele două metode primare de desulfurare a gazelor de ardere urmează a fi aplicate și generalizată la celelalte cazane.

În cazul cazanelor K_7, K_8 și K_9 , care funcționează pe păcură, desulfurarea gazelor de ardere este posibilă folosind unul din procedeele umede sau hibride, cu observația că acestea sunt foarte costisitoare și în plus cu foarte mare greutate și-ar găsi spațiul necesar amplasării.

De aceea, ținând seama și de exemplele oferite de multe țări, industrializate din lume, calea cea mai potrivită este aceea de a folosi păcura desulfurată, cu conținut mic de sulf ($S_c < 2\%$ în prima etapă, apoi $S_c < 1\%$ în perspectivă), care este mai scumpă cu circa (15-20)%, decât păcura sulfuroasă, dar plasează problema reducerii mediului cu SO_2 în limite rezonabile.

3.7.2.2.4. Bilanțul material al procesului desulfurării gazelor de ardere prin introducerea în focar al prafului de carbonat de calciu deșeu

Premisele de la care s-a pornit pentru întocmirea bilanțului material al procesului de desulfurare a gazelor de ardere prin introducerea în focar a prafului de carbonat de calciu sunt următoarele:

1. Cazanul C420L funcționează la sarcina nominală și consumă $B_c^{max} = 50,833 \text{ kg/s} = 182,998 \text{ t/h}$ lignit și $B_p^{max} = 1,1 \text{ kg/s} = 3,96 \text{ t/h}$ păcură pentru susținerea flăcării;

2. Combustibilul utilizat este combustibilul de proiect, dar compoziția elementară trebuie amendată cu cele preliminate asupra conținutului maxim de sulf S_c ;

3. Se folosește pudră de carbonat de calciu deșeu cu un conținut de CaCO_3 de 92,0%, diametru mediu al particulelor mai mic de $15 \mu\text{m}$ și un rest de 10% pe sita 009;

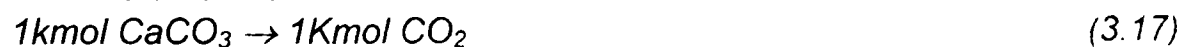
4. Debitul masic al dioxidului de sulf s-a considerat $m_{\text{SO}_2} = 1149840 \text{ mg/s} = 4139,424 \text{ kg/h}$;

5. Randamentul desulfurării s-a admis $\mu_{des} = 50\%$;

6. Cantitativ, reacția de descompunere termică a carbonatului de calciu:



s-a scris sub forma:



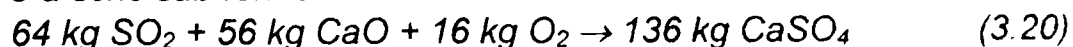
respectiv:



7. În mod similar, reacția chimică de formare a sulfatului de calciu anhidru:



s-a scris sub forma:



8. Procentul de căzătură în focar s-a considerat $a_{c\ddot{a}z} = 10\%$, iar randamentul electrofiltrului $\eta_{EF} = 99,7\%$

9. Raportul Ca/S în focar s-a admis 2.

10. Conținutul mediu de cenușă al cărbunelui $A = 24,5\%$

Rezultatele calculelor privind bilanțul material al procesului de desulfurare a gazelor de ardere prin introducerea carbonatului de calciu deșeu în focarul generatorului de abur C420L din CET Halânga sunt centralizate în tabelul de mai jos.

Se constată o creștere sensibilă a concentrației prafului în gazele de ardere uscate cu $O_{2ref} = 6\%$, ajungând la valoarea de $119,26 \text{ mg/m}^3_N$, față de $87,1 \text{ mg/m}^3_N$, înainte de aplicarea procedurii.

3.7.2.2.6 Observații cu privire la calculul bilanțului material al procesului desulfurării gazelor de ardere

3.7.2.2.6.1. Lipsa analizei elementare a combustibilului

În lipsa unei analize elementare a cărbunelui folosit la cazanele K_1 și k_2 în perioada efectuării măsurătorilor termotehnice în calculele care s-au întocmit s-a pornit de la compoziția elementară a combustibilului de proiect, care prevedea un conținut de sulf combustibil $S_c^c = 0,8\%$ pentru cărbune, respectiv $S_c^p = 3,35\%$ pentru păcură

3.7.2.2.6.2. Rezultatele măsurătorilor

Pe baza măsurătorilor efectuate s-a determinat valoarea de $C_{SO_2} = 7296$ [mg/m^3_N] pentru concentrația oxizilor de sulf în gazele de ardere cu $O_{2ref} = 6\%$. Această valoare nu poate rezulta decât la arderea unui cărbune cu un conținut $S_c > 0,8\%$.

Lignitul din bazinul Mehedinți (minele Husnicioara, Prunișor, Izvorul Aneștilor, Livezile) din care se aprovizionează termocentrala Halânga, are un conținut de sulf $S_c^i = 1,5\%$.

Se prezintă relația de calcul a debitului de SO_2 rezultat în urma arderii unui combustibil solid sau lichid astfel:

$$m_{SO_2} = 20 \cdot S_c^i \cdot B \cdot (1 - \eta')(1 - \eta'') \quad [g/s] \quad (3.21)$$

în care:

S_c^i este conținutul de sulf combustibil, în %;

$\eta' = 0,0$ - fracția de oxizi de sulf eliminată în instalația de desprăfuire uscată

$\eta'' = 0,02$ - fracția de oxizi de sulf absorbită în particulele fine de cenușă zburătoare;

TABELUL 3.2.

Bilanțul material al procesului de desulfurare a gazelor de ardere prin Introducerea carbonatului de calciu deșeu în focarul GA C420L din CET Halânga

Denumire	Simbol	UM	Valoare
Concentrația oxizilor de sulf în gazele de ardere cu $O_{2ref} = 6\%$	C_{SO_2}	Mg/m^3	7 296
Debitul masic al dioxidului de sulf	m_{SO_2}	kg/h	4139,424
Debitul masic de sulf	m_s	kg/h	2069,712
Debitul masic de calciu (pt raportul Ca/S=2)	m_{Ca}	kg/h	4139,424
Debitul masic de carbonat de calciu deșeu	m_{CaCO_3}	kg/h	11248,4

Debitul masic de CaO rezultat din descompunerea termică a CaCO ₃ în focar	m_{CaO}^F	kg / h	5795,176
Debitul masic de CO ₂ rezultat prin descompunerea termică a CaCO ₃ în focar	$m_{CO_2}^F$	kg / h	4553,352
Debitul masic de CaSO ₄ format în focar	$m_{CaSO_4}^F$	kg / h	4398,13
Debitul masic de CaSO ₄ evacuat sub formă de căzătură în focar	$m_{CaSO_4}^{CF}$	kg / h	439,813
Debitul masic de CaSO ₄ reținut în electrofiltru	$m_{CaSO_4}^{EF}$	kg / h	3946,445
Debitul masic de CaSO ₄ evacuat în mediul ambiant	$m_{CaSO_4}^{MA}$	kg / h	11,875
Debitul masic de CaO care se leagă în focar pentru a forma CaSO ₄	m_{CaO}	kg / h	3622,0
Debitul masic de CaO rămas disponibil	m_{CaO}^D	kg / h	2173,176
Debitul masic de CaO evacuat sub formă de căzătură din focar	m_{CaO}^{CF}	kg / h	271,3176
Debitul masic de CaO reținut în electrofiltru	m_{CaO}^{EF}	kg / h	1949,991
Debitul masic de CaO eliminat în mediul ambiant	m_{CaO}^{MA}	kg / h	5,8674
Debitul masic de cenușă în focar	m_{cen}^{to}	kg / h	44834,706
Debitul masic de cenușă eliminat sub formă de căzătură în focar	m_{cen}^{CF}	kg / h	4483,4706
Debitul masic de cenușă ajuns în electrofiltru	m_{cen}^{EF}	kg / h	40351,2354
Debitul masic total de praf ajuns la electrofiltru	m_{praf}	kg / h	46265,4138
Creșterea sarcinii electrofiltrului în comparație cu situația anterioară (fără desulfurare)	ΔS_{praf}^{EF}	%	14,65

Creșterea conținutului de praf la emise de în gazele de ardere uscate cu $O_{2ref}=6\%$	ΔC_{praf}	mg / m^3	32,16
Conținutul mediu de praf la emisie conform măsurătorilor	C_{praf}	mg / m^3	87,1
Conținutul de praf la emisie după aplicarea procedeeului de desulfurare	C'_{praf}	mg / m^3	119,26
Debitul volumic de CO_2 rezultat din arderea combustibilului	V_{CO_2}	m^3 / h	75299,4
Debitul volumic de CO_2 rezultat din descompunerea $CaCO_3$	$V_{CO_2}^d$	m^3 / h	2319,519
Debitul volumic total de CO_2	$V_{CO_2}^t$	m^3 / h	77618,919
Debitul volumic minim al gazelor de ardere uscate	V_{gu}^0	m^3 / h	398897,959
Conținutul maxim de CO_2 înainte de aplicarea procedeeului	$(CO_2)_{fmax}$	%	18,8768
Conținutul maxim de CO_2 după aplicare procedeeului	$(CO_2)'_{fmax}$	%	19,3458
Creșterea conținutului maxim de CO_2 în gazele de ardere uscate	$(\Delta CO_2)_{fmax}$	%	0,469

Debitul masic de SO_2 rezultat din arderea păcurii se calculează cu relația:

$$m_{SO_2}^p = 20 \times 3,35 \times 3,6 \times 0,98 = 236.376 \text{ [kg/h]}$$

respectiv din arderea cărbunelui $m_{SO_2}^c$ pentru un conținut de sulf $S_c = (0,8 - 1,4) \%$.

Valorile obținute sunt concentrate în tabelul de mai jos, în care s-au înscris

și concentrațiile C_{SO_2} de dioxid de sulf în gazele de ardere uscate, cu $O_{2ref} = 6 \%$ calculate cu relația:

$$C_{SO_2} = \frac{m_{SO_2}^c + m_{SO_2}^p}{B_c (V_{gu}^c)_{O_{2ref}} + B_c (V_{gu}^p)_{O_{2ref}}} \left(\frac{mg}{m^3} \right) \quad (3.22)$$

Debitele de dioxid de sulf rezultate la arderea cărbunelui, respectiv concentrația de SO₂ în gazele de ardere uscate, cu O_{2 ref}=6 %

TABEL 3.3.

S_c^i [%]	$m_{SO_2}^c$ [kg / h]	C_{SO_2} $\left[\begin{matrix} \text{mg} \\ \text{m}_N^3 \end{matrix} \right]$
0	1	2
0,8	2488,78	4939,8
0,9	2799,88	5503,7
1,0	3110,98	6067,7
1,1	3422,08	6631,6
1,2	3733,17	7195,5
1,3	4044,27	7759,4
1,4	4355,37	8323,0

3.7.2.2.7. Concluzie

Din date cuprinse în tabel ,prin interpolare, se deduce că pentru a se realiza concentrația de $C_{SO_2} = 7296 \text{ mg/m}^3_N$, conținutul de sulf al cărbunelui trebuie să fie $S_c^i = 1,22\%$. Această valoare reprezintă valoarea cea mai probabilă pentru situația când s-au făcut măsurătorile.

Dacă conținutul de sulf al cărbunelui variază în timp sau cazanul C420L funcționează la o sarcină mai mică decât cea nominală, datele de intrare (C_{SO_2} , m_{SO_2} , m_S) se modifică, iar valorile numerice din tabel trebuie corectate în mod corespunzător.

Studii recente au arătat că simultan cu desulfurarea efectivă stoichiometrică controlată, se produce și o desulfurare suplimentară prin cenușa ce cuprinde aditiv nereacționat, astfel încât, per ansamblu ,gradele de desulfurare sunt față de valorile preliminate prin calculul de proiectare.

3.8. Concluzii finale

1. Măsurătorile în situ, cât și calculele întocmite au permis stabilirea valorilor concentrației noxelor (C_{CO} , C_{NO_x} , C_{SO_2} și C_{praf}) în gazele de ardere uscate;

2. Ținând seama de geometria coșurilor de fum, de debitul noxelor și viteza de ieșire a gazelor din coșurile de fum, de condițiile meteo, altitudinea și topografia zonei, cu ajutorul programului deținut sub licență ISC3 s-au stabilit curbele de izoconcentrație a noxelor în mediul înconjurător (imisii), constatându-se depășiri în anumite zone speciale doar la SO₂.

3. Întrucât numai concentrația dioxidului de sulf în gazele de ardere uscate cu O_{2ref} = 6% depășește valoarea limită admisă de Legea Protecției Mediului, după un studiu document, s-a propus desulfurarea gazelor prin injectarea în focar a pulberii de carbonat de calciu deșeu, și s-a întocmit bilanțul material al procesului, pentru a exemplifica debitele necesare de aditiv și a semnala celelalte implicații determinate de aplicarea procedurii.

4. Măsurătorile termotehnice au permis să se facă unele observații și sugestii cu privire la mersul economic al cazanelor K₁ și K₂, precum și a electrofiltrelor aferente.

5. În cazul cazanelor funcționând pe hidrocarburi, se recomandă folosirea păcurii cu conținut redus de S, în prima etapă.

PROGRAMUL DE CERCETARE PRIVIND EVALUAREA COROZIUNII FISURATE SUB TENSIUNE (COFITEN) A OȚELURILOR ȘI ÎMBINĂRILOR SUDATE CE ALCĂTUIESC SISTEMUL SUB PRESIUNE ȘI CONDUCTELE DE ABUR VIU LA CAZANUL DE 420 T ABUR/ORĂ TIP CR 1244

4.1. Considerații generale privind programul de cercetare

Programul de cercetare propus are la bază dezideratul propriu de a putea evalua gradul de coroziune sub tensiune a trei oțeluri termorezistente aliate simbolizate conform SREN 10027 și SREN 10020 prin sistemul α - numeric. La baza derulării programului experimental au stat atât datele tehnice de ultimă oră, cât și mulțimea de probe și epruvete prelevate atât din oțelurile marca X20CrMoV12.1, 12CrMoV2 și 16Mo3 cât și din îmbinările lor sudate pentru analize structurale și încercări mecanice specifice.

Caracteristicile structurale și mecanice determinate la oțelurile termorezistente aliate și la îmbinările lor sudate (similare și disimilare) definesc foarte bine starea inițială a acestor materiale, iar valorile acestor caracteristici vor sta la baza evaluării comparative cu cele ce se vor obține în urma verificărilor curente în perioadele scadente. Se creează astfel o bancă de informații proprie fiecărui circuit termic aflat în condiții grele de funcționare (presiuni și temperaturi ridicate).

Programul experimental propriu corelat cu cercetarea fenomenelor de coroziune la temperaturi și presiuni ridicate presupune printre altele abordarea unor probleme principale și anume:

- studiul fenomenelor de coroziune la temperaturi și presiuni ridicate;
- caracterizarea structurală și mecanică a oțelurilor termorezistente aliate și a îmbinărilor lor sudate (variante similare și disimilare);
- elaborarea unei metodologii de încercare la coroziune sub tensiune (simbolizată COFITEN) pentru epruvete montate în dispozitive speciale ce sunt fixate pe circuitele termice alese;
- experimentări și interpretarea rezultatelor privind evaluarea rezistenței la COFITEN a oțelurilor îmbinărilor sudate.

4.1.1. Studiul fenomenelor de coroziune la presiuni și temperaturi ridicate

4.1.1.1. Termodinamica procesului de coroziune

Procesul de coroziune presupune o serie de reacții prin care metalul sau aliajul este atacat de un agent agresiv, având ca rezultat transformarea parțială sau totală a metalului în stare ionică sau combinată. Coroziunea poate fi

considerată ca un proces eterogen, care are loc la interfața metal-agent coroziv, unde se produce un schimb de ioni și electroni.

Corodarea metalelor implică două reacții parțiale, care se desfășoară paralel și simultan: o reacție de oxidare și una de reducere.

În procesul de oxidare, corозиunea propriu-zisă, se produce prin ionizarea metalului.

În cazul contactului metal/mediu coroziv, metalele au tendința să treacă sub formă de ioni în mediul coroziv, lăsând pe metal o sarcină negativă, formată din electronii corespunzători atomului metalic ionizat. Sarcina negativă a suprafeței metalice atrage o cantitate egală de ioni pozitivi aflați în imediata vecinătate a suprafeței. În același timp, la suprafața metalului aflat în mediu coroziv are loc absorbția de constituenți ai mediului prin forțe Van der Waals sau tensiuni superficiale. De asemenea, dipolii apei și moleculele polarizabile se orientează sub influența sarcinii suprafeței.

Aceste fenomene ce au loc la interfața metal/mediu coroziv duc la apariția unui strat dublu electrochimic, la limita de separare a celor două faze.

Asupra ionilor și dipolilor aflați în soluția agresivă în imediata vecinătate a interfeței acționează forțe de natura electrostatică, care creează o distribuție a particulelor încărcate, astfel încât concentrația ionilor de semn contrar cu sarcina suprafeței metalului crește pe măsura apropierii de interfață.

Între metalul încărcat cu sarcini de un semn și soluția ce conține sarcina de semn contrar ia naștere o diferență de potențial de electrod (ε).

Mărima potențialului ε în stratul dublu electrochimic depinde de tendința ionului metalic de a părăsi rețeaua.

Reacția de ionizare a metalului se exprimă sub formă generală, făcând abstracție de procesul de hidratare, astfel:



Aceasta constituie reacția anodică a procesului de corозиune. Atomii metalici supuși ionizării (ionii) pot trece sub formă de combinații în stare solidă (oxizi, compuși insolubili) sau sub formă de combinații solubile.

z - reprezintă numărul de electroni care iau parte la reacție.

Electronii eliberați în procesul de oxidare trebuie să fie acceptați de un component al mediului coroziv, deci are loc o reacție de reducere, sub forma generală:



unde O_x - este agentul oxidant prezent în mediul coroziv.

Red - forma redusă a oxidantului.

Aceasta este reacția catodică a procesului de corозиune.

Reacțiile catodice ale corозиunii pot fi:

- reducerea ionilor de hidrogen (corозиune prin depolarizare cu hidrogen):



- reducerea oxigenului molecular (coroziune prin depolarizare cu oxigen):



- reducerea unei specii depolarizante disponibile în mediu coroziv (de exemplu- reducerea ionilor ferici), (coroziune prin depolarizare cu ioni ferici).



Tendința metalelor de a trece în stare ionică sau combinată - deci de a se coroda - diferă de la un metal la altul și poate fi concretizată din punct de vedere termodinamic prin variația entalpiei libere, ΔG , care însoțește procesul.

Metalele care au entalpia liberă negativă se corodează. Acesta este cazul majorității metalelor tehnologice, care se găsesc în natură sub formă de combinații.

Fiecare reacție parțială, anodică sau catodică, implică un sistem de oxido-reducere, care are propriul potențial de echilibru termodinamic.

Diferența dintre potențialul reversibil anodic și catodic reprezintă forța electromotoare a reacției generale de coroziune, deci energia care face posibilă desfășurarea procesului de coroziune.

Variația entalpiei libere ΔG , a unui echivalent gram de ioni cu valența z este:

$$\Delta G = -zFE \quad (4.6)$$

unde E este forța electromotoare a pilei în care se realizează reversibil reacția anodică și reacția catodică a procesului de coroziune.

$$F = \text{const.}$$

Din condiția ca entalpia să fie negativă obținem:

$$-zFE < 0 \quad (4.7)$$

Deci, cu cât forța electromotoare este mai mare, cu atât tendința de corodare a metalului este mai mare.

Valoarea lui E se obține prin însumarea algebrică a tuturor diferențelor de potențial care apar în circuitul de la interfața metal/mediu coroziv.

Dacă se notează cu ε_a potențialul de echilibru al metalului în mediu coroziv și ε_c potențialul de echilibru catodice, tensiunea electromotoare a pilei formate într-un sistem de coroziune este:

$$E = \varepsilon_c - \varepsilon_a \quad (4.8)$$

Înlocuind valoarea lui E în relația (4.7) obținem:

$$-zF(\varepsilon_c - \varepsilon_a) < 0 \quad (4.9)$$

Având în vedere că z și F sunt constanțe, obținem:

$$\varepsilon_c > \varepsilon_a \quad (4.10)$$

Conform relației (4.10) coroziunea unui metal este posibilă din punct de vedere termodinamic, dacă potențialul reversibil al metalului în mediu coroziv este mai electronegativ decât potențialul reversibil al unui agent oxidant prezent în acest mediu.

Compararea potențialelor reacțiilor anodice și catodice poate da numai o indicație orientativă asupra posibilităților termodinamice de desfășurare a procesului de coroziune, deoarece ΔG reprezintă numai variația unei funcții de stare. În realitate, coroziunea metalelor implică acțiunea unui mare număr de factori, a căror influență rezultantă poate fi obținută numai prin calcule termodinamice exacte asupra echilibrelor chimice și electrochimice din sistem.

Stabilitatea metalului în condițiile date și natura diversilor produși de coroziune sunt dependente de potențialul de electrod ce apare în sistem și de pH-ul mediului coroziv.

Reprezentarea grafică a dependenței potențial de electrod (ε) - pH, în condiții izoterme, dă diagrama de echilibru termodinamic a reacțiilor ce pot avea loc între metal și mediul coroziv la o anumită temperatură. Aceste diagrame au fost testate de către Pourbaix și colaboratorii pentru toate metalele și constituie baza termodinamică a studiului reacțiilor de coroziune.

În fig.4.1 se prezintă diagrama Pourbaix pentru sistemul fier- apă, la temperatura de 25⁰ C, sistem de coroziune întâlnit des în practică.

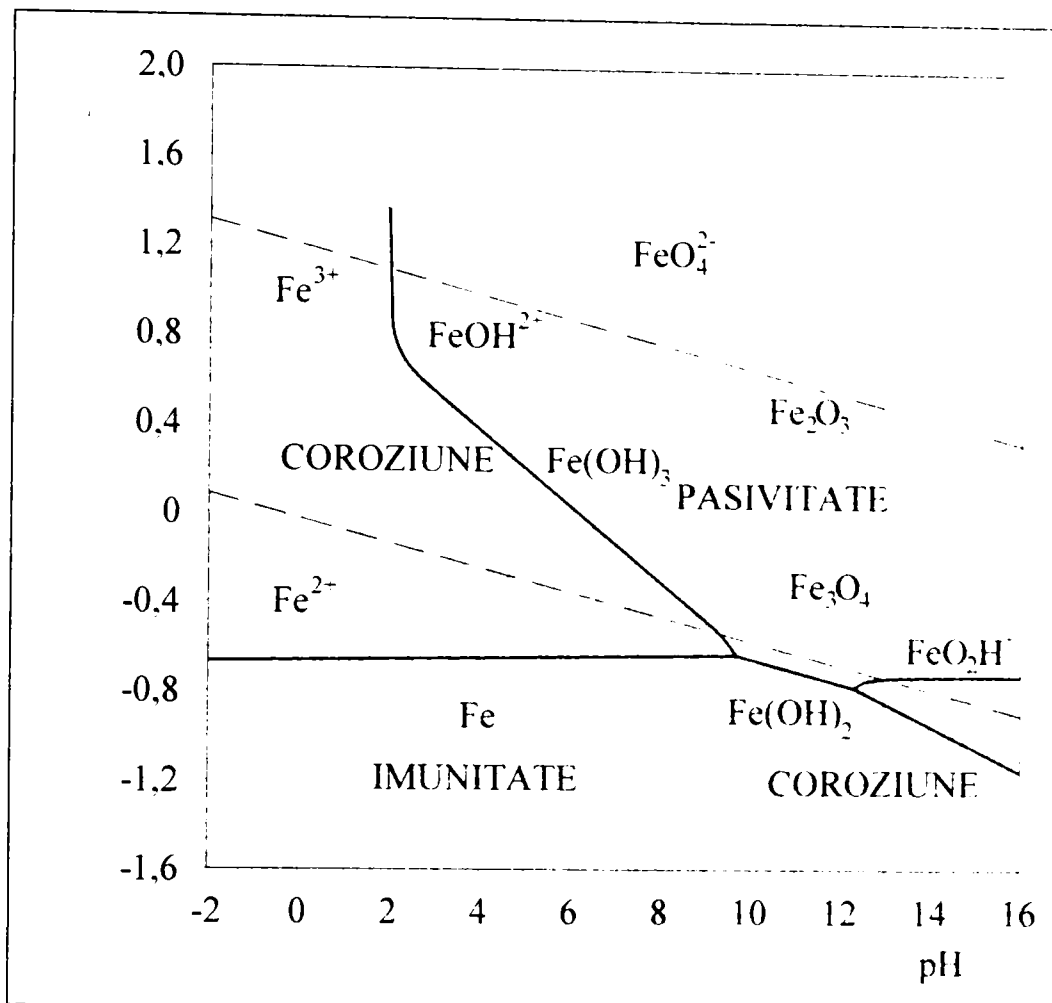


Fig.4.1 Diagrama Pourbaix a sistemului de coroziune Fe – H₂O.

Limitele trasate pe diagramă corespund echilibrului dintre fier și diversele sale forme de oxidare (Fe^{2+} , Fe^{3+} , Fe_2O_3 , $Fe(OH)_2$, Fe_3O_4 etc.), iar suprafețele delimitate de aceste linii indică zonele în care se corodează, respectiv zonele în care se pasivizează, datorită formării unor oxizi insolubili.

Deși diagramele $\varepsilon = f(\text{pH})$ pot indica probabilitatea de desfășurare a unui proces de coroziune dat și modul în care mediul coroziv poate fi modificat pentru a se reduce energia liberă a sistemului, acestea nu dau nici o informație privind viteza reacției.

4.1.1.2. Influența diferiților factori asupra procesului de coroziune

Procesul de coroziune depinde de natura metalului și de condițiile fizico-chimice de desfășurare. În funcție de aceste considerente, se disting, în general două tipuri de coroziune:

- coroziune chimică, specifică acțiunii gazelor și soluțiilor de neelectroliti asupra metalelor,
- coroziune electrochimică produsă prin acțiunea soluțiilor de electroliti

asupra metalelor.

În cazul instalațiilor de abur și apă fierbinte majoritatea proceselor de coroziune sunt de natură electrochimică.

4.1.1.2.1 Factori determinanți de natura metalului

Unul din factorii cei mai importanți care determină caracterul și viteza procesului de coroziune este natura metalului respectiv. Cu cât metalul este mai stabil, din punct de vedere termodinamic, cu atât este mai rezistent la coroziune

Astfel, rezistența la coroziune crește cu gradul de puritate al metalului. În practică, însă, se folosesc metale impurificate, astfel încât cantitatea de impurități și natura acestora pot produce modificarea potențialului său reversibil față de reacțiile de depolarizare catodică, conducând la apariția fenomenului de coroziune.

Stabilitatea diferitelor aliaje metalice în mediu coroziv depinde de compoziția, structura, gradul de prelucrare al suprafeței și tratamentul termic aplicat. Astfel, cu cât este mai pur și mai omogen, din punct de vedere structural, cu atât este mai mare rezistența la coroziune a aliajului metalic. De asemenea, creșterea gradului de prelucrare a suprafeței mărește de cele mai multe ori rezistența la coroziune.

Tratamentele termice aplicate aliajelor metalice pot avea ca efect modificarea compoziției și structurii unui aliaj metalic, conducând la îmbunătățirea rezistenței la coroziune.

4.1.1.2.2. Factori de mediu

Comportarea la coroziune a metalelor și aliajelor metalice depinde în foarte mare măsură de natura mediului coroziv (compoziția chimică și aciditatea), de conținutul de oxigen dizolvat, respectiv de prezența unor acceleratori sau inhibitori ai procesului de coroziune.

Influența pH-ului se manifestă fie direct asupra proceselor de electrod, fie asupra solubilității produșilor de coroziune. Acțiunea directă se manifestă atât în cazul coroziunii cu depolarizare de hidrogen, cât și în cazul reducerii oxigenului molecular (vezi relațiile 4.3 și 4.4).

În cazul coroziunii prin depolarizare de hidrogen, creșterea pH-ului deplasează curbele catodice spre potențiale mai electronegative, ceea ce conduce la scăderea vitezei de coroziune (fig. 4.2)

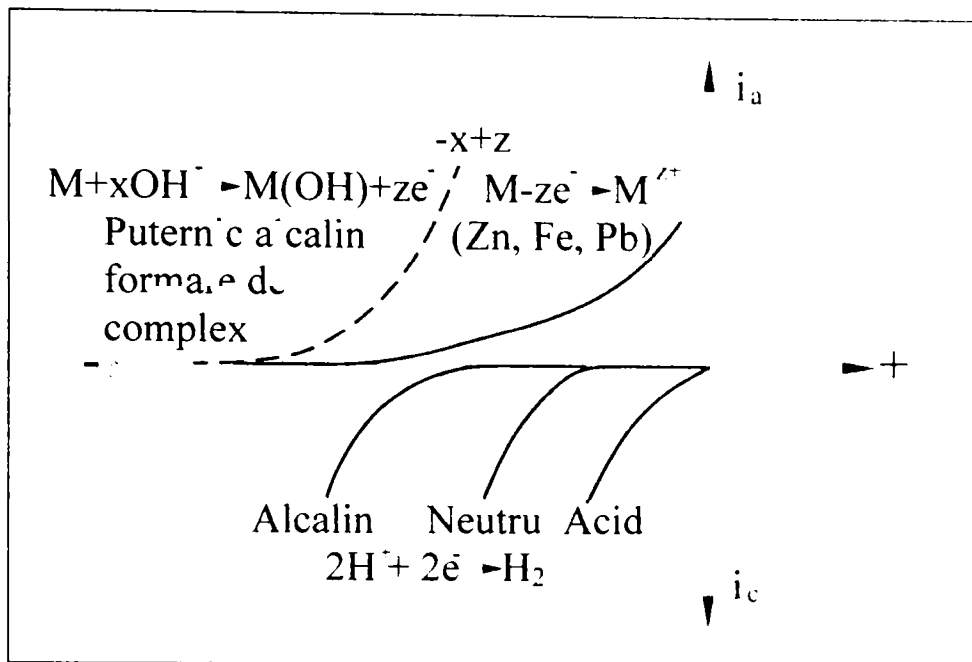


Fig. 4.2. Influența pH-ului asupra procesului de coroziune

Variația pH-ului mediului coroziv exercită și o acțiune indirectă prin influența sa asupra solubilității și proprietății protectoare ale produșilor de coroziune.

Astfel, în domeniul în care produșii sunt greu solubili, aceștia se depun pe suprafața metalului și uneori îl protejează. În funcție de dependența vitezei de coroziune K de pH-ul mediului coroziv, metalele se împart în 4 categorii (fig.4.3)

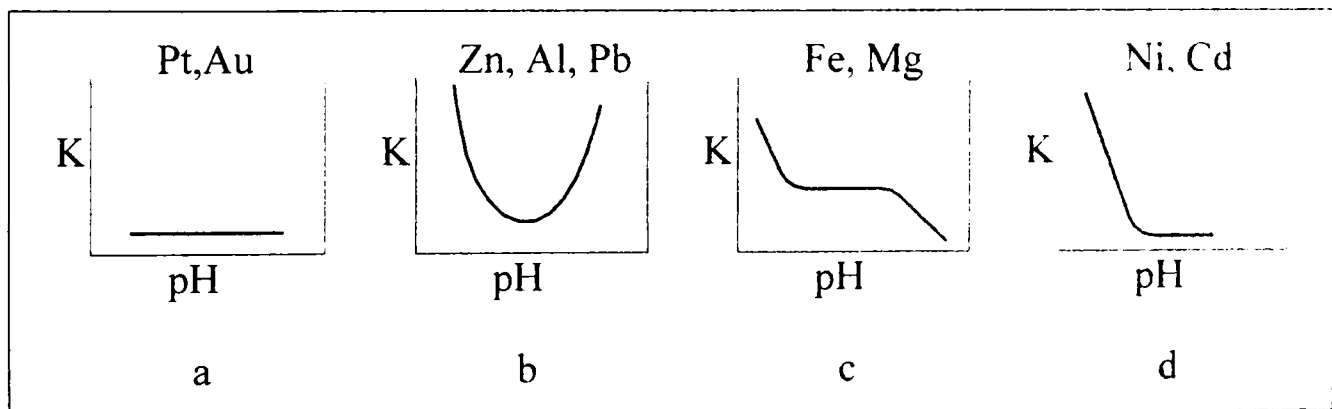


Fig.4.3 Variația vitezei de coroziune în funcție de pH

a) **metale nobile (Au, Pt)**, a căror viteză de coroziune este independentă de pH și are valori foarte scăzute, a vitezei de coroziune;

b) **metale amfotere (Zn, Al, Pb)**, care nu rezistă nici în mediu acid, nici în mediu bazic;

c) **metale solubile numai în medii acide (Fe, Mg)**, a căror viteză de dizolvare scade cu creșterea pH-ului, din cauza formării unor pelicule protectoare, superficiale;

d) **metale rezistente în medii neutre sau bazice (Ni, Cd)**, care se

corodează la un $\text{pH} < 7$.

Rolul oxigenului în procesele de coroziune se manifestă prin acțiuni contrare.

Pe de o parte, oxigenul dizolvat mărește viteza de reacție (relația 4.4) prin depolarizare, iar pe de altă parte, ionii metalici pot forma oxizi, care prin acțiunea lor protectoare pot încetini procesul de coroziune. De asemenea oxigenul poate acționa ca agent de inhibare a procesului de coroziune în condițiile unui aport intens de oxigen la suprafața metalică (barbotare de aer, viteză mare de curgere a fluidului).

Un număr mare de compuși chimici anorganici și organici, prezenți în mediul coroziv, intervin în timpul procesului, modificând viteza procesului.

Astfel, unii din acești compuși măresc viteza de coroziune (acceleratori), iar alții o micșorează (inhibitori). O intensificare a coroziunii are loc și în prezența unor ioni metalici cu mai multe trepte de oxidare ($\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$, $\text{Cu}^+/\text{Cu}^{2+}$ etc.). În soluții aerate unde are loc coroziunea prin depolarizare cu oxigen, acești ioni preiau reacția catodică, deoarece concentrația lor este mai mare în raport cu cea a oxigenului (fig.4.4)

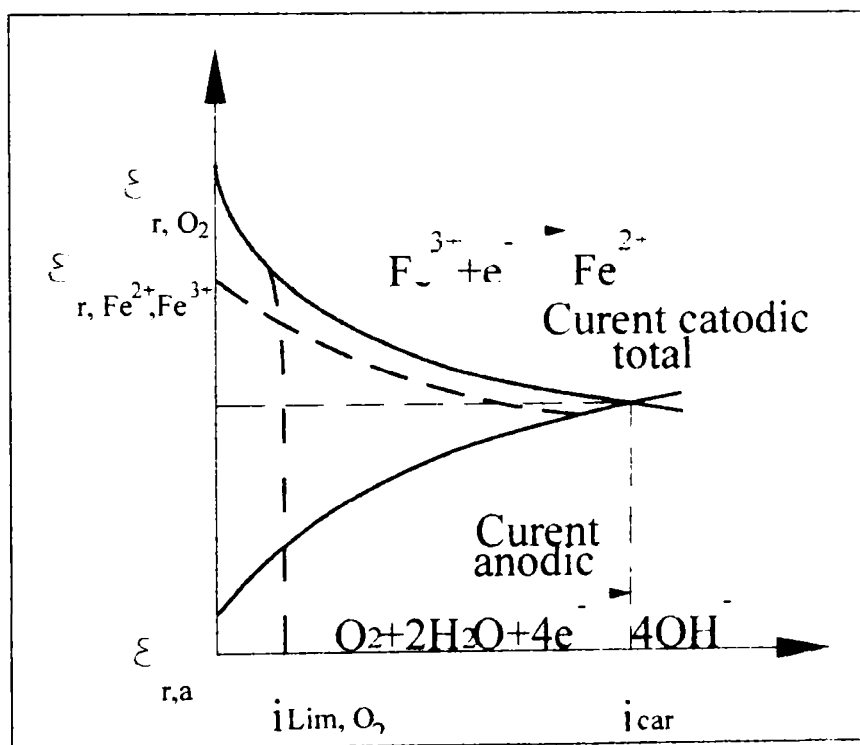


Fig. 4.4. Influența ionilor fierului asupra coroziunii prin depolarizare cu oxigen molecular

(i_{cor} = viteza de coroziune; ϵ_r = potențialul reversibil)

Compușii organici ca aminele sau piridina, deplasează curba reacțiilor catodice (inhibitori catodici), micșorând viteza de coroziune. Și reacția anodică poate fi frânată cu ajutorul inhibitorilor anodici.

Temperatura influențează asupra procesului de coroziune prin ecuația lui Arrhenius:

$$K = A \cdot e^{-\frac{E}{RT}} \quad (4.11)$$

unde:

- k este viteza de coroziune
- A, constanta lui Arrhenius
- E, energia de activare
- R, constanta generală a gazelor
- T, temperatura absolută în K

Creșterea temperaturilor mărește viteza de desfășurare a procesului și scade solubilitatea oxigenului în soluții.

De asemenea, creșterea presiunii mărește solubilitatea gazelor, intensificând procesul de coroziune.

4.1.1.3. Tipuri principale de coroziune

Coroziunea se manifestă sub diferite forme, în funcție de natura și structura metalului sau aliajului metalic, compoziția mediului coroziv, condițiile de mediu, respectiv proprietățile fizice și chimice ale produșilor de coroziune. Cunoașterea diferitelor tipuri de coroziune permite stabilirea mai ușor a cauzelor care au produs fenomenul, respectiv alegerea corectă a metodelor de protecție anticorozivă.

Clasificarea proceselor de coroziune se face după mai multe criterii, după mecanismul de desfășurare a reacțiilor componente, după distribuția atacului pe suprafața metalului sau aliajului, după caracterul distrugerii în raport cu structura metalului sau aliajului, după locul în care se produce coroziunea, etc.

După mecanismul procesului, coroziunea este chimică și electrochimică.

Coroziunea chimică are loc în urma interacțiunii chimice directe a metalului sau aliajului metalic cu mediul ambiant, fără a avea loc un schimb de sarcini electrice.

De exemplu acțiunea oxigenului, hidrogenului sulfurat sau a altor agenți chimici asupra unor metale sau aliaje metalice la temperatură înaltă în absența umidității.

Principala caracteristică a coroziunii chimice, în gaze, la temperaturi înalte constă în faptul că produșii de coroziune rămân în general, la suprafața metalului sub formă de pelicule.

Din acest motiv, coroziunea prin oxidare nu distruge complet materialul, deoarece pelicula formată izolează metalul de mediu agresiv. Grosimea peliculei de oxizi poate varia de la câțiva angstromi până la 1 mm. O asemenea peliculă stabilă și aderentă poate frâna dezvoltarea procesului de coroziune.

După Pilling și Bedworth, caracterul protector al peliculei de oxizi se manifestă atunci când volumul oxidului rezultat (V_{oxid}) este mai mare decât volumul metalului distrus (V_{metal}).

Raportul V_{oxid}/V_{metal} poartă numele de coeficient de expansiune. Pentru

metalele folosite uzual în tehnică, acest coeficient este supraunitar. Astfel, rezistența la coroziune a aliajelor refractare se datorează tocmai acestei pelicule aderente de oxizi.

S-a constatat că, proprietățile protectoare ale peliculei de oxizi se manifestă când:

$$1,0 < \frac{V_{\text{oxid}}}{V_{\text{metal}}} < 2,5 \quad (4.12)$$

Valoarea coeficientului de expansiune are un caracter relativ, deoarece proprietățile oxidului sunt puternic influențate de temperatură, șocuri mecanice sau tensiuni interne apărute în perioada de formare a peliculei. Rezistența peliculei la solicitări termice este cu atât mai mică, cu cât diferența dintre coeficienții de dilatare ai metalului și oxidului este mai mare. De asemenea, pelicula de oxid se poate distruge și în urma acumulărilor de gaze la interfața metal-oxid.

Rezistența aliajelor la coroziune chimică depinde de natura și cantitatea (procentajul) elementelor de aliere. Astfel, unele elemente cum ar fi: siliciu, cromul aluminiu etc. aliate cu alte metale, în proporții diferite, conferă acestora o mare rezistență la oxidare prin formarea straturilor de oxizi deosebit de aderente și lipsite de pori.

Dintre elementele menționate, cea mai eficientă acțiune de protecție o prezintă cromul, care începând de la un conținut de cca.5% manifestă o bună rezistență la temperaturi cuprinse între 600 și 650⁰ C. Creșterea conținutului de crom se determină o creștere corespunzătoare a rezistenței la temperaturi ridicate. Astfel oțelul cu 10..12%Cr devine rezistent până la 800⁰ C, iar cel cu 27-30% Cr până la 1100⁰ C.

În fig.4.5 se prezintă domeniul de temperaturi în care poate fi utilizat un oțel, în funcție de conținutul de crom, când se admite o pierdere prin coroziune de 1 și 10 mg/cm²/100 ore.

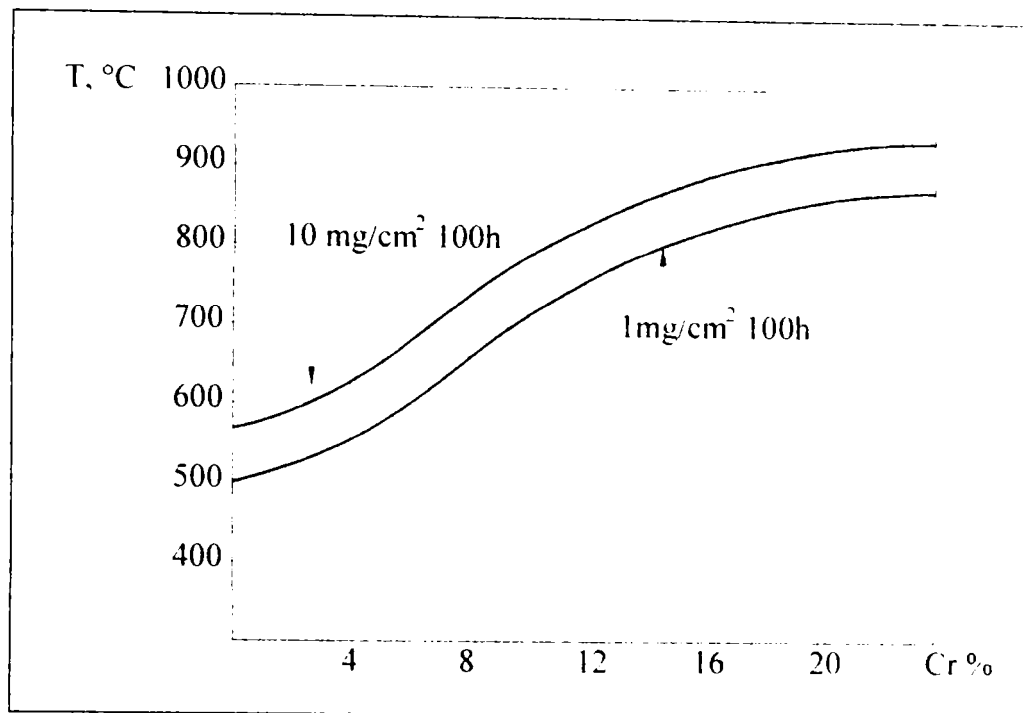


Fig 4.5. Domeniul de utilizare a oțelurilor la anumite temperaturi funcție de conținutul de crom

În cazul aliajelor ternare de tip Fe-Cr-Ni, prezența nichelului îmbunătățește comportarea la oxidare, pentru un conținut de crom de max. 20%. De asemenea în vederea creșterii caracteristicilor mecanice la temperaturi înalte față de elementele de aliere menționate se mai adaugă titan, niobiu sau cobalt.

Coroziunea electrochimică (COEL) presupune contactul metalului sau aliajului cu un electrolit, însoțit de un schimb de sarcini la nivelul interfeței între cele două medii.

Acest tip de coroziune poate fi exemplificat prin coroziunea metalelor în soluții apoase de acizi, baze și săruri sau prin coroziune atmosferică.

În funcție de modul de acțiune a agentului coroziv asupra unui metal sau aliaj metalic se disting două tipuri de coroziune:

- **coroziune generală**, când este afectată întreaga suprafață a metalului.
- **coroziune localizată**, când suprafața metalului este afectată parțial.

Coroziunea generală (COG) poate fi uniformă, atunci când se manifestă cu aceeași intensitate pe întreaga suprafață și neuniformă, când se produce pe unele porțiuni ale suprafeței metalului, cu viteze diferite.

Coroziunea localizată (COL) se produce pe porțiuni mari ale suprafeței sub formă de pete de coroziune, respectiv pe porțiuni foarte mici, dar adânci prin apariția punctelor de coroziune (pitting-uri).

În raport cu structura metalului, se deosebesc:

- **coroziune intercristalină (CI)** (intergranulară) la limitele grăunților cristalini;
- **coroziune structural selectivă- (COSTR)** selectivă, caracterizată prin atacul preferențial al mediului coroziv asupra unui anumit constituent;
- **coroziune transcristalină (COTRAN)** (transgranulară), care apare în

urma prelucrărilor mecanice și termice sau prin acțiunea conjugată a unei solicitări mecanice exterioare și a mediului corosiv ea traversează grăunții cristalini;

Coroziunea fisurantă sub tensiune (COFITEN) este rezultatul acțiunii combinate a tensiunilor statice și a mediului coroziv, concretizat prin apariția fisurii. Principalii factori implicați în acest proces sunt: tensiunile, natura mediului coroziv, timpul și structura metalului sau aliajului. Tensiunile pot fi interne sau aplicate. Tensiunile interne sunt cele produse prin deformare neuniformă în timpul prelucrării la rece sau prin rearanjarea structurală în urma modificării volumului unei piese.

Coroziunea fisurată sub tensiune s-a observat în majoritatea metalelor sau aliajelor metalice, în condiții de medii corozive specifice.

Nu s-a observat fenomenul de coroziune fisurantă sub tensiune în vid

Unul din aspectele importante al acestui fenomen îl constituie timpul, care poate varia de la minute la câțiva ani. Astfel, fenomenul apare mai curând în condiții de mediu coroziv sever și tensiuni ridicate. De asemenea, structura internă a metalului sau aliajului este foarte importantă atât prin compoziția chimică cât și prin procedeul de fabricație (turnare, sudare, prelucrare la cald sau la rece). Astfel, s-a constatat că oțelurile inoxidabile feritice sunt mai susceptibile la coroziune sub tensiune decât oțelurile austenitice.

Pentru a evita coroziunea fisurantă sub tensiune este necesară:

- luarea unor măsuri pentru diminuarea agresivității mediului;
- folosirea unor metale sau aliaje stabilizatoare;
- reducerea tensiunilor prin mărirea grosimii pereților, evitarea concentrării tensiunilor în puncte de sprijin, respectiv aplicarea unor tratamente termice de detensionare la produsele turnate sau sudate.

Coroziunea la oboseală (COBO) apare ca efect al acțiunii combinate a tensiunilor ciclice sau variabile cu acțiunea mediului coroziv.

În aceste condiții, fisurile de oboseală pot apărea de exemplu din punctele de coroziune și pot evolua rapid în mediul coroziv. Astfel, rezistența la oboseală a unui metal sau aliaj metalic scade în condițiile prezenței unui mediu coroziv.

Fisurile datorită coroziunii la oboseală au, de obicei, caracter transgranular fără ramificații.

Rezistența la oboseală a unui material supus coroziunii depinde mai mult de proprietățile de protecție ale peliculei formate la suprafața materialului decât de rezistența la coroziune proprie acestuia. De asemenea, rezistența la oboseală scade în prezența unor defecte ca: fisuri, creștături, incluziuni nemetalice etc. care pot constitui amorse de fisuri de oboseală.

În comparație cu coroziunea fisurată sub tensiune, coroziunea la oboseală este o problemă generală, nu una specifică unei anumite combinații metal-mediul coroziv.

4.1.1.4. Coroziunea în instalațiile de abur și apă fierbinte

În comparație cu uzura mecanică, coroziunea este un proces de deteriorare a suprafețelor metalice, produs în urma reacțiilor chimice ale metalelor cu

componenti ai mediului coroziv.

Din punct de vedere fizico-chimic, procesele de coroziune sunt reacții la limitele fazelor.

Atât în cazul cazanelor și conductelor de abur și apă fierbinte cât și în cazul recipientilor sub presiune există o coroziune provocată de mediul interior și alta care se produce în exteriorul sistemului sub presiune. Pentru cazane, mediul exterior reprezintă gazele de ardere sau gazele tehnologice, din care se recuperează căldura, iar mediul interior este apa.

Coroziunea exterioară a cazanelor și conductelor de abur și apă fierbinte s-a accentuat în ultima perioadă, prin conținutul ridicat de sulf al combustibililor folosiți. Astfel, bioxidul de sulf, SO_2 , produs în urma arderii sulfului, este oxidat parțial (în general 0,1-0,3%) în trioxid de sulf, SO_3 , reacția fiind catalizată puternic de oxizii de vanadiu. Pe lângă acțiunea sa, puternic corozivă, trioxidul de sulf dizolvat în condensul vaporilor de apă, accentuează coroziunea prin ridicarea punctului de rouă. Acest fenomen se datorează și procesului de ardere reducătoare cu conținutul de monoxid de carbon în gazele de ardere, conducând la apariția punctului de rouă acidă. Acest punct la combustibilii obișnuiți se află între 120° și 180° C. De regulă, temperatura gazelor de ardere trebuie să fie cu $30...50^{\circ}$ C peste punctul de rouă acidă pentru a împiedica coroziunea metalului.

Din punct de vedere al exploatării cazanelor, pentru diminuarea transformării SO_2 în SO_3 se poate acționa prin: ridicarea temperaturii, scăderea presiunii, respectiv reducerea concentrației de oxigen. De asemenea, diminuarea coroziunii externe a cazanelor de abur și apă fierbinte se poate realiza prin utilizarea amoniacului sau a oxidului de magneziu pentru neutralizarea acidului sulfuric format, respectiv pentru anihilarea acțiunii oxizilor catalizatori conținuți de combustibil.

Coroziunea internă a cazanelor și conductelor de abur și apă fierbinte se manifestă în circuitul apă-abur condensat al unei centrale termice. Unele fenomene de coroziune se datorează viciilor ascunse ale structurii metalelor (oțelurilor) din care sunt fabricate cazanele și sunt greu de depistat.

Alte fenomene de coroziune se datorează atât gazelor dizolvate, cât și oxidării metalului de către apa fierbinte sau de către abur.

În ceea ce privește acțiunea gazelor dizolvate trebuie să se țină seama de efectele produse de oxigen și bioxid de carbon.

Oxigenul se află pe primul loc în procesele de coroziune producând:

- depolarizarea pilelor electrochimice;
- oxidarea bioxidului feros în hidroxid feric, ceea ce conduce la apariția ionilor de fier insolubili;
- aerarea diferențială, care presupune distribuția neuniformă a concentrației oxigenului în diverse zone limitrofe, producând potențiale electrice diferite.

Coroziunea prin oxigen se manifestă în zonele de temperatură joasă a cazanelor, în economizor, dar și în schimbătoarele de căldură din sistemul regenerativ al cazanelor, în special al cazanelor de apă fierbinte. Aspectul coroziunii provocate de oxigen este sub formă de ciupituri în metal, plasate sub o umflătură de culoare roșie-brună formată din oxid feric. Sub această umflătură se

află un strat negru de magnetită.

În fig. 4.6 se prezintă variația vitezei de coroziune în funcție de pH-ul apei și de cantitatea de oxigen pe care o conține.

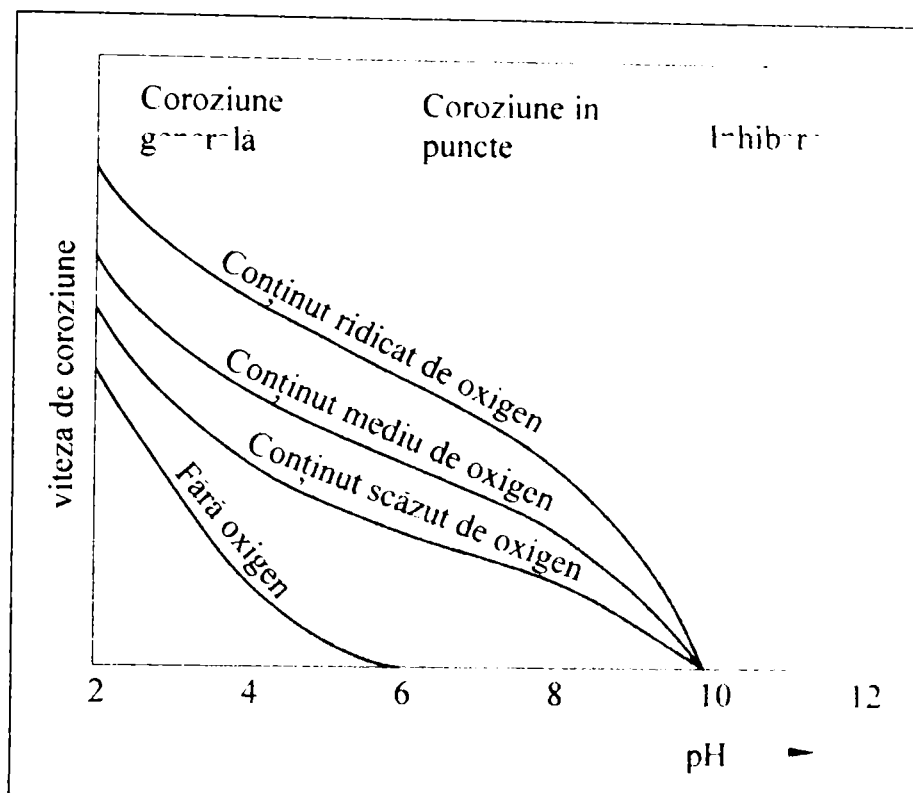


Fig.4.6. $V_{cor} = f(pH, O_2)$

Se observă că la o valoare a pH -ului sub 6 atacul coroziv este generalizat, iar la valori ale pH-ului cuprinse între 6 și 10, apare coroziunea punctiformă (pitting).

Peste această valoare, oxigenul din apă se comportă ca un inhibitor al reacției de coroziune.

Fenomenul de coroziune prin oxigen se accentuează în condiții de conservare necorespunzătoare a cazanelor oprite din funcționare.

Bioxidul de carbon produce o reacție de coroziune comparabilă cu cea a acizilor tari.

Componentele dintr-o instalație de cazane, cele mai expuse coroziunii prin bioxid de carbon, sunt conductele tehnologice, pompele, preîncălzitoarele de apă, respectiv rețeaua de recuperare a condensului.

Coroziunea datorită oxidării de către apa fierbinte are loc la temperaturi peste 250° C, când metalul (oțelul) se acoperă cu un strat de magnetită.

În condiții favorabile, acest strat este compact și aderent și acționează ca strat protector pentru metal. Evoluția mai departe a coroziunii este determinată de difuzia fierului prin stratul de protecție. Cu toate că acest proces este foarte lent, după distrugerea stratului de protecție, fenomenul de oxidare se accelerează.

În condiții de funcționare la temperaturi ridicate, aburul supraîncălzit dă naștere unui strat de magnetită cu volumul de 2 ori mai mare decât cantitatea de fier oxidat.

La temperaturi peste 570⁰ C, în locul magnetitei (Fe₃O₄) se formează oxidul feros (FeO), care nu mai are proprietăți protectoare. Acest fenomen se dezvoltă rapid și în scurt timp duce la avarierea conductei. În acest caz, reacția chimică este:



Hidrogenul degajat este antrenat parțial de către abur, iar cealaltă parte difuzează în oțel, producând decarburarea. Reacția începe, de obicei, la o temperatură a aburului de 450⁰ C, cea a conductei fiind de cca. 510⁰ C.

În prezența oxigenului, reacția poate începe la 200⁰ C. Descompunerea aburului și reacția acestuia cu oțelul au fost studiate de Chaudron, care a stabilit o diagramă conform căreia apariția oxidului feros are loc la 570⁰ C.

În aceste condiții acțiunea aburului poate fi diminuată prin aplicarea unui strat protector de magnetită.

De asemenea, substanțele dizolvate în apă, în general săruri anorganice, sub influența temperaturii din cazan sau conductă, se pot concentra progresiv până la limita de saturație, depunându-se pe suprafețele de schimb de căldură, în funcție de solubilitate. De exemplu, sărurile de sodiu având o solubilitate ridicată în apă nu se depun.

Pe de altă parte, unele săruri prezente în apă, pot participa la reacții de hidroliză sau schimb, formând hidrați insolubili și acizi, ce se pot constitui în agenți corozivi periculoși.

Pentru diminuarea coroziunii la cazanele de abur și conductele tehnologice de apă fierbinte, destinate vaporizării, în sistemul apei de alimentare se adaugă hidrazină și sulfat de sodiu. În absența acestor substanțe, este posibilă, pe lângă coroziunea generală, apariția coroziunii fisurante sub tensiune.

Funcționarea fiabilă a cazanelor de abur și apă fierbinte trebuie asigurată prin unele măsuri preventive, în cazul în care:

- scade temperatura aburului supraîncălzit în timp, la același consum de combustibil;
- cresc pierderile de presiune;
- crește consumul de combustibil, la același debit de abur produs;
- se modifică aspectul apei, indicând un regim chimic necorespunzător pe circuitul apă-abur-condens.

4.1.1.5. Analiza ecuației COFITEN

Coroziunea fisurantă sub tensiune (COFITEN) face parte din grupa coroziunii adânci (profunzime) alături de alte tipuri de coroziune (intercristalină, lamelară, filiformă, etc) specific componentelor metalice ce lucrează în termoenergetică în condiții de temperatură și presiune ridicată.

COFITEN se datorează acțiunii concomitente în timp determinat asupra unui metal, element sau sistem tehnic care prezintă o susceptibilitate la mediile corozive și la tensiunile corespunzătoare unei stări de solicitare mecanică (curenți sau reziduale). Acest tip de coroziune poate fi luată în discuție când se îndeplinesc simultan în toate componentele sale ecuația structurală (fig.4.7).

$$\boxed{\text{COFITEN}} = \boxed{\text{Mediu coroziv (agresiv)}} + \boxed{\text{Agenții de atac}} + \boxed{\text{Susceptibilitatea La COFITEN}} \cdot \boxed{\text{Timpul } t}$$

Fig.4.7. Ecuația structurală a COFITEN

La analiza ecuației structurale a COFITEN -ului se remarcă:

4.1.1.5.1. Mediul coroziv agresiv și agenții de atac asigură domeniul propriu desfășurării în timp a fenomenului de coroziune pe baza acțiunii chimice directe.

Acțiunea agresivă a agenților de atac poate fi puternic influențată de o serie de factori printre care se amintesc: presiunea, temperatura și starea de tensiuni mecanice în care se află materialul și îmbinările sudate.

Cei mai activi agenți de atac la corodarea oțelurilor nealiate și aliate sunt compușii de clor, bioxid de carbon și hidrogen ce formează cu apa acizi. Acțiunea agresivă oțelurilor și îmbinărilor lor sudate crește cu concentrația acestor agenți în apă și cu temperatura. Prezența soluției de acid clorhidric determină dezvoltarea reacției chimice:



Acțiunea distructivă a mediului coroziv ce se vehiculează prin conductele sistemelor termoenergetice (circuite) are ca rezultat reducerea grosimii de perete.

Acest fenomen se datorează activității chimice respective mecanochimice de coroziune și cele fizice de eroziune a substanțelor cu care intră în contact suprafețele interioare.

Dacă ambele fenomene se produc simultan viteza de coroziune a suprafeței în contact se mărește considerabil. Pe baza analizării unor suprafețe interioare corodate ale conductelor de oțel termorezistent ce lucrează la temperaturi și presiuni ridicate s-a constatat că fenomenele de coroziune și eroziune depind de factorii:

- condiții de lucru (temperatură, presiune, funcționare în regim variabil, etc);
- compoziția chimică și starea fluidului (abur, apă) cu care lucrează instalația;
- compoziția chimică a oțelurilor și a componentelor îmbinării sudate din care sunt executate conductele;

Concentrația în ioni de hidrogen este folosită ca măsură a acidității unei soluții, deoarece ionii de hidrogen dau un caracter acid soluțiilor, ea se exprimă prin relația:

$$pH = \log(H^+) \quad (4.15)$$

în care H reprezintă concentrația în discuție.

Astfel distingem:

- soluții neutre cu $pH = 7$ (deoarece $H = 10^{-7}$ în apă);
- soluții acide cu $pH < 7$;
- soluții bazice (alcalii) cu $pH > 7$.

Fluidul ce circulă prin conductele termoenergetice în mod obișnuit nu este coroziv (când se produce din ape demineralizate) însă în cazul când alcalinitatea lui crește puțin de la $pH = 7$ la $pH = 7,5$, acțiunea agresivă a acestuia devine considerabilă datorită apariției în aceste condiții a acidului carbonic (în urma reacției dintre bioxidul de carbon și apă:

Acest fel de coroziune se manifestă deosebit de sever prin degradarea peretelui interior al conductei și chiar prin propagări de fisuri intra-intecristaline la nivelul structurii oțelului conductei.

Temperatura de lucru poate produce fenomene de uzare termică a conductei.

Creșterea temperaturii de lucru a oțelului activează mai ales procesele de oxidare. Oxigenul liber poate proveni din fazele de ardere sau din reducerea aburului supraîncălzit și determină creșterea vitezei de oxidare. În tabelul 4.1 se prezintă temperaturile de oxidare a unor oțeluri utilizate în industria termoenergetică.

TABELUL 4.1.

Nr. crt.	MATERIALUL	Temperatura oțelului și a îmbinărilor sudate, în °C	
		minimă	maximă
0	1	2	3
1	Oțel nealiat	510	560
2	Oțel aliat cu 0,5 % Mo	520	560
3	Oțel aliat cu 1 % Cr + 0,5 % Mo	560	590
4	Oțel aliat cu 2,25 % Cr + 1%Mo (2,25Cr/ 2Mo)	590	630
5	Oțel aliat cu 5% Cr + 1% Mo (5 Cr / 1Mo)	620	650
6	Oțel aliat cu 18% Cr + 8% Ni 18 Cr / 8Ni)	-	870
7	Oțel aliat cu 25 % Cr + 12 %Ni (25 Cr / 12Hi)	-	1150
8	Aliat cu 12% Cr + 1% Mo (12 Cr /12 Hi)	-	810

Atât oțelurile cât și îmbinările lor sudate pot funcționa corespunzător în ansamble de conducte la temperaturile din tabelul 4.1 cu agenți de aer sau abur în condițiile în care nu sunt defecte de material sau de sudare.

În cazul în care pe circuitul de conducte sunt îmbinări sudate eterogen (disimilare) se alege ca temperatura de funcționare valoarea cea mai mică garantată la unul din materialele de bază.

4.1.1.5.2. Susceptibilitatea oțelurilor termorezistente și îmbinărilor sudate la coroziune sub tensiune (COFITEN)

Informații referitoare la caracteristicile de material (oțeluri termorezistente).

Nivelul actual al cunoștințelor referitoare la modul de comportare al oțelurilor termorezistente și îmbinărilor sudate în diferite condiții de solicitare specifice (temperaturi și presiuni ridicate, coroziune, etc) are la bază informații obținute prin:

- încercări de laborator realizate în condițiile relativ reproductibile;
- experiența obținută în urma exploatării de lungă durată a conductelor tehnologice din centralele termoenergetice.

Fiecare din aceste informații, prin specificul lor, reprezintă unele particularități. Astfel încercările de laborator urmăresc, de regulă, influența unui număr mic de parametri considerați ca reprezentativi (nivel de tensiune, timp de încercare la coroziune, etc.).

Din acest motiv, extrapolarea rezultatelor în condiții efective de lucru, trebuie făcută cu prudență mai ales dacă în noile condiții intervin și alte mărimi, a căror influență nu este determinantă în corelație cu parametrii cercetați în laborator (întreruperi dorite sau nedorite a funcționării conductelor tehnologice ce reclamă scăderi de temperatură și presiune, etc).

Încercările de laborator permit, de regulă, o interpolare prin metode de statistică matematică.

Experiența obținută în urma utilizării în industria termoenergetică a unei mărci de oțel termorezistent (nealiat sau aliat) oferă mai ales date referitoare la condițiile generale în care acest material a rezistat la coroziune, însă nu poate releva dacă nu este cazul unei folosiri neeconomice cu o rezervă de durabilitate nejustificată.

Studiul unor corelații care evidențiază performanțele oțelurilor termorezistente la solicitările conduc, de regulă, la comportări sensibil diferite, sau pun în lumină aspecte ce nu evidențiază rezistența la coroziune în medii de abur - apă. Avariile constatate la unele conducte din circuitele de abur au pus sub semnul întrebării validitatea valorilor limitei de curgere la cald pentru aceste produse. La aceste oțeluri pe baza datelor experimentale dispersia valorilor limitei de curgere la o temperatură dată este foarte mare. O mare parte a dispersiei poate fi explicată prin prisma parametrilor metalurgici și coroziunii. Experiența a arătat ca cei mai mulți factori (metalurgici și coroziunea) au o influență directă asupra rezistenței la rupere (la tracțiune) la temperatura ambiantă (condiții de livrare), limitei de curgere la cald și la temperatura ambiantă la oțeluri termorezistente.

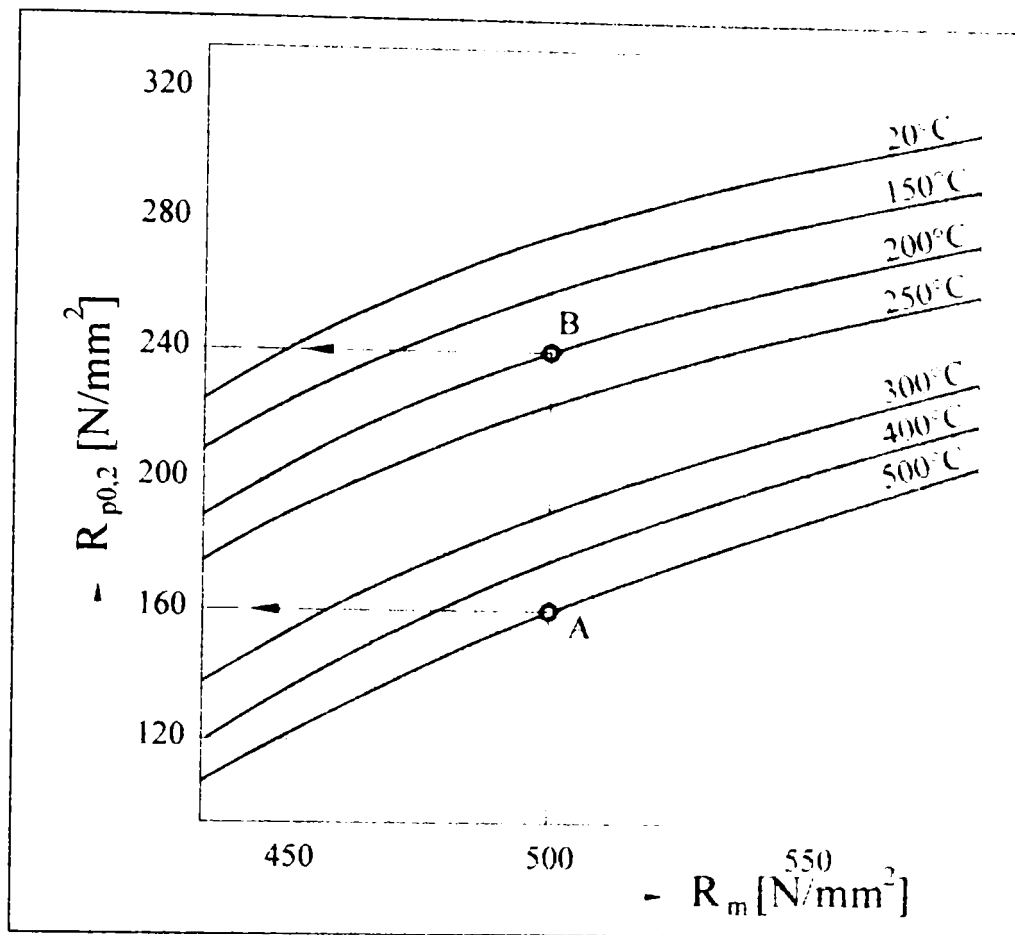


Fig. 4.8. Corelația $R_{p0.2}^t = f(R_m)$ la oțelul 16Mo3 nefolosit (în stare de livrare)

Astfel la oțelul termorezistent 16 Mo3 nefolosit, pe baza unor încercări mecanice de tracțiune la +20° C și la temperaturi înalte s-a trasat în fig 4.8 corelația $R_{p0.2}^t = f(R_m)$, unde R_m – rezistență mecanică la rupere în N/mm².

La valoarea $R_m = 500$ N/mm² oțelul 16Mo3 asigură o limită de curgere la cald de:

- 160 N/mm² la temperatura de încercare de 500° C (punctul A);
- 240 N/mm² la temperatura de încercare de 200° C (punctul B);

Procese de coroziune sub tensiune (COFITEN)

Coroziunea sub tensiune se dezvoltă în anumite condiții critice în care acțiunea agentului coroziv este localizată și activată la solicitarea mecanică rezultată din încărcarea exterioară (presiune, temperatură) sau din tensiunile mecanice proprii.

Procesele se declanșează după o oarecare perioadă de timp necesară pentru amorsarea primelor fisuri după care, de obicei, propagarea fisurilor se desfășoară rapid, ca urmare a concentrării de tensiuni la vârfurile fisurilor. Practic la oțelurile termorezistente și la îmbinările lor sudate procesele de coroziune sub tensiune mecanică se desfășoară atât transcristalin cât și intercristalin, gradul de ramificare al fisurilor depinde de intensitatea stării de tensiune. Se apreciază că pentru fiecare combinație oțel-mediu de lucru există o valoare critică a factorului

de intensitate a tensiunii la vârful fisurii sub care procesul de fisurare încetează. Astfel pentru oțelul termorezistent Cr-Mo aflat în stare de solicitare în diferite medii, în fig.4.9. se prezintă curbele de variație a vitezei de creștere a fisurilor $\frac{da}{dN}$, în funcție de valoarea factorului de intensitate a tensiunii (K_I) la un oțel termorezistent din grupa Cr-Mo.

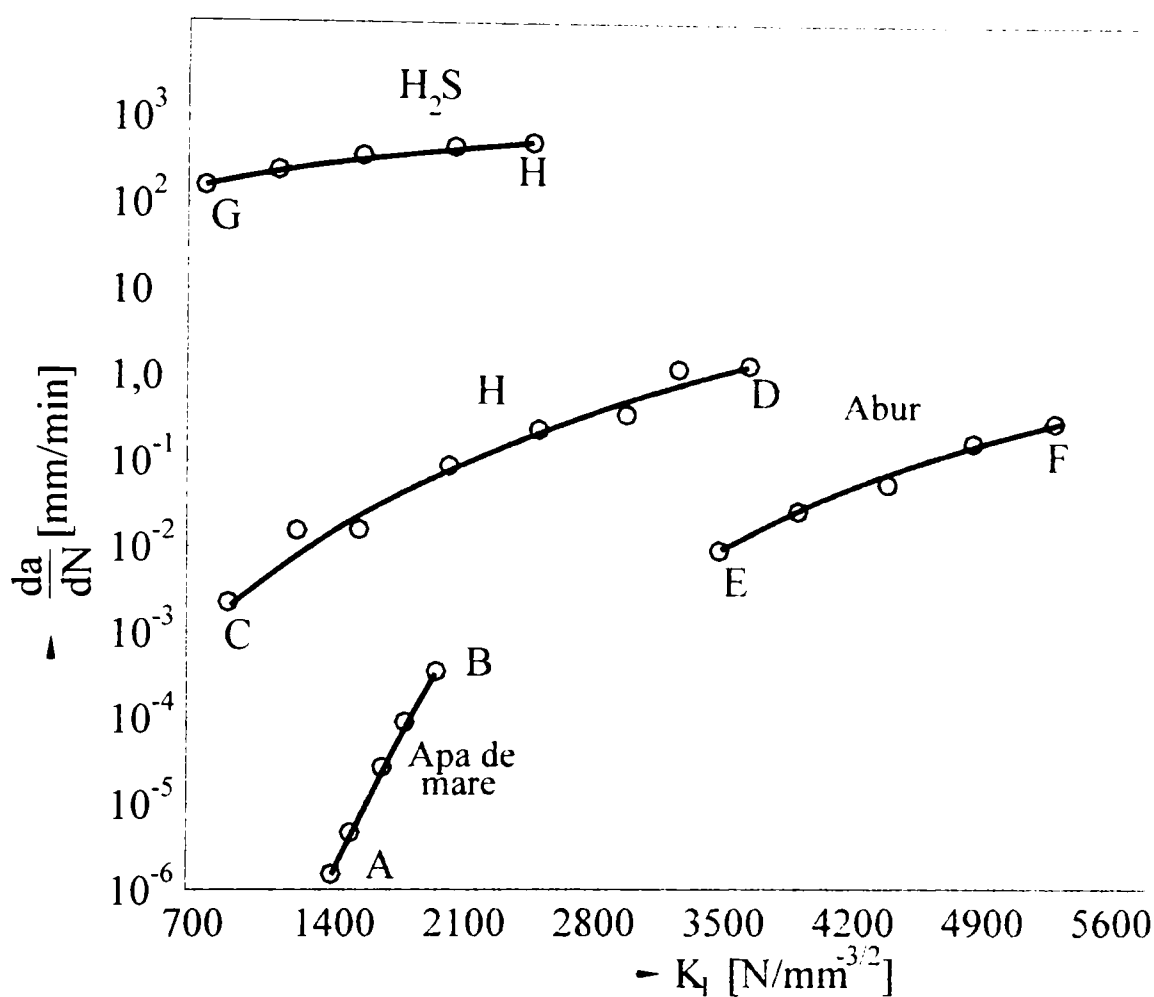


Fig 4.9. Variația $da/dN = f(K_I)$ la un oțel termorezistent Cr-Mo

Încercările efectuate pe oțelul Cr-Mo în aceleași medii corozive, dar în condițiile unor solicitări variabile au evidențiat faptul că odată cu creșterea factorului de intensitate K_I se produc modificări esențiale ale vitezei de fisurare da/dN . Curba de variație E - F pentru abur are parametrul K_I cuprins între $3550 N/mm^{-3/2}$ și $5300 N/mm^{-3/2}$ în condițiile în care viteza de fisurare crește de la 10^{-2} la $0,5$ mm/min.

La oțelurile inoxidabile feritice (cu 12% Cr) corozivitatea sub tensiune se dezvoltă în prezența soluțiilor alcaline sau de cloruri în care sunt prezenți ionii de

Cl, OH la temperaturi peste $350^{\circ}C$. Practic aceeași agenți chimici determină COFITEN și în cazul nichelului și al aliajelor acestuia, dar la concentrații și temperaturi sensibil mai ridicate (peste $500^{\circ}C$). La aliajele de cupru agenții chimici care generează coroziunea fisurantă sub tensiune mecanică sunt amoniacul, apa, și oxigenul în soluții cu $pH > 8$.

La îmbinările sudate problemele COFITEN raportate la cele ale materialelor de bază izvorăsc din efectele cumulate ale procesului de sudare care le generează:

- datorită existenței unor zone distincte (sudură, și material de bază);
- neomogenitatea chimică microscopică ca rezultat al unor transferuri de masă cu sediul în sudură și în zona influențată termic;
- neomogenitate structurală macroscopică între diferite zone ale îmbinării;
- neomogenitate structurală microscopică între diferitele subzone ce alcătuiesc zonele îmbinării;
- câmpuri de tensiuni și deformații elastice și plastice;
- modificări locale ale configurației geometrice, importante sub aspectul concentratorilor de tensiune.

Tensiunile mecanice, inclusiv tensiunile proprii datorită proceselor de sudare, influențează negativ rezistența la coroziune datorită mai multor efecte și anume:

- mărirea eterogenității fizice ca urmare a creșterii densității efectelor de rețea obținută prin deformare plastică;
- perturbarea prin deformare a însușirilor protectoare ale unor straturi superficiale;
- existența unor defecte de sudare (fisuri, netopiri, etc.) ce pot constitui amorse de coroziune mai ales când ele se plasează pe suprafața interioară a conductei tehnologice.

În domeniul elastic tensiunile mecanice influențează relativ puțin viteza de coroziune sub tensiune, în medii neutre sau alcaline, dar în medii oxidante ea poate să crească de câteva ori față de cea în mediu neutru.

În anumite condiții, COFITEN se poate manifesta deosebit de periculos atât datorită faptului că determină sub acțiunea mediului agresiv (abur) apariția unui defect de tip fisură, cât și datorită faptului că, după trecerea timpului de incubație viteza de creștere a fisurilor devine foarte mare depășind chiar câțiva mm pe oră. Ca efecte secundare ale sudării, care pot afecta rezistența la COFITEN, se citează oxidarea superficială a zonei sudate, existența unor stropi de metal improșcat aderenți la suprafața componentelor sudate precum și resturi de zgură sau flux, care nu au fost îndepărtate după sudare. Forma tipică a COFITEN-ului pentru metalele de bază și pentru îmbinările sudate este prezentată schematic în fig.4.10.

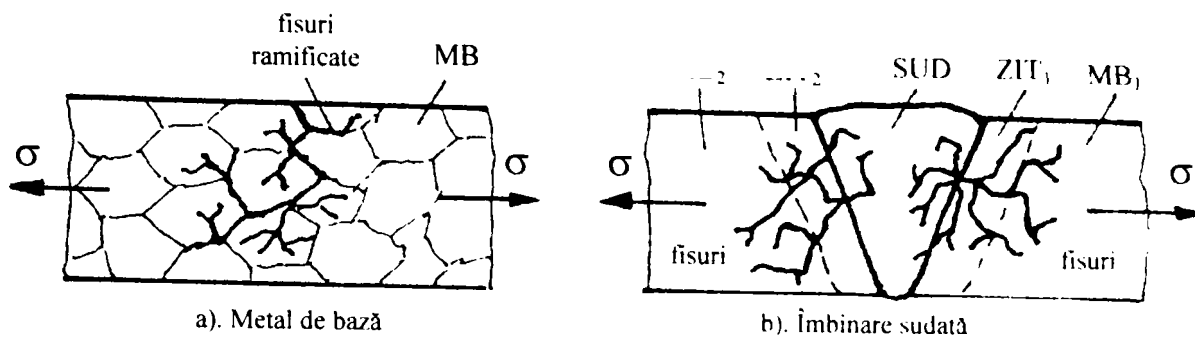


Fig.4.10. Fisuri specifice COFITEN la metalele de bază și la îmbinările sudate cap la cap

La metalele de bază (MB) fisurile apărute datorită fenomenelor COFITEN au un aspect ramificat cu traiecte inter-intragranular (fig 4.10 a). La îmbinările sudate cap la cap de regulă ele se amorsează în ZIT, mărimea zonelor afectate sunt în funcție de intensitatea tensiunii " σ ". La valori ridicate ale tensiunii și în medii corozive active apariția fisurilor se poate localiza atât în ZIT₁, cât și în ZIT₂. Traiectul acestor fisuri este intergranular în ZIT și MB și inter-intradendritic în sudură (SUD) (fig.4.10.b).

Conductele tehnologice folosite în termoeenergetică se clasifică după grupa de conducte în "C" și "D". În tabelul 4.2 se inserează parametrii "P" și "T" în funcție de grupa și categoria conductelor tehnologice. Parametrii sunt dați în:

- bari pentru presiunea de lucru P;
- °C pentru temperatura de lucru T.

TABEL 4.2

Nr. crt.	Grupa de conducte	Categoria conductelor									
		I		II		III		IV		V	
		P	T	P	T	P	T	P	T	P	T
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	C Abur supraîncălzit	oricare	450.. 660	max. 39	350.. 450	max 22	250.. 350	max 16	120.. 250	-	-
2	D Abur saturat și apă caldă	peste 184	peste 120	80... 184	peste 120	16.. 18	peste 120	2.. 16	peste 120	-	-
3	E Abur tehnologic	oricare	450.. 700	64.. 100	350.. 450	25.. 64	250.. 300	max 25	120.. 250	max 16	până la 120

Pe baza parametrilor "P" și " T" se determină categoria conductelor pentru o grupă de conducte (C,D,E). Odată stabilită grupa și categoria conductei se alege oțelul termorezistent ce răspunde la cerințele solicitate (presiune, temperatură) din acest tabel.

Viteza de coroziune în cazul COFITEN la conductele tehnologice este condiționată de o serie de factori, dintre care se amintesc:

- **factori interni** (natura și calitatea oțelului - compoziția chimică, structură, existență de eforturi unitare reziduale respectiv deformații remanente, starea suprafeței tehnologice);

- **factori externi** (condițiile procesului tehnologic- presiune, temperatură, caracteristicile mediilor de lucru, corozivi, etc).

În vederea asigurării rezistenței la coroziune la oțelurile termorezistente și la îmbinările lor sudate, din proiectare se amplifică grosimea de perete a conductelor tehnologice prin care se vehiculează fluide de tip abur + apă. Principalele valori ale adaosului de coroziune " C₂" la oțelurile termorezistente sunt inserate în tabelul 4.3.

TABEL 4.3

Diametrul nominal al conductei tehnologice D_n	Adaosul de coroziune "C ₂ " în mm. pentru conductele tehnologice ce vehiculează abur cu apă (agresivitate medie)		
	Oțeluri nealiat	Oțeluri aliate	Oțeluri aliate Cr-Ni (inoxidabile)
0	1	2	3
<i>Presiune nominală a conductei tehnologice $P_n \leq 100$ bari</i>			
10...40	1,5...2,0	-	1,0...1,5
50...100	3,5...4,5	1,5...3,5	2,0
> 125	4,0...5,0	3,0...6,0	-
<i>Presiune nominală a conductei tehnologice $P_n \in [200;1000]$ bari</i>			
10;15	-	2,0	1,0...1,5
25	-	2,0...2,5	1,5...2,0
32...40;60	-	2,5...3,0	2,5
70...100	-	3,5...4,5	3,0
125...200	-	5,5...4,0	4,0

La grupa oțelurilor aliate cu $P_n \in [200;1000]$ bari se includ oțelurile Cr-Mo, Cr-Mo-V, Cr-V ce au garantată limita de curgere la cald R_p^t la temperatura de lucru a conductei.

La grupa oțelurilor aliate inoxidabile se încadrează oțelurile cu min.12% Cr

și cu limită de curgere la cald $R'_{p0,2}$ garantată la temperatura de lucru a conductei.

4.1.1.5.3. Analiza timpului de solicitare

Acțiunile chimice la conductele tehnologice se identifică cu distrugerile prin coroziune (chimică, sub tensiune, electrochimică etc.) Se remarcă faptul că prin exercitarea de sarcini (exterioare, interioare) se generează tensiuni mecanice intense care de regulă au o durată scurtă sau lungă (de la fracțiuni de secundă la ore sau zile).

Acțiunile chimice ale COFITEN sunt acțiuni de durată lungă și foarte lungă (luni, ani și chiar zeci de ani). Evident sub acțiunea coroziunii, peretele conductei tehnologice se subțiază treptat-treptat și ca atare, tensiunile mecanice din perete cresc în timp (fig.4.11.)

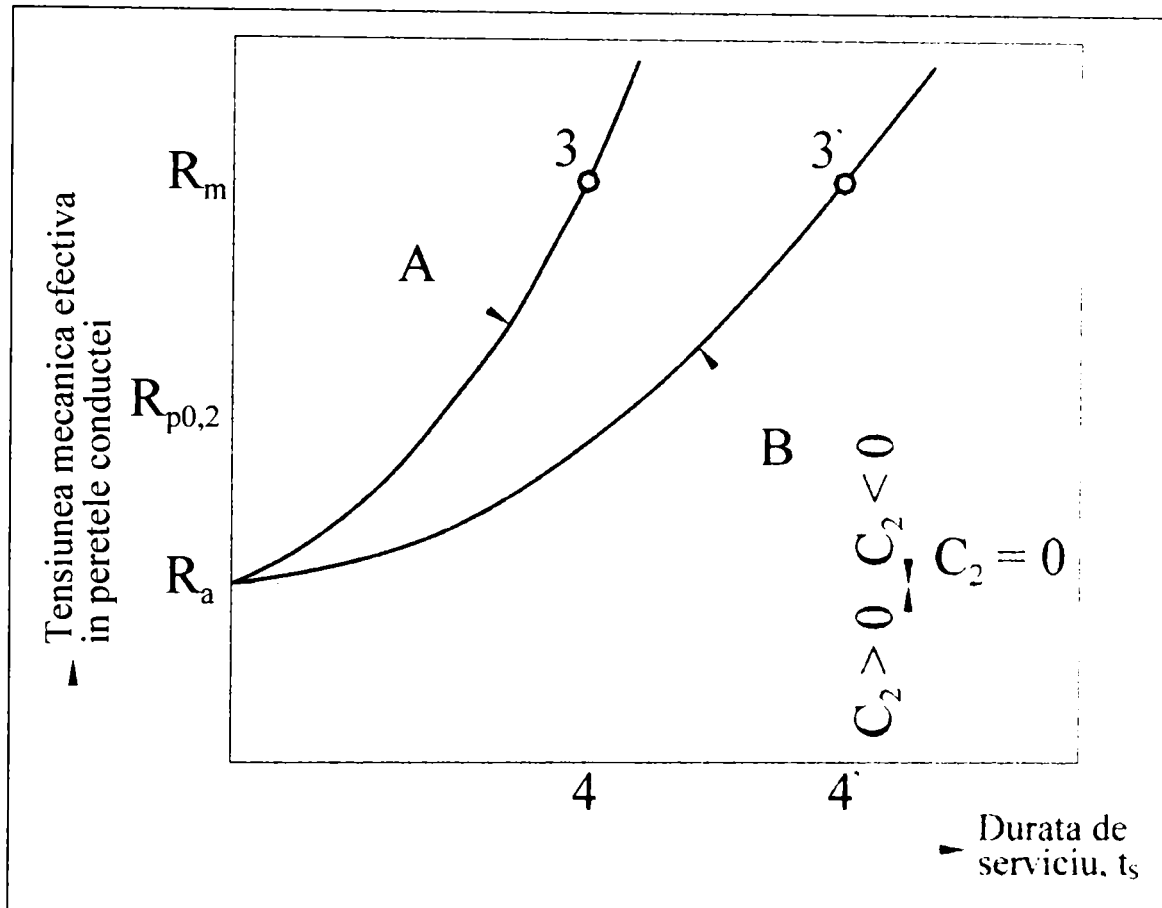


Fig 4.11. Dependența tensiunii mecanice din peretele conductei de acțiunea în timp a coroziunii

În fig.4.11. s-au analizat două tipuri de oțeluri și anume:

- oțel mai puțin rezistent la COFITEN (curba A);
- oțel rezistent la COFITEN (curba B).

Criteriul de departajare a rezistenței la coroziune sub tensiune a oțelurilor A

și B s-a ales mărimea duratei de serviciu t_s .

Fisurarea oțelurilor A și B în condiții de coroziune și cu tensiuni mecanice se amorsează în domeniul R_{pe} - R_m , iar ruperea survine inevitabil în momentul când tensiunile mecanice vor atinge nivelul R_m - rezistența la rupere a oțelului peretelui. La această valoare a lui R_m pe curbele A și B se definesc punctele 3 și 3' cu valori constante ce determină duratele de serviciu t_3 și t_3' aflate în raportul $t_3 < t_3'$. Aceste durate reprezintă momentele producerii avariei prin COFITEN. La proiectare când se analizează rezistența admisibilă (R_a), se consideră că adaosul de coroziune este $C_2=0$. La valori superioare de solicitare adaosul de coroziune are valori negative (se corodează peretele conductei), iar la valori inferioare adaosul de coroziune nu se diminuează, el are valori pozitive.

Durata de serviciu t_s sau timpul de solicitare împreună cu alți factori influențează durata de viață a conductei tehnologice în serviciu.

Aspectul suprafeței interioare a unei conducte tehnologice din oțel 16Mo3 ce a lucrat la 430 °C supusă fenomenelor de coroziune la trecerea fluidului (apă+abur) este prezentată în fig. 4.12.

Fig 4.12. Suprafața interioară a unei conducte din oțel 16Mo3 [100x]

Pe lângă depunerile observate s-au decelat fisuri și microfisuri distribuite neuniform. Aceste fisuri nu respectă strict traiectul inter sau intracristalin, iar lungimea și lățimea lor variază. Verificarea suprafeței interioare s-a efectuat după un timp de funcționare în regim discontinuu (opriri-pompi) de aproximativ 90.000 ore. Când se folosesc epruvete de încercare la COFFITEN în medii specifice de lucru agresive (prelevate din pereții conductelor tehnologice) pentru a analiza comportarea la coroziune a oțelurilor termorezistente și a îmbinărilor sudate se ridică corelații grafice generale (fig.4.13.)

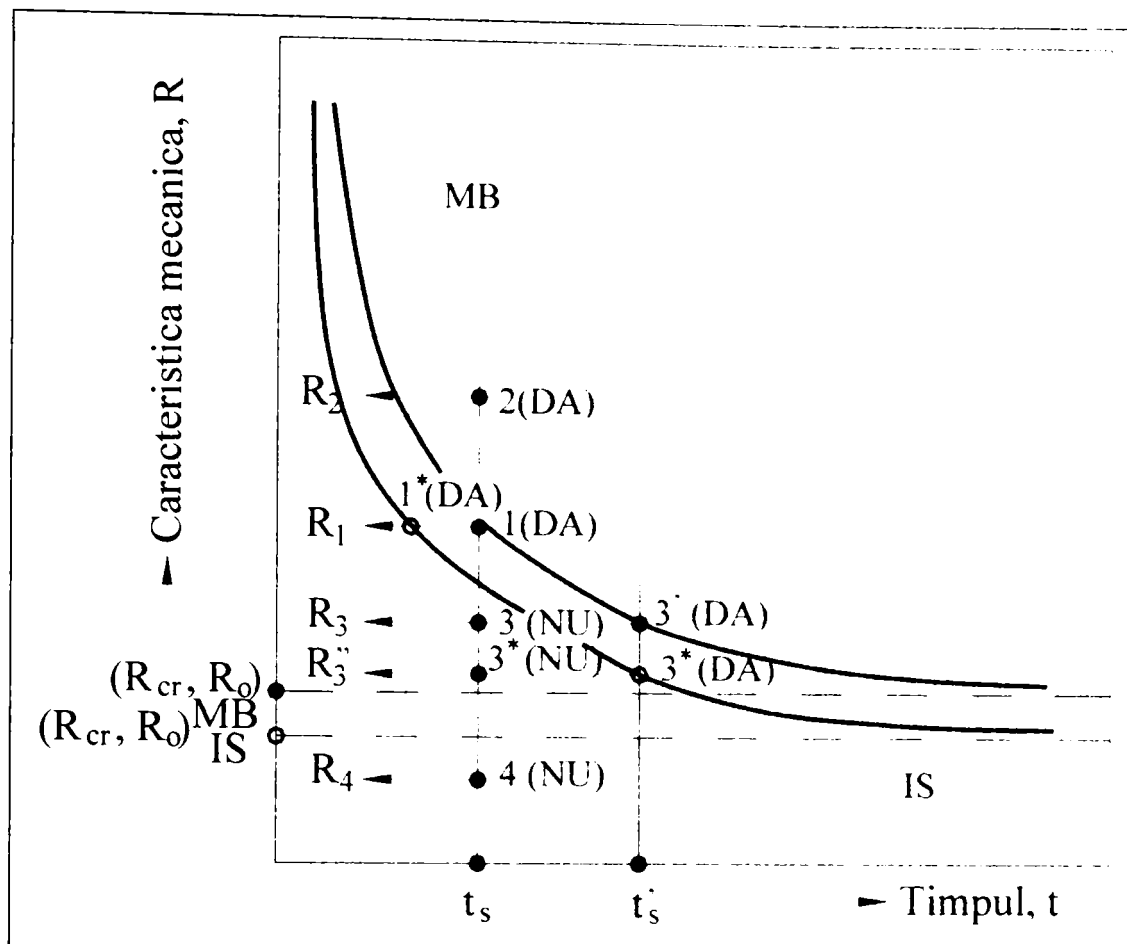


Fig.4.13. Curba tipică COFITEN pentru MB și IS

Caracteristicile mecanice de rezistență (R_m , $R_{p0,2}$) ale oțelurilor termorezistente (MB) și a îmbinărilor lor sudate (IS) la conductele tehnologice ce lucrează la temperaturi și presiuni ridicate scad pe măsura creșterii timpului de serviciu.

a) Când nivelul valoric R_1 și R_2 al caracteristicilor mecanice ale MB și IS (în special rezistența la rupere – R_m și limita de curgere $R_{p0,2}$) sau/și cel al eforturilor unitare maxime după cumulara lor algebrică, corespunde locului geometric al punctelor de tipul 1 și 1*, pe curbele $R=f(t)$ (pentru MB și IS) și în punctul 2 deasupra curbei $R=f(t)$ pentru MB, atunci structurile examinate prezintă COFITEN și cedează în momentul în care $t \rightarrow t_s = t_f$ (t_f fiind timpul final, iar t_s este timpul de serviciu).

b) Când nivelul valoric R_3 ($R_3 < R_2$) al caracteristicilor mecanice MB și IS sau cel al eforturilor unitare maxime după cumulara lor algebrică corespund locului geometric al punctelor 3 și 3* (sub curbele $R = f(t)$ pentru MB și IS) atunci structurile examinate nu prezintă COFITEN NU, ele nu cedează în momentul în care $t \rightarrow t_s < t_f$.

Aceleași oțeluri prezintă susceptibilitate la COFITEN DA și chiar cedează prin COFITEN în punctul 3 la MB și 3* la IS la momentul în care $t \rightarrow t_s = t_f$.

c) Dacă nivelul valoric R_4 ($R_4 < R_3$) al caracteristicilor mecanice de rezistență (R_m , $R_{p0,2}$) sau/și cel al eforturilor unitare maxime numai după cumulara lor

algebrică corespunde locului geometric al punctului de tip 4 (sub curbele $R=f(t)$ la care $R_4 \leq (R_0=R_{cr})$ în cazul de față $R_0=R_{cr}$, care reprezintă ordonata asimptotei orizontale a curbelor de tip hiperbolic la MB și IS. În acest caz atât MB cât și IS nu prezintă susceptibilitate la COFITEN (NU) și nu cedează (fisurează) prin COFITEN, oricât ar fi de mare durata de serviciu $t \rightarrow t_s \rightarrow t \rightarrow \infty$.

Astfel numai în aceste circumstanțe (cazurile DA) oțelurile termorezistente și îmbinările lor sudate sunt cu adevărat susceptibile la COFITEN, iar mărimea reprezentativă $R_0=R_{cr}$ se numește tensiune mecanică de prag sau tensiune critică (efort unitar critic). În general, mărimea $R_0=R_{cr}$ are valori pozitive și destul de ridicate, dar nu trebuie să ne surprindă și valorile negative ale acestora.

De regulă, când valorile $R_0=R_{cr} \leq 0$ se indică existența în metalul de bază sau în îmbinarea sudată a unor tensiuni remanente (reziduale) cu o intensitate ridicată încât COFITEN devine reală chiar și în absența solicitării mecanice exterioare cu efecte de întindere sau încovoiere.

4.2. Caracterizarea structurală și mecanică a oțelurilor termorezistente aliate sudabile

Oțelurile termorezistente aliate sudabile folosite în construcția sistemului sub presiune și la conductele de abur viu de la Cazanul de 420 t abur/oră tip CR 1244 trebuie să prezinte o stabilitate structurală și mecanică în condiții de exploatare normală.

Principalele mărci de oțeluri analizate în cadrul tezei de doctorat sunt:

- oțel X20CrMoV12.1 (DIN 17175) ce lucrează la temperatura maximă de 570°C și presiuni de 140 bari;
- oțel 12CrMoV3 (STAS 8184-87) ce lucrează la temperatura maximă de 550°C și presiuni de 140 bari;
- oțel 16Mo3 (STAS 8184-87) ce lucrează la temperatura maximă de 450°C și presiuni de maxim 180 bari.

4.2.1. Compozițiile chimice efective ale oțelurilor termorezistente aliate sunt inserate în tabelul 4.4. De asemenea, în tabelul 4.4. s-au trecut și valorile impuse de standardele de produs.

TABEL 4.4.

Marcajul probei *	Compoziția chimică în procente								
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	V	Al
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X20 (efectiv)	0,23	0,56	0,16	0,025	0,008	11,39	0,98	0,28	-
Oțel X20CrMoV12.1 DIN 17175	0,17... 0,25	max. 1,0	max. 0,5	Max. 0,030	Max. 0,030	10,0... 12,5	0,8... 1,2	0,25... 0,35	-

12 Cr (efectiv)	0,12	0,54	0,20	0,014	0,020	0,90	0,25	0,21	0,028
Oțel 12CrMoV3 STAS 8184 -87	0,08... 0,15	0,40... 0,70	0,17... 0,37	Max. 0,030	Max 0,020	0,90... 1,20	0,25... 0,35	0,15... 0,30	0,015... 0,045
16 Mo (efectiv)	0,20	0,62	0,25	0,027	0,023	0,12	0,28	0,19	0,022
Oțel 16Mo3 STAS 8184-87	0,12... 0,20	0,50... 0,80	0,15... 0,35	Max. 0,035	Max. 0,035	Max. 0,30	0,25... 0,40	Max. 0,30	0,010... 0,030

Prescurtări folosite:

* X20 – oțel X20CrMoV12.1

12Cr – oțel 12CrMoV3

16Mo- oțel 16Mo3

Valorile compoziționale ale elementelor chimice aferente oțelurilor aliate determinate efectiv se încadrează pe intervalele de variație din standardele de produs.

4.2.2. Analize metalografice și încercări de duritate

Structurile și durițile oțelurilor termorezistente aliate determinate prin analize metalografice la microscopul optic (tabelul 4.5.) sunt specifice fiecărei mărci de oțel în parte.

TABELUL 4.5.

Nr. Crt.	Marca de oțel	Structura constatată (STAS 10952/1 –77)	Duritate HB		Δ HB (%)	Nr. fig.
			Valoare minimă	Valoare maximă		
0	1	2	3	4	5	6
1	X20CrMoV12.1	Structuri de revenire aciculare grobe cu carburi fine de Cr, Mo, V	208	214	2,80	4.14 a 4.14 b
2	12CrMoV3	Structuri ferito-perlitice cu zone bainitice și carburi fine de Cr, MoV uniform distribuite	120	124	3,30	4.15 a 4.15 b
3	16Mo3	Structuri ferito-perlitice cu carburi fine de Mo plasate inter-intragranular	116	122	5,17	4.16 a 4.16 b

Durificarea structurală, Δ HB se calculează cu relația:

$$\Delta HB = \frac{HB_{\max} - HB_{\min}}{HB_{\min}} \cdot 100[\%] \quad (4.16)$$

în care: HB_{\max} este duritatea maximă (HB) a oțelului analizat,

HB_{\min} este duritatea minimă (HB) a oțelului analizat.

Valorile scăzute ale estimatorului ΔHB cuprinsă între 2,8 și 5,17 % atestă că în oțelurile analizate nu au apărut zone puternic durificate.



Fig. 4.14.a. Oțel X 20CrMoV12.1 (Atac HCl, 100x)

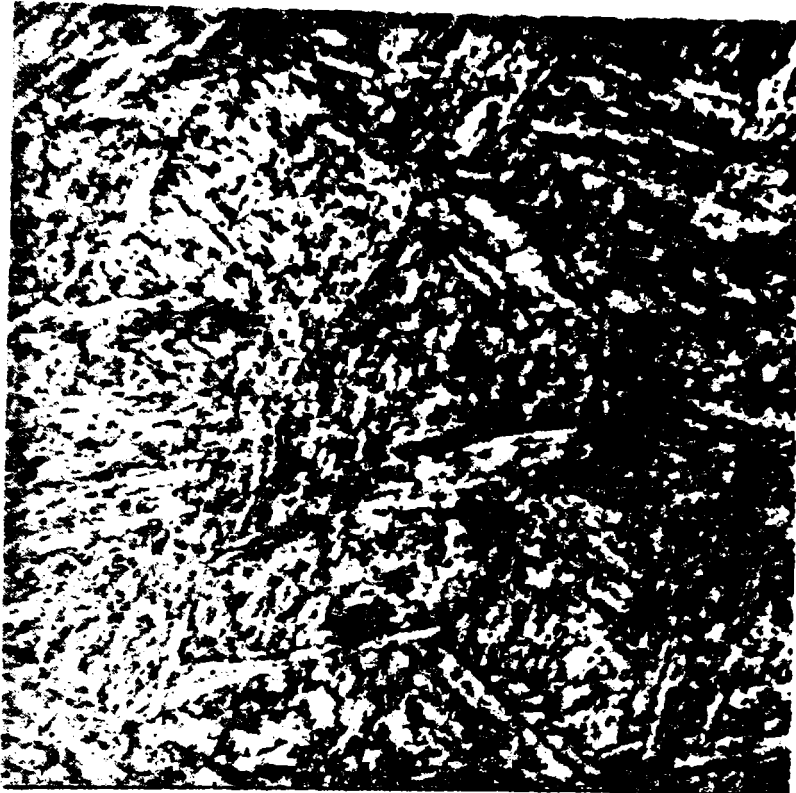


Fig. 4.14.b. Otel X20CrMoV12.1 (Atac HCl, 500x)

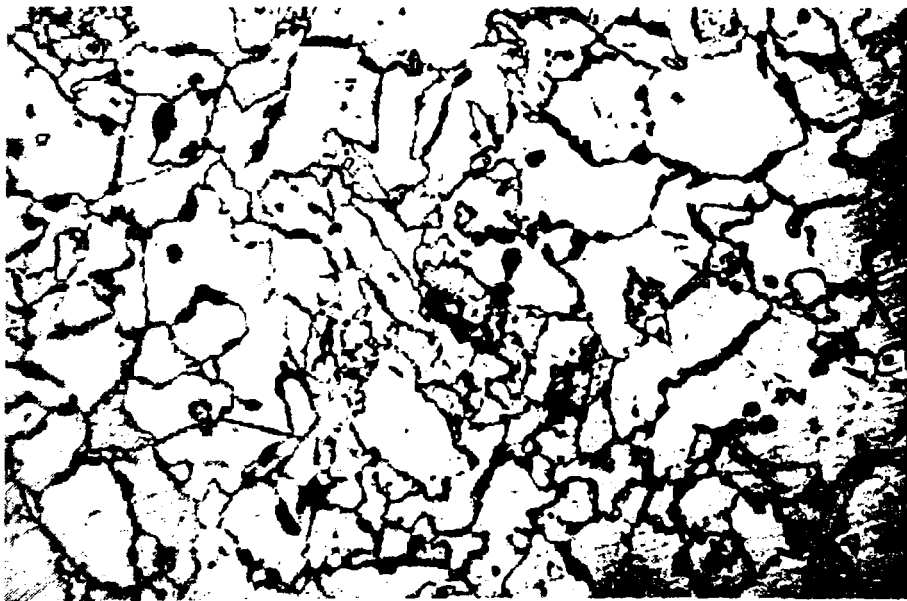


Fig. 4.15.a. Otel 12CrMoV3 (Atac Nital 3%, 100X)

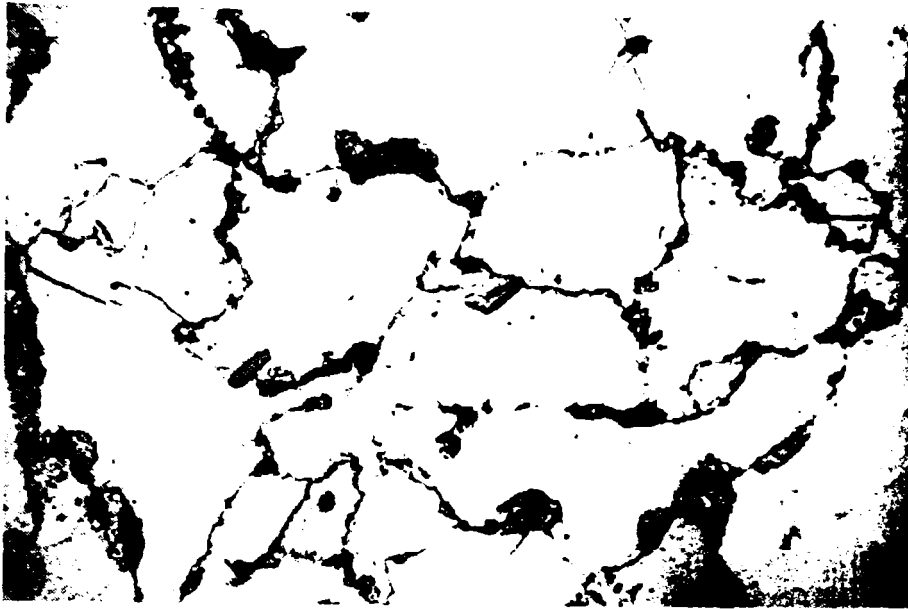


Fig. 4.15.b. Otel 12CrMoV3 (Atac Nital 3%, 500X)



Fig. 4.16.a. Otel 16Mo3 (Atac Nital 3%, 100X)

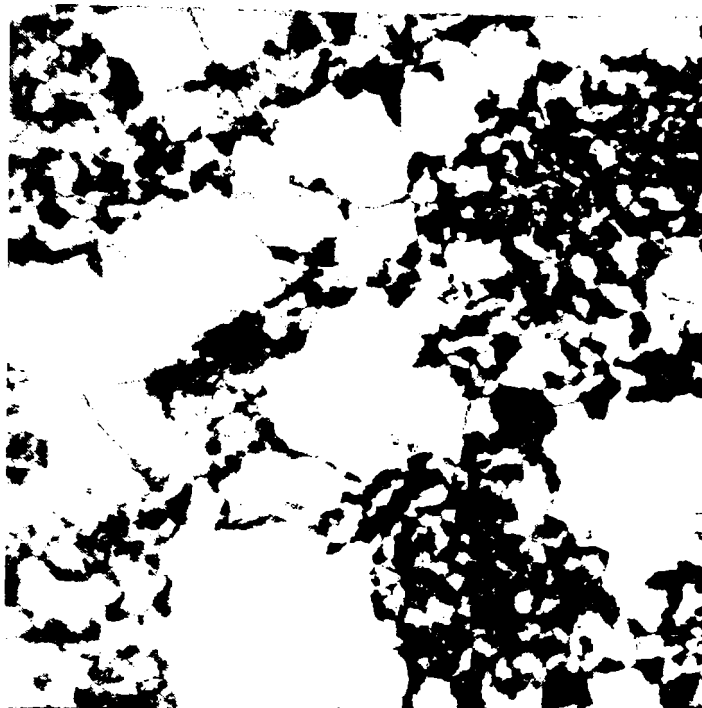


Fig. 4.16.b. Oțel 16 Mo3 (atac Nital 3%, 500X)

Pe zonele examinate structural nu s-au decelat defecte de fabricație (fisuri, microfisuri, etc.).

4.2.3. Încercări mecanice

4.2.3.1. Încercarea la tracțiune conform SREN 100002/1 –95 efectuată la temperatura ambiantă a evidențiat principalele caracteristici mecanice ale oțelurilor termorezistente aliate analizate (tabelul 4.6.).

TABELUL 4.6.

Marcajul epruvetei	Limita de curgere $R_{p0.2}$ (MPa)	Rezistența la tracțiune, R_m (MPa)	Alungirea la rupere, A (%)	Gâtuirea la rupere, Z (%)
0	1	2	3	4
T1 – X 20	567	769	20	52
T2 – X 20	577	774	20	52
T3 – X 20	574	771	20	54
Oțel X20CrMoV12.1 (DIN 17175)	Min. 490	690...840	Min. 17	-

T4 – 12 Cr	363	516	30	74
T5 – 12 Cr	376	515	30	75
T6 – 12 Cr	376	517	29	75
0	1	2	3	4
Oțel 12CrMoV3 STAS 8184 - 87	Min. 255	470...640	Min. 21	Min. 55
T7-16 Mo	275	453	32	62
T8- 16 Mo	273	454	32	61
T9-16 Mo	276	458	30	65
Oțel 16 Mo3 (STAS 8184-87)	Min.270	450-560	Min.20	Min.55

Caracteristicile mecanice de rezistență ($R_{p0.2}$, R_m) și cele de deformabilitate (A , Z) au valori superioare celor impuse de normele tehnice atestând că oțelurile termorezistente aliate investigate au o rezistență mecanică și o capacitate de deformare la rece corespunzătoare.

4.2.3.2. Încercarea de încovoiere prin șoc efectuată pe epruvete ISO cu canal în „V” conform SREN 875-1997 evidențiază valori ridicate ale tenacității oțelurilor investigate (tabelul 4.7.).

TABELUL 4.7.

Marcajul epruvetei	Energia de rupere KV în J la +20°	Natura ruperii
		2
0	1	2
R1-X20	66	mixtă ductil-fragil
R2-X20	61	mixtă ductil-fragil
R3-X20	70	mixtă ductil-fragil
Oțel X20 CrMoV12.1 (DIN 17175)	Min.35	-
R4-12 Cr	156	ductilă
R5-12 Cr	168	ductilă
R6-12 Cr	168	ductilă
Oțel 12 CrMoV3 (STAS 8184-87)	Min.78	-
R8-16 Mo	107	ductilă
R9 –16 Mo	98	ductilă
R10-16 Mo	96	ductilă
Oțel 16Mo3 (STAS 8184-87)	Min.75	--

Tenacitatea ridicată a oțelurilor analizate se corelează cu structurile de bază determinate ce au constituenți ductili; la oțelul X20CrMoV12.1 în secțiunea de rupere a epruvetelor zonele fragile nu depășesc 7% din aceasta.

Analiza caracteristicilor structurale și mecanice arată că oțelurile termorezistente aliate investigate se încadrează structural și mecanic în clasa mărcilor de oțeluri aliate (EN 10027) folosite frecvent în țările Uniunii Europene.

4.3. Caracterizarea structurală și mecanică a îmbinărilor sudate realizate din oțeluri termorezistente aliate în variante similare și disimilare

La realizarea îmbinărilor sudate țevă-țevă s-au folosit oțelurile termorezistente aliate – X20CrMoV12.1, 12 CrMoV3 și 16Mo3 ce au fost sudate în variantele:

- similare – X20CrMoV12.1 + X20CrMoV12.1
- 12CrMoV3 + 12 CrMoV3 și 16Mo3 + 16 Mo3

- disimilare - X20CrMoV12.1 + 12CrMoV3 și X12 CrMoV3 + 16 Mo3

În varianta similară, sudarea s-a efectuat conform specificațiilor Procedurii de Sudare (WPS) nr. 1,2,3 iar în varianta disimilară s-au folosit specificațiile procedurii de sudare nr. 4,5,6. Procedurile de sudare se aplică la ROMAG-TERMO.

În cele două variante de sudare, îmbinările sudate au fost supuse după sudare unor tratamente termice de detensionare specifice fiecărei mărci de oțel în parte.

4.3.1. Varianta similară

• Analizele macroscopice ale îmbinărilor sudate similare nu au decelat defecte de sudare (fig.4.17, 4.18, 4.19).

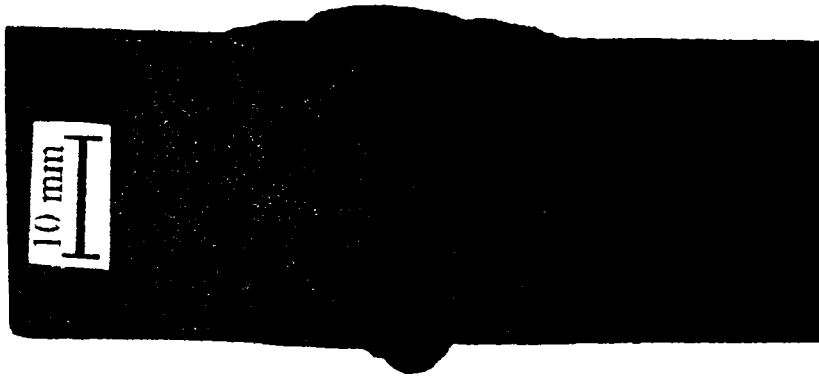


Fig. 4.17. Îmbinare sudată din oțel X20CrMoV12.1 (Atac HCl conc)

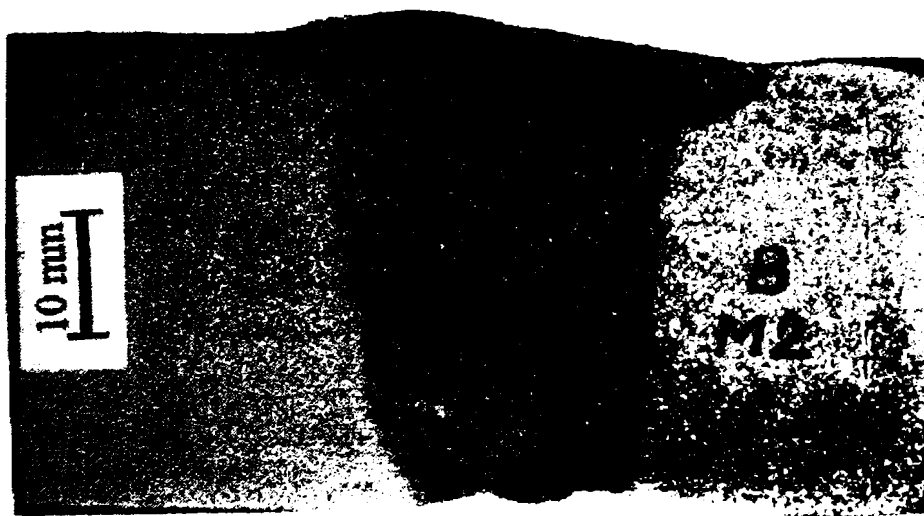


Fig. 4.18. Îmbinare sudată din oțel 12CrMoV3 (Atac Nital 10%)



Fig. 4.19. Îmbinare sudată din oțel 16Mo3 (Atac Nital 10%)

• Analizele microscopice efectuate pe probele metalografice au evidențiat structurile ce sunt inserate în tabelul 4.8.

TABELUL 4.8.

Marca de oțel	Structura sudurilor (SUD)	Structura din zonele influențate termic (ZIT)
0	1	2
X20CrMoV12.1	Structuri feritice dendritice cu ferită aciculară și în rețea cu carburi complexe (fig. 4.20)	Structuri aciculare grobe feritice cu carburi fine de Cr, Mo, V plasate inter-intra-granular (fig. 4.21)
12CrMoV3	Structuri dendritice fine formate din perlită, ferită și sorbită fină cu carburi complexe (fig. 4.22)	Structuri perlito-feritice granulare și carburi fine complexe (fig. 4.23)
16Mo3	Structuri dendritice ferito-perlitice cu sorbită fină și carburi de Mo plasate inter-intradendritic (fig. 4.24)	Structuri perlito-feritice cu ferită aciculară și în rețea cu carburi de Mo plasate inter și intragranular (fig. 4.25)



Fig. 4.20. Oțel X20CrMoV12.1, SUD (Atac HCl, 100x)

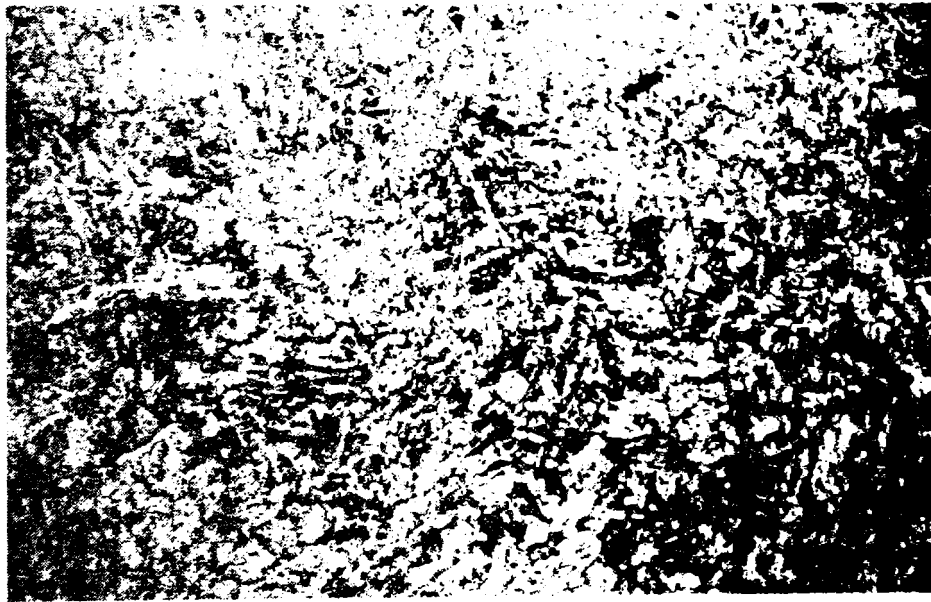


Fig. 4.21. Oțel X20CrMoV12.1, ZIT (Atac HCl, 100x)

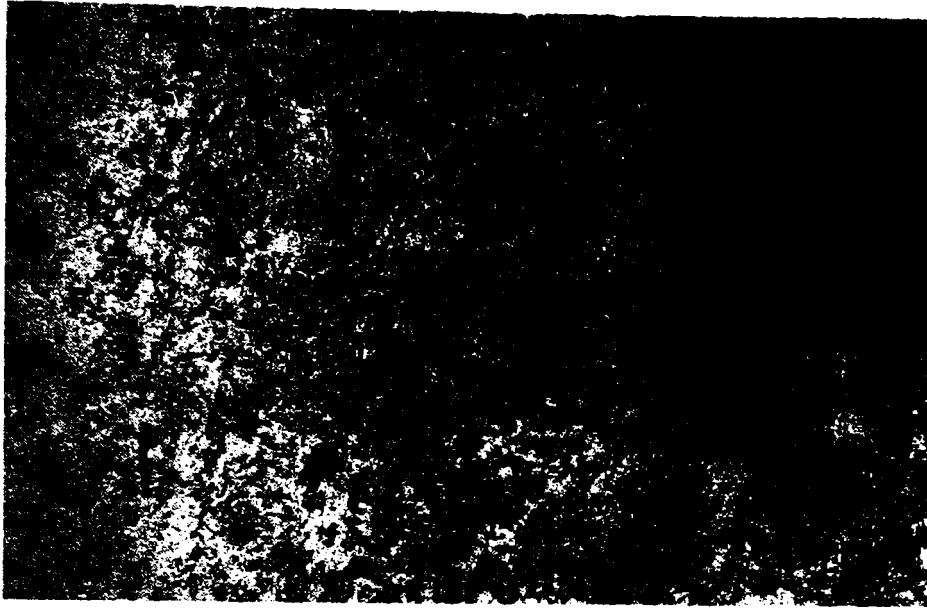


Fig. 4.22. Otel 12CrMoV3, SUD (Atac Nital 3%, 100x)

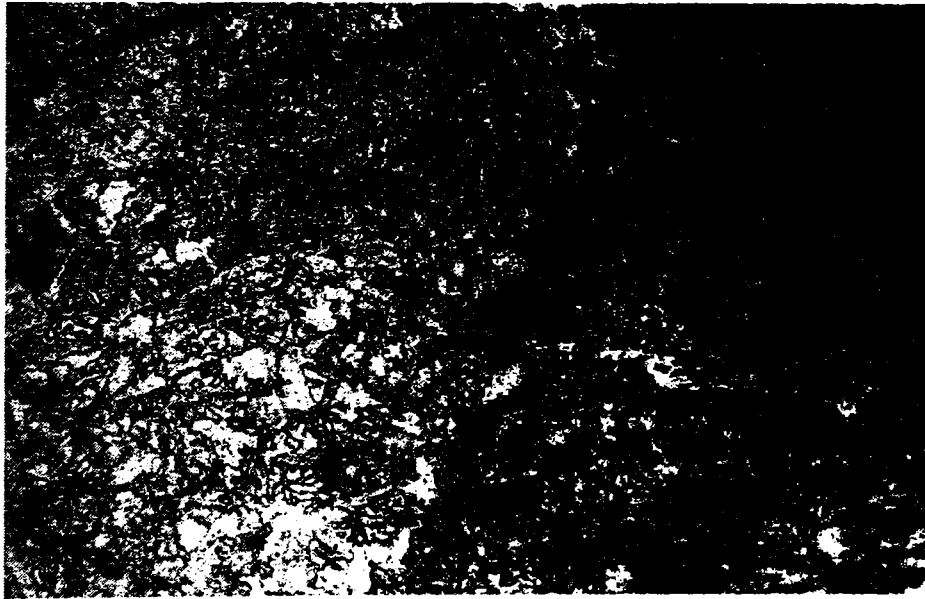


Fig. 4.23. Otel 12CrMoV3, ZIT (Atac Nital 3%, 100x)



Fig. 4.24. Oțel 16Mo3, SUD (Atac Nital 3%, 100x)



Fig. 4.25. Oțel 16Mo3, ZIT (Atac Nital 3%, 100x)

Zonele examinate microscopic nu au prezentat microfisuri.

• Încercările mecanice efectuate pe epruvete prelevate din îmbinările sudate dau caracteristicile mecanice ce sunt trecute în tabelul 4.9.

TABELUL 4.9.

Marca de oțel	Zona cercetată	Caracteristici mecanice				
		Duritate HB		Rezistența la tracțiune Rm (MPa)	Energia de rupere KV în J la + 20°C	
		Valoare minimă	Valoare maximă		Valoare minimă	Valoare maximă
0	1	2	3	4	5	6
X20CrMoV12.1	SUD	226	270	761	94	106
	ZIT	238	280	-	36	40
12CrMoV3	SUD	193	235	507	65	86
	ZIT	178	228	-	103	181
16Mo3	SUD	172	212	549	202	221
	ZIT	163	201	-	97	152

Estimatorul de durificare structurală (ΔHB_{IS}) a zonelor îmbinărilor sudate (SUD, ZIT) se determină cu relația

$$\Delta HB_{IS} = \frac{HB_{max} - HB_{min}}{HB_{min}} \cdot 100 [\%] \quad (4.17)$$

în care: HB_{max} este duritatea maximă (HB) a zonei SUD sau ZIT;
 HB_{min} este duritatea minimă (HB) a metalului de bază MB din care este realizată îmbinarea sudată.

În tabelul 4.10 s-au trecut valorile estimatorului ΔHB_{IS} pentru îmbinările sudate analizate raportate la duritățile minime ale metalelor de bază inserate în tabelul 4.5.

TABELUL 4.10

Tipul de îmbinare sudată / Zona cercetată	Îmbinare sudată cap la cap din oțel X20CrMoV12.1	Îmbinare sudată cap la cap din oțel 12CrMoV3	Îmbinare sudată cap la cap din oțel 16Mo3
	ESTIMATOR ΔHB_{IS} (%)		
SUD	29,80	95,83	82,75
ZIT	34,61	90,00	73,27

La sudarea oțelurilor 12CrMoV3 și 16Mo3 se produc fenomene de durificare a zonelor caracteristice (SUD și ZIT), estimatorul ΔHB_{IS} are valori maxime de 95,83% în sudura oțelului 12CrMoV3 și de 82,75% în sudura oțelului 16Mo3, existând posibilități reale de fragilizare-fisurare a acestor zone.

4.3.2. Varianta disimilară

Îmbinările sudate disimilare realizate din oțelurile X20CrMoV12.1,

12CrMoV3 și 16Mo3 sunt specifice circuitelor termice ce lucrează la presiuni și temperaturi ridicate.

Programul experimental propriu a urmărit determinarea caracteristicilor structurale și mecanice ale îmbinării sudate disimilare, a căror valori se vor compara cu cele obținute pe probe și epruvete prelevate din componentele disimilare ce au funcționat în instalațiile termoenergetice pe perioada de timp proiectată în vederea estimării posibilității prelungirii duratei de viață.

Analizele macroscopice ale îmbinărilor sudate disimilare nu au evidențiat defecte de sudare (fisuri) (fig.4.26 și 4.27).



Fig.4.26. Îmbinare sudată disimilară X20 CrMov12.1+12CrMoV3
(Atac HCl +Nital 10%)

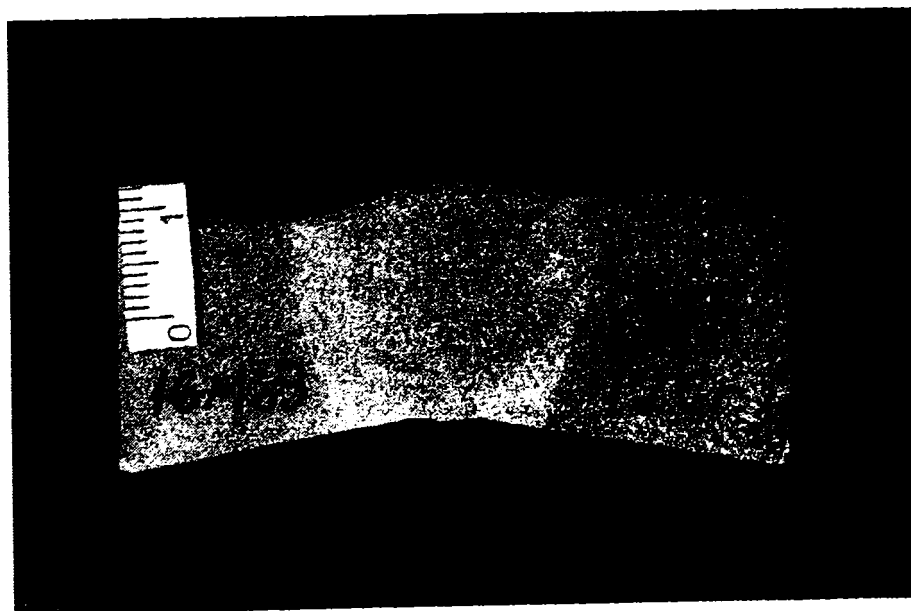


Fig.4.27 Îmbinarea sudată disimilară 12CrMoV3+16Mo3
(Atac Nital 10%)

Analizele microscopice ale zonelor caracteristice îmbinărilor sudate disimilare evidențiază microstructurile inserate în tabelul 4.11.

TABEL 4.11

Zona cercetată	Structura constatată	Nr.fig	Zona cercetată	Structura constatată	Nr.fig
0	1	2	3	4	5
Îmbinare X20CrMoV12.1 + 12CrMoV3		4.26	Îmbinare 12 CrMoV3 +16Mo3		4.27
ZIT _{x20}	Structuri sorbitice fine cu ferită aciculară, perlită și carburi fine	4.28a	ZIT _{12Cr}	Structuri perlito-feritice cu carburi fine Cr, Mo, V	4.29 a
ZIT _{12cr}	Structuri perlito-feritice cu carburi fine de Cr, Mo, V	4.28b	ZIT _{16MO}	Structuri fento-perlitice cu carburi fine de Mo	4.29 b
SUD	Structuri dendritice perlito-feritice cu carburi fine plasate Inter-intradendritic	4.28 c	SUD	Structuri dendritice feritoperlitice cu carburi fine plasate intra-interdendritic	4.29 c

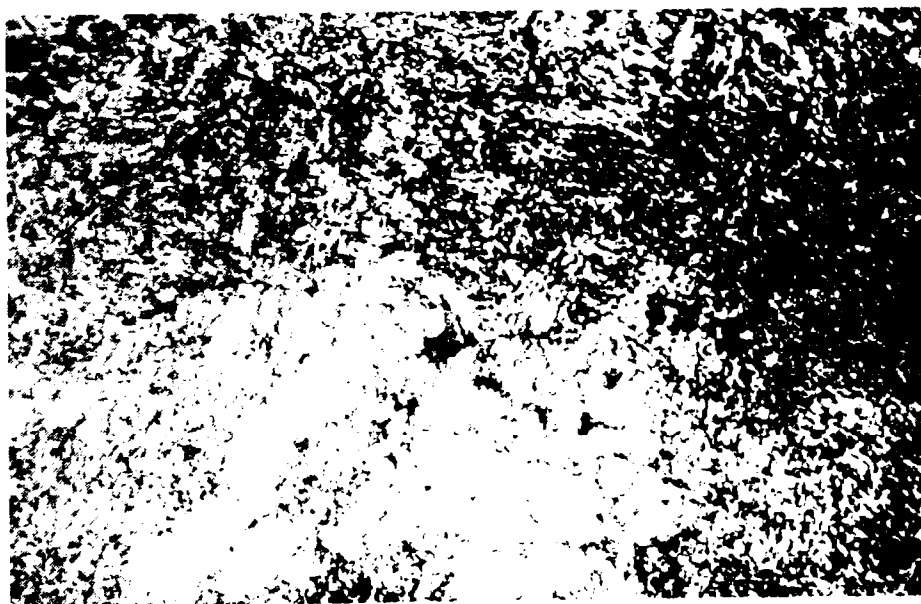


Fig. 4.28 a Microstructură ZIT_{x20} (Atac HCl 100_x)

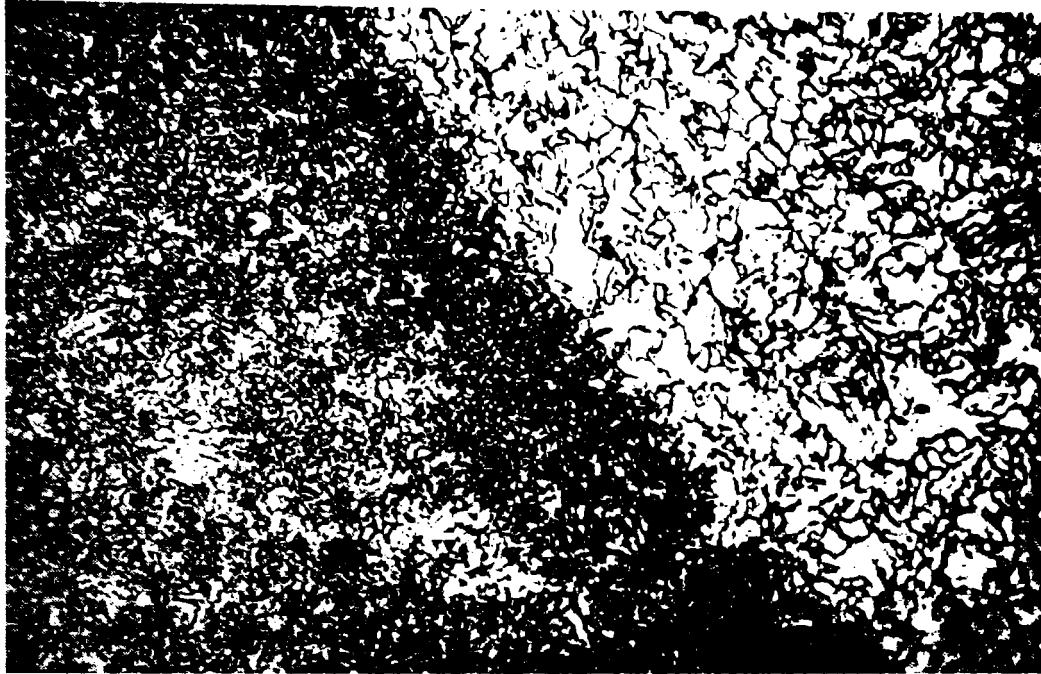


Fig. 4.28. b Microstructură ZIT₁₂Cr (Atac Nital 3%, 100_x)



Fig. 4.28 c Microstructură SUD (Atac HCl, 100_x)

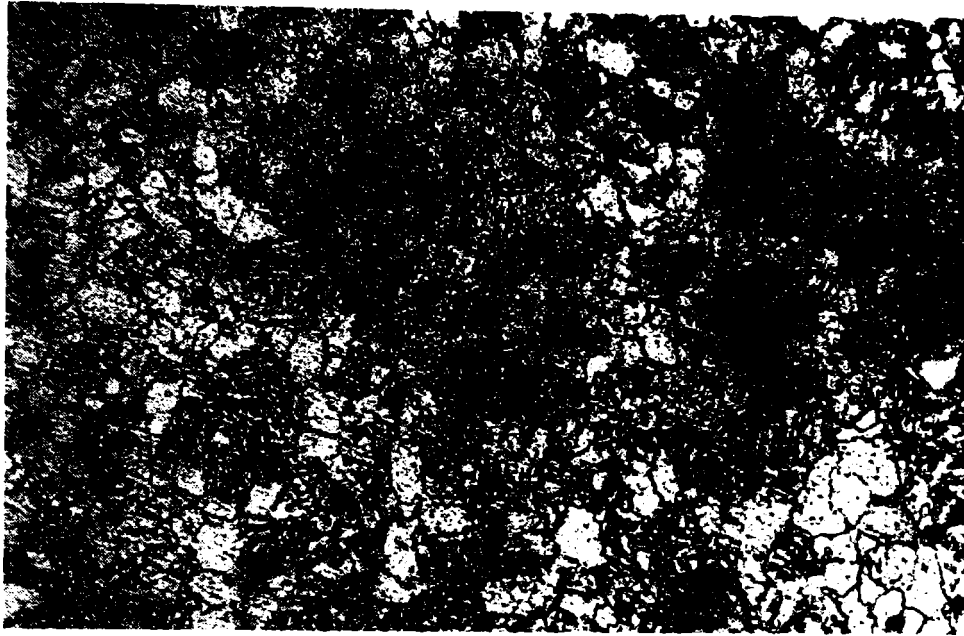


Fig. 4.29. a Microstructură ZIT_{12Cr} (Atac Nital 3%, 100x)



Fig. 4.29. b Microstructură ZIT_{16Mo} (Atac Nital 3%, 100x)



Fig. 4.29.c Microstructură SUD (Atac Nital 3%. 100x)

Structurile zonelor caracteristice îmbinărilor sudate sunt specifice oțelurilor termorezistente aliate investigate pe aceste zone nu s-au decelat microfisuri, atestând faptul că sudurile sunt realizate corespunzător.

Încercările de duritate VICKERS [HV10] efectuate pe zonele caracteristice dau densități a căror valori sunt trecute în tabelul 4.12, valorile din paranteză reprezintă duritățile BRINELL (HB) determinate prin corelația din DIN 50150

TABEL 4.12

Zona cercetată	Îmbinare X20CrMoV12.1+12CrMoV3		Zona cercetată	Îmbinarea 12CrMoV3+16Mo3	
	Duritatea HV10 (HB)			Duritatea HV 10 (HB)	
	Valoare minimă	Valoare maximă		Valoare minimă	Valoare maximă
0	1	2	3	4	5
MB _{x20}	219 (208)	224 (213)	MB 12 Cr	138 (131)	144 (137)
MB _{12Cr}	126 (120)	130 (124)	MB 16Mo	122 (116)	128 (122)
SUD	209 (199)	236 (224)	ZIT 12Cr	243 (231)	247 (235)
ZIT _{x 20}	235 (223)	253 (240)	ZIT 16Mo	148 (141)	156 (148)
ZIT _{12Cr}	147 (140)	155 (147)	SUD	160 (152)	187 (178)

HB = 0,95 HV 10 conform DIN 50150

La îmbinarea sudată disimilară X 20 CrMoV12.1 + 12 CrMoV3 s-a obținut o

duritate maximă de 253 HV10(240 HB) în ZIT_{x20}, iar la îmbinarea disimilară 12CrMoV3 + 16Mo3 duritatea maximă a fost de 247 HV10, respectiv 235 HB în ZIT_{12Cr}.

Duritățile scăzute ale zonelor caracteristice confirmă prezența structurilor ductile ferito-perlitice și sorbitice care asigură ductibilitatea și tenacitatea acestor zone.

Caracteristicile de tenacitate ale zonele caracteristice determinate prin încercarea de încovoiere prin șoc cu valori ridicate (tabel4.13) la ambele îmbinări sudate disimilare analizate

TABEL 4.13

Zona cercetată	Energia de rupere KV [J] la +20 ° C		Tipul de rupere
	Valoare minimă	Valoare maximă	
<i>Îmbinarea X20 Cr MoV12.1 + 12Cr MoV3</i>			
ZIT _{x20}	58	94	Mixt ductil + fragil
ZIT _{12Cr}	100	183	Ductil
SUD	94	126	Ductil
<i>Îmbinarea 12 CrMoV3 + 16 Mo3</i>			
ZIT _{12Cr}	121	178	Ductil
ZIT _{16Mo}	48	68	Mixt ductil-fragil
SUD	147	168	Ductil

Apariția tipurilor de rupere mixte ductil-fragil în zonele influențate de oțelurile X20CrMoV12.1 (ZIT_{x20}) și 16Mo3 (ZIT_{16Mo}) atestă posibilitatea apariției fenomenelor de fragilizare locală (fig 4.30).

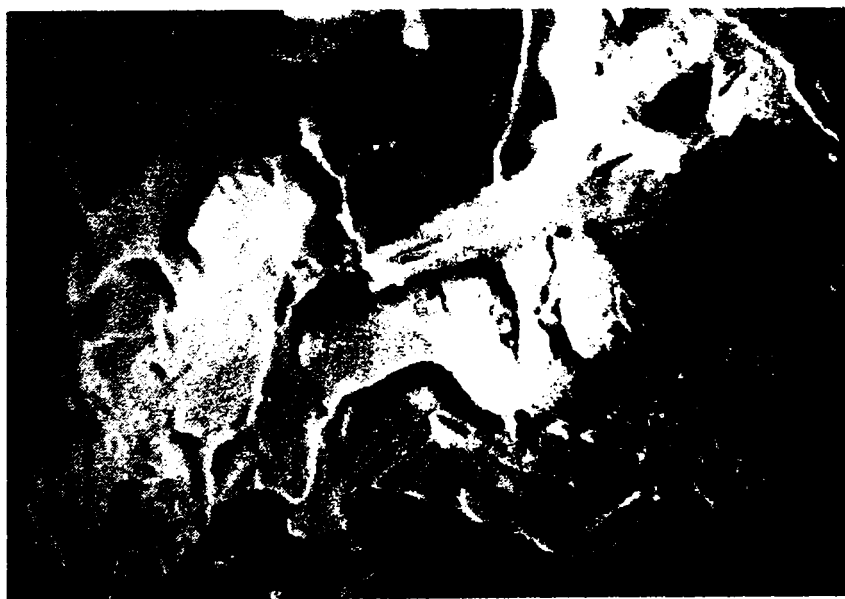


Fig 4.30 Rupere mixtă ductil-fragil la ZIT_{16Mo} (8000x)

În figurile 4.30 a și 4.30 b se prezintă variația energiei de rupere KV pe zonele caracteristice îmbinărilor sudate disimilate analizate.

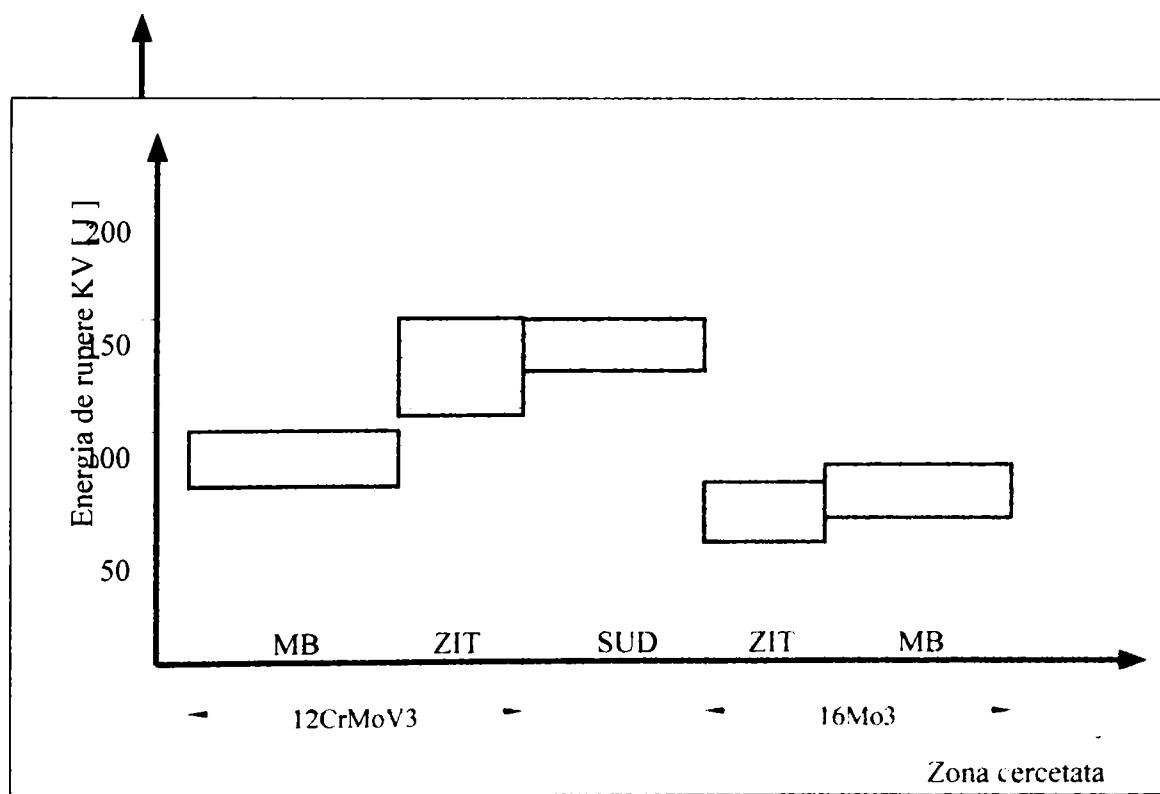
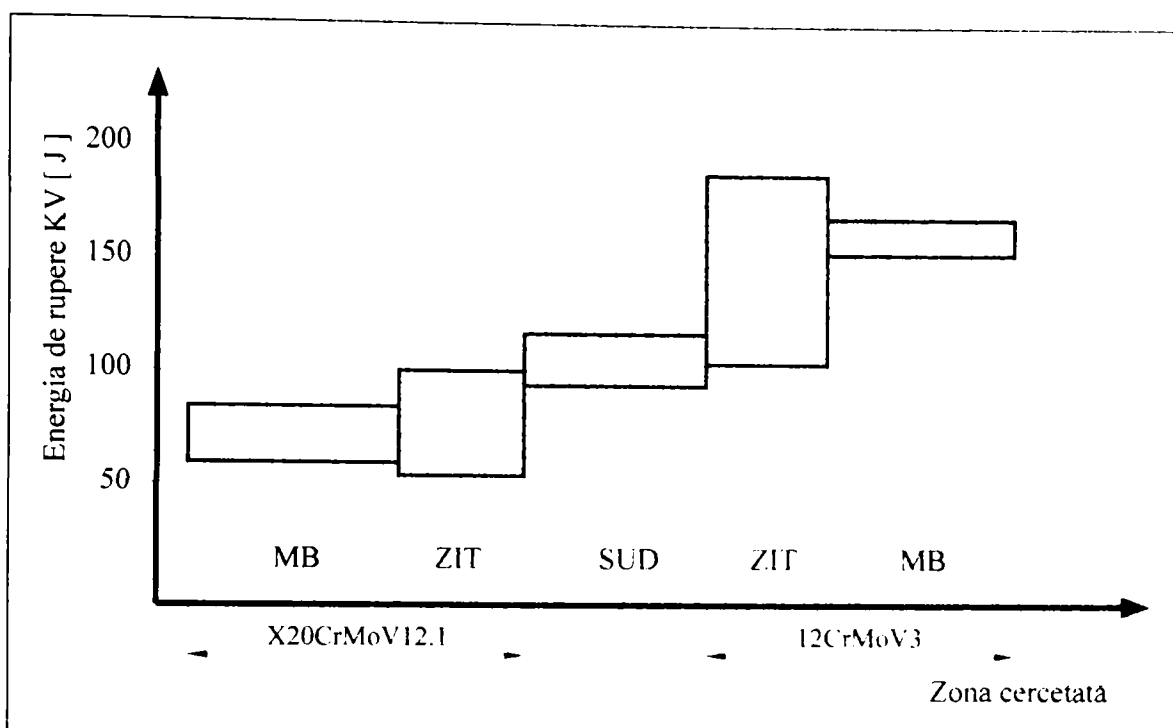


Fig. 4.30 b. Variația KV = F (zona cercetă)

La îmbinarea sudată disimilară X20 Cr MoV12.1 + 12 CrMoV3 în zonele caracteristice (ZIT, SUD) s-au obținut valori ridicate ale energiei de rupere, cea mai mică valoare de 58 J fiind în ZIT_{X20}, ea fiind foarte aproape ca valoare de cea a metalului de bază (X20CrMoV12.1).

La îmbinarea sudată disimilară 12CrMoV3 + 16 Mo3 în zonele caracteristice s-au obținut în general valori ridicate ale energiei de rupere cu excepția ZIT_{16Mo} în care valorile KV sunt sub valorile oțelului 16Mo3.

Pe ansamblu, tenacitatea îmbinărilor sudate disimilare analizate este asiguratorie, atestând probabilități scăzute de apariție a fenomenelor de fragilizare structurală care să conducă la formarea și propagarea pe aceste zone a microfisurilor.

4.4. Metodologia de încercare la coroziune sub tensiune (COFITEN) a oțelurilor termorezistente aliate și a îmbinărilor sudate

4.4.1. Descrierea metodei

4.4.1.1. Scopul și domeniul de aplicare

Metoda de încercare propusă este o metodă accelerată de încercare la coroziune în exploatare (a se vedea punctele 5.03 și 5.05 din ISO 8044).

Scopul acestei metode proprii de cercetare este de a determina fisurarea sub tensiune a probelor sudate și nesudate și de a urmări gradul de coroziune generalizată (adâncime, forma petei și dimensiunile ei, etc.) în zonele caracteristice îmbinărilor sudate disimilare.

Domeniul de aplicare a metodei este dat de factorii fragilizanți reprezentați prin fenomenul de curgere prin conducte, concentrația chimică a apei de cazan și tensiunea termomecanică remanentă sau din exploatare.

Caracterul accelerat al metodei constă în faptul că asigură condiții favorabile producerii de fisuri în zone ținute sub control, pe epruvete executate din materiale și în condiții similare cu materialele aflate în exploatare.

Aplicarea metodei, în cazul specific al îmbinărilor sudate disimilare, este justificată de sensibilitatea la fisurare diferită a celor trei materiale puse în operă la sudare și supuse în exploatare la regimuri de presiune și temperatură în afara limitelor specifice prin standardele de produs.

Sucursala ROMAG-TERMO Halînga are în obiectiv expertize COFITEN pentru următoarele îmbinări sudate dintre diferite tipuri de oțeluri:

- X20CrMoV12.1 + 12CrMoV3
- X20CrMoV12.1 + 10CrMo10
- 12CrMoV3 + 10CrMo10
- 12CrMoV3 + 16Mo3
- 10CrMo10 + 16 Mo3
- 10 CrMo10 + OLT45K

- 16 Mo3 +OLT45K trei variante tehnologice dimensionale de sudare (A, B, C)

Amplasare epruvetelor sudate pentru încercare trebuie făcută pe circuitele unde fluidul are cea mai mare dintre temperaturile la care lucrează cele două oțeluri disimilare îmbinate prin sudare.

4.4.2. Principiul metodei

Fluidul în contact cu epruveta se concentrează în mod dirijat, pe o durată lungă de timp, pe o suprafață de metal.

Asemenea concentrări se produc în secțiuni inelare, la capete de conducte și în zone cu suduri.

După fragilizarea metalului, care se poate produce dacă substanțele chimice și particulele solide din apă au concentrație suficientă, este posibilă apariția fisurilor caracteristice. În aceste condiții de densitate și concentrare fluidul devine soluție fragilizantă.

Dispozitivul de încercare (detectorul de fragilizare) permite o circulație controlată a fluidului printr-un orificiu care deschide pe suprafața întinsă a epruvetei, având rolul de concentrator.

Prin construcție se creează un spațiu îngust a epruvetei, având rolul de concentrator. De asemenea, se creează un spațiu îngust între epruvetă și corpul dispozitivului, spațiu în care se mărește concentrația soluției fragilizante. În acest spațiu se produce o evaporare prin destindere în prezența temperaturii ridicate a ansamblului dispozitiv-epruvetă. Astfel, se provoacă o fragilizare a metalului în porțiunea supusă întinderii. Fisurile după această fragilizare pot fi, predominant intercristaline, fie pe epruvetă predeformată, fie la deformarea ulterioară liberă.

4.4.3. Echipamente și accesorii

Pentru încercare sunt necesare următoarele echipamente și accesorii:

- dispozitiv de fragilizare în care epruveta se fixează, se formează și se supune ciclului de expunere în mediul de lucru (soluția fragilizantă) prezentată în fig 4.31;

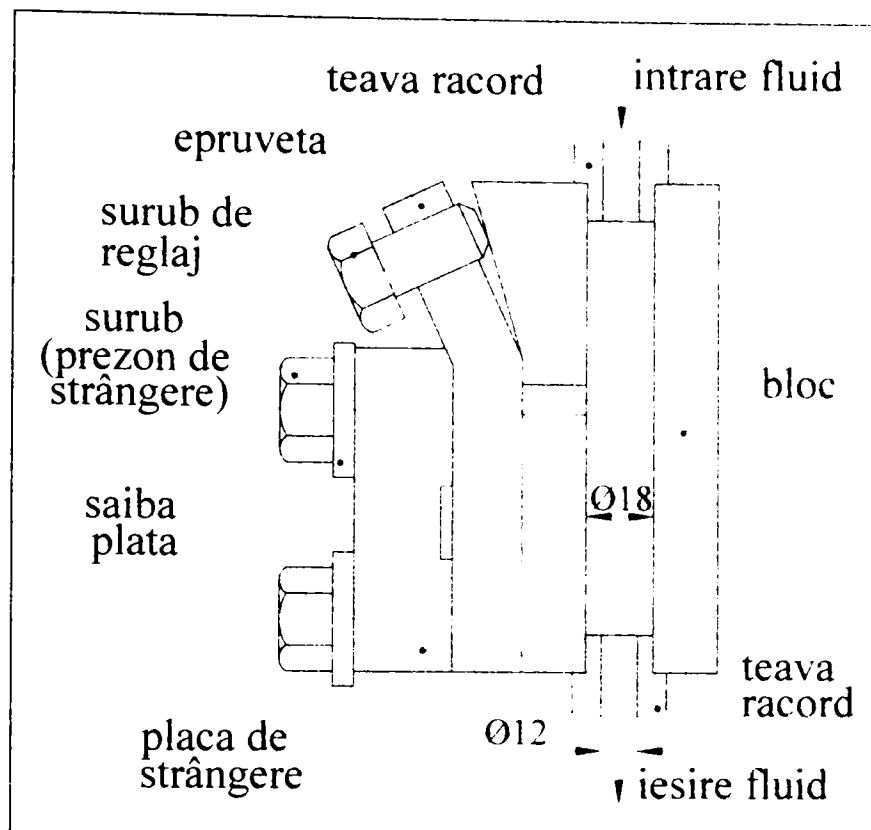


Fig. 4.31 Dispozitiv de fragilizare în poziție de funcționare

- șuruburile, șabilele, prezoanele și piulițele sunt elemente schimbabile, în funcție de necesități și posibilități;
- chei fixe sau dinamometrice mari pentru fixarea și tensionarea controlată cu efort manual diminuat, alese în mod adecvat pentru piulițele și capetele de șuruburi utilizate;
- termometru sau termocuplă de contact cu diametrul de max.8 mm, în cazul în care nu se cunoaște temperatura la locul de montaj;
- dispozitiv universal pentru îndoire liberă cu dom de 38 mm diametru și cu distanță nominală reglabilă între role de 80 mm.

4.4.4. Epruvete, execuție și montare

Epruvetele sunt în formă de bară și au dimensiunile standard din fig. 4.32:

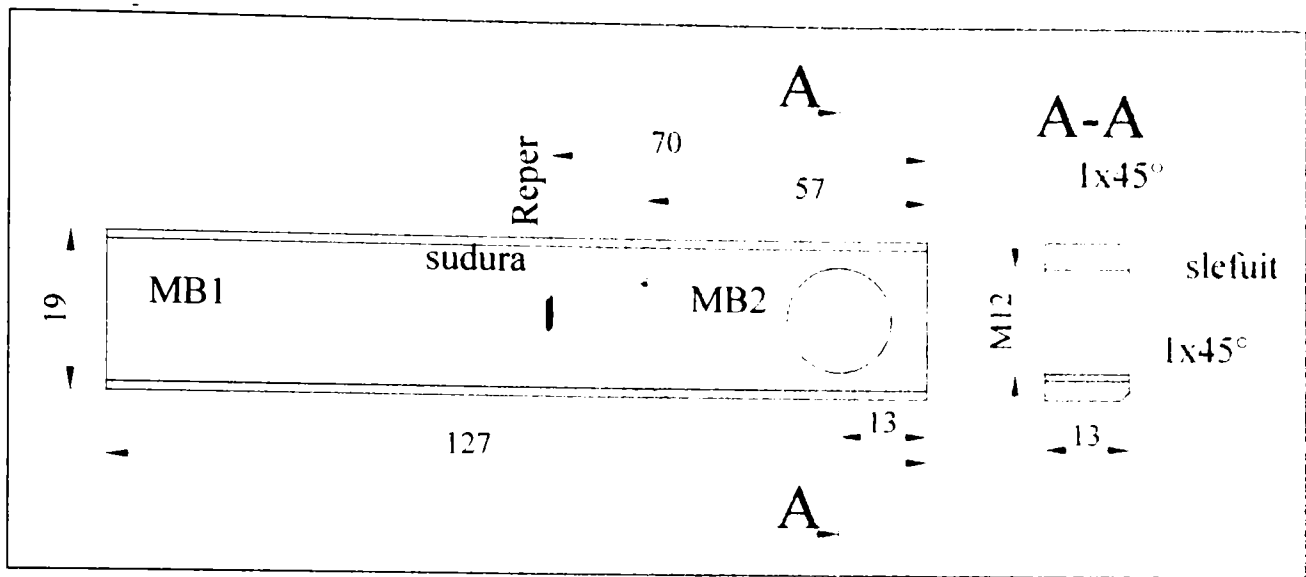


Fig. 4.32 Dimensiunile epruvetei sudate

Epruveta se prelevează dintr-o îmbinare sudată disimilară executată în condiții reale de montaj prin sudare. Grosimea epruvetei este pe direcția grosimii țevilor asamblate.

Suprafața întinsă (cu indicația șlefuit) corespunde suprafeței interioare a țevii, după o prelucrare minimă necesară. Aceasta este baza de măsurare pentru grosime. Teșirea muchiilor se face ulterior prelucrării de finisare (șlefuire), cu hârtie abrazivă.

Dintr-o îmbinare sudată din oțeluri disimilare se prelevează două epruvete, astfel că axa sudurii să fie la cota 57 mm față de fiecare metal de bază (MB1 sau MB2). Astfel se asigură deformarea plastică a fiecăruia dintre cele două oțeluri, incluzând și zonele lor influențate termic, în condițiile în care sudura este direct expusă soluției fragilizante.

Zona de examinare a epruvetei este cuprinsă între axa sudurii și axa găurii șurubului de reglare. Epruveta se montează în dispozitiv după ce acesta a fost curățat și s-a verificat gaura de trecere.

Epruveta se așează în poziție centrală față de canalul profilat al dispozitivului, cu capătul filetat pozițional la marginea blocului. Placa de strângere se așează pe prezoane cu teșitura spre șurubul de reglare în contact cu epruveta. Fixarea epruvetei în poziție se realizează strângând alternativ șuruburile și piulițele cu șaibe adecvate.

Operația de deformare plastică pe conturul canalului se face strângând alternativ cele două piulițe sau șuruburi centrale, cu un efort manual normal, realizând o etanșare primară.

Aceste operații se fac după ce, în prealabil, suprafețele în contact au fost unse și șurubul de reglaj se află în stare liberă, fără contact cu blocul.

Ansamblul dispozitiv-epruvetă urmează fi instalat pe circuitul prestabilit, pregătit în acest scop.

4.4.5. Instalarea dispozitivul COFITEN

Dispozitivul de fragilizare se instalează prin „bypass” pe o conductă de purjare sau pe o conductă de recirculare. Dacă se consideră necesar țevile de intrare și ieșire din detector pot fi izolate pentru a se menține temperatura în blocul dispozitivului.

În cazul în care parametrii fluidului nu sunt cunoscuți în zona de instalare, temperatura acestuia se măsoară la nivelul blocului în gaura prelucrată în acest scop.

Bypassul se proiectează astfel încât să aibă poziție verticală, cu șurubul în sus. Se pot utiliza și rigidizări, în cazul în care este necesar și posibil. Aceste rigidizări se adaptează la găurile filetate pe spatele blocului.

Montajul în bypass trebuie să conțină și robineti de trecere la intrare și ieșire, care să permită controlul circulației, opriri, porniri, demontări, reglaje, izolarea dispozitivului în circuit, etc. Este de preferat ca alimentarea și evacuarea la dispozitiv să fie făcute prin țevi sudate la acesta, constituind un ansamblu separat. Intrarea fluidului trebuie asigurată dinspre capătul deformat al epruvetei.

Soluțiile de montaj și instalare precum și locul de instalare trebuie proiectate astfel încât să fie asigurată și accesibilitatea la supraveghere în timpul încercării.

Aceste sunt de competența personalului tehnic specializat al utilizatorului, căruia i se pune la dispoziție desenul de asamblare al dispozitivului, scheme de montaj posibile precum și recomandările prezentate mai sus.

4.4.6. Modul de lucru

Detectorul instalat împreună cu epruveta predeformată trebuie verificate în starea în care a fost instalate. Șurubul de reglaj trebuie să fie liber. Etanșarea excesivă se înlătură lovind ușor capătul cheii fixe la cele două șuruburi centrale. Etanșarea insuficientă se corectează prin strângeri alternante la toate cele patru șuruburi. Aceste reglaje se fac cu chei fixe sau dinamometrice de dimensiuni mari, pentru a diminua efortul manual.

Trecerea liberă și corectă a fluidului pe suprafața întinsă a epruvetei se confirmă prin prezența vaporilor condensați sub formă de ceață vizibilă cu ochiul liber sau pe o piesă metalică/sticlă rece.

În această fază, șurubul de reglaj se aduce în contact cu blocul dispozitivului, se deschide robinetul de ieșire și se înregistrează începutul încercării, data, ora, și parametrii fluidului.

Reglarea scurgerii apei se face o singură dată la 24 de ore și numai dacă este necesar, când este suficientă prezența ceței chiar și de scurtă durată. Prima operație în această etapă este rezolvată cu șurubul de reglare strâns cu 1/6 dintr-o tură. Dacă această strângere nu produce ceață, se slăbesc ușor șuruburile centrale prin batere la capătul cheii fixe. Trebuie procedat astfel, încât sub epruvetă să nu apară fluid în exces care să spele substanțele depuse de soluția fragilizantă. Rolul operatorului este, deci, important, la intervale de 24 de ore, pentru a asigura condiții optime de încercare.

În timpul unui ciclu de încercare epruvetele nu trebuie demontate. La terminarea ciclului, robinetii se închid, circuitul se restabilește și se procedează la înlocuirea epruvetei.

Pentru o urmărire corectă a procesului trebuie făcute înregistrări privind data controlului, data reglajului, data când fluidul este în exces și orice abatere de la condiții normale de lucru.

4.4.7. Durata încercărilor

Prima încercare durează 30 de zile calendaristice excluzând întreruperile accidentale sau programate. Modificările parametrilor reali ai instalațiilor nu este motiv de întrerupere a circuitului din bypass. La scăderea presiunii în circuite, robinetii se închid și timpul de închidere se înregistrează ca încercare întreruptă.

Astfel, prima încercare trebuie să însumeze 30 de zile efective, iar dacă nu sunt semnalate fisuri, încercarea se repetă pe o durată de 60 de zile, respectiv 90 zile, pe alte epruvete similare.

4.4.8. Examinarea și încercarea epruvetei pretensionate

Epruveta scoasă din dispozitiv după ciclul de încercare se examinează vizual cu ochiul liber sau cu lupa. Se fac aprecieri privind culoarea dată de nitrați și de substanța solidă din apă. Excesul de substanță solidă indică o viteză mare de scurgere a fluidului și că soluția a spălat zone netensionate ale epruvetei. Substanța solidă conferă epruvetei o culoare gri spre negru, iar nitrații culoare roșie.

Expunerea corectă a unei epruvete se apreciază printr-o pată distinctă, circulară, pe suprafața întinsă, iar zona de examinare are o lungime de cca 25 mm, cuprinsă între gaura de acces și gaura cu filetul de reglare. Spălarea substanței solide se face cu apă caldă, prin îndepărtare manuală și uscare.

Fisurile vizibile sunt, atât pe față întinsă, cât și uneori, pe fețele laterale. Examinarea se face cu lupa.

Dacă nu există fisuri vizibile cu lupa, epruveta se supune îndoirii libere pe role în dispozitiv, măbind unghiul inițial, prin deplasarea dornului cu maxim 13 mm. Apariția pe parcursul acestei deformări de fisuri se semnalizează și se măsoară unghiul la care se produce.

După încheierea acestei operații se fac examinări metalografice în secțiuni transversale. În general microfisurile după fragilizare produse prin deformări plastice au orientări intercristaline și uneori intracristaline.

4.4.9. Interpretarea rezultatelor încercării

Prezența fisurilor într-o epruvetă încercată conform acestei metode se semnalează în cele trei zone caracteristice îmbinării sudate disimilare: cele două zone influențate termic, (MB1 și MB2), precum și metalul depus prin sudare, dincolo de linia de topire aferentă acestora. Aceste fisuri pot fi considerate ca

rezultat al fragilizării cauzate de apă de cazan industrială.

Se disting trei moduri de fisurare apreciate de evaluator:

- intens fisurat;

- fisurat;

-slab fisurat

Se consideră că fluidul specific nu are tendințe de fragilizare a metalului supus coroziunii sub tensiune (COFITEN) atunci când, după încercări de 30, 60, 90 de zile s-au produs fisuri caracteristice.

Modificările regimului chimic al fluidului specific pot determina rezultate diferite. Gradul de eroare acceptat ca urmare a unui volum mai mare de încercări în condițiile date nu depășește 5%.

4.4.10. Condiții tehnice de încercare

4.4.10.1. Generalități

Metoda de încercare la coroziune fisurată sub tensiune a îmbinărilor sudate disimilare se aplică adaptând principiile enunțate la condițiile specifice de fabricație și exploatare ale instalațiilor de abur și apă caldă, supuse expertizării.

Se recomandă respectarea și cunoașterea condițiilor din prescripțiile ISCIR C1-85 și C15-84, cu privire la regimul chimic al cazanului. Cartea cazanului la capitolul 6 din C1 are indicații privind regimul chimic al apei (de alimentare și din cazan) și al aburului.

Corelarea unor rezultate obținute prin metoda COFITEN se face luând în considerare și parametrii apei sau aburului, determinați pe mostre luate conform C18 și C32, atunci când se analizează indicii de calitate în timpul exploatării.

Metodele de examinare și încercare a epruvetelor scoase din dispozitiv au condiții de aplicare stabilite de evaluator, în funcție de informațiile pe care le urmărește.

De exemplu se poate determina gradul de deformare în dispozitiv raportat la lungimea epruvetei sau la o lungime de referință (exemplu: 70 mm).

Se pot măsura, de asemenea, unghiurile epruvetei în diferite faze ale încercării la îndoire (după pretensionare și la îndoire liberă).

În mod similar, analizele metalografice pot fi însoțite de determinări de duritate sau de fotografieri macroscopice/microscopice, cu sau fără atac metalografic.

Decizia privind tendința de fisurare după fragilizare tensotermică în mediul corosiv este luată în final numai pe baza celor trei moduri posibile, discutate anterior, indiferent de metodele de examinare/încercare utilizate pentru vizualizare și evidențiere.

Din punct de vedere al instalării dispozitivului, trebuie respectate condițiile tehnice și de securitate uzuale de la cazanele energetice.

Se pot folosi dotările existente de golire, purjare, aerisire, racorduri de golire și purjare, robinete și montaje în bypass. Ideal ar fi ca încercările să fie executate

și în zonele de unde se iau probele de apă sau abur în zonele cu parametri controlați.

Locurile de instalare și varianta de montaj se aleg prin înțelegere între proiectantul instalațiilor și specialiștii în controlul instalațiilor (inclusiv colectivul ISCIR de la beneficiar), iar soluțiile tehnice trebuie proiectate în mod adecvat.

Respectând aceste recomandări, se asigură că fluidul din dispozitiv este la parametri săi din exploatare și că încercarea este validă.

4.4.10.2. Condițiile de execuție pentru dispozitiv și epruvetă

Experiență și standardul de referință nu indică restricții sau condiții speciale pentru materiale și execuție.

În scopul implementării metodei după regulile prezentate, se stabilesc o serie de condiții de execuție.

Blocul masiv al detectorului și placa de fixare se execută dintr-un oțel termorezistent nealiat, prin prelucrări mecanice fără indicații speciale privind abaterile la dimensiuni.

Gaura de alimentare a blocului are diametrul nominal de 18 mm, la care trebuie adaptate țevile de racord (intrare/ieșire) țevile de racord se sudează pe contur la blocul dispozitivului pentru etanșare/fixare.

Robinetele prin care se poate izola dispozitivul trebuie să fie dintre cele uzate, iar cel de la ieșire să permită purjare.

Șuruburile, prezoanele, piulițele sunt cele recomandate de PT ISCIR C15-84 privind conductele sub presiune.

Este recomandabil ca ansamblul dispozitiv/țevi de racord să fie demontabil, conform soluțiilor adoptate de specialiști.

Epruvetele se prelevează din îmbinări sudate cu grosimi mai mari de 13 mm, realizate prin procedeele de sudare calificate pentru montaj. Se marchează metalele de bază (MB1 și MB2) și se execută gaura de reglaj M12, atât în MB1 cât și în MB2, pe câte o epruvetă (fig.4.32).

Suprafața întinsă a epruvetei se finisează în zone de etanșare cu hârtie abrazivă în lungul acesteia, similar cu suprafața corespunzătoare a canalului profilat al dispozitivului (STAS 4203-74).

După îndoirea pe dorn, în stare liberă, suprafețele laterale ale epruvetei se pregătesc pentru examinări metalografice prin șlefuire fină și lustruire, fără atac metalografic.

Prin respectarea acestor condiții tehnice de execuție se asigură:

- etanșarea completă pe cale mecanică a găurii de acces (\varnothing 5 mm);
- eliberarea fluidului în mod continuu, progresiv și controlat, pe suprafața întinsă a epruvetei de încercat;

- securitatea în timpul încercării, conform prescripțiilor ISCIR de proiectare, execuție și exploatare la cazane și conducte sub presiune.

4.4.10.3. Condiții de verificare și exploatare a detectorului

După fiecare înlocuire a epruvetei se verifică starea de curățenie a componentelor detectorului și a organelor de asamblare, precum și funcționarea corectă a robinetelor.

Reglajele periodice la 24 de ore, validează continuarea încercării și funcționarea dispozitivului.

Personalul de inspecție trebuie să -și însușească o instrucțiune de lucru bazată pe experiența acumulată și pe condițiile de la 3.4.6.

În problema securității, utilizatorul trebuie să identifice și să prevină pericolele determinate de presiune, temperatură și mod de lucru.

4.5. Montarea și încercarea epruvetelor COFITEN

4.5.1. Montarea epruvetelor

În lucrare sunt prezentate și analizate următoarele epruvete COFITEN montate și încercate conform metodologiei experimentale de evaluare.

Marcaj C2: Îmbinare sudată cap la cap din oțel 16Mo3, menținută în dispozitivul de îndoire timp de 64 de zile, pe circuitul "apă de alimentare".

Marcaj C3: Metal de bază, oțel 16Mo3 tratat termic, menținut în dispozitiv timp de 64 de zile pe circuitul "apă de alimentare".

Marcaj C6: Metal de bază oțel 16Mo3 netratat termic, menținut în dispozitiv 31 de zile pe circuitul de purjă continuă la cazan, la temperatura de 540°C.

Marcaj C10: Metal de bază, oțel 12CrMoV3 netratat termic, menținut în dispozitiv 31 de zile pe circuitul abur viu la cazan, la temperatura de 540°C.

Epruvetele au fost montate în dispozitivele COFITEN de către personalul instruit al ROMAG-TERMO, care a respectat condițiile specificate în instrucțiunea de pornire și urmărire a procesului de încercare.

Se subliniază faptul că epruvetele au fost menținute sub acțiunea mediului atâta timp, cât să realizeze duratele minime de 30, respectiv 60 de zile, excluzând opririle tehnologice sau accidentale.

Epruvetele extrase din dispozitive au fost prezentate pentru examinare și încercare în stare corespunzătoare, curățate și spălate în mod adecvat, astfel încât examinarea vizuală să poată fi efectuată.

Aspectul epruvetelor scoase din dispozitivele COFITEN este:

Epruveta C2: fără fisuri, fără depuneri de substanță solidă, culoare gri închis spre negru.

Epruveta C3: fără fisuri, cu depunere de substanță solidă, culoare roșie pe fond gri închis spre negru.

Epruveta C6: fără fisuri, cu depunere de substanță solidă, culoare roșie pe fond gri închis spre negru.

Epruveta C10: fără fisuri, cu depunere de substanță solidă, culoare roșie pe fond gri închis spre negru. Conturul circular al găurii de acces al fluidului este vizibil corodat pe circumferință pe un diametru de 8 mm.

Aspectele descrise sunt caracteristice zonei de examinare, pe față întinsă, zonă având dimensiunile 19 x 25 mm, situată lângă fiecare pată circulară vizibilă, reprezentând urma găurii de acces al fluidului prin dispozitiv. Aceste zone sunt distincte pe fiecare epruvetă și confirmă continuitatea și uniformitatea procesului de expunere în mediul de fluid specific conductelor tehnologice pe care au fost montate dispozitivele COFITEN.

Din punct de vedere al formei, epruvetele sunt deformatе în conformitate cu schema de montaj și încărcare prezentată în fig. 4.33.

Dimensiunile standard ale epruvetei sunt 19 x 127 x 13 mm, iar fața întinsă corespunde suprafeței interioare a țevii din care provine și are dimensiunile 19 x 127 mm.

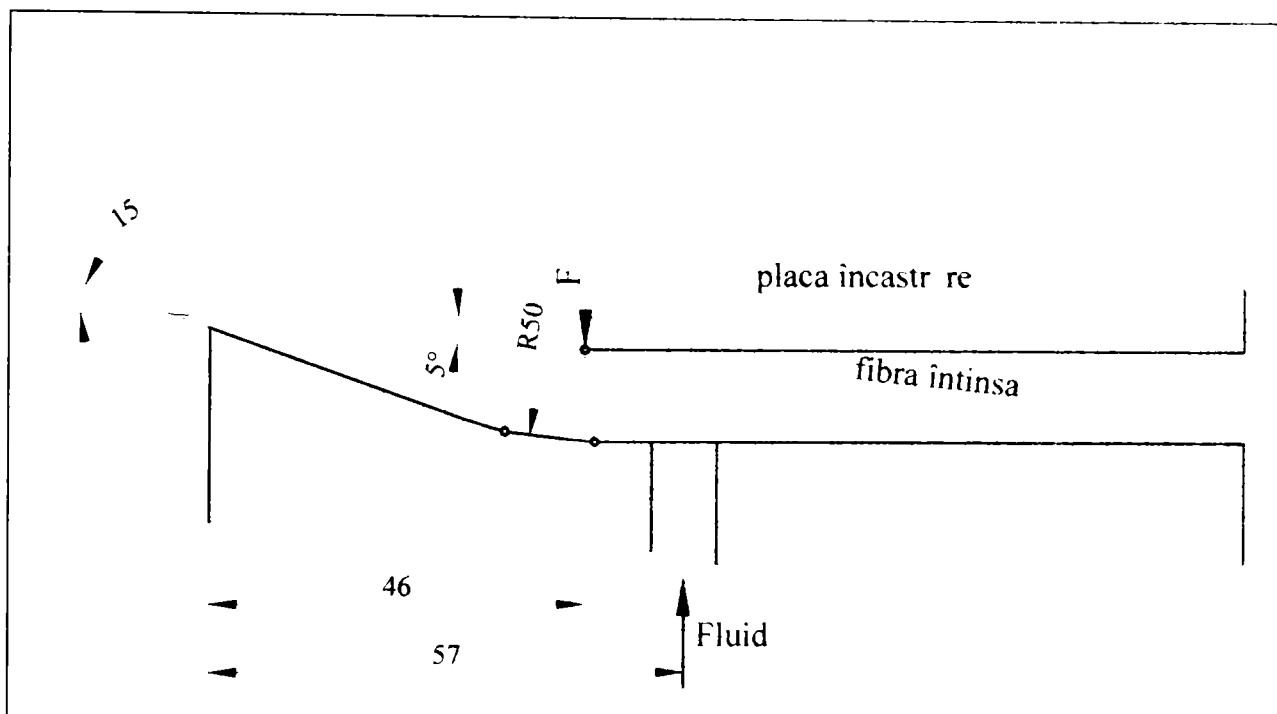


Fig. 4.33. Schema de montaj / încărcare

În cazul epruvetelor cu suduri, axa de simetrie a sudurii, pe direcția grosimii se află la 57 mm distanță de capătul filetat, în dreptul găurii de acces al fluidului. Dimensiunile de montaj și încărcare rezultă din geometria suprafeței active a dispozitivului, după care se efectuează deformarea controlată. Astfel, în poziția inițială epruveta este simplu rezemată la un unghi de înclinare de 5° față de planul suprafeței de încastrare a epruvetei. Forța acționează concentrat la distanța de 46 mm de capătul filetat al epruvetei, prin muchia teșiturii plăcii prelucrate la un unghi de 10°. Prin deformare liberă pe direcția forței se consumă unghiul de așezare de 5° în domeniul elastoplastic și epruveta se încastrează. În momentul în care epruveta atinge suprafața de încastrare a dispozitivului începe deformarea plastică controlată consumându-se unghiul de 10° al plăcii. Forța acționează uniform distribuit în încastrare. Epruveta ia în final forma matriței deformându-se

plastic la un unghi total de 15° , măsurat efectiv pe epruveta scoasă din dispozitiv. Un exemplu de epruvetă deformată este dat în fig. 4.34.

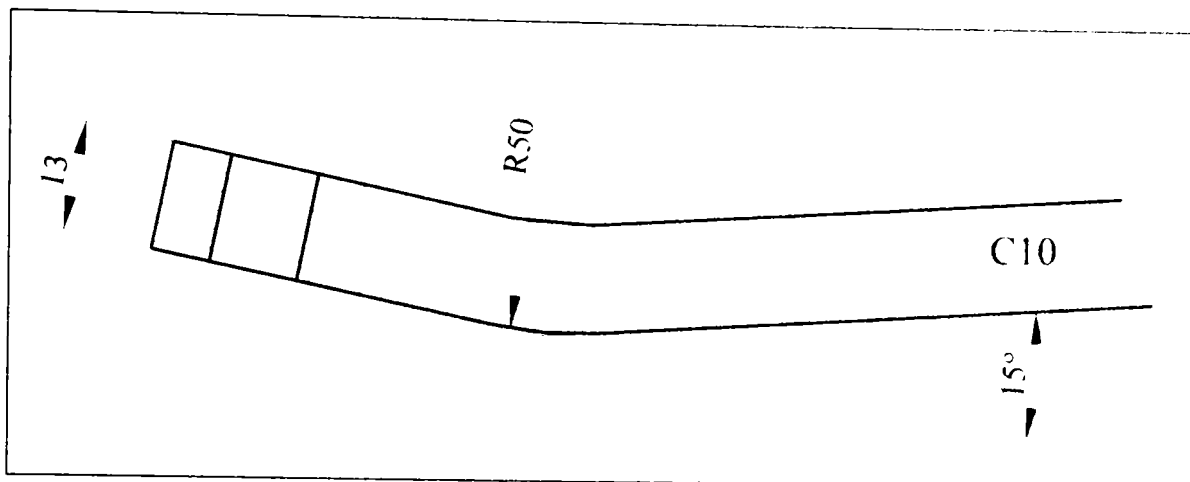


Fig 4.34. Epruvetă deformată

Lungimea efectivă a fibrei întinse prin deformare plastică remanentă este:

$$L_{15^\circ} = \frac{\eta R \cdot 15}{180} = 13,08 \text{ mm} \quad (4.18)$$

Lungimea necontrolată a fibrei întinse elastoplastic este:

$$L_{5^\circ} = \frac{\eta R \cdot 5}{180} = 4,36 \text{ mm} \quad (4.19)$$

Astfel, dispozitivul realizează practic o deformare plastică totală controlată de $13,08 \div 4,36 \text{ mm} \cong 9,44 \text{ mm}$ reprezentând cca 7% din lungimea totală a epruvetei.

Un asemenea nivel de deformare este practic folosit la testarea fragilității oțelurilor sudabile prin fenomene de îmbătrânire artificială.

4.5.2. Încercarea epruvetelor

După examinarea aspectului, formei și dimensiunilor epruvetelor, acestea au fost supuse încercărilor pentru a identifica cu ochiul liber sau cu lupa eventuale fisuri caracteristice coroziunii COFITEN.

Încercarea tehnologică la îndoire s-a efectuat pe o mașină universală, cu dorn de 38 mm diametru și distanța între reazime de 60 mm. Raportul dintre diametrul dornului și grosimea epruvetei de 3:1 conferă un grad ridicat de severitate pentru un material supus, anterior tensionării plastice și acțiunii mediului de lucru.

Deformarea s-a limitat la un unghi maxim de 60° , conform metodologiei de evaluare COFITEN, fără a se identifica fisuri pe parcursul încercării. Un exemplu de epruvetă îndoită este dat în fig. 4.35.

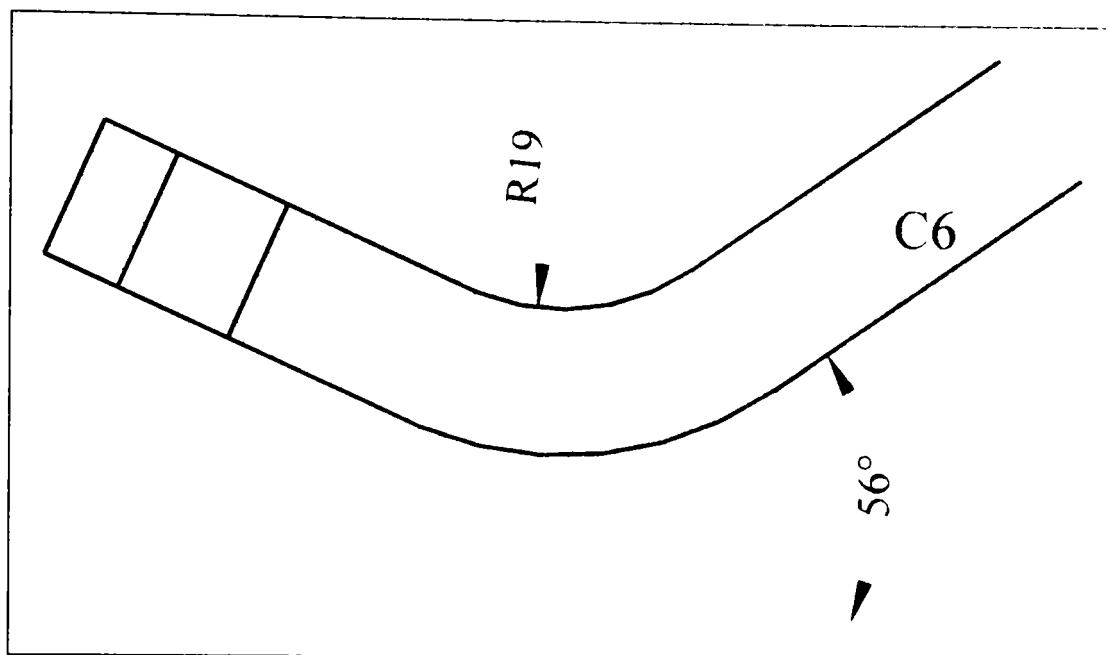


Fig. 4.35. Epruvetă COFITEN îndoită

Zona de interes a epruvetei îndoite s-a pregătit conform fig. 4.36. prin eliminarea porțiunii încastrate a epruvetei pe o lungime de 60 mm și prin rabotarea plană a expansiunii laterale.

Deformarea plastică remanentă a probei întinse la un unghi de 60° are valoare finală de 22%.

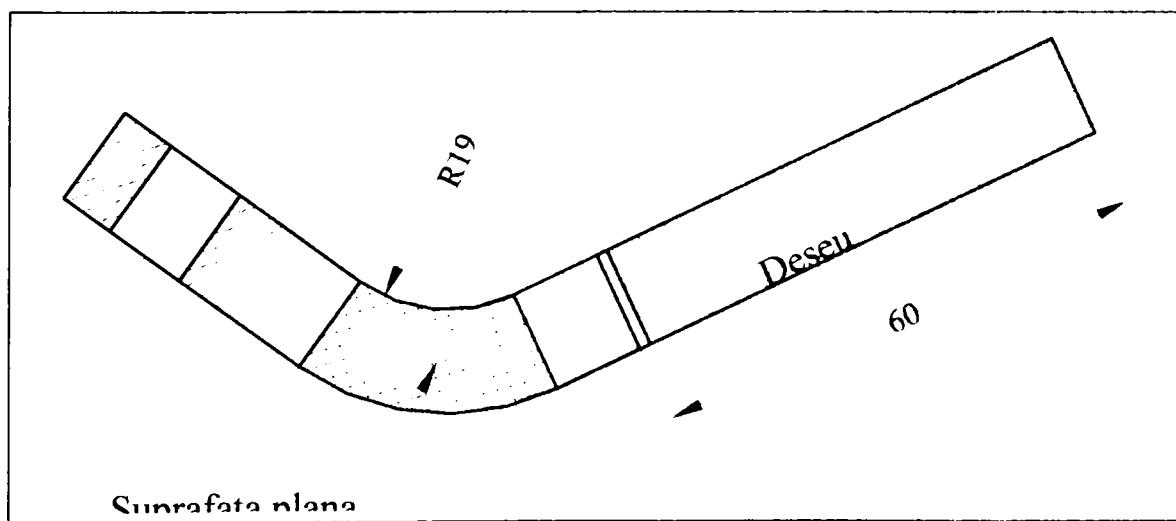


Fig. 4.36. Modul de prelucrare a probei metalografice

Probele metalografice prelevate conform fig. 4.36 se supun analizelor metalografice și încercărilor de duritate Vickers.

4.6. Analize și încercări privind comportarea la COFITEN a oțelurilor termorezistente sudabile

4.6.1. Analiza suprafețelor epruvetelor

Suprafețele epruvetelor încercate la COFITEN prezintă urme de coroziune neuniformă (fig. 4.37).

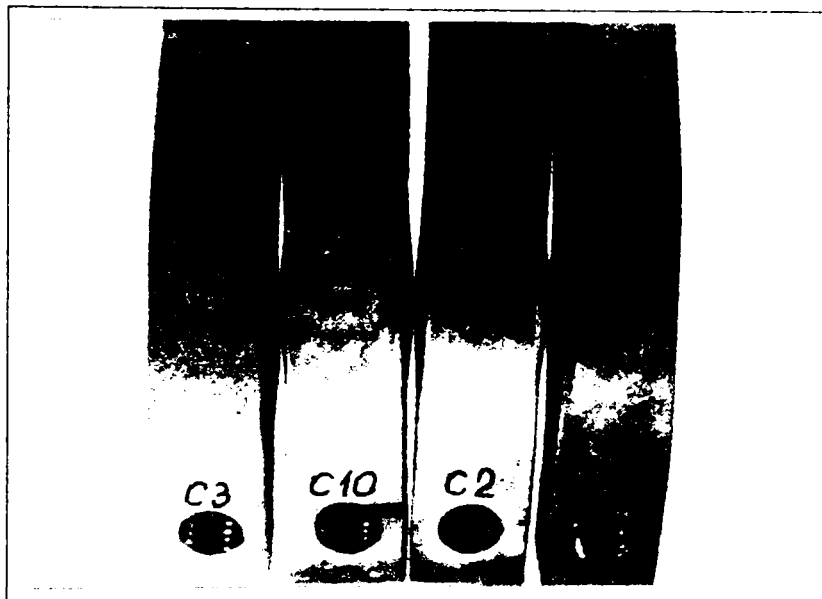


Fig. 4.37. Aspectul general al epruvetelor încercate

Delimitări clare ale zonelor corodate sunt prezente pe epruvetele C10 (oțel 12CrMoV3) și C2 (oțel 16Mo3), iar o coroziune generală apare pe celelalte epruvete încercate C3 și C6.

Detaliile zonelor corodate (fig.4.38 ... 4.41) atestă prezența unor fenomene de coroziune, datorită fluidului specific din instalația termoenergetică, iar pe fondul acestor degradări nu s-au decelat fisuri.



Fig. 4.38. Proba C3



Fig.4.39. Proba C 10



Fig. 4.40. Proba C 2

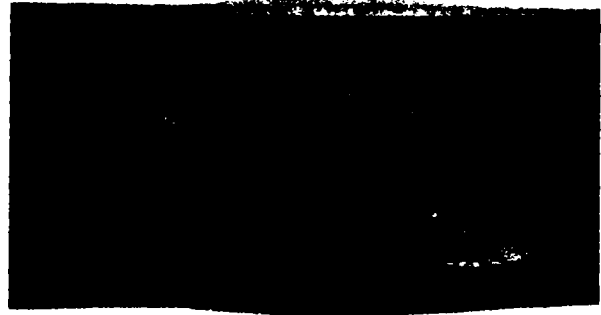


Fig.4.41. Proba C 6

4.6.2. Analiza metalografică a probelor conform STAS 10952/1-77

4.6.2.1. La proba C2

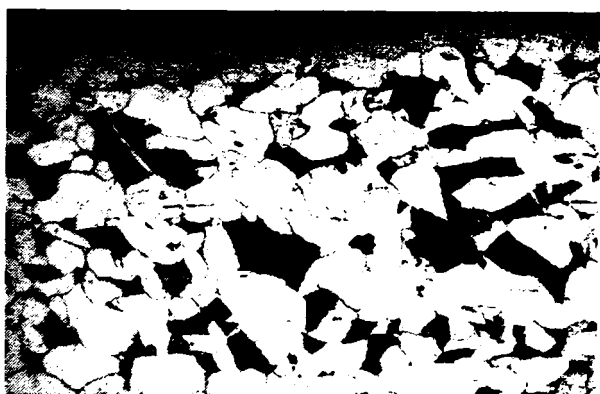
Analiza macroscopică evidențiază o îmbinare sudată în porțiunea îndoită, care nu prezintă în zonele caracteristice defecte de tip fisură (fig.4 42.).



Fig.4.42. Macrostructură probă C2 [Atac Nital 10%]

Analiza microscopică efectuată în zonele caracteristice evidențiază structurile:

- în MB (zona întinsă) structuri ferito - perlitice cu bainită fină și carburi; se observă și incluziuni nemetalice de tip sulfuri(fig.4.43; 4.44).



*Fig.4.43. Proba C2 – MB
[Atac Nital 2%, 100x]*



*Fig.4.44. Proba C2 – MB
[Atac Nital 2%, 500 x]*

Se observă în interiorul probei figuri de coroziune cu adâncimea maximă de 0,12 mm.

- în MB (zona dreaptă fără deformare) nu apar figuri de coroziune (fig.4.45).

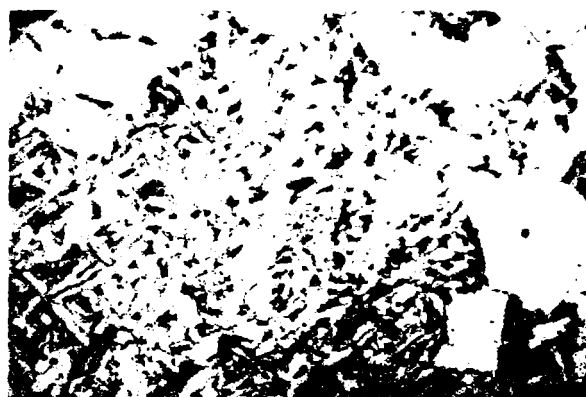


*Fig. 4.45. Proba C2-MB
[Atac Nital 2%, 100 x]*

- în ZIT structuri granulare perlito-feritice cu zone bainitice cu carburi fine, ferita fiind distribuită acicular și granular (fig.4.46 și 4.47).



*Fig. 4.46. Proba C2 - ZIT
[Atac Nital 2%, 100 x]*



*Fig. 4.47. Proba C2-ZIT
[Atac Nital 2%.500 x]*

În această zonă nu s-au observat fisuri:

- în sudură (SUD) structuri dendritice ferito-perlitice cu sorbită fină de carburi globulare plasate inter-intradendritic (fig. 4.48 și 4.49).

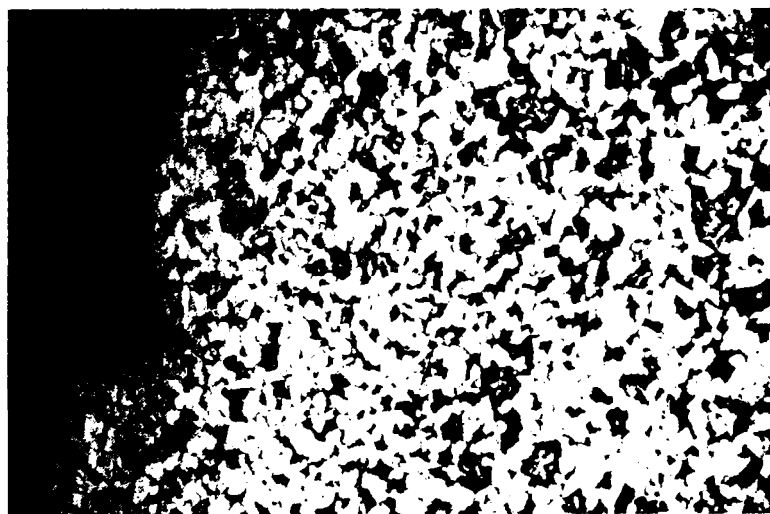


*Fig. 4.48. Proba C2-SUD
[Atac Nital 2%, 100x]*



*Fig. 4.49. Proba C2 - SUD
[Atac Nital 2%, 500 x]*

Zona examinată nu prezintă fisuri, dar se observă figuri de coroziune cu adâncimea de max.0,18 mm (fig. 4.50).



*Fig. 4.50. Proba C2-SUD
[Atac Nital 2%, 100 x]*

Figurile de coroziune sunt prezente pe secțiunea probei C2 în zona sudurii

supuse întinderii.

4.6.2.2. La proba C3

Analiza macroscopică evidențiază o probă din metal de bază supusă îndoirii mecanice. Nu s-au observat defecte de tip fisuri (fig. 4.51).



Fig. 4.51. Proba C3 – Macrostructură, [Atac Nital 10%]

Analiza microscopică pune în evidență în zona întinsă structuri ferito-perlitice cu bainită fină și carburi (fig. 4.52 și 4.53).

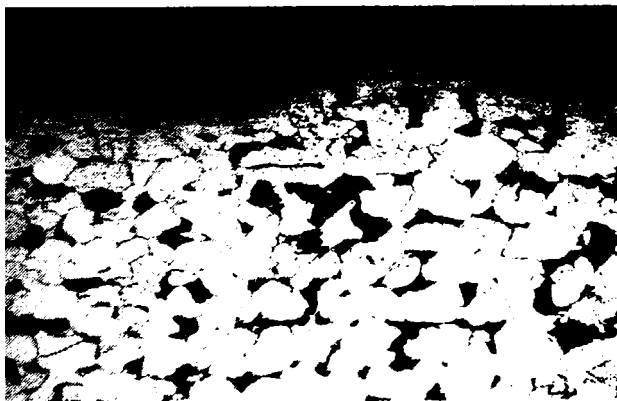


Fig. 4.52. Proba C3 - MB
[Atac Nital 2%, 100x]



Fig. 4.53. Proba C3 - MB
[Atac Nital 2%, 500 x]

În zonele nedeformate nu au apărut figuri de coroziune (fig. 4.54).



Fig.4.54. Proba C3- MB, [Atac Nital 2%, 100 x]

4.6.2.3. La proba C6

Analiza macroscopică efectuată pe proba C6 pune în evidență o probă îndoită pe a cărei suprafață nu s-au decelat fisuri (fig. 4.55).



*Fig. 4.55. Proba C6 - Macrostructură
[Atac Nital 10%, 100x]*

Microscopic pe zona întinsă a probei s-au decelat structuri ferito-perlitice cu carburi fine și zone bainitice (fig. 4.56 și 4.57).



*Fig. 4.56. Proba C6 - MB
[Atac Nital 2%, 100x]*



*Fig. 4.57. Proba C6 -MB
[Atac Nital 2%, 500 x]*

S-au observat figuri de coroziune a căror adâncime nu depășește valoarea de 0,18mm.

Pe zonele nedeformate structurile sunt normale ferito-perlitice cu zone bainitice fig. 4.58.



Fig. 4.58. Proba C6 – MB, [Atac Nital 2%, 100 x]

Pe aceste zone nu s-au decelat figuri de coroziune.

4.6.2.4. La proba C10

Analiza macroscopică a secțiunii îndoite a probei C10 nu a relevat defecte fig. 4.59.

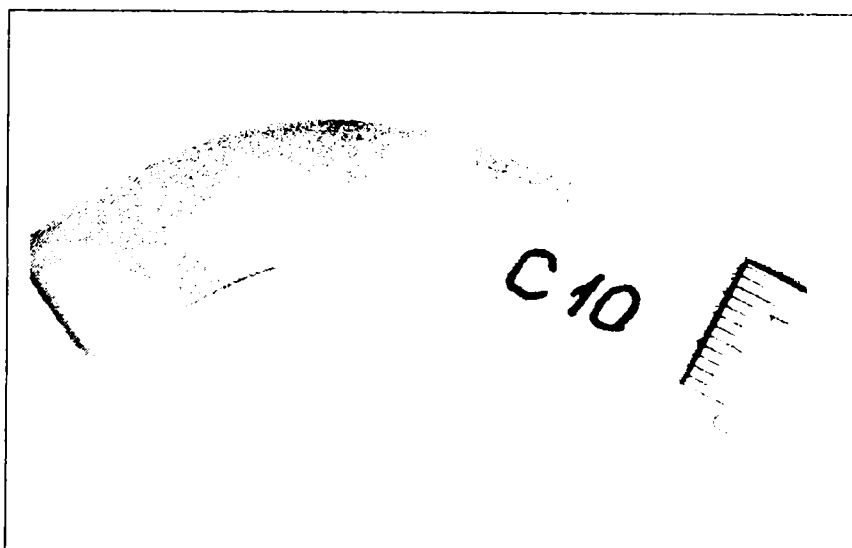


Fig. 4.59. Proba C10 - Macrostructură
[Atac Nital 10%]

Analiza microscopică a zonei întinse relevă structuri ferito-perlitice cu bainită și carburi complexe, se observă la marginea zonei fenomene de coroziune (microzone corodate) la care adâncimea de coroziune nu depășește valoarea de 0,17 mm (fig. 4.60 și 4.61).

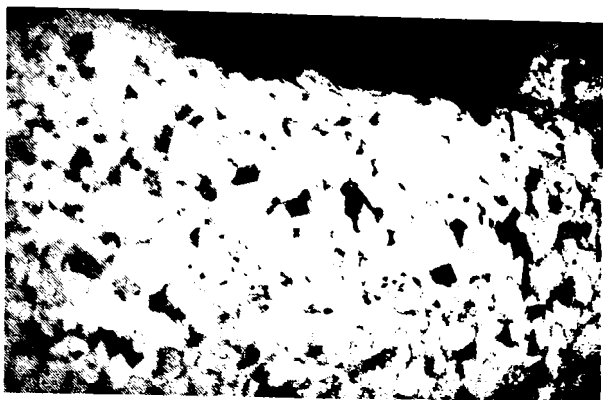


Fig. 4.60. Proba C10 - MB
[Atac Nital 2%, 100 x]



Fig. 4.61. Proba C10 - MB
[Atac Nital 2%, 500 x]

Pe zonele nedeformate nu s-au decelat degradări datorate fenomenelor de coroziune (fig. 4.62 și 4.63).



Fig. 4.62. Proba C10 -MB
[Atac Nital 2%, 100 x]



Fig.4.63. Proba C10 -MB
[Atac Nital 2%, 500 x]

Pe zonele deformate (întinse) și nedeformate nu s-au decelat fisuri.

4.6.3. Încercare de duritate Vickers s-a executat conform STAS 492/2-85.
Amprente sunt amplasate ca în fig. 4.64; 4.65, iar rezultatele încercărilor sunt trecute în tabelele 4.14 și 4.15.

Eroarea relativă de justețe "E" este de $\pm 3\%$.
Eroarea relativă de fidelitate "E_f" este de $\pm 4\%$.

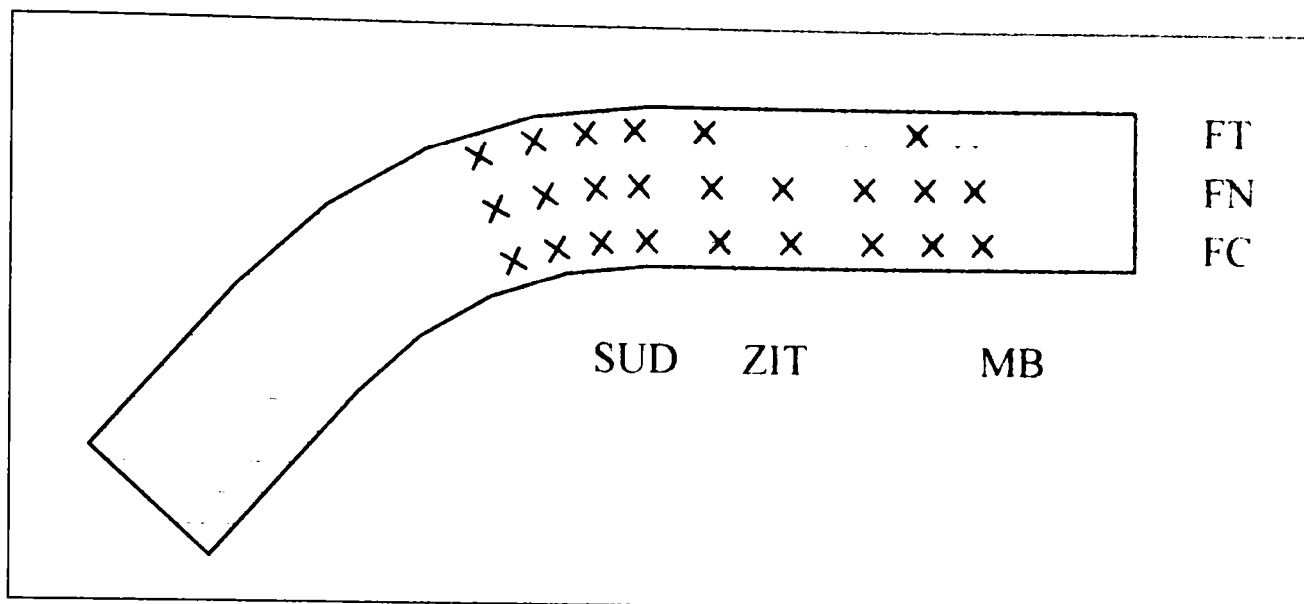


Fig. 4.64. Modul de amplasare a amprentelor de duritate la îmbinarea sudată

TABEL 4.14

Nr. Crt.	Marcaj probă	Zona cercetată	Duritatea Vickers (HB)		
			Fibra întinsă (FÎ)	Fibra neutră (FN)	Fibra comprimată (FC)
0	1	2	3	4	5
1	C2 (oțel 16Mo3)	SUD	238 (226)	237 (225)	233 (221)
2			244 (232)	228 (217)	230 (219)
3			236 (224)	238 (226)	231 (219)
4		ZIT	254 (241)	204 (194)	237 (225)
5			253 (240)	202 (192)	238 (226)
6			243 (231)	195 (185)	231 (215)
7		MB	182 (173)	178 (169)	191 (181)
8			182 (173)	156 (148)	175 (166)
9			178 (169)	162 (154)	156 (148)

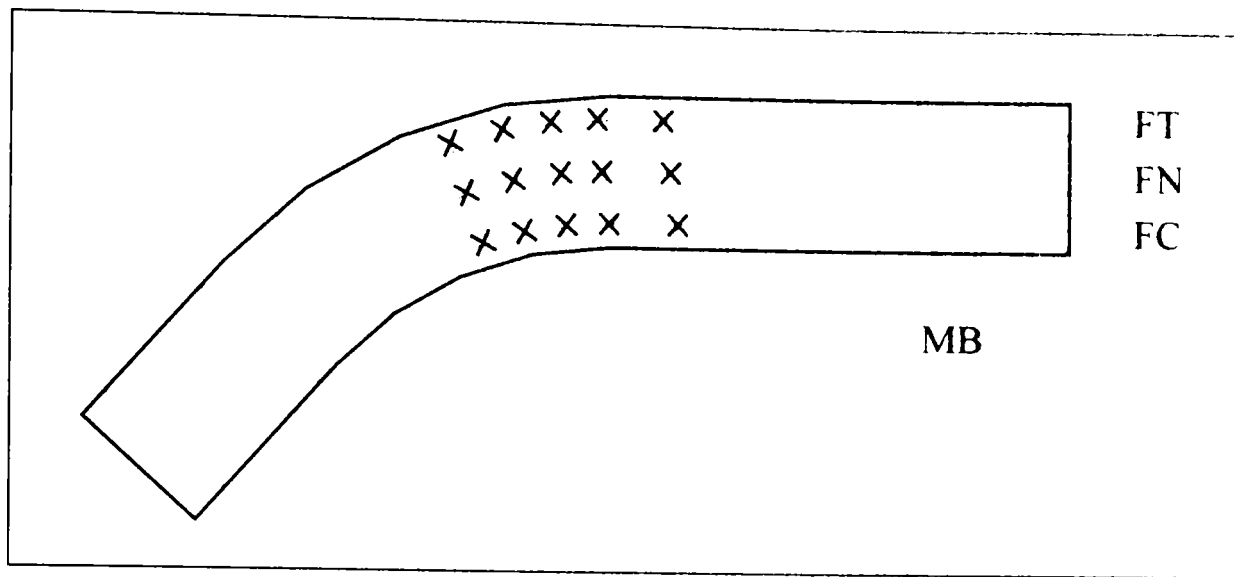


Fig. 4.65. Modul de amplasare a urmelor de duritate la metalul de bază

TABEL 4.15.

Nr. Crt.	Marcaj	Materialul probei	Duritatea Vickers (HB)		
			Fibra întinsă (Fİ)	Fibra neutră (FN)	Fibra comprimată (FC)
1	C3	Oțel 16Mo3	232 (220)	185 (176)	224 (213)
2			217 (206)	190 (181)	216 (205)
3			186 (178)	178 (169)	218 (207)
4			214 (203)	185 (176)	218 (207)
5			209 (199)	196 (186)	197 (187)
1	C6	Oțel 16Mo3	210 (200)	182 (173)	222 (211)
2			217 (206)	175 (166)	223 (212)
3			209 (199)	168 (160)	221 (210)
4			191 (181)	182 (173)	226 (215)
5			188 (179)	178 (169)	216 (203)
1	C10	Oțel 12CrMoV3	209 (199)	188 (179)	213 (202)
2			217 (206)	187 (178)	198 (188)
3			206 (196)	197 (187)	215 (204)
4			214 (203)	182 (173)	210 (200)
5			208 (198)	175 (166)	209 (199)

4.6.4 Verificarea epruvetelor COFITEN (pretensionate și încercate) din oțel X20CrMoV12.1

Verificarea epruvetelor pretensionate în dispozitivele COFITEN constă în operații specifice inspecției, după cum urmează:

- examinarea vizuală a zonelor și suprafețelor caracteristice și a stării de deformare remanentă;
- încercarea la îndoire liberă cu deplasarea limitată a domului;
- examinări metalografice, cu determinări de duritate, în două secțiuni caracteristice (transversal și longitudinal).

Epruvetele prezentate spre verificare se identifică conform tabelului 4.16.

TABEL 4.16

Marcaj	Material	Durata ciclului (zile)	Mediu corosiv in instalatie
C2 (IS)	OțelX20CrMoV12.1	85	Abur viu
C3 (MB)	OțelX20CrMoV12.1	57	Abur viu

IS - îmbinare sudată

MB - metal de bază

Având în vedere că, durata de menținere a epruvetelor în dispozitivele montate, pe circuitele indicate, sunt încadrabile în limitele stabilite prin Procedura de încercare, aceasta se validează astfel:

- epruveta C2 pentru un ciclu de 90 de zile;
- epruveta C3 pentru un ciclu de 60 de zile.

4.6.4.1. Examinări efectuate

Epruvetele prezentate confirmă respectarea condițiilor specificate în instrucțiunea de pornire și urmărire a procesului de încercare COFITEN.

Astfel, nici una din epruvete nu prezintă depuneri consistente de substanță solidă din mediul corosiv, reprezentat prin apă sau abur.

Această constatare indică o curgere corectă a fluidului în spațiu creat pe cale constructivă în dispozitiv, prin montaj și reglare pe durata încercării.

Agentul corosiv a spălat continuu zonele tensionate ale epruvetelor, pe care se disting următoarele situații:

- epruveta C2 spălată de abur viu prezintă culoarea roșie pe fond gri spre negru, dată de nitrați;
- epruveta C3 spălată de abur prezintă culoarea predominantă gri spre negru, dată de substanța solidă din abur.

La examinarea vizuală, cu ochiul liber și cu lupa, epruvetele nu prezintă fisuri de fragilizare pe zonele de examinare, ca urmare a acestei încercări de coroziune chimică, accelerată și uniformă sub tensiune (COFITEN).

Pata de acces a agentului corosiv de pe suprafața întinsă a epruvetelor este accentuată și vizibilă la oțelul X20CrMoV12.1. Această zonă este porțiunea netensionată de acces a agentului corosiv, unde se poate evalua fenomenul de eroziune - coroziune, localizată în crevasă. Examinarea metalografică a secțiunilor transversale, prin petele de acces, oferă informații privind degradarea materialului, datorită coroziunii localizate (a se vedea ENISO 8044).

Este menționată coroziunea în crevasă, întrucât fenomenul produs, în dispozitivul COFITEN, este localizat și se asociază cu prezența deschiderii circulare, înguste dintre metalul epruvetei și metalul dispozitivului (a se vedea ISO 8044). Acest fenomen este vizibil cu ochiul liber și cu lupa, atât pe exterior cât și în secțiunea transversală.

Starea de deformare a celor patru epruvete este identică, conform rezultatelor măsurii unghiului de îndoire remanentă pe porțiunea curbă, cu raza de 50 mm. Acest

Unghiul are valoarea de 12° , iar dispozitivul permite o îndoire totală de 15° , în domeniul elasto-plastic. Îndoirea necontrolată se produce sub unghiul inițial de așezare a epruvetei în dispozitiv de 5° . Calculând lungimea arcelor de cerc, de pe suprafața întinsă a epruvetelor, rezultă următoarele valori pentru cele trei trepte de deformare, pe porțiunea curbă a dispozitivului (tabel 4.17).

TABEL 4.17

Unghiul de îndoire α [$^\circ$]	Lungime arcului la [mm]	Observații
5	4,36	Așezare / predeformare
15	10,46	În stare liberă / plastică
12	13,08	În dispozitiv / elasto-plastic

Scurtarea fibrei întinse (de la 15° la 12°) raportată la lungimea epruvetei este de 2%, alungirea plastică controlată (de la 15° la 12°) este de cca. 4,8%.

Epruvetele aflate în stare liberă de deformare plastică (la unghiul de 12°), nu prezintă pe zona curbă de examinare, efecte de coroziune sub tensiune, după cicluri de 60 sau 90 de zile de încercare.

Starea și aspectul epruvetelor sunt prezentate în fig. 4.66 și 4.67.

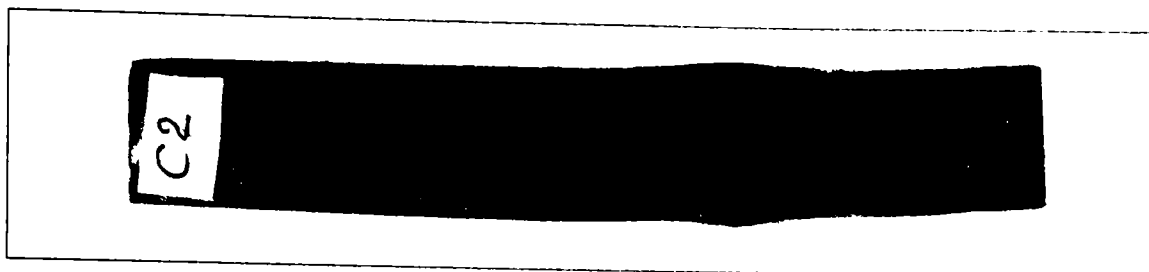


Fig. 4.66. Proba C2

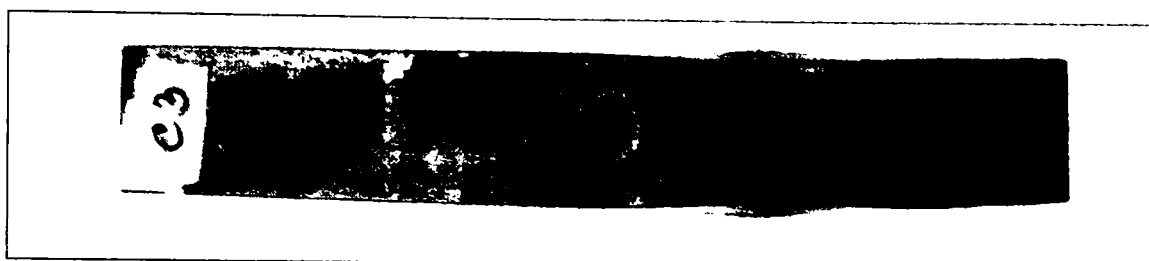


Fig. 4.67. Proba C3

4.6.4.2. Încercarea la îndoire liberă

Deformarea plastică a epruvetelor scoase din dispozitiv a continuat în condiții mai severe prin întinderea liberă pe role cu un dorn de rază $R = 19 \text{ mm}$ și distanța între role de 60 mm .

Astfel, raza de îndoire a fibrei întinse este de 32 mm . Îndoirile s-au efectuat în trei trepte de solicitare continuă, măsurând forțele de deformare la deplasări ale dornului de $5, 10$ și 15 mm .

Unghiul final de îndoire pe fața întinsă măsoară 60° la fiecare epruvetă.

Rezultatele sunt prezentate în tabelul 4.18.

TABEL 4.18

Deplasarea dornului [mm]	Forța de îndoire, F [N]	
	Proba C2	Proba C3
5	36.200	35.000
10	38.800	39.200
15	45.500	45.300

În fig. 4.68 sunt prezentate diagramele de deformare plastică continuă și proporțională cu deplasarea dornului.

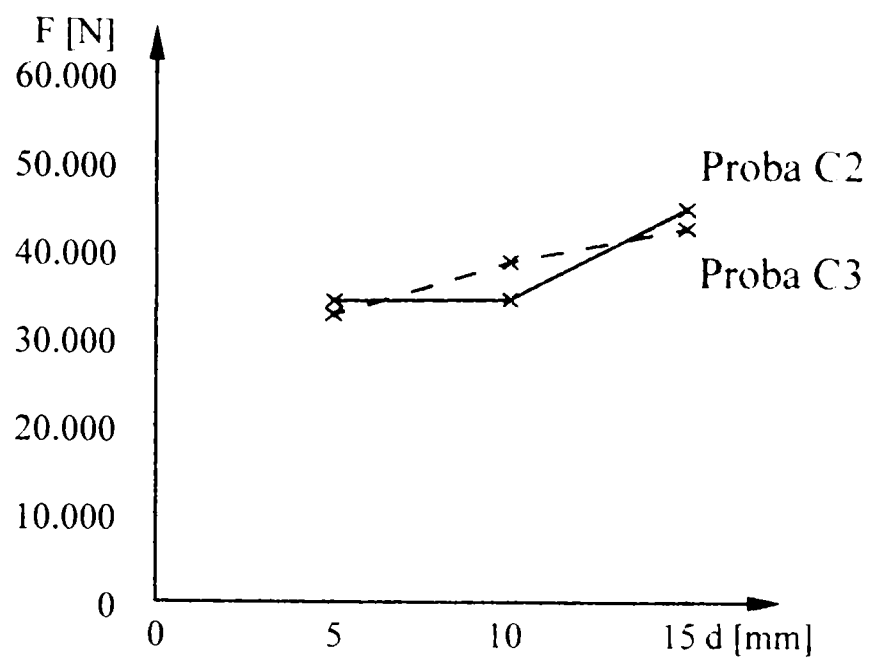


Fig. 4.68. Variația $F = (d)$ la epruvetele încercate

În nici unul din cele două cazuri nu s-au semnalat fisuri, ca urmare a încercării la îndoire.

În figurile 4.69 și 4.70 sunt prezentate epruvetele în stare finală de deformare liberă cu dom.

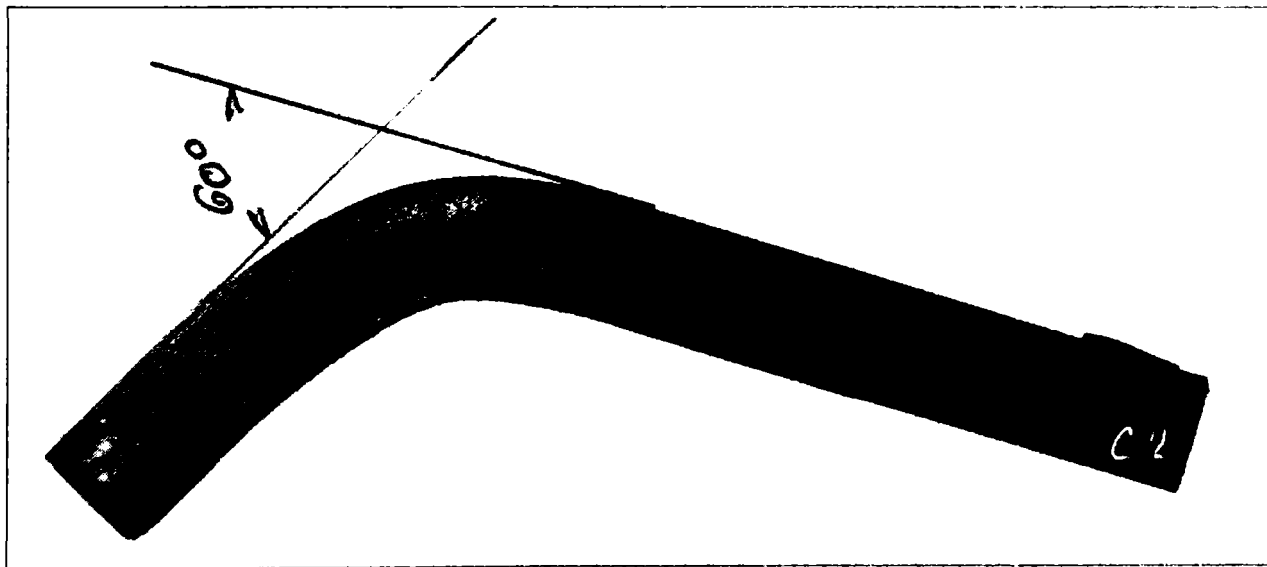


Fig. 4.69. Proba C2 - îndoită

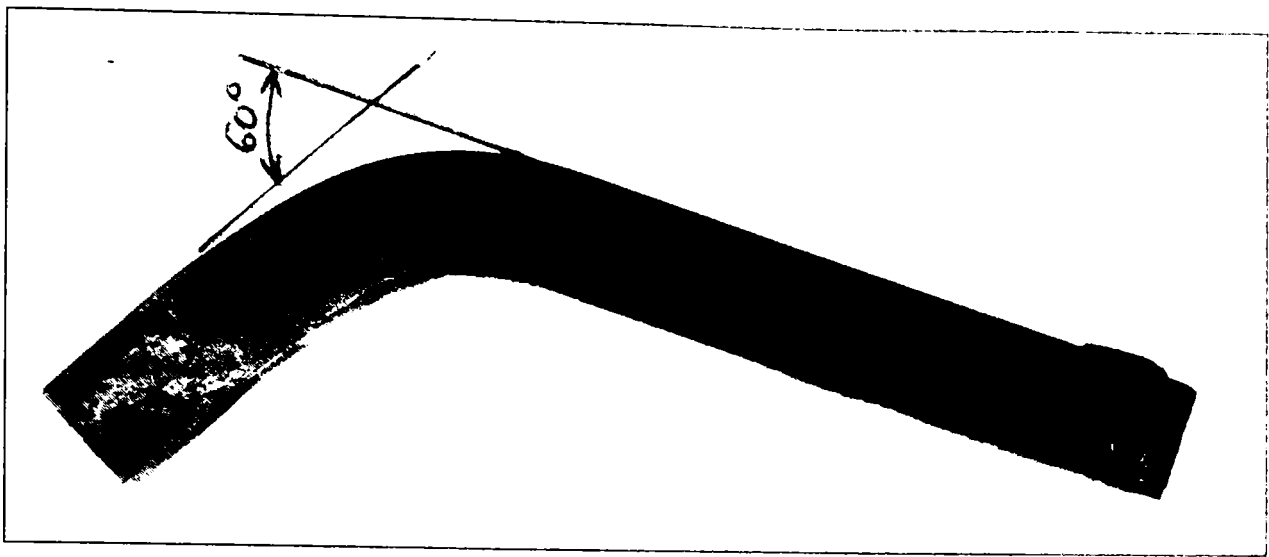


Fig. 4.70. Proba C3

*Pe suprafețele epruvetelor COFITEN deformate nu s-au decelat fisuri.
În această situație, cele două epruvete au fost pregătite pentru examinarea metalografică și încercări de dunitate, în două secțiuni, transversal prin „pata de acces” și longitudinal pe o față laterală.*

4.6.4.3. Examinări metalografice

4.6.4.3.1. *Examinarea macroscopică a secțiunilor laterale, prelevate din epruvetele COFITEN, relevă la proba C2, o porțiune (MB+ZIT+SUD) cu partea de fuziune între ZIT și SUD, plasată pe o zonă îndoită fig. 4.71.*

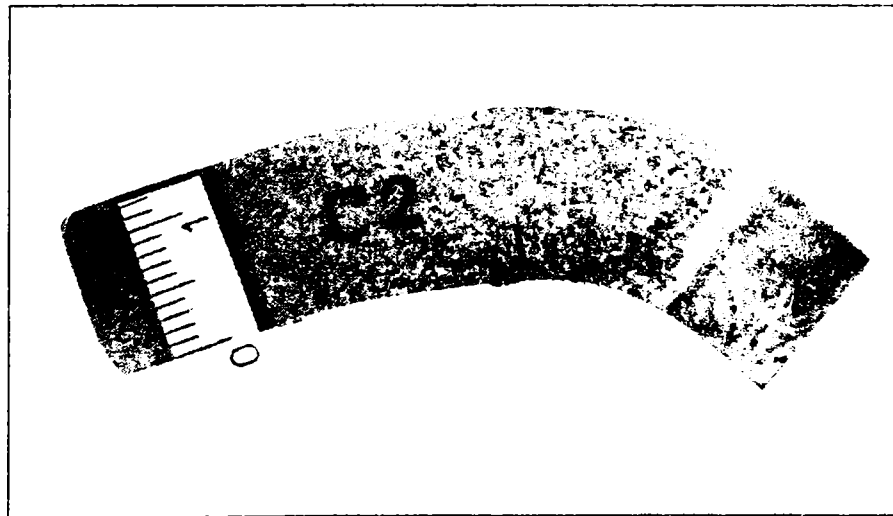


Fig. 4.71. Proba C2 [Atac HCl concentrat]

Pe suprafața probei C2 și a celorlalte probe nu s-au decelat fisuri.

4.6.4.3.2. Examinările microscopice, s-au efectuat în zonele caracteristice, plasate pe suprafețele longitudinale și transversale ale epruvetelor COFITEN, supuse pretensionării.

a) La proba C2 (oțel X20CrMoV12.1 + sudură)
- în metalul de bază (MB), structuri fine de revenire aciculare cu particule de carburi fine de Cr, Mo, V, uniform distribuite (fig. 4.72).

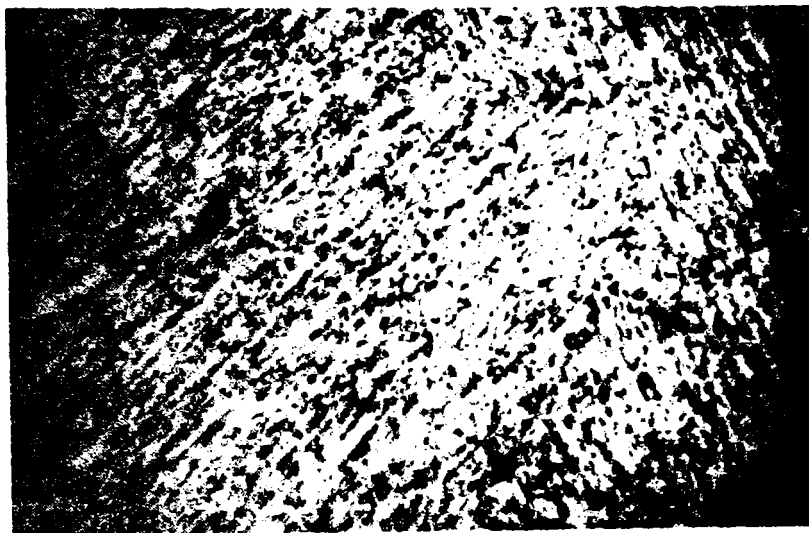


Fig.4.72. Proba C2, MB(X20CrMoV12.1), [Atac HCl,500x]

- în zonele influențate termic (ZIT) structuri aciculare cu carburi fine de Cr,Mo,V (fig. 4.73 și 4.74).



Fig. 4.73. Proba C2, ZIT, [Atac HCl,100 x]



Fig.4.74. Proba C2, ZIT, [Atac HCl,500x]

- în sudură structuri dendritice cu forme pseudoaciculare și carburi fine (fig. 4.75 și 4.76).

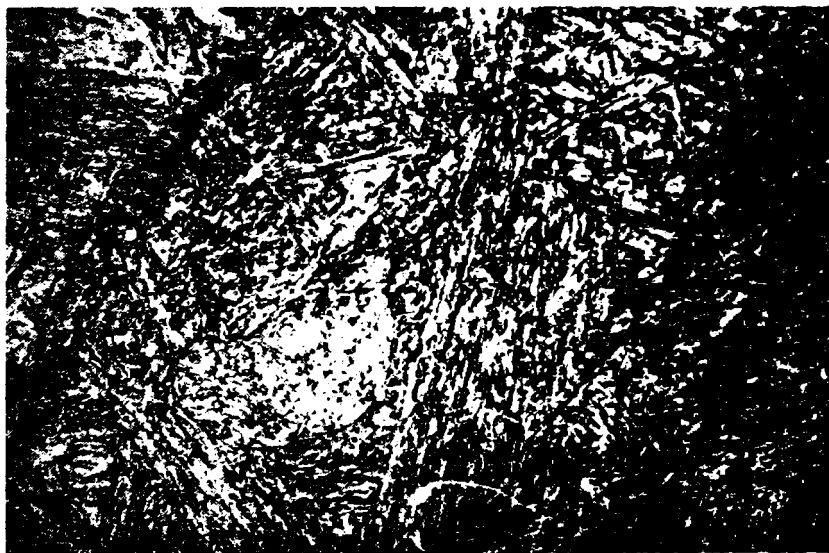


Fig. 4.75. Proba C2, SUD, [Atac HCl, 100x]

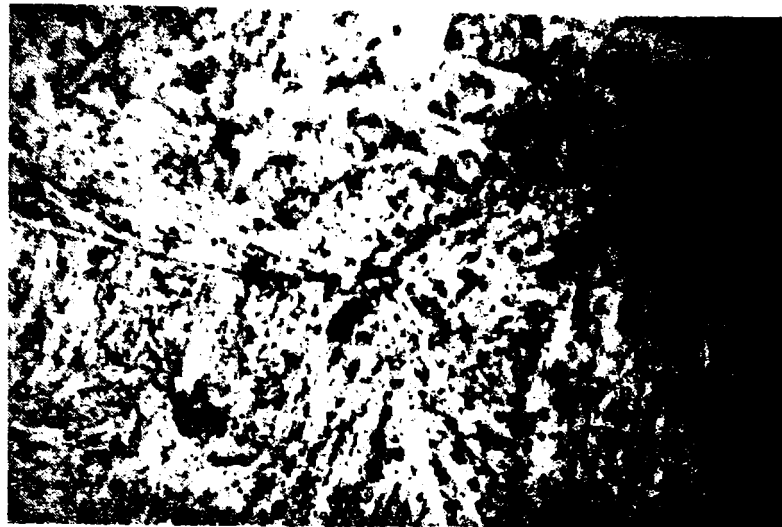


Fig. 4.76. Proba C2, SUD, [Atac HCl, 500 x]

Zonele examinate nu au prezentat microfisuri.

În jurul „petei de coroziune” (crevasă) plasată în sudură se observă zone corodate cu o adâncime de max.0,18 mm (fig. 4.77), iar în zonele adiacente de coroziune, adâncimea nu depășește valoarea de 0,11 mm.

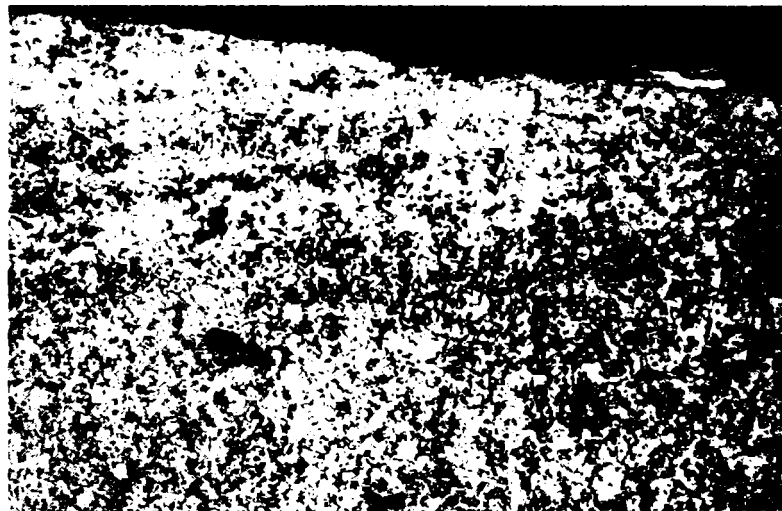


Fig. 4.77. Proba C2, SUD, [Atac HCl, 100 x]

b) La proba C3 (oțel X20CrMoV12.1)

- în zona fibrei neutre a oțelului (secțiune longitudinală) structuri de revenire aciculare fine cu carburi de Cr, Mo, V. plasate inter-intragranular (fig. 4.78).



Fig 4.78. Proba C3, MB fibră neutră, [Atac HCl, 100 x]

- în zonele fibrelor comprimate și întinse structurile metalului de bază aciculare, de revenire cu carburi de Cr, Mo, V uniform distribuite în masa de bază (fig. 4.79).



Fig. 4.79. Proba C3, MB (fibră întinsă), [Atac HCl, 100 x]

- în secțiunea transversală a probei se observă structuri fine de revenire și carburi fine de Cr, Mo, V, la suprafață în zona întinsă în dreptul petei de coroziune se observă degradări superficiale cu adâncimi de max. 0,43 mm (fig. 4.80). În fig. 4.81 se prezintă un aspect specific de coroziune în crevasă datorat jetului coroziv, cu o adâncime de circa 0,15 mm.



Fig. 4.80. Proba C3, MB (transv.),
[Atac HCl, 100x]

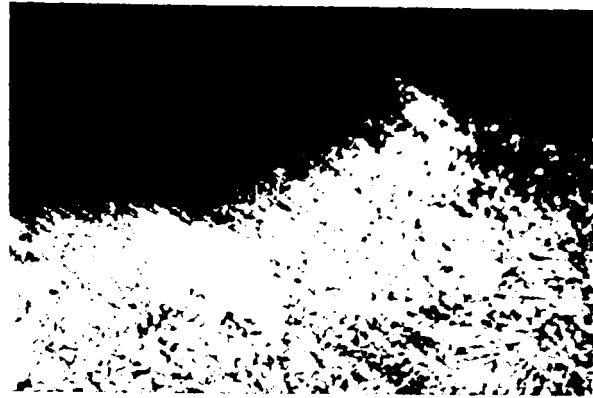


Fig. 4.81. Proba C3, MB (transv.),
[Atac HCl, 100x]

Zonele corodate nu prezentau microfisuri

4.6.4.4. Încercarea de duritate Vickers (HV10) s-a executat conform STAS 492/1-85. Schema de amplasare a amprentelor este conform fig.4.82, iar rezultatele încercărilor sunt trecute în tabelul 4.19, respectând condițiile:

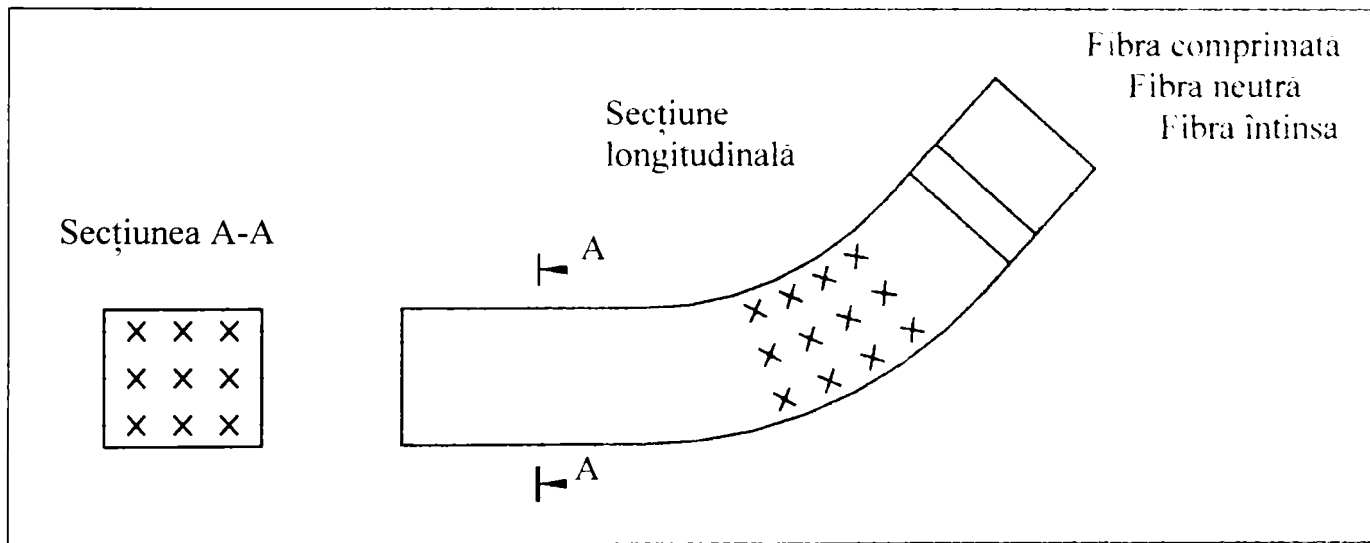


Fig.4.82 Modul de amplasare a urmelor de duritate

TABEL 4.19

Nr. amprentă	Marcaj probă	Zona cercetată	Duritatea HV 10/HB		
			FI	FN	FC
0	1	2	3	4	5
Secțiune longitudinală (pretensionate)					
1	C2	SUD	274/260	268/255	272/258
2		ZIT	299/284	283/269	299/284
3		MB	287/273	260/247	294/279
1	C3	MB	274/260	268/255	276/262
2			283/269	260/247	294/279
3			292/277	266/253	294/279
4			266/253	254/241	276/262
Secțiuni transversale (netensionate)					
1	C2	SUD	209/199	243/231	265/252
2			235/223	262/249	272/258
3			218/207	255/242	269/256
1	C3	MB	285/271	285/271	276/262
2			281/267	270/256	291/276
3			286/272	267/254	295/280

Estimatorul ΔHB reprezintă durificarea unei zone raportată la altă zonă, în speță durificarea zonelor întinsă și comprimată în funcție de zona neutră: el se calculează cu relația:

$$\Delta HB = HB_{\max (FC,FI)} - HB_{\min (FN)} \quad (4.18)$$

$$\Delta HB = \frac{HB_{\max (FC,FI)} - HB_{\min (FN)}}{HB_{\min (FN)}} \cdot 100 \quad (4.19)$$

Relația 4.18 se exprimă în valori HB, iar relația 4.19 în procente.

Valorile estimatorului ΔHB , determinate pe secțiunile transversale și longitudinale ale probelor, sunt trecute în tabelul 4.20.

Marcajul probei	Zona cercetată	Estimatorul ΔHB *			
		Fibra întinsă (FI)		Fibra comprimată (FC)	
		valoare	%	valoare	%
1	2	3	4	5	6
Secțiuni longitudinale (pretensionate)					
C2	SUD	5	1,96	3	1,17
	ZIT	15	6,07	15	6,07
	MB	26	10,52	32	12,95
C3	MB	36	14,93	38	15,76
Secțiuni transversale (netensionate)					
C2	SUD	-8	-3,46	27	11,68
C3	MB	+18	7,08	26	10,23

* când $\Delta HB > 0$ apare o durificare structurală; $\Delta HB \leq 0$ apare o înmuiere structurală

Ca urmare a experimentării metodei COFITEN la oțelul X20CrMoV12.1 s-au obținut noi informații privind comportarea oțelurilor aliate în mediu corosiv, sub tensiune, precum și gradul de corozivitate al apei utilizate la alimentarea sau în faza de abur viu.

După cicluri de 60 și 90 de zile de încercare, interacțiunea fizico-chimică dintre metal și mediul său înconjurător, simulată în mod accelerat prin metoda COFITEN, nu a produs efecte de coroziune sub tensiune. Această constatare este valabilă și pentru sudură (a se vedea epruveta C2), pe porțiunea curbă a epruvetelor. Starea epruvetelor scoase din dispozitiv, a fost tipică pentru acest mod de încercare. S-a semnalat prezența nitraților și a substanței solide depuse pe metal, fără a se produce sub tensiune plastică, microfisuri inter sau intragranulare, ca urmare a fragilizării.

Deformarea plastică a epruvetelor după încercarea COFITEN s-a produs cu o creștere proporțională a eforturilor de întindere, prin înconviere, în raport cu deformația. Aceasta denotă rezerva de deformabilitate a materialului, care a fost supus unor regimuri intense de solicitare fizico-chimică, în procesul de încercare.

Din punct de vedere al principiilor metodei COFITEN și al criteriilor de evaluare se constată că oțelul X20CrMoV12.1, în stare nesudată și în stare sudată, nu fragilizează sub tensiune, în mediul de apă de alimentare/recirculare.

Durata care validează această concluzie este cea maximă prevăzută, de 90 de zile pentru încercare. Încercările ar putea fi continuate pe conducta de abur (purja continuă) până la atingerea ciclului de 90 de zile, pentru a se valida și aceste condiții de încercare epruveta C3.

Metoda și dispozitivul de încercare COFITEN, permit să evalueze și efectul agentului corosiv, prin atac direct, asupra epruvetei, în dreptul orificiului de acces.

Aceasta este zona de coroziune locală, cu efect chimic de coroziune-eroziune în spații înguste (coroziune în crevasă).

Astfel se constată că:

- petele de coroziune au formă circulară, în jurul lor apărând fenomene puternice de coroziune locală, adâncimile de coroziune sunt de max.0,42 mm la oțelul X20CrMoV12.1 (fig.4.80);

- în zona petelor de coroziune structurile decelate sunt normale specifice oțelului erodat (structuri de revenire la oțelul X20CrMoV12.1);

- duritățile zonelor examinate sunt de max.299 HV10 (284 HB) la oțelul X20CrMoV12.1, acestea fiind la nivelul structurilor examinate;

- zonele supuse acțiunii corozive a mediului de încercare, nu au prezentat microfisuri pe grosimea materialului, în secțiunile longitudinale și transversale;

Estimatorul HB (de duritate sau de înmuiere structurală) atestă o durificare structurală la metalele de bază, de la oțelul X20CrMoV12.1 cu max.15.76%, la sudură cu max.1,96% și la zonele influențate termic cu 6,07%.

Pe toate zonele supuse pretensionării și încercării COFITEN, examinate metalografic, nu s-au observat microfisuri, atestând că oțelurile încercate au caracteristica de deformabilitate ridicată și nu sunt susceptibile la procesele de fragilizare prin COFITEN.

4.6.5 Concluzii:

1 - Oțelurile aliate X20CrMoV12.1, 12CrMoV3 și 16Mo3 fac parte din grupa oțelurilor termorezistente sudabile și au caracteristicile structurale și mecanice garantate în funcționare la presiuni și temperaturi ridicate;

2 - Metoda de montaj și de supraveghere a epruvetelor prelevate din îmbinările sudate și din oțelurile termorezistente supuse încercărilor COFITEN în dispozitive speciale montate direct pe conductele termoenergetice este considerată reproductibilă și satisfăcătoare;

3 - Epruvetele expuse fenomenului de coroziune sub tensiune în dispozitivele COFITEN, montate pe circuitele termice la beneficiar, au prezentat în zonele afectate cu jetul de fluid zone oxidate distinct, atât pentru sudură cât și pentru metalele de bază;

4 - Deformarea remanentă a epruvetelor supuse COFITEN este aceeași indiferent de marca oțelului, mediului corosiv și duratei de încercare, având o valoare corespunzătoare unghiului de îndoire ghidată de 15°, iar alungirea corespunzătoare deformării este de 7%(caracteristica unei îmbătrâniri artificiale);

5 - Efectele coroziunii sub tensiune în dispozitivele COFITEN sunt puternic semnalate în zona întinsă a epruvetelor, zonă în care pătrunde fluidul din conducta tehnologică și mai puțin prezente în celelalte zone (nedeformate);

6 - Analizele metalografice efectuate pe probele COFITEN evidențiază atât structurile caracteristice oțelurilor și îmbinărilor sudate, cât și adâncimile de coroziune prezentate pe suprafețele întinse ale probelor;

7 - Structurile, în zonele caracteristice supuse fenomenelor de coroziune sub tensiune, sunt normale, specifice oțelurilor analizate, nedecelându-se fisuri și microfisuri de coroziune;

8 - Se apreciază că apa de alimentare este mai corozivă decât aburul viu, deoarece suprafețele ce prezintă depuneri de substanță solidă au un grad de corodare ridicat;

9 - Oțelurile aliate analizate și îmbinările sudate, supuse încercării COFITEN pe baza metodei proprii, au asigurat rezistența la coroziune sub tensiune în fluidele, cu care au fost încercate, pe circuitele termice ale ROMAG-TERMO.

4.7. Interpretarea rezultatelor experimentale ale oțelurilor termorezistente supuse COFITEN

Rezultatele experimentale obținute pe epruvetele pretensionate supuse acțiunii mediului de lucru se raportează atât la metoda și dispozitivul de încercare, cât și la studiul privind fenomenul de coroziune fisurantă sub tensiune.

Condițiile de executare a epruvetelor, de montare și pretensionare și condițiile de încercare au fost respectate, dovadă fiind și dimensiunile finale ale acestora, după consumarea duratelor de încercare menționate.

Aspectul epruvetelor după spălare și curățare indică existența clară a „petei de contact” dintre epruvetă și dispozitiv în dreptul găurii de acces.

Culoarea roșie cauzată de nitrați nu are întindere semnificativă, iar fondul general de culoare este gri spre negru, ca efect al spălării și depozitării normale pe epruvete a substanțelor solide din fluid.

Nu s-a constatat o depunere excesivă de substanță solidă, fapt care atestă supravegherea corectă a reglajului de debit la dispozitiv. Astfel se confirmă menținerea permanentă, etanșă a mediului exterior al dispozitivului reprezentând abur și condens.

Se remarcă faptul că oțelul 12CrMoV3 (marcaj C10) menținut 31 de zile la temperatura de 540° C, are urme de corodare exterioară pe conturul găurii de acces, unde sunt prezente și efectele nitraților din apă. Această corodare nu este vizibilă la oțelul 16Mo3. Îmbinarea sudată din 16Mo3, menținută 64 de zile pe circuitul " apă de alimentare" prezintă cele mai puține efecte ale acțiunii mediului.

Oțelul 16Mo3 tratat termic și menținut timp de 64 de zile pe circuitul de alimentare prezintă efecte ale corodării exterioare mai accentuate decât oțelul netratat termic menținut timp de 31 de zile la temperatura de 540° C.

Continuarea deformării plastice inițiale în dispozitiv, prin încercare tehnologică la îndoire cu dom, având diametrul de trei ori grosimea, a condus la un unghi efectiv de îndoire de max.60° fără fisurare aparentă.

Această condiție existentă în metoda de încercare este satisfăcută. Nici una din probe nu a prezentat fisuri caracteristice COFITEN, ele fiind astfel valide pentru examinări metalografice.

Analizele macroscopice și microscopice efectuate pe probele C2, C3, C6 și C10 nu au evidențiat prezența fisurilor și a microfisurilor atât pe zonele deformate (întinse) cât și pe cele nedeformate.

CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII ORIGINALE

Lucrarea dorește să aducă o contribuție modestă și în același timp originală la o problematică de stringentă actualitate în energetica românească- mentenanța predictivă și reabilitarea echipamentelor unei centrale termoelectrice.

Tema tezei de doctorat a pornit de la necesitatea rezolvării practice a unei probleme determinante pentru capabilitatea producerii apei grele în România - siguranța funcționării blocurilor energetice din cadrul Sucursalei ROMAG-TERMO, care alimentează cu abur tehnologic și energie electrică instalațiile de producere a apei grele din cadrul Sucursalei ROMAG-PROD .

Defectarea agregatelor energetice, oprirea intempestivă a livrării de abur tehnologic, avarii în sistemul de alimentare cu energie electrică a instalațiilor de producerea a apei grele conduc la pierderi de producție cu valori de ordinul zecilor de miliarde de lei, riscul unui accident ecologic major (poluare cu hidrogen sulfurat) și cheltuieli de repornire foarte mari . Toate acestea conduc la creșterea prețului unitar al apei grele spre o valoare care nu poate fi acceptată pe piață.

Fiecare incident, avarie, care apare la grupurile termoenergetice trebuie cercetat amănunțit, analizat și evaluat corect pentru a putea folosi concluziile privind modul de producere a acestuia, rata de defectare a echipamentului precum și implicațiile prin propagarea efectului acestuia la utilizator (modulele de producere a apei grele) pentru a preîntâmpina repetarea lor.

De aceea trebuie să se acorde o importanță deosebită mentenanței predictive. În exploatarea instalațiilor energetice trebuie să se urmărească în mod deosebit realizarea eficienței economice maxime, cu respectarea restricțiilor de siguranță și de calitate în alimentarea cu energie electrică și abur tehnologic a consumatorului - în acest caz un consumator de grad "0"- Sucursala ROMAG-PROD.

Principalele domenii abordate în TEZĂ sunt:

Domeniile de acțiune și responsabilități ale mentenanței și sisteme de mentenanță:

- program de mentenanță;*
- fiabilitatea sistemului sub presiune;*
 - analiza datelor de defectare;*
 - avarii în instalațiile energetice;*

- modul de prevenire al avariilor;
 - mentenanța predictivă a agregatului "cazan";
 - programul de cercetare privind reducerea coroziunii sulfurice;
- Program de cercetare evaluare COFITEN;
- elaborare metodologie de evaluare COFITEN;
 - stabilirea zonelor de montare a dispozitivelor COFITEN;
 - stabilirea programului experimental de cercetare;
 - constituirea unei bănci de date.

A. CONCLUZII FINALE

Aplicațiile practice au fost făcute pentru centrala termoelectrică de la Dr. Tr. Severin echipată cu grupuri cazan CR 1244-420 t abur/oră la parametrii de 455 bari și 540°C care procesează aburul în turbine cu prize reglabile și industriale cu puterea unitară de 50 MW.

Problematika tehnică a fost reprezentată de:

- îmbunătățirea fiabilității în exploatare a unor grupuri cazan-turbină ce funcționează pe lignit inferior cu deficiențe majore de:
 - proiectare echipament;
 - constructive (materiale și uzinale);
 - proiect general de centrală, având în vedere faptul că această centrală alimentează un consumator de grad 0 ROMAG-PROD.
- utilizarea cât mai eficientă a unui combustibil inferior ale cărui caracteristici sunt net defavorabile - umiditate mare, procent ridicat de cenușă, abraziune, masă combustibilă care conține multe volatile și carbon fixat puțin ceea ce ridică probleme legate de:
 - transport (masă mare la putere calorifică modestă);
 - stivuire (manoperă + energie la care se adaugă tendința de autoaprindere);
 - preparare praf cărbune (consumuri energetice și de piese de schimb ridicate);
 - stabilitatea arderii;
 - noxe;
 - depozitare zgură și cenușă (cheltuieli de hidrotransport și supraînălțare de diguri ridicate).

Problematika economică reprezentată de:

- reducerea costurilor prin diminuarea sau chiar anularea fondurilor investite în grupuri noi pe fondul diminuării cererii de energie;
 - creșterea semnificativă a prețului echipamentelor și subansamblelor;
 - introducerea sistemului calității în ceea ce privește furnizarea energiei electrice și termice;
 - apariția pieței de energie și a reglementărilor A.N.R.E.
- În ceea ce privește analiza stării materialului în instalațiile termoenergetice prin metoda, "COFITEN" sunt de remarcat următoarele aspecte:
1. Metoda de montaj și de supraveghere a epruvetelor prelevate din

îmbinările sudate (similare și disimilare) și din oțelurile termorezistente supuse încercărilor COFITEN în dispozitive speciale montate direct pe conductele termoenergetice este considerată reproductibilă și satisfăcătoare.

2. Deformarea remanentă a epruvetelor supuse COFITEN este aceeași indiferent de marca oțelului mediului corosiv și duratei de încercare, având o valoare corespunzătoare unghiului de îndoire ghidate de 15°, iar alungirea corespunzătoare deformării este de 7% (caracteristică unei îmbătrâniri artificiale).

3. Efectele coroziunii sub tensiune în dispozitivele COFITEN sunt puternic semnalate în zona întinsă a epruvetelor, zonă în care pătrunde fluidul din conducta tehnologică și mai puțin prezente pe suprafețele întinse ale probelor.

4 Analizele metalografice efectuate pe probele COFITEN evidențiază atât structurile caracteristice oțelurilor și îmbinărilor sudate către adâncimile de coroziune prezente pe suprafețele întinse ale probelor.

5. Pe baza rezultatelor experiențelor obținute prin încercarea la coroziune sub tensiune în dispozitive COFITEN, se apreciază că oțelurile termorezistente și îmbinările sudate (similare, disimilare) analizate au asigurată rezistența la acest tip de coroziune în condițiile normale de funcționare a conductelor termoenergetice la parametri tehnologici proiectați.

B. CONTRIBUȚII ORIGINALE

Principalele contribuții originale în domenii abordate sunt:

B.1 În domeniile de acțiune și responsabilități având ca obiectiv prioritar creșterea disponibilității centralei pentru a asigura livrarea continuă de abur și energie electrică la ROMAG-PROD.

Am dezvoltat un Plan de acțiune în domeniul reparațiilor, având drept scop reabilitarea grupurilor energetice. Aceste acțiuni le-am concentrat urmărind un Plan de Referință pentru reparații.

Părțile slabe ale instalației s-au dovedit a fi sistemul de presiune al cazanelor și agregatelor rotative mari.

Sistemul de presiune al cazanelor de abur trebuie să ofere un înalt grad de siguranță, deoarece la apariția unor spurgeri de țevi, cazanul este scos necondiționat din funcțiune.

Factorii care influențează siguranța în funcționare a țevilor sistemului sub presiune sunt multipli și pot fi structurați astfel:

- calitatea oțelului în procesul de elaborarea al țevilor;
- condiții de calitate în tehnologia de fabricație al țevilor;
- modul de încadrare în toleranțele admisibile în tehnologia de fabricație;
- modul de respectare al tehnologiei de execuție la asamblarea elementelor componente ale sistemului sub presiune;
- modul de execuție al lucrărilor de montaj,
- efectuarea spălării chimice;
- exploatarea cazanului:
 - pornirea din stare de rece și caldă, conducerea arderii și viteza de creștere a parametrilor;

- felul cum sunt conduși parametrii în exploatarea de durată și felul în care sunt preluate regimurile tranzitorii;
- regimul chimic al cazanului;
- modul în care este condusă exploatarea agregatelor auxiliare ale cazanului care influențează regimul termic al acestuia;
- oprirea și răcirea cazanului;
- modul în care se efectuează lucrările de reparare a sistemului sub presiune;
- tehnologii și condiții de calitate.

Analizarea acestor factori este de natură să pună în evidență într-un mod sistematic cauzele posibile ale spargerilor de țevi, deci și modul de prevenire al acestora.

B.1.1 Drept pentru care am organizat laboratorul de control nedistructiv și atelierul de sudură specializat în îmbinări sudate ale elementelor de cazan din oțeluri termorezistente similare și disimilare.

În paralel am echipat un atelier capabil să remedieze defecte mecanice la agregatele rotative mari (mori de cărbune, ventilatoare de aer și gaze, transmisii mecanice) prevăzut cu un stand de echilibrare.

B.1.2 Activitatea destinată predicției evenimentelor prin urmărirea spectrelor de vibrații ale agregatelor rotative.

Am organizat activitatea de colectare a datelor prin măsurători directe "OFF-LINE" și "ON-LINE" și crearea unei baze de date, după stabilirea prin Programul de Mentenanță a "traseelor" de urmărire a utilajelor în funcțiune.

Aceste informații sunt colectate într-o bază de date și urmărite de către un sistem de mentenanță computerizat.

Am introdus un sistem complex de instruire pentru tehnicienii care culeg datele și pentru personalul ingineresc care prelucrează rezultatele măsurărilor.

Am introdus alinierea cu laser a cuplajelor- care permit o aliniere rapidă și foarte precisă- ceea ce are drept rezultat reducerea vibrațiilor.

B.2 În domeniul cercetării fenomenelor de coroziune fisurantă sub tensiune (COFITEN) la oțelurile termorezistente aliate aflate în stare nesudată și sudată (similare, disimilare) amintesc principalele contribuții originale:

- elaborarea unei metodologii proprii de încercare la coroziune fisurantă sub tensiune care are un caracter accelerat pe probe COFITEN prelevate atât a oțelurilor termorezistente aliate cât și din îmbinările sudate ce nu au funcționat pe circuitele termice;

- proiectarea dispozitivului de încercare COFITEN ce reunește simultan cei trei factori fragilizanți principali :

- scurgerile de fluide,
- concentrația chimică a fluidului;
- tensiunea termomecanică aplicată oțelurilor și îmbinărilor sudate caracteristice;

- stabilirea zonelor de montare a dispozitivelor COFITEN pe circuite termice suplimentare legate direct cu cele principale în apropierea zonelor considerate

"critice";

- stabilirea unui program experimental propriu pentru caracterizarea structurală și mecanică atât a oțelurilor termorezistente aliate cât și a îmbinărilor lor sudate realizate în variante similare și disimilare (x20CrMoV12.1; 12CrMoV3 și 16Mo3);

- constituirea unei bănci de date tehnice cu rezultatele analizelor structurale a rezistenței la coroziune și a încercărilor mecanice în vederea comparărilor cu cele ce se vor obține la oțelurile termorezistente aliate ce au lucrat pe circuitele termice pe durata proiectată, pentru a stabili nivelul de degradare a acestora pe condițiile de temperatură și presiuni ridicate.

C. PROBLEME DE VIITOR

Se va introduce sistemul de urmărire computerizat pe toate cele patru turbine de 50 MW din cadrul Sucursalei ROMAG-TERMO, sistem care preluând "ON-LINE" atât informațiile referitoare la parametri tehnologici, cât și cele referitoare la vibrații și tribologie (parametrii fluidelor de ungere, modificarea în timp a acestora), va previziona starea de "sănătate "a acestora, respectiv capacitatea de a funcționa fără defecțiuni și la parametri de proiect.

Conceperea unui standard național de încercare la coroziune fisurantă sub tensiune (COFITEN) pentru verificarea oțelurilor termorezistente aliate și nealiate și a îmbinărilor lor sudate ce lucrează pe circuite termice specifice.

Acest standard va conține obligatoriu capitolele:

- generalități;
- descrierea metodologiei de încercare COFITEN;
- luarea probelor și executarea epruvetelor;
- metoda de încercare;
- evaluarea rezistenței la COFITEN;
- raportul de încercare.

Acest standard va fi în concordanță cu prevederile normelor internaționale EN ISO 8044 și ASTM D807.

Adaptarea dispozitivelor de încercare COFITEN la epruvete speciale cu grosimi mai mici de 12 mm (eventual 7- 8 mm) în vederea extinderii metodei de evaluare a coroziunii fisurante sub tensiune și la conductele tehnologice sudate sau nesudate cu grosimi de perete cuprinse între 7-8 mm aflate pe unele circuite termice de presiune joasă ale centralelor termoenergetice.

ANEXA 1
Sistemul de urmărire a parametrilor tehnologici
și mecanici a conductelor IP-IT

1. As built

Se stabilește sistemul pentru care se face as built-ul.

Se realizează relevarea fiecărui circuit în parte și se identifică absolut toate elementele componente ale circuitului cu toate caracteristicile dimensionale și de funcționare.

Se realizează schema izometrică pentru fiecare circuit din componența sistemului.

Se realizează desenele de execuție pentru toate elementele componente ale circuitului (tronsoane, teuri, reducții, compensatoare, etc) prin comandă la ISPE.

Se identifică porțiunile de circuit care au fost înlocuite pe baza documentației de sudură.

Se realizează identificarea fiecărei armături pe baza documentației existente.

Se realizează completarea fișei fiecărei suduri.

Se realizează identificarea tipurilor de suporturi existenți.

Pentru fiecare suport al circuitului se realizează desenul de ansamblu din centralizator și catalogul utilizat de proiectantul ISPE.

Identificarea tipurilor de prinderi pentru suportii de pe circuit.

Se realizează desenul de execuție pentru fiecare element component al desenului de ansamblu al suportului (acolo unde beneficiarul și ISPE S.A. dețin toate datele necesare) dacă este necesar.

Completarea fișei individuale a suportului (vezi anexa) privitoare la comportarea suportului la rece și la cald.

2. Punerea în funcțiune a sistemului de urmărire a parametrilor de funcționare pentru fiecare sistem în parte.

Identificarea punctelor de măsură a diferiților parametri de funcționare. Dacă este necesar mărirea numărului de puncte de măsură.

Implementarea sistemului de urmărire a parametrilor de funcționare (presiune, temperatură, debit)

3. Colectarea datelor referitoare la controalele efectuate asupra elementelor de circuit și rezultatele acestora, scanarea lor și convertirea în fișiere binare.

4. Introducerea în baza de date a informației strânse și realizarea drepturilor de acces pentru beneficiar.

ANEXA 2
FIȘA DE URMĂRIRE ÎN FUNCȚIONARE A SUPOȚILOR

REGIA AUTONOMĂ pentru ACTIVITĂȚI NUCLEARE
SUCURSALA ROMAG-TERMO Dr.Tr. Severin

1. CIRCUIT:
2. DENUMIRE SUPORT:
3. PARAMETRII PROIECT:
4. COTA AMPLASARE SUPORT:
5. COTA DE DESERVIRE LA CARE SE FACE MĂSURĂTOAREA:
6. DATE DE PROIECT:

TIP SUPORT	MOA			BIA	
	1	2	3		
NUMĂR ARCURI					
TIP ARC					
NUMĂR SPIRE					
ØARC					
ØSPIRE					
H ₀					
H _{MONTAJ}					

7. DATE MĂSURATE LA RECE

DATA	
OBS	

TIP SUPORT	SPA	SM	ALTE CONSTATĂRI
NUMĂR SPIRE			
H _{RECE}			
H			
H ₁			
h ₁			
d ₁			
D			
D ₁			
H			

NOTĂ:

1. La punctul "7" se va completa "DATA" la care s-au făcut măsurătorile iar la rubrica "OBS" se va trece numărul de ore de funcționare de la măsurătoarea precedentă.

2. Cu privire la stabilirea poziției celor două arcuri în cazul suporturilor BIA se convine următoarea înțelegere (stând cu spatele la cazan)

1. suportul dinspre cazan

2. suportul dinspre turbină

8. DATE MĂSURATE ÎN FUNCȚIONARE

Nr. Crt	H _{măsurat}	REGIM			SCHEMA FUNCȚIONALĂ
		p	T	q	

Anexa 3
Sistemul de urmărire a agregatelor dinamice
prin măsurarea și interpretarea nivelului de vibrații

1. Buletin de diagnoză pentru turbina tip DSL-50 cu parametri de funcționare :

Putere (MW) – 50

Turație (rot/min) – 3000

la funcționare în gol.

2. Buletin de diagnoză pentru turbina tip DSL-50 la funcționare cu o putere de 32 MW.

3. Buletin de diagnoză pentru turbina tip DSL-50 în urcare de turație pe palierul de 1000 rot/min.

4. Buletin de diagnoză pentru moara M.V.C.4 (moară ventilator cu ciocane) nr.6 de la cazanul nr.2.

BULETIN DE DIAGNOZA

Data:01,11,2000

BENEFICIAR:	Romag-Termo	Tip aparat de masura:	Analizor de Vibratii tip 2515	
INSTALATIE:	Sectia turbine	Nume operator:	Ing. Slaina Marius	
UTILAJ:	Ta-DSL 50	Caracteristici utilaj:	Putere (MW)	50
POZITIE DE MONTAJ:	TA nr.1		Turatie(rot/min)	1000
Schita utilaj		Nr.ore functionare de la PIF		
		Nr.ore functionare de la ultima rep.		
		OBS: turbina functioneaza la n=1000 rot/min		
		Grupa utilaj (conform ISO 2372)	M	
		Vibratia max. admisibila	4,6mm/s	
		Incadrarea nivelului de vibratii (conform ISO 2372)	"BUN"	

L a g a r	Pozitia accelero metrului	Banda larga RMS (mm/s)	ANALIZA IN FRECVENTA (valori RMS)							1H (V-V) μm	Banda larga (V-V) μm
			H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7		
A	A	0,53	0,16							4	14
	O	0,39	0,1							3	11
	V	0,4	0,1							3	11
B	A	0,55	0,3							8	11
	O	0,55	0,18							5	15
	V	0,53	0,2							5	14
C	A	0,48	0,14							4	13
	O	0,55	0,28							8	15
	V	0,4	0,1							3	11
D	A	0,47	0,23							6	13
	O	0,49	0,25							7	13
	V	0,45	0,12							3	12
E	A	0,49	0,22							6	13
	O	0,52	0,24							6	14
	V	0,43	0,17							5	12
F	A	0,65	0,4							11	18
	O	0,45	0,1							3	12
	V	0,39	0,1							3	11

Intocmit
Ing. Slaina Marius

Verificat
Ing.Ebetiuc Victor

BULETIN DE DIAGNOZA

Data: 24.03.2001

BENEFICIAR:	Romag -Termo	Tip aparat de masura	Analizor de Vibratii tip 2515	
INSTALATIE:	Sectia Cazane	Nume operator	Ing Slaina Marius	
UTILAJ:	Moara Ciocane MVC4	Caracteristici utilaj:	Putere (kW)	1000
POZITIE DE MONTAJ:	MVC4 nr.6-K 2		Turatie(rot/min)	623
Schita utilaj <p>A,B-sunt lagarele motorului C;D-lagarele morii</p>		Nr.ore functionare de la PIF		
		Nr.ore functionare de la ultima rep.		
		Grupa utilaj (conform ISO 2372)	G	
		Vibratia max. admisibila	(4.6mm/s)	
		Incadrarea nivelului de vibratii (conform ISO 2372)	'ADMIS'	

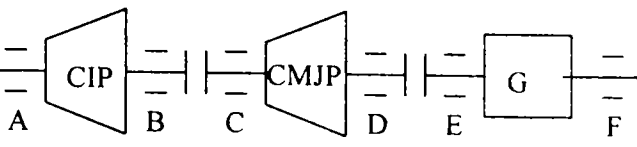
L a g a r	Pozitia accelero metrului	Banda larga	ANALIZA IN FRECVENTA (valori RMS)							1H (V-V) μm	Banda larga (V-V) μm
			Mm/s	Hz	Mm/s	Hz	Mm/s	Hz	C.C. μm		
A	A	0,35	0,23	10,3	0,1	20,6				10	15
	O	0,54	0,36		0,1					16	23
	V	0,51	0,35		0,13					15	22
B	A	0,65	0,45		0,11					20	22
	O	0,98	0,54		0,34					23	43
	V	0,49	0,23		0,27					10	21
C	A	3,2	0,9		0,7					39	139
	O	1,8	0,24		0,52					10	78
	V	0,7	0,1		0,4					4	30
D	A	3,4	0,94		0,96					41	147
	O	2,85	0,54		1,96					23	124
	V	3,07	0,49	▼	0,56	▼				21	133
E	A									0	0
	O									0	0
	V									0	0
F	A									0	0
	O									0	0
	V									0	0

Intocmit
Ing.Slaina Marius

Verificat
Ing. Ebetiuc

BULETIN DE DIAGNOZA

Data:26,01,2001

BENEFICIAR:	Romag-Termo	Tip aparat de masur: Analizor de Vibratii tip 2515	
INSTALATIE:	Sectia turbine	Nume operator :Ing Slaina Marius	
UTILAJ:	Ta-DSL 50	Caracteristici utilaj: Putere (MW) 50	
POZITIE DE MONTAJ: TA nr.1		Turatie(rot/min) 3000	
Schita utilaj		Nr.ore functionare de la PIF	
 <p>Pa=32 MW</p>		Nr.ore functionare de la ultima rep.	
		<p>OBS:Nivelul vibratiei a crescut cu val. maxime pe directie verticala: 4,46 mm/s lagarul C 6,3 mm/s lag. D 4,61 mm/s lag. E Subarmonici la H/2 (25 Hz) Slabiri mecanice(jocul arborelui in carcasa lagarului)</p>	
Grupa utilaj (conform ISO 2372)		M	
Vibratia max. admisibila		4,6mm/s	
Incadrarea nivelului de vibratii (conform ISO 2372)		"INADMISIBIL"	

L a g a r	Pozitia accelero metrului	Banda larga RMS (mm/s)	ANALIZA IN FRECVENTA (valori RMS)							1H (V-V) μm	Banda larga (V-V) μm
			H1 (50 Hz)	H2	H3	H4	H5	H8	H1/2 (25HZ)		
A	A	1,69	0,72	0,41				0,35		6	15
	O	1,9	0,79	0,38				0,7	0,4	7	17
	V	1,7	0,73	0,4				0,29	0,29	7	15
B	A	2	1	0,49					0,36	9	15
	O	2,1	0,39	0,7	1				0,65	4	19
	V	2,69	1,39	0,28	0,4				0,34	13	24
C	A	2,18	1,19	0,63	1				0,36	11	20
	O	1,78	0,18	0,46					0,48	2	16
	V	4,46	2,52	0,6	0,3				0,68	23	40
D	A	3,9	2,23	0,99					0,67	20	35
	O	2,72	1,15	0,96					0,98	10	25
	V	6,3	4,05	0,23					1,17	36	57
E	A	3,75	0,88	2,63					0,37	8	34
	O	3,65	1,01	1,08					1,85	9	33
	V	4,61	2,24	1,47					1,69	20	42
F	A	3,25	1,4	1,09					0,48	13	29
	O	3,1	0,68	1,8					1,33	6	28
	V	3,3	1,41	0,66					1,78	13	30

Intocmit
Ing. Slaina Marius

Verificat
Ing.Ebetiuc Victor

BULETIN DE DIAGNOZA

Data 14.01.2001

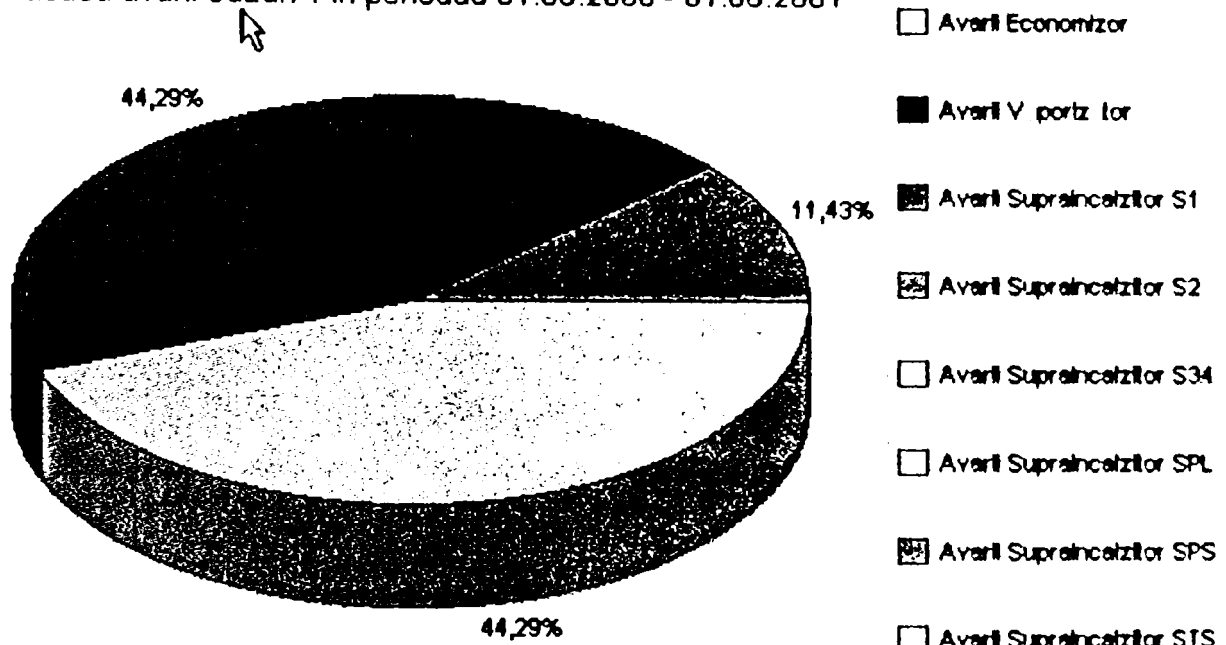
BENEFICIAR:	Romag-Termo	Tip aparat de masura:	Analizor de Vibratii tip 2515
INSTALATIE:	Sectia turbine	Nume operator:	Ing. Slaina Marius
UTILAJ:	DSL-50	Caracteristici utilaj:	Putere (MW) Turatie (rot/min) 3000
POZITIE DE MONTAJ: TA nr.1		Nr.ore functionare de la PIF Nr.ore functionare de la ultima rep. OBS: turbina functioneaza la 3000 ture mecanic	
Schita utilaj			
Grupa utilaj (conform ISO 2372) M Vibratia max. admisibila 4,6(mm/s) Incadrarea nivelului de vibratii (conform ISO 2372) "BUN"			

L a g a r	Pozitia accelero metrului	Banda larga RMS (mm/s)	ANALIZA IN FRECVENTA (valori RMS)							1H (V-V) μm	Banda larga (V-V) μm
			H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7		
			(50Hz)								
A	A	0,35	0,21	0,18						2	3
	O	1,1	0,78	0,08						7	10
	V	0,89	0,43	0,06						4	8
B	A	0,82	0,21	0,1						2	8
	O	1,45	0,49	0,26						4	13
	V	0,54	0,26	0,11						2	5
C	A	0,95	0,34	0,17						3	9
	O	1,26	0,82	0,18						7	11
	V	1,18	0,82	0,14						7	11
D	A	1,11	0,6	0,12						5	10
	O	0,89	0,42	0,06						4	8
	V	0,65	0,36	0,1						3	6
E	A	1,1	0,14	0,81						1	10
	O	0,62	0,16	0,24						1	6
	V	1	0,41	0,22						4	9
F	A	0,86	0,28	0,2						3	8
	O	0,92	0,34	0,35						3	8
	V	1,04	0,28	0,32						3	9


Intocmit
Ing. Slaina Marius

Verificat
Ing. Ebetiuc Victor

Statistica avarii cazan 1 in perioada 01.08.2000 - 01.06.2001

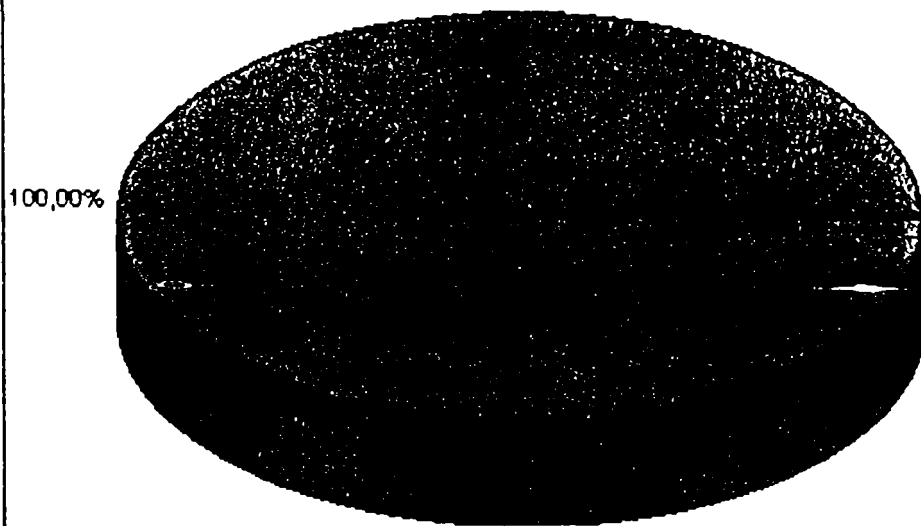


Procentul de avarii la fiecare suprafata de schimb

 **Imprimeaza**


 **OK**


Statistica avarii cazan 2 in perioada 01.08.2000 - 01.06.2001



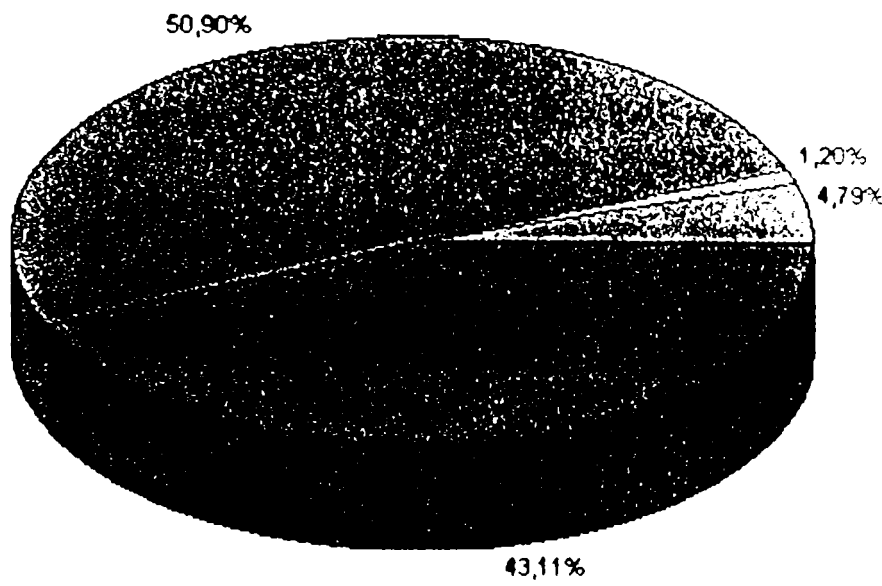
Procentul de avarii la fiecare suprafata de schimb

- Avarii Economizor
- Avarii Vaporizator
- Avarii Supraincalzitor S1
- Avarii Supraincalzitor S2
- Avarii Supraincalzitor S34
- Avarii Supraincalzitor SPL
- Avarii Supraincalzitor SPS
- Avarii Supraincalzitor STS

 **Tipareste**


 **OK**


Statistica avarii Cazan 3 in perioada 01.08.2000 - 01.06.2001



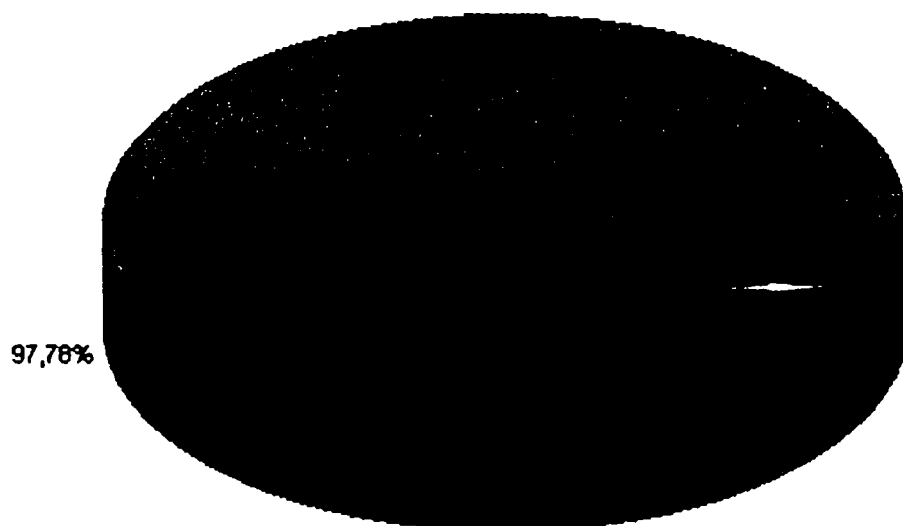
Procentul de avarii la fiecare suprafata de schimb

- Avarii Economizor
- Avarii Vaporizator
- Avarii Supraincalzitor S1
- Avarii Supraincalzitor S2
- Avarii Supraincalzitor S34
- Avarii Supraincalzitor SPL
- Avarii Supraincalzitor SPS
- Avarii Supraincalzitor STS

 Inapreste

 OK

Statistica avarii cazan 4 in perioada 01.08.2000 - 01.06.2001



- Avarii Economizor
- Avarii Vaporizator
- Avarii Supraincalzitior S1
- Avarii Supraincalzitior S2
- Avarii Supraincalzitior S34
- Avarii Supraincalzitior SPL
- Avarii Supraincalzitior SPS
- Avarii Supraincalzitior STS

Procentul de avarii la fiecare suprafata de schimb

Inapreste

OK

49.0

41.6

30.4

28

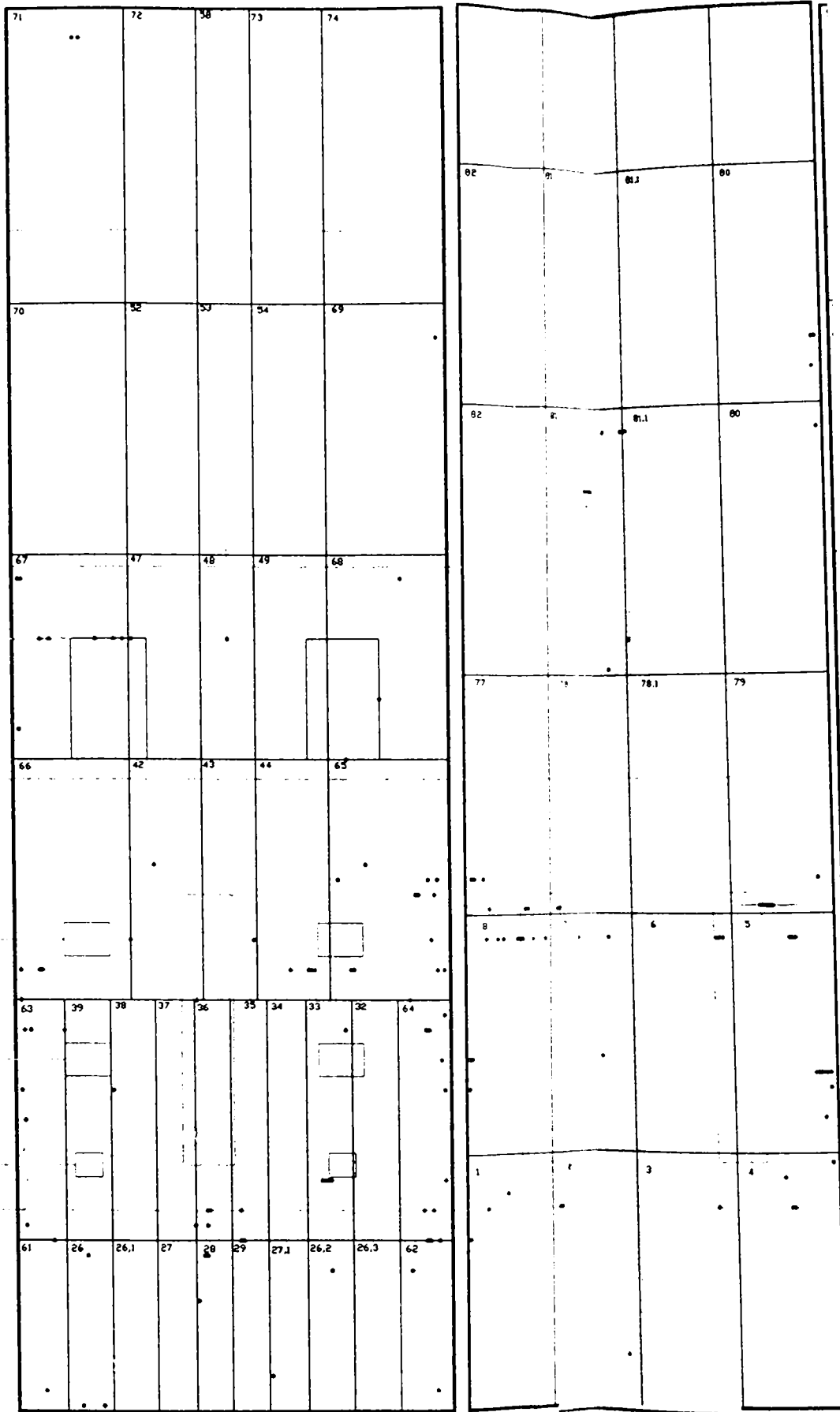
24

18

14

10.5

9



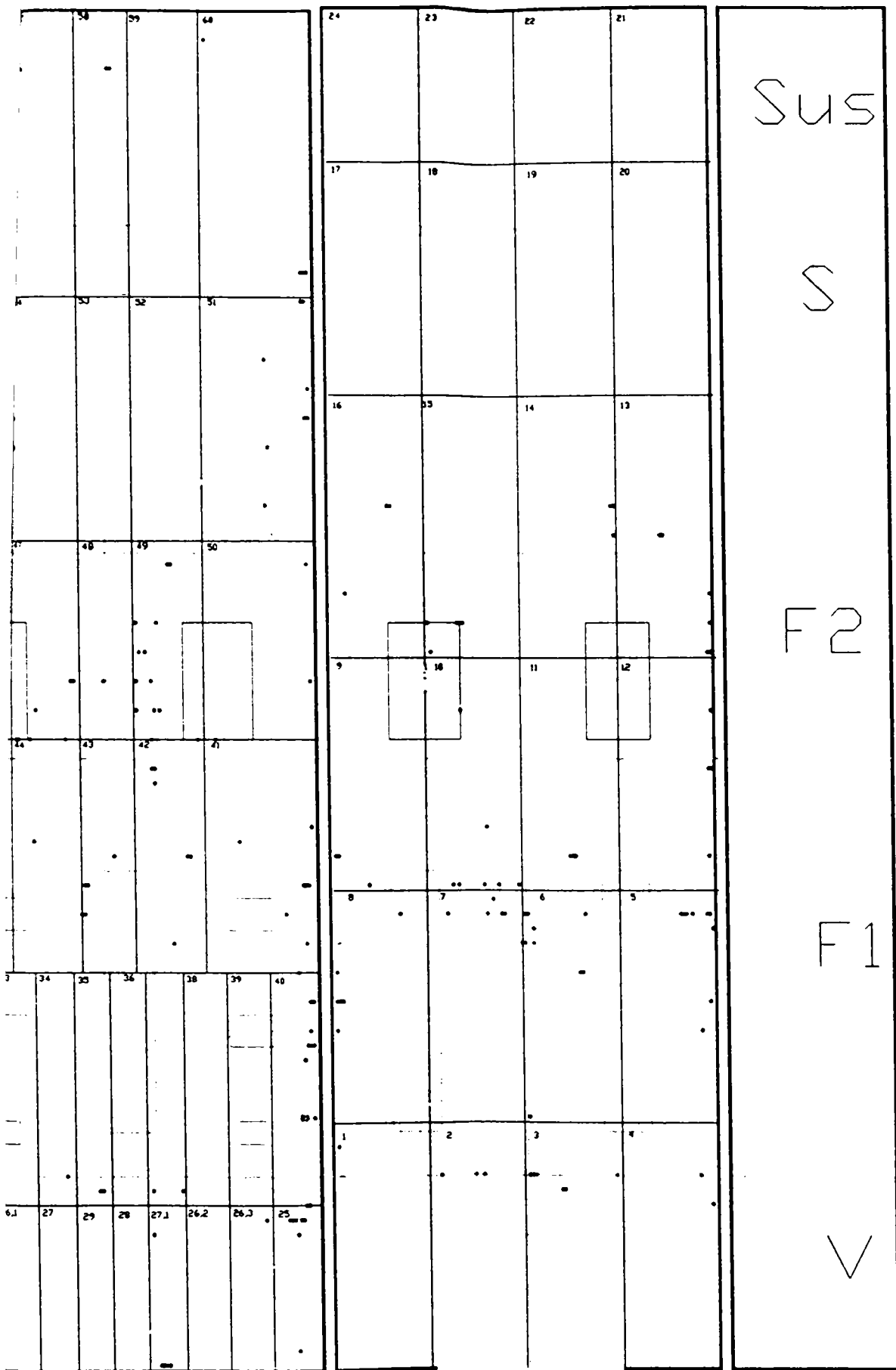
STANGA

SPATE

Numarul total de defecte este : 419

Harta spargerilor la vapo-cozanul nr.4 in perioada

Proiectat	ing.Puican Camelia		 tevi curbe cap aspiratie arзатор praf
Desenat	Ing.Puican Camella		
Verificat	Ing.Baltean Ghe.		
Aprobat			



DREAPTA

FATA

care are : 68 puncte suprapuse

994 -01.08.2000

Legenda

- puncte nesuprapuse
- puncte suprapuse
- V - vatra cazanului
- F1 - partea inferioara a focarului
- F2 - partea superioara a focarului
- S - zona suprafetelor schimbatoare de caldura
- Sus - zona de deasupra supraincalz. I

49.0

41.6

30.4

28

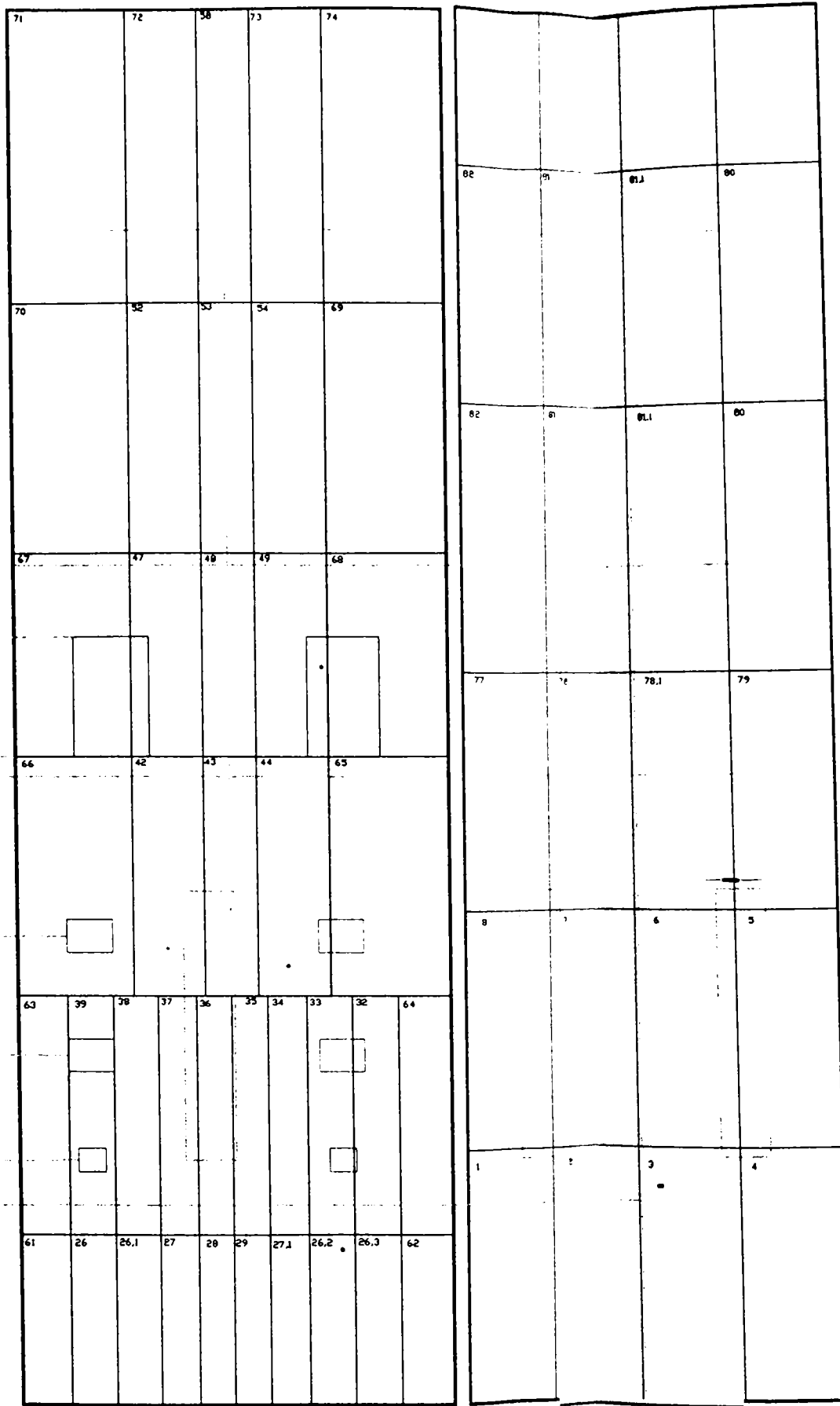
24

18

14

10.5

9



STANGA

SPATE

Numarul total de defecte este : 13

Harta spargerilor la vapo-cazanul nr.4 in perioada

Proiectat	ing.Puican Camelia		tevi curbe
Desenat	Ing.Puican Camella		cap aspiratie
Verificat	Ing.Baltean Ghe.		arzator praf
Aprobat			

49.0

41.6

30.4

28

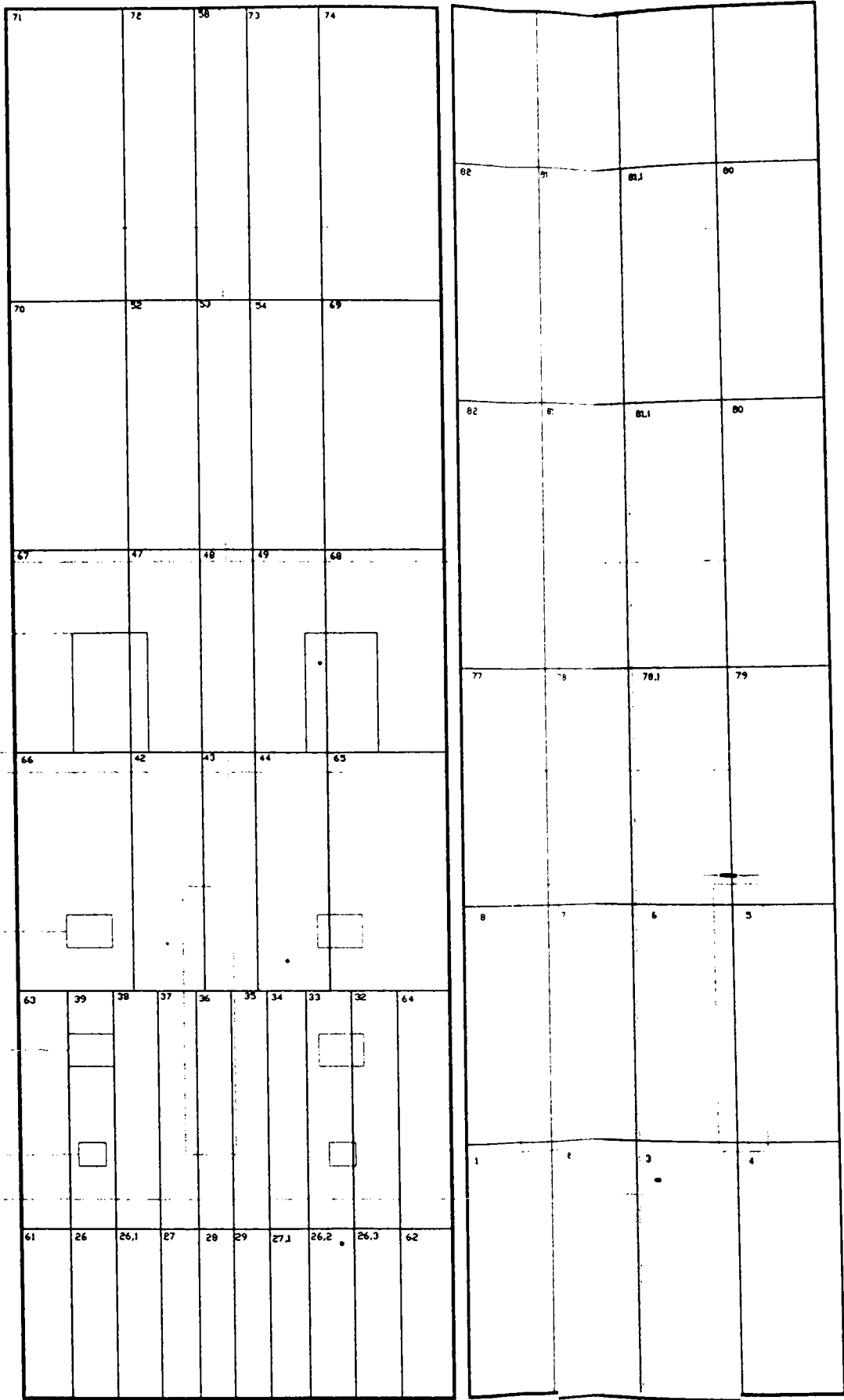
24

18

14

10.5

9



STANGA

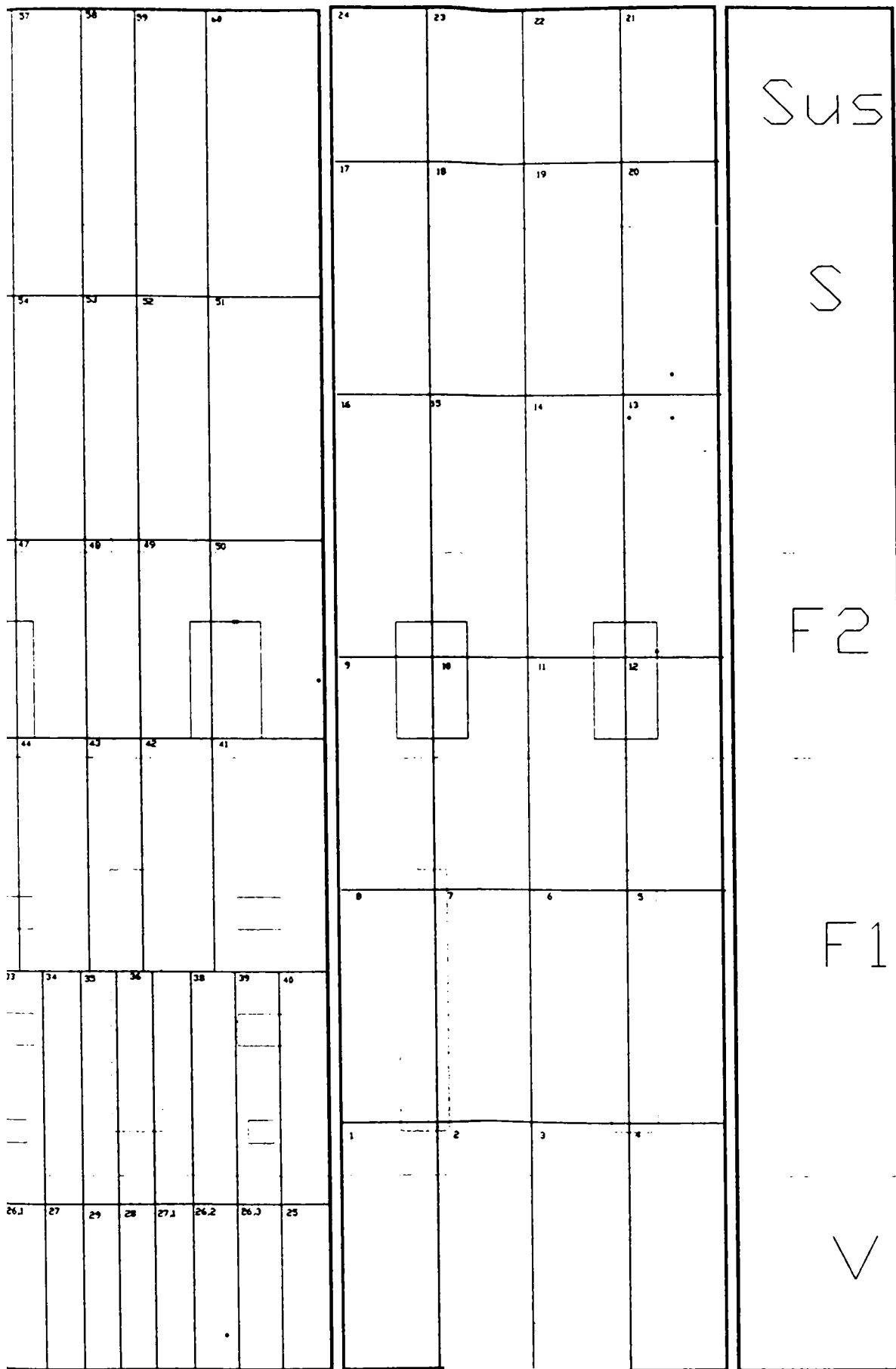
SPATE

Numarul total de defecte este : 13

Harta spargerilor la vapo-cazanul nr.4 in perioada

Proiectat	ing.Puican Camelia		
Desenat	Ing.Puican Camelia		
Verificat	Ing.Baltean Ghe.		
Aprobat			

tevi curbe
cap aspiratie
arzator praf



DREAPTA

FATA

re care : 0 puncte suprapuse

000-01.05.2001

Legenda

puncte nesuprapuse V - vatra cazanului
 puncte suprapuse F1 - partea inferioara a focarului
 F2 - partea superioara a focarului
 S - zona suprafetelor schimbatoare de caldura
 SUS - zona de deasupra supraincalz. 1

49.0

41.6

30.4

28

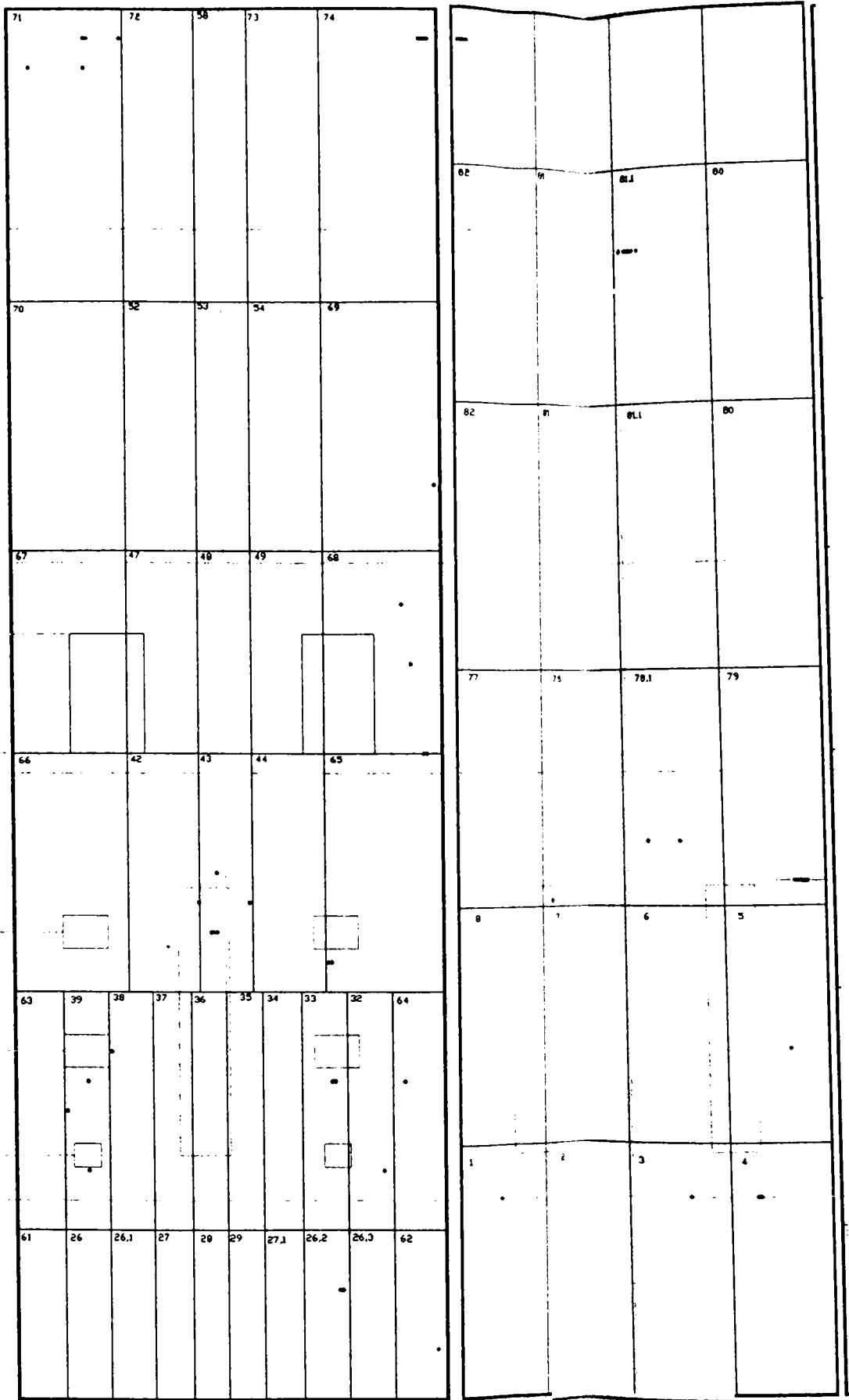
24

18

14

10.5

9



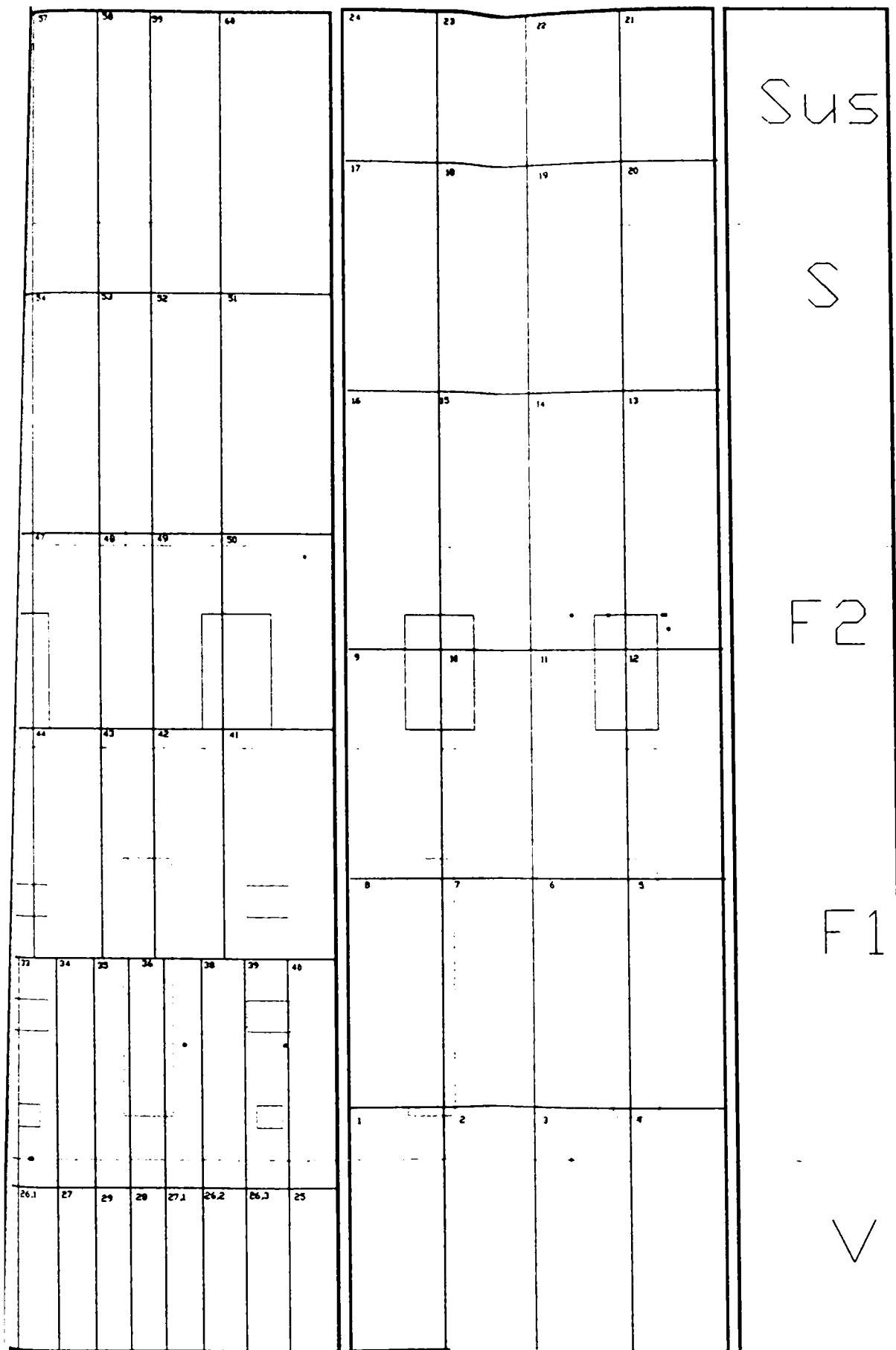
STANGA

SPATE

Numarul total de defecte este : 62

Harta spargerilor la vapo-cazanul nr.3 in perioada

Proiectat	ing.Puican Camelia		tevi curbe
Desenat	ing.Puican Camelia		cap aspiratie
Verificat	Ing.Baltea Ghe.		arzator praf c
Aprobat			



DREAPTA

FATA

tre care : 0 puncte suprapuse

2000-01.05.2001

Legenda

puncte nesuprapuse V - vatra cazanului
 puncte suprapuse F1 - partea inferioara a focarului
 F2 - partea superioara a focarului
 S - zona suprafetelor schimbatoare de caldura
 le Sus - zona de deasupra supraincalz. 1

49.0

41.6

30.4

28

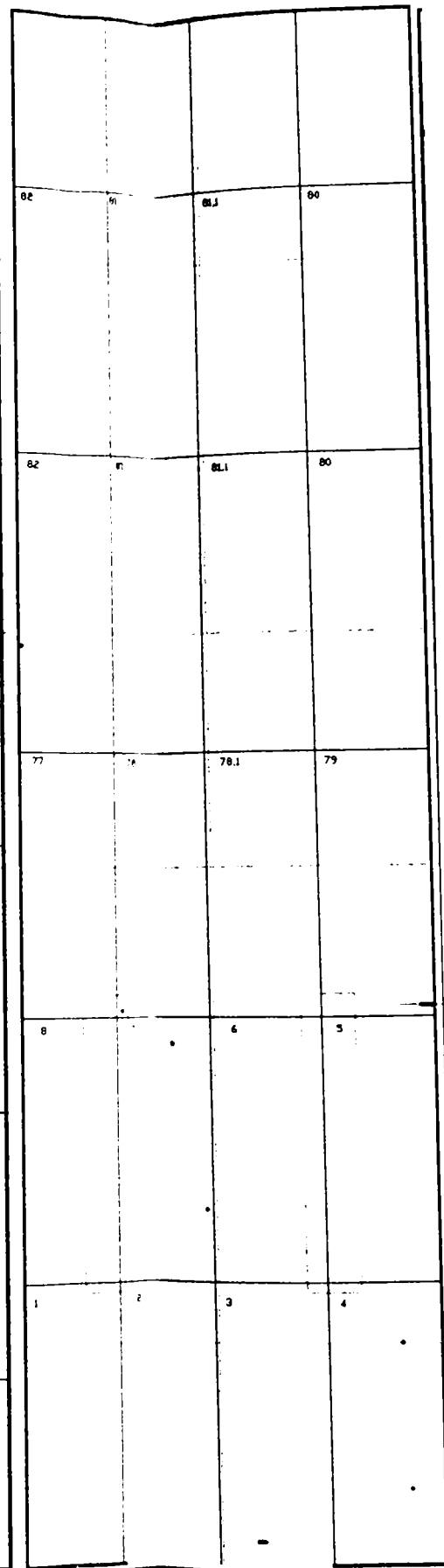
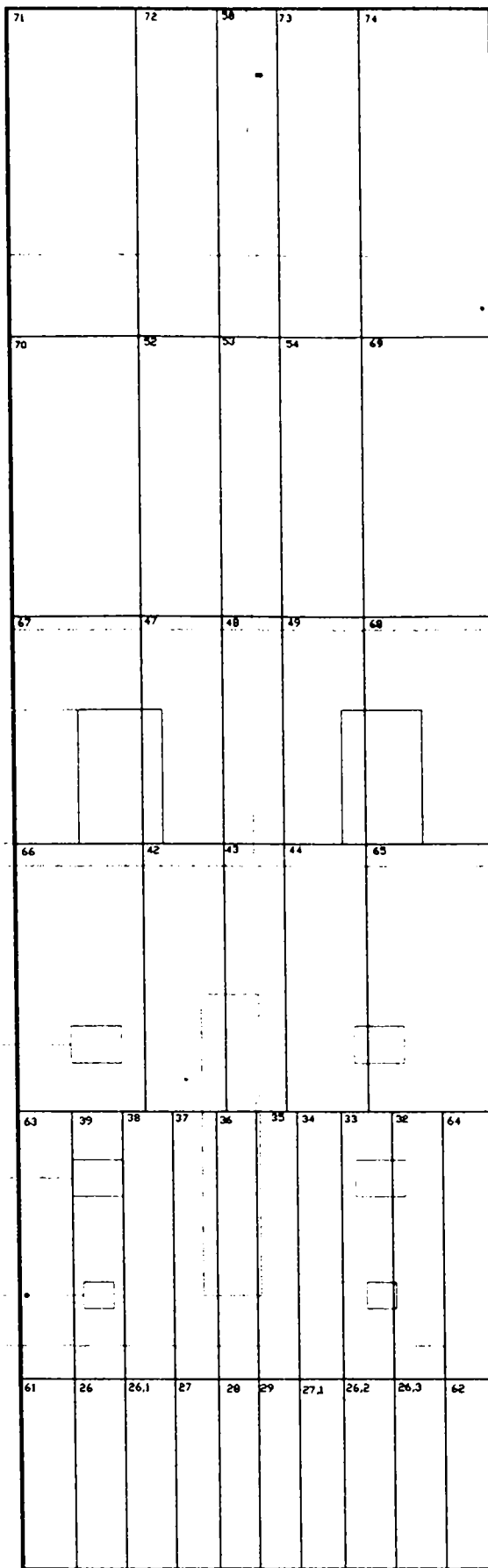
24

18

14

10.5

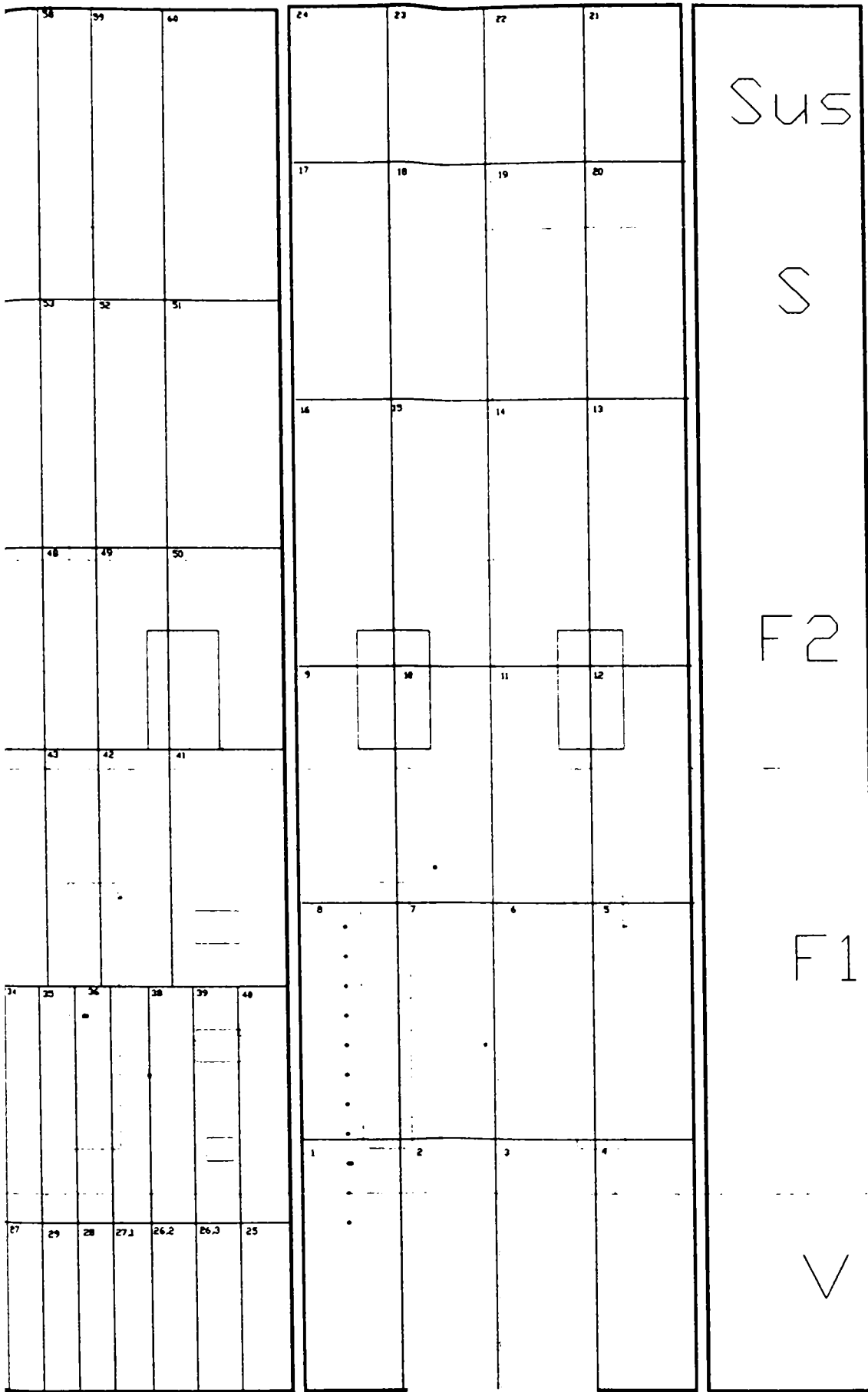
9



STANGA SPATE
 Numarul total de defecte este : 45

Harta spargerilor la vapo-cazanul nr.2 in perioada

Proiectat	ing.Puican Camelia	
Desenat	Ing.Pulcan Camelia	
Verificat	Ing.Baltean Ghe.	
Aprobat		



DREAPTA

FATA

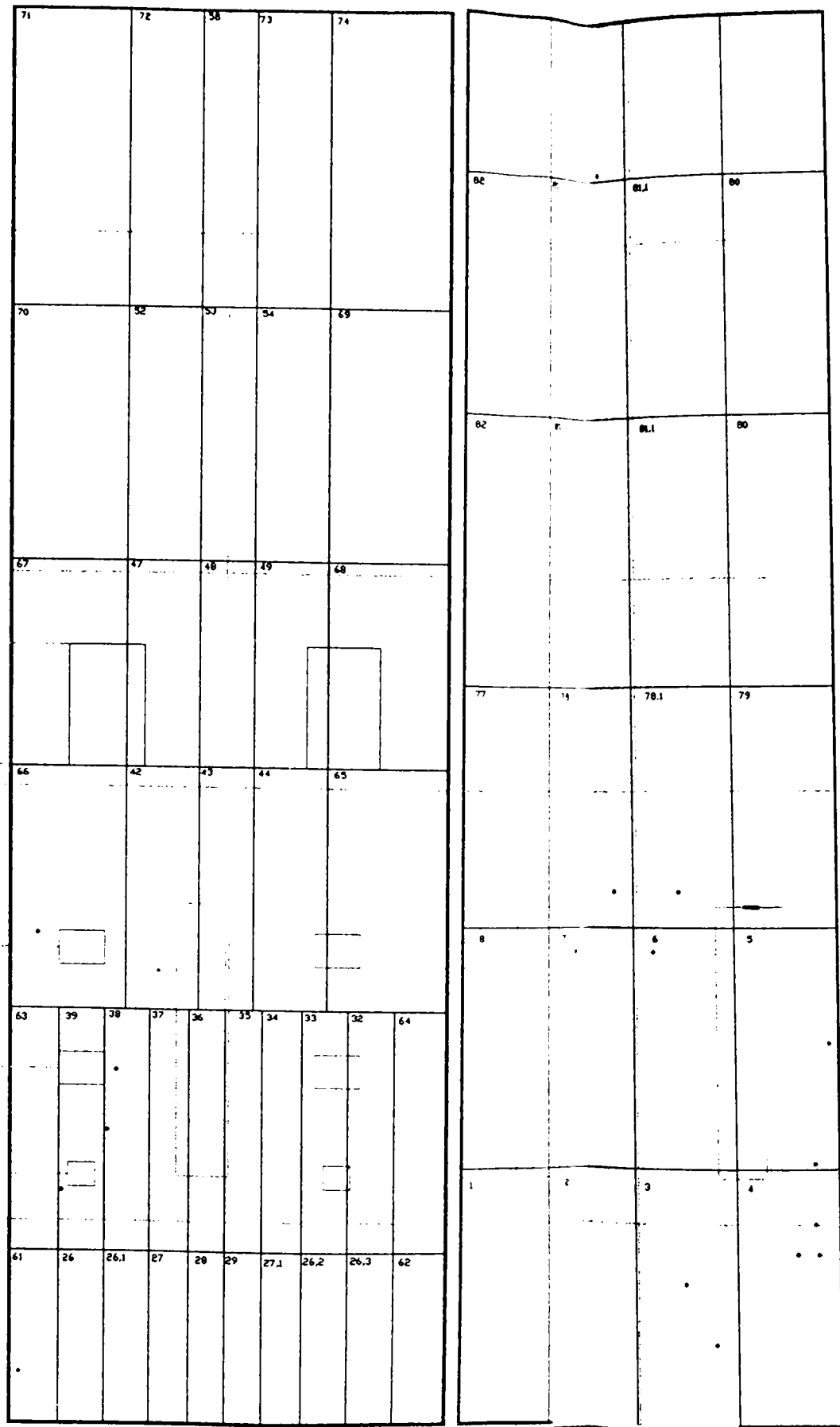
care : 14 puncte suprapuse

01-05.2001

Legenda

e nesuprapuse V - vatra cazanului
 te suprapuse F1 - partea inferioara a focarului
 F2 - partea superioara a focarului
 S - zona suprafetelor schimbatoare de caldura
 Sus - zona de deasupra supraincalz. 1

49.0
 -
 41.6
 30.4
 28
 24
 18
 14
 10.5
 9



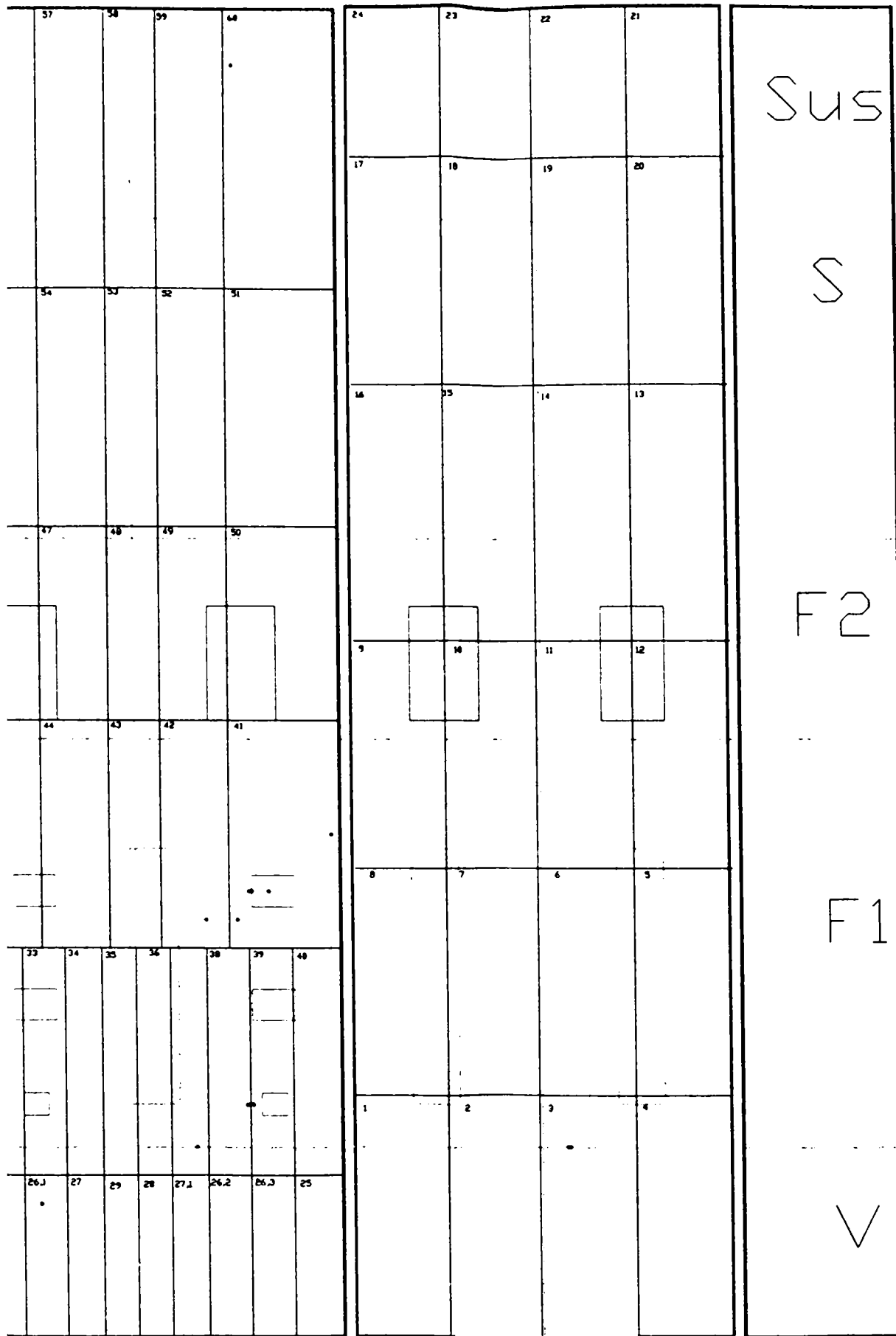
STANGA

SPATE

Numarul total de defecte este : 31

Harta spargerilor la vapo-cazanul nr.1 in perioada

Proiectat	ing.Puican Camelia		tevi curbe
Desenat	ing.Pulcan Camelia		cap aspiratie
Verificat	Ing.Baltean Ghe.		arzator praf
Aprobat			



DREAPTA

FATA

tre care : 0 puncte suprapuse

2000-01.05.2001

Legenda

puncte nesuprapuse V - vatra cazanului
 puncte suprapuse F1 - partea inferioara a focarului
 F2 - partea superioara a focarului
 S - zona suprafetelor schimbatoare de caldura
 Sus - zona de deasupra supraincalz. 1

BIBLIOGRAFIE

- 1 ALDEA, M. *Cazane de abur și recipiente sub presiune. Ed. Tehnică 1992 București, România*
- 2 BENEUSN, E.
IOFFE *Turbine cu abur de termoficare. Energoatomizdat 1986, București, România*
- 3 BUDER, M. K. *The effects of cool clearing on power generation economics, combustion, aprilie, 1980, p. 1-24, London, England*
- 4 CREȚA, G. *Turbine cu abur și gaze. Editura Tehnică 1996, București, România*
- 5 CÂRDU, M *Soluții constructive speciale aplicabile în fabricația de turbine cu abur, RENEL-ENERGETICA, 44/1994, București, România*
- 6 CEAUȘU, I.
GHIȚĂ, N.
POTÎRCĂ, T *Organizarea și conducerea activităților de întreținere și reparații. Editura Tehnică 1980, București, România*
- 7 DELAMARIAN, C. *Manualul pentru mentenanța și retehnologizarea instalațiilor termoenergetice și industriale. Editura Sudura 1999, Timișoara, România*
- 8 DRESCHER, H. *Contribuție la calculul lagărelor axiale de alunecare cu ungere hidraulică. Comunicarea Institutului MAX PLAN pentru cercetarea ungerii din Gottingen Panconstruction 8 (1956) nr.3, martie, 94-104, Munchen, Germany*
- 9 FRASSEL, W. *Calculul lagărelor de alunecare axiale. Konstruktion nr.4 aprilie 1961, p.138-148, Berlin, Germany*
- 10 GICĂ, I. *Conversia cazanelor energetice din rețeaua RENEL funcționând pe lignit inferior pentru funcționarea pe huiță, particularizare pentru cazanul 420 t/h-lignit, RENEL-ENERGETICA ,44/1996, București, România*

- 11 GÜNTER,A,
BUNK,M.și
HORNISH, H.-J. *Business management evaluation of the results of condition-based maintenance by application of vibration monitoring of open cast mining gear boxes. IV.Kolloquium Technische Diagnostik,14/15 Marz 1996, Dresden. proceedings, S 178-189, Desden, Germany*
- 12 HRUSCIOV, M.
ș.a *O metodă nouă de apreciere a proprietăților de antifricțiune ale aliajelor pentru lagăre. Vestnik masinostroienia 39,1959 nr. 7 iulie 6-10, Moscova, Rusia*
- 13 ILICEA, C. *Determinarea tensiunilor termice în elementele instalațiilor termomecanice cu configurație sferică și cilindrică, produse de șocul termic, metoda simplificată de calcul, RENE-ENERGETICA , 11-12/1997, București, România*
- 14 ILICEA, C. *Distribuția și calculul tensiunilor termice în echipamentele termomecanice, RENEL - ENERGETICA, 9-10/1996, București, România*
- 15 ILICEA, C. *Determinarea tensiunilor termice în elementele instalațiilor termomecanice cu configurație sferică și cilindrică, produse de șocul termic, metoda simplificată de calcul, RENEL-ENERGETICA, 10/1997, București, România*
- 16 IONEL, I.
UNGUREANU, C.
TRAICU, R.
STOICA, V.
LELEA, D. *Impactul centralei termice Halînga asupra calității aerului din mediul ambiant, în curs revista Energetica, seria A, 2001, București, România*
- 17 IONEL, I
UNGUREANU, C.
TRAICU, R.
STOICA, V.
EBETIUC, V. *Cercetări experimentale privind noxele emise de cazanul C420-L, ECOTIM Timișoara, martie 2000 ISBN 973 8027 44-6; EUROSTAMPA, p7-14, Timișoara, România*
- 18 IONEL, I.
UNGUREANU, C.
TRAICU, R.
LELEA, D. *Aportul CET Halînga-Turnu Severin la poluarea aerului din Zonă, SRT Sibiu mai 2000 Ed a X-a, Vol.2, Ed Univ. L. Blaga, ISBN 973-651-119-7, p. 129-136, Sibiu, România*
- 19 IONEL, I.
UNGUREANU, C.
TRAICU, R.
STOICA, V. *Cercetări experimentale privind emisiile cazanelor C420 L din CTE Halînga, Conf. a XXIV-a, STTR-Brașov dec. 1999, Brașov, România*

- 20 IONEL, I.
GOIA, H.
STĂNESCU, P.O. *Evaluarea câmpurilor de concentrații ale oxizilor de sulf și azot într-un focar simetric cu aplicație la cazanul de 420 t/h din CET Oradea, RENEL-ENERGETICA, 4/1998, București, România*
- 21 IONEL, I. *Măsurarea emisiilor din gazele de ardere cu ajutorul senzorilor electrochimici. Conferința națională de Termotehnică. Vol. 1 1994, iunie, p 231-235. Timișoara, România*
- 22 IONEL, I.
UNGUREANU, C. *Termoenergetica și mediul, Ed. Tehnică, 1996, București, România*
- 23 KONDRATENHO,
V.M. *Investigation on weldability of ferritic multilayer steel , Automaticeskaia Svarka, 1999, Moscova, Rusia*
- 24 KLEIMAN, L. *Experiența folosirii lagărelor cu cuzineți din sectoare la mașini electrice orizontale, Vestnik masinostroienia 39, 1959 nr.7 iulie 17-20, Moscova, Rusia*
- 25 KUTUKOV, A.
SLOBODKIN, V.,A. *Determinarea debitului de ulei în lagărele de alunecare, Vestnik masinostroienia 44 nr.10, oct. 1964, 28-31, Moscova, Rusia*
- 26 KALOMBO, S.
CERVINKA, I. *Măsurarea și protecția turbinelor cu abur contra deplasării axiale, ENERGETICA nr.5/1962 p.234-241 limba cehă, București, România*
- 27 LAUENSTEIN, G.
RENGER, K. și
NOWOTNICK, E *Strategies of maintenance for plants and machines, Linde Verlag, 1994, Berlin, Germany*
- 28 LEYZCROVICH, A. *Large Power Steam Turbines, Design & Operation, London, England*
- 29 LIFKA, M. *Deranjamentele turbinelor cu abur, Editată de serviciul de pregătire a cadrelor 1953, BRNO, Cehia*
- 30 MITELEA, I.
BUDĂU, V. *Materiale și tratamente termice pentru structuri sudate, Editura de Vest, 1992, Timișoara, România*

- 31 MANFRED, T.
CIUPULIGA, A.
BĂRBULESCU, C. Aspecte privind modelele pentru stabilirea obiectivă a necesarului de echipamente și piese de rezervă și intervenție pentru obiectivele energetice, *Energetica*, 2000, București, România
- 32 MANEA, G.
MUSTAFA, M. Contribuții la calculul lagărelor axiale cu alunecare ,*Buletin Institutul Politehnic*, 1999, București, România
- 33 PASCU, R.
TRAICU, R. Evaluarea coroziunii fisurate sub tensiune (COFITEN) a oțelurilor și îmbinărilor sudate ce alcătuiesc sistemul sub presiune la conductele de abur viu la cazanele de 420 t/h de la CET Dr.Tr.Severin, *Raport de cercetare nr.335/2000*, ISIM- Timișoara, România
- 34 PASCU, D.R
TRAICU, R. Examinări COFITEN pe îmbinări sudate disimilare din izometria circuitelor termice CET- Halânga, *Raport de cercetare ISIM nr. 194/2000*, Timișoara, România
- 35 POPA, T.
BACIU, A.
LASSZLO, T. Avarii în instalațiile energetice, *Editura Tehnică*, 1978, București, România
- 36 PAVEL, AL. Oboseala termooligociclică,*Editura Tehnică*, 1996, București, România
- 37 PAVEL, AL. Joncțiuni tubulare-racorduri și teuri, *Editura Brilliant*, 1998, București, România
- 38 PRISECARU, I. ș.a. Conducerea economică optimală predictivă OFF-LINE a CET echipate cu turbogeneratoare DSL-50-1, *RENEL-ENERGETICA* ,46/1998, București, România
- 39 PRISECARU, T.
ș.a Influența variației puterii calorifice a combustibilului solid asupra randamentului și a regimului de temperaturi caracteristice funcționării unui generator de abur, *RENEL-ENERGETICA*, 2/1996, București, România
- 40 PRISECARU, T.
SORIN ENE, A.
ș.a Posibilități de aplicare a mentenanței predictive la sistemul vaporizator și la conductele de abur viu pentru cazanul de 420t/h,utilizând lignit, *RENEL-ENERGETICA*, 4/1998, București, România
- 41 PALADE, R. ș.a Diagnoza asistată de calculator condiții de realizare la instalațiile de turbine cu abur *RENEL-ENERGETICA*, 44/1996, București, România

- 42 PĂNOIU, N.
MIHĂESCU, L. *Posibilități de folosire a huilei energetice drept combustibil de completare în SEN, RENEL-ENERGETICA, 41/1993, București, România*
- 43 PAVEL, A.
POPESCU, D. *Studii teoretice privind capacitatea portantă a joncțiunilor tubulare de tip teu, presurizate (uniform) la interior, RENEL-ENERGETICA, 3/1996, București, România*
- 44 POPESCU, R.
RADU, F.
RADU, C. *Sistemul computerizat de management al mentenanței, RENEL-ENERGETICA, 2000, București, România*
- 45 SEVERINEANU, C.
POPESCU, P. *Organe de mașini, Editura Didactică și pedagogică, 1965, București, România*
- 46 TRAICU, R. *Sistemul de mentenanță predictivă al sistemelor sub presiune din cadrul F.E. Drobeta Turnu Severin, I.S.I.M. Timișoara, Prima conferință pentru mentenanță și reabilitarea termocentralelor 23/25 iunie 1997, Timișoara, România*
- 47 TRAICU, R. *Mentenanța sistemelor sub presiune a cazanului și a conductelor de înaltă presiune și temperatură aferente, I.S.I.M. -Timișoara -TÜV SÜDDEUTSCHLAND, Editura Mirton, Timișoara -1999*
- 48 TRAICU, R.
GEORGESCU, AL. *Mentenanța agregatelor din centralele termoelectrice, lagărele turbinelor cu abur, Editura Politehnica Timișoara 2000, România*
- 49 TRAICU, R. *Planul de referință pentru reparații RENEL-GPEET, Filiala Electrocentrale Dr.Tr.Severin 1996, România*
- 50 TRAICU, R. *Fiabilitatea sistemului sub presiune al cazanului și al conductelor aferente, Urmărirea comportării în exploatare și prelungirea duratei de viață ,RENEL-GPEEET, Filiala Electrocentrale Dr.Tr.Severin 1997, România*
- 51 TIPEI, N. *Lagăre cu alunecare, Editura Academiei Române 1961, București, România*
- 52 TERRY, R. *Why it pays to wash cool?, Power no. 4, 1981, p 17-19, London, England*

- 53 UNGUREANU, C. *Generatoare de abur pentru instalații energetice clasice și nucleare, Editura Didactică și Pedagogică, 1977, București, România*
- 54 VERZEA, I.
GABRIEL, M.
RICHEL, D. *Managementul activității de mentenanță, Editura Polirom 1999, București, România*
- 55 ZLATANOVICI, D. *Proceduri de supraveghere și diagnoză "ON LINE", gestiune de date și mentenanță predictivă la generatoarele electrice de mare putere, RENEL-ENERGETICA, 44/1996, București, România*
- 56 *** *Semifabricate din oțel, STAS 2881-87-București, România*
- 57 *** *Nahtlose Rohre aus warmferten Stählen, DIN 17175/89, Düsseldorf, Germany,*
- 58 *** *Țevi de oțel fără sudură pentru temperaturi ridicate, STAS 3478-86, București, România*
- 59 *** *Oțeluri destinate tablelor de cazane pentru temperaturi ridicate și ambiante, STAS 2883/3-88, București, România*
- 60 *** *Oțeluri pentru țevi utilizate la temperaturi ridicate, STAS 8184-87, București, România*
- 61 **** *TRD -Technische Regeln für Dampfkessel, Taschenbuch-Ausgabe, 1998, Berlin, Germany*