

STUDII ASUPRA COMPORTĂRII ÎN EXPLOATARE A ELEMENTELOR COMPONENTE DIN STRUCTURA PORTANTĂ LA UTILAJELE DE CARIERĂ SPECIFICE SUPUSE LA OBOSEALĂ ȘI COROZIUNE ÎN EXPLOATARE SAU STAȚIONARE

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea "Politehnica" din Timișoara
în domeniul INGINERIE MECANICĂ
de către

Ing. Mihai Condescu-Grund

Conducător științific: prof.univ.dr.ing.Eur.ing. Tiberiu Dimitrie Babeu
Referenți științifici: prof.dr.Eur.ing. Ștefan Tiberiu Mănescu
prof.dr.ing. Mircea Bejan
prof.dr.ing. Nicolae Faur

Ziua susținerii tezei: 25.01.2008

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|---|--|
| 1. Automatică | 8. Inginerie Industrială |
| 2. Chimie | 9. Inginerie Mecanică |
| 3. Energetică | 10. Știința Calculatoarelor |
| 4. Ingineria Chimică | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 5. Inginerie Civilă | 12. Ingineria sistemelor |
| 6. Inginerie Electrică | 13. Inginerie energetică |
| 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații | 14. Calculatoare și tehnologia informației |

Universitatea „Politehnica” din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2011

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității „Politehnica” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221
e-mail: editura@edipol.upt.ro

Cuvânt înainte

În cadrul sistemului energetic național, exploatarea minereurilor de cărbune ocupă un loc prioritar în vederea asigurării din resurse proprii a necesităților interne într-o proporție cât mai mare.

Acest obiectiv poate fi realizat utilizând tehnologii și utilaje de mare complexitate și productivitate care, urmărește prin ridicarea gradului de mecanizare creșterea eficienței operațiilor de tăiere, încărcare și transport și implicit creșterea eficienței economice.

Prin modernizarea utilajelor grele mobile se urmărește mărirea duratei de viață a acestora, cu efect benefic atât din punct de vedere economic cât și al siguranței și fiabilității în exploatare.

Reproiectarea are drept scop reducerea consumurilor de materiale și mărirea de viață a acestora.

L-a reproiectarea în vederea modernizării, s-au luat în considerare toate îmbunătățirile constructive propuse de către cei ce le au în folosință ca urmare a experienței dobândite în timp, prin exploatarea acestora.

La reproiectarea elementelor portante și active, s-au luat în considerare și s-au respectat standardele în vigoare precum și normele de protecția muncii cu privire la proiectarea, execuția și exploatarea.

Reproiectarea echipamentelor a adus, ca element de noutate și analiza structurilor portante folosind programele de calculator bazate pe calculul de rezistență prin metoda elementului finit.

Condescu-Grund, Mihai

Studii asupra comportării în exploatare a elementelor componente din structura portantă la utilajele de carieră specifice supuse la oboseală și coroziune în exploatare sau staționare

Teze de doctorat ale UPT, Seria 9, Nr. 106, Editura Politehnica, 2008, 130 pagini, 69 figuri, 43 tabele.

ISSN: 1842-4937

ISBN: 978-973-625-589-2

Cuvinte cheie: excavator, exploatare, cărbune, bandă rulantă, energie, termocentrală, căldură, cabluri de ancorare, expertiză.

Rezumat,

Teza evidențiază o serie de aspecte din calculul, construcția și exploatarea utilajelor de cariere supuse la oboseală și coroziune.

CUPRINS

INTRODUCERE	9
CAP.1 CONSIDERAȚII GENERALE	15
1.1 Scopul și oportunitatea temei	15
1.2 Principalele elemente portante la utilajele de carieră specifice, supuse la oboseală și coroziune în exploatare sau staționare cu rol determinant în echilibrul general al mașinii	15
1.2.1 Mașini de lucru în depozite de combustibil solizi (centrale termoelectrice)	16
1.2.2 Excavatoare și mașini din cadrul exploatărilor miniere de suprafață	16
CAP.2 TEHNICA DE PROIECTARE PENTRU COMPONENTE SUPUSE LA OBOSEALĂ ȘI COROZIUNE ÎN EXPLOATARE SAU STAȚIONARE	17
2.1 Acțiuni (principale, secundare sau excepționale) ce încarcă componentele structurii portante.	17
2.2 Funcționare, staționare și solicitări dinamice sau statice	19
2.3 Principalii factori (de exploatare sau mediu) care afectează durata de viață a elementelor portante	23
2.3.1 Factori care favorizează tendința de rupere fragilă a oțelurilor	24
2.3.1.1 Influența stării de tensiune	24
2.3.1.2 Influența temperaturii	24
2.3.1.3 Influența vitezei de deformare	24
2.3.1.4 Influența factorilor metalurgici	24
2.3.2 Factori care produc îmbătrânirea	24
2.3.3 Factori care produc îmbătrânirea	25
2.3.3.1 Factori ce depind de condițiile de exploatare	25
2.3.3.2 Factori metalurgici	25
2.3.3.3 Factorii constructivi:	25
2.3.4 Factori care produc coroziunea oțelurilor:	25
2.4 Breviar de calcul pentru elementele cele mai solicitate	26
2.4.1 <i>Calculul roții portcupe</i>	27
2.4.1.1 <i>Considerații generale</i>	27
2.4.1.2 <i>Structura de calcul.</i>	27

2.4.1.3	Încărcări de calcul.	29
2.4.1.4	Rezultate	30
2.4.1.4.1	Eforturi	30
2.4.1.4.2	Deformații.	33
2.4.2	Calculul axului roții portcupe + lagăre	33
2.4.2.1.	Calculul axului roții portcupe	33
2.4.2.1.1	Caracteristici statice	33
2.4.2.1.2	Încărcări.	34
2.4.2.1.3	Structura de calcul	35
2.4.2.1.4	Rezultate.	35
2.4.2.2	Calculul lagărului oscilant	36
2.4.2.3	Structura modernizată cap elinda	37
2.4.2.3.1	Considerații generale	37
2.4.2.3.2	Încărcări	37
2.4.2.3.3	Structura de calcul	41
2.4.2.4	Rezultatele calculului :	41
2.4.2.4.1	Calculul eforturilor unitare pentru brațul roții cu cupe.	41
2.5	Concluzii	45
CAP.3	CARACTERISTICILE MATERIALELOR FOLOSITE LA FABRICAREA ELEMENTELOR COMPONENTE SUPUSE LA OBOSEALĂ	47
3.1	Caracteristicile mecanice și structurale ale oțelurilor utilizate la elementele portante supuse la oboseală	47
3.1.1	Oțeluri pentru construcții cu destinație specială	48
3.1.2	Oțeluri cu rezistență mărită la coroziunea atmosferică	54
3.1.3	Oțeluri cu granulație fină	57
3.2	Tehnologii de execuție și materiale de adaos	61
3.3	Defecte și metode de remaniere sau înlocuire a acestora din structura elementelor portante supuse la oboseală	62
3.3.1	La materialele de bază (stare turnată și deformată plastic)	62
3.3.2	Îmbătrâmirea sudurilor	65
3.3.3	Remedierea defectelor materialelor elementelor portante.	70
3.4	Studiul fragilității structurale a materialelor utilizate în componența elementelor portante supuse la oboseală	71

	3.4.1	Analiza compoziției chimice	72
	3.4.2.	Analiza metalografică	72
	3.5	Concluzii	85
CAP.4	CERCETĂRI ASUPRA COROZIUNII CHIMICE LA CARE SUNT SUPUSE ELEMENTELE PORTANTE		87
	4.1	Fenomene de coroziune	87
	4.2	Tipuri specifice de coroziune chimică și evaluarea tendinței la coroziune	93
	4.2.1	<i>Coroziunea generală (uniformă)</i>	93
	4.2.2	<i>Coroziunea localizată în puncte "pitting"</i>	93
	4.2.3	<i>Coroziunea în crevasă</i>	95
	4.2.4	<i>Coroziunea fisurantă sub tensiune</i>	96
	4.2.5	<i>Coroziunea îmbinărilor sudate</i>	97
	4.3	Cercetări privind rezistența la coroziune ale elementelor portante, de tip tirant, lașe și cabluri de ancorare	104
	4.3.1	<i>Prelevări probe</i>	104
	4.3.2	<i>Încercări de laborator</i>	105
	4.4	Concluzii	109
CAP.5	CALITATEA ȘI COMPORTAREA ÎN EXPLOATARE A ELEMENTELOR COMPONENTE DIN STRUCTURA PORTANTĂ LA UTILAJELE DE CARIERĂ SPECIFICE SUPUSE LA OBOSEALĂ ȘI COROZIUNE		111
	5.1	Principalele tipuri de defecte ce apar în exploatare	111
	5.2	Concluzii	116
CAP.6	CONSIDERAȚII FINALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE, PROBLEME DE VIITOR		117
	6.1	Considerații finale	117
	6.2	Contribuții originale	117
	6.3	Probleme de viitor	117
	Bibliografie		121

INTRODUCERE

În cadrul sistemului energetic național exploatarea minereurilor de cărbune ocupă un loc prioritar în vederea asigurării din resurse proprii într-o proporție cât mai mare a necesităților interne.

Pentru realizarea acestui obiectiv în industria extractivă se folosesc tehnologii și utilaje de mare complexitate și productivitate care urmăresc prin ridicarea gradului de mecanizare creșterea eficienței operațiilor de tăiere, încărcare și transport și implicit creșterea eficienței economice. În funcție de locul unde se utilizează aceste utilaje se pot grupa astfel :

- mașini, instalații și utilaje specifice exploatarea subterană a substanțelor minerale utile.

- mașini, instalații și utilaje specifice exploatarea și manipulării la suprafață a substanțelor minerale utile .

Grupa de utilaje grele mobile pentru exploatarea și manipularea la suprafață cuprinde : excavatoare cu rotor portcupe, mașini de haldat, mașini de lucru în depozit ,transportoare cu bandă de mare capacitate, cărucioare de bandă etc.

În etapa actuală se constată o trecere de la dezvoltarea extensivă la cea intensivă care duce la o creștere a producției nu numai prin investiții dar mai ales prin creșterea indicatorilor de utilizare ai instalațiilor, utilajelor etc. Aceasta presupune și o creștere a fiabilității în faza de exploatare care să asigure o corectă funcționare în procesul tehnologic ,fără defecțiuni, opririle urmând să se facă conform programelor de revizii și reparații tehnologice.

La intern se constată până în prezent , o reducere a programelor de investiții din industria minieră și o direcționare într-o mică măsură a fondurilor în vederea achiziționării de noi utilaje fabricate în țară. Această evoluție puternic descendentă după anul 1990 a fondurilor de investiții de la buget, mai ales în perioada 1990-1996 , s-a datorat atât recesiunii economice cât și a blocajului financiar și a gradului redus de competitivitate și fiabilitate a produselor .

Fondurile alocate de la buget pentru investiții în industria minieră sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1

Specific	UM	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Valoare absolută	miliarde lei	10,8	7,5	12,0	56,1	120	200	500
Valoare comparată	miliarde lei	3,6	0,8	0,7	1,7	1,2	1,9	4,8
Fonduri alocate de la buget	%	3	9	17	33	100	105	104

În acest context economic precum și datorită prețurilor materialelor metalice, a componentelor mecanice și electrice, valoarea reală a utilajelor destinate

manipulării și excavării cărbunelui la suprafață este foarte mare (aprox.650 mld. lei /buc) ceea ce duce la limitarea posibilităților de achiziționare de către potențiali beneficiari.

Din aceste considerente tendințele actuale pe plan mondial s-au direcționat spre alte priorități cum ar fi :

- modernizarea utilajelor existente în exploatare
- automatizarea și transmiterea datelor la distanță
- prevederea utilajelor cu echipamente de control al funcționării componentelor
- dotarea cu echipamente care să înregistreze masele vehiculate și timpul efectiv de lucru
- efectuarea de controale preventive și diagnosticări tehnice pentru a evita opririle accidentale
- asigurarea funcționării pe timp de iarnă
- asimilarea de transportoare cu debite mărite și transportoare cu debite variabile
- prevederea utilajelor cu microprocesoare și calculatoare de proces tehnologic

La noi în țară se acționează pentru rezolvarea unora din cerințele prezentate anterior ,la ora actuală fiind luată în obiectiv modernizarea utilajelor existente în exploatare.

Modernizarea utilajelor grele mobile[excavatoarelor cu rotor port-cupe , mașinilor de depozitare (cărbune) și mașinilor de haldare (steril)] pentru carierele de lignit se face prin creșterea fiabilității următoarelor componente :

- rotorul port-cupe ,inclusiv grupul de antrenare
- mecanismul de marș, inclusiv reductoarele
- mecanismul de direcție (viraj)
- sistemul de ungere
- instalația electrică etc.

Din statistica avariilor la aceste tipuri de utilaje se constată că majoritatea au fost de natură mecanică și electrică.

Prin acțiunea de modernizare se urmărește mărirea duratei de viață a utilajelor cu efect benefic atât din punct de vedere economic cât și al fiabilității în exploatare.

Datorită faptului că elementul cel mai important care determină durata de viață a unui utilaj este construcția metalică (restul elementelor mecanice și electrice se pot înlocui) este imperios necesar să se elaboreze o metodologie de analiză a structurii portante reale în vederea determinării duratei de utilizare în siguranță al acesteia. Asupra utilajelor acționează în timp o serie de factori (suprasarcini, șocuri, oboseala, coroziunea etc.) care împreună duc la degradarea structurilor metalice portante, inclusive a rulmenților grei (Ø5000 și Ø8650) din componentă.

Temperaturile negative reprezintă unul din factorii care contribuie la tendința de fragilizare a oțelurilor și cum majoritatea utilajelor de manipulare și excavare a cărbunelui lucrează la suprafață și în perioada de iarnă la temperaturi negative este necesar a fi făcute cercetări asupra materialelor și sudurilor din structurile metalice portante.

Problema ruperilor fragile în construcțiile metalice sudate a început să fie cercetată relativ târziu, începând cu deceniul al -4-lea al secolului nostru, după ce au avut loc o serie de avarii la un număr de poduri metalice sudate din Germania, Belgia, Canada, Australia etc. Numeroase avarii, prin ruperi fragile, s-au produs și în domeniul construcțiilor mecanice ,recipiente, conducte de înaltă presiune, etc.

În urma unor studii și cercetări menite să stabilească cauzele precum și măsurile necesare pentru evitarea lor s-a ajuns la următoarele concluzii:

1. În cazul podurilor ,ruperile fragile au avut loc când podurile erau neîncărcate, deci cauza ruperilor nu putea fi pusă pe seama rezistenței admisibile.
2. Accidentele s-au produs după un interval de 1-5 ani de la darea în exploatare a construcției.
3. Ruperile au avut loc la temperaturi scăzute ,în majoritatea cazurilor sub 0°C, sau la scăderi bruște de temperatură.
4. În toate cazurile, ruperile au avut un caracter casant, s-au produs brusc, însoțite de un zgomot puternic.
5. În majoritatea cazurilor ,s-a constatat că oțelul utilizat nu corespunde condițiilor de calitate cerute pentru construcțiile sudate.
6. În numeroase cazuri ,proiectele conțineau defecte de concepție (zone cu puternici concentratori de eforturi).
7. În unele cazuri ,tehnologia de sudare a fost necorespunzătoare, ducând la apariția de tensiuni remanente foarte mari.
8. Au existat cazuri când calitatea îmbinărilor sudate a fost necorespunzătoare, constatându-se prezența a diferite defecte.

Din analiza acestor accidente și avarii a rezultat că în cazul construcțiilor sudate, calculele de rezistență și stabilitate cu toate că sunt indispensabile, nu sunt suficiente pentru a garanta siguranța construcției, fiind absolut necesar ca ele să fie completate cu luarea unor măsuri contra eventualelor ruperi fragile.

Având în vedere cele prezentate anterior și luând în considerare că utilajele de manipulare și excavare a cărbunelui prin specificul lor lucrează în regim dinamic, este imperios necesar o verificare a structurilor din oțel pentru determinarea stării reale a materialului.

Printre factorii care acționează în timp asupra utilajelor și care duc la degradarea structurilor metalice portante se află fenomene de coroziunii și de oboseală.

Alegerea materialului potrivit pentru construcția unui utilaj constituie o problemă destul de dificilă. Decizia corectă poate fi luată ținând cont de proprietățile fizice și mecanice ale materialului , dar și de efectul interacțiunii acestuia cu mediul în care materialul va fi exploatat, adică de fenomenul coroziunii și oboselii. Pierderile anuale datorate coroziunii sunt foarte mari. În România se apreciază că 30% din cantitatea de metal consumată anual pentru întreținere și reparații în industria chimică și 25% în industria metalurgică sunt destinate înlocuirii metalului corodat (cifrele sunt la nivelul anului 1976). În afara acestor pagube directe apar cheltuieli suplimentare legate de oprirea instalațiilor pentru înlocuirea părților corodate, consecințe grave cauzate de distrugerea accelerată a unor aparate de măsură și control, precum și pericole vizând securitatea personalului. Aplicarea metodelor de protecție anticorozivă adecvate fiecărui caz în parte duce la diminuarea apreciabilă a pierderilor provocate de către acest fenomen dăunător.

Coroziunea poate fi descrisă ca o reacție la interfața metal/nemetal în care metalul este oxidat , iar nemetalul redus. Natura nemetalului, proprietățile fizice și chimice ale produșilor de reacție și condițiile de mediu (temperatură, presiune, viteză, etc.) vor determina forma, întinderea și viteza de reacție. Coroziunea metalelor se poate clasifica după mecanismul procesului de distrugere și după aspectul exterior al distrugerii.

După mecanismul reacției se pot distinge: coroziune chimică și coroziune electrochimică.

Coroziunea chimică definește procesele în care o reacție chimică directă are loc între metal și mediul său, fără schimb de sarcini electrice. Există trei tipuri de reacții de coroziune chimică:

- metal /gaz, în care produsul de coroziune este un compus volatil (ex. reacția molibdenului cu oxigenul sau a fierului cu clorul);
- metal/oxigen la temperaturi ridicate, care duce la formarea unor pelicule de oxizi, în general solide și aderente la suprafața metalică din care provin;
- metal/ lichid (ex. dizolvarea nichelului în mercur, dizolvarea unui metal în cloruri topite, dizolvarea metalelor în soluții neapoase).

Coroziunea electrochimică include acele procese care implică un transfer de sarcină la interfața metal/mediu agresiv. Reacțiile de coroziune electrochimică pot fi clasificate în următoarele tipuri:

- reacții de coroziune cu zonele anodice și catodice neseperate care cuprind dizolvarea uniformă a metalelor în soluții acide alcaline sau neutre, în soluții neapoase sau în săruri topite;
- reacții cu zonele anodice și catodice separate, în care anumite suprafețe de metal funcționează preponderent anodic, iar altele catodic;
- reacții în care suprafața metalului este acoperită de un film, reacții în care sarcina electrică este transportată printr-un film superficial de coroziune.

După aspectul suprafeței afectate, coroziunea poate fi clasificată în coroziune generală, localizată, uniformă, neuniformă, selectivă, intercristalină, transcristalină, sub suprafața, pete de coroziune, coroziune pitting.

În procesele de coroziune uniformă sau generală, suprafețele anodice nu sunt separate de cele catodice. Atunci când porțiuni diferite ale suprafeței metalice sunt predominant anodice sau catodice distrugerea corozivă este localizată (coroziune locală). Frecvența și distribuția suprafețelor anodice pot varia foarte mult. Forma care predomină va depinde de sistemul particular metal/mediu și de condițiile concrete.

În funcție de mediul de coroziune și de caracteristicile acestuia procesele de coroziune care conduc la distrugerea metalelor pot să apară și să se dezvolte în condiții diferite. Astfel se cunosc: coroziunea în atmosferă, coroziunea în ape naturale, coroziunea în apa de mare, coroziunea în sol, coroziunea microbiologică, coroziunea datorată reactivilor chimici.

Transformările suferite de metal sub acțiunea mediului înconjurător sunt fenomene naturale nedorite. Ele se desfășoară fără intervenția omului și tind să readucă metalele, în marea lor majoritate instabile termodinamic, în starea lor inițială de combinații chimice (oxizi, săruri etc.).

Eforturile sunt îndreptate spre o cunoaștere cât mai bună a acestor transformări și spre micșorarea efectului lor distructiv prin mijloace de protecție corespunzătoare. Construcțiile metalice, carcasele și părțile neprelucrate ale subansamblurilor mecanice se protejează în mod corespunzător prin aplicarea unor straturi de grunduri, lacuri sau vopsele. Suprafețele metalice se curăță înainte de grunduire de ulei, zgură și alte impurități prin sablare cu alică.

Toate suprafețele interioare și exterioare neprelucrate ale construcțiilor metalice se acoperă la întreprinderea executantă cu grund. Grosimea minimă a stratului de grund este de 30μm.

După grunduire se efectuează acoperirea suprafețelor interioare și exterioare ale construcțiilor metalice cu un strat de vopsea. Suprafețele interioare ale carcaselor reductoarelor se vopsesc în prealabil cu o vopsea rezistentă la ulei.

Vopsirea definitivă a utilajului se efectuează la locul de montaj, după efectuarea acestuia. În scopul unei protecții sigure contra coroziunii grosimea totală a straturilor învelișului trebuie să fie min. 120 μm . Părțile prelucrate ale construcției metalice se acoperă cu un strat de protecție din vaselină.

Teza de doctorat este structurată pe 7 capitole, cuprinde 160 pagini, 65 formule, 70 figuri și fotografii, 50 tabele, anexe și o listă bibliografică cu 117 titluri în care sunt incluse și cele ale autorului.

Rezultatele obținute prezentate în teză sunt urmarea unei activități de mai mulți ani desfășurate de autor .

Cap.1 CONSIDERAȚII GENERALE

1.1. Scopul și necesitatea abordării temei .

Lucrarea urmărește elaborarea unei metodologii de analiză a stării utilajelor grele mobile destinate manipulării și excavării cărbunelui la suprafață aflate în exploatare pentru estimarea comportărilor în condiții de siguranță până la temperaturi de -20°C.

Scopul tezei este ca prin aplicarea metodologiei de verificare să se realizeze starea reală a structurilor portante metalice ale utilajelor și să se poată aprecia gradul de siguranță în exploatare a acestora.

Lucrarea este necesară și pentru faptul că până în acest moment în țară nu există o metodologie clară de expertizare pentru aceste tipuri de utilaje, iar pe plan extern deși s-au făcut diferite cercetări cu aplicabilitate redusă, nu se cunoaște o metodologie complexă de abordare a acestor probleme.

În vederea alinierii la criteriile generale folosite în țările vestice, la noi prin Hotărârea guvernamentală nr.266/1994 sunt prezentate duratele normale de funcționare (utilizare) pentru mijloace fixe, care coincid cu duratele de amortizare, în ani, aferente regimului de amortizare liniar. Duratele normale de funcționare (utilizare) s-au redus față de duratele normale de funcționare, aprobate prin Legea nr. 62/1968 și modificate prin Decretul nr.393/1976, cu 20-65 %. Astfel pentru excavatoare cu rotor și instalații de haldat durata normală de utilizare este de 12 ani.

Marea majoritate a utilajelor aflate la ora actuală în dotarea bazinelor carbonifere a termocentralelor au deja durata normală de funcționare depășită, aceasta neînsemnând că ele nu mai pot funcționa în continuare.

Un factor de risc cu multiple implicații negative este utilizarea în continuare peste limita de timp normală de funcționare a utilajelor fără a cunoaște starea reală a elementelor portante cât și rezerva de funcționare în continuare în condiții de siguranță. O apreciere a stării reale a structurii portante poate duce la o mărire a duratei de viață a utilajului cu efect benefic atât din punct de vedere al siguranței în exploatare cât și financiar.

Lucrarea se înscrie în domeniul cercetărilor moderne asupra fenomenelor de fragilizare structurală a oțelurilor și a îmbinărilor din construcția metalică a utilajelor care lucrează și în condiții de temperaturi scăzute (până la -20°C).

Tema tezei de doctorat are ca obiective principale :

- Reproiectarea unor componente ale utilajelor grele mobile, de a reduce consumul de materiale și a le mări durata de viață.
- Materiale și tehnologii pentru realizarea roții cu cupe reproiectată .
- Comportarea în exploatare a elementelor portante ale utilajelor grele mobile.

1.2. Principalele elemente portante la utilajele de carieră specifice, supuse la oboseală și coroziune în exploatare sau staționare cu rol determinant în echilibrul general al mașinii .

În cadrul unei expertizări, o pondere importantă o are verificarea stării reale ale structurilor metalice portante care presupune încercări distructive și

nedistructive atât asupra unor elemente structurale cât și încercări pe probe extrase (epruvete) din structura portantă .Studiul stării de degradare a elementelor din construcția metalică a acestor utilaje trebuie să ia în considerare posibilitatea apariției fisurilor și ruperea fragilă, precum și influența proceselor datorate fenomenelor de coroziune. Cunoașterea acestor tendințe de fragilizare și fisurare a oțelurilor este vitală pentru menținerea în funcționare a acestor elemente.

În prezent în țară se găsesc mai multe tipuri de utilaje care pot fi clasificate după diferite criterii. În cadrul tezei sunt prezentate utilajele clasificate după locul de funcționare și care se împart în două grupe :

- mașini de lucru în depozite de combustibili solizi (centrale termoelectrice)
- excavatoare și mașini din cadrul exploatărilor miniere de suprafață.

Celelalte criterii de clasificare nefiind relevante în cadrul tezei ,nu sunt prezentate.

1.2.1.Mașini de lucru în depozite de combustibil solizi (centrale termoelectrice)

Aceste tipuri de mașini se folosesc în general pentru manipularea cărbunelui (lignit) în depozitele centralelor termoelectrice ale sistemului național. După funcțiile pe care le îndeplinesc ele se împart în trei grupe :

- mașini de stivuit
- mașini de scos din depozit
- mașini combinate de scos din depozit și stivuit

În prezent sunt în exploatare 160 de mașini de concepție și fabricație indigenă, alte 27 mașini fiind în exploatare în depozitele de cărbune ale întreprinderilor miniere. Aceste tipuri de utilaje au fost realizate în diverse variante constructive, pentru diferite capacități de vehiculare, lungimi de braț etc.

În anexele 1..8 sunt prezentate tipurile de mașini de lucru și unele caracteristici tehnice ale acestora.

1.2.2. Excavatoare și mașini din cadrul exploatărilor miniere de suprafață

Aceste tipuri de utilaje se folosesc atât la excavarea sterilului cât și utilului în exploatările miniere de suprafață. În prezent funcționează la noi în țară 110 excavatoare cu rotor și 49 mașini de haldat.

Dintre excavatoarele cu rotor 21 sunt provenite din import ,iar restul de 89 sunt de fabricație indigenă. Excavatoarele executate în țară sunt de două tipuri : ERC1400 în număr de 61 bucăți și ESRc 470 în număr de 28 bucăți.

Dintre cele 49 mașini de haldat 12 sunt provenite din import, iar restul de 37 sunt mașini de haldat de tipul IH 6500x90 fabricate în țară.

Excavatoarele ERC 1400 și mașinile de haldat IH 6500x90 au fost asimilate pe baza documentației și modelelor de referință SchRs 1400 și respectiv ARS 6500x90 realizate de firma KRUPP în patru etape de integrare începând cu anul 1973.

Excavatorul ESTc 470 de producție românească este asimilat după modelul de referință Srs 470 realizat în RDG și face parte din categoria excavatoarelor mijlocii utilizate în exploatările miniere de suprafață. Prezentarea acestor utilaje cu unele caracteristici tehnice este arătată în anexele .

CAP.2. TEHNICA DE PROIECTARE PENTRU COMPONENTE SUPUSE LA OBOSEALĂ ȘI COROZIUNE ÎN EXPLOATARE SAU STAȚIONARE

2.1. Acțiuni (principale, secundare sau excepționale) ce încarcă componentele structurii portante.

Construcția metalică a instalațiilor de ridicat se calculează și proiectează conform STAS 8290 - 83. Acest standard nu se aplică și la proiectarea utilajelor grele mobile (excavatoare și celelalte tipuri de utilaje de lucru în cariere și depozite de suprafață: mașini de haldat, mașini de scos din depozit, mașini de stivuit și mașini combinate).

Diferențele de calcul se datorează specificului de lucru al utilajelor și se referă în principiu la: - acțiuni

- gruparea acțiunilor
- rezistența în exploatare.

În continuare este prezentat pe scurt specificul de calcul pentru tipurile de utilaje prezentate anterior.

Standardul de calcul pentru instalațiile de ridicat clasifică acțiunile ce încarcă construcția metalică în acțiuni permanente, acțiuni temporare și acțiuni excepționale.

În categoria acțiunilor permanente intră:

- încărcări datorită greutatei proprii și eforturilor inițiale
- încărcări din greutatea proprie a materialului în vrac din buncăre sau de pe benzile de transport

În categoria acțiunilor temporare intră:

a) *acțiuni temporare principale:*

- încărcări nominale
- forțe de inerție în plan vertical
- forțe de inerție din acționări
- forțe centrifugale și tangențiale
- forțe provenite din căderea materialului în vrac

b) *acțiuni temporare secundare:*

- forțe provenite din mersul oblic
- încărcări datorate acțiunii vântului
- încărcări datorate variației de temperatură
- încărcări din gheață, zăpadă și praf
- încărcări pe scări, podeste, platforme și balustrăzi

În categoria acțiunilor excepționale intră:

- forța de răsturnare la cărucioare cu ghidare rigidă a sarcinilor utile
- forțe de lovire în tampoane și opritori
- încărcări provenite din sarcinile de verificare cu ocazia recepției sau autorizării pentru darea în funcțiune a instalației de ridicat (sarcini de încărcare)
- alte încărcări.

Acțiunile permanente, temporare și excepționale se combină în funcție de condițiile de exploatare a utilajului, rezultând grupări de acțiuni care reprezintă o combinație de încărcări ce pot acționa simultan asupra instalației de ridicat.

În funcție de frecvența și intensitatea cu care diferitele grupări de acțiuni apar pe toată durata de viață a construcției, ele se împart în:

- grupări fundamentale PTP
- grupări fundamentale PT
- grupări speciale PTE.

Grupările fundamentale PTP conțin toate acțiunile cu frecvența cea mai mare pe durata de viață a utilajului; verificarea la oboseală se efectuează pentru cea mai dezavantajoasă grupare, făcând parte din această categorie.

Grupările fundamentale PT au o frecvență relativ mică (accidentală) pe durata de viață a utilajului, ele considerându-se numai la verificarea generală a eforturilor unitare și la verificarea stabilității locale.

Grupările speciale PTE urmăresc ca în elementele construcției metalice să nu apară deformații permanente, la apariția rară, dar în principiu inevitabilă a acestora.

Gruparea acțiunilor este prezentată sintetic în tabelul 2.1.

Tabelul 2.1.

Acțiuni		Simb	Grupări fundamentale de acțiuni				Grupări speciale de acțiuni				
			φG	φG	G	φG	G	G	ΦG	G	
Acțiuni permanente (P)	Greutăți proprii	G	φG	φG	G	φG	G	G	ΦG	G	
	Coeficient dinamic	φ	φG_m	φG_m	G_m	φG_m	-	φG_m	-	-	
	Încercări din materiale în vrac	G_m	φG_m	φG_m	G_m	φG_m	-	φG_m	-	-	
Acțiuni temporare (T)	Principale (P)	Încărcări nominale	Q	ψQ	-	-	Q	-	Q	-	-
		Coeficient dinamic	ψ	ψQ	-	-	-	-	-	-	-
		Căderea sarcinii	-0,25	-	-0,25	-	-	-	-	-	-
		Încărc. nominale-sarcina	ψ	-	ψ	Q_0	-	-	-	-	-

		Forțe de inerție din acționări	Translație cărcior	Hc	Hc	Hc	-	-	Hc	Hc	Hc	Hc
			Translație macara	Hp	Hp	Hp	-	-	Hp	Hp	Hp	Hp
			Rotire	Hr	Hr	Hr	-	-	Hr	Hr	Hr	Hr
Basculare	Hb		Hb	Hb	-	-	Hb	Hb	Hb	Hb		
		Forțe centrifugale și tangente		Fc	Fc	-	-	-	Fc	Fc	Fc	Fc
		Forțe din mers oblic		S	-	-	-	S	-	-	-	-
Secundare (S)	Vânt	în exploatare în repaos	Rv ₁	Rv ₁	Rv ₁	-	Rv ₁	-	-	-	-	-
			Rv ₂	-	-	Rv ₂	-	-	-	-	-	-
Acțiuni excepționale (E)		Forțe de răsturnare		Fr	-	-	-	-	Fr	-	-	-
		Forțe de tamponare		Ft	-	-	-	-	-	Ft	-	-
		Sarcini de verificare	statice	Qst	-	-	-	-	-	-	-	-
dinamice	Qd		-	-	-	-	-	-	-	ψQ _d	-	

2.2. Funcționare, staționare și solicitări dinamice sau statice

Metoda de dimensionare - verificare adaptată în standard este metoda rezistențelor admisibile. Rezistențele admisibile pentru elementele alcătuite din profile laminate la cald, supuse încărcărilor în exploatare, se obțin prin împărțirea limitei de curgere la un coeficient de siguranță corespunzător grupării de acțiuni (tabelul 2.2.) .

Tabelul 2.2.

Grupări de acțiuni	Coeficienți de siguranță	
	C ₁ (materiale laminate, suduri)	C ₂ (nituri, șuruburi)
PTp	1,5	1,71
PT	1,35	1,50
PTE	1,15	1,35

Rezistențele admisibile pentru profile și table laminate la cald sunt date în tabelul 2.3.

Tabelul 2.3.

Natura Tensiuni	Simbol	Coef. în rap cu σ_a	Rezistențe admisibile în MPa pentru oțel laminat la cald, marca								
			OL 37 și OLT 35			OLT 45			OL 50		
			Grupări de acțiuni								
			PTp	PT	PTE	PTp	PT	PTE	PTp	PT	PTE
Tensiuni unitare normale	σ_a	1,0	1600	1800	210 0	1750	1950	2200	2400	2700	3100
Forfecare	τ_a	0,057 5	920	1040	120 0	-	-	-	1380	1560	1800
Presiune locală	σ / a	-	6500	7500	850 0	-	-	-	9000	11000	11700

Elementele construcțiilor metalice ale instalațiilor de ridicat sunt supuse la acțiuni și eforturi repetate, variabile în timp, necesitând verificarea de rezistență în exploatare.

În vederea calculului și verificării construcției metalice, instalațiile de ridicat și elementele componente ale acestora sunt împărțite în grupe de funcționare, pe baza a doi factori: clasa de utilizare și starea de încărcare.

Clasa de utilizare (A...D) este caracterizată de frecvența de încărcare (frecvența de utilizare) a instalației de ridicat pe durata ei de viață. Frecvența de încărcare este definită de numărul ciclurilor de încărcare pe care le efectuează instalația de ridicat pe durata ei de viață. Durata unui ciclu de încărcare se definește ca timpul scurs între începutul procesului de ridicare a unei sarcini și momentul când instalația de ridicat va fi din nou în situația de a efectua următorul proces de ridicare.

Starea de încărcare (0...3) pentru construcția metalică a instalațiilor de ridicat indică în ce proporție macarua ridică sarcina nominală sau numai o sarcină redusă ca valoare față de aceasta. Această noțiune se definește prin spectrul de sarcini care indică numărul de cicluri în cadrul cărora se atinge sau se depășește o sarcină egală cu o anumită fracțiune din sarcina nominală.

În funcție de clasa de utilizare și starea de încărcare, construcțiile metalice ale instalațiilor de ridicat și / sau elementele acestora se împart în grupe de funcționare conform tabelului 2.4.

Tabelul 2.4.

Clasa de utilizare	A	B	C	D
Numărul total de cicluri de încărcare pe durata de viață a utilajului	$2 \times 10^4 \leq N \leq 2 \times 10^5$ Utilizare ocazională, neregulată, urmată de pauze lungi	$2 \times 10^5 < N \leq 6 \times 10^5$ Utilizare regulată, dar intermitentă	$6 \times 10^5 < N \leq 2 \times 10^6$ Utilizare regulată continuă	$2 \times 10^6 < N$ Utilizare regulată în condiții grele de exploatare
Starea de încărcare	Grupele de funcționare			
0 - foarte ușoară	I	II	III	IV
1 - ușoară	II	III	IV	V
2 - medie	III	IV	V	VI
3 - grea	IV	V	VI	VI

Verificarea la rezistență în exploatare se face numai pentru grupările de încărcări PTP și numai la instalații de ridicat și elementele acestora supuse la un ciclu mai mare ca 2×10^4 .

La verificarea elementelor construcției metalice la rezistența în exploatare trebuie să se țină cont de următorii factori:

- grupa de funcționare
- tensiune unitară maximă în elementul respectiv
- caracteristica ciclului $\rho = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$
- materialul utilizat și efectul de încreștere în locul unde se face

verificarea.

Rezistența în exploatare a unui anumit element depinde de materialul de bază, de forma constructivă și calitatea îmbinărilor sudate.

Pentru utilajele prevăzute cu rotor portcupe (excavatoare, mașini de depozit), calculul de rezistență s-a efectuat după norme germane DIN.

Tabelul 2.5.

	Grupa de funcționare		Încărcări principale H		Încărcări suplimentare Z		Încărcări speciale S		Sarcini limită G	
			a	i	a	i	a	i	a	i
1	Sarcini permanente		x	x						
2	Sarcina utilă a benzii			x						
3	Depuneri pe dispozitive de transport benzi		x	x						
4	Pretensionarea benzii									
5	Vânt: utilaj în repaos Vânt: utilaj în stare de funcționare				x	x				
6	Înclinația		x	x						
7	Sarcini utile	Roată cu cupe + benzi		x						
8	Depuneri		x	x						
9	Rezistența normală la înaintare			x						
10	Rezistența normală laterală			x						
11	Rezistența la înaintare accidentală					x				
12	Rezistența laterală accidentală					x				
13	Astuparea cu minereu						x			
14	Încărcare roată cu cupe	parțial					x			
		maxim							x	
15	Sarcină limită la rezistența laterală									x

**NOTĂ : a – nefuncționare
i- funcționare**

Încărcările (acțiunile) ce acționează asupra construcției metalice a utilajelor cuprind patru grupe:

- încărcări principale "H"
- încărcări suplimentare "Z"
- încărcări speciale "S"
- încărcări limită "G"

Pentru calcul se consideră două situații ale utilajului:

- în stare de nefuncționare (a)
- în stare de funcționare (i)

Încărcările și încadrarea lor în grupe de încărcare sunt prevăzute în tabelul 2.5.

Pentru realizarea construcției metalice la aceste tipuri de utilaje s-au folosit oțeluri nealiat OL 37 și OL 52, de preferință fiind ultimul. Rezistențele admisibile pentru oțelul OL 52, în funcție de încărcare, sunt prezentate în tabelul 2.6.

Tabelul 2.6.

Cazul de încărcare	Tensiune unitară admisibilă $\sigma_{apăsare}$ [MPa]	Tensiune unitară admisibilă $\sigma_{tracțiune}$ [MPa]	$\sigma = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau}$	coeficient γ_B
H	2100	2400	2700	1,35
HZ	2400	2700	3000	1,25
HZS	2700	3000	3300	1,15
HZG	3000	3300	3600	1,05

În cazul acestor tipuri de utilaje o problemă de o importanță deosebită și mai puțin studiată este verificarea construcției metalice la rezistența în exploatare. Spre deosebire de instalațiile de ridicat unde noțiunea de ciclu de încărcare (și implicit durata) sunt precizate clar; la utilajele de excavat cărbune la suprafață prin modul lor de funcționare continuă este mai greu de definit această noțiune. Datorită acestui fapt este destul de dificil de precizat și caracteristicile ciclului (σ_{min} , σ_{max}). În general, în breviarele de calcul existente la aceste tipuri de utilaje nu sunt făcute verificări decât pentru tensiuni maxime în diferite poziții de lucru ale brațului și eventual ale utilajului (pentru cele cu șenile).

2.3. Principalii factori (de exploatare sau mediu) care afectează durata de viață a elementelor portante .

În general utilajele grele mobile sunt concepute pentru a funcționa în condiții optime pe o anumită perioadă de ani. Din punct de vedere economic se urmărește durata de viață a unui utilaj să fie cât mai mare, păstrându-se totodată și parametrii funcționali la limite superioare. Subansamblul principal (atât prin masă cât și prin volum), care este hotărâtor în aprecierea duratei de viață a unui utilaj, este construcția metalică a acestuia. Construcția metalică este dimensionată astfel încât să preia solicitările statice și dinamice ce apar în exploatare astfel încât să asigure siguranța în funcționare a întregii instalații. Prin soluțiile constructive alese, se urmărește o conlucrare a elementelor componente care să ducă la o disipare a eforturilor în structură și o reducere a concentratorilor de eforturi din zonele solicitate.

Durata de viață a utilajelor este influențată de o serie de factori, cum ar fi:

- factori care favorizează tendința de rupere fragilă a oțelurilor
- factori care produc îmbătrânirea oțelurilor
- factori care influențează rezistența la oboseală a materialelor
- factori care produc coroziunea oțelurilor.

2.3.1. Factori care favorizează tendința de rupere fragilă a oțelurilor

Ruperea fragilă este un mod de rupere caracteristic stării cristaline, producându-se brusc după planuri paralele cu planele cristalografice de mare densitate atomică, sub efectul sarcinilor aplicate. Factorii care diferențiază comportarea diferită a oțelurilor (tenace sau fragilă) sunt următorii:

- starea de tensiune
- temperatura
- viteza de deformare
- factorii metalurgici.

2.3.1.1. Influența stării de tensiune

Când eforturile unitare sunt întinderi și au același ordin de mărime, stările de tensiune biaxiale și triaxiale duc la o reducere sensibilă a deformațiilor plastice la rupere și respectiv la o tendință de fragilizare a metalului. Astfel de stări de tensiune pot proveni din solicitări datorită variațiilor bruște de secțiune ale piesei sau din cauza tensiunilor remanente provenite din deformațiile împiedicate la răcirea pieselor laminate sau sudate.

La elementele cu creștături apar concentratori de tensiune care favorizează tendința de rupere fragilă a oțelului prin așa numitul efect de creștătură.

2.3.1.2. Influența temperaturii

Odată cu scăderea temperaturii se modifică capacitatea de deformare plastică și limita de curgere. Astfel limita de curgere crește, micșorându-se domeniul până la rezistența la rupere, iar alungirea la rupere și stricțiunea se reduc.

2.3.1.3. Influența vitezei de deformare

La fel ca și influența temperaturii, la mărirea vitezei de deformare rezultă o creștere a limitei de curgere și o scădere a capacității de deformare plastică.

2.3.1.4. Influența factorilor metalurgici

Oțelurile pentru construcțiile metalice ale utilajelor sunt influențate de următorii factori: mărirea granulației, grosimea laminatului, compoziția chimică, tehnologia de elaborare, tratamentele termice etc.

Micșorarea și uniformizarea grăunților conduc la o coborâre a temperaturii de tranziție (trecere în stare fragilă).

Compoziția chimică influențează prin compușii fragili care se formează (structura Wiedmannstätten, nitruri și carburi etc.), comportarea fragilă a oțelurilor.

Grosimea influențează prin două moduri:

- laminatele de grosimi mari cu grad de îndesare la laminare mai mic care conduc la o granulație mai grosolană (rezultă tenacitate scăzută).

- grosimile mari influențează răcirea după laminare sau sudare, dând naștere la tensiuni remanente cu caracter spațial datorită răcirii neuniforme.

Modul de elaborare și dezoxidarea laminatelor din oțel, sunt importante prin structura, granulația și uniformitatea compoziției chimice.

2.3.2. Factori care produc îmbătrânirea

Îmbătrânirea produsă afectează negativ domeniului elastic al oțelurilor ca rezultat al precipitărilor, afectând negativ proprietățile plastice ale acestora.

Fenomenul de îmbătrânire nu apare brusc, ci în decursul timpului, fiind favorizat de suprasolicitări, încărcări repetate, variații de temperatură etc. care produc blocarea straturilor de ferită și crearea de tensiuni la nivelul rețelei, micșorând astfel tenacitatea oțelurilor. Procesul de îmbătrânire se accentuează în cazul unor deformații plastice la rece, mai ales dacă acestea se repetă. Dacă după deformarea plastică la rece se face o încălzire la 200... 300 (°C), se produce așa numita îmbătrânire artificială (îmbătrânire tenso-termică).

2.3.3. Factori care produc îmbătrânirea

Rezistența la oboseală poate fi influențată de o serie de factori care pot fi grupați în trei categorii:

2.3.3.1. Factori ce depind de condițiile de exploatare:

- felul ciclului de solicitare caracterizat de coeficientul de asimetrie al ciclului
- suprasolicitări
- șocuri
- felul solicitării
- frecvența solicitării
- temperatura

2.3.3.2. Factori metalurgici :

- felul natura, cantitatea și dispersia constituenților structurali
- calitatea suprafețelor

2.3.3.3. Factorii constructivi:

- forma piesei (concentratori de eforturi)
- mărimea piesei

2.3.4. Factori care produc coroziunea oțelurilor:

Coroziunea reprezintă un proces de distrugere a metalelor sub acțiunea unor agenți exteriori, ca urmare a unor reacții chimice sau electrochimice. În construcțiile metalice pagubele produse de coroziune se datorează în proporție de 80% din cazuri coroziunii atmosferice industriale.

Coroziunea electrochimică reprezintă cazul general de distrugere a metalelor.

Factorii care influențează comportarea la coroziune sunt:

- natura și caracteristicile mediului agresiv
- natura și caracteristicile metalului
- solicitarea mecanică și alcătuirea constructivă
- protecția anticorozivă.

Un element important îl reprezintă coroziunea în stare de tensiune mecanică, având în vedere că tensiunea mecanică accelerează procesul de coroziune, iar coroziunea modifică starea de eforturi unitare din structura metalică.

Oțelul carbon obișnuit și în general oțelul nealiat prezintă fenomenul de coroziune chiar la temperaturi obișnuite în soluții de H₂SO₄, HNO₃, HCl etc. precum și în cazul construcțiilor metalice exploatate în atmosferă industrială conținând gaze agresive: SO₂, NO₂, Cl etc. S-a demonstrat experimental că eforturile de întindere

stimulează coroziunea, în timp ce tensiunile de compresiune o inhibă, efectul fiind sesizabil pentru valori ale tensiunilor unitare ce depășesc limita de proporționalitate a oțelului. Un caz particular al coroziunii sub tensiune, care constituie forma cea mai periculoasă de distrugere, îl reprezintă *coroziunea tenso-fisurantă*.

2.4. Breviar de calcul pentru elementele cele mai sollicitate

Modernizarea excavatorului constă în înlocuirea roții cu cupe existente cu o roată cu cupe de tip membrană, cu cercul de tăiere 11,5 m având 20 de cupe, schimbarea axului roții, a reductorului și schimbarea construcției metalice a capului elindei de pe brațul roții portcupe.

Ca urmare, a fost necesar calculul și verificarea următoarelor părți componente mecanice și de construcție metalică:

- **Roata portcupe**
- **Axul roții portcupe + lagăre**
- **Structura modernizată (capul elindei)**
- **Cabluri ancorare**
- **Tiranți**
- **Lașe**

Calculule s-au făcut pentru 3 poziții de lucru a brațului, sus, mijloc și jos și în 4 cazuri de combinații de încărcări corespunzând încărcărilor principale H , principale și auxiliare HZ, principale auxiliare și speciale HZS și principale, auxiliare și la limita HZG.

În breviarul de calcul s-au prezentat numai calculule corespunzând acelor elemente la care valoarea tensiunilor sunt semnificative, fiind aproape de valoarea limită admisibilă sau depășind-o, necesitând consolidarea.



Vedere frontală a roții

Vedere laterală a roții



2.4.1. Calculul roții portcupe:

2.4.1.1. Considerații generale.

Se calculează corpul roții cu cupe a unei roți tip membrană cu un cerc de tăiere de 11,5 m și 20 de cupe cu ajutorul metodei cu EF.

Din totalul de 20 de cupe, legătura cupe – roată se va face numai la nivelul a 6 cupe considerând că descărcarea forțelor se face numai la nivelul acestora.

Încărcările care s-au luat în considerare la efectuarea calculelor sunt:

- Din masa proprie a roții cu cupe, a încărcării cu murdărie, a încărcăturii utile (umplutura)
- Din componentele forței de excavare în direcția tangențială, radială și laterală.

Cazurile speciale de încărcare se suprapun în combinații [H1, H2], [HZ1, HZ2].

Repartiția forțelor de tăiere se consideră pe 5 din cele 20 de cupe, în raport de 1/10, 3/10, 3/10, 2/10, 1/10.

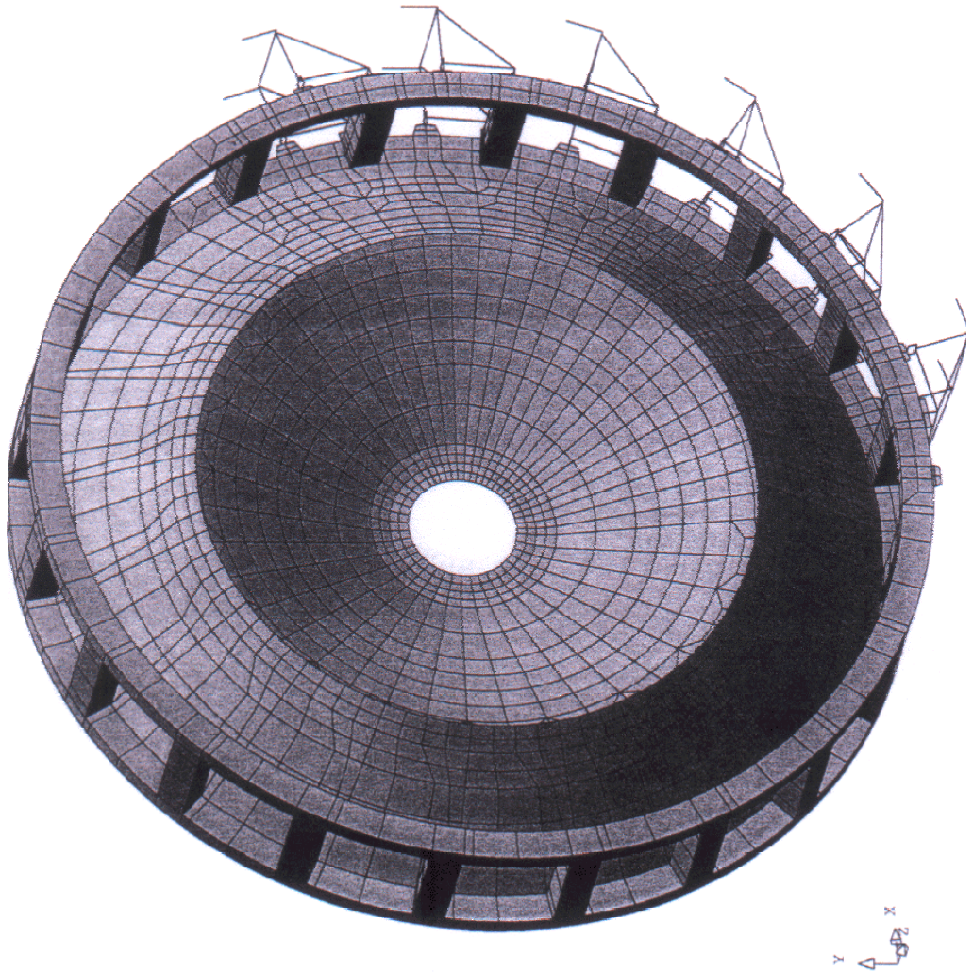
Cusăturile sudate se presupun ca sudate „complet”.

Materialul din care este confecționată roata este OL 52.4 .

2.4.1.2. Structura de calcul.

Dimensiunile constructive ale roții cu cupe care s-au luat în considerare la calcule, cat si ansamblul de calcul al rotii, impreuna cu cele 6 cupe luate în considerare sunt prezentate în fig.2.1 și 2.2 .

Din acest ansamblu se observă că corpul roții cu cupe a fost modelat cu elemente de placă și cupele cu elemente de bară. S-au determinat tensiunile în elemente și la nodurile elementelor.

**Fig.2.2.****2.4.1.3. Încărcări de calcul.**

În calcul s-au considerat următoarele încărcări:

- Masa proprie roată cu cupe cu 20 cupe
- Murdărie roată cupe
- Material în cupe
- Forța de tăiere ipoteza H
 - Tangențială

$$E = 424,77 \text{ kN}$$

$$V = 100 \text{ kN}$$

$$N = 50 \text{ kN}$$

$$U = 190 \text{ kN}$$

- Laterală	S = 50 kN
- Radială	R = 57 kN
- Forța de tăiere ipoteza HZ	
- Tangențială	UU = 320kN
- Laterală	SS = 70 kN
- Radială	RR = 96 kN

Forțele de tăiere se distribuie pe 5 din cele 20 de cupe în raportul 1/10; 3/10; 3/10; 2/10; 1/10.

Forțele laterale vor fi luate cu semn „-” pentru rotirea la dreapta și cu „+” pentru rotirea la stânga.

Ipotezele de încărcare definite se constituie în următoarele cazuri de încărcare primare:

- LC1	E = 424.77 kN
- LC2	V = 100 kN
- LC3	N = 50 kN
- LC4	U _{dr} = 190 kN
- LC5	R _{dr} = 57 kN
- LC6	U _{st} = 190 kN
- LC7	R _{st} = 57 kN
- LC8	S = 50 kN

Combinății de calcul ale acestor cazuri de încărcare primare sunt prezentate în tabelul 2.7.

Tabelul 2.7.

Combinăția	H1	H2	HZ1	HZ2
Caz de încărcare	LC1	LC2	LC3	LC4
Direcția de rotire	dreapta	stânga	dreapta	stânga
E + V + N	574.77	574.77	574.77	574.77
U	190	190	-	-
S	- 50	50	-	-
R	57	57	-	-
UU	-	-	320	320
SS	-	-	- 70	70
RR	-	-	96	96

2.4.1.4. Rezultate

2.4.1.4.1. Tensiuni

Valorile tensiunilor unitare de comparație maxime în element, pe fiecare caz de încărcare și locul în care au fost determinate aceste valori, sunt date în tabelul 2.8. în kPa/mm² :

Tabelul 2.8.

Caz de încărcare/Combinatie	σ_{\max} superior σ_{\max} mijloc σ_{\max} inferior	Loc de manifestare
LC1 [H1]	3.74 4.06 4.39	Con interior Con interior Con interior
LC2 [H2]	3.7 2.82 2.88	Ureche cupă Ureche cupă Con inferior
LC3 [HZ1]	4.93 5.33 5.74	Con interior Con interior Con interior
LC4 [HZ2]	5.40 4.40 4.16	Ureche cupă Ureche cupă Ureche cupă

Valoarea maximă este **5.74** kPa/mm² < $\sigma_a = 30$ kPa/mm² pentru cazul de încărcare LC3, HZ.

Pentru acest caz de încărcare este prezentată distribuția eforturilor de comparație în planul median și pe fața inferioară în ANEXA .

Valorile eforturilor unitare principale în element, pe fiecare caz de încărcare și la locul în care au fost determinate aceste valori, sunt date în tabelul 2.9. :

Tabelul 2.9.

Caz de încărcare/Combinatie	σ_1 superior [kPa/mm ²] σ_1 mijloc [kPa/mm ²] σ_1 inferior [kPa/mm ²]	σ_2 superior [kPa/mm ²] σ_2 mijloc [kPa/mm ²] σ_2 inferior [kPa/mm ²]	Loc de manifestare
LC1 [H1]	3.4 2.68 3.2	- 3.68 - 2.9 - 3.08	Con interior Con interior Con interior
LC2 [H2]	3.39 2.76	- 3.16 - 2.61	Ureche cupă Ureche cupă

	3.74	- 2.2	Ureche cupă
LC3 [HZ1]	4.44	- 4.76	Con interior
	4.11	- 3.9	Con interior
	5.01	- 5.0	Con interior
LC4 [HZ2]	5.14	- 4.79	Ureche cupă
	4.45	- 4.26	Ureche cupă
	5.66	- 3.87	Ureche cupă

Valoarea maximă este **5.66** kPa/mm² < $\sigma_{aHZ} = 30$ kPa/mm² pentru cazul de încărcare LC4 [HZ2].

Pentru acest caz de încărcare reprezentarea grafică a eforturilor principale în planul median și pe fața inferioară este redată în ANEXA .

Valoarea eforturilor unitare de comparație în nodurile elementelor din corpul roții, pe fiecare caz de încărcare și locul în care au fost determinate aceste valori, sunt date în tabelul 2.10.:

Tabelul 2.10.

Caz de încărcare/Combinăție	σ_{\max} superior [kPa/mm ²]	Loc de manifestare
	σ_{\max} inferior [kPa/mm ²]	
LC1 [H1]	5.53	La îmbinarea cap la cap la conul interior
	5.83	
	6.21	
LC2 [H2]	3.78	La îmbinarea cap la cap la conul interior
	3.91	
	4.08	
LC3 [HZ1]	7.02	La îmbinarea cap la cap la conul interior
	7.65	
	8.12	
LC4 [HZ2]	4.9	La îmbinarea cap la cap la conul interior
	5.05	
	5.27	

Valoarea maximă este **8.12** kPa/mm² < $\sigma_{aHZ} = 30$ kPa/mm² pentru cazul de încărcare LC3 [HZ1].

Distribuția eforturilor pentru acest caz de încărcare este reprezentată în ANEXA .

Valoarea eforturilor unitare de comparație în nodurile elementelor din grinzile inelare, pe fiecare caz de încărcare și locul în care aceste valori au fost determinate sunt date în tabelul 2.11. :

Tabelul 2.11.

Caz de încărcare/Combinajie	σ_{\max} superior [kPa/mm ²] σ_{\max} mijloc [kPa/mm ²] σ_{\max} inferior [kPa/mm ²]	Loc de manifestare
LC1 [H1]	5.7 5.15 6.66	Grinda de legătură Grinda dinspre bandă Grinda dinspre bandă
LC2 [H2]	7.33 6.27 5.75	Ureche cupă Ureche cupă Ureche cupă
LC3 [HZ1]	9.65 8.64 10.9	Grinda de legătură Grinda dinspre bandă Grinda dinspre bandă
LC4 [HZ2]	11.1 10.1 9.7	Ureche cupă Ureche cupă Grinda de legătură

Valoarea maximă este **10.9** kPa/mm² < $\sigma_{aHZ} = 30$ kPa/mm² pentru cazul de încărcare LC3 [HZ1].

Datorită modelării grosiere a cupelor, valoarea din urechea cupei nu se ia în considerare.

Reprezentarea grafică a eforturilor pentru acest caz de încărcare, pe fața inferioară, este redată în ANEXA .

2.4.1.4.2. Deformații.

Starea de deformare a roții este reprezentată pentru cele 4 cazuri de încărcare LC1 ÷ LC4, în ANEXELE.

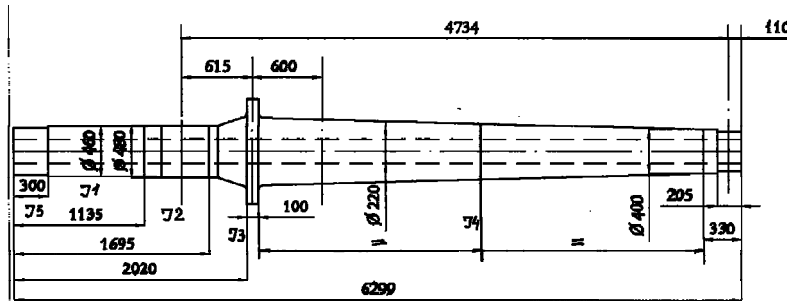
Deformația rezultantă a secțiunii transversale a roții este prezentată pentru cazurile LC1 [H1] și LC4 [HZ2] în ANEXA.

2.4.2. Calculul axului roții portcupe + lagăre

2.4.2.1. Calculul axului roții portcupe

2.4.2.1.1. Caracteristici statice.

Calculul axului roții cu cupe s-a făcut pentru arborele din fig.2.3



$$J_{xy} = 0.785398 (R^4 + r^4) \quad (2.1.)$$

$$J_T = \pi/2 (R^4 + r^4) \quad (2.2.)$$

$$A = \pi (R^2 + r^2) \quad (2.3.)$$

Tabelul 2.12.

	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5
R	23	24	30	26.5	22
r	11	11	11	11	11
A	1282	1430	2447	1826	1140
J_{xy}	208287	249077	624673	375824	172485
J_T	416575	498154	1249347	751648	344970

2.4.2.1.2. Încărcări.

În calcul s-au luat în considerare următoarele încărcări:

- Masa proprie roată cu cupe cu 20 cupe 424.8 kN
- Reductor 230 kN
- Arbore 107.6 kN
- Forțe de săpare:
 - Tangențiale 320 kN
 - Tangențială cu cupă întoarsă 360 kN
 - Laterale 70 kN

Tabelul 2.13.

Din aceste încărcări rezultă următoarele:	
Ipoteze primare	Combinății de calcul
LF1 - masa proprie	LF8: 1 + 2 + 4
LF2 - forțe de săpare tangențiale în față	LF9: 1 + 2 - 4
LF3 - forțe de săpare tangențiale jos	LF10: 1 + 3 + 5
LF4 - forțe de săpare laterală în față	LF11: 1 + 3 - 5
LF5 - forțe de săpare laterală jos	LF12: 1 + 6 + 4
LF6 - forțe de săpare tangențiale în față cupă întoarsă	LF13: 1 + 6 - 4
LF7 - forțe de săpare tangențiale jos cupă întoarsă	LF14: 1 + 7 + 5
	LF15: 1 + 7 - 5

2.4.2.1.3. Structura de calcul

Structura de calcul este reprezentată în ANEXA .

2.4.2.1.4. Rezultate.

Din calcule rezultă că solicitările maxime sunt din combinația 11 în elementul 30, în apropiere de peretele B în vecinătatea roții.

$$\begin{aligned} \text{Forța axială} & N = 0 \\ \text{Moment de torsiune} & M_1 = 184064 \text{ kN cm} \\ \text{Moment de încovoiere} & M_2 = 45779 \text{ kN cm} \\ \text{Moment de încovoiere} & M_3 = 6660 \text{ kN cm} \end{aligned}$$

Modulul de rezistență la torsiune:

$$W_T = \frac{\Pi}{2R} (R^4 - r^4) = \frac{\Pi}{2 \cdot 24} (24^4 - 11^4) = 20756 \text{ cm}^3 \quad (2.3.)$$

Modulul de rezistență la încovoiere:

$$W = \frac{249077}{24} = 10378 \text{ cm}^3 \quad (2.4.)$$

Momentul de încovoiere resultant:

$$M = \sqrt{M_2^2 + M_3^2} = 46261 \text{ kPacm} \quad (2.5.)$$

din încovoiere:

$$\sigma = \frac{46261}{10378} = 4.46 \text{ kPacm}^{-2} \quad (2.6.)$$

din forfecare:

$$\tau = \frac{184064}{20756} = 8.87 \text{ kPacm}^{-2} \quad (2.7.)$$

efortul de comparație:

$$\sigma_{comp} = \sqrt{4.46^2 + 3 \cdot 8.87^2} = 15.99 \text{ kNcm}^{-2} < \sigma_{aHZ} = 27 \text{ kPacm}^{-2} \text{ pt. OL52}; \quad (2.8.)$$

$$< \sigma_{aHZ} = 67 \text{ kPa cm}^{-2} \text{ pt. 34MoCrNi6}; \quad (2.9.)$$

2.4.2.2. Calculul lagărului oscilant

Din calcule rezultă că reacțiunile maxime pe lagăr sunt cele din combinația 9.

Forța axială	$F_x = 0$
Forța tăietoare	$F_y = 85 \text{ kN}$
Forța tăietoare	$F_z = -1272 \text{ kN}$

$$\text{Rezultă : } F_r = \sqrt{F_y^2 + F_z^2} = 1275 \text{ kPa} \quad (2.10.)$$

$$P_0 = F_r + y_0 \cdot F_A \quad (2.11.)$$

$$y_0 = 2,8 \quad (\text{FAG})$$

$$P_0 = 1275 + 2,8 \cdot 70 = 1471 \text{ kN}$$

Acțiuni statice:

$$f_s = \frac{C_0}{P_0} \quad ; \quad C_0 = 7650 \text{ kN} \quad (\text{FAG}) \quad (2.12.)$$

$$f_s = \frac{7650}{1471} = 5.2 > 2,5 \text{ la solicitări ridicate.}$$

Acțiuni dinamice :

$$P = F_r + y \cdot F_A \quad ; \quad e = 0,23 \quad ; \quad \frac{F_A}{F_r} = \frac{70}{1275} = 0.05 < 0.23 \quad (2.13.)$$

$$y = 2,9 \quad ; \quad P = 1275 + 2,9 \cdot 70 = 1478 \text{ kN} \quad (\text{FAG})$$

$$f_L = \frac{C}{P} \cdot f_n \quad ; \quad f_n = \sqrt[p]{\frac{33^{\frac{1}{3}}}{n}} \quad ; \quad n = 4,5 \text{ rot/min} \quad (2.14.)$$

$$p = 10/3 = 3.333$$

$$C = 3650 \text{ kPa} \quad ; \quad f_n = \sqrt[3.333]{\frac{33^{\frac{1}{3}}}{4.5}} = 1.82 \quad (2.15.)$$

$$f_L = \frac{C}{P} \cdot f_n = \frac{3650}{1478} \cdot 1.82 = 4.5 \quad (2.16.)$$

$$\text{Durata de viață } L_H = \frac{10000}{4.58 - 4.4} \cdot 0.1 + 70000 = 75550 \text{ ore} \quad (2.17.)$$

2.4.2.3. Structura modernizata cap elinda**2.4.2.3.1. Considerații generale**

Calculul s-a făcut pentru trei poziții de funcționare a excavatorului :

- Cu brațul jos
- Cu brațul la mijloc (orizontal)
- Cu brațul sus

În fiecare din aceste poziții, în toate elementele structurii pe baza calculului din statica de bază conținând solicitările în elemente la capătul din stânga respectiv dreapta constând din forța axială, forțele tăietoare, momentul de torsiune și momentele de încovoiere, maxime și minime, s-au calculat tensiunile unitare în șase puncte care delimitează secțiunea transversală a elementului și tensiunea unitară de comparație.

2.4.2.3.2. Încărcări

Încărcările luate în calcul sunt :

1. Încărcare din masa proprie
2. Încărcare din material
3. Încărcare din murdărire bandă și cupe
4. Încărcare din astupare pâlnie
5. Încărcare din vânt
6. Încărcare din înclinarea utilajului
7. Încărcare din forțele de săpare excepțională
8. Încărcare din tamponarea brațului de taluz.

Aceste încărcări au fost grupate în patru cazuri de încărcare:

- H – cazul de încărcare compus din încărcările principale:
Încărcările 1 + 2 + 3 + 6 + 7
- HZ – cazul de încărcare compus din încărcările principale și auxiliare:
Încărcările 1 + 2 + 3 + 5 + 6 + 8
- HZS – cazul de încărcare compus din încărcările principale, auxiliare și speciale:

Încărcările 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 sau 1 + 2 + 3 + 5 + 6 + 7

- HZG – cazul de încărcare compus din încărcările principale, auxiliare și la limită:

Încărcările 1 + 2 + 3 + 5 + 6 + 7 + 9

Valorile solicitărilor maxime și minime la cele două capete ale elementelor s-au determinat pentru fiecare caz de încărcare în parte, din combinația ipotezelor de încărcări aferente pentru fiecare element în parte și pentru fiecare poziție de funcționare.

Tensiunile unitare s-au calculat pentru toate aceste combinații de încărcări și poziții de funcționare în toate cele șase puncte ale secțiunii transversale ale fiecărui element, la ambele capete.

Tipurile de secțiuni ale elementelor și punctelor de calcul sunt în fig.2.4 :

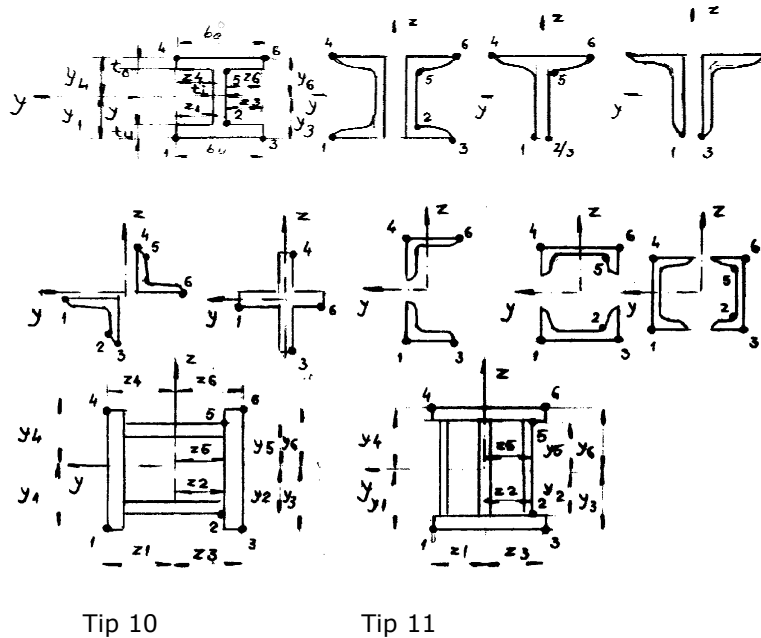


Fig.2.4

Conform normei de calcul pentru utilajele miniere lucrând în exploatare de suprafață, BG 60 (normă KF), rezistențele admisibile funcție de marca oțelului, cazul de încărcare și natura solicitării, în MPa, sunt date în tabelele 2.14. și 2.15. :

- Pentru OL 37

Tabelul 2.14.

Caz de încărcare	H	HZ	HZS	HZG
Întindere	1600	1800	2000	2200
Compresiune	1400	1600	1800	2000
Forfecare	920	1040	1150	1270
Tensiune echivalentă	1800	2000	2200	2400

- Pentru OL 52

Tabelul 2.15.

Caz de încărcare	H	HZ	HZS	HZG
Întindere	2400	2700	3000	3300
Compresiune	2100	2400	2700	3000
Forfecare	1390	1560	1730	1900
Tensiune echivalentă	2700	3000	3300	3600

Încărcări din masă proprie.

Masa proprie se compune din masa structurii determinată automat de program pe baza relației :

$$\text{Arie} \times \text{Lungime element} \times \gamma ;$$

$$\gamma = 7,85 \text{ kg/dm}^3 \text{ și din masa următoarelor elemente :}$$

- *Elemente de construcție :*

Apărătoare transversală + fixare	1652 kg
Pâlnia roții cu cupe	3348 kg
Pâlnia longitudinală	1263 kg
Pâlnie inelară dreapta	3150 kg
Pâlnie inelară stânga	3480 kg
Pâlnie inelară mijloc	262 kg
Podest și trepte	1436 kg
Cabină de comandă	2203 kg
Protecție mecanism roată cu cupe	4945 kg
Dispozitiv de montare motor roată cu cupe	782 kg
Consolidare stâlp	970 kg
Consolidare diagonală	522 kg
Cutia contragreutății	24330 kg
Contragreutate	242000 kg
Scară basculantă	1500 kg
Podest traversare + scară	1850 kg
Podest pe latura A	1850 kg
Podest pe latura B	2700 kg
Suorți banda 1	10550 kg
Paravan de deflector	1930 kg
Podeste și scări pe turn și braț contragreutate	9060 kg
Casa aparataj electric	14150 kg

- *Elemente mecanice :*

Roată cu cupe	30057 kg
Arbore roată cu cupe	10760 kg
Cupe	12420 kg
Cuplaj hidraulic + apărătoare	863 kg
Reductor	23000 kg
Ax cardanic	250 kg
Baterie role catarg	11000 kg
Cap role pe braț	5750 kg
Macara de montaj	33470 kg
Tambur cablu ridicare	12120 kg
Reductor ridicare	2410 kg
Roată antrenare	6990 kg
Lagăre articulație braț	5640 kg
Acționare banda 1	3520 kg
Tambur de întoarcere banda 1	6210 kg

- *Elemente electrice :*

Transformator	2380 kg
Motor acționare roată	5100 kg
Motor acționare banda 1	5620 kg
Motor troliu ridicare	4090 kg

Încărcare din material :

Încărcare în cupă	5000 kg
Încărcare pe bandă	24000 kg

Încărcare din murdărie bandă și cupe :

Încărcare pe roata cu cupe	10000 kg
Încărcare pe bandă	2400 kg

Încărcare din astupare pâlnie : 18000 kg

Încărcare din vânt :

În funcționare	25 kg/m ²
În repaus	80 kg/m ²

Încărcare din înclinarea utilajului :

În funcționare	1/20,8	sarcini gravitaționale
La schimbarea locului de funcționare	1/16,6	sarcini gravitaționale

Încărcare din forțele de săpare normală :

Forța de săpare tangențială	19000 kg
Forța de săpare laterală	5000 kg

Încărcare din forțele de săpare excepțională :

Forța de săpare tangențială	32000 kg
Forța de săpare laterală	7000 kg

Încărcare din tamponarea brațului de taluz :

Forța laterală din tamponare	19000 kg în centrul cutiei contragreutății
------------------------------	---

2.4.2.3.3 Structura de calcul

Structura de calcul a excavatorului este reprezentată schematic în ANEXA .

Calculul s-a efectuat pentru bratul roții cu cupe

Brațul roții cu cupe este reprezentat schematic în ANEXA.

Brațul se compune din elementele construcției existente, în ANEXELE și elementele construcției noi (modernizată) în ANEXELE .

Tipul secțiunii fiecărui element și caracteristicile statice ale secțiunii sunt prezentate în tabelul 2.16.

2.4.2.4 Rezultatele calculului :

Solicitările pe fiecare element la ambele capete au fost determinate de K.F. Aceste solicitări au fost calculate pentru fiecare ipoteză de calcul H, HZ, HZS, HZG și pentru fiecare poziție a brațului roții cu cupe, sus, mijloc și jos, pentru toate elementele structurii de calcul a excavatorului.

La fiecare capăt al elementului sunt date 6 solicitări maxime și minime provenite din ipotezele și pozițiile de lucru de mai sus. Solicitățile reprezintă forța axială N , forțele tăietoare pe cele două direcții Q_y , Q_z în kN și momentul de torsiune M_x și momentele de încovoiere pe cele două direcții M_y , M_z în kNm.

Cu aceste solicitări au fost determinate funcțiile de caracteristicile statice ale secțiunii elementului respectiv, tensiunile unitare normale „ σ ” tensiunile unitare tangențiale „ τ ” și tensiunile unitare de comparație „ σ ” în punctele de calcul ale secțiunii, în kPa/mm².

Pe baza tensiunilor unitare minime și maxime s-a calculat coeficientul de asimetrie „ ρ ” al ciclului care a permis calculul la oboseală în elementele puternic solicitate la oboseală.

S-au făcut calculele de verificare ale îmbinării cu șuruburi de înaltă rezistență dintre construcția nouă (modernizată) a brațului roții cu cupe și construcția existentă. În breviar se prezintă calculul tensiunilor unitare numai pentru elementele importante ale structurii construcției modernizate și pentru elementele cu tensiuni critice din elementele turnului.

2.4.2.4.1. Calculul eforturilor unitare pentru brațul roții cu cupe.

În tabelul 2.17. sunt prezentate solicitările la capetele elementelor și tensiuni unitare pentru elementele structurii modernizate pentru ipotezele H și care s-au dovedit a fi cele mai defavorabile, în poziția brațului sus, mijloc și jos pentru elementele 353; 367; 368; 456; 457.

Tabelul 2.17

SOLICITARI IPOTEZA H SUS

EI.	ExtrSI	N	Qy	Qz	Mx	My	Mz
		kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
353	Nxl max	-7.4	2.98	-1.07	-0.01	-12.64	4.09
	Qyl max	-35.31	6.54	-2.39	-0.05	-36.82	9.28
	Qzl max	-12.8	3.54	0.76	-0.02	-18.99	5.4
	Mxl max	-8.12	3.15	-2.65	-0.01	-11.32	3.98
	Myl max	-8.12	3.15	-2.65	-0.01	-11.32	3.98
	Mzl max	-34.59	6.37	-0.81	-0.05	-38.14	9.39
	Nxr max	36.27	-6.39	4.98	0.05	44.61	4.31
	Qyr max	8.6	-2.8	3.56	0.01	17.54	1.98
	Qzr max	30.98	-5.68	6.76	0.03	42.04	4.27
	Mxr max	35.69	-6.34	3.35	0.05	42.56	3.96
	Myr max	35.92	-6.21	5.95	0.04	44.87	4.2
	Mzr max	33.88	-6.29	5.75	0.04	44.3	4.65
	Nxl min	-35.36	6.49	-2.35	-0.05	-36.91	9.21
	Qyl min	-7.44	2.93	-1.03	-0.01	-12.72	4.03
	Qzl min	-29.96	5.92	-4.18	-0.03	-30.55	7.91
	Mxl min	-34.64	6.32	-0.77	-0.05	-38.23	9.33
	Myl min	-34.64	6.32	-0.77	-0.05	-38.23	9.33
	Mzl min	-8.16	3.1	-2.61	-0.01	-11.4	3.92
	Nxr min	8.56	-2.85	3.6	0.01	17.54	2.03
	Qyr min	36.23	-6.44	5.02	0.05	44.6	4.35
Qzr min	13.85	-3.57	1.82	0.02	20.11	2.07	
Mxr min	9.14	-2.9	5.23	0.01	19.58	2.37	
Myr min	8.91	-3.03	2.63	0.01	17.28	2.14	
Mzr min	10.95	-2.96	2.83	0.02	17.85	1.69	
367	Nxl max	-1001.91	-9.66	22.48	-3.07	-49.36	-12.31
	Qyl max	-1040	-3.86	22.74	-1.93	-50.35	-10.6
	Qzl max	-1394.95	-5.86	27.06	-3.31	-65.19	-15.98
	Mxl max	-1039.32	-3.9	22.79	-1.84	-50.48	-10.59
	Myl max	-1041.61	-14.51	21.36	-4.08	-47.81	-14.08
	Mzl max	-1039.32	-3.9	22.79	-1.84	-50.48	-10.59
	Nxr max	2229.22	15.32	-16.99	7.82	2.1	-26.19
	Qyr max	2191.5	21.56	-16.73	8.97	2.09	-46.88
	Qzr max	1836.54	19.55	-12.41	7.59	3.32	-44.8
	Mxr max	2192.18	21.52	-16.68	9.06	2.15	-46.73
	Myr max	1993.51	20.38	-12.66	8.23	6.27	-45.52
	Mzr max	1039.59	3.79	-14.38	1.93	-18.7	-3.62

2.4 - Breviar de calcul pentru elementele cele mai solicitate 43

Nxl min	-2230.07	-15.03	25.31	-7.82	-80.78	-30.25	
Qyl min	-2191.99	-20.83	25.05	-8.97	-79.79	-31.95	
Qzl min	-1837.03	-18.83	20.73	-7.59	-64.95	-26.58	
Mxl min	-2192.67	-20.79	25	-9.06	-79.66	-31.97	
Myl min	-2190.38	-10.17	26.44	-6.82	-82.33	-28.47	
Mzl min	-2192.67	-20.79	25	-9.06	-79.66	-31.97	
Nxr min	1001.86	10.03	-14.12	3.07	-18.71	-24.31	
Qyr min	1039.59	3.79	-14.38	1.93	-18.7	-3.62	
Qzr min	1394.54	5.79	-18.7	3.31	-19.93	-5.7	
Mxr min	1038.9	3.82	-14.43	1.84	-18.75	-3.77	
Myr min	1237.57	4.97	-18.45	2.67	-22.87	-4.98	
Mzr min	2191.5	21.56	-16.73	8.97	2.09	-46.88	

368	Nxl max	-619.97	8.52	36.87	-10.44	-120.68	20.89
	Qyl max	-1519.91	16.79	36.27	-20.85	-251.86	41.35
	Qzl max	-1185.6	11.24	65.45	-10.18	-226.47	26.5
	Mxl max	-1516.05	7.06	34.03	3.08	-249.12	13.7
	Myl max	-706.8	7.67	16.32	-8.09	-116.36	18.38
	Mzl max	-1519.91	16.79	36.27	-20.85	-251.86	41.35
	Nxr max	1561.33	-11.34	-22.07	7.72	217.75	-11.27
	Qyr max	661.54	-3.2	-22.66	-2.69	85.78	-1.53
	Qzr max	995.7	-8.62	6.51	7.98	149.3	-9.22
	Mxr max	665.37	-12.65	-24.91	21.23	85.59	-16.65
	Myr max	1555.05	-11.04	-2.9	7.75	226.87	-11.05
	Mzr max	661.54	-3.2	-22.66	-2.69	85.78	-1.53
	Nxl min	-1561.62	11.44	24.99	-7.72	-248.5	26.16
	Qyl min	-661.69	3.17	25.6	2.69	-117.31	5.69
	Qzl min	-996	8.72	-3.59	-7.98	-142.7	20.55
	Mxl min	-665.55	12.9	27.84	-21.23	-120.05	33.34
	Myl min	-1474.8	12.3	45.55	-10.06	-252.82	28.66
	Mzl min	-661.69	3.17	25.6	2.69	-117.31	5.69
	Nxr min	619.96	-8.39	-33.94	10.44	74.41	-9.84
	Qyr min	1519.74	-16.53	-33.34	20.85	206.38	-19.58
	Qzr min	1185.58	-11.11	-62.51	10.18	142.86	-11.89
	Mxr min	1515.91	-7.08	-31.09	-3.08	206.58	-4.46
	Myr min	626.23	-8.69	-53.1	10.41	65.3	-10.06
	Mzr min	1519.74	-16.53	-33.34	20.85	206.38	-19.58

456	Nxl max	552.39	-0.79	3.25	0	0	0
	Qyl max	290.98	-0.49	3.25	0	0	0
	Qzl max	321.33	-0.56	3.31	0	0	0
	Mxl max	290.98	-0.49	3.25	0	0	0
	Myl max	290.98	-0.49	3.25	0	0	0
	Mzl max	290.98	-0.49	3.25	0	0	0
	Nxr max	-257.95	-0.49	3.25	0	0	0

44 Tehnica de proiectare pentru componente supuse la oboseală și coroziune - 2

Qyr max	-288.53	-0.49	3.25	0	0	0
Qzr max	-319.31	-0.56	3.31	0	0	0
Mxr max	-288.53	-0.49	3.25	0	0	0
Myr max	-288.53	-0.49	3.25	0	0	0
Mzr max	-288.53	-0.49	3.25	0	0	0
Nxl min	260.41	-0.49	3.25	0	0	0
Qyl min	521.81	-0.79	3.25	0	0	0
Qzl min	491.47	-0.72	3.18	0	0	0
Mxl min	521.81	-0.79	3.25	0	0	0
Myl min	521.81	-0.79	3.25	0	0	0
Mzl min	521.81	-0.79	3.25	0	0	0
Nxr min	-550.26	-0.79	3.25	0	0	0
Qyr min	-519.68	-0.79	3.25	0	0	0
Qzr min	-488.9	-0.72	3.18	0	0	0
Mxr min	-519.68	-0.79	3.25	0	0	0
Myr min	-519.68	-0.79	3.25	0	0	0
Mzr min	-519.68	-0.79	3.25	0	0	0

457	Nxl max	-195.37	-0.79	3.25	0	0
	Qyl max	-258.69	-0.49	3.25	0	0
	Qzl max	-241.44	-0.56	3.31	0	0
	Mxl max	-258.69	-0.49	3.25	0	0
	Myl max	-258.69	-0.49	3.25	0	0
	Mzl max	-258.69	-0.49	3.25	0	0
	Nxr max	430.8	-0.49	3.25	0	0
	Qyr max	261.15	-0.49	3.25	0	0
	Qzr max	243.46	-0.56	3.31	0	0
	Mxr max	261.15	-0.49	3.25	0	0
	Myr max	261.15	-0.49	3.25	0	0
	Mzr max	261.15	-0.49	3.25	0	0
	Nxl min	-428.35	-0.49	3.25	0	0
	Qyl min	-365.03	-0.79	3.25	0	0
	Qzl min	-382.28	-0.72	3.18	0	0
	Mxl min	-365.03	-0.79	3.25	0	0
	Myl min	-365.03	-0.79	3.25	0	0
	Mzl min	-365.03	-0.79	3.25	0	0
	Nxr min	197.5	-0.79	3.25	0	0
	Qyr min	367.16	-0.79	3.25	0	0
	Qzr min	384.85	-0.72	3.18	0	0
	Mxr min	367.16	-0.79	3.25	0	0
	Myr min	367.16	-0.79	3.25	0	0
	Mzr min	367.16	-0.79	3.25	0	0

2.5 Concluzii

- standardul de proiectare STAS 8290 - 83 nu se aplică la proiectarea utilajelor grele mobile din cauza unor diferențe de calcul datorate specificului de lucru al acestora.
- acțiunile permanente, temporare și excepționale se combină în funcție de condițiile de exploatare, rezultând grupări de acțiuni care în funcție de frecvența și intensitatea lor acționează pe toată durata de viață.
- rezistența în exploatare a unui anumit element depinde de tipul materialului de bază, de forma constructivă și de calitatea îmbinărilor sudate.
- construcția metalică este astfel dimensionată încât toate elementele componente trebuie să preia solicitările statice și dinamice ce apar în exploatare în vederea asigurării siguranței în funcționare pe lungi perioade de timp.
- durata de viață a utilajelor grele mobile este influențată de o serie de factori ce afectează caracteristicile structurale, mecanice, de rezistență la coroziune, atât a materialelor de bază cât și a îmbinărilor sudate.
- metoda elementului finit a stat la baza studiului stării de tensiune a corpului roții cu cupe din dotarea excavatorului pentru extracția cărbunelui de suprafață.
- analiza rezultatelor și a imaginilor grafice obținute arată că zonele de pe rotor cele mai puternic încărcate sunt în nodurile Lc61 și Lc62 adică în zonele de trecere de la placa groasă la prima porțiune coinică .
- tensiunile și deformațiile în rotor nu prezintă valori ce pot conduce la o deteriorare imediată a rotorului, valorile lor fiind foarte mici, drept pentru care durata de viață a acestuia poate fi estimată ca fiind de cel puțin 20 de ani.

CAP.3. CARACTERISTICILE MATERIALELOR FOLOSITE LA FABRICAREA ELEMENTELOR COMPONENTE SUPUSE LA OBOSEALĂ

3.1 Caracteristicile mecanice și structurale ale oțelurilor utilizate la elementele portante supuse la oboseală:

Problemele de coroziune, generate de practica industrială au în ultimele decenii semnificații majore, datorită sistemului de dezvoltare a industriei care solicită materiale anticorozive pentru o mare diversitate de medii și condiții de exploatare.

Coroziunea structurilor metalice din industria minieră, apreciată prin prisma pierderilor anuale cauzate economiei depășește pierderile cauzate de calamitățile naturale, nu atât prin pierderea de metal erodat, cât prin scoaterea din funcțiune a unor structuri portante datorită avarilor care le fac neoperaționale.

Alegerea corectă a oțelurilor din care se construiesc componentele utilajelor miniere trebuie să se bazeze în primul rând pe cunoașterea comportamentului lor în condiții de mediu. În al doilea rând, la această alegere trebuie luate în considerare și modificările structurale suferite de materiale datorită prelucrărilor mecanice și termice ce pot induce tensiuni interne la un nivel greu de determinat. Din acest punct de vedere îmbinările sudate ale construcției utilajelor miniere reprezintă zona cea mai vulnerabilă pentru atacul coroziv al mediului de lucru.

Astfel se impune în afară de garantarea caracteristicilor mecanice ale îmbinărilor sudate și asigurarea fiabilității construcției prin stipularea unor valori adecvate ale rezistenței la coroziune.

Literatura de specialitate din domeniu, oferă numeroase lucrări care abordează în majoritate cazuri concret, practice de coroziune a îmbinărilor sudate fără o tratare sistematică a acestora. Rezultatele acestor studii s-au concretizat în realizarea unui studiu corespunzător prin procedeele cunoscute, dar nu au epuizat soluționarea problemelor de coroziune a zonelor îmbinărilor sudate atât de complexe prin multitudinea de factori ce le condiționează. Astfel s-a ivit necesitatea studierii mai amănunțite a oțelurilor specifice construcțiilor utilajelor grele mobile din punct de vedere al rezistenței la coroziune, oferind proiectantului date necesare alegerii celei mai potrivite variante de oțel (nealiat,aliat), a tehnologiei de sudare și a tratamentelor termice. Deasemenea, îmbunătățirea metodelor de evaluare a tendinței la coroziune (rezistența la coroziune) precum și diversificarea acestora și alinierea la recomandările standardizării internaționale, reprezintă o altă modalitate de a îmbunătăți proiectarea, verificarea și realizarea construcției din oțeluri a unor utilaje miniere.

O atenție specială s-a acordat metodelor electrochimice folosite în studiul coroziunii generale, prezentându-se atât bazele teoretice ale fenomenului cât și metodele cunoscute din literatura de specialitate(standardizate sau nu)în diferite țări.

3.1.1 Oțeluri pentru construcții cu destinație specială

Aceste oțeluri se utilizează la construcția structurilor metalice în variante sudate sau nesudate și exploatare la temperaturi cuprinse între -50°C și $+50^{\circ}\text{C}$. Ele trebuie să satisfacă trei cerințe importante:

- să fie ieftine pentru a nu scumpi structura;
- să aibă caracteristici mecanice cât mai ridicate pentru a se realiza structuri ușoare;
- să se sudeze bine cu procedee relativ simple și de mare productivitate.

Compozițional ele se împart în Comunitatea Europeană în două mari categorii:

- oțeluri nealiat cu conținuturi reduse în carbon;
- oțeluri aliate cu elemente (Mn, Ni, Cr, Mo etc.) care să favorizeze creșterea caracteristicilor mecanice de rezistență fără a se diminua puternic cele de ductibilitate și tenacitate.

Oțelurile nealiat cu conținutul în carbon limitat la 0,20...0,22 % și deci cu o structură de echilibru formată dintr-o matrice feritică și din cantități de până la 25% perlită dispusă la intersecția unor grăunți feritici (Fig.3.1. , 3.2.)

Compoziția chimică, domeniul de utilizare ale unora din oțelurile nealiat mai des folosite sunt înserate în tabelul 3.1.

Tabelul 3.1.

Compoziția chimică în		Domeniul de utilizare	
S.max	Al.min	7	8
0,06	-	0,06	-
0,06	-	0,06	-
0,06	-	0,06	-
0,05	-	0,05	-
0,05	-	0,05	-
0,05	-	0,05	-
0,45	-	0,45	-
0,45	-	0,45	-
0,40	0,020	0,40	0,020

Marca oțelului	Clasa de calitate	D°				
			C. max	Mn.max	Si.ma x	P.max
0	1	2	3	4	5	6
		n	0,20	0,80	0,07	0,06
	1	s	0,20	0,80	0,17	0,06
		k	0,20	0,80	0,40	0,06
		n	0,18	0,80	0,07	0,05
	2	s	0,18	0,80	0,17	0,05
		k	0,18	0,80	0,40	0,05
	3	K	0,17	0,80	0,40	0,45
		Kf	0,17	0,80	0,40	0,45
		kf	0,17	0,80	0,40	0,40
	4					

continuare tabelul 3.1.

2	3	4	5	6	7	8	9
k	0,20	1,10	0,50	0,050	0,050	-	<ul style="list-style-type: none"> elemente portante la construcții sudate și nesudate supuse unor sollicitări mecanice relativ ridicate
k	0,20	1,10	0,50	0,045	0,045	-	
kf	0,20	1,10	0,50	0,045	0,045	0,020	
kf	0,20	1,10	0,50	0,040	0,040	0,020	
k	0,20	1,60	0,50	0,50	0,50	-	<ul style="list-style-type: none"> elemente portante la construcțiile sudate și nesudate supuse unor sollicitări mecanice relativ ridicate
k	0,20	1,60	0,50	0,045	0,045	0,020	
kf	0,20	1,60	0,50	0,045	0,045	0,020	
kf	0,18	1,60	0,50	0,040	0,040	0,020	

1	2	3	4	2	3	4
0	OL44 STAS 500/1,2-89			OL52 STAS 500/1,2 -89		

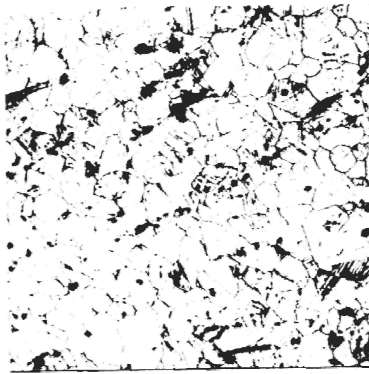


Fig.3.1. Oțel OL37
(Nital2%,100%)

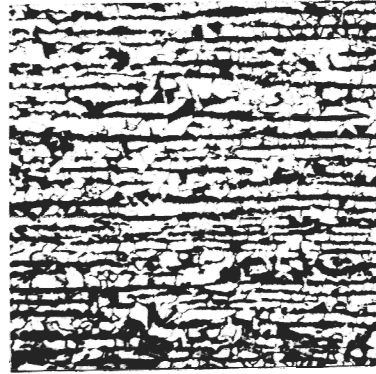


Fig3.2. Oțel OL52.2k
(Nital2%,100%)

D *- grad de dezoxidare (n - necalmat; s - semicalmat)
(k - calmat; kf - calmat dublu)

Caracteristicile mecanice de rezistență și de deformabilitate ale oțelurilor OL37, OL44 și OL52 sunt înserate în tabelul 3.2.

Tabelul 3.2.

Marca oțelului	Clasa de calitate	Caracteristici mecanice				
		Limite de curgere $R_{p0,2min}$ (N/mm ²)			Rezistența la rupere R_m (N/mm ²)	Alungirea la rupere $A_5 min$ (%)
		Grosimea produsului în mm				
		≤16	17...40	41...100	≤ 100	≤ 100
0	1	2	3	4	5	6
OL37	1	240	230	210	360...440	25
	2	240	230	210	360...440	25
	3	240	230	210	360...440	26
	4	240	230	210	360...440	26
OL44	2	280	270	250	430...540	22
	3	280	270	250	430...540	25
	4	280	270	250	430...540	25
OL52	2	350	340	330	510...630	21
	3	350	340	330	510...630	22
	4	350	340	330	510...630	22

Caracteristicile de tenacitate și de îndoire ale principalelor mărci de oțeluri cu destinație generală funcție de grosimea materialului sunt înserate în tabelul 3.3 .

Tabelul 3.3.

Marca de oțel	Clasa de calitate	Reziliența KCU2 valori minime (J/cm ²)		Energia de rupere KV (valori minime) (J)		Diametrul dornului de îndoire la 180°	
				°C	KV		
		Diametrul sau grosimea produsului a[mm]					
		a≤16	a>16			a≤16	a>16
0	1	2	3	4	5	6	7
OL37	1	-	-	-	-	1,0a	1,5a
	2	69	59	+20°C	27	1,0a	1,5a
	3	-	-	0°C	27	1,0a	1,5a
	4	-	-	-20°C	27	1,0a	1,5a
OL44	2	59	59	+20°C	27	2,0a	2,5a
	3	-	-	0°C	27	2,0a	2,5a
	4	-	-	-20°C	27	2,0a	2,5a
OL52	2	59	59	+20°C	27	2,5a	3,0a
	3	-	-	0°C	27	2,5a	3,0a
	4	-	-	-20°C	27	2,5a	3,0a

La oțelurile pentru îmbinări sudate folosite frecvent în țările Comunității Europene principalele caracteristici mecanice sunt înserate în tabelul 3. 4 .

$$CE = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Cu + Ni)/15 [\%] - \text{carbon echivalent (3.1)}$$

La oțelurile din tabelul 3.4.se garantează conținutul de sulf și fosfor sub valoarea de 0,035%, conținutul de carbon la valoarea maximă și valoarea minimă a

carbonului echivalent determinat cu relația (3.1a) a Institutului Internațional de Sudură (I I S) cu sediul la Paris (Franța).

Tabelul 3.4.

EN 10027	EU 2572	DIN 17100	Tip oțel	%C max.	CE ^x min %	Caracteristici mecanice				
						Rp0,2 N/mm ²	Rm N/mm ²	A %	Energia de rupere, KV/J	
									temperatura [°C]	val _{min}
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S185	Fe310-0	St 33	BS	-	-	min. 175	min. 290	min. 18	-	-
S235 JR	Fe360 B	St37.2	BS	0,20	0,35	175 · 235	320 · 360	21 · 26	+20	27
S235 JRG1	Fe360 B-FU	USt 37.2	BS	0,20	0,35				+20	
S235 JRG2	Fe360 B-FN	RSt 37.2	BS	0,20	0,35				+20	
S235 JO	Fe360 C	St 37- 3U	QS	0,17	0,35				0	
S235 J2G3	Fe360 D-1	St 37- 3N	QS	0,17	0,35				-20	
S235 J2G4	Fe360 D-2	-	QS	0,17	0,35				-20	
S275 JR	Fe430 B	St 44-2	BS	0,22	0,40				205 · 275	
S275 JO	Fe430 C	St 44- 3U	QS	0,18	0,40	0				
S275 J2G3	Fe430 D-1	St 4- 3N	QS	0,18	0,40	-20				
S275 J2G4	Fe430 D-2	-	QS	0,18	0,40	-20				
S355 JR	Fe510B	-	BS	0,24	0,45	275 · 355	450 · 510	17 · 22		+20
S355 JO	Fe510C	St 52- 3N	QS	0,22	0,45				0	
S355 J2G3	Fe510 D-1	St 52- 3N	QS	0,22	0,45				-20	
S355 K2G4	Fe510 D-2	-	QS	0,22	0,45				-20	
S355 K2G3	Fe510 D-D1	-	QS	0,22	0,45				-20	
S355 K2G4	Fe510 D-D2	-	QS	0,22	0,45				-20	40

Continuarea tabelului 3.4.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E295	Fe490-2	St50-2	BS	-	-	225 ...295	440 ...490	15 ...20	-	-
E335	Fe590-2	St60-2	BS	-	-	255 ...335	540 ...590	11 ...16	-	-
E360	Fe690-2	St70-2	BS	-	-	285 ...360	640 ...690	7 ...11	-	-

BS - oțel de construcții (de bază)

QS - oțel de calitate

3.1.2 Oțeluri cu rezistență mărită la coroziunea atmosferică:

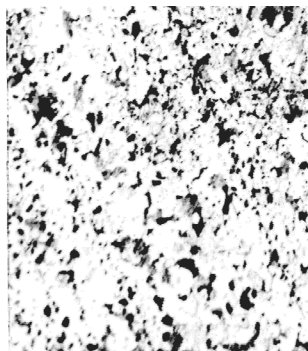
În vederea reducerii pierderilor de material datorate coroziunii atmosferice s-au elaborat oțeluri speciale din clasa de calitate „RC” numite patinabile. În țara noastră s-au adoptat două oțeluri RCA37 și RCB52 a căror compoziție chimică, forme de livrare, sunt înserate în tabelul 3. 5.

Principalele domenii de utilizare ale acestor oțeluri sunt:

- la oțelul RCA 37
 - elemente de construcții metalice cu rezistență la coroziune atmosferică (stâlpi, vagoane, macarale, structuri portante etc.)
- la oțelul RCB 52
 - elemente de construcție metalice puternic solicitate cu rezistență mare la coroziunea atmosferică (stâlpi și coloane, macarale de mare capacitate, elemente portante ce lucrează în mediu minier, recipiente sub presiune din componența unor, elemente de structură la galeriile miniere etc.)

Se menționează că depășirea cu max.0,50% a limitei coeficientului de Cr și Cu nu constituie motiv de rebut.

Structurile acestor oțeluri sunt ferito-perlitice de granulație ≈ 7 SRISO 643-93 (figurile 3.3., 3.4.)



Tabelul 3.5.

Forme de livrare	Compoziția chimică în %									
	C _{max}	Mn _{max}	Si	P _{max}	S _{max}	Cu	Cr	Al _{min}	N _{2max}	V
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<ul style="list-style-type: none"> • produse plate laminate la cald • produse laminate la cald • profile formate la rece 	0,12	0,45	0,12 0 ...	0,03 5	0,04 0	0,30 0 ...	0,50 0 ...	0,02 0	0,01 9	-
	0,20	1,20	max . 0,60	0,04 0	0,04 5	0,30 0 ...	0,50 0 ...	0,02 0	0,01 9	max . 0,12
	0	0	0	0	0	0,60 0	0,80 0	0	0	0

56 Caracteristicile materialelor folosite la fabricarea elementelor supuse la oboseală - 3

Clasa de calitate	1	1; 1a; 1b; 2; 3 .	2; 3; 4.
Marca de oțel	0	RCA 37 STAS 500/1...3 - 89	RCB 52 STAS 500/1...3 - 89

Duritatea oțelurilor în starea de livrare este cuprinsă între 130 și 165 HB (oțel RCA 37) și între 145 și 185 HB (oțel RCB 52).

Principalele caracteristici mecanice ale celor două oțeluri sunt înserate în tabelul 3.6.

Tabelul 3.6.

Marca oțelului	Clasa de calitate	Rp _{0,2} min N/mm ²	Rm N/mm ²	A _{min} %	KCU2 la +20°C J/cm ²	Energia de rupere		Diametru dornului de îndoire la rece la 180° [mm]
						Tempe- ratura, °C	KV _{min} J	
0	1	2	3	4	5	6	7	8
RCA37	1,1a,1b	240	360... 440	-	-	-	-	2,0.a
	2	240	360... 440	25	min 69	+20	27	2,0.a
	3	240	360... 440	26	-	0	27	2,0.a
RCB52	2	350	510... 610	20	min. 69	+20	27	2,5.a
	3	350	510... 610	21	-	0	27	2,5.a
	4	350	510... 610	22	-	-20	27	2,5.a

„a” este grosimea produsului în mm .

Elementele de aliere (Cr,V) formează treptat pe suprafața materialului o peliculă compactă și aderentă de oxizi care împiedică contactul direct al acestuia cu mediul natural și tot odată asigură o protecție electrochimică prin încetinirea vitezei reacțiilor de coroziune anodică. În figura 3.5. se prezintă variația pierderilor în grosime și în masă a unor produse din oțeluri patinabile în stare neprotejată și pentru două condiții de mediu (atmosferic minier și atmosferic urban).

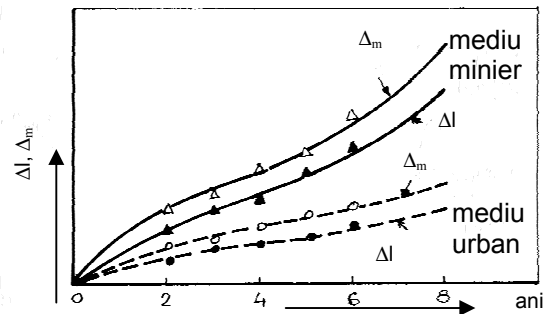


Fig 3.5. Variația $\Delta l, \Delta m = f(\text{mediu})$

Analizând diagramele din figura 3.5. se observă o pierdere mai mare de material la oțelurile patinabile ce lucrează în mediul minier începând cu anul 5 de funcționare față de pierderea de material al oțelurilor ce lucrează în mediul urban.

Caracteristicile mecanice și tehnologice ale acestor oțeluri sunt similare cu cele ale oțelurilor pentru construcții cu destinație generală echivalente din punct de vedere al claselor de rezistență mecanică și de comportare la sudare. Datorită alierii, ele au conținut în carbon echivalent mai mare decât oțelurile cu destinație generală, motiv pentru care sunt mai sensibile la fisurare și deci necesită o temperatură mai ridicată de preîncălzire în vederea sudării în fabrici și pe șantiere a componentelor utilajelor miniere.

Totodată prezența elementelor de aliere impune utilizarea fluxurilor cu caracter bazic în cazul sudării automate și a electrozilor cu înveliș bazic la sudarea manuală. În vederea asigurării autoprotecției îmbinărilor sudate împotriva coroziunii atmosferice la nivelul metalului de bază, în țara noastră s-a elaborat electrozodul „Corten” slab aliat cu Cr, Cu, Ni și care are un conținut mai scăzut în carbon comparativ cu electrozi obișnuiți din aceeași clasă de rezistență tocmai cu scopul evitării fenomenelor de fisurare.

3.1.3 Oțeluri cu granulație fină:

Aceste oțeluri se caracterizează printr-un conținut scăzut în carbon și sunt aliate cu elemente care favorizează creșterea caracteristicilor de rezistență mecanică fără o dimensionare puternică a celor de ductibilitate și tenacitate. Ele fac parte din grupa oțelurilor cu grăunte foarte fine, deoarece prezintă în compoziția chimică mici cantități de Al, V, Ti, Nb care formează nituri, carburi, oxizi, carbonituri ce se depun sub formă de pelicule disperse pe limitele de grăunți și în masa de bază (ferito - perlitică) (fig. 3.6.)

Granulația are punctaje cuprinse între 8 și 10 conform SR ISO 643-93.

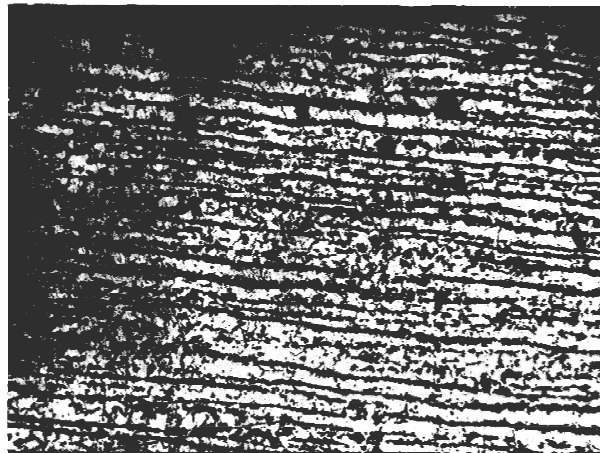


Fig. 3.6. Oțel OCS 55
(Atac Nital 2%,100x)

În tabelul 3.7. se arată compoziția chimică a principalelor oțeluri cu granulație fină folosite în construcția unor componente ale utilajelor miniere (de suprafață , în subteran)

Tabelul 3.7.

Marca de oțel	Compoziția chimică în procente									
	C _{max}	Mn	Si _{max}	P _{max}	S _{max}	V	Ni _{max}	Al _{min}	Nb _{min}	Ti _{min}
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
OCS 44	0,2 2	0,75...1,1 5	0,5 0	0,04 5	0,05 4	min. 0,05 0	0,30	0,01 5	0,02	-
OCS 52	0,2 0	1,05...1,6 5	0,5 0	0,03 5	0,03 5	min. 0,05 0	0,70	0,01 5	0,02	-
OCS 55	0,2 2	1,05...1,7 0	0,4 0	0,03 0	0,03 0	min. 0,05 0	0,70	0,02 0	0,02	0,00 5
OCS 58	0,2 1	1,05...1,7 0	0,5 0	0,04 0	0,04 0	max. 0,18	0,80	-	-	-

Domeniile de utilizare și formele de livrare ale oțelurilor cu granulație fină sunt înserate în tabelul 3.8.

Tabelul 3.8.

Marca de oțel	Domeniul de utilizare	Forme de livrare
0	1	2
OCS 44	Elemente portante pentru construcții sudate sau îmbinate prin alte procedee, supus la solicitări mecanice relativ ridicate și care trebuie să prezinte o rezistență mare la rupere fragilă.	produse plate, laminate la cald semifabricate pentru forjare
OCS 52	Elemente portante pentru construcții sudate sau îmbinate prin alte procedee, puternic solicitate și rezistență mare la rupere fragilă.	produse plate, laminate la cald semifabricate pentru forjare
OCS 55	Elemente portante pentru construcții sudate puternic solicitate și cu rezistență mare la sudate puternic solicitate și cu rezistență mare la rupere fragilă (căi de rulare, la macarale grele, poduri rulante, stâlpi de susținere galerii metalice, tiranți pt. excavatoare ,etc.)	produse plate, laminate la cald semifabricate pentru forjare • produse tubulare

continuarea tabelului 3.8.

0	1	2
OCS 58	Elemente portante pentru construcții metalice sudate puternic solicitate și cu rezistență mare la rupere fragilă (structuri portante pentru mașini de ridicat, de haldat, șasiu, vagonete, căi de rulare în subteran etc.)	produse plate, laminate la cald semifabricate pentru forjare produse tubulare

60 Caracteristicile materialelor folosite la fabricarea elementelor supuse la oboseală - 3

Caracteristicile mecanice și tehnologice ale oțelurilor cu granulație fină analizate sunt trecute în tabelul 3.9, iar caracteristicile de tenacitate pentru diferite temperaturi de încercare sunt prezentate în tabelul 3.10

Tabelul 3.9.

Marca de oțel	Rp0,2min (N/mm ²)			Rm (N/mm ²)	A _{5min} (%)	Diametrul dornului pentru îndoire la rece [mm]	
	Grosimea tablei s [mm]						
	S≤16	16<S≤40	S>40	S≤100	8<S<25	S≤16	S>16
0	1	2	3	4	5	6	7
OCS 44	285	255	215	430...540	23	2,0.s	2,5.s
OCS 52	355	334	315	540...610	20	2,5.s	3.s
OCS 55	420	410	365	540...680	19	3.s	3,5.s
OCS 58	460	450	400	570...730	19	-	-

Tabelul 3.10.

Marca de oțel	Clasa de calitate	Energia de rupere minimă, KV [J] la temperatura de :					Reziliența minimă KCV2la+20°C[J/cm ²]	
		0°C	-20°C	-30°C	-40°C	-50°C	Stare de livrare	Stare îmbătrânire
		2	3	4	5	6	7	8
0	1	2	3	4	5	6	7	8
OCS44	5	40	35	28	-	-	60	35
	6	48	40	35	28	-	60	35
OCS52	5	40	35	28	-	-	60	35
	6	48	40	35	28	-	60	35
	7	55	48	40	35	28	60	35
OCS55 și OCS58	3	28	-	-	-	-	70	40
	4	35	28	-	-	-	70	40
	5	40	35	28	-		70	40

Duritatea oțelurilor au valoarea cuprinsă între :

- la oțelul OCS44 143 - 160 HB
- la oțelul OCS 52 162 - 190 HB
- la oțelul OCS 55 162 - 199 HB
- la oțelul OCS 58 171 - 219 HB

Valorile de duritate sunt pentru starea de livrare .

O problemă dificilă care apare la sudarea acestor oțeluri este asigurarea unei tenacități ridicate la temperaturi scăzute în sudură și în zonele influențate termic de ciclurile de sudare ;deoarece aceste oțeluri sudate trebuie să asigure o rezistență bună la coroziune pe lungi perioade de timp .La sudare se folosesc

materiale de adaos care conțin elemente de aliere ca nichel sau molibden ce coboară punctul de fragilitate la rece. După sudare, îmbinările sudate se vor supune de regulă unui tratament termic de detensionare (local sau general) executat la o temperatură cuprinsă între 560...620 °C cu o durată de minim 30 minute cu răciri lente. Atât aceste oțeluri cât și îmbinările sudate ale acestora sunt sensibile fenomenului de fragilizare la coroziune fisurantă sub tensiune, fapt ce impune aplicarea după sudare a unor tratamente termice post sudare.

3.2 Tehnologii de execuție și materiale de adaos :

Alegerea materialului de adaos are în vedere asigurarea în îmbinarea sudată a unor caracteristici mecanice de rezistență cel puțin egale cu cele ale materialului de bază și o omogenitate chimică acceptată din punct de vedere compozițional. În tabelul 3.11. se înscriu criteriile generale care stau la baza alegerii corecte ale materialelor de adaos.

Tabel 3.11.

Etapa	Definirea criteriilor de alegere	Utilizare	Cerința
0	1	2	3
I	• domeniul de utilizare	construcții industriale, material	Pentru ce?
	• tipul sau grupa materialului de bază	rulant, recipientii, etc.	
II	• marca și caracteristicile materialului de baza	OL37; OCS 55; R 44 etc.	Pentru ce?
III	• particularitățile specifice ale îmbinărilor sudate	structuri din table cu grosimea peste 25 mm etc.	Ce fel de îmbinări?
IV	• condiții impuse în respectarea structurilor sudate	produsele ce lucrează la temperaturi scăzute, eforturi de oboseală ciclică alternantă	Ce se impune
V	• condiții în care se execută lucrarea	se sudează în timp de iarnă, în poziții, în condiții de șantier etc.	Unde?
VI	• nivelul de calificare al sudorilor și dotarea cu echipament de sudare	sudarea manuală cu transformatoare, sudarea automată și sudarea cu dispozitive de poziționare	Cum? Cu cine? Cu ce?
VII	• randament de depunere la sudare	electrozi de mare randament	Cu cât?

În afară de aceste criterii generale se are în vedere și compatibilitatea dintre metalul de bază (MB) și materialul de adaos (MA), prin care se înțelege proprietatea unui material de adaos ca un cuplu cu un anumit oțel (în anumite condiții de sudare) să realizeze o îmbinare sudată care să corespundă caracteristicilor tehnice cerute. Verificările trebuie să asigure:

- corelarea compozițiilor chimice dintre MA și MB
- corelarea caracteristicilor mecanice dintre MA și MB
- tendința de fisurare a MA pe un oțel de referință

- corespondența dintre caracteristicile structurale ale zonelor îmbinărilor sudate și materialelor de bază.

3.3. Defecte și metode de remaniere sau înlocuire a acestora din structura elementelor portante supuse la oboseală



3.3.1 La materialele de bază (stare turnată și deformată plastic)

Prin defecte ale pieselor se înțeleg abaterile de la desen sau de la condițiile tehnice care caracterizează piesele respective. Defectele la materialele de bază pot fi consecințe ale unor cauze singulare fie a unor cauze multiple, complexe care acționează cumulativ, fiecare dintre acestea fiind la rândul lor funcție de un număr de variabile specifice. Defecte cu aspecte exterioare deosebite pot avea una sau mai multe cauze comune.

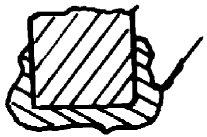




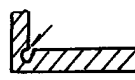

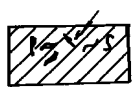

Pe plan mondial se utilizează tot mai des clasificarea defectelor bazată pe descrierea fizică a lor și nu pe cauzele acestora. Acest sistem permite identificarea defectului fie prin observarea directă a materialului cu defecte, fie printr-o descriere precisă a defectului folosind criteriul formei aspectului, localizării și dimensiunile acestora.

În tabelul 3.12. se prezintă clasificarea defectelor cu descrierea pe scurt a defectului.


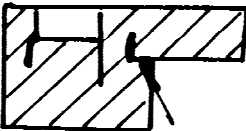


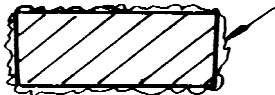
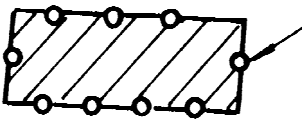


Tabelul 3.12.

Simbol	Denumirea defectului	Descrierea defectului	Prezentarea schematică a defectului
0	1	2	3
A1	Bavură groasă la planul de separație	Bavură groasă atașată de piesa turnată în planul de separație	
A2	Bavură de colț	Excrescența metalică subțire care împarte unghiul interior în două părți	

Continuarea tabelului 3.12.

0	1	2	3
B1	Umflătura interioară sau exterioară	Exces de metal pe suprafețe interioare sau exterioare ale materialului	
C1	Cruste de suprafață	Excrescențe metalice având forme de plăcuțe cu suprafețe rugoase	
D1	Creastă	Excrescență având forma de vână pe suprafața materialului	
E1	Sufluri	Goluri rotunjite cu dimensiuni variabile, izolate sau grupate, neregulate pe toate părțile materialului	
E2	Sufluri superficiale	Goluri de diferite dimensiuni, izolate sau grupate neregulat pe toate părțile materialului.	
E3	Sufluri de colț	Goluri de suprafață în unghiurile interioare ale materialului mergând adesea în profunzime.	
F1	Retasură exterioară	Gol în formă de pâlnie, perete acoperit cu dendrite.	
F2	Retasuri dispersate	Mici goluri înguste având forma de fisuri ce apar pe fețe sau de-a lungul muchilor în general numai după prelucrare.	
G1	Ruptură la rece	Aspect de ruptură normală uneori cu urme marginale de turtire.	

Continuarea tabelului 3.12.

0	1	2	3
G2	Ruptură la cald	Suprafață ruptă oxidată în întregime sau în jurul muchilor.	
G3	Crăpături la cald	Discontinuitate de formă neregulată, apărută la temperaturi ridicate în zone sensibile cu tensiuni, suprafața este oxidată	
G4	Crăpătură de tratament termic	Ruptură după solicitarea completă apărută în timpul tratamentului termic (suprafețe rupte oxidate).	
G5	Crăpătura intercrystalină	Rețea de fisuri pe toată secțiunea transversală.	
H1	Arsură	Oxizi aderenți după aplicarea unor cicluri termice.	
H2	Exfoliere	Exfolierea straturilor paralele la suprafață după aplicarea unor cicluri termice.	
I1	Incluziuni de zgură sau fondanți	Incluziunile nemetalice a căror aspect arată că provin din zguri de topire	
I2	Incluziuni nemetalice	Incluziuni de oxizi, de sulf, de silicați, de nitruri diferit orientați și de dimensiuni diferite	

O problemă importantă care se pune este aceea de a lega existența obiectivă a defectelor prezentate în tabelul 3.3.1 de necesitatea depistării lor. Se poate discuta concret despre anumite defecte numai atunci când le identificăm, le cunoaștem poziția, numărul lor și dimensiunile. Din acest motiv se consideră util de a lega întotdeauna aprecierile cu privire la defecte de considerațiile cu privire la metodele de control utilizate și severitatea efectuării acestora. Cu cât vor fi mai sensibile metodele de control, cu cât vor fi găsite mai multe defecte și se va micșora riscul ca anumite defecte importante să treacă neobservate.

La analiza defectelor, țelul către care se tinde este de a corela mărimea și numărul defectelor cu rezistența mecanică admisă ($R_{p0,2}$, R_m) aleasă pentru construcția elementelor portante ale U.G.M.-urilor. Aceasta presupune un volum mare de cercetare în scopul comportării în exploatare a U.G.M.-urilor.

Nu orice defect trebuie privit ca ceva inadmisibil. Gradul de acceptare este un compromis economic între cerințele de calitate și productivitatea muncii. Astfel în cazul unor defecte, pe lângă considerentul tehnic, considerentul economic vor dicta dacă la depistarea defectelor acestora vor fi remediate sau nu.

3.3.2 La îmbinări sudate se întâlnesc o serie de defecte cauzate atât de nerespectarea tehnologiilor de sudare cât și din cauze privind modul de răcire a materialului topit. Principalele defecte ale îmbinărilor sudate sunt:

a.) *Fisuri și microfisuri* ce reprezintă discontinuități bidimensionale apărute după răcire sub acțiunea tensiunilor termice sau sub acțiunea unor ansamble de eforturi, sau în timpul exploatării funcționale. Tipurile lor sunt ilustrate în figura 3.7.

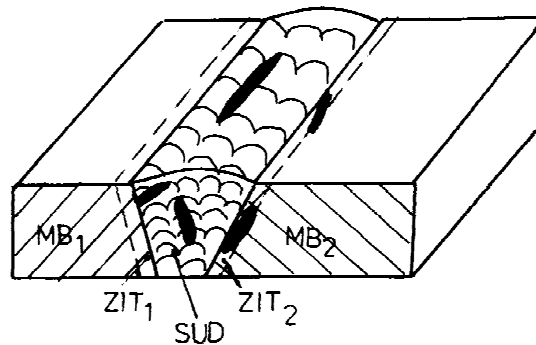


Figura 3.7. Tipuri de fisuri

b.) *Golurile sau porii* sunt mici discontinuități circulare localizate în sudură; se datoresc interacțiunii dintre lichid-metal din zona sudată prin reținerea inițială a bulelor de aer sau gaz și eliberarea lor la răcire rapidă. Golurile izolate nu afectează caracteristicile mecanice ale îmbinării sudate, dar odată cu creșterea mărimii lor se micșorează sensibil rezistența la oboseală dar nu sub limita impusă. Aspectul lor este prezentat în figura 3.8.

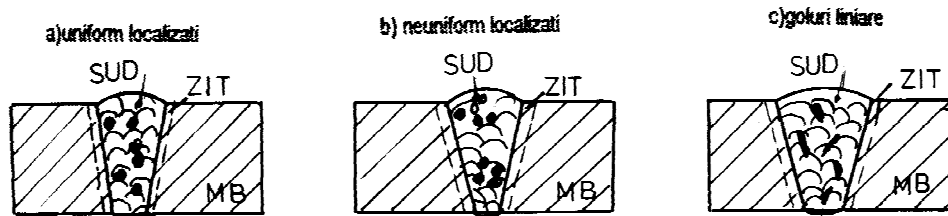
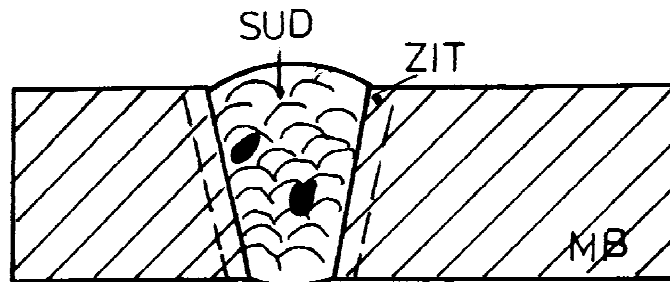


Fig. 3.8. Tipuri de goluri

c) *Incluziunile solide* sunt particule solide nedizolvate în sudura cu compoziția chimică diferită de a metalului lichid al sudurii (figura 3.9.)



Apariția incluziunilor solide este determinată de calitatea metalului de adaos folosit (electrod sau sârmă de sudare). Incluziunile solide de mari dimensiuni reduc rezistența la rupere a îmbinărilor sudate devenind concentratori puternici de tensiune.

d.) *Lipsa de pătrundere* apare la suduri ca un spațiu neumplut cu sudură (figura 3.10.).

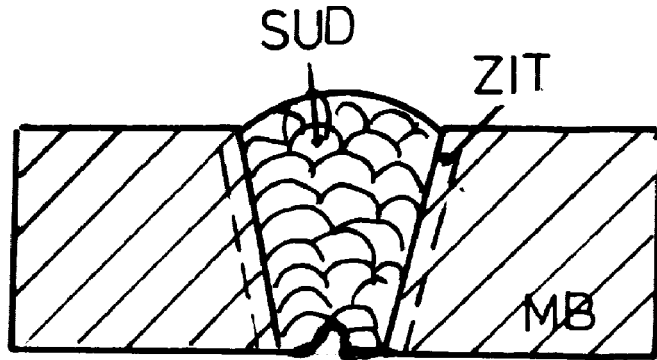


Figura 3.10. Lipsa de pătrundere

Existența acestui defect reduce secțiunea de rezistență a îmbinării sudate, valoarea reducerii depinde de mărimea acestui defect.

e.) *Lipsa de topire* apare ca un loc liber între metalul topit (sudura) și materialul de bază (figura 3.11.)

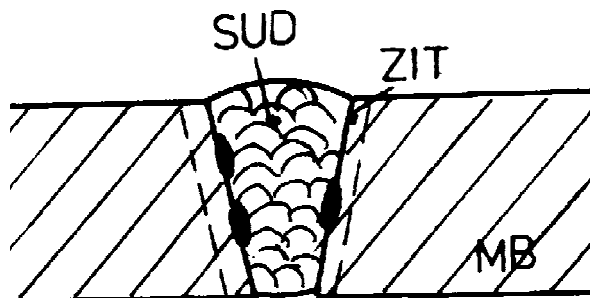


Figura 3.11. Lipsa de topire

Acest defect se detectează cu dificultate, dar în anumite secțiuni studiate cu control ultrasonic sau cu raze X, prin metoda metalografică în secțiune transversală se poate pune în evidență.

f.) *Structurile aciculare* (tip Widdmanstatten) nedorite apar ca urmare a ciclurilor termice de la sudare aplicate și a răcirii rapide permițând transformarea austenitei în ferită cu dezvoltarea forme aciculare (figura 3.12.)



Figura 3.12. Structura Widdmanstatten (Atac Nital 2%, 500X)

Apariția acestor structuri în sudură și în ZIT conduce la fragilizări locale în zonele în care ele se dezvoltă accentuat.

În figurile 3.13. ...3.17. se prezintă o serie de defecte determinate prin analize metalografice



Fig. 3.13. Fisuri în sudura și în ZIT [100:1]

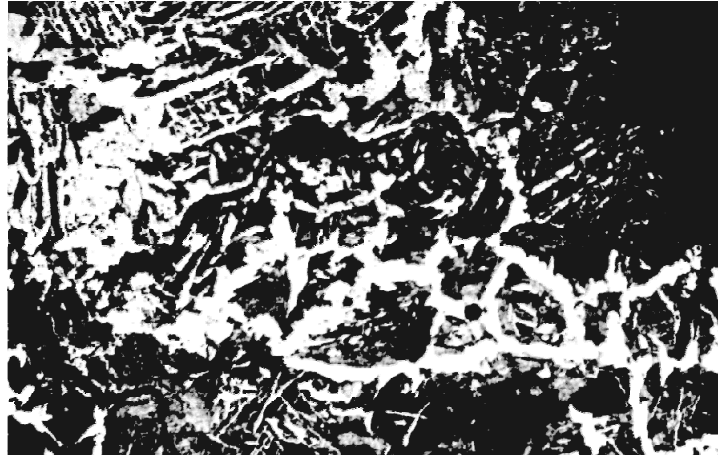


Fig. 3.14. Fisuri și lipsă de pătrundere [100:1]



Fig.3.15. Fisuri în ZIT [500:1]

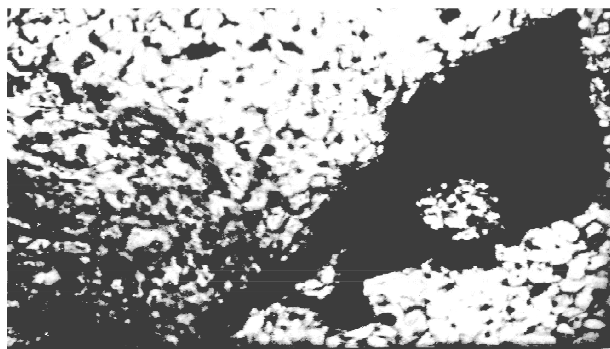
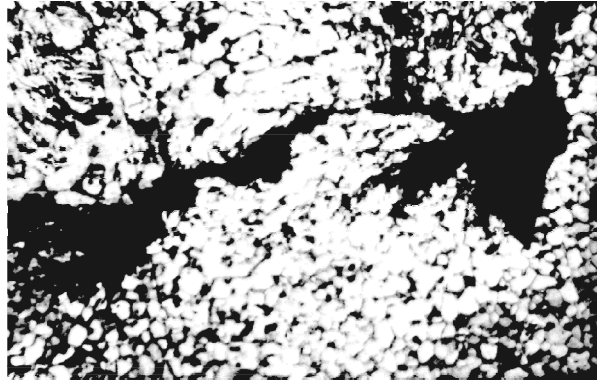


Fig.3.17. Incluziuni solide și goluri fine și fisuri [100:1]

3.3.3 Remedierea defectelor materialelor elementelor portante.

Multitudinea factorilor care determină apariția defectelor materiale (turnate, laminate, forjate, sudate) cât și marea varietate a acestora, a condus la necesitatea organizării atente a operațiilor de remaniere a defectelor în atelierul special amenajat și legat organic de întregul ansamblu al procesului de fabricație.

Din punct de vedere al metodelor de remaniere, cât și a defectelor remediabile se poate face o împărțire în 4 grupe (tabelul 3.13.).

Tabelul 3.13.

Grupe	Denumirea defectelor	Metode de remaniere
0	1	2
I	defecte de suprafață	vopsire, metalizare, sudare
II	defecte de neetanșeitare	ștemuire, impregnare, sudare
III	defecte importante	sudare, încărcare, metalizare
IV	defecte de structură	tratament termic de corectare

Din tabelul 3.13. se observă că principala metodă de remaniere a celor mai multe defecte ale pieselor elementelor portante este sudarea. Reușita remanierii prin sudură este condiționată în primul rând de pregătirea zonei ce urmează a fi reparată, pregătire care consta în curățirea de produse auxiliare (nisip, zgură, etc.) prin procedee manuale (cu dalta) sau mecanice (cu polizorul) până când metalul rămâne curat și sănătos.

În tabelul 3.14. se indică orientativ condițiile de remaniere prin sudare a principalelor oțeluri folosite în construcția elementelor portante.

Tabelul 3.14.

Calitatea oțelului	Sudabilitate	Temperatura de preîncălzire °C	Temperatura tratamentului termic post sudare °C	Observații
0	1	2	3	4
<ul style="list-style-type: none"> • oțel nealiat cu <math><0,3\%C</math> și <math>0,5\%Mn</math> • oțel aliat cu <math>0,15\%C</math> 	Bună	-	-	Oțelurile cu grosimi mai mari de 50 mm se preîncălzesc la cca. 100°C (grupa I de preîncălzire)
• oțel nealiat cu $0,3..0,5\%C$	Mijlocie	150...200	600...620	Nu se acceptă fisuri
<ul style="list-style-type: none"> • oțel nealiat cu <math>0,5\%C</math> • oțel aliat cu <math>0,2\%C</math> și suma elementelor de aliere sub 3% 	Slabă	350...420	600...650	Nu se acceptă fisuri
• oțel aliat austenitic cu $12...14\%Mn$	Slabă	-	-	Electrozii conțin : $4...4,5\%Ni$, $11...13\%Mn$ și $0,6...1,0\%C$

* aprecieri ale autorului

3.4 Studiul fragilității structurale a materialelor utilizate în componența elementelor portante supuse la oboseală :

În procesul de fabricație roata cu cupe a excavatorului ERC 1400 este căptușită cu plăci metalice placate cu aliaje dure care asigură cupei o rezistență la uzură sporită. Fixarea plăcilor metalice se realizează prin șuruburi ce străbat grosimea roții cu cupe, a căror găuri se fac cu șabloane ce se plasează în zonele stabilite. Accidental aceste șabloane s-au fixat cu șuruburi de prindere (hefturi), pe suprafața roții după înlăturarea șabloanelor (polizarea sudurilor de prindere) s-au menținut un număr de aproximativ 3600 ore influențate de ciclurile termice de sudare.

Prezența acestor zone numeroase conduc la apariția fenomenelor de fragilizare structurală; am considerat necesar să cercetez aceste fenomene pentru a vedea dacă influența acestor fenomene nu pune în pericol construcția în timpul exploatării.

Roata cu cupe este formată din mai multe segmente circulare care se sudează

Din două segmente cu suduri de prindere s-au prelevat probe și epruvete pentru efectuarea analizelor structurale, compoziționale și pentru încercări mecanice.

3.4.1. Analiza compoziției chimice a materialului celor două segmente este prezentată în tabelul 3.15.

Tabelul 3.15.

Marcajul probei	Compoziția chimică în procente							
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo
0	1	2	3	4	5	6	7	8
Segment 1	0,197	1,230	0,240	0,032	0,013	0,023	0,200	0,010
Segment 2	0,176	1,310	0,200	0,026	0,010	0,014	0,190	0,010
OL 52 4.k STAS 500/2-80	max. 0,220	max. 1,650	max. 0,500	max. 0,055	max. 0,055	max. 0,300	max. 0,300	-

Oțelul segmentelor 1 și 2 se încadrează compozițional în clasa oțelurilor nealiante marca OL52.4.k STAS 500/2-80.

3.4.2. Analiza metalografică a zonelor caracteristice sudurilor de prindere a relevat aspectele:

3.4.2.1. Analiza macroscopică:

Analiza macroscopică pune în evidență configurația sudurilor de prindere în care nu s-au observat defecte de sudare (Fig.3.7. ... 3.10.)

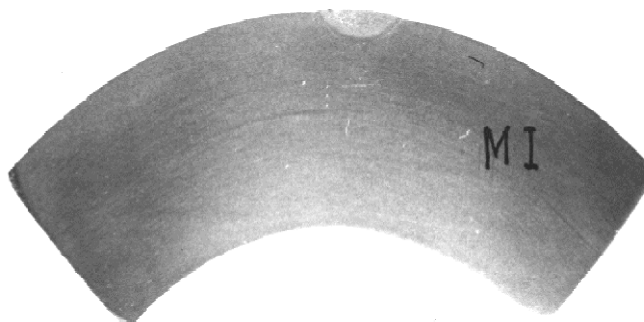


Fig.3.18. Macrostructură segment 1 (M I)

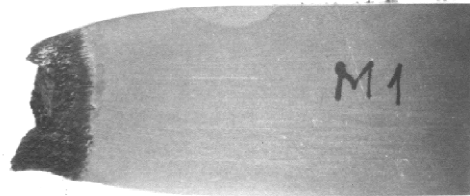


Fig. 3.19. Macrostructură segment 1 (M1)

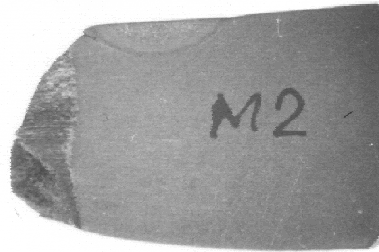


Fig. 3.20 Macrostructură segment 2 (M2)

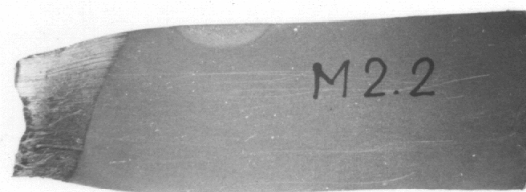


Fig. 3.21. Macrostructură segment 2 (M2.2)

Proba MI a fost supusă întinderii la 90° ,în sudura de prindere nu s-au observat fisuri.

Probele M1, M2 și M2.2 s-au prelevat din zona calibrată a epruvetelor de tracțiune plată la care ruperea s-a produs în metodele de bază la valori ale lui R_m cuprinse între 520 și 540 MPa ; în sudurile de prindere analizate nu s-au observat fisuri.

3.4.2.2 Analiza microscopică și încercările de duritate .

Analiza microscopică pune în evidență structurile :

- la oțelul segmentului 1 (proba MI)
- în metalul de bază (MB) structuri ferito - perlitice în șiruri de granulație 7-8 conform SR. ISO 643-93 (Fig.3.22.) cu duritate cuprinsă între 183 și 192 HV5

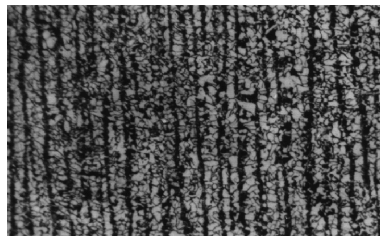


Fig.3.22. Proba MI, MB [Atac Nital 2%, 100:1]

- în zona influențată termic (ZIT) structuri dure bainito - martensitice fără microfisuri (Fig. 3.23.) a căror duritate nu depășește valoarea de 435 HV5.



Fig.3.23. Proba MI , ZIT [Atac Nital 2% , 100:1]

- în sudură (SUD) structuri bainito - perlitice cu ferită cu duritatea cuprinsă între 336 și 349 HV5 (Fig. 3.24.) ; nu s-au observat microfisuri .

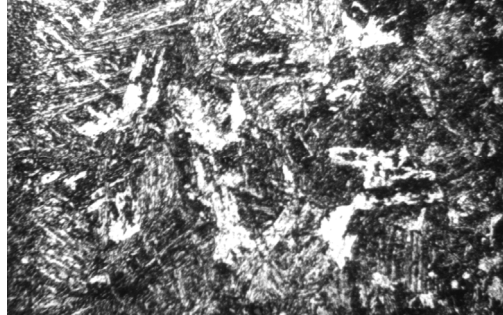


Fig 3.24. Proba MI SUD [Atac Nital 2% ,100:1]

- la oțelul segmentului 2 (proba M2).
- în MB o structură normală ferito-perlitică cu granulație punctaj ~ 7 (SR ISO 643 - 93) (Fig 3.25.) cu densitatea maximă de 219 HV5.

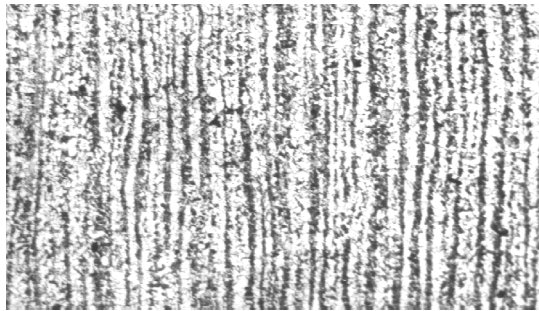


Fig. 3.25. Proba M2 ,MB [Atac Nital 2%, 100X]

- în ZIT structuri dure de tip martensito - bainitic cu duritatea cuprinsă între 386 și 407 HV5 (Fig. 3.26.) ;nu s-au observat microfisuri.

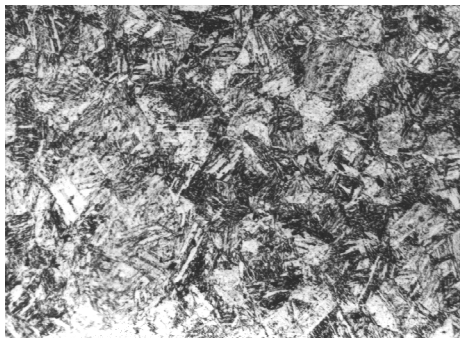


Fig.3.26. PROBA M2 , ZIT [ATAC NITAL 2%,100:1]

- în SUD structuri bainitice cu perlită și ferită fără microfisuri (Fig. 3.27.) cu duritatea maximă de 376 HV5.

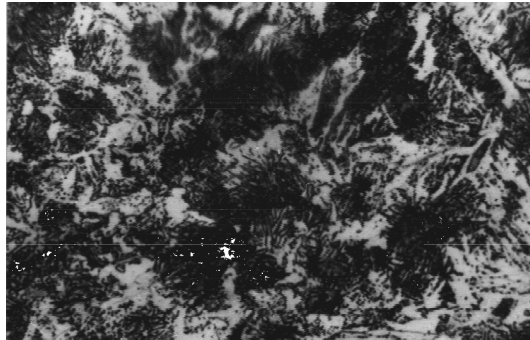


Fig.3.27. Proba M2,SUD [Atac ,Nital 2%,100:1]

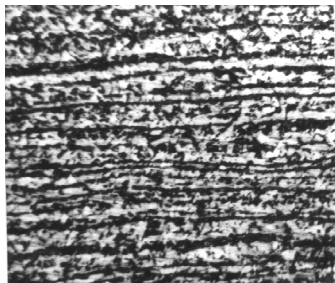
Prezența în ZIT și SUD a structurilor dure martensito - bainitice duce la apariția în aceste zone a fenomenelor de fragilizare structurală ,drept pentru care se impune aplicarea unor tratamente termice post - sudare a căror influențe benefice asupra structurii nu trebuie să ducă la scăderea drastică a caracteristicilor mecanice a oțelurilor segmentelor analizate. În această situație din experiența proprie am propus analiza a trei variante de tratament termic de detensionare și anume :

- *varianta TT1* : încălzire la $380^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$, menținute la această temperatură 3 ore și răcire lentă în cuptor ;vitezele de încălzire și răcire nu depășesc $50^{\circ}\text{C}/\text{h}$.
- *varianta TT2* :, încălzire cu $50^{\circ}\text{C}/\text{h}$ la $380^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$,menținere 5 ore și răcire în cuptor cu max. $50^{\circ}\text{C}/\text{h}$.
- *varianta TT3* : încălzire cu max. $50^{\circ}\text{C}/\text{h}$ la $380^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$, menținere 8 ore și răcire lentă în cuptor cu $50^{\circ}\text{C}/\text{h}$.

Analiza microscopică și încercările de duritate HV5 efectuate pe probele cu suduri de prindere au relevat structurile :

- În *varianta TT1*
- la metodele de bază structuri normale *ferito - perlitice* de punctaj ~ 7 conform SR ISO 643 - 93 (Fig.3.28.a și b) cu duritatea maximă de 216 HV5 , nu s-au observat microfisuri.

a.) Segment 1

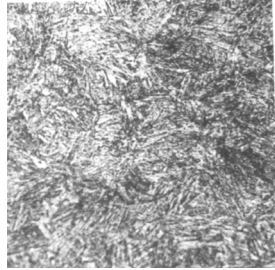


b.) Segment 2

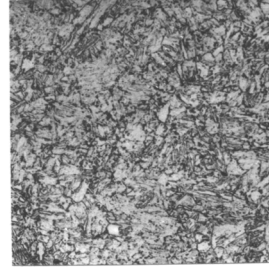


Fig.3.28. Microstructuri MB - TT1[Atac Nital 2%,100: 1]

- în ZIT structuri perlitico - ferite cu zone de bainită superioară a căror duritate variază între 341 și 348 HV5 (Fig.3.29. a și b) ;nu au apărut microfisuri.



a.) Segment 1

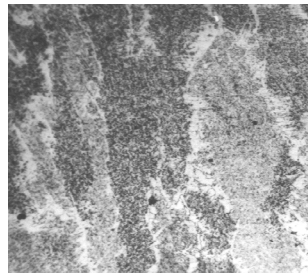


b.) Segment 2

Fig.3.29. Microstructuri ZIT - TT1[Atac Nital 2%,100: 1]

- în SUD, structuri perlitice cu ferită puțin aciculară, cu dendritele alungite pe direcția fluxului termic (Fig.3.30. a și b) nu s-au observat defecte de sudare.

a.) Segment 1



b.) Segment 2

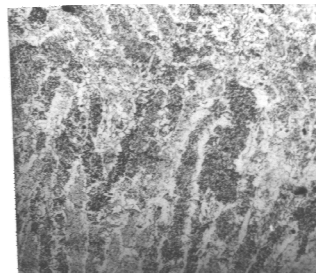
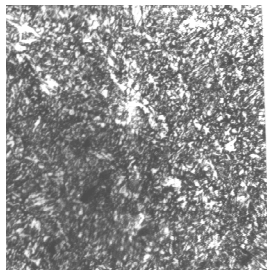
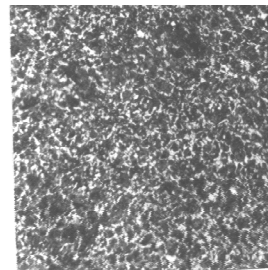


Fig.3.30. Microstructuri SUD - TT1[Atac Nital 2%,100x]

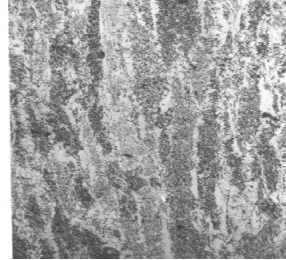
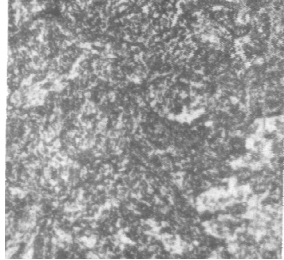
- În varianta TT2 la oțelurile segmentelor 1 și 2
- în ZIT și SUD structuri perlitice cu ferită și zone restrânse cu bainită superioară (Fig. 3.31 a, b, c, d) a căror durități sunt cuprinse între :
- 277 și 289 HV5 la SUD
- 305 și 307 la ZIT



a.) Segment 1-ZIT



b.) Segment 2- ZIT

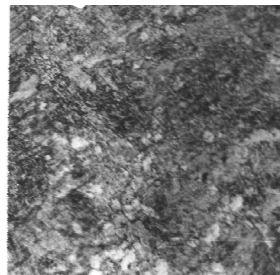
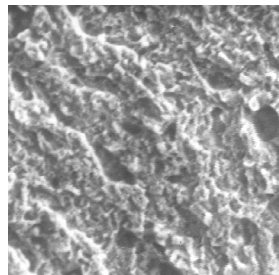


c.) Segment 1-SUD

d.) Segment 2- SUD

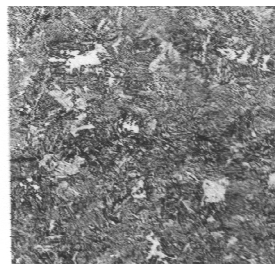
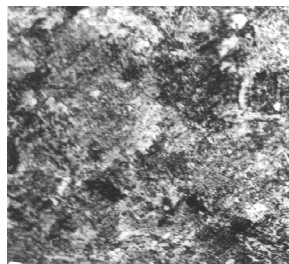
Fig.3.31. Microstructuri în varianta TT2 [Atac Nital 2%,100: 1]

- În zonele caracteristice sudurilor de prindere supuse tratamentului termic de detensionare în varianta TT2 nu s-au observat microfisuri .
- În varianta TT3 la oțelurile segmentelor 1 și 2.
- În SUD și ZIT structuri perlito - feritice cu bainită superioară cvasiuniform răspândită
(fig. 3.32. a,b,c,d)



a.) Segment 1-SUD

b.) Segment 1- ZIT



c.) Segment 2-SUD

d.) Segment 2- ZIT

Fig.3.32. Microstructuri în varianta TT3 [Atac Nital 2%,100: 1]

Duritatea acestor structuri variază între :

- 252 și 271 la suduri
- 280 și 291 la zonele influențate termic

În variantele TT2 și TT3 structurile metalelor de bază sunt ferito - perlitice în siruri de punctaj 7-8 conform SR ISO 643-93 (Fig. 3.33. a,b) a căror duritate maximă nu depășește valoarea de 210 HV5; aceste tipuri de structuri se întâlnesc atât la oțelul segmentului 1 cât și oțelul segmentului 2.



a.) Segment 1-TT2

b.) Segment 2- TT2

Fig.3.33. Microstructură MB [Atac Nital 2%,100: 1]

3.4.3 Încercările la tracțiune conform SREN 10002/95.

Încercările la tracțiune efectuate pe epruvete cilindrice la temperatura mediului ambiant conform STAS 6300 -81 pe o instalație ZD 10/90 clasa I de precizie relevă rezultatele înserate în tabelul 3.16.

Tabelul 3.16.

Marcajul probei	Tip segment	Caracteristicile mecanice				
		R_{eH} [Mpa]	R_m [Mpa]	A_5 [%]	Z [%]	R_{eH}/R_m
0	1	2	3	4	5	6
Varianta NT (netratată)						
1.1	1	395	570	27	68	0,692
1.2		392	573	26	69	0,684
1.3		397	580	26	70	0,684
Varianta TT1						
1.4	1	375	550	32	70	0,681
1.5		378	555	30	71	0,681
1.6		377	552	30	70	0,682
Varianta TT2						
1.7	1	360	543	31	73	0,662
1.8		359	541	31	71	0,663
1.9		351	537	31	69	0,653
Varianta TT3						
1.10		344	527	32	73	0,652

80 Caracteristicile materialelor folosite la fabricarea elementelor supuse la oboseală - 3

1.11	1	349	520	32	71	0,671
1.12		345	528	31	73	0,654
Varianta NT (netratată)						
2.1	2	383	560	26	67	0,683
2.2		390	570	26	68	0,684
2.3		398	583	25	67	0,674

Continuarea Tabelului 3.16.

0	1	2	3	4	5	6
Varianta TT1						
2.4	2	372	545	30	69	0,682
2.5		370	543	31	72	0,681
2.6		372	540	30	71	0,688
Varianta TT2						
2.7	2	362	532	31	73	0,680
2.8		362	540	32	72	0,670
2.9		364	540	32	72	0,674
Varianta TT3						
2.10	2	341	518	33	74	0,658
2.11		342	520	32	74	0,657
2.12		348	522	33	73	0,666
Oțel OL52 STAS 500/2 - 80		min.340	510...630	min.21	-	min.0,492

Factorul de scădere a caracteristicilor mecanice de rezistență se determină cu relația :

$$FSCM = [(CM_{NT} - CM_{TT}) / CM_{NT}] \times 100 \quad [\%] \quad (3.2.)$$

în care :

CM_{NT} - este caracteristica mecanică maximă în varianta netratată

CM_{TT} - este caracteristica mecanică maximă în varianta de tratament termic post - sudare

Când factorul FSCM are valoare negativă se produce o creștere a caracteristicii ,iar când el are o valoare pozitivă se observă o scădere a caracteristicii. Valorile obținute pentru FSCM la oțelurile segmentilor 1 și 2 sunt date în tabelul 3.17

Tabelul 3.17.

Varianta de tratament	Factorul FSCM în procente			
	Segmentul 1		Segmentul 2	
	pentru $R_{p0,2}$	pentru R_m	pentru $R_{p0,2}$	pentru R_m
0	1	2	3	4
TT1	4,78	4,30	6,53	6,51
TT2	9,31	6,30	8,54	7,34
TT3	12,09	8,96	12,56	11,14

Analizând valorile caracteristicilor mecanice obținute (Tabelul 3.16.) și cele ale factorului FSCM (Tabelul 3.17.) se poate afirma :

- caracteristicile mecanice de rezistență (R_{eH} , R_m) atât la segmentul 1 cât și la segmentul 2 scad la aplicarea tratamentelor termice în variantele TT1,TT2,TT3 dar ele sunt încă superioare valorilor impuse de STAS 500/2-80 pentru oțelul OL52.
- toate variantele caracteristici de deformabilitate (A , Z) determinate la oțelurile segmentelor 1 și 2 în variantele TT1,TT2,TT3 sunt superioare celor impuse de STAS 500/2 - 80 pentru oțelul OL52.
- factorul FSCM prezintă valorile maxime atât la segmentul 1 cât și la segmentul 2 în varianta TT3 ; variația acestui factor funcție de timpul de menținere al tratamentelor termice post - sudare este arătată în Figurile 3.34. și 3.35 .

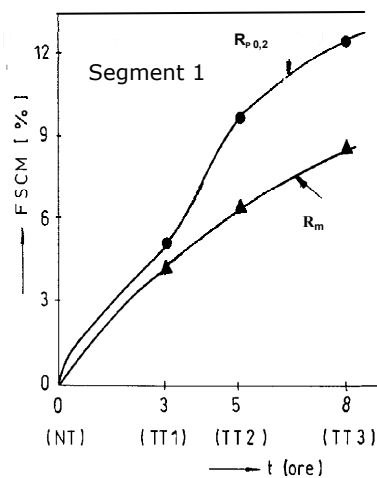


Fig. 3.34. Variația FSCM = f (t) la oțelul segmentului 1

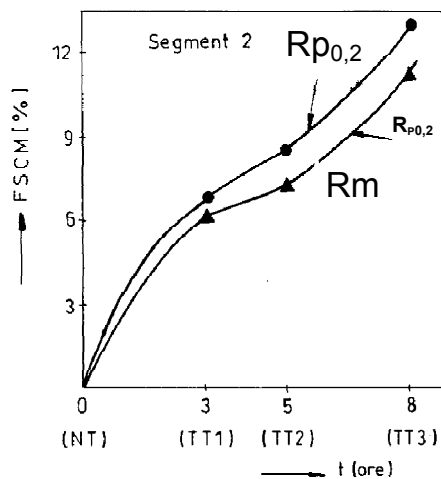


Fig. 3.35. Variația FSCM = f (t) la oțelul segmentului 2

Pe măsura creșterii timpului de menținere la temperatura de 380°C se produc scăderi ale caracteristicilor mecanice de rezistență (ReH , Rm) cele mai mari fiind de 12,56% la oțelul segmentului 2 pentru limita de curgere superioară (ReH) în varianta TT3.

3.4.4 Încercările la încovoiere prin șoc conform SR.EN 10045/1 - 93 și analizele microfotografice.

Încercările la încovoiere prin șoc s-au executat pe epruvete 10x10x55mm cu creștătură „V” pe un ciocan pendul Charpy clasa I de precizie rezultatele experimentale obținute sunt redată în tabelul 3.19 .

Tabelul 3.19.

Marcajul epruvetei	Varianta	Temperatura de încercare	Energia de rupere KV [J]	CR [%]	Marcajul epruvetei	Varianta	Temperatura de încercare	Energia de rupere KV [J]	CR [%]
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.1.1	NT	+20°C	100	34	2.1.1	NT	+20C	99	33
1.1.2			105	30	2.1.2			98	35
1.1.3			108	24	2.1.3			96	36
1.1.4		0°C	71	41	2.1.4		0°C	68	43
1.1.5			72	40	2.1.5			69	42
1.1.6			69	40	2.1.6			68	43
1.1.7		-20°C	35	58	2.1.7		-20°C	37	61
1.1.8			36	60	2.1.8			36	59
1.1.9			32	61	2.1.9			37	60
1.2.	TT1	+20°C	90	27	2.2.1	TT1	+20C	88	39
1.2.			88	32	2.2.2			87	38
1.2.			90	33	2.2.3			90	37
1.2.		0°C	61	44	2.2.4		0°C	57	47
1.2.			60	43	2.2.5			58	48
1.2.			60	42	2.2.6			52	43
1.2.7		- 20°C	30	60	2.2.7		- 20°C	29	61
1.2.8			29	59	2.2.8			29	60
1.2.9	TT2	+20°C	30	60	2.2.9	TT2	+20C	32	57
1.3.1			71	41	2.3.1			65	43
1.3.2			70	40	2.3.2			67	44
1.3.3		0°C	65	44	2.3.3		0°C	66	43
1.3.4			52	49	2.3.4			49	52
1.3.5			49	50	2.3.5			47	50
1.3.6		- 20°C	48	51	2.3.6		-	48	49
1.3.7			29	70	2.3.7			30	69
1.3.8	28		72	2.3.8	29	70			

1.3.9			29	70	2.3.9		20°C	28	71
1.4.1	TT3	+20°C	58	43	2.4.1	TT3	+20C	50	40
1.4.2			57	42	2.4.2			50	41
1.4.3			55	41	2.4.3			52	40
1.4.4		0°C	40	57	2.4.4		0°C	39	56
1.4.5			42	56	2.4.5			37	60
1.4.6			40	55	2.4.6			38	56
1.4.7		- 20°C	27	73	2.4.7		-	27	73
1.4.8			28	71	2.4.8			28	73
1.4.9			27	72	2.4.9			28	72

Variația energiei minime de rupere KV funcție de temperaturile de încercare (T) la variantele analizate eate prezentată în figurile 3.25. și 3.26. .

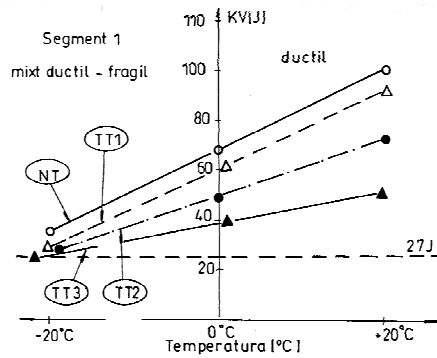


Fig.3.25 Variația KV = f (T) la valorile segmentului 1

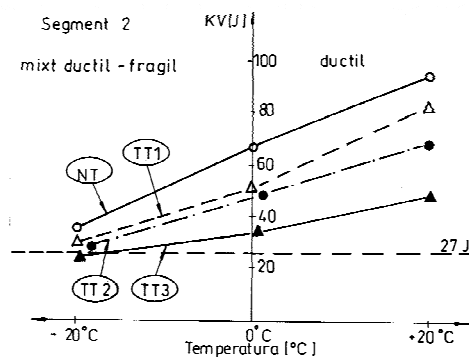


Fig.3.26. Variația KV = f (T) la valorile segmentului 2

La oțelurile segmentilor 1 și 2 valorile energiilor minime de rupere au tendința de scădere în stările NT → TT1 → TT2 → TT3 la toate temperaturile de încercare (0°C -20°C) dar nu sub valoarea de 27J impusă pentru oțelul de clasă OL52 , ruperile epruvetelor determinate prin analiza microfotografică fiind :

- ductile în domeniul 0°C +20°C (Figurile 3.27. , 3.28.)
- mixte ductil - fragil în domeniul 0°C -20°C (Figurile 3.29. , 3.30.)

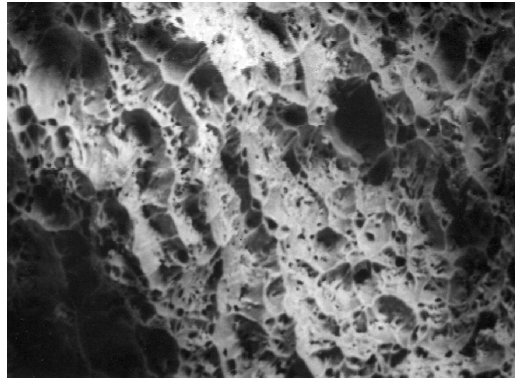


Fig.3.27. Epruveta 1.4.6 [5000x]

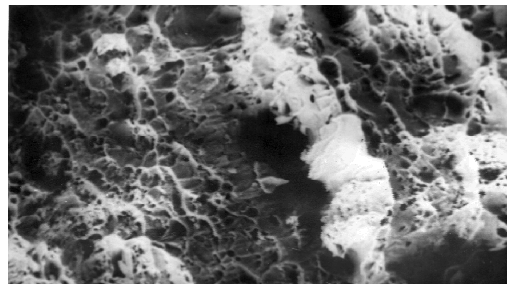


Fig.28. Epruveta 2.4.5 [5000x]

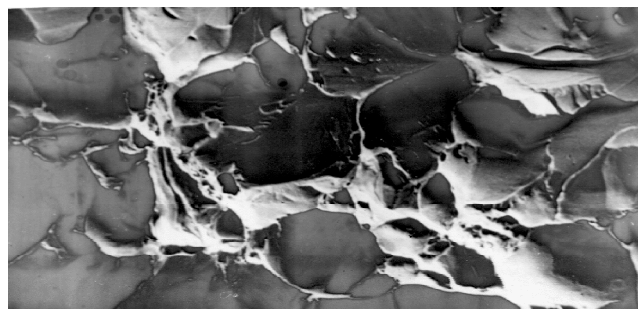


Fig.3.29. Epruveta 1.4.9 [10.000x]

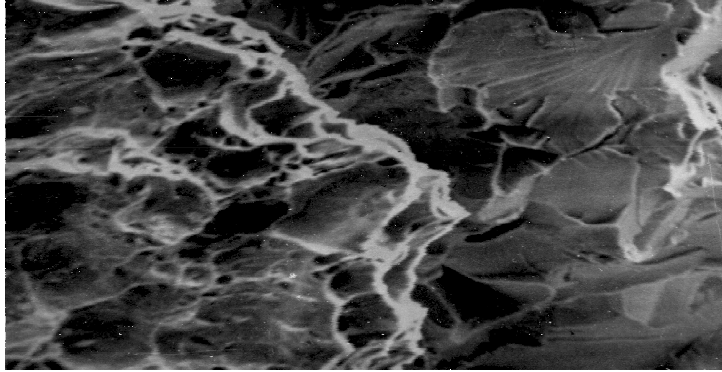


Fig.3.30. Epruveta 2.4.7 [10.000x]

3.5. CONCLUZII

- Criteriile de selecție a materialelor metalice din construcția unor utilaje grele stau la baza alegerii judicioase a unor materiale (oțeluri în special) care să asigure în stare normală și sudată caracteristicile structurale și mecanice impuse.
- Defectele analizate (la materialele de bază și la îmbinările sudate) permit stabilirea clasificării pe baza descrierii fizice ale lor , lucru ce atestă atât prezența lor prin observarea directă cât și descrierea precisă folosind criteriile formei, aspectului, localizării și dimensiunile acestora.
- Oțelurile cuprinse în norma DIN 1624 sunt de tipul C - Mn , se simbolizează cu St0 ...St4 , fiind obținute prin laminare la rece. Ele se corelează în general cu oțelurile cuprinse în STAS 9485 - 80.
- Oțelurile cuprinse în norma DIN 1624 partea 2-a sunt nealiat .Ele fac parte din clasa C - Mn (St37 , St42.2 , St50.2 , St60.2 , St70.2) fiind obținute prin laminare la rece . Ele au în general o corespondență cu oțelurile cuprinse în STAS 9724 - 90.
- Oțelurile sudabile folosite în Comunitatea Europeană pentru construcția U.G.M. acoperă clasa oțelurilor nealiat cât și clasa oțelurilor aliate. În general aceste oțeluri se pot asimila cu cele indigene.
- Oțelurile segmentilor din care este fabricată roata cu cupe a excavatorului ERC 1400 sunt nealiat din clasa OL52 ; zonele fragilizate la practicarea sudurilor de prindere, prin aplicarea tratamentelor termice de detensionare își modifică structurile în sensul transformării constituenților dur, fragili în constituenți ductili ce au durități sub 350 HV5. Caracteristicile mecanice și tenacitatea oțelurilor analizate în variantele de tratament termic (TT1 ,TT2 , TT3) sunt la nivelul oțelului OL52 în starea netratată (NT).

CAP. 4. CERCETĂRI ASUPRA COROZIUNII CHIMICE LA CARE SUNT SUPUSE ELEMENTELE PORTANTE

4.1 Fenomene de coroziune:

Coroziunea este efectul distructiv al mediului asupra unui metal care reacționează cu acesta chimic sau electrochimic.

Activitatea industrială umană a extras din scoarța terestră zăcămintele minerale ce conțin compuși metalici și nemetalici ce erau într-o stare termodinamic stabilă.

Tendința materialelor de a trece în stare ionizată (coroziunea) diferă mult de la un metal la altul și se poate caracteriza energetic prin variația entalpiei libere ce însoțește procesul notată cu ΔG .

În condiții atmosferice, în prezența oxigenului și a umidității apare fenomenul de coroziune.

Metalele nobile (aur, platina, iridiul) sunt termodinamic stabile, având variația entalpiei libere:

$$\Delta G > 0 \quad (4.1.)$$

Există metale care au entalpia liberă a reacției de ionizare pozitivă numai pe absența oxigenului și în condițiile de descărcare a ionilor de hidrogen H^+ . Acestea sunt metale seminobile (Cu, Ag, Hg) care se găsesc în natură atât în stare elementară cât și combinate.

Majoritatea metalelor și aliajelor se caracterizează prin:

$$\Delta G < 0 \quad (4.2.)$$

și se găsesc în natură numai în starea combinată. Din punctul de vedere al mecanismului se disting:

- coroziunea electrochimică, care cuprinde toate interacțiunile metalului cu mediul când au loc și schimburi de sarcini electrice;
- coroziunea chimică specifică interacțiunilor metal-mediul în care nu apar evidente schimburile de sarcini electrice dintre acestea, ele au loc la nivelul straturilor electronice ale atomilor.

Coroziunea corespunde ionizării unui metal cu stabilirea unui echilibru între metal-ionii-electronii disponibilizați, astfel:



sau generalizând, este un proces de oxido-reducere cu reacții electrochimice conjugate de tipul:



în care:

- Ox este forma oxidată a metalului
- Red este forma redusă a metalului

Teoria potențialului mixt, formulată de Wagner și Traud, care constituie baza unitară a interpretării electrochimice a coroziunii, separă reacțiile de oxidare și de reducere ale coroziunii și postulează că viteza totală a tuturor reacțiilor de reducere sunt egale la suprafața de corodare. Reacțiile de oxidare sunt anodice, deoarece ele

au loc în zonele anodice pe metalul ce se corodează sau la anod în celula electrochimică, pot fi reprezentate prin reacția:



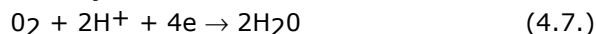
Aceasta este reacția generalizată a coroziunii, reacție care deplasează atomul de metal prin oxidarea lui la ionul său. În reacția (4.5.) numărul de electroni produși este egal cu valența ionului metalic produs.

Teoria potențialului mixt propune ca toți electronii generați prin reacții anodice să fie consumați prin reacții catodice corespunzătoare. Reacțiile de reducere sunt cunoscute ca reacții catodice, deoarece ele au loc în zonele catodice ale metalului ce se corodează sau la catodul celulei electrochimice. Cele mai cunoscute reacții catodice consumatoare de electroni întâlnite la coroziunea în mediul apos sunt următoarele:

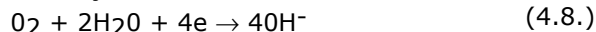
1. reducerea ionilor de hidrogen:



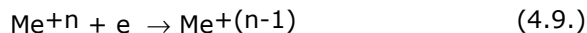
2. reducerea oxigenului în soluții acide:



3. reducerea oxigenului în soluții bazice sau neutre:



4. reducerea ionului metalic:



5. reducerea ionului metalic la metal, adică depunerea metalului în stare elementară la catod:



În timpul procesului de coroziune operează cel puțin una din reacțiile catodice numite și reacții de depolarizare Potențialul mixt, denumit și potențialul de coroziune

" ϵ_{corr} " este potențialul la care viteza totală a reacțiilor anodice este egală cu viteza totală a tuturor reacțiilor catodice. La potențialul " ϵ_{corr} " curentul extern măsurabil este zero, respectiv curenții parțiali anodici și catodici sunt egali ca mărime, iar coroziunea se produce la densitatea curentului de coroziune:

$$i(\text{m}) - i(\text{red}) - i(\text{ox}) = 0 \quad (4.11.)$$

$$i_{\text{corr}} = i(\text{ox}) \quad (4.12.)$$

Astfel „ i_{corr} ” este densitatea curentului de oxidare și reprezintă o măsură a vitezei de coroziune.

Interfața metal/electrolit se manifestă prin proprietăți caracteristice de electrod generate de interacțiuni soldate cu modificări locale specifice. Aceste interacțiuni cauzează transformări calitative ale suprafeței metalului (oxid semiconductor, strat pasiv etc) și ale stratului de electrolit adiacent (variație de concentrație). În vederea reflectării caracterului complex al interacțiunilor chimice și electrice s-a introdus noțiunea de potențial electrochimic care este potențialul de echilibru al unei reacții electrochimice dat de relația lui Nernst:

$$\epsilon_1 = \epsilon_0 + \frac{RT}{2F} \log [\text{Me}^{2+}] \quad (4.13.)$$

în care:

ε_1 - este potențialul reversibil

ε_{10} - este potențialul standard redox al reacției (se ia din tabelele pentru metale și ionii lor)

R - este constanta gazelor perfecte (Reynolds) și are valoarea de 8,314 J/mol.k

T - este temperatura sistemului în grade K

Z - este valența ionului Me^{2+}

F - numărul lui Faraday (96.500 coulombi)

Astfel, potențialul este tensiunea electrică de electrod (-) a unui electrod prin a cărui interfață trece un curent exterior (-) și diferă de potențialul electrodului respectiv când acesta nu este străbătut de un curent exterior.

Curentul exterior care trece prin electrod poate fi impus (-) când electrodul face parte dintr-o celulă de electroliză (-) sau autoimpus, când electrodul face parte dintr-un element galvanic. Diferența dintre potențialul unui electrod "i" la un curent exterior oarecare și

potențialul electrodului la curent exterior zero " ε_0 " este tensiunea electrică de polarizare, " ε_p ". Astfel:

$$\varepsilon_p = \varepsilon_1 - \varepsilon_0 \quad (4.14.)$$

când $\varepsilon_0 = \varepsilon_{rev}$ (potențialul reversibil dat de Nerst) relația (4.2.14) devine:

$$\eta = \varepsilon_1 - \varepsilon_{rev} \quad (4.15.)$$

în care " η " se numește supratensiune.

Dacă, avem un electrod Fe/Fe^{+2} în absența unui curent exterior, pe el se va stabili echilibrul:



Având viteze egale pentru cele două procese opuse, iar potențialul său va fi " ε " reversibil (dat de relația lui Nernst).

Deoarece în electrochimie este mai convenabil să se exprime viteza unor reacții în curenți (dat fiind că trecerea unor particule încărcate este echivalentă unui curent), rezultă că pentru un electrod aflat la " ε_{rev} " avem:

$$i_+ = i_- = I_0 \quad (4.17.)$$

în care:

" i_+ " - este curentul anodic parțial (numai reacția de oxidare)

" i_- " - este curentul catodic parțial (numai reacția de reducere)

" i_0 " - este curentul "de schimb" ce exprimă viteza celor două procese (oxidare, reducere) parțiale la " ε_{rev} "

Dacă în soluția cu ionii Fe^{2+} se introduce un electrod de platină, realizând deci electrodul Pt/Fe^{2+} , potențialul său în absența curentului exterior nu va mai avea o valoare reversibilă " ε_{rev} " ci o valoare oarecare " ε_0 " ca urmare a instituirii unor echilibre diferite de exemplu " OH^-/O ", etc).

Deplasarea potențialului față de " ε_{rev} " fiind însoțită de trecerea unui curent electric exterior, arată că viteza celor două procese ale echilibrului (4.16.) nu mai sunt egale, adică:

$$i_+ \neq i_- \quad (4.18.)$$

iar curentul exterior va avea relația:

$$i = i_+ + i_- \quad (4.19.)$$

Se observa că pentru " $\varepsilon_i > \varepsilon_{rev}$ " va fi mai accentuat procesul anodic iar cel catodic frânat adică:

$$|i_+| > |i_-| \text{ și } i > 0 \quad (4.20.)$$

Dacă avem " $\varepsilon_i < \varepsilon_{rev}$ " se va accentua procesul catodic, iar cel anodic se va frâna, respectiv:

$$|i_+| < |i_-| \text{ și } i < 0 \quad (4.21.)$$

Astfel rezultă că supratensiunea " η " și curentul exterior " i " au întotdeauna același semn. Reprezentarea grafică a curbei ce reprezintă dependența $i=f(\eta)$ se numește curba de polarizare și din forma acesteia se pot trage concluzii referitoare la cinetica reacțiilor de electrod, respectiv la dependența vitezei acestor reacții de potențialul electrodului, de temperatură, de concentrația ionilor electroreactivi.

Cauza apariției supratensiunii, adică a faptului că pentru a trece un curent exterior, potențialul " $\varepsilon(i)$ " se deplasează de la valoarea sa de echilibru.

Într-un proces cu electrod real, supratensiunea globală măsurată poate fi suma mai multor tipuri de supratensiune (de transport, de reacție, de transfer, de sarcină etc). Relațiile „ $i - \eta$ ” nu pot fi deduse decât în cazul unor supratensiuni pure. În general, la densități de curent mici, respectiv la valori ale potențialului apropiate de echilibru (ε_{rev}) procesul va fi controlat de etapa de transfer de sarcină, fiind valabile relațiile care guvernează supratensiunea de acest tip.

La densități mari de curent, respectiv la potențiale situate departe de " ε_{rev} ", etapa determinantă va fi în general transportul de substanță care nu va mai reuși să asigure aportul mare de substanțe cerut, instituindu-se controlul supratensiunii de transport.

Dependența " $i - \eta$ " (curent/potențial) adică forma de polarizare, va fi determinată de relațiile care guvernează supratensiunea predominantă.

La sistemul redox ($Ox + e \leftrightarrow Red$) densitățile de curent parțiale, anodică și catodică sunt:

$$i_+ = k_+ \times C_{red} \times e^{-\alpha z F \varepsilon / RT} = I_0 \times e^{-\alpha z F \varepsilon / RT} \eta \quad (4.22.)$$

$$i_- = k_- \times C_{ox} \times e^{-[(1-\alpha)z F \varepsilon / RT]} = -I_0 \times e^{-[(1-\alpha)z F \varepsilon / RT]} \eta \quad (4.23.)$$

în care:

ε - este potențialul electrodului polarizat

η - este supratensiunea

α - este factorul de transfer ($1-\alpha = \beta$)

i - este curentul de schimb

Densitatea de curent exterioră (totală) care străbate electrodul va fi egală cu suma algebrică a densităților parțiale. Relațiile (4.22.) și (4.23.) nu sunt accesibile experimental ci doar densitatea de curent totală ($i = i_+ + i_-$). Se poate obține câteva puncte de reper pe curbele curenților parțiali, dacă în relațiile (4.22.) și (4.23.) se dau valori limită și anume:

- când " $\varepsilon \rightarrow \infty$ " și " $\eta \rightarrow \infty$ " rezultă ca și " $i_+ \rightarrow \infty$ "
când " $\eta = 0$ ", adică pentru situația când potențialul electrodului se afla la valoarea sa de echilibru ($\varepsilon = \varepsilon_{rev}$) avem " $|i_+| = |i_-| = i$ " și " $i = 0$ ".

Reprezentarea schematică a dependenței curenților parțiali de potențial este redată de curbele punctate din figura 4.1.

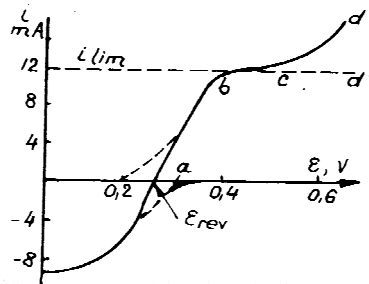


Fig 4.1. Dependenta „ i ” = $f(v)$

Curba din fig.4.1. reprezintă de fapt curba anodică ce descrie procesul ionizării $Me \rightarrow Me^{2+} + 2e^-$ și cea catodică procesul reducerii ionilor la catod prin acceptare de electroni.

Curba plină din figura 4.1. (pe porțiunea a-b) reprezintă suma curbelor parțiale (anodică și catodică), adică variația curentului exterior. Ea este accesibilă experimental și reprezintă curba de polarizare. Din relațiile (4.22) și (4.23) rezultă că la deplasarea potențialului " $\epsilon \rightarrow +\infty$ " și " $i \rightarrow \infty$ " iar pentru " $\epsilon \rightarrow -\infty$ " și " $i \rightarrow -\infty$ ", lucru care de fapt nu se întâmplă în realitate. Astfel la valori mari de densități de curent devine predominantă supratensiunea de transport. În cazul în care transportul de masă este etapa determinantă a întregului proces, densitatea de curent este funcție de coeficientul de difuzie, grosimea stratului de difuzie, gradientul de concentrație al ionului care reacționează la electrod față de interiorul soluției, este:

$$|I| = zxFxD / t\delta (C_0 - C) \quad (4.24)$$

în care:

D - este coeficientul de difuzie,

t - este numărul de transport al celorlalți ioni, cu excepția ionului care reacționează la electrod,

C - este concentrația speciei ionice reactante lângă electrod,

C_0 - este concentrația speciei ionice reactante în interiorul soluției.

În condiții staționare(D, δ ,t sunt constante) relația (4.24.) devine:

$$|i| = K(C_0 - C) \quad (4.25.)$$

Pornind de la relația de definiție a supratensiunii " $\eta = \epsilon I - \epsilon_{red}$ " și ținând cont de relația (4.25.) rezultă următoarea relație între supratensiunea de transport " η " potențialul " ϵ " și densitatea de curent " $|i|$ ".

$$|\eta| = \epsilon I - \epsilon_{red} = (RT / zF) \ln [kC_0 / kC_0 - |i|] \quad (4.26.)$$

când $|i| = KC_0$, $|\eta| \rightarrow \infty$ și $|\epsilon| \rightarrow \infty$ iar $C=0$, adică toți ionii ajung lângă electrod și se descarcă. În condițiile date nu putem obține pe baza desfășurării reacției de electrod considerate, un curent "mai mare decât $i=KC_0$, denumit și curent limită " i_{lim} "(la porțiunea bcd din figura 4.2.1.). Astfel avem:

$$|i_{lim}| = (zFD / t\delta) C_0 \quad (4.27.)$$

Practic însă, la atingerea unui anumit potențial (punctul "c") începe descărcare unui alt ion, iar variația curentului în funcție de potențial se face după ramura "cd" a curbei din fig.4.1.

Pe suprafața construcției metalice sudate sau nituite a utilajelor miniere au loc procese de coroziune de tip "redox" adică un proces anodic de oxidare și unul

catodic de reducere simultane ce au aceeași viteză de coroziune exprimată în curent $|i_+| = |i_-|$, deci același potențial mixt, " ε_c " (fig. 4.2).

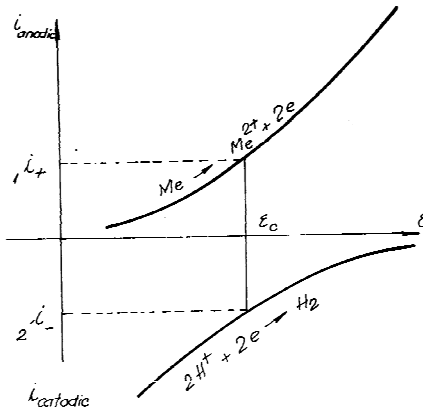


Fig 4.2. Variația I_+ , I_- funcție de ε

Din fig. 4.2. se observă dependența (invers proporțională) curentului (viteza de coroziune) de polarizarea proceselor anodice și catodice. S-a considerat că mediul coroziv este atmosfera încărcată cu praf de cărbune în condiții de umiditate producând coroziunea atmosferică, electrolitul format pe suprafața metalului este un strat foarte subțire mai mult sau mai puțin conductibil. Influența pH-ului (concentrația ionilor de hidrogen) asupra vitezei de coroziune a oțelului supus coroziunii atmosferice specifică atmosferei încărcate chimic*cu praf de cărbune, fum etc) este arătată în fig.4.3.

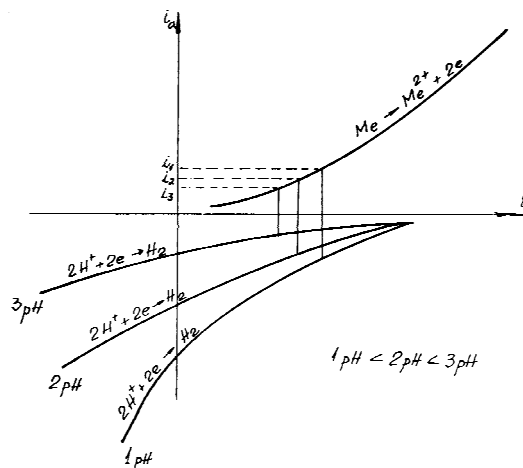


Fig. 4.3. Variația $I_a = f(\varepsilon)$ pentru diferite valori ale pH-ului

Din figura 4.3. se observă că dacă pH-ul crește (prin scăderea activității ionului de hidrogen) crește polarizarea procesului de reducere a ionului de hidrogen, respectiv scade și viteza de coroziune a oțelului.

4.2. Tipuri specifice de coroziune chimică și evaluarea tendinței la coroziune

4.2.1 Coroziunea generală (uniformă)

Prin "coroziune generală" este definit atacul coroziv care decurge relativ uniform pe întreaga suprafață a unei construcții metalice în general, provocând subțierea acesteia (micșorarea grosimii) până la apariția fisurării metalelor sau a îmbinărilor sudate. Coroziunea generală are loc deoarece metalul se află într-o stare activă, formarea unui strat pasiv la oțelurile carbon și slab aliate specifice utilajelor miniere, fiind dificil de realizat, se respectă o legitate, aceea a creșterii liniare a pierderilor în greutate a materialului metalic în unitatea de timp (zi, luni, ani).

Coroziunea generală depinde de compoziția chimică a oțelului, de natura și concentrația mediului chimic (acid sau alcalin) de temperatura, de raportul volumului mediului față de suprafața metalică, de rugozitatea suprafeței, de procedeul de sudare, tratament termic post/sudare etc. Avariile construcțiilor metalice ale utilajelor miniere datorate coroziunii generale sunt mai puțin probabile datorită existenței posibilităților de a fi prevăzute teste de verificare a rezistenței la coroziune a metalelor și îmbinărilor sudate.

4.2.2. Coroziunea localizată în puncte "pitting"

Pittingul este o forma a coroziunii localizate care produce găuri (pitts) pe suprafața metalului cu efect distructiv în timp, până la perforarea grosimii materialului sau a îmbinărilor sudate. Data fiind importanța acestei forme de coroziune, s-au emis diferite teorii care să explice apariția găurii pe suprafața corodată. O explicație cinetică pierderii pasivității suprafeței este absorbită competitivă între ionii de clor și oxigen, o alta explicație termodinamică consideră că potențialul de pitting este cel la care ionii de clor sunt în echilibru cu oxidul format.

Propagarea găurilor implică dizolvarea metalului și menținerea unui înalt grad de aciditate în fundul găurii (fig.4.4.).

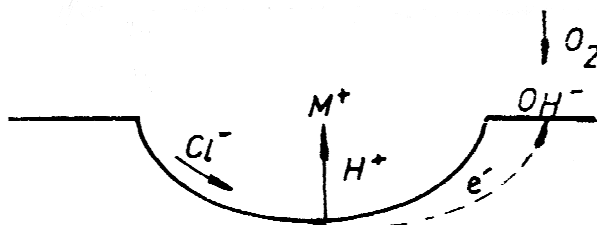
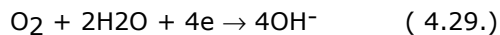


Fig.4.4. Mecanismul de formare a pittingului

Într-o soluție specifică mediului atmosferic minier, (umiditate combinată cu clor și praf de cărbune) propagarea găurii decurge prin dizolvarea anodică a metalului în fundul găurii de tip:



Relația (4.28.) este echilibrată de reacția catodică a suprafeței adiacente:



Concentrația crescută a ionilor de metal în fundul găurii este rezultatul migrării ionilor de clor (Cl^-) pentru menținerea neutralității.

Clorura de metal formată " M^+Cl^- " este hidrolizată de apă la hidroxid și acid liber astfel:



Valoarea pH/ului în fundul găurii datorită formării acidului liber ($H^+ + Cl^-$) este de 1,3 ...1,5 în timp ce pH-ul soluției va rămâne neutru.

Gradul de finisare a suprafeței metalice influențează apariția pittingului în așa măsură, încât comparând tendința la pitting a unor oțeluri slab aliate cu diferite grade de finisare a suprafeței obținute sunt satisfăcătoare. Efectul finisării suprafeței asupra potențialului de pitting al unui oțel nealiat C-Mn este ilustrat în figura 4.5.

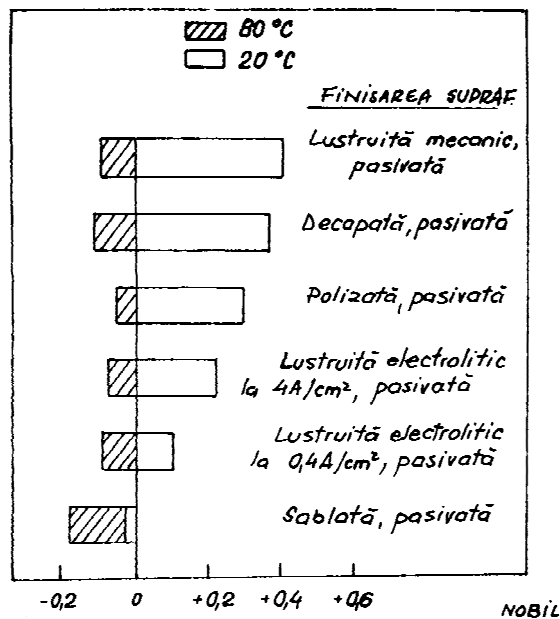


Fig.4.5. Variația potențialului de pitting la defectele operațiilor de prelucrare mecanică

Pasivizarea în acest caz se referă la curățirea suprafeței cu soluție 20% acid azotic (dizolvarea incluziunilor nemetalice cu superficiale pe bază de sulf etc) urmată de neutralizarea efectului acidului cu umezirea prin hidroxid de sodiu. La componentele utilajelor miniere din oțel C-Mn ce lucrează la temperaturi ridicate [max.350 (°C)] pot să apară o serie de pittinguri, numărul lor funcție de temperatura de serviciu este prezentată în curba din figura 4.6 .

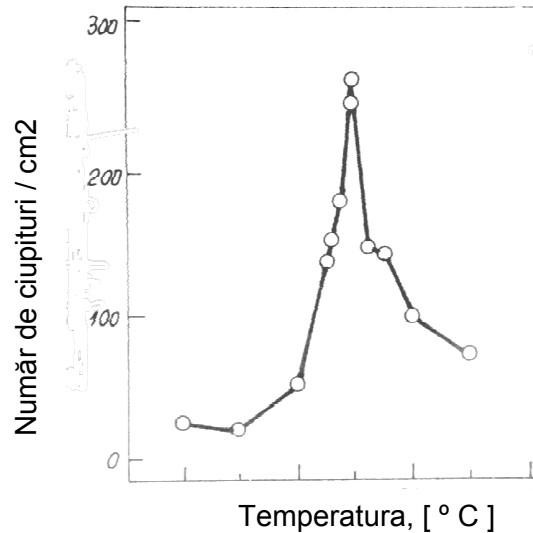


Fig.4.6. Dependenta nr. ciupituri = f (Temperatură)

Apariția unui maxim de 250 ciupituri/cm² la temperatura de serviciu de 300 (°C) se datorează scăderii rezistenței la pitting a oxidului de fier format în timpul funcționării componente la această temperatură.

4.2.3. Coroziunea în crevasă

Coroziunea în crevasă este o formă a coroziunii localizate care poate să apară în interiorul crevaselor (găurilor) sau pe suprafețe protejate unde soluția corozivă stagnează (este bine localizată în timp și în spațiu) (la interfețele metal-metal, metal-nemetal, bolțuri, nituri, îmbinări sudate metal-metal, scaune de valvă etc. Datorită faptului că poate distruge integritatea unei construcții metalice în varianta sudată sau nesudată, coroziunea localizată în crevasă este deosebit de îngrijorătoare mai ales în mediul minier și marin.

Mecanismul apariției coroziunii în crevasă la oțelurile nealiat C-Mn este similar cu cel de apariție a pittingului (fig.4.7.) etapa cu etapa.

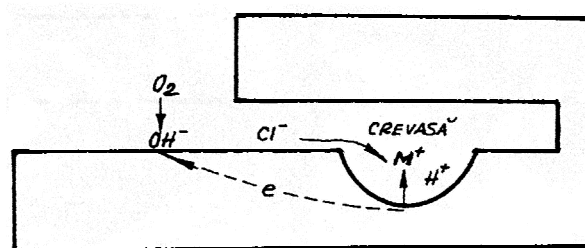
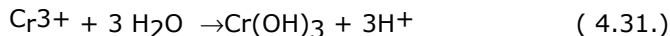


Fig 4.7. Modul de apariție a coroziunii în crevasă

Identificând prin metodele chimiei analitice natura ionilor prezenți în crevase naturale ale oțelului C-Mn cu crevase în vederea stabilirii reacțiilor de hidroliză responsabile de creșterea acidității și comparând rezultatele analitice cu reacțiile de hidroliză termodinamic posibile ale fazelor și constituienților din oțelurile sudabile s-a ajuns la concluzia ca acidificarea interiorului crevasei este probabil datorată de hidroliza ionilor cronici:



ionii de Fe^{+3} fiind găsiți analitic în cantități mici. Acest lucru s-a demonstrat practic prin găsirea aceluiași acid și în crevasele cromului pur.

4.2.4. Coroziunea fisurantă sub tensiune

Coroziunea fisurantă sub tensiune este denumirea generică a atacului coroziv care provoacă ruperea structurilor metalice (sudate sau nesudate) sub tensiune prin propagarea fisurilor în timpul serviciului în atmosfera corozivă. Ca aspect secțiunea ruperii este fragilă (fig.4.8.) cu toate că ruperea apare în materiale metalice cu ductilitate mare.

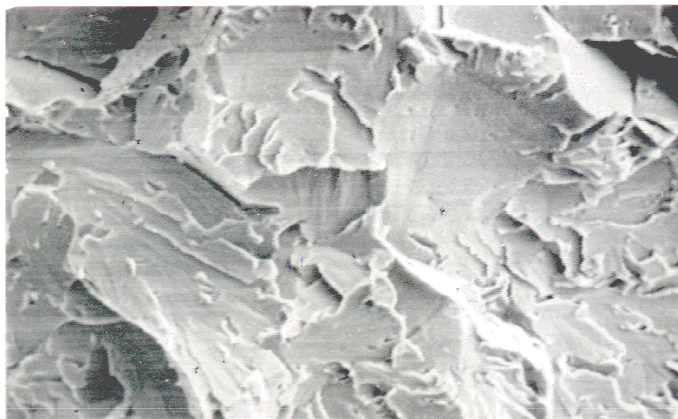


Fig.4.8. Rupere fragilă la o îmbinare sudată [8000x]

Condițiile de apariție a coroziunii fisurante sunt:

- prezența tensiunii de întindere (reziduală, aplicată, sau ambele)
- prezența unui agent coroziv specific

Fisurile se formează și se propagă perpendicular pe direcția de aplicare a tensiunii de întindere la nivele de tensiune mult mai joase decât cele necesare ruperii materialului sau îmbinării în absența mediului coroziv. La scară microscopică fisura care străbate grăunții poartă numele de *microfisură transgranulară* iar cea care urmărește limitele de grăunți - *microfisura intergranulară*. Când coroziunea fisurantă progresa până la adâncimea la care secțiunea de material care susține sarcina remanentă atinge limita sa de rupere în aer, materialul se separă prin rupere normală la suprasarcină printr-o coalescență cu micropori în materiale ductile. Suprafețele ruperii materialelor prin coroziune fisurantă sub tensiune au aspect caracteristic cu ondulații, spectre de râuri și coalescența de micropori legați între ei sau liberi.

Mecanismele sugerate de cercetători au fost clasificate după procesul specific considerat de propagarea fisurii datorate coroziunii fisurante. Unanim se recunosc două procese specifice diferite fundamentale:

- procesul de îndepărtare a materialului de la vârful fisurii.
- procesul de separare a materialului de la vârful fisurii.

Aceste procese specifice stau la baza clasificării mecanismelor coroziunii fisurante și anume:

- mecanisme de dizolvare :
 - ruperea filmului când fisura se propagă prin dizolvare locală a metalului în vârful fisurii, datorită împiedicării pasivizării prin deformări plastice locale
 - dizolvarea accelerată prin tensiune când fisura se propaga prin dizolvarea anodica localizată, fenomen accelerat de deformările plastice locale
- mecanisme mecanice :
 - fragilizare prin hidrogen datorată hidrogenului acumulat în interiorul metalului în regiunea fisurii acest lucru duce la o slăbire locală prin formarea unui gol sau scăderea forței de coeziune, fisura se propaga prin ruperea în regiunile slăbite, cu rezistența mecanică scăzută.
 - absorbția: ionii activi superficiali se absorb și interacționează cu legăturile tensionate din vârful fisurii ducând la scăderea rezistenței legăturilor și propagarea fisurii.
- mecanisme mixte
 - apariția zonelor fragile datorate aglomerării microfisurilor la vârful fisurii
 - modelul tunel: fisura se propaga prin ciupituri adânci sau tunele legate între ele, în final ea face să apară pe suprafața de rupere zone ductile puternic deformate plastic.

4.2.5. Coroziunea îmbinărilor sudate

Termenul de "fragilizare prin hidrogen" definește fisurarea în medii în care acest proces este facilitat de pătrunderea hidrogenului în metalul de bază sau în sudură, fisurarea prin hidrogen sulfurat este o fragilizare cu hidrogen, ionul S^{2-} acționează cu ionul de hidrogen, combinare la hidrogen sulfurat favorizează intrarea în metal a hidrogenului.

La oțelurile C-Mn folosite în construcțiile portante sudate limitele recomandate pentru duritatea maximă a zonei influențate termic (ZIT) funcție de conținutul în hidrogen sunt date în tabelul 4.1.

Astfel în zonele influențate termic ale oțelurilor C-Mn duritatea maximă crește odată cu scăderea conținutului de hidrogen din sudură.

Principalii factori care influențează apariția coroziunii la îmbinările sudate specifice sunt:

- compoziția chimică și structurile metalelor de bază și de adău
- starea metalurgică a metalului de bază înainte de sudare (prelucrări mecanice, tratamente termice etc)
- procedeul de sudare (WIG, MIG, arc-metal cu gaz protector. arc imersat)
- parametrii de sudare (energia de sudare, viteza de sudare etc)
- compoziția și viteza de curgere a gazelor protectoare
- grosimea materialelor de sudat și geometria sudurii

Diferențele de compoziție chimică și de structură dintre sudura (cusătura) și metalul de bază specific construcțiilor sudate ale utilajelor miniere, fac posibilă apariția de cupluri galvanice (teoria potențialului mixt) și zonele cu caracter anodic vor fi atacate. În consecință, pentru evitarea formării unei suduri cu caracter anodic

trebuie să se obțină o sudură cel puțin cu aceeași compoziție chimică și structurală ca și metalul de bază.

Sudura cu caracter anodic poate apărea și din cauza stratului de oxizi cu caracteristici de compactitate aderență, și rezistența chimică diferită față de metalul de bază.

Dacă condiția minimă de identitate a compoziției chimice între sudura și metalul de bază este asigurată, în zona influențată termic (domeniul temperaturilor înalte) modificările structurale sunt cele mai puternice, implicând înregistrarea unei căderi de potențial.

Calitatea îmbinării sudate se poate deci aprecia funcție de mărimea acestei căderi de potențial, care pentru o cusătură (sudură) cu minimă susceptibilitate la coroziune trebuie să fie minimă.

Tabelul 4.1.

Hidrogen în sudură		Duritatea maximă HV5 în ZIT					
		Îmbinare cap la cap			Îmbinare în colț		
Cantitativ	Calitativ	Normal	Pătrunde re completă	Construcții mari	Normal	Pătrunde re completă	Construcții mari
0	1	2	3	4	5	6	7
H > 20ml / 100g	mare	350	300	220	350	350	300
10 < H ≤ 20ml/100g	medie	375	350	250	375	400	350
5 < H ≤ 10ml/100g	mică	400	375	300	400	450	375
H < 5 ml / 100g	foarte mică	450	400	350	450	500	400

Stabilirea formei potențialului local în zona sudurii prin măsurători și trasarea curbei de polarizare $I = f(\varepsilon)$ constituie un mod rapid de apreciere a comportării la coroziune a zonelor caracteristice îmbinărilor sudate (MB – material bază, SUD - sudură, ZIT – zonă temperatură înaltă). În figura 4.9. se prezintă curbele locale de potențial (posibile) funcție de distanța de la centrul sudurii spre zona influențată termic.

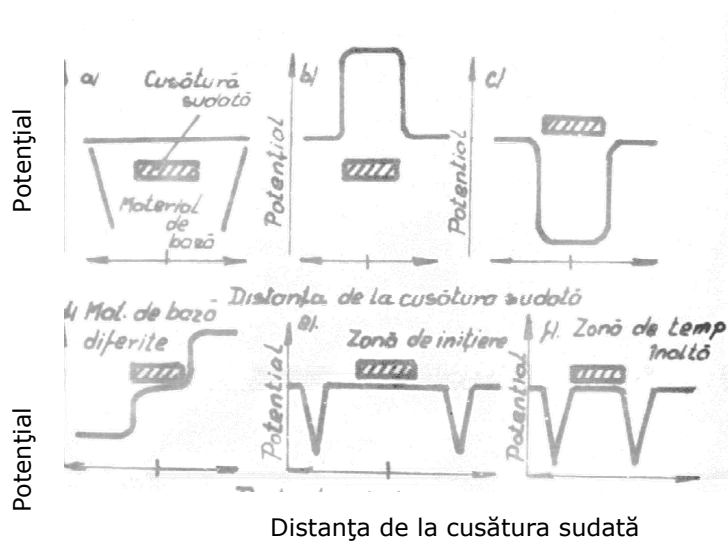


Fig. 4.9. Variația potențialului funcție de distanță

Analizând curbele din figura 4.9. se pot preciza situațiile:

- nu există deosebiri între MB, SUD și ZIT (situație ideală)
- SUD este mai aliată ca MB
- MB este mai aliată ca SUD
- MB sunt diferite între ele și formează o îmbinare eterogenă
- MB prezintă distinct sub zona de transformări incomplete (ca subzonă a ZIT-ului nealiat).
- MB prezintă distinct subzona de supraîncălzire (ca subzona a ZIT-ului nealiat).

O dizolvare locală puternică a zonei anodice apare în cazul variantelor cu domenii anodice strâns limitate de vecinătatea catodică foarte întinsă (fig.4.9.c; 4.9.e; 4.9.f) în timp ce la celelalte cazuri viteza de coroziune locală este neglijată. Ca îmbinările sudate eterogene (din două metale diferite) rezistența la coroziune este asigurată dacă potențialul sudurii se plasează între potențialele celor două metale (fig.4.9.d). Ciclurile termice de la sudarea oțelurilor specifice conduc la transformări structurale importante în ZIT (în special în subzonele de supraîncălzire și transformări incomplete) făcând ca ZIT-ul să fie vulnerabil la fenomene de coroziune.

Principalele metode de încercare la coroziune a metalelor, aliajelor și îmbinărilor sudate unanim acceptate de normele de coroziune sunt:

- încercări de laborator
- încercări în condiții de mediu natural
- încercări în condițiile industriale de exploatare

Încercările de laborator se efectuează în condiții care imită condițiile de exploatare, respectiv în condițiile în care se produce un proces de coroziune. Ele în general sunt de scurtă durată și dau rezultate comparabile numai în cazul alegerii corespunzătoare și a determinării precise a următoarelor condiții de încercare:

- proprietățile probelor ;
- amplasarea probelor ;
- caracteristicile mediului ;
- presiunea și viteza relativă de deplasare a mediului .

a) Încercările de laborator accelerate sunt în majoritatea cazurilor încercări utilizate pentru compararea reciprocă a rezistenței oțelurilor specifice la coroziune. Accelerarea coroziunii se realizează :

- în mediu lichid, prin mărirea vitezei de mișcare a mediului coroziv, modificările compoziției chimice a mediului (dacă factorul determinant este depolarizarea catodică prin oxigen, se saturează continuu mediul cu oxigen) creșterea temperaturii mediului, polarizarea anodică, etc.
- în condiții atmosferice, prin creșterea temperaturii până la valoarea maximă care se poate întâlni în condiții naturale, creșterea umidității, creșterea concentrației gazelor corozive (exp.bioxid de sulf, hidrogen sulfurat, clor, etc), creșterea dozei de radiații ultraviolete simultan cu limitarea dozei de radiații infraroșii pentru preîntâmpinarea supraîncălzirii probelor, etc.

b) Încercările în condiții naturale, respectiv în condițiile de exploatare sunt de regulă încercări de lungă durată efectuate direct în mediul coroziv dat:

- condiții naturale (ape naturale, ape marine, atmosfera industrială, etc)
- în lichide de transport și de depozitare, etc
- în metale topite, etc
- în condiții concrete din anumite instalații industriale
- în diferite medii corozive gazoase sau lichide la temperaturi și presiuni diferite, etc.

La încercările de laborator mediul coroziv trebuie să corespundă condițiilor în care va lucra sau a lucrat materialul, încercat. Pe toată durata încercării se vor păstra aceleași condiții de încercare. Se va controla continuu :

- compoziția chimică și starea fizică a mediului în timpul încercării (temperatura și presiunea)
- viteza de mișcare a mediului coroziv față de epruvetele de încercare sau periodicitatea schimbării mediului
- raportul dintre volumul mediului coroziv și suprafața epruvetelor expuse. Se recomandă un raport, volum soluție față de suprafața metalică expusă de minim 20 ml/cm^2 .
- sarcina mecanică (statică sau dinamică) la care este supusă epruveta în timpul încercării.

La oțelurile nealiat C-Mn din construcția sudată a utilajelor grele mobile condițiile de încercare sunt:

- soluția de atac pentru decapare este formată din:
 - SnCl₂.....20 ml
 - SbCl₃.....20 ml
 - HCl conc.....10 ml
 - apă.....50 ml
- soluția de atac pentru încercarea la coroziune este specifică atmosferei de lucru.

Probele de încercat se vor preleva atât din oțeluri cât și din îmbinări sudate, ele trebuie să aibă suprafața totală de expunere de min. 20 (cm²). În general se adoptă epruvetele cu dimensiunile 50 x 20 x 5 (mm) în număr de minim 3 bucăți.

La încercările de coroziune ale metalelor și îmbinărilor sudate cinetica procesului de coroziune se stabilește prin determinarea variației vitezei de coroziune la diferite intervale de timp, ținând seama de faptul că în majoritatea cazurilor viteza de coroziune este diferită în perioadele inițiale (de început) și respectiv finale ale încercării. După un anumit timp această viteză de coroziune se stabilizează și depinde liniar de timp. La aprecierea rezistenței la coroziune a îmbinărilor sudate și a materialelor se ia în considerare această viteză de coroziune.

La stabilirea vitezei de coroziune funcție de timp, epruvetele de încercat la care se presupune un proces rapid și uniform de coroziune, se controlează la începutul intervalului după:

- 2, 4, 8 și 24 ore
- 2, 4, 8 și 16 zile
- 1 și 3 luni
- după fiecare 3.....12 luni

În laborator la oțelurile și îmbinările sudate ce au un proces mai lent de coroziune (garantat de producător) controlul probelor se face din 24 ore în 24 ore timp de 4 zile (cicluri de 24 ore). Curba de dependența vitezelor de coroziune funcție de timp de construiește pe baza a cel puțin trei determinări la perioade diferite de timp.

La aprecierea rezultatelor încercării de coroziune se determină modificarea caracteristicii alese (masa, grosimea, caracteristicile mecanice, etc)

Metoda de apreciere a încercării se alege în funcție de cerințele materialului sau îmbinării sudate. Astfel se pot utiliza unul sau mai multe moduri de apreciere (pierderea în greutate, adâncimea coroziunii locale, structura stratului superficial, caracteristicile mecanice, etc).

Rezultatele încercării privind rezistența la coroziune se apreciază prin:

- modificarea valorii masei și a dimensiunilor epruvetei
- modificarea dimensiunilor epruvetelor la coroziunea uniformă
- extinderea și distribuția coroziunii neuniforme
- modificarea structurii
- modificarea caracteristicilor mecanice
- modificarea aspectului suprafeței

Pierderea de masă a metalelor se determină prin cântărire sau măsurarea dimensiunilor probelor înainte și după încercare, îndepărtând produșii de coroziune. Probele mai mici de 200 grame se cântăresc cu o precizie de $\pm 0,5$ (mg), iar probele cu masa mai mare cu o precizie de ± 10 (mg). Lungimea și lățimea probelor date (materiale de baza, îmbinări sudate) se măsoară cu o precizie de $\pm 0,01$ (mm).

La aprecierea prin măsurare a dimensiunilor epruvetelor de încercare, rugozitatea suprafeței lor nu trebuie să depășească valoarea medie de 3,2 (μm). După încercare, probele se decapează cu soluția prevăzută și se păstrează în până la cântărire și măsurare.

Pierderile de material provocate de o *coroziune uniformă* se exprimă astfel:

- prin modificarea dimensiunilor epruvetelor măsurate în mm.
- prin pierderea de masă în (g/m^2)

Pe baza pierderilor de masă și a duratei de menținere în cursul încercării se determină viteza de coroziune ce se exprimă prin mărimile:

- viteza de coroziune prin modificarea dimensiunilor în mm/an
- viteza de coroziune prin pierderea de masă în ($\text{g}/\text{m}^2/\text{zi}$)

În cazul *coroziunii neuniforme* (locale, pete, plăgi, etc) aprecierea se face prin determinarea adâncimii focarului de coroziune după îndepărtarea produșilor de coroziune. Se vor determina pe șlefuri metalografice adâncimea celor mai profunde puncte (pitting) de coroziune și adâncimea celorlalte puncte din care rezulta o medie. La caracterizarea gradului de neuniformitate al coroziunii se determină coeficientul de neuniformitate "c" cu valoarea:

$$C_n = g_m / \Delta S \text{ în } (\text{mm}/\text{g m}^2) \quad (4.32.)$$

în care:

g_m este adâncimea medie a punctelor de coroziune (mm)

ΔS este pierderea de masă (g/m^2) sau (g/mm^2) calculată ca în cazul coroziunii uniforme.

Coroziunea în puncte se apreciază prin mărimea și numărul zonelor corodate după îndepărtarea produșilor de coroziune. Aprecierea se face pe suprafețe supuse încercării la coroziune cu dimensiunile corespunzătoare unei suprafețe de cel puțin 50 (cm^2). Suprafața de apreciere se împarte în pătrate cu latura de 5 (mm). Se calculează numărul total (N) de pătrate cu latura de 5mm și numărul (n) de pătrate care conțin una sau mai multe zone de coroziune localizate. Pătratele zonelor marginale sunt considerate pătrate întregi dacă suprafața lor depășește jumătate din suprafața unui pătrat de 5 x 5 (mm), pătratele din zonele marginale cu suprafețe mai mici decât jumătate din suprafața unui pătrat de 5 x 5 (mm), nu se iau în considerație. La coroziunea punctiformă pe granițele a mai multor pătrate aceasta se ia în calcul pentru un singur pătrat. În cazul prezenței coroziunii locale (plăgi, pete) care afectează mai multe pătrate sunt considerate toate pătratele afectate de coroziune, dacă aceasta ocupă mai mult de 50 (%) din suprafața fiecărui pătrat și respectiv, sunt considerate jumătate din numărul pătratelor afectate de coroziune, dacă aceasta ocupa mai puțin de 50 (%) din suprafața fiecărui pătrat.

Examinarea rezultatelor se face astfel:

- distribuția (frecvența) "f" coroziunii neuniforme pe suprafața examinată

$$f = n/N \times 100 \text{ [\%]} \quad (4.33.)$$

gradul de deteriorare (G.1 și G.2) prin coroziune neconformă se determină în procente de suprafața cu degradare maximă pe diferite pătrate cu latura de 5 mm

din totalul pătratelor unde s-a produs fenomenul de coroziune și respectiv în procente de suprafața cu degradare medie din totalul pătratelor unde s-a produs fenomenul de coroziune localizată.

$$G_1 = n_{\max} / N \text{ și } G_2 = n_{\max} / N \quad [\%] \quad (4.34.)$$

unde:

n_{\max} - nr. de pătrate maxim cu coroziune

n_{med} - nr. de pătrate medii cu coroziune

N - nr. total de pătrate

Aprecierea coroziunii prin modificarea caracteristicilor mecanice se face prin determinarea gradului de degradare prin coroziune al materialului metalic sau a îmbinării sudate prin compararea caracteristicilor mecanice la epruvetele care nu au fost expuse mediului coroziv (martor) cu caracteristicile mecanice ale epruvetelor din același material după încercarea lor la coroziune. Tipul de încercare mecanică se alege funcție de tipul de coroziune, luându-se în considerare următoarele:

- coroziunea neuniformă (intergranulară punctiformă, coroziunea selectivă etc) influențează în cea mai mare măsură reziliența materialului și se apreciază pe baza mărimii deformației plastice și a energiei de rupere. Gradul de coroziune se caracterizează prin micșorarea unghiului de îndoire, scăderea energiei de rupere, micșorarea alungirii, etc.
- a coroziunea care determină modificarea structurii materialului de bază sau îmbinării sudate se modifică și caracteristicile mecanice ale acestora. Gradul de coroziune se caracterizează prin modificarea rezistenței la rupere, a limitei de curgere, a alungirii și găturii la rupere.

În cazul în care este necesară o analiză mai aprofundată a influenței coroziunii, aprecierea se face prin metode metalografice. Prin analiza metalografică a coroziunii se determină modificarea structurii în urma procesului de coroziune. Dacă sub acțiunea mediului coroziv are loc o modificare sensibilă a structurii materialelor (metal de bază, îmbinări sudate) inițial se încearcă o probă în aceleași condiții, dar protejate împotriva mediului coroziv. Se folosesc cel puțin trei probe metalografice, suprafețele examinate trebuie să fie perpendiculare pe suprafața corodată. Adâncimea maximă a coroziunii probelor se determină prin diferența de grosime a materialului din zonele necorodate și corodate. Simultan se determină și adâncimea medie a coroziunii.

Cu ajutorul analizei metalografice se determină tipul, forma și distribuția atacului coroziv. Diferite tipuri de degradare prin coroziune pot să fie specifice unui anumit tip de coroziune. Dacă la examinarea unei probe metalografice nu sunt date sau, respectiv se obțin rezultate contradictorii, se face o nouă examinare a probei respective în alte zone (minim trei).

Aprecierea coroziunii prin modificarea aspectului suprafeței se face vizual sau prin metode optice. Se admite aprecierea coroziunii și prin alte metode speciale cu condiția să se poată stabili o corelație între acești parametri și viteza de coroziune.

Dacă pe suprafața probei supusă încercării apar adâncituri sau umflături se măsoară dimensiunile acestor defecte și de determina valoarea procentuală de răspândire a acestora pe întreaga suprafață. Orice aspect al modificării suprafeței inițiale după testarea fenomenului de coroziune atestă o susceptibilitate a materialului sau îmbinării sudate la acest fenomen nedorit.

4.3. Cercetări privind rezistența la coroziune ale elementelor portante, de tip tirant, lașe și cabluri de ancorare

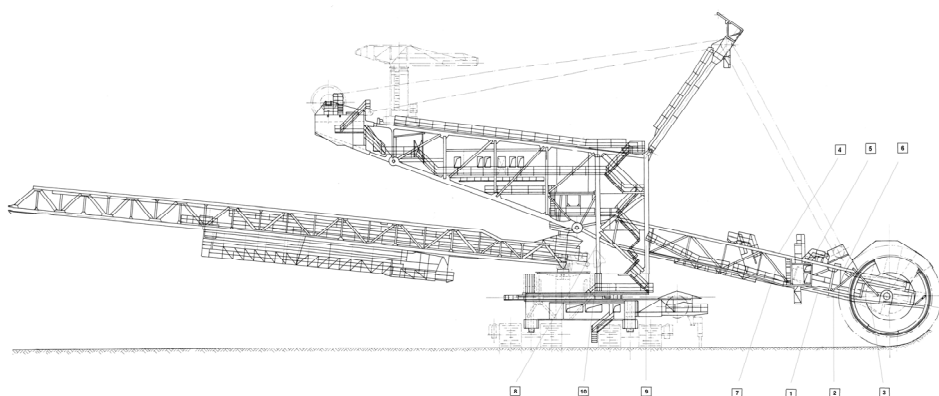
4.3.1. Prelevări probe:

Determinarea rezistenței la coroziune atmosferică a oțelului nealiat C-Mn folosit în construcțiile utilajelor grele mobile s-a efectuat conform ASTM D 2688-93.

Probele pentru experimentări au fost prelevate conform schemei de prelevare, atât din îmbinările sudate automat la structura portantă a unui excavator cât și din îmbinările sudate cu fascicule concentrate, astfel:

- probele A,B,C,D din îmbinări sudate cap la cap
- probele E,F din îmbinări sudate cu fascicul de electroni specifice unor componente speciale de acționare.

Schema de prelevare a probelor



Dimensiunile probelor, și duritatea maximă ale oțelurilor analizate sunt înserate în tabelul 4.2.

Tabelul 4.2.

Marcajul probei	Dimensiuni a x b x g [mm]	Suprafața totală S[cm ²]	Masa inițială Gi[gf]	Duritatea maximă HV5		
				Metal de bază	Zonă influențată termic	Sudură
0	1	2	3	4	5	6
A	72,3x17,8x2,9	15,4823	28,9260	160	174	210
B	72,2x17,4x2,8	15,0716	28,8894	169	227	277
C	77,3x18,8x3,0	17,4154	32,7978	180	244	251
D	77,2x19,1x2,9	17,5379	32,8614	175	214	227
E	73,1x24,8x3,2	19,7160	44,9620	169	407	321
F	73x25,1x3,0	21,2941	40,0000	148	251	240

4.3.2. Încercări de laborator :

În zonele caracteristice îmbinărilor sudate s-au relevat structurile:

- în metalele de bază la toate probele o structură ferito-perlitică de granulație 7-8 conform SRISO 643-93 ; nu s-au observat microfisuri sau defecte de fabricație (fig.4.10.)

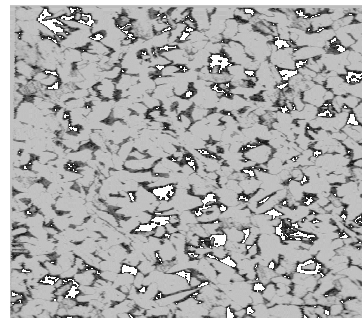
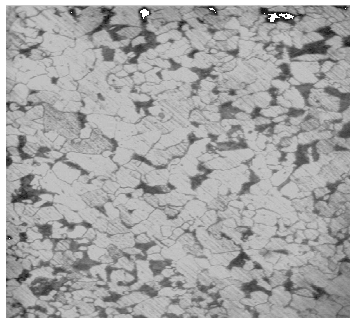


Fig. 4.10. Microstructuri metode de bază [100:1]

- În suduri structuri specifice procedeelelor de sudare și anume :
 - la probele A,B,C,D structuri ferito -perlitice dentritice, fără defecte de sudare (fig.4.11.)
 - la proba E o structură bainitică cu ferită și perlită (Fig.4.12.)
 - la proba F o structură fină sorbitică specifică unui tratament termic post - sudare de detensionare (Fig. 4.13.) aplicat îmbinărilor sudate.

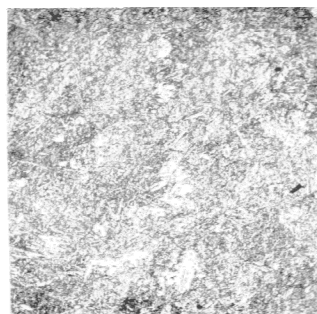


Fig.4.11. Proba A [100:1]

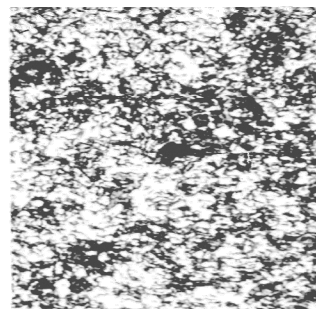


Fig.4.12. Proba E [100:1]

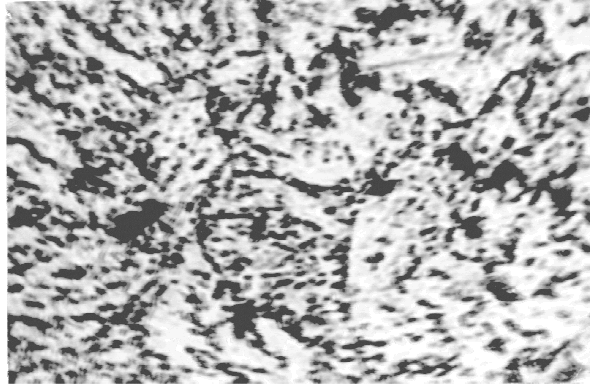


Fig.4.13. Proba F [500:1]

- În zonele influențate termic de ciclurile de sudare s-au observat structurile:
 - ferito-perlitice cu ferita aciculară și în rețea, granulație de punctaj 5-6 (fig. 4.14.) la probele A, B, C, D.

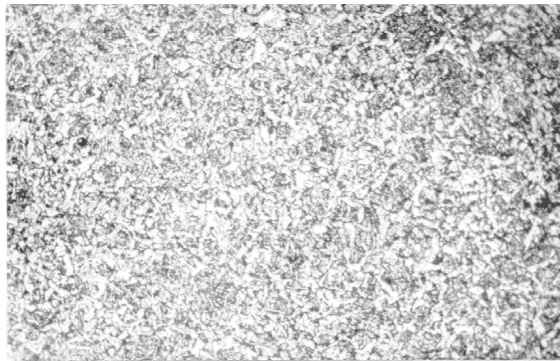


Fig.4.14. Proba A [100:1]

- martensită și bainită superioară, granulație groabă (fig. 4.15.); nu se observă microfisuri.

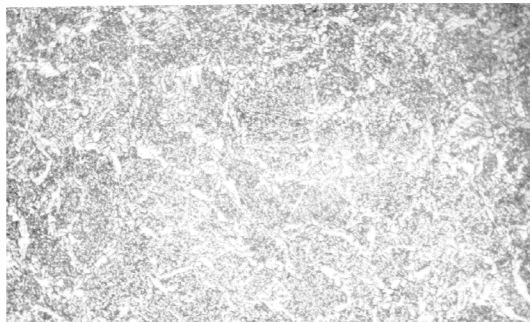


Fig.4.15. Proba E [100:1]

- sorbită fină cu perlită, granulație fină 6 -7ASTM (fig. 4.16); nu se observă microfisuri

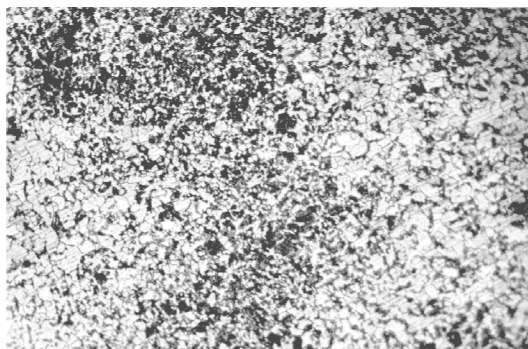


Fig.4.16. Proba F [100:1]

Probele pregătite metalografic pe secțiuni au fost supuse testului de coroziune conf. ASTM D2688-93 prin fierbere într-o soluție apoasă de 10% NaCl cu amestec de SiO₂ (nisip),folosindu-se trei cicluri de 48 ore .

Rezultatele experimentale obținute pe probele supuse încercării la coroziune sunt înserate în tabelul 4.3.

Viteza de coroziune, P_x s-a calculat cu relația :

$$P_x = [H \cdot (W_1 - W_2) / W_1] \cdot x \cdot 1,825 \cdot 10^2 \quad (4.35.)$$

în care :

P_x - este viteza de coroziune în (mm/an)

H - este grosimea inițială a probei în (mm)

W₁- este greutatea inițială a probei în (mg)

W₂- este greutatea finală a probei în (mg)

D - este timpul de expunere a probei în soluția corozivă ,zile

x - este indicele corespunzător duratei de expunere (se scrie transformat în ore)

Tabelul 4.3.

Marcajul probei	Greutatea [gf]				Viteza de coroziune,P[mm/an]		
	inițială W1	W2 (după 48 ore)	W2 (după 96 ore)	W2 (după 144 ore)	P48	P96	P144
0	1	2	3	4	5	6	7
A	28,9260	28,9201	28,9103	28,9031	0,052	0,057	0,051
B	28,8894	28,8819	28,8724	28,8635	0,066	0,074	0,075

C	32,7978	32,7896	32,7817	32,7742	0,068	0,067	0,066
D	32,8614	32,8545	32,8435	32,8360	0,055	0,072	0,068
E	44,9620	44,9510	44,9368	44,9300	0,071	0,082	0,072
F	40,000	39,9808	39,9618	39,9493	0,131	0,130	0,116

La probele A,B,C,D viteza de coroziune variază între :

- 0,052 la 0,068 (mm/an) la un timp de încercare de 48 ore.
- 0,057 la 0,077 (mm/an) la un timp de încercare de 96 ore.
- 0,051 la 0,075 (mm/an) la un timp de încercare de 144 ore.

La probele E,F viteza de coroziune variază între :

- 0,071...0,131 (mm/an) la un timp de încercare de 48 ore.
- 0,082...0,130 (mm/an) la un timp de încercare de 96 ore.
- 0,072...0,116 (mm/an) la un timp de încercare de 144 ore.

Cele mai mari valori ale vitezelor de coroziune se întâlnesc la proba „ F ” cu structuri dure în sudură și în zonele influențate termic ,atestând o rezistență scăzută la coroziune generală a îmbinărilor sudate cu fascicule de electroni supuse unor tratamente termice post-sudare de tip revenire (detensionare termică).

Aspectul microscopic al zonelor caracteristice probei A supusă încercării la coroziune timp de 14 ore este prezentat în figurile 4.17., 4.18. , 4.19 .

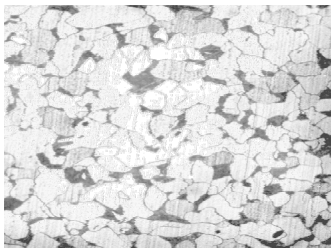


Fig.4.17. Metal de bază [100:1]

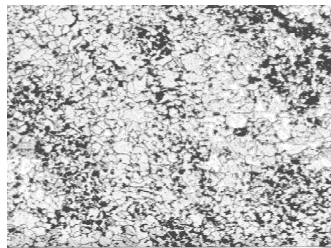


Fig.4.18. Sudura [100:1]

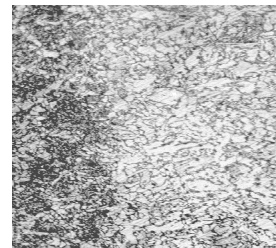


Fig.4.19. Zonă influențată termic [100:1]

Se observă o degradare cu fisuri de coroziune în toate zonele ,mai puternic în sudură și metalul de bază.

Adâncimile de coroziune determinate pe grosimea materialelor de bază au valorile trecute în tabelul 4.4.

Tabelul 4.4.

Marcajul probei	Adâncimea de coroziune [mm]					
	a 48		a96		a144	
	Valoarea minimă	Valoarea maximă	Valoarea minimă	Valoarea maximă	Valoarea minimă	Valoarea maximă
0	1	2	3	4	5	6
A	0,020	0,022	0,023	0,025	0,025	0,026
B	0,018	0,020	0,022	0,024	0,022	0,024
C	0,019	0,021	0,020	0,022	0,021	0,025
D	0,020	0,022	0,021	0,023	0,23	0,025
E	0,022	0,025	0,023	0,028	0,025	0,030
F	0,052	0,062	0,055	0,065	0,060	0,062

Din tabelul 4.4. se observă o creștere ridicată a adâncimii de coroziune la proba F la valori duble față de valorile adâncimii de coroziune a materialelor de bază de la probele A ... E, lucru ce se corelează și cu valorile ridicate ale vitezelor de coroziune determinate la timpii de încercare de 48, 96 și 144 ore.

4.4. Concluzii

- Cercetarea proprie semnaleză tipurile de coroziune la care sunt supuse metalele care compun roata cu cupe în exploatarea excavatoarelor.
- Analiza rezultatelor experimentale efectuate pe probele fizice prelevate din corpul roții cu cupe evidențiază evoluția corozionilor.
- Rezultatele experimentale definesc condițiile de apariție a corozionilor și permit determinarea măsurilor de protecție anticorozivă.
- Literatura de specialitate din domeniu, oferă numeroase lucrări care abordează în majoritatea cazurilor probleme concrete, practice de coroziune a oțelurilor și a îmbinărilor sudate, fără o tratare sistematică a acestora.
- Alegerea corectă a oțelurilor (nealiat, aliat) din care se construiesc componentele utilajelor miniere, trebuie să se bazeze în primul rând pe cunoașterea comportării lor în condițiile de mediu respectiv viteza lor de coroziune în acel mediu.
- Teoria potențialului mixt constituie baza unitară a interpretării electrochimice a corozionii, ea separă relațiile de oxidare și reducere ale corozionii și postulează că vitezele reacțiilor chimice de la suprafața metalului sunt egale.
- Gradul de finisare a suprafeței metalice, nivelul cicurilor termice de la sudare influențează apariția "pittingului" la unele oțeluri nealiat și aliat din construcția utilajelor miniere.
- Diferențele de compoziție chimică și de structură dintre sudură și metalele de bază ce formează îmbinările sudate specifice construcției utilajelor miniere, fac posibilă apariția de cupluri galvanice, iar zonele cu caracter anodic vor fi atacate. Sudura cu caracter anodic poate apărea și din cauza stratului de oxizi cu caracteristici de compactitate, aderența și rezistența chimică diferită față de metalele de baza.
- Vitezele de coroziune determinate pe probe prelevate din îmbinările sudate specifice utilajelor miniere au valori cuprinse între 0,052 mm/an și 0,130 mm/an, ele fiind în concordanță cu structurile zonelor caracteristice și cu adâncimile de coroziune determinate.

CAP.5. EFICIENȚA ECONOMICĂ A SISTEMELOR REPROIECTATE ȘI A PROTECȚIEI ANTICOROZIVE

5.1. Varianta Initială și varianta modernizată – reducerea consumului de materiale și manoperă, mărirea duratei de viață și a siguranței în exploatare

5.1.1. În cazul excavatoarelor de tip ERc 1400 – 30/7 soluția constructivă KRUPP care sunt în număr de 59 bucăți aflate în funcțiune la SNL – Oltenia , SC Complexul Energetic Rovinari și SC Complexul Energetic Turceni , prin verificarea și protecția anticorozivă a cablurilor de ancorare se obține o diminuare a costurilor cu 60 % (reprezintă 328.000 RON / excavator) și o creștere a duratei de viață cu 10 ani .



5.1.2. În cazul excavatoarelor de tip SRs 2000 – 30/7 soluția constructivă TAKRAF care sunt în număr de 4 bucăți aflate în funcțiune la SNL – Oltenia , SC Complexul Energetic Rovinari, prin verificarea și protecția anticorozivă a lașelor de ancorare se obține o diminuare a costurilor cu 55 % (reprezintă 276.850 RON / excavator) și o creștere a duratei de viață cu 10 ani.



5.1.3. Varianta inițială :

Caracteristici tehnice:

Diametrul roții cu cupe măsurat pe cercul de tăiere	11,5 (m)
Numărul cupelor	9
Numărul cuțitelor anterioare	9
Capacitatea nominală a unei cupe	1400 (l)
Viteza de tăiere măsurată pe cercul de tăiere	2,6 (m/s)
	3,08 (m s)
Turația roții cu cupe	4,32 (rot/min)
	5,11 (rot/min)
Numărul de deversări pe minut	39; 46
Greutate corp roată cu cupe	32 100 (kg)

Descriere:

Roata cu cupe este în construcție chesonată rigidizată în interior prin cadre transversale. Roata este alcătuită din trei tronsoane cu deschidere unghiulară de 120° care permit un transport gabaritic. Cele trei tronsoane se îmbină între ele prin sudură de montaj și în interior sunt sudate, tot la montaj, de elementul central.

Un tronson este alcătuit la exterior din două grinzi circulare de tip cheson care cuprind urechile de fixare ale cupelor. Aceste grinzi sunt legate între ele prin intermediul unor traverse și sunt fixate pe o parte de un perete vertical și de peretele înclinat care se închide cu cel de al doilea perete vertical. Pereții verticali sunt rigidizați în interior.

Grinzile circulare sunt prevăzute pe pereții exteriori cu bare de uzură.

Elementul central este alcătuit din doi pereți verticali care se îmbină cu șuruburi de păsuire de cei doi butuci. Butucii sunt fixați prin fretare de arborele roții.

Mișcarea de rotire se transmite de la arbore la roată prin intermediul îmbinării fretate și a șuruburilor păsuite la elementul central al roții.

Partea înclinată a tronsoanelor ce constituie corpul roții este acoperită cu plăci de uzură, deoarece aceasta are rolul de a conduce materialul excavat de la cupe în pâlnia de preluare și pe banda transportoare.

Asamblată, roata fără cupe, are un diametru de 9920 mm peste urechile de prindere a cupelor.

Pe circumferința roții sunt plasate 9 cupe și 9 cuțite anterioare. Cuțitele și cupele sunt fixate pe roată cu bolțuri pe urechile roții.

5.1.4. Varianta modernizată:

Caracteristici tehnice:

Diametrul roții cu cupe măsurat pe cercul de tăiere	11,5 (m)
Numărul cupelor	20
Capacitatea nominală a unei cupe	725 (l)
Viteza de tăiere măsurată pe cercul de tăiere	2,81 (m/s)
Turația roții cu cupe nominală/ redusă	4,68/0,46 (m/s)
Numărul de deversări pe minut	94
Greutate corp roată cu cupe	30 050 (kg)

Descriere:

Corpul roții cu cupe reprezintă o construcție din tablă de forma unui disc circular format din două conuri la care pe circumferință sunt montate cele 20 de cupe tăietoare încărcătoare și care în centru este fixat prin eclise prinse cu șuruburi de arborele roții cu cupe .

Construcția corpului este o construcție elastică de tip membrană formată prin sudarea între ele a două trunchiuri de con cu vârfurile orientate în sens invers și amplasate pe axa arborelui roții cu cupe .

La exterior conul se termină prin îmbinarea cu sudură cu două grinzi inelare de tip cheson legate transversal între ele, pe care prin intermediul unor urechi se montează cupele .

Conul interior se leagă de butucul roții cu o piesă de forma unui disc cu grosime de 100 mm și care se fixează prin prindere cu șuruburi pretensionate de arborele roții.

Grinzile circulare sunt formate din două chesoane circulare amplasate la 1200(mm) unul de altul având tălpile din table de 12 (mm) iar inimile din tablă de 10 (mm) .

Suprafața exterioară a tălpii superioare se află pe un cerc cu raza R= 4950 mm, iar cea a tălpii inferioare pe un cerc cu raza R= 4600 (mm) . Înălțimea chesoanelor circulare cu tălpi cu tot este de 350 (mm) .

Pe inimile interioare ale celor două chesoane, adică la distanța de 1200 (mm) se găsesc amplasate pe circumferință la un unghi de 18⁰ urechile de montare a celor 20 de cupe din table cu grosimea de 32 (mm) .

Între aceste două urechi există intercalat un alt rând de urechi mai mici la 90° față de urechile inițiale care servesc pentru fixarea fundului cupelor.

Raza cercului pe care se fixează cupele prin intermediul bolțurilor de primul șir de urechi este $R = 5070$ (mm).

Chesoanele sunt consolidate interior prin diafragme și sunt legate între ele prin grinzi transversale plasate în dreptul urechilor mai mici ce fixează fundul cupelor.

De aceste grinzi transversale se leagă niște plăcuțe a căror poziție poate fi modificată față de statoarele legate pe partea fixă a construcției elindei, astfel încât cărbunile ce umple spațiul dintre grinzile cheson circulare și grinzile transversale să nu se împrăștie la rotirea roții.

Aceste spații suplimentare care se umplu cu cărbune, pe lângă volumul cupelor, sunt considerate în calculul productivității utilajului și mai sunt cunoscute sub denumirea de buzunare.

Grinzile cheson exterioare sunt legate prin sudură de trunchiul de con exterior după o tehnologie de sudură specială cu preîncălzire. Grosimea tablei acestui trunchi de con este de 18 (mm).

Trunchiul de con exterior este sudat cu trunchiul de con interior prin intermediul unei grinzi forjate în formă de „ λ ”.

Pe trunchiul de con exterior sunt prevăzute plăcuțe de uzură prinse cu șuruburi cu cap înecat și nas și care sunt încărcate pe partea ce vine în contact cu cărbunile cu material de uzură.

Primul strat de plăci de uzură aflate în apropierea grinzilor cheson inelare nu sunt încărcate cu materialul de uzură. Restul plăcilor de pe acest con sunt încărcate cu material de uzură.

Plăcuțele de uzură sunt montate și pe inimile exterioare a celor două chesoane ce formează grinzile inelare, pe care sunt montate cupele.

Conul interior este sudat la exterior cu inelul „ λ ” și spre centru cu butucul roții. Acest con este format din două rânduri de table cu grosimi de 18, respectiv de 20 (mm).

Butucul roții este o piesă de forma unui disc sferic cu grosimea de 100 (mm), un diametru exterior de $\Phi 2060$ (mm) și interior de $\Phi 1200$ (mm).

Butucul roții este fixat de arborele roții prin eclise cu șuruburi pretensionate. Șuruburile de prindere cu arborele au diametru de $\Phi 50$ și cele de prindere cu butucul roții au un diametru de $\Phi 40$ (mm).

Datorită dimensiunilor agabaritice ale roții, chesoanele grinzilor circulare și conul exterior se execută din două părți care se sudează cu restul ansamblului la montaj pe un dispozitiv special realizat de uzina executantă într-un mediu închis și controlat termic după un plan de sudură elaborat de specialiști de la ROMINEX și aprobat de firma KRUPP.

Ordinea de montare care ține seama și de dimensiunile mari ale pieselor care se manipulează este:

- pe elinda sprijinită pe caprele de montaj se montează în locașul său corpul roții cu cupe pe un eșafodaj pregătit din timp și se menține roata în poziție verticală în cârligul macaralei. Corpul roții va avea prins pe fața dinspre lagărul fix eclisa de fixare cu arborele roții cu cupe.
- se introduce arborele roții cu cupe având trasă pe arbore, dar nefixată cealaltă eclisă dinspre lagărul intermediar.
- se prind definitiv șuruburile pretensionate ale ecliselor cu butucul roții și cu arborele folosind un dispozitiv special de pretensionare.
- se închide carcasa superioară a lagărului intermediar și se fixează capătul arborelui în lagărul fix.

- se desface macaraua din cârlig și se scoate eșafodajul de susținere a corpului roții lăsând roata să se sprijine prin intermediul arborelui și lagărelor pe construcția elindei.

Materialul din care se execută corpul roții cu cupe este S 355J2G3

Masa acestui ansamblu mecanic este de 40 817 (kg).

Soluția de modernizare a acționării mecanismului roții cu cupe și a roții cu cupe, a impus realizarea de cupe noi. Corpul cupei se execută prin sudare din tablă de 8 mm și are capacitatea de 725 (litri).

Pentru fixarea pe corpul roții, cupele sunt prevăzute cu 2 urechi prin care se introduc bolțurile de fixare.

Pentru a se proteja urechile de prindere, această îmbinare este prevăzută cu bucșe de uzură executate din oțel aliat cu duritate mare. Aceste bucșe trebuiesc înlocuite când se constată o uzură de cca. 5 (mm/ rază).

Partea din spate cupei este prinsă de corpul roții cu pene speciale și splinturi.

Fiecare cupă este prevăzută cu câte 6 dinți turnați din oțel aliat. Fixarea lor se face prin împănare și se asigură cu un splint. Dinții sparg roca înaintea cuțitelor cupei obținându-se o reducere însemnată a uzurii acesteia.

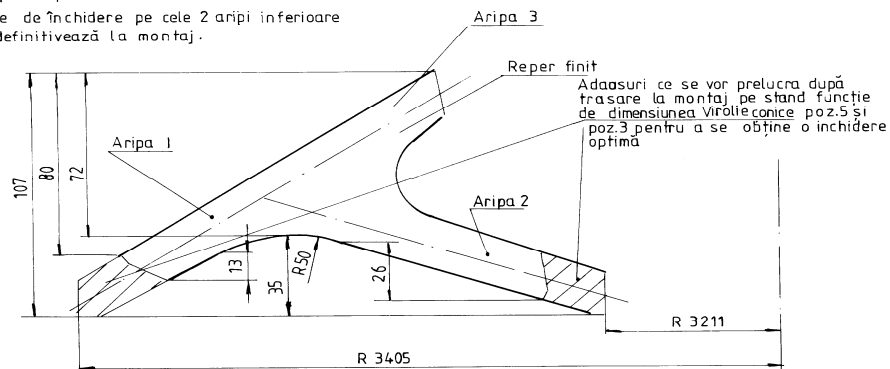
Pentru asigurarea unei tăieri optime dinții sunt plasați asimetric și pentru a mări durata de exploatare atât dinții cât și cupele sunt acoperite cu materiale de uzură.

5.1.5. Inelul λ

Inelul λ este o piesă forjată circulară care face legătura între conul exterior și conul interior. Rolul lui este de a îndepărta cordoanele de sudură pentru a elimina efectul defavorabil al concentratorilor din sudură la îmbinarea conului interior cu cel exterior și a diminua astfel efectul de oboseală ce apare în acest punct al secțiunii transversale a roții. De asemenea, el permite o execuție mai ușoară a sudurilor elementelor roții și este format din 4 segmente . Este prevăzut a se executa din 2 semifabricate forjate din S 355J2G3, roluite și sudate în 4 sectoare egale.

Inel poz.4 prelucrare semifinita

Cotele de închidere pe cele 2 aripi inferioare se definitivează la montaj.



În cadrul produsului " CORPUL ROȚII CU CUPE " profilul " λ " poziția 4 reprezintă elementul de legatura.

5.2 Concluzii

Deviz de cheltuieli	Varianta inițială		Varianta modernizată	
		Valoare în \$		Valoare în \$
Sortiment tablă grosime	10;12;16;40		18;20	
Greutate netă în (kg)	32 100		30 050	
Greutate brută în (kg)	43 335	26 001	33 750	20 250
Forjate: Inel λ ; eclise	-	-	3 050	9 000
Oțel aliat: tablă manganoasă pentru plăci de sudură		8800	-	-
Coeficient de utilizare metal	0,74		0,816	
Materiale de sudură, în (kg)	2 618	13 000	2020	10100
Manoperă		52 000	40 500	
Regie de fabrică		57 000	40 150	
Cheltuieli aprovizionare și transport 15 (%)		28 000	23 000	
TOTAL		184 000	143 000	

Durata de viață : varianta inițială ~ 8 ani

 varianta modernizată ~ 15 ani

Valoarea rotorului modernizat este de ~ 78 (%) din rotorul inițial

Capitolul 6. CONSIDERAȚII FINALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE, PROBLEME DE VIITOR

Elaborarea tezei de doctorat a presupus atât analizarea unui volum de material bibliografic din țară și străinătate cât și antrenarea unor discuții cu specialiștii din domeniul mecanic și tehnologic în ceea ce privește comportarea în exploatare . Pe baza informațiilor acumulate din bibliografia mai sus amintită, din analizele efectuate și din experiența dobândită în cei 25 de ani de activitate în domeniu, am elaborat această teză de doctorat din care sintetizez unele considerații finale:

6.1 Considerații finale

În cadrul sistemului energetic național, exploatarea minereurilor de cărbune ocupă un loc prioritar în vederea asigurării din resurse proprii a necesităților interne într-o proporție cât mai mare.

Prin modernizarea utilajelor grele mobile se urmărește mărirea duratei de viață a acestora, cu efect benefic atât din punct de vedere economic cât și al siguranței și fiabilității în exploatare. Reproiectarea face parte din ansamblul măsurilor care se iau în plan tehnic în cadrul etapei actuale, în care se trece de la dezvoltarea extensivă la cea intensivă a acestora. Aceasta presupune realizarea creșterii producției prin creșterea indicatorilor de utilizare . Reproiectarea are drept scop reducerea consumurilor de materiale și mărirea duratei de viață a acestora. Sunt avute în vedere, de asemenea, elaborarea de metode, tehnologii și protecții anti corozive pentru realizarea unor componente specifice importante (ex: roata cu cupe, lașe , tiranți și cabluri de ancorare) și, nu în ultimul rând, comportarea în exploatare a elementelor portante sau de siguranță.

6.2 Contribuții originale

În ceea ce privește reproiectarea și protecția anticorozivă a unor elemente portante, datorită faptului că acestea sunt elemente care determină durata de viață și siguranța în exploatare a utilajului, s-a elaborat o metodologie de analiză a structurii portante pentru a se putea determina durata de utilizare în siguranță a acestora. Soluțiile constructive alese la urmăresc o corelare a elementelor portante care să ducă la o disipare a eforturilor în structură și la o reducere a eforturilor din zonele solicitate.

La reproiectarea în vederea modernizării, s-au luat în considerare toate îmbunătățirile constructive propuse de către cei ce le au în folosință ca urmare a experienței dobândite în timp, prin exploatarea acestora. De asemenea, la reproiectarea elementelor portante și active, s-au luat în considerare și s-au respectat standardele în vigoare precum și normele de protecția muncii cu privire la proiectarea, execuția și exploatarea .

La alegerea oțelurilor din care se construiesc componentele elementelor portante care se supun Instrucțiunilor Tehnice ISCIR (România) au în vedere, în

special, condițiile de lucru (presiunea și temperatura). Alegerea materialului de adaos are în vedere asigurarea unor caracteristici mecanice de rezistență și deformabilitatea cel puțin egale cu cele ale materialului de bază. Defectele analizate în îmbinările sudate și în materialele de bază permit stabilirea unei clasificări pe baza descrierii fizice folosind criteriile de formă, aspect, distribuție și dimensionare.

Cercetările privind modificările caracteristicilor structurale și mecanice ale materialelor utilizate în timpul exploatării au condus la concluzia că factorii care au preponderență în degradarea și scoaterea acestora din exploatare sunt: îmbătrânirea, oboseala și coroziunea. În ceea ce privește fenomenul de coroziune, acesta poate să apară și să se dezvolte în condiții diferite, funcție de mediul de coroziune și de caracteristicile acestuia. Eforturile sunt îndreptate spre o cât mai bună cunoaștere a transformărilor suferite sub influența factorilor de mediu și spre micșorarea efectului lor distructiv prin mijloace de protecție corespunzătoare. Îmbunătățirea comportării la oboseală s-a făcut prin reproiectarea anumitor detalii constructive.

Literatura de specialitate din domeniul oferă numeroase lucrări care abordează probleme concrete și practice de coroziune a oțelurilor și îmbinărilor și îmbinărilor sudate.

Teoria potențialului mixt constituie baza unitară a interpretării electrochimice a coroziunii, ea separă relațiile de oxidare și reducere și postulează că vitezele reacțiilor chimice de la suprafața metalului sunt egale (oxidare, reducere).

Produsele corect proiectate și construite, minuțios controlate și judicios utilizate nu trebuie să prezinte defectări în funcționare, ceea ce însă practica inginerescă nu exclude.

Expertizarea unui număr de echipamente la care s-au constatat deficiențe de proiectare, de execuție, de exploatare a condus la concluzii menite să îmbunătățească reproiectarea lor. Analiza fiabilistică a structurii complexe urmărește, în principal, stabilirea conlucrării elementelor portante în vederea selectării elementelor critice care condiționează scoaterea utilajelor din funcție.

Metoda degradărilor tolerate, ce are la bază conceptele moderne ale mecanicii ruperii, prezintă o serie întreagă de avantaje față de metodele durabilității garantate prin faptul că ea operează cu parametrii determinați experimental pe materialul în starea existentă la momentul expertizării.

Apariția unor defecte de tip fisuri într-un element portant diminuează considerabil durata de viață în comparație cu numărul de cicluri până la rupere obținut prin încercările la oboseală la care se include și perioada de incubație a fisurii.

Reproiectarea echipamentelor a adus, ca element de noutate, și analiza structurilor portante folosind programele de calculator bazate pe calculul de rezistență prin metoda elementului finit.

Programele de calculator bazate pe metoda elementului finit oferă posibilitatea unei analize detaliate a unor structuri de complexitate mare.

Eliminarea pe cât posibil a structurilor portante închise cu structuri portante deschise pentru :

- Tiranți
- Legătura dintre catarg și rota cu cupe
- Elementele de reacțiune :
 - ✓ Reductoare roată cupe
 - ✓ Reductoare marș

Protecția anticorozivă care în funcție de mediul ambiant (garanția minimă 5 ani a structurii) :

- Pentru atmosferă acidă
- Pentru atmosferă corozivă
- Pentru atmosferă abrazivă

Ancore pentru :

- Braț roată cupe
- Catarg – braț deversare
- Protecție anticorozivă

Uzură la :

- ✓ Liță
- ✓ Toroane

Protecție anticorozivă – în afară de soluția dată de fabricantul cablului .

Exemplu:

Cablurile pot fi livrate de către producător mate. Pentru a rezista mediului ambiant (atmosfera acidă, corozivă, abrazivă), acestea trebuie protejate anticoroziv.

În prezent cablurile sunt protejate anticoroziv cu o soluție, un amestec de solvenți și diferite unsoare (motorină, păcură, seu, vaselină)

Soluția de protecție anticorozivă utilizată de producător este îndepărtată datorită ploilor acide de pe cabluri (pentru braț roată cupe, catarg – braț de deversare), acestea redevenind mate.

Pentru a nu se repeta ciclic aceste fenomene (costuri ridicate de întreținere) se va utiliza un alt procedeu de protecție anticorozivă.

Exemplu :

Vopsirea cu emeil, expoxidic, emailuri pe bază de zinc.

Capetele de cablu trebuie de asemenea protejate (ele sunt cositorite cu zamac, dar protecția anticorozivă este foarte pretențioasă, neputând fi verificată)

Reabilitatea cablurilor existente (motive economice)

Achiziționarea acestor cabluri pentru un excavator de la firma producătoare BRYDON – ROPES reprezintă o valoare de ~ 286000 EUR pentru două ancore de lungime L = 38600 mm, iar prin reabilitarea acestora mecanică și anticorozivă costurile estimate se ridică la valoare de 41200 EUR.

În vederea evaluării obiective a tezei de doctorat, consider necesară prezentarea celor mai semnificative contribuții originale ale lucrării:

- Analizarea unui vast material bibliografic prin prelucrarea și interpretarea informațiilor mi-au permis să completez circuitul informativ din România cu cele mai recente noutăți din domeniul industriei miniere de suprafață în serie, în special, privind utilajele grele mobile.
- Alegerea celor mai noi și moderne metode de investigare a fenomenelor de corozivitate în mediul specific de lucru al utilajelor grele mobile și interpretarea tuturor rezultatelor prin prisma conceptului de funcțiune în mediul real.
- Studiarea celor mai reprezentative elemente portante ale structurilor complexe pentru estimarea cu un grad ridicat de certitudine a comportării lor în exploatare.
- Stabilirea cauzelor unor defectări la utilajele pe baza analizării statisticilor avariilor din Germania, Belgia, Canada, USA, C Australia, etc. (E.M. Berbești, E.M. Tismana, etc.)

6.3 Probleme de viitor:

Se vor elabora norme specifice pe baza metodologiei prezentate privind inspecția, expertizarea, urmărirea în exploatare a acestora.

Pe baza rezultatelor obținute, se vor stabili soluții constructive de remanieră și tehnologii care să permită reducerea consumurilor de materiale și simplificarea tehnologiilor de execuție în vederea prelungirii efective a duratei de viață și creșterea siguranței în exploatare și a prețurilor de cost.

BIBLIOGRAFIE

- 1 Alămoreanu, E. - Calculul structurilor din materiale compozite - Univ. „ Politehnică ”, București, 1993
- 2 Alămoreanu, E., Buzdugan, Gh., Iliescu, N., Minca, I., sandu, M. - Îndrumător de calcul în ingineria mecanică, Editura tehnică București, 1996
- 3 Alămoreanu, E., Chiriță, R. - Bare și plăci din materiale compozite, Ed. Tehnică București , 1997
- 4 Aristrohov, E., N. - Calculul puterii mașinilor de stabilizat pământurile, în stroitelnoeI dorojnoe masinostroenie, nr. 2/1956
- 5 Baneu, T., Dumitru, I., Marșavina, L., Babeu, S., Olariu, M. - Analize și încercări de rezistență pentru evaluarea duratei de viață a utilajelor grele , Ed. Mirton Timișoara, 1999
- 6 Babeu, T. - Teoria elementară a rezistenței materialelor, Ed. Mirton, Timișoara , 1998
- 7 Babeu, T., faur, N., Daș, I.D. - Studiul stării de tensiune din organele active de dislocat acoperiri asfaltice, Buletin AGIR nr. 4/1999
- 8 Baron, T.ș.a - Calitatea și fiabilitate, Ed.tehnică, București, 1998.
- 9 Bazergui, A., Bui-Quoc, T., Biron, A., McIntyre, G., Laberge, C. - Resistance des materiaux, troisieme edition, Presses Internationales Polytechnique, Montreal, 2002
- 10 Babeu, T., **Condescu - Grund M.**, ș.a. - Metodă de detreminare pe calculator a caracterului impulsului de sudare la mașini cu energie înmagazinată în condensator
- 11 **Condescu - Grund M** - Condiții tehnice pentru protecția anticorozivă a utilajelor de carieră - 433
- 12 GhițăGhe., Dumbravă D., TungoD., **Condescu - Grund M** - Organizarea privind atestarea și recepția calitativă a lucrărilor
- 13 GhițăGhe., Dumbravă D., TungoD., **Condescu Grund M** - Tehnologii și utilaje pentru prelucrarea la cald Vol. III, 3-4 03.1988 pag 97 - 102, Brașov 1988
- 14 Belorusov G.S., Saparnii L.N. - O metodă nouă de calcul al rezistenței tăierii rociilor cu cuțit unitar, în „ Gornîie, strotelnîie I dorojnîie masinî, nr. 15/1973
- 15 Berbente C., Zancu S., Mitran S., Pleter O., Tăranu C, - Metode numerice de calcul și aplicații, București, Ed.I.P.B.. 1992
- 16 Blumenfeld M. - Introducere în metoda elementelor finite, Ed. Tehnică, București, 1995
- 17 Blumenfeld M., Ioniț A., Mareș C. - Metoda elementelor finite (Aplicații și programe introductive) Ed. I.P.B. București, 1992

-
- 18** Boicu I. ș.a. - Autostrăzi, Ed. Tehnică București, 1981
- 19** Boresi A.P., Schmidt R.J. - Advance Machanics of Materials, 5th ed., Jhon Wiley, New York, 1993
- 20** Buzdugan Gh., Blumenfeld M., - Calcul de rezistență al pieselor de mașini. Ed. Tehnică, București 1979 pag. 267
- 21** Buzdugan Gh. - Rezistența materialelor, Ed. Academiei, București, 1986
- 22** Căprioru, St., ș.a - Mașini acricole de lucrat solul, semănat și întreținere a culturilor, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1980
- 23** Ciclov, D. - Rezistența și fiabilitatea la solicitări variabil, Ed. Facla Timișoara , 1975
- 24** Ciclov, D. - Mecanica ruperii materialelor, Ed. Academiei, București, 1997
- 25** Ciofoaia, V., Ulea, M. - Teoria elesticității și rezistența materialelor – Reprografia Universității Transilvania din Brașov, 1992
- 26** Constantinescu, I., N., ș. a. - Mecanica mașinilor și instalațiilor miniere și de preparare, vol. I, Ed. Tehnică, 1997
- 27** Constantinescu I. N., MunteanuM.Gh.,Golumbovici D.C. - Calcule de rezistență a structurilor de mașini și utilaje, Ed. Tehnică, București, 1984
- 28** ConstantinescuV.I. - Tehnologii performante și echipamente pentru realizarea structurilor rutiere, Ed. IMPULS, București, 2001
- 29** Curteanu E., Marinov A. - Metoda elementelor finite în proiectarea structurilor, Ed. Facla, Timișoara, 1980
- 30** Dalin A. D., Pavlov V.P. - Mașini rotative pentru lucrări de pământ, Masghiz, 1950
- 31** Daniel Gay - Materiaux Composities Editions Hermes, 1995
- 32** Dincu M. - Îmbrăcămiți rutiere. Investigații și interpretări, Ed. CONSPRESS, București, 2000
- 33** Drăgănescu I. - Repararea îmbrăcămintelor rutiere cu freza GBOBCAT. În „ Drumuri poduri ”, nr.20,1994
- 34** Dorobanțu Șt., ș.a. - Utilajul și tehnologia lucrărilor de căi de comunicații, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1995
- 35** Dumitru I. - Oboseala la șoc a materialelor, Ed. Mirton, Timișoara 1998
- 36** Dumitru I., Faur N. - Elementele de calcul și aplicațiile în rezistența materialelor, Ed. Politehnică, Timișoara 1999
- 37** Faur N. - Elemente finite, Fundamente Ed. Politehnică Timișoara, 2007
- 38** Dumitru I., Faur N. - Rezistența materialelor – Bazele teoretice în oboseala materialelor, mecanica ruperii, composite, metode de analiză

- numerică, Lito. Univ. Politehnica Timișoara, 1997
- 39** Faur N., Dumitru I. - Diferențe finite și elemente finite, Ed. Mirton, Timișoara 1997
- 40** Faur N., Dumitru I. - Metode numerice în rezistența materialelor, Lito. Univ. Politehnica Timișoara, 1997
- 41** Faur N., Stroia M., Neguț N., Daș I.D., - Considerations regarding the stress concentration effect at the splice plates of the chains from the mechanical gearings, XXVI Jupiter Conference, Analysis with finite elements of the stress concentration phenomenon at a curved bar", 5th International Conference on Boundary and Finite Element 25/27 May 2000
- 42** Faur N., Hadju I., Daș I.D. - Tehnologia materialelor de construcții, Ed. CONSPRESS, București, 2003.
- 43** Gaidoș, A. - Tehnologii mecanizate de executare a straturilor rutiere din materiale locale stabilizate mechanic, în "Revista de unelte și echipamente", Anul V, nr.45, mai 2004.
- 44** Gaidoș, A. - Echipamente tehnologice pentru executarea straturilor rutiere din pământuri stabilizate, în "Revista de unelte și echipamente", Anul V, nr.49, septembrie 2004
- 45** Gaidoș, A. - Considerații asupra principalilor parametri ai stabilizatoarelor rutiere, Cectarea științifică în condițiile integrării europene, Ed. AGIR, București, 2004.
- 46** Gaidoș, A. - Tehnologii de executare a straturilor rutiere din materiale locale stabilizate cu lianți minerali, în "Revista de unelte și echipamente", Anul V, nr. 46, iunie 2004.
- 47** Gaidoș, A. - Analiza cu elemente finite. Ed. Tehnică, București, 1990.
- 48** Gârbea, D.-
- 49** Gere, J.M., and Timoshenko, S.P. - Mechanics of Materials, 4th SI Ed., Stanley Thorne Publ. Ltd., 1992.
- 50** Gere, J.M, Timoshenco, S.P. - Mechanics of Materials, Second Edition, Books/Cole Engineering Division Monterey, California, (Fondu Prof.Dr.Ing. Mircea Rațiu-REZMAT).
- 51** Goia, I. - Rezistența materialelor vol.I-II, Ed. Transilvania, 2000. 48. Hearn, E.J., Mechanics of Materials, 3rd ed., Butterworth-Heinemann, Oxford, 2001.
- 52** Heinz Heinrich - Moderne Methoden und Mashinen fur StraBenindstandsetzung, Baumeshinendien st 6/91.

- 53** Helmuth, H - Fräsen von Straßenindstandsetzung, Straßen-und Tiefbau 10/89.
- 54** Hertzberg, R. - Deformation and fracturemechanics of engineering materials, 1994.
- 55** Hubca, G., Iovu, H., Tomescu, M., ș.a. - Materiale compozite, Editura Tehnică, București, 1999.
- 56** Hiitet - Manualul inginerului.Fundamente.Ed. Tehnic, București, 1995
- 57** Iosipescu, N., - Introducere în fotoelasticitate, Editura Tehnică, București, Vol.I, 1958, Vol.II, 1959.
- 58** Ionescu, G., ș.a. - Traductoare pentru automatizări industriale, vol.I Ed.Tehnică, București, 1985
- 59** Ionescu, N., Nicoară, L. - Indrumător pentru laboratoarele de drumuri, Ed.Trefla, București, 1992.
- 60** Jurgen, Kiipper, H. - Effective methods for maintaining and rehabilitatingbituminouspavements.
- 61** Lucaci, Gh., Costescu, I., Bele, FI., Nicoară, L. - Construcțiadrumurilor, Ed.Tehnică, București, 2000.
- 62** Madhukar, V - Mechanics of Materials, Oxford University Press.,2002.
- 63** Mallik, P.K., Newman, S. - Composite Materials Tehnology, Hanser Verlag, 1990.
- 64** Mallik, P.K. - Fibre Reinforced Composite Materials. Manufacturing and Design, Dept. Of Mech. Eng., University of Michigan, Dearborn, Michigan, Marcel Dekker Inc., New York, Basel, Hong Kong, 1993.
- 65** Maniolescu, A. - Teoriile proceselor de lucru ale dislocării pământului și rocilor cu mașinile de geniu, Ed.Academia Tehnică Militară, București, 1996.
- 66** Mihăilescu, Șt., Bratu, P., Zafiu, Gh. P., Vlădeanu, A., Gaidoș, A.,Mihăilescu, S. - Tehnologii și utilaje pentru executarea, întreținerea și reabilitarea suprastructurilor de drumuri, voi. 1, Ed.IMPULS, București, 2005
- 67** Mihăilescu, Șt., Bratu, P., Zafiu, Gh. P., Vlădeanu, A., Gaidoș, A., Mihăilescu, S. - Tehnologii și utilaje pentru executarea, întreținerea și reabilitarea suprastructurilor de drumuri, voi. 2, Ed.IMPULS, București, 2005.
- 68** Mihăilescu, Șt., Peicu, R., Vlădeanu, A., Gaidoș, A., Mihăilescu, S. - Tendințe actuale în domeniul mașinilor folosite în construcția și întreținerea drumurilor, Contract cu MCT, 1994
- 69** Mihăilescu, Șt., Zafiu, Gh.P. - Frezele rutiere din categoria compact, în „Revista de unelte și echipamente”, nr.31/2003.
- 70** Mihăilescu, Șt., Mihăilescu, S. - Frezarea la rece-tehnologie performantă la repararea și reabilitarea îmbrăcăminților de drumuri, Buletin științific, UTCB, nr.2-3, 2000.

- 71** Malița, I. - Tehnologia lucrărilor de drumuri.Ed.Mirton, Timișoara, 2007'.
- 72** Nădășan, St. - Încercări și analize de metale, Ed.Tehnică, 1965.
- 73** Nicoară, L., Munteanu, V.- - Întreținerea și exploatarea drumurilor, Ed.Tehnică, București, 1979.
- 74** Neaguț N., Faur R., Faur N., Daș I.D. - The study of stress state in the active members for dislocating the asphaltic linings, XXVI Jupiter Conference, Beograd, February, 8-11, 2000, p. 2.93-2.98 ISBN: 86-7083-369-7.
- 75** Pană, T. - Aplicații inginerești ale mecanicii ruperii, Ed.Tehnică București.
- 76** Pană, T. - Mecanica ruperii materialelor, București, 1992.
- 77** Popov P. Egor, - Introduction to mechanics of solid Pretince-Hill, Inc., London, 1968.
- 78** Popescu, Al., Teodorescu, A. - Bazele mineritului și mecanica rocilor, Ed.Didactică și Pedagogică, București, 1983.
- 79** Rades, M. - Rezistența materialelor, Editura Printech, București, 2004
- 80** Reddy, I. N. - An introduction to the FINITE ELEMENT METHOD Mc.Grow-Hill, 1993.
- 81** Rusu, O., Teodorescu, M., Lascu, S - Oboseala metalelor, vol.I-II, Ed.Tehnică, București, 1992.
- 82** Rusu, Șt. - Mașini-unelte.Îndrumător de laborator,voi. 1, ICB 1984
- 83** Sauer, L., Ionescu, C - Scule pentru frezare, Ed.Tehnică, București, 1977
- 84** Simions, Dieter - Kaltfräsen, - Handbuch fur Anwendung von2003.
- 85** Ștefanescu, M. - Tehnologii și mașini utilizate la reabilitarea drumurilor, referat de doctorat, UTCB, 2004.
- 86** Ștefanescu, M - Determinarea experimentală a rezistențelor la frezarea straturilor de uzură a drumurilor, referat de doctorat, UTCB, 2004
- 87** Ștefanescu, M. - Studiul theoretic al procesului defrezare a straturilor de uzură a drumurilor, referat de doctorat, UTCB, 2004
- 88** Ștefanescu, M., Negriu, R., Daș, I.D - Determinarea experimentală a rezistențelor la frezarea straturilor de uzură ale drumurilor.
- 89** Ștefanescu, M. - Contribuții asupra optimizării procesului de frezare a straturilor de uzură a drumurilor, teza dedoctorat 2005.
- 90** Tămășanu, D. - Mașini cu organe rotative pentru prelucrarea solului, Ed.Ceres.

- 91** Tripa, P., Faur, N. - Metode teoretice și experimentale pentru determinarea stării de tensiune și deformație, Timișoara, Lito U.T.T., 1994.
- 92** Ulea, M., Purcarea, R., Munteanu, V. - -Statica tehnică.Aplicații - Editura Universității Transilvania din Brașov, 2006, ISBN 978-973-635-772-5.
- 93** Wempner, G - Mechanics of Solids, PWS Publising Company, Boston, 1995
- 94** Zafiu, Gh. P., Gaidoș, A., Idoraș, A - Metode de refacere ale stratului de uzură al îmbrăcăminților asfaltice, Al VI-lea Simpozion Național deUtilaje pentru Construcții, U.T.C.B., București, 1997
- 95** Zafiu, Gh. P., Gaidoș, A., Idoraș, A - Utilaje moderne pentru refacerea stratului de uzură la îmbrăcămințile asfaltice, Al VI-lea Simpozion Național de Utilaje pentru Construcții, U.T.C.B., București, 1997
- 96** Zafiu, Gh. P., Gaidoș, A - Ecologizarea lucrărilor de refacere a îmbrăcăminților asfaltice, Al II-lea Colocviu Național Tehnic interdisciplinar, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, 1995
- 97** Zafiu, Gh. P., Gaidoș, A. - Procesul de lucru al stabilizatoarelor rutiere, în "Revista de unelte și echipamente", Anul V, nr.64, decembrie 2004
- 98** Zafiu, Gh. P. - Freze rutiere.In "Revista de unelte și echipamente", nr.19, martie 2002
- 99** Zafiu, Gh. P. - Frzele rutiere. în "Drumuri poduri", Anul XII, nr.64, martie-aprilie 2002
- 100** *** - Construcția drumuri lor. încercări de laborator,CFDP, EUROHOT, 2000
- 101** *** - Strategia de reabilitare a drumurilor naționale, MLPAT (IPTANA),2001
- 102** *** - Standarde privitoare la lucrările de drumuri. Ordonanța privind regimul juridic al drumurilor, monitorul oficial, nr. 138 bis/1998.
- 103** *** - Norme privind încadrarea în categoria drumurilor de interes, național, monitorul oficial, nr.138 bis/1998
- 104** *** - Norme tehnice privind proiectarea, construirea și modernizarea drumurilor, monitorul oficial, nr.138 bis/1998
- 105** *** - Norme tehnice privind proiectarea și reabilitarea străzilor în localitățile urbane monitorul oficial, nr.138 bis/1998
- 106** *** - Ghid pentru lucrări de frezare, Wirtgen GmbH, 1991
- 107** *** - Pavement rehabilitation with cold milling mashines, (Advice and applications), Wirtgen GmbH, 1990
- 108** ***

-
- | | | |
|------------|-----|---|
| 109 | *** | - Wirtgen Cold Recycling Manual, Wirtgen GmbH, November 1998 |
| 110 | *** | - Rehabilitation of a heavily trafficked road, (Pavement investigation and construction report), Wirtgen GmbH, 1999 |
| 111 | *** | - The truth about remixing asphalt, Better Roads, Wirtgen GmbH, Decembrie 1987. |
| 112 | *** | - Material and Process Procedure, Principles for the Hot Recycling Process, Wirtgen GmbH |
| 113 | *** | - Calculating the working performance of cold milling machines, Wirtgen GmbH. |
| 114 | *** | - Calculating performance of cold milling machines. Broșură editată de firma Wirtgen în 1997. |
| 115 | *** | - Reglementări tehnice privind administrarea, calitatea, execuția și exploatarea domeniului rutier, AND. |
| 116 | *** | - Colecția revistei International Construction, 1990-2004 |
| 117 | *** | - Prospecte ale firmelor: Wirtgen GmbH, CM1 Corporation, Bomag GmbH, Hamm AG, Vielhaben, Caterpillar, Bitelli, Roadtec, Boar Longyear |