

INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VULBA"
TIMIȘOARA
FACULTATEA DE CONSTRUCȚII

Ing. Dimoia Iulia

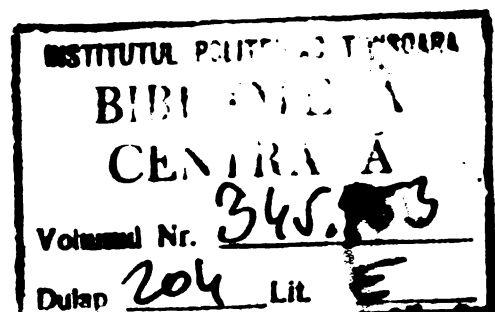
CONTRIBUȚII LA STUDIUL OBOSELI METALELOR ÎN DIFERITE
SPECTRE DE ÎNCĂLCARE

TEZA DE DOCTORAT

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

COORDONATOR ȘTIINȚIFIC :
Accd. prof. en. ing.
DAN MATEIU

- 1977 -



- C u p r i n s -

INTRODUCERE

	Pag.
I. DISTRUCEREA PRIN OBOSEALA A METALELOR	
1.1. Introducere	1
1.2. Verificarea prin deformații repetate	2
1.3. Nucleerea fisurilor	5
1.4. Propagarea fisurilor	7
1	
II. TENSIUNI REMANENTE IN PIESE DIN OTEL	
2.1. Proveniența tensiunilor remanente	9
2.2. Tensiuni remanente în procesul sudării	11
2.3. Alura tensiunilor remanente în îmbinări sudate	12
2.4. Concluzii	17
III. EFECTUL TENSIUNILOR REMANENTE DIN SUDARE ASUPRA REZISTENȚEI LA OBOSEALA A PIESELOR DIN OTEL	
3.1. Conlucrarea tensiunilor remanente din sudare cu tensiunile încălzirii de serviciu	18
3.2. Mașina de încercări experimentale la oboseală	19
3.3. Material pentru experimentare	22
3.4. Aparatura de investigare	23
3.5. Descrierea experimentului	25
3.6. Fenomenul fisurării și al rușii	26
3.7. Date experimentale	27
3.8. Probe fotoelastice ale tensiunilor remanente introduse la sudare	28
3.9. Tensiuni remanente induse prin sudare în epruveta din oțel	38
3.10. Epruvete din oțel cu două electrode de sudură longitudinale	41
3.10.1 Epruveta	41
3.10.2 Tensiuni reziduale induse prin sudare	41
3.10.3 Fisurarea	43
3.10.4 Aspecte ale rușii prin oboseală	44

3.11. Epruvete lise

IV. COMPARAREA REZULTATELOR EXPERIMENTALE

4.1.	Local de apariție a fisurii de oboseală	46
4.2.	Momentul observării fisurii de oboseală	46
4.3.	Durata funcționării în stare fisurată	52
4.4.	Variația maximă ariei fisurate	53
4.5.	Viteza de propagare a fisurii	64
4.6.	Aspectul secțiunii rezultate din ruperea la oboseală	66
4.7.	Verificarea normalității repartiției probabilistice a datelor experimentale	84
4.8.	Curbe de durabilitate	85

V. EPRUVETE UZINATE 87

V . CONCLUZII PRIVIND CERCETĂRILE DIN TEZA 89

VI . BIBLIOGRAFIE 91

ooo

I N T R O D U C E R E

Dezvoltarea impetuoasă a economiei noastre socialiste a necesitat și continuă cu acuitate să necesite executarea unor investiții imense, în cadrul cărora lucrările de construcții montaj au pondere însemnată. Spre deosebire de alte produse construcțiile au o durată de exploatare foarte lungă. Atât valoarea lor cât și durata de exploatare pledează pentru structuri sigure, durabile și economice.

În domeniul construcțiilor metalice introducerea sudării ca principal mijloc de îmbinare a contribuit nu numai la reducerea greutatei proprii a construcției dar a înlesnit aplicarea unor procedee de înaltă productivitate care au facilitat executarea unor ansambluri monolite de dimensiuni mari. Date fiind posibilitățile încă nefolosite ale sudării precum și noile procedee de sudare încă neindustrializate se presupune că volumul construcțiilor sudate va crește simțitor în continuare.

Sudarea exercită o influență hotărâtoare atât asupra concepției construcțiilor și a tehnologiei de fabricație. Sudarea revendică calități ridicate ale metalului căci șocul termic al principalelor procedee industriale de sudare modifică compoziția chimică și îndeosebi structura metalurgică a cordoanelui de sudură și induce tensiuni rezanente în îmbinarea sudată. Îmbinările sudate pot ușor rezulta cu defecte interioare care nu pot fi depistate decât în urma unui control riguros și costisitor.

Determinarea stării reale de tensiune în îmbinările sudate dar mai ales în cusătura de sudură și în zona influențată termică, este de o complexitate deosebită mai ales în ceea ce privește determinările cantitative.

Prezența tensiunilor reziduale poate influența reacția materialului față de tensiunile produse de sarcinile de serviciu. Astfel, la solicitarea de tracțiune, acea zonă a epruvetei care conține tensiuni rezanente de întindere de valoare ridicată se va deforma plastic la o valoare mai redusă a tensiunii de serviciu decât epruveta lipsită de tensiuni reziduale. Dimpotriva, tensiunile reziduale de compresie pot să ridice valoare limitei de curgere.

Durabilitatea construcțiilor ingineresti constituie o chestiune foarte importantă pentru acelea a căror funcționare are loc sub încărcări de intensitate corelată cu parametrul timp. Previzionarea

durabilității în condiții de solicitare dinamică este legată de progresele teoretice ale mecanicii solidului și de sistematizarea rezultatelor experimentale.

Rezultatele unei îndelungate activități de cercetare analitică dar mai ales experimentată desfășurate în ultimele decenii pe mapamond au avut ca scop descoperirea unui mod de calcul mai apropiat de comportarea reală a îmbinărilor sudate în condiții de solicitare statică și dinamică.

În lucrarea de față autorul a investigat calitativ dar și cantitativ, conlucrarea tensiunilor reziduale induse prin sudare cu tensiunile de serviciu asupra durabilității la oboseală a unui oțel de largă utilizare în construcții.

Spectrul de încărcare la care lucrează epruveta supusă testării corespunde sumei algebrice dintre un efort axial static de întindere cu un efort axial dinamic de întindere cu două valori extreme de semne contrare.

La acestea se adaugă spectrul tensiunilor remanente rezultat intrinsec din procesul de sudare.

Atenția autorului s-a concentrat asupra momentului apariției fisurii de oboseală și evoluției fisurii la suprafața și în grosimea epruvetei.

Lucrarea se extinde pe parcursul a 5 capitole.

În capitolul I este prezentat fenomenul de distrugere cumulativă a metalelor având la bază conceptul actual al mecanicii ruperilor privind nuclearea și propagarea fisurilor de oboseală.

Capitolul II ilustrează mecanismul nașterii tensiunilor remanente în general și din sudare în special. Paragrafele acestui capitol sistematizează conexiunea principalilor parametri tehnologici ai sudării și epura tensiunilor remanente rezultate.

Capitolul III cuprinde partea experimentală a lucrării. Această parte include determinări axate pe :

- precizarea diagramei tensiunilor remanente din sudare pe cale fotoelastică în modelul din araldit.
- trasarea epruvetelor tensiunilor reziduale din sudare la epruvete din oțel înainte și după testarea de oboseală.
- stabilirea momentului apariției fisurii de oboseală și a durabilității epruvetelor până la rupere.

Experimentul lucrării a cuprins epruvete de secțiune transversală diferită ca mărime, epruvete cu și fără tensiuni remanente din sudare, epruvete mai mult sau mai puțin rigide. Epru-

- vetele din oțel care constituie obiect de studiu al acestei lucrări sînt epruvete mari confecționate la scară 1 : 1

Capitolul IV este destinat filtrării, prelucrării și conținutului datelor experimentale. Acest capitol se referă la următoarele aspecte ale fenomenului de oboseală investigat.

- expresia analitică și grafică a variației mărimii ariei fisurate din secțiunea transversală.

- viteza de variație a ariei fisurate sau viteza globală de propagare a fisurii

- viteza superficială de propagare a fisurii

- curbe de durabilitate

- distribuția probabilistică a parametrilor ce caracterizează fenomenul

Ultimul capitol - capitolul V - colectează concluziile ce se desprind din toate aspectele analizate într-o manieră sinergică și cooperantă.

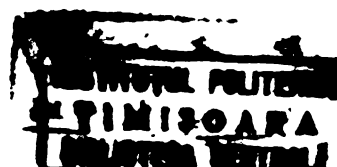
Prezenta lucrare se axează pe o problemă de cercetare fundamentală și are un puternic caracter experimental. Ea este contribuția originală a autorului cu excepția primelor două capitole.

Rezultatele obținute se valorifică în cadrul contractului de colaborare științifică încheiat între I.P. "Traian Vuia" - catedra de Construcții metalice și catedra de Incercări de materiale Universitatea Belgrad - Jugoslavia - intitulat :

"Influențe tensiunilor asupra capacității de rezistență dinamică a îmbinărilor sudate" .

Lucrarea a fost elaborată în climatul favorabil activității științifice stabilizat în Institutul Politehnic "Traian Vuia". Autorul e-a bucurat de suportul moral și științific al colegilor săi de la catedra de Construcții metalice cărora le exprimă mulțumirile sale.

Conducătorului său științific Acad. Prof.em. Ing.DAB LAURESCU, autorul ține să-i aducă și pe această cale mulțumirile sale pentru grija și solicițindinea cu care l-a îndrumat permanent la un înalt nivel științific pe parcursul elaborării tezei și a formării sale ca specialist.



DISTRUGEREA PRIN OBOSEALA A METALELOR

1.1. INTRODUCERE

Sub acțiunea încărcărilor repetate, metalele se distrug într-un mod cu totul diferit de acela datorat unei supra-sarcini aplicată static. Distrugerea prin oboseală se produce la un nivel mai coborât al tensiunilor și numai după un mare număr de încărcări, în timp ce distrugerea la supraîncărcare statică se produce în cursul unei perioade relativ scurte.-

Valoarea intensității efortului unitar care provoacă distrugerea imediată a materialului se numește rezistență. Valoarea intensității efortului unitar care cauzează distrugerea în cazul solicitărilor repetate sau prelungite se numește în general rezistență de oboseală și se asociază cu o mărime numită durabilitate, exprimată în unități de timp sau număr de cicluri.

Pentru cazul solicitărilor repetate se admite că are loc în material o degradare continuă datorită fiecărei aplicări a sarcinii iar această degradare începe cu primul ciclu de solicitare și se încheie cu ciclul limită.

Degradarea D introdusă astfel, variază de la zero înainte primului ciclu de solicitare, la valoarea limită egală cu 1 în momentul ruperii.

Teoriile care încearcă să explice fenomenul ruperii prin solicitări repetate sînt numeroase. Teoriile anterioare se bazează pe starea tensională limită. Teoriile mai noi se bazează pe caracteristicile deformativă sau dislocații ale metalului. Ele se deosebesc printr-o mare complexitate în comparație cu teoriile stării tensionale limită, și explică mult mai exact mecanismul real al obosealii.

Malte teorii recente privitoare la distrugerea de oboseală au pornit de la examinarea comportării metalului în volume macromoleculare. Altele mai noi, examinează microstructura metalului.

În sfîrșit există cercetători care presupun că distrugerea de oboseală începe în volume submicroscopice comensurabile cu parametrul rețelei atomice, mult timp înainte de apariția indicilor de oboseală detectabili cu mijloace curențe.-

In conformitate cu cercetările recente procesul de degradare prin solicitări repetate se compune din următoarele faze :

- a. ecruisarea prin deformații repetate
- b. nucleația fisurilor
- c. propagarea fisurilor pînă în stadiul rupei.

La baza celor trei faze stă deformația plastică repetată care se acumulează la nivelul rețelei cristaline sau în toată masa metalului (funcție de intensitatea solicitării) și caracterizează aspectele principale ale fiecărei faze.

1.2. ECRUISAREA PRIN DEFORMAȚII REPETATE

Fenomenul ecruisării prin deformații repetate se explică ușor pe curbele de ecruisare exprimate în coordonate : tensiune- deformație specifică pentru monocristale.

Figura 1.1. ilustrează existența a două stadii în procesul ecruisării. [8],[9]

- stadiul I al ecruisării rapide cu o durată de 1% din durabilitatea monocristalului,
- stadiul al II- lea al ecruisării saturate.

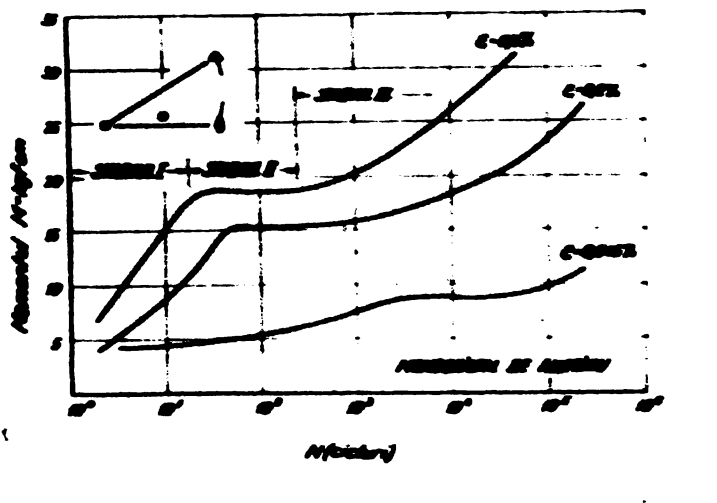


Figura 1.1.

Unele metale cum ar fi aluminia prezintă și un al treilea stadiu de ecruisare lentă pînă la rupere.

S-a constatat o analogie între ecruisarea prin deformație repetată și ecruisarea prin deformație singulară. Analogia se

manifestă atât în alura curbei de ecruisare cât și în privința influenței orientării monocristalului față de direcția de deformare. În ambele cazuri ecruisarea se produce mai repede dacă monocristalul este astfel orientat încât are mai multe plane favorabile alunecării.

Fenomenul ecruisării prin solicitări repetate se explică la ora actuală în termenii interacțiunii dislocațiilor în timpul deformărilor plastice. În stadiul ecruisării rapide se produce o multiplicare puternică a dislocațiilor. Ecruisarea este cu atât mai rapidă cu cât interacțiunea dislocațiilor cu obstacolele existente în cristal sau cu alte bucle de dislocație este mai puternică. Dislocațiile din acest stadiu au o configurație extremă de stabilă așa cum ilustrează figura 1.2. Căderea dislocațiilor unui monocristal alungit cu 4 și mărit de 5000 ori. Figura 1.3. prezintă un covor de dislocații în bară la o epruvetă din oțel deformat 0,8% la întindere și mărit de 15.000 ori.

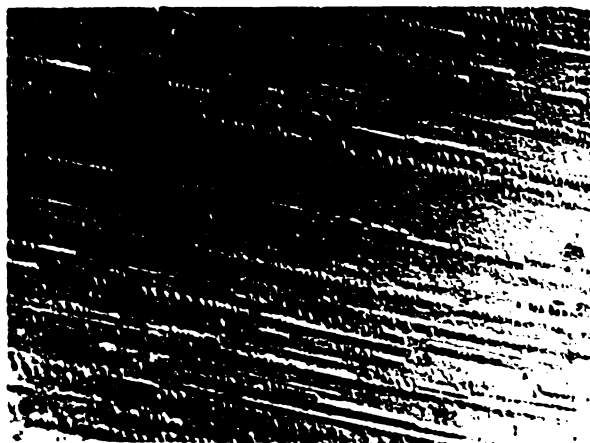


Figura 1.2



Figura 1.3

Pe măsură ce ecruisarea progresează, structura de bucle se dezvoltă și se răspândește în zone paralele ca în figura 1.4 mărită de 14.000 ori și se stabilizează într-o structură de mozaic, figura 1.5 mărită de 45.000 ori. Stabilizarea dislocațiilor în structura de mozaic corespunde stadiului ecruisării saturate. [18]

Stabilizarea ecruisării are loc datorită unuia din mecanismele următoare sau a unor combinații dintre ele :



Figura 1.4



Figura 1.5

- obstacolele din calea mișcării dislocațiilor sînt îndepărtate cu o viteză egală cu viteza lor de formare,
- încetează generarea obstacolelor,
- anihilarea dislocațiilor prin combinarea lor,
- nu se mai generează noi dislocații, deformația plastică se produce pe seamă mișcării de dute-vino a dislocațiilor existente.

Continuarea solicitării repetate face ca structura de mozaic să devină mai pronunțată, dispar limitele structurii de mozaic și se intră în al treilea stadiu - exemplul pentru aluminiu - al ecruisirii lente pînă la rupere.

În raport cu mărimea solicitării (amplitudinea deformației) structura de mozaic prezintă subgrăunți mai mari și subgrăunți mai puțin pronunțați alcătuiți din bucle de dislocație alungite, ultimele născute la solicitări de amplitudine mică. La amplitudini de solicitare suficient de mici se poate ca dislocațiile să nu se mai aranjeze într-o structură de mozaic ci într-una cu dislocații dense neorientate. Figura 1.6. prezintă dislocațiile unui oțel deformat prin roluire la așezate neregulat în plane de alunecare.

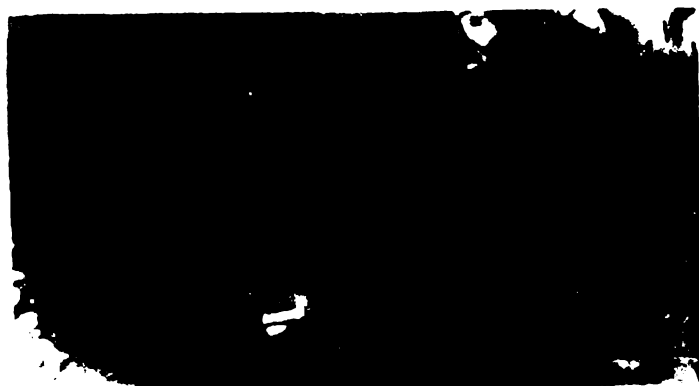


Figura 1.6.

La metale policristaline, experiențele au arătat că la curba de ecruisare prin deformații repetate se deosebesc tot două stadii : un stadiu al ecruisării rapide urmat de un stadiu de ecruisare saturată. De asemenea structura de mozaic este caracteristică ecruisării la solicitări de amplitudine mare, iar structura cu zone dense de dislocații neorientate se asociază ecruisării la amplitudini de solicitare mici. Mecanismul de ecruisare la monocristale și policristale arată că limitele grăunților joacă un rol secundar.

1.3. MUCURAREA FISURILOR

În timpul ecruisării atât la monocristale cât și la policristale în toată masa metalului au loc fenomene puternic localizate care se manifestă prin apariția pe suprafața metalului a unor urme cu configurația unor benzi de alunecare. Astfel de benzi sînt evidențiate în figura 1.7. pentru un oțel deformat 20% la tracțiune - mărirea imaginii de 42.000 ori. Aceste benzi de alunecare determină pe suprafața metalului o topografie caracteristică formată din lamele proeminente de înălțime 10^{-7} ca. [29]



Figura 1.7.



Figura 1.8

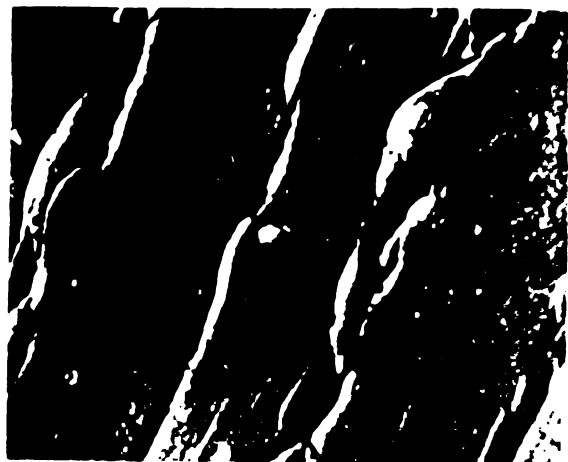


Figura 1.9

Distanța dintre benzile de alunecare descreește odată cu mărirea intensității solicitării. Apariția benzilor de alunecare corespunde sfîrșitului primului stadiu de ecruisare atât pentru monocristale cît și pentru policristale.

Observarea la microscopul electronic a benzilor de alunecare a evidențiat prezența unor erupții de metal sub formă de folii subțiri numite extruziuni.

În figura 1.8 se prezintă extruziuni în benzile de alunecare ale aluminiului. De asemenea, în benzile de alunecare se observă prezența unor aflăcături numite intruziuni arătate în figura 1.9. [29]

Din punctul de vedere al teoriei dislocațiilor formarea intruziunilor și a extruziunilor se interpretează prin mecanismul de alunecare transversală - consecința schimbării planului de alunecare în care se mișcă dislocațiile elicoidale. Dintr-un plan paralel direcției de alunecare, dislocațiile trec într-un alt plan paralel prin intermediul unui plan transversal mai puțin favorabil alunecării. Acest mecanism poate explica stabilitatea topografiei suprafeței metalului.

Topografia benzilor de alunecare stabilită în primele cicluri de solicitare se dezvoltă în continuare în fisuri sub acțiunea solicitărilor repetate. Intruziunile pot fi considerate ca un stadiu de incipiența a fisurii.

Figura 1.10 reprezintă vederea unei epruvete cu direcția de alunecare verticală în planul fotografiei mărită de 7 ori care vine să illustreze ideea nucleerii fisurii de oboseală.



Figura 1.10

Mecanismul incipienței fisurii nu este suficient cunoscut. Modul precis de mișcare al dislocațiilor pentru a determina dezvoltarea bidimensională a fisurii nu a fost încă stabilit. Pentru explicarea nucleerii fisurilor de oboseală au fost propuse mai multe mecanisme bazate pe dinamica dislocațiilor care explică anumite aspecte legate de nucleerea fisurilor dar nu rezolvă problema totalitar.

1.4. PROPAGAREA FISURII

Numeroase cercetări făcute în domeniul fisurării la oboseală a metalelor au precizat că în procesul propagării fisurii se pot distinge două etape indiferent de tipul solicitării.

În etapa I- a are loc amplificarea procesului de nucleere. Fisura se dezvoltă în benzile de alunecare situate în planul în care acționează tensiunea tangențială maximă. Fisura se orientează la aproximativ 45° față de direcția tensiunii principale maxime. Mecanismul de propagare din etapa I-a se presupune că ar consta dintr-o continuă reinițiere a fisurii în benzile de alunecare prin alunecările lor transversale cauzate de mișcarea dislocațiilor elicoidale.

În etapa a 2-a fisura se propagă după o direcție perpendiculară pe direcția tensiunii maxime urmând de preferință linia de delimitare a subgrăunților structurii de bozale rezultată din facele anterioare de degradare. datorită concentrației triaxiale a tensiunilor în vârful fisurii se formează o enclavă deformație plastică.

Prin deformații repetate, în enclavă, are loc procesul formării unor striațiuni cu caracter fragil sau ductil. Propagarea și formarea striațiunilor în acest stadiu se produce prin rotajirea vârfului fisurii prin deformație plastică. Se acceptă



Figura 1.11.

În prezent că fiecare strie corespunde unui ciclu de solici-
tare astfel că formarea unei strie se consideră suficientă
pentru înțelegerea întregii etape a 2-a. Figura 1.11 arată as-
pectul strișianilor circulare la o epruvetă plană, cu nervuri
sudate din oțel normal ruptă prin oboseală sub efort axial.[2]

Mecanismul cuceririi prin deformații repetate este
operant în enclava plastică. Asupra duratei celor două etape
studiile experimentale au arătat că raportul lor scade odată
cu sporirea intensității solicitării ceea ce va fi arătat la
paragraful 4.3.

ooo

II. TENSIUNI REMANENTE IN PIESE DIN OTEL

2.1. PROVENIENTA TENSIUNILOR REMANENTE

Sistemul tensiunilor existente într-o piesă atunci când aceasta nu este solicitată din exterior constituie ansamblul tensiunilor remanente. Ele se nasc ori de câte ori piesa suferă deformații plastice neuniforme.

Una din principalele surse de tensiuni remanente îl constituie variația de temperatură. Dacă temperatura se distribuie uniform (sau liniar) variația temperaturii (la încălzire ori răcire) nu are consecințe de natură tensională. În cazul contrar în piesă iau naștere tensiuni provizorii care pot depăși limita de curgere a materialului și la răcire piesa conține tensiuni remanente.

În figura 2.1. și figura 2.2. este ilustrat modul de dezvoltare a tensiunilor provizorii și respectiv a tensiunilor remanente ca urmare a variației temperaturii. [37]

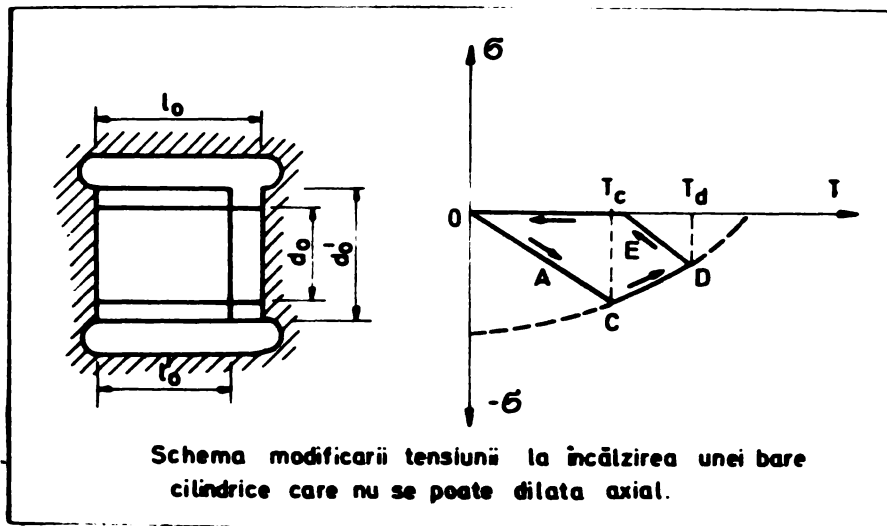


Figura 2.1.

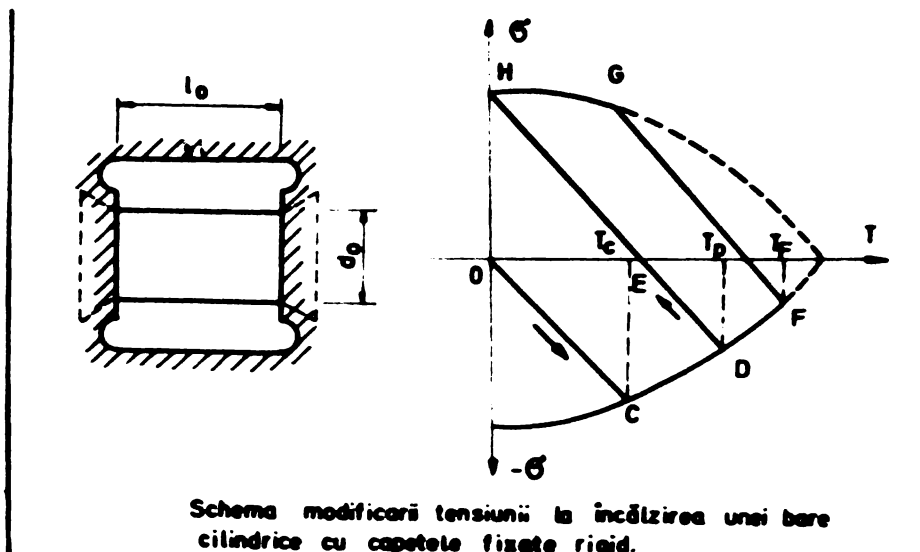


Figura 2.2.

Rezultate în urma unui proces de deformare plastică în condiții de repartiție neuniformă a temperaturii, (între periferie și partea centrală) sortimentul laminatelor metalice se obține cu tensiuni remanente a căror spectru este valoric foarte variat și asemănător ca aluri pentru același profil. Determinările experimentale prezentate în figurile 2.3. - 2.6. vă să confirme această aserțiune pentru un laminat cu dimensiuni comparabile. Figura 2.7. arată că valorile tensiunilor reziduale sînt diferite chiar în secțiunile aceleiași bare. Tehnologia de laminare și viteza de răcire sînt principalii factori de care depind valorile tensiunilor remanente ale laminatelor. [6],[7],[11],[23],[38]

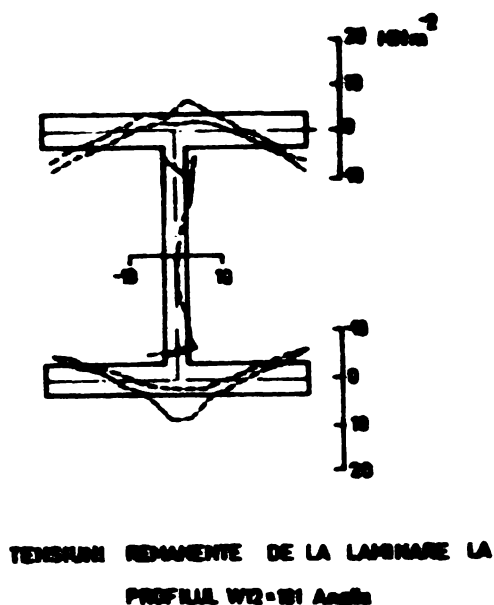


Figura 2.3.

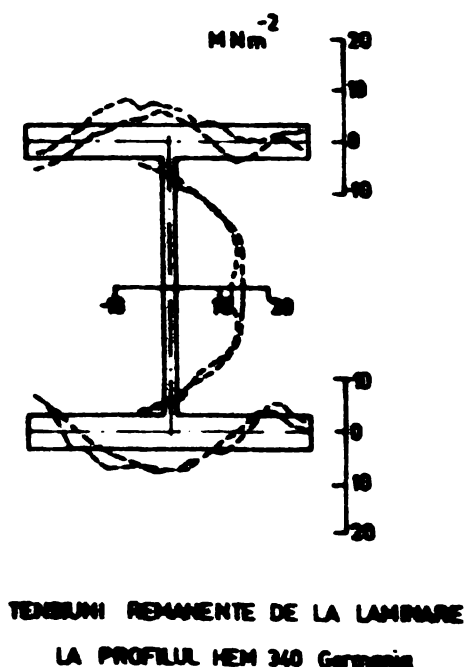


Figura 2.5.

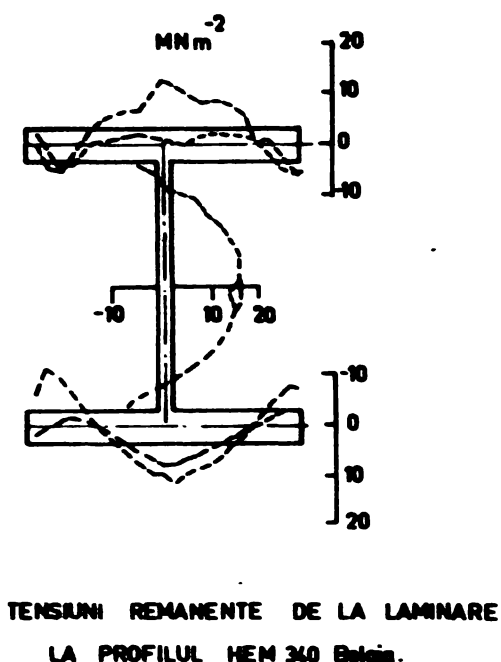


Figura 2.4.

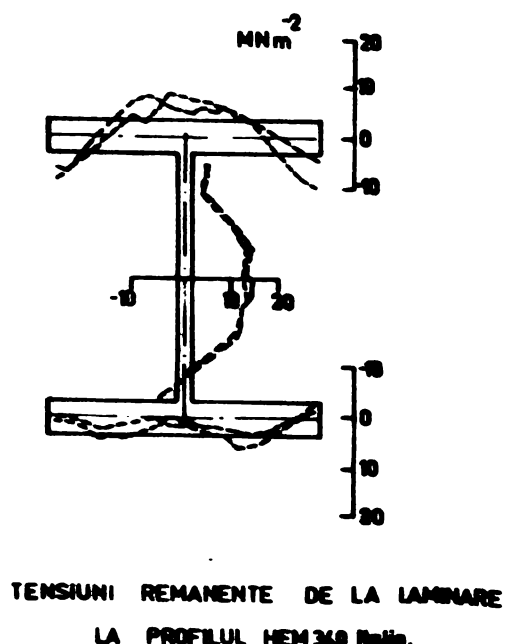
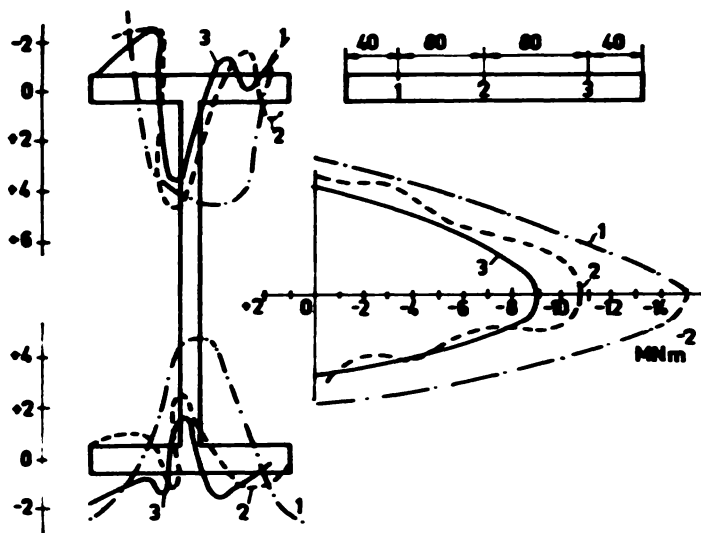


Figura 2.6.

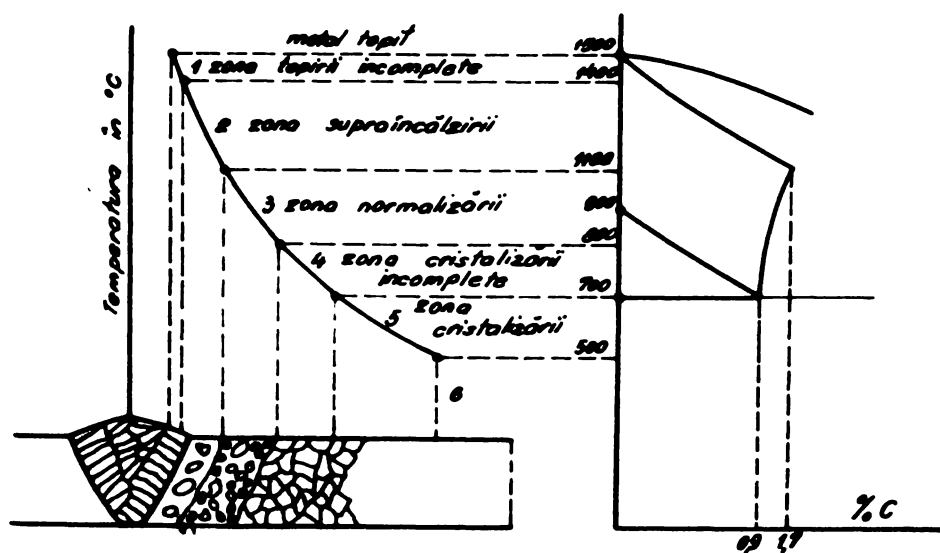


TENSIUNI REMANENTE DE LA LAMINARE IN 3
SECTIONI ALE PROFILULUI.

Figura 2.7.

2.2. TENSIUNI REMANENTE IN PROCESUL SUDARII.

Procesul sudării concentrează în volume mici o mare cantitate de căldură cu un gradient de încălzire ca și de răcire foarte ridicat. Pe o lărgime variabilă funcție de procedeul și regimul de sudare se extinde zona influenței termice a arcului ilustrată simplificat în figura 2.8. [22]

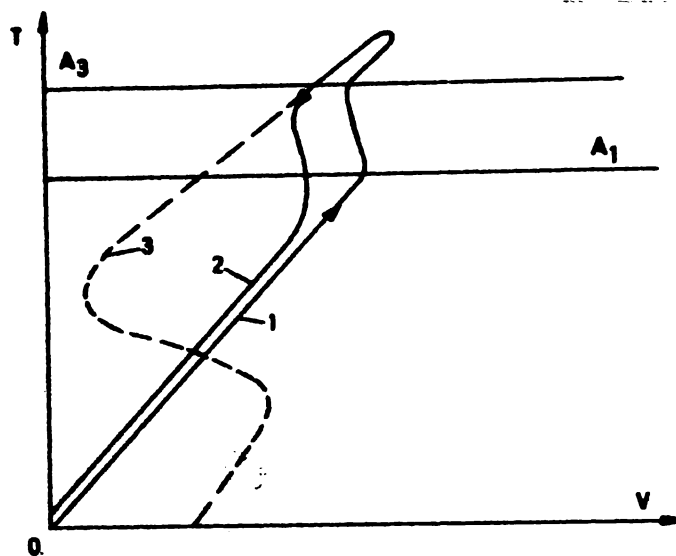


Modificări structurale în zona influenței termice
a cordonului de sudură

Figura 2.8.

Fiecărui sector îi este caracteristic un anumit ciclu de temperatură, diferit de al sectoarelor vecine ceea ce conduce la formațiuni cristaline cu parametri de rețea și volum

specifice diferiți. La oțelurile cu procent redus de carbon încălzirea care depășește punctele A 1 și A 3 ale diagramei Fe - C (peste 600°C), are loc transformarea fazală legată de micșorarea volumului, figura 2.9. În timpul răcirii, la transformarea fazală reciprocă, martensită - austenită (la aceeași temperatură) au naștere tensiunile remanente. La acestea se adaugă tensiunile remanente rezultate din acumularea hidrogenului în golurile interioare cordonului (ca urmare a modificării solubilității hidrogenului în cursul răcirii întinării) [8]



Dependenta calitativă a modificărilor volumetrice funcție de temperatură a oțelului 1) la încălzire ; 2) la răcire ; 3) la răcirea oțelurilor aliate

Figura 2.9.

Rigiditatea pieselor care se îmbină prin sudare face imposibilă dilatarea liberă a pieselor și a materialului depus. Metalul plastic consumă local deformațiile cauzate de temperatură, care la răcire nu mai pot fi eliberate. Tendința de revenire la forma inițială se concretizează în tensiuni remanente echilibrate în ansamblul pieselor sudate.

2.3. ALJURA TENSIUNILOR REMANENTE ÎN ÎMBINĂRI SUDATE.

Epura tensiunilor remanente în piese îmbinate prin sudare este specifică fiecărui tip de îmbinare. Valorile tensiunilor remanente depind de rigiditatea pieselor, de parametrii tehnici ai arcului și calitatea oțelului.

Îmbinarea de flanc din figura 2.10 ilustrează diagrama teoretică a tensiunilor remanente, iar figurile 2.11 și 2.12 o confirmă prin determinări experimentale. [35]

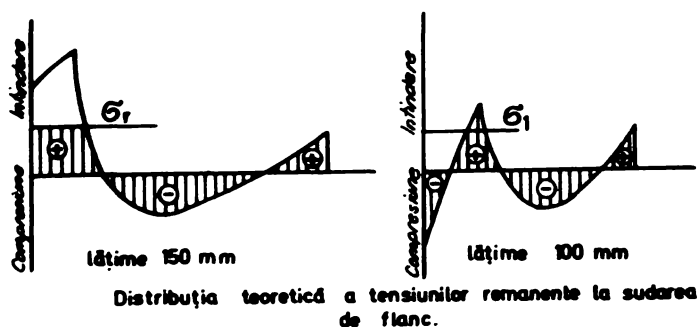


Figura 2.10.

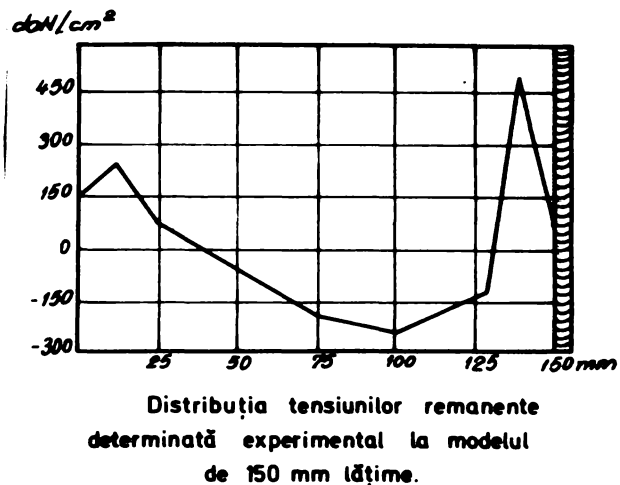


Figura 2.11.

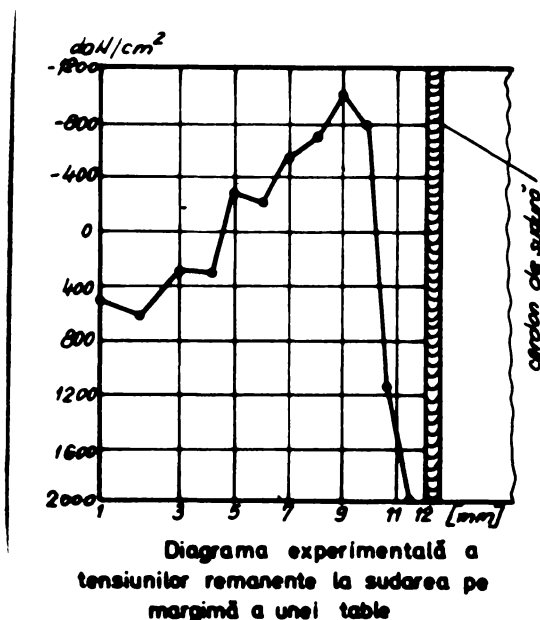


Figura 2.12.

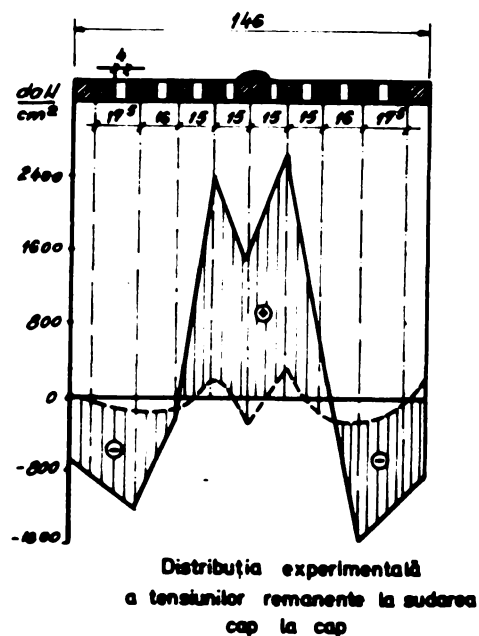


Figura 2.13

Între lățimea benzii de oțel (ca parametru al rigidității) și valoarea tensiunilor remanente se exercită o legătură de interdependență. La o bandă îngustă tensiunile de întindere din axul îmbinării sînt mai mici iar deformațiile plastice aproape că lipsesc. La lățimi mai mari de 75 mm. apar tensiuni de întindere care pot depăși limita de curgere. Ajo-rarea lăținii benzilor deci a rigidității favorizează creșterea deformațiilor remanente. La lățimi mai mari de 100 mm. factorul rigiditate încetează de a mai exercita o influență esențială.

La îmbinarea cap la cap diagrama tensiunilor remanente

prezintă tensiuni de întindere în materialul cordonului și în zona influenței termice, iar în zona marginilor - tensiuni de compresiune, figura 2.13.

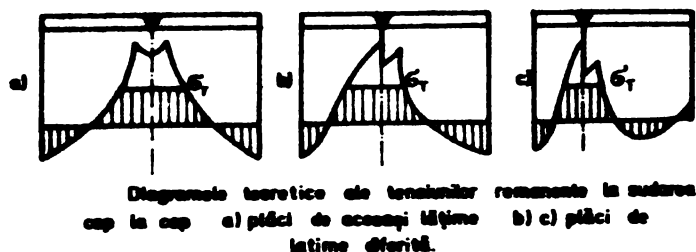


Figura 2.14.

Caracterul general al epurei depinde de raportul lățimilor benzilor, iar valoarea tensiunilor depinde de dimensiunile absolute ale benzilor. Cu cât diferența între lățimea benzilor este mai mare cu atât alura epurei tensiunilor remanente din banda mai lată se apropie de aceea a sudării de flanc, figura 2.14.-

Calitatea oțelurilor care se sudază, din punct de vedere al tensiunilor remanente, se poate constata din figura 2.15 în care se prezintă comparativ diagrame de tensiuni radiale (notate cu indicele r) și de tensiuni inelare în două discuri din același material și din materiale diferite. [20]

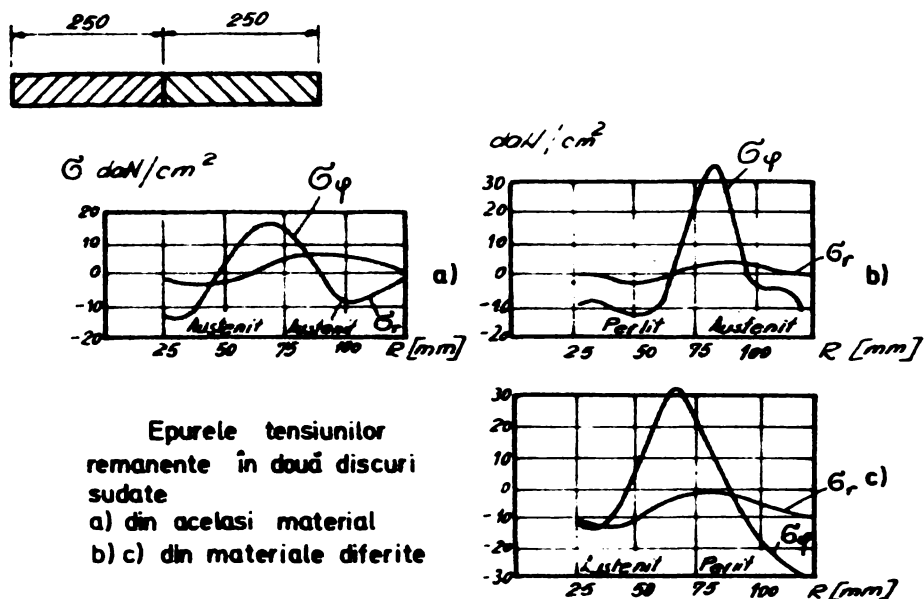


Figura 2.15.

La îmbinările cu mai multe depuneri tensiunile remanente dintr-o depunere anterioară sînt diminuate de noua depunere care la rîndul ei dă naștere la tensiuni remanente.-

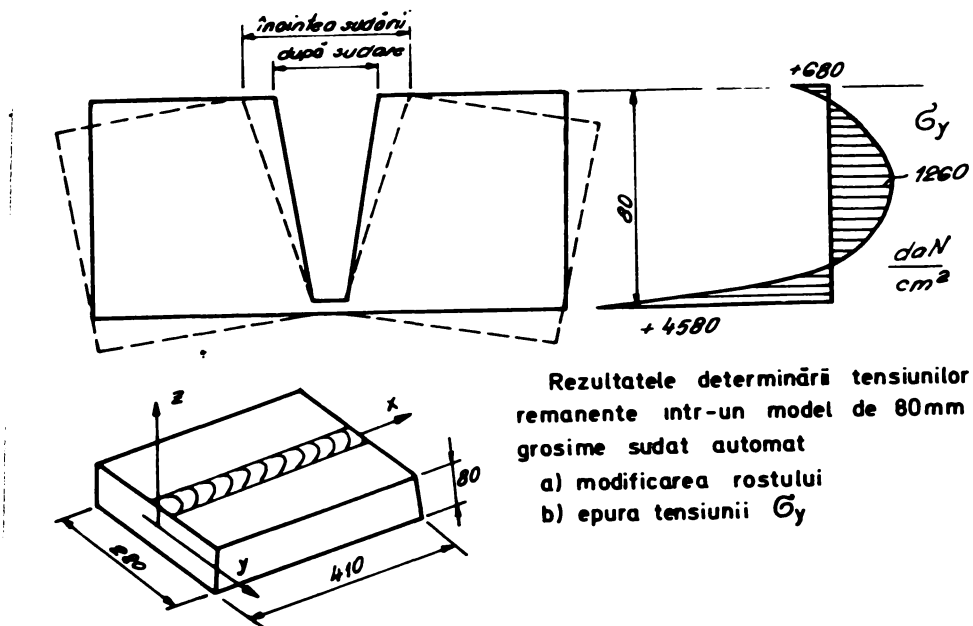


Figura 2.16

În figura 2.16 grosimea de 80 mm s-a realizat din 27 de straturi. Tensiunile remanente măsurate la rădăcina cordo- nului depășește considerabil valoarea limitei de curgere ates- tînd deformația plastică din această zonă.[37]

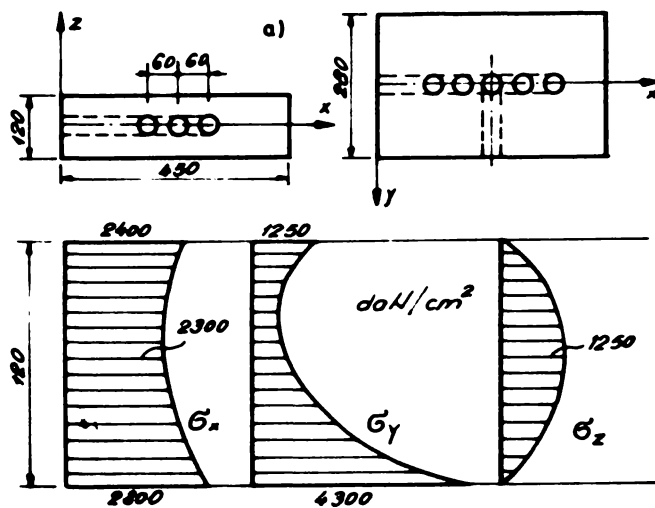


Figura 2.13

La modelul în grosime de 350 mm. ca și la cel de 120mm sudat automat sub fondant figurile 2.17 ; 2.18 , tensiunile rezanante au un caracter mai uniform iar toate cele trei componente sînt de întindere înregistrînd valori maxime în partea centrală, [20]

La îmbinarea secțiunilor în formă de I alura diagramei tensiunilor rezanante se evidențiază în figura 2.19. Tensiunile rezanante ating valori rezonabile în zona îmbinărilor ini-mii ca: tălpile și au drept consecință curbarea tălpilor și de-formarea ini-mii. [35]

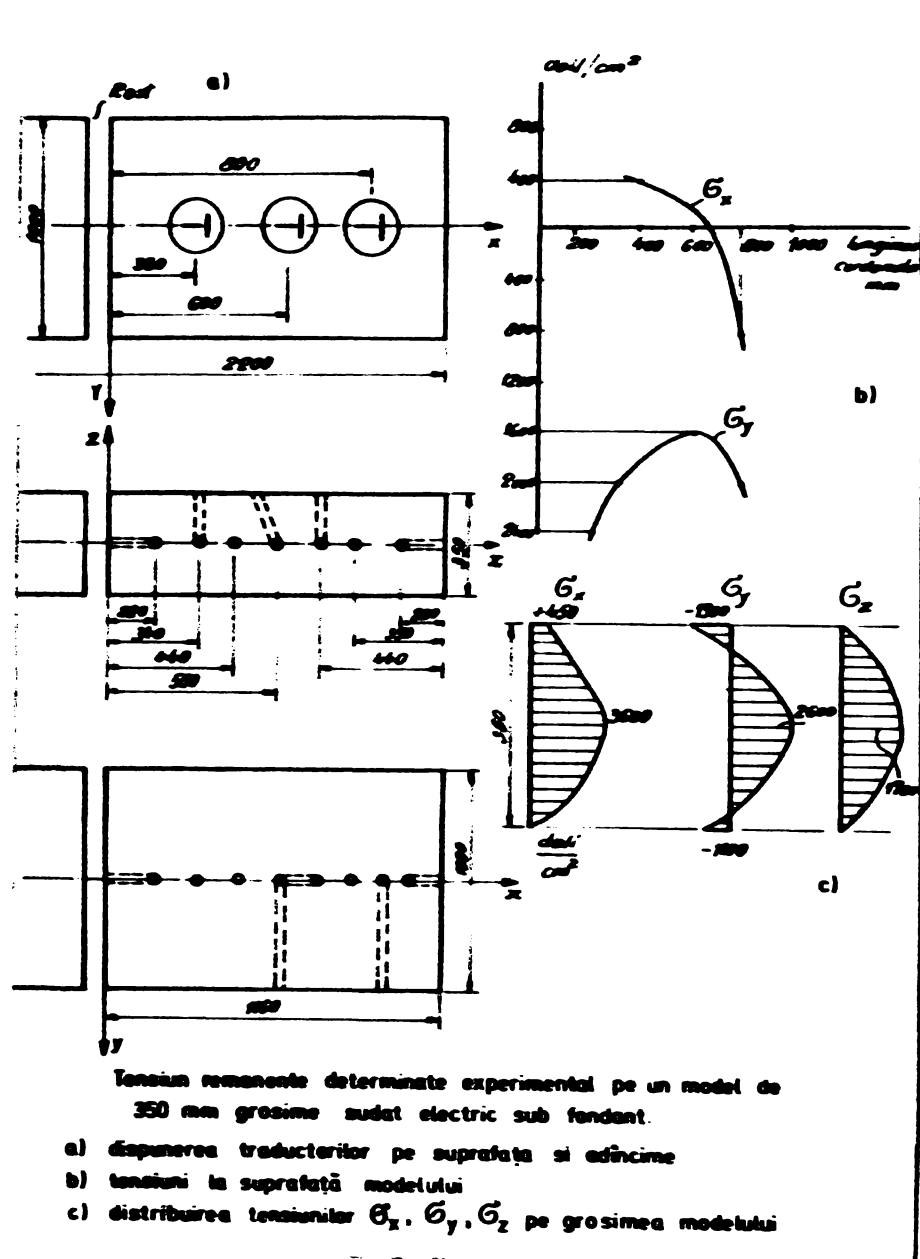


Figura 2.17

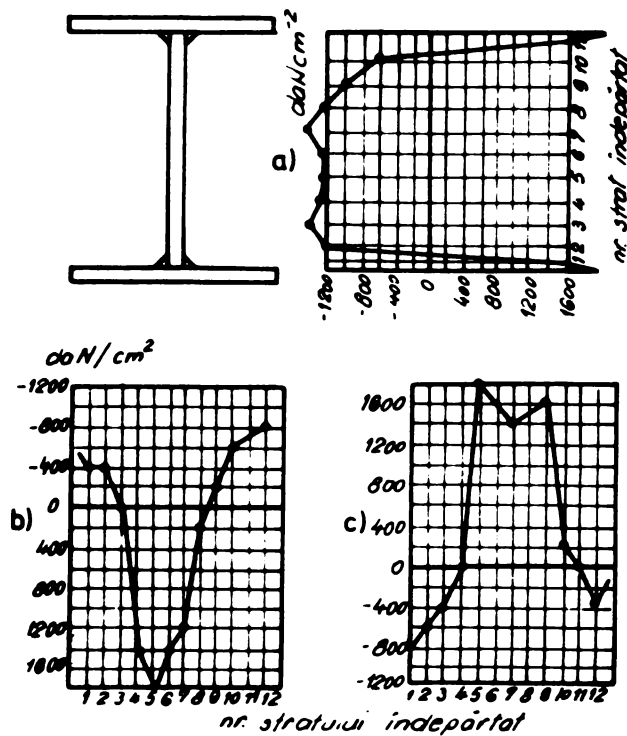


Diagrama experimentală a tensiunilor remanente a) în inimă b) c) în tălpi

Figura 2.13.

2.4. CONCLUZII

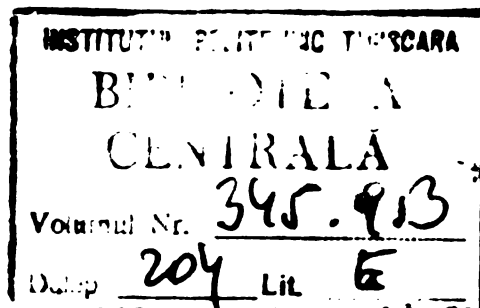
- Toate procesele mecanico-terme care au ca efect modificări volumetrice neuniforme asupra structurii și formei pieselor din oțel dau naștere la tensiuni remanente.

- Procesul sudării constituie o sursă carentă de tensiuni remanente condiționate de factori tehnologici, factori structurali și factori geometrici.

- Diagrama tensiunilor remanente dintr-o secțiune este specifică ca alură fiecărui tip de îmbinare.

- Tensiunile remanente sînt susceptibile de modificări valorice la variația unui larg set de parametri: calitatea materialului pieselor de sudat, regimul termic de sudare, caracteristici geometrice secționale, tratamente termice.

oJo



III. EFECTUL TENSIUNILOR REZIDUALE DIN SUDARE ASUPRA REZISTENȚEI LA OBOSEALA A PIESELOR DIN OTEL

3.1. CONCLUZII LA TENSIUNILOR REMANENTE DIN SUDARE CU TENSIUNILE DE SERVICIU

Problemei influenței tensiunilor remanente asupra rezistențelor mecanice a îmbinărilor sudate îi sînt dedicate numeroase cercetări cu caracter teoretic și experimental. O mare experiență referitoare la această temă s-a acumulat în unitățile productive ca și în cele de cercetare. De un vădit interes se bucură studiul influenței tensiunilor remanente induse prin sudare asupra rezistenței diverselor elemente de construcție de cînd procedeul sudării a devenit cel mai frecvent mijloc de îmbinare a construcțiilor metalice.

În cadrul acestei chestiuni s-au emis două păreri :

- una, care pretinde că tensiunile remanente din sudare nu sînt determinate la distrugerea construcțiilor sudate mai ales cînd ductilitatea metalului este suficientă.
- alta, care susține că suprapunerea tensiunilor din încărcarea activă peste tensiunile remanente conduce la reducerea rezistenței statice, la reducerea rezistenței la oboseală, la diminuarea stabilității, a durabilității și a rezistenței la coroziune a metalelor.

Cea de a doua opinie are cei mai mulți adepți iar lucrarea de față i se afiliază.

Valorile ridicate ale tensiunilor remanente din sudare care ating în multe cazuri valorile limitei de curgere își exercită influența asupra rezistențelor îmbinărilor sudate în timpul exploatării lor. Astfel, în barele întinse, tensiunile din încărcarea exterioară se adună algebric cu cele remanente. Rezultă virfurii tensionale de întindere care uneori chiar la încărcări active mici cauzază curgeri locale al căror efect este redistribuirea generală și nivelarea tensiunilor remanente.

La barele comprimate, efect defavorabil îl au tensiunile reziduale de compresiune care în colaborare cu cele din încărcarea activă vizează stabilitatea generală dar mai ales locală a barei. La ora actuală sînt multe încercări reușite de a se diminua efectele dăunătoare a unor tensiuni remanente și a folosi efectul favorabil al celor de semn contrar care îmbunătățesc condițiile de lucru ale elementului de construcție.

Tensiunile remanente liniare au efecte mult inferioare tensiunilor din câmpuri tridimensionale asupra rezistenței statice a elementului căci acestea din urmă, împreună cu tensiunile de serviciu pot provoca capotarea elementului înaintea apariției deformațiilor plastice. Prezența unui concentrator de tensiuni remanente pre-nunțat, plasat transversal pe liniile de scurgere a eforturilor unitare active reduce brusc rezistența statică a îmbinărilor sudate.

În domeniul temperaturilor negative rezistența îmbinărilor sudate se reduce brusc și substanțial datorită tensiunilor reziduale.

Rezistența îmbinărilor sudate la încălziri variabile cu concursul tensiunilor reziduale se bucură de un număr mare de concluzii contradictorii datorită complexității și multilateralității fenomenului, patronat de numeroși factori a căror separarea constituie o problemă foarte dificilă.

În ultimă vreme se cristalizează părerea asupra influenței maroante a tensiunilor remanente asupra rezistenței la oboseală a îmbinărilor sudate.

Influența tensiunilor reziduale asupra îmbinărilor metalice este diferită pentru metale diferite și crește odată cu majorarea fragilității lor. Același spectru de tensiuni remanente poate avea o influență diferită asupra rezistenței la oboseală în raport cu caracterul tensiunilor active. Concentrarea tensiunilor reziduale în anumite zone poate duce la ecruisarea locală a metalului - fragilizarea lui - astfel încât influențează considerabil rezistența la oboseală a elementului.

3.2. MASINA DE ÎNCERCĂRI LA OBOSEALA

Încercarea de oboseală se face pe o mașină concepută ca un pulsator mecanic care oferă două mari avantaje :

- scurgerea clară și lină a eforturilor din încălzirea dinamică - epruveta având rolul de talpă întinsă a unei grinzi cu săbrele.

- descărcarea în timp scurt a epruvetei de sub sarcina dinamică ceea ce permite observarea și înregistrarea aspectului epruvetei după anumite timpuri de repetare a încălzirii.

Mașina de încălziri la oboseală este un pulsator mecanic pentru încălzirea diferitelor tipuri de bare la scara 1 : 1 sub efort axial cu diverși coeficienți de asimetrie.

Pulsatorul se compune din :

- o grinză cu zăbrele spațială având deschiderea de " 20 m. cu configurația din figurile 3.1., 3.2. Panoul central al tălpii inferioare este ocupat întotdeauna de epruveta ce urmează a fi testată, figura 3.2. Greutatea grinzii este în jur de 50 kN.;
- un generator de pulsații realizat din 4 discuri metalice dispuse excentric pe două axe, figura 3.3., antrenate de două motoare electrice. Pe fiecare disc se pot fixa greutăți adiționale cu scopul de a spori masa excentrică. Deasemenea mărirea excentricității poate fi schimbată. Generatorul mai cuprinde un reductor de viteză și o carcasă. El cântărește circa 25 kN. și este fixat deasupra grinzii spațiale ca în figura 3.2. ;
- pe fiecare axă este cuplată cîte o cutie de viteze care permite obținerea a 5 trepte de turație figura 3.4. Cutia de viteze este inserată între motorul electric și reductor printr-un ax cadranic. O frînă electrodinamică montată pe axă are menirea de a reduce turația la zero odată cu întreruperea curentului;
- opritori de înălțime variabilă pentru a suporta mașina în fazele de pregătire a experimentului și după cedarea epruvetei;
- un panou de comandă echipat cu aparatură electrică de manovră și control a parametrilor electrici ai rețelei.

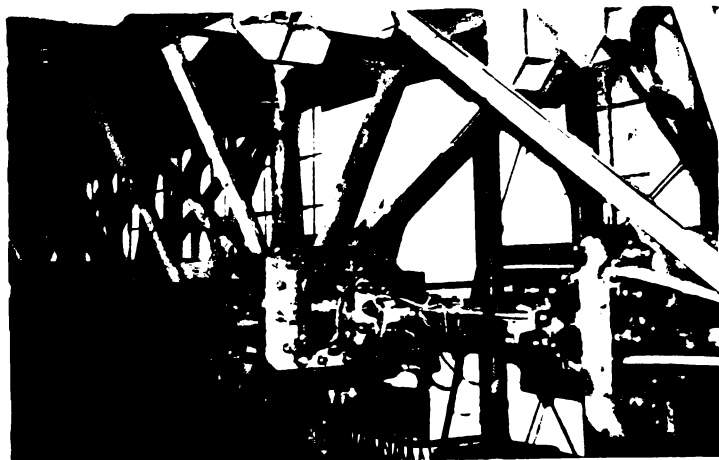
Un întrerupător automat rupe alimentarea cu energie electrică a motoarelor atunci cînd epruveta (panoul central al tălpii inferioare) a capotat.

Modul de funcționare al mașinii se explică în cele ce urmează. Mișcarea de rotație a masei excentrice dă naștere la o forță centrifugă. Intrusit cele două axe se rotesc în sensuri contrare, forța centrifugă a celor patru discuri se însumează numai pe verticală. Dispunerea simetrică a axelor față de mijlocul grinzii face ca o forță perturbatoare de mărimea $4 m \omega^2 e \sin(\omega t)$ să acționeze la mijlocul grinzii spațiale și să dea naștere la un efort axial variabil în epruvetă. Aici m este masa unui disc cu greutățile adiționale, ω viteza unghiulară de rotație, e - excentricitatea masei de rotație față de ax. Intrusit echipamentul mecanic al generatorului de pulsații permite variația masei excentrice a vitezei în cinci trepte, rezultă că există posibilități largi de a varia controlat mărimea forței perturbatoare, adică a efortului axial din epruvetă.

Caracteristicile funcționale ale pulsatorului în cadrul

experimentului efectuat au fost :

- viteza excentricilor 200 ture/minut
- frecvența proprie a mașinii 5 Hz
- mărimea efortului dinamic în epraveți 190 kN
- mărimea efortului static în epraveți 354 kN
- coeficient de asimetrie media circa 0,3



Figurile 3.1.

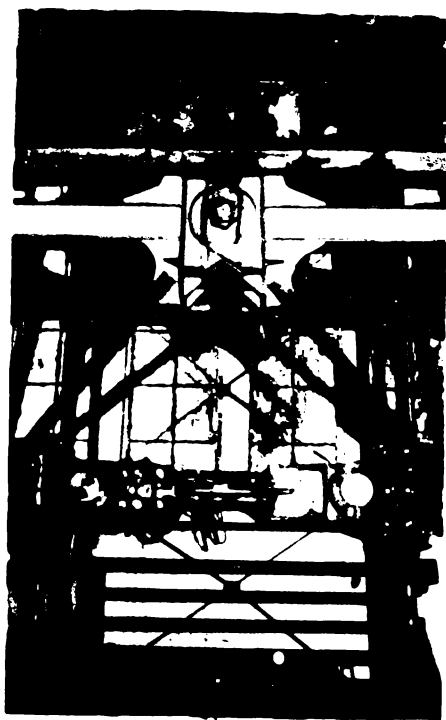


Figura 3.2.

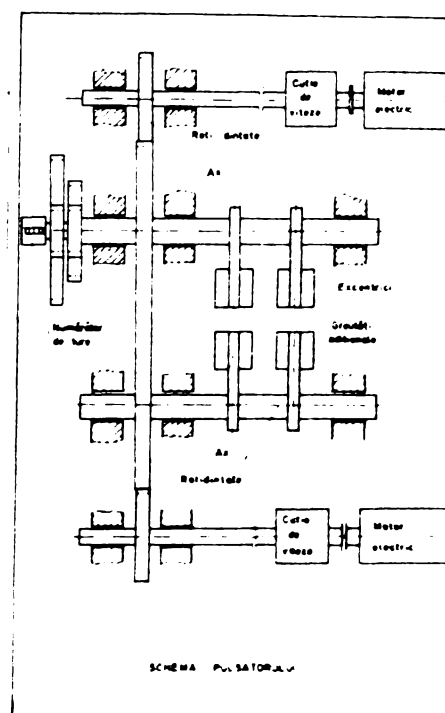


Figura 3.3.



Figura 3.4.



Figura 3.5.

3.3. INFLUENȚA TENSIIUNILOR REZIDUALE

Prezenta lucrare și-a propus să ilustreze pe un exemplu fenomenologic simplă influența marcant defavorabilă a tensiunilor reziduale din sudare asupra rezistenței la oboseală a oțelului.

Materialul ales pentru experiment este oțelul românesc de marca OJ 37 - 2 .. Acesta este un oțel normal, calmat moderat și folosit frecvent în construcțiile metalice. Epruvetele proiectate din acest oțel sînt cu secțiune variabilă avînd o zonă de secțiune mică constantă.

S-au confecționat epruvete în 3 variante :

- epruveta cu 2 nervuri longitudinale sudate în axa epruvetei pe ambele fețe cu 4 cordoane de sudură figura 3.6., 3.7. Această epruvetă are o rigiditate transversală mare - deci un spectru de tensiuni cu valori mai mari,



Figura 3.6.

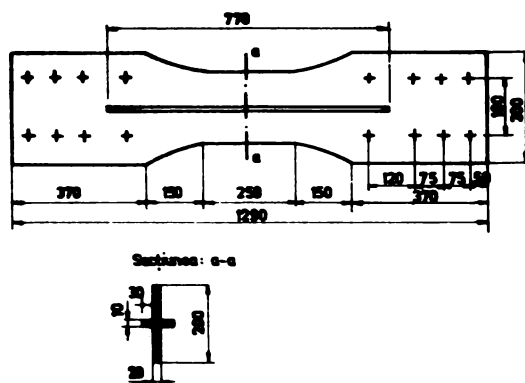


Figura 3.7.

- epruvetă avînd exocutate pe fețele principale două cordoane de sudură axial longitudinală figura 3.8. Sub această configurație epruveta are o rigiditate mică în comparație cu prima deci tensiuni

reziduale din sudare de valori mai mici. Pentru această epruvetă se va înregistra o diagramă de tensiuni reziduale mai uniformă.

- epruvetă pentru comparație figura 3.9. Aceasta constă numai într-o placă de secțiune variabilă fără cordoane de sudură deci fără tensiuni reziduale din sudare.



Figura 3.8.

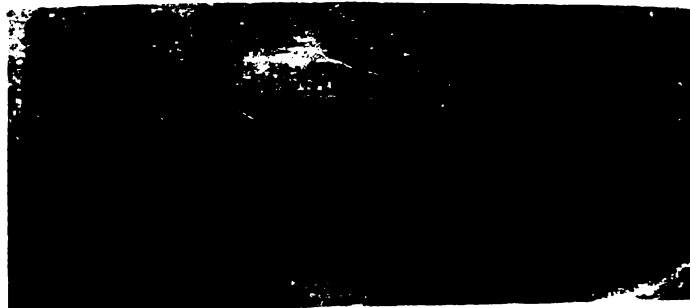


Figura 3.9.

Pentru efectuarea cordoanelor de sudură s-au folosit electrozi EL 44 în curent alternativ.

Încărcarea de serviciu conduce la un efort axial în epruvetă care se repartizează uniform pe secțiunea transversală a epruvetei. Rezultă un spectru de tensiuni neuniform având vârfuri tensionale datorate tensiunilor din sudare. Vârfurile tensionale sînt cu atît mai pronunțate cu cît rigiditatea epruvetei este mai mare.

3.4. APARATURA DE INVESTIGAȚIE

- Starea de tensiune s-a determinat prin măsurarea tensometrică a deformațiilor, folosind : senzori tip 31.120 - MIKROPRIMA PRIMA , cutie de comutație RPT.STEUBERAT SG.151 TIP 12001. și pun te tensometrică RPT.UNIVERSALESSELETRONICUNG 31 111.

Figura 3.10 prezintă ansamblul aparatelor de tensometrie electrică rezistivă.

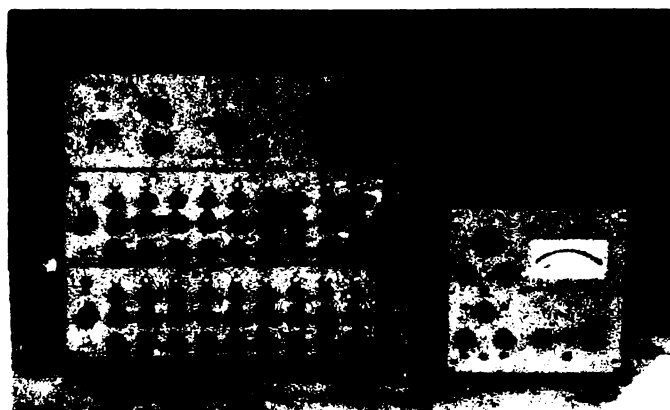


Figura 3.10.

- Adâncimea fisurii s-a măsurat cu aparatul -
 RISSTIETEN LEISSGERAT KARL DEUTSCH PROF. UND LEISSGERAT BAU Inha-
 ber Dr.ing. Volker Deutsch. În alcătuirea lui intră, figura 3.11,
 alimentator încărcător a) dispozitiv de etalonare b) pupitru
 de citire c) palpator mobil d) palpator fix și dispozitiv de eta-
 lonare.

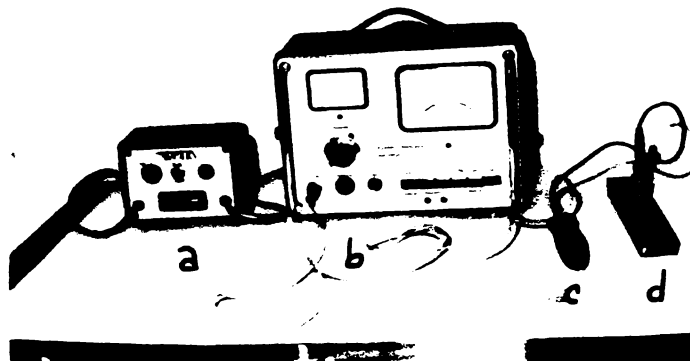


Figura 3.11.

Principiul de funcționare al aparatului constă în va-
 riația rezistenței curentului electric, proporțional cu adâncimea
 fisurii.

Între cele două contacte ale palpatorului mobil, exis-
 tă o tensiune electrică. Când palpatorul sprijină contactorii pe
 cele două margini ale fisurii, are loc închiderea circuitului elec-
 tric, figura 3.12. Intensitatea curentului electric variază cu re-
 zistența, deci cu adâncimea fisurii. Citirea adâncimii fisurii se
 face direct în milimetri și zecimi de milimetru.



Figura 3.12.-

3.5. DESCRIEREA EXPERIMENTULUI

Se introduce epruveta echipată cu timbre tensometrice în bacurile mașinii. Se fixează la unul din capete.

Mașina se află în poziție de repaus total - reazemă pe suporturi.

Se face echilibrarea timbrilor pentru situația - epruvetă liberă.

Se string șuruburile care fixează epruveta în bacuri și se lasă suportii mașinii în jos, astfel ca epruveta să se încarce static din încălcarea permanentă.

Se execută la puntea tensometrică citirea deformațiilor înregistrate de senzori, pentru situația - încălcare statică ϵ . și se transpun în eforturi unitare σ .

Se pornesc motoarele electrice. Acestea antrenează excen- trierii cu o frecvență de 3,67 Hz (mai mică decât frecvența proprie a mașinii 5 Hz, evitând fenomenul de rezonanță) și generează o forță verticală cu dublu sens care dă naștere, în epruvetă unui efort dinamic care se suprapune (\pm) peste cel static.

Se face citirea la punte pentru tensiunea dinamică pozitivă $\hat{\epsilon}$ ($\hat{\sigma}$) și pentru tensiunea dinamică negativă $\hat{\epsilon}_-$ ($\hat{\sigma}_-$) la toate timbrele.

Urmează apoi să se facă prelucrarea datelor în vederea obținerii lui $\sigma_{\max} = \sigma_g + \hat{\sigma}$ și $\sigma_{\min} = \sigma_g + \hat{\sigma}_-$.

$$r = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$$

Se lasă mașina să funcționeze neîntrerupt, supravegându-se epruveta și mașina.

La apariția fisurii, mașina se oprește și să mișcă în diferite locuri, adâncimea fisurii și extensiunea ei.

Se rein experiența. Se întrerupe funcționarea mașinii la diferite intervale de timp, făcându-se măsurători privind adâncimea fisurii și lungimea ei la suprafața epruvetei.

Pe parcursul experimentului se înregistrează pe peliculă aspectul de suprafață al fisurii.

Figura 3.13 arată o epruvetă ruptă situată în mașina de încercări la oboseală.

După extragerea din mașină a celor două bucăți se fixează pe peliculă aspectul secțiunii transversale rupte.

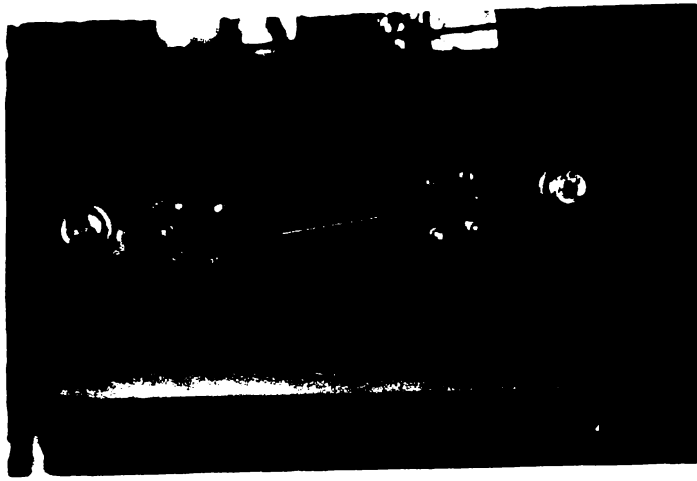


Figura 3.13.

3.6. TENSIUNI FISURARI SI AL SUPERII

Prin fixarea celor două nervuri cu corzoane de sudură epruveta înregistrează în secțiunea transversală o diagramă de tensiuni reziduale ilustrată în figura 3.14. Cum se vede în z adiacentă corzoadelor de sudură se găsesc tensiuni reziduale întindere. Peste acestea, se suprapun tensiunile de întindere de serviciu (din încălzirea statică și dinamică) care conduc la apariția neuniformității de tensiuni pe secțiunea transversală a epruvetei.

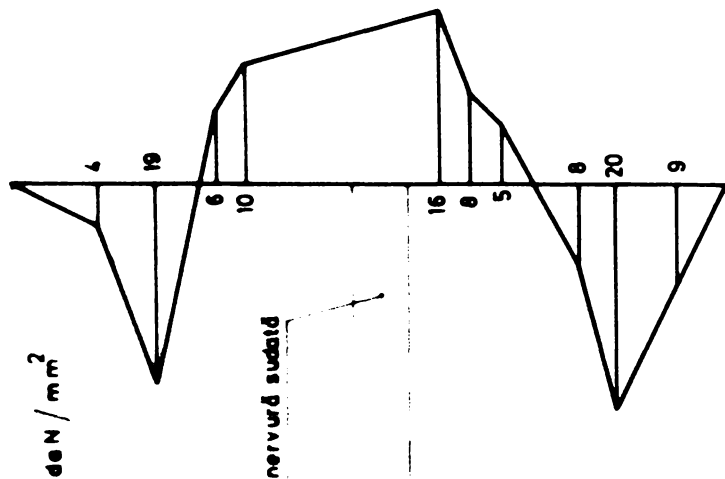


Figura 3.14

Este firesc, ca figura să nucleese și să apară în acea zonă ceea ce se confirmă și experimental figura 3.15.



Figura 3.15.

Prezența fisurii în secțiunea transversală conduce la o nouă distribuție a eforturilor unitare, intrucât o parte din secțiunea transversală nu mai lucrează. Efortul ce revine epruvetei rămâne însă, același. Aceasta face ca tensiunile să-și schimbe valorile pe secțiunea transversală activ. Declanșată fisura, ea înaintează perpendicular pe direcția de scurgere a efortului principal. Niciodată nu ia naștere o altă fisură, ci se adâncește fisura inițială. La parcurge mai întâi zona centrală a epruvetei unde se găsesc tensiuni de întindere de valori ridicate.

Când alăturat planului de propagare a fisurii se găsește un defect de structură, fisura schimbă planul în care se propagă.

Cu cât aria secțiunii transversale în lucru se micșorează, extensiunea superficială și de adâncime a fisurii crește.

La momentul în care aria secțiunii transversale înregistrează o atare micșorare încât efortul unitar atinge limita de curgere, are loc desprinderea fisurii, ca urmare a curgerii anterioarelui secțiunii care lucrează. Figura 3.16. ilustrează această deformare. După aceasta este iminentă și are loc prin decoeziune-sulțare.



Figura 3.16.

3.7. DATELE ÎNCERCĂRII

Fiecare epruvetă supusă încercării de tracțiune are o fișă în care sînt notate :

- cotele geometrice ale secțiunii transversale ;
- dispunerea țăbrelor tensometrice ;
- tabelul istoric al deforțărilor statice și dinamice precum și al eforturilor unitare respective ;
- intervalul ciclurilor de funcționare pînă la observarea fisurii ;

- aspectul secțiunii transversale fisurate la diferite numere de cicluri de funcționare ;
- durabilitatea epruvetei exprimată în cicluri.
- variația secțiunii transversale în raport cu numărul ciclurilor de funcționare ;
- viteza globală de propagare a fisurii pe secțiunea transversală ;
- înregistrarea pe peliculă a aspectului secțiunii transversale rupte.

Pentru exemplificare sînt redată paginile acestei fișe pentru epruveta *E8, E11* în planșele nr. 3.1.; 3.2. și 3.3.-3.4.

3.8. PROB. FOTOMLASTICE ALE TENSIUNILOR REZIDUALE INTRODUSE LA SUDARE

Ciclul termic la care sînt supuse piesele care se sudază, concentrarea energetică de valoare ridicată pe o arie mică, modificările cristolografice în metalul de bază, și în cel de deasupra conduc la nașterea unui spectru volatil de tensiuni reziduale în ansamblul pieselor sudate. Aceste aserțiuni se validează în cele ce urmează pe probe fotoelastice.

În acest scop epruveta metalică din figura 3.6. s-a reprodus la scara 1 : 4 din araldit. Nervurile epruvetelor se fixează pe araldit prin sudare cu aer cald folosind un electrod sintetic figura 3.19. Pentru comparare s-au confecționat și epruvete din araldit cu nervurile fixate prin lipire figura 3.20.

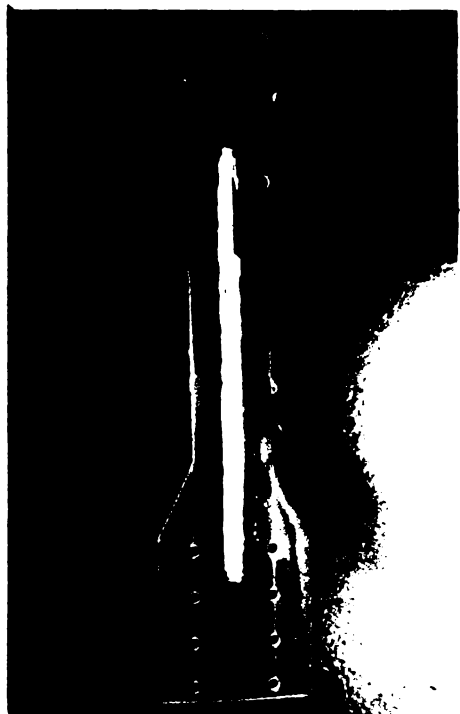


Figura 3.19

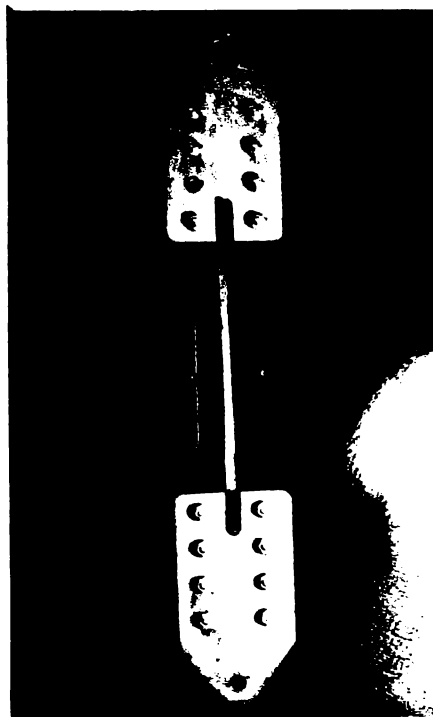
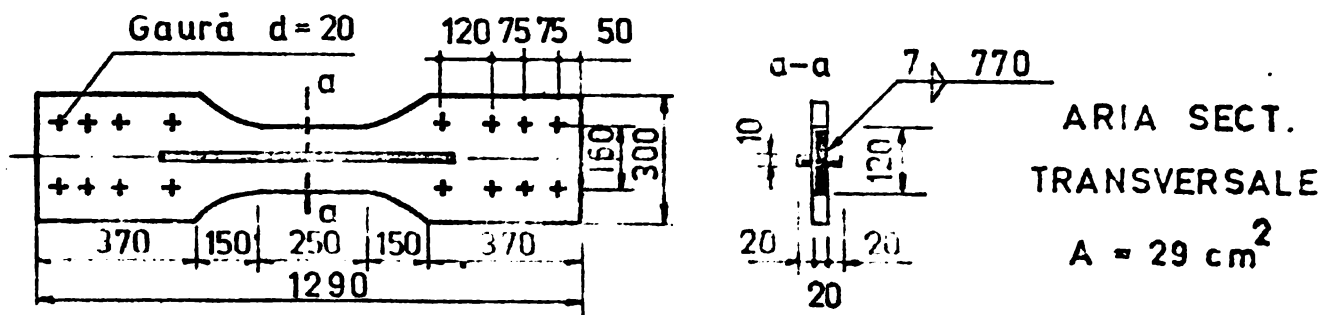


Figura 3.20.

INCERCAREA LA OBOSEALA SUB EFORT AXIAL A EPRUVETEI E 8

1. FORMA SI DIMENSIUNILE EPRUVETEI



2. MĂSURAREA TENSOMETRICA A EFORTURILOR UNITARE daN/cm^2

NATURA EFORTULUI		TIMBRUL NR.								DISPUNEREA TIMBRELOR
		1	2	3	4	5	6	7	8	
STATIC	$\hat{\epsilon}$	595	590	550	600	555	575		590	
	$\hat{\sigma}$	1250	1240	1165	1260	1170	1210		1240	
DINAMIC	$\hat{\epsilon}$	310	310	300	325	305	310		310	
	$\hat{\sigma}$	655	655	635	680	640	655		655	
	$\hat{\epsilon}$	310	310	300	325	305	310		310	
	$\hat{\sigma}$	655	655	635	680	640	655		655	
σ_{minim}		595	595	530	580	530	555		565	
σ_{maxim}		1905	1895	1800	1940	1810	1875		1895	
Coef. asimetrie $r = \frac{\sigma_{\text{min}}}{\sigma_{\text{max}}}$		0,312	0,314	0,295	0,295	0,293	0,297		0,308	$r_{\text{med}} = 0,3$

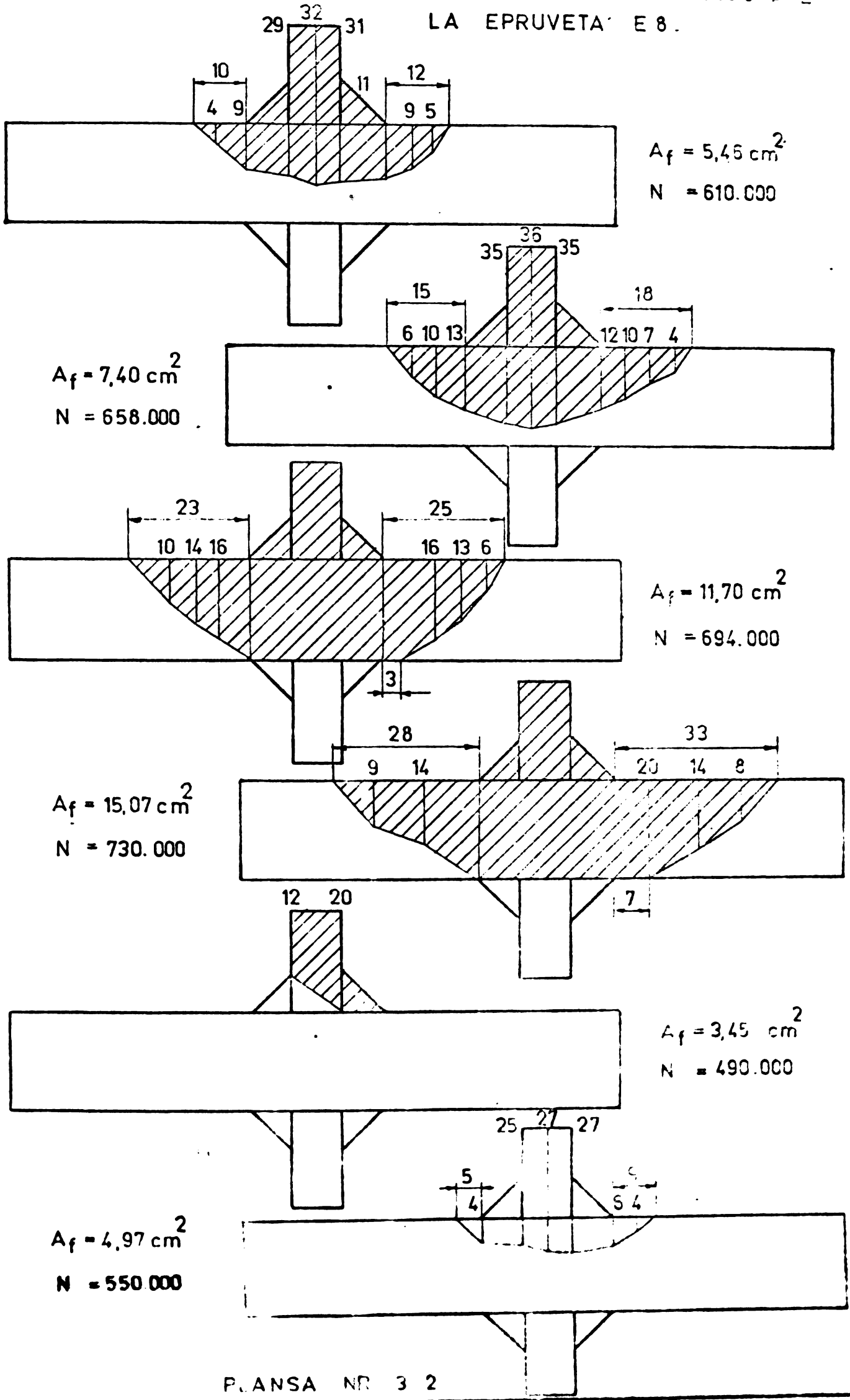
3. APARATURA PENTRU TENSOMETRIE

a. timbre tensometrice : tip SM 120 - MIKROTECHNA PRAHA

b. cutie de comutație RFT STEUERGERAT SG 151 TIP 12001

c. punte : RFT UNIVERSALMESSEINRICHTUNG UM 111

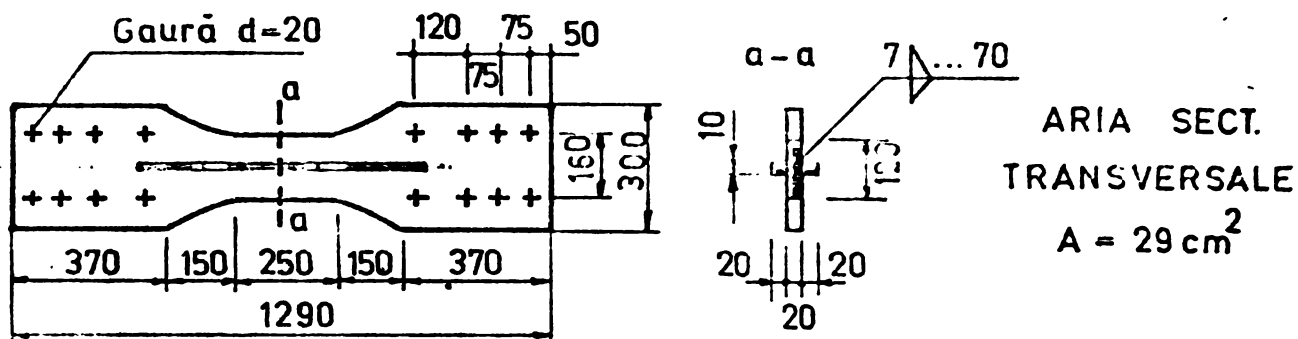
EVOLUTIA ARIE SECTIUNII TRANSVERSALE FISURATE LA EPRUVETA E 8.



PLANSA NR 3 2

INCERCAREA LA OBOSEALA SUB EFORT AXIAL A EPRUVETEI E11

1. FORMA SI DIMENSIUNILE EPRUVETEI



2. MĂSURAREA TENSOMETRICĂ A EFORTURILOR UNITARE daN/cm^2

NATURA EFORTULUI		TIMBRUL NR.								DISPUNEREA TIMBRELOR
		1	2	3	4	5	6	7	8	
STATIC	ϵ	600	575	545	N	590	590	550	580	
	σ	1260	1210	1150	U	1240	1240	1160	1220	
DINAMIC	$\hat{\epsilon}$	325	320	320		310	325	305	315	
	$\hat{\sigma}$	680	670	670	A	655	680	640	660	
	$\underline{\epsilon}$	325	320	320		310	325	305	315	
	$\underline{\sigma}$	680	670	670	L	655	680	640	660	
σ_{minim}		580	540	480	U	595	560	520	560	
σ_{maxim}		1940	1880	1820	L	1895	1920	1800	1890	
Coef. asimetrie $r = \sigma_{\text{min}} / \sigma_{\text{max}}$		0,295	0,287	0,267	R A T	0,314	0,292	0,289	0,296	$r_{\text{med}} = 0.3$

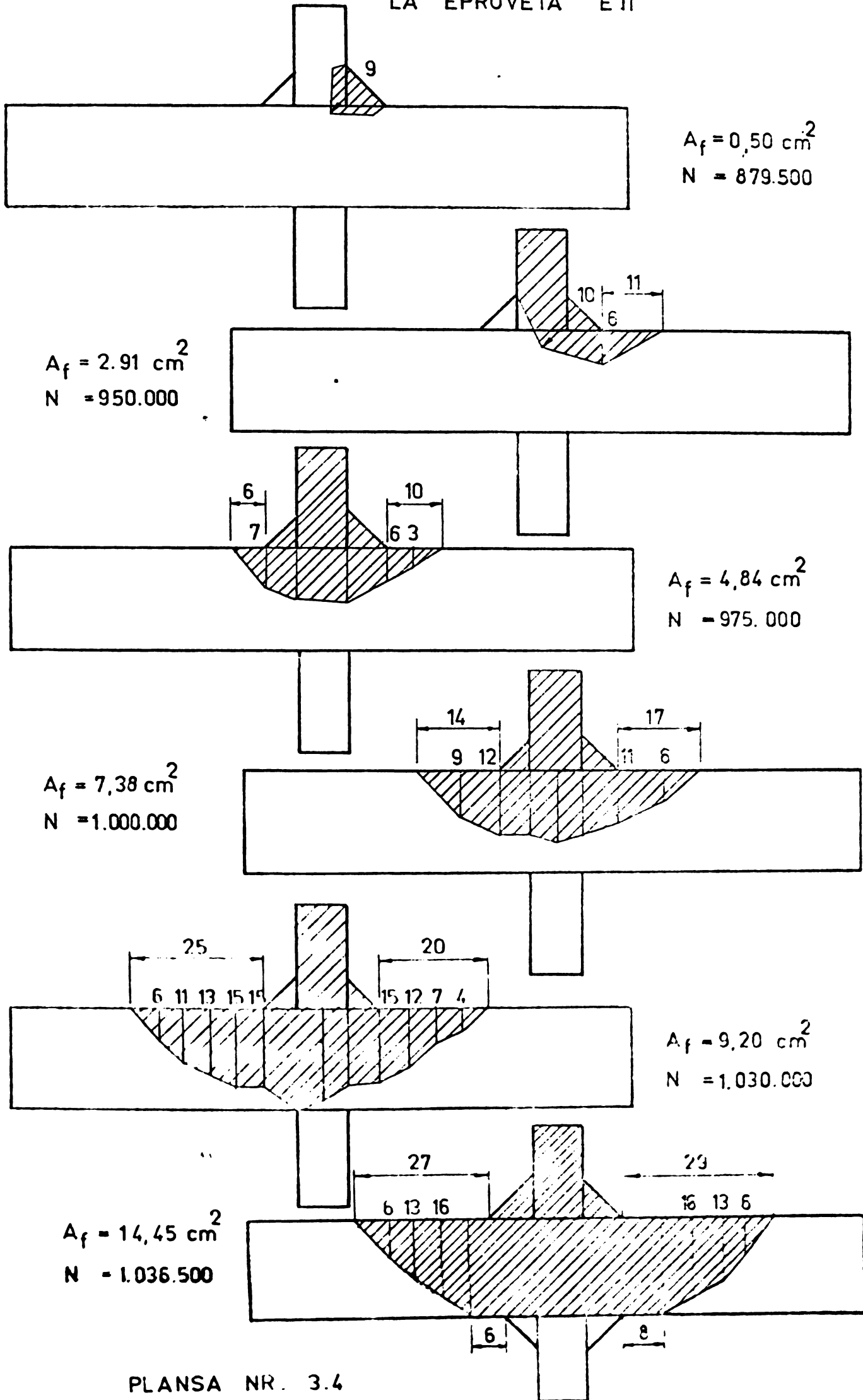
3. CARACTERISTICI MECANICE

- a. frecvența $n = 200$ cicli/minut
- b. durabilitate $N = 1039.000$ cicli
- c. frecvența proprie a mașinii $n_0 = 400$ cicli/minut

PLAȘA NR. 33

32

EVOLUTIA ARIEI SECTIUNII TRANSVERSALE FISURATE
LA EPRUVETA E11



PLANSA NR. 3.4

Fiecare epruvetă a fost încercată cu o forță statică axială, a cărei mărime poate fi variată cu gradientul de 30 daN/trecută de încălzire, cu ajutorul dispozitivului din figura 3.21. Acest dispozitiv permite amplificarea încălzirii de pe tija din stânga cu raportul brațelor pârghiei, raport egal cu 6. Epruveta în stare de solicitare se află în câmpul de lumină polarizată a fotoelasticimetrului. Se înregistrează fotografic aspectul epruvetei

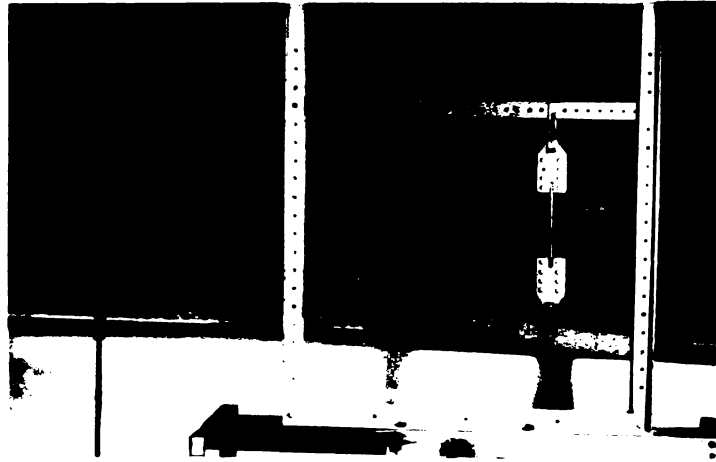


Figura 3.21

Figurile 3.22- 3.24 permit compararea la treapta de încălzire zero a epruvetei A (cu nervuri lipite) cu epruvetele B, (cu nervuri sudate). Ultimele epruvete înregistrează tensiunile reziduale introduse la sudare în zona centrală prin cele două izostatice dispuse aproape simetric față de axa longitudinală a epruvetei.

S-au confecționat două serii de epruvete cu nervuri sudate :

- seria B la care nervurile au fost sudate cu aer cald la 120°C .
- seria C la care nervurile au fost sudate cu aer cald la 150°C .

În stare de nen încălzire se observă calitativ pe cele două epruvete din figurile 3.23 și 3.24 liniștea diferită a sondei influențată tonic proporțională cu temperatura arcului de sudare.

Determinarea diagramei tensiunilor reziduale din epruveta tip B s-a trasat prin procedoul similitudinii. Astfel s-a încercat treptat epruveta de tip B încălzindu-se ordinea de apariție a izostaticilor. Apoi au fost identificate izostaticile din epruveta tip B și s-a trasat epura tensiunilor reziduale înregistrată în figura 3.25.-

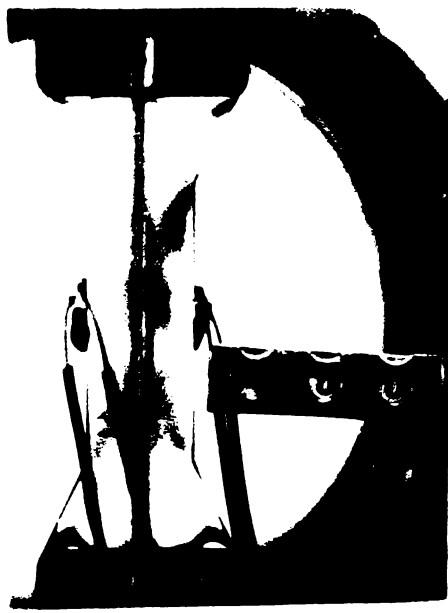


Figura 3.22



Figura 3.23



Figura 3.24

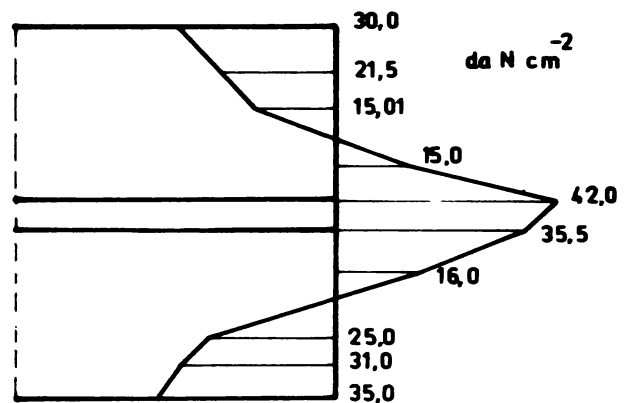


Figura 3.25

La încărcarea axială, de 100 daN a fiecărei epruvete aspectul calitativ al fenomenului tensiunilor rezanante se păstrează așa cum o dovedește figurile 3.26 - 3.28.-

Obiectivul urmărit este conlucrarea tensiunilor reziduale cu tensiunile de serviciu. De aceea s-a efectuat înregistrarea aspectului epruvetei tip B la fiecare treaptă de încărcare ilustrat prin figurile 3.29 + 3.36. Prin schimbarea locului în imagine a celor două izostatice din sudare paralele cu axa în figurile 3.29 - 3.33 și apoi prin modificarea aspectului lor în figurile 3.34 - 3.36 se confirmă calitativ cooperarea celor două feluri de tensiuni.

Figurile 3.37 - 3.39 ilustrează conlucrarea tensiunilor pentru epruveta tip C cu o diagramă de tensiuni reziduale mai puțin pronunțate.-

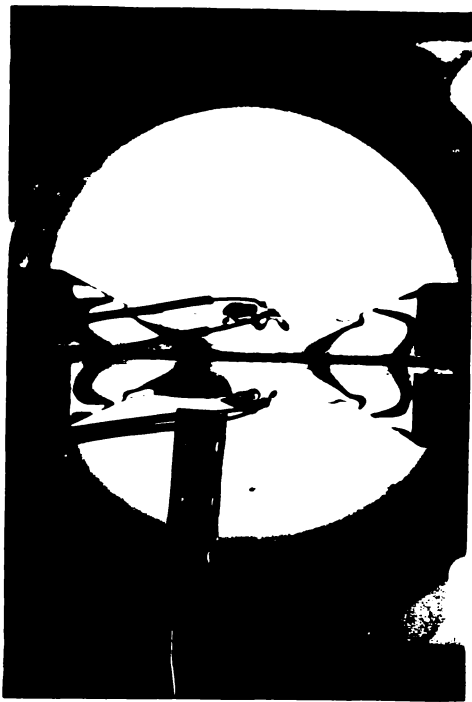


Figura 3.26



Figura 3.27

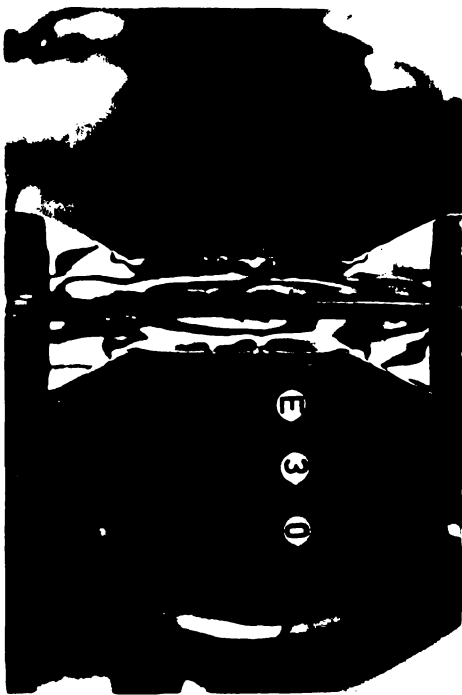


Figura 3.28



Figura 3.29

Pentru a stabili fidelitatea materialului -analizat față de starea reală a eforturilor unitare, ecranele au fost echipate cu țesături geometrice tip SF-120, $n=1,00$. Microtehnica strain. concomitent cu urmărirea izostaticilor s-a efectuat determinarea tangențială a eforturilor unitare prin intermediul unei punți Wheatstone-ului III.

În extras din aceste măsurători îl constituie tabelul 3.1.-

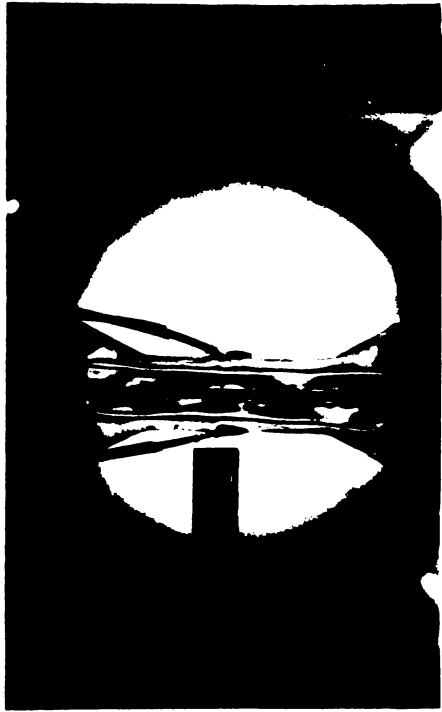


Figura 3.30

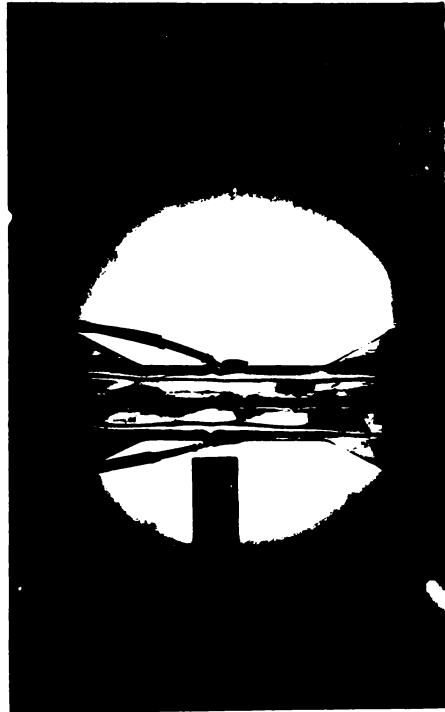


Figura 3.31



Figura 3.32.



Figura 3.33

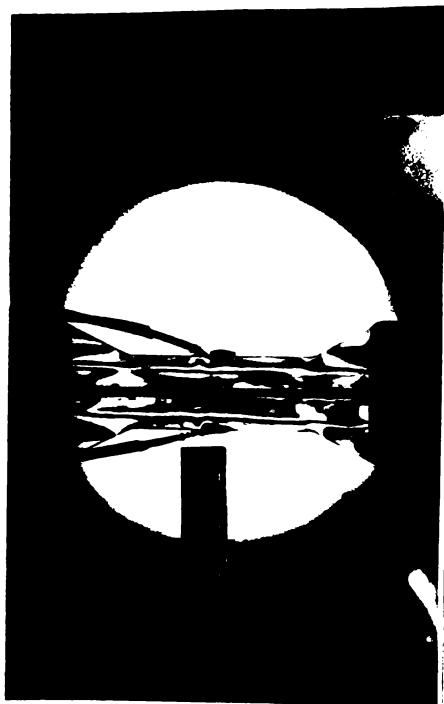


Figura 3.34



Figura 3.35.

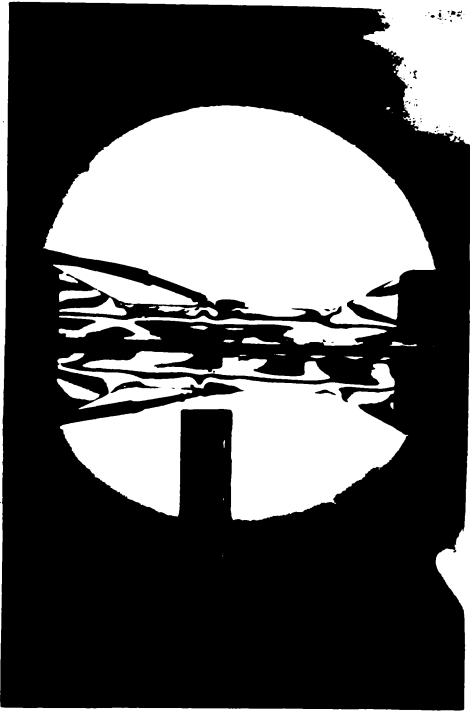


Figura 3.36

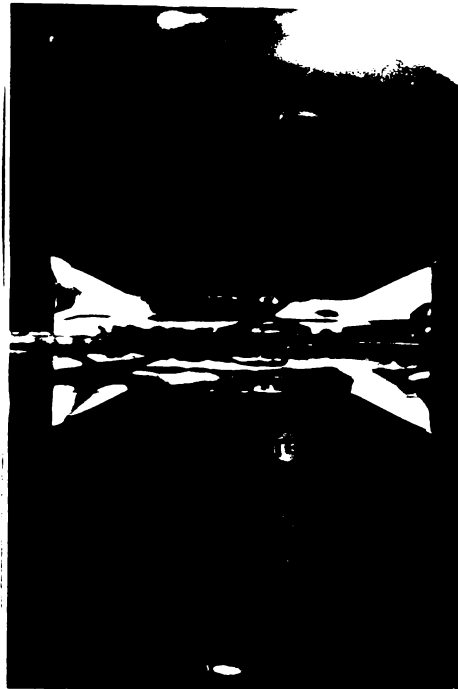


Figura 3.37

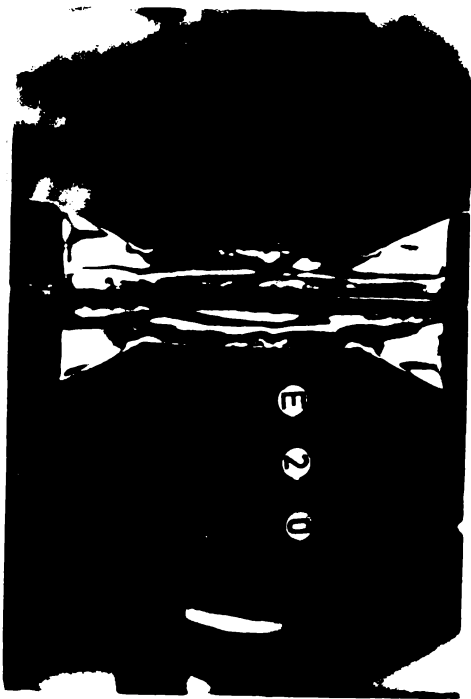


Figura 3.38



Figura 3.39

Din tabel se desprinde concluzia : în domeniul eforturilor unitare mici tensiunile măsurate corespund foarte bine celor reale. Cu cât eforturile unitare cresc, măsurătarea arată eforturi unitare mai mici decât cele reale, ceea ce se explică prin elasticitatea limitată a aralditului.

Privind epruvetele iradiate cu lumină polarizată în zona senzorilor tensometrici se constată tensiuni rezanente introduse la lipirea extremităților timbrului de firele conductoare.-

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
INDUSTRIA CENTRALĂ

Eforturi măsurate și eforturi calculate în daN/cm² la diferite epruvete.

Tabelul 3.1.

Epruveta de tip :	Caracteristica	INCARCARE AXIALA daN						
		30	45	60	75	90	120	150
"B" A=2,76 cm ²	ε	445	645	810	1000	1190	1590	1920
	σ măs.	120,0	174,0	218,0	270,0	322,0	430,0	520,0
	σ calc.	124,3	186,5	248,5	311,0	373,0	497,0	622,0
	ε	480	675	875	1090	1300	1700	2150
	σ măs.	129,0	184,0	236,0	294,0	350,0	460,0	580,0
	σ calc.	124,3	186,5	248,5	311,0	373,0	497,0	622,0
"B" A=2,76 cm ²	ε	320	545	640	820	1000	1300	1600
	σ măs.	86,5	147,0	172,5	221,0	270,0	350,0	432,0
	σ calc.	108,5	163,0	217,0	272,0	326,0	435,0	545,0
"A" A=2,4 cm ²	ε	405	590	805	995	1160	1525	1890
	σ măs.	109,2	159,0	217,0	268,5	313,0	412,0	510,0
	σ calc.	125	187,5	250,0	312,0	375,0	500	625,0

Așadar, în urma procesului de sudare în ansamblul pieselor sudate se introduc tensiuni remanente. Ele pot fi de întindere ori de compresiune. În ansamblu pe secțiunea transversală se echilibrează.

Tensiunile remanente rezultate din sudare depind de mai mulți factori printre care și diferența de temperatură între arcul termic și mediul ambiant.

3.9. TENSIUNI REMANENTE INDUSE PRIN SUDARE ÎN EPRUVETA DIN OTEL

Pentru obținerea spectrului tensiunilor reziduale dintr-o secțiune transversală s-a folosit o metodă distructivă.

Pe epruvetele netestate s-au trasat în aceleași secțiuni transversale șiruri de repere. Distanța dintre șiruri era de oca. 20 mm, distanța între repere, pe șir de 5 mm. S-a măsurat distanța între reperele situate pe aceeași fibră longitudinală a epruvetei, înainte și după extragerea din epruvetă a eșantionului de lățime 25 mm, figura 3.40. Măsurătoarea s-a efectuat cu extensometrul Karl Mohr cu o precizie de 1 mm/1000. S-a calculat tensiunile reziduale

induse prin sudare pentru fiecare față ca și prismul acestor tensiuni pe secțiunea transversală, figura 3.41 presupunând o variație liniară pe grosime.

În mod similar s-a procedat la determinarea tensiunilor reziduale în epruvete rupte în urma acțiunii sarcinii de oboseală. Secțiunea, de unde s-a făcut extragerea eșantionului, s-a ales într-o zonă suficient de îndepărtată de locul cedării, cea 300 mm.

Figura 3.42 reprezintă distribuția tensiunilor reziduale induse prin sudare pe cele două fețe ale epruvetei și prismul acestor tensiuni pe secțiunea transversală în accepțiunea variației liniare pe grosimea epruvetei a tensiunilor remanente pentru o epruvetă ruptă la oboseală.

Calculul tensiunilor remanente s-a efectuat în tabelul 3.2.

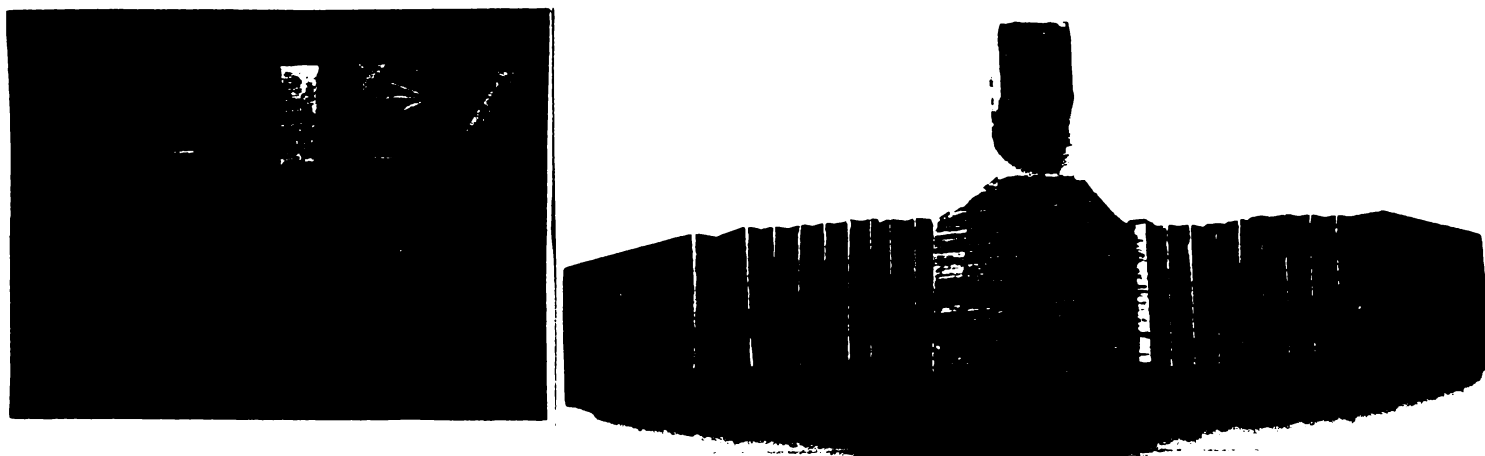


Figura 3.40

Constatările sînt de natură cantitativă și calitativă. Ele rezultă din tabelul, măsurătorilor cit și din figurile 3.41 și 3.42 pot fi formulate după cum urmează :

- în secțiunea transversală a epruvetei se manifestă tensiuni remanente induse prin sudare.
- în zona centrală a epruvetei (lângă cordoanele de sudură) se exercită tensiuni remanente de întindere iar spre margini tensiuni de compresiune.
- volumul prismului tensiunilor remanente de întindere echilibrează volumul prismelor tensiunilor remanente de compresiune în aceeași secțiune transversală.
- distribuția tensiunilor remanente înregistrează diagrame diferite calitativ și cantitativ pe cele două fețe pe care s-a practicat măsurarea deformațiilor.

Aceasta este o consecință a executării succesive a celor 4 cordoane de sudură de către același muncitor.

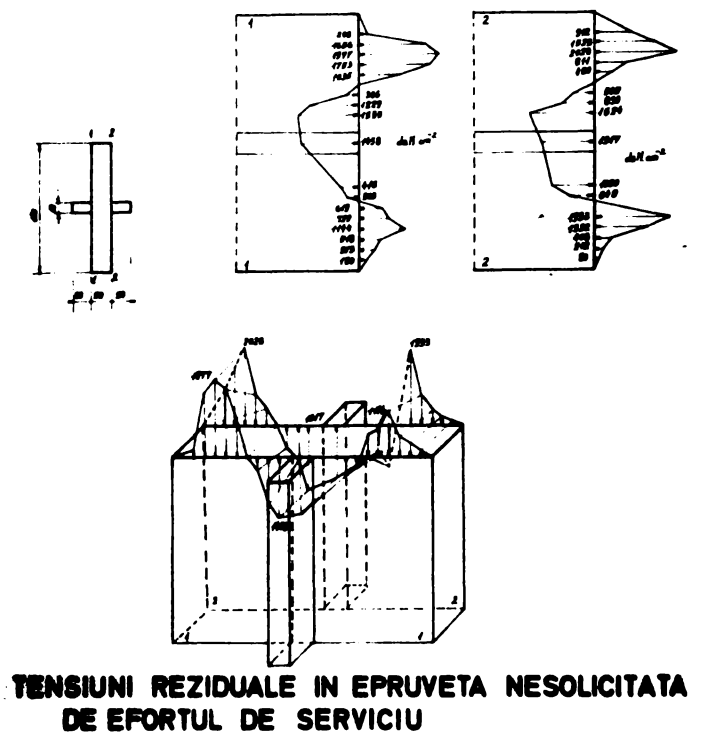


Figura 3.41.

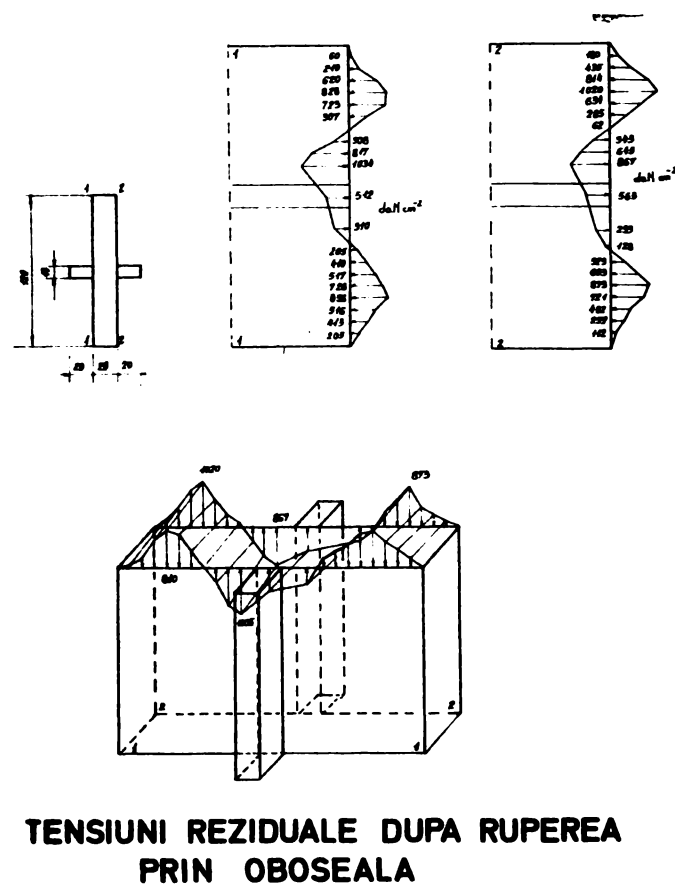


Figura 3.42

Valorile tensiunilor reziduale din zona centrală a epruvetei ar putea constitui un indiciu al ordinii de executare a cordoanelor. Introducerea unui cordon de sudură executat, în câmpul terțio al

al unui cordon vecin în faza de execuție conduce la modificarea valorilor tensiunilor reziduale induse la executarea primului cordon.

Pentru epruveta supusă oboselii consolaziile se suplinesc - tează cu :

- încălzirea de serviciu nu modifică calitativ aspectul topografic al primului tensiunilor reziduale.

- diagramele tensiunilor remanente pentru cele două fețe prezintă virfuri (convexități) și înfrîduri (concavități) mai lise. Aceasta conduce în ipoteza că efectul cumulativ al încălzirii de serviciu cu tensiunile remanente se concretizează în uniformizarea tensiunilor reziduale în urma fenomenului de curgere locală.

3.10. EPRUVETE DIN OTEL CU 2 CORDOANE DE SUDURĂ LONGITUDINALE

3.10.1 EPRUVETA

Pentru a mări influența clară și singulară a tensiunilor remanente induse prin sudare asupra fenomenului de oboseală au fost supuse încercării de oboseală descrise în paragraful 3.5 epruvete din același material - tablă groasă de 20 mm, OL- 37-2K cu secțiune variabilă fără nervuri, figura 3.43

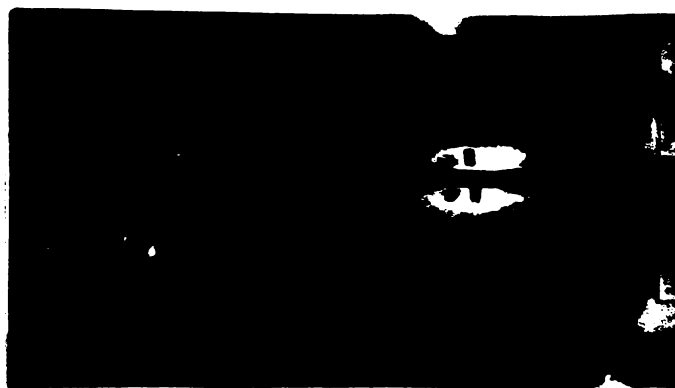


Figura 3.43.

Pe axul longitudinal al epruvetei pe ambele fețe, s-a executat simultan câte un cordon de sudură folosind aceeași electrozi, aceeași viteză de înaintare și aceeași parametri ai curentului electric.

3.10.2. TENSIUNI REZIDUALE INDUSE LA SUDURĂ

Tipul de epruveta prezentat în figura 3.43 (3.8) are o rigiditate mică întrucât la tendința de deformație plastică în compresie cu epruveta cu nervuri figura 3.7. Execuția simultană a cordoanelor de sudură are ca scop obținerea unui spectru de tensiuni remanente cu aluzii asemănătoare (dar nu identice) pe fețe-

TABELUL MANIPULATORILOR CENTRULI DE TERENURI
TERMINIULUI REANANSEI

Tabelul 3.2.

Po- ta	Anul repe- re.	STATIONA 1000000A				STATIONA BASINA 033.			
		Plan- la	Infla- ala	Δ	day/ cm ²	Plan- la	Infla- la	Δ	day/ cm ²
1-1	1	123	121	2	-208	690	688	2	- 210
	2	266	282	16	-1656	320	314	6	- 620
	3	157	176	19	-1977	290	282	8	- 820
	4	340	357	27	-1753	342	335	7	- 723
	5	283	293	10	-1035	483	480	3	- 307
	6	425	425	0	0	730	730	0	0
	7	540	543	3	306	433	430	3	308
	8	490	502	12	1229	551	543	8	817
	9	525	510	15	1535	292	302	10	1034
	10	170	156	14	1450	502	507	5	512
	11	-	-	-	-	330	333	3	310
	12	145	149	4	416	472	470	2	-205
	13	184	187	3	303	480	476	4	- 410
	14	330	336	6	- 619	293	288	5	- 517
	15	144	151	7	- 729	240	233	7	- 726
	16	181	192	11	-1144	102	94	8	- 836
	17	247	242	5	- 518	333	320	5	- 516
	18	263	260	3	- 373	339	335	4	- 413
	19	232	230	2	- 180	424	422	2	- 205
2-2	20	713	722	9	- 912	143	139	4	- 417
	21	633	670	15	-1523	701	693	8	- 811
	22	604	704	20	-2020	690	688	10	-1015
	23	704	712	8	- 811	739	733	6	- 607
	24	716	712	4	- 430	764	762	2	- 202
	25	760	760	0	0	763	762	1	- 101
	26	808	593	5	509	327	330	3	309
	27	238	239	8	830	483	483	6	614
	28	492	513	15	1624	424	432	8	822
	29	323	330	8	1317	661	665	4	406
	30	-	-	-	-	555	558	3	306
	31	569	540	26	1050	525	526	1	102
	32	490	514	16	649	614	611	3	305
	33	496	496	0	0	800	734	6	- 605
	34	619	638	19	-1933	881	803	8	- 807
	35	662	675	13	-1322	701	694	7	- 710
	36	618	614	4	- 408	763	753	4	- 404
	37	514	515	1	- 212	739	736	3	- 303
	38	608	607	1	- 30	698	697	1	- 101

le principale ale epruvetei și a unui prism de tensiuni reziduale fără vîrfuri tensionale sau cu ele mai diminuate.

Determinarea experimentală a tensiunilor reziduale în aceste epruvete a confirmat prezumțiile de mai sus, ilustrate în figura 3.44 care reprezintă diagramele de tensiuni reziduale datorită sudării pe fețele 1-1 și 2-2 ale epruvetei ca și prismul acestor tensiuni la o epruvetă netestată la oboseală. Cu toată grija manifestată la aplicarea cordonelor de sudură, în regiunea cordonului și în zona influențată termic se manifestă tensiuni reziduale de valori ridicate.

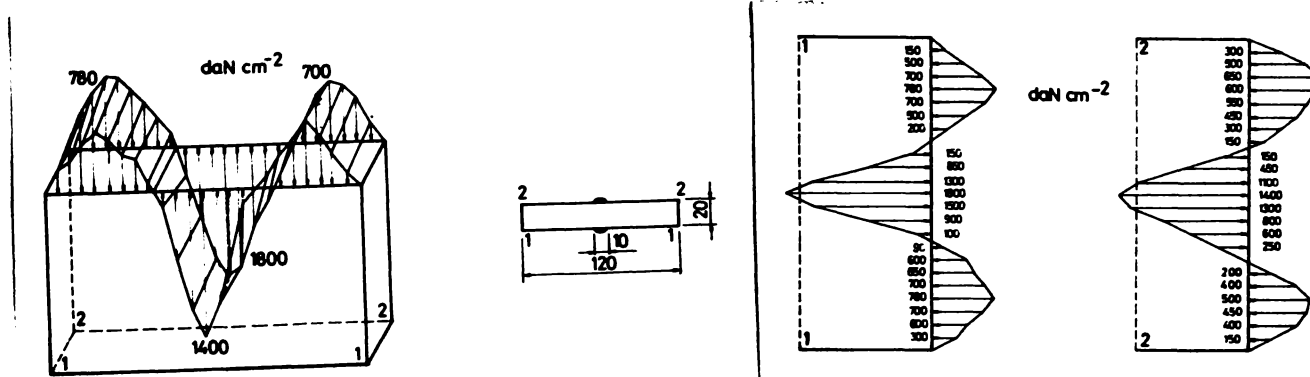


Figura 3.44

După ruperea la oboseală a unui astfel de epruvete prismul și diagramele tensiunilor remanente se prezintă cu valori diminuate și vîrfuri tensionale "tocite". În urma fenomenului de curgere locală datorate însumării acestor tensiuni cu tensiunile din încărcarea dinamică figura 3.45, are loc consumarea prin deformare plastică a vîrfurilor tensionale.

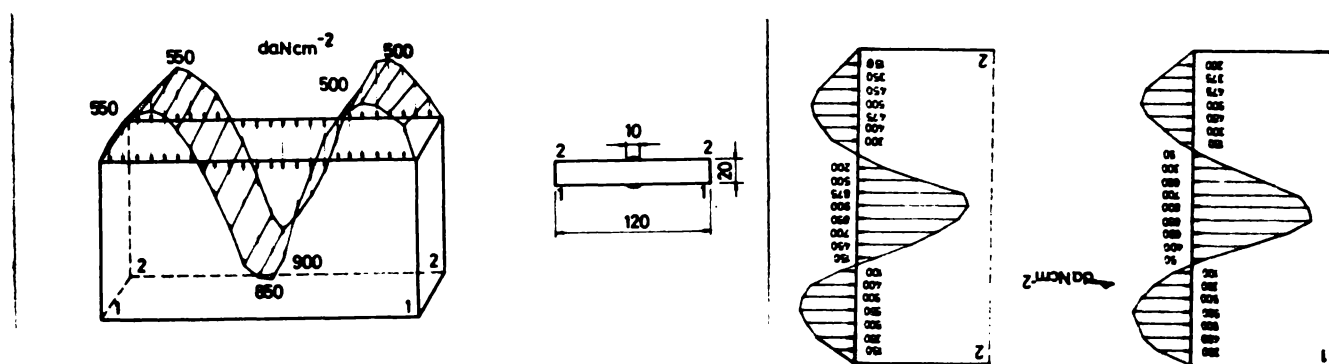


Figura 3.45.

3.10.3. FISURAREA

În cadrul încercării la oboseală, epruveta constituie talză întinsă a grinzii cu zăbrele din figura 3.2. Efortul axial din ea conduce la o diagramă cu o distribuție uniformă pe secțiunea transversală. Însumarea diagramelor de tensiuni :

din încărcarea dinamică și din procesul de sudare păstrează valorile maxime în aceleași puncte. Cu alte cuvinte, tensiunea maximă se va exercita în aceleași fibre în care există tensiunea reziduală maximă.

Din motive de tensiune rezultantă maximă și de schimbare a calităților oțelului în zona influențată termic se poate postula nuclearea fisurii de oboseală în această regiune.

Fenomenul real confirmă supoziția de mai sus. Astfel figura 3.46 prezintă o fisură care s-a dezvoltat numai în cordonul de sudură și în zona influențată termic. Mai mult, epruveta conține de-a lungul ambelor cordoane de sudură mai multe fisuri de lungimi diferite figura 3.46.

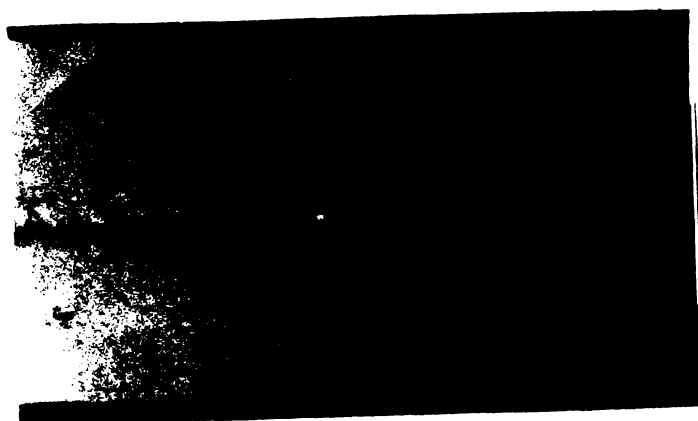


Figura 3.46.

Justificarea prezentei acestor fisuri este următoarea: În timpul aplicării încărcării dinamice, în fiecare secțiune transversală are loc însumarea celor două diagrame de tensiuni. Deci de-a lungul cordoanelor și în zonele adiacente există secțiuni cu vârfuri tensiionale. În concluzie sînt numeroase locuri de nucleare simultană a fisurilor de oboseală. Aceste fisuri se dezvoltă, devin vizibile și progresează în interiorul epruvetei. Dintre ele însă numai una este aceea care întîlnește material "mai slab" și avansează în raport cu celelalte. Această fisură slăbește secțiunea activă a epruvetei și o face să capoteze.

Dezvoltarea celorlalte fisuri este simultană cu aceea de rupere deoarece în fiecare secțiune transversală efortul axial dinamic este același.

3.10.4. ASPECTE ALE RUPTURII PRIN OBOSEALĂ

Fenomenul oboselei oțelului comentat în paragrafele 3.6., 3.10.3. se produce și la aceste epruvete. Astfel nuclearea fisurii în zona cordonului de sudură ilustrat prin regiunea polizată a epruvetei din planșa numărul 3.5. propagarea fisurii prin arce de elipsă

din aceeași figură și în sfârșit ruperea prin decoeziune sînt aspecte ale fenomenului ruperii prin oboseală la efort axial pentru această variantă a epruvetei.

3.11. EPRUVETE LISE

Epruvetele lise au constituit repere de comparație în cadrul încercărilor de oboseală. S-au confecționat cîte 3 serii de asemenea epruvete avînd aria secțiunii transversale 25 cm^2 , 29 cm^2 și 31 cm^2 . Fiecare serie a avut 3 epruvete identice.

Supuse efortului axial variabil sub coeficientul de asimetrie + 0,3 epruvetele au avut o comportare asemănătoare între ele. Figura A PORNIȚ DE LA UNA DIN MARGINILE EPRUVETEI - nu din centru. Figura s-a dezvoltat la suprafața epruvetei și în grosimea ei. Cînd secțiunea activă a atins limita de curgere - epruveta s-a alungit considerabil și procesul oboselei a fost oprit.

Privită în detaliu suprafața secțiunii de capotare se constată zona lustruită prin oboseală și zona de decoziune. Aceste aspecte sînt ușor identificabile în planșele numărul 3.6., 3.7., 3.8.-

Durata funcționării acestor epruvete este redată în curbele de durabilitate din figura 4.5.-

IV. COMENTAREA REZULTATELOR EXPERIMENTALE

4.1. LOCUL DE APARIȚIE A FISURII DE OBOSEALA

În timpul solicitărilor repetate a epruvetelor are loc suprapunerea tensiunilor de serviciu peste tensiunile rezonante induse prin sudarea nervurilor. Tensiunile de serviciu sînt de întindere și cu o repartiție liniară uneori uniformă pe secțiunea transversală.

În urma procesului de sudare în epruvetă apare un spectru de tensiuni reziduale neuniforme avînd în partea centrală tensiuni de întindere iar în părțile periferice tensiuni de compresiune. Suprapunerea celor două spectre de tensiuni se face algebric și conduce la vîrfuri tensionale de întindere în zona centrală - zona influenței termice - și tensiuni de întindere cu valori diminuate la periferia epruvetei. Așa dar în zona influențată termic meleză și apare fisura de oboseală datorită efortului unitar de valoare ridicată cît și datorită probabilității mult mai mare de a întîlni în această zonă un defect metalografic de structură.

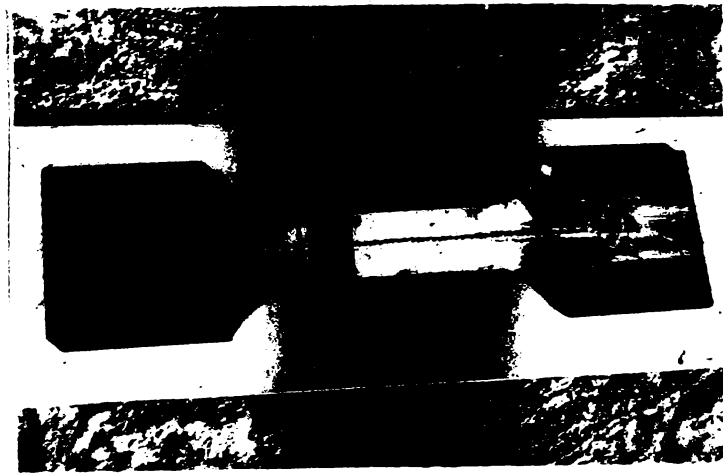
Plangele numărul 4.1., 4.2. ilustrează nașterea fisurii de oboseală în zona influențată termic la epruveta F7 și dezvoltarea ei spre marginile epruvetei în diferite faze de evoluție. De asemenea planga numărul 4.3. prezintă fisuri la epruvetele F9 și F 13 care au avut aceeași zonă de plecare.

Planga numărul 4.4. reprezintă secțiunile transversale în care a avut loc ruperea de oboseală. Aceste secțiuni consemnează originea de meleză și dezvoltarea fisurii de oboseală prin centrul liniilor de rupere situate în zona influențată termic la epruvetele F4 și respectiv F 7, F8.-

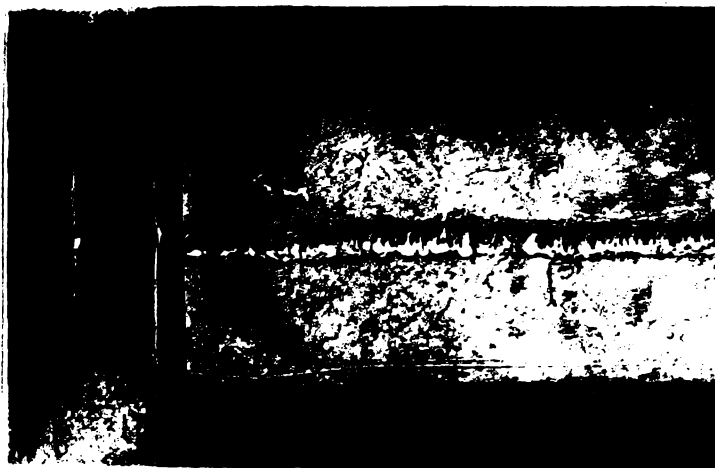
Aceste două genuri de mărturii care sînt ilustrate la majoritatea epruvetelor atestă afirmația de mai sus.-

4.2. MOMENTUL OBSERVĂRII FISURII DE OBOSEALA

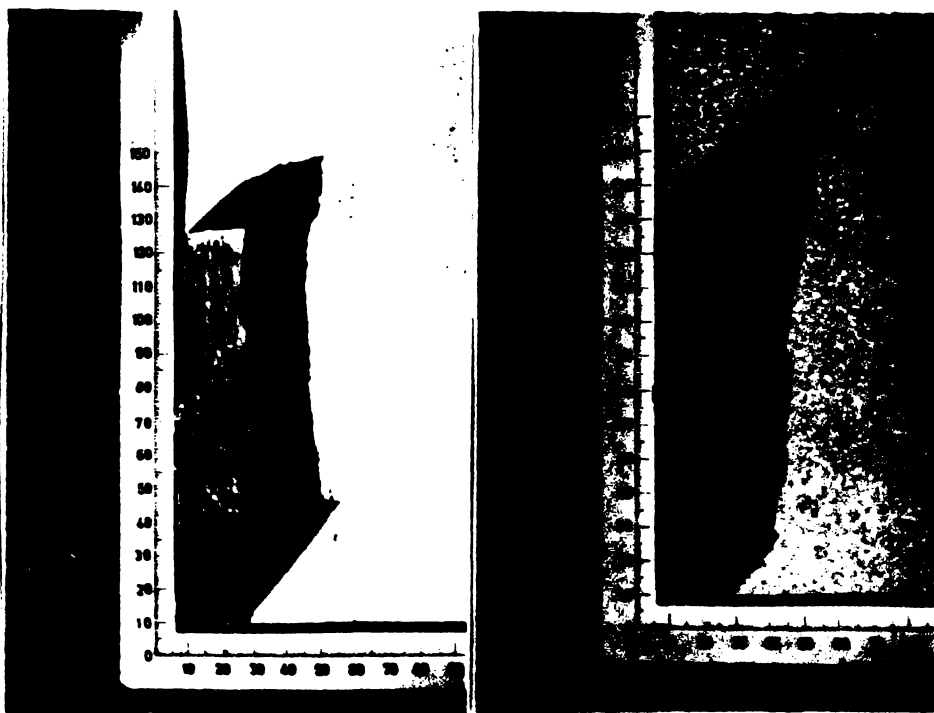
Pe parcursul experimentului fiecare epruvetă a fost supusă observării atente în vederea precizării momentului, apariției fisurii de oboseală. Observarea s-a făcut cu ochiul liber și cu lupa (putere de mărire 2,5 ori) ceea ce corespunde posibilităților practice de detectare a unei fisurii.



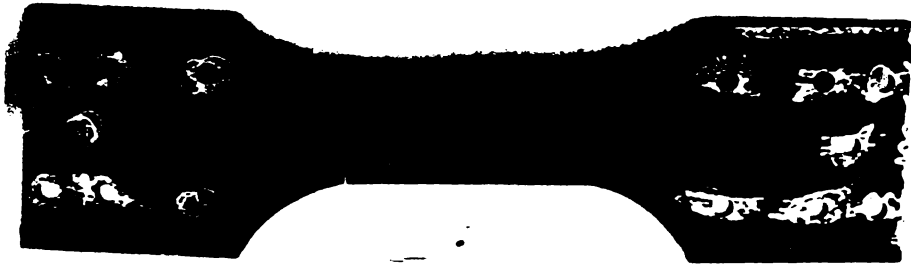
Încercare de rupere a barei cu cordeane longitudinale.
- după ruperea de oboseală.



Figuri în cordorul de sudură



Secțiuni rezultate
din capotarea la
oboseală.



eproveta lisa r.1. (25 cm²)
 - după cearea la oboseală



Detaliul figurii de rupere la oboseală al
 epravei lise r.1.

F I L M I T I Nr. 3.6.



eproveta lign 1.2. (29 cm²)
- după cedarea la oboseală -



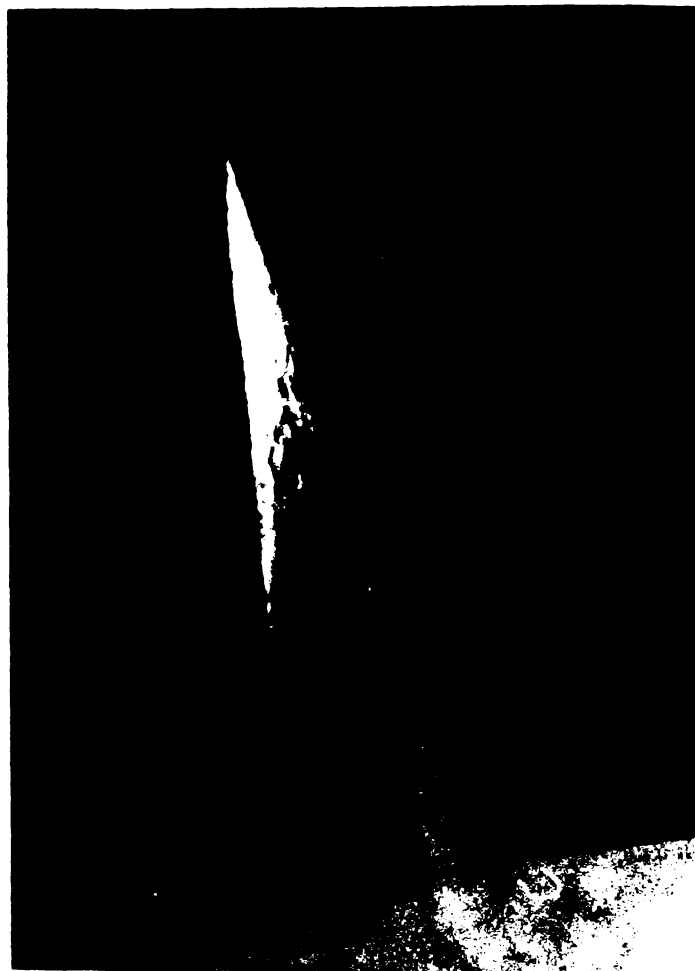
Detaliul fisurii de rupere la oboseală al epruvetei lign

1.2

1 L A H C A M. 3.7.



Epruvetă lise E.3. (31 cm²)
- După cedarea la oboseală -



Detaliul fisurii de rupere la oboseală al epruvetei
lise E.3.

F I A B E A M. 3.8.

Tabelul 4.1. redă în mii de cicluri momentul convențional al observării fisurii N_f , durata de viață D , durata de funcționare în stare fisurată $D - N_f$, toate exprimate în mii de cicluri.

Pentru epruvete din tablă groasă întărite cu nervuri longitudinale sudate, supuse la efort axial variabil de întindere cu un coeficient de asimetrie 0,3 durata funcționării cu secțiunea nefisurată reprezintă circa 84 % din durabilitatea lor.

Dacă se variază mărimea ariei secțiunii transversale deci efortul unitar, cu cât efortul unitar este mai mic cu atât momentul apariției fisurii este mai îndepărtat, cu atât este mai ridicată valoarea raportului N_f / D %. Așadar momentul apariției fisurii variază în sens invers cu variația efortului unitar de pe secțiunea transversală, figura 4.1., deasemenea durata funcționării epruvetei în stare nefisurată, figura 4.2.

Tabelul 4.1.

Epr. Nr.	Seria	A cm ²	N_f	D	D- N_f	N_f/D %	Valori medii			Abaterea							
							\bar{N}_f	\bar{D}	$\overline{D-N_f}$	σ_{N_f}	σ_{D-N_f}						
4	I	29	785	929	144	84,5	894	1080	194	223	225						
5		29	910	1221	311	74,3											
6		29	818	958	140	85,4											
7		29	1232	1418	186	77,8											
8		29	490	730	240	67,1											
9		29	739	915	176	80,8											
10		29	Nu a cedat pînă la $2 \cdot 10^6$														
11		29	879	1039	160	94,6											
12		II	25	473	510	37						92,7	451	570	112	95	140
13			25	395	496	101						79,5					
14	25		485	706	221	63,7											
15	25		278	365	88	76,0											
16	III	31	960	1043	83	92,1	973	1057	86	-	-						
17		31	986	1071	88	92,1											

4.3. DURATA FUNCȚIONĂRII ÎN STARE FISURATĂ

Durata funcționării în stare fisurată a epruvetelor poate fi comentată în termenii analizei statistice după cum urmează :

Pentru cele 3 tipuri de epruvete durata funcționării în stare fisurată se cifrează la circa 16%. La același coeficient de asimetrie, variația mărimei ariei secțiunii transversale a

epruvetei atrage după sine variația în sens contraz a duratei de funcționare în stare fisurată. Astfel la epruvetele de arie 25 cm^2 secțiune transversală - durata funcționării în stare fisurată reprezintă numai 21 % din durata de viață în comparație cu 17% și respectiv 7 % la epruvetele de arie 29 cm^2 și 31 cm^2 .

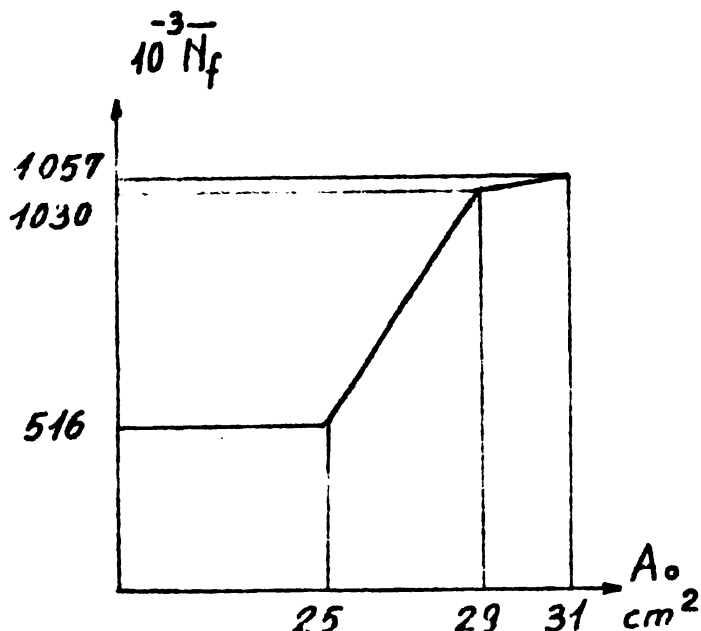


Figura 4.1.

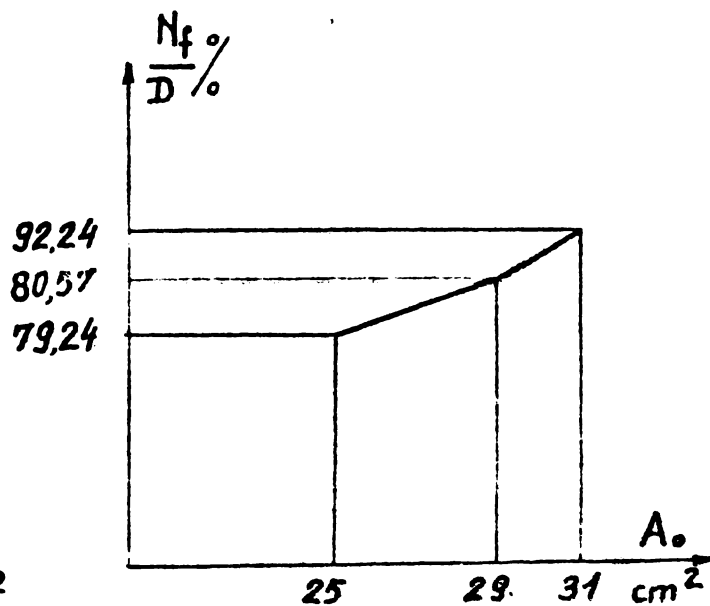


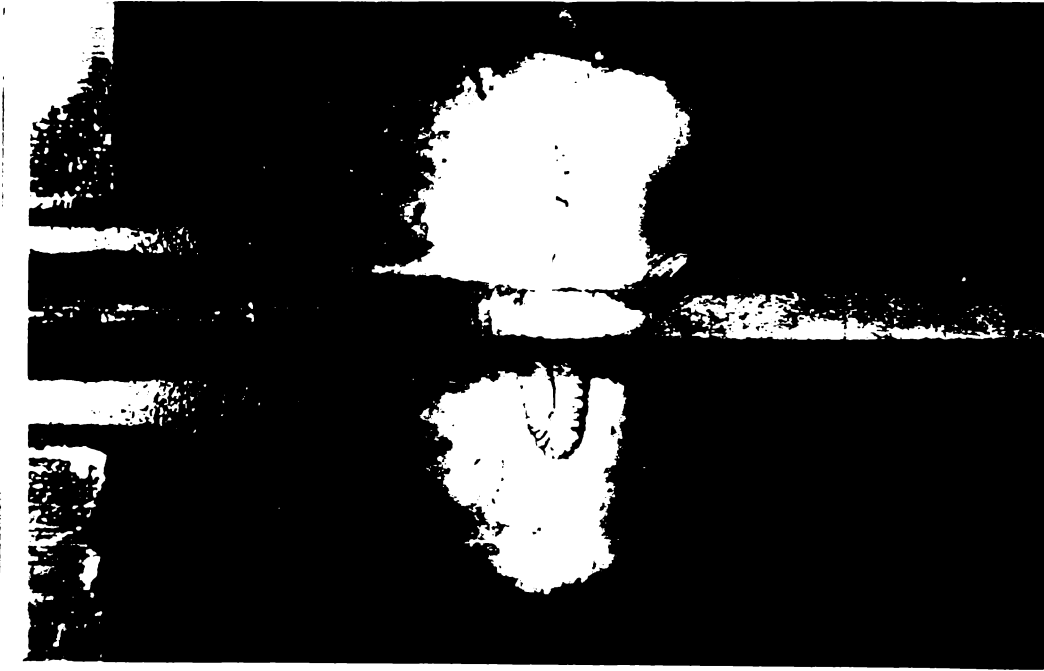
Figura 4.2.

Cu alte cuvinte la un efort unitar mare durata funcționării în stare fisurată se reduce simțitor. Gradientul ariei fisurate are o creștere mare ca urmare a efortului unitar de valoare ridicată.

4.4. VARIATIA MĂRIMII ARIEI FISURATE

Pentru fiecare epruvetă din momentul apariției și detectării fisurii s-a măsurat adâncimea fisurii în diferite locuri de-a lungul ei. Măsurătoarea s-a repetat la diferite intervale de timp. Astfel s-a putut aprecia configurația secțiunii transversale la diferite momente ca și mărimea ariei secțiunii fisurate. Plangele numărul 4.6. ilustrează evoluția secțiunii transversale la epruveta F.7.

Spre exemplificare se detaliază procedura pentru epruveta F.7. Configurația acestei epruvete, mărimea efortului unitar de serviciu cu caracter static și respectiv dinamic sînt reduse în planga numărul 4.5. Apariția fisurii s-a con-



Dezvoltarea fisurii la epraveta 1.7

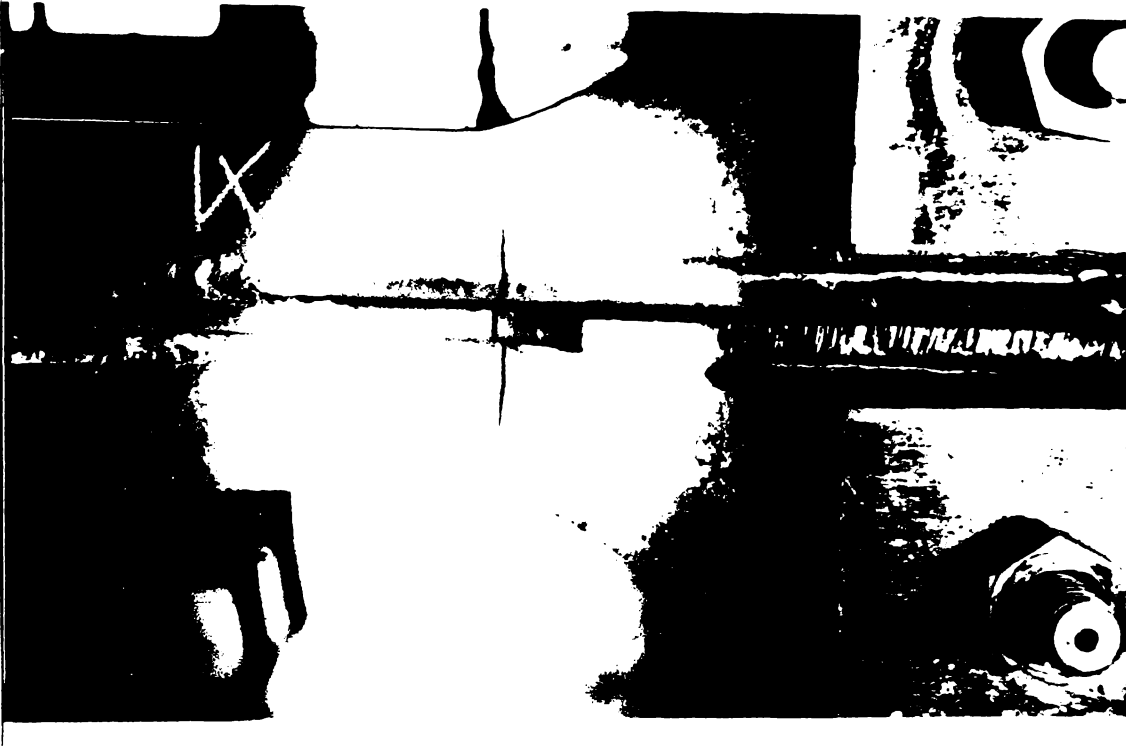
PLANSA Nr. 4.1

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
INDUSTRIA CENTRALĂ



Evoluția fisurii la epraveta D.7.

PLAȘA NR. 4.2.

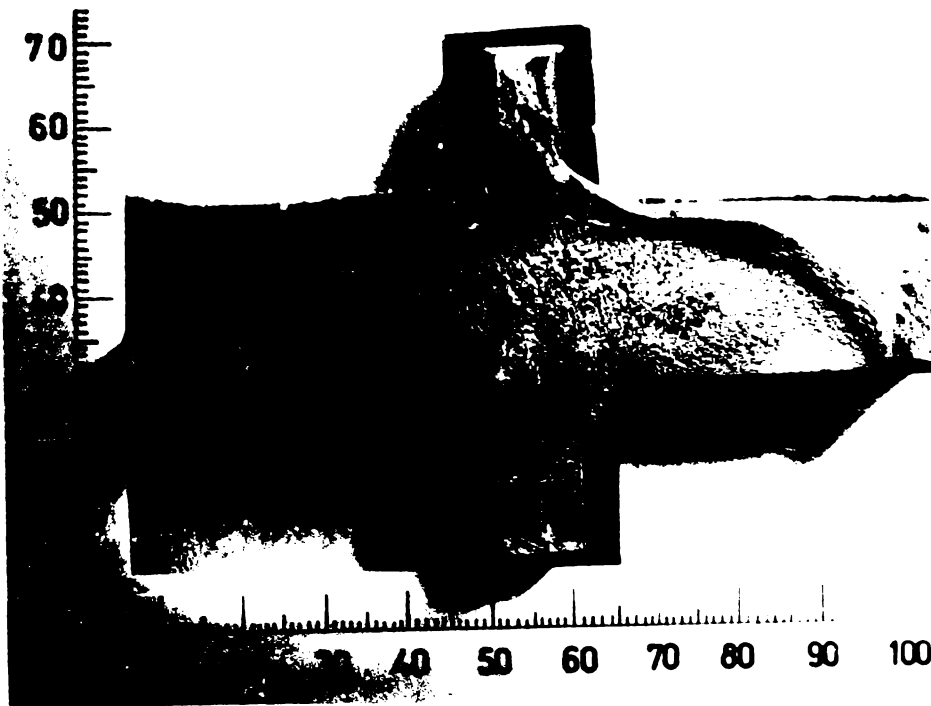


Figură la epruveta E.9



Figură la epruveta E.13 .

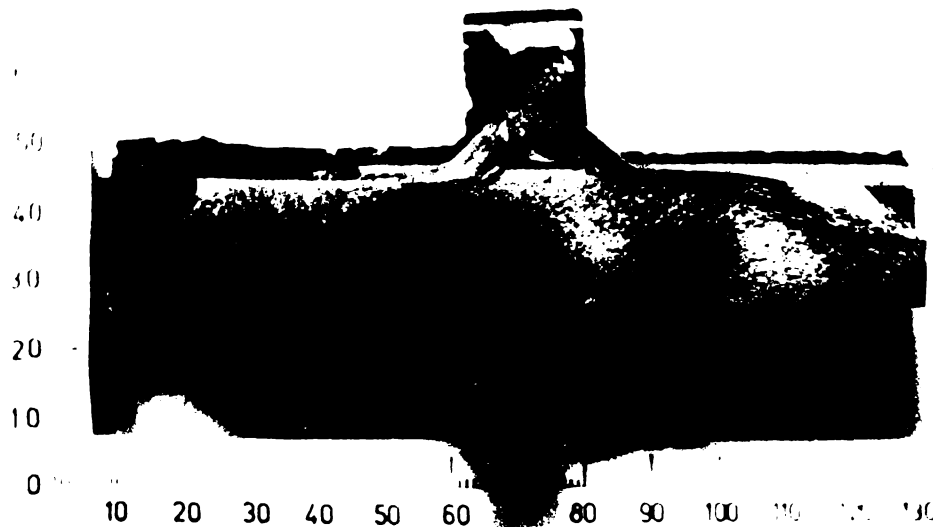
PLAȘA NR 4.3



Epruveta E.4
Secțiune trans-
versală rezultată
din ruperea
prin obosală.



Epruveta E.7
Secțiune trans-
versală rezultată
prin rupere
la obosală.



Epruveta E.8
Secțiune trans-
versală rezultată
prin ruperea la
obosală.

Fig. 4.4

statat după 1232 mii cicluri de aplicare a sarcinii dinamice. La acest moment s-a măsurat : extensiunea fisurii pe suprafața epruvetei și adâncimea fisurii pe acest perimetru. S-a calculat mărimea ariei fisurate circa $2,0 \text{ cm}^2$ și s-a reprezentat configurația secțiunii în care a apărut fisura. În planșa numărul 4.6. primul desen reprezintă cu hașură aria fisurată iar fără hașură aria rămasă activă.

S-a continuat apoi aplicarea sarcinii dinamice. Când contorul de ture a indicat 1354 mii cicluri măgina de încercări la oboseală a fost oprită din nou. S-a măsurat lungimea conturului de suprafață al fisurii și adâncimea ei în diferite puncte. S-a calculat mărimea ariei fisurate de $3,70 \text{ cm}^2$.

Acste operații de măsurare s-au repetat la momente alese întâmplător avind în vedere caracterul aleator al fenomenului . De fiecare dată s-a reprezentat alura secțiunii transversale ieșită din lucru în planșa numărul 4.6. S-au obținut cupluri de valori : mărimea ariei fisurate și numărul ciclurilor la care s-a produs.

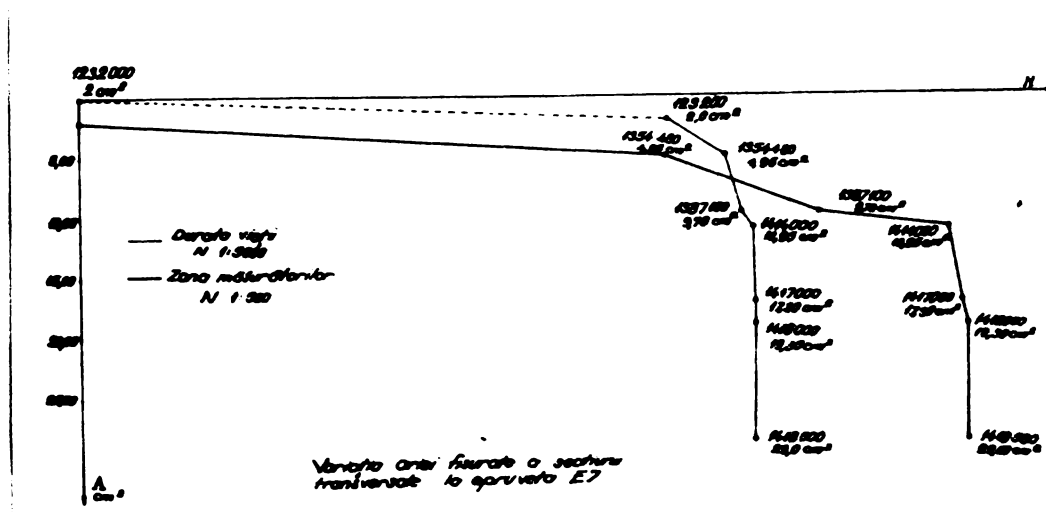


Figura 4.3.

Alegind ca sistem de axe de coordonate : numărul de cicluri a sarcinii dinamice L și mărimea ariei secțiunii transversale fisurate s-a reprezentat variația în timp a mărimii ariei fisurate.-

Intregul proces de degradare cumulativă s-a reprezentat având ca scară 1 : 5000 pentru durata măsurată în cicluri. Experimental a prins valorile din momentul precizat cu calificativul - figură vizibilă n_f - pînă la capotare. Cealaltă latură a domeniului de durabilitate : zero cicluri - momentul apariției fisurii n_f este necunoscută. Segmentul de dreaptă marcat cu o linie punctată în acest domeniu din figura 4.3. corespunde ipotezei de desfășurare liniară a fenomenului cunoscut sub denumirea criteriul Palmgren - Langer - Miner.-

Pentru expresie grafică mai lizibilă s-a retranscris zona măsurărilor la o scară mai mică 1 : 500 pentru numărul de cicluri.

Se constată că această ramură de curbă are o alură exponențială cu o ușoară înrăștiere a datelor experimentale. Evident de aposteriori că traiectoria reală a fenomenului se strecoară printre punctele curbei din figura 4.3. dar alura păstrează epitetul de exponențială.

Fenomenul de oboseală și materialul supus testării sînt caracterizate prin termenul convențional de continuitate. Această investigația este discontinuă. Aceasta înseamnă că arcul de curbă din figura 4.3. se reordează la originea sistemului de axe tot printr-un arc de curbă a cărei alură va trebui precizată folosind o aparatură de investigație mult mai fină.

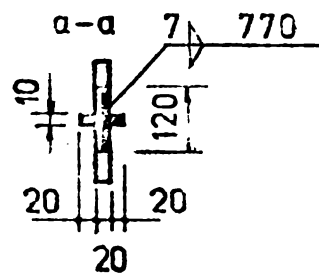
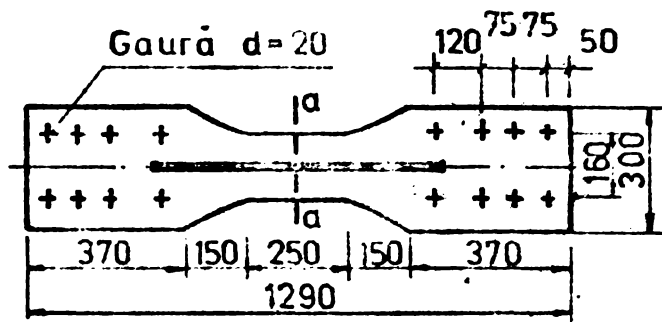
Pentru setul de epruvete supus încercărilor de oboseală variația mărimei arii fisurate la diferite momente s-a exprimat în figurile 1.a, 1.b. planșa numărul 4.7.-

Epruvetele supuse unui efort unitar mai mare fisurează mai devreme, au o durată deviată mai scurtă și lucrează cu secțiunea fisurată o perioadă mai scurtă, exemplul epruvetele F 12 - F 15, figura 1 b, din planșa 4.7.

Cele supuse unui efort unitar mai mic epruvetele F 4 - F 11, F 16, F 17 figurează mai tîrziu, au o durabilitate mult mai mare și funcționează cu secțiunea fisurată o perioadă mai lungă, figura 1 b, planșa 4.7. - Cu alte cuvinte

INCERCAREA LA OBOSEALA SUB EFORT AXIAL A EPRUVETEI E7

1. FORMA SI DIMENSIUNILE EPRUVETEI



ARIA SECT.
TRANSVERSALE
 $A = 29 \text{ cm}^2$

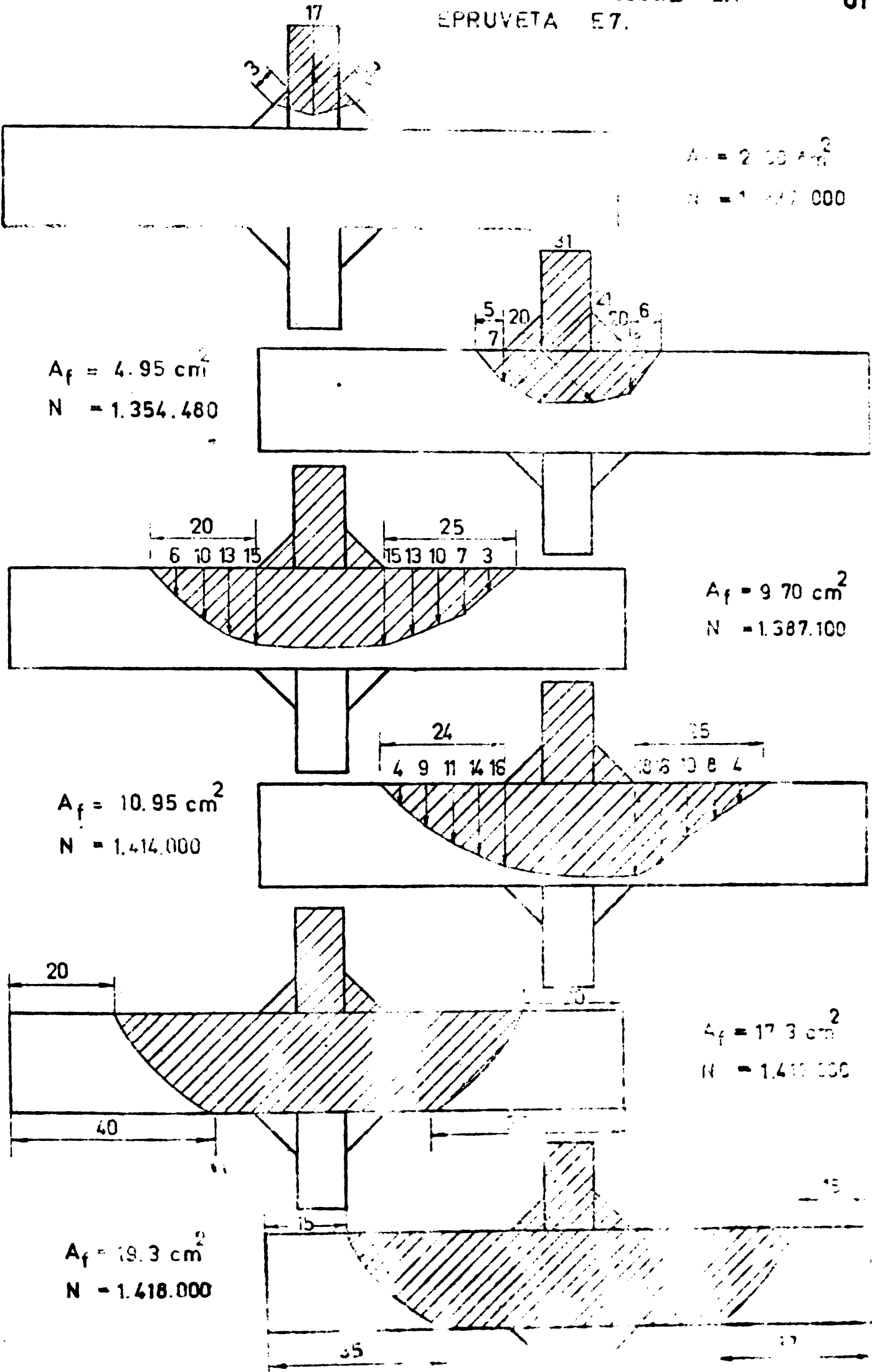
2. MĂSURAREA TENSOMETRICĂ A EFORTURILOR UNITARE daN/cm^2

NATURA EFORTULUI		T I M B R U L N R.								DISPUNEREA TIMBRELOR
		1	2	3	4	5	6	7	8	
STATIC	ϵ	600	590	550	575	600	590	550	575	
	σ	1260	1240	1165	1210	1260	1240	1160	1210	
DINAMIC	$\hat{\epsilon}$	325	310	300	315	325	310	305	310	
	$\hat{\sigma}$	680	655	655	660	680	655	640	655	
	ϵ_{med}	325	310	300	315	325	310	305	310	
	σ_{med}	680	655	635	660	680	655	640	655	
σ_{min}		580	585	530	550	520	595	520	555	
σ_{max}		1940	1895	1800	1870	1940	1865	1800	1865	
Coef. asimetrie $r = \sigma_{\text{min}} / \sigma_{\text{max}}$		0,295	0,308	0,294	0,294	0,295	0,316	0,289	0,297	$r_{\text{med}} = 0,3$

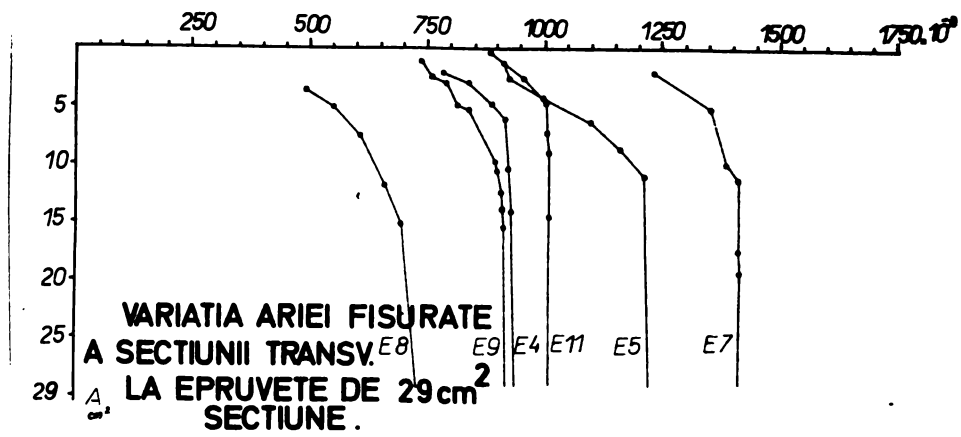
3. CARACTERISTICI MECANICE

- a. frecvența $n = 200$ cicli/minut
- b. durabilitate $N = 1418.560$ cicli
- c. frecvența proprie a mașinii $n_0 = 400$ cicli/minut

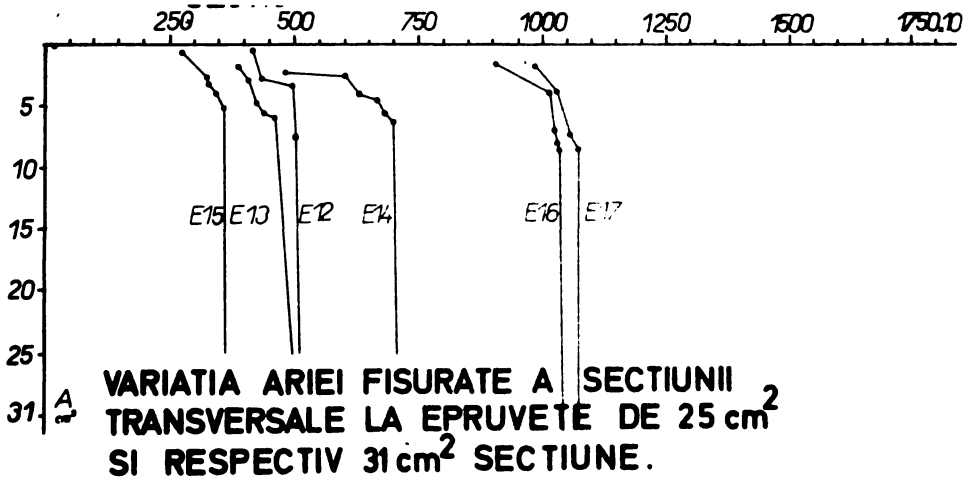
PLANSA NR 4.5.



PLANSA NR. 4

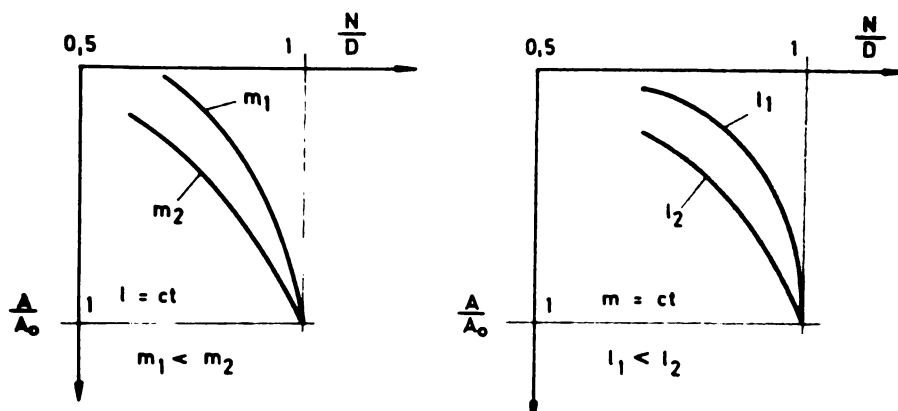


1 a.



1 b.

1. Curbe experimentale



2. Curbe teoretice

PLANSA Fig. 4.7.

Pentru prezentele date experimentale, s-a propus pentru variația ariei fisurate - A - funcție de numărul aplicării sarcinii dinamice N următoarea expresie matematică :

$$A = A_0 \exp \left(- \gamma \left[\left(\frac{N}{D} \right)^m - 1 \right] \right)$$

Această funcție este reprezentată grafic în figura 2 din planșa numărul 4.7. Notațiile ei corespund la :

A - mărimea ariei fisurate la momentul precizat de N cicluri

A_0 - mărimea ariei secțiunii inițiale :

D - durabilitatea epruvetei exprimată în cicluri :

l - constanta care ține seama de material, configurația epruvetei și spectrul tensiunilor reziduale.

m - constanta care conține natura și mărimea efortului unitar dinamic.

Pentru cele două constante ale experimentului prezent se propun următoarele expresii :

$$l = n \frac{\sigma_{\text{rem}}^{\text{max}}}{A_0 \int_{A_0}^{\sigma_{\text{rem}}} \sigma_{\text{rem}} dA} \quad m = 1 - 3r$$

n - numărul buclelor diagramei tensiunilor reziduale

σ_{rem} - tensiunea reziduală curentă

$\sigma_{\text{rem}}^{\text{max}}$ - tensiunea reziduală maximă

r - coeficient de asimetrie mediu

Valorile celor două constante sînt calculate în tabelul 4.2. pentru epruvetele cu nervuri.

Tabelul 4.2.

epruv.	4	5	7	8	9	11	12
m	0,865	1,162	0,615	0,965	0,909	0,898	1,336
l	7,94	3,34	16,50	1,93	5,30	9,54	15

Normalitatea probabilistică a fenomenului se resfringe în toate mărimile care îl caracterizează deși în extensiunea valorică a coeficienților l și m.

Cînd l ia valori crescătoare fascicoulul de curbe mătură planul (A/A₀, N/D) cînd m - ia valori crescătoare se schimbă alura prin mărirea rasei de curbură, sau alte cuvinte, cu cît

mărimea efortului unitar este mai mare, cu atât viteza de creștere a ariei fisurate este mai mare. Relația propusă permite să se aproximeze destul de exact care este durabilitatea unei epruvete la care după N cicluri de aplicare a sarcinii dinamice se apreciază că are o arie activă a secțiunii transversale $A_0 - A$:

$$D = N \left(1 + \frac{1}{2} \ln \frac{A_0}{A} \right) \frac{1}{m}$$

de asemenea se poate aproxima care va fi durata pînă la capotare pentru aceeași epruvetă

$$\Delta R = D - E$$

În concluzie mărimea ariei fisurate a secțiunii transversale crește după o lege exponențială sau, cu alte cuvinte, după apariția fisurii, mărimea ariei secțiunii rămase în lucru scade după o lege exponențială.

4.5. VITEZA DE PROPAGARE A FISURII

Practica experimentală de măsurare a adîncimii fisurii a permis determinarea la un moment dat a mărimei ariei fisurate. Această caracteristică secțională variază în timp înregistrînd o viteză de variație dA/dN . Această mărime fizică are direcția normală pe direcția efortului unitar și se va numi - viteză globală de fisurare.

Ieșind de la interpretarea geometrică a derivatei, pentru fiecare epruvetă s-a măsurat unghiul făcut de dreapta care unește punctele corespunzătoare la două stări succesive (A_1, N_1) , (A_{1+1}, N_{1+1}) cu sensul axei N . S-a calculat tangenta trigonometrică a acestui unghi și s-a reprezentat grafic variația acestei tangente. Curbele obținute constituie viteza globală de fisurare reprezentată în figurile la, lb, din planșa numărul 4.8.-

Constataările de primă instanță sînt următoarele :

- Avînd în vedere că momentul inițial al procesului de degradare cumulativă corespunde pentru toate epruvetele cu zero cicluri și aria fisurată în acest moment este nulă, este natural a afirma că fascicolul curbelor din figura la pleacă din originea axelor. Acest fascicol are o traiectorie medie iar celelalte traiectorii au o repartiție probabilistică normală așa cum o confirmă și paragraful 4.8.-

- viteza de fisurare în domeniul - fisură vizibilă - are alura unei curbe exponențiale,-

- traiectoriile curbelor " viteză globală de fisurare " se reprezintă într- un fascicol pentru fisurare set de epruvete cu o repartitie probabilistică normală.

- cu cât efortul unitar de lucru este mai mare cu atât viteza globală de fisurare este mai mare.

Mecanica ruperii (10)(28) definește viteza de fisurare în stadiul al II- lea în corelație cu factorul de intensitate al tensiunii K prin relația :

$$\frac{da}{dN} = C (\Delta K)^{\int}$$

în care :

C - o constantă care depinde de material

\int - coeficientul vitezei de propagare a fisurii care pentru viteze cuprinse între 10^{-6} și 10^{-1} mm/ciclu are valoarea 4.

$$K = K_{\max.} - K_{\min.} = (\sigma_{\max.} - \sigma_{\min.}) \sqrt{\pi a \beta}$$

a - reprezintă lungimea fisurii măsurată la suprafața epruvetei,

β - coeficient care depinde de dimensiunile finite ale piesei. Se dă în funcție de raportul a/b

b - lățimea epruvetei

Se supun considerentelor mecanicii ruperii datele experimentale de la epruveta J.11 înregistrate în planșele numărul 4.5. și 4.6. măsurătorile efectuate asupra acestei epruvete au condus la :

$$\begin{aligned} \sigma_{\max.} &= 1220 + 650 = 1870 \text{ daN/cm}^2 \\ \sigma_{\min.} &= 1220 - 650 = 570 \text{ daN/cm}^2 \end{aligned}$$

Valorile lui β din (10) sînt redete în Tabelul 4.3.

Tabel 4.3.

$\frac{a}{b}$	0,074	0,207	0,275	0,337	0,410	0,466	0,535	0,592
β	1	1,03	1,05	1,09	1,13	1,18	1,25	1,33

Epruvetele fisurează în zona influențată termic, aria fisurată evoluează topografic ca în planșa numărul 4.6. iar în corelație cu scurgerea " timpului " ca în figura 1.a din

plana numărul 4.7.

În tabelul 4.4. se efectuează prelucrarea datelor în vederea obținerii alurei curbei " viteză de fisurare " prin prisma conceptului mecanicii superii.

Curba este redată în figura 2 din plana numărul 4.8. alături de curbele pentru celelalte epruvete E.5., E.7. și E.8.

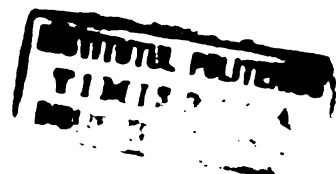
Compararea celor două tipuri de curbe ale vitezei de fisurare din figurile 1.a, 1.b. și figura 2 confirmă o valoare ridicată pentru viteza de propagare a fisurii de oboseală, în starea caracterizată prin - termeni calitativi - fisură vizibilă. În termeni cantitativi se poate spune că ultimele 10-20 procente ale ariei secțiunii transversale active sînt scoase din lucru cu o viteză enormă care ascultă de o lege exponențială.

Tabelul 4.4.

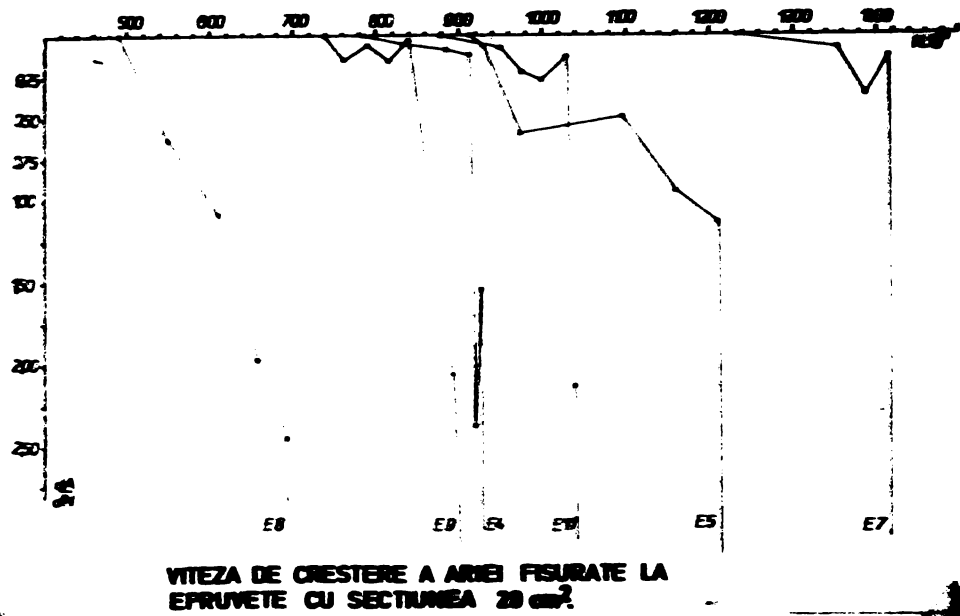
Nr. mii ci clari	879	950	975	1000	1030	1036	1039
2a mm	6	25	36	51	65	70	120
a/b	0,05	0,200	0,300	0,416	0,542	0,584	
$\sqrt{a\beta\pi}$	3,07	6,30	8,25	10,20	12,60	13,90	
$A_0 - A_{on}^2$	27,5	26,09	24,16	21,62	19,80	14,45	
$\sigma_{max} \frac{da}{dN}$	18,30	20,0	21,60	23,95	26,30	36,10	
$\sigma_{min} \frac{da}{dN}$	5,54	5,85	6,30	7,05	7,70	10,55	
K	41	89,20	126,5	172,5	234,5	355	
$(\Delta K)^4 = \frac{da}{dN} \frac{1}{c}$	2,84	63	250	870	3000	15.900	

4.6. ASPECTUL SECȚIUNII REZULTATE DIN SUPRAFAȚA LA OBOSEALA

Suprafața de fractură rezultată în urma fenomenului de oboseală este imprimată secvențial cu aspecte ale cedării materialului și ale propagării fisurii de-a lungul perioadei de distrugere cumulativă.-



1.a.



1.b.

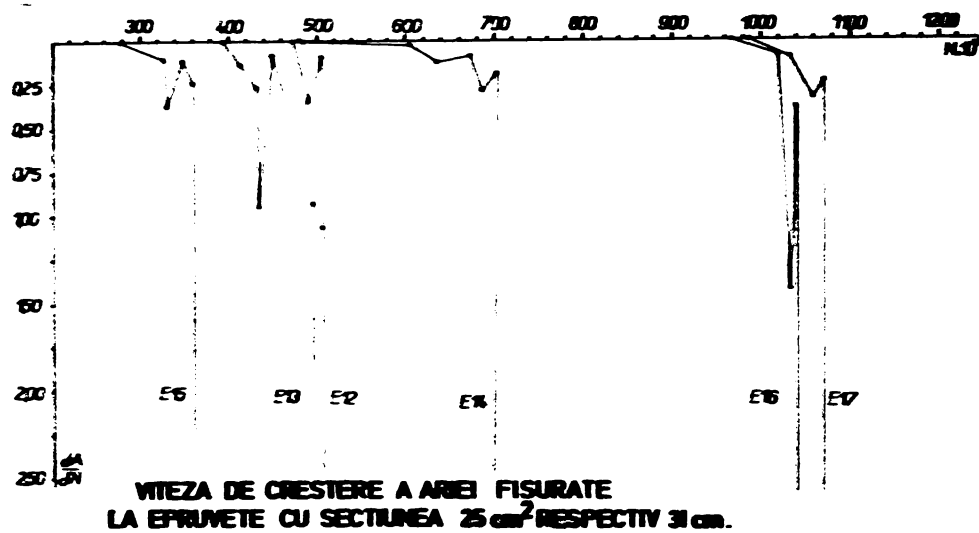
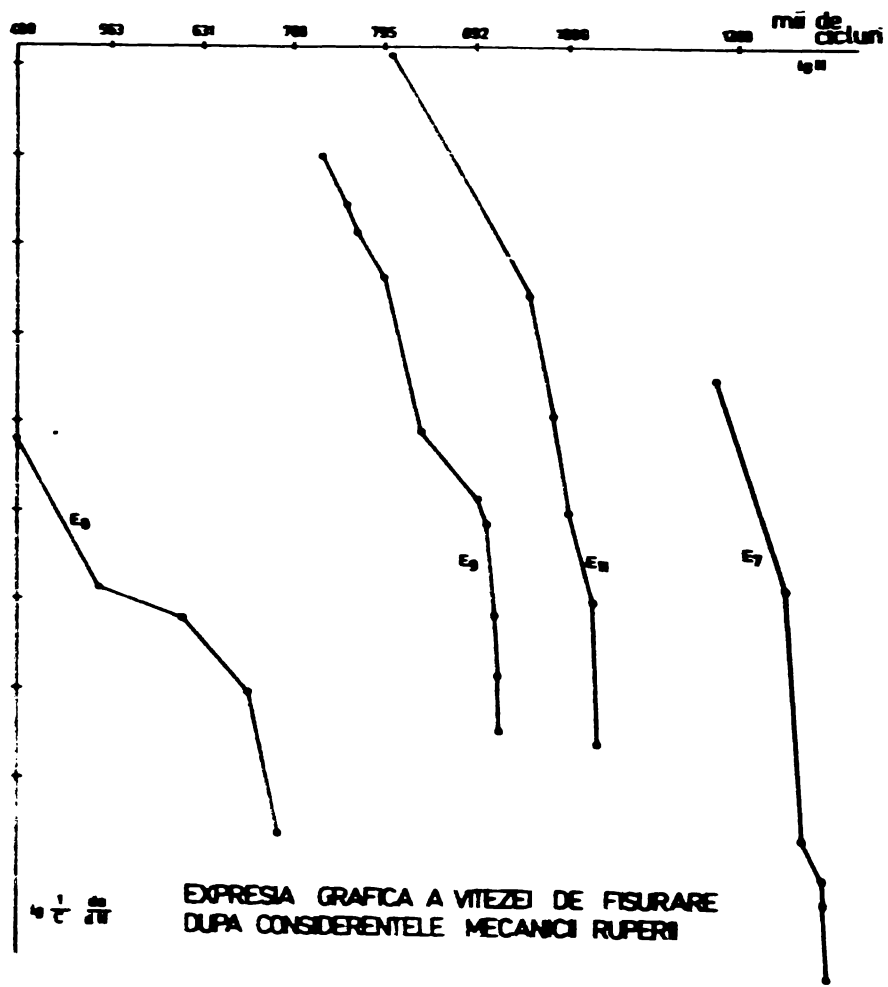


Figura 1. Curbe experimentale

Fig. 2.



Planimetrind aria secțiunilor de fractură s-a putut determina mărimea ariei secțiunii rupte prin oboseală și mărimea ariei secțiunii rupte prin decoeziune. În tabelul 4.5. sânt trecute aceste măsurători.

Tabelul 4.5.

Epr. nr.	4	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16	17
Aria inițială cm^2	29	29	-	29	29	29	29	25	25	25	25	31	31
Aria oboșită cm^2	12,7	10,2	-	14,2	16,1	18	13,9	8,9	9,5	8,3	9,3	19,8	20,2
$A_{obos.} / A_{inițială} \%$	43,8	35,2	-	49,0	66,5	62,1	48,2	55,8	38,1	33,2	37,2	64,1	65,2

Din tabel rezultă că la același coeficient de asimetrie dar la tensiuni diferite mărimea ariei secțiunii rupte prin oboseală variază invers sensului de creștere a tensiunii aplicate. Cu alți termeni, mărimea ariei secțiunii oboșite variază în același sens cu factorul de intensitate al tensiunii K conform figurii numărul 4.4.

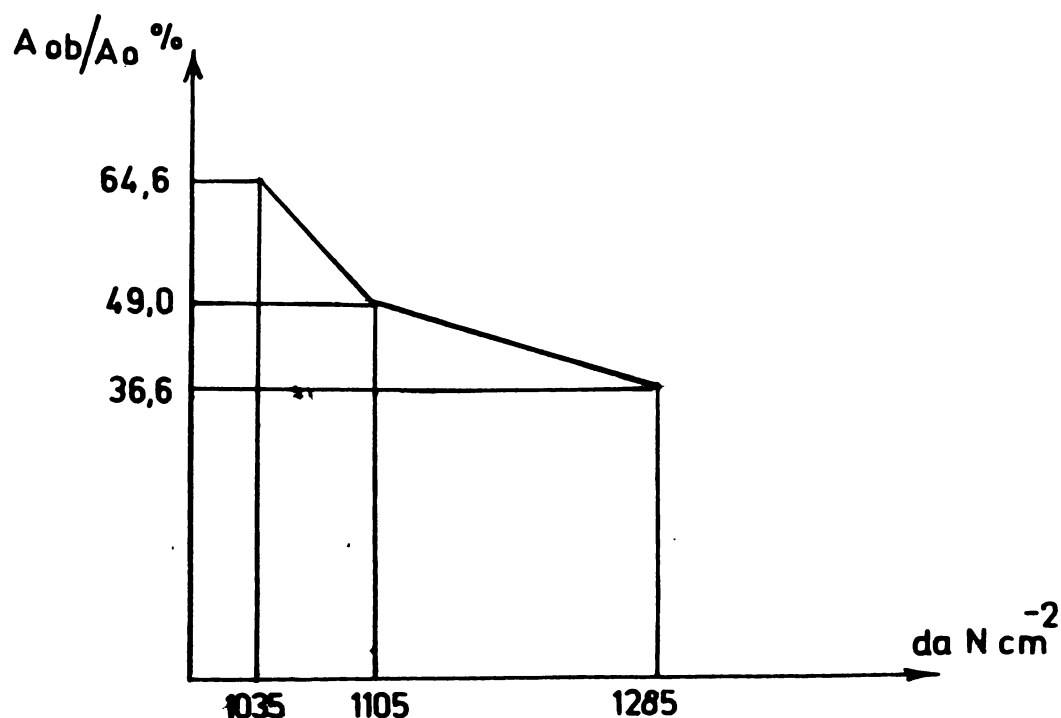


Figura 4.4

Supportul următoarelor considerente îl constituie fotografiile din planșele numărul 4.9 - 4.17.

Studiul suprafeței de fractură arată că punctul inițial al distrugerii poate fi descoperit după urmele caracteristice ale extinderii fisurii în diferite etape. Aceste urme se pot compara uneori cu desenul de pe suprafața unei scocci avînd forma unei serii de arce de elipsă care se despart de la punctul inițial al distrugerii.

→ Distrugerea de oboseală începe cu o deformare plastică foarte puțin vizibilă care are caracterul unei distrugerii esențiale. Acest început se înregistrează în zona influențată termic a metalului de bază în partea sa superficială sau în interiorul materialului cordonului unde un defect relativ neînsemnat poate constitui un concentrator al tensiunii din această zonă. Spre exemplificare în acest sens epruveta E.6., planșa nr.4.10 s-a rupt într-o zonă - departe de secțiunea transversală minimă - în care s-a văzut după rupere un defect pronunțat de laminare care a coincis cu începutul cordoanelor de sudură.

Fisura avansează în interior și la suprafața metalului. În interior, propagarea fisurii se face încet cu perioade de stagnare ceea ce duce la formarea urmelor amintite mai sus, ilustrate mai detaliat în planșele numărul : 4.11, 4.12., 4.17.-

Pe parcursul degradării cumulative cele două suprafețe adiacente secțiunii de fractură se freacă reciproc și lustruiesc zona de incipiență a fisurii. Strecurîndu-se pe liniile de minimă rezistență fisura schimbă planul de dezvoltare al rămînînd tot timpul normal pe direcția efortului maxim de întindere. Acest lucru se confirmă de către fotografiile s-a din planșa numărul 4.17 care sînt clare pentru anumite zone și neclare pentru altele.

Deci la încărcarea statică distrugerea unei epruvete de oțel este precedată de obicei de deformări plastice într-un volum considerabil al materialului, la capotarea de oboseală deformarea plastică se limitează la o zonă locală îngustă. Exemplu planșele numărul 4.14., 4.16 care reprezintă capetele de epruvete perechi de la epruvetele E.11 respectiv E.16 și E.17 așezate față în față după rupere. Din această cauză în ultimul stadiu al distrugerii fractura are un caracter viscos. Planul fracturii formează un unghi de circa 45° cu suprafața anterioară, dezvoltării și aproximativ un unghi la fel cu direcția tensiunii de întindere.

Plansa numărul 4.9. prezintă epruveta E.4- de dimensiuni ale secțiunii transversale 120 x 20 mm. Constituie prima epruvetă cu nervuri longitudinale cu care a început experimentarea acestei serii. Tensiunea axială maximă medie 1900 daN/cm², tensiunea axială minimă medie 470 daN/cm². Fisura apare în zonă cordoanelor de sudură și s-a observat după 785 mii cicluri. Capotarea epruvetei a avut loc după 929 mii cicluri. Secțiunea de fractură ilustrează zona lustruită sub forma unei semielipse cu axa mare de 74 mm. În grosimea plăcii de bază elipsea pătrunde pe o distanță de 17 mm. În părțile laterale zona ruperii prin oboseală este înconjurată de material care a cedat prin decoeziune. Acest material suferă o deformare de curgere pronunțată înaintea decoeziunii. Măsurarea adâncimii fisurii la diverse intervale de timp după apariția fisurii a permis trasarea curbelor E 4 din figura 1.8 planșele numărul 4.8 și respectiv 4.8.

Plansa numărul 4.10 prezintă câteva aspecte ale epruvetei E6, după capotare. Secțiunea minimă a epruvetei a măsurat 120 x 20 mm. placa de bază. Epruveta a făcut parte din aceeași serie cu E 4. După terminarea cordoanelor de sudură care fixau nervurile a coincis cu o zonă cu defect de laminare cum se vede din secțiunile adiacente ruperii. Fisura a pornit din această zonă unde datorită defectului de laminare și concentrării tensiunilor din sudare, s-a manifestat tensiunea efectivă maximă. Fisurarea a intervenit după 818 mii cicluri iar capotarea după 958 mii cicluri. Ruperea s-a produs după o secțiune simetrică așa cum o prezintă fotografia după rupere. Totuși fenomenul obosealii s-a derulat după același traiect: oboseala zonei centrale cu lustruirea ei și cedarea prin decoeziune de forfecare a zonelor marginale pe o direcție de circa 45° față de axa epruvetei.

Epruveta E7 ilustrată în planșa 4.11 a avut ca dimensiuni ale plăcii de bază 120 x 20 mm și ca arie a secțiunii transversale 29 cm². Tensiunea maximă medie 1900 daN/cm² iar cea minimă medie 480 daN/cm². Fisura a fost descoperită după ce nervura a fost parcursă de o fisură pe o lungime de circa 2/3 din lățimea ei. Contorul de numărătoare indică 1232 mii cicluri. Durata de funcționare până la capotarea totală a fost de 1418 mii cicluri. Secțiunea de fractură înregistrează o zonă oboșită eliptică cu axa mare 87 mm. și cu o pătrundere în placa de bază - măsurată pe grosimea plăcii de 18 mm. Zonele laterale suprafeței oboșite au cedat prin sculgeri. Măsurarea intermitentă a adâncimii fisurii a făcut posibilă

trasarea curbelor K 7 din figurile 1.a din planșele numărul 4.7 și respectiv 4.8.

Epruveta K8 din aceeași serie - adică dimensiuni ale secțiunii transversale 120 x 20 mm, aria a secțiunii transversale 29 cm² - a avut o comportare la oboseală " obișnuită ". Ca fapt deosebit s-a defectat fisura numai după 490 mii cicluri iar capotarea după 730 mii cicluri. Elipsa secțiunii oboșite are axa mare de 78 mm și pătrunde în grosimea epruvetei pe o adâncime maximă de 18 mm. Ceea ce constituie la prima vedere aspectul de excepție - fisurarea și capotarea timpurie - în fond este latura firească a fenomenului aleator de oboseală.

Așa cum arată paragraful 4.7. oricare din mărimile care caracterizează fenomenul oboseții acestui tip de epruvetă se încadrează într-o lege de distribuție probabilistică normală - ori epruveta K8 descrie traiectul inferior al fascicolului așa cum rezultă din figurile la planșele numărul 4.7. și respectiv 4.8.

Tot o comportare " de excepție " a înregistrat-o epruveta K.10 din aceeași serie care nu a fisurat pînă la 2000 mii cicluri. Din punct de vedere al caracterului aleator această epruvetă descrie traiectoria majoră a fascicolului .

Planșa numărul 4.14 ilustrează fețele adiacente secțiunii de rupere pentru ultima epruvetă a primei serii de epruvete supuse testării de oboseală. Dimensiunile secțiunii transversale 120 x 20 mm, aria secțiunii 29 cm², tensiune maximă medie - 1900 daN/cm², tensiune minimă medie 480- 500 daN/cm².

Fisura a fost detectată după 879 mii cicluri și parcursese numai un cordon de sudură - planșa numărul 4.6. Capotarea a avut loc după 1039 mii cicluri. Secțiunea oboșită ilustrează arcele de elipsă - arce de așteptare pentru pasul următor în propagarea în adâncime a fisurii. Cu cît se apropie de momentul capotării acești pași sînt mai mari - adică distanța dintre arce. Elipsa ariei oboșite înregistrează o axă mare de 93 mm, și străbate întreaga grosime de 20 mm a epruvetei. Zona ruperii prezentată pe această planșă ilustrează două aspecte : primul curgerea materialului care a cedat prin smulgere - aici cele două fețe cîndva erau apropiate ; al doilea ruperea intervenită în ultima fază sub un unghi de circa 45°.

Planșa numărul 4.15 redă detaliat secțiunea de rupere prin oboseală a epruvetei K.11 . În aceste fotografii se observă mai clar arcele după care s-a propagat fisura în zonele cordoanelor de sudură și în materialul epruvetei. Figura a și c vor să re-

liefese arcele din placa epruvetei nu redă clar arcele din zona sudurii. Figura b redă clar arcele din zona cordoanelor de sudură. Acest fapt vine să confirme afirmația că fisura schimbă planul de dezvoltare la parcugerea grosimii materialului.

Epruvete din seria a 2 -a supuse testării - tabelul 4.1 - au avut ca dimensiuni 100 x 20 mm și arie a secțiunii transversale 25 cm². Efortul unitar maxim a fost 2200 daN/cm² iar cel minim 550 daN/cm². Coeficientul de asimetrie se păstrează în medie + 0,3.

Aceste epruvete numerotate F 12, F13, și F 14, F15 sînt prezentate în planșele numărul 4.16, 4.17., și 4.18. Fiind supuse la un efort unitar mare apropiat de limita de curgere fenomenul de oboseală decurge fără abatere de la descrierea de mai sus. Adică fisura apare în zona cordoanelor de sudură, parcurge o zonă din materialul epruvetei și urmează capotarea. Calitativ mărimea ariei oboșite este mai restrînsă în comparație cu aria ruptă prin decoeziune.

Durata funcționării, durata funcționării pînă la detectarea fisurii sînt mult mai mici în comparație cu epruvete de arie 29 cm². Aceasta se datorește efortului unitar maxim care a depășit pentru aceste epruvete limite de elasticitate și se apropie de limita de curgere.

Figurile din planșa numărul 4.17 prezintă aria oboșită printr-o tentă mai luminoasă în comparație cu zona smulgerii. Zona smulgerii se distinge prin ridicături și adîncituri în material.

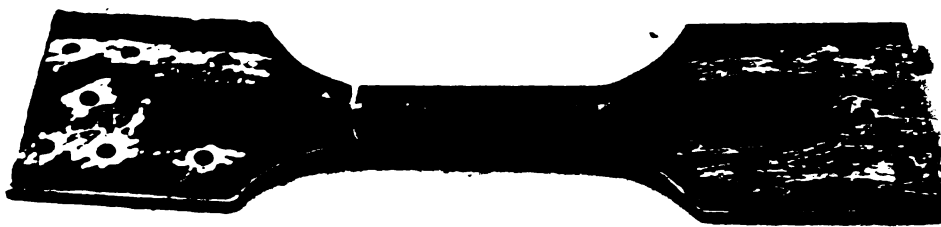
Fenomenul rupei prin decoeziune este brutal iar secțiunea rezultă foarte neregulată - foarte aspră așa cum o ilustrează epruvetele F 13 și F 14 din planșa numărul 4.17.

Planșa numărul 4.18 prezintă în detaliu secțiunea transversală a epruvetei F 15. Se distinge aici atât zona oboșită care cuprinde o nervură un cordon de sudură și o porțiune eliptică din placa epruvetei - cît și zona superii prin decoeziune cu așchitările și adînciturile ei.

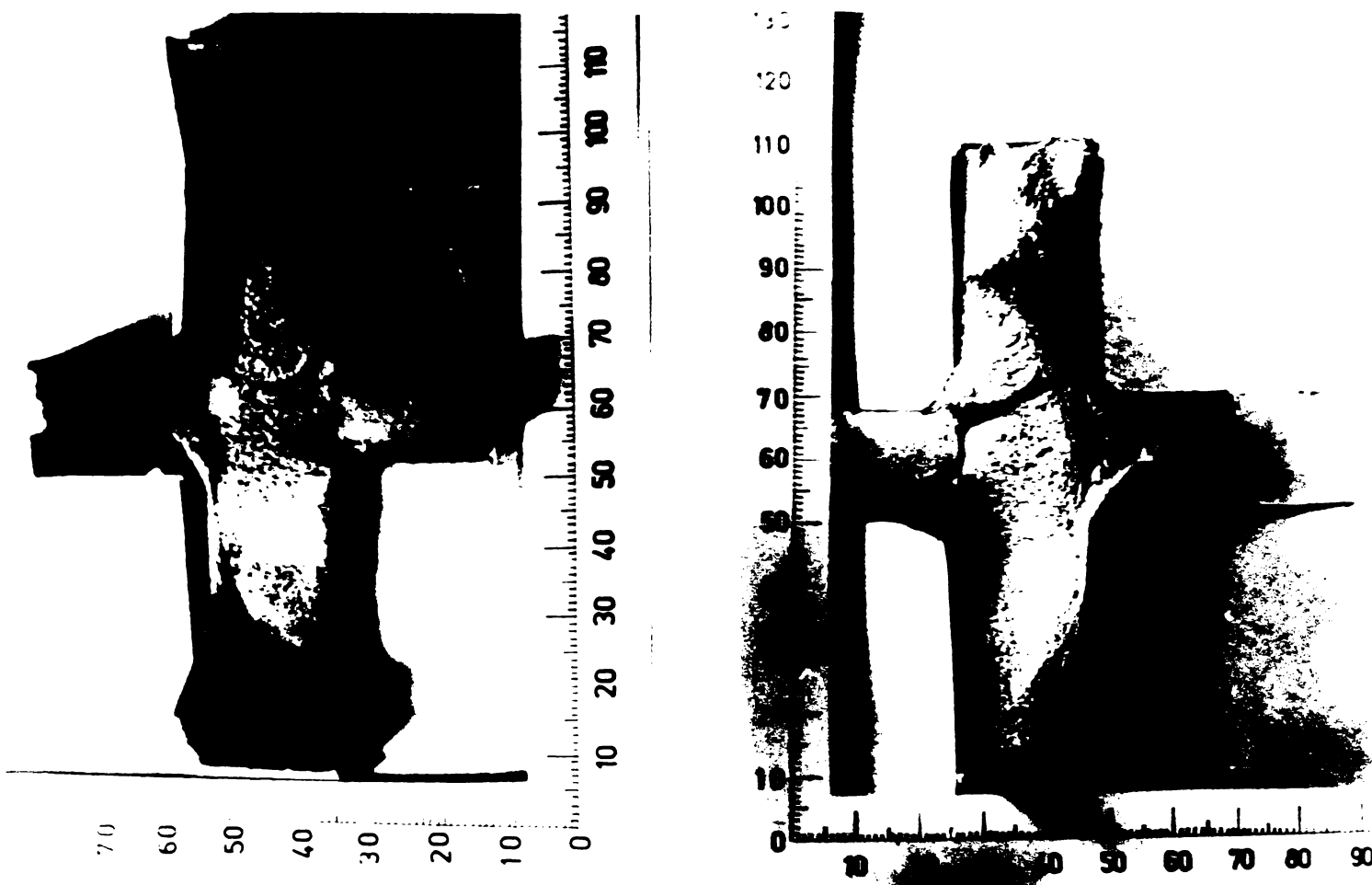
Luînd ca parametru al fenomenului aleator de oboseală numărul ciclurilor pînă la capotare - tabelul 4.1. se constată încadrarea fenomenului într-o lege de distribuție normală.

Cea de a 3-a serie de epruvete cu nervuri supuse testării - tabelul 4.1 - a cuprins epruvete de secțiune transversală 31 cm² cu dimensiuni ale plăcii 130 x 20 mm.

Aceste epruvete sînt marcate cu indicativul F 16 și F 17. în planșa 4.19. Ca și celelalte, ele au o arie oboșită în secțiunea transversală, o arie ruptă prin decoeziune în urma unui puternic fenomen de curgere.-



Epruveta E 4 după ruperea la oboseală.



Epruveta E 4 - secțiuni transversale rezultate

din capotarea la oboseală.

PLAȘA NR. 4.9.



Epruveta E 6 - după rupere

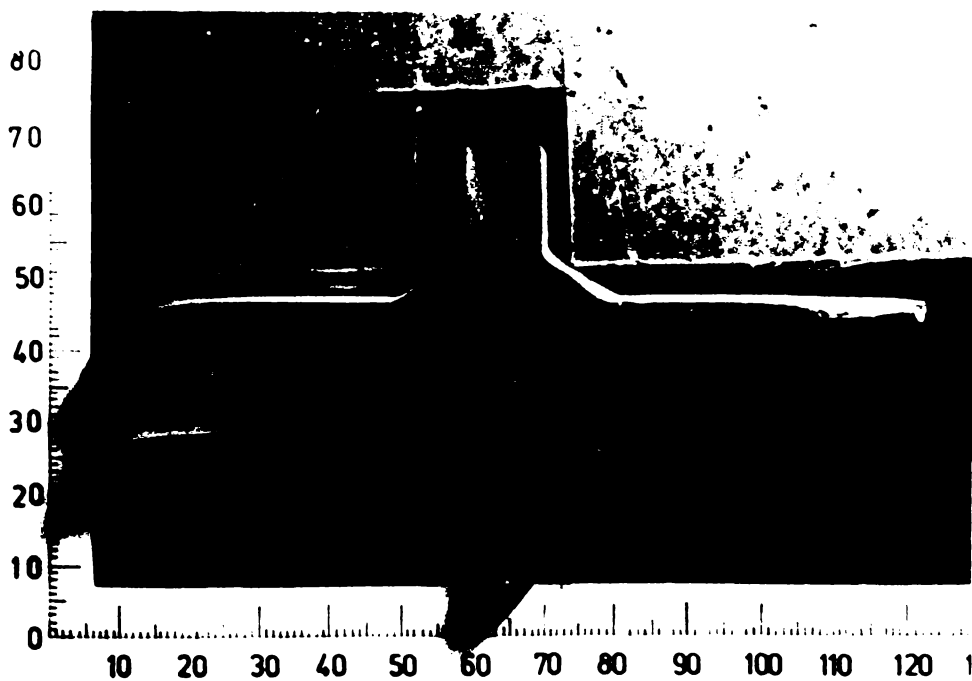


Epruveta E 6 - Secțiuni adiacente din zona ruperii

PLAȘA NR. 4.10



pruveta 4.7. - după rupere -

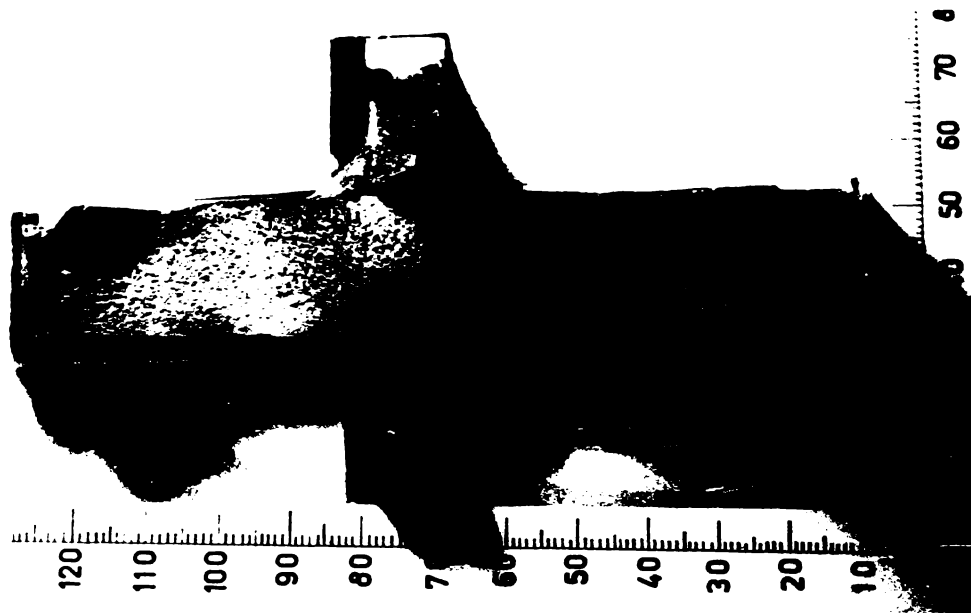
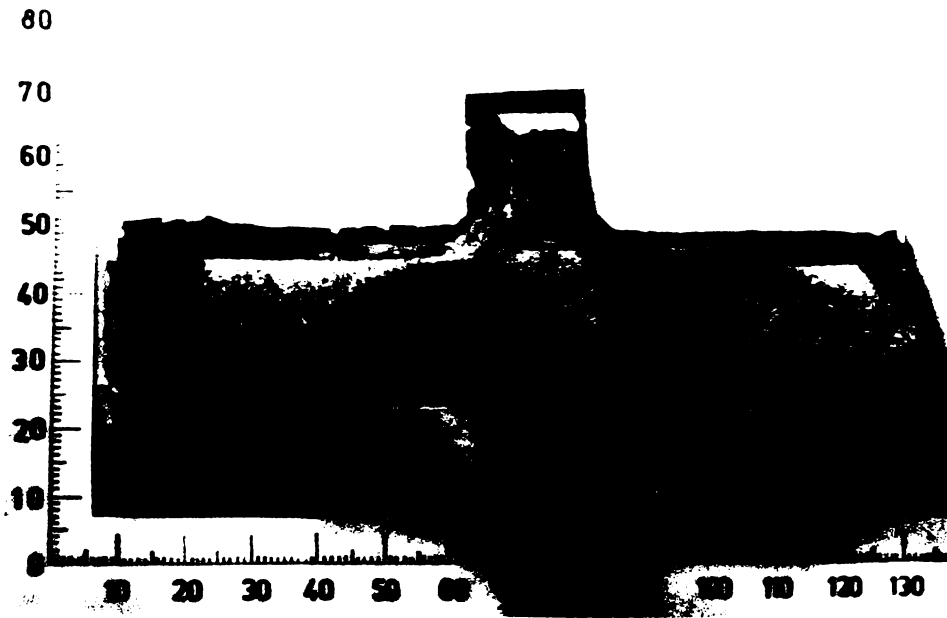


pruveta 4.7. - secțiune transversală
rezultată din ruperea la oboseală . -

Fig. 4.11.



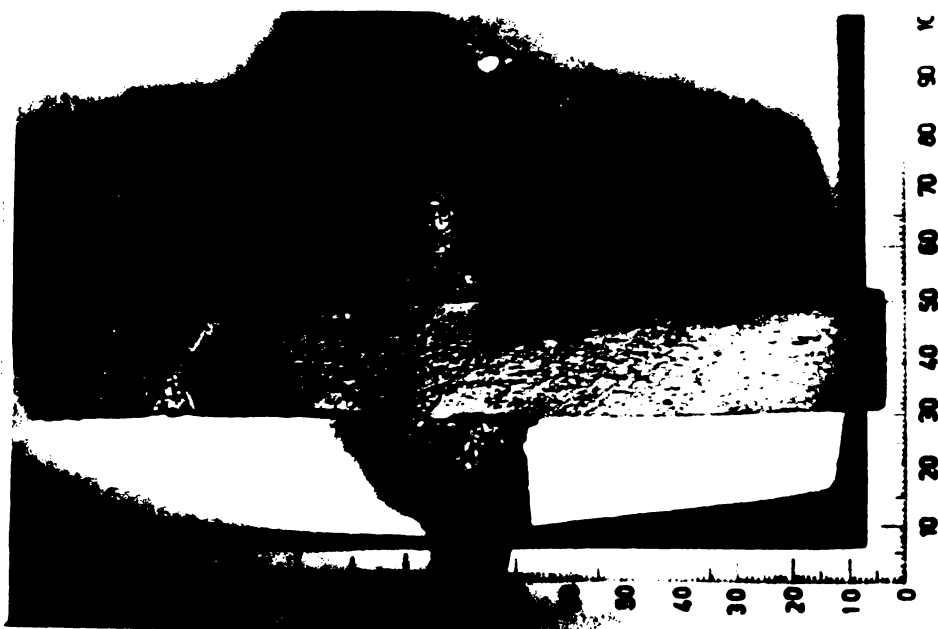
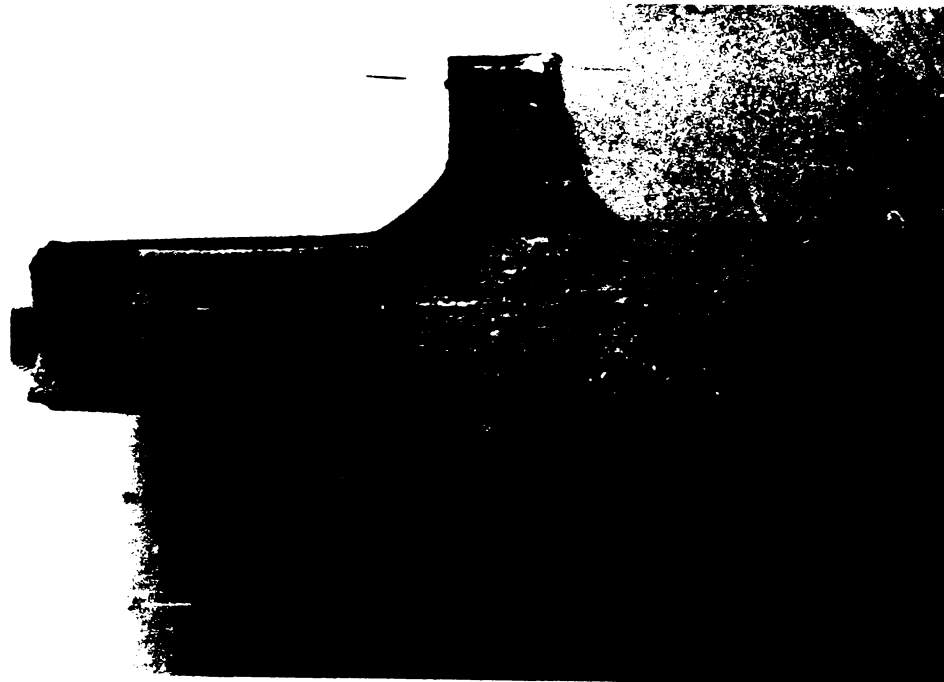
Prubeta 3.8 - dupa rupere -



Prubeta 3.8 - Secțiuni adiacente rezultate din ruperea la oboseală.-



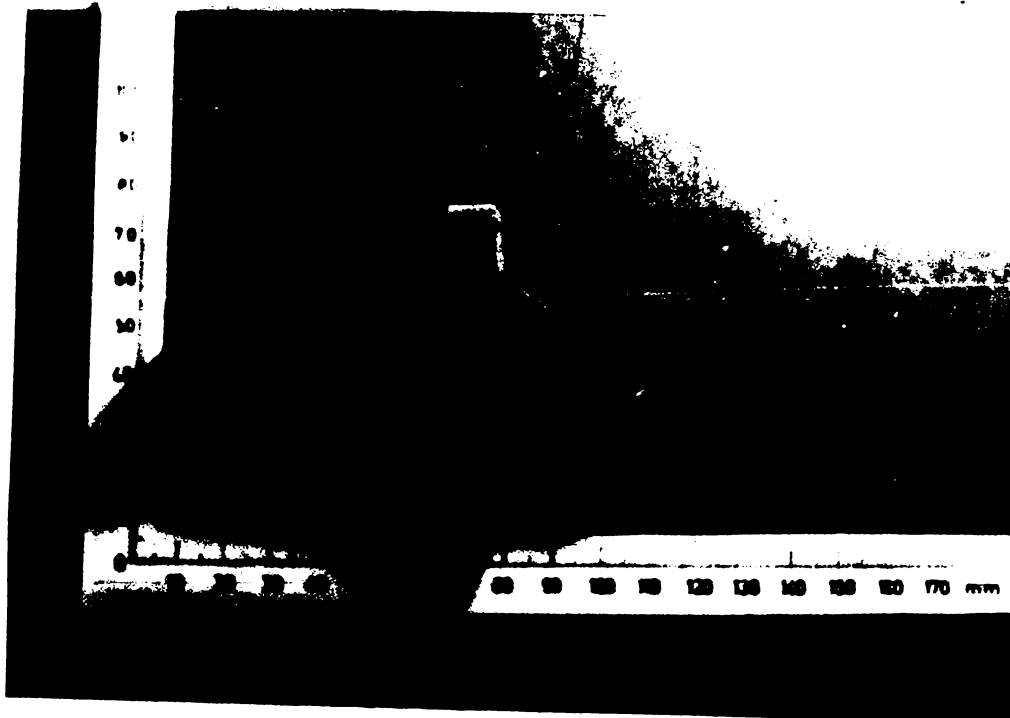
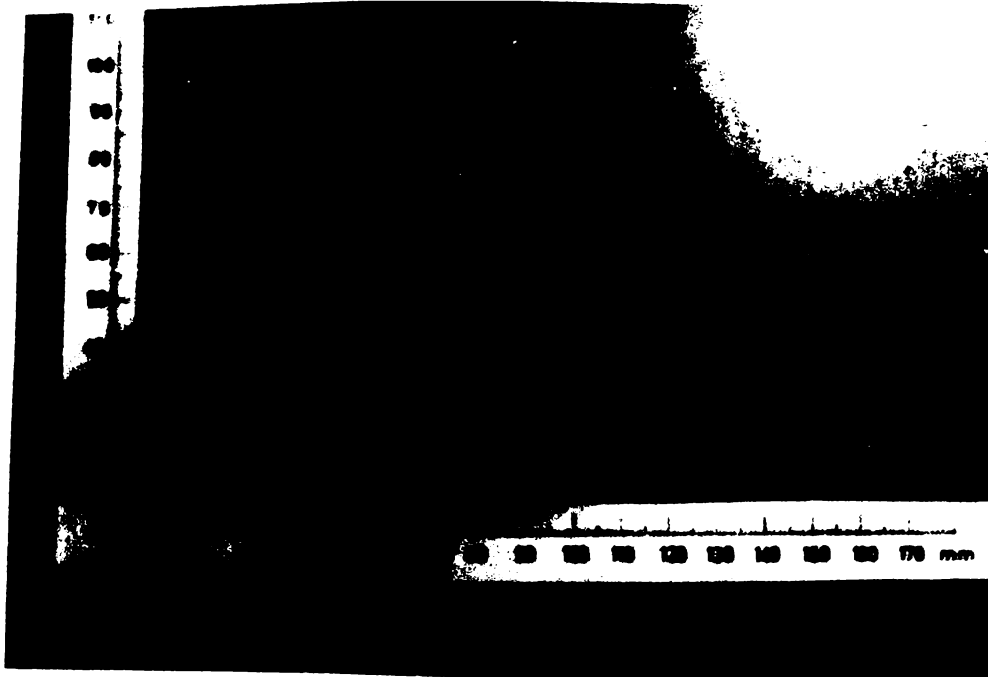
P L A N S A Nu. 4.12



Prubeta 2.9 - Secțiuni adiacente rezultate
din ruperea la oboseală.-

P L N S A Nr.4.13.

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
DE



pruveta E.11 - Secțiuni rezultate din
ruperea la oboseală.



pruveta E.11 - Zona rupturii

P L A N S A Nr. 4.14.



a.



b.

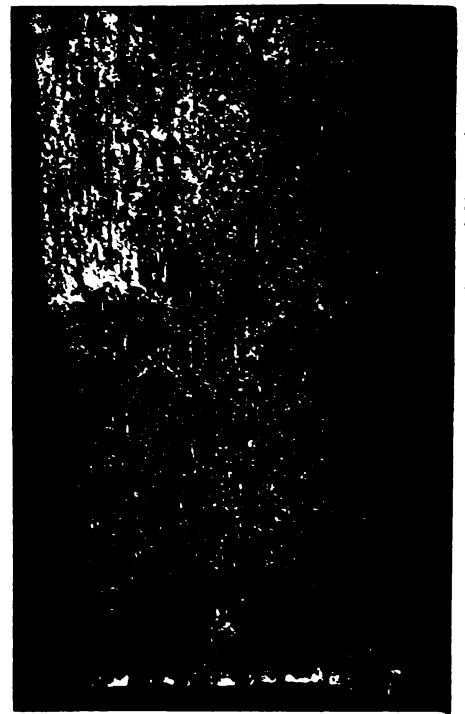
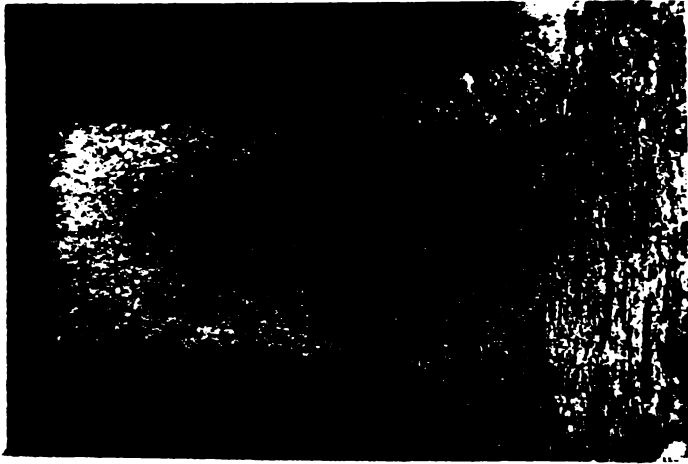
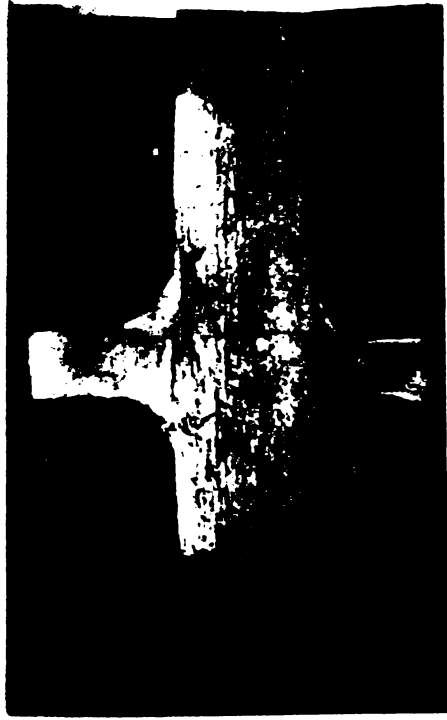


c.



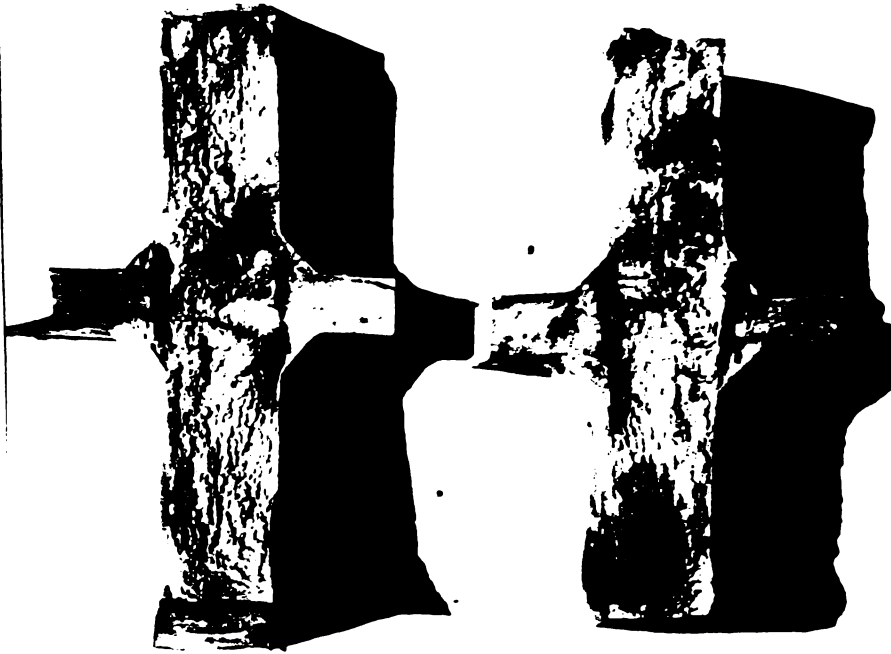
aprovata 1.11 - secțiune
 transversală rezultată
 din ruperea la obosală
 zone de detaliu

1.11.11.15.4.15.

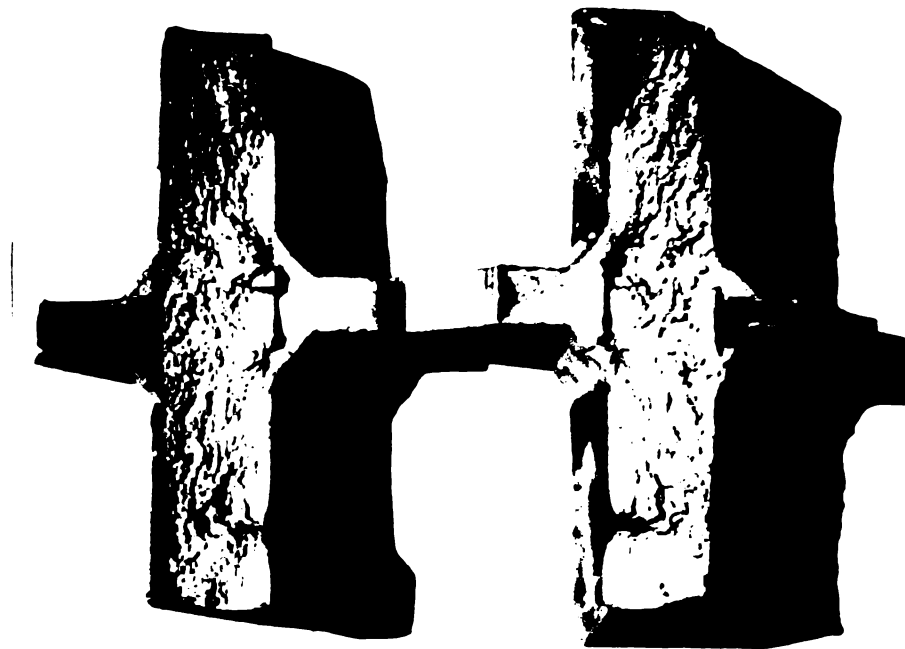


Epruveta 4.12 - Secțiune
 transversală rezultată
 din ruperea la oboseală
 Zone de detaliu

I L A N U S N. Nr. 4.16

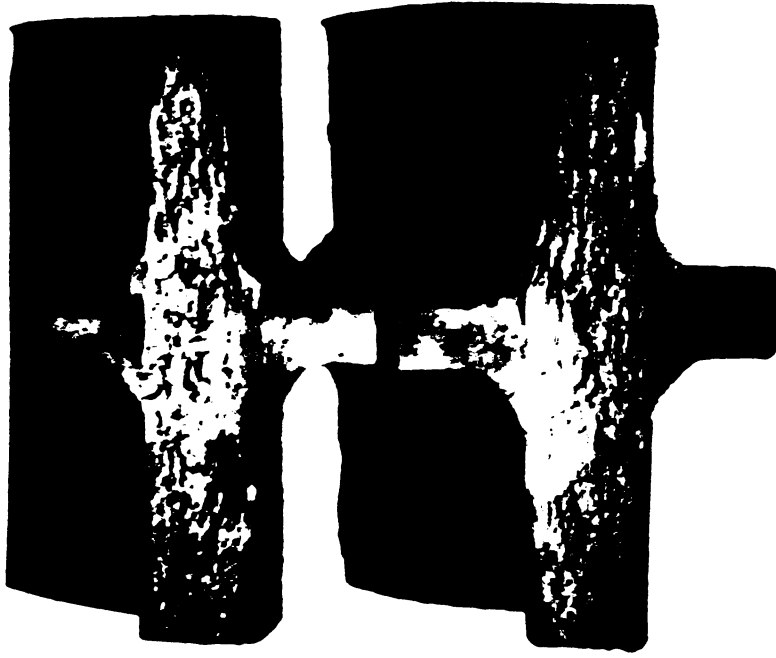


Praveta 4.13 - Secțiuni transversale
rezultate din raport la oblicala



Praveta 4.14 - Secțiuni transversale
rezultate din raport la oblicala

11. 11. 11. 4.17.



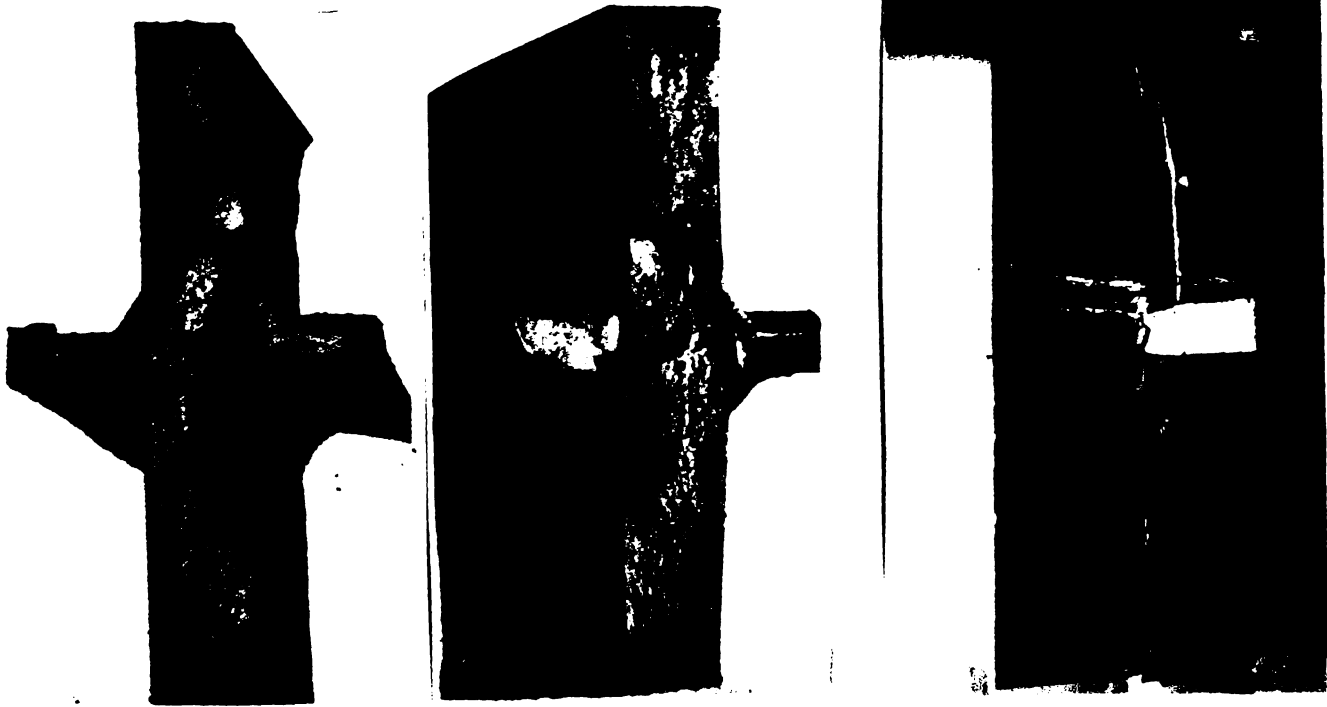
Praveta 4.15 - secțiuni
transversale rezultate din
rupere la oboseală



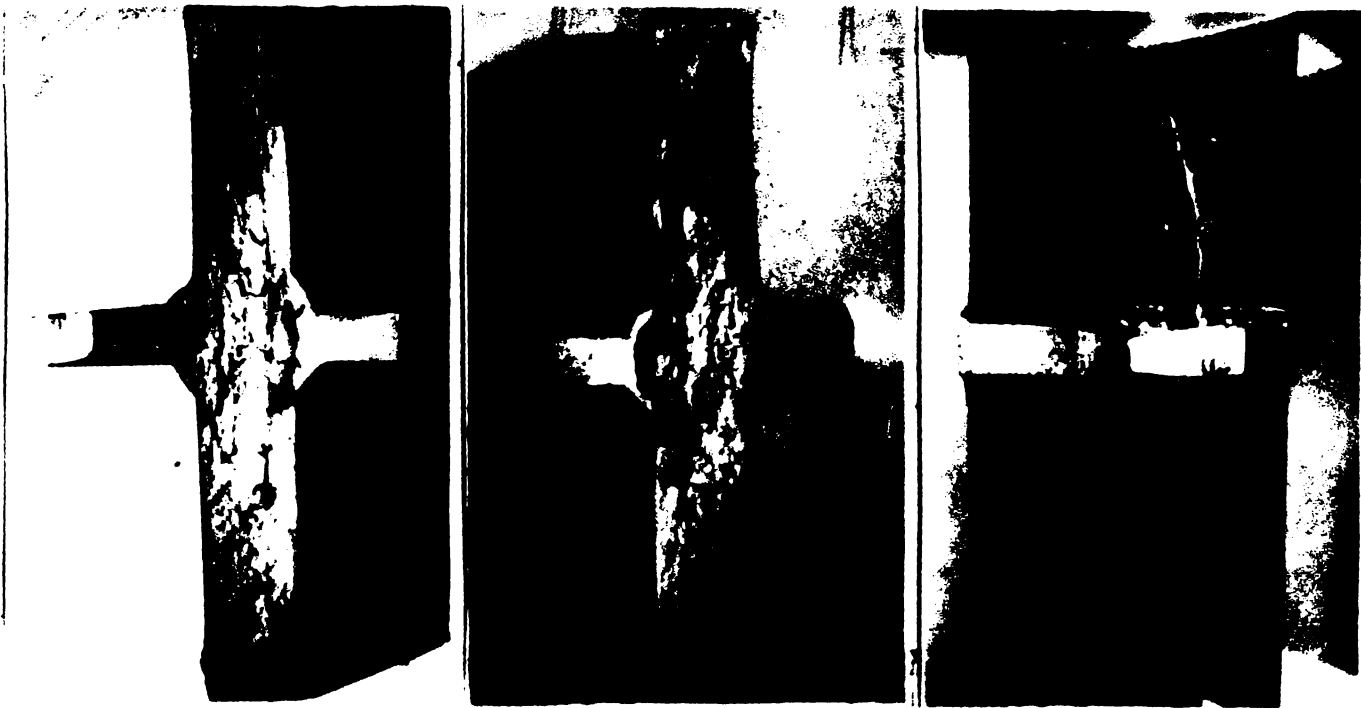
Praveta 4.15 - secțiune
transversală privită în
detaliu

PLAȘA Nr.4.18.





Epruveta E.16 - Secțiuni transversale și zona
ruperi rezultate din capotarea la
oboseală



Epruveta E.17 - Secțiuni transversale și zona
ruperi rezultate din capotarea la
oboseală

PLAȘA Nr. 4.19.

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
BULEZ. DEZRAJ

4.7. VERIFICAREA NORMALITĂȚII REPARTIȚIEI

DATELOR EXPERIMENTALE

Se vor trata numai datele obținute de la epruvetele de arie 29 cm² și anume durabilitatea D. Calculele sînt efectuate în tabelul 4.6. folosind ([30])

Tabelul 4.6.

Epruv. nr.	Dx 10 ⁻³	D- \bar{D}	(D- \bar{D}) ²	(D- \bar{D}) ³	(D- \bar{D}) ⁴ x 10 ⁻⁸
4	730	- 311,5	96.721	- 30.080.231	93,50
5	915	- 126,5	15.876	- 20.006.376	2,49
7	926	- 115,5	13.225	- 1.520.875	1,74
8	1039	- 2,5	6	10	-
9	1221	179,5	32.041	5.735.339	10,24
11	1418	376,5	141.376	53.157.376	196,00
Suma	-	-	299.245	25.291.123	303,97

$$\bar{D} = 1041,5 \cdot 10^3$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (D-\bar{D})^2} = 244 \cdot 10^3$$

$$\sum (D-\bar{D})^2 = 49.768 \cdot 10^6$$

$$\mu_3 = \frac{1}{n} \sum (D-\bar{D})^3 = 4.231.870$$

$$\mu_4 = \frac{1}{n} \sum (D-\bar{D})^4 = 50,66 \cdot 10^8$$

$$e_s = \frac{\mu_3}{s^3} = 0,292 < e_s = 0,69$$

$$E = \frac{\mu_4}{s^4} - 3 = -1,57 \approx e_E = -1,45$$

Erorile de comparație a indicatorului de asimetrie și a excesului sînt :

$$e_{e_s} = \sqrt{6 \frac{n-1}{(n+1)(n+3)}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 5}{7 \cdot 9}} = 0,69$$

$$E = \pm \sqrt{\frac{24 n (n-2) (n-3)}{(n-1)^2 (n+3) (n+5)}} = \pm 1,45$$

În concluzie datele experimentale confirmă o distribuție probabilistică normală a durabilității epruvetelor de arie 29 cm².

4.3. CURBE DE DURABILITATE

În vederea trasării curbelor de durabilitate s-a înregistrat durata de viață a fiecărei epruvete. Efortul axial din epruvetă este același dar prin variația ariei secțiunii transversale se obțin eforturi unitare de valori diferite. S-au exercitat trei variante ale epruvetei.

- epruvete lise figura 3.9
- epruvete cu 2 cordoane de sudură longitudinală în axa epruvetei figura 3.8.
- epruvetele cu nervuri longitudinale fixate în axa epruvetei cu 4 cordoane de sudură figura 3.6.

Pentru compararea rezultatelor s-au testat epruvetele de arie diferită - în secțiunea transversală minimă. Efortul axial este același, ceea ce asigură și un același coeficient de simetrie.

Rezultatele experimentale corelate sub denumirea de curbe de durabilitate sînt ilustrate în figura 4.5. Curbele sînt trasate în coordonate semilogaritmice (σ , lg.N). Fiecare punct al diagramei este media a cel puțin 3 încercări de epruvete de aceeași arie și aceeași configurație.

Curba superioară (1) reprezintă durabilitatea epruvetelor lise, curba mediană (2) se referă la epruvetele cu 2 cordoane de sudură axiale și în sfîrșit curba inferioară (3) cuprinde cuplurile de valori pentru epruvetele cu nervuri axiale.

Constatările concludive de primă instanță sînt calitative și remarcă durabilitatea maximă a epruvetelor lise și durabilitatea minimă pentru epruvetele cu 4 cordoane de sudură. Reducerea durabilității în raport cu curba (1) este în medie de circa .15. % pentru epruvetele cu 2 cordoane de sudură și de .25. % pentru epruvetele cu 4 cordoane de sudură.-

Motivarea acestor proporții se face pe scena diagramei de tensiuni reziduale induse prin sudare. Absența tensiunilor reziduale la epruvetele lise situează curba durabilității acestor epruvete deasupra celorlalte curbe - deci acest tip de epruvetă înregistrează cea mai lungă perioadă de viață și cea mai înaltă valoare a rezistenței la oboseală.

La epruvetele cu 2 cordoane de sudură, vîrfurile de tensiuni sînt mai puțin acute și mai puțin numeroase, comparativ cu epruvetele prevăzute cu 4 cordoane de sudură. Aceasta rezultă din compararea diagramei de tensiuni remanente prezentate în figura 3.41 pentru epruveta cu 4 cordoane și respectiv în figura 3.44. pentru epruveta

cu 2 cordoane de sudură. Prezența virfurilor de tensiuni reziduale constituie un agent de supraîncărcare locală a materialului favorizând dezvoltarea timpurie a fisurii și scuterea din lucru a unei părți din aria secțiunii transversale. Un număr sporit de virfuri de tensiuni reziduale înrăutățește condițiile de lucru ale oțelului și sporește probabilitatea apariției și dezvoltării "precoce" a fisurii de oboseală.

La epruvetele cu 4 cordoane de sudură intervine ca element defavorabil prezența nervurilor longitudinale în care fluxul liniilor de tensiune este mai rarefiat decât în placa de bază a epruvetei. Tabelul măsurărilor tensometrice din planșa numărul 4.5 informează asupra densității fluxului tensional. Se vede diferența dintre citirile aferente nervurilor (timbrele 3... 7) și cele aferente plăcii de bază (timbrele 1,2,4,5,6,8) pentru deformațiile din încălcarea dinamică. Aceste diferențe argumentează predicția de mai sus.

Așadar tensiunile remanente induse prin sudare în ansamblurile sudate conlucrează cu tensiunile de serviciu. Suprapunerea lor peste tensiunile din încălcarea dinamică conduce la reducerea rezistenței de oboseală și la reducerea duratei de funcționare a elementului. În cazul de față, pentru epruvete mari supuse la efort axial de tracțiune sub un coeficient de asimetrie +0,3 reducerea rezistenței la oboseală se cifrează la 15% pentru epruvetele cu 2 cordoane de sudură și respectiv la 25% pentru epruvetele cu 4 cordoane de sudură.-

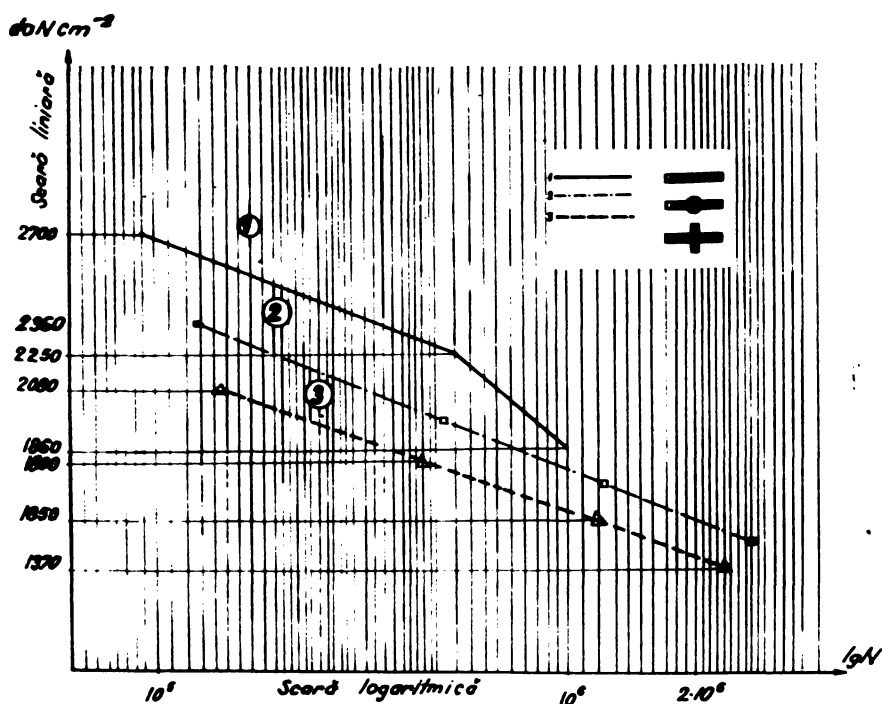


Figura 4.5.

V. CONCLUZII PRIVIND CERCETĂRILE CUPRINSE ÎN TEZA

1) În urma procesului de sudare în piesele metalice se induce un spectru de tensiuni reziduale a cărui alură depinde (în afara parametrilor de sudare) și de rigiditatea ansamblului. În cazul epruvetei cu nervuri din prezenta lucrare aplicarea succesivă a cordoanelor de sudură modifică în sens progresiv crescător rigiditatea epruvetei și odată cu aceasta spectrul tensiunilor rezanente.

e) Epruveta fiind supusă unor eforturi axiale ciclice cu un coeficient de asimetrie mediu $+ 0,3$ înregistrează în zona influențată termic a cordoanelor de sudură eforturi unitare egale cu limita de curgere a oțelului. Curgerea locală a materialului nivelează diagrama tensiunilor reziduale induse prin sudare.

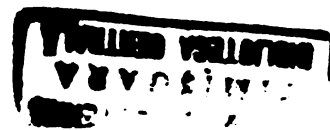
3) Fisura de oboseală la acest tip de epruvetă nuclează în zona influențată termic a metalului de bază ori în metalul cordoanelor de sudură. Aici se exercită vîrfuri tensionale de întindere rezultate din conlucrarea tensiunilor rezanente cu tensiunile provenite din încălzire. Aici structura oțelului s-a modificat cu constituenți cu rupere fragilă în urma gradientului ridicat de încălzire și răcire. În sfîrșit, în această zonă probabilitatea existenței unor defecte de microstructură metalică este cea mai mare-consecință a procesului de sudare.

4) Fisura de oboseală se propagă la suprafața epruvetei din zona centrală a ei către margini urmînd o traiectorie perpendiculară pe direcția tensiunii principale.

5) Fisura de oboseală se propagă în interiorul epruvetei în zona nervurilor și apoi către margini. Propagarea fisurii se face de pe linii de agteptare sub forma unor arce de elipsă avînd axa mare paralelă cu fața lată a epruvetei. Fiecărui ciclu de aplicare a sarcinii dinamice îi corespunde un asemenea arc, dacă se acceptă prezunția că distrugerea prin oboseală începe cu primul ciclu de încălzire.

6) Epruvetele fără nervuri, deci fără tensiuni reziduale din sudare, fisurează la una din margini. Fisura se propagă rectiliniu pe direcția tensiunii principale.

7) Ruperea completă a epruvetelor are loc prin decoesiune după curgerea pronunțată a materialului rămas în lucru prin fisurarea secțiunii transversale.



8) Dacă se admite ca durabilitate a epruvetei numărul ciclurilor de aplicare a încălcării dinamice înregistrat pînă la ruperea completă a epruvetei atunci durata funcționării în stare nefisurată este aproximativ 84 %, din durabilitatea sa. Prin epruvetă în stare nefisurată s-a înțeles o epruvetă la care nu s-a detectat o fisură vizibilă cu ochiul liber avînd o lungime mai mare de 2 mm.

9) Mărimea ariei fisurate din secțiunea transversală a epruvetei înregistrează o creștere după o curbă exponențială în cursul fenomenului de oboseală. Această lege de variație este valabilă numai în domeniul fisurii vizibile și depinde de configurația epruvetei și natura ciclului de încărcare.

10) Variația mărimii ariei fisurate în unitatea de timp s-a numit viteză globală de fisurare. Viteza globală de fisurare ascultă tot de o lege exponențială în raport cu timpul în domeniul fisurii vizibile.

11) Fisura de oboseală a putut fi urmărită și la suprafața epruvetei. Viteza de propagare liniară la suprafața epruvetei ascultă de legea exponențială a mecanicii rupei.

12) Urmărirea statistică a fenomenului apariției fisurii de oboseală, a fenomenului rupei, a duratei de funcționare în stare nefisurată a confirmat încadrarea parametrilor ce caracterizează fiecare din aceste aspecte într-o lege de distribuție probabilistică normală.

V/ B I B L I O G R A F I E

A. Lucrări elaborate de conducători și autor

1. Mateescu D., Juncan L., Dimoiu I. - O mașină de încercări la oboseală. A Va conferință de construcții metalice. Timișoara 1973.
2. Mateescu D., Kadojkovic L., Dimoiu I. -
Experimentelle Untersuchung der Überlagerung von Betriebsspannungen mit Schweißrestspannungen bei auf Ermüdungsbeanspruchten Bauteilen.
Referat comunicat la : 5 th Congress of the Yugoslav Association of Structural Engineers.
Budva - Yugoslavia 1974.
3. Mateescu D., Dimoiu I. - Influența tensiunilor reziduale din sudare asupra fenomenului de oboseală a elementelor din oțel. St. Cerc. Mec. Apl. Tom. 36 Nr.1/1977
4. Dimoiu I. - Studiul experimental al suprapunerii tensiunilor de serviciu peste tensiunile remanente din sudare la elemente supuse la oboseală. Referat comunicat la a V-a conferință de construcții metalice. Timișoara - 1973.
5. Dimoiu I. - Tensiuni remanente în piese din oțel. Bulet. St. tehn. I.P.T. Tom. fasc.. 1977

B. Lucrări bibliografice

6. Alpten G.A. Enspänningar och materialhållfasthet i kallriktade bredflansprofiler in Särtryck ur Jernkontorets. Annaler vol. 154. 1970
7. Alpten G.A., Tall L. - Residual Stresses in Heavy welded Shapes. A.J. vol. 49. 1970.-
8. Casard R.- La fatigue de métaux. Dunod. Paris 1969.-

9. Cioclov D. - Degradarea cumulativă a oțelurilor prin solicitări repetate cu amplitudini variabile.
Disertație Timișoara 1970.-
10. Cioclov D. - Rezistență și fiabilitate la solicitări variabile Ed. Pacla. 1975
11. Daddi I., - Massolani F.M. - Determinazione sperimentale delle imperfezioni strutturali nei profilati di acciaio. Costruzioni Metalliche 5/1972.-
12. Lieter G.F. Jr.- Metalurgie mecanică Ed.tehn. 1970
13. Dwight J.B., Young B. ., - Residual Stresses due to Welding. Conference of Joints in Structures 1970.
14. Ekstrom D.H., Munse H.W., - The Effect of Internal Weld Defects on the Fatigue Behaviour of Welded Connections.
I.I.V. Doc. XIII - 678 - 73
15. Guerrera V., - Rules and Experimental Data in Fatigue
I.I.V. - Doc. XV - 228 - 67.-
16. Hajdu J.- Contribuții la studiul influenței temperaturii și vitezei de încărcare asupra limitei de curgere a unui oțel moale. Disertație, Timișoara 1963.
17. Harrison J.L., An Analysis of Data on Non - Propagation Fatigue Cracks on a Fracture Mechanics Basis
I.I.V. Doc. F 20/3 / 69.
18. Hirsch P.B., Observations of Dislocations in Metals Internal Stresses and Fatigue in Metals New- York 1959.
19. Iidak, Kawahara M., Changes in Fatigue Crack Shape During Growth. I.I.V. Doc. XIII - A - 18 - 75.-
20. Andriavțev I.P. - Ostatočini svaročnie napreženia i procinosti soedinenii. Maginostrenie, 1964.-

21. Masubuchi K., Welding Stress Analysis by the Numerical Experiments by Finite Element Method I.I.R. Doc.X 675 - 72.
22. Mateescu D., Gadeanu I., Kerces G., s.a.
Construcții metalice Ed.did. și ped. București - 1975
23. Massolani F.M. - Analisi sperimentale delle tensioni residue nei profilati metallici.
Convegno Nazionale A.I.A.S. Palermo 1972.
24. Kunze H.W. , Fatigue of Welded Steel. Structures.
New York 1964
25. Müller F.W. , Pimbley W.L., Mulson J.F.
The Study of Metal Surface by the Field Ion Microscope. Conference of Joints in Structures 1970.
26. Mădăgan St. s.a., - Oboseala metalelor. Ed. tehnică 1962
27. Neumann A., Probleme în legătură cu rezistența la oboseală a îmb. nărilor sudate. I.D.T. 1962
28. Paná T., Aplicații ingineresti ale mecanicii ruperilor.
Ed. tehn. 1975
29. Parker F.K., Pegredo D.M. - Nucleation and Growth of Fatigue Cracks, Internal Stresses and Fatigue in Metals. New York 1959.
30. Langiski L.Z. , Prelucrarea matematică a datelor experimentale Ed. tehn. 1974.
31. Serensen S.V. - Krufiakov V.I. Proposition on the Method on Fatigue Testing Welded Joints I.I.R. Doc.XIII. 384 - 65.
32. Serensen S.V., Krufiakov V.I., Babcev A.V.
The Effect of Residual Stresses in Fatimation of Fatigue Resistance for Butt Joints with Lack of

Fracture Mechanics I.I.V. Doc.XIII 589-70

33. Tanaka M., Narumoto A., Tanakosehi I.
Fatigue Crack Propagation in Welded Structural Steel Plates . I.I.V. Doc. XIII. 78- 75.-
34. Teiji Ito Kiyoschi Tanaka, Makato Sato Study of
Brittle Fracture Initiation from Surface Notch in Welded Fusion Line. I.I.V. Doc. X- 693- 73 .
35. Teodorescu C.C. ș.a. - Imbinări sudate Ed.tehn.1972
36. Trufiakov V.I., Ustalosti svernyh soedinenii Kauka
duna. Kiev 1973.-
37. Vologdin V.F. - Deformații i napreajenia prisvarceh
sudovih construcții. M.Oboronghiz 1955.
38. Young B.L. - Residual Stresses in Hot Rolled Members
Colloquium on Column Strenght. Paris 1972.-

oOo