

UNIVERSITATEA POLITEHNICA TIMIȘOARA  
FACULTATEA DE MECANICĂ

DOCTORAND  
Ing. TEOFIL GHIRASIM

# TEZA DE DOCTORAT

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC  
PROF.DR.ING.IOAN GH. CĂRȚIȘ  
MEMBRU AL ACADEMIEI  
DE ȘTIINȚE TEHNICE

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA

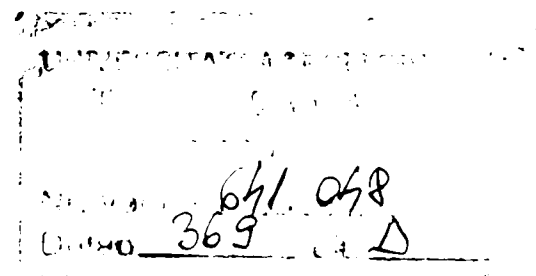
TIMIȘOARA 2003

**UNIVERSITATEA POLITEHNICA TIMISOARA  
FACULTATEA DE MECANICĂ**

**Ing. TEOFIL GHIRASIM**

**TEMA TEZEI DE DOCTORAT**

**CERCETĂRI TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE  
PRIVIND CREȘTEREA FIABILITĂȚII  
RULMENȚILOR PENTRU UTILAJE GRELE**



**CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC  
PROF.DR.ING.IOAN GH. CARTIȘ  
MEMBRU AL ACADEMIEI  
DE ȘTIINȚE TEHNICE**

# CUPRINS

<b>INTRODUCERE</b>		<b>5</b>
<b>CAP.1</b>	<b>CONSIDERAȚII GENERALE</b>	<b>14</b>
1.1	Scopul și oportunitatea temei	
<b>CAP.2</b>	<b>PARTICULARITĂȚI FUNCȚIONALE ȘI CONSTRUCTIVE ALE RULMENȚILOR PENTRU UTILAJE GRELE</b>	<b>18</b>
2.1	Domenii de utilizare a rulmenților pentru utilaje și particularități funcționale	
2.2	Dimensiuni. Probleme de montaj, marcare, ungere și exploatare	
2.3	Tipodimensiuni și soluții constructive	
2.4	Măsurarea progresului uzurii	
2.5	Controlul calității rulmenților grei	
2.6	Concluzii	<b>66</b>
<b>CAP.3</b>	<b>ASPECTE TEORETICE LEGATE DE STAREA DE SOLICITARE A RULMENȚILOR DE DIMENSIUNI MARI</b>	<b>67</b>
3.1	Aprecierea eforturilor din rulment	
3.2	Unele considerații privind dimensionarea rulmenților grei	
3.3	Aprecieri asupra durabilității rulmenților grei	
3.4	Cercetări experimentale privind comportarea în exploatare a rulmenților grei și cauzele ce determină deteriorarea acestora	
3.5	Concluzii	<b>122</b>
<b>CAP.4</b>	<b>CERCETĂRI PRIVIND TEHNOLOGIA DE ELABORARE A OȚELURILOR PENTRU RULMENȚI</b>	<b>123</b>
4.1	Alegerea oțelurilor pentru rulmenți	
4.2	Procedee moderne de fabricație a oțelurilor de rulmenți	
4.3	Oțeluri de rulmenți indigene, norme interne	
4.4	Oțeluri de rulmenți străine, norme internaționale	
4.5	Concluzii	<b>173</b>

<b>CAP.5</b>	<b>CERCETĂRI PRIVIND TEHNOLOGIA DE FABRICAȚIE A RULMENȚILOR GREI</b>	<b>174</b>
5.1	Deformarea plastică	
5.2	Prelucrarea inelelor de rulmenți, a bilelor și a coliviilor	
5.3	Tratament termic	
5.4	Concluzii	200
<b>CAP.6</b>	<b>CONTRIBUȚII PRIVIND TEHNOLOGIA DE MONTARE ȘI DEMONTARE A RULMENȚILOR PENTRU UTILAJE GRELE , DISPOZITIVE ȘI INSTALAȚII</b>	<b>201</b>
6.1	Considerații generale privind tehnologia de montare și demontare a rulmenților grei	
6.2	Considerații generale privind tehnologia de cântărire – echilibrare a utilajelor	
6.3	Analiza solicitărilor din rulmenții grei folosiți la utilajele de tip excavator cu rotor	
6.4	Concluzii	239
<b>CAP.7</b>	<b>STUDIUL TEHNOLOGIC ȘI TEHNICO-ECONOMIC PRIVIND OPORTUNITATEA ÎNLOCUIRII RULMENȚILOR UZAȚI DE PE EXCAVATOARELE CU ROTOR</b>	<b>240</b>
7.1	Tehnologia de verificare și recondiționare a rulmenților grei	
7.2	Calculul tehnico – economic al înlocuirii unui rulment nou.	
7.3	Calculul tehnico-economic pentru recondiționarea rulmentului	
7.4	Concluzii	259
<b>CAP.8</b>	<b>CONSIDERAȚII FINALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE, PROBLEME DE VIITOR</b>	<b>260</b>
8.1	Considerații finale	
8.2	Contribuții originale	
8.3	Probleme de viitor	264
	<b>REFERINȚE BIBLIOGRAFICE</b>	<b>265-269</b>
	<b>ANEXE</b>	

## INTRODUCERE

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

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 exploatării subterane a substanțelor minerale utile.

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

Grupa de utilaje grele pentru exploatarea și manipularea cărbunelui 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 utilizarea extensivă la cea intensivă care duce la creșterea producției nu numai prin investiții dar mai ales prin creșterea indicatorilor de utilizare ai instalațiilor și utilajelor. 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 planificate.

În țară la noi se constată în prezent , o reducere a programelor de investiții din industria minieră și o direcționare într-o mică măsură a fondurilor spre achiziționarea de noi utilaje fabricate în țară. Această evoluție puternic descendentă a fondurilor de investiții de la buget, mai ales după 1996, s-a datorat atât recesiunii economice cât și blocajului financiar și a gradului redus de promovare a exporturilor.

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

**Tabelul 1**

Specific	UM	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996-2001
Valoare absolută	miliarde lei	13,6	10,8	7,5	12,0	56,1	120	200	500
Valoare comparată	miliarde lei	13,6	3,6	0,8	0,7	1,7	1,2	1,9	4,8
	%	100	3	9	17	33	100	105	104

În acest context economic datorită prețurilor materialelor, a componentelor mecanice și electrice și a cotei de importuri, valoarea reală a utilajelor destinate manipulării și excavării cărbunelui la suprafață este foarte mare (aprox. 550 m.đ. lei/buc. excavator ) ceea ce duce la limitarea posibilităților de achiziționare de către potențialii 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
- 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 la temperaturi foarte scăzute ( -20°C)
- asimilarea de transportoare cu debite mărite și transportoare cu debite variabile
- prevederea utilajelor cu microprocesoare și calculatoare

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 [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
- mecanism de rotire suprastructura (cu rulmenți de sprijin și rotire noi sau reparați)
- 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, localizate la mecanismele de antrenare.

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 și diverse ansamble mecanice ( restul componentelor simple mecanice și electrice se pot înlocui ) este imperios necesar să se elaboreze o metodologie de analiză a structurilor portante și a ansamblelor mecanice reale în vederea determinării duratei de utilizare în siguranță al acestora. Asupra utilajelor acționează în timp o serie de factori (suprasarcini, șocuri, oboseala, coroziunea etc.) care împreună duc la degradarea structurilor metalice portante, inclusiv a rulmenților grei ( Ø 5000 și Ø 8650 ) din componență.

Temperaturile negative, reprezintă unul din factorii care contribuie la fragilizarea oțelurilor și cum majoritatea utilajelor de manipulare și excavare a cărbunelui lucrează la suprafață la temperaturi negative este necesar a fi făcute

cercetări asupra materialelor și sudurilor din structurile metalice portante și din componentele rulmenților grei.

Problema ruperilor fragile în construcțiile metalice sudate portante a început să fie cercetată cu atenție numai după apariția unor accidente tehnice grave, când utilaje mari complexe s-au strivit sub propria greutate, inelele rulmenților de sprijin și rotire cedând definitiv.

Din analiza acestor accidente și avarii a rezultat că în cazul construcțiilor sudate complexe, 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 necesară o verificare a structurilor din oțel pentru determinarea stării reale a materialului.

Cei alți factori care acționează în timp asupra utilajelor și care duc la degradarea structurilor metalice portante și a rulmenților grei din componența lor sunt fenomenele de coroziune 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-chimice 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 40% din cantitatea de metal consumată anual pentru întreținere și reparații în industria chimică și 35% în industria metalurgică sunt destinate înlocuirii metalului corodat. 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.

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.

Dintre elementele constructive cu un rol cinematic important, (sprijin, rotire și echilibru general al construcției portante) din structura utilajelor grele se remarcă rulmenții grei de sprijin și rotire.

**Lagăre de sprijin și rotire.** Prin lagăre de sprijin și rotire se înțeleg rulmenții de dimensiuni mari, supuși unor sarcini considerabile și unor oscilații unghiulare alterante. Lagărele de sprijin și rotire sunt destinate sprijinirii unor suprastructuri rotitoare grele, de diametre mari, având axe verticale. Caracteristic pentru aceste construcții este faptul că, un singur lagăr de sprijin și rotire preia sarcini axiale foarte ridicate, sarcini radiale, precum și momentele de răsturnare ce intervin în timpul funcționării. Construcția lagărelor este în așa fel concepută încât ansamblul, în totalitatea lui, să se poată dispensa de o conducere suplimentară radială.

Lagărele de sprijin și rotire, având destinații bine definite, au construcții ce diferă apreciabil de cele ale rulmenților normali.

În cele ce urmează vor fi analizate tipurile cele mai caracteristice ale lagărelor de sprijin și rotire.

### 1. Lagăre cu bile cu căi de rulare din sârmă.

La aceste lagăre (fig.1) căile de rulare sunt formate din 4 inele de sârmă care sunt introduse în inelele de sprijin, respectiv în corpul ansamblului utilajului. Pentru realizarea suprafețelor de rulare, sârmele sunt supuse unui rodaj sub presiune, obținându-se astfel pe căile de rulare, prin deformarea plastică, suprafețe având aceeași curbă cu cea a bilelor.

Acest tip de lagăr funcționează în bune condiții în cazul unor turații mici sau în cazul unor mișcări oscilatorii.

Capacitatea de încărcare depinde de materialul sârmelor care formează calea de rulare și este destul de ridicată datorită contactului bilelor cu toate cele patru căi de rulare precum și al contactului bun al bilelor cu căile de rulare ca urmare a curburilor aproape identice obținute prin rodaj.

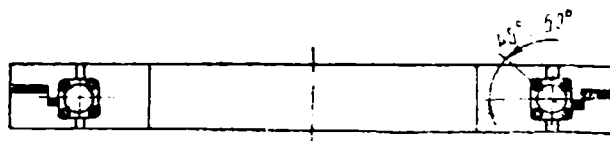


Fig. 1

Datorită contactului în 4 puncte, uzura este destul de mare. Acest tip de lagăr are însă avantajul unei relativ simple înlocuiri a sârmelor uzate care formează căile de rulare.

Piese de sprijin neinfluențând direct capacitatea lagărului, pot fi executate dintr-un oțel netratat termic, din fontă, din aliaje de aluminiu etc., ceea ce este un avantaj economic important al acestui lagăr. În afara lagărului prezentat în fig.1, care reprezintă un tip de lagăr axial-radial cu un unghi de contact de  $45^\circ \dots 60^\circ$ , se pot construi, pe baza aceluiași principiu, lagăre radiale sau radial-axiale, cu unul sau mai multe rânduri de bile sau chiar cu role în loc de bile.



## 2. Lagăre de sprijiri și rotire cu bile cu patru puncte de contact.

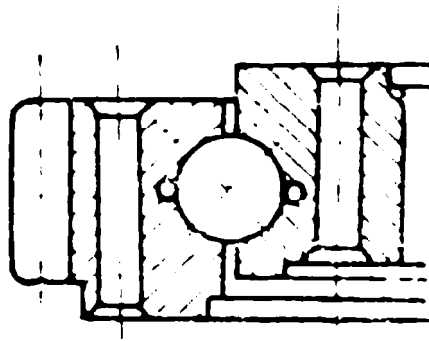


Fig. 2 a

În fig. 2 a și b este arătat un astfel de lagăr. Contactul în patru puncte se realizează prin executarea căilor de rulare cu două raze identice însă din centre diferite.

Contactul dintre bile și căile de rulare depinde de rezultanta forțelor care acționează asupra lagărului: la o sarcină exclusiv radială contactul se face pe toate cele 4 căi de rulare, cu o încărcare egală, iar la o sarcină exclusiv axială contactul are loc numai pe două căi (una pe inelul interior și alta pe cel exterior).

Poziția limită a forței rezultante de la care contactul începe să se facă pe toate cele patru căi de rulare, depinde de construcția rulmentului și anume de unghiul de contact.

Contactul în patru puncte dă naștere unor frecări și uzuri importante. Ca urmare, acest tip de lagăr este folosit în special la utilajele unde predomină forța axială și (sau) momentele de răsturnare.



Lagărele se livrează :

- fără angrenare
- cu angrenare exterioară
- cu angrenare interioară

Domenii de utilizare :

- construcția de mașini

Fig.2.b

## 3. Lagăre de sprijin și rotire cu două rânduri de bile

Aceste lagăre (fig.3a, b și c) prevăzute de obicei cu dantură, pot fi executate în două variante:

- cu inelul interior mai lat (fig.3 a), care, prin poziția căilor de rulare, corespunde situației a doi rulmeriți radial-axiali cu bile, alăturați prin fețele de reazem ale

inelelor interioare cu inelul exterior mai lat (fig. 3 b) care, prin poziția căilor de rulare, corespund situației a doi rulmenți radial-axiali cu bile, alăturate prin fețele de reazem ale inelelor exterioare.

Inelele late sunt executate din două piese pentru a permite montarea bilelor și coliviei.

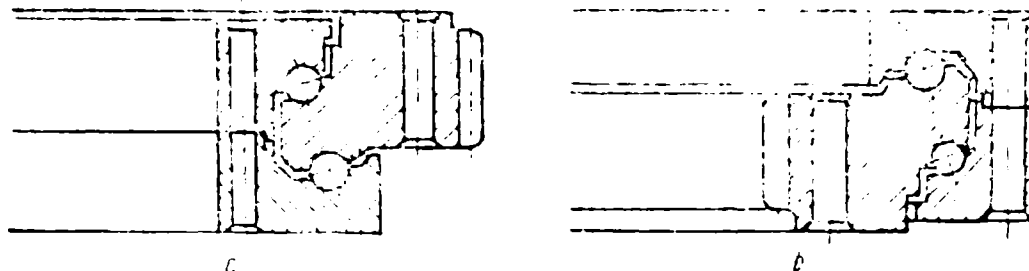


Fig. 3



Lagărele se livrează :

- fără angrenare
- cu angrenare exterioară
- cu angrenare interioară

Domenii de utilizare :

- tehnică de ridicare, excvare, exploatare și depozitare

Fig. 3c

Forma constructivă, dimensională care să corespundă rolului funcțional, trebuie să îndeplinească anumite criterii și condiții tehnice:

- Alegerea construcției este determinată de forma utilajului și de inelul, care trebuie prevăzut cu danturi, în cazul când aceasta se taie chiar pe inelul lagărului. De regulă, dantura este tăiată din inelul îngust.
- Prin modificarea unghiului de contact se poate influența în mare măsură asupra capacității de încărcare radială și axială a lagărului. O valoare mai mare a unghiului

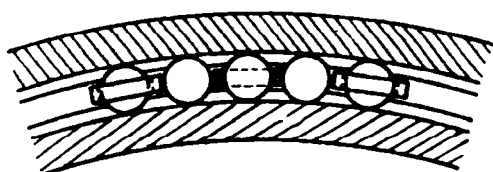


Fig. 4

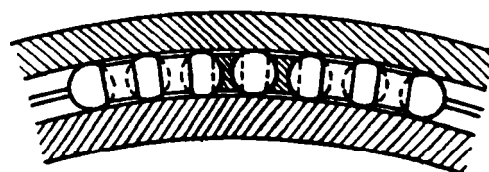


Fig. 5

de contact permite, ca de altfel pentru toate tipurile de lagăre de acest fel, să se mărească nu numai capacitatea de încărcare axială ci și capacitatea de a prelua momente de răsturnare.

- Lagărele de sprijin și rotire supuse unor încărcări foarte mari și unor oscilații mici și rare sunt executate fără elemente de despărțire între bile pentru a permite mărirea numărului lor și a contribui astfel la creșterea capacității de încărcare. Dezavantajul acestei construcții este faptul că între bile se produc frecări, ceea ce poate provoca deteriorarea suprafeței lor, mai cu seamă atunci când lubrifianțul folosit nu este cel mai indicat scopului. Dacă încărcarea pe lagăr nu impune soluția de mai sus, bilele se despart între ele în mai multe feluri. Astfel se poate introduce între 2 bile portante câte o bilă de despărțire cu un diametru ceva mai mic. Funcțional acest lagăr se comportă mai bine însă capacitatea lui de încărcare scade la jumătate. În vederea măririi capacității de încărcare s-au introdus inele de despărțire (fig.4 ), ocupând astfel 80% din calea de rulare cu bile și măbind capacitatea de încărcare cu cca 60% față de cazul folosirii bilelor de despărțire; frecarea în cazul acesta devine însă ceva mai mare. În afară de inelele de despărțire se mai folosesc în prezent diferite soluții din care se menționează piesele de despărțire metalice, sau chiar piese din materiale plastice, toate având forma sferică (fig.5 ) în partea care vine în contact cu bilele. Pentru ca lanțul de dimensiuni dintre bile și piesele despărțitoare să fie închis corect, câteva piese despărțitoare se execută cu dimensiuni diferite, servind astfel drept compensatoare ale lanțului de dimensiuni.

#### 4. Lagăre de sprijin și rotire cu role încrucișate și desfăcute

Aceste lagăre, de dimensiuni mari, pot suporta sarcini foarte mari combinate (axiale radiale) precum și momente de răsturnare (fig. 6).. Fiecare inel are două căi de rulare dispuse în V.

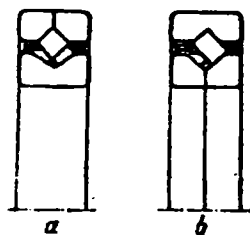


Fig.6

- Rolele sunt așezate în lagăr cu axele încrucișate alternativ (fig 7a și b.). Între role se pot prevedea piese de distanțare.
- Construcția lagărelor cu role încrucișate poate fi realizată în două variante: cu inelul exterior din două piese și inelul interior dintr-o singură

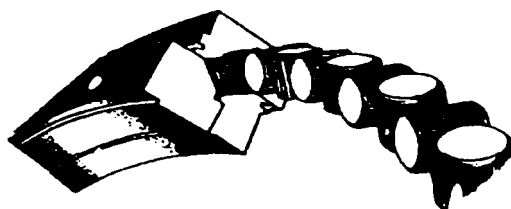


Fig. 7a

bucată (fig.6.a) sau inelul interior din două piese și inelul exterior dintr-o singură bucată (fig.6.b).



Lagărele se livrează :

- fără angrenare
- cu angrenare exterioară
- cu angrenare interioară

Domenii de utilizare :

- tehnica de exploatare și depozitare

Fig. 7b

### 5. Lagăre de sprijin și rotire pe trei rânduri

Aceste soluții constructive reprezintă ultimele realizări din punct de vedere tehnic și echipează utilajele grele care sunt supuse la solicitări axiale și radiale mari precum și la momente de rotire și răsturnare mari. Gama completă a soluțiilor constructive realizate pe plan mondial se prezintă în fig.8 .



Lagărele se livrează :

- fără angrenare
- cu angrenare exterioară
- cu angrenare interioară

Domenii de utilizare :

- tehnica de ridicare, excavare, exploatare și depozitare
- tehnica navală
- construcția de mașini

Fig. 8

Teza de doctorat este structurată pe 8 capitole, cuprinde 269 pagini, 111 figuri și fotografii, 57 tabele, 27 pagini anexe și o listă bibliografică cu 91 de 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 în cadrul S.C. UPETROM S.A. Ploiești și S.C. ROMINEX S.A. Timișoara, a vizitelor de documentare la firmele germane KRUPP - FORDERTEHNIC Essen; MAN TAKRAF - Lauchhammer și HOESCH ROTHE ERDE Dortmund.

Pe această cale ,adrez cele mai sincere mulțumiri conducătorului științific, Dl. prof. dr. ing. Ioan Carțiș pentru solicitudinea și îndrumarea de înaltă competență ,pentru sprijinul efectiv acordat pe parcursul elaborării tezei.

Mulțumesc colegilor din cadrul S.C. ROMINEX S.A. din Timișoara care m-au sprijinit și m-au încurajat în realizarea tezei de doctorat.

De asemenea ,îmi exprim cele mai calde mulțumiri colaboratorilor de la C.N.L.O. Tg. Jiu, ISIM Timișoara, Universitatea Politehnică Timișoara pentru ajutorul continu și dezinteresat de-a lungul multor ani de colaborare.

## Cap.1 CONSIDERAȚII GENERALE

### 1.1. Scopul și oportunitatea temei.

Lucrarea urmărește elaborarea unei metodologii de analiză a stării mecanismelor de rotire și sprijin ale utilajelor grele mobile destinate manipulării diferitelor materiale și excavării cărbunelui la suprafață în condiții de siguranță până la temperaturi de  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Scopul tezei este proiectarea unei tehnologii moderne pentru demontarea, expertizarea, repararea, fabricarea și montarea rulmenților grei cu diametre de rulare mai mari de 5000 mm, inclusiv a dispozitivelor și sculelor aferente.

Lucrarea este necesară și pentru faptul că până în acest moment în țară nu există o metodologie performantă de utilizare 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 teme.

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

Marea majoritate a utilajelor aflate la ora actuală în dotarea bazinelor carbonifere a termocentralelor au deja durata normată 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 normată 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  $-20^{\circ}\text{C}$ ).

Tema tezei de doctorat are ca obiective principale :

- Comportarea în exploatare a ansamblelor mecanice – rulmenți grei de sprijin și rotire a elementelor portante din structura U.G.
- Materiale și tehnologii de reabilitare și / sau recondiționare a rulmenților de sprijin și rotire din structura U.G.
- Reproiectarea unor componente ale utilajelor grele mobile U.G. în vederea măririi fiabilității și a duratei de viață în exploatare.
- Cercetări privind tehnologia de fabricație a rulmenților grei și elaborarea normelor de montaj pentru rulmenții cu diametru mai mare de 8000 mm.

## 1.2. Principalele elemente portante din structura unor utilaje grele

Utilajele mobile grele, în general au structura lor de rezistență formată din elemente portante executate prin sudură și dimensionate la eforturi mari.

Partea inferioară ( infrastructura ) aferentă mecanismului de deplasare este legată de partea superioară ( suprastructura ) care efectuează mișcarea de rotație și de pivotare printr-un ansamblu mecanic compus din : rulment de sprijin și rotire, coroană dintată și mecanism de antrenare, cu rol cinematic și de sprijin în vederea asigurării echilibrului general al utilajului în funcționare.

În cadrul unei expertizări ,o pondere importantă o are verificarea stării reale ale structurilor metalice portante și ansamblelor mecanice 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 grele care pot fi clasificate după diferite criterii. În cadrul tezei sunt prezentate utilajele clasificate după domeniul de utilizare 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.

### 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. Până în prezent s-au executat la noi în țară 99 excavatoare cu rotor și 49 mașini de haldat.

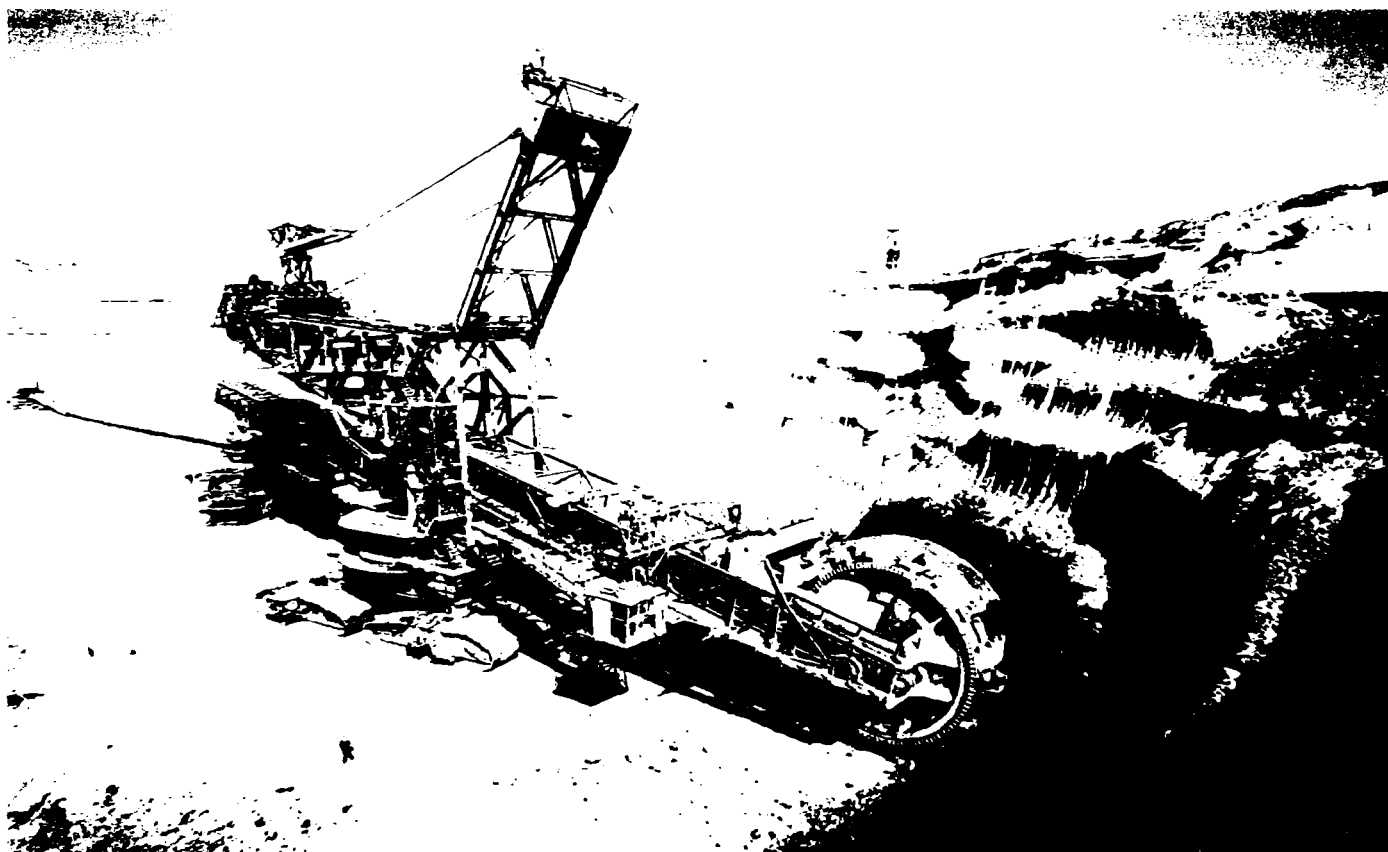
Dintre excavatoarele cu rotor 16 sunt provenite din import ,iar restul de 83 sunt de fabricație indigenă.

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 ESR<sub>c</sub> 470 de producție românească este asimilat după modelul de referință SR<sub>s</sub> 470 realizat în fostul RDG și face parte din categoria excavatoarelor mijlocii utilizate în exploatările miniere de suprafață.

Excavatorul ESR<sub>c</sub> -1300 și excavatorul ESR<sub>c</sub> -2000 în număr de 8 și respectiv 4 buc. au fost importate de la firma TAKRAF – Germania. Două din cele de tipul ESR<sub>c</sub> 2000 sunt cuprinse în procesul de modernizare și reabilitare tehnică în perioada 2003 – 2004.



**FOTO1.1 EXCAVATOR – VEDERE GENERALĂ**





Foto 1.2 MAȘINĂ DE HALDAT CU BRAȚ DE 170 M

369A

641.048

Universitatea Tehnică  
BUCUREȘTI  
FACULTATEA DE INGINERIE  
Mecanică

## CAP.2 PARTICULARITĂȚI FUNCȚIONALE ȘI CONSTRUCTIVE ALE RULMENȚILOR PENTRU UTILAJELE GRELE MOBILE

### 2.1 DOMENII DE UTILIZARE A RULMENȚILOR PENTRU UTILAJE GRELE ȘI PARTICULARITĂȚI FUNCȚIONALE

#### 2.1.1 Domenii de utilizare a rulmenților grei

Rulmenții ca organe de mașini complexe, ca și lagărele de rostogolire, sunt utilizate la rezemarea pieselor care execută mișcări de rotație sau de oscilație la diverse piese de tip arbore, roți și coroane dințate, role de cabluri, mese sau suporturi rotative din componența utilajelor grele.

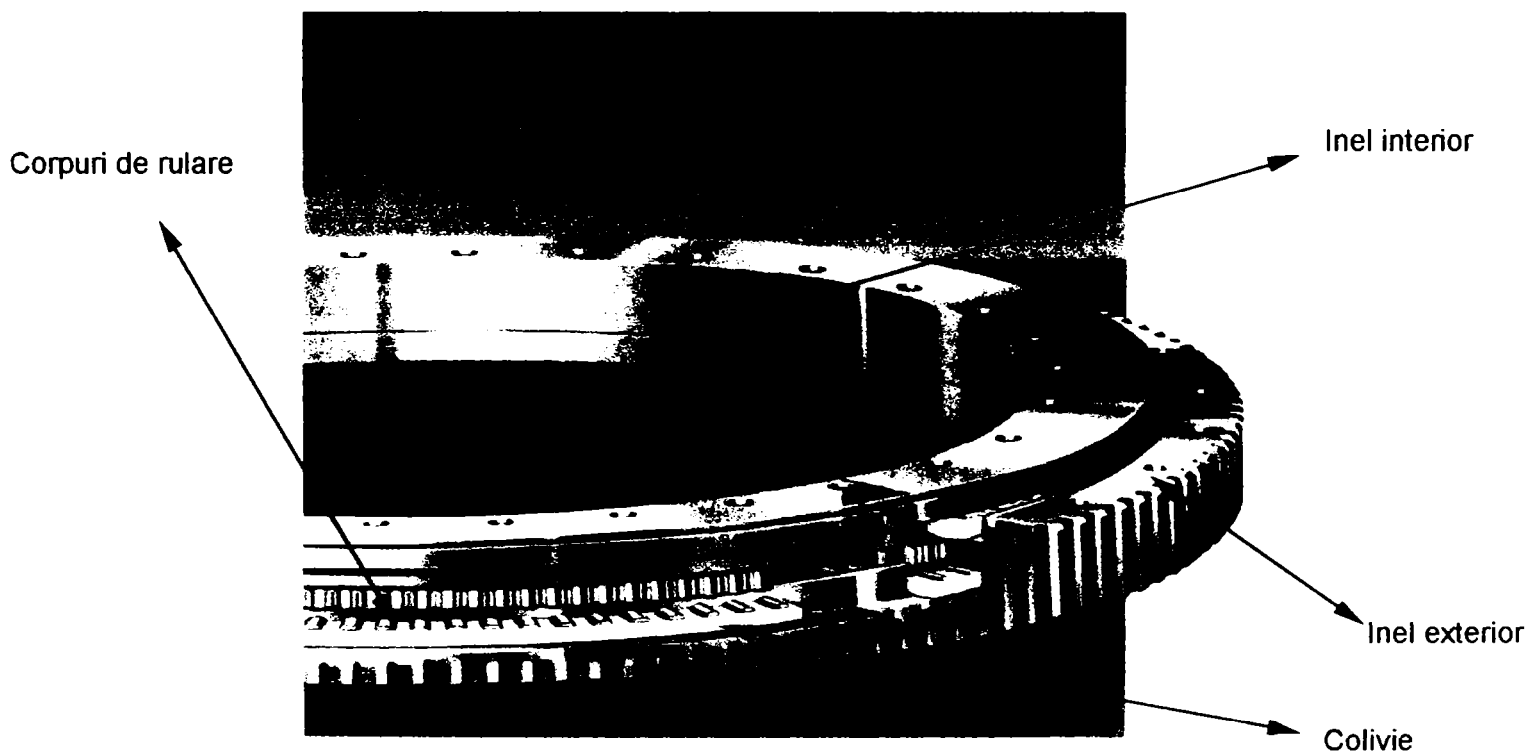


Fig.2.1 Elementele componente ale unui rulment greu

În general în compunerea lor se găsesc următoarele elemente ca: inelul interior și exterior, corpurile de rulare și colivia, organe de asamblare și materiale de etanșare. Pe aceste inele sunt practicate căile de rulare, de-a lungul cărora are loc deplasarea corpurilor de rulare (ce execută o mișcare de rostogolire).

În prezent căile de rulare ale rulmenților grei se execută prin forjare liberă sau forjare gravitațională și funcție de dimensiuni sunt dintr-o bucată sau din segmenti. Condiționat de posibilitatea practică de transport execuția dintr-o singură bucată este limitată la maxim  $\varnothing 8\text{m}$ . Numărul de segmenti este impus de mărimea diametrului exterior al rulmentului și pot fi în număr de până la 10 segmenti. Cel mai mare rulment executat în această soluție are diametrul exterior de 22,5m și echipează cel mai mare excavator cu rotor din lume (cariera Hambach – Germania).

Diametrul bilelor ce echipează asemenea rulmenți este de  $100 \div 320$ mm.

Ca și avantaje față de lagărele de alunecare se pot aminti gabaritul axial mai redus, precizia de rotire mai ridicată, soluții constructive mai simple la sarcini combinate, ungerea mai simplă cu durata de viață mai lungă.

Ca și dezavantaje sunt gabaritul radial mai mare, sensibilitatea sporită la șocuri (prin micșorarea rapidă a durabilității) și sensibilitatea la uzură abrazivă. Rolul funcțional de îndeplinit, cât și toate aceste avantaje și dezavantaje pe de o parte, cât și sarcinile, ce impun materiale corespunzătoare, pe de altă parte conduc la precizarea și delimitarea domeniilor de utilizare a rulmenților în general și în special a celor grei.

Utilajele grele, în funcționarea cărora se găsesc ansamble și subansamble ce execută mișcări de pivotare constituie aplicații specifice ale rulmenților grei. Gama unor astfel de utilaje este foarte largă, cuprinzând spre exemplu de la mașini de excavare, de transportare și manipulare în flux continuu sau întrerupt din industria minieră până la mașini unelte și dispozitive din industria siderurgică sau constructoare de mașini și utilaje. Trebuie subliniat că realizarea unor asemenea utilaje poate fi făcută prin alegerea de soluții constructive diferite, unele dintre ele prevăzând utilizarea rulmenților grei în construcție simplă sau specială. Spre exemplu o mișcare relativă de pivotare a două subansamble agabaritice parte a unui utilaj greu de excavare poate fi realizată fie prin descărcarea părții superioare pe o cale de rulare de tip șină circulară prin intermediul unor balansieri cu roți amortizați hidraulic, fie prin utilizarea unui rulment greu cu bile pe unu sau două rânduri.

Funcție de gabarit, de mărimile și direcțiile de acționare ale sarcinilor, de condițiile de montaj și de lucru, soluțiile constructive de proiectare și alegere diferă de la caz la caz.:

Astfel în continuare sunt prezentate câteva domenii de utilizare a rulmenților grei:

- transporturi terestre : la autobuze, tramvaie articulate, trenuri ;
- construcții : la macaralele pivotante, la excavatoare și buldozere
- exploatările petroliere : la platformele de foraj maritim și macarale portuare
- producția de energie
- aviație și tehnică de zbor
- antene și instalații de radar
- telescoape
- mașini de făcut tunele
- mașini de împachetat și de umplere
- tehnica de prelucrare a apei
- exploatări miniere la utilajele de tip excavator cu rotor și instalații de haldat;

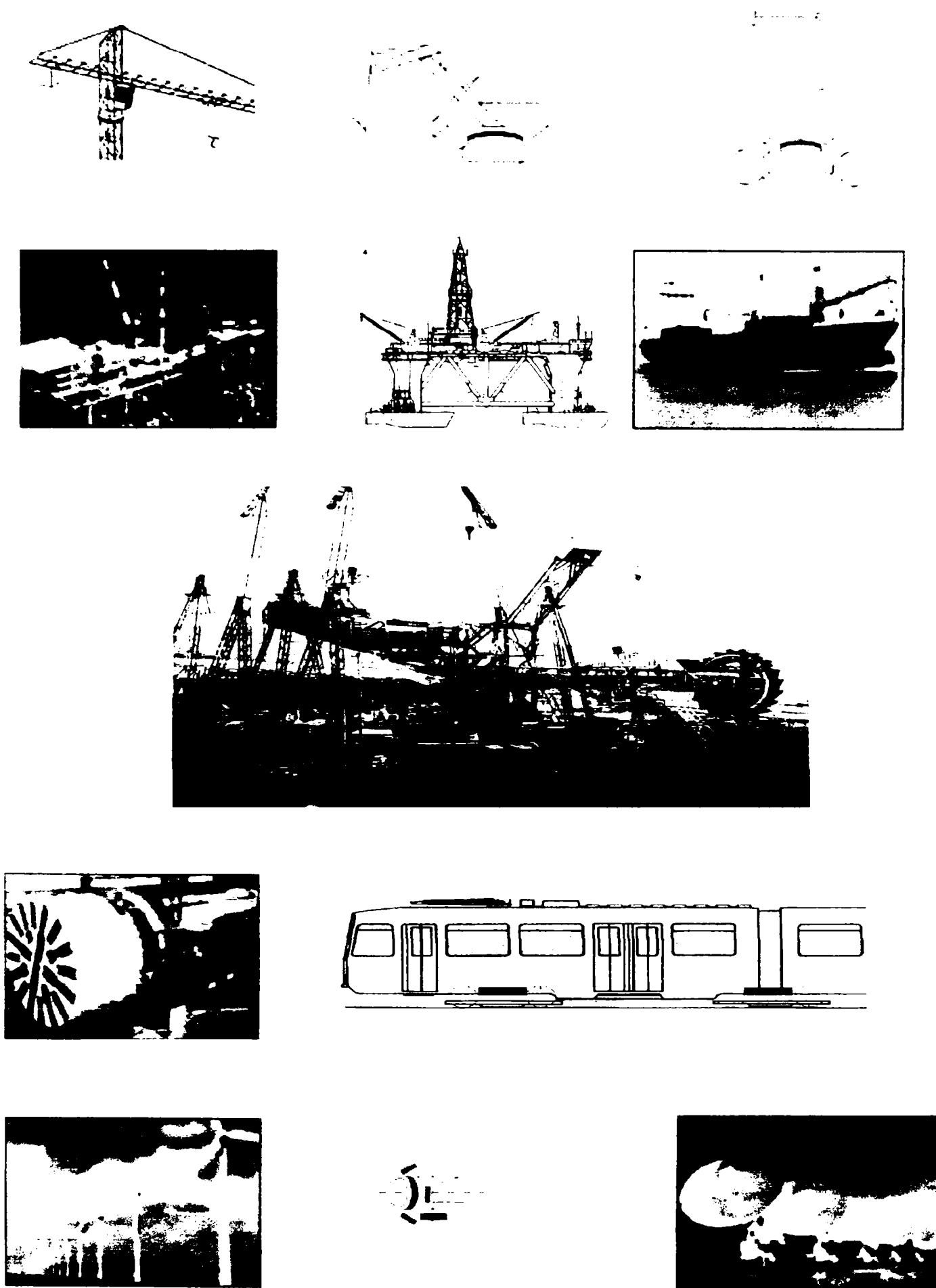


Fig. 2.2 Domenii de utilizare a rulmenților grei

### 2.1.2 Caracteristicile tehnice de evaluare ale rulmenților grei :

Analiza condițiilor de funcționare pentru rulmenții de sprijin și rotire folosiți la utilaje grele mobile (figura 2.3 ) impune respectarea următoarelor cerințe referitoare la caracteristicile tehnice ale rulmenților:

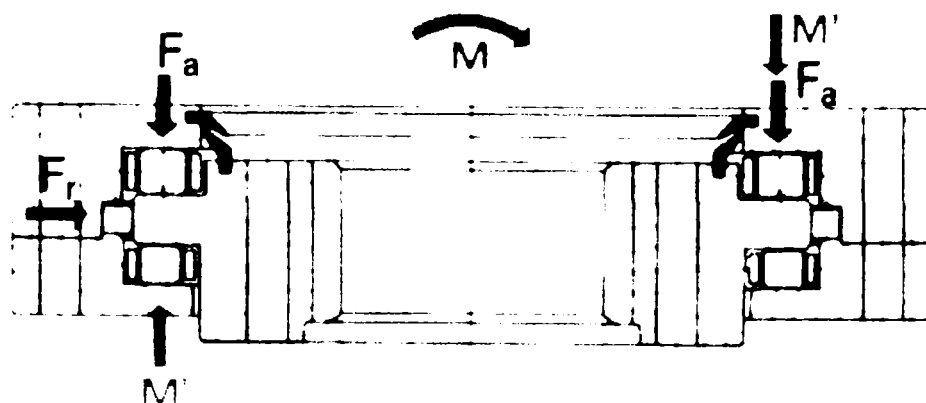


Fig. 2.3 Soluție constructivă

- |  |                               |
|--|-------------------------------|
| • sarcină pur radială ( $F_r$ )                        | satisfăcătoare;               |
| • sarcină pur axială ( $F_a$ )                         | foarte bună pe două direcții; |
| • sarcină combinată                                    | satisfăcătoare;               |
| • încărcare sub formă de moment de rotire ( $M$ )      | foarte bună;                  |
| • încărcare sub formă de moment de răsturnare ( $M'$ ) | : foarte bună;                |
| • funcționare silențioasă                              | nerecomandată;                |
| • turație ridicată                                     | neacceptată;                  |
| • rigiditate ridicată                                  | foarte bună;                  |
| • frecare  | satisfăcătoare;               |
| • rezistență la șocuri                                 | foarte bună;                  |
| • clasa de toleranță                                   | satisfăcătoare.               |

Dezvoltarea gamei de utilaje grele mobile cu o varietate întreagă de utilizări are implicații asupra dimensiunilor, formei și a sarcinii specifice transmise părților componente ale rulmenților grei, ceea ce face ca pentru soluționarea tehnică optimă a fabricației, să fie nevoie de mărci superioare de oțel în sortimente dimensionale variate, de calitate metalurgică deosebită și o bună stabilitate dimensională.

### 2.1.3 Dimensionarea construcțiilor portante ( suport ) prin metoda elementelor finite

#### 2.1.3.1 Generalități

Nevoia de rulmenți mari a crescut continuu în ultimii ani. Această afirmație se referă mai ales la rulmenții cu role, care sunt cunoscuți mai ales ca rulmenți oscilanți. Sub această denumire nu se înțeleg însă doar rulmenții care fac posibilă mișcarea oscilantă la locul de montaj. Este vorba de rulmenți cu role de dimensiuni mari care sunt prevăzuți cu bile sau cu role cilindrice. Acest tip de rulment este astfel construit, ca să poată fi montat direct la construcția portantă. Deseori este angrenat și inelul interior și/sau exterior al acestui rulment. Caracteristicile principale ale lagărului oscilant sunt că inelele au fost fabricate din materiale speciale și căile de rulare pentru corpurile rotelor sunt călite superficial. Instalația de călire a stratului superficial prin intermediul flacărei sau printr-o bobină inductivă este acceptat tehnic, căile de rulare din inelele rulmentului prin aceste metode se călesc la un preț avantajos. În multe cazuri se poate atinge calitatea necesară pentru căile de rulare a inelului doar prin unul din aceste procedee.

Dimensionarea construcțiilor portante prin luarea în considerare a capacității de preluare de către carcasa rulmenților a sarcinilor, duce la sisteme static nedeterminate de grad înalt, a căror analiză sub formă de construcție închisă este deseori foarte abstractă fără legături cu suprafața portantă reală.

Cea mai modernă metodă de determinare a deformațiilor în structurile portante este metoda calculului cu elemente finite. Cu ajutorul acestei metode de calcul constructorul este pus în situația de a putea determina informațiile necesare pentru dimensionarea suprafeței portante, precum și valorile tensiunilor și deformațiilor în orice punct al construcției portante

În figura 2.4 ; 2.5 și 2.6 este prezentată structura completă în plan tridimensional al construcțiilor suport pentru rulmenții grei a grinzilor inelare de la excavatoarele cu rotor și al stâlpilor portanți de la turbinele eoliene.

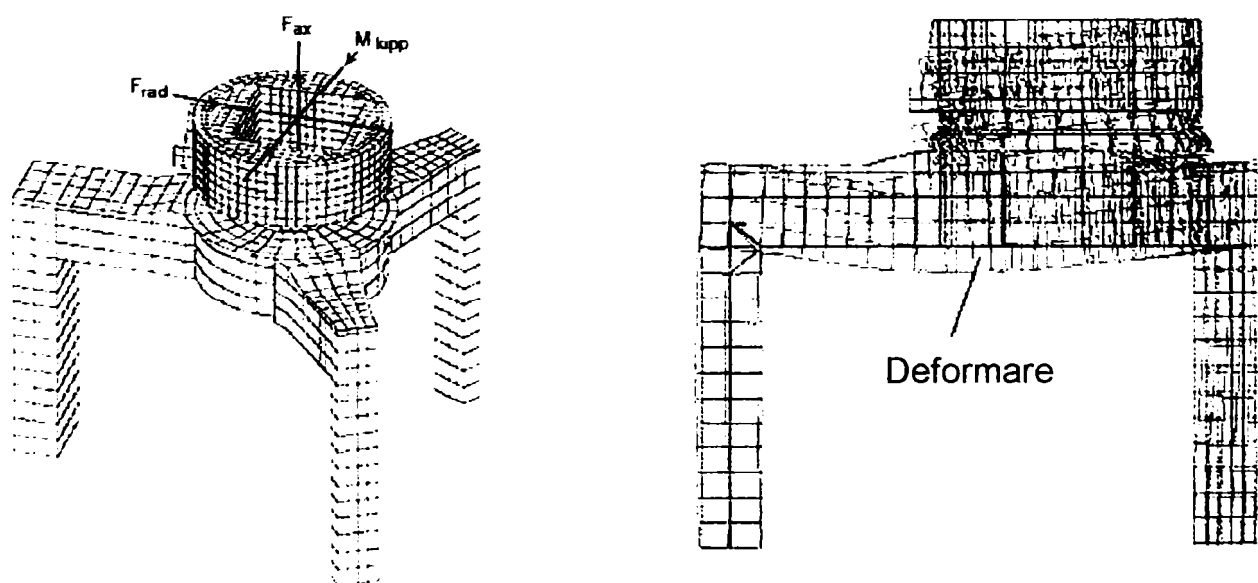


Fig. 2.4

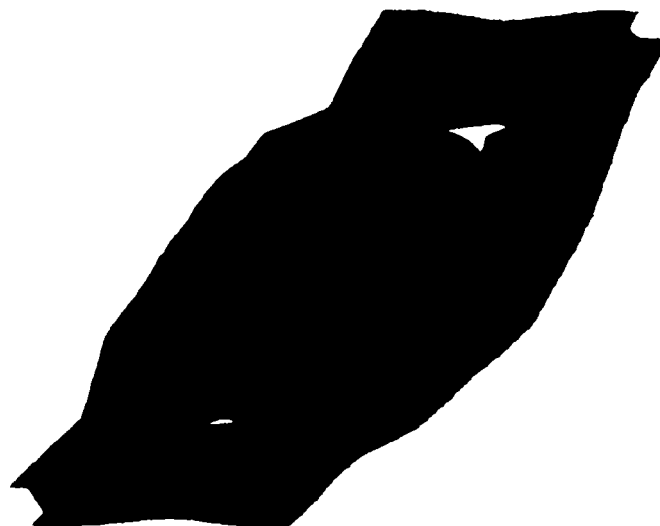


Fig. 2.5

Înfășurătoare cilindrică în interiorul  
cercului de rulare a rulmentului;

Înfășurătoare cilindrică în exteriorul  
cercului de rulare a rulmentului;

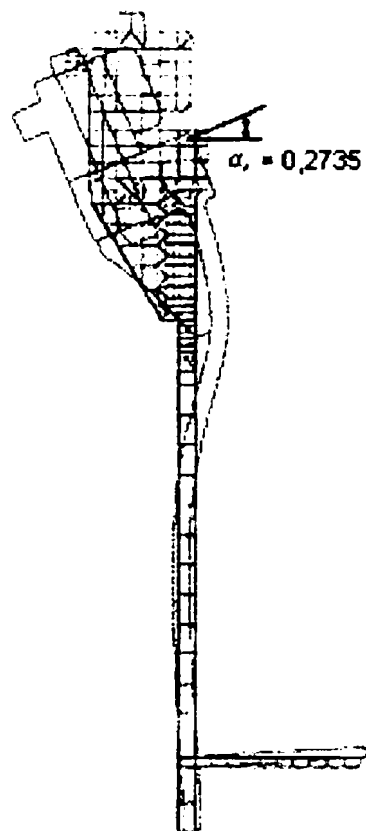
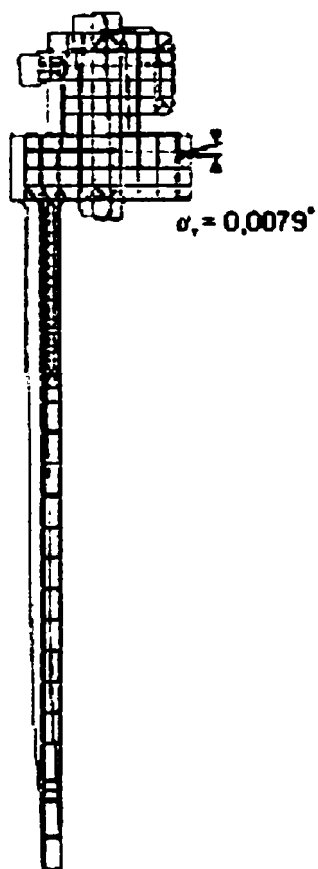


Fig.2.6

### 2.1.3.2 Deformările stabilite prin metoda de calcul cu elemente finite

În figurile 2.7; 2.8; 2.9; 2.10 și 2.11 sunt reprezentate ca exemplu o structură portantă pentru un excavator cu rotor portcupe în care au fost modelate nodurile și barele pentru calculul deformărilor prin metoda elementului finit. Tot în aceste diagrame sunt reprezentate deformările calculate în inelele rulmenților, funcție de forța maximă și de deformarea structurii portante .

În figura 2.8 sunt vizualizate deplasările în noduri, (cazul de încărcare LC2) a căror valoare calculată după axa z este cuprinsă între minim 1,09 mm și maxim 1,14mm. Valoarea minimă admisă pentru toate nodurile este de 1,86mm. Rezultă că secțiunea calculată este corespunzătoare din punct de vedere al rigidității.

În figura 2.10 au fost calculate prin metoda elementului finit deplasările / deformarea nodurilor pentru cazul de încărcare LC2, obținându-se valoarea maximă a deplăsării de 3,19 mm respectiv o valoare minimă de 1,03 mm. Aceste mărimi comparate cu valoarea maximă admisă de 3,55 mm respectiv o valoare minimă de 0,847 mm arată că deformațiile obținute prin calcul pentru inelul rulmentului se încadrează în valorile maxime admise.

În figura 2.11 prin metoda calculului elementului finit au fost determinate deplasările / deformarea nodului pentru cazul de încărcare LC2, secțiunea fiind rotită cu 90° obținându-se valoarea maximă a deplăsării de 3,19 mm și valoarea minimă 1,03 mm care se încadrează în limitele maxime de 3,55 mm respectiv 0,847 mm.

Rezultă că pentru buna funcționare a rulmentului este necesar ca infrastructura să aibă o rigiditate corespunzătoare care să nu permită deformații transversale mari pe planul rulmentului.

#### Cazuri de încărcare :

LC1 – Ipoteza de încărcare principală H ( direcția de rotire spre dreapta )

- Greutate proprie
- Murdărire roată cu cupe și benzi
- Material în cupe și pe benzi
- Forțe de tăiere tangențiale normale
- Forțe de tăiere laterale normale
- Forțe de tăiere radiale

LC2 – Ipoteza încărcare principală H ( direcția de rotire spre stânga )

- Greutate proprie
- Murdărire roată cu cupe și benzi
- Material în cupe și pe benzi
- Forțe de tăiere tangențiale normale
- Forțe de tăiere laterale normale
- Forțe de tăiere radiale

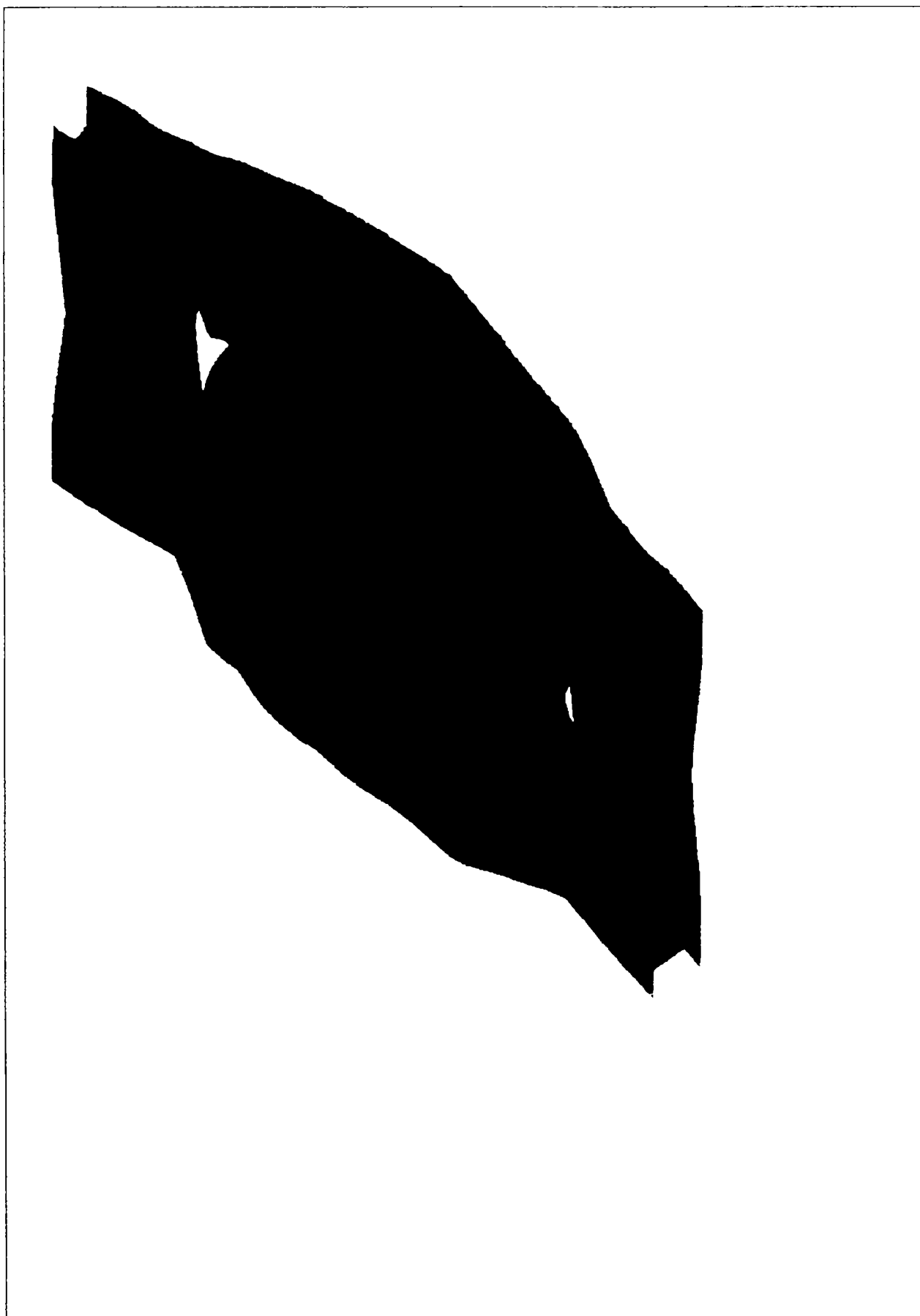


LC3 – Ipoteza de încărcare principală și suplimentară  $H_z$  ( direcția de rotire spre dreapta )

- Greutate proprie
- Murdărire roată cu cupe și benzi
- Material în cupe și pe benzi
- Forțe de tăiere tangențiale excepționale
- Forțe de tăiere laterale excepționale
- Forțe de tăiere radiale

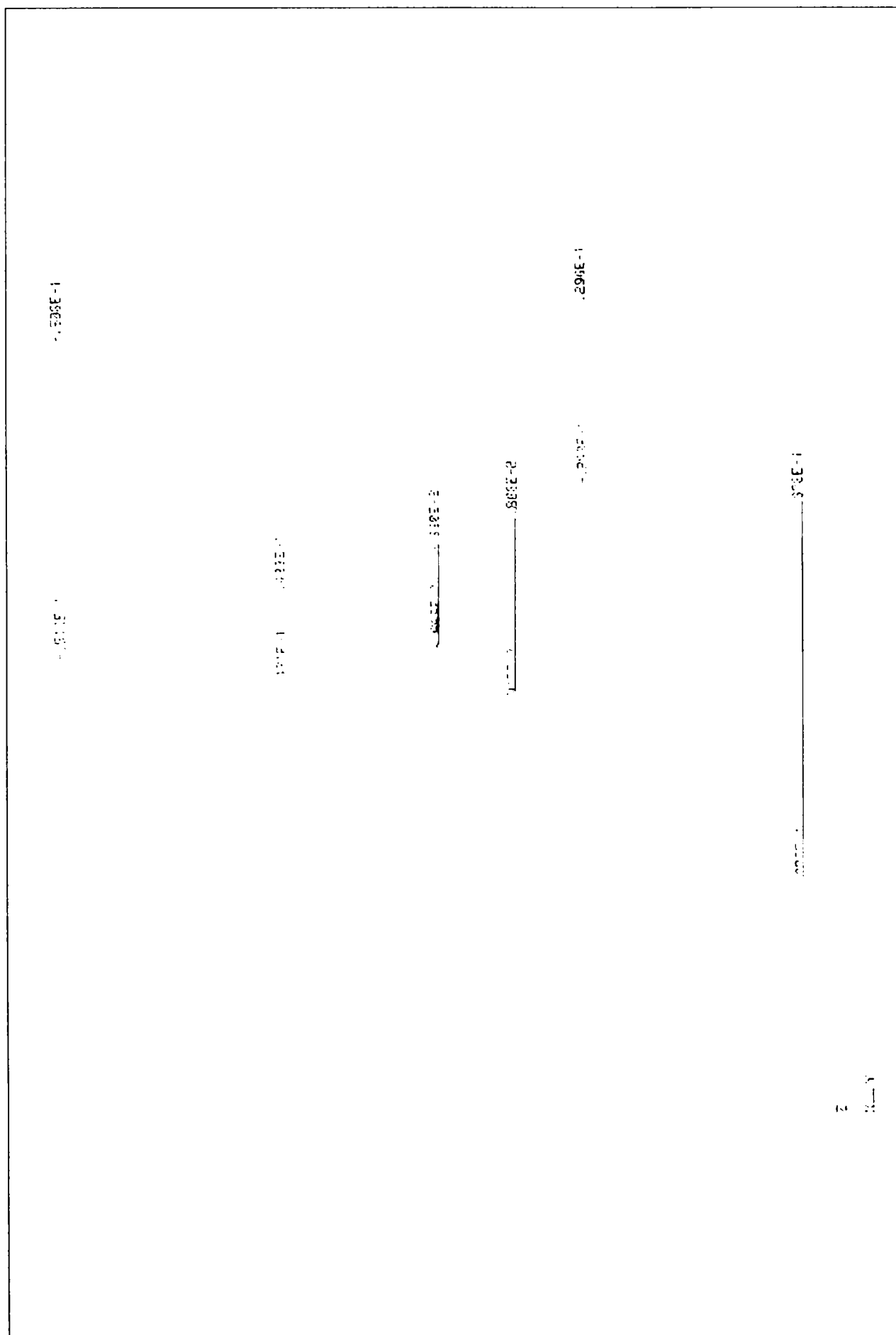
LC4 – Ipoteza de încărcare principală și suplimentară  $H_z$  ( direcția de rotire spre stânga )

- Greutate proprie
- Murdărire roată cu cupe și benzi
- Material în cupe și pe benzi
- Forțe de tăiere tangențiale excepționale
- Forțe de tăiere laterale excepționale
- Forțe de tăiere radiale

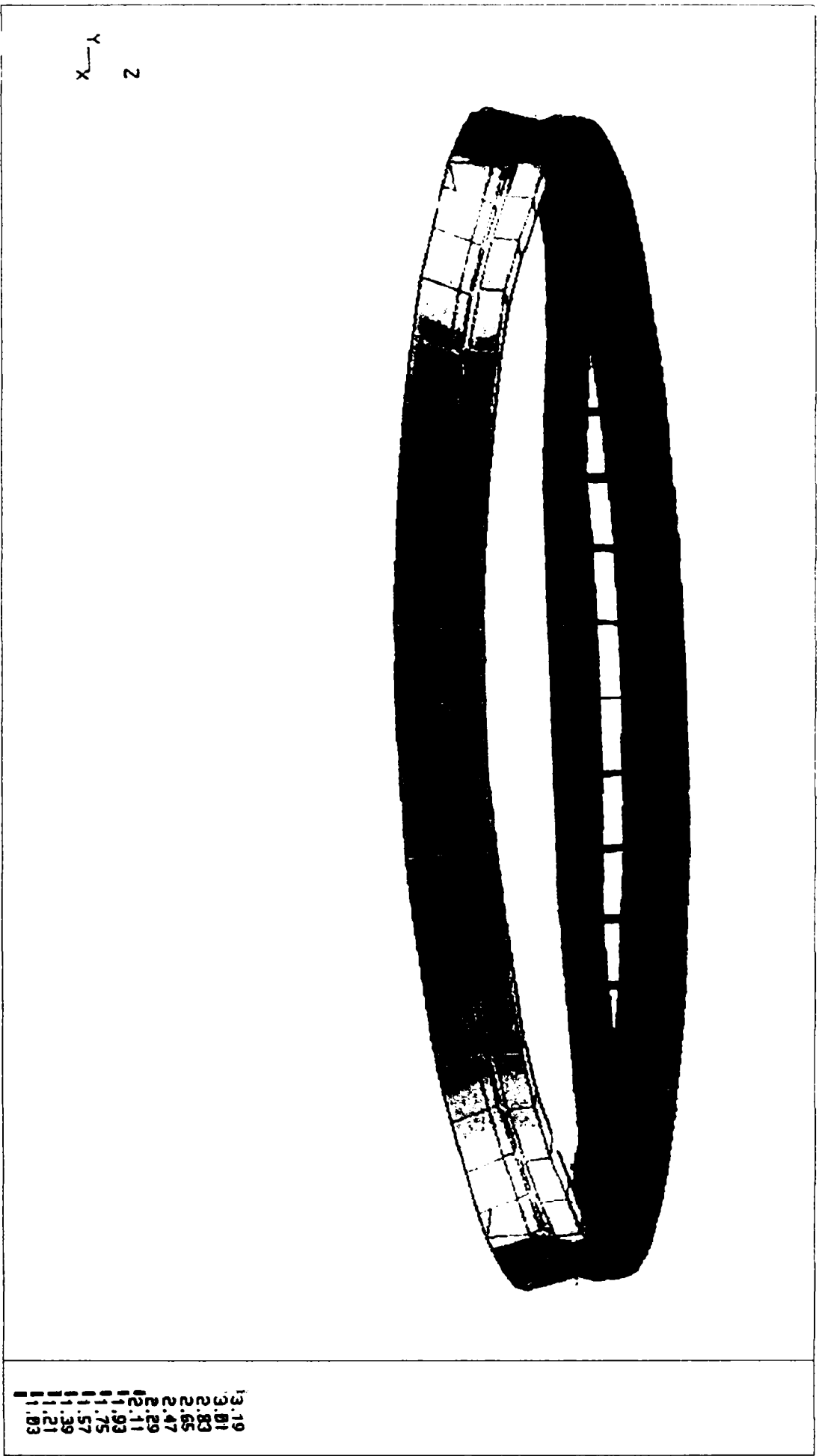


**Fig.2.7** Modelarea structurii portante în elementele finite pentru programul COSMOS M





**Fig.2.9** Deplasările maxime în noduri după direcția radială în planul rulmentului  
Deformata inelului superior și a inelului inferior  
Cazul de încărcare LC2



**Fig. 2.10** Deformarea rulmentului ( inelul superior și inelul inferior ) pe direcția transversală planului rulmentului  
 Valoarea maximă / minimă a deplasării este: 3,55mm / 0,847mm , pentru cazul de încărcare LC2

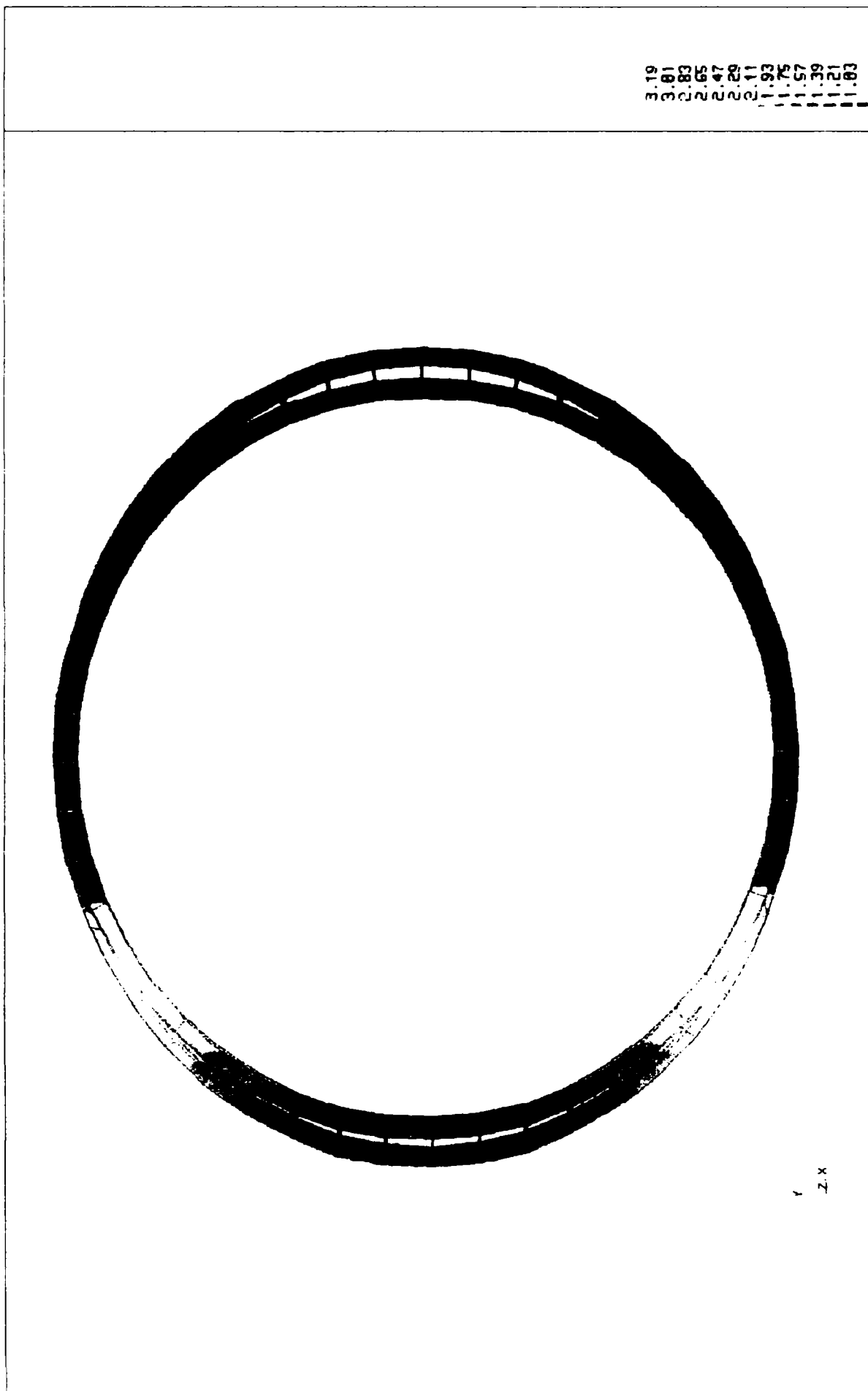


Fig. 2.11 Deformarea rulmentului ( inelul superior și inelul inferior ) pe direcția radială în planul rulmentului pentru cazul de încărcare LC2

## 2.1.4 Calculul momentului de frecare al rulmentului

Determinarea momentului frecării  $M_f$  are la bază descoperiri teoretice și practice. Momentul de frecare este influențat de coeficientul de frecare al rolelor, cu calea de rulare și colivii, de garniturile de etanșare și de distribuția sarcinilor.

Alte mărimi care influențează frecarea sunt:

- toleranța planului inclusiv suprafața construcției anexe superioare și inferioare
- umplerea cu unsoare și alegerea felului unsoarii
- ungerea buzei etanșării și a pertensionării garniturii
- modificarea jocului lagărului prin montare necorespunzătoare .

Momentul frecării calculat are unele fluctuații, (aprox.  $\pm 25\%$ )

Rulmenții nemontați, fără sarcină au un moment propriu care nu este specificat în formulă. Se va avea în vedere acest lucru la folosirea formulelor.

### 1. Momentul de frecare la pornire $M_f$

#### 1.1 Cale cu bile

$$M_f = \frac{\mu}{2} (4,4 \cdot M_{ras} + F_a \cdot D_r + 2,2 \cdot F_r \cdot D_r \cdot 1,73) \quad [ \text{kNm} ] \quad (2.1)$$

#### 1.2 Cale cu role

$$M_f = \frac{\mu}{2} (4,1 \cdot M_{ras} + F_a \cdot D_r + 2,05 \cdot F_r \cdot D_r) \quad [ \text{kNm} ] \quad (2.2)$$

### 2. Randamentul de inerție $R_i$

$$R_i = M_{ras} \cdot \omega \cdot \eta^{-1} \quad [ \text{kNm} \cdot \text{s}^{-1} ] \quad (2.3)$$

$$R_i = \frac{M_{ras} \cdot n}{9,55 \cdot \eta} \quad [ \text{kW} ] \quad (2.4)$$

Pentru depășirea momentului de inerție este necesar să se formeze o forță de accelerare al tuturor maselor în repaus ca produs a pătratului distanțelor punctelor lor de greutate față de axa de rotație.

Unde :

$F_a$	= sarcina axială	[kN]
$F_r$	= sarcina radială	[kN]
$M_{ras}$	= momentul de răsturnare rezultat	[kNm]
$D_r$	= cercul de rulare al rulmentului-Ø	[m]
$\mu$	= coeficientul de frecare	
$\omega$	= viteza unghiulară	

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad [s^{-1}] \quad (2.5)$$

n = turația rulmentului [rot/min]  
η = gradul de eficiență al acționării

**Mărimile diferiților coeficienți de frecare la diferite tipuri de rulmenți se prezintă**

μ = 0,008 rulmet cu bile normali

μ = 0,006 rulmet cu bile de precizie

μ = 0,006 pentru rulmenți axiali cu bile cu sprijin în patru puncte

μ = 0,003 pentru rulmenți radiali cu role pe două – trei rânduri



## 2.2 Dimensiuni, probleme de montaj, ungere, etanșare și exploatare

Având în vedere faptul că, lăgăruirile și rotațiile diverselor organe de mașini ce compun un lanț cinematic, se găsesc de la cele mai mici la cele mai mari mecanisme, de la mecanisme de mecanica fină la cele de mecanică grea, dimensiunile rulmenților sunt dintre cele mai variate de la ordinul milimetrilor la cel al metrilor. Determinarea propriu zisă a rulmentului, respectiv a mărimii sale, este legată de buna sa funcționare. În cazul unei proiectări și exploatare incorecte a lagărului, cauzele majore care duc la scoatera sa din uz sunt oboseala superficială a corpurilor și căilor de rulare, cât și deformațiile plastice locale ale suprafețelor de lucru. Funcție de regimul de funcționare prevăzut intervine una din cauzele de mai sus.

Oboseala superficială a corpurilor și căilor de rulare apare prima la rulmenții cu viteze de rotație sub sarcini mai mari de 10 rot/min și se manifestă prin apariția fenomenului de pitting pe suprafața corpurilor sau a căilor de rulare. Consecința directă este pierderea preciziei de rotire, creșterea zgomotului și apariția vibrațiilor.

Deformațiile plastice locale (amprente) ale suprafețelor de lucru apar întâi la rulmenții cu mișcări de oscilație sau viteze de rotație sub sarcini mai mici de 10 rot/min sau când sarcina depășește o anumită limită. Aceste deformații pot apărea și la rulmenții ce se rotesc sub sarcină dacă sarcinile sunt însoțite de șocuri mari, aplicate în fracțiuni de rotație.

### 2.2.1 Influența condițiilor de montaj asupra solicitărilor din inelele de rulmenți și bile

#### 2.2.1.1 Influența condițiilor de montaj asupra inelelor

Trebuie subliniat faptul că durabilitatea unui inel mai depinde și de mulți alți factori și nu poate fi pusă în legătura numai cu solicitarea maximă a bilelor.

O influență deosebită o are precizia cu care s-au potrivit cele două căi de rulare, în ceea ce privește planeitatea și diametrul la locul de montaj.

Abateri foarte mici de la planeitate pot crea diferențe mari în solicitarea bilelor. La inelele de diametre mari, abaterile de la planeitate sunt practic de neevitat. Aceasta are ca urmare faptul că unele bile nu sunt solicitate iar altele sunt supuse unor solicitări mai mari decât cele stabilite teoretic. Ținând sub observație inele de rulare pentru bile în timpul exploatareii s-a constatat că bilele nu sunt solicitate în mod uniform, după cum s-a stabilit teoretic și că la pornire există întotdeauna un anumit număr de bile nesolicitate.

Deoarece deformabilitatea căilor de rulare este foarte mică acestea vor lua în direcția z forma inelului de sprijini și de aceea acesta trebuie să aibă o anumită rigiditate și planeitate atât pentru calea de rulare inferioară cât și pentru cea superioară.

Planeitatea căilor de rulare se realizează prin prelucrarea mecanică a suprafețelor de așezare. Această prelucrare se va face separat pentru structura inferioară respectiv superioară de către executant, premurgător transportului, deoarece pe șantier această prelucrare ar fi prea dificil de realizat și ar necesita prea mult timp. Totodată montajul ar fi influențat în mod dezavantajos dacă ar mai fi necesară prelucrarea suprafețelor de sprijin pe șantier, iar prelucrarea în hala executantului este independentă de starea vremii.

Prelucrarea căilor de rulare de diametre mari, respectiv prelucrarea mecanică a suprafețelor de sprijin pentru structura inferioară și superioară se execută foarte dificil și presupune costuri mari în vederea realizării preciziei necesare. Pentru aceste căi de rulare se prelucrează suprafețele de sprijin la toleranțe mai largi, acceptându-se faptic abateri de la planeitate și deformații în direcția z. Pentru a compensa aceste abateri, se va lăsa un spațiu mai mare între căile de rulare și susținerea acestora. Acest spațiu va fi umplut cu o pastă de egalizare ( loctite ), care la introducerea între calea de rulare și susținere preia deformațiile și după un interval de timp necesar solidificării, capătă o asemenea duritate încât va prelua solicitările care acționează între calea de rulare și susținerea acesteia.

Acestă pastă se compune din nisip și un liant artificial și are o anumită plasticitate la turnare precum și rezistență la compresiune .

Alegerea liantului sintetic precum și proporția în care se amestecă cu nisip se stabilește împreună cu fabricantul liantului și se studiază comportamentul amestecului pe epruvete înaintea stabilirii soluției finale de montaj.

În cele mai multe cazuri, temperatura necesară solidificării după turnarea compoziției este în intervalul 8 – 19°C și deci la turnare și respectiv solidificare se va respecta această indicație.

Dacă temperatura este mai scăzută decât 8°C, solidificarea pastei durează mai mult și montarea inelului va fi întârziată corespunzător.

Dacă temperatura depășește 15° C, solidificarea are loc prea repede și există pericolul ca spațiul dintre calea de rulare și susținerea acesteia să prezinte goluri de umplere.

Deoarece liantul sintetic este foarte perisabil, va fi depozitat într-o incintă răcoroasă. Este indicată cumpărarea liantului cu puțin timp înainte de folosire. Nisipul folosit pentru amestec trebuie să fie curat și să nu conțină adaosuri sărate.

Acest interstițiu poate prelua forțe de presiune atât pe direcția z cât și în planul x – y. Pentru a prelua forțe orizontale pasta trebuie să aibă o rezistență de forfecare între 80 și 100 Mpa (N/mm).

### 2.2.1.2 Influența condițiilor de montaj asupra bilelor

Solicitarea maximă efectivă a bilelor este în continuare puternic dependentă de rigiditatea structurii inferioare respectiv superioare. Se tinde spre realizarea unei rigidități uniforme pe întreaga circumferință a inelului, dar în realitate această condiție nu poate fi îndeplinită niciodată, deoarece în infra respectiv suprastructură vor exista întotdeauna zone cu rigiditate diferită; de exemplu, rigiditatea va fi mare în zona punctelor de sprijin ale infrastructurii și va fi mică în zona unde sunt necesare străpungeri în construcția de susținere.

Ca urmare a acestor diferențe de rigiditate, solicitarea bilelor, în zonele în care infrastructura respectiv suprastructura au rigiditate mare, va fi sporită, comparativ cu valoarea stabilită pentru o rigiditate uniformă, și va fi mai scăzută în domeniile cu o rigiditate mai mică.

Kalm a demonstrat în disertația sa, în cazul unor rigidități diferite în infra și respectiv suprastructură, solicitarea maximă a bilelor poate avea în anumite cazuri dublul valorii solicitării determinate teoretic.

Deformațiile infrastructurii respectiv suprastructurii pentru eforturile de forfecare vor fi cu atât mai mari cu cât înălțimea acestora este mai mică. Pentru a se realiza un

compromis între starea de eforturi și înălțimea totală a utilajului, se va introduce în calculul suplimentar, articulația brațului roții port cupe și greutatea acesteia.

Cu precădere la utilajele cu cadru C rezultă deformații maxime ale plăcii turnante și implicit ale suprafeței de susținere a inelului superior prin masa proprie a structurii. Pentru a avea o bază de susținere plană a inelului superior, la solicitări prin greutatea proprie a utilajului, deformările vor fi compensate printr-o supraînălțare corespunzătoare (contrasăgeată)

Cu toate aceste incertitudini cu privire la valoarea reală a solicitării bilelor, experiența a dovedit că bilele vor avea o durată de exploatare suficientă dacă se respectă relația :

$$\text{Max } F_k d_k \leq 4 \text{ Mpa} \quad ( 2.6 )$$

Unde :

Max	: momentul maxim	[ kNm ]
$F_k$	: forța axială pe bilă	[ kN ]
$d_k$	: diametrul bilei	[ mm ]
Mpa	: rezistența la forfecare	[ N/mm ]

Pentru a satisface această cerință, este necesar ca pe circumferința căii de rulare să fie un număr suficient de bile. Dacă numărul necesar de bile nu poate fi introdus pe calea de rulare, se vor folosi două căi de rulare concentrice ( fig. 2.12 )

Diametrul căii de rulare se stabilește astfel încât pe toată durata de funcționare în condițiile cele mai dezavantajoase (denivelări) – poziția centrului de greutate a utilajului să rămână în interiorul cercului de rulare  $D_k$ .

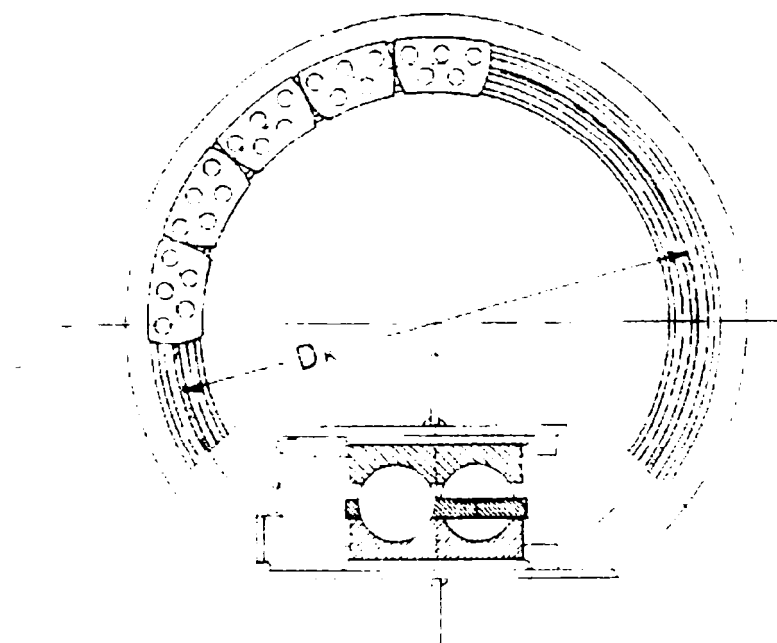


Figura 2.12 Inel cu două căi de rulare

### 2.2.2 Influența problemelor de exploatare asupra rulmenților

Pentru toate inelele de rulare și bile practica a demonstrat că durabilitatea acestora în exploatare este de 10 ÷ 20 ani funcție de corectitudinea montajului și a respectării tehnologiei de exploatare.

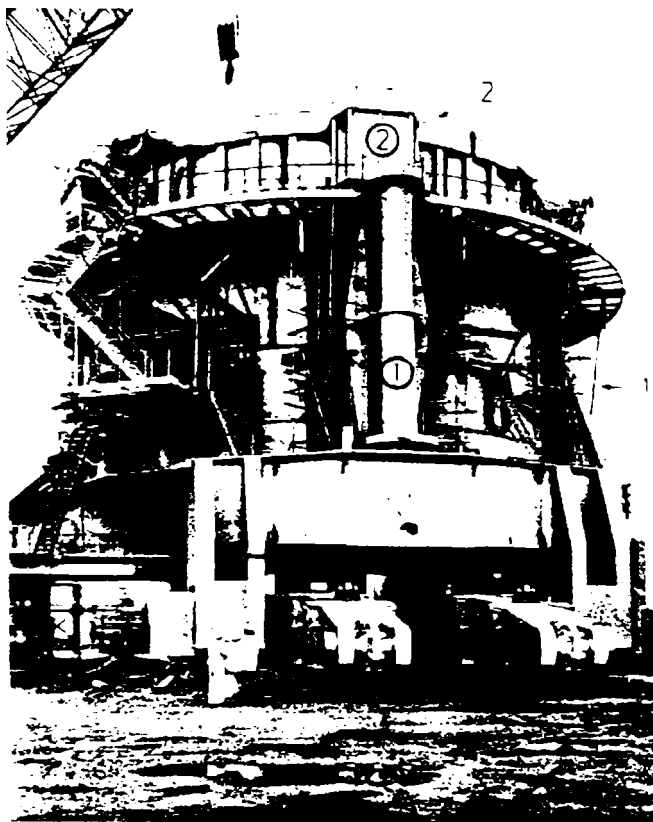
Totusi trebuie ținut cont de faptul că aceste inele sunt supuse continuu uzurii de exploatare. Se apreciază din experiență, pentru exploatare o uzură de 1,5 mm pe an pentru fiecare cale de rulare, astfel distanța dintre inele se va micșora anual cu până la 3 mm.

Durata de exploatare a unui inel a luat sfârșit atunci când componenta superioară a inelului atinge coliviile, blocând astfel mișcarea de rotație.

Deoarece apropierea inelului superior de cel inferior poate fi supravegheată cu ușurință, schimbarea inelului poate fi făcută din timp.

Pentru a controla starea inelului inferior în timpul exploatarei utilajului, se practică orificii în zonele cu solicitarea cea mai redusă a inelului superior și se extrag bile pentru a studia starea căii de rulare inferioare. Aceste orificii în inelul superior se practică acolo unde vectorul razei spre centrul inelului este perpendicular pe brațul roții portcupe. Orificiile vor fi închise impecabil pe căile de rulare.

Pentru un control al ambelor căi de rulare, suprastructura mobilă trebuie ridicată. Un asemenea control poate avea loc deci numai în timpul unei opriri planificate a utilajului. Pentru aceasta, atât pe infrastructura cât și pe suprastructura mobilă vor fi prevăzute posibilități de cuplare a unor prese hidraulice, care la o anumită poziție de rabatere a suprastructurii, se suprapun. În această poziție, suprastructura poate fi ridicată (figura 2.13 ).



1 rigidizare în infrastructură pentru  
fixarea preselor hidraulice  
2 console în placa turnantă pentru  
ridicarea suprastructurii rotitoare

Figura 2.13 Puncte pentru ridicarea suprastructurii

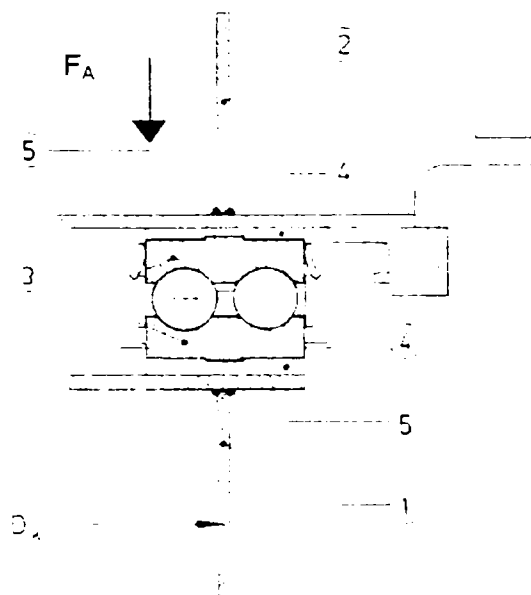
Deoarece prin ridicarea suprastructurii bilele devin libere și nu mai pot prelua forțe orizontale pentru fixarea suprastructurii, trebuie concepute construcții ajutătoare pentru a permite transmiterea forțelor orizontale de la suprastructură la infrastructura ( dispozitive de blocare ).

Prin măsurarea sarcinilor verticale în direcția  $z$  în punctele de cuplare ale preselor hidraulice se poate determina masa totală a suprastructurii mobile și poziția forței masice în interiorul inelului de stabilitate ( rotire )

Fiecare cale de rulare prezintă după o anumită perioadă de rodaj ciupituri pe întreaga circumferință, ceea ce nu înseamnă că inelul s-a defectat prematur, uzura legată de acest fenomen trebuie însă să se încadreze între limitele prescrise ( 1,5mm / an la un diametru exterior de 8650 mm și diametrul bilei de 150 mm ).

Dacă suprafața infrastructurii este prelucrată mecanic, cu ajutorul unui strung mobil special segmentele de inel se așează pe suprafețele prelucrate și curate, iar după potrivire se îmbină prin șuruburi cu suprastructura. Șuruburile sunt de înaltă rezistență (clasa C ) repartizate uniform pe lungimea segmentului de inel, iar la capete vor fi cel puțin două perechi de șuruburi, montate cât mai apropiat.

Șuruburile de fixare se strâng corespunzător cu ajutorul cheii dinamometrice până când forțele orizontale dintre segmenti și infrastructură sunt transmise prin fricțiune. Forțele verticale se transmit prin contact între segmente și infrastructură. Transmiterea se face direct între construcția metalică și segmentele de inel (figura 2.14 )



**Figura 2.14** Preluarea forțelor verticale în calea de rulare prin contactul dintre inelul inferior și superior cu infra respectiv suprastructura utilajului

$D_k$  diametrul rulmentului cu bile

1 – infrastructura

2 – suprastructura

3 – rulment cu bile

4 – orizontalizare rulment prin material elastic ( loctite )

5 – suduri ale tălpilor și nervurilor pentru preluarea prin contact a sarcinilor verticale

Dacă suprafețele de așezare rămân neprelucrate și spațiul dintre segmente și infrastructură se umple cu o compoziție sintetică, transmiterea forțelor orizontale și verticale are loc prin stratul compozit. Dacă se vrea descărcarea acestui strat de forțele orizontale, în mijlocul fiecărui segment se plasează un bolț puternic care va prelua forțele orizontale care acționează asupra segmentului de inel în planul  $x - y$ . Pentru a evita torsiunea segmentului se plasează și la capetele sale bolțuri, acestea putând prelua însă numai forțe radiale (figura 2.15)

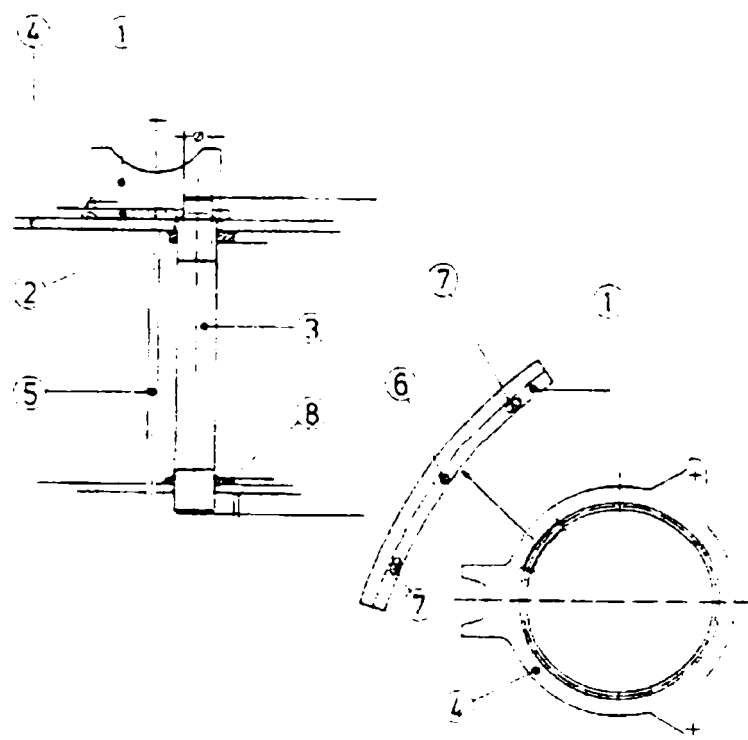


Figura 2.15 Fixarea căilor de rulare

1. segment al căii de rulare
2. strat de egalizare
3. bolț de fixare
4. disc al construcției de susținere
5. nervură a construcției de susținere
6. orificiu rotund în mijlocul segmentului
7. orificiu alungit la capetele segmentului
8. table fixare ale bolțurilor care se sudează de construcția, de susținere după alinierea segmentului

Această măsură este necesară deoarece prin solicitarea construcției apar dilatări, adică deplasări între infrastructură și segmentele de inel, care nu pot fi evitate prin elemente de legătură; acestea nu pot crea tensiuni în segmente pentru a le dilata în aceeași măsură cu infrastructura.

Masa turnată trebuie să fie suficient de elastică pentru a compensa diferențele de dilatare.

Pentru fixarea segmentelor de inel superioare se vor utiliza șuruburi de fixare.

Forțele verticale se transmit prin contact; suprafața dintre masa turnată și infrastructură trebuie să fie suficient de mare pentru a transmite forțe de presiune fără avariarea stratului intermediar.

După potrivirea și fixarea inelelor de infrastructură și placa turnantă, trebuie stabilită poziția segmentelor pentru un eventual schimb ulterior. Se vor prevedea nervuri sudate de infrastructură ca în figura 2.16 .

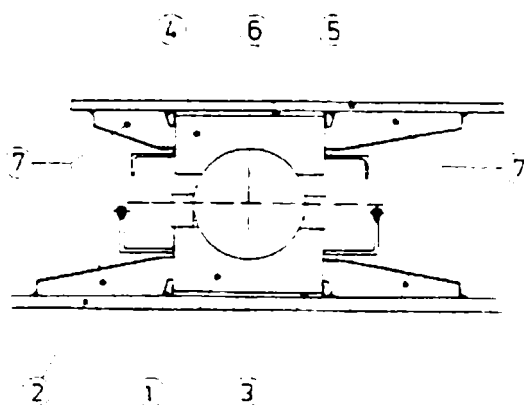


Figura 2.16. Consolidarea laterală la căile de rulare

1. cale rulare inferioară
2. disc al construcției inferioare de susținere
3. strat egalizare centru calea de rulare inferioară
4. cale rulare superioară
5. disc al construcției superioare de susținere
6. strat egalizare pentru calea de rulare superioară
7. Nervuri laterale pentru stabilizarea căii de rulare

### 2.2.3 Influența ungerii asupra rulmenților

Foarte important pentru o durată de exploatare cât mai lungă este o ungere adecvată și o etanșare completă împotriva pătrunderii murdăriei și apei în căile de rulare.

Căile de rulare a caror mărime permite livrarea dintr-o singură bucată de la executant pe șantier, se vor livra pe segmente inferior și superior, pentru că montarea acestora se va face în șantier inclusiv etanșarea și ungera.

Inelele cu diametre mai mari, care exclud de la bun început livrarea într-o singură bucată, se livrează pe segmente și montajul se va face pe șantier. După potrivirea și fixarea inelului pe infrastructură, capetele de segmente vor fi etanșate cu un material cu elasticitate remanentă ( loctite ) care va permite o oarecare modificare a interstițiului, fără a se rupe.

## Materiaie de ungere

- Dacă rulmentul se livrează în stare montată, la livrare sistemul căii de rulare se va umple cu o unsoare saponificată cu litiu cu adaosuri de presiune mare (EP) de clase de consistență 2.

- Dacă rulmentul se livrează pe segmente acestea se protejează la livrare prin ungere cu unsoare consistentă, care la montaj se spală, iar la montajul definitiv acestea se vor unge cu unsoare de înaltă presiune. Materialele de ungere următoare sunt corespunzătoare pentru scopul impus de condițiile de exploatare ( Tabelul 2.1 ).

**Tabelul 2.1**

Furnizor	Sistem cale de rulare	Angrenaj
0	1	2
ARAL	Aralub HLP2 -40° până la +125°C	Aralub LFZ1 -25°C până la +250°C
BP	Energreas LS-EP2 -25°C până la +130°C	Energol WRL 0°C până la +80°C
Castrol	Spheerol ELP2 -20°C până la +120°C	Grippa 338 -20°C până la +80°C
DEA	Glissando EP2 -30°C bis +140°C	
ELF	Elf EP2 -25°C până la +130°C	Elfnera 4900 + Fluid -20°C până la +120°C
ESSO	Beacon EP2 -20°C până la +130°C	Surett Fluid 4K -20°C până la +100°C
F. Manke Fichtenstraße 72 40233 Düsseldorf		Voler Compound 2000 E -40°C până la +120°C
Fuchs Lubritech	Lagermeister EP2 -20°C până la +130°C	
Mobil	Mobilux EP2 -20°C până la +120°C	Mobilac 81 -30°C până la +120°C
SHELL	Alvania LF EP2 -30°C până la +130°C	GREASE S.8327 -20°C până la +230°C
TEXACO	Glissando FT2 -30°C până la +120°C	Crater 2X Fluid -20°C până la +120°C

Ordinea materialelor de ungere din tabelul 2.7 nu reprezintă un indiciu la calitatea acestora.



### 2.3 Tipodimensiuni și soluții constructive

Soluțiile constructive sunt strict legate de condițiile funcționale și de încărcare. Au o mare varietate și pot fi simple sau speciale.

Posibilitățile de utilizare a rulmenților de sprijin și de rotire sunt variate, în special în domeniul tehnicii transportoare și, în general, la utilajele grele la care ei au atât rolul de sprijin cât și cel de rotire (platforme pivotante, excavatoare, macarale, etc)

În tabelul 2.2 se prezintă tipodimensiuni de rulmenți mari executați și montați pe utilaje ce funcționează în cariere de cărbune, de către firma KRUPP și ROMINEX

Tabelul 2.2 Date caracteristice ale unor rulmenți executați

Diametrul D (m)	20	18	18	15	14	12,5	12,5	10,0	8,65	8,5	6,0
Sarcina verticală $F_V$ (kN)	51300	31250	25820	24350	33400	12440	25000	11200	8300	7950	6100
Nr. total de bile n	279	315	315	261	152	152	243	176	143	138	131
Circumferința inelului u (m)	62,73	56,55	56,55	47,12	47,12	39,27	43,98	31,4	27,16	26,69	18,84
Nr. de bile pe centru $n_1$ ( $m^{-1}$ )	4,44	5,57	5,57	5,54	3,23	3,87	5,52	3,16	3,08	2,96	2,44
Diametrul bilei d (mm)	320	250	250	250	250	200	250	150	150	150	127
Raza căii de rulare r (mm)	168	131	131	131	131	105	131	81	81	81	68
$P_m = F_V \cdot u^{-1}$ ( $kN \cdot m^{-1}$ )	816	552	457	516	709	317	568	296	296	296	183
Excentricitatea $F_V \cdot e_r$ (m)	4,13	4,10	4,81	2,42	1,76	2,04	1,80	1,72	1,66	1,58	0,93
$E_r \cdot D^{-1}$	0,207	0,228	0,267	0,161	0,117	0,163	0,129	0,144	0,141	0,133	0,112
$p_1 \cdot p_m^{-1}$	1,828	1,912	2,070	1,644	1,468	1,653	1,516	1,396	1,331	1,329	1,016
Sarcina max. $p_1$ ( $kN \cdot m^{-1}$ )	1492	1055	946	797	1041	534	861	508	493	477	301
Sarcina max. pe bilă $F_B$ (kN)	336	189	169	143	322	138	156	118	120	102	66
$F_B \cdot d^{-2} \cdot M$	3,28	3,03	2,71	2,30	5,16	3,45	2,50	3,16	3,01	2,86	2,31
Execuție	D	D	D	D	E	E	D	E	E	E	E
D două căi rulare											
E o cale de rulare											
Material	42CrMo4V	Ck45N	42CrMo4V	Ck45N	42CrMo4V	Ck45N	Ck45N	42CrMo4V	42CrMo4V	42CrMo4V	42CrMo4V

**Principalele tipuri sunt:**

**A. Funcție de modul de preluare a sarcinii**

**A.1.** rulmenți de sprijin și rotire cu bile pe un rând figura 2.17 care pot fi : cu dantură la exterior, cu dantură la interior și fără dantură ;



**Figura 2.17** Rulmenți de sprijin și rotire cu bile pe un rând

**A.2.** rulmenți cu bile pe două rânduri figura 2.18 : cu dantură la exterior cu dantură la interior și fără dantură



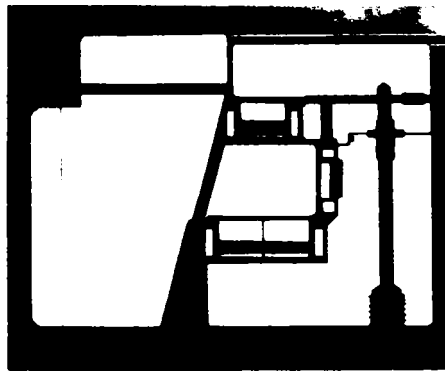
**Fig. 2.18** Rulmenți cu bile pe două rânduri

**A.3.** rulmenți cu role în cruce figura 2.19 : cu dantură la exterior  
cu dantură la interior și fără dantură



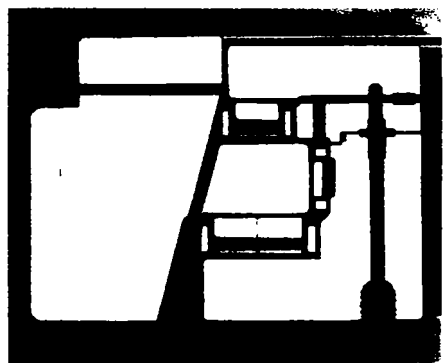
**Figura 2.19** Rulmenți cu role pe unu și două rânduri

**A.4. rulmenți cu role și bile figura 2.20**



**Figura 2.20** Rulmenți cu role și bile

**A.5. rulmenți cu role cilindrice pe un rând figura 2.19 a : cu dantură la exterior, cu dantură la interior și fără dantură**



**Figura 2.21** Rulmenți cu role cilindrice pe trei rânduri

**A.6. Rulmenți pe două și trei rânduri figura 2.21**

În afara acestor soluții, există și alte variante constructive de rulmenți de rotire și sprijin cum sunt cele ale firmei FRANKE, în care rolul suprafețelor de rulare este luat de patru inele metalice, care alcătuiesc doar sistemul de rigidizare ( figura 2.22 și 2. 23 ).

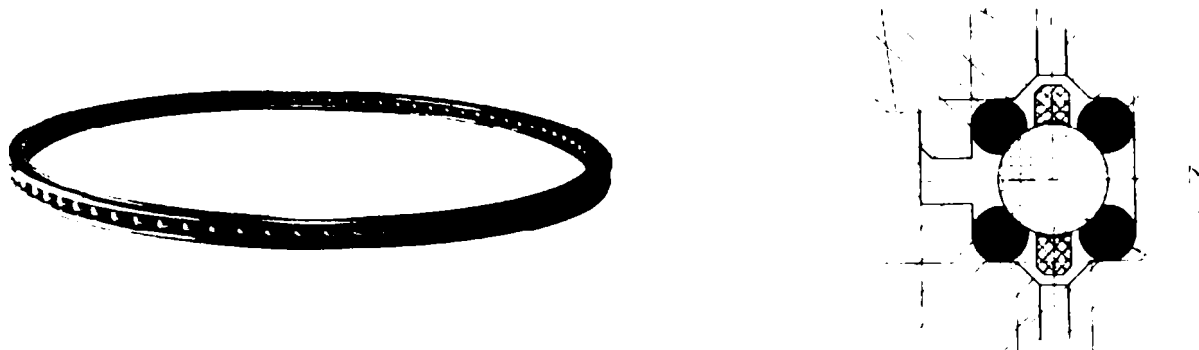


Figura 2.22

O alta soluție constructivă compactă de rulmenți de rotire și sprijin este cea a firmei THK, care folosește un singur rând de role așezate alternativ, în poziții rotite cu  $90^\circ$ .

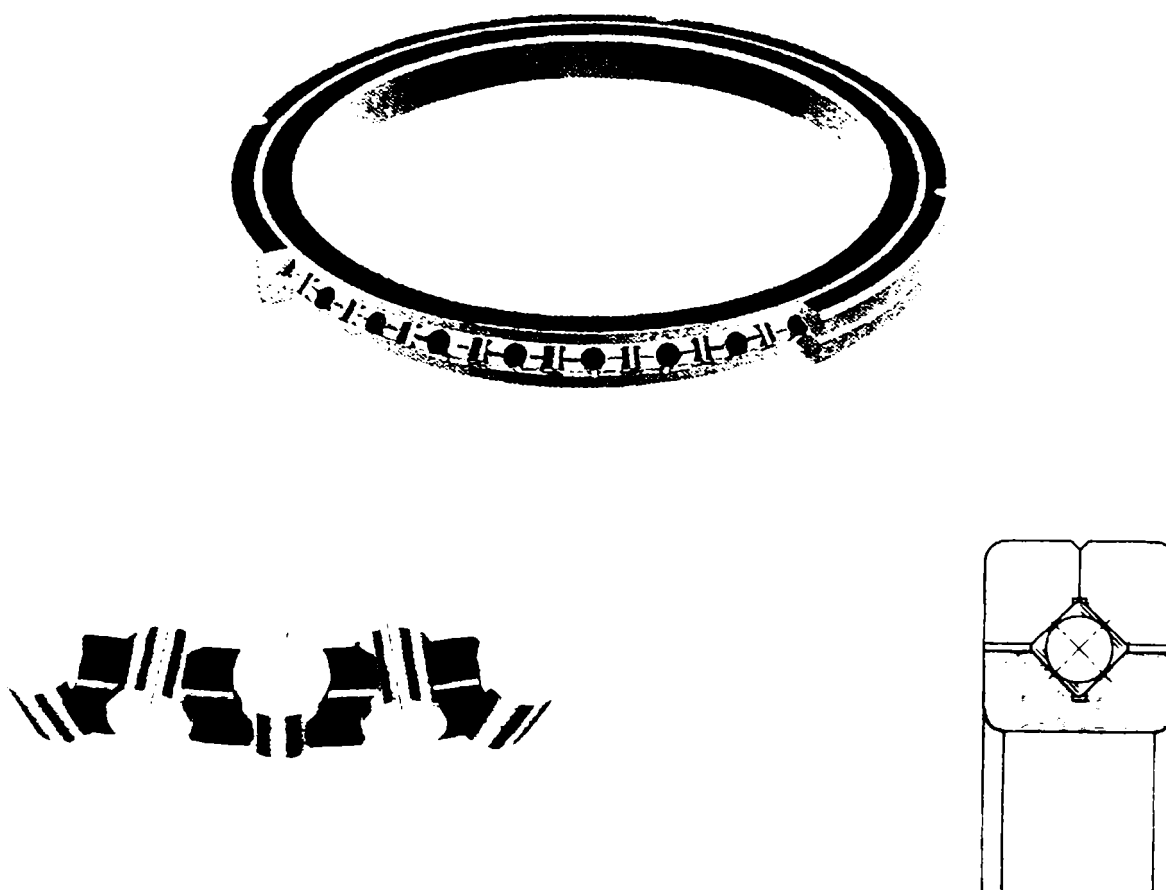
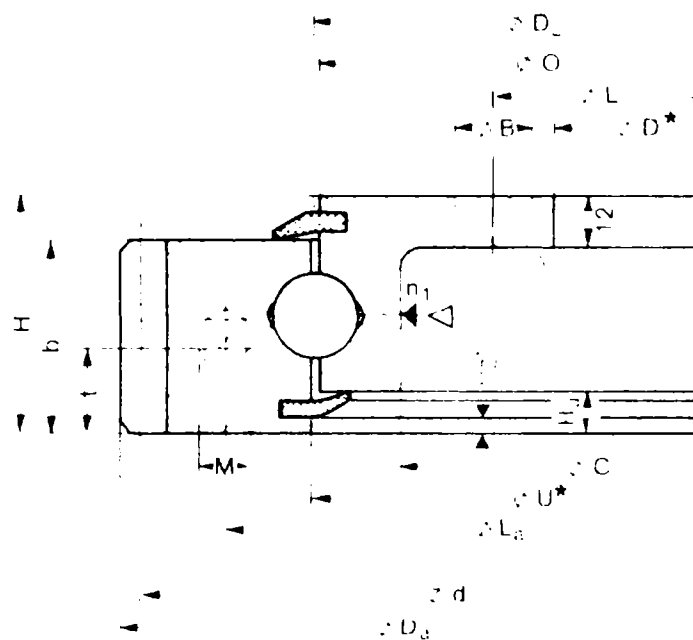


Figura 2.23

Rulmenții de sprijin și de rotire preiau sarcina axială, momente de răsturnare și sarcină radială până la 10% din sarcina axială.

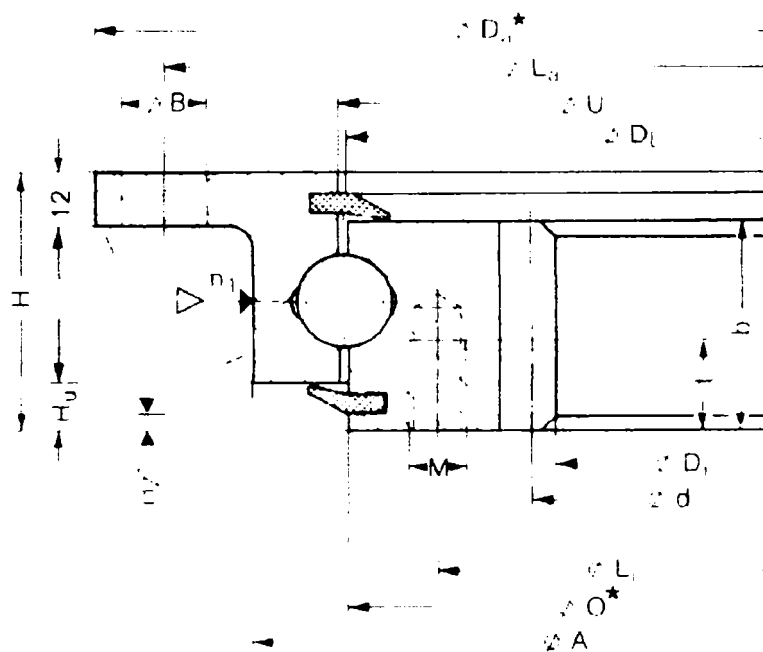
**B. Funcție de modul de transmitere a mișcării**

**B.1 Cu angrenare exterioară :**



**Fig. 2.24** Rulment cu angrenare exterioară

**B.2 Cu angrenare interioară :**



**Fig. 2.25** Rulment cu angrenare interioară

### C. Funcție de mărimea jocurilor axiale și radiale

Jocurile rulmenților trebuie să se încadreze în diferite limite determinate prin calcul, pe baza dimensiunilor medii ale elementelor componente măsurate înainte de ansamblare, etc.(tabelul 2.3).

**Tabelul 2.3**

Diametrul mediu de dispunere a corpurilor de rostogolire (mm)		Joc axial (mm)		Joc radial (mm)	
peste	până la	minim	maxim	minim	maxim
0	1	2	3	4	5
500	630	0.10	0.30	0.12	0.26
630	800	0.10	0.30	0.20	0.35
800	1000	0.20	0.40	0.25	0.45
1000	1250	0.20	0.50	0.30	0.55
1250	1600	0.20	0.50	0.35	0.65
1600	2000	0.30	0.60	0.40	0.80
2000	2500	0.40	0.80	0.45	0.90
2500	3150	0.50	0.90	0.50	1.00
3150	4000	0.50	0.90	0.55	1.10
4000	5000	0.50	1.00	0.60	1.20
5000	6300	0.50	1.00	0.65	1.30
6300	8000	0.60	1.20	0.70	1.40
8000	10000	0.60	1.20	0.75	1.50
10000	--	0.70	1.40	0.80	1.60

### D. Materiale folosite pentru fabricația rulmenților sunt prezentate în tabelele 2.4 și 2.5

Valorile de rezistență ale materilor prime pentru fabricarea căilor de rulare a bilelor

**Tabel 2.4**

Materie primă	$\sigma_{F 0,2}$ kp/mm <sup>2</sup>	$\sigma_z$ kp/mm <sup>2</sup>	H <sub>v</sub> kp/mm <sup>2</sup>	$\sigma$ % L = 5 d
42CrNiMo4V	45	65 - 80	170 - 225	16
28CrNiMo4V	55	75 - 90	210 - 255	14
CK 45 N	32	60 - 72	160 - 200	15

Tabel 2.6

Diametru d mm	CK 45 N Hv = 150 Cs 180	42 Cr Mo 4 V Hv = 197 Cs kp	28 Cr Ni Mo 4V Hv = 232 Cs kp
100	4750	5600	7900
150	10600	12600	17800
200	19400	22600	31500
250	30000	25200	49000
320	49000	58000	81000

Materialele folosite pentru căile de rulare sunt oțeluri de îmbunătățire, iar pentru corpurile de rulare sunt oțeluri de rulmenți tip RUL 1 și RUL 2 (norma internațională E11250). Căile de rulare sunt călite la suprafață prin CIF-are.

#### **E. Modul de montare și pretensionare a șuruburilor de fixare.**

##### **- Contactul prin frecare a suprafețelor cu mișcare relativă în plan orizontal**

Șuruburile de înaltă rezistență de la fixarea componentelor cu mișcare relativă asigură transmiterea forței în direcție radială și tangențială între legătura rotativă și construcția anexă prin contact de frecare la suprafețele în cauză.

Motivul apariției acestor forțe de frecare îl constituie asigurarea pretensionării șuruburilor. Forțele transmise șuruburilor sunt dependente de forța de pretensionare la montaj a șurubului  $F_M$  și coeficientul de frecare  $\mu$  dintre suprafețele care se suprapun.

#### **Organele de asamblare**

Fixarea rulmentului pe ansamblele rotitoare se face prin șuruburi, iar în acest scop sunt prevăzute găuri speciale (corespunzătoare) în inele. Șuruburile utilizate trebuie să fie grupe de caracteristici mecanice 8.8, 10.9 sau chiar 12.9 (grupe internaționale) cu momentele de strângere rediate în tabelul 2.6.

Forțele de încovoiere trebuie obligatoriu evitate.



Tabelul 5

Diametrul șuruburilor (mm)	Diametrul găurii (orificiului) (mm)	Momente de strângere Nm	
		Grupa de caracteristici	
0	1	8.8	10.9
M16	18	2	3
M18	20	190	260
M20	22	260	360
M24	26	320	520
M27	30	640	900
M30	33	950	1350
		1300	1800

Suprafața de așezare a rulmenților (SR) trebuie să fie plană pentru ca la fixare rulmentul să nu fie pretensionat. Prin devieri neadmisibile a planeității se creează tensiuni pe căile de rulare, care au drept urmare apariția unor sarcini de vârf în aceste zone (eliminarea acestora se face printr-o prelucrare mecanică corespunzătoare a suprafeței de sprijin). Abaterile de la planeitate sunt date în tabelul 2.7 .

Tabelul 2.7

Diametrul primitiv "DL" (mm)		Abaterile de planeitate (mm)		
peste	până la	RS cu bile pe două rânduri	RS cu bile pe un rând	RS cu role
0	1	2	3	4
--	1000	0.20	0.15	0.10
1000	1500	0.25	0.19	0.12
1500	2000	0.30	0.22	0.15
2000	2500	0.35	0.25	0.17
2500	4000	0.40	0.30	0.20
4000	6000	0.50	0.40	0.30
6000	8000	0.60	0.50	0.40

Șuruburile trebuie să fie astfel dimensionate, ca în cazul cel mai nefavorabil să existe totuși o forță minimă de rezistență (forța axială la vârful șurubului  $F_{ax}$ ). Dacă forța radială  $F_R$  respectiv forța tangențială  $F_T$  va fi mai mare decât forța de frecare, contactul prin frecare nu va mai fi suficient .

La o componentă a forței radială – tangențială  $F_R$  mai mare de 10 % din forța axială  $F_A$  se recomandă un control matematic a determinării frecării executat de către producător.

Mărimea și numărul șuruburilor de fixare pentru cazuri de funcționare normale, adică  $F_R/F_A < 10\%$  se stabilesc funcție de mărimea ariei suprafețelor ce pot intra în mișcarea relativă.

Transmiterea și preluarea forțelor radiale și tangențiale poate fi relativă dacă :

1. Construcția în cauză va fi asamblată numai prin influența formei constructive a alezajului, (pe baza toleranțelor mici admise doar la diametre mici)
2. Contactul prin forță prin :
  - folosirea șuruburilor de clasă superioară ( pretensionarea prin tijă )
  - alegerea unei soluții de asamblare cu un diametru de șurub mai maresau
  - alegerea unui lagăr rotativ sau diferit cu un număr de șuruburi mai mari

Valoarea coeficientului de frecare  $\mu$  a suprafețelor suprapuse poate fi mărită prin folosirea materialelor adezive (ex. Loctite-0586).

## 2.4 Măsurarea progresului uzurii

### 2.4.1 Măsurarea uzurii

Pentru măsurarea uzurii se vor stabili diferite poziții de măsurare pe un perimetru de  $90^\circ$  ( vezi figura 2.26 ). Locurile de măsurat se vor ordona între construcția anexă inferioară și inelul lagărului, înșurubat la construcția superioară. Pentru măsurători de control ulterioare și pentru evaluarea valorilor măsurate se vor indexa permanent pozițiile de măsurat. Pozițiile de măsurat din construcția anexă și pentru inelul superior se vor stabili asemănător.

Pentru măsurătoare se va alege un aparat de măsurat corepunzător cu o exactitate de  $1/100$  mm. Valorile măsurate vor fi trecute în protocolul de măsurat tabelul 2.8 iar valoarea maximă în tabelul 2.9 .

### 2.4.2 Desfășurarea măsurătorii

#### Măsurătoarea A (adâncime)

- Punctul de greutate S a părții rotative se va localiza în centrul de greutate deasupra axei rotative.
- Se va măsura la toate punctele de măsurat adâncirea părții rotative față de partea fixă.
- Partea rotativă se va roti cu  $90^\circ$  și va cuprinde din nou toate cele 4 puncte de măsurat.
- Repetarea măsurătorilor până ce poziția de pornire a părții rotative va fi din nou atinsă.

#### Măsurătoarea B1 (jocul de răsturnare)

- Punctul de greutate S se va stabili pentru  $I_{\max}$  și  $F_{\max}$  în direcția elindei (1).
- Se vor măsura punctele de măsurare de sub elindă (1) și de sub contragreutate (3).
- Partea rotative se va roti cu  $90^\circ$  și va cuprinde din nou toate cele 4 puncte de măsurat.
- Repetarea măsurătorilor până ce poziția de pornire a părții rotative va fi din nou atinsă.

#### Măsurătoarea B2 (jocul de răsturnare)

- Punctul de greutate se va stabili maxim în direcția contragreutății (3).
- Continuarea măsurătorii ca la B1.

Valorile măsurate în cazul A în comparație cu punctul de pornire dau mrima adâncirii părții rotative. Jocul de răsturnare rezultă din diferența valorilor măsurate din cazurile B1 și B2 într-o poziție comună. Rezultatele măsurătorilor vor fi comparate cu valorile din documentația tehnică pentru poziția centrului de greutate al părții rotative (greutatea pentru ridicat F și descărcarea I), definite exact pentru cazurile B1 și B2.

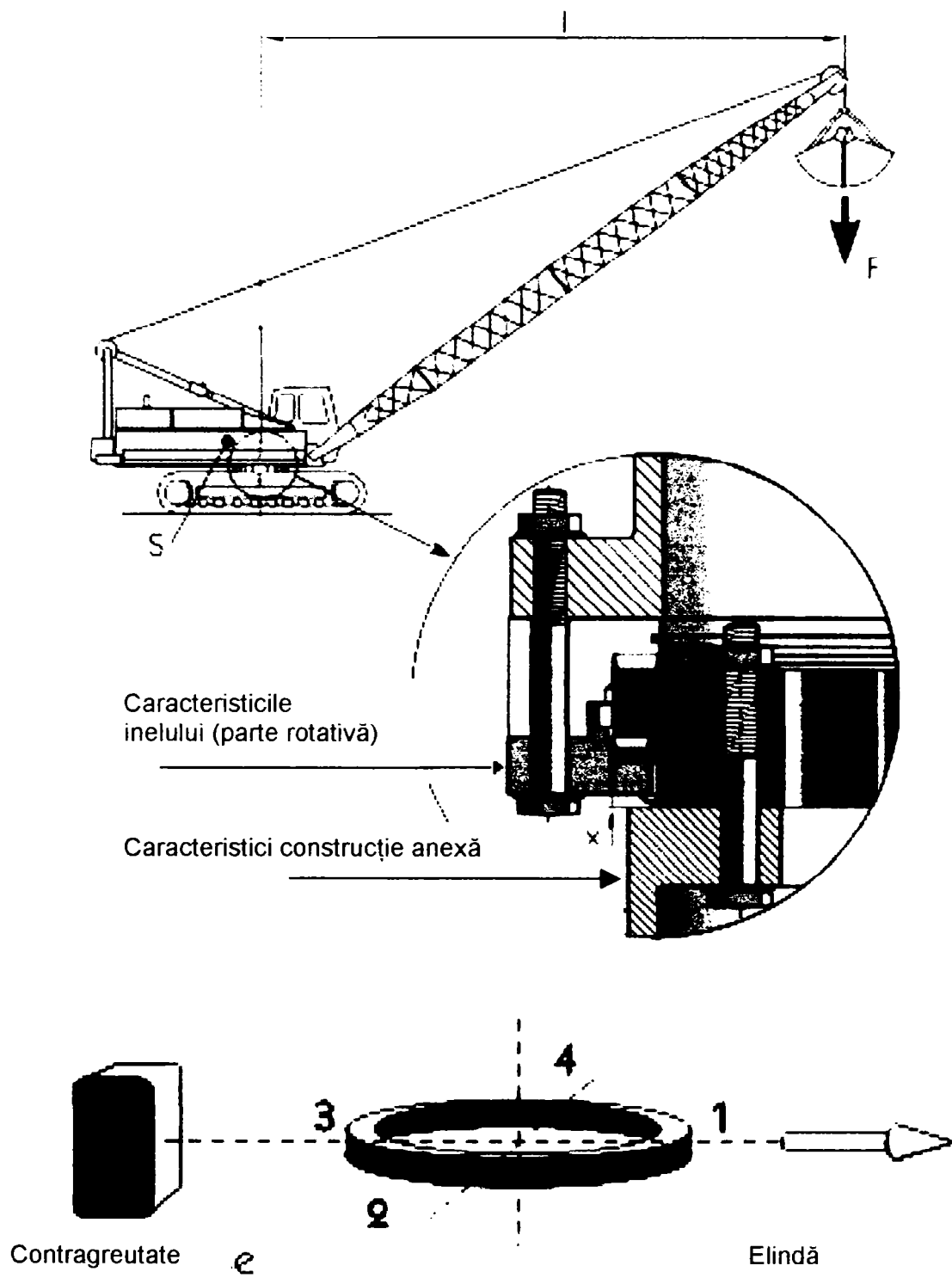


Figura 2.26 Poziții pentru măsurarea uzurii

Tabelul 2.8 :notarea valorilor măsurate X

Data măsurătorii:			Măsurătoare A: F = .....kN; l= .....m		
Utilaj (denumire):			Măsurătoare B1: F = .....kN; l= .....m		
Ore de funcționare mecanismul de rotire:			Măsurătoare B2: F = .....kN; l= .....m		
Măsurătoare A	> > >	M <sub>răs</sub> = =	0 ; Centrul de greutate a părții rotative este deasupra axei de rotire		
Măsurătoare B1	> > >	M <sub>răs</sub> >> >>	0 ; Distanța max. a centrului de greutate de la axa rotativă în direcția elindei		
Măsurătoare B2	> > >	M <sub>răs</sub> << <<	0 ; Distanța max. a centrului de greutate de la axa rotativă în direcția contragreutății		
Caracteristici la construcția anexă		Caracteristici la inel (parte rotativă)			
		1	2	3	4
1		A	A	A	A
		B1		B1	
		B2		B2	
2		A	A	A	A
		B1		B1	
		B2		B2	
3		A	A	A	A
		B1		B1	
		B2		B2	
4		A	A	A	A
		B1		B1	
		B2		B2	

Jocul de răstrnare rezultă din diferența valorilor de măsurat X, din măsurătorile B1 și B2

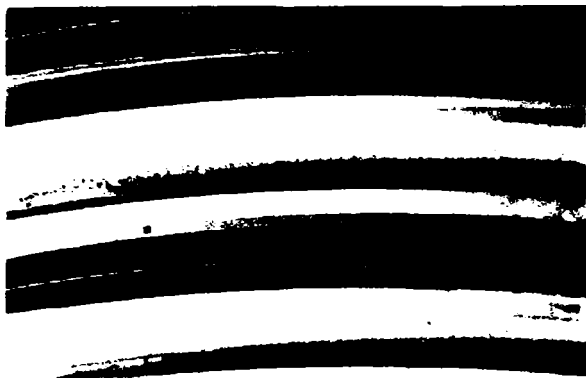
$$J_{r\grave{a}s} = X_{(B1)} - X_{(B2)} \quad (2.7)$$

$$J_{max.} = J_{r\grave{a}s(B1)} - J_{r\grave{a}s(B2)} \quad (2.8)$$

Tabelul 2.9 : jocuri în lagăre pentru fiecare rând de măsurat

	Data	Ore de funcționare	Distanța $x_{max}$	Adâncimea	Jocul de răsturnare
		Mecanismul de rotire	din Măsurătoarea A	vechi $x_{max}$ - nou $x_{max}$	maxim.
		h	mm	mm	$J_{max}$ mm
Măsurătoare de pornire				----	
2.Măsurătoare					
3.Măsurătoare					
4.Măsurătoare					
5.Măsurătoare					
6.Măsurătoare					
7.Măsurătoare					
8.Măsurătoare					
9.Măsurătoare					
10.Măsurătoare					
Valoarea limită a uzurii				$J_{limită}$	

### 2.4.3 Tipuri de uzură



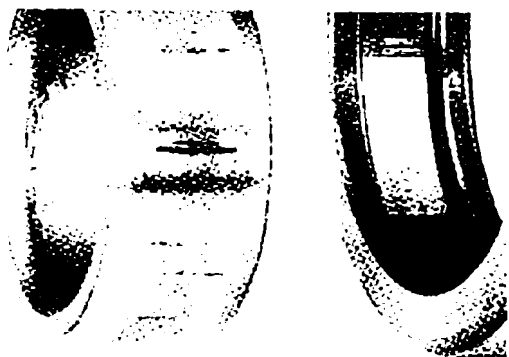
#### ***Uzură provocată de particule abrazive***

Mici adâncituri pe căile de rulare; suprafețe uzate sau unsoare contaminată (culoare modificată) de particule desprinse din colivie. Datorată în general lipsei de curățenie pe parcursul montării.



#### ***Uzură cauzată de ungerea necorespunzătoare***

Suprafață uzată, uneori cu aspect de oglindă; colorare în albastru-maroon după o perioadă de funcționare. Căuzată de ungerea insuficientă, ce a condus la o creștere rapidă a temperaturii.



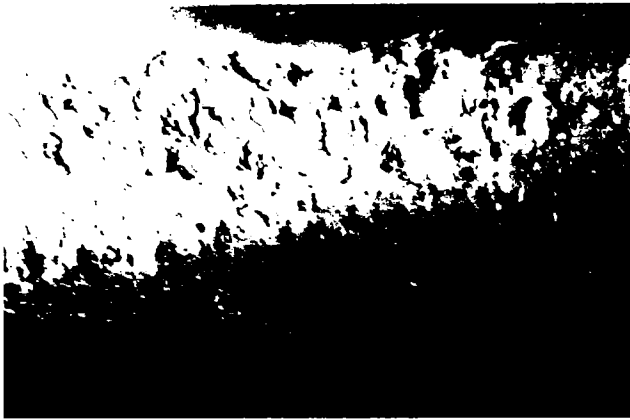
#### ***Uzură cauzată de vibrații***

Mici adâncituri alungite la rulmenții cu role; mici adâncituri circulare la rulmenții cu bile, strălucitoare sau oxidate la fund. Rulmentul a fost expus la vibrațiile ansamblului aflat în stare oprită.



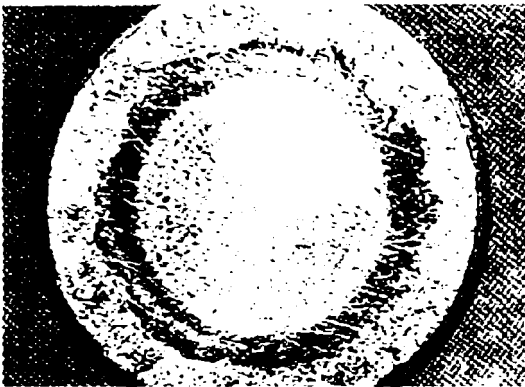
#### ***Amprentări datorate erorilor de montaj sau supraîncărcării***

Amprentări pe ambele inele, la distanțe egale cu cele dintre corpurile de rostogolire. Forța de montare a fost aplicată pe celălalt inel, sau rulmentul a fost montat prea sus pe un arbore conic, ori a fost supraîncărcat fără să fie rotit.



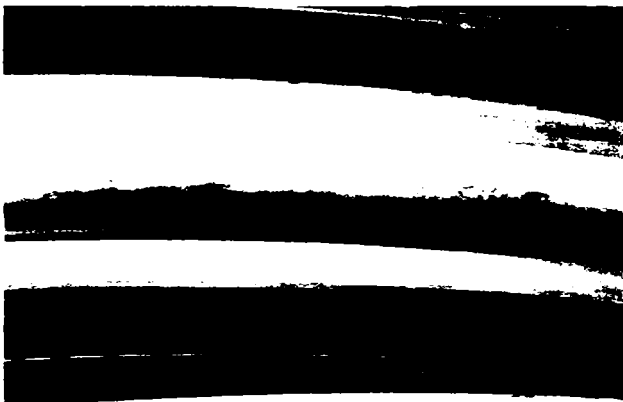
***Adâncituri datorate impurităților***

Mici amprentări în lungul căilor de rulare și pe corpurile de rostogolire. Impuritățile au intrat în rulment pe parcursul montării, cu lubrefiantul sau din mediul de funcționare datorită etanșării necorespunzătoare.



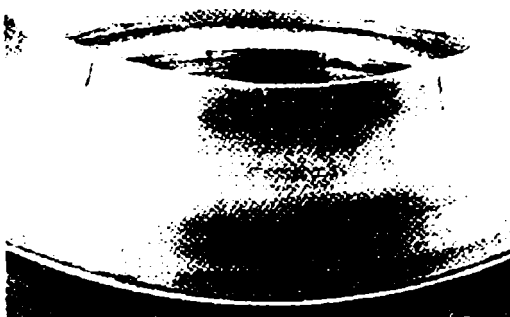
***Griparea suprafețelor frontale ale rotelor și ale umerilor de ghidare***

Fetele frontale ale rotelor și suprafețele umerilor sunt zgâriate și decolorate din cauza patinării sub sarcini axiale mari și ungere neadecvată.



***Griparea prin alunecare a rotelor și a căilor de rulare***

Porțiuni cu zgârieturi și decolorate la începutul zonei de încărcare pe căile de rulare și pe suprafețele rotelor. Datorate accelerării rotelor la intrarea în zona de încărcare.



***Griparea căilor de rulare la intervale egale cu distanța dintre role***

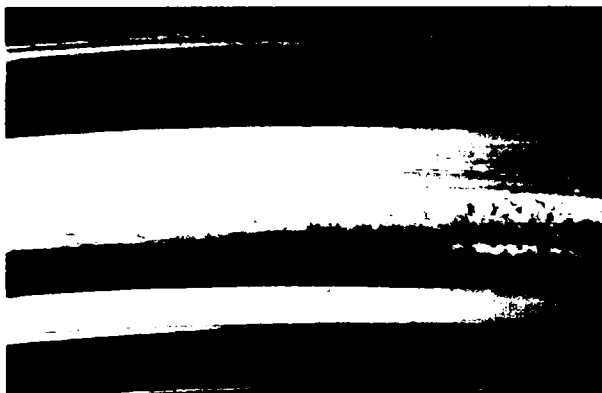
Striații transversale de gripare la intervale egale cu distanța dintre role. Cauze posibile: pentru rulmenții cu role cilindrice, inelul cu role și colivie a fost montat dezaxat, iar pentru rulmenții cu role butoi sau cu role conice, au fost aplicate lovituri pe celălalt inel, sau au fost supraîncărcați.





**Griparea în rulmenții axiali cu bile**

Striații diagonale de gripare pe căile de rulare. Datorate turației excesive în raport cu sarcina de încărcare.



**Griparea suprafețelor exterioare**

Strierea sau decolorarea alezajului inelului, a suprafețelor exterioare sau a fețelor laterale. Datorată rotirii relative a inelului față de arbore sau carcasă.



**Deformarea de suprafață**

Mici cratere, de adâncime mică cu suprafețe de rupere cristaline. Se datorează lubrefierii necorespunzătoare. Atunci când filmul de lubrefiant nu poate separa cele două suprafețe, de exemplu datorită lubrefiantului insuficient sau a scăderii vâscozității provocată de creșterea temperaturii, suprafețele vor intra pentru moment în contact.



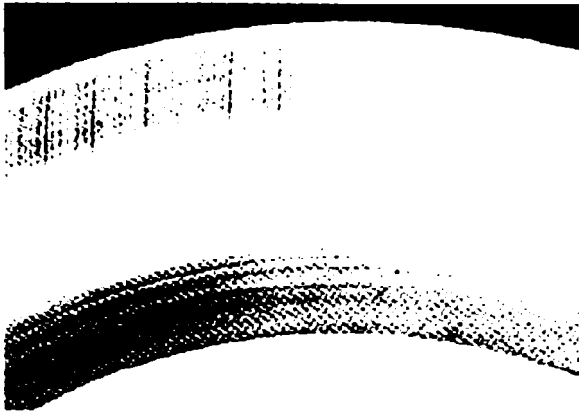
**Coroziunea sau oxidarea în profunzime**

Striații gri-negre, în lungul căilor de rulare, în general corespunzând cu distanța dintre corpurile de rostogolire. Cauzate de apă, umezeală sau suprafețe corozive pătrunse în rulment. Într-o fază mai evoluată, apar cratere pe suprafețele rulmenților.



#### ***Coroziunea de contact***

Apare atunci când există o mișcare relativă între rulment și arbore sau carcasă. Aceasta apare ca oxidare a suprafețelor exterioare ale rulmentului, sau în alezaj; pe pozițiile corespunzătoare de pe căile de rulare. Apar de asemenea urme pronunțate de încărcare.



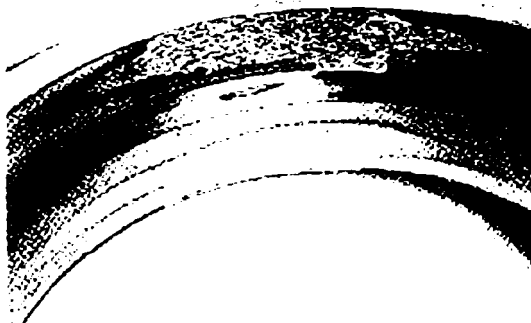
#### ***Deteriorarea cauzată de trecerile curenților electrici prin rulment***

Canelări sau cratere maro-închis sau gri-negru pe căile de rulare sau corurile de rostolire, precum și închiderea la culoare a acestora. Atunci când trece curentul electric prin rulment, apare o „sudare” între suprafețele elementelor rulmentului.



#### ***Exfolierea cauzată de pretensionare***

Urme foarte pronunțate pe căile de rulare. Cauzată de pretensionarea datorată unui ajustaj cu strângere prea mare sau a distanței prea mari de conducere.



#### ***Exfolierea cauzată de ovalizare ( blocare )***

Urme pronunțate de încărcare în două zone diametral opuse ale fiecărui inel și exfolierea în aceste zone. O soluție posibilă este metalizarea locașului și rectificarea ulterioară. Dacă carcasa este montată pe o suprafață neplană, alezajul acesteia poate fi deformat (necircularitate).



**Exfolierea datorată încărcării axiale**

Urme pronunțate de încărcare și exfoliere pe una din fețele laterale ale inelului sau pe una dintre căile de rulare ale rulmenților pe două rânduri. Cauze posibile : erori de montaj ce duc la încărcări axiale, pretensionarea excesivă, blocarea unui lagăr liber sau libertate de mișcare axială insuficientă.



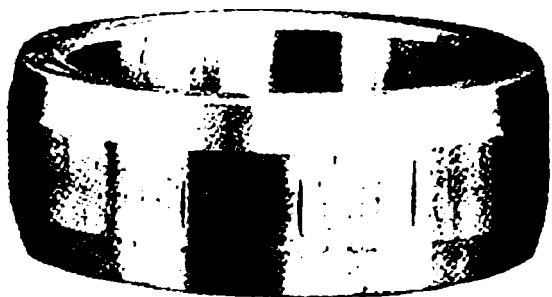
**Exfolierea datorată dezaxărilor**

Rulmenții radiali cu bile cu urme de încărcare în două zone diametral opuse. Datorată dezaxării lagărelor. În rulmenții cu role cilindrice, exfolierea pornește de la marginea căii de rulare din cauza montării defectuoase.



**Exfolierea datorată amprentărilor**

Exfolierea pe cale de rulare cu amprentări corespunzând intervalelor dintre corpurile de rostogolire. Cauzată de montarea incorectă, ducând la supraîncărcarea rulmentului când subansamblul este oprit.



**Exfolierea datorată gripării**

Griparea prin alunecare, apare ca o exfoliere pe căile de rulare în apropierea zonei de încărcare unde rolele sunt accelerate.



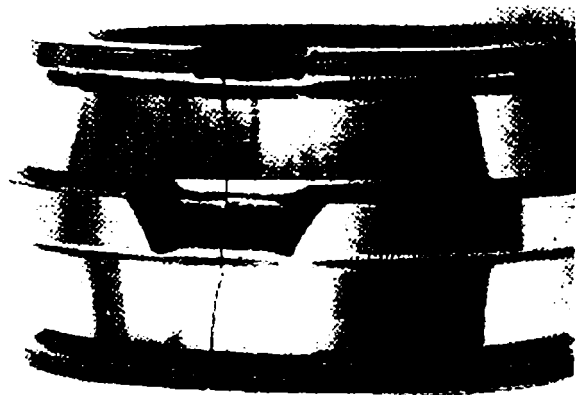
***Exfolierea datorată coroziunii de contact***

Exfolierea pe cale de rulare a unui inel sau zone corodate pe suprafața exterioară sau în alezaj. Se datorează ajustajului prea lejer sau locașului cu erori de formă.



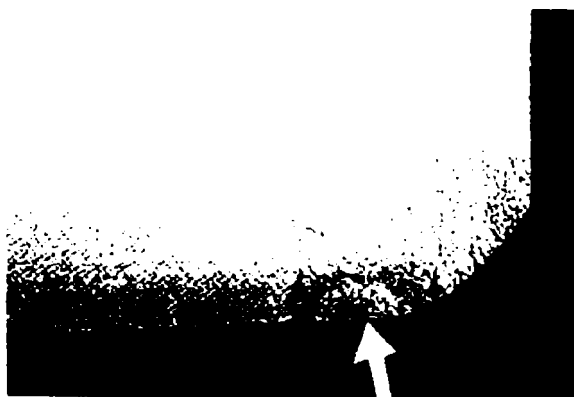
***Exfolierea datorată canelărilor sau craterelor***

Canelările sau craterele lucioase sau oxidate. Cauzate de vibrațiile în repaos, sau urme întunecate sau arsuri provocate de trecerea curentului electric.



***Fisuri provocate de manevrarea brutală***

Fisuri și spărturi, în general pe o față. Cauzate de lovituri aplicate direct pe inel în timpul montării.



***Fisuri cauzate de conducerea excesivă pe con***

Inelul este fisurat pe toată secțiunea transversală. Cauza este fie conducerea excesivă pe un locaș conic, fie ajustajul cu strângerea prea mare pe un locaș cilindric.



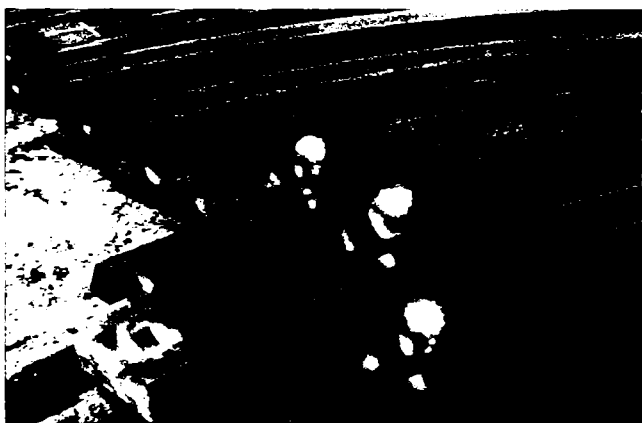
***Fisuri cauzate de gripare***

Fisuri împreună cu griparea rulmentului ce poate fi fisurat transversal pe toată secțiunea.



***Fisuri cauzate de coroziunea de contact***

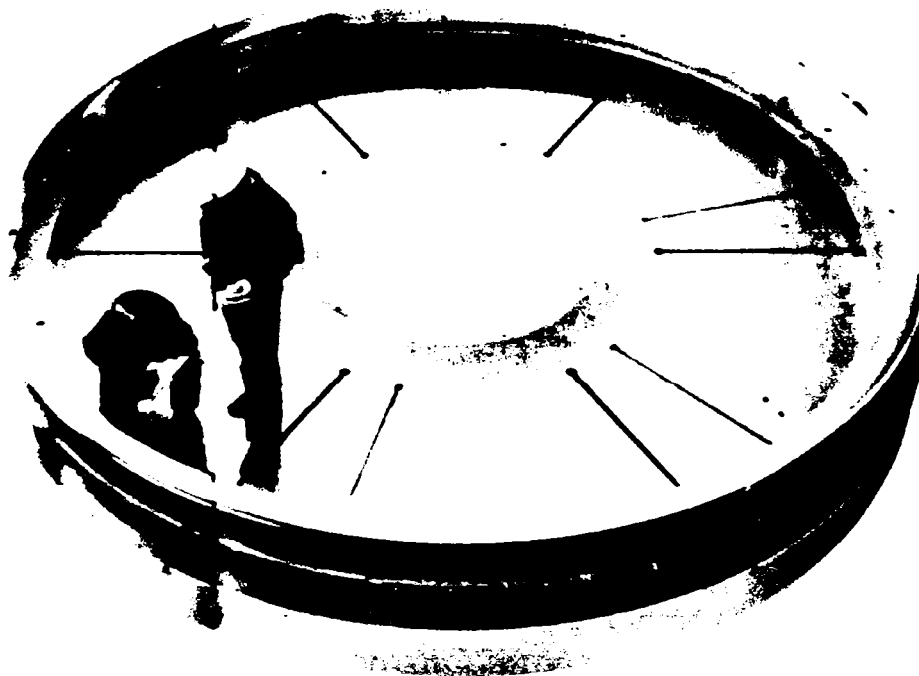
Fisuri transversale pe inelul interior și în general fisuri longitudinale în inelul exterior, legate de coroziunea de contact. Sunt rezultatul coroziunii de contact cauzate de un ajustaj prea lejer sau de un locaș cu erori de formă.



## 2.5 Managementul calității fabricației rulmenților grei și a materialelor utilizate

### 2.5.1 Generalități

În construcția rulmenților grei, în varianta integrală sau din părți distincte ce se assemblează ulterior, controlul calității prin metode moderne de investigare reprezintă una din fazele esențiale ale fabricației curente.



- Trebuie să existe sisteme de asigurare a calității potrivit DIN EN ISO 9001.
- Planificarea calității începe cu primul contact cu clientul. Se stabilește dacă cerințele și pretențiile clientului corespund siguranței în funcționare și dacă acestea se pot pune în practică prin fabricarea produsului. După definirea exactă a cererilor se vor stabili caracteristicile calității în colaborare cu departamentele corespunzătoare uzinale și se vor concretiza în desene, planuri de lucru, instrucțiuni de verificare etc.( aceasta include și ambalarea, transportul și service-ul ).
- Printr-o verificare efectivă a calității se supraveghează și se asigură calitatea produselor pe parcursul procesului de producție. Pe baza desenelor, planurilor de verificare etc. se va efectua o verificare a părților componente prin conducătorul fiecărui loc de muncă.
- Angajații de la asigurarea calității vor efectua un control sistematic al probelor. Se vor efectua și controale pe faze de execuție ( 100% ).
- Verificarea materialelor – determinarea valorilor mecanice, analizele structurale, controlul îmbinărilor, verificările cu ultrasunete și cele distructive – garantează o calitate corespunzătoare.
- Dacă la verificarea calității se constată abateri, sistemul de asigurare a calității împiedică păstrarea în procesul de execuție a unor defecte repetabile.

- După terminarea execuției, fiecare rulment va fi supus unui control funcțional și dimensional.
- Supravegherea regulată a mijloacelor de măsurat cu ajutorul calculatorului garantează faptul că pe tot domeniul de asigurare a producției și calității, ajung doar aparate de măsură verificate și calibrate.
- Firmele furnizoare de materie primă și materiale trebuie să asigure un grad înalt a calității produselor aprovizionate. Controlul la intrarea mărfii se întregeste prin controale regulate ale sistemului tuturor firmelor subfurnizoare. Prin aceasta se garantează că se vor încheia contracte doar cu firmele care au demonstrat calitate și seriozitate în livrare.
- Controalele interne garantează calitatea producției și siguranța în funcționare a sistemului. Concluziile rezultate din aceste controale și sistemele computerizate oferă posibilitatea unei conduceri corespunzătoare a calității.
- Cerințele crescânde de cunoaștere se vor asigura prin cursuri de specializare ale angajaților. Mai mult, este important să conștientizăm angajații că fiecare în parte își aduce aportul la asigurarea calității.

Importanța aplicării metodelor moderne și eficiente de control a calității a crescut și crește pe măsura dezvoltării științei și tehnicii. Dintre factorii cu semnificație în legătură cu intensificarea preocupărilor pentru folosirea metodelor moderne de cercetare a calității oțelurilor se menționează:

- Dezvoltarea fără precedent a industriei siderurgice în perioada ultimilor ani, cu accentul pe diversificarea produselor;
- Evoluția tehnologiilor de vârf din construcția utilajelor grele mobile, domeniul echipamentelor electrice de comandă-proces, supravegherea computerizată, etc;
- Asigurarea protecției muncii, sociale și a mediului prin ameliorarea calităților produselor, a obligativității garantării fiabilității și a siguranței în funcționare ale acestora.

În asemenea conjunctură, asigurarea calității produselor metalice și nemetalice precum și a unor îmbinări ale acestora este riguros condiționată de aplicarea și promovarea unor metode moderne de analiză structurală și de încercări mecanice eficiente și sigure pe toată durata execuției și exploatării produselor.

Dezvoltarea impetuoasă a metodelor moderne de analiză structurală și încercări mecanice are ca principal argument eficiența economică. Ea rezultă în primul rând pe cale directă prin :

- Reducerea duratei de folosire a tehnologiilor active de execuție;
- Mărirea productivității și ritmicității muncii;
- Preîntâmpinarea stagnărilor în producție și în exploatare prin eliminarea în faze timpurii de execuție a semifabricatelor, a pieselor necorespunzătoare și micșorarea rebuturilor ;
- Îmbunătățirea calității producției de rulmenți grei prin mărirea gradului de precizie a controlului structural și dimensional.

Printre principalele surse indirecte de eficiență economică și aplicare a metodelor de investigare moderne se consideră:

- Mărirea durabilității și fiabilității de funcționare a produselor;
- Creșterea gradului de siguranță a exploatării;
- Micșorarea gradului de risc și evitarea pierderilor provenite din avarii.

Posibilitatea unei predicții fundamentale de comportare în exploatare și alegerea regimurilor optime de funcționare.

Folosirea metodelor moderne de analiză structurală și încercări mecanice (singulare sau combinate) permite cercetătorilor alegerea celor mai bune variante de control a calității oțelurilor pentru rulmenți grei necesari utilajelor grele mobile.

### 2.5.2 Date statistice privind durata de funcționare și uzura rulmenților folosiți la utilajele de tip excavator cu rotor.

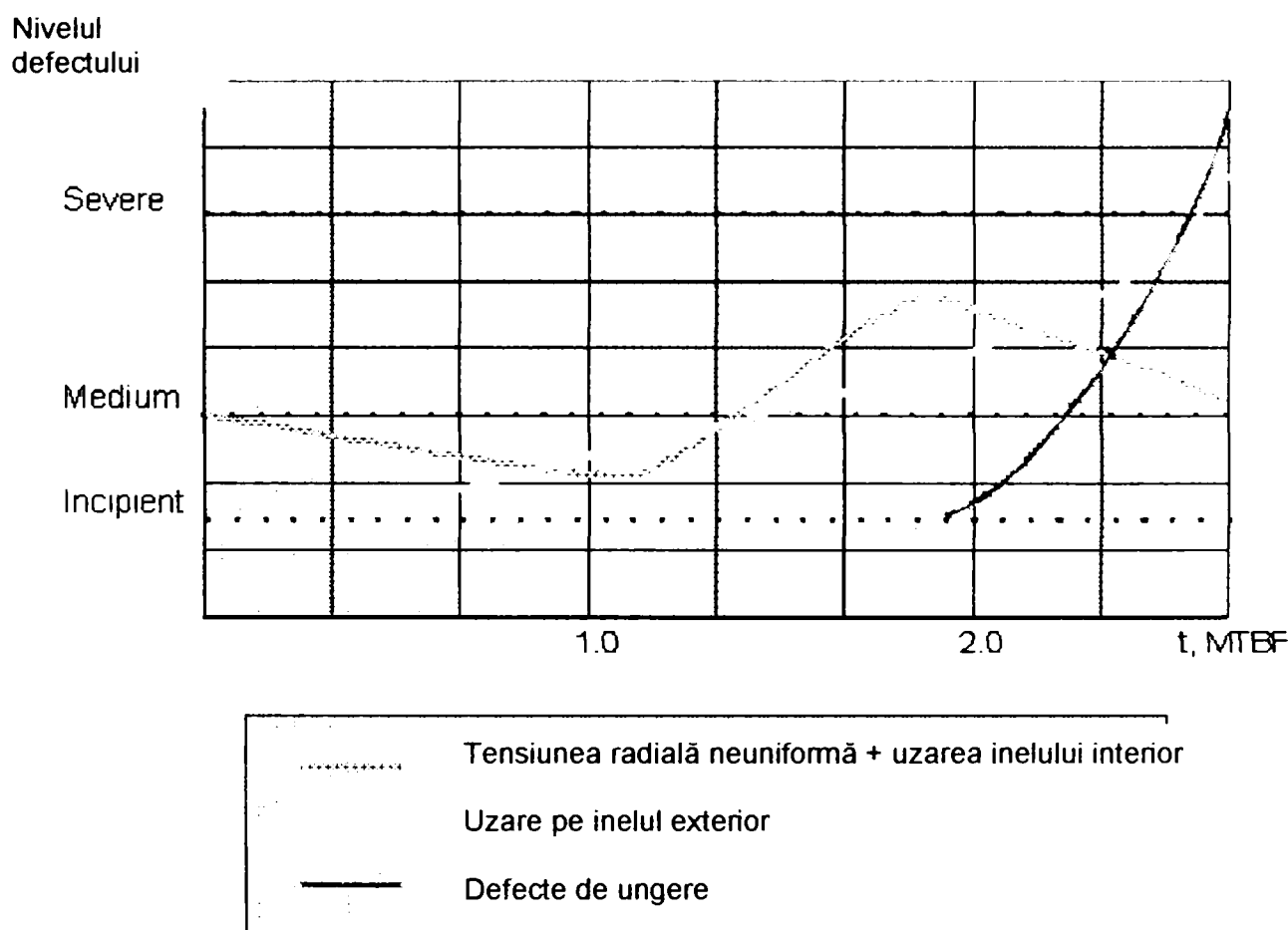


Fig. 2.27

În figura 2.27 este reprezentată durata de funcționare și uzură a rulmenților grei pentru utilajele de tip excavator cu roată portcupe. Din figură rezultă că nivelul defectului variază în timp funcție de sarcina radială neuniformă ce poate determina uzura inelului inferior sau uzura inelului superior. Un factor important la defectarea rulmenților grei poate fi cauzată de funcționarea defectuasă a sistemului de ungere.



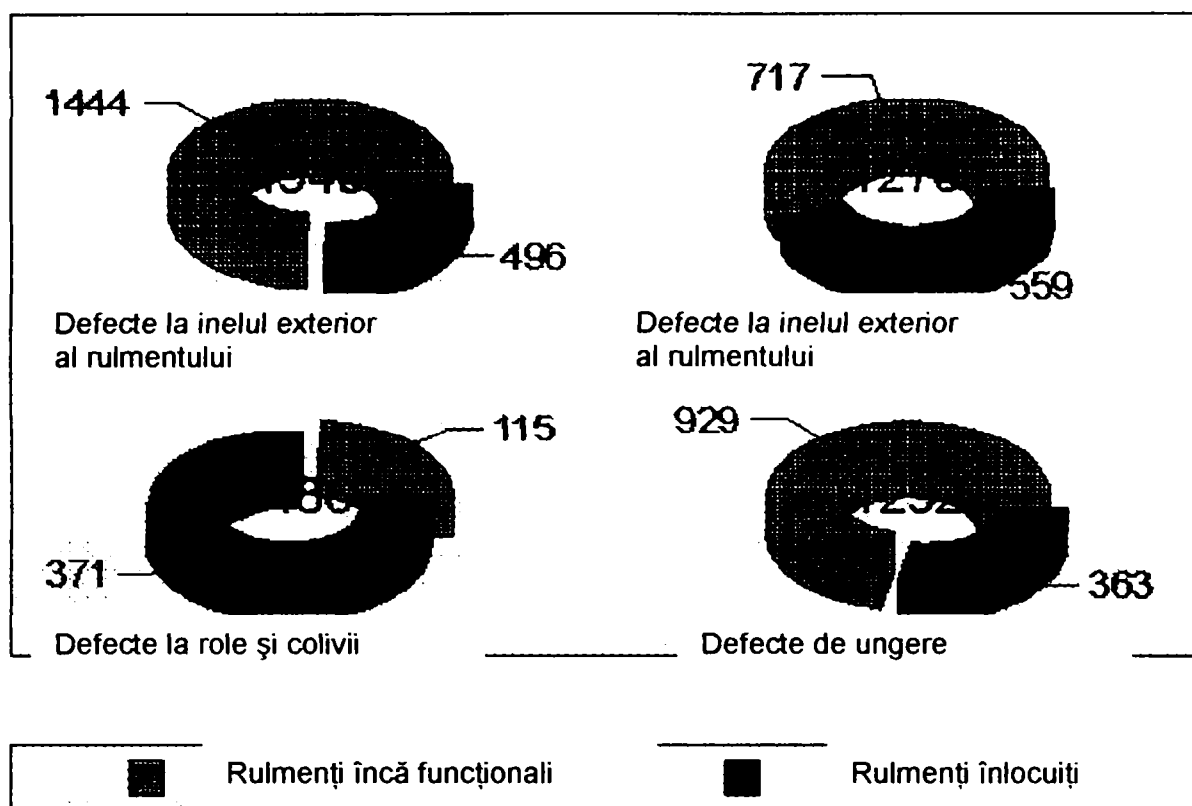


Fig. 2.28 Este reprezentată situația defectelor la rulmenții funcționali în cvomparație cu rulmenții înlocuiți

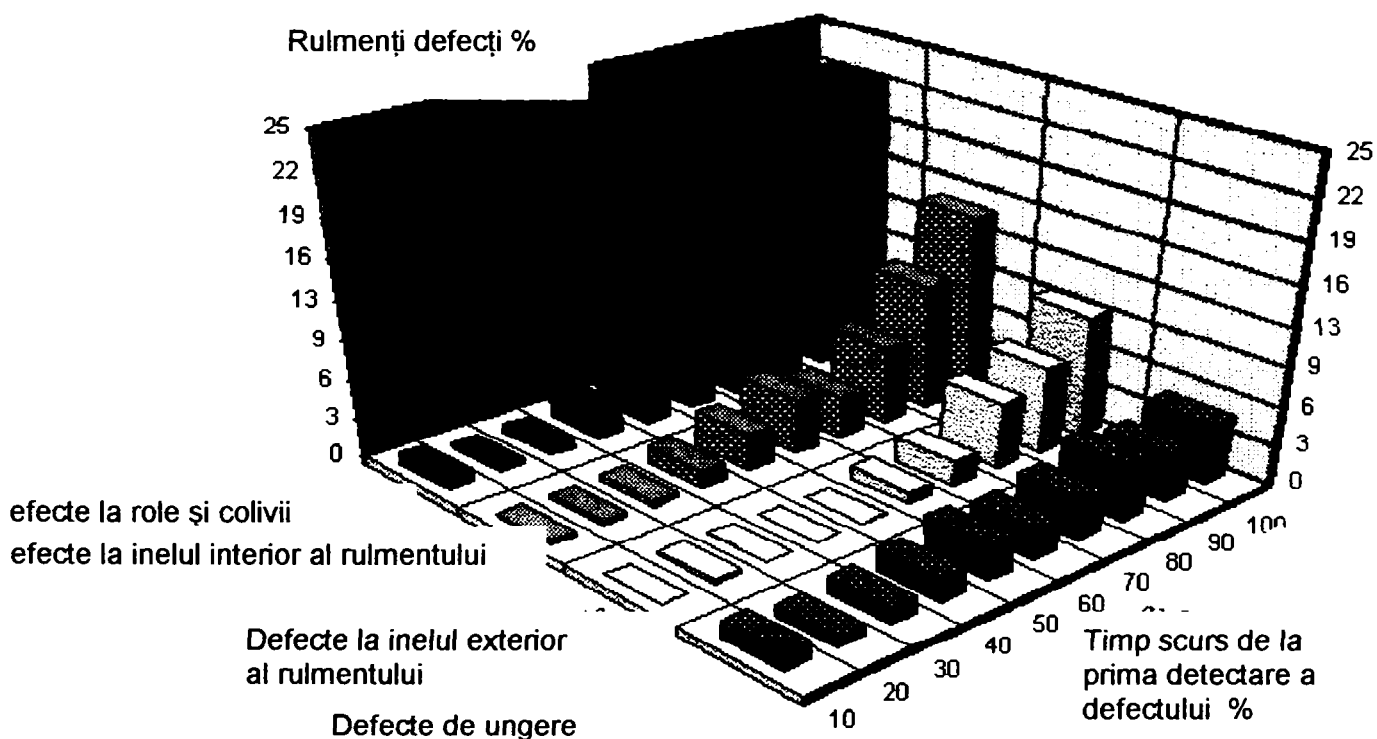


Fig. 2.29 Reprezintă dispersia defectelor pe role și colivii la inelul interior al rulmentului (culoare roșie) împreună cu defectele la inelul exterior al rulmentului (culoare galbenă) determinate de defectarea sistemului de ungere. Sunt identificate timpul scurs de la prima detectare a defectului (culoare verde) – date statistice

## 2.6 CONCLUZII

**2.6.1** Rulmenții de sprijin și rotire sunt organe de mașini de foarte mare importanță cu rol determinant în buna funcționare a U.G. deoarece pot și trebuie să preia simultan sarcini axiale foarte mari, sarcini radiale satisfăcătoare și momente de răsturnare și de rotire considerate.

**2.6.2** Datorită gamei diversificate de utilizări, constructorii de rulmenți grei au diversificat soluțiile, aceștia executându-se într-o gamă foarte largă de dimensiuni ( de până la 20 000 mm diametrul ) de forme constructive ( cu 1,2 sau 3 căi de rulare, cu căi de rulare monobloc sau segmentate, cu acționare prin coroana dințată exterioară sau interioară ).

**2.6.3** Domeniile de utilizare a rulmenților grei sunt foarte diversificate de la utilaje terestre până la tehnica aerospațială.

**2.6.4** Utilizarea metodei de calcul prin elemente finite face posibilă stabilirea mărimii deformărilor /deplasărilor și determinarea eforturilor în vederea stabilirii soluțiilor constructive prin proiectare.

**2.6.5** Au fost analizate influența condițiilor de montaj, a solicitărilor din inelele de rulmenți și bile, respectiv s-a analizat problematica ungerii și a etanșării determinându-se ( stabilindu-se ) condițiile minime necesare funcționării corecte.

**2.6.6** S-au stabilit soluții constructive de remediere a denivelărilor supra și infrastructurii, stabilindu-se abaterile de planeitate maxime admisibile și soluții pentru fixarea rulmenților de sprijin și rotire specifice U.G.

Astfel :

- pentru rulmenții de sprijin și rotire monobloc ( căi de rulare dintr-o singură bucată ) până la diametre de 8000 mm prin condițiile de montaj se impune o deformare a structurii portante mai mică.
- pentru rulmenții cu diametre mai mari de 8000 mm ( căi de rulare din segmente ) prin condițiile de montaj se admit deformații mai mari, acestea putând fi preluate de jocurile relative dintre segmente.

**2.6.7** Au fost identificate tipurile de uzură specifice U.G. funcție de condițiile de lucru și montaj, propunându-se soluții de remediere s-au stopare ale acestora.

**2.6.8** De o importanță deosebită este managementul calității, recepția materialelor, execuția rulmentului, montajul acestuia precum și modul de conservare transport și depozitare.

## CAP.3 – ASPECTE TEORETICE LEGATE DE STAREA DE SOLICITARE A RULMENȚILOR DE DIMENSIUNI MARI

### 3.1 Aprecierea eforturilor din rulment

#### 3.1.1 Calculul încărcării inelelor și bilelor pentru rulmenții cu un singur rând de bile

Fiecare bilă poate transmite partea de sarcină verticală  $K_z$  ce-i revine și o forță verticală pe direcția radială a căii de rulare. Pe direcția tangențială a căii de rulare nu poate fi preluată nici o forță; pe această direcție, bilele sunt libere pentru mișcarea de rotație a suprastructurii. Repartizarea sarcinii verticale  $K_z$  pe bile depinde de poziția sarcinii față de inelul de rulare. Nu acționează în nici un caz în centrul inelului, ci la o distanță  $e_r$  față de centru, stabilită de sarcinile care acționează asupra suprastructurii până la inelul de rulare al bilelor și care se modifică corespunzător cu starea de solicitare (fig.3.1).

Atâta timp cât această distanță  $e_r$  este mai mică decât un sfert din diametrul inelului, toate bilele participă, în mod teoretic, la transferul de sarcină. Dacă distanța  $e_r$  a sarcinii  $K_z$  de la centru depășește această valoare, unele bile nu vor fi solícitate și sarcina totală  $K_z$  va fi preluată numai de o parte a bilelor și compresiunea maximă exercitată asupra bilelor în cadrul inelului de rulare crește odată cu  $e_r$ . De aceea, este indicat ca, în cadrul tuturor stărilor de solícitate care apar și se repetă în funcționarea unui excavator cu roată portcupe, distanța  $e_r$  să nu depășească  $0,25 D_K$  ( $D_K$  - diametrul inelului de rulare). Pentru determinarea teoretică a compresiunii maxime exercitate asupra unei bile în cadrul unui inel de rulare, se presupune că, atât inelul inferior, cât și cel superior sunt perfect plane și căile de rulare au același diametru. Se mai presupune că ambele inele sunt susținute pe întreg perimetrul în mod uniform cu aceeași forță rezistentă astfel încât sunt îndeplinite condițiile pentru aplicarea metodei calculului simplu de rezistență. Ca urmare a acestor presupuneri, rezultă următoarele relații :

$$L_K = D_K \pi \quad (1)$$

$$W_K = 0,25 D_K L_K = 0,25 D_K^2 \pi \quad (2)$$

$$P_m = K_z L_K^{-1} = K_z D_K^{-1} \pi^{-1} \quad (3)$$

Unde:  $L_K$  – perimetrul inelului (m);

$D_K$  – diametrul mediu al căilor de rulare (m);

$W_K$  – momentul de rezistență al inelului (KNm);

$K_z$  – sarcina verticală asupra inelului de rulare (kN);

$P_m$  – solícitarea medie a inelului pe unitatea de lungime (KN/m) ;

$e_r$  – distanța radială a sarcinii  $K_z$  față de centrul inelului de rulare (m);

$n_K$  – număr total de bile în calea de rulare (buc.).

a) Dacă din analiza formulelor (1), (2) și (3) rezultă ca  $e_r D_K^{-1} \leq 0,25$ , toate bilele sunt solicitate și rezultă următoarele relații pentru solicitarea maximă și respectiv minimă a inelului pe unitatea de lungime :

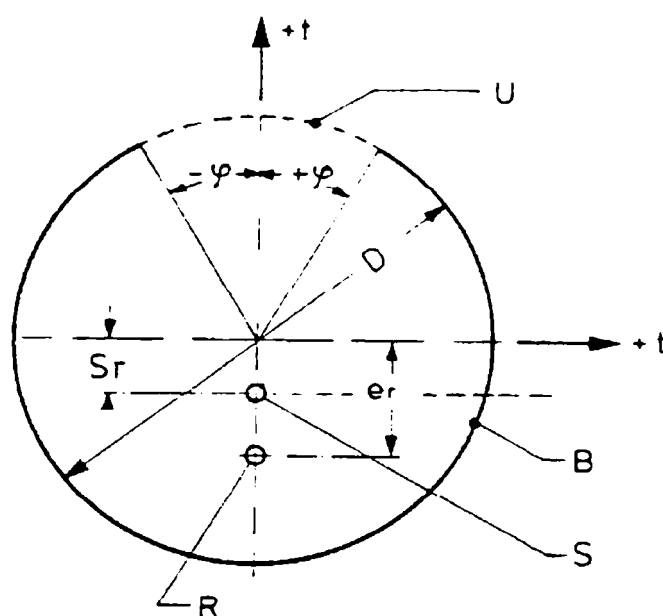
$P_1$  solicitarea maximă pe unitatea de lungime (KN/m) :

$P_2$  solicitarea minimă pe unitatea de lungime (KN/m):

unde :

$$P_1 = K_Z L_K^{-1} + K_Z e_r W_K^{-1} = p_m + 4 e_r D_K^{-1} \quad (5)$$

$$P_2 = K_Z L_K^{-1} - K_Z e_r W_K^{-1} = p_m - 4 p_m e_r D_K^{-1} \quad (6)$$



Unde :

U – zona nesolicitată a inelului;

B – zona solicitată a inelului;

S – centrul de greutate al segmentului de inel solicitat;

R – poziția sarcinii verticale;

**Figura 3.1** Inel de rulare cu figurarea zonei de tensiuni

b) Dacă  $e_r D_K^{-1} = 0,25$  rezultă pentru solicitarea maximă și minimă a inelului formula :

$$P_1 = 2 P_m \quad (7)$$

$$P_2 = 0 \quad (8)$$

c) Dacă  $e_r D_K^{-1}$  ar depăși valoarea de 0,25 atunci  $P_2$  devine negativ, deci lagărul ar trebui să transmită forțe de tracțiune prin inel, ceea ce este imposibil.

În acest caz transmiterea forței  $K_Z$  nu se mai face pe întreg perimetrul inelului, ci numai pe un segment al acestuia. Rezultă următoarele relații :

$$L_{\varphi} = D_K (\pi - \varphi) \quad (9)$$

$$L_{\varphi} D_K^{-1} = \pi - \varphi \quad (10)$$

$$S_{\varphi} = -0,5 D_K^2 \sin \varphi \quad (11)$$

$$S_{\varphi} D_K^{-2} = -0,5 \sin \varphi \quad (12)$$

$$S_r D_K^{-1} = -0,5 \sin \varphi (\pi - \varphi)^{-1} \quad (13)$$

$$I_{\varphi} D_K^{-1} = 0,125 (\pi - \varphi - 0,5 \sin 2\varphi) \quad (14)$$

$$I_r = I_{\varphi} - L_{\varphi} S_r^2 \quad (15)$$

$$I_t D_K^{-3} = 0,125 (\pi - \varphi - 0,5 \sin 2\varphi) - 0,25 \sin^2 \varphi (\pi - \varphi)^{-1} \quad (16)$$

$$a_1 = 0,5 D_K - s_r e_1 D_K^{-1} \quad (17)$$

$$a_1 D_K^{-1} = 0,5 - 0,5 \sin \varphi (\pi - \varphi)^{-1} \quad (18)$$

$$a_2 = 0,5 D_K \cos \varphi + s_r \quad (19)$$

$$a_2 D_K^{-1} = 0,5 \cos \varphi + \sin \varphi (\pi - \varphi)^{-1} \quad (20)$$

$$W_1 = I_r a_1^{-1} \quad (21)$$

$$W_2 = I_r a_2^{-1} \quad (22)$$

Momentul sarcinii  $K_Z$  în jurul centrului de greutate al liniei de sarcină(KNm)

$$M_K = K_Z (e_r - s_r) \quad (23)$$

$$P_1 = K_Z L^{-1} + M_K W_1^{-1} \quad (24)$$

$$P_2 = K_Z L^{-1} - M_K W_2^{-1} \quad (25)$$

Unde:

$L_1$  – lungimea sectorului de inel portant(m)

$S_{\varphi}$  – moment static al  $L_{\varphi}$  - t (KNm)

$S_r$  – distanța centrului de greutate  $L_{\varphi}$  de la axa t (m)

$I_{\varphi}$  - moment de inerție pentru  $L_{\varphi}$  -t

$W_1$  și  $W_2$  – momente rezistente (KNm)

$a_1$  și  $a_2$  – brațul de aplicare a forței (m)

Sarcina maximă care acționează asupra unei bile rezultă din valoarea  $P_1$  și numărul de bile  $n_1$  pe unitatea de lungime a inelului de rulare :

$$F_K = p_1 n_1^{-1} \quad (26)$$

$$n_1 = n D^{-1} \pi^{-1} \quad (27)$$

în care:

$n$  – număr total de bile în inel

Cât privește siguranța contra răsturnării suprastructurii rotitoare prin inelul de rulare cu bile, raportul  $e_r D_K^{-1} \leq 0,25$  trebuie respectat în funcționarea unui excavator cu roată portcupe indiferent cum se confirmă solicitările în practică. Deoarece diametrul inelului de rulare și implicit al construcției amplasate deasupra sa are un efect important asupra altor dimensiuni ale excavatorului cu roata

portcupe, (de exemplu a lungimii brațului roții portcupe), se tinde spre diametre cât mai reduse, alegându-se această valoare astfel încât suprastructura sa să asigure corespunzător contra basculării în jurul inelului de rulare (anexa I pag.10 – 13.)

Pe de altă parte, trebuie asigurată transmiterea de forțe prin bile, astfel încât uzura căilor de rulare să fie redusă și durata de exploatare a inelului cât mai lungă.

Transmiterea forței de la inel către bilă are loc într-un punct, deoarece raza căilor de rulare este mai mare decât raza bilei :  $n_k > 0,5 d_k$ .

Deoarece la mișcarea de rotație a suprastructurii trebuie transmise nu numai forțe pe direcția z, ci și forțe orizontale, pe direcția radială față de inelul de rulare, bila și calea de rulare nu se ating numai la baza căii de rulare, ci și în anumite zone laterale ale bazei căii de rulare. Diferențele de traiectorii care apar astfel, trebuie compensate prin mișcări de alunecare între bilă și calea de rulare.

Linia de atingere între bilă și calea de rulare și cu aceasta domeniul de solicitare maxim la compresiune între calea de rulare și bilă se modifică continuu într-o măsură oarecare în timpul mișcării de rotație.

Valorile limită ale raportului  $e_r D_k^{-1}$  funcție de raportul  $P_1/P_m$  se prezintă în tabelul 1

$e_r D_k^{-1}$	$P_1/P_m^{-1}$	$\omega$ (°)	$\omega$ (rad)
0,000	1,000	0,000	0,000
0,050	1,200	0,000	0,000
0,100	1,400	0,000	0,000
0,150	1,600	0,000	0,000
0,200	1,800	0,000	0,000
0,250	2,000	0,000	0,000
0,251	2,007	5,000	0,087
0,257	2,029	10,000	0,175
0,278	2,115	15,000	0,262
0,287	2,152	20,000	0,349
0,302	2,212	25,000	0,436
0,315	2,266	30,000	0,524
0,327	2,315	35,000	0,610
0,341	2,370	40,000	0,698
0,354	2,490	45,000	0,785
0,387	2,700	60,000	0,047
0,400	3,142	90,000	1,571

**Tabelul 3.1. Modificarea repartizării sarcinii în funcție de excentricitatea suprasarcinii**

### 3.1.2 Determinarea eforturilor maxime din inelele de rulare

Condițiile specifice grele de funcționare a elementelor de rulmenți (tensiuni ridicate 3000-5000 N/mm<sup>2</sup>, etc) au impus studierea solicitărilor și definirea unor caracteristici mecanice și proprietăți fizico-chimice ale oțelurilor folosite, astfel ca acestea să asigure valori cât mai ridicate de durabilitate.

Principalele solicitări care apar la elementele rulmenților grei sunt tratate în continuare.

Contactul între două corpuri, din care cel puțin unul are o suprafață curbă poate fi teoretic punctiform sau liniar; sub acțiunea forței de compresiune "Q" ia naștere o suprafață de contact ce poate fi: circulară sau eliptică la contacte punctiforme respectiv dreptunghiulară sau trapezoidală pentru contactul liniar.

Calculul tensiunilor și deformațiilor care iau naștere nu depășesc limita de proporționalitate.

În scopul determinării tensiunilor se consideră corpurile cu suprafețe curbe (fig.3.2) ce au curburile specifice ( $\rho = 1/R$ ) în planele I și II situate la 90°.

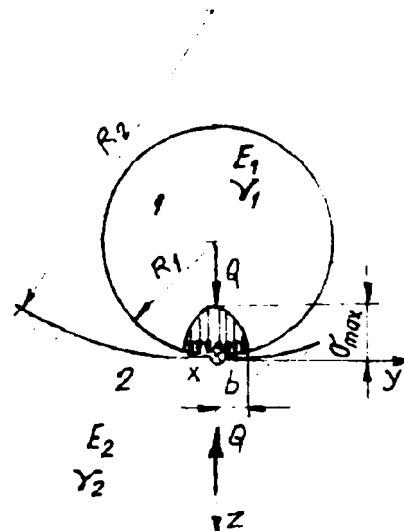


Fig.3.2

Semiaxele elipsei sunt determinate cu relațiile:

$$a = 2,82 \cdot l_a \sqrt{\frac{Q}{E \cdot \Sigma \cdot \rho}} \quad [\text{mm}] \quad (28.)$$

$$b = 2,82 \cdot l_b \sqrt{\frac{Q}{E \cdot \Sigma \cdot \rho}} \quad [\text{mm}] \quad (29.)$$

în care:

Q = forța normală dintre cele două corpuri (N),

E = modulul de elasticitate echivalent ce se determină cu relația:

$$E^{-1} = \frac{1}{2} \left( \frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right) \quad (30.)$$

în care:

$E_1, E_2$  = modulul de elasticitate în  $\text{N/mm}^2$  ale celor două corpuri;

$\nu_1, \nu_2$  = coeficienții de concentrație (coef. Poisson);

$l_a, l_b$  = coeficienți cu valori tabelare.

$$\Sigma \rho = (\rho_1 + \rho_2)_I + (\rho_1 + \rho_2)_{II} \quad (\text{mm}^{-1}) \quad (31.)$$

$\rho_1, \rho_2$  = curburile specifice pentru cele două corpuri în planurile I și respectiv II

Variația tensiunilor este eliptică, iar valoarea tensiunii medii pe suprafața de contact se determină cu relația:

$$\sigma_{sm} = \frac{Q}{\pi ab} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (32.)$$

Tensiunea maximă care apare la mijlocul suprafeței de contact este

$$\sigma_{s,max} = 1,5\sigma_{sm} = \frac{1,5Q}{\pi ab} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (33.)$$

în care înlocuind valorile din relațiile (33.) se obține

$$\sigma_{s,max} = \frac{5,88 \cdot 10^{-2}}{e_a e_b} * \sqrt[3]{QE^2 (\Sigma\rho)^2} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (34.)$$

Factorul  $\Sigma\rho$  este proporțional cu inversul diametrului nominal al corpului de rulare ( $1/D$ ) și înlocuind în relația (34) rezultă raportul  $K = Q/D_w^2$  numit "încărcare specifică".

Valoarea maximă care poate fi admisă pentru  $\sigma_{max}$  este limitată de caracteristicile materialelor corpurilor de contact, ea trebuind să rămână sub limita de proporționalitate ( $\sigma_p$ ), conform ipotezei anterior admisă, rezultă deci și o limitare pentru încărcarea specifică ( $K_z$ ).

În cazul contactului liniar semilățimea suprafeței dreptunghiulare de contact

$$b = 1,6 \sqrt{\frac{QR}{EL_{we}}} \text{ [mm]} \quad (35)$$

unde:  $L_{we}$  este lungimea suprafeței de contact, în mm;

$R$  - rază echivalentă

$$1/R = 1/R_1 \pm 1/R_2 \quad (36)$$

( $R_1$  și  $R_2$  fiind razele de curbură ale celor două corpuri; semnul (+) se adoptă pentru contact convex-convex, iar semnul (-) pentru contact convex-concav.

Teoria lui Hertz admite că, în cazul unui contact liniar "infini" între cele două suprafețe cilindrice, tensiunea prezintă o distribuție eliptică (figura 3.3.), valoarea medie fiind

$$\sigma_{sm} = \frac{Q}{2bL_{we}} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (37)$$

Valoarea maximă, considerată constantă de-a lungul axei lungi a suprafeței de contact este :

$$\sigma_{s,max} = \frac{4}{\pi} \sigma_{sm} = \frac{2Q}{\pi bL_{we}} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (38)$$

ținând seama de relația (38) rezultă:

$$\sigma_{s,max} = 0,4 \sqrt{\frac{QE}{RL_{we}}} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (39)$$

Din relația (39) se poate pune în evidență o încărcare specifică

$$K = \frac{Q}{L_{we} R} \text{ Q ,} \quad (40)$$



a cărei valoare este limitată de valoarea maximă admisibilă pentru  $\sigma_{smax}$

Tensiunile care iau naștere pe suprafețele de contact determină o stare de efort în materialul corpurilor respective. Astfel, din punct de vedere al rezistenței sunt de luat în considerare tensiunile tangențiale  $\tau$  care apar la o anumită adâncime sub suprafața de contact (fig.3.3.).

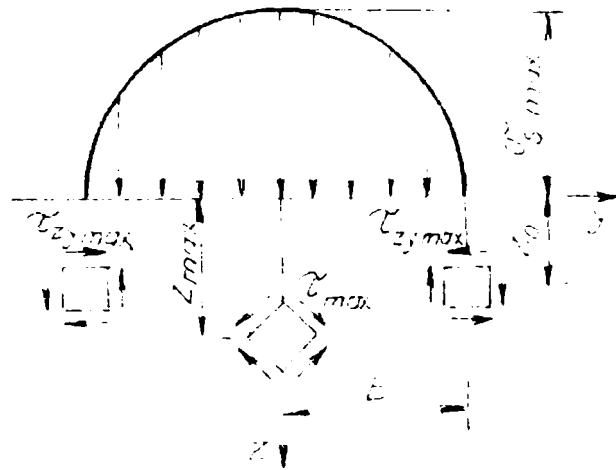


Figura 3.3.

Tensiunea tangențială " $\tau_{max}$ " se produce la distanța " $Z_{max}$ " de suprafața de contact și face un unghi de  $45^\circ$  cu această suprafață. Tensiunea tangențială  $\tau_{xy max}$  are direcția paralelă cu suprafața de contact și se produce la o adâncime  $Z_0$ . Pentru un contact liniar infinit se pot admite relațiile:

$$\tau_{max} = 0,3 \sigma_{smax}; \quad Z_{max} = 0,786b \quad (41)$$

$$\tau_{xy max} = 0,25 \sigma_{smax}; \quad Z_0 = 0,5b \quad (42)$$

Orice forță care acționează asupra unui rulment este transmisă de la un inel la altul prin intermediul corpurilor de rulare, într-un sistem static nedeterminat. Determinarea repartiției sarcinilor în rulment este de mare importanță atât pentru stabilirea capacității de încărcare statice (funcție de mărimea forțelor) cât și a capacității de încărcare dinamice (dependentă și de alți factori, ca de exemplu întinderea zonei aflate sub sarcină).

Rotirea rulmentului sub sarcină face ca atât corpurile de rulare cât și căile de rulare să fie supuse la sollicitări variabile și deci să apară fenomenul de oboseală. Aceasta se manifestă inițial sub forma unor fisuri microscopice care se produc la o mică adâncime sub stratul superficial și care se accentuează provocând exfolierea, deci deteriorarea rulmentului.

Această solicitare maximă la compresiune de tip Hertz, se află pentru căile de rulare în domeniul plastic. Experiența fabricării căilor de rulare pentru bile a demonstrat că aceste solicitări mari, care se repetă adesea și acționează pe o durată destul de îndelungată pot fi preluate numai de materiale cu o rezistență suficient de mare în domeniul plastic. În Germania se preferă materiale de tipul CK45N, CK60N sau 42CrMo4V. Materialele cu rezistența naturală mare și elemente speciale de aliere nu s-au dovedit a fi adecvate pentru căile de rulare întrucât fisurează ușor.

Aceste rezultate au fost susținute și prin experimente, executate în locuri și condiții diferite de marii producători de rulmenți grei (utilaje ce funcționează în condiții de încărcare și temperaturi deosebit de grele).

### **3.1.3. Influența construcției portante asupra distribuției sarcinilor în lagărele portante**

Cu lagărele oscilante se pot obține lăgăruiți performante și în spații mici de montare mai ales la utilaje mari ca de exemplu excavatoare port cupe sau antene de satelit. Aceste utilaje trebuie să lucreze în siguranță. De aceea este foarte important să se cunoască toate forțele care acționează asupra rulmentului respectiv structura portantă. La alegerea tipului de rulment, la dimensionarea rulmentului inclusiv la adâncimea de călire nu este de ajuns să se cunoască doar condițiile de funcționare. Construcția anexă cu care se vor îmbina inelele trebuie să fie cunoscută de asemenea pentru că de asta depinde distribuția sarcinilor în rulment. După calcularea sarcinii maxime admise pe corpurile cu role se va stabili adâncimea de călire.

Din bibliografia de până acum se cunoaște că procedul de determinare a adâncimii de călire suficiente este prezentată insuficient.

De aceea se va prezenta o linie de ghidare general valabilă pentru stabilirea adâncimilor de călire. Criterii de alegere sunt cele pentru evitarea "pittingului, exfolierii și strivirii" la încărcare statică și dinamică. Calculul clasic al rulmentului cu role are la bază calculul inelelor cu pereți subțiri pentru un rulment cu bile și a construcției portante - arbore și carcasă de rulment.

Folosirea normelor FEM pentru determinarea distribuției sarcinii în rulment este foarte dificilă în care se folosesc multe constante teoretice. Acest proces de calcul s-a folosit pentru lagărul oscilant al unui excavator port cupe (figura 3.4) pentru determinarea modului în care elasticitatea construcției portante influențează distribuția sarcinii în lagărul oscilant.

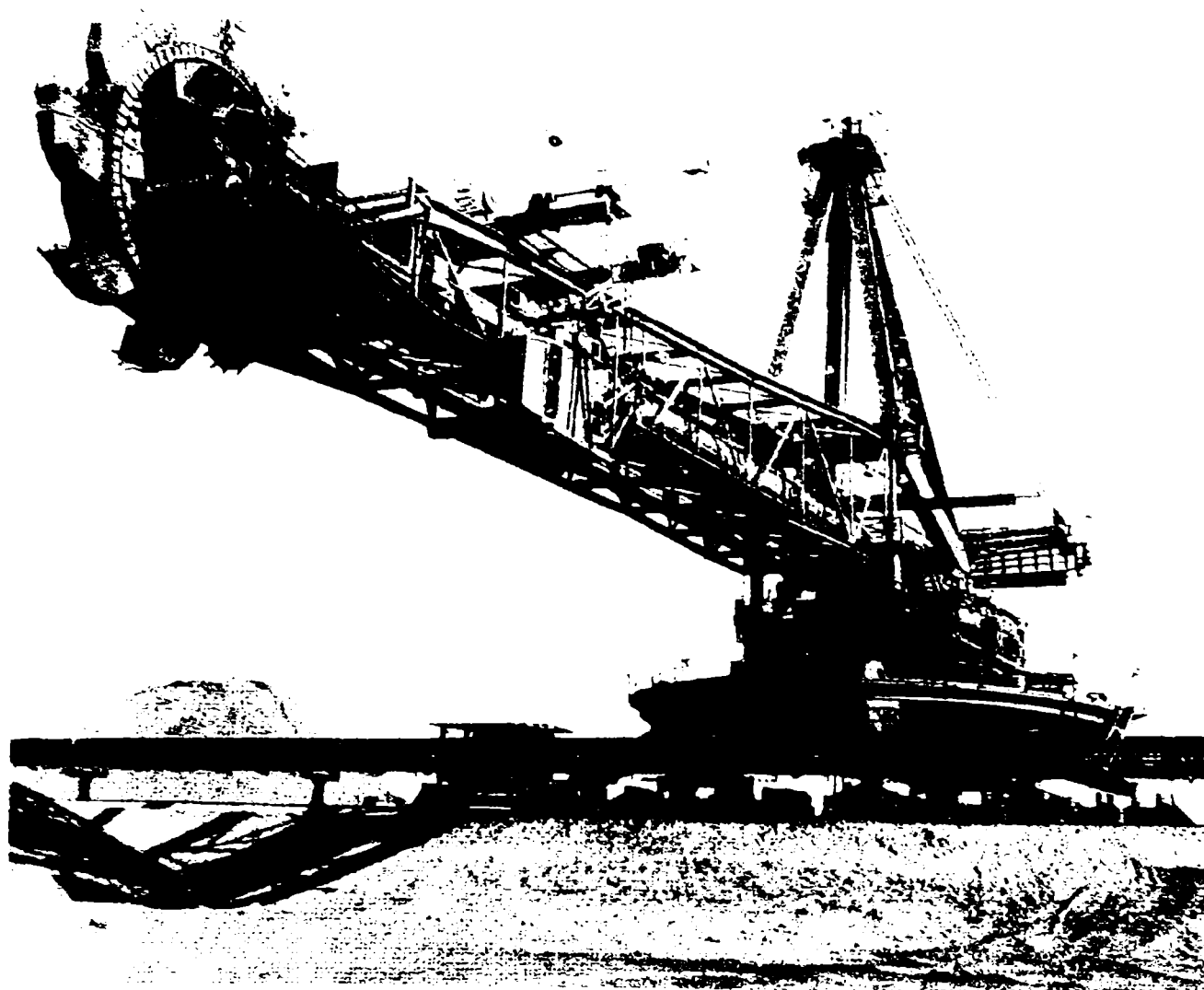
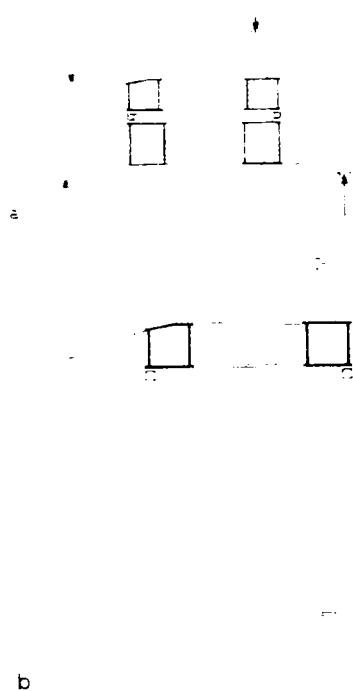
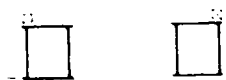


Fig.3.4 Excavator cu roată port cupe



a: construcția portantă  
cu lagăr oscilant

b: inel portant superior



c

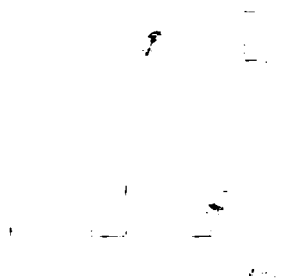
c: inel portant inferior

**Fig. 3.5** Soluții constructive de rezemere la excavatorul cu roată port cupe

Figura 3.5 arată secțiunea prin construcția portantă a excavatorului cu roată port cupe. Lagărul oscilant este montat între inelul portant în formă de cheson din suprastructură și infrastructură. Forțele sunt introduse prin 4 calări în inelul portant superior. Lagărul oscilant transmite sarcinile inelului inferior ale cărui trei grinzi se sprijină pe mecanismul de deplasare.

Figura 3.6 arată lagărul oscilant cu dimensiunile 7383 mm x 8000 mm x 256 mm. Pe un rând are 320 role cilindrice cu diametrul de 60 mm și lungimea de 75 mm, pe un alt rând 460 bile cu diametrul de 44,45 mm. Rulmentul preia forțe axiale, momente de răsturnare și forțe radiale.

Lagărul oscilant și construcția portantă trebuie să transmită în cazul de față o forță axială de 7,11 MN și un moment de răsturnare de 13,37 MNm. Momentul de răsturnare acționează în direcția roții portcupe.

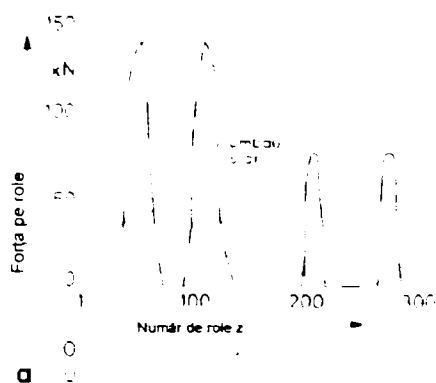


**Fig.3.6** Lagărul oscilant pentru excavatorul cu roată portcupe

Rezultatele calculelor sunt trecute în figurile 3.7 a,b și c. În figura 3.7a sunt trecute sarcinile fiecărei role (numărul lor  $z = 320$ ); s-a analizat întreg sistemul ca fiind

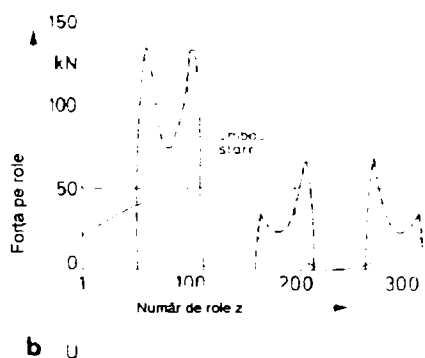
elastic. Pentru comparație s-a desenat distribuția sarcinii în formă sinusoidală care rezultă din construcția periferică rigidă. Punctele legate între ele prin linii arată poziția brațelor legate la inelul portant superior. Cercurile desemnează poziția picioarelor legate la inelul portant inferior. În figura 3.7 a,b și c este reprezentată distribuția sarcinilor în lagărul oscilant funcție de rigiditatea supra și infrastructurii.

- a: influența elasticității suprastructurii și infrastructurii
- b: influența elasticității infrastructurii, suprastructura rigidă
- c: influența elasticității suprastructurii, infrastructura rigidă

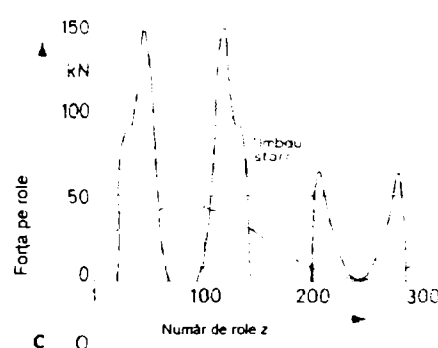


**Fig.3.7a** Influența elasticității suprastructurii și infrastructurii

După cum se vede apar patru vârfuri de sarcină. Două se instalează acolo unde se fixează brațul la inelul portant superior. Celelalte două sunt în apropierea punctelor de fixare a celor două brațe îndreptate în plan vertical. Dacă se va compara sarcina maximă a corpurilor de role la construcție elastică sau rigidă, va deveni clar faptul că aceasta este de 3 ori mai mare la construcția elastică. Definitorii pentru această mărime sunt locurile de sprijin vizibil mai rigide față de inelele portante, deci în dreptul brațelor și picioarelor.



**Fig.3.7b** Influența elasticității infrastructurii, suprastructura rigidă



**Fig.3.7c** Influența elasticității suprastructurii, infrastructura rigidă

Efectul acestor poziții de sprijin ca "puncte tari" asupra rulmentului reiese și mai clar din figura 3.7 b și 3.7c unde s-au apreciat inelele portante, atât cel superior cât și

cel inferior, ca fiind rigide. În aceste imagini vârfurile de sarcină sunt direct pe pozițiile de sprijin.

Distribuția sarcinii în lagărul oscilant nu se determină doar din elasticitatea construcției portante. Influența acționează și asupra poziționării suprastructurii la elindă și la roata cu cupe față de infrastructură. Pentru dimensionarea lagărului oscilant este important să se aibe în vedere și mărimea asupra sarcinii corpurilor cu role precum și poziția de lucru în care apar cele mai mari forțe.

Rezultatele arată și faptul că nu ar trebui evitat “punctul tare” printr-o dimensionare corectă a construcției portante. Ca părți de modificare se vor folosi inele portante rigide sau uniform elastice.

### 3.1.3.1.Solicitarea materialului în contactul cu rolele de sprijin:

Mai întâi se va observa ce reacții sunt posibile la solicitarea externă a materialului din lagărului oscilant în zona căilor de rulare durificate:

- oboseala stratului călit
- deformarea locală plastică
- uzura prin alunecarea corpurilor cu role, prin ungere insuficientă sau prin murdărire (corpi externi)
- exfolierea, ruperea stratului durificat
- oboseala materialului sub stratul călit

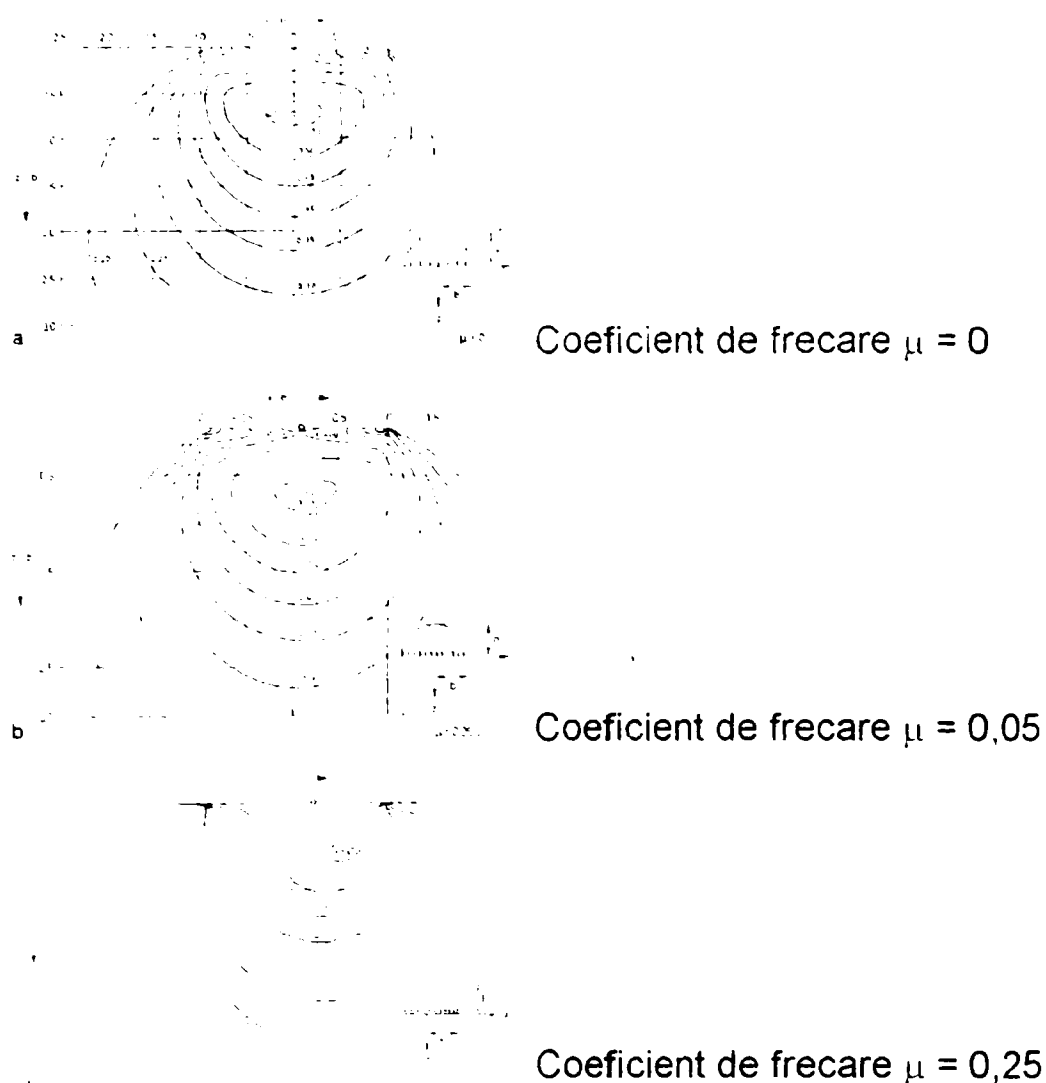
O importanță deosebită o au ultimele două fenomene pentru că ele conduc la desprinderea ultimului strat dur .

Solicitarea materialului este foarte complexă în contactul cu rolele de sprijin și poate fi calculată doar aproximativ. Calculul este posibil doar conform ipotezelor relațiilor ideale (corpuri omogene, izotrope și total elastice), cu valabilitatea legilor lui Hooke precum și a considerentului că suprafețele de presare ( bile ) sunt mici în comparație cu dimensiunea corpurilor tangente ( cale de rulare ).

Pentru descrierea solicitării în material se vor folosi în principal ipotezele de schimbare de energie (criteriul Mises), ipotezele de efort de forfecare sau ipotezele de eforturi de forfecare complexe. În timp ce teoria clasică a oboselii rulmenților este bazată pe ipoteza de eforturi de forfecare complexe, în ultimele documente se vorbește despre adâncimea de călire necesară pentru ipoteza energiei de transfer și pentru ipoteza efortului de forfecare.

Pentru cazul de încărcare “contact liniar” sunt arătate în figura 3.8 a, eforturile de comparație constant raportate la presările Hertz ( $\bar{\sigma}_v / p_o$ ). Efortul de comparație  $\bar{\sigma}_v$  a fost calculat în ipoteza energiei “de transfer”. Se vede că solicitarea maximă este de  $\bar{\sigma}_v / p_o = 0,557$  la o adâncime de  $z/b = 0,70$  (  $b$ =jumătatea lățimii suprafeței de presiune).O dată cu creșterea adâncimii scade solicitarea în materialul de bază.

În figura 3.8 a, sunt reprezentate repartițiile eforturilor dacă acționează forțe normale. În realitate apar solicitări suplimentare a căror influență contează și pentru determinarea adâncimii de călire. Este vorba de influențe de profunzime de sub suprafața de contact precum frecarea în contact cu rolele, lungimi finite ale rolelor și efectul eforturilor proprii.



**Fig.3.8.** Solicitarea materialului la contactul liniar

Alte solicitări suplimentare ca de exemplu influența corpurilor străini în agentul de ungere pot fi omise datorită efectului mic asupra adâncimii.

Dacă pe suprafața de presiune mai apar și forțe tangențiale produse de alunecarea corpurilor cu role pe calea de rulare atunci se mărește solicitarea iar locul solicitării maxime se mută mai aproape de suprafață (vezi figura 3.8b și 3.8c). Dacă se introduce de fiecare dată tensiunea maximă peste adâncimea  $z/b$  atunci apar manifestări ale efortului asemănătoare celor reprezentate în figura 3.9. Din diagramă se observă că odată cu creșterea componentei de alunecare, crește de asemenea foarte repede și solicitarea în zonele apropiate de suprafață. Începând cu adâncimile  $z/b \approx 1,5$  curbele se apropie foarte repede chiar și la valori de frecare foarte mari. La determinarea adâncimii de călire contra fenomenului de pitting și exfoliere este definitorie solicitarea materialului în zona de trecere de la stratul superficial călit la materialul de bază îmbunătățit și nu solicitarea în zonele din apropierea suprafeței. De aceea la stabilirea adâncimii necesare de călire poate fi omisă influența frecării.

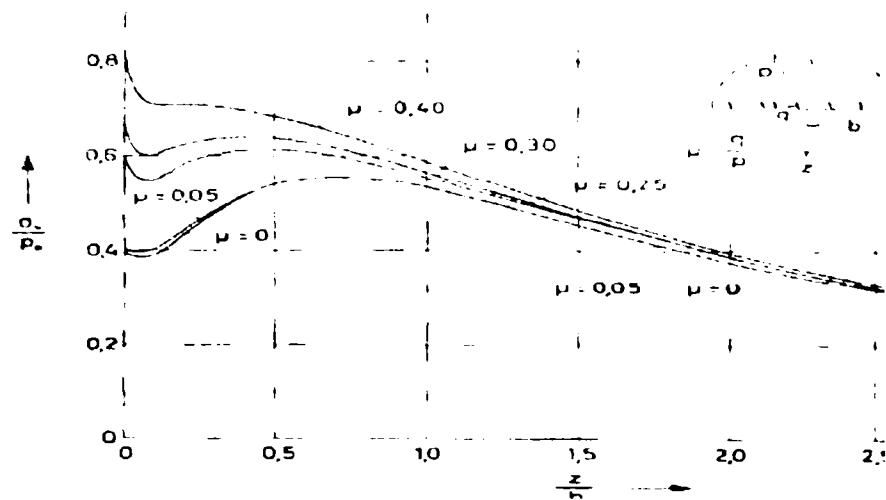


Fig. 3.9 Raportul  $\bar{\sigma}_v / p_0$  în funcție de adâncime la contact liniar funcție de coeficientul de frecare  $\mu$

Calcularea repartizării eforturilor la contact liniar este valabil teoretic doar pentru rolă cilindrică infinit de lungă. În această situație nu apar efectele muchiilor cum apar ele la rola de lungime finită. Din cercetări a reieșit că lungimea finită a rolei nu influențează solicitarea în zonele de trecere (strat dur /material de bază ) așa cum este cazul pentru dimensionarea contra pittingului și exfolierii. În figura 3.10 este reprezentat un exemplu pentru solicitarea din adâncimea  $z/b$  pentru o repartitie dreptunghiulară a presiunii. Rezultă că la o adâncime de  $z/b = 1,35$  efortul de comparație pentru rola de dimensiune finită se suprapune cu cel al rolei de lungime infinită.

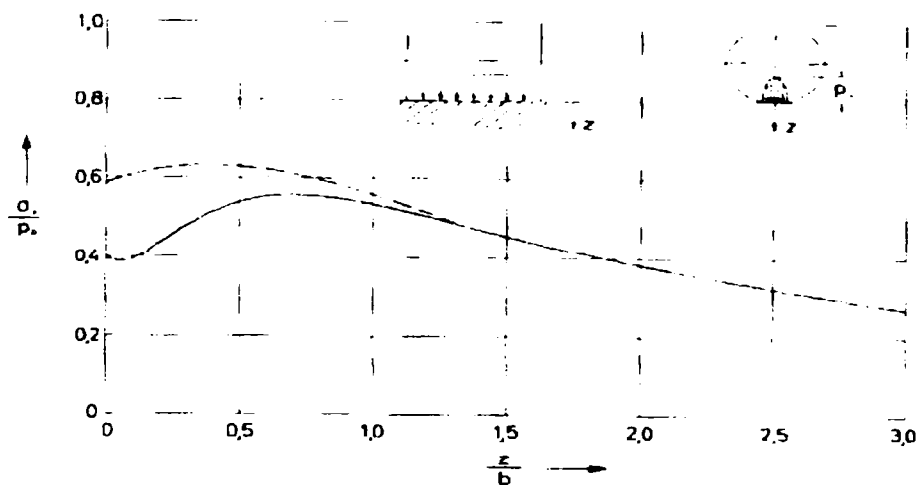


Fig.3.10 Comparația solicitării materialului la o rolă cu lungime infinită respectiv finită

Evaluarea face posibilă stabilirea unor adâncimi de durificare prea mici sau prea mari. Se stabilește efortul principal de alunecare  $T_1$  care servește pentru determinarea solicitării admisibile în materialul de bază. Efortul principal de alunecare  $\tau_1$  este un efort limită. Acest efort limită se compară cu rezistența la forfecare a materialului de bază. Rezistența la forfecare se va stabili prin



aproximare cu factorul determinat empiric din rezistența la tracțiune a oțelului de îmbunătățire. Rezistența la forfecare astfel stabilită se confundă prin aproximare cu rezistența la torsiune a materialului de îmbunătățire.

Pentru cazul de solicitare cvasi-statică ( $10^2$  schimbări de sarcină) se presupune că la  $\tau_1 = \tau_E$  (calculat din limita la curgere) nu apar deformații plastice. Pentru ambele cazuri limită, solicitarea reală admisibilă a materialului nu poate fi descrisă corect.

Ca ipoteză pentru situația în care trebuie asigurată rezistența tehnică de durată, nu se admite să apară fisuri sub suprafața superficială. Din încercarea la oboseală prin rulare și din teoria solicitărilor clasice oscilante este cunoscut că materialul nu poate obosei dacă solicitările sunt mai mici decât limita elasticității ciclice a materialului, întrucât fără deformație plastică nu este posibilă oboseala. Încercările au arătat că limita de elasticitate ciclică în situația îmbunătățirii, deci la majoritatea materialelor folosite pentru rulmenți, se situează la 65 până la 80% din limita la curgere rezultată la tracțiune.

$$R_{p,0,005ciclic} = (0,65 \dots 0,80) R_{p0,005}$$

În continuare încercările au arătat că nici la deformații plastice minore nu apar fisuri (deosebirea dintre rezistența de durată teoretică și practică). Aceasta înseamnă că procesul de îmbătrânire în material crește, totuși, după puține schimbări de sarcină ajunge la o stabilizare.

Aceasta este valabilă mai ales în zona de trecere de la dur la moale din părțile durificate. Pe baza eforturilor de tracțiune proprii apare o deformație plastică și la solicitările care pot fi de durată încă de la primele schimbări de sarcină. În acest timp eforturile de tracțiune proprii vor descrește. Astfel se va limita nu numai suprapunerea de eforturi statice ca la celelalte încercări oscilante (efectul efortului mediu neglijabil) ci va scădea și solicitarea efectivă în zona critică. În afară de aceasta trebuie luat în considerare că la solicitarea de rulare, efortul principal este reprezentat de un efort de comprimare triaxial. La o astfel de solicitare la comprimare sunt posibile deformații plastice considerabil mai mari decât la solicitările sub presiunile atmosferice. În continuare se poate adăuga că efectele de suprafață (stare și aspect) nu pot apare în zona de trecere a suprafețelor durificate la solicitarea prin rulare, spre deosebire de solicitările oscilante în general (ex. tracțiune / comprimare, încovoiere) care influențează major rezistența componentelor.

Din acest motiv este necesar ca solicitările admisibile să fie orientate către valorile limită ciclice ale materialului. Se obține o poziționare stabilă dacă în punctul  $P_1$ , în cazul rezistenței de durată (oricâte schimbări de sarcină vom avea):

$$\sigma_{Tadmisibil} = 0,6 \cdot R_{p0,2}$$

$R_{p0,2}$  este limita de elasticitate tehnică din încercarea de tracțiune normală. Această valoare limită servește pentru contact liniar, deci pentru rulmenți cu role.

În cazul contactului punctiform la o solicitare identică a materialului se vor lua în considerare valori mai mari, întrucât în afara efectelor descrise apare modificarea presării pe suprafața superficială. Aceasta conduce la o reducere a încălcării specifice ( $p_0$  - adâncire). La rulmenți cu bile se împiedică fenomenul de pitting, dacă se satisface condiția:

$$\sigma_{Tadmisibil} = 0,75 \cdot R_{p0,2}$$

La sarcini cvasi-stactice pot fi admise sarcini considerabil mai mari în zona de trecere dintre zona durificată și materialul de bază, întrucât poziția critică nu este punctul P, ci suprafața superioară. După începerea deformației plastice sub stratul dur, următorul strat este solicitat la încovoire la care solicitarea apare la o anumită distanță de suprafața superioară care este suprafața comprimată. Această solicitare la încovoire poate fi totuși relativ mare înainte ca să poată apărea fisurile. Pot totuși să apară deformații care sunt cu mult mai mari decât deformațiile admisibile la solicitări dinamice fără să aibe efect asupra capacității de preluare a zonei durificate. Pentru a păstra deformația totală în limite admisibile, ne bazăm pe  $10^3$  schimbări de sarcină ca efort admisibil:

- la contact liniar  $\sigma_v = 1 \cdot R_m$
- la contact punctiform  $\sigma_v = 1,25 \cdot R_m$

unde  $R_m$  este rezistența la tracțiune a materialului de bază.

La celelalte adâncimi de durificare sunt posibile deformații până la  $0,0005 \cdot d_r$  ( $d_r$  – diametrul corpului de rulare). Încercările de laborator și practica au arătat că deformațiile plastice la acest ordin de mărime nu sunt un dezavantaj pentru oboseala stratului superficial.

### 3.1.3.2. Evaluarea principiilor de bază

Figura 3.11 arată curbele pentru determinarea eforturilor de comparare admisibile în funcție de numărul de schimbări de sarcină pentru materialul 42CrMo4, îmbunătățit la

$$R_m = 920 \text{ N/mm}^2, R_{p0,2} = 635 \text{ N/mm}^2.$$

Trecerea de la încărcarea cvasi-statică ( $10^3$  schimbări de sarcină) la rezistența de durată, aici stabilită ca valoare de calcul la  $10^7$  schimbări de sarcină, s-a aproximat printr-o trecere liniară.

Eforturile admisibile pentru eliminarea pitting-ului se află deasupra liniei rulmentului cu bile. Rezultatele cercetărilor efectuate precum și comparația cu valori obținute la încercarea cu role, respectiv cu coroane dințate, pentru materiale diferite pot fi transpuse pentru cazul de utilizare descris.

Din figura 3.11 poate fi preluată tensiunea admisă de comparare  $\bar{\sigma}_v$  pentru rulmentul cu bile și cu role cu cifre de alternanță a sarcinii diferite. Cu aceste valori și cu ajutorul diagramelor din figura 3.12 se poate determina valoarea  $p_0$  pentru diferite adâncimi de duritate.

Determinarea adâncimilor se va face cu ajutorul următorului exemplu pentru contact liniar, diametrul rolei = 60 mm, numărul de schimbări a sarcinii  $\geq 10^7$  precum și  $R_{p0,2} = 635 \text{ N/mm}^2$ . În fig.3.12 este reprezentat efortul de comparare  $\bar{\sigma}_v$  referitor la adâncimea  $z$  pentru diferite comprimări de suprafață Hertziene. De asemenea este reprezentat și procesul de durificare care ca cerință minimală prevede  $p_0 = 1500 \text{ N/mm}^2$ .

Adâncimea de durificare  $R_{ht}$  (550 HV) este stabilită cu ajutorul punctului P care este la intersecția liniei  $\bar{\sigma}_v$  cu linia efortului admisibil  $\bar{\sigma}_{vadm}$ . Valoarea este  $R_{ht_{min}} = 2,3 \text{ mm}$ .

Dacă presiunea specifică este  $p_0 = 1000 \text{ N/mm}^2$ , adâncimea de durificare necesară este de 0,9 mm; pentru o presiune specifică de  $2000 \text{ N/mm}^2$  adâncimea ar trebui să fie de 4,1 mm; pentru  $p_0 = 2500 \text{ N/mm}^2$  adâncimea necesară este 6,4 mm.

Valorile astfel determinate pentru adâncimea de durificare trebuie să se regăsească în zona șlefuită a căii de rulare. Dacă eventual este necesară o șlefuire mai profundă a stratului durificat, acest lucru trebuie luat în considerare încă de la călire printr-o mai mare adâncime de durificare.

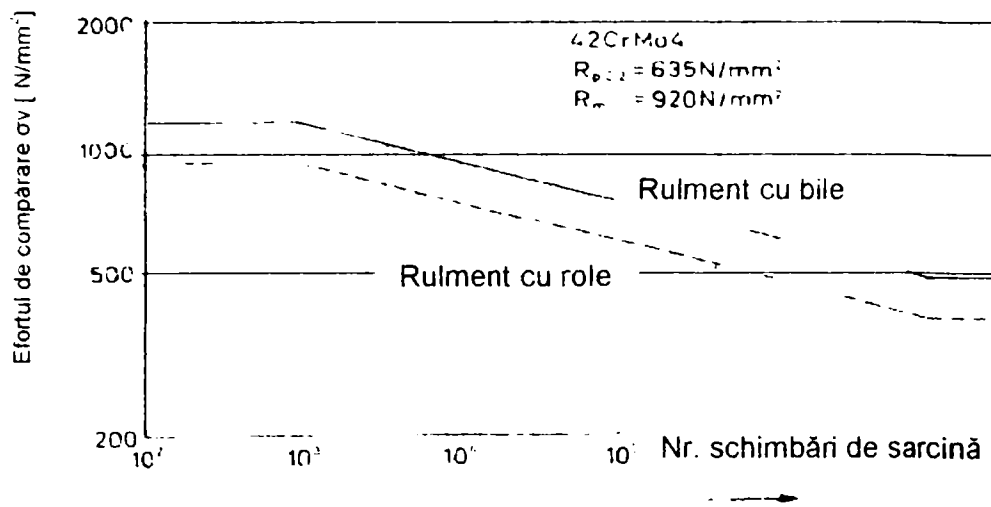


Fig. 3.11 Efortul de comparație admisă  $\sigma_v$  în funcție de numărul de schimbări de sarcinii

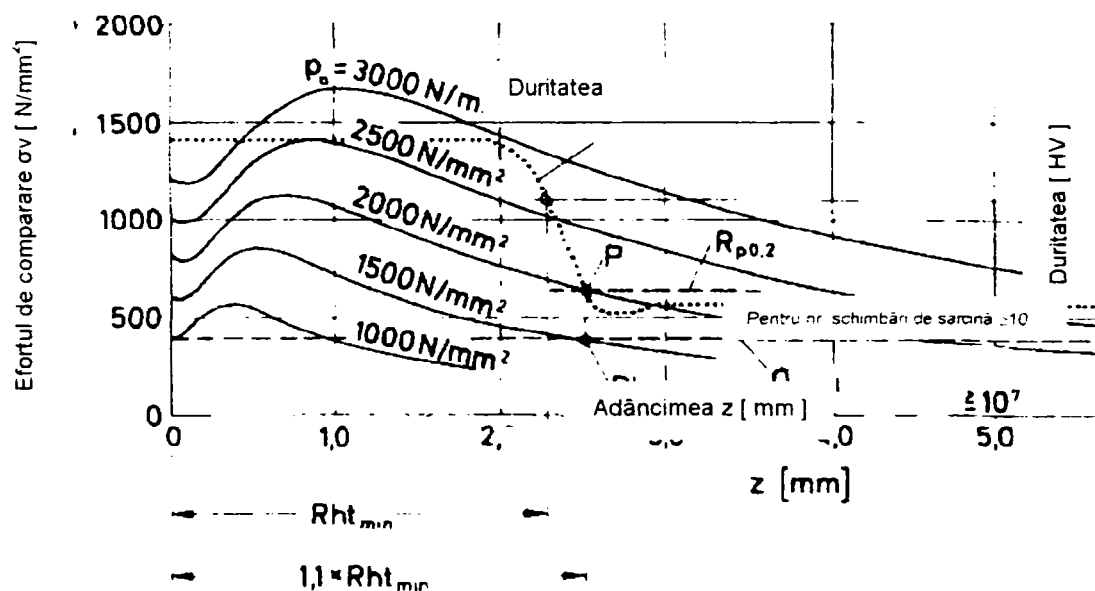


Fig.3.12 Determinarea adâncimilor de durificare (contact liniar, diametrul rolei 60 mm, numărul de schimbări de sarcinii  $\geq 10^7$ , limita de curgere  $R_{p0.2} = 635 \text{ N/mm}^2$ )

### 3.1.3.3. Motive împotriva unei adâncimi de durificare prea mari

Cu metodele descrise s-au stabilit adâncimi de durificare care permit o funcționare sigură a rulmentului de rotire, cunoscând încărcările exterioare și pe cele rezultate din distribuția în lagăr. Abaterile strânse inevitabile pentru execuție

impun adaosuri de adâncime minime de durificare astfel încât după șlefuirea de la rulare să se regăsească încă valoarea adâncimii minime necesare. S-ar putea să fie necesar ca adâncimea de durificare să fie crescută.

Împotriva acestui lucru sunt mai multe motive. O mai mare adâncime de durificare necesită mai multă energie de încălzire și, deci, durificarea poate fi făcută cu un avans mai mic. Ambele conduc la costuri crescute de fabricație, dar din punct de vedere al siguranței în funcționare al produsului sunt de importanță secundară. De o deosebită importanță este faptul că prin creșterea adâncimii de durificare crește și pericolul de fisurare al materialului prin solicitări complexe în timpul procesului de călire. Mai periculoasă este această tendință la soluțiile constructive ușoare, deci cu pereți subțiri. Dacă apar fisuri, acest lucru nu înseamnă numai costuri crescute prin pierderea totală a materialului și a timpului de lucru încorporat, ci și costuri suplimentare rezultate din întârzierea livrării rulmentului.

Și în ceea ce privește solicitarea admisibilă a materialului există contra argumente. Pe baza timpului prelungit de încălzire vor deveni tot mai pregnante eforturile interne la tracțiune crescute care apar în acest timp în zona profundă. Acest lucru înseamnă că rezistența înaltă a materialului nu se mai valorifică. De asemenea apar dezavantaje în ceea ce privește interiorul stratului durificat. Prin creșterea adâncimii de încălzire crește și pericolul supraîncălzirii materialului pe parcursul procesului în care se formează austenita. Cercetările au arătat, că la materialele de rulmenți cu temperatură crescută de austenitizare, solicitările scad.

În legătură cu aceasta nu se poate omite dependența eforturilor proprii în stratul durificat. Prin tratamente termice parțiale se produc eforturi proprii de comprimare în acest strat care încetinesc procesul de oboseală sau de formare a fisurilor. Întrucât printr-o adâncime de durificare redusă tensiunile interne de comprimare sunt mai mici, se va reduce și solicitarea în stratul durificat.

Aceste indicații folosesc în practică pentru ca adâncimea de durificare să fie corespunzătoare solicitărilor exterioare, construcției de bază și a repartizării sarcinilor. Adâncimea stratului durificat care este peste valoarea minimă determinată nu trebuie să fie considerat negativ din punct de vedere economic și al solicitărilor.

#### **3.1.3.4 Controlul profilului durificat**

Pentru a fi siguri că profilul durificat corespunde, în practică se recurge la probe de duritate. Cu ajutorul acestor probe se va adapta forma inductorului la profilul căii de rulare și se vor stabili parametrii pentru călire ca de exemplu curentul, avansul sau mediul de protejare. Formarea zonei durificate și verificarea acesteia sunt criterii de optimizare pentru procesul de călire. Prin aceasta, în condiții similare, se obțin căi de rulare cu profil similar, cu grad mare de credibilitate. Totuși rămâne o anumită nesiguranță în ceea ce privește atingerea efectivă a adâncimii de durificare prescrise. Pentru aceasta s-a încercat deseori să se măsoare adâncimea de durificare prin procedee de încercare nedistructive. Una din aceste metode este măsurarea adâncimii prin metoda cu ultrasunete la care se folosește reflexia diagonală a undelor transmise din zona de trecere la materialul de bază. Cu toate că nu se poate înlocui proba de duritate, este totuși posibil să se verifice elementele în serie sau bucată cu bucată crescând astfel siguranța procedeelelor practicate până în prezent.

### 3.1.3.5 Influența zonei moi asupra capacității de preluare a solicitărilor

Durificarea inductivă a inelelor de rulmenți mari se face pe circumferință. Inelul se va conduce cu un avans constant în dreptul inductorului cu o geometrie specială, transmitându-se căldura. După realizarea cursei de 360° nu trebuie continuată cursa întrucât prin reîncălzirea zonei durificate pot apărea fisuri. De fapt, cursa se termină puțin înaintea închiderii de 360°, datorită inerției termice.

La încărcări specifice înalte și număr redus de schimbări de sarcină, această zonă moale joacă rolul de zonă tampon în care se pot descărca deformațiile plastice. Această zonă moale nu are importanță nici, de exemplu, în situația în care sarcina de durată suportabilă este mai mică decât rezistența suprarulării de durată a materialului de bază. De aceea deseori inelul rulmentului se montează într-o astfel de poziție încât această zonă să fie solicitată cât mai puțin posibil.

La solicitări care sunt mai mari decât rezistența de durată a materialului și la care numărul de schimbări de sarcini este ridicat, zona moale trebuie să fie reșlefuită. Se admite, însă, îndepărtarea materialului astfel încât corpul de rulare să nu fie complet descărcat de sarcină. Pe de altă parte grosimea stratului de material îndepărtat trebuie să fie suficientă pentru a permite descărcarea solicitărilor în materialul de bază. S-a stabilit ca această zonă de alunecare (moale) nu obosește înainte de termen.

### 3.1.4. Verificarea experimentală a solicitării inelelor de rulmenți

O instalație folosită pentru determinarea duratei de exploatare a materialelor pentru căi de rulare se prezintă în figura 3.13

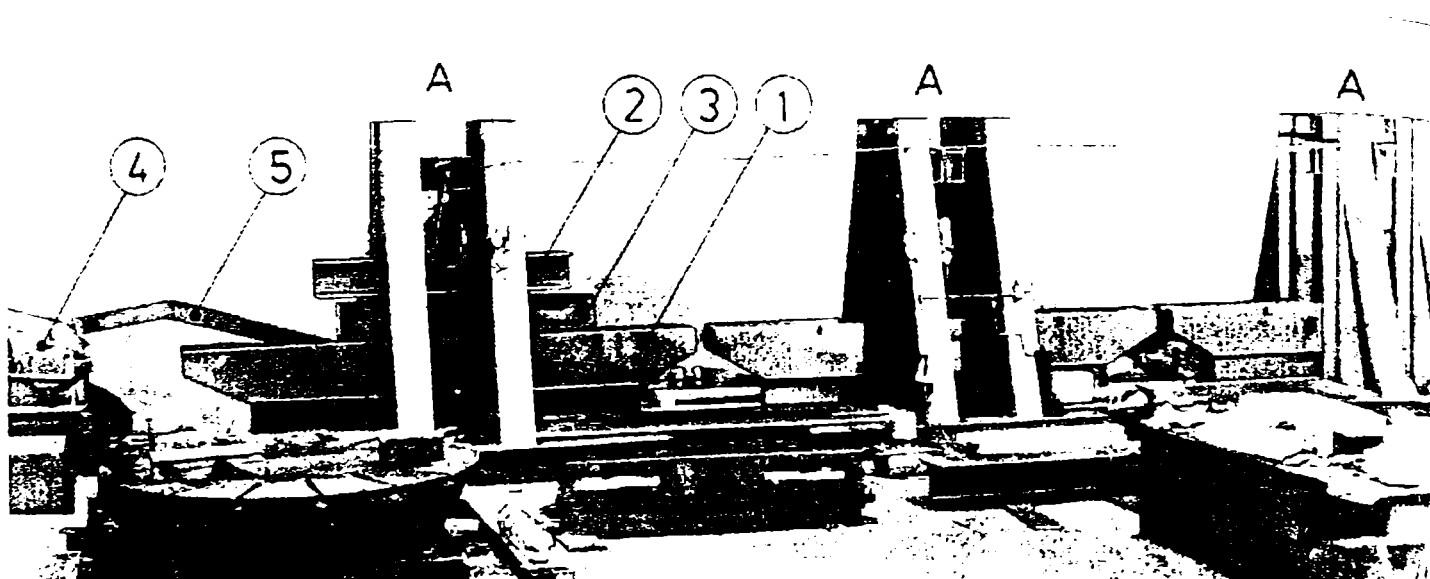


Fig.3.13

Într-un cadru metalic s-a amplasat între o grindă fixă inferioară (1) și o grindă fixă superioară (2), o grindă intermediară mobilă, antrenată de un excentric (4), (5). Între grinzile fixe și grinda intermediară mobilă s-a fixat un segment de cale de rulare (3) cu bilele corespunzătoare. Încărcarea epruvetelor se face prin prese

hidraulice, amplasate deasupra grindei fixe superioare. Astfel cu un singur cadru se pot supune experimentării concomitent două epruvete.

Pentru experiment se folosesc trei asemenea cadre. "A" Grinzile intermediare sunt cuplate între ele și deci execută aceeași mișcare.

De-a lungul traseului de experimentare sunt suficiente puncte de măsurare care înregistrează valorile măsurate și furnizează o imagine clară asupra căilor de rulare studiate, furnizându-se totodată și un raport tehnic de evaluare.

La proiectarea excavatoarelor mari cu roată portcupe pentru minerit de suprafață, căile de rulare ale bilelor sunt supuse unor experimente de către firma executantă (după caz și în prezența cumpărătorului).

Dimensiunile proiectate a căilor de rulare și a bilelor trebuie să fie foarte apropiate de cele care rezultă efectiv din fabricație, iar solicitările de asemenea trebuie să fie apropiate de cele reale.

În urma măsurătorilor făcute în cadrul laboratorului de calitate a UPETROM Ploiești, pe probe prelevate din mărci de oțeluri primite de la firma KRUPP pentru execuția la export a diferiților rulmenți grei și care comparate cu mărcile utilizate de ROMINEX în fabricația de rulmenți, a rezultat că și oțelurile românești îndeplinesc condițiile de calitate și de rezistență impuse.

Totuși, rezultatele cele mai bune le-au avut mărcile de oțel CK45n și 42CrMo4V. În execuție se folosește mai des marca 42CrMo4V care are un comportament mai bun la uzura.

Experimental, prin similitudine, în laborator s-a testat un rulment cu caracteristicile:

- diametru inel  $D_K = 250$  mm
- diametru bilă  $d_K = 12,7$  mm
- raza căii de rulare  $r_K = 6,5$  mm
- solicitare  $P = 533$  N

obținându-se rezultatele prezentate în diagramele din fig. 3.14 a,b,c.

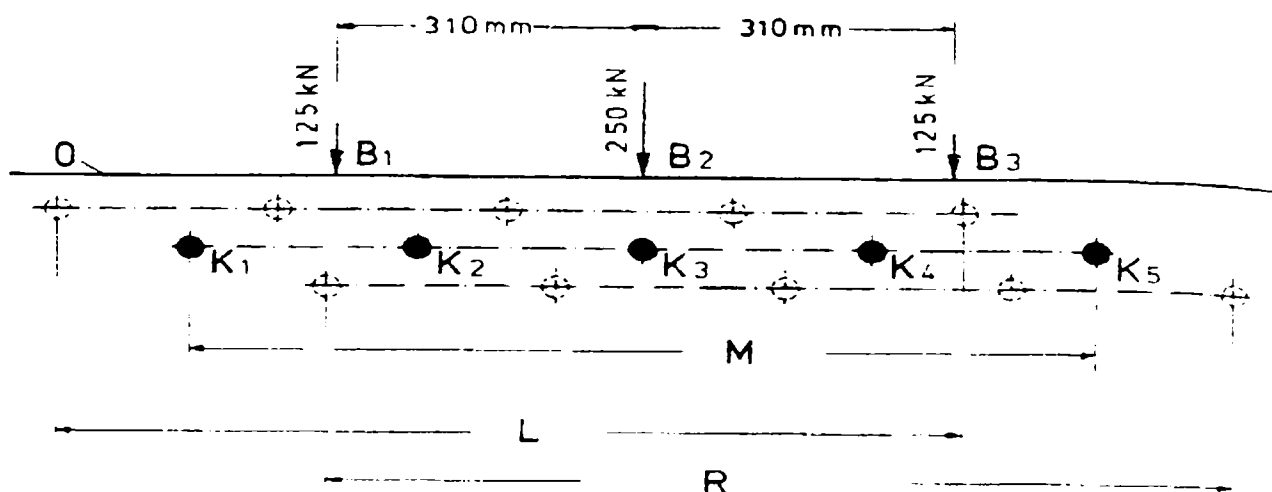


Fig. 3.14 a Diagrama de sarcini pentru epruvete

Unde :

M poziția bilelor pentru poziția intermediară a grinzii mobile

L poziția bilelor pentru poziția limită stângă a grinzii mobile

R poziția bilelor pentru poziția limită dreapta a grinzii mobile

O grindă fixă superioară

$B_1$ ,  $B_2$  și  $B_3$  puncte de solicitare

$K_i$  distanța între bile

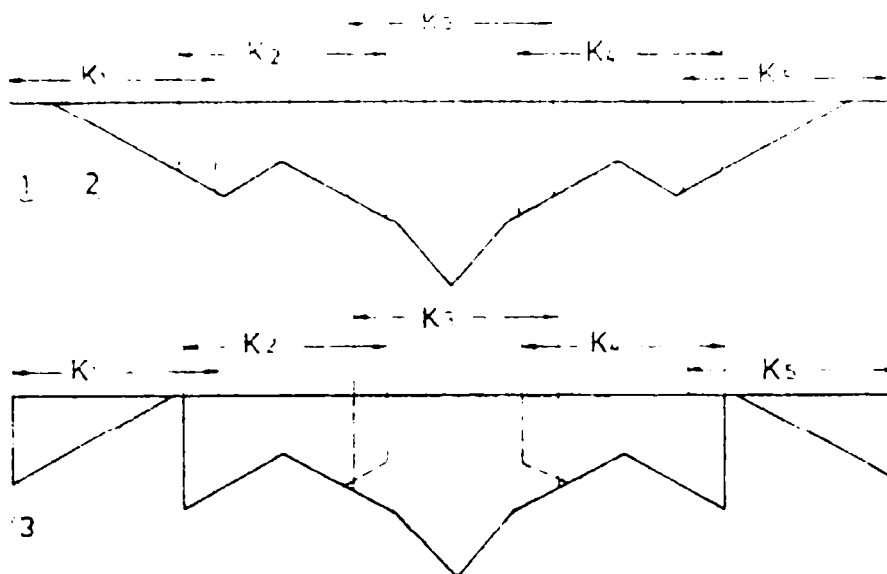


Fig. 3.14 b Solicitarea căilor de rulare

Unde :  
1 și 2 căi fixe  
3 căi mobile

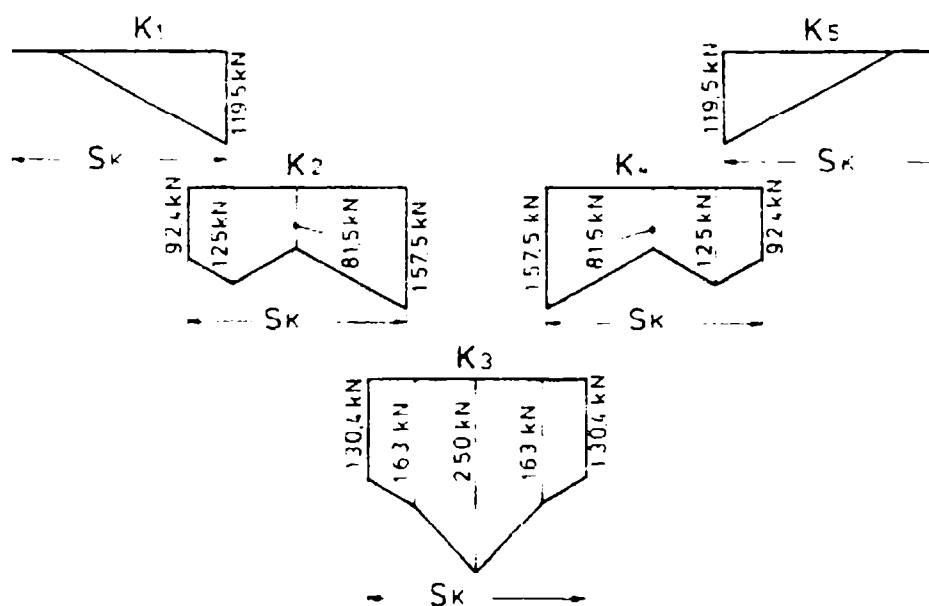


Fig. 3.14 c Solicitarea fiecărei bile la mișcarea grinzii mobile între pozițiile limită dreapta și stânga

Unde :  $S_k$  traiectoria bilei

Experimente recente în cadrul firmei Rothe Erde cu role și căi de rulare au demonstrat că oțelurile de calitate obișnuită (de îmbunătățire) sunt mai potrivite pentru căi de rulare decât oțelurile înalt aliate.

O dovadă de necontestat a fost oferită de rulmentul cu bile având  $D_k = 15$  m al unui utilaj mare a cărui cale de rulare a fost călită. Acest inel s-a avariat atât de tare după o durată scurtă de exploatare încât a trebuit schimbat.

Experimentele la rulare făcute cu bile și căi de rulare, asemănătoare cu inelele de rulare și cu bilele ale excavator cu roată portcupe, au confirmat din nou faptul că durabilitatea unui inel depinde de sarcina cu valoarea cea mai mare și care se repetă cel mai des în timpul exploatării. S-a stabilit următoarea relație de calcul pentru această sarcină :

$$F_{K_{max}} d_K \leq 4 \text{ Mpa} \quad (43)$$

Unde:

$F_{K_{max}}$  – sarcina aplicată bilei, având valoarea cea mai mare și aplicată cel mai des  
 $d_K$  – diametrul bilei în mm

Deci la o rază de rotunjire a căii de rulare  $r_K = 0,525 d_K$ , și un grad de atingere în proporție de 0,95, rezultă valoarea presiunii de tip Hertz între o bilă și calea de rulare de 1400 Mpa.

Dacă  $F_{K_{max}}$  depășește această valoare, căile de rulare se vor avaria și inelul se va uza mai repede.

Trebuie subliniat însă faptul că durabilitatea unui inel mai depinde și de mulți alți factori și nu poate fi pusă în legătură numai cu solicitarea maximă a bilelor.



### 3.2 Unele considerații privind dimensionarea și alegerea rulmenților mari

#### 3.2.1. Alegerea tipului de rulmenți în funcție de mărimea sarcinii și sensul acesteia.

La alegerea rulmenților se folosesc nomogramele producătorilor care clarifică domeniul de utilizare funcție de diametru și de curbele de sarcină limită, la capacitatea portantă statică și dinamică pentru calea de rulare și pentru șuruburile de fixare. Curbele de sarcină limită stabilesc domeniul combinațiilor admise a forțelor axiale  $F_A$  și a momentului de răsturnare  $M_{ras}$  și a sarcinii principale pentru lagăr. Eventualele forțe radiale  $F_R$  apărute la alegere pot fi neglijate dacă sunt mai mici de 10% din forța axială  $F_A$ . Curbele de sarcină limită prezentate în nomogramele de alegere corespund doar sarcinilor pozitive conform fig.3.15.

În cazul în care nu sunt îndeplinite condițiile sus numite de calcul adică dacă acționează o forță radială  $F_R$  mai mare de 10% din  $F_A$  atunci sarcinile devin negative și în acest caz clasele de rezistență și numărul șuruburilor, precum și tipul rulmentului, se stabilesc prin consultanță cu producătorul.

În vederea stabilirii condițiilor de funcționare existente ( reale ) la alegerea lagărului se vor lua în calcul factorii  $f_{stat}$  pentru capacitatea statică portantă și  $f_{dyn}$  pentru capacitatea dinamică. Forțele existente  $F_A$ ,  $F_R$  și  $M_{ras}$  se vor înmulți cu factorii statici și dinamici conform tabelului 3.2 rezultând valorile de calcul  $F_A^I$ ,  $F_R^I$  și  $M_{ras}^I$ . Aceste rezultate vor fi comparate cu diagrama de încărcare limită fig.3.15 în care punctul P trebuie să se găsească sub limita curbei.

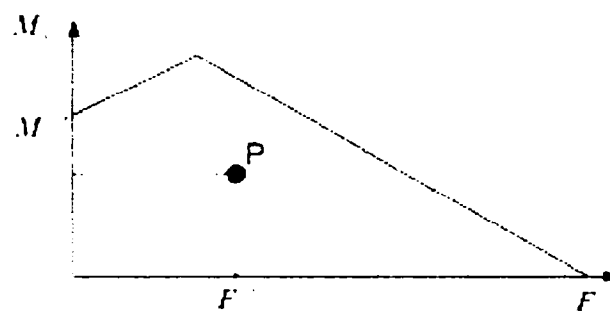


Fig. 3.15. Curba de încărcare limită

În cazul unei dimensionări suficiente a lagărului punctul P de încărcare se găsește sub curba limită.

Pentru garantarea capacității portante sarcina axială maximală este cea care determină capacitatea lagărului. Definitorii pentru capacitatea portantă dinamică sunt sarcinile ce rezultă din funcționare,

Calculul eforturilor  $F_A$ ,  $F_R$  și  $M_{ras}$  se va efectua pentru cazul de încărcare conform fig. 3.16 folosind relațiile :

$$F_A = G + E + M + A \quad (44)$$

$$F_R = W + U \quad (45)$$

$$M_{ras} = G \cdot l - E \cdot e + W \cdot w - M \cdot m + A \cdot a \quad (46)$$

Unde :

$G$  = sarcina portantă ;

$E$  = sarcina axială verticală ;

$M$  = lest ;

$A$  = greutate braț ;

$W$  = rezistența la vânt ;

$U$  = rezultanta forțelor la nivelul rulmentului ;

$m, e, w, l, a$  = brațul forțelor

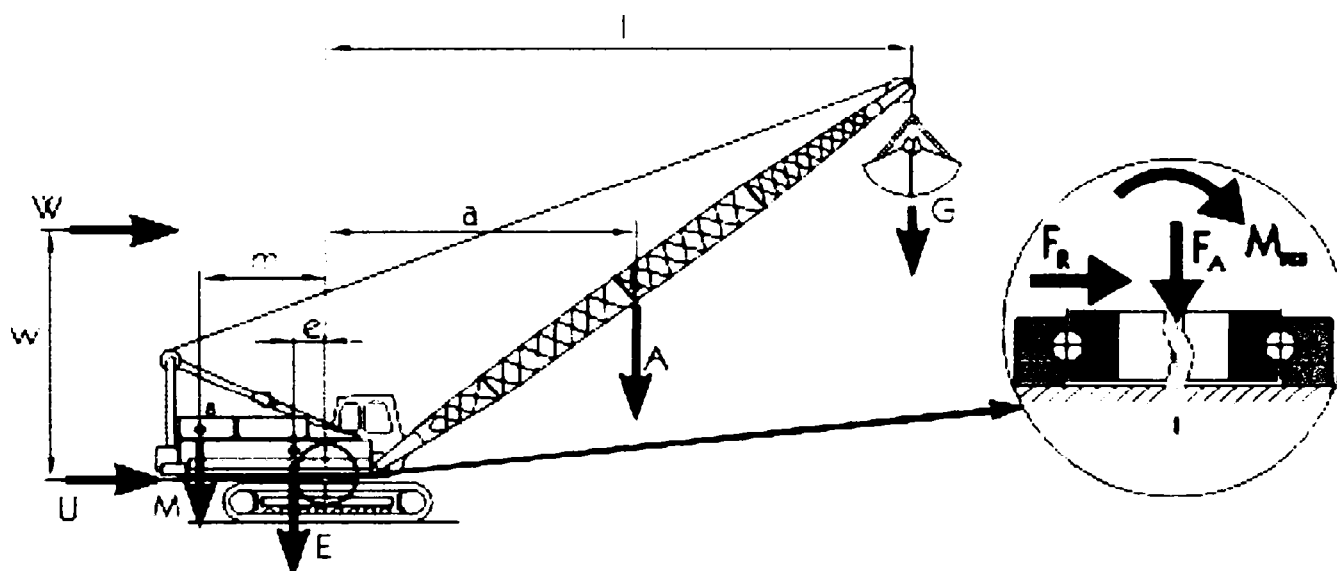


Fig. 3.16 Schemă de calcul, pentru poziție orizontală

Cu ajutorul curbelor de sarcină limită se va efectua o alegere corectă a lagărului pentru proiectarea utilajului. O reevaluare a soluției tehnice alese pentru proiectare se va face pentru condițiile reale de funcționare și montare împreună cu producătorul rulmentului.

Pentru efectuare calculelor de determinare a soluției constructive optime vor fi predate spre analiză producătorului datele geometrice ale construcției utilajului, date precise despre încărcarea lagărului precum și condițiile tehnice speciale referitoare la poziția de montare, jocul în lagăr, precizia rulării, materialele folosite în execuție, etc.

Cele mai importante date pentru alegerea rulmentului sunt:

1. Sarcina portantă
2. Sarcina compusă cu distribuția solicitărilor ( % )
3. Turația respectiv numărul mișcărilor rotative și unghiul de oscilație pe unitatea de timp cu sarcina compusă corespunzătoare
4. Forțele periferice transferate de angrenaj
5. Diametrul rulmentului

6. Alte condiții de funcționare

3.2.2. Determinarea capacității portante statice :

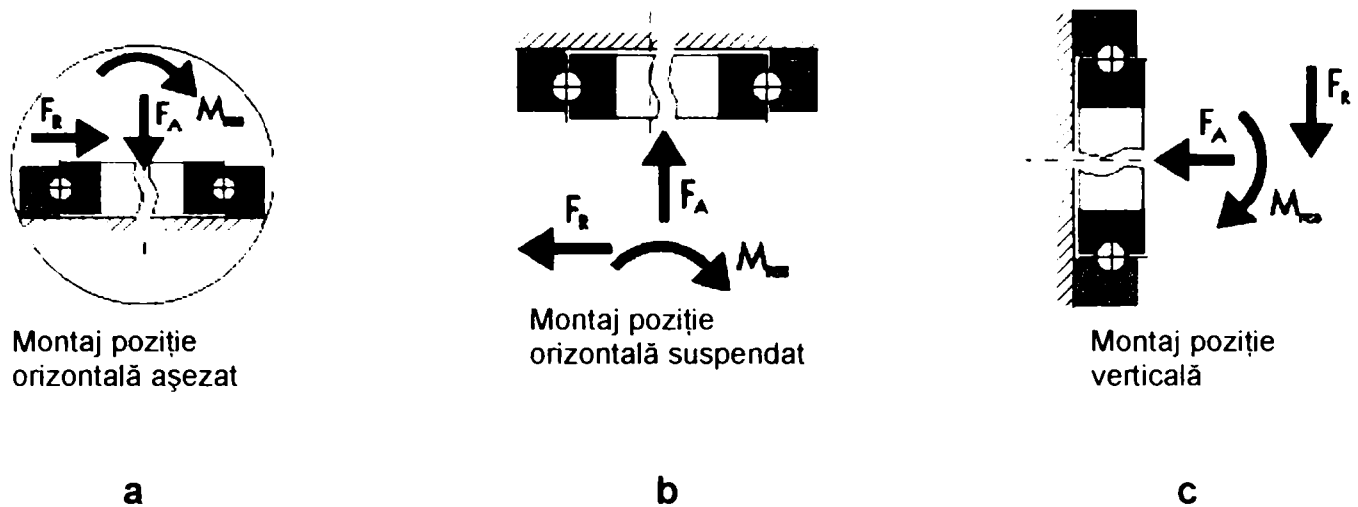


Fig. 3.17 Schema încărcărilor pentru poziția orizontală și cea verticală

Sarcinile calculate se vor înmulți cu un factor  $f_{stat}$  potrivit cazului aplicat.

Produsul  $F_a'$  respectiv  $M_{ras}'$  trebuie să se afle sub curba limită a sarcinii statice a rulmentului ales.

În cazul sarcinilor radiale combinate cu cele axiale se vor calcula sarcinile statice pentru alegerea rulmentului în variantele I sau II după cum urmează:

**Varianta I**

$$F_a' = (F_a + 5,046 \cdot F_r) \cdot f_{stat} \quad (47)$$

$$M_{ras}' = M_{ras} \cdot f_{stat} \quad (48)$$

**Varianta II<sub>1</sub>**

$$F_a' = (1,225 \cdot F_a + 2,676 \cdot F_r) \cdot f_{stat} \quad (49)$$

$$M_{ras}' = 1,225 \cdot M_{ras} \cdot f_{stat} \quad (50)$$

**Varianta II<sub>2</sub>**

$$F_a' = (F_a + 2,05 \cdot F_r) \cdot f_{stat} \quad (51)$$

$$M_{ras}' = M_{ras} \cdot f_{stat} \quad (52)$$

Unde :

$F_a$  = Sarcina axială

$F_r$  = Sarcina radială

$M_{ras}$  = momentul de răsturnare

Pentru tipurile de rulmenți la care sarcina axială este preponderentă și în cazul în care rulmentul exterior al rulmentului nu este danturat sunt valabile relațiile 48 și 50 fără factorul  $f_{stat}$ . Rulmentul ales este potrivit static dacă ambele combinații ( $I$  și  $II_1$ ) se află sub curba limită a sarcinii. Relațiile 51 și 52 sunt valabile în cazul rulmenților cu role pe un rând.

În cazul rulmenților cu două și trei rânduri de role sarcinile radiale nu au influență asupra formei curbei limită a sarcinii.

Pentru determinarea sarcinilor statice se vor lua în considerare valorile maxime care pot apărea inclusiv sarcina suplimentară și de verificare.

### 3.2.3 Determinarea capacității portante dinamice :

Sarcinile calculate  $F_A^I$  și  $M_{ras}^I$  se vor înmulți cu un factor  $f_{din}$  potrivit cazului aplicat

$$F_A^I = F_A \cdot f_{din} \quad (53)$$

$$M_{ras}^I = M_{ras} \cdot f_{din} \quad (54)$$

În tabelul 3.2 se prezintă mărimile uzuale ale factorilor  $f_{stat}$  și  $f_{din}$  pentru câteva cazuri de aplicații practice de utilaje complexe care au în compunerea lor rulmenți grei, precum și durata de viață recomandată.

Valorile înscrise în tabel pentru  $f_{din}$  se referă la o situație cu încărcări maxime de funcționare și s-au stabilit pe baza experienței practice și din cercetări pe ștand de încercare. Dacă se va porni de la încărcări medii pentru determinarea numărului necesar de rotații de sarcină, corespunzător se vor folosi valori ale duratei de folosire mai mari.

*Observații și interpretări asupra datelor din tabelul 3.2*

\* Se referă la partea superioară a macaralelor rotative unde :

$M_{ri}$  = moment de rotire inversă fără sarcină

$M_i$  = moment la încărcare max.

\*\* Siguranța statică ( $f_{stat}$  ex. sarcina de ridicare, sarcini mari pentru testare etc.) pot fi depășite doar în cazuri excepționale.

Pentru situațiile de aplicare care necesită  $f_{stat} = 1,45$ , aceasta are loc la solicitări medii mai mari. În această situație se folosesc rulmenți cu mai multe rânduri de bile/role.

\*\*\* Pentru aceste cazuri condițiile de folosire sunt foarte diferite, mai ales din punct de vedere al duratei de acționare a mecanismului de rotire și a sarcinilor la rotire. Astfel, pentru mișcările rotative cu frecvență redusă, (ex. mișcările reglate pentru o poziție de lucru) este necesară o abordare statică. Pe de altă parte, pentru o pivotare este necesară o interpretare după durata de utilizare. O interpretare după o durată de folosire poate fi necesară și atunci, când rulmentul trebuie să execute mișcări relative, cum este deseori cazul la brațele de deversare ale benzilor de pe excavator.

Tabel 3.2

Cazuri de aplicabilitate		$f_{stat}$	$f_{din}$	Durata de viață la sarcină nominală
0		1	2	3
Macara de plutire (colete) Macara pe șenilă (colete) Macara de bord (graifăr) Masă de rotire pentru sudură Placă tumantă (funcționare non-stop)		1,10	1,0	30.000
Macara rotativă de construcție	Rotire superioară*	$M \leq 0,5 M_i$	1,0	30.000
		$0,5 M_i \leq M \leq 0,8 M_i$	1,15	45.000
		$M \geq 0,8 M_i$	1,25	60.000
Rotire inferioară		1,25	1,0	30.000
Macara pivotantă (colete) Macara șantier naval Cărucior rotativ (coletaj) Încărcător / descărcător naval			1,15	45.000
Macara uzină metalurgică			1,5	100.000
Macara mobilă (graifăre capacitate înaltă de virare) Macara rotativă (graifăr / magnet) Cărucior rotativ (graifăr / magnet) Pod de încărcare (graifăr / magnet) Macara plutitoare (graifăr / magnet)		1,45**	1,7	150.000
Excavator roată port cupe Mecanismul de rotire principal Reîncărcător Mașină de haldat Pod rotitor pentru transport			2,15	300.000
Platformă de foraj plutitoare		dispunere conform instrucțiunilor speciale		
Macara de cale ferată Macara de bord (coletaj)		1,00	Pentru aceste azuri de aplicabilitate se vor lua în considerare notițele alăturate***	
Mașină de haldat Consolă de susținere a benzii de transport Cărucior de bandă		1,10		
Excavator cu cablu / cupă de transport Cupă rotativă		1,25		
Excavator hidraulic Alte tipuri de rulmenți Excavator hidraulic : până la 1,5 m <sup>3</sup>		1,25		
Peste 1,5 m <sup>3</sup>		1,45		
Căruciorul oalei de turnare		1,75	dispunere conform instrucțiunilor speciale	

Mărimile factorului  $f_{din}$  neindicate în tabel depind de condițiile de funcționare ale utilajelor care sunt foarte diferite. O alegere corectă a duratei de utilizare este posibilă numai la cunoașterea concretă a condițiilor de asamblare a mecanismului de rotire, a cunoașterii vitezei de rotație liniare și unghiulare precum și a amplitudinii rotației.

În figurile 3.18; 3.19; 3.20 și 3.21 sunt prezentate schemele forțelor și momentelor de încărcare a unor utilaje destinate carierelor de cărbune.

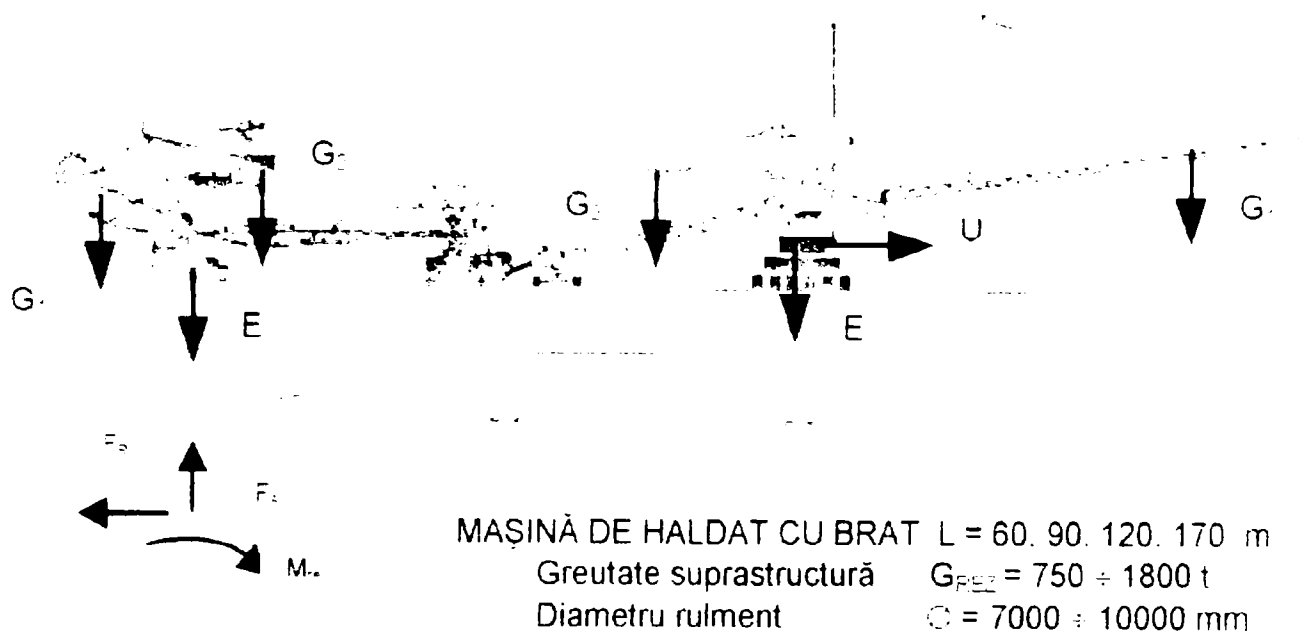
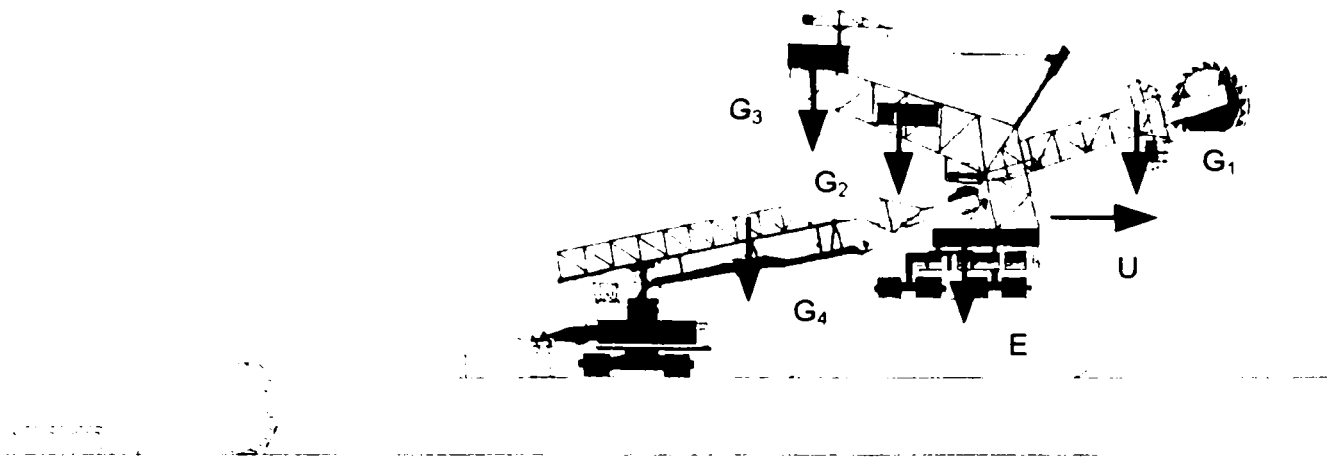
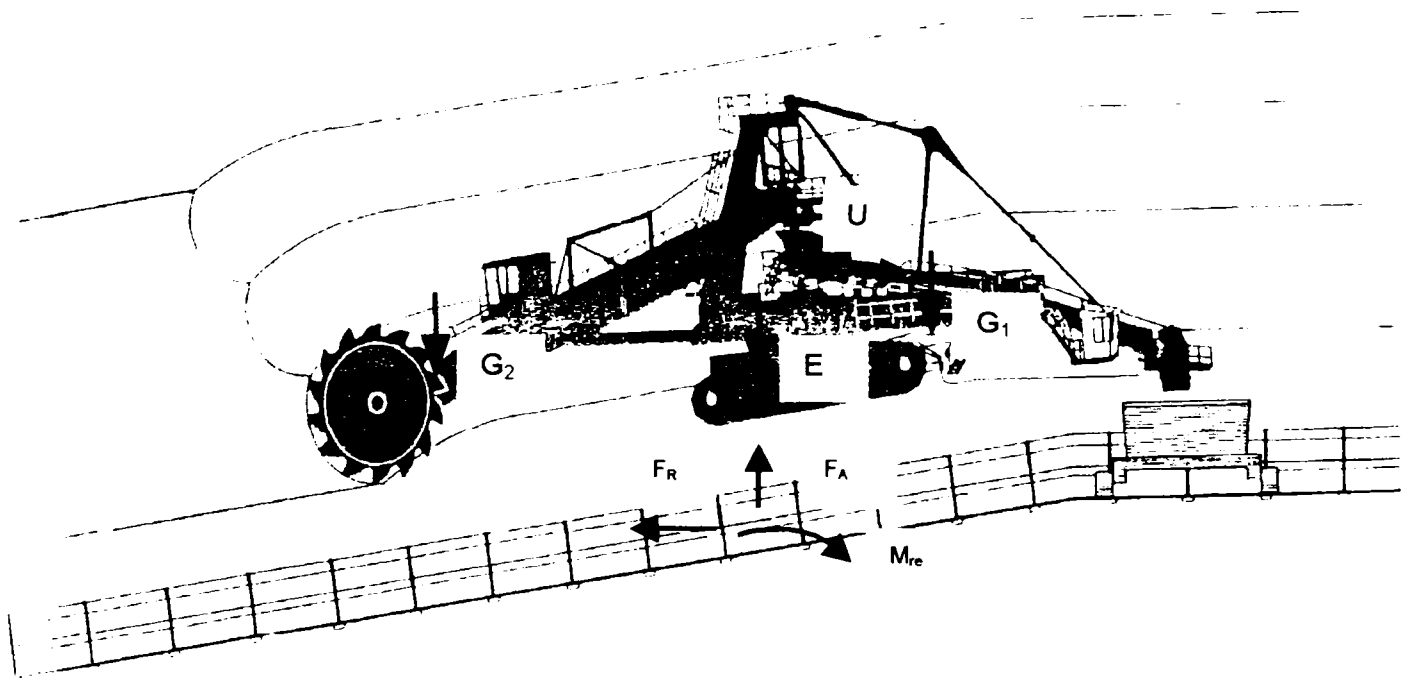


Fig. 3.18 Ansamblu excavator, Cărucior de bandă și Mașină de haldat



EXCAVATOR CU ROATĂ PORT CUPE Q = 1300, 1400, 2000 l  
Greutate suprastructură  $G_{RAZ} = 825 \div 1200$  t  
Diametru rulment  $\varnothing = 8500 \div 10000$  mm

Fig. 3.19 Excavator cu roată port cupe



EXCAVATOR COMPACT Q = 120, 150, 250, 500, 800, 1200, 1600 l  
Greutate suprastructură  $G_{RAZ} = 175 \div 800$  t  
Diametru rulment  $\varnothing = 3500 \div 6300$  mm

Fig. 3.20 Excavator compact

### 3.2.4. Exemplu de calcul al rulmentului

Se prezintă în continuare un exemplu concret de alegere a unui rulment greu pentru o macara pivotantă utilizată la încărcarea și descărcarea de containere și de marfă în vrac ( tip greifăr ) .

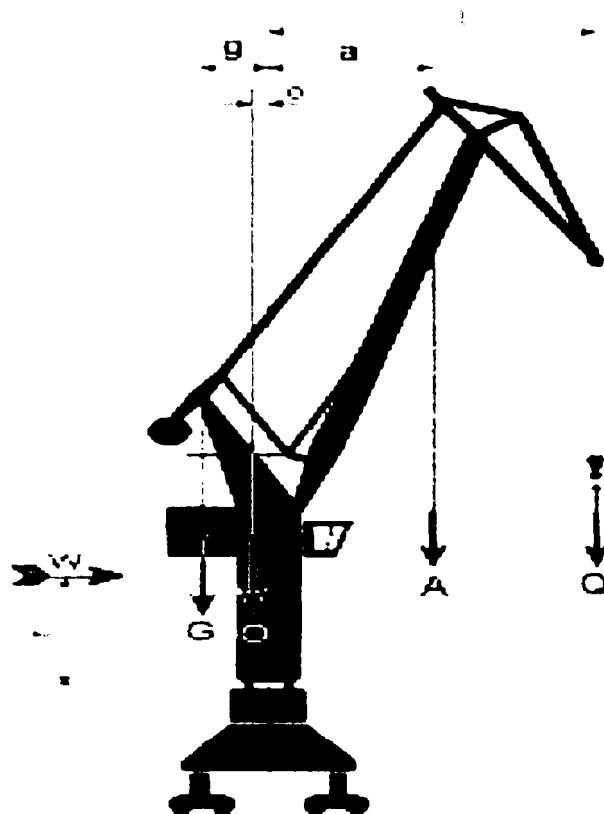


Fig. 3.21 Macara portal

Sarcina maximă se va alege în funcție de situație conform următoarelor formule. Sarcinile calculate se vor înmulți cu factorul de sarcină  $f_{stat}$  înaintea alegerii rulmentului.

Pentru exemplele expuse sunt valabile:

Tip container : factor de sarcină  $f_{stat} = 1,25$

Tip cu graifăr: factor de sarcină  $f_{stat} = 1,45$

#### 1 Sarcina de ridicare la poziția maximă

##### 1.1 Încărcare maximă în funcționare inclusiv cu vânt:

$$\text{Sarcină axială} \quad F_a = Q_1 + A + O + G$$

$$\text{Moment de răsturnare} \quad M_{ras} = Q_1 \cdot l_{max} + A \cdot a_{max} + W \cdot r - O \cdot o - G \cdot g$$

##### 1.2 Încărcare inclusiv factorul de sarcină la ridicare fără vânt:

$$\text{Sarcină axială} \quad F_a = 1,25 \cdot Q_1 + A + O + G$$

$$\text{Moment rezultat} \quad M_{ras} = 1,25 \cdot Q_1 \cdot l_{max} + A \cdot a_{max} - O \cdot o - G \cdot g$$



## 2 Sarcina de ridicare la poziția minimă

### 2.1 Încărcare de funcționare maximă inclusiv cu vânt:

$$\begin{aligned} \text{Sarcină axială} & F_a = Q_2 + A + O + G \\ \text{Moment rezultat} & M_{\text{ras}} = Q_2 \cdot l_{\text{min}} + A \cdot a_{\text{min}} + W \cdot r - O \cdot o - G \cdot g \end{aligned}$$

### 2.2 Încărcare inclusiv $f_{\text{stat}}$ ridicare fără vânt:

$$\begin{aligned} \text{Sarcină axială} & F_a = 1,25 \cdot Q_2 + A + O + G \\ \text{Moment rezultat} & M_{\text{ras}} = 1,25 \cdot Q_2 \cdot l_{\text{min}} + A \cdot a_{\text{min}} - O \cdot o - G \cdot g \end{aligned}$$

Dacă în relațiile de mai sus pentru o macara portal de încărcat și descărcat containere se înlocuiesc valorile forțelor și brațelor cu date reale din funcționare rezultă următoarele :

- *La poziție maximă*

$$\begin{aligned} Q &= 220 \text{ kN} & l_{\text{max}} &= 23 \text{ m} \\ A &= 75 \text{ kN} & a_{\text{max}} &= 11 \text{ m} \\ O &= 450 \text{ kN} & o &= 0,75 \text{ m} \\ G &= 900 \text{ kN} & g &= 3 \text{ m} \\ W &= 27 \text{ kN} & r &= 6,5 \text{ m} \end{aligned}$$

### 1.1' Încărcare de funcționare maximă inclusiv cu vânt:

$$\begin{aligned} F_a &= Q_1 + A + O + G \\ F_a &= 220 + 75 + 450 + 900 \\ F_a &= \mathbf{1645 \text{ kN}} \\ M_{\text{ras}} &= Q \cdot l_{\text{max}} + A \cdot a_{\text{max}} + W \cdot r - O \cdot o - G \cdot g \\ M_{\text{ras}} &= 220 \cdot 23 + 75 \cdot 11 + 27 \cdot 6,5 - 450 \cdot 0,75 - 900 \cdot 3 \\ M_{\text{ras}} &= \mathbf{3023,0 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

### 1.2' Încărcare inclusiv factorul static ( 25% ) la ridicare fără vânt:

$$\begin{aligned} F_a &= Q_1 \cdot 1,25 + A + O + G \\ F_a &= 275 + 75 + 450 + 900 \\ F_a &= \mathbf{1700 \text{ kN}} \\ M_{\text{ras}} &= Q \cdot 1,25 \cdot l_{\text{max}} + A \cdot a_{\text{max}} - O \cdot o - G \cdot g \\ M_{\text{ras}} &= 275 \cdot 23 + 75 \cdot 11 - 450 \cdot 0,75 - 900 \cdot 3 \\ M_{\text{ras}} &= \mathbf{4112,5 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

## 2.2' Încărcare de funcționare maximă inclusiv $f_{stat}$ fără vânt:

$$F_a = 1645 \text{ kN}$$

$$M_{ras} = Q_2 \cdot l_{max} + A \cdot a_{max} - O \cdot o - G \cdot g$$

$$M_{ras} = 220 \cdot 23 + 75 \cdot 11 - 450 \cdot 0,75 - 900 \cdot 3$$

$$M_{ras} = 2847,5 \text{ kNm}$$

La alegerea rulmentului se vor avea în vedere valorile dimensionării statice după datele obținute în cazul de încărcare 2 respectiv pentru determinarea duratei de folosire valorile obținute în cazul de încărcare 3.

Capacitatea portantă statică calculată a rulmentului cu factorul de sarcină  $f_{stat} = 1,25$  se va verifica după curba statică de încărcare limită teoretică fig. 3.22.

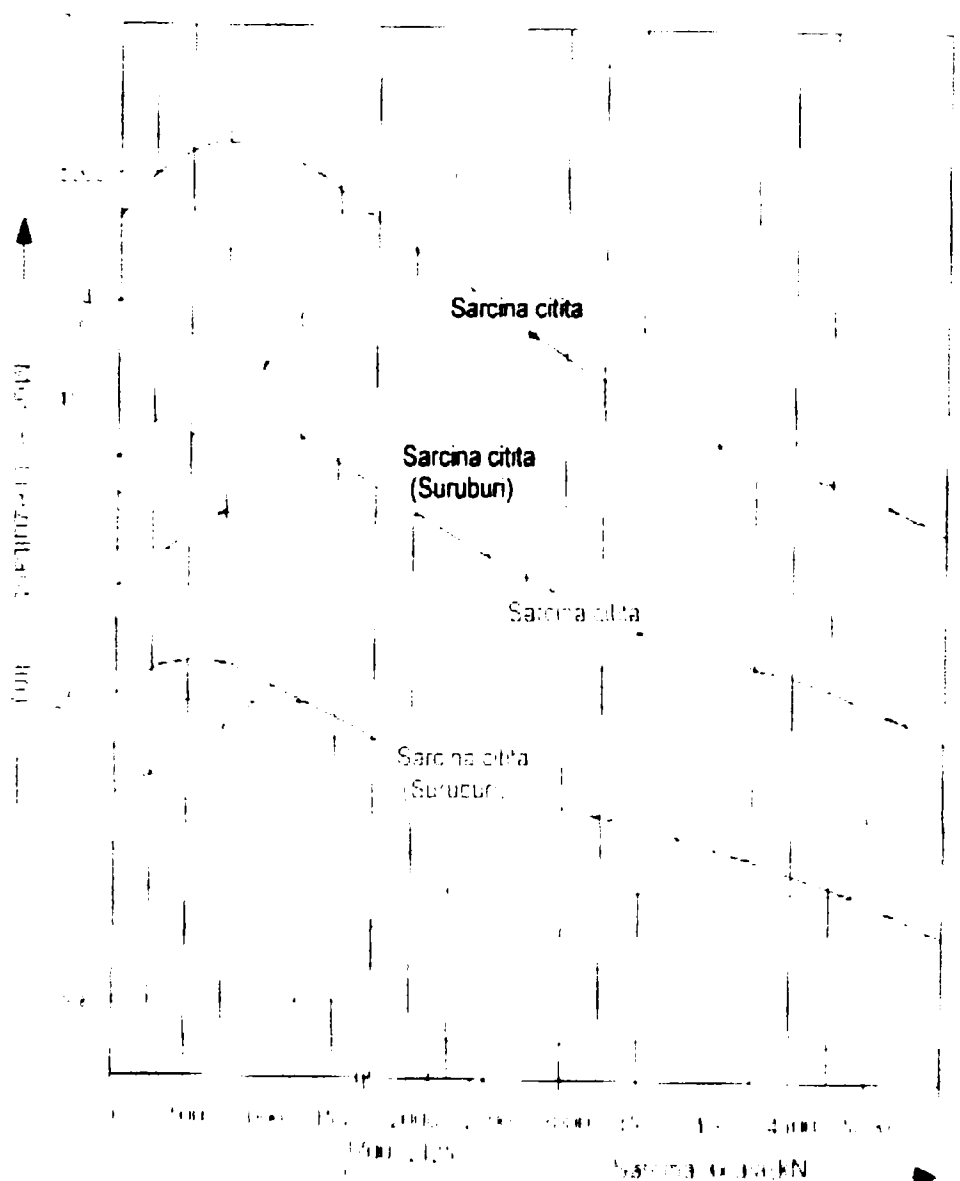


Fig. 3.22 a Curba de sarcină limită statică

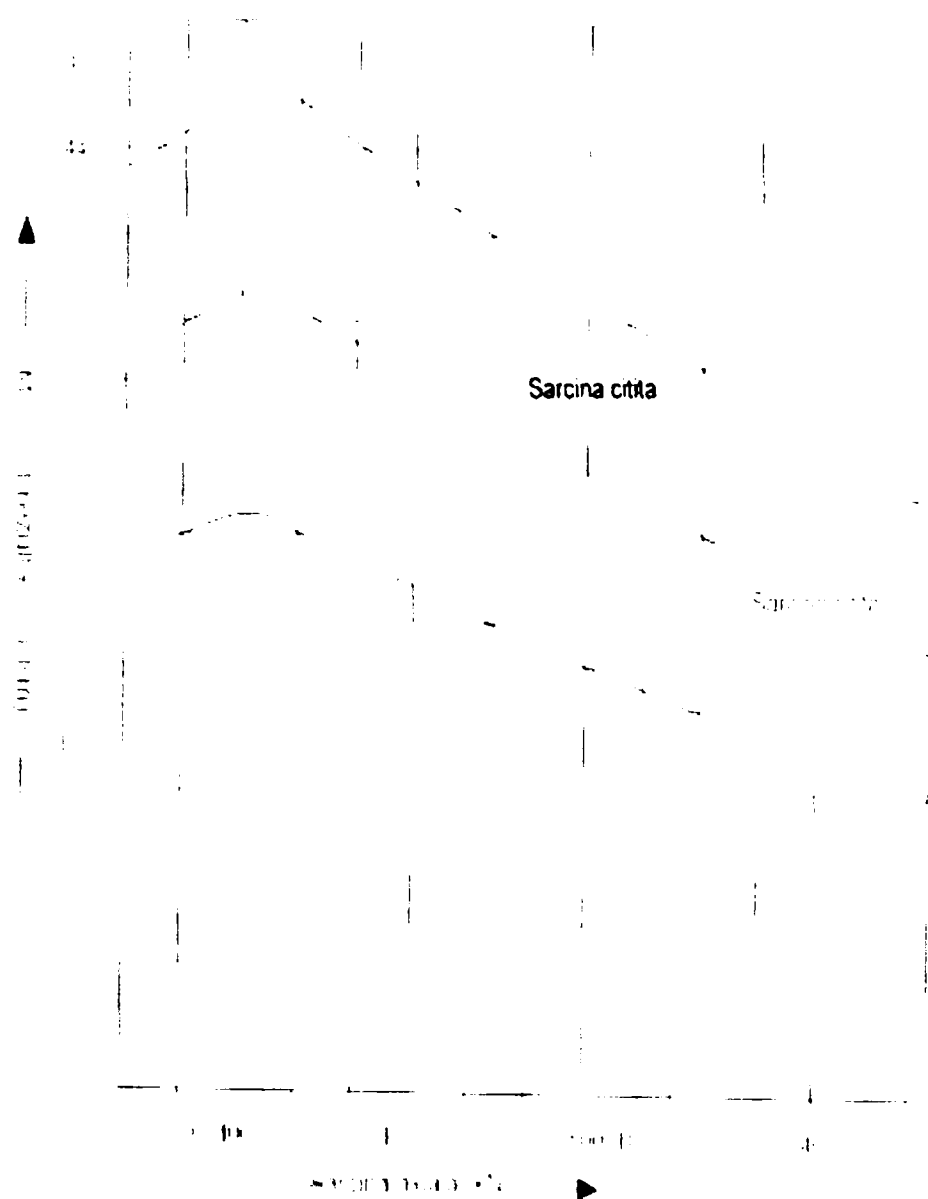


Fig.3.22 b Curba duratei de utilizare la 30 000 turatii

Aplicarea acestui factor duce la :

- *Caz de sarcină (1. 2')*

$$F_{a'} = 1700 \cdot 1,25 = 2125 \quad [ \text{kN} ]$$

$$M_{\text{ras}'} = 4112,5 \cdot 1,25 = 5140,6 \quad [ \text{kNm} ]$$

Pentru o durată de folosire de 45.000 rotații la sarcină maximă se va aplica un factor de sarcină  $f_s = 1,15$  , rezultând :

- *Caz de sarcină (2.2')*

$$F_{a'} = 1645 \cdot 1,15 = 1891,7 \quad [ \text{kN} ]$$

$$M_{\text{ras}'} = 2847,5 \cdot 1,15 = 3274,6 \quad [ \text{kNm} ]$$

Numărul șuruburilor și clasa de rezistență al acestora se va stabili pentru sarcina totală fără factorul static.

Suprapunând valorile forțelor și momentele obținute din calcul peste cele prezentate în nomogramele teoretice a rezultat necesitatea echipării macaralei portal în funcțiune cu un rulment dublu axial cu două rânduri de bile cu următorii parametrii :

▪ Diametrul inelului exterior	2820 mm
▪ Diametrul inelului interior	2432 mm
▪ Lățimea rulmentului	138 mm
▪ Numărul de bile	153 buc
▪ Numărul șuruburilor de fixare pe construcția metalică	72 buc
▪ Valoarea forței tangențiale maxime admise	305,4 kN

### 3.2.5. Alegerea tipului de rulmenți în funcție de mărimea sarcinii și sensul acesteia

- Sarcină radială

La sarcini radiale mici și mijlocii se folosesc rulmenți radiali cu bile. La sarcini radiale mari, cât și pentru diametre de abateri mari se folosesc rulmenți radiali pe două rânduri. În situația unui spațiu redus și a unor sarcini mai mari se recomandă rulmenți cu ace.

- Sarcina axială

La sarcini pur axiale se utilizează rulmenți axiali cu bile cu simplu efect pentru încărcare în ambele sensuri.

La sarcini axiale mici și mijlocii și turații medii se utilizează rulmenți axiali cu bile pe un rând sau pe două rânduri. La turații mari și sarcini axiale mici se utilizează rulmenți axiali cu bile. Sub influența sarcinii axiale în acești rulmenți se formează un unghi de contact definit, de  $0^\circ$ , care face ca acești rulmenți să funcționeze ca rulmenți radiali-axiali cu bile. Pentru mărirea capacității de preluare a sarcinii axiale se alege un joc mic.

La sarcini axiale medii și turații mari se utilizează rulmenți radiali-axiali cu bile, montați în perechi, pentru prelucrarea sarcinilor din ambele sensuri. De asemenea se utilizează rulmenți cu contact în patru puncte.

- Sarcina combinată

La preluarea sarcinilor combinate radiale și axiale simultane se utilizează rulmenți cu un unghi de contact diferit de  $0^\circ$ . Cu cât unghiul de contact este mai mare, cu atât capacitatea de a prelua sarcina este mai mare. Rulmenții radiali oscilanți cu bile sau cu role sau cei radiali cu role cilindrice suportă sarcini combinate de anumite valori, ce nu pot fi depășite. Rulmenții cu role cilindrice preiau sarcinile axiale prin intermediul frecării de alunecare pe gulere. În cazul utilizării rulmenților ce suportă sarcini axiale numai într-un singur sens, aceștia se vor muta întotdeauna în pereche pentru a prelua sarcina axială în ambele sensuri.

### 3.2.6. Alegerea tipului de rulment în funcție de temperatura de exploatare

În timpul funcționării, în mod practic există trei puncte de control al temperaturii urmărite prin senzori și afișare digitală. Acestea sunt : un punct pe inelul exterior, unul pe colivie și altul pe carcasă.

Când temperaturile măsurate în rulment sunt până în  $80^\circ\text{C}$  funcționarea este corectă. Temperaturi pozitive pot fi acceptate până la max.  $+120^\circ\text{C}$ , însă în acest caz calitatea lubrifianului scade foarte mult.

La temperaturi negative, până la  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , rulmenții pot funcționa numai dacă sunt prevăzuți cu materiale de ungere adecvate.

Dacă în timpul funcționării temperaturile inelului exterior, coliviei și carcasei sunt diferite și apar dilatări relative între acestea, apare pericolul blocajului în funcționare a rulmentului. În aceste condiții jocurile în rulment și starea tehnică va fi aleasă corespunzător.

### 3.2.7. Alegerea jocului din rulment

În stare de funcționare, rulmenții necesită, în majoritatea cazurilor, un joc radial redus care poate fi definit prin valoarea cu care se poate deplasa, în sens radial, un inel față de celălalt, fără să apară o deformare a pieselor rulmentului.

Jocul rulmentului în stare de funcționare se deosebește de starea de livrare, deoarece prin montarea în lagăr cu un ajustaj de strângere, acesta se diminuează.

Deasemenea, o diferență de temperatură în timpul funcționării între inelele de rulmenți conduce la o modificare a jocului. În general, rulmenții mari se livrează cu jocul radial sau axial normal, conform valorilor indicate la fiecare grupă de rulmenți (tabelul 3.3).

Rulmenți cu bile pe un rând (cu 4 puncte de contact)

Tabelul 3.3

Diametru cale de rulare -mm-	Diametru bilă -mm-											
	20	22	25	30	35	40	45	50	60	70	125	150
Valori admise ale uzurii												
1000	1,4	1,4	1,4	1,5	1,7	1,9	2,1	2,5				
1250		1,5	1,5	1,6	1,7	2,0	2,2	2,6	2,7			
1500			1,6	1,7	1,7	2,0	2,3	2,6	2,8			
1750				1,7	1,8	2,1	2,3	2,7	2,9	3,0		
2000				1,8	1,9	2,2	2,4	2,8	2,9	3,1		
2250					2,0	2,3	2,5	2,9	3,0	3,2		
2500					2,0	2,3	2,6	2,9	3,1	3,2	4,1	
2750						2,4	2,6	3,0	3,2	3,3	4,2	
3000						2,5	2,7	3,1	3,2	3,4	4,4	
3250						2,6	2,8	3,2	3,3	3,5	4,6	5,1
3500							2,9	3,2	3,4	3,5	4,6	5,1
3750							3,0	3,3	3,5	3,6	4,7	5,2
4000								3,3	3,6	3,7	4,7	5,2
4500								3,5	3,8	3,9	4,9	5,3
5000								3,7	4,0	4,1	5,0	5,4
5500								3,9	4,2	4,3	5,1	5,4
6000								4,1	4,5	4,6	5,2	5,5
6500									4,6	4,7	5,2	5,5
7000									4,8	4,9	5,3	5,6
7500										5,1	5,3	5,6
8000										5,3	5,4	5,7
8500											5,5	5,8
8650												5,8

Rulmenți cu role

Tabelul 3.4

Diametru cerc rulare -mm-	Diametru role -mm-														
	16	20	25	28	32	36	40	45	50	60	70	80	90	100	120
	Valori admise ale uzurii														
400	0,20	0,22	0,24												
500	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28										
630	0,25	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,38								
800	0,25	0,27	0,29	0,31	0,33	0,36	0,38								
1000	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,41	0,43	0,46							
1250	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,51	0,53	0,56	0,60						
1500	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,61	0,63	0,66	0,70						
2000		0,62	0,64	0,66	0,68	0,71	0,73	0,76	0,80	0,90	1,00	1,10			
2500			0,74	0,76	0,78	0,81	0,83	0,86	0,90	1,00	1,10	1,21	1,33		
3150				0,85	0,88	0,91	0,93	0,96	1,00	1,10	1,20	1,32	1,45	1,60	
4000					0,98	1,01	1,03	1,06	1,10	1,20	1,30	1,43	1,57	1,75	
5000						1,11	1,13	1,16	1,20	1,30	1,40	1,54	1,69	1,90	
6000						1,21	1,23	1,26	1,30	1,40	1,50	1,65	1,81	2,05	
7000								1,36	1,40	1,50	1,60	1,76	1,93	2,20	
8000										1,60	1,70	1,87	2,05	2,35	

Observații : pentru cazuri de aplicabilitate deosebită nu sunt admise aceste mărimi ale jocului de rulment, ex. : pentru utilajele de transport persoane valorile vor fi maxim 50% din cele cuprinse în tabelul 3.3 și 3.4.

Reducerea jocului radial prin influența ajustajului și a temperaturii de funcționare se apreciază în limitele de 60-80% din valoarea străngerii în funcție de seria și mărimea rulmentului.

Rulmenții fără elemente interschimbabile au jocul radial mai mic decât rulmenții cu elemente interschimbabile. Nu se admite schimbarea inelelor de la un inel la altul, decât la rulmenții cu elemente interschimbabile, la care inelele se pot schimba fără ca prin aceasta să fie afectate valorile jocului radial.

### 3.2.4. Determinarea dimensiunii rulmentului

Dimensiunea unui rulment se determină în funcție de sarcina din lagărul în care se montează.

Această sarcina notată "C", se folosește la determinarea dimensiunii rulmenților care se rotesc sub sarcină. Aceasta reprezintă sarcina admisibilă pentru care rulmentul are o durabilitate de 1000000 de rotații și se calculează conform normei I.S.O.-281. Ținând seama de sarcina dinamică de bază a rulmentului, se calculează timpul de funcționare până la apariția exfolierii prin oboseală, iar valoarea obținută este durabilitatea calculată.

În România s-a adoptat norma ISO-281 sub numele SR-ISO-281, simbolurile formulelor sunt preluate din aceasta norma.

Sarcina de bază  $C_{or}$  se ia în calcul când rulmentul are turație redusă, oscilații reduse sau când staționează.

Sarcina statică de bază este definită potrivit standardului ISO-76, respectiv SR\_ISO\_76 drept sarcina care acționează asupra rulmentului staționar, ce corespunde unei presiuni de contact calculate în centrul petei de contact dintre cel mai încărcat corp de rostogolire și calea de rulare, în valoare de :

- 4600MPa pentru rulmenții radiali-oscilanți cu bile;

corespunde unei presiuni de contact calculate în centrul petei de contact dintre cel mai încărcat corp de rostogolire și calea de rulare, în valoare de :

- 4600MPa pentru rulmenții radiali-oscilanți cu bile;
- 4200MPa pentru ceilalți rulmenți cu bile;
- 4000MPa pentru rulmenții cu role.

Aceasta produce o deformare permanentă a căilor de rulare și a corpurilor de rostogolire de  $\sim 10^{-4}$  din diametrul corpului de rostogolire, sarcina fiind pur radială, pentru rulmenți radiali și pur axială pentru rulmenții axiali.

Dimensiunea rulmentului se determină și în funcție de durabilitatea în funcționare și de siguranța impusă în exploatare.

### 3.3. Aprecieri asupra durabilității rulmenților grei

Durabilitatea unui rulment este numărul de rotații sau de ore pe care le poate efectua înainte de apariția primelor semne de oboseală a materialului pe căile de rulare ale inelelor sau pe corpurile de rostogolire.

Pentru a ține cont în calcul numai de fenomenele de oboseală ale materialului pe suprafețele active ale rulmentului, trebuie respectate următoarele condiții:

- a) Forțele și turațiile care stau la baza calculului rulmentului trebui să corespundă condițiilor reale de funcționare.
- b) Să se asigure o ungere corespunzătoare pe întreaga perioadă de funcționare.
- c) Dacă încărcarea rulmentului este mică, ieșirea sa din uz nu se va mai datora materialului, ci uzurii.
- d) Practica în exploatare a arătat că scoaterea din uz a unui număr însemnat de rulmenți se datorează altor cauze decât oboseala materialului, ca: alegerea nepotrivită a materialului în nod, exploatarea necorespunzătoare, ungerea necorespunzătoare, pătrunderea de corpuri străine în rulmenți, etc.

#### 3.3.1 Durabilitatea nominală

Durabilitatea nominală pentru un rulment individual sau pentru o grupă de rulmenți, aparent identici și funcționând în aceleași condiții, este durabilitate asociată unei fiabilități de 90%.

Durabilitatea medie a unui grup de rulmenți este de circa cinci ori mai mare decât cea nominală. Durabilitatea nominală se notează cu "L<sub>10</sub>" în milioane de rotații, sau cu "L<sub>10h</sub>" în ore.

Durabilitatea nominală se calculează cu relația :

$$L_{10} = \left( \frac{C}{P} \right)^p \quad (55)$$

unde:

- L<sub>10</sub> - durabilitatea nominală în milioane de rotații;
- C - sarcina de bază în KN;

Sarcina dinamică echivalentă, respectiv sarcina radială și sarcina axială care acționează simultan pe rulmenții radiali și radiali cu bile și cu role se calculează cu relațiile:

$$P = F_r \quad (55)$$

pentru sarcină pur radială (în KN).

$$P = X F_r + Y F_a \quad (56)$$

pentru sarcină combinată (în KN).

La rulmenții axiali cu bile se calculează cu relațiile:

$$P = F_a \quad (57)$$

pentru sarcină pur axială (în KN),

$$P = X F_r + Y F_a \quad (58)$$

pentru sarcină combinată (în KN).

Simbolurile din relațiile 55 ÷ 58 reprezintă:

- $F_r$  este componenta radială a încărcării în KN;
- $F_a$  este componenta axială a încărcării în KN.

La o turație constantă se poate calcula durabilitatea rulmentului în ore, după relația:

$$L_{10h} = \frac{1000000}{60n} \left( \frac{C}{P} \right)^p \quad (59)$$

în care

$n$  = turația în rot / min.

Valorile durabilității nominale  $L_{10}$  în milioane de rotații în funcție de raportul  $C/P$ , sunt date în tabelul 3.5 (valori parțiale).

Tabelul 3.5

$L_{10}$	Raportul C/P		$L_{10}$	Raportul C/P	
	rulmentul cu bile	rulmentul cu role		rulmentul cu bile	rulmentul cu role
0	1	2	3	4	5
0.5	0.793	0.812	600	8.43	6.81
0.75	0.909	0.917	650	8.66	6.98
1.00	1.000	1.000	700	8.88	7.14
4.00	1.59	1.52	900	9.65	7.70
5.00	1.71	1.62	950	9.83	7.82
6.00	1.82	1.71	1000	10.00	7.94
14.00	2.41	2.21	1400	11.20	8.79
16.00	2.52	2.30	1500	11.40	8.97
18.00	2.62	2.38	1600	11.70	9.15
30	3.27	2.91	2000	12.60	9.78
35	3.42	3.02	2200	13.00	10.10
40	3.56	3.13	2400	13.40	10.30
80	4.31	3.72	3200	14.70	11.30
90	4.48	3.86	3400	15.00	11.50
100	4.64	3.98	3600	15.30	11.70
180	5.65	4.75	5000	17.10	12.90
200	5.85	4.90	5500	17.70	13.20



100	4.64	3.98	3600	15.30	11.70
180	5.65	4.75	5000	17.10	12.90
200	5.85	4.90	5500	17.70	13.20
220	6.04	5.04	6000	18.20	13.60
300	6.69	5.54	8000	20.00	14.80
320	6.84	5.64	8500	20.40	15.10
340	6.98	5.75	9000	20.80	15.40
420	7.49	6.12	14000	24.10	17.50
440	7.61	6.21	16000	25.20	18.20
460	7.82	6.29	18000	26.20	18.90

La determinarea mărimii rulmentului este necesar să se stabilească durabilitatea nominală corespunzătoare scopului utilizării.

### 3.3.2 Construcții speciale de inele de rulare

#### 3.3.2.1. Inele de rulare pentru role conice.

La inelul de rulare cu role, transmiterea forțelor verticale de la suprastructura rotitoare la infrastructură se face prin role conice, care rulează între două căi circulare (figura 3.23)

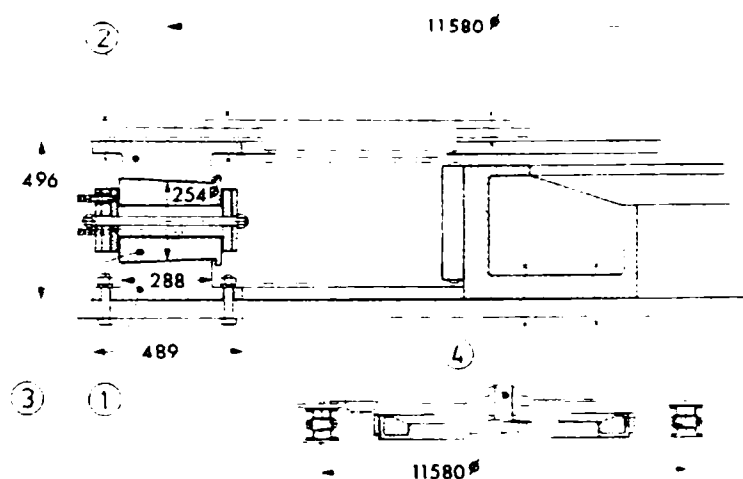


Figura 3.23. Inel cu role

1. Cale rulare inferioară
2. Cale rulare superioară
3. Rolă conică
4. Fus / dop

Rolele sunt conduse pe direcția orizontal radială prin căile de rulare și nu preiau forțe orizontale. Forțele orizontale se transmit de la suprastructură spre infrastructură prin construcții speciale, de tipul cale cu role.

Inelele de rulare cu role sunt preferate pentru excavatoarele cu cupe. La aceste utilaje există în centrul de rotație o construcție stabilă pentru transmiterea forțelor orizontale și ridicarea infrastructurii la pășire, deoarece nu trebuie acordată atenție nici deversării materialului de transportat și nici unor conducte importante de alimentare. La excavatoarele cu roată portcupe, unde trebuie ținut cont de trecerea

materialului de transportat și de conductele de alimentare, construcția stabilă sus amintită este imposibilă; inelele de rulare cu role s-au folosit în aceste cazuri foarte rar și cu un succes îndoielnic.

De aceea, aceasta soluție nu va fi luată în considerare în cele ce urmează.

### 3.3.2.2. Construcții speciale de inele de rulare pentru rulmenți cu mai multe rânduri de bile și role

În situații speciale este necesară transmiterea prin inelul de rulare nu numai a forțelor de compresiune, ci și de tracțiune pe direcția  $z$ , inelul de rulare cu bile neputând face față cerințelor.

În asemenea cazuri se utilizează construcții speciale de inele de rulare.

Pot fi inele de rulare cu bile sau role, prevăzute cu două, respectiv trei căi de rulare diferite; o cale de rulare pentru transmiterea forțelor de compresiune, o cale de rulare pentru transmiterea forțelor de tracțiune și o cale de rulare pentru preluarea forțelor orizontale care acționează între infra și suprastructură.

În figura 3.24 se prezintă un inel de rulare cu bile format din trei componente și având două căi de rulare; în figura 3.25 se prezintă un inel de rulare cu role format din trei componente și având trei căi de rulare, precum și legătura cu infra și suprastructură.

Avându-se în vedere precizia necesară pentru căile de rulare cu bile, respectiv role, aceste inele se execută numai până la dimensiuni la care inelul poate fi livrat într-o bucată pe șantier.

Asemenea inele se execută în ateliere speciale, dotate astfel încât pot respecta precizia necesară în execuție. Acești rulmenți sunt mult mai sensibili la imprecizii ale suprafeței de susținere, executanții acestor inele au corespunzător pretenții mai mari la planeitatea și rigiditatea infrastructurii, care trebuie satisfăcute la alinierea, execuția și montarea utilajului.

Dacă nu se respectă aceste prescripții, inelul se va defecta prematur. De aceea, aceste variante se vor utiliza numai dacă cele clasice nu satisfac.

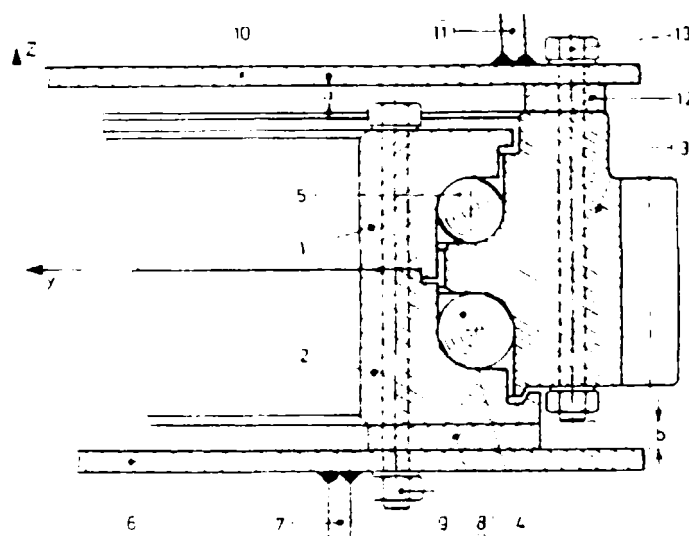
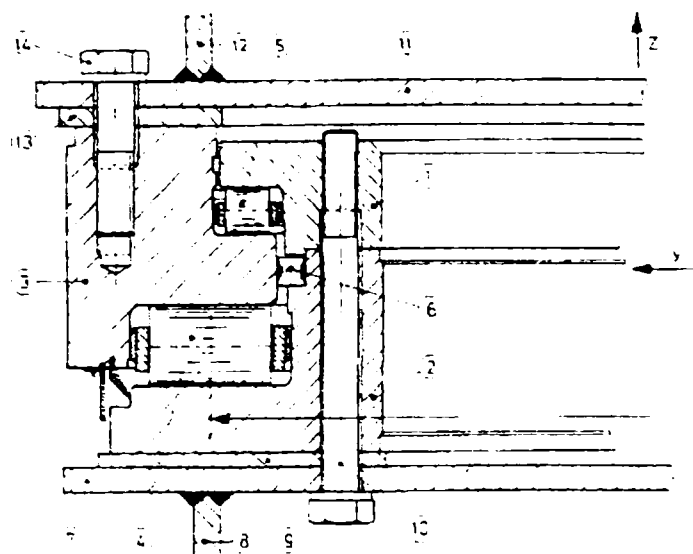


Figura 3.24. Inel de rulare cu bile, format din trei componente și având două căi de rulare

- 6 - disc superior al infrastructurii;
- 7 - nervură a infrastructurii;
- 8 - strat intermediar în infrastructura pentru obținerea unei distanțe b corespunzătoare;
- 9 - șuruburi de fixare pentru componentele 1 și 2 pe infrastructură;
- 10 - disc inferior al suprastructurii;
- 11 - nervură a suprastructurii;
- 12 - strat intermediar în suprastructura pentru obținerea unei distanțe a corespunzătoare;
- 13 - șuruburi de fixare a componentei 3 pe suprastructură.



**Figura 3.25** Inel de rulare cu role format din trei componente și având trei căi de rulare

- 1 și 2 - segmente de inel legate de infrastructură;
- 3 - segment de infrastructură;
- 4 - role pentru transmiterea forțelor pe direcția  $-z$ ;
- 5 - role pentru transmiterea forțelor pe direcția  $+z$ ;
- 6 - role pentru transmiterea forțelor pe direcția  $\pm y$ ;
- 7 - disc superior al infrastructurii;
- 8 - nervură infrastructură;
- 9 - strat intermediar infrastructură;
- 10 - șuruburi de fixare ale segmentelor 1 și 2 pe infrastructură;
- 11 - disc inferior al suprastructurii;
- 12 - nervură suprastructură;
- 13 - strat intermediar suprastructură;
- 14 - șuruburi de fixare a segmentului 3 pe suprastructură.

### 3.3.2.3. Construcții speciale de căi de rulare, suspendate hidraulic

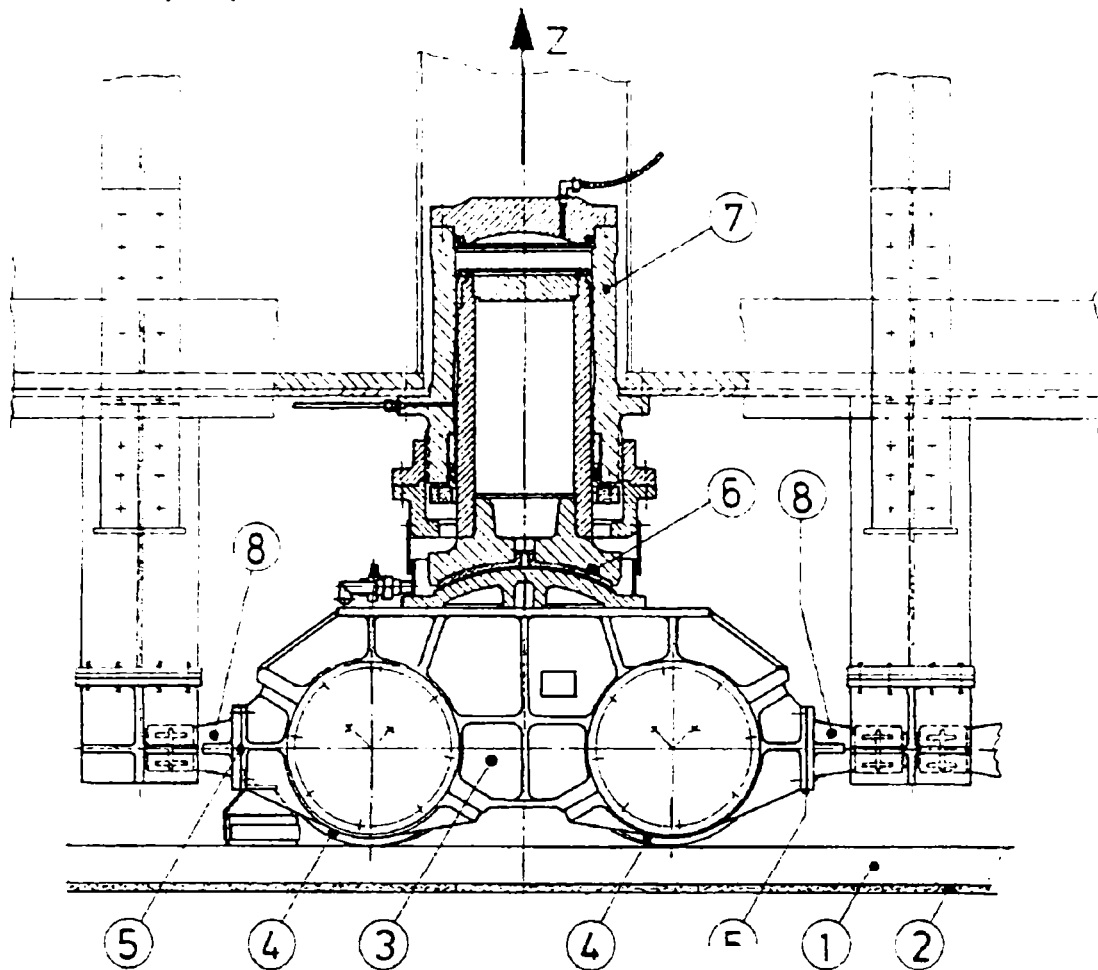


Figura 3.26. Role susținute hidraulic

- 1 - șină ghidare în infrastructură;
- 2 - strat intermediar;
- 3 - balansier;
- 4 - role alergătoare;
- 5 - șine de alunecare;
- 6 - bilă susținere;
- 7 - cilindru hidraulic;
- 8 - construcție pentru preluarea forțelor pe direcția de mișcare.

Prin role susținute hidraulic, reunite în grupuri, se obține o sarcină verticală egală pentru toate rolele grupului, în măsura în care cilindrii de susținere a roților sunt în legătură unii cu alții și presiunea uleiului din cilindrii va fi egală.

Figura 3.26 prezintă o asemenea susținere la care rolele sunt fixate de suprastructura rotitoare și rulează pe o șină a infrastructurii.

Rolele sunt cuprinse în patru grupuri și cilindrii A și B sunt legați, respectiv cilindrii C și D sunt legați, asigurându-se astfel presiuni egale între cele două grupuri. Grupul A și B se afla pe partea roții portcupe a suprastructurii, respectiv

grupul C și D se afla pe partea balastului, tot a suprastructurii. Triunghiul de susținere al suprastructurii mobile s-a trasat deci unind mijlocul grupei A respectiv B cu mijlocul distanței dintre grupurile C și D. fig.3.27

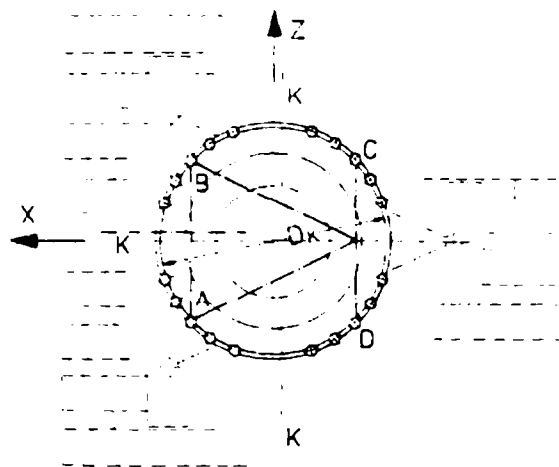


Figura 3.27. Muchiile de basculare ale susținerii hidraulice de pivotare

Triunghiul de susținere are vârful îndreptat spre partea cu balast a suprastructurii și centrul de greutate al suprastructurii în interiorul triunghiului de susținere trebuie respectat cu precizie pentru a evita răsturnarea suprastructurii.

Prin susținerea hidraulică a rolor pot fi depășite mici denivelări ale sinelor de rulare, fără o creștere a efortului bilei, astfel încât nu există pretenții prea mari cu privire la denivelările căii de rulare.

Greutăți apar însă la transmiterea forțelor orizontale, radiale. Dacă cilindrii de susținere sunt încărcăți cu asemenea sarcini, ei se deteriorează și repararea necesită scoaterea din funcțiune a utilajului.

În figura 3.28 a și b este prezentată o variantă cu susținere hidraulică a rolor, la care rolele stau pe infrastructură și șina de rulare este fixată de suprastructura pivotantă. Deoarece, în acest caz, grupul cilindrilor de susținere își modifică în permanență poziția față de brațul roții portcupe, în timpul exploatării se va acorda o atenție sporită la schema de conectare a cilindrilor pentru a evita bascularea / răsturnarea.

Cilindrii de susținere sunt plasați astfel încât pot pendula pe direcția radială, evitându-se acționarea forțelor orizontale, radiale asupra cilindrilor. Aceste forțe sunt preluate de role speciale pe un inel orizontal. La o asemenea susținere hidraulică a rolor care asigură toate gradele de libertate necesare rolor, astfel încât acestea pot prelua numai forțe verticale, durata de exolotare a atins deja 15 ani.

O asemenea instalație este foarte pretențioasă, de aceea s-a executat numai o singură dată.

Astăzi se recurge la soluția inelului de rulare cu bile, mai puțin pretențios și cu un comportament mai bun.



Figura 3.28 a *Susținere de pivotare cu role alergătoare susținute hidraulic*

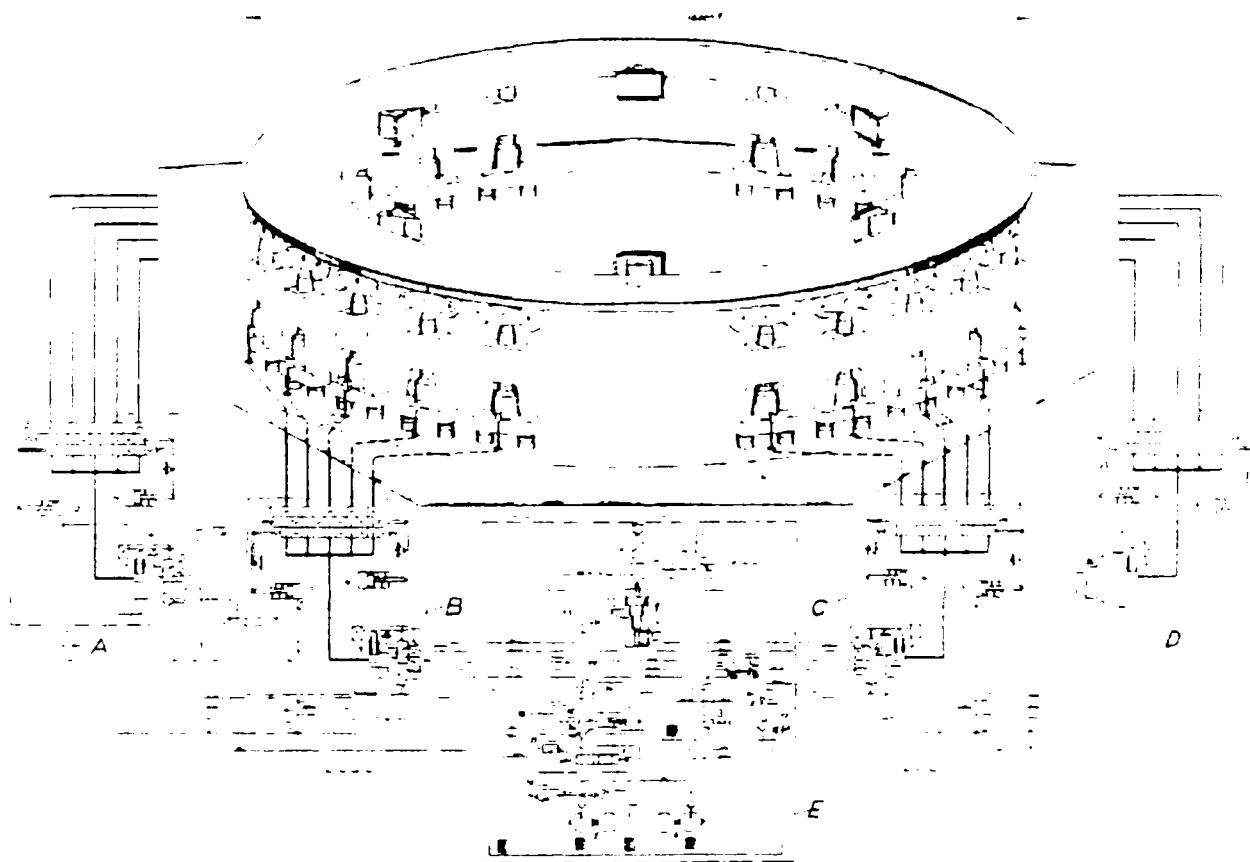


Figura 3.28 b *Susținere hidraulică de pivotare*

### 3.4. Cercetări experimentale privind comportarea în exploatare a rulmenților grei și cauzele ce determină deteriorarea acestora.

Cercetările experimentale prezentate mai jos s-au făcut de către autor, pe epruvete prelevate din corpurile inelelor rulmenților demontați de pe excavatoarele cu rotor, supuse modernizării, începând cu anul 1998.

Rulmenții cercetați au realizat o durată de viață în funcționare, între 15 și 25 de ani și au fost fabricați la UPETROM Ploiești, începând cu anul 1973. Un exemplu al stării tehnice a inelelor la demontare se prezintă în foto 3.1 și foto 3.2:

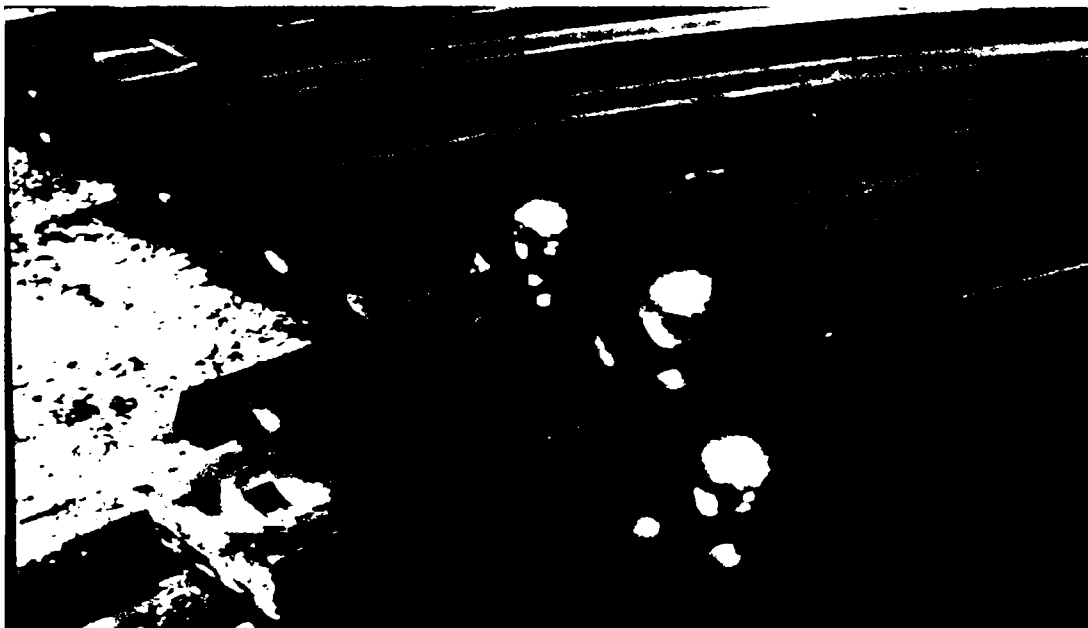


Foto. 3.1

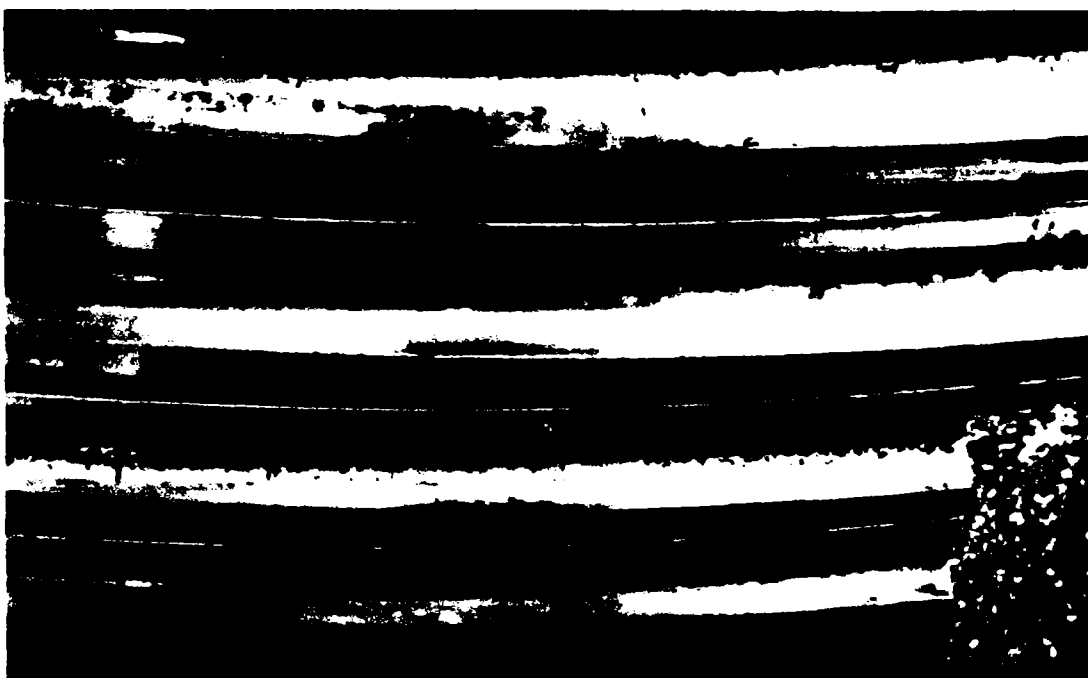


Foto 3.2

Din aceste inele din locurile indicate în figura 3.29 s-au prelevat și prelucrat epruvete pe care s-au făcut determinări după cum urmează:

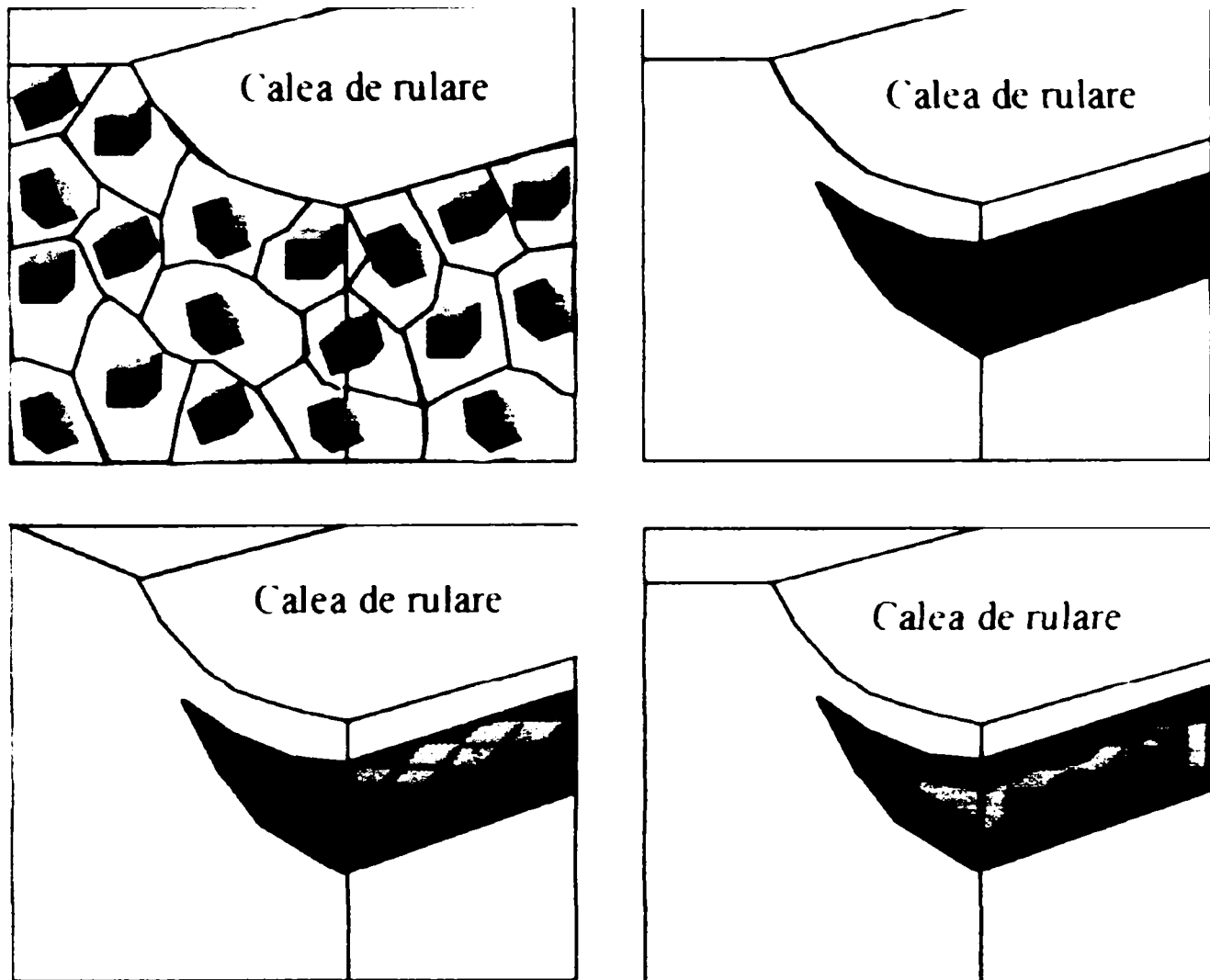


Fig.3.29

### 3.4.1. Probe de determinare a alungirii

Rezultatele obținute sunt prezentate în diagramele din figura 3.30 a,b,c,d,e,f.



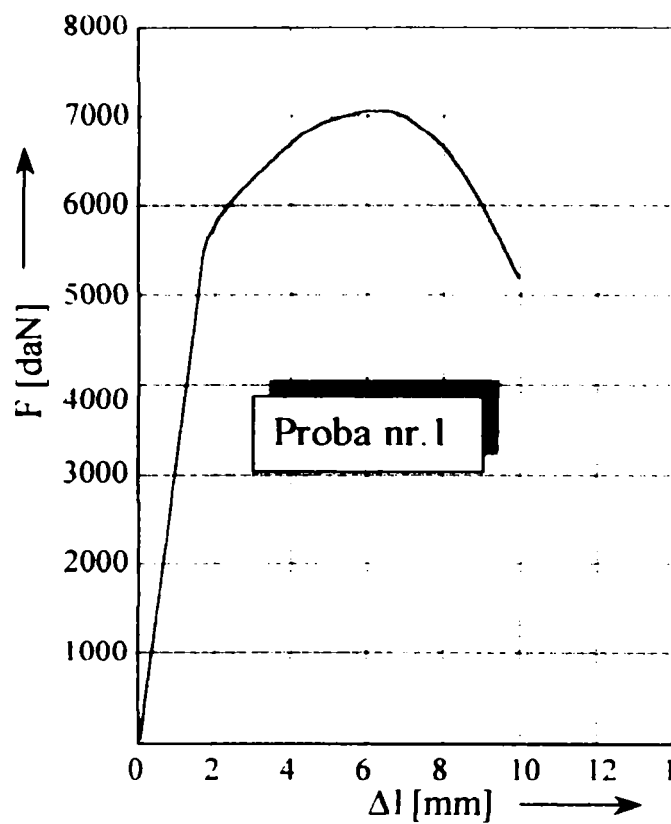


Fig.3.30 a

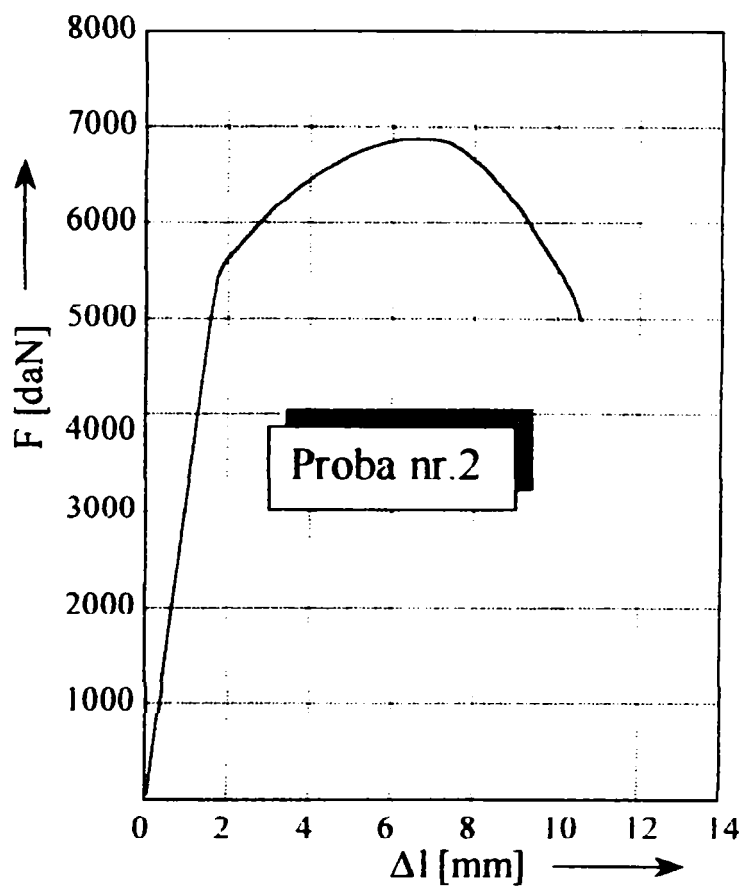


Fig.3.30 b

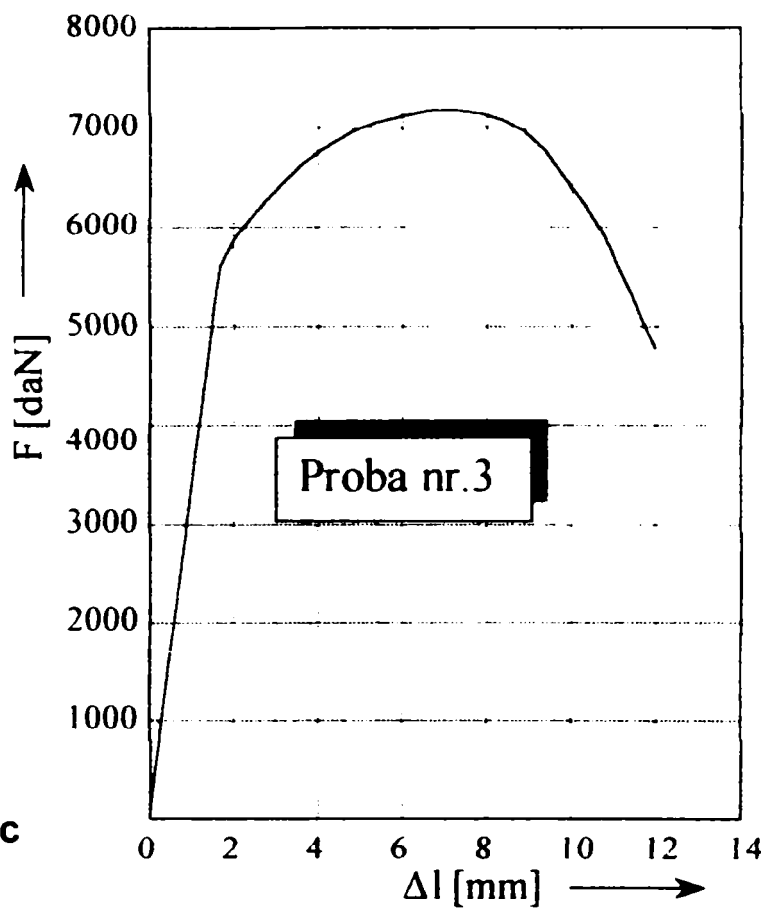


Fig.3.30 c

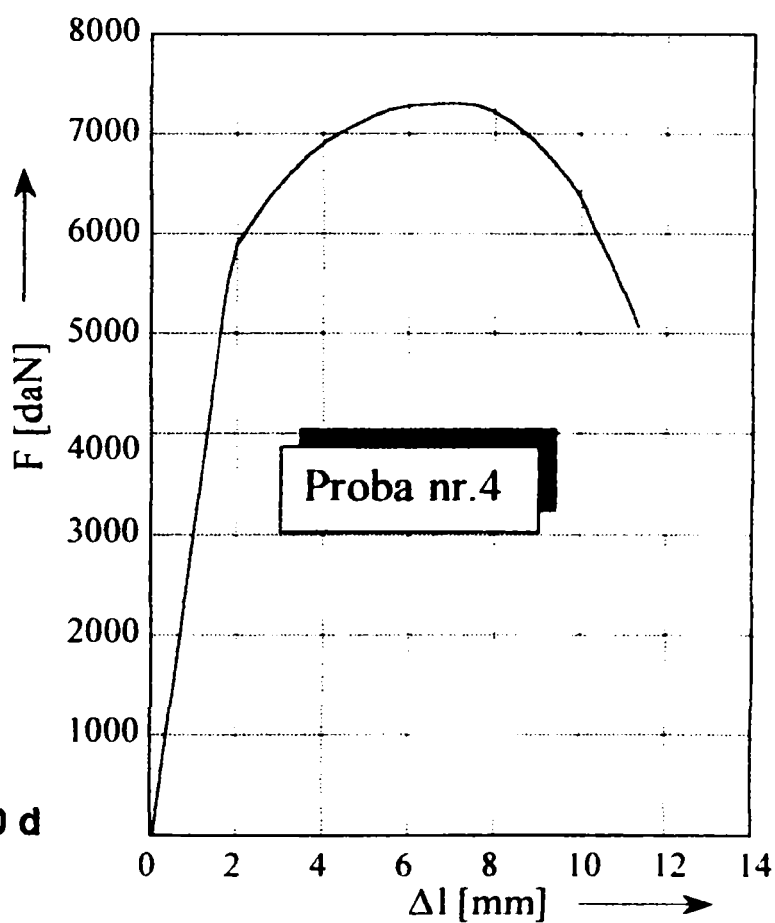


Fig.3.30 d

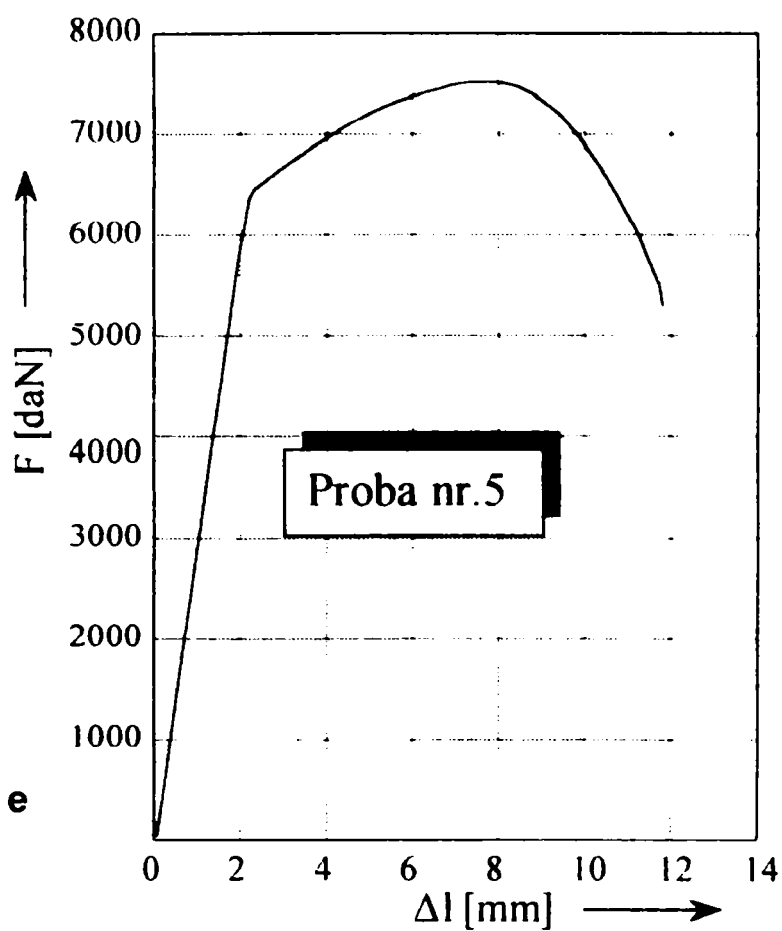


Fig.3.30 e

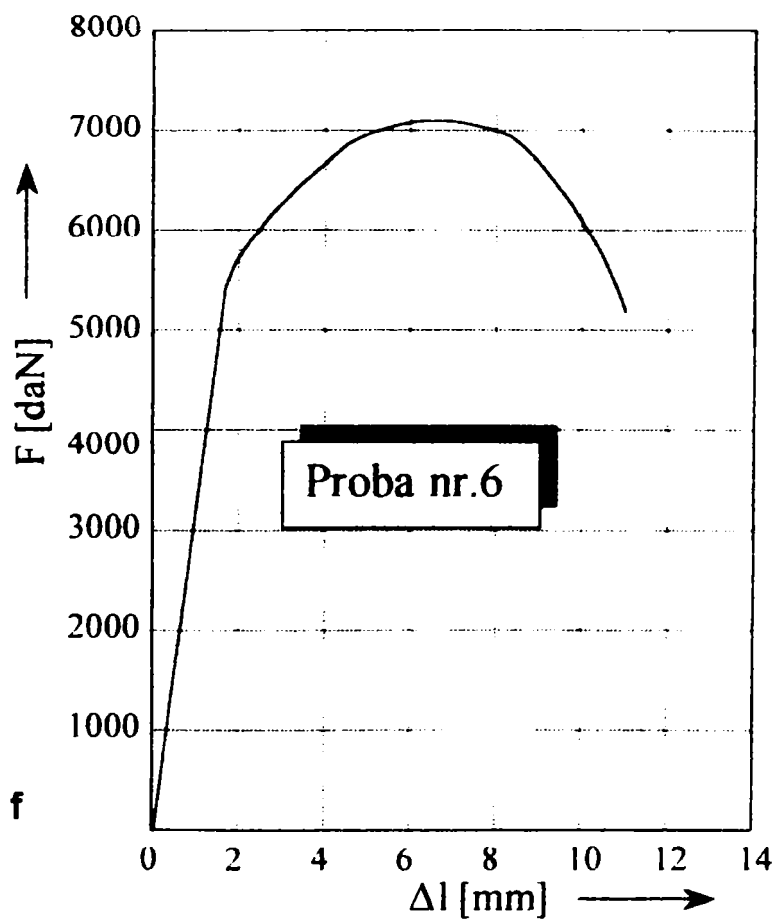


Fig.3.30 f

**3.4.2. Probe de determinare a limitei de curgere ( $\sigma_c$ ) a rezistenței la rupere ( $\sigma_r$ ), a alungirii la rupere ( $A_5$ ) și a găturii la rupere ( Z )**

Modul de prelevare a epruvetelor, forma acestora și rezultatele obținute sunt prezentate în figura 3.31 și tabelul nr.3.6.

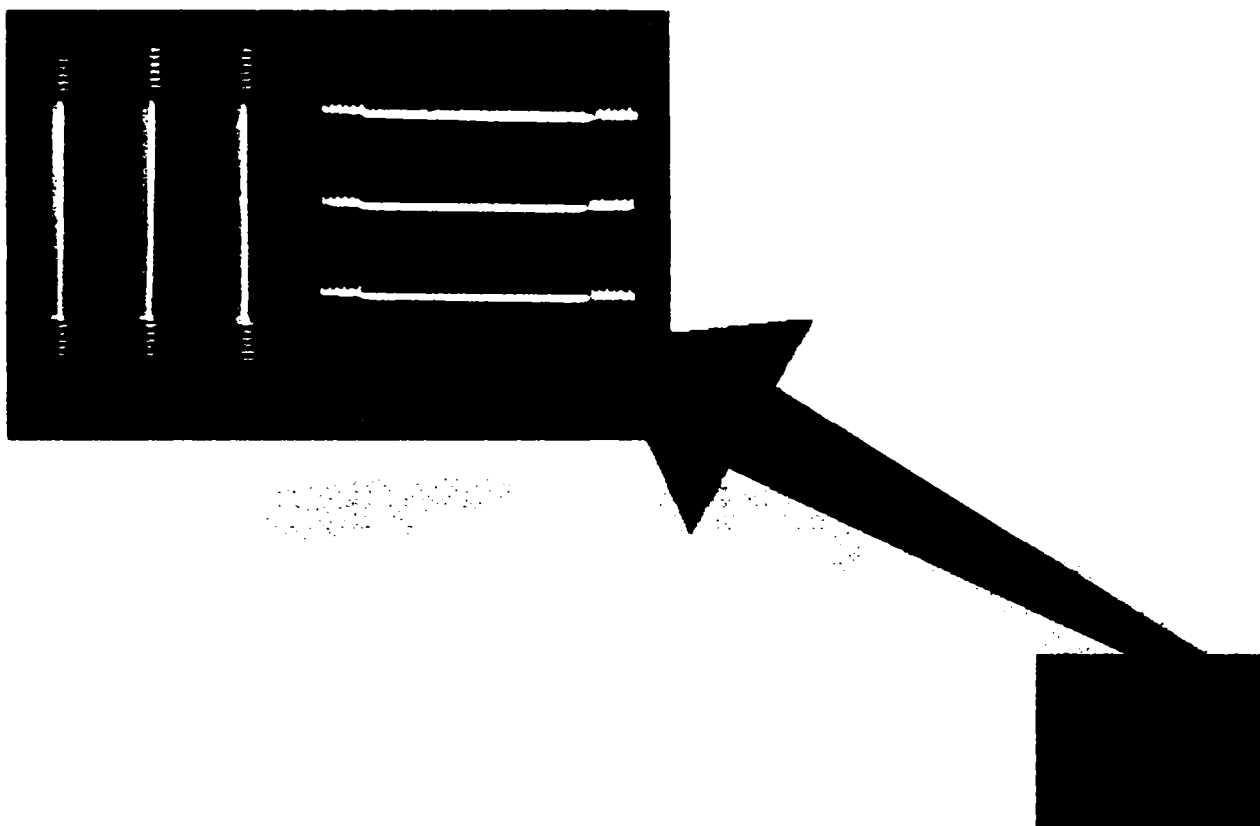


Fig. 3.31

Tabelul 3.6

Nr. probă	Direcția de prelevare	Limita de curgere $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )		Rezistența mecanică $\sigma_r$ (N/mm <sup>2</sup> )		Alungirea la rupere $A_5$ (%)		Gătuirea la rupere Z (%)	
		Valori experim.	Media	Valori experim.	Media	Valori experim.	Media	Valori experim.	Media
1	Axiala	700,6	700,6	904,4	900,1	17,0	18,2	56,5	58,2
2		687,8		878,9		17,6		57,8	
3		713,3		917,1		20,0		60,3	
4	Radiala	738,8	747,3	929,9	934,1	19,0	18,7	59,1	57,3
5		815,2		968,1		18,0		53,8	
6		687,8		904,4		19,0		59,1	

### 3.4.3. Probe de determinare a rezilienței

Modul de prelevare a epruvetelor, forma acestora și rezultatele obținute sunt prezentate în fig. 3.32 și tabelul 3.7

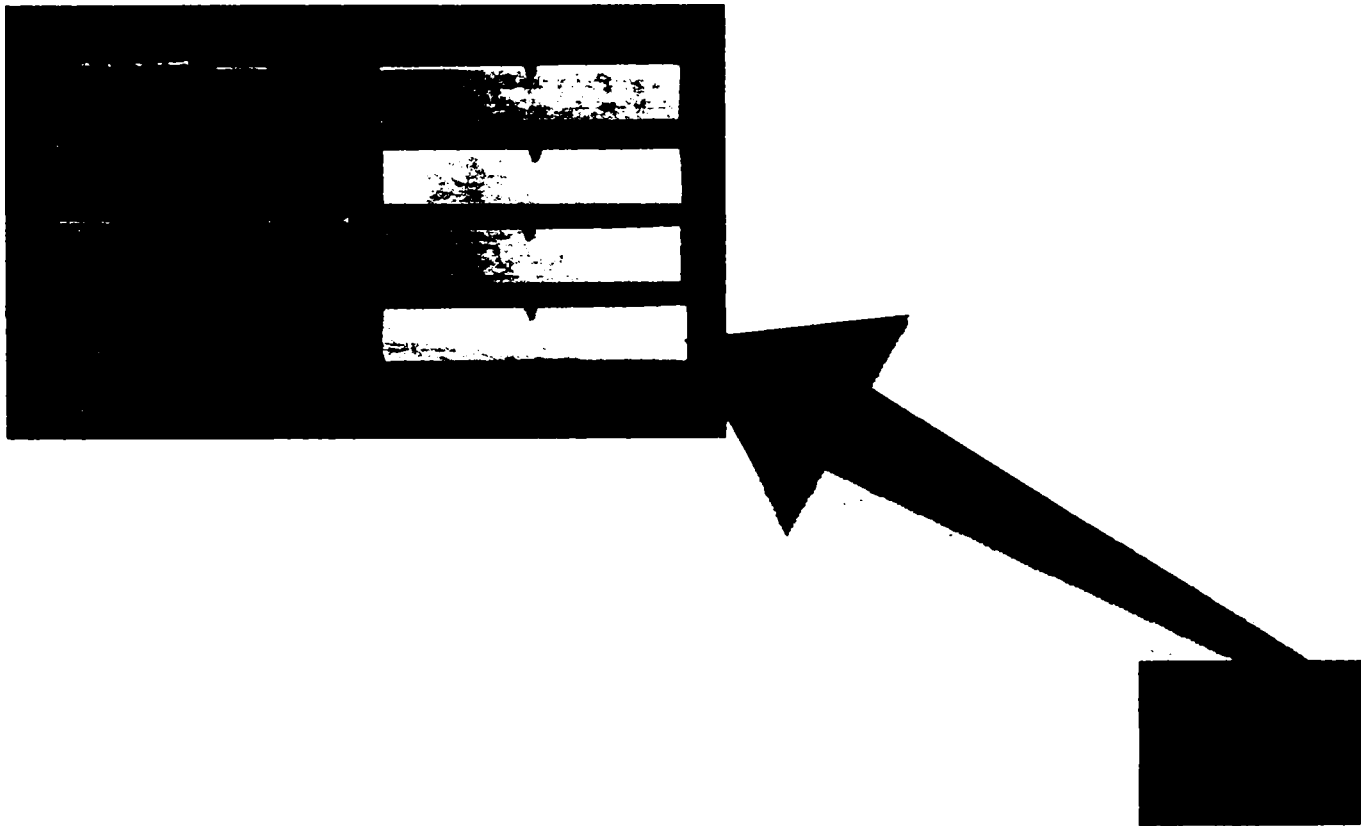
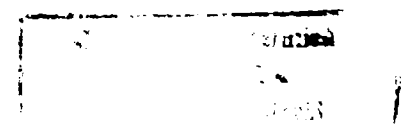


Figura 3.32

Tabelul 3.7

Nr. probă	Direcția de prelevare	Reziliența la 20°C, KV (J)	
		Valori experimentale	Media
1	Axiala	45	42
2		49	
3		29	
4		45	
5	Radiala	74	68,25
6		67	
7		67	
8		65	



### 3.4.4. Determinarea incluziunilor nemetalice

Determinarea incluziunilor nemetalice s-a facut conform STAS 5949-80.

Rezultatele obținute sunt prezentate în tabelul 3.8.

Tabelul 3.8

Marcaj fata proba	Campul	Tipul de incluziuni				Suma incluziunilor pe acelasi camp	Figura
		Sulfuri S	Oxizi OL+OP	Silicati SF+SP,(SN)	Nitruri		
		Punctajul incluziunilor					
1R	a	0	1	(3)	0	4	1
	b	0	1	(2)	0	3	
	c	0	1	(1)	0	2	
1T	a	1	2	1	0	4	2
	b	1	2	1	0	4	
	c	1	1	1	0	3	
1A	a	2	1	1	0	4	3
	b	1	1	1	0	3	
	c	2	1	1	0	4	
Punctajul minim pe tipuri de incluziuni		2	2	(3)	0	-	-
Punctajul maxim pe tipuri de incluziuni		-	-	-	-	4	-
2R	a	0	1	(2)	0	3	4
	b	0	1	(2)	0	3	
	c	0	1	(1)	0	2	
2T	a	1	1	(2)	0	4	5
	b	1	1	(1)	0	3	
	c	0	1	(1)	0	2	
2A	a	1	1	(1)	0	3	6
	b	0	1	(1)	0	2	
	c	1	1	(1)	0	3	
Punctajul minim pe tipuri de incluziuni		1	1	(2)	0	-	-
Punctajul maxim pe tipuri de incluziuni		-	-	-	-	3	-

R-secțiune radiala; T-secțiune transversală; A-secțiune axială

Fig. 3.33. Proba 1 secțiune radială  
(M.O. neatacat, 100x)

Fig.3.34 . Proba 1 secțiune transversală  
(M.O. neatacat, 100x)



Fig. 3.35. Proba 1 secțiune axială  
( M.O. neatacat, 100x )



Fig. 3.36 Proba 2 secțiune radială  
( M.O. neatacat, 100x )



Fig.3.37 Proba 2 secțiune transversală  
(M.O. neatacat, 100x)



Fig.3.38 Proba 2 secțiune axială  
(M.O. neatacat, 100x)

Pe baza rezultatelor experimentale se pot desprinde urmatoarele concluzii:

- la proba 1, în secțiunea radială (1R), și în secțiunea transversală (1T), se observă incluziuni nemetalice de tip silicați nedeformați (SN) cu punctaje ridicate 3 și 2;
- în celelalte secțiuni, punctajele incluziunilor sunt cele normale, specifice oțelurilor aliate tratate termic.

Din analiza stării tehnice a inelelor de rulment demontate de pe 10 excavatoare cu rotor a rezultat că de-a lungul anilor de funcționare au apărut toate formele posibile de uzură.

Acest fenomen important a apărut datorită tensiunilor mari de contact care apar pe suprafața de rulare și a faptului că aceste tensiuni se mențin la valori foarte ridicate pe toată durata de funcționare a utilajului (atât în timpul lucrului cât și pe durata de staționare).

Uzura identificată are următoarele forme:

- **Uzură prin frecare** (figura 3.39) apare între două suprafețe solide care efectuează, una față de cealaltă, o mișcare oscilatorie cu amplitudine redusă. Deși între componentele de bază ale rulmenților (inele și bile) nu există alunecare care să producă această formă de uzură, ea apare totuși între bile și colivii și chiar între bile și căile de rulare, după ce acestea au suferit deformări plastice atât de importante încât frecarea prin rostogolire devine mai importantă decât frecarea prin alunecare.

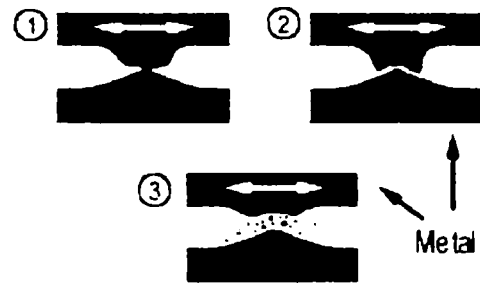


Fig.3.39

- **Uzură prin adeziune** (figura 3.40) se produce pe zonele de contact local dintre două corpuri metalice și constă din transferul de material între suprafețele în contact. Are ca prim efect modificarea formei celor două suprafețe. Este cu atât mai intensă cu cât presiunile și durata de contact sunt mai mari. Fenomenul se manifestă cu acuitate în cazul rulmenților grei manifestându-se prin încărcarea bilelor cu material desprins de pe căile de rulare ale inelelor.

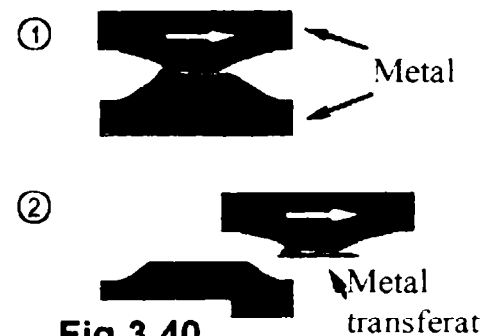


Fig.3.40

- **Uzură prin gripare** (figura 3.41) se manifesta prin împănirea mișcării relative a suprafețelor în contact urmând a sudării prin presiune în zonele de contact local. La rulmenții grei, acest fenomen este mai puțin probabil datorită dimensiunilor mici ale suprafețelor de contact și faptului că se dezvoltă mecanismul de rotire.



Fig.3.41



- **Uzură prin răzuire** (figura 3.42) este o formă de uzare adezivă prin depunere de material care are ca efect îndepărtarea asperităților de pe suprafața de contact. Termenul de „răzuire” („*gal.ing*”) nu este unul unanim acceptat. Organizația Economică pentru Cooperare și Dezvoltare (O.C.D.) recomandă

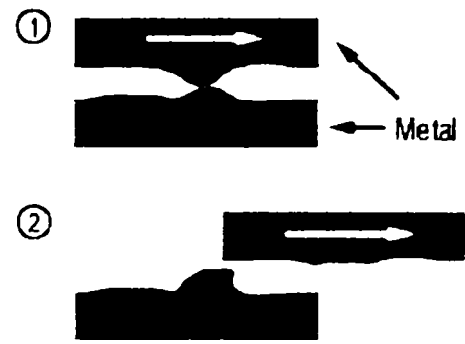


Fig.3.42

- termenul „*scuffing*” prin care definește fenomenul de uzură cauzat de sudarea microasperităților aflate în contact în absența topirii locale.

- **Uzură prin oxidare** (figura 3.43) este un fenomen care are loc între două suprafețe în contact care, în mediul de lucru, reacționează formând o peliculă de oxizi. Este o formă de uzură ușoară întâlnită în sistemele încărcate cu sarcini mai reduse. La rulmenții grei apare, în timpul staționării, între inele și bilele mai puțin încărcate.

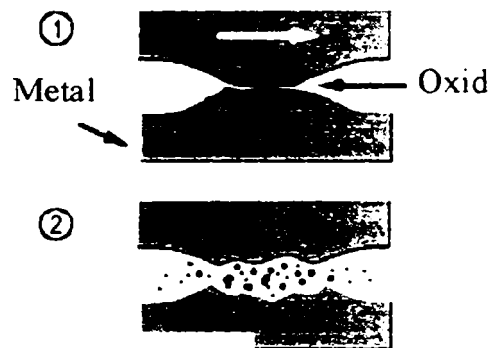


Fig. 3.43

Pe lângă sarcinile mari de contact din timpul funcționării și alte cauze importante duc la apariția de uzuri premature cum ar fi:

- ungerea necorespunzătoare (locală sau centralizată)
- calitatea suprafețelor (rugozitate mare)
- montaj defectuos (jocuri axiale, radiale, prea mari și planeitate necorespunzătoare)
- etanșare proastă contra prafului, a apei și a altor intemperii
- utilizare necorespunzătoare.

### 3.5. CONCLUZII

**3.5.1** S-au stabilit condițiile minime necesare pentru dimensionarea și alegerea corectă a rulmenților grei de sprijin și rotire :

- sarcina portantă
- sarcina compusă și distribuția solicitărilor
- turația și respectiv unghiul de oscilație la sarcina compusă în unitatea de timp
- forțele periferice transferate de angrenajul de rotire
- diametrul rulmentului, astfel ca poziția centrului de greutate al utilajului să fie amplasate în interiorul acestuia și să rămână în interior în cele mai defavorabile cazuri (situații excepționale )
- alte condiții de funcționare : starea de încărcare, condiții de exploatare și de mediu.

**3.5.2** Este necesară o bună cunoaștere a condițiilor de exploatare pentru utilaj care se transmite prin cerere de ofertă, producătorului, pentru ca valorile determinate ale factorilor  $f_{stat}$  și  $f_{din}$  să fie alese corespunzător în vederea proiectării corecte a lagărelor de sprijin și rotire.

**3.5.3** Pornind de la solicitările tipice contactului de rostogolire și de la capacitatea de solicitare a materialului, s-a stabilit o linie directoare care să poată fi urmată în funcție de adâncimea de durificare a inelelor de rulment. Parametrii sunt încărcarea corpurilor de rostogolire, mărimea ei și variația sarcinii (starea de solicitare). Se evidențiază importanța deosebită a construcției portante pentru distribuirea și preluarea eforturilor în rulment.

Rezultă următoarele condiții minime de îndeplinit :

- la cunoașterea încărcării efective a corpurilor de rulare și a variației sarcinii se poate stabili adâncimea de durificare necesară pentru căile de rulare ale rulmentului, astfel încât fenomenul de pitting să fie eliminat. Pentru situații de încărcare cvasi-stactice se admite o deformare plastică redusă. Ca și criteriu pentru determinarea solicitării dinamice admisibile (număr mare de schimbări de sarcină) servește limita de elasticitate ciclică a materialului de bază.
- Forțele tangențiale provocate prin alunecarea corpurilor de rostogolire pe căile de rulare precum și lungimea finită a rolelor nu influențează adâncimea de durificare.
- Eforturile proprii de tracțiune care iau naștere în timpul tratamentului termic dispar imediat după primele schimbări de sarcină. De aceea acestea nu au importanță pentru stabilirea adâncimii de durificare.
- Adâncimile de durificare inutile de mari reduc capacitatea de solicitare a stratului durificat și cresc pericolul formării de fisuri.
- Adâncimea durificării poate fi măsurată nedistructiv pe inel.
- Pe baza solicitărilor cunoscute, se poate aprecia dacă trebuie lăsate sau nu zone înguste de detensionare netratate ale căii de rulare prin înlăturare de material.
- Rezultatele unor cercetări analitice asupra repartiției sarcinilor, scot în evidență importanța determinării încărcării corpurilor de rulare și a construcției portante pentru rulment.

**3.5.4** Au fost prelevate epruvete din rulmenții de sprijin și de rotire în funcționare de ~25 ani, testele de laborator efectuate : alungire  $A_5$ , rezistența mecanică  $\sigma_r$ , gătuirea la repere  $z$  și limita de curgere pe cele două direcții axială și radială se încadrează în limitele STAS rezultând că oțelul utilizat până în prezent și anume 34MoCrNi4 este corespunzător.

**3.5.5** uzura apărută la acești rulmenți pe căile de rulare sunt din grupa uzurilor tipice identificate ( pentru tensiuni mari de contact) și anume : uzură prin frecare, prin adeziune, prin gripare, prin răzuire și oxidare

## Cap. 4. CERCETĂRI PRIVIND TEHNOLOGIA DE ELABORARE A OȚELURILOR PENTRU RULMENȚI

### 4.1 Alegerea oțelurilor pentru rulmenți.

#### 4.1.1 Elaborarea oțelurilor.

Oțelurile de rulmenți fac parte din grupa oțelurilor aliate cu o pondere ridicată în industria constructoare de mașini și, în alte domenii specializate.

În România, oțelurile de rulmenți se elaborează aproape exclusiv prin topire prin folosirea procedeelor moderne cu inducție ( 42,2% ) și în convertizoare cu oxigen ( 57,8 % ). În tabelul 4.1 s-a trecut producția de oțel de rulmenți pe anul 2001 și 2002.

**Tabelul 4.1**

Nr. crt.	Spațiul economic	Anul 2001 (milioane tone)	Anul 2002 (milioane tone)
0	1	2	3
1	Țările industrializate vestice	75,0	82,6
2	Comunitatea europeană (12 țări)	26,4	30,2
3	Germania (în cadrul CE)	7,4	8,2
4	S.U.A.	16,3	18,4
5	Japonia	21,0	19,6
6	Europa de Est	6,4	6,8
7	Țări în curs de dezvoltare	45,0	46,6
	<b>TOTAL</b>	<b>197,5</b>	<b>212,4</b>

Materiile prime, care compun încărcătura metalică a agregatelor de elaborat oțel de rulmenți, sunt : deșeurile feroase, fierul vechi și fonta de afânare (albă). Adausurile sunt materiale pentru completarea necesarului de oxigen (materiale oxidante) și pentru formarea zgurii.

În anul 2002 producția mondială de oțel de rulmenți a crescut cu 9,3% față de anul 2001 odată cu diversificarea rulmenților utilajelor grele mobile.

Oțelăriile consumă 70 – 90% din totalul mondial de deșeurii feroase și fier vechi, care sunt necorespunzătoare pentru o utilizare directă, necesitând o pregătire prealabilă. Utilizarea lor se face pe baza compoziției chimice (condițiile de puritate) și a stării fizice ( profile pline sau deșeurii ).

Cauzele impurificării sunt în principal următoarele:

- depozitarea în condiții necorespunzătoare și de lungă durată (impurificare cu materiale de ungere, zidărie, materiale neferoase, etc.).
- dezmembrarea incompletă a mijloacelor fixe casate (impurificare cu rugină, zgură, etc.)
- scoaterea neatentă (impurificarea cu deșeurii din oțel necorespunzătoare sau cu acoperiri metalice).

Respectarea condițiilor de puritate, contribuie la obținerea în limite stricte, a cantității de zgură și a compoziției chimice a acesteia precum și a calității oțelului

pentru rulmenți. În acest sens cel mai bine corespund deșeurile de recirculare și, în special, șutajele din sectoarele laminate și rebuturile din sectoarele de forjă.

Deșeurile feroase aliate provenite din industria prelucrătoare s-ar putea prezenta și ele în condiții favorabile din punct de vedere al purității prin colectarea îngrijită în momentul formării lor și gospodărirea atentă până la expediere.

Caracteristicile fizice ale deșeurilor feroase și a fierului vechi (formă, dimensiuni) influențează durata încărcării, topirii și totodată suprafața de schimb cu atmosfera de elaborare, deci influențează consumul de energie calorică, producția specifică și economicitatea agregatului de topire. Prin tăierea deșeurilor și a fierului vechi în bucăți lungi sau plate se urmărește obținerea unor bucăți de dimensiuni care să permită o manipulare ușoară și o încărcare cât mai eficientă a coșurilor folosite la încărcarea agregatului. Se asigură fier vechi greu (peste  $1700 \text{ kg/m}^3$ ) și ușor ( $800 - 1300 \text{ kg/m}^3$ ). Tăierea cu flacăra oxiacetilenică este indicată în cazul pieselor de dimensiuni mari, cu grosimi și rezistențe mecanice superioare celor admise la tăierea cu foarfeceghilotină.

Pe plan mondial, firmele producătoare de oțeluri de rulmenți folosesc frecvent sortarea criogenică bazată pe o răcire la  $-120^\circ\text{C}$ , temperatură la care oțelul devine casant, spre deosebire de metalele neferoase, permițând o separare ușoară. Pachetele obișnuite la o presă de împachetare trec printr-un tunel de răcire (agent de răcire N lichid), apoi sunt mărunțite în bucăți cu diametrul sub 50 mm într-o moară cu ciocane tip Schredder, după care acestea trec într-un separator magnetic obținându-se materiale care au o masă specifică de  $2500 - 3000 \text{ kg/m}^3$  și o puritate deosebită.

Fonta albă de la furnale sau cea retopită se apreciază pe baza compoziției chimice (după normele interne și internaționale) care, în general, este corectată micșorându-se sensibil conținutul de Si, Mn, S. În acest scop se folosește agregatul numit melanjor, omogenizare și asigurarea temperaturii în limite restrânse; în melanjor o parte din S trece în compușii MnS și FeS amestecați cu zgură acidă și rece rezultată din oxidarea a 15 – 30% din Mn și a circa 10% din Si fontei. Dacă însă zgura este suficient de fluidă, sulfurile nu pot trece în ea, se concentrează în zona de contact fontă – zgură și, la evacuare, se amestecă din nou în fontă.

Adaosurile cuprind următoarele materiale:

- Minereul de fier cu peste 55% Fe, de preferat hematită ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) sau magnetită ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Conținutul de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  și  $\text{Al}_2\text{O}_3$  trebuie să fie mic deoarece leagă compusul CaO din zgură și măresc cantitatea acesteia.
- Minereul de Mn oxidic cu peste 35% Mn este slab oxidant, însă dizolvându-se, apără de oxidare Mn din baia metalică.
- Arsura de Fe conține cel puțin 70% Fe ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) ea se dizolvă în zgură și este indicată ca brichete sau aglomerări autofondante cu minereu de var (raportul  $\text{CaO/SiO}_2 = 1,1$ ).
- Calcarul și varul se folosesc pentru a lega oxizii acizi și amfoteri în zgura bazică. Calcarul este indicat în agregatele al căror regim termic îi asigură arderea și trebuie să conțină peste 50% CaO, sub 2% MgO, 45%  $\text{SiO}_2$  și 1% CeO iar conținutul de S nu va depăși 0,1%. Varul trebuie să conțină peste 94% CaO, sub 0,15 S și el se dizolvă ușor în zgură.

## 4.2 Procedee moderne de fabricație a oțelurilor de rulmenți

### 4.2.1 Procedee moderne de fabricație a oțelurilor de rulmenți sunt:

- Procedeul de elaborare în cuptorul cu inducție
- Procedeul de elaborare în cuptorul cu plasmă
- Procedeul de elaborare în vid (tratare specială în oală).

a) **Cuptorul electric cu inducție** s-a răspândit rapid în lume tinzând să atingă capacități până la 50 t; schema instalației este prezentată în schema 4.1

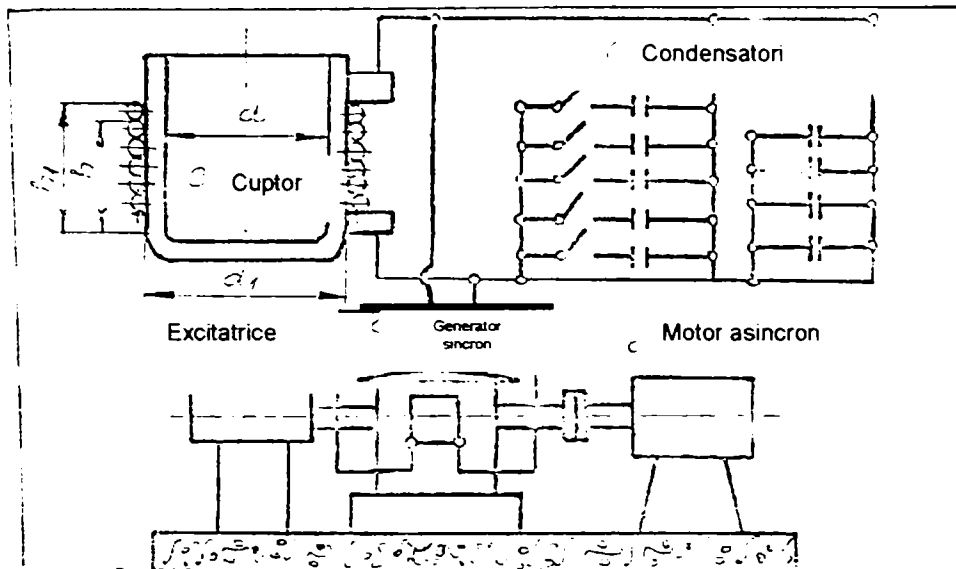


Fig. 4.1 Schema cuptorului electric cu inducție

Durata medie a șarjei, funcție de capacitatea instalației, este indicată în fig. 4.2.

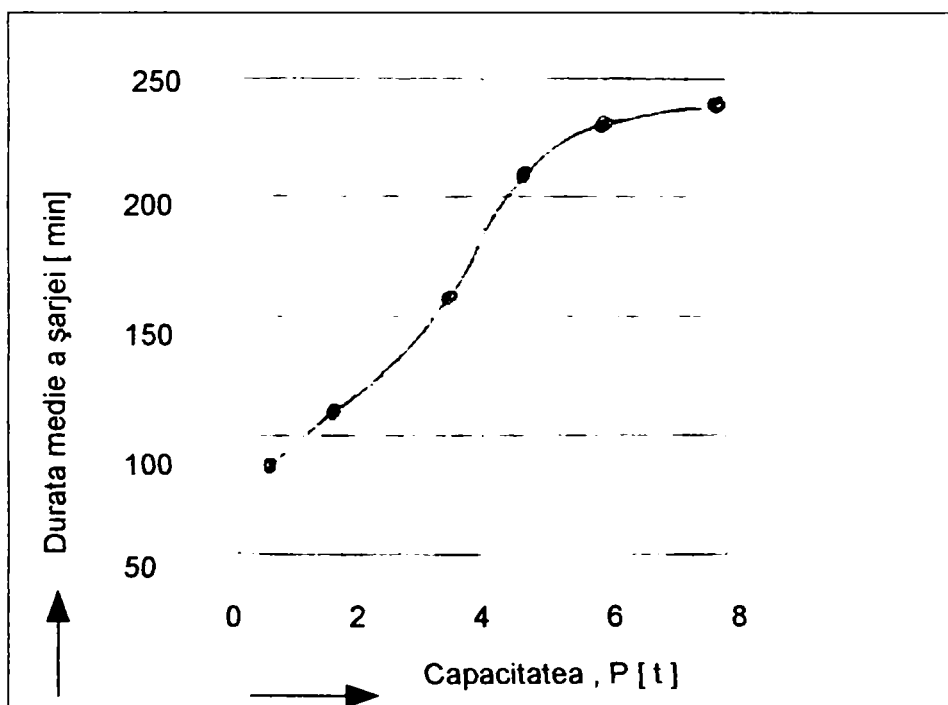


Fig. 4.2 Variația  $P = f(t)$

**Cuptorul** se zidește cu cărămizi refractare și are diametrul interior  $d$ , înălțimea  $h$  a băii metalice și crește cu capacitatea "P" conform relației:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4P}{\pi\gamma}} \quad (4.1)$$

în care: " $\gamma$ " este greutatea specifică a oțelului.

**Inductorul** este o serpentină din țevă de Cu cu o rezistență electrică specifică  $p$  și permeabilitate magnetică  $\mu$  prin care circulă apa. Țeava are secțiuni dreptunghiulară asigurând un număr mare  $n$  de spire și o înălțime  $h_1$ .

Cuptorul și inductorul sunt montate într-o carcasă fabricată din materiale antimagnetice cu îmbinările izolate.

**Bateria de condensatoare** are rolul să mențină valoarea lui  $\cos\phi$  apropiată de 1 (după topire, ea scade la aproximativ 0,1).

**Generatorul sincron** poate fi orizontal, cu turația  $n' = 1200 - 1500$  rot/min sau vertical, cu  $n' = 1500$  rot/min, este de tip rotativ fiind cu atât mai simplu și mai ieftin cu cât  $n'$  și numărul perechilor de poli  $p = 60 f/n'$  sunt mai mici.

**Motorul asincron** de antrenare este alimentat de la rețea iar curentul de la generator este monofazat și are tensiunea la borne  $U_b = 850 - 1500$  V, pentru  $P < 5t$  și 2800 V, pentru  $P > 8t$  procesul metalurgic începe cu încărcarea Fe vechi greu, urmează retopirea cu  $U_b$  maximă și  $T$  mică până la  $760^\circ\text{C}$  apoi se micșorează  $U_b$  și se mărește  $T$ . După topire (50 – 60 min.), se îndepărtează zgura formată, se dezoxidează cu Si, se completează dezoxidarea cu Mn (mai activ ca Si) apoi se protejează oțelul cu un strat de silicat de N (spărturi de sticlă) și se întrerupe curentul electric până la evacuare. Topirea și omogenizarea compoziției chimice și a temperaturii sunt ajutate de mișcarea turbionară imprimată oțelului lichid, de acțiunea electromagnetică a curentului monofazat iar reacțiile din sistemul oțel – zgură – cuptor se apropie mult de echilibru.

În decursul topirii, se pierde 1 – 2% Fe și 5 – 10% C, deci conținutul acestuia în încărcătură. Nu va depăși limitele prescrise pentru oțelurile de rulmenți (aproximativ 1% pentru RUL și maxim 0,4% pentru oțelurile aliate de tratament termic).

Pierderile de elemente de aliere sunt mici și uniforme. În aceste condiții, odată pusă la punct elaborarea unui oțel pentru rulmenți, se obțin compozițiile chimice foarte exacte, fără a fi necesară reglarea compozițională. Oțelurile astfel elaborate au un conținut scăzut de incluziuni nemetalice.

b) Cuptorul cu plasmă

Arcul electric (curentul continuu) se produce în plasmă, produsă prin ionizarea oxigenului (fig. 4.3).

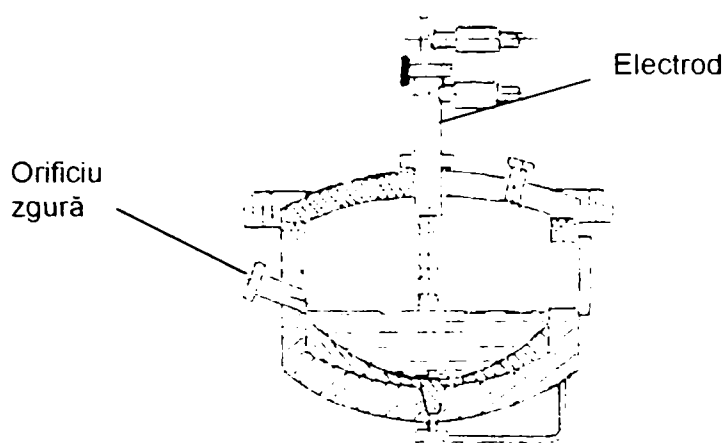


Fig. 4.3 Schema cuptorului de plasmă

În figura 4.4 se reprezintă variația frecvenței relative funcție de indicele de puritate al oțelului de rulmenți.

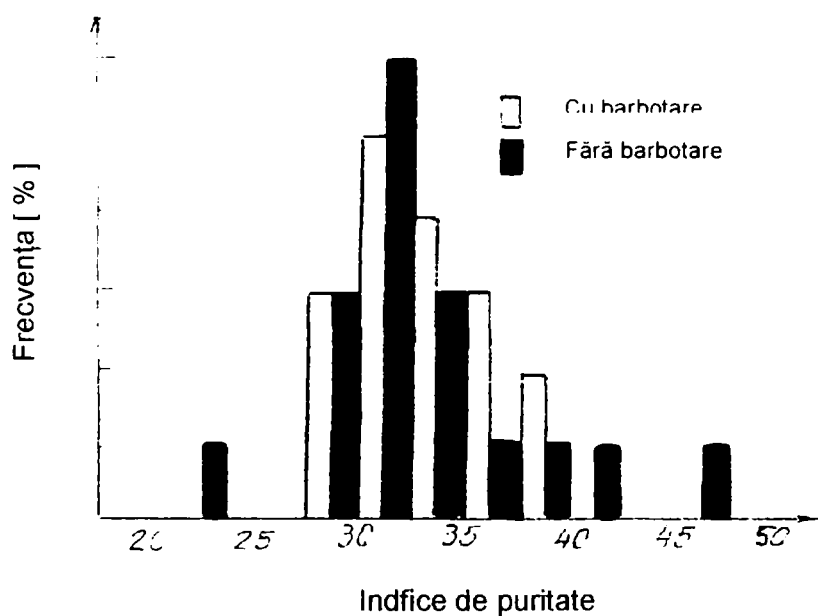


Fig. 4.4 Influența barbotării cu argon asupra purității oțelului de rulmenți

Se observă că procedeul cu barbotare în argon prezintă un maxim al funcției relative la un indice de puritate cuprins între 30 – 35%. Peste acest domeniu, pe măsura creșterii indicelui de puritate, frecvența relativă scade.

Variantele tehnologice de tratare după procedeul european ASEA-SKF sunt indicate în tabelul 4.2

**Tabelul 4.2**

Varianta	A	B	C
0	1	2	3
Faze tehnologice	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prelevarea oțelului lichid</li> <li>• Prelucrarea probei</li> <li>• Formare zgură</li> <li>• Încălzire</li> <li>• Aliere</li> <li>• Degazare</li> <li>• Turnare</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prelucrarea oțelului lichid</li> <li>• Prelucrarea probei</li> <li>• Formare zgură</li> <li>• Degazare</li> <li>• Aliere</li> <li>• Încălzire</li> <li>• Degazare</li> <li>• Turnare</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prelevarea oțelului lichid</li> <li>• Prelucrarea probei</li> <li>• Formare zgură</li> <li>• Aliere</li> <li>• Degazare</li> <li>• Turnare</li> </ul>

Varianta "B" se alică constant în practică, în special în cazul oțelurilor de rulmenți grei pentru utilaje mobile grele destinate a fi turnate în lingouri grele pentru forjă cu conținut scăzut în H – hidrogen, sub 2,99ppm.

#### 4.2.2 Turnarea oțelurilor de rulmenți

Turnarea oțelurilor de rulmenți se realizează în lingouri invers conice, de 1..8t prin metoda de turnare indirectă, mai rar prin turnare directă sau continuă. Procesul de turnare și solidificare a oțelului poate influența nemijlocit calitatea oțelului, mai ales în ceea ce privește puritatea în incluziuni nemetalice, gradul neomogenității chimice și structurale, apariția unor defecte tipice de turnare, porozitate, retasuri sau microretasuri, crăpături, etc.

Principalii factori de acțiune directă asupra calității oțelului sunt:

- metoda de turnare;
- materiale refractare (oală, traseu de turnare);
- mărimea și parametrii geometrici ai lingoului;
- regimul de turnare (termic, viteze, protecție etc.).

Materialele refractare utilizate la turnare (căptușeala oalei, pâlnia și canalele podului, praful unguent) trebuie să evite impurificarea cu incluziuni exogene și să faciliteze decantarea unei părți cât mai avansate din incluziunile nemetalice prezente în oțelul lichid.

Pentru căptușeala oalei se recomandă, în special, când se aplică tehnologii cu tratare în vid, deci regimuri termice ridicate și durate relativ mari de contact oțel – material refractar, cărămizi superaluminioase ( $\approx 80\% \text{Al}_2\text{O}_3$ ).



Mărimea lingoului este determinată de condițiile de lucru din oțelării condițiile tehnologice și de calitate. Rentabilizarea exploatării în oțelării și forje conduce spre obținerea unor lingouri tot mai mari (fig.4.5) cu dimensiunile inserate în tabelul 4.5.

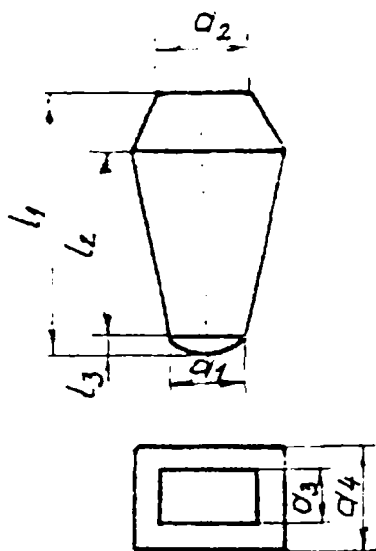


Fig. 4.5 Lingouri cu dimensiuni mari

Dintre factorii de calitate, puritatea oțelului și nivelul segregăției gazelor, în principal, pledează pentru lingouri mai mici, iar defectele de suprafață pentru lingouri mai mari. În tabelul 4.5 se dau parametrii geometrici ai unor lingotiere.

Tabelul 4.5

Formatul lingoului	Masă aprox t	Forma secțiunii transversale	Parametrii geometrici							
			a <sub>1</sub> mm	a <sub>2</sub> mm	a <sub>3</sub> mm	a <sub>4</sub> mm	l <sub>1</sub> mm	l <sub>2</sub> +(l <sub>3</sub> ) mm	Conicitate %	l <sub>2</sub> /a <sub>2</sub>
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
HS 150	1.5	Dreptunghi	340	410	300	365	1700	1450	5.0/4.7	3.4
H240	2.4	Pătrat	392	490	392	490	1670	1370	7.1	2.8
H330	3.3	Pătrat	436	554	436	554	1850	1510	7.8	2.73
H800	8.0	Pătrat	1056	1343	1056	1343	4484	3660	10.2	2.72

Parametrii recomandați la turnarea indirectă sunt:

- temperatura 1520<sup>o</sup> ... 1530<sup>o</sup>C.
- viteza de umplere până la maselotă 200 – 300 mm/min, iar durata de umplere a maselotei să reprezinte 0,5 – 0,7 din cea de umplere a corpului lingoului.
- protecția cu argon a jetului de oțel la scurgerea din oală este necesară pentru evitarea oxidării secundare.

La turnarea indirectă a oțelurilor aliate cu crom apare defectul de înfășurare a crustei solide care aderă la pereții lingotierei, ea fiind înglobată în oțelul care urcă,

sudându-se fără a se topi complet. Rezultă un lingou cu o suprafață puternic stratificată și cu aspect urât. Acest defect are tendință de accentuare sau diminuare în funcție de gradul de oxidare al atmosferei din interiorul lingotierei și de intensitatea de răcire a oțelului. Zona din vecinătatea înfășurării în mod obișnuit este impurificată cu incluziuni nemetalice.

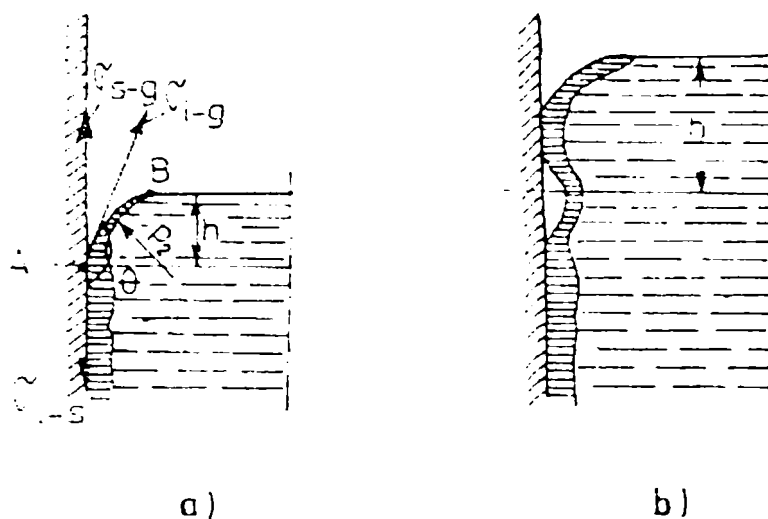


Fig. 4.6 Modul de umectare a pereților lingotierei

Explicarea mecanismului de formare a acestui defect se face prin recurgere la analiza proceselor ce au loc la limita sistemului "oțel lichid – lingotieră - atmosferă". Procesele depind de proprietățile fizico-chimice ale oțelului lichid și, în primul rând, de tensiunea sa artificială. Astfel, suprafața liberă a oțelului care urcă în lingotieră nu vine în contact direct cu pereții acesteia, ci formează un menisc (fig. 4.6) caracterizat de raza "r" și de unghiul de umectare "θ" din relația (4.2):

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{l-s} - \sigma_{l-g}}{\sigma_{l-g}} \quad (4.2)$$

În care  $\sigma_{l-s}$ ,  $\sigma_{s-g}$ ,  $\sigma_{l-g}$  reprezintă tensiunile interfațiale la limită oțel – lingotieră – atmosferă.

Raza "r" a mecanismului rezultă din condiția de echilibru a forței date de tensiunile superficiale " $\sigma_{l-g}$ " cu cea corespunzătoare presiunii ferostatice, obținându-se relația (4.3):

$$r = \sqrt{\frac{1,9}{\gamma} \sigma_{l-g}} \quad [\text{cm}] \quad (4.3)$$

În care "γ" este greutatea specifică a oțelului lichid.

Din relațiile (4.2) și (4.3) rezultă că parametrii geometrici ai mecanismului, fiind funcție de tensiunea superficială a oțelului aliat care se toarnă, vor depinde de compoziția chimică, de gradul de dezoxidare și de temperatura acestuia.

Solidificarea crustei oțelului se produce nu numai în zona de contact cu pereții lingotierei și ceva mai sus de această graniță, în zona "AB" ce este supusă la solidificare, forțele corespunzătoare termenilor din relația (4.2) când valoarea forței dată de presiunea ferostatică o depășește pe cea corespunzătoare forțelor exterioare ( $F_1$  și respectiv  $F_2$  rezultată din presiunea gazelor degajate din lubrifianțul utilizat). Zona "AB" a meniscului va fi curbată în sens invers și presată puternic pe pereții lingotierei (4.6 a). Modul în care această crustă va prelua eforturile respective este funcție de caracteristicile respective. Cum suprafața liberă a oțelului din lingotieră este impurificată cu produse greu fuzibile, provenite din procesele de coeziune și refractarelor, de oxidare secundară sau de decantare a produselor de dezoxidare, rezultă că această zonă a meniscului va avea proprietăți de plasticitate reduse. Crusta impurificată se comportă ca o carcasă rigidă, fiind posibil ca ea să se rupă sub acțiunea forței ferostatice (fig. 4.7a):

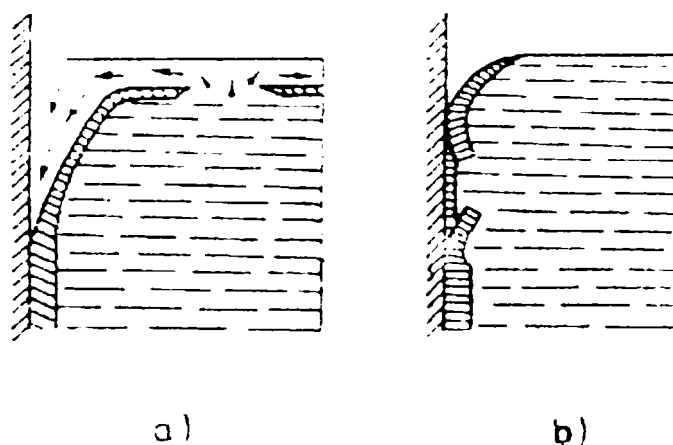


Fig. 4.7 Modul de distrugere a crustei

În această situație, oțelul se revarsă pe suprafața exterioară a crustei formând defectul numit "înfășurare". Când crusta meniscului reușește să reziste solicitărilor fără a se rupe, pe suprafața lingoului apar o serie de "ondulații" sau neregularități (fig 4.7b).

Densitatea și mărimea acestor neregularități depinde, în principal, de parametrii geometrici ai meniscului. Astfel, mărirea înălțimii meniscului și micșorarea unghiului de umectare favorizează creșterea pasului și a adâncimii ondulației respective. La înălțimi ale meniscului de 7...8 mm și la un unghi de umectare  $\theta = 130^\circ \dots 140^\circ$ , periodicitatea apariției neregularităților (pasul între neregularități) este de 4..5 mm. La valori ale înălțimii meniscului de 10...12 mm și la un unghi de umectare  $\theta = 120^\circ \dots 130^\circ$ , pasul dintre neregularități este de 6... 12 mm.

Acest tip de defect nu apare dacă înălțimea meniscului de oțel este de 5 mm iar valoarea lui  $\theta$  nu depășește  $150^\circ$ . De aici rezultă că principala măsură pentru micșorarea posibilităților de apariție a unor astfel de defecte de suprafață constă în modificarea corespunzătoare a parametrilor meniscului, care este posibilă din punct de vedere tehnologic.

Alături de geometria meniscului, cu o pondere importantă, intervine și modificarea plasticității stratului superficial în timpul solidificării, proces care este influențat de intensitatea de răcire a oțelului aliat care urcă în lingotiera. Când aceasta este mare, stratul exterior al meniscului se va durifica rapid, scăzându-i plasticitatea astfel încât capacitatea de preluare a eforturilor va fi mult diminuată.

În practica turnării indirecte este indicat ca oțelul pentru rulmenți să fie turnat la temperaturi ridicate și cu viteză mare. Nu întotdeauna este posibil să se respecte această indicație tehnologică deoarece, alături de "înfășurări", trebuie evitate și crăpăturile a căror frecvență crește cu mărirea temperaturii de turnare.

Astfel, s-au căutat alte soluții care să permită corelarea mai ușoară a celor doi parametri principali (temperatura și viteza de turnare) cu posibilitățile de evitare a principalelor defecte enumerate anterior. Se menționează unele măsuri tehnologice ca: ungerea lingotierei cu diferiți lubrifianți, folosirea la turnare a plăcuțelor de rumeguș, de lemn presat sau a ramelor de lemn introduse în lingotieră la începutul turnării. La oțelurile de rulmenți se folosesc ca prafuri de lubrifiere amestecul TM-2, UHL și TMD, care au diferiți componenți zgurificabili ce permit asigurarea compoziției chimice prescrise. Folosirea acestor prafuri (amestecuri purverulente) prezintă o serie de rezultate, demne de reținut:

- îmbunătățirea purității oțelului prin scăderea conținutului de incluziuni nemetalice;
- creșterea purității oțelului prin scăderea conținutului de incluziuni nemetalice;
- îmbunătățirea macrostructurii lingoului.

Îmbunătățirea calității suprafețelor lingoului de oțel de rulmenți (înlăturarea înfășurărilor) este rezultatul prezenței stratului de zgură fluidă care modifică parametrii geometrici ai meniscului de oțel.

În aceste condiții, raza meniscului va fi determinată de mărirea tensiunii interfazice oțel-zgură ( $\sigma_{l-z}$ ) deci:

$$r = \sqrt{\frac{1,9}{\gamma} \sigma_{l-z}} \quad [\text{cm}] \quad (4.4)$$

Tensiunea interfazică dintre oțel ( l ) și zgură ( Z ) este dată de relația:

$$\sigma_{l-z} = \sigma_l - \sigma_z \cdot \cos\theta \quad (4.5)$$

Relația (4.5) ne arată că raza meniscului va fi mai mare sau mai mică în funcție de valoarea unghiului de umectare " $\theta$ " dintre cele două lichide (oțel, zgură) aflate în contact. La o umectare totală ( $\theta = 0$ ) tensiunea interfazică și raza meniscului vor fi minime, situația fiind inversă pentru zgurile cu neumectare ( $\theta = \pi$ ).

În baza mecanismului de formare a defectelor de suprafață, a rezultat că este favorabil ca meniscul de oțel să aibă parametrii "r" și "h" cât mai mici, (fig. 4.8).

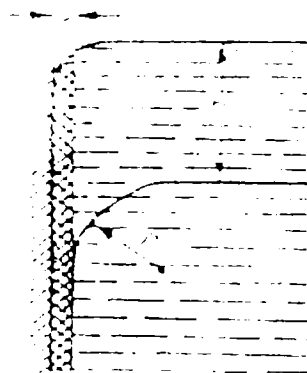


Fig. 4.8 Interacțiunea lingotieră – oțel – zgură

Nu trebuie neglijat nici faptul că zgura lichidă, odată pătrunsă în interstițiile dintre meniscul oțelului și suprafața lingotierei, va îmbunătăți condițiile de lubrefiere la pereții lingotierei. Grosimea stratului de zgură, format între lingou și lingotieră, depinde de o serie de factori, printre care: temperatura de topire, vâscozitatea și gradul de adeziune al zgurei față de suprafața lingotierei.

Creșterea purității oțelului de rulmenți (prin scăderea conținutului de incluziuni nemetalice) ca urmare a prezenței stratului de zgură în regiunea frontală a lingoului este funcție de modul în care este corelată intensitatea de decantare a suspensiilor cu capacitatea de absorbție a acestora de către zgura respectivă. Capacitatea de absorbție a suspensiilor ajunse la suprafața de contact, depinde atât de caracteristicile fizice ale zgurii (tensiune superficială, vâscozitate) cât și de raportul care există între gradul de umectare oțel-zgură și respectiv, zgură-suspensie nemetalică.

**Termodinamic**, pentru ca suspensia nemetalică ajunsă în zona de contact să fie absorbită în stratul de zgură, este necesar ca energia fazelor aflate în interacțiune să se micșoreze. Astfel, dacă se notează cu  $s_{z-i}$ ,  $s_{i-i}$ ,  $s_{z-l}$  suprafețe de contact (z – zgură; i – incluziuni; l – lichid) și cu  $\sigma_{z-i}$ ,  $\sigma_{i-i}$ ,  $\sigma_{z-l}$  tensiunile interfazice, condiția de absorbție se poate scrie sub forma:

$$\Delta s_{z-i} \cdot \sigma_{z-i} + \Delta s_{i-i} \cdot \sigma_{i-i} + \Delta s_{z-l} \cdot \sigma_{z-l} < \sigma_{z-l} \cdot 0 \quad (4.6)$$

În cazul în care zgura lichidă umectează particula nemetalică avem:

$$\Delta s_{z-i} = \Delta s_{z-l} = - \Delta s_{i-i} \quad (4.7)$$

Relația (4.7) devine:

$$\sigma_{z-l} < \sigma_{z-i} + \sigma_{i-i} \quad (4.8)$$

Astfel, intensitatea de absorbție a suspensiilor în stratul de zgură este cu atât mai mare cu cât tensiunea interfazică la limita zgură – oțel este mai mică.

Zgura care acționează favorabil în direcția reducerii defectelor de suprafață are și un efect pozitiv și asupra purității oțelului de rulmenți.

### 4.3 Oțeluri de rulmenți indigene, norme interne

Actualmente în România, normele de bază pentru oțeluri de rulmenți (RUL) sunt STAS 1546-89 și STAS 11250-89, care stabilesc mărcile și condițiile tehnice de calitate. La rulmenții grei, speciali, de regulă de rotire și de sprijinire (RS), se folosesc oțelurile aliate pentru tratament termic (TT) ce fac obiectul STAS 791-88.

#### 4.3.1 Oțeluri de rulmenți (RUL)

Oțelurile aliate cu crom se folosesc frecvent la construcția rulmenților, aceste oțeluri au o rezistență mare la uzură, un spectru specific de solicitare la rostogolire și limită de elasticitate ridicată.

Stările de solicitare ale acestor oțeluri sunt inserate în tabelul 4.6.

**Tabelul 4.6**

Destinație	Stări de livrare
0	1
Deformare la cald	A1 – Laminat; Forjat
	A2 – Laminat; Forjat
Prelucrare prin așchiere	B1 – Laminat Forjat – recopt globularizare
	B2 – Laminat Forjat – recopt globularizare – cojit
	B2 – Laminat Forjat – recopt globularizare – tras

Compoziția chimică pe oțel lichid este prezentată în tabelul 4.7

**Tabelul 4.7**

Marca oțelului	Compoziția chimică în %							
	C	Mn	Si	S <sub>max</sub>	P <sub>max</sub>	Cr	Ni <sub>max</sub>	Cu <sub>max</sub>
0	1	2	3	4	5	6	7	8
RUL1, IVREZ STAS1456/1-89	0,95 – 1,10	0,20 – 0,45	0,17 – 0,37	0,020	0,027	1,35 – 1,65	0,30	0,25
RUL2, STAS1456/1-89	0,95 – 1,10	0,9 – 1,20	0,40 – 0,67	0,020	0,027	1,35 – 1,65	0,30	0,25
RUL1x STAS11250-89	0,95 – 1,10	0,20 – 0,45	0,17 – 0,37	0,020	0,027	1,35 – 1,65	0,30	0,25
RUL2x STAS11250-89	0,95 – 1,10	0,9 – 1,20	0,40 – 0,65	0,020	0,027	1,35 – 1,65	0,30	0,25
RUL3x STAS11250-89	0,95 – 1,10	1,05 – 1,35	0,17 – 0,37	0,020	0,027	1,10 – 1,50	0,30	0,25

**Observație:**

- Mărcile de oțel RUL1x, RUL2x și RUL3x sunt elaborate în cuptoare electrice și tratate în vid.
- Se admite în compoziția chimică a oțelurilor de rulmenți un conținut maxim de 0,08%Mo și de max. 0,4% (Cu+Ni).
- Nu se admite dezoxidarea cu ferotitan.

La verificarea compoziției chimice pe semifabricate sau produse finite se admit abateri limită față de compoziția chimică pe oțel lichid conform tabelului 4.8

**Tabelul 4.8**

Marca oțelului	Compoziția chimică în %							
	C	Mn	Si	S <sub>max</sub>	P <sub>max</sub>	Cr	Ni <sub>max</sub>	Cu <sub>max</sub>
0	1	2	3	4	5	6	7	8
RUL1x	±0.020	+0.050	+0.030	+0.050	+0.010	+0.002	-0.002	+0.01
RUL2x		±0.05	-0.020					
RUL3x								
RUL1,IVREZ RUL1	±0.020	+0.050	-0.030	+0.050	-	+0.002	-0.002	-
RUL2		±0.05	-0.020					

În tabelul 4.9 se prezintă principalele dimensiuni, stări de livrare și condițiile tehnice funcție de modul de prelucrare.

**Tabelul 4.9**

Modul de prelucrare	Starea de livrare	Dimensiuni și abateri limită conform	Condiții impuse pentru			
			structură	decarburare	duritate	refulare
0	1	2	3	4	5	6
Deformare la cald	A1	STAS 333-87	DA*	DA	NU	DA
		STAS 436-80				
		STAS 2171-84				
		STAS 2881-87				
		STAS 11520-80				
	A2	STAS 2881-87	DA*	DA	NU	DA
		STAS 6433-80				
Prelucrare prin așchiere	B1	STAS 333-87	DA	DA	DA	NU
	B2	STAS 6433-80	DA	DA	DA	NU
	B3	STAS 1800-87	DA	DA	DA	NU

\*Se prescriu condiții numai pentru macrostructură, benzi de carburi, microporozitate și incluziuni nemetalice.

Clasele de calitate pentru încadrarea calității oțelurilor aliate cu crom pe grupe distincte, sunt arătate în tabelul 4.10.

Tabelul 4.10

Marca oțelului	Clasa de calitate	Produsul
0	1	2
RUL1, RUL2, RUL3-REZ	I	Forjat
RUL1x, RUL2x, RUL3x	II	Forjat, laminat
RUL1x, RUL2x, RUL3x	III	Forjat, laminat, tras
RUL1, RUL2, RULIV-REZ	IV	-

La oțelurile de rulmenți (aliate cu crom), pentru diametre mari, se folosesc clasele de calitate I și II la produsele forjate și forjate + laminate de dimensiuni mari.

Adâncimea stratului decarburat (ferită + zona de trecere) se determină pe produsele supuse procesului de deformare plastică la cald, iar valorile maxime admise funcție de diametrul produsului (forjatului) sunt inserate în tabelul 4.11

Tabelul 4.11

Produsul	Diametru (mm)	Adâncimea maximă a stratului decarburat a, (mm)
0	1	2
Laminate, forjate destinate deformării la cald	71 – 100	0,85 – 1,00
	Peste 200	2,00
	Peste 400	4,00
	Peste 600	6,00
	Peste 800	8,00
	Peste 1000	10,00
	Peste 1100	11,00
	Peste 1200	12,00
	Peste 1300	13,00
	Max. 1400	13,00 – 14,00

Defectele de suprafață se pun în evidență pe probe speciale atacate cu o soluție de HCl (1:1) la temperatura de 70<sup>0</sup> – 80<sup>0</sup>C. După atac, proba se examinează cu ochiul liber sau la microscop cu o mărire de 100X, stabilindu-se, în secțiune transversală, natura și adâncimea defectelor. În figura 4.9 se prezintă aspectul unei fisuri decalate pe o probă prelevată dintr-un semifabricat cu D = 1400 mm din oțel RUL2.





Fig. 4.9 Fisură într-un semifabricat RUL2 (Atac HCl, 100X)

**Macrostructura** oțelurilor în stare de livrare se determină pe probe transversale; nu se admit retasuri, fisuri, stratificări de material, fulgi și incluziuni nemetalice determinate cu ochiul liber.

Structurile dendritice, pătratul de licuație, porozitatea centrală și generală trebuie să se încadreze în prevederile inserate în tabelul 4.12.

Tabelul 4.12

Elementul macrostructurii	Punctajul maxim admis	Scara de etalon STAS 11250-89
0	1	2
Dendrite	1; 2	Anexa A
Pătrat de licuație	1; 2	Anexa A
Porozitate centrală	1; 2; 3	Anexa A
Porozitate generală	1; 2; 3	Anexa A

**Microstructura** obținută după recoacerea de globularizare trebuie să aibă punctajele impuse în tabelul 4.13 iar cea obținută după călire și revenire trebuie să se încadreze în punctajele inserate în tabelul 4.14. Punctajele se stabilesc comparativ cu fotoetalioane.

Tabelul 4.13

Elementul microstructurii	Punctajul maxim admis	Scara de etalon STAS 11250-89
0	1	2
Grad de globularizare	1; 2	Anexa B
Mărimea carburilor	1; 2	Anexa B
Uniformitatea mărimii carburilor	1; 2	Anexa B
Sorbită	1; 2; 3*	Anexa B
Perlită lamelară	1; 2; 3	Anexa B

\*la înțelegere între părți.

Tabelul 4.14

Elementul microstructurii	Punctajul maxim admis	Scara de etalon STAS 11250-89
0	1	2
Rețea de carburi	2	Scara B; STAS 1456/1-89
Benzi de carburi	3	Scara D; STAS 1456/2-89
Carburi primare	Nu se admit	
Microporozități	2	Scara E; STAS 1456/3-89

Depășirea punctajelor maxime la microstructurile obținute după recoacerea de globularizare duc la dezvoltarea unor structuri globulare grobe, cu zone perlitice lamelare, de granulații ridicate, fapt ce caracterizează structurile de recoacere neomogenă; la încălzirea lor în domeniul austenitic pentru călire apare o austenită neomogenă care, răcită brusc, dezvoltă o cantitate ridicată de austenită reziduală ce face să scadă puternic caracteristicile mecanice ale oțelului călit.

Dezvoltarea după călire a elementelor microstructurale (cu referire la carburile de crom) peste punctajele impuse (tabelul 4.14) produc în structură zone puternic durificate, în comparație cu celelalte zone, fapt ce reduce, în special, rezistența la oboseală a oțelului cu o astfel de structură neomogenă (distribuție neuniformă a carburilor).

**Punctajul mediu de incluziuni nemetalice**, admise pentru toate stările de livrare calculat ca medie aritmetică a tuturor punctajelor maxime ale fiecărei probe, pentru fiecare tip de incluziuni, pe baza etaloanelor din STAS 5949-80, este trecut în tabelul 4.15.

Tabelul 4.15

Dimensiunea (mm)	Valori maxime admise pentru punctajul mediu			
	S	OL +SF	SP	OP + SN
0	1	2	3	4
5 – 40	2,5	2,5	2,5	2,5
40 – 80	3,0	3,0	3,0	3,0
Peste 80	3,5	3,5	3,0	3,5

S – sulfuri; OL – oxizi liniari; OP – oxizi punctiformi; SF, SP, SN – silicați (fragili, plastici, nedeformabili).

Rezultatele determinărilor sunt considerate satisfăcătoare, dacă în afară de încadrarea punctajului mediu în valorile indicate, numărul probelor cu punctaj mai mare decât punctajul mediu admis nu depășește o treime din probele analizate, iar valoarea depășirii nu este mai mare de 1,0 puncte față de punctajul mediu admis.

**Fig. 4.10** Oțel RUL 2x. incluziuni nemetalice (100:1)

La oțelurile RUL2x s-au decelat incluziuni nemetalice de tipul oxizilor punctiformi (punctajul 1), silicați nedeformabili (punctajul 2), nivelul de puritate fiind foarte ridicat, specific oțelurilor de rulmenți tratate în vid.

Duritatea oțelurilor în stare de livrare nu va depăși valorile trecute în tabelul 4.16.

**Tabelul 4.16**

Starea de livrare	Duritatea maximă HB				
	RUL1x	RUL2x	RUL3x	RULIV-REZ RUL1	RUL2
0	1	2	3	4	5
A1; A2 cu recoacere	250	250	250	207	217
B1, B2, B3	207	217	229	207	217

Încadrarea structurilor în plaja durităților inserate în tabelul 4.16 evidențiază că tratamentul termic de recoacere a fost corect prescris și executat.

**Regimul termic de prelucrare și tratament finat este prezentat în tabelul 4.17**

**Tabelul 4.17**

Nr. crt.	Operația	Temperaturi °C		
		RUL 1, RULIV-REZ, RUL1x	RUL2 RUL2x	RUL2
0	1	2	3	4
1	Laminare sau forjare	1150 – 850		
2	Recoacere de globularizare	770 – 810		
3	Călire în ulei	810 – 850	800 – 840	810 – 850
4	Călire în apă	800 – 840	790 – 830	800 – 840
5	Revenire	150 – 190	150 – 180	150 – 190

În vederea asigurării plasticității, oțelurile de rulmenți vor avea următoarele valori ale caroiajului pentru realizarea produselor finite:

- minim 4 produsele (bare) deformate la cald
- minim 4 produsele (bare) laminate la cald, destinate prelucrării prin așchiere.

Produsele livrate în stările A1 și A2 trebuie să corespundă la încercarea de refulare la cald până la 1/3 din înălțimea inițială.

**Călibilitatea** oțelurilor de rulmenți este garantată. Drept criteriu al călibilității se ia distanța minimă de la capătul probei călit frontal de la care duritatea trebuie să fie minim 61 HRC.

Distanțele minime trebuie să fie:

- de = 6 mm, pentru oțelul RUL1, RULIV – REZ
- de 13,5 mm, pentru oțelul RUL2, RUL2x
- probele de călibilitate se vor supune tratamentului de globularizare cu regimul termic prevăzut în tabelul 4.17. Încălzirea probelor pentru mărcile de oțel de rulmenți la temperatura de  $845 \pm 10^{\circ}\text{C}$ , iar durata de încălzire, pentru menținerea la temperatură trebuie să fie de 60 minute.

**Caracteristicile mecanice de tenacitate** ale oțelului RUL1, considerat reprezentativ pentru această grupă de oțeluri, sunt prezentate în tabelul 4.18. Rezistența la oboseală, determinată la  $1,5 \cdot 10^7$  cicluri, a fost de 590 – 610 N/mm<sup>2</sup>.

**Tabelul 4.18**

Starea oțelului de rulmenți	Duritatea		Caracteristici mecanice și de tenacitate				
	HB	HRC	R <sub>p0.2</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	R <sub>m</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	A (%)	Z (%)	KCU <sub>2</sub> (J/cm <sup>2</sup> )
0	1	2	3	4	5	6	7
Turnat	262	27	370	770	22	47	48
Forjat	229	22	350	720	25	50	49

**Continuare tabelul 4.18**

0	1	2	3	4	5	6	7
Normalizat	260	27	380	750	20	42	19
Recopt	179	-	340	730	21	46	55
Călit (820 <sup>o</sup> C/ulei) + Revenire joasă (170 <sup>o</sup> C/1 oră/aer)	680	67	-	2640	-	-	30

**Metodele de încercare și verificare a calității** oțelurilor de rulmenți se aplică pe loturi constituite din produse provenite din aceeași șarjă și lot de tratament termic, sortate pe grupe de dimensiuni. De regulă, mărimea unui lot se stabilește de comun acord între elaborator și clienți și se specifică în contract. În lipsa acestei

specificații, mărimea unui lot este cel mult egală cu mărimea unui lot de tratament termic provenit din aceeași șarjă de elaborare.

Principalele încercări și verificări la aceste oțeluri sunt:

- a) verificarea aspectului se face pe toate elementele lotului cu lupa sau cu ochiul liber, eliminând elementele necorespunzătoare.
  - b) Verificarea defectelor de suprafață se efectuează pe trei probe din lot prin analize macroscopice.
  - c) Verificarea dimensiunilor elementelor lotului se face cu aparate sau cu șabloane; elementele necorespunzătoare se elimină.
  - d) Verificarea compoziției chimice (pe oțel lichid – pe o șarjă – pe produs – pe o probă din lot) se execută conform STAS 2015 (standard pe părți) și conform altor standarde în vigoare. Șarjele necorespunzătoare se exclud.
  - e) Încercarea de refulare se execută conform STAS 2233-80 pe trei epruvete pe lot din stările A, A2.
  - f) Încercarea de duritate se execută conform STAS 165-83 pe trei epruvete din prin metode Brinell.
  - g) Verificarea grosimii stratului decarburat se face prin metalografică conform STAS 6258-73 pe trei probe din lot.
  - h) Determinarea călibrității oțelului conform STAS 4930-80 se execută pe 2 probe Jominy ale aceluiași lot.
  - i) Verificarea elementelor microstructurii oțelurilor de rulmenți.
    - pentru benzi de carburi se iau trei probe călite și revenite pe lot în execuție longitudinală ce se analizează conform STAS 1456/2-74 (scara D cu etaloane)
    - pentru segregatii se folosesc trei probe pe lot prelevate în secțiune longitudinală, verificarea se face comparativ cu etaloanele scării C din STAS 1456/1-89.
    - pentru rețeaua de carburi se analizează trei probe pe lot prelevate în secțiune transversală, verificarea se face prin comparare cu etaloanele scării A din STAS 1476/1-89.
    - pentru aspectul perlitei se folosesc trei probe în stare recoaptă prelevate în secțiune transversală, verificarea se face prin comparare cu etaloanele scării a din STAS 1456/1-89.
    - pentru microporozitate sunt necesare 6 probe pe lot, compararea suprafețelor analizate se face cu etaloanele din STAS 1456/3-74 scara E.
    - pentru incluziuni nemetalice se folosesc 6 probe pe șarjă, din elemente diferite, punctajele se stabilesc prin comparare cu etaloanele aferente STAS 5949-80.
- La punctele “b2”, “d”, “e”, “f”, “g”, “h” și “i” interpretarea rezultatelor se face astfel:  
“Dacă pe o singură probă se obține un rezultat necorespunzător, verificarea se repetă pe un număr dublu de probe. Dacă și în acest caz o singură probă dă rezultate necorespunzătoare, lotul se respinge”.
- j) Controlul ultrasonnic se face în stadiul inițial al fabricației pe țagle cu diametrul (latura) mai mare de 50 mm. Metodologia de lucru este prezentată în anexa C a STAS 11250-89. La controlul ultrasonnic, produsele nu trebuie să prezinte ecou de defecte mai mare de 30 % din ecoul de fund.

#### 4.3.2 Oțeluri aliate pentru tratament termic (TT)

În construcția rulmenților grei (de dimensiuni mari), cu diametre cuprinse între 1000 și 12.000 mm, nu se folosesc oțeluri aliate, prelucrate prin deformare plastică și tratament termic (de cementare, îmbunătățire).

**Oțelurile de cementare** (Cr-Ni-Mo, Ni-Cr, Ni-Mo) asigură pieselor o rezistență la încărcări statice și dinamice mari, elasticitate înaltă pentru a se opune solicitărilor la șoc fără deformări permanente, iar prin stratul cementat cu duritate uniformă ridicată, se garantează rezistența la uzură și la oboseală de contact.

Alegerea compozițiilor chimice au în vedere:

- Prezența cromului, molibdenului și manganului ca elemente generatoare de carburi în vederea obținerii unei rezistențe mecanice înalte și a unei durități maxime a stratului cementat.
- Alierea cu nichel a feritei pentru mărirea rezistenței și rezilienței, deci și a capacității de-a se opune la solicitări prin șoc.

**Oțelurile de cementare** au asigurată rezistența mecanică ridicată concomitent cu tenacități mari prin supunerea lor unor căliri urmate de reveniri înalte. În vederea obținerii unei durități ridicate, conținutul lor în carbon trebuie să fie de 0,25-0,60%, iar pentru secțiuni mari se apelează la oțeluri aliate standardizate în România, norma STAS 791-88.

**Compozițiile chimice** ale principalelor oțeluri sunt trecute în tabelul 4.19 (pe oțel lichid).

**Tabelul 4.19**

Marca oțelului	Calitatea	Compoziția chimică (%)							
		C	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	Alte elemente
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
15Cr9*	-	0,12 – 0,18	0,40 – 0,60	Max.0.035	Max.	0,70 – 1,00	-	-	-
	S			0,020-0,040	0,035				
	X XS			Max.0,025 0,020-0,035	Max. 0,025				
18MnCr11*	-	0,15 – 0,21	0,90 – 1,20	Max.0.035	Max.	0,90 – 1,20	-	-	-
	S			0,020-0,040	0,035				
	X XS			Max.0,025 0,020-0,035	Max. 0,025				
20MnCr12*	-	0,17 – 0,22	1,10 – 1,40	Max.0.035	Max.	1,00 – 1,30	-	-	-
	S			0,020-0,040	0,035				
	X XS			Max.0,025 0,020-0,035	Max. 0,025				
19MnCr11*	-	0,16 – 0,22	0,60 – 0,90	Max.0.035	Max.	0,90 – 1,20	-	0,15	-
	S			0,020-0,040	0,035			-	
	X XS			Max.0,025 0,020-0,035	Max. 0,025			0,25	

Continuare tabelul 4.19

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
21MoMnCr12*	-	0,18 - 0,24	0,80 - 1,20	Max.0,035	Max.	1,00 - 1,40	-	0,20 -	-
	S			0,020-0,040	0,035				
	X			Max.0,025	Max.				
20TiMnCr12*	-	0,17 - 0,23	0,80 - 1,10	Max.0,035	Max.	1,00 - 1,30	-	-	Ti 0,030 -
	S			0,020-0,040	0,035				
	X			Max.0,025	Max.				
18CrNi20*	-	0,15- 0,20	0,40- 0,60	Max.0,035	Max.	1,80- 2,10	-	-	-
	S			0,020-0,040	0,035				
	X			Max.0,025	Max.				
40Cr10**	-	0,36- 0,44	0,50- 0,80	Max.0,035	Max.	0,80- 1,10	-	-	-
	S			0,020-0,040	0,035				
	X			Max.0,025	Max.				
34MoCr11**	-	0,30- 0,37	0,60- 0,90	Max.0,035	Max.	0,90- 1,20	-	0,15 -	-
	S			0,020-0,040	0,035				
	X			Max.0,025	Max.				
42MoCr11**	-	0,38- 0,45	0,60- 0,90	Max.0,035	Max.	0,90 - 1,20	-	0,15 -	-
	S			0,020-0,040	0,035				
	X			Max.0,025	Max.				
40Cr12**	-	0,36- 0,44	0,50- 0,80	Max.0,035	Max.	0,45- 0,75	1,0	-	-
	S			0,020-0,040	0,035		-		
	X			Max.0,025	Max.		1,4		
34MoCrNi16**	-	0,30- 0,38	0,40- 0,70	Max.0,035	Max.	1,40 - 1,70	1,4	0,45 -	-
	S			0,020-0,040	0,035		0		
	X			Max.0,025	Max.		1,7		
	XS			0,020-0,035	0,025		0	0,30	

- a) \* oțeluri de cementare  
b) \*\* oțeluri de îmbunătățire  
c) conținutul de Si variază între 0,17 – 0,37%

La verificările compoziționale pe produs se admit față de compoziția pe oțel lichid (din tabelul 4.19) ce sunt trecute în tabelul 4.20.

Tabelul 4.20

Elementul	Conținutul, %	
	1	2
0		
Carbon (C)	< 0,55	± 0,020
Siliciu (Si)	>0,17-<0,45	± 0,030
	>0,90-<1,40	± 0,050
Mangan (Mn)	< 1,00	± 0,040
	>1,00-<1,00	± 0,060
Crom (Cr)	< 2,00	± 0,050
	>2,00-<2,00	± 0,10
Nichel (Ni)	< 1,00	± 0,30
	>1,00-<2,00	± 0,05
	>2,00-<3,75	± 0,07
Molibden (Mo)	< 0,30	± 0,03
	>0,30-<0,50	± 0,01
Vanadiu (V)	>0,10-<0,20	± 0,02
Aluminiu (Al)	>1,00-<2,00	± 0,005
	>0,70-<1,10	± 0,015
Titan (Ti)	>0,03-<0,09	± 0,01
Sulf (S)	< 0,035	± 0,005
Fosfor (P)	< 0,035	± 0,005

Tratamentele termice finale specifice oțelurilor de cementare și a celor de îmbunătățire ce se aplică pentru asigurarea proprietăților structurale și a caracteristicilor mecanice sunt trecute în tabelul 4.21.

Tabelul 4.21

Marca oțelului	Călire I		Călire II		Revenire		Temperatura de austenitizare la călirea frontală (°C)
	Temperatura (°C)	Mediul de călire*	Temperatura (°C)	Mediul de călire*	Temperatura (°C)	Mediul de călire*	
0	1	2	3	4	5	6	7
<b>Oțeluri de cementare</b>							
15Cr9	865-895	a; u	770-820	a; u	150-210	aer; u	880
18MnCr11	865-895	u	-	-	170-230	aer; u	870
20MnCr12	860-900	u	780-820	u	150-200	aer; u	850
19MoCr11	850-880	u	810-840	u	150-200	aer	880
21MoCr12	820-850	u	810-830	u	170-200	aer	850
18CrNi20	840-870	u	800-830	u	170-210	aer; u	840
20TiMnCr12	88-950	u	855-895	u	170-230	aer; u	910
<b>Oțeluri de îmbunătățire</b>							
40Cr10	845-875	u	-	-	450-550	a; u	850
34MoCr11	830-860	a	-	-	540-680	a; u	850
	840-870	u	-	-	540-680	a; u	850
42MoCr11	820-850	a	-	-	540-680	a; u	-
	830-860	u	-	-	540-680	a; u	-
40CrNi12	805-835	a; u	-	-	450-550	a; u	850
34MoCrNi16	830-860	u	-	-	540-680	u	850

\* a – apă; u – ulei TT5005

Analiza parametrilor tratamentelor termice aplicate oțelurilor cementate și de îmbunătățire din care se fabrică rulmenții grei arată că:



- la oțelurile de cementare se aplică, după călire, numai reveniri joase ( $T = \text{max.}230^{\circ}\text{C}$ ). Structura este formată din martensită, cementită reziduală și carburi complexe (fig. 4.11).



Fig. 4.11 Oțel 18MnCr11 (călit + revenit, 500:1)

- la oțelurile de îmbunătățire, în urma tratamentului de călire + revenire înaltă, apar structuri tenace formate din sorbită și carburi complexe (fig. 4.12)



Fig. 4.12 Oțel 34MoCr11 (călit + revenit, 500:1)

Parametrii tratamentelor termice primare și indicațiile tehnologice pentru deformarea plastică la cald sunt inserate în tabelul 4.22.

Tabelul 4.22

Marca oțelului	Recoacere de înmuiere		Normalizare		Temperatura la forjare liberă (°C)	Temperatura la forjare în matrită (°C)
	Temperatura (°C)	Mediul de răcire*	Temperatura (°C)	Mediul de răcire*		
0	1	2	3	4	5	6
<b>Oțeluri de cimentare</b>						
15Cr9	650-70	cuptor	890-910	aer	1180-800	1150-900
18MnCr11	650-680	cuptor	860-890	aer	1180-800	1140-900
20MnCr12	650-700	cuptor	-	-	1180-810	1150-900
19MoCr	-	-	-	-	1180-810	1150-900
21MoCr12	680-700	cuptor	-	-	1170-800	1150-900
18CrNi20	650-700	cuptor	910-930			
0	1	2	3	4	5	6
20TiMnCr12	600-700	cuptor	-	-	1180-800	1140-900
<b>Oțeluri de îmbunătățire</b>						
40Cr10	680-720	cuptor	845-875	aer	1150-800	1130-900
34MoCr11	700-730	cuptor	850-880	aer	1170-810	1140-900
42MoCr11	700-730	cuptor	850-880	aer	1180-810	1130-900
40CrNi12	680-720	cuptor	840-870	aer	1150-800	1130-900
34MoCrNi16	650-700	cuptor	840-870	aer	1170-800	1140-900

Călibilitatea oțelurilor aliate este asigurată numai în condițiile respectării tuturor condițiilor impuse pentru regimul termic încălzire-răcire.

În figurile 4.13 și 4.14 se prezintă forma benzilor de călibilitate pentru două oțeluri aliate folosite frecvent în construcția de rulmenți grei (de dimensiuni mari).

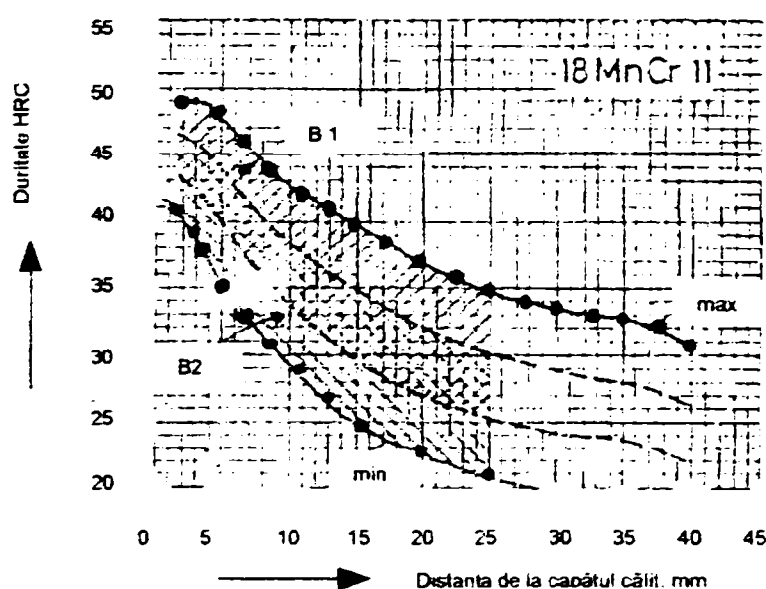


Fig. 4.13 Oțel 18MnCr11. Benzi de călibilitate

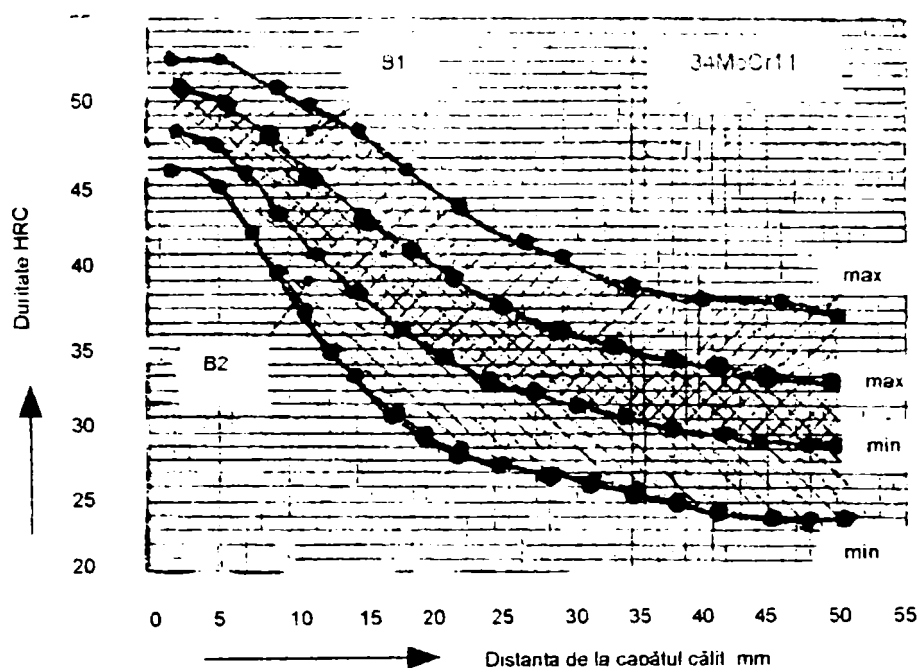


Fig. 4.14 Oțel 34MoCr11. Benzi de călibilitate

Analiza variației durtății pe distanța de la capătul călit a probei Jomminy ne arată că pătrunderea călirii este mai intensă la oțelul de îmbunătățire 34MoCr11 față de oțelul 18MnCr11 (tabelul 4.23).

Tabelul 4.23

Nr crt	Distanța de la capătul călit (mm)	Oțel 18MnCr11		Oțel 34MoCr11	
		Duritatea HRC		Duritatea HRC	
		Valoarea maximă	Valoarea minimă	Valoarea maximă	Valoarea minimă
0	1	2	3	4	5
1	1,5	49	41	57	49
2	5,0	48	36	57	48
3	9,0	44	31	55	42
4	11,0	42	29	54	39
5	15,0	40	25	52	34
6	20,0	37	23	48	30
7	25,0	35	21	45	28
8	40,0	31	-	40	25

Caracteristicile mecanice garantate pentru oțelurile de cementare și îmbunătățire analizate au valori trecute în tabelul 4.24. Aceste caracteristici s-au determinat pe epruvete tratate termic cu regimul trecut în tabelul 4.21.

Tabelul 1.24

Marca oțelului	Tipul tratamentului termic *	Caracteristici mecanice						
		$R_{p0.2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	A (%)	Z (%)	Caracteristici de tenacitate		HB max. în stare recoaptă
						KCU3 (J/cm <sup>2</sup> )	KV (J) Min.	
0	1	2	3	4	5	6	7	8
15Cr9	Cr	495	Min.685	12	45	Min.69	-	179
18MnCr11	Cr	735	Min.880	10	40	-	-	187
20MnCr12	Cr	800	Min.950	9	48	Min.70	-	217
19MoCr11	Cr	750	1050-1200	8	-	Min.50	-	202
21MoMnCr12	Cr	830	Min.1090	8	40	Min.68	-	217
18CrNi20	Cr	830	Min.980	9	50	Min.78	-	217
20TiMnCr12	Cr	830	1220-1450	7	30	-	-	217
40Cr10	CR	780	Min.980	10	45	Min.53	-	217
34MoCr11	CR	800	1000-1200	11	45	-	40	223
42MoCr11	CR	900	1100-1300	10	4	-	35	248
40CrNi12	CR	780	Min.980	9	50	Min.88	-	207
34MoCrNi16	CR	1000	1200-1400	-	40	-	40	

\*Cr - călire + revenire joasă  
CR - călire + revenire înaltă

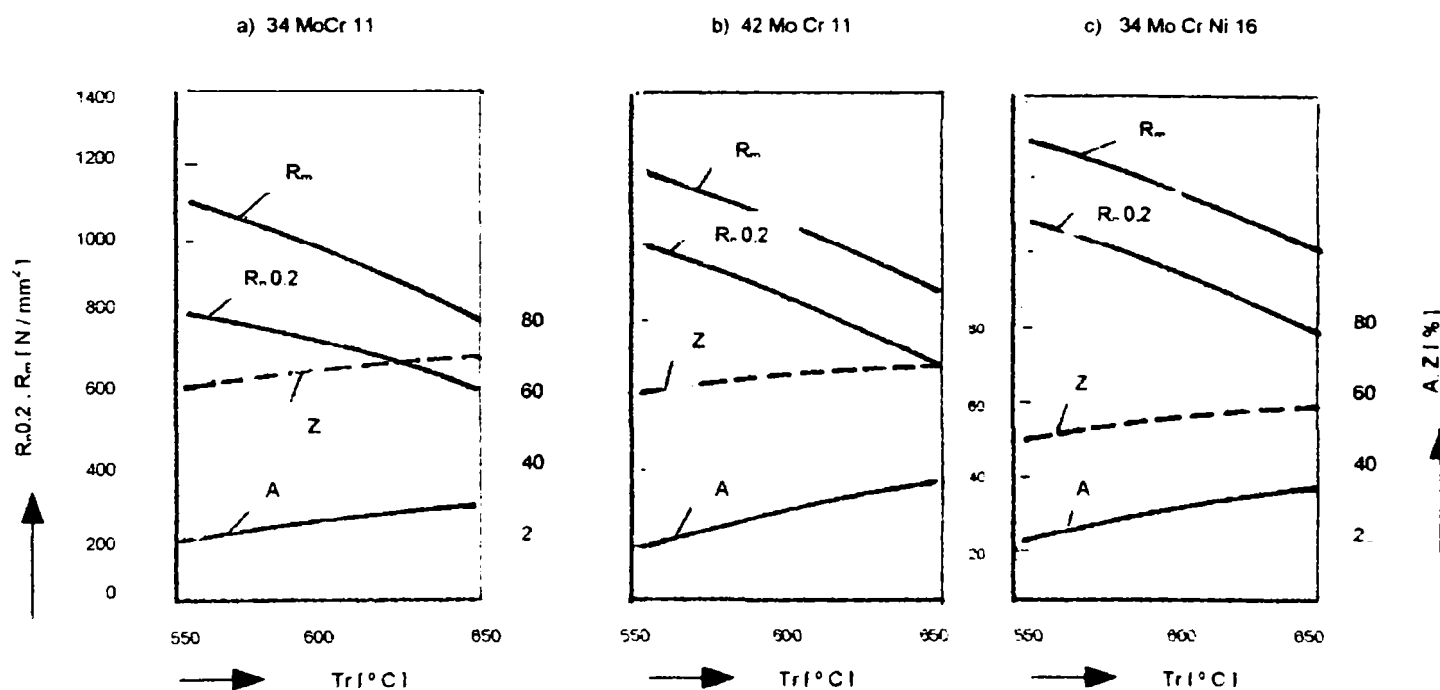


Fig. 4.15 Variația caracteristicilor mecanice cu temperatura de revenire la trei oțeluri de îmbunătățire

Caracteristicile de rezistență ( $R_{p0.2}$ ,  $R_m$ ) și cele de deformabilitate (A,Z) ale oțelurilor de îmbunătățire sunt puternic influențate de temperatura de revenire,  $T_r$ , (fig. 4.15).

**Caracteristicile macroscopice** se determină prin analizarea secțiunii transversale a produsului în stare de livrare după un atac cu un reactiv metalografic special. Oțelurile analizate nu trebuie să prezinte: urme de retasură, porozități, sulfuri, fisuri și incluziuni nemetalice vizibile cu ochiul liber (porozitatea nu trebuie să depășească punctajul 2 conform STAS 11961/1-83).

La produse cu grosimi mari (peste 80 mm), la cererea beneficiarului se va face verificarea segregăției de sulf prin amprenta Baumann, criteriile de acceptare se stabilesc prin înțelegere directă.

**Caracteristicile microscopice** definesc:

- punctajele maxime admise pentru conținutul de incluziuni nemetalice (STAS 5949-80)
- |  | punctaj |
|--|---------|
| a) sulfuri.....                                  | 4       |
| b) oxizi.....                                    | 4       |
| c) silicați.....                                 | 4       |
| d) nitruri.....                                  | 4       |
| e) suma punctajelor pe același câmp a+b+c+d..... | 5       |

În figura 4.16 se prezintă micrografia unui câmp cu incluziuni nemetalice de tip:

- oxizi punctaj 2
- silicați punctaj 2

**Fig.4.16** Oțel 40Cr10 (100:1)

- punctajul admis pentru mărimea grăuntelui austenitic trebuie să fie cuprins între 5-8 determinat direct pe instalații specializate (microscopic cu incinte vidate pentru examinări la cald) sau prin metode indirecte (cementare sau oxidare) conform EN 643. La oțelul 34MoCrNi16 granulația structurii austenitice determinată direct la 850°C are punctajul cuprins între 6-8 EN 643 (fig. 4.17).

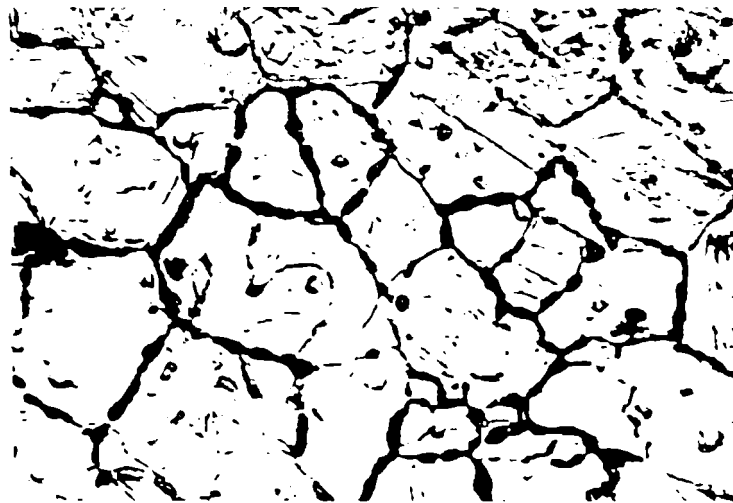


Fig. 4.17 Oțel 34MoCrNi16 (200:1)

- microstructurile decelate ale oțelurilor analizate nu trebuie să prezinte microfisuri. La oțelul 18MnCr11, pe o probă supusă tratamentului termic primar (recoacere de înmuiere) s-a observat o microfisură ce străbate grosimea probei (fig. 4.18).



Fig. 4.18 Oțel 18MnCr11 (100:1)

**Metode de încercare și verificare a calității oțelurilor aliate (TT)** se aplică pe loturi din același fel de produse forjate (lamine) din aceeași grupă dimensională, provenite din aceeași șarjă de elaborare și tratament termic.

- a) Tipul de livrare a produsului se garantează cu caracteristicile însemnate în tabelul 4.25.

Tabelul 4.25

Caracteristici garantate		Tipuri de livrare				
		1	2	3	4	5
0		1	2	3	4	5
Compoziția chimică		*	*	*	*	*
Caracteristici mecanice pe epruvete tratate termic	• Călite și revenite	-	-	*	-	-
	• Normalizate	-	-	-	-	*
Caracteristici mecanice pe epruvete tratate termic (călire + revenire) de dimensiuni speciale)		-	-	-	*	-
Călibilitatea cu prezentarea datelor		-	*	-	-	-
Plasticitate sau duritate		-	*	*	*	*
Caracteristici metalografice	• Macroscopice	-	*	*	*	*
	• Microscopice	-	*	*	*	*

Produsele din oțeluri aliate (TT) se pot livra în următoarele stări:

- Netratate termic (NT)
- În stare normalizată (N)
- În stare recoaptă (Re)
- În stare călită + revenită jos (Cr) (oțeluri de cementare)
- În stare călită + revenită înalt CR) (oțeluri de îmbunătățire)

b) Verificarea compoziției chimice se face pe o probă din șarja de oțel și pe două probe din produse diferite, conform STAS 2015 și standardele de analiză chimică în vigoare.

c) Încercarea la tracțiune urmărește determinarea caracteristicilor:

- Limitei de curgere,  $R_{p0.2}$ ,
- Rezistenței la rupere,  $R_m$ ,
- Alungirea la rupere, Z.

Se va executa pe maxim 2 epruvete pe lot, conform SREN 10.002/1-95.

d) Încercarea de încovoiere prin șoc se va executa conform SREN 10.045/1-963 pe trei epruvete cu creștătură "" cu adâncimea de 2 mm, conform SR 13170-93, prelevate din același produs (pe lot).

e) Încercarea de refulare, conform STAS 2233-80, se face pe două epruvete (pe lot), iar cea de duritate, conform STAS 165-80, se va executa tot pe două epruvete prelevate din produs.

f) Verificarea călibilității se va executa pe două epruvete pe șarjă conform STAS 4930-80, prin metoda răcirii frontale (metoda Jomminy).

g) Verificarea mărimii grăuntelui austenitic conform EN 643 și a conținutului de incluziuni nemetalice, conform STAS 5949-80, se efectuează pe trei probe pe șarjă.

h) Verificarea macroscopică și a adâncimii stratului decarburat, conform STAS 11961/1-83 și STAS 56258-83, se face pe două șarje prelevate din capetele produsului.

Încercările (verificările) prezentate la punctele 'b. h', care dau rezultate necorespunzătoare se repetă pe un număr dublu de probe sau epruvete. Dacă și în acest caz o singură probă sau epruvetă da rezultate necorespunzătoare, totul se respinge.

#### 4.4 Oțeluri de rulmenți străine. Norme internaționale

Pe plan mondial, se folosesc o serie de oțeluri utilizate pentru piesele componente ale rulmenților grei (bile, role, inele, discuri etc.). Principalele norme internaționale ce reglementează producerea, calitatea și garanția oțelurilor sunt:

DIN 17230, (ultima ediție), AFNOR 35565, EURONORM 94, BS 970Y (BS6323), UNI 3097, JIS G 4805, AISI S2.100.

**4.4.1 Standardul german DIN 17230** este valabil pentru tipurile de oțeluri înserate în tabelul 4.26.

Forma produselor este reglementată de norma EURONORM79 iar, pentru dimensiunile rulmenților grei (dimensiuni nominale, abateri admisibile ale cotelor) se vor consulta normele specifice adaptate de consultant.

La calculul greutatei nominale a produsului se va ține seama de următoarele valori ale densității:

- |  |                          |
|--|--------------------------|
| - La oțelurile durificate pătruns:             | 7,85 kg/dcm <sup>3</sup> |
| - La oțelurile de cementare:                   | 7,85 kg/dcm <sup>3</sup> |
| - La oțelurile de îmbunătățire                 | 7,85 kg/dcm <sup>3</sup> |
| - La oțelurile inoxidabile:                    | 7,7 kg/dcm <sup>3</sup>  |
| - La oțelurile termorezistente (termostabile): |                          |
| 80MoCrV42.16, X82WmoCr6.5.4:                   | 8,1 kg/dcm <sup>3</sup>  |
| 7WCrV18.4.1:                                   | 8,7 kg/dcm <sup>3</sup>  |



Tabel 4.26

№	Marca oțelului	Nr de fabricații	Compoziția chimică										
			C	Si	Mn	P max	S max	Cr	Mo	Ni	V	W	Cu max
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Oțeluri durificate pătruns													
1	100Cr2	1,3501	0,9-1,05	0,15-0,35	0,25-0,45	0,030	0,025	0,4-0,6	-	Max0,30	-	-	0,30
2	100Cr6	1,3505	0,9-1,05	0,15-0,35	0,25-0,45	0,030	0,025	1,35-1,65	-	Max0,30	-	-	0,30
3	100CrMn6	1,3520	0,9-1,05	0,5-0,7	1-1,2	0,030	0,025	1,4-1,65	-	Max0,30	-	-	0,30
4	100CrMo7	1,3537	0,9-1,05	0,2-0,4	0,25-0,45	0,030	0,025	1,65-1,95	0,15-0,25	Max0,30	-	-	0,30
5	100CrMo7.3	1,3536	0,9-1,05	0,2-0,4	0,6-0,8	0,030	0,025	1,65-1,95	0,2-0,35	Max0,30	-	-	0,30
6	100CrMnMo8	1,3539	0,9-1,05	0,4-0,6	0,8-1,1	0,030	0,025	1,8-2,05	0,5-0,6	Max0,30	-	-	0,30
Oțeluri de cimentare													
7	17MnCr6	1,3521	0,14-0,19	Max 0,40	1-1,3	0,035	0,035	0,8-1,1	-	-	-	-	0,30
8	19MnCr5	1,3523	0,17-0,22	Max 0,40	1,1-1,4	0,035	0,035	1-1,3	-	-	-	-	0,30
9	16CrNiMo6	1,3531	0,15-0,20	Max 0,40	0,4-0,8	0,035	0,035	1,5-1,6	0,25-0,35	-	-	-	0,30
10	17NiCrMo14	1,3533	0,15-0,20	Max 0,40	0,4-0,7	0,035	0,035	1,3-1,6	0,15-0,25	-	-	-	0,30
Oțeluri de îmbunătățire													
11	Cf54	1,1219	0,5-0,57	Max 0,40	0,4-0,7	0,25	0,035	-	-	-	-	-	0,30
12	44Cr2	1,3561	0,42-0,48	Max 0,40	0,5-0,8	0,25	0,035	0,4-0,6	-	-	-	-	0,30
13	43CrMo4	1,3563	0,40-0,46	Max 0,40	0,6-0,9	0,25	0,035	0,9-1,2	0,15-0,3	-	-	-	0,30
14	48CrMo4	1,3565	0,46-0,52	Max 0,40	0,5-0,8	0,25	0,035	0,9-1,2	0,15-0,3	-	-	-	0,30
Oțeluri inoxidabile													
15	X45Cr13	1,3541	0,42-0,50	Max 1	Max 1	0,40	0,30	12,5-14,5	-	-	-	-	0,30
16	X102CrMo17	1,3543	0,95-1,1	Max 1	Max 1	0,40	0,30	16-18	0,35-0,75	-	-	-	0,30
17	X89CrMoV18 1	1,3549	0,85-0,95	Max 1	Max 1	0,40	0,30	17-19	0,9-1,3	-	0,07-0,12	-	0,30
Oțeluri termorezistente													
18	80MoCrV42.16	1,3551	0,77-0,85	Max 0,25	Max 0,35	0,15	0,15	3,76-4,25	4-4,5	-	0,9-1,1	-	-
19	X82WmoCrV6.5 4	1,3553	0,78-0,86	Max 0,40	Max 0,40	0,30	0,30	3,8-4,5	4,7-5,2	-	1,7-2	6-7	-
20	X75WCrV18 4 1	1,3558	0,70-0,78	Max 0,45	Max 0,40	0,30	0,30	3,8-4,5	Max 0,6	-	1-1,2	17,5-18,5	-

Oțelurile folosite la construcția rulmenților grei sunt oțeluri aliate clasificate pe grupe și anume (tabelul 4.26):

- Grupa oțelurilor durificate pătruns cu C = 1% și Cr = 0,5 – 2%.
- Grupa oțelurilor de cementare cu C cuprins între 0,14 și 0,22%, iar Cr nu depășește valoarea de 1,8%.
- Grupa oțelurilor de îmbunătățire (se durifică superficial) cuprinde oțeluri ce se supun procesului de îmbunătățire (călire + revenire înaltă) ce au conținutul de carbon cuprins între 0,4 și 0,57% și procentul maxim de crom de 1,2.
- Grupa oțelurilor inoxidabile au conținutul maxim în carbon de 1,1% iar procentul de crom cuprins între 12,5 și 18%.
- Grupa oțelurilor termorezistente (termostabile) cuprinde oțeluri cu conținutul de carbon ridicat (cuprins între 0,7 și 0,86%), conținutul de crom cuprins între 3,75 și 4,5% iar procentul maxim de molibden este de 5,2%.

De asemenea, aceste oțeluri prezintă vanadiu (maxim 2%) și worfram cu valori între 6 și 17%.

Formele de produse și stările de tratament termic se iau în considerare în toate cazurile și se indică în tabelul 4.27 (după EURONORM 79).

**Tabelul 4.27**

Produsul		Bare		Inele și discuri				
Starea de livrare		U	C	BF	BG	GKZ	GKZ+K+G	V
Marca oțelului	Nr. fabricație (W)							
0	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Oțeluri durificate pătruns</b>								
100Cr2	1,3501	-	-	-	-	-	-	-
100Cr6	1,3501	X	X	-	-	X	X	-
100CrMn6	1,3520	X	X	-	-	X	X	-
100CrMo7	1,3537	X	X	-	-	X	X	-
100CrMo7.3	1,3536	X	X	-	-	X	X	-
100CrMnMo8	1,3539	X	X	-	-	X	X	-
<b>Oțeluri de cementare</b>								
17MnCr5	1,3521	X	X	X	X	X	X	-
19MnCr5	1,3523	X	X	X	X	X	X	-
16CrNiMo6	1,3531	X	X	X	X	X	X	-
17NiCrMo14	1,3533	X	X	-	-	X	X	-
<b>Oțeluri de îmbunătățire</b>								
Cf54	1,1219	X	X	-	-	-	-	X
44Cr2	1,3561	X	X	-	-	-	-	X
43CrMo4	1,3563	X	X	-	-	-	-	X
48CrMo4	1,3565	X	X	-	-	-	-	X
<b>Oțeluri inoxidabile</b>								
X45Cr13	1,3541	-	-	-	-	X	X	-
X102CrMo17	1,3543	-	-	-	-	X	X	-
X89CrMoV18.1	1,3549	-	-	-	-	X	X	-
<b>Oțeluri termorezistente</b>								
80MoCrV42.16	1,3551	-	-	-	-	X	X	-
X82WmoCrV6.5.4	1,3553	-	-	-	-	X	X	-
X75WCrV18.4.1	1,3558	-	-	-	-	X	X	-

Denumirea tipului de oțel și a stării de material s-a realizat prin combinarea alfanumerică a prescurtării mărcii de oțel cu starea de tratament termic al materialului. Ex.:

- 100CrGKZ – oțel 100Cr6 la starea de tratament termic de călire cu carburi sferice fine (GKZ)
- W1.3505GKZ – oțel nr. de fabricație la starea GKZ.

La comandă specială, pentru rulmenți grei (de rotire și de sprijinire), se va indica în succesiunea următoare: cantitatea, forma produsului, tipul mărcii de oțel și cotele produsele. Când se dorește fabricarea prin deformare plastică la cald a produsului se va specifica procedeul de deformare plastică la cald (forjare, laminare, etc.).

Elaborarea oțelurilor pentru rulmenți grei se execută după tehnologiile speciale ale elaboratorului ce poate fi comunicat beneficiarului numai la cererea acestuia.

Majoritatea acestor oțeluri se elaborează în vid. (RAV) iar oțelul 80MoCrV42 se va elabora după procedeul de retopire în vid (RAV) sau de retopire electrică în pat de zgură (REZ).

Produsele trebuie să corespundă datelor solicitate de beneficiar pentru forma produsului, starea de tratament termic la livrare și execuție a suprafeței.

Compoziția chimică după efectuarea analizelor chimice trebuie să corespundă prevederilor cuprinse în tabelul 4.26 de asemenea, se va ține cont și de abaterile de la valorile compoziționale ale elementelor chimice, în general, și la elementele de aliere în special Cr, Mo, V, W (tabelul 4.28).

**Tabelul 4.28**

Element	Conținutul admisibil la analiza pe șarja lichidă	Abateri admisibile				
		Grupa oțeluri durificate	Grupa oțeluri cementate	Grupa oțeluri de îmbunătățire	Grupa oțeluri inoxidabile	Grupa oțeluri termorezistente
0	1	2	3	4	5	6
C	<0,60	-	±0,02	±0,02	±0,02	-
	>0,60<1,10	±0,03	-	-	±0,03	±0,03
Si	<0,40	±0,03	±0,03	±0,03	-	±0,03
	>0,40<1,00	±0,05	-	-	±0,05	±0,05
Mn	<1,00	±0,04	±0,04	±0,04	±0,03	±0,04
	>1,00<1,40	±0,06	±0,06	-	-	0
P	<0,035	+0,005 0	+0,005 0	+0,005 0	+0,005 0	+0,005 0
S	>0,035<0,045	-	-	-	+0,10 0	-
Cr	<2,00	±0,05	±0,05	±0,05	-	-
	>2,00<10,0	±0,10	-	-	-	±0,10
	>10,0<15,0	-	-	-	±0,15	-
	>15,0<19,0	-	-	-	±0,20	-

Continuare tabelul 4.28

0	1	2	3	4	5	6
<b>Mo</b>	<0,30	±0,03	±0,03	±0,03	-	-
	>0,30<0,60	±0,05	±0,05	-	-	±0,03 0
	>0,60<1,75	-	-	-	±0,05	-
	>1,75<5,20	-	-	-	-	±0,10
<b>Ni</b>	<1,00	+0,03 0	-	-	+0,03 0	-
	>1,00<2,0	-	±0,05	-	-	-
	>2,00<3,75	-	±0,07	-	-	-
<b>V</b>	<1,50	-	-	-	±0,03	±0,05
	>1,50<2,00	-	-	-	-	±0,10
<b>W</b>	<7,00	-	-	-	-	±0,10
	>7,00<18,5	-	-	-	-	±0,20
<b>Cu</b>	<0,30	+0,03 0	±0,03 0	±0,03 0	±0,03 0	±0,03 0

Valorile limită a durității la încercarea călirii frontale pe probe Jomminy sunt date în tabelul 4.29 iar aspectul benzilor de călibritate este arătat în figurile 4.19, 4.20, 4.21.

Tabel 4.29

Marca otelului	Nr. fabricație	Duritatea HRC la distanța																
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
0	1		1,5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50	
		Distanța dc (mm)																
17MnCr5	1,3521	Max	47	46	44	41	37	35	34	33	31	30	29	28	27	-	-	
		Min	39	35	31	28	24	22	20	-	-	-	-	-	-	-	-	
19MnCr5	1,3523	Max	49	49	48	46	44	42	41	40	37	35	34	33	31	-	-	
		Min	41	39	36	33	31	29	27	25	23	21	-	-	-	-	-	
16CrNiMo6	1,3531	Max	48	48	48	48	47	47	46	46	44	43	42	41	41	-	-	
		Min	40	40	39	38	37	36	35	34	32	31	30	29	29	-	-	
17NiCrMo14	1,3533	Max	48	47	46	46	46	46	46	46	46	46	45	45	44	44	43	
		Min	40	39	39	38	38	38	38	37	37	36	34	33	32	31	30	
44Cr2	1,3561	Max	62	61	59	57	53	47	42	39	36	33	32	31	30	29	29	
		Min	54	49	40	32	28	25	23	22	20	-	-	-	-	-	-	
43CrMo4	1,3563	Max	61	61	61	61	61	61	61	60	58	56	53	51	49	48	47	
		Min	54	54	53	52	51	49	47	45	40	37	35	33	32	32	31	
48CrMo4	1,3565	Max	65	65	64	64	63	63	63	62	61	60	58	57	55	54	54	
		Min	58	58	57	55	54	53	51	48	45	41	39	38	37	36	36	

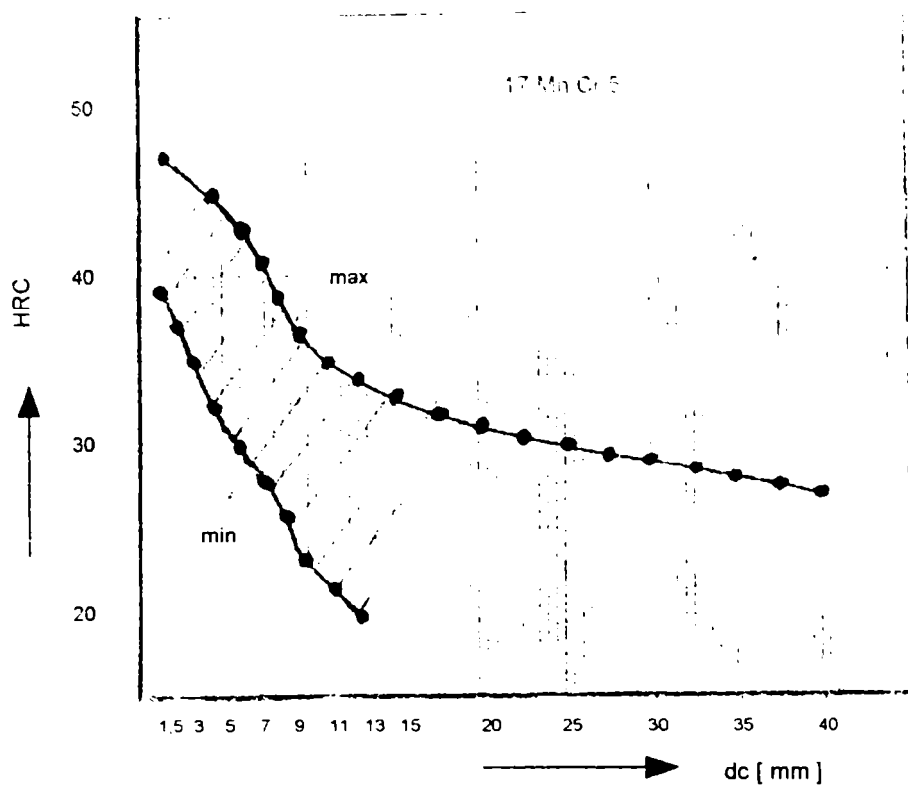


Fig. 4.19 Oțel 17MnCr5. Benzi de călibritate

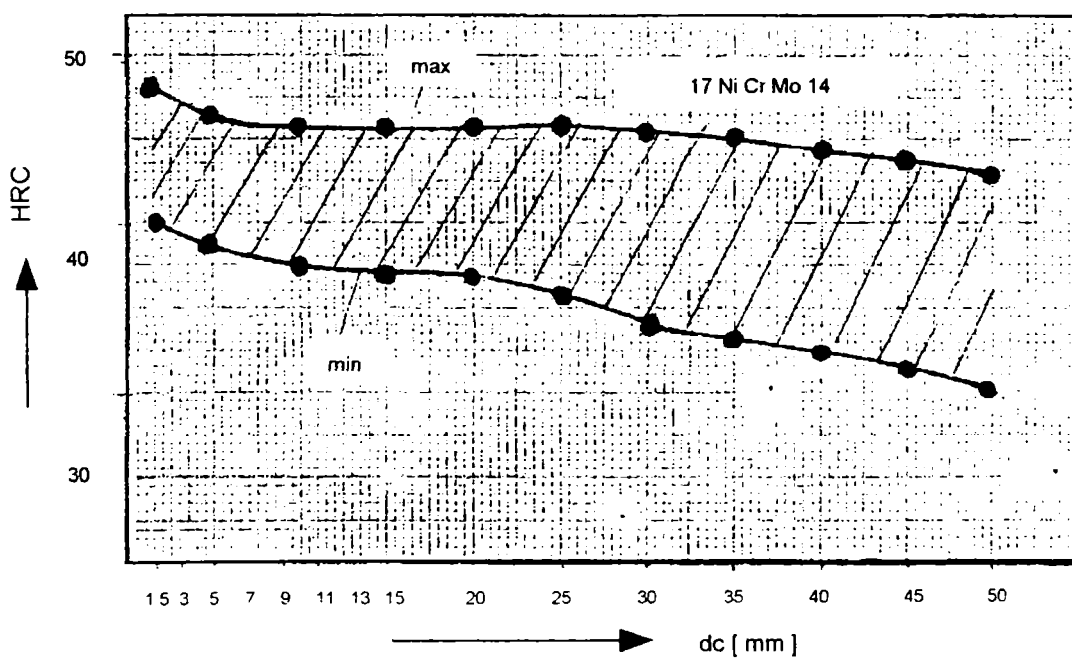


Fig. 4.20 Oțel 17NiCrMo14. Benzi de călibritate

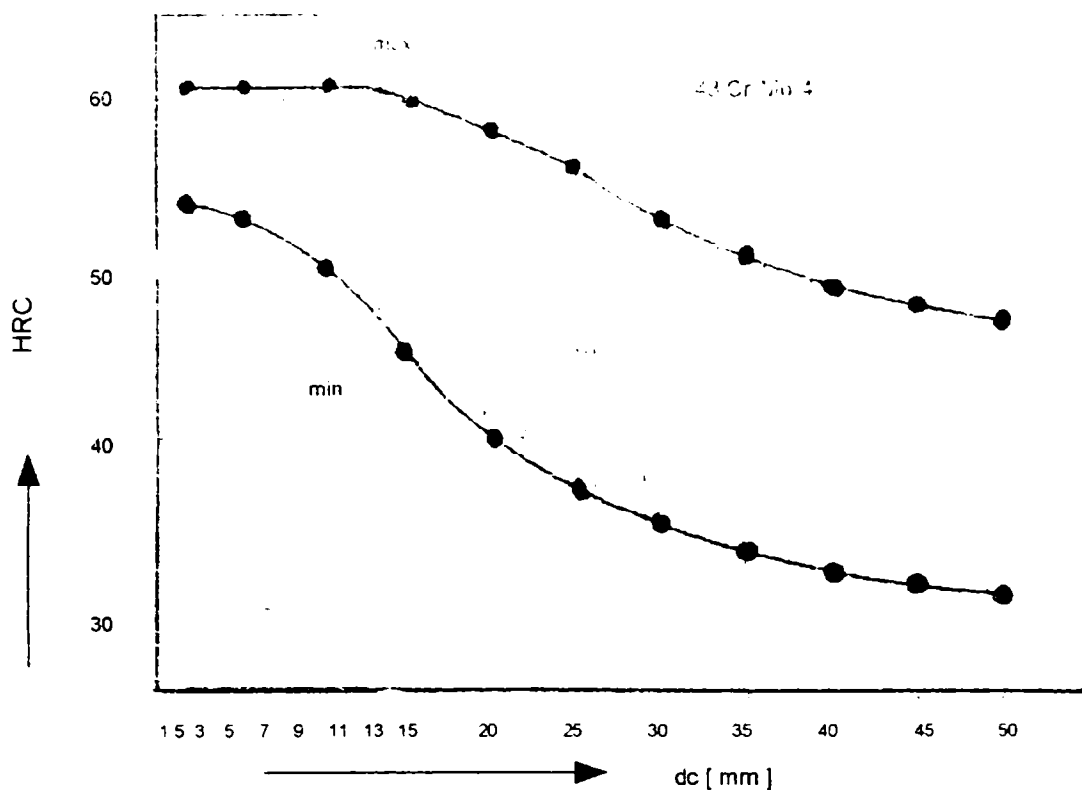


Fig. 4.21 Oțel 43 Cr Mo 4. Benzi de călibritate

La diferitele stări de tratament termic la livrare sunt valabile valorile de duritate Brinell din tabelul 4.30.

Tabelul 4.30

Marca oțelului	Nr. fabricație	Duritatea în stare de livrare					
		C	BF	BG	GKZ	GKZ+K+G	V
0	1	2	3	4	5	6	7
<b>Oțeluri durificate pătruns</b>							
100Cr2	1,3501	-	-	-	207	241	-
100Cr6	1,3505	-	-	-	207	241	-
100CrMn6	1,3520	-	-	-	217	251	-
100CrMo7	1,3537	-	-	-	217	251	-
100CrMo7.3	1,3536	-	-	-	217	251	-
100CrMnMo8	1,3539	-	-	-	217	-	-
<b>Oțeluri de cementare</b>							
17MnCr5	1,3521	255	156-207	140-187	240	170	-
19MnCr5	1,3523	255	170-227	152-201	250	180	-
16CrNiMo6	1,3531	255	179-227	159-207	-	180	-
17NiCrMo14	1,3533	255	-	-	-	241	-
<b>Oțeluri de îmbunătățire (C+R)</b>							
Cr54	1,1219	255	-	-	-	-	285
44Cr2	1,3561	255	-	-	-	-	280
43CrMo4	1,3563	255	-	-	-	-	280
48CrMo4	1,3565	255	-	-	-	-	285

Continuare tabelul 4.30

0	1	2	3	4	5	6	7
Oțeluri inoxidabile							
X45Cr13	1,3541	-	-	-	248	289	248
X102CrMo17	1,3543	-	-	-	255	285	255
X89CrMoV18.1	1,3549	-	-	-	255	285	255
Oțeluri termorezistente							
80MoCrV42.16	1,3551	-	-	-	248	285	248
X82WmoCrV6.5.4	1,3553	-	-	-	248	285	248
X75WCr18.4.1	1,3558	-	-	-	255	293	255

Valorile caracteristicilor mecanice ale oțelurilor de rulmenți (C+R) îmbunătățite și determinate pe epruvete longitudinale rotunde  $\varnothing$ 12,5 mm și DVM sunt inserate în tabelul 4.31. Încercările s-au efectuat la temperatură de +20°C (ambientă).

Tabelul 4.31

Marca oțelului	Nr. de fabricație	Grosimea materialului	$R_{po,2}$ [ N/mm <sup>2</sup> ]	$R_m$ [ N/mm <sup>2</sup> ]	$A_5$ %	$Z_{min}$ %	$KV_{min}$ [J]
0	1	2	3	4	5	6	7
Cf54	1,1219	<16	520	750-900	12	30	-
		>16<40	450	700-850	14	35	-
		>40<100	400	650-800	15	40	-
44Cr2	1,3561	<16	650	900-1100	12	35	35
		>16<40	550	800-950	14	40	40
		>40<100	400	650-800	15	45	40
43CrMo4	1,3563	<16	900	1100-1300	10	40	35
		>16<40	750	1100-1200	11	45	40
		>40<100	650	900-1100	12	50	40
		>100<160	550	800-950	13	50	40
		>160<250	500	750-900	14	55	40
48CrMo4	1,3565	<16	900	1100-1300	9	40	35
		>16<40	780	1000-1200	10	45	35
		>40<100	700	900-1100	12	50	35
		>100<160	650	850-1000	13	50	35
		>160<250	600	800-950	13	50	35

Valoarea energiei de rupere KV este determinată ca medie a trei încercări pe epruvete DVM după norma DIN 50115.

Din tabelul 4.31 se observă că, pe măsura creșterii grosimii materialului, caracteristicile de rezistență ( $R_{po,2}$ ,  $R_m$ ) scad, iar cele de deformabilitate ( $A_5$ ,  $Z$ ) cresc puțin sau rămân constante. Caracteristicile de tenacitate determinate la + 20°C rămân în domeniul 35-40 J la oțelurile investigate.

Capacitatea de forfecare atestă posibilitățile de deformare ale oțelurilor în condiții speciale, mai ales când în produs apar vârfuri ridicate de tensiuni locale. Se detailează în continuare acest aspect pentru grupele de oțeluri ce fac aspectul prezentei norme:

- La oțelurile de cementare și cele de îmbunătățire se poate conveni starea „tratată la capacitatea de forfecare” prescurtat „C”.
- La oțelurile durificate pătruns se poate conveni asupra caracteristicilor structurale.



- La oțelurile inoxidabile și termorezistente se solicită asigurarea capacității de forfecare în general numai în starea după călire cu carburi sferice fine (GKZ). Capacitatea de prelucrare prin așchiere se asigură în stările GKZ în general și în special la oțelurile de cementare. Starea BF (tratat termic pentru asigurarea rezistenței mecanice) și starea BG (tratat termic prin recoacere la structuri ferito-perlitice).

Capacitatea de deformare la rece (ecruisare) a oțelurilor de cementare și a oțelurilor durificate pătruns este asigurată în starea de tratament GKZ, lucru valabil și la procesele de deformare la rece prin presare.

Mărimea granulației ereditare (austenitice) este garantată de la punctaje minime de 5 conform scării de etalonare ASTM.

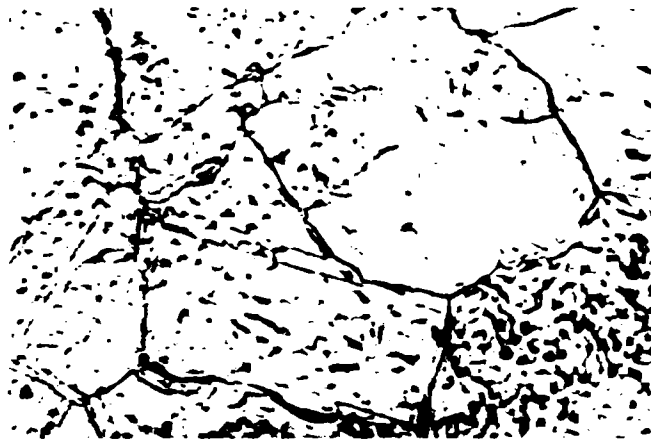


Fig. 4.22 Oțel 43CrMo4 [ 200:1]

În figura 4.22 s-a prezentat granulația austenitică ereditară a oțelului de îmbunătățire 43CrMo4 supus încălzirii la  $900^{\circ}\text{C}$ , cu o creștere maximă de granulație chiar la punctaje inferioare limitei de , 5” și cu o puternică dizolvare a carburilor de Cr, Mo în masa austenitică.

Forma și distribuția este reglementată prin prevederile documentelor aferente normei europene SEP 1520. Astfel se tinde să se obțină o sferoidizare avansată a carburilor după călire (fig. 4.23) și a perlitei globulare după tratamentul termic de globularizare (fig. 4.24).



Fig. 4.23 Oțel 43 CrMo4[500X]



Fig. 4.24 Oțel 43 CrMo4[500X]

Prezența incluziunilor nemetalice trebuie să fie redusă în vederea asigurării unui grad ridicat de puritate. Indicele „k” ce caracterizează suma punctajelor incluziunilor nemetalice impuse conform SEP 1570-1,2 este dat în tabelul 4.32

Tabelul 4.32

Grosimea materialului d, (mm)	Indicele „k” pentru oțeluri durificate pătruns	Indicele „k” pentru oțeluri de cementare și de îmbunătățire
0	1	2
d >200	K4<22	K4<45
140<d<200	K4<20	K4<40
100<d<140	K4<18	K4<40
70<d<100	K4<16	K4<40
35<d<70	K4<12	K4<40
17<d<35	K4<15	K4<40
8<d<17	K4<10	K4<40
d<8	K4<12	K4<25

În figurile 4.25...4.29 se prezintă micrografiile incluziunilor nemetalice determinate la oțelurile din fiecare grupă de oțeluri de rulmenți grei.

Fig. 4.25 Oțel 100Cr6 [100X]



Fig. 4.26 Oțel 17MnCr 5[100X]



Fig. 4.27 Oțel 43CrMo4 [100X]

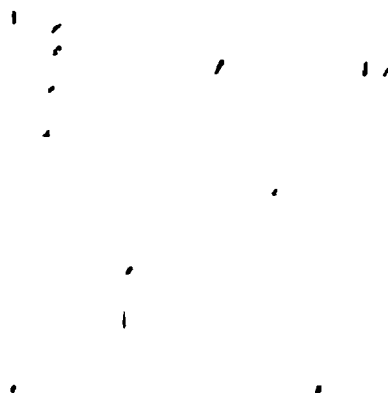


Fig. 4.28 Oțel X45Cr13 [100X]

Fig. 4.29 Oțel X75WCrV18.4.1 [100X]

La oțelurile durificate pătruns se calculează oxizii și sulfurile, iar la oțelurile de cementare și de îmbunătățire se consideră numai conținutul și distribuția oxizilor. La oțelurile inoxidabile și termorezistente nivelul incluziunilor nemetalice se stabilește la înțelegerea contractuală între elaborator și client (beneficiar).

La oțelurile durificate pătruns, inoxidabile și termorezistente, adâncimea admisibilă a fisurilor superficiale este în fig. 4.30.

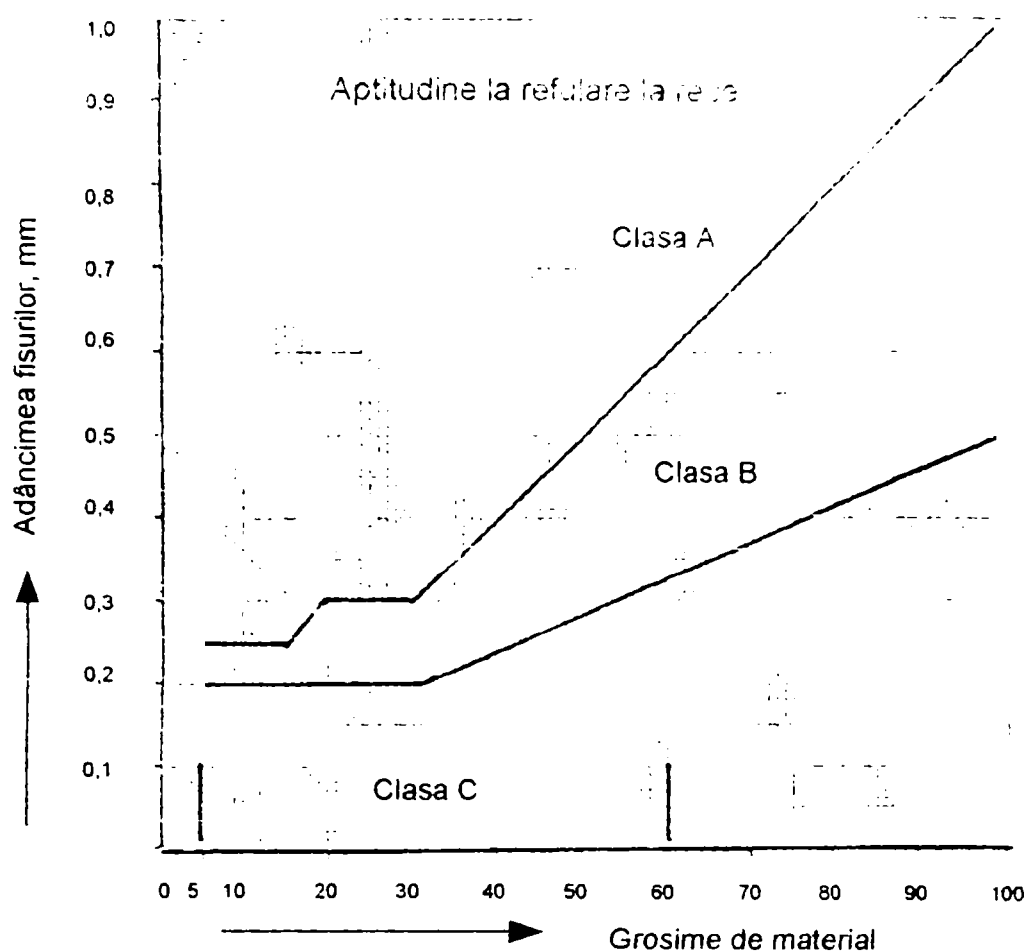


Fig. 4.30 Marcarea claselor adâncimilor fisurilor superficiale

Analizând graficul din fig. 4.30 se poate concluziona:

- În clasa „A” sunt toate produsele ce au adâncimea fisurilor superficiale între 0,25 și 1 mm.
- În clasa „B” intră toate produsele ce au adâncimea fisurilor superficiale între 0,20 și 0,50 mm.
- În clasa „C” se încadrează produsele la care adâncimea fisurilor superficiale sunt sub 0,1mm, în plaja grosimii de material cuprinsă între 5 și 60 mm.

Principalii parametri ai tratamentului termic aplicat oțelurilor analizate sunt înserați în tabelul 4.33.

Tabelul 4.33

Marca oțelului	Nr. fabricație (W)	Temperatura de normalizare (°C)	Temperatura călirii în ulei (°C)	Temperatura călirii în apă (°C)	Temperatura călirii frontale (°C)	Revenire *	
						Temperatura (°C)	Răcire
0	1	2	3	4	5	6	7
<b>Oțeluri durificate pătruns</b>							
100Cr2	1,3501	-	820-850	-	-	150-180	a.u

100Cr6	1,3505	-	830-870	-	-	150-180	a,u
100CrMn6	1,3520	-	830-870	-	-	150-180	a,u
100CrMo7	1,3537	-	840-880	-	-	150-180	a,u
100CrMo7.3	1,3536	-	840-880	-	-	150-180	a,u
100CrMnMo8	1,3539	-	840-880	-	-	150-180	a,u
<b>Oțeluri de cementare</b>							
17MnCr5	1,3521	-	810-840	Max. 870	Max. 870	150-180	a,u
19MnCr5	1,3523	-	810-840	Max. 870	Max. 870	150-180	a,u
16CrNiMo6	1,3531	-	800-830	Max. 860	Max. 870	150-180	a,u
17NiCrMo14	1,3533	-	780-820	Max. 830	Max. 870	150-180	-
<b>Oțeluri de îmbunătățire</b>							
Cf54	1,1219	830-880	815-845	805-835	Max 840	550-660	a
44Cr2	1,3561	840-870	830-860	820-850	Max 850	550-660	a
43CrMo4	1,3563	840-880	830-860	820-850	Max 850	550-660	a
48CrMo4	1,3565	840-880	830-860	820-850	Max 850	550-660	a
<b>Oțeluri inoxidabile</b>							
X45Cr13	1,3541	-	1020-1070	-	-	100-200	a
X102CrMo17	1,3543	-	1030-1078	-	-	100-200	a
X89CrMoV18.1	1,3549	-	1030-1080	-	-	100-200	a
<b>Oțeluri termorezistente</b>							
80MoCrV42.16	1,3551	-	-	-	-	500-580	a*
X82WCrMoCrV6.5.4	1,3553	-	-	-	-	500-580	a*
X75WCrV18.4.1	1,3558	-	-	-	-	500-580	a*

a – aer; u – ulei; a\* - răcire în aer de 2 ore

Timpii de încălzire și de menținere necesari efectuării tratamentului termic nu sunt înserați în tabelul 4.33, ei se vor determina pentru fiecare configurație de produs după normele proiectantului ce va ține seama de prevederile normelor internaționale în vigoare.

Clientul are de luat , după ce a efectuat toate verificările impuse, toate măsurile pentru asigurarea respectării cerințelor.

Clientul poate conveni la lansarea comenzii principalele verificări de recepție ce se vor efectua de experții furnizorului.

Verificările în legătură cu livrările oțelurilor pentru rulmenți grei conform prezentului standard se certifică prin cerificări conform normei DIN 50049.

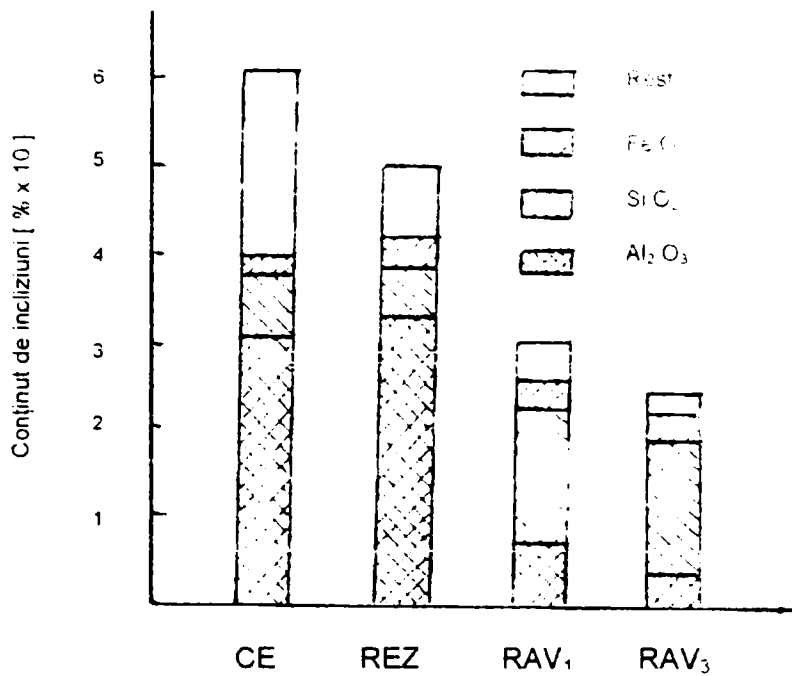
Produsele se vor marca cu însemnul producătorului, cu marca oțelului (sau nr. de fabricație) și, la cerere, se va specifica și starea de tratament termic.

Defectele interioare și exterioare pot fi sesizate și consemnate ca și contestații ale clientului dacă ele au apărut la un sortiment de oțel ce nu au fost încă uzinate de client.

Clientul trebuie să-l dea posibilitatea furnizorului să se convingă de temeinicia contestației atât la observarea defectelor cât și la înscrierea defectelor în documentele tehnice de sesizare.

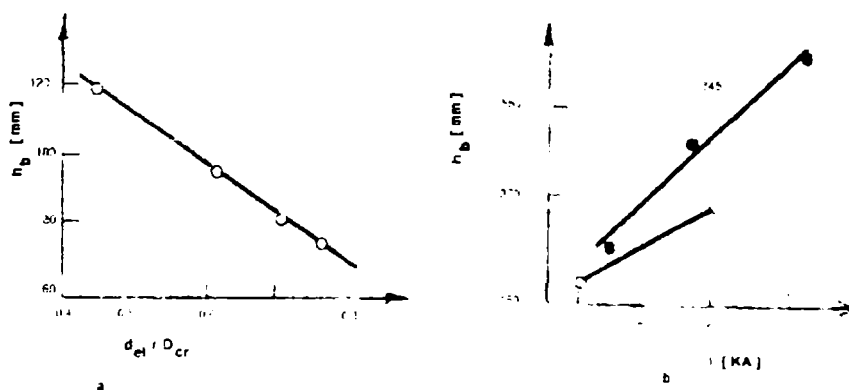
Tabel 4.34

Marca oțelului	Compoziția chimică în %										Nr. oțel DIN 17.230
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	V	W	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Oțeluri durificate pătruns											
1	0,95-1,1	0,25-0,45	0,15-0,35	0,03	0,025	1,35-1,65	-	-	-	-	2
2	0,95-1,1	0,95-1,25	0,45-0,75	0,03	0,025	0,90-1,20	-	-	-	-	-
3	0,95-1,1	0,95-1,25	0,45-0,75	0,03	0,025	1,40-1,65	-	-	-	-	3
4	0,95-1,1	0,25-0,45	0,20-0,40	0,03	0,025	1,40-1,65	0,20-0,40	-	-	-	4
5	0,95-1,1	0,60-0,90	0,20-0,40	0,03	0,025	1,65-1,95	0,20-0,40	-	-	-	5
Oțeluri de cementare											
10	0,13-0,19	1,00-1,30	0,15-0,40	0,035	0,035	0,80-1,10	-	-	-	-	7
11	0,17-0,23	0,40-0,70	0,15-0,40	0,035	0,035	-	0,20-0,30	1,6-2,0	-	-	9
12	0,17-0,23	0,60-0,90	0,15-0,40	0,035	0,035	0,35-0,65	0,15-0,25	0,4-0,7	-	-	-
13	0,17-0,23	0,40-0,70	0,15-0,40	0,035	0,035	0,35-0,65	0,15-0,25	0,9-1,2	-	-	-
14	0,17-0,23	0,40-0,70	0,15-0,40	0,035	0,035	0,35-0,65	0,20-0,30	1,6-2,0	-	-	-
15	0,17-0,20	0,60-0,90	0,15-0,40	0,035	0,035	0,801,10	0,15-0,25	1,2-1,6	-	-	-
16	0,17-0,20	0,40-0,70	0,15-0,40	0,035	0,035	1,30-1,80	0,16-0,25	3,25-3,75	-	-	10
Oțeluri rezistente la coroziune											
20	0,42-0,50	Max. 1,00	Max. 1,00	0,04	0,03	12,5-14,5	-	Max. 1,00	-	-	15
21	0,95-1,20	Max. 1,00	Max. 1,00	0,04	0,03	16,0-18,0	0,35-0,75	Max. 0,5	-	-	16
Oțeluri termostabile (termorezistente)											
30	0,77-0,85	Max. 0,35	Max. 0,25	0,025	0,020	3,75-4,25	4,0-4,5	-	0,9-1,1	-	12
31	0,78-0,86	Max. 0,40	Max. 0,40	0,030	0,030	3,80-4,50	4,7-5,2	-	1,7-2,0	6,0-6,7	19
32	0,70-0,80	Max. 0,40	Max. 0,40	0,030	0,030	3,75-4,50	Max. 0,60	-	1,0-1,25	17,5-19,5	20



**Fig. 4.31** Influența procedului de elaborare asupra naturii și conținutului de incluziuni nemetalice (oțel 100Cr6)

Se poate constata că, în afară de scăderea sensibilă a cantității de incluziuni de retopire cu arc în vid, are loc și o schimbare însemnată în compoziție (se micșorează mult incluziunile dăunătoare conținând alumina  $Al_2O_3$ ). Se poate remarca faptul că retopirile în vid, succesive, nu mai schimbă substanțial starea de impurificare cu incluziuni. Retopirea cu arc în vid a oțelului de rulmenți tip 100Cr6 (EURONORM94) în cristalizoare  $\varnothing 845$  mm și  $\varnothing 905$  mm, practicând diferite rapoarte  $d_{el}/D_{cr}$  ca și valori diferite ale intensității curentului de lucru, modifică adâncimea băii (fig. 4.32) și viteza de retopire (tab. 4.33).



**Fig. 4.32** Variația raportului  $d_{el}/D_{cr}$  (a) și a intensității de lucru (b) asupra adâncimii băii

Tabelul 4.35

Caracteristica	Ø845			Ø905		
	1	2	3	4	5	6
Intensitatea, KA	6	6,85	1	5	7	9
Viteza medie de rotire, Kg/min	3,34	4,77	6,10	2,56	3,83	5,30

Chiar în condițiile diferitelor variante de lucru, se obține o distribuție relativă uniformă a incluziunilor în masa lingoului și, de asemenea, un nivel corespunzător de calitate prin omogenitatea chimică și structurală.

Încercările de duranță comparative (tabelul 4.36) arată superioritatea oțelului retopit cu arc în vid (RAV) în construcția rulmenților de rotire și sprijin (RS).

Tabelul 4.36

Nr. crt	Caracteristicile de durabilitate	REZ	RAV
0	1	2	3
1	Scoaterea din uz a primului rulment de rotire și sprijin (RS), în ore	161	939
2	Scoaterea din uz a celui de-al doilea rulment de rotire și sprijin (RS), în ore	243	1233
3	Proporția de rulmenți care au funcționat mai mult de 1000 ore, în %	52,5	93
4	Proporția de rulmenți care au funcționat mai mult de 2500 ore, în %	16	70
5	Anduranța L90 (certitudine de 90%), în ore	240	1230
6	Anduranța L50 (certitudine de 50%), în ore	1000	Peste 3000

La realizarea performanțelor evidențiate prin retopire cu arc în vid (RAV), în cazul oțelurilor de rulmenți grei (RS) este necesar să se lucreze cu electrozi consumabili de calitate corespunzătoare (conținutul de oxigen de max. 30 ppm) obținuți prin elaborare în cuptor electric cu arc și degazare corespunzătoare în vid, cu suprafața prelucrată prin strunjire sau polizare, asigurându-se în cursul retopirii, o presiune maximă de  $5 \cdot 10^{-2}$  mbar. În tabelul 4.37 se arată corespondența oțelurilor de rulmenți grei conform interne (STAS) și normelor internaționale DIN 17.230, EURONORM94, ISO683/XVII.



Tabelul 4.37

DIN 17.230		EURO NORM 84	ISO 683/XVII	STAS
Marca oțelului	W			
0	1	2	3	4
<b>Oțeluri durificate pătruns</b>				
100Cr2	1,3501	-	-	RUL1
100Cr6	1,3505	100Cr6	1	-
100CrMn6	1,3520	100CrMn6	3	RUL2
100CrMo7	1,3537	100CrMo7	4	RUL3
100CrMo7.3	1,3536	100CrMo7.3	5	RULIV-REZ
100CrMnMo8	1,3539	-	-	-
<b>Oțeluri de cementare</b>				
17MnCr5	1,3521	16MnCR5F	10	17MnCr10
19MnCR5	1,3523	-	-	20MnCr10
16CrNiMo6	1,3531	-	-	-
17NiCrMo14	1,3533	18NiCrMo14F	16	18NiCrMo13
<b>Oțeluri de îmbunătățire</b>				
Cf54	1,1219	-	-	OLC50
44Cr2	1,3561	-	-	40Cr10
43CrMo4	1,3563	-	-	42MoCr11
48CrMo4	1,3565	-	-	-
<b>Oțeluri inoxidabile</b>				
X45Cr13	1,3541	X45Cr13	20	40Cr130
X102CrMo17	1,3543	X100CrMo17	21	90Cr180
X89CrMoV18.1	1,3549	-	-	-
<b>Oțeluri termorezistente</b>				
80MoCrV42.16	1,3551	80MoCrV42.16	30	-
X82WMoCrV6.5.4	1,3553	X82WMoCrV6.5.4	31	RP5
X75WCrV18.4.1	1,3558	X75WCrV18.4.1	32	RP3

Din normele americane AISI și din cele franceze NF s-au selectat oțelurile din care se fabrică în Uniunea Europeană rulmenții grei (mari). Compozițiile chimice ale acestor rulmenți sunt trecute în tabelele 4.38 și 4.39

Tabelul 4.38

Norma	Marca oțelului	Compoziția chimică, în %					
		C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo
0	1	2	3	4	5	6	7
AISI	3310	0,08-0,013	0,45-0,60	0,20-0,35	3,25-3,75	0,40-1,75	-
(A53565)	4320	0,17-0,22	0,45-0,60	0,20-0,35	1,65-2,00	0,40-0,60	0,20-0,30
	4620	0,17-0,22	0,45-0,60	0,20-0,35	1,65-2,00	-	0,20-0,30
	4720	0,17-0,22	0,50-0,70	0,20-0,35	0,90-1,20	0,30-0,55	0,20-0,30
	4820	0,18-0,23	0,50-0,70	0,20-0,35	3,25-3,75	-	0,15-0,25
	8620	0,18-0,23	0,70-0,90	0,20-0,35	0,40-0,70	0,40-0,60	0,20-0,30
	9310	0,80-1,13	0,45-0,65	0,20-0,35	0,20-0,35	1,00-1,40	0,08-0,15
NF	20NCD2	0,18-0,23	0,70-0,90	0,40-0,78	0,40-0,78	0,40-0,60	0,15-0,30

(A53565)	18NCD7	0,16-0,22	0,50-0,80	0,90-1,20	0,50-1,20	0,35-0,65	0,10-0,20
	20NCD4	0,16-0,22	0,45-0,65	1,65-2,0	1,65-2,0	0,20-0,60	0,20-0,30
	16NCD13	0,12-0,17	Max 0,5	3,0-3,50	3,0-3,50	0,85-1,15	0,15-0,20

Observație: Conținutul de P și S nu trebuie să depășească valoarea de 0,025 %.

Alegerea compozițiilor chimice inserate în tabelul 4.38 are în vedere:

- Prezența obligatorie a elementelor alifagene, ce generează carburi (Cr, Mo), pentru obținerea unor caracteristici mecanice de rezistență ridicate.
- Alierea cu Ni a feritei pentru mărirea capacității de a se opune acțiunii de șoc dinamic.

#### 4.4.2 Normele ISO 683/XVII –97, EURONORM 94, AISI, NF, BS, JIS

Un număr însemnat de mărci de oțel din diferite grupe de oțel specificate în DIN 17.230, analizat la paragraful 4.1.4.1, este utilizat pe plan mondial pentru producerea rulmenților grei. O parte din aceștia, după ISO 683/XVII, sunt reținute în tabelul 4.34. De asemenea, în tabelul 4.34 (coloana 11) s-a trecut și corespondența cu oțeluri inserate în DIN 17.230 (tabel 4.26) coloana „0”.

Calitatea oțelurilor inserate în tabelul 4.34 trebuie să respecte, în primul rând, cerințele destinației de bază (rulmenți grei de rotire și de sprijinire) și, în particular, să evidențieze capacitatea de a sigura rulmenților anduranță cât mai mare, fapt pentru care se impune:

- La oțelurile de cementare, o călibilitate bună prin alegerea judicioasă a compoziției chimice și a granulației austenitice care, la tratamentul termic după cementare, să asigure duritatea necesară în miezul pieselor de 35 – 45 HRC.
- La oțelurile termostabile, o limită mare de curgere la temperaturi de exploatare, ca urmare a durificării secundare, stabilitate dimensională cu menținerea durității pe lungi perioade de funcționare (temperatura de revenire va fi cu 100°C peste temperatura de lucru a rulmentului).

În toate cazurile, prescripțiile de recepție a produselor din oțel de rulmenți sunt subordonate indicatorului principal de calitate, durata impusă la oboseală prin contact, și condiției de eficiență economică pe ansamblul ciclului de elaborare marcat pe oțel – construcție rulment – exploatare rulment.

Retopirea oțelurilor pentru rulmenți conferă un standard superior de calitate EURONORM94 față de celelalte procedee tehnologice, ca urmare a creșterii purității în ceea ce privește conținutul total în incluziuni nemetalice, în gaze, precum și în ameliorarea omogenității structurii finale.

În figura 4.31 se prezintă sintetic o comparație cantitativă între impurificarea cu incluziuni nemetalice a oțelului elaborat în cuptorul bazic cu arc (CA), prin retopirea electrică sub pat de zgură (REZ) și arc în vid (RAV).

Formele de produse și stările de tratament termic se iau în considerare în toate cazurile și se indică în tabelul 4.7 (după EURONORM 79).

## OȚELURI DE ÎMBUNĂTĂȚIRE

Tabelul 4.37

(DIN 17 2001)	EN 10083	Marea Britanie BS 970	Franta NF	Italia UNI	Suedia SS SIS	Spania ENI	SUA Canada SAE AISI	Japonia JIS
C 22	1 C 25	050 A 20	CC 20	-	-	-	1020	-
C 35	1 C 35	060 A 35	CC 35	-	1572	-	1035	-
C 45	1 C 45	080 M 46	CC 45	-	1672	-	1045	-
C 55	1 C 55	070 M 55	-	-	1674	-	1055	-
C 60	1 C 60	080 A 62	-	-	-	-	1060	-
CK 22	2 C 25	050 A 20	NC 25	C 20	-	C 25 k	-	S 22 C
CK 35	2 C 35	060 A 35	NC 32	C 35	-	C 35 k	-	S 35 C
CK 45	2 C 45	080 M 46	NC 42	C 45	-	C 45 k	-	S 45 C
CK 55	2 C 55	070 M 55	NC 55	C 50	-	C 55 k	-	S 55 C
CK 60	2 C 60	080 A 62	NC 65	C 60	-	-	-	S 58 C
28 Mn 6	28 Mn 6	150 M 28	35 M 5	-	2120	36 Mn 6	1330	SMn 1
38 Cr 2	38 Cr 2	120 M 36	38 C 2	-	-	38 Cr 3	-	SMn 2
46 Cr 2	46 Cr 2	605 M 36	42 C 2	-	2120	-	-	SMn 3
34 Cr 4	34 Cr 4	530 A 37	32 C 4	-	-	-	5132	SCr 2
37 Cr 4	37 Cr 4	530 A 36	38 C 4	-	-	38 Cr 4	5135	SCr 3
41 Cr 4	41 Cr 4	530 M 40	42 C 4	40 Cr 4	-	42 Cr 4	5140	SCr 4
25 CrMo 4	A 25 CrMo 4	-	25 CD 4	25 CrMo 4	2225	30 CrMo 4	4130	SCM 2
34 CrMo 4	34 CrMo 4	708 A 37	35 CD 4	35 CrMo 4	2234	35 CrMo 4	4137	SCM 3
42 CrMo 4	42 CrMo 4	708 M 40	42 CD 4	40 CrMo 4	2244	40 CrMo 4	4140	SCM 4
32 CrMo 12	32 CrMo 12	722 M 24	30 CD 12	-	2240	-	-	-
36 CrNiMo 4	39 NiCrMo 3	816 M 40	40 NCD 3	40 NiCrMo 7	-	40 NiCrMo 4	-	SNC M 8
34 CrNiMo 6	35 CrNiMo 6	817 M 40	35 NCD 6	30 NiCrMo 12	2541	40 NiCrMo 7	4340	SNC M 9
30 CrNiMo 8	30 CrNiMo 8	823 M 30	30 NCD 8	-	2534	32 NiCrMo 16	-	SNC M 5
50 CrV 4	51 CrV 4	-	50 CV 4	50 CV 4	-	1-143	6150	SUP 10

**Metode de încercare și verificare a calității oțelurilor aliate (TT) se aplică pe loturi din același fel de produse forjate (laminare) din aceeași grupă dimensională, provenite din aceeași șarjă de elaborare și tratament termic.**

**a) Tipul de livrare a produsului se garantează cu caracteristicile însemnate în tabelul 4.38**

Tabelul 4.38

Caracteristici garantate		Tipuri de livrare				
		1	2	3	4	5
0		1	2	3	4	5
Compoziția chimică		*	*	*	*	*
Caracteristici mecanice pe epruvete tratate termic	• Călite și revenite	-	-	*	-	-
	• Normalizate	-	-	-	-	*
Caracteristici mecanice pe epruvete tratate termic (călire + revenire) de dimensiuni speciale)		-	-	-	*	-
Călibritatea cu prezentarea datelor		-	*	-	-	-
Plasticitate sau duritate		-	*	*	*	*
Caracteristici metalografice	• Macroscopice	-	*	*	*	*
	• Microscopice	-	*	*	*	*

Produsele din oțeluri aliate (TT) se pot livra în următoarele stări:

- Netratate termic (NT)

- În stare normalizată (N)
  - În stare recoaptă (Re)
  - În stare călită + revenită jos (Cr) (oțeluri de cementare)
  - În stare călită + revenită înalt CR) (oțeluri de îmbunătățire)
- b) Verificarea compoziției chimice** se face pe o probă din șarja de oțel și pe două probe din produse diferite, conform STAS 2015 și standardele de analiză chimică în vigoare.
- c) Încercarea la tracțiune** urmărește determinarea caracteristicilor:
- Limitei de curgere,  $R_{p0,2}$ ,
  - Rezistenței la rupere,  $R_m$ ,
  - Alungirea la rupere, Z.

Se va executa pe maxim 2 epruvete pe lot, conform SREN 10.002/1-95.

- d) Încercarea de încovoiere** prin șoc se va executa conform SREN 10.045/1-963 pe trei epruvete cu creștătură "" cu adâncimea de 2 mm, conform SR 13170-93, prelevate din același produs (pe lot).
- e) Încercarea de refulare**, conform STAS 2233-80, se face pe două epruvete (pe lot), iar cea de duritate, conform STAS 165-80, se va executa tot pe două epruvete prelevate din produs.
- f) Verificarea călibrității** se va executa pe două epruvete pe șarjă conform STAS 4930-80, prin metoda răcirii frontale (metoda Jominy).
- g) Verificarea mărimii grăuntelui austenitic** conform EN 643 și a conținutului de incluziuni nemetalice, conform STAS 5949-80, se efectuează pe trei probe pe șarjă.
- h) Verificarea macroscopică și a adâncimii stratului decarburat**, conform STAS 11961/1-83 și STAS 5625-83, se face pe două șarje prelevate din capetele produsului.

Încercările (verificările) prezentate la punctele "b...h", care dau rezultate necorespunzătoare se repetă pe un număr dublu de probe sau epruvete. Dacă și în acest caz o singură probă sau epruvetă dă rezultate necorespunzătoare, totul se respinge.

## 4.5. Concluzii

**4.5.1** Elaborarea oțelurilor pentru rulmenți este o operațiune pretențioasă care impune o selecție riguroasă a elementelor de aliere precum și utilizarea celor mai avansate tehnici de purificare a oțelurilor, operații direct proporționale cu costurile de execuție.

**4.5.2** Oțelurile de rulmenți elaborate în întreprinderile românești se încadrează în prescripțiile internaționale de calitate ( compoziție chimică, caracteristici fizico-mecanice, structură metalografică ) făcând posibilă execuția în țară a rulmenților grei pentru toate condițiile de solicitare.

**4.5.3** Pentru fabricația de rulmenți se recomandă utilizarea oțelurilor de îmbunătățire în cazul execuției rulmenților din segmenti, de exemplu 42CrMo4 și a oțelurilor de cementare în cazul rulmenților monobloc.

**4.5.4** Oțelurile folosite la construcția rulmenților grei sunt oțeluri aliate clasificate pe grupe și anume (tabelul 4.37 ):

- Grupa oțelurilor durificate pătruns cu C =1% și Cr = 0,5 – 2%.
- Grupa oțelurilor de cementare cu C cuprins între 0,14 și 0,22%, iar Cr nu depășește valoarea de 1,8%.
- Grupa oțelurilor de îmbunătățire (se durifică superficial) cuprinde oțeluri ce se supun procesului de îmbunătățire (călire + revenire înaltă) ce au conținutul de carbon cuprins între 0,4 și 0,57% și procentul maxim de crom de 1,2.
- Grupa oțelurilor inoxidabile au conținutul maxim în carbon de 1,1% iar procentul de crom cuprins între 12,5 și 18%.
- Grupa oțelurilor termorezistente (termostabile) cuprinde oțeluri cu conținutul de carbon ridicat (cuprins între 0,7 și 0,86%), conținutul de crom cuprins între 3,75 și 4,5% iar procentul maxim de molibden este de 5,2%.

De asemenea, aceste oțeluri prezintă vanadiu (maxim 2%) și wolfram cu valori între 6 și 17%.

**4.5.5** Dezvoltarea utilajelor grele mobile ( macarale, excavatoare, etc. ) cu implicații asupra dimensiunilor, a formei, cât și a sarcinilor specifice transmise părților componente ale rulmenților grei, face ca pentru soluționarea tehnică optimă a utilajelor grele să fie nevoie de mărci superioare de oțel, de sortimente variate, de calitate metalurgică deosebită și o stabilitate dimensională corespunzătoare.

**4.5.6** Apariția unui număr mare de tipuri și variante constructive de rulmenți, capabili să satisfacă condițiile de funcționare și siguranță în exploatare, necesită stabilirea unor reguli general valabile pentru alegerea calității materialului funcție de tipodimensiunea rulmenților și regimul de încărcare.

**4.5.7** Regimul diferit al solicitărilor precum și caracterul deosebit de complex al fenomenelor de deteriorare au condus la stabilirea unor legături directe între proprietățile structurale, caracteristicile mecanice și calitatea materialelor utilizate în construcția rulmenților de diferite tipodimensiuni și în special a rulmenților grei de rotire și sprijin.

**4.5.8** România și-a aliniat normele de elaborare și control la normele internaționale ISO și EURONORM.

## CAP. 5 CERCETARI PRIVIND TEHNOLUGIA DE FABRICAREA RULMENTILOR GREI

### 5.1 Deformarea plastică

#### 5.1.1 Realizarea semifabricatelor prin deformare plastică la cald

Bilele și rolele se execută din oțel pentru rulmenți care se produc mai ales sub formă de profile rotunde de diferite diametre.

Barele din oțel laminat la cald cu diametrul de 22 ... 50 mm sunt, în prealabil, strunjite la strunguri speciale de cojit, după care sunt îndreptate la mașini automate pentru executarea inelelor de lagăre. Din profilele cu diametrul de 50 ... 120 mm, prin matrițare la cald, se obțin inelele la mașini orizontale de forjat, barele din oțel tras la rece, cu diametrul de 8 ... 23 mm, se folosesc la matrițarea la rece în mașini de forjat.

Oțelul pentru rulmenți mari se livrează sub formă de țagle pătrate sau rotunde. Pentru rulmenții de dimensiuni mici, țaglele se laminează în laminoare de țevi, la diferite diametre. Din aceste țevi se execută inelele.

Oțelului pentru rulmenți se prescriu condiții foarte severe în ceea ce privesc incluziunile nemetalice. Aceasta se explică prin faptul că, în cursul funcționării, oțelul pentru rulmenți în sateșită, trebuie să suporte sarcini mari, concentrate și de semne opuse, însoțite de frecarea puternică a oțelului.

Deosebit de dăunătoare sunt incluziunile nemetalice care ies la suprafașă asupra cărora acționează tensiuni de contact mari. Defectele de pe suprafașă de rulare ale rulmenților ( printre care incluziunile nemetalice ) reduc mult durata lor în funcționare.

Estimarea incluziunilor nemetalice se efectuează la microscop după scări adoptate convențional. Punctajul mediu pentru incluziunile nemetalice la 12 epruvete de oțel nu trebuie să depășească valorile din tabelul 5.1.

Tabelul 5.1

Oțelul și dimensiunile profilelor, mm	Fragile	Plastice	Globulare
Recopt până la 40	1.5	1.33	1.25
Recopt 40 ... 90	2.0	1.71	1.83
Nerecopt, toate dimensiunile	2.5	2.0	2.0

Neomogenitatea carburilor se estimează după o scară cu cinci punctaje. În ceea ce privește neomogenitatea carburilor, oțelul pentru rulmenți trebuie să satisfacă următoarele condiții ( tabelul 5.2 )

Tabelul 5.2

Oțelul recopt	Structura în benzi	Structura în formă de linii
Laminat la rece	2.0	1.0
Laminat la cald	2.0	1.5
Laminat la cald și nerecopt	2.5	3.0

Structura oțelului cuprinde, alături de soluția solidă, faze în exces reprezentată de carburile fierului și cromului, precum și de carburile complexe de tipul  $Fe_3C$  ( Cr ). Carburile complexe se formează când conținutul de crom în oțel este mare. Ele se pot însă forma și într – un oțel cu conținut redus de crom, datorită proceselor de licuație, când în unele porțiuni interdendritice este posibilă creșterea concentrației de carbon și de crom.

Când oțelul pentru rulmenți conține până la 1,1% Cr, la încălzirea lui până la temperaturi de peste 900° C, el se află în stare austenitică. Cu cât temperatura de încălzire este mai ridicată, cu atât carburile, cromului și cementita se dizolvă într – o mai mare măsură în Fe ( austenită ).

La deformare la cald, pe măsură răcirii metalului, o cantitate tot mai mare de carburi precipită din soluția solidă. Aceste carburi se întind în direcții de deformare, formând o structură în benzi, care reduce rezistența oțelului după forjare și tratament termic. Precipitarea cea mai intensă a carburilor se produce la temperaturi apropiate de temperaturile de sfârșit de deformare ( 800 ... 900° C ). Carburile care se depun pe limitele grăunților după deformare, formează o rețea de carburi ale cărei dimensiuni depind de temperatura la sfârșit de deformare și de viteza răcirii ulterioare a oțelului. Cu cât temperatura de sfârșit de deformare este mai ridicată și viteza de răcire este mai mică, cu atât rețeaua de carburi este mai grosolană.

În stare recoaptă, oțelurile pentru rulmenți trebuie să aibă o structură de perlită granulară omogenă. Aglomerările de carburi existente în lingou, se transformă în laminatul finit, în lanțuri de carburi în direcția laminării, care înrăutățesc proprietățile mecanice și rezistența la uzură a produselor din oțelul pentru rulmenți. Aceasta se explică prin neomogenitatea compoziției chimice a benzilor de carburi, îmbogățite în crom și carbon a porțiunilor învecinate cu benzile de carburi, conținând cu atât mai puțin carbon și crom cu cât fibra de carburi este mai net evidențiată.

La tratamentul termic ( călirea și revenirea ) al unui oțel de compoziție chimică neomogenă, se obține o duritate neuniformă. În cursul funcționării rulmenților, aceasta provoacă strivirea sau distrugerea lor datorită fragilității.

În cazul temperaturilor de deformare nu prea ridicate, incluziunile de carburi sunt asemănătoare cu incluziunile străine, fragile, care, în anumite condiții, se distrug, formând microfisuri. Microfisurile se formează în locuri în care există benzile de carburi.

Refularea este procesul prin care, la deformare, se micșorează înălțimea semifabricatului și se mărește secțiunea transversală a lui ( se forjează, de regulă, piese de secțiune mare și înălțime mică ).

Schema eforturilor unitare și a deformațiilor la refulare este prezentată în figura 5.1

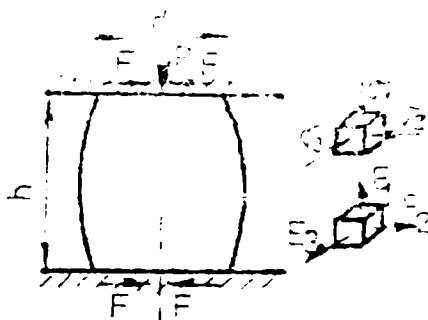


Fig 5.1 Schema eforturilor unitare și a deformațiilor la refulare

Când  $h/d$  este " h " fiind înălțimea semifabricatului și " d " – diametrul sau, în interiorul semifabricatului și pe suprafața sa laterală apar eforturi de întindere.

Când  $\varepsilon_2 = \varepsilon_3$ , refulare simplă, implicit  $\sigma_2 = \sigma_3$ . Avem cazuri de refulare la care  $\varepsilon_2 \neq \varepsilon_3$  și  $\sigma_2 \neq \sigma_3$ . Când  $\varepsilon_2 = 0$  apare o refulare plană și  $\sigma_2 = (\sigma_1 \pm \sigma_3) / 2$ .

Se considera un semifabricat cilindric de înălțime " h " și de diametru " d ". Variația ( distribuția ) eforturilor în fiecare plan care intersectează cilindrul de – a lungul axei sale este arătat în figura 5.2

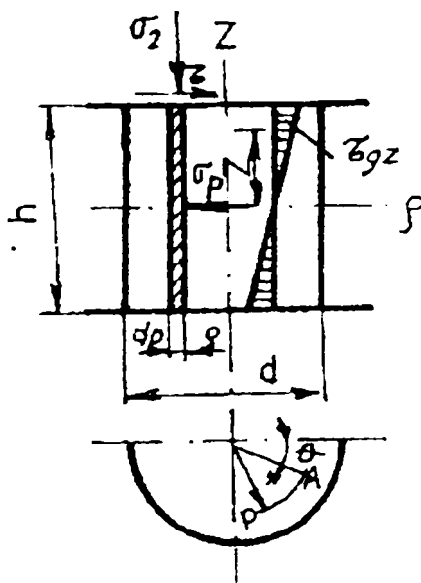


Fig. 5.2 Repartizarea eforturilor de deformare



La calculul eforturilor de deformare se pornește de la ecuația diferențială de echilibru :

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial p} + \frac{1}{p} \frac{\partial \tau_p \theta}{\partial \theta} + \frac{1}{p} (\sigma_r - \sigma_\theta) = 0$$

În această situație forța de deformare " P " va fi dată de integrala :

$$P = \int_0^{\frac{d}{2}} 2\pi \sigma_r p dp = 4k\pi \int_0^{\frac{d}{2}} \left[ 1 + \frac{2\mu}{h} \left( \frac{d}{2} - p \right) \right] p dp$$

După rezolvarea și ordonarea termenilor, relația devine :

$$P = 2k \left( 1 + \frac{1\mu d}{3h} \right) \frac{\pi d^2}{4}$$

Presiunea de deformare " p " are relația :

$$p = \frac{P}{S} = \frac{P}{\frac{\pi d^2}{4}}$$

În final, se obține valoarea presiunii :

$$P = 2k \left( 1 + \frac{1\mu d}{3h} \right)$$

Se reconsideră procesul de refulare a unui semifabricat cilindric între suprafețele plan - paralele . Notând cu  $d_0$ ,  $h_0$  dimensiunile inițiale ale semifabricatului și cu  $d_1$ ,  $h_1$  dimensiunile după deformare.

Lucrul mecanic elementar la un moment dat al procesului de refulare corespunzător forței de deformare " P " și a unei mișcări în înălțime cu " dh " ( figura 5.3 ) este :

$$dL = Pdh$$

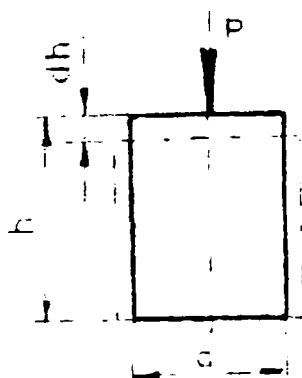


Fig. 5.3 Repartizarea presiunii pe suprafața de contact

Relația devine :

$$dL = pAdh$$

Lucrul mecanic " L " de deformare va fi :

$$L = \int_{h_1}^{h_2} pAdh$$

Se menționează ca la refulare se modifică atât presiunea " p " cât și suprafața de contact " A " . Valoarea lui " A " se scoate din expresia :

$$A = V / h$$

în care " V " este volumul semifabricatului ; Relația devine :

$$L = \int_{h_1}^{h_2} pV \frac{dh}{h}$$

Când procesul de refulare se execută la o presă atunci mărimea acesteia se alege în funcție de forța maximă ( P<sub>m</sub> ) de deformare ce se calculează cu relația :

$$P_m = Cp_p A_s$$

în care :

C – este un coeficient de siguranță ( C = 1,1 ... 1,2 )

P<sub>p</sub> – este presiunea de deformare prin refulare ( la presă )

A<sub>s</sub> – este secțiunea semifabricatului refulat în faza finală .

Când refularea se execută pe **ciocan de refulare** atunci mărimea acestuia se alege pe baza lucrului mecanic necesar deformării la o lovitură ( L<sub>1</sub> ) care este :

$$L_1 = p_c V_s \varepsilon_h$$

în care :

p<sub>c</sub> – este presiunea de deformare prin refulare pentru ciocane ;

V<sub>s</sub> – este volumul semifabricatului supus refulării ;

ε<sub>h</sub> – este gradul de refulare admis

$$\varepsilon_h = \frac{\Delta h}{h_1} \approx 1 \frac{h_2}{h_1} \approx 0,025 \dots 0,06$$

cu relația se calculează lucrul mecanic de refulare total ( L<sub>t</sub> ). Dacă se cunoaște valoarea lui L<sub>1</sub> ( lucrul mecanic dat de o singură lovitură ) se poate determina numărul total de lovituri ( n ) necesar refulării semifabricatului de la înălțimea inițială " h<sub>0</sub> " la înălțimea finală " h<sub>n</sub> ", folosind relația :

$$\eta = \frac{l}{ql}$$

în care:

$\eta$  este randamentul loviturii ( $\eta = 0,85$ )

### 5.1.2. Proprietățile tehnologice ale oțelurilor de rulmenți

#### **Plasticitatea :**

Oțelul pentru rulmenți posedă proprietăți plastice ridicate la forjare și laminare la cald .

Diagrama de plasticitate a oțelului ( fig. 5.4 ) obținută prin metoda laminării în pană, arată că la 900 ... 1200° C și la reduceri până la 75% , nu este atinsă limita de plasticitate. Nu se constată cazuri de încărcare a compactității metalului .

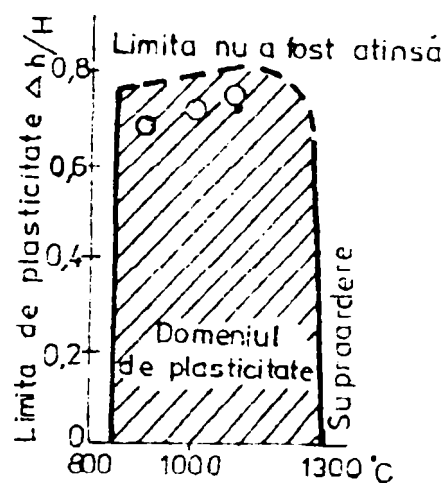


Fig. 5.4 Diagrama de plasticitate

În condițiile industriale, oțelul pentru rulmenți încălzit normal se laminează fără dificultăți. De regulă, nu se produc încălcări ale compactității metalului . Datorită proprietăților plastice ridicate, oțelul pentru rulmenți permite folosirea unor reduceri mari în cursul laminării.

#### **Proprietăți mecanice :**

În figura 5.5 sunt reprezentate curbele care exprimă rezistența la rupere a oțelurilor de rulmenți comparativ cu oțelul OL 37, în funcție de temperatură.

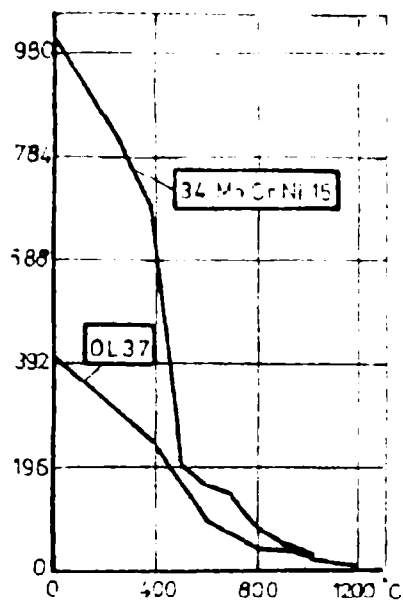


Fig. 5.5 Curba de rezistență mecanică a două oțeluri

Conform acestor curbe, rezistența la tracțiune  $R_m$  a oțelului de rulmenți depășește considerabil rezistența la rupere a oțelului OL 37 la temperaturi reduse.

**Oxidarea :**

O imagine asupra oxidării la încălzire a oțelului carbon și pentru rulmenți, se obține din curbele reprezentate în figura 5.6.

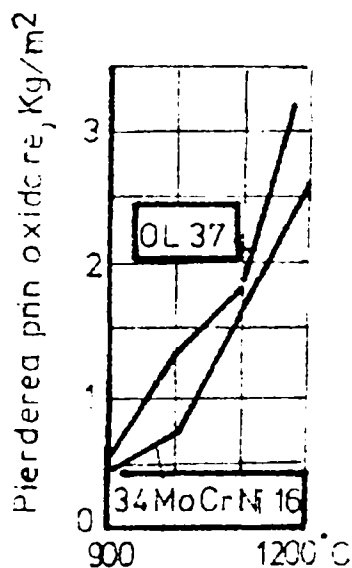


Fig.5.6 Rezistența la oxidare a două oțeluri

### 5.1.3 Parametrii tehnologici

#### **Rezistența la deformare :**

Rezistența la deformare a oțelului pentru rulmenți, în condițiile comparabile, depășește neînsemnat rezistența la deformare a oțelului nealiat ( fig. 5.7 ).

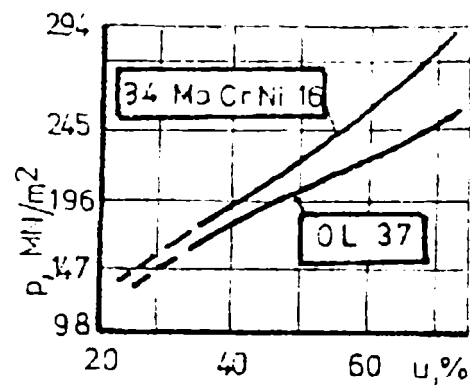


Fig.5.7 Rezistența la deformare a două oțeluri

#### **Lățimea :**

Oțelul pentru rulmenți se lățește mai mult decât oțelul cu puțin carbon (Fig.5.8 ). În medie, lățirea oțelului RUL 1 este de 1,2 ori mai mare decât lățirea oțelului OL37 .

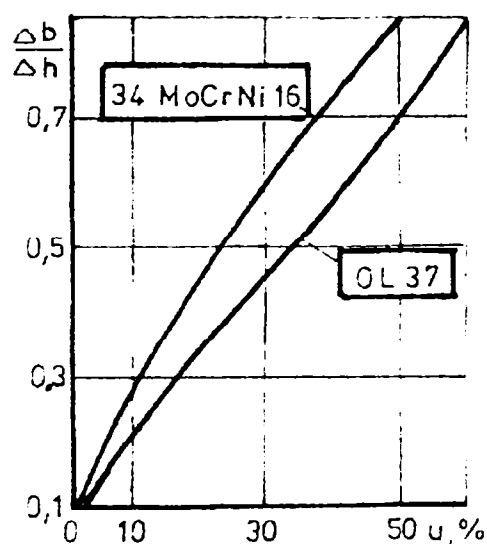


Fig. 5.8 Variația lățirii la două oțeluri

**Avansul :**

Judecând după curbele reprezentate în figura 5.9 , oțelul pentru rulmenți, în comparație cu oțelul nealiat OL37 , prezintă un avans marit.

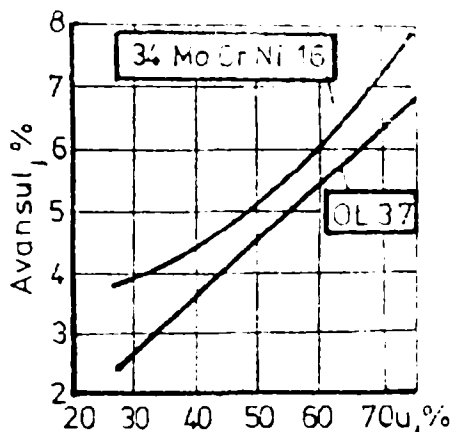


Fig. 5.9 Variația avansului la două oțeluri

**Particularități de încălzire :**

1. Pentru a obține metalul fără **neomogenitatea carburilor**, este necesar să se respecte regimul corect de încălzire a lingourilor și semifabricatelor înainte de laminare.

Durata și, în special, temperatura de încălzire au o influență considerabilă asupra valorii licuației carburilor. Cu cât aceasta este mai îndelungată la temperaturi ridicate, începând cu 1000° C , cu atât punctajul care caracterizează existența în oțel a incluziunilor de carburi libere este mai scăzut.

Influența duratei de încălzire asupra licuației se evidențiază în mod convingător, în practică. Conform procesului tehnologic stabilit, profilele rotunde de 30 ... 65 mm se obțineau după trei cicluri ( încălzirea lingourilor – semifabricate de 190 ... 190 mm – semifabricate de 100 x 100 mm ).

Durata totală de încălzire de la lingou până la profilul final este de 13 ... 15h . La controlul final al barelor, punctajul pentru carburi nu depășește punctajul impus prin condiții tehnice.

După modificarea procesului tehnologic, profilele finite au început să se obțină după al doilea ciclu (prin aceasta, durata totală de încălzire a scăzut până la 9 ... 10h). La controlul final al barelor, s-au descoperit șarje cu punctaje pentru carburi, depășind pe cele admisibile. După o creștere considerabilă a duratei totale de încălzire, rezultatele obținute la controlul final au crescut din nou.

2. **Temperatura ridicată de încălzire a oțelului pentru rulmenți influențează asupra calității lui atât în sens pozitiv ( se micșorează neomogenitatea carburilor ) cât și în sens negativ ( creșterea greutatea metalului deformat ).**

La temperaturi de 1150 ... 1180° C se constată supraîncălzirea oțelului pentru rulmenți care se caracterizează printr-o rezistență scăzută a limitelor grăunților, pusă în evidență de rupturile intergranulare. Oțelul supraîncălzit se mai caracterizează și prin faptul că limitele grăunților crescuți se dovedesc foarte stabile și se păstrează chiar la recristalizare, în cursul tratamentului termic ulterior. În acest

caz, se poate observa cum carburile care se separă din soluția solidă se amplasează pe limitele grăunților vechi, formați la încălzire. Oțelul supraîncălzit este inutilizabil pentru executarea produselor.

**3. Durata mare de încălzire** mărește decarburarea oțelului. Pentru a combate decarburarea oțelului, temperatura de încălzire a semifabricatelor nu trebuie să depășească 1100° C.

La temperaturile de sfârșit a deformării plastice de 920 ... 950° C și 1020 ... 1050° C, rețeaua de carburi se formează doar în cazul unei răciri încetinite. În cazul unor răciri rapide ( 750° C/min ) nu se formează rețeaua de carburi . numai în cazul deformării la temperaturi de 850 ... 860° C, când grăunții obținuți sunt foarte mărunți, rețeaua de carburi nu se formează la orice viteză de răcire. Este posibilă formarea unei rețele de carburi foarte mărunte, care se poate înlătura cu ușurință la recoacere ulterioară.

**Susceptibilitatea la tensiuni interne :**

Oțelul pentru rulmenți deformat poate fi încălzit practic cu orice viteză. De regulă, în semifabricate nu se formează fisuri.

Dacă lingourile din oțel pentru rulmenți se răcesc rapid după turnare, atunci în ele apar tensiuni inițiale destul de ridicate. La încălzirea ( în special rapidă ) a acestor lingouri este posibilă formarea de fisuri transversale. Adesea în lingouri se constată în cursul laminării sufluri deschise a căror existență este legată de încălzirea locală neuniformă a lingourilor în lungime și în secțiune transversală.

Susceptibilitatea mărită a oțelului pentru rulmenți la tensiuni termice se manifestă și în cazul curățirii defectelor cu flacără. În cazul eliminării prin flamare a defectelor de pe blumurile de oțel pentru rulmenți la temperatura camerei, în unele cazuri se pot observa fisuri transversale apărute în urma curățirii. Aceste fisuri se formează datorită tensiunilor termice ridicate produse de încălzirea locală ridicată a stratului superficial de metal și urmată de răcirea lui rapidă.

Pentru a elimina aceste defecte este necesar să se reducă tensiunile termice. Aceasta se realizează prin încălzirea blumurilor ce se supun flamării la temperaturi de cel puțin 350° C. Tensiunile se reduc și datorită faptului că metalul supus flamării este mai puțin solicitat.

Oțelurile pentru rulmenți sunt susceptibile și la apariția de fulgi care au aceeași cauză ca și în cazul altor oțeluri și anume hidrogenul dizolvat în metal. Formarea fulgilor este favorizată și de existența tensiunilor remanente.

Răcirea lentă a oțelului după laminare sau tratamentul termic special favorizează scăderea tensiunilor remanente și degajarea mai completă a hidrogenului din oțel, înlăturând condițiile care duc la formarea fulgilor.

## 5.2 Prelucrarea inelelor de rulmenți

Tehnologia de fabricare a inelelor de rulmenți este determinată de dimensiunile rulmenților care impun, la rândul lor, forma constructivă.

Pentru rulmenții de dimensiuni mari ( cu diametre mai mari de 6000 mm ), inelele se pot realiza atât dintr-o bucată ( până la diametrul maxim de 70000 mm ) cât și prin asamblarea unor segmente prelucrate individual .

### 5.2.1 Prelucrarea inelelor de rulmenți dintr-o singură bucată

**Forjarea liberă** ( forjare pe dorn ) se poate folosi la inelele de dimensiuni mai mici. Succesiunea operațiilor tehnologice este următoarea :

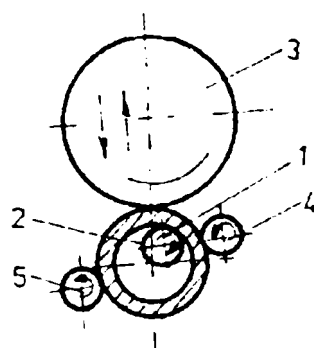
1. Debitarea țeglei la dimensiuni care să corespundă volumului necesar pentru realizarea forjatului ;
2. Încălzirea pentru refulare ;
3. Refulare pe presă hidraulică ;
4. Găurire cu dorn tubular ;
5. Forjare pe dorn.

O productivitate mai mare și o precizie dimensională mai bună se pot obține în cazul forjării inelelor pe mașini speciale.

Aceste mașini se utilizează și la executarea semifabricatelor pentru alte piese inelare și în special, pentru inelele de rulmenți de diferite dimensiuni ce e găsesc de obicei în secțiile de forjă ale fabricilor de rulmenți. Având productivitate mare, aceste mașini se utilizează la capacitate maximă numai în cazul executării de piese în serie mare sau în masă.

Pentru forjarea la cald a metalelor cu aceste mașini, se pornește de la un semifabricat inelar, realizat de o mașină de forjat pe orizontală, fie pe un ciocan cu matrițare liberă, fie prin turnare. Procesul de prelucrare a inelului pe mașină constă în aceea că i se dă forma necesară prin reducerea grosimii pereților lui.

Principiul de funcționare al unei astfel de mașini este arătat în figura 5.10 .

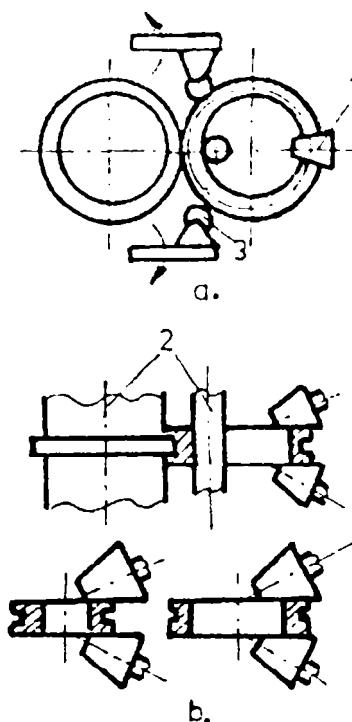


**Fig.5.10** Principiul forjării la cald

Semifabricatul (1) încălzit la temperatura de forjare se așază pe rola centrală (2). Deformarea plastică propriu-zisă se face de rala (3), care se apropie de rola centrală (2) și, în felul acesta, dă forma corespunzătoare piesei. Rola (4) are sarcina de a ghida materialul în mișcarea sa de rotație și de a-i da o formă corectă. Procesul de deformare a piesei are loc până în momentul în care acesta atinge rola (5), care începe să se rotească și, printr-un mecanism special, se cuplează pistonul rolei de presiune (3), pe care o aduce în poziția inițială. Există astfel de mașini pe care se execută piese cu diametrul până la 450 mm.

Piesele inelare cu dimensiuni mari până la 8m, se execută pe mașini speciale. La figura 5.11 a se arată principiul de lucru al mașinii. Față de mașinile de forjat anterioare ( fig. 5.10 ) apar suplimentar rolele conice (1) pentru laminarea fețelor inelului. Laminarea se face între cilindrii (2) dintre care cel interior este prevăzut cu mecanism de presiune hidraulic. De asemenea, una din rolele conice ( de regulă cea superioară ) este apăsată pe piesă tot pe cale hidraulică.





**Fig. 5.11** Principiul de lucru al unei mașini de prelucrare a inelelor de diametre mari

Există variante de mașini la care rolele conice se deplasează odată cu creșterea diametrului piesei executate asigurându-se astfel tot timpul contactul cu piesa. La mașinile moderne, mișcarea rolor este redusă la jumătate față de creșterea diametrului piesei. În acest caz ( fig. 5.11 b ) axele rolor conice coincid permanent cu axa semifabricatului, iar suprafața de contact cu materialul se deplasează de-a lungul suprafeței conice a piesei. Viteza de rotație a rolor conice se mărește continuu pe măsura creșterii diametrului piesei.

Mașina are role de conducere ( 3 ) care asigură o poziție corectă a centrului inelului.

Există mașini de " întins " inele care lucrează și prin deformare plastică la rece. Pe asemenea mașini se pot executa piese de tipul inelelor rulmenților de dimensiuni reduse. Calculul acestora se face ca la laminare.

### 5.2.2 Prelucrarea inelelor de rulmenți prin laminare

La diametre până la 400 mm se folosesc mașini cu patru poziții de lucru sau de tipul cu o singură poziție de lucru, de regulă cu axa orizontală sau înclinată a semifabricatului. Toate mașinile realizează o laminare radială.

O altă categorie de mașini realizează laminarea radială și axială laminând semifabricate inelare cu diametrul ajungând la  $\varnothing 8000$  mm și masa de 16000 kg. De regulă, aceste mașini sunt componente ale unei mașini mecanizate sau automate, pe care se realizează încălzirea semifabricatului ( 1 ) .Tăierea acestuia ( 2 ) , laminarea inelului ( 4 ) , eventuala matrițare de exemplu în vederea curbării și debavurării ( 6 ) ( figura 5.12 ) .

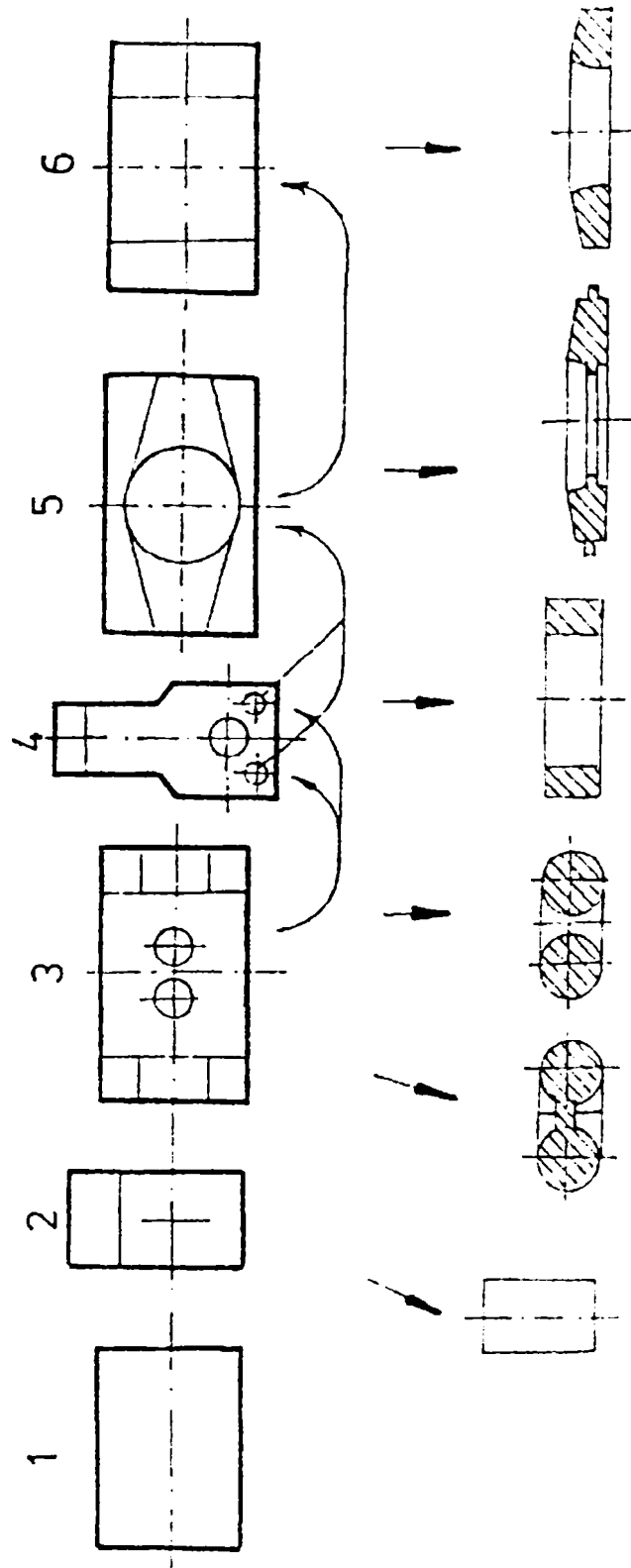


Figura 5.12 Modul de prelucrare a inelelor prin laminare radială și axială

Avantajele acestor mașini pot fi rezumate ( după firma Banning ) :

- economii de investiții, flexibilitate, economie de material de 15 ... 35%
- creșterea productivității cu 10 ... 40% ;
- diminuarea cheltuielilor cu salariile cu 10 ... 40% pe piesă ;
- diminuarea consumului de energie cu 15 ... 40% ;
- evitarea pentru unele piese a operațiilor de preformare costisitoare .

Firma Banning a lansat recent pe piață un laminor pentru discuri și roți monobloc ( 650 ... 1250 mm și masa de maximum 700 kg ) pentru căile ferate, denumit RAWA 160. Forța de laminare maximă este de 1600 kN.

Pe mașină se pot lamina și discuri pentru roți fabricate în special pentru căile ferate.

Laminorul realizează prelucrarea prin deformare plastică la temperatura de forjare a unui semifabricat preforjat la o presă hidraulică.

Toate sculele de laminare sunt poziționate hidraulic fiind acționate hidraulic printr-un sistem integral de realizare a deplasărilor. În timpul lansării, semifabricatului este montat pe o mandrină și o rolă de măsură supraveghează creșterea diametrului exterior. Laminorul în discuție este echipat cu o comandă ultramodernă permițând o derulare automată a procesului de laminare. Acest sistem asigură optimizarea laminării în funcție de material și dimensiunile roții.

Datele procesului de laminare memorate în calculator sunt trimise direct spre comanda laminorului sau sunt trimise de către operator în dialog cu acesta în cazul introducerii lor de la tastatură. Comanda mașinii execută automat procesul de laminare.

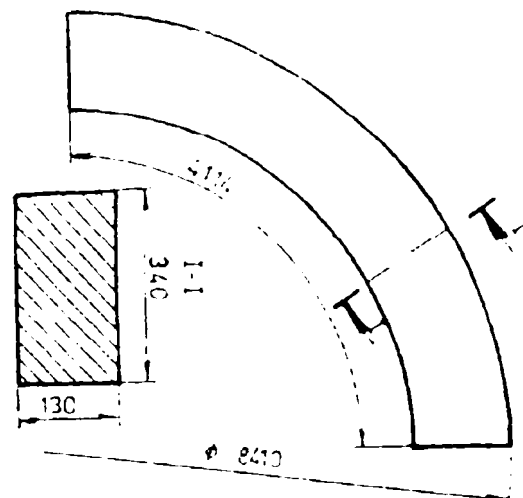
Operatorul supraveghează derularea procesului de laminare pe un ecran al cărui parametri sunt salvați și folosiți pentru laminarea roților următoare. Erorile sunt afișate pe ecran odată cu indicațiile pentru remediere. Pupitrul de comandă conține și elemente de comandă necesare pentru reglarea și corectarea laminării automate precum și pentru etalonarea mașinii. Laminorul se oprește automat la atingerea limitelor de toleranțe prescrise.

### **5.2.3 Prelucrarea inelelor de rulmenți asamblate din mai multe segmente**

Acest mod de prelucrare are avantajul că simplifică procesul de deformare plastică și de așchiere, fiind singura variantă tehnologică în cazul rulmenților cu diametre mai mari de 7000 mm.

Procesul tehnologic complet pentru realizarea unui inel de rulment asamblat din oțelul 34MoCrNi16 având forma și dimensiunile din figura 5.13 cuprinde următoarele operații :

## RULMENTILOR 3PEI



**Figura 5.13** Dimensiunile unui inel de rulment din oțel 34MoCrNi16

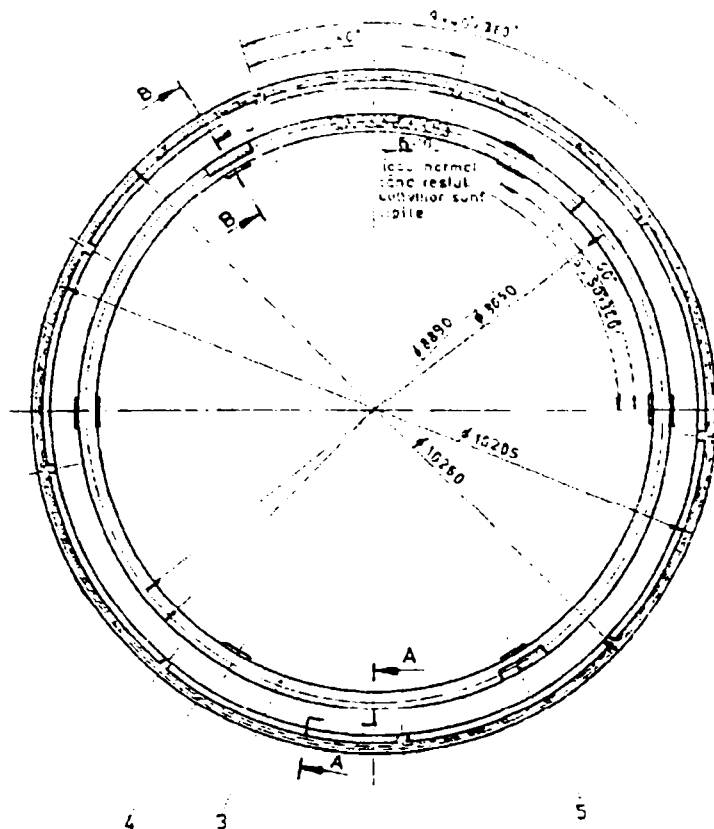
1. Elaborare a oțelului sub vid pornind de la următoarele feroaliaje pentru 60t oțel :
 

FeMn = cca. 350 kg;	FeSi = cca. 430 kg;
FeCr = cca. 900 kg;	FeMo = cca. 160 kg;

  - temperatura de dezoxidare :  $\cong 1680^{\circ} \text{C}$
  - temperatura de turnare :  $\cong 1590^{\circ} \text{C}$
  - forma lingoului : pentru forjare, poligonul invers conic.
2. Șutarea lingoului ( maseolă +picior cca.30% + 3...5% pierderi )
3. Forjarea liberă a segmentilor la cotele 165 x 380 x 4600
  - temperatura de încălzire : 1050 la 1190° C
4. Tratament termic primar ( tehnologie completă )
  - temperatura de încălzire : cicluri succesive (° C )  
( 650 – 700 ) ; ( 850 – 880 ) ; ( 580 – 680 ) ;
  - timp de menținere : 8 h
  - duritatea de recoacere : 180 – 240 HB ;
5. Eboșare ;
6. Tratament termic ( normalizare )
  - temperatura de încălzire :  $870^{\pm 10} (^{\circ} \text{C})$
  - temperatura de menținere : 6h
  - mediul de răcire : curent de aer
  - duritatea : 217 – 258 HB
7. Prelucrare prin așchiere ( FREZARE, GĂURIRE, ALEZARE ) ;
8. Tratament termic final ( călire CIF sau îmbunătățire ) ;
9. Rectificare ;
10. Asamblare .

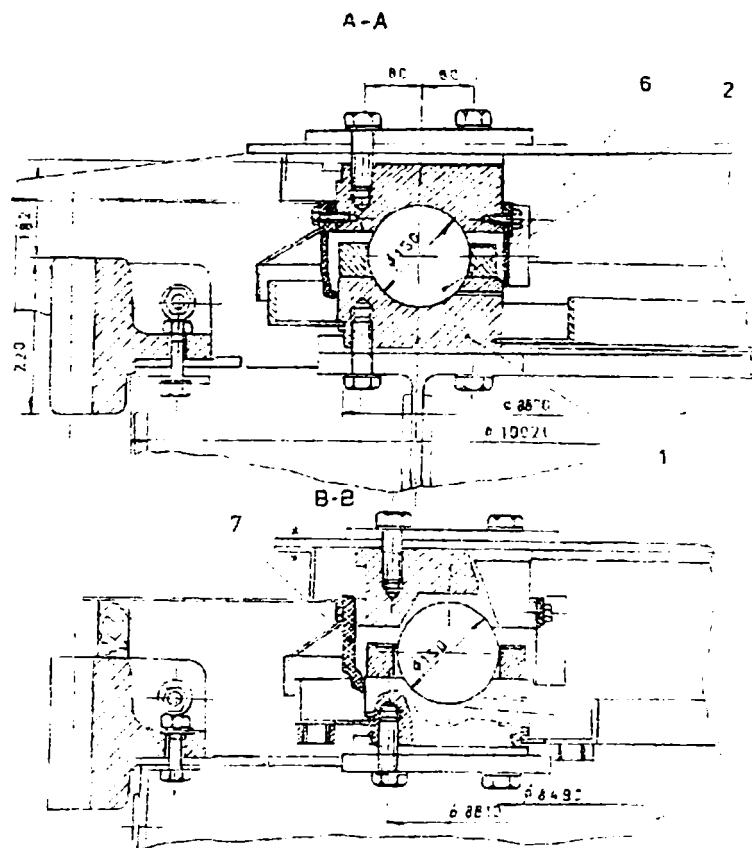
Desenul de ansamblu și detalii ale unui rulment cu bile cu inel din segmenti sunt prezentate în figura 5.14 și 5.15 .

RULMENTILOR GREI



**RULMENT Ø 8650 PENTRU MECANISM ROTIRE  
EXCAVATOR CU ROATĂ PORTCUPE ESRc 1400**

**Fig. 5.14** Desen de ansamblu al unui rulment cu bile



**Fig. 5.15** Detalii la un rulment cu bile și inel din segmente

## 5.3 Tratament termic

### 5.3.1 Tratamente termice primare

În general, la oțelul pentru rulmenți trebuie contracarată tendința de a forma fulgi și de aceea, după laminare, el trebuie răcit lent sau supus tratamentului termic după un regim special.

Se recomandă următorul regim de răcire a blumurilor care a dat bune rezultate

- imediat după laminare, blumurile se încarcă în cuptoare adânci neîncălzite. Temperatura metalului la încărcare trebuie să fie de minim 700°C . Metalul se menține în cuptoare adânci în medie 72 h, până la atingerea temperaturii de cel mult 100 ... 200°C ;
- după răcire lentă, blumurile sunt supuse revenirii înalte în cuptoare cu vatră mobilă, după următorul regim : viteza de încălzire maximum 100°C/h, temperatura de revenire 720°C, menținerea la temperatura de revenire în funcție de greutatea încărcăturii ( 15... 18h pentru 20 ... 25t, 25... 30h pentru 40 ... 50t, și 35h pentru 70t ) . Pentru profilele cu diametre de 75 x 275 mm și mai mari, durata de menținere se mărește cu 30%.

În ultimul an s-a introdus un nou regim de răcire a oțelului pentru rulmenți după laminare, care prevede răcirea relativ rapidă a oțelului, până la temperatura inferioară celei de transformare perlitică. În decursul timpului care nu depășește durata perioadei de incubație a formării fulgilor, metalul trebuie să intre în cuptoare de tratamente termice. În aceste cuptoare, oțelul se încălzește până la temperatura de 700°C . La această temperatură, metalul se află în starea în care hidrogenul se degajă cel mai intens.

Tratamentul termic al blumurilor din oțel pentru rulmenți, fără răcire încetinită în cuptoare adânci neîncălzite, se realizează după regimul următor :

- durata la începutul laminării până la intrarea blumurilor în cupror maxim 6h
- temperatura înainte de aprinderea arzătoarelor 600 ... 625°C ;
- viteza de încălzire 100°C/h și temperatura de încălzire de 700°C ;
- durata de menținere în funcție de greutatea încărcăturii, ( 24h pentru maximum 50t, 30h pentru încărcături mai mari de 50t ) ;
- răcire în aer liniștit.

Tratamentul termic aplicat pentru preîntâmpinarea apariției fulgilor în profilele laminate nu diferă în principiu de tratamentul aplicat blumurilor. Menținerea însă izotermă a profilelor este de 8... 10 ori mai mică . Răcirea profilelor cu diametrul până la 60 mm, din oțel pentru rulmenți se execută în stive, în aer. Profilele cu diametrul de 65 ... 75 mm se răcesc în cuptoare adânci, neîncălzite, cu capacele deschise, iar de la diametrul de 80 mm în sus, cu capacele închise.

Profilele din oțel pentru rulmenți destinate prelucrării ulterioare la cald (forjarea inelelor la mașini de forjat orizontale) pot fi răcite în aer, în pachete. Profilele ușoare din oțel pentru rulmenți pot fi, de asemenea, răcite în aer fără a avea loc producerea fulgilor.

În cazul răcirii încetinite a profilelor după terminarea laminării, chiar și la temperaturi relativ scăzute, în oțel se formează o rețea cementitică. În cazul răcirii lente de la o temperatură sub 650°C, rețeaua cementitică nu se formează. De aceea, pentru a evita producerea rețelei cementitice, răcirea profilelor imediat după laminare până la o temperatură de ordinul a 650°C, trebuie să se efectueze cât mai repede posibil, prin răcire separată a barelor.

Oțelul pentru rulmenți se poate răci după laminare, în apă, într-o instalație specială sau se folosesc injectoare care pulverizează apa asupra barelor separate din oțel pentru rulmenți care se deplasează pe un transportor cu lanț.

Viteza de răcire, care asigură obținerea oțelului fără rețeaua cementitică, depinde de temperatura de sfârșit de deformare; la temperatura finală a laminării (forjării) de 900 ... 950°C, viteza de răcire trebuie să fie de cel puțin 45 ... 50°C/min. La scăderea temperaturii de sfârșit de laminare, viteza de răcire poate fi mai mică.

O asemenea structură obținută după laminare asigură o bună capacitate de deformare plastică la cald în timpul operației de forjare și creează premisele pentru obținerea unei structuri optime după tratamentul termic final.

### 5.3.2 Tratamente termice secundare

Caracteristica de bază a oțelurilor pentru rulmenți este duritatea obținută după tratamentul termic, caracteristică ce poate fi influențată de temperatura de revenire. Capacitatea portantă și durabilitatea rulmenților se reduc considerabil în condițiile creșterii temperaturii de revenire.

Oțelurile folosite pentru inelele rulmenților de dimensiuni mari, fiind oțeluri de îmbunătățire, se folosesc în stare călită și revenită cu parametrii ce depind de marca de oțel și de valoarea de duritate ce se urmărește a fi obținută.

Gradul de puritate înalt și omogenitatea structurală a acestor oțeluri din starea de livrare trebuie completate cu o structură fină obținută în urma tratamentului termic final. Astfel, pentru oțelul 34MoCrNi16 utilizat la fabricarea segmentilor de inele cu structură inițială, de normalizare ( figura 5.16 ) se transformă într-o structură aciculară fină de martensită, în urma călirii ( figura 5.17 ) iar după revenire, trece într-o structură ar ial lobulizată ( fi ura 5.18 ).

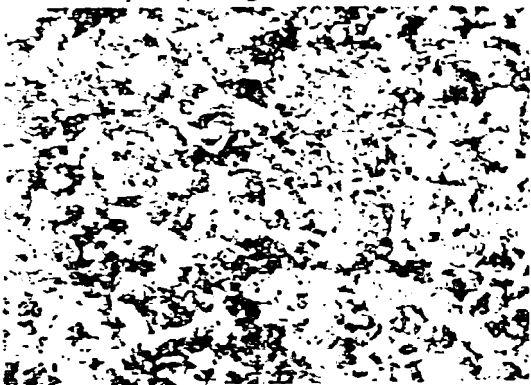


Fig 5.16 Structura de normalizare a oțelului 34MoCrNi16



Fig. 5.17 Structura de călire a oțelului 34MoCrNi16



Fig. 5.18 Structura de revenire a oțelului 34MoCrNi16

## RULMENTILOR GREI

Pentru inelele de rulmenți greu obținute din oțeluri de îmbunătățire este specifică posibilitatea de durificare prin călire superficială ( în general prin CIF ) a căilor de rulare și a danturii coroanelor de antrenare.

În cazul oțelurilor pentru rulmenți cu conținut ridicat de carbon folosite la realizarea rolor se urmărește obținerea unor durități superioare dar trebuie avute în vedere modificările dimensionale și de duritate cauzate de menținerea îndelungată la temperatură ridicată.

Modificările dimensionale, în principiu, au drept cauză transformarea în martensită a austenitei reziduale, proces ce are loc și la temperatura ambiantă (mai ales la conținuturi de austenită reziduală de peste 10% și ale cărui efecte se combat prin stabilirea unui ciclu de tratament termic adecvat, în special, prin călire la frig . Condițiile de utilizare cer ca duritatea să aibă valori maxime ( tabelul 5.3 ) și implicit și la rezistența la oboseală de contact.

Tabelul 5.3

Marca de oțel	RUL 1V	RUL 2V	90VmoCr180
Distanța de la capătul răcit ( mm )	6.0	13.5	1.0
Duritate HRC	Min. 64	Min.64	55 ... 61

Conținutul de austenită reziduală obținută după călirea acestor oțeluri se poate reduce și prin creșterea temperaturii de revenire ( tabelul 5.4 ).

Tabelul 5.4

Temperatura de călire, °C	Temperatura de revenire, °C	Duritatea HRC	Conținutul de austenită reziduală, în %
843	260	58	0
843	120	62	7.14
982	177	59	18.4

Modificarea structurii conduce la modificări importante ale caracteristicilor de exploatare ( duritate, rezistență la rupere, rezistență la oboseală și tenacitate ) conform tabelului 5.5 .

Tabelul 5.5

Marca de oțel	Starea materialului	Duritatea ( HRC )	Rezistența la rupere, $R_m^*$ ( N/mm <sup>2</sup> )	Rezistența la oboseală, <sup>**</sup> ( N/mm <sup>2</sup> )	Reziliența KCU <sub>2</sub> ( J/cm <sup>2</sup> )
RUL 1	Călire și revenire joasă	63	2600 ... 2650	730	20 ... 25
		61	2500 ... 2550	660	25 ... 30
		59	2460 ... 2490	640	34 ... 40
	Recopt	170...207HB	600 ... 750	-----	-----
RUL 2	Călire și revenire joasă	63	2600 ... 2650	710	25 ... 30
		61	2500 ... 2550	670	30 ... 35
		59	2460 ... 2490	650	40 ... 45
	Recopt	170...217HB	600 ... 780	-----	-----

<sup>\*\*</sup> Încovoiere rotativă

<sup>\*</sup> determinate cu relația de recurență  $R_m = 3,34 \times HV50 = 12,5 \text{ HRC}$  din DIN 50150

### 5.3.2 Tratamente termice aplicate elementelor componente ale rulmenților de dimensiuni mari

#### Comportarea oțelurilor tratamente termice

##### a) Grăunte austenitic în oțeluri



Transformările care se produc la încălzirea oțelurilor în domeniu austenitic pentru tratament termic sunt determinate de tendința sistemului de a trece de la o stare de energie liberă mai mare (și mai puțin stabilă) la o stare de energie liberă mai mică la temperatura respectivă (și mai stabilă).

La sfârșitul transformării  $Fe_3(C) + Fe_3C \rightleftharpoons Fe_\gamma(C)$  structura este formată din grăunți foarte mici de austenită care datorită vitezei mari de germinare și de creștere ajung în contact unul cu altul înainte ca dimensiunile să fie prea mari. La creșterea temperaturii de la 740°C la 800°C viteza de formare a germenilor de austenită  $N$  crește de 280 ori, iar viteza de creștere  $G$  de 82 ori. Aceasta înseamnă că aproximativ în același raport se vor găsi dimensiunile grăunților formați izoterm la 740 °C și 800 °C. La creșterea temperaturii, dimensiunile grăunților de austenită formați vor fi de câteva ori mai mici dar în număr foarte mare. Datorită acestei tendințe de trecere a sistemului către o stare de energie liberă minimă, grăunții de austenită odată formați încep să crească.

Variația dimensiunii de echilibru a graunților de austenită cu temperatura absolută este determinată de o curbă exponențială de forma:

$$\Delta\gamma = 44 \cdot 10^7 \frac{-19900}{RT}$$

Conținutul de carbon influențează nu numai asupra vitezei de formare a austenitei la o anumită temperatură ci și asupra dimensiunii de echilibru. Cu cât conținutul de carbon este mai ridicat cu atât este mai mare dimensiunea de echilibru a grăunțului austenitic.

Această influență se manifestă pentru fiecare temperatură de încălzire, până la o anumită concentrație a carbonului. La conținuturi mai mari de carbon la temperaturile respective de încălzire se produce o micșorare a grăunțului de echilibru, explicată prin apariția cementitei secundare, care frânează creșterea granulației.

Dimensiunile granulației austenitice formată în oțel în anumite condiții de încălzire pentru austenitizare, stabilite în funcție de tipul tratamentului termic al oțelului, este de cea mai mare importanță pentru rezultatul final. Deoarece austenita nu suferă în timpul răcirii modificări dimensionale importante se poate considera că granulația austenitică formată în condițiile date, rămâne neschimbată până la temperatura ordinară. Chiar dacă prin condițiile de răcire se modifică gradul de dispersie a constituenților formați (perlita, bainita, troostita, etc) sau natura lor (perlita, bainita, martensita) influența granulației austenitice asupra caracteristicilor mecanice obținute prin tratamentul termic se pastrează.

În cazul călirii urmate de revenire, tratamentul termic frecvent aplicat oțelurilor, masa de bază formată de ferită păstrează dimensional granulația austenitică, astfel încât proprietățile ei vor fi influențate direct de acesată granulație. Rezultă că pentru o corectă conducere a tratamentului termic trebuie să determinăm formarea granulației austenitice cea mai potrivită scopului urmărit. Astfel este necesar să cunoaștem granulația austenitică formată în anumite condiții de încălzire, adică să cunoaștem tendința de creștere a granulației unui oțel cu temperatura, putând astfel stabili condițiile optime de încălzire sau putând alege acel oțel care corespunde scopului propus.

- Caracterizarea granulației austenitice care se formează într-un oțel în diferite condiții (temperatură, timp, % de carbon, grad de dispersie a

structurii, condiții de elaborare, prelucrare anterioară la cald, etc) se poate folosi noțiunea de grăunte austenitic, care definește mărimea reală a granulației austenitice formată în condițiile de încălzire și durata în care s-au efectuat tratamentul termic al oțelului considerat.

Este necesar să cunoaștem mărimea grăuntelui austenitic numai dacă aceasta are repercursiuni asupra proprietăților structurale și a caracteristicilor mecanice ale oțelului considerat. Se menționează în continuare câteva indicații:

- pătrunderea călirii este cu atât mai adâncă cu cât grăuntele este mai mare (mărimea de grăunte micșorează viteza critică de călire ) adică mărește sensibilitatea oțelului de călire
- un strat cementat la un oțel cu grăunte grosolan este susceptibil la fisuri; călirea dublă devine atunci imperios necesară
- fragilitatea oțelurilor cu grăunte grosolan este de obicei mare și de aceea influența creșterii grăuntelui este nefavorabilă, motiv pentru care, pentru piese de mare răspundere se recurge la oțeluri aliate.

Grăuntele austenitic este valabil numai la temperaturile la care el a fost determinat. Calitatea intrinsecă a unui oțel se determină nu numai după mărimea grăuntelui de austenită (care poate fi modificată prin tratamente termice) ci și prin tendința pe care o are acest grăunte de a crește la ridicarea temperaturii.

După modul de creștere a grăuntelui oțelurile se pot împărți în două clase:

- oțeluri cu ereditare granulară fină la care creșterea grăunților este neînsemnată până la temperatura de 900...950°C, după care totuși creșterea este rapidă.
- oțeluri cu ereditare granulară grosolană la care grăuntele austenitic începe să crească de îndată ce s-a depășit punctul critic superior.

Determinarea eredității granulare se realizează prin determinarea mărimii grăuntelui de austenită la diferite temperaturi urmând tendința de creștere a granulației la aceste temperaturi.

#### b) Călibilitatea oțelurilor

Una din cele mai importante caracteristici tehnologice ale oțelurilor care furnizează date cu privire la comportarea acestora la tratamentul termic este călibilitatea. Această caracteristică are o deosebită importanță teoretică și practică deoarece stabilirea și folosirea datelor privind călibilitatea oțelurilor implică posedarea și aplicarea cunoștințelor privind termodinamica, mecanismul și mai ales cinetica descompunerii austenitei subrăcite la menținerea izotermă și la răcirea continuă.

Acestei noțiuni se dă în general un sens larg cuprinzând toate datele cu privire la posibilitate de a obține o structură martensitică cu o duritate cât mai ridicată pe o secțiune cât mai mare a piesei.

Principalele aspecte caracteristice ale calibilității sunt:

- Densitatea maximă obținută prin călirea martensitică.
- Adâncimea de pătrundere a călirii, adică adâncimea până la care se obține o structură alcătuită numai din martensită sau martensită și troostită în anumite proporții.

Duritatea martensitei depinde de conținutul de carbon dizolvat în austenită fiind practic independentă de conținutul de elemente de aliere dizolvate și deci de temperatura și durata de încălzire. La călirea pieselor din oțeluri cu diferite

conținuturi de carbon și de elemente de aliere se obține un gradient de structuri în care proporția de martensită scade de la suprafața către centru, duritatea scăzând în mod corespunzător. De aceea, prin calibilitate se înțelege modul cum a pătruns călirea pe secțiunea piesei, adică adâncimea de pătrundere a călirii.

Adâncimea de pătrundere a călirii la răcirea piesei sau probei într-un anumit mediu depinde de viteza critică de călire care este o caracteristică a oțelului respectiv.

În aceste condiții adâncimea zonei călite martensitic depinde de viteza critică de călire a oțelului. Cu cât va fi mai mică viteza critică de călire cu atât mai mare va fi adâncimea zonei călite. La oțelul a cărui viteză critică de călire este egală cu valoarea vitezei de răcire în centrul probei se va obține o călire "pătrunsă", structura fiind formată numai din martensită pe toată secțiunea probei.

Calibilitatea redusă se datorește prezentei particulelor insolubile de tip carburi, oxizi, compuși intermetalici, etc și existenței unei austenite neomogene.

Elementele de aliere care formează carburi stabile greu solubile (V, Ti, Nb) la încălzirea pentru austenitizare micșorează conținutul de carbon al acesteia și formează centre de cristalizare numeroase care micșorează granulația austenitică, creșterea vitezei critice de călire și micșorarea calibilității. La temperaturi ridicate prin dizolvarea carburilor în austenită o parte din influențele amintite anterior sunt atenuate.

Granulația austenitei este un factor indirect de influență, care influențează direct fiind factori care determină creșterea granulației, adică temperatura și durata încălzirii, conținutul de mangan, siliciu și alte elemente prezente în oțel și pe ansamblu condițiile de elaborare.

#### c) *Tensiunile interne datorate procesului încălzire-răcire*

În timpul încălzirii și răcirii din oțel, apar tensiuni datorate nesimultaneității dilatării și contracției termice a diferitelor regiuni din piesă și tensiuni datorită nesimultaneității dilatărilor și contracțiilor provocate de formarea noilor constituenți în timpul transformărilor (în special contracția la încălzire cu formarea austenitei și dilatarea la formarea martensitei la răcire). Deoarece structura oțelului călit nu este uniformă pe secțiunea produsului, chiar la călirea pătrunsă volumul specific al straturilor periferice și a celor centrale diferă.

Tensiunile interne se pot clasifica după modul de apariție și după domeniul în care acționează în:

- Tensiuni de ordinul I, care apar și au valoare constantă în porțiuni cu dimensiuni de ordinul milimetrilor sau mai mari ce cuprind părți ale piesei sau piese întregi în condiții de formă și dimensiuni.
- Tensiuni de ordinul II care apar datorită anizotropiei elastice între părți ale rețelei cristaline orientate diferit (părți de cristale sau cristale întregi) și au valori constante în limitele acestor părți
- Tensiuni de ordinul III care apar și acționează în volume de mărimea părților de rețea deformată coerent și a dislocațiilor.

Valoarea tensiunilor de ordinul II și III la scara microscopică poate fi socotită egală cu zero, astfel încât deformările și fisurile de tratament termic sunt determinate de tensiunile de ordinul I.

Tensiunile interne de ordinul II au în oțelul călit la martensită valori foarte mari, ceea ce reprezintă o caracteristică a martensitei. Cauza directă a apariției acestor tensiuni o constituie acțiunea unor părți ale cristalului de austenită

asupra celorlalte, ca urmare a schimbării formei microvolumelor din cauza reorganizării rețelei și măririi de volum care o însoțește. Tensiunile interne de ordinul II reprezintă prin mărimea lor o caracteristică a proprietăților de rezistență a cristalelor de martensită. Ele sunt o măsură a limitei de elasticitate a cărei valoare depinde de conținutul de carbon al martensitei; prezența atomilor de carbon în rețea îngreunează apariția și deplasarea actului elementar al deformării sub acțiunea eforturilor exterioare.

Tensiunile interne de ordinul III sunt provocate de deplasări statice ale atomilor de fier de la pozițiile lor ideale, cauzate de prezența atomilor de carbon în interstițiile rețelei de soluție solidă suprasaturată. Deplasările medii în direcția axei tetragonale sunt de două ori mai mari decât cele în direcția perpendiculară. Valorile acestor deplasări cresc cu creșterea conținutului în carbon.

Prezența tensiunilor interne de ordinul III este însoțită de slăbirea forțelor de coeziune interatomică, deoarece în rețeaua de martensită abaterile de la vibrațiile termice sunt mai mari decât în rețeaua fierului, drept urmare valoarea modulului lui Young la oțelul călit la martensită se micșorează cu creșterea conținutului în carburi.

#### **5.4. Încercări – verificări ale materialelor utilizate la execuția rulmenților grei**

Experiența proprie dobândită în cei 25 de ani de preocupări privind execuția componentelor de utilaje grele – excavatoare cu rotor port cupe precum și ingineria de bază preluată de la uzinele firmelor producătoare de astfel de echipamente: Thyssen – KRUPP și MAN TAKRAF cu care s-a colaborat în această perioadă permit următoarele concluzii:

- mărcile de oțel utilizate au fost oțelurile de îmbunătățire
- calitatea forjării și a tratamentului termic a fost determinant în atingerea și depășirea duratei de utilizare

Pentru respectarea disciplinei necesare pe parcursul execuției și pentru conștientizarea beneficiarilor s-a impus ca pe lângă fazele de cercetare necesare să se urmărească în detaliu execuția rulmenților pe toate fazele tehnologice. De fiecare dată asistența tehnică s-a finalizat prin buletine de încercări și verificări care au permis consemnarea unor concluzii importante. Astfel, modificările principale necesare vizează următoarele:

#### **5.4.1. Proprietățile mecanice și tehnologice ale materialelor utilizate**

##### **5.4.1.1. Compoziție chimică**

Această verificare se face în conformitate cu prevederile producătorului (elaboratorului) mărcii de oțel, respectiv conform standardelor internaționale.

*Exemplu: pentru marca de oțel de referință 42 CrM<sub>0</sub>4 – îmbunătățit (FN 10083-1) compoziția chimică se verifică conform prevederilor EN 10083, art. 6.1.3.a și se certifică conform prevederilor EN 10204, art. 2.3.*

##### **5.4.1.2. Încercări la tracțiune**

Această verificare se face în conformitate cu prevederile generale ale standardelor de încercări mecanice.

*Exemplu: pentru marca de oțel susmenționată se face conform EN 10002-1, respectiv EN 10083, art.6.2.1 și se certifică conform prevederilor 10204, art.3.1.B.*

Valorile în care trebuie să se înscrie încercările efectuate pe epruvete la temperatura camerei sunt:

$$R_e/R_{p0.2} \geq 550 \text{ N/mm}^2$$

$$R_m = 840 - 940 \text{ N/mm}^2$$

$A \geq 14 \%$

$Z \geq 55 \%$

#### 5.4.1.3. Mărimea grăunților

Aceasta se face conform prevederilor generale elaborate de producători (metalurgici și a mărcii de oțel)

*Exemplu: pentru marca de oțel susmenționată se face conform DIN 50601 respectiv EN 10083 art.5.4.1. anexa B – art.8.3 cu certificare conform EN 10204 art.3.1B*

#### 5.4.1.4. Gradul de puritate

Aceasta se face conform prevederilor generale elaborate de metalurgi, respectiv de producătorii mărcii de oțel.

*Exemplu: pentru marca susmenționată se face conform DIN 50602, respectiv EN 10083, art.5.4.2, anexa B – art.b4.*

*Cerința este: mărimea 3, izolat max 4, procedeul M.*

#### 5.4.2. Unități, număr de grade, poziția probelor și prelevarea probelor

##### 5.4.2.1. Unități de încercare

Cerința este: se execută conform EN 10083, art.6.2.1.2 tabel 11 nr.4 a, fascicolul 3.

Cerința este: pe șarjă  $\leq 10$  to., fără tratament termic, minim un set probe / 4 segmenti.

##### 5.4.2.2. Numărul de probe

Acesta se face conform EN 10083, art.6.2.1.2 tabel 11, nr.4 a, fascicolul 5.

Cerința este: pe unitatea de încercare și anume:

- 1 probă pentru încercarea la tracțiune
- 1 probă pentru determinarea mărimii grăunților
- 1 probă pentru determinarea gradului de puritate

##### 5.4.2.3. Poziția probelor

Aceasta se face concret, conform EN 10083, art.6.2.1.2, tabel 11, nr.4a, fascicolul 6a.

Concret: axa longitudinală a probei – paralel cu fibrajul

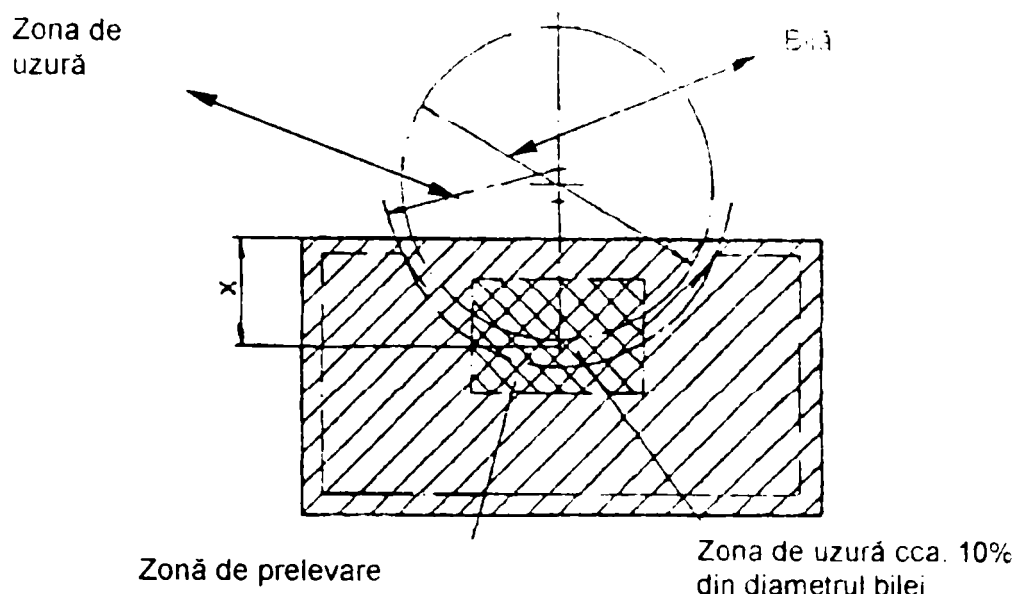
Încercările pot fi executate și pe probe transversale sau tangențiale. În această situație este însă necesar să se atingă valorile mecanice de la probele longitudinale.

Poziția axei probei longitudinale în acest caz este la o distanță "X" de la suprafața frontală. Poziția suprafeței lustruite a probei trebuie să fie paralelă cu suprafața superioară a inelului de rulment.

##### 5.4.2.4. Prelevarea probelor

Acestea se fac concret conform EN 10083, art.6.2.1.2., tabel 11, nr.4 a, fascicolul 6 a, conform figurii ce urmează :

## RULMENTILOR GRE



Epruvetele se scot astfel din corpul de probă încât axa longitudinală și transversală să fie la o distanță "X" față de suprafața superioară și la aceeași distanță față de suprafața frontală a segmentului.

#### 5.4.3. Calități interne (în material)

Acestea se vor verifica conform EN 10083, art.5.5, anexa B, pct.B5 și anume prin verificări US (SEP 1921), și se certifică conform EN 10204, art.3.1.B

##### 5.4.3.1. Generalități

Verificarea US, respectând SEP 1921 și interpretările se fac conform metodei AVG. Domeniul de verificat se împarte în zone:

- zona 1 va fi zona apropiată suprafeței superioare până la o adâncime de 30 mm sub calea de rulare, raportată la suprafața prelucrată.
- zona 2 va fi restul secțiunii.

##### 5.4.3.2. Setul de verificări

Se va face conform grupei de verificare 3, pe suprafața de contur și o suprafață plană, 100 %, bucată cu bucată.

#### 5.4.3.3. Limite de înregistrare și limite de acceptabilitate

##### 5.4.3.3.1. Limite de înregistrare

- zona 1: KSR 2 mm
- zona 2: KSR 3 mm

##### 5.4.3.3.2. Limite de acceptabilitate

- zona 1: E/e, la care totuși se acceptă max.3indicații cu extindere longitudinală de max.10 mm
- zona 2: D/d, indicațiile fără extindere trebuie să fie dispersate la o distanță de 10 x KSR pe sensul longitudinal și transversal, iar pe grosime la mx. 50 mm. Frecvența indicațiilor realizate până la o scară de 6 dB sub valoarea limitei de înregistrare nu sunt admise. Mărimea de referință (etalon) este  $\leq 1000$  mm pe circumferință.

##### 5.4.3.4. Starea suprafețelor superioare

Aceasta se verifică conform SEP 1921, art.4.

##### 5.4.3.5. Momentul în care se face verificarea este înaintea livrării produsului.

#### 5.4.4. Calitatea suprafețelor exterioare

Se verifică conform standardului mărcii de oțel, concret, conform EN 10083, art.5.6. și se certifică conform EN 10204, 3.1.B.

#### **5.4.5. Dimensiuni**

Se verifică conform stamndardelor generale și a prescripțiilor documentației de execuție, făcându-se certificare conform EN 10204, 3.1.B.

#### **5.4.6. Marcarea**

Se va face conform EN 10083, art.7, anexa B, art.B7 și se certifică conform EN 10204, 3.1.B.

Acestea vor fi:

- însemnul producătorului
- marca de oțel
- șarja – număr de recunoaștere
- însemnul încercării
- însemnul verficatorului

#### **5.4.7. Alte încercări vizând cerințe după prelucrarea mecanică finală.**

##### **5.4.7.1. Verificarea fisurilor pe suprafețele superioare prelucrate mecanic.**

Aceasta se face prin procedeul cu pulberi magnetice (DIN 54130/DIN54131, partea 1 și 2), respectiv prin procedeul lichidelor penetrante (DIN 54132, parte 1 și 2) și se certifică conform EN 10204, 3.1.B.

Se preferă procedeul cu lichide penetrante.

Limite de acceptabilitate:

- zona 1:
  - indicații neliniare:  $\varnothing \leq 2$  mm
  - numărul indicațiilor: max.3
  - distanța minimă între indicații:  $\geq 50$  mm
  - suprafața de referință:  $\leq 1000$  mm lungime segment de rulment
- zona 2:
  - lungimea indicațiilor liniare:  $\leq 3$  mm
  - indicații neliniare:  $\varnothing \leq 3$  mm
  - numărul indicațiilor: max.5
  - distanța minimă între indicații:  $\geq 50$  mm
  - suprafața de referință:  $100$  cm<sup>2</sup>

Se admit totuși corecții prin șlefuirea (polizarea) materialului pe adâncimi  $\leq$  de 10 mm și suprafețe  $\leq$  de 50 cm<sup>2</sup>.

Indicațiile liniare sunt considerate acelea a căror lungime este mai mare decât de 3 ori lățimea.

Indicațiile de tip grupat a căror extindere este mai mică decât de 2 ori lungimea celor mai mari indicații, respectiv indicațiile înșirate (formate din minim 3 indicații liniare sau neliniare) a căror lungime este mai mică de 2 mm, se interpretează ca indicații liniare.

Cel mai important lucru este că nu se admit fisuri.

##### **5.4.7.2. Control dimensional și inspectare suprafețe superficiale**

Dimensiunile tolerate și rugozitățile se controlează conform prescripțiilor documentației de execuție.

Certificarea se face conform EN 10204, 3.1.B

## 5.5 Concluzii

**5.5.1** Oțelul de rulmenți face parte din grupa oțelurilor aliate cu pondere ridicată în industria constructoare de mașini, în special la utilajele grele mobile.

**5.5.2** În prezent, oțelurile de rulmenți ( în special cele pentru rulmenți grei ) se elaborează prin procedee moderne de fabricație ( cuptor electric cu inducție, cuptor cu plasmă, cuptor în vid cu tratare specială în oală ).

**5.5.3** La turnarea indirectă a oțelurilor aliate cu crom ( oțeluri de rulmenți ) apare defectul „ de înfășurare ” a crustei solide care aderă la pereții lingotierei, sudându-se fără a se topi complet.

**5.5.4** Intensitatea de absorbție a suspensiilor în stratul de zgură este cu atât mai mare cu cât tensiunea interfazică la limita zgură – oțel este mai mică ; zgura care acționează favorabil în direcția reducerii defectelor de suprafață are și un efect pozitiv și asupra purității oțelului de rulmenți.

**5.5.5** În România actualmente normele de bază pentru oțelurile de rulmenți sunt STAS 1456 – 89 și STAS 11250 – 89 în care se stabilesc mărcile și condițiile tehnice de calitate ; pentru rulmenți grei ( de rotire și de sprijin RS ) se folosesc oțeluri aliate pentru tratamente termice ce fac obiectul STAS 791 – 88.

**5.5.6** Analiza normelor internaționale ( DIN 17230, EURONORMA 94, AISI NF, etc.) referitoare la oțelurile folosite în construcția rulmenților grei evidențiază prezența unor clase de mărci de oțeluri cu caracteristici mecanice și structurale specifice care asigură o durabilitate ridicată a produselor puternic solificate la operațiile de rotire și sprijin a componentelor utilajelor.

**5.5.7** Metodele de încercare și verificare a calității oțelurilor de rulmenți se aplică pe loturi constituite din produse provenite din aceeași șarjă și lot de tratament termic, sortate pe grupe de dimensiuni.

**5.5.8** Preocupările de îmbunătățire a standardelor calității oțelurilor de rulmenți grei sunt determinate de interesul creșterii continue a anduranței diverselor tipuri constructive, cunoscut fiind faptul că alături de soluția și perfecționarea geometrică mecanică o importanță deosebită o are și calitatea materialului.

**5.5.9** dezvoltarea utilajelor grele mobile ( macarale, excavatoare, etc. ) cu implicații asupra dimensiunilor formei cât și a sarcinii specifice transmise părților componente ale rulmenților grei, face ca pentru soluționarea tehnică optimă să fie nevoie de mărci superioare de oțel, de sortimente dimensional întregite, calitatea metalurgică deosebită și o stabilitate dimensională a oțelurilor folosite.

**5.5.10** Apariția unui număr mare de tipuri și variante constructive de rulmenți capabili să satisfacă condițiile de funcționare și siguranță în exploatare necesită stabilirea unor reguli general valabile pentru alegerea calității materialului funcție de tipodimensiunea rulmenților.

**5.5.11** Regimul diferit al solicitărilor precum și caracterul diferit de complex al fenomenului de deteriorare au condus la stabilirea unor legături directe între proprietățile structurale, caracteristicile mecanice și calitatea materialelor utilizate în construcția rulmenților de diferite tipodimensiuni și în special a rulmenților grei de rotire și sprijin.



## CAP.6. – CONTRIBUȚII PRIVIND TEHNOLOGIA DE MONTARE ȘI DEMONTARE A RULMENȚILOR PENTRU UTILAJE GRELE DISPOZITIVE ȘI INSTALAȚII

### 6.1. Considerații generale privind tehnologia de montare și de demontare a rulmenților grei.

Montarea și demontarea după intervenții a rulmenților grei, reprezintă faze determinante în ceea ce privește funcționalitatea de ansamblu a utilajelor, respectiv durata de viață a componentelor în general, dar mai ales sarcinile care apar, comportamentul în funcționare, durata de viață și posibilitățile de reparare a rulmenților de sprijin.

Demontarea este importantă ca fază mai ales în situațiile în care se pune problema recondiționării acestora, în sensul în care:

- nu trebuie să fie afectate stabilitatea și integritatea celorlalte componente ale utilajului
- nu trebuie să fie afectată starea tehnică a acestor rulmenți, care și așa după o perioadă îndelungată de exploatare este precară

Se apreciază deci că, aceste faze reprezintă mult mai mult decât o operație de lăcătușerie ele fiind legate de tehnologii complexe aferente lor.

În continuare se enunță principiile de bază ale tehnologiei de montare – remontare a rulmenților grei:

- asigurarea unor suprafețe de sprijin corespunzătoare din punct de vedere al rezistenței
- asigurarea suprafețelor de așezare corespunzătoare din punct de vedere al abaterilor de la planeitate sau al abaterilor de la diametrul de așezare.
- fixarea corespunzătoare din punct de vedere al rezistenței elementelor de îmbinare
- funcționare în regim de temperatură constantă
- funcționare în regim de viteză constantă
- etanșarea corespunzătoare a rulmenților contra pătrunderii prafului, apei, umidității
- ungerea, gresarea corespunzătoare
- accesul pentru efectuarea controlului funcționării și al intervențiilor, etc.

Aferente acestor principii generale există o multitudine de scopuri și mijloace de realizare, dintre care se vor selecta în continuare câteva elemente reprezentative.

#### 6.1.1. Asigurarea calității suprafețelor de așezare

Abaterile de la planeitate maximal admise, "P", inclusiv cele unghiulare se regăsesc în tabelul 6.1.

Toleranțele prevăzute se raportează la o lățime de 100 mm a suprafeței de sprijin (fig. 6.1)

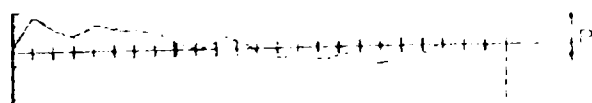


Fig. 6.1

**Tabel 6.1**

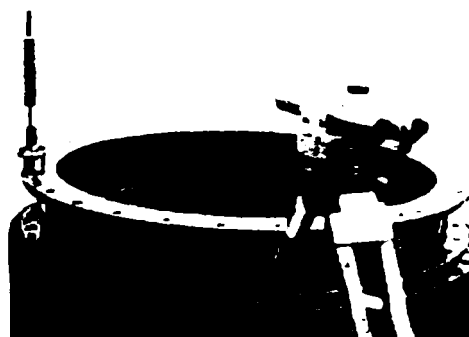
Diametrul cercului de rulare în mm $D_L$	Toleranța de la planeitate inclusiv unghiulară pe suprafața de sprijin "P" în mm	
	Rulment pe un rând de bile Lagăr pe 4 puncte	Rulment pe un rând de role
Până la 500	0,10	0,07
Până la 1000	0,15	0,10
Până la 1500	0,19	0,12
Până la 2000	0,22	0,15
Până la 2500	0,25	0,17
Până la 4000	0,30	0,20
Până la 6000	0,40	0,30
Până la 8000	0,50	0,40

Aceste abateri ale suprafețelor de așezare, vizează în egală măsură:

- inelul inferior și superior în cazul rulmenților de sprijin în plan
- inelul interior și exterior în cazul rulmenților de sprijin radial/axiali sau combinați

Aceste suprafețe de așezare trebuie să fie verificate optic cu ajutorul palpatoarelor, a mijloacelor de tip nivelă sau a aparatelor laser.

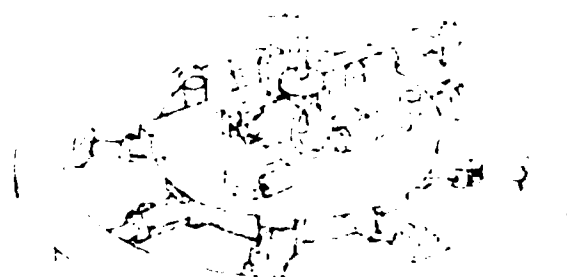
**Fig.6.2 Verificarea optică**



Verificările cu mijloace optice se vor face la diferite unghiuri de abordare ( $0^\circ - 90^\circ - 180^\circ$ ), prin repetare și cu luarea în considerare a valorilor celor mai mari. În prealabil suprafețele de așezare trebuie să fie curățate corespunzător, să fie înlăturați stropii de sudură sau alte zone de surplus metalic, etc.

Dacă abaterile suprafețelor de așezare depășesc valorile prevăzute în tab. 6.1, se impune o prelucrare mecanică a acestora. Dacă este posibil acest lucru se realizează în mașini / ateliere specializate, iar dacă se impune din considerații de transport se pot apela mijloace mobile transportabile.

**Fig.6.3 Corectarea prin prelucrare mecanică a suprafeței de așezare.**



În egală măsură sunt determinante pentru montari corecte și deformațiile admisibile ale construcției portante (de sprijin) ca valori locale, excluzându-se încovoierile. Deformațiile care pot apărea la sarcină maximă, pot provoca treceri în trepte în căile de rulare cu suprasolicitări locale.

Astfel s-au stabilit și deformațiile maxime admise ale suprafețelor de sprijin la încărcare maximă, valorile fiind reprezentate în tabelul 6.2.

Tabelul 6.2.

Diametru cerc de rulare în mm $D_1$		Deformații axiale maxime în mm $V$
până la	1000	0,6
până la	1500	0,8
până la	2000	1,0
până la	2500	1,3
până la	3000	1,6
până la	3500	2,0
până la	4000	2,5
până la	4500	3,0
până la	5000	3,6
până la	5500	4,2
până la	6000	4,8
până la	7000	5,8
până la	8000	7,0

### 6.1.2. Compensarea calității suprafețelor de așezare

Revizuirea abaterilor mai mari decât cele admisibile de la planeitatea suprafețelor de așezare s-a prezentat anterior, din punct de vedere al soluției prin prelucrări mecanice.

Astăzi este însă posibilă montarea rulmenților utilizându-se soluții de compensare a calității suprafețelor de așezare, care însă nu pot depăși rugozitățile echivalente unui  $R_t 65$ , prin folosirea substanței LOCTITE-586.

Consumul teoretic pentru o grosime a depunerii de 0,1 mm este de 100 ml/m<sup>2</sup>. Se recomandă practic ca la aplicarea manuală să se ia în considerare o cantitate dublă sau triplă.

La montaj se vor avea în vedere următoarele:

- se curăță suprafețele de contact de ulei și de grăsime prin folosirea unei soluții de curățire.
- Suprafețele inactive (exemplu suprafețe galvanizate și stratificate, suprafețe din aluminiu, suprafețe nemetalice, etc.) trebuie tratate întâi cu Aktivator T747. Loctite-586 poate fi aplicate doar pe suprafețe neactivate.

La o activare pe ambele părți sau la aplicarea produsului Loctite peste Aktivator se poate ajunge la întăriri foarte rapide (uscarea în câteva minute)

- aplicarea soluției Loctite se face cu o pensulă dură
- centrările nu trebuie să ajungă în contact cu Loctite, pentru că la o demontare ulterioară poate aduce neplăceri. Acestea trebuie să fie unse cu un mijloc de separare, ex. ceară sau unsoare

- se strâng șuruburile de fixare. Loctite începe să se solidifice după două ore de la poziționarea rulmentului. În cazul în care în acest timp șuruburile nu sunt strânse bine este de ajuns o ușoară pretensionare manuală. Solidificarea finală este după 12 – 24 ore.

La demontare se vor avea în vedere următoarele:

- legăturile îmbinate prin Loctite pot fi supuse la presiune și la forfecare dar nu și la tracțiune. Separarea rulmentului de construcție nu poate provoca dificultăți.
- la folosirea soluției Loctite se vor prevedea deja la pregătirea constructivă găuri filetate pentru șuruburi de extragere. La rulmenții mai mari și mai grei și/sau la axe de orizontalizare sunt necesare șuruburi de extragere, mai ales în cazul unor spații de montaj înguste.
- pentru demontarea rulmentului se vor strânge șuruburile de distanțare până când rulmentul se va desprinde
- nu se admite ca rulmentul să fie suspendat sau ridicat înainte de a fi desprins
- curățirea suprafețelor înainte de remontare se va efectua cu o perie de sârmă

Montarea rulmenților se poate face și utilizând soluția LOCTITE-275, și anume:

- funcție de mărimea rulmentului, adică cu un timp de montare mai mic
- solidificarea finală va fi atinsă în acest timp la temperatura camerei în 3 – 6 ore
- calitățile și ipotezele de montare și prelucrare de la Loctite – 275 corespund celor de la Loctite – 586

Tot ca soluții de compensare a depășirii abaterilor admisibile de la planeitate se recomandă utilizarea turnării unor alte tipuri de rășini.

### 6.1.3. Asigurarea calității îmbinărilor demontabile

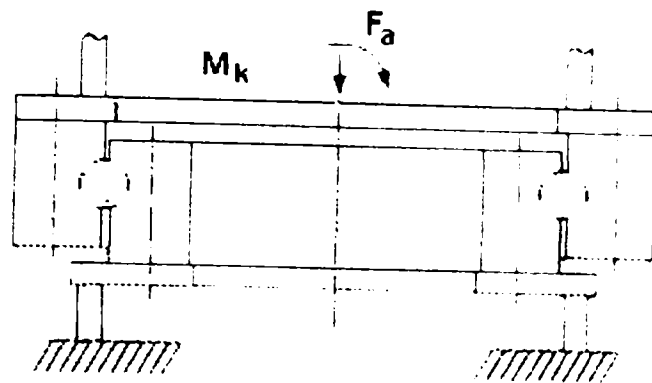
Șuruburile trebuie să fie corespunzător alese ca grupă de fabricație, jocuri și presiune specifică pe suprafața de strângere. Acest aspect trebuie să fie urmărit continuu în timp.

Curbele de sarcină limită din diagramele statice pentru șuruburi se referă la clasele de rezistență 10.9. Lungimea distanței dintre găuri trebuie să fie de min.  $5 \times d$ , iar valoarea pretensionării este de 70 % din limita de întindere.

Pentru verificarea șuruburilor se va aplica sarcina maximă, fără factori de sarcină specifici unei anumite aplicații și sunt valabile următoarele ipoteze:

- a) Sarcina axială  $F_a$  acționează vertical ca în poziția "așezată" (vezi fig.6.4), adică forța de acționare axială  $F_A$  nu încarcă șuruburile la tracțiune.
- b) Șuruburile sunt împărțite egal pe cercul de poziționare.
- c) Construcțiile portante îndeplinesc condițiile tehnice necesare.
- d) Rulmenții și construcțiile portante sunt din oțel.
- e) Nu s-a executat o remaniere cu rășină tumată.
- f) Lungimea arcului dintre găuri este de cel puțin  $5 \times d$  la rulmenți cu secțiune de inel plină și de minim  $3 \times d$  la inele profilate

g) Șurubul solicitat are cel puțin 6 spire de filet libere.



Poziție "așezată"

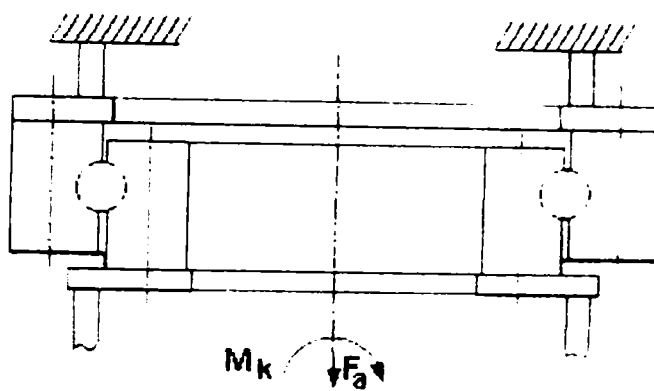


Fig.6.4

Poziție "suspendată"

#### 6.1.4. Temperatura de montare / funcționare

Temperaturile pot influența montarea și funcționarea, începând cu următoarele:

- calitatea (marca) metalelor și a elementelor metalice
- momentul de strângere al elementelor de îmbinare
- calitatea materialelor de ungere – gresare
- schemele de ungere – gresare
- mijloacele de etanșare

#### 6.1.5. Etanșarea corespunzătoare a rulmenților

Acest aspect este deosebit de important la un montaj corect al rulmenților, întrucât prin împiedicarea pătrunderii prafului, murdăriei și a altor agenți agresivi (vapori de acizi, apă sărată, etc.) se poate prelungi considerabil durata de viață a rulmenților.

Soluțiile constructive / tehnologice sunt:

- gulere de vaselină de "prea-plin"
- elemente de etanșare din cauciuc / material plastic rezistente la ulei
- labirinturi cu garnituri
- soluții speciale.

Soluțiile se corelează cu fiecare utilaj și mediu de funcționare în parte astfel încât efectuarea ungerii să conducă la coroziuni minime

Astfel la rulmenții macaralelor plutitoare sau de bord (în mediu marin), se folosesc garnituri speciale (vezi fig.6.5), chiar dacă acestea conduc la modificări constructive ale rulmentului (înălțime crescută, angrenare interioară inele distanțiere).



Fig.6.5 Model de etanșare special

O imagine a complexității, a gigantismului și condițiilor de lucru la demontarea unui rulment greu se prezintă în foto 6.1 și 6.2



Foto 6.1

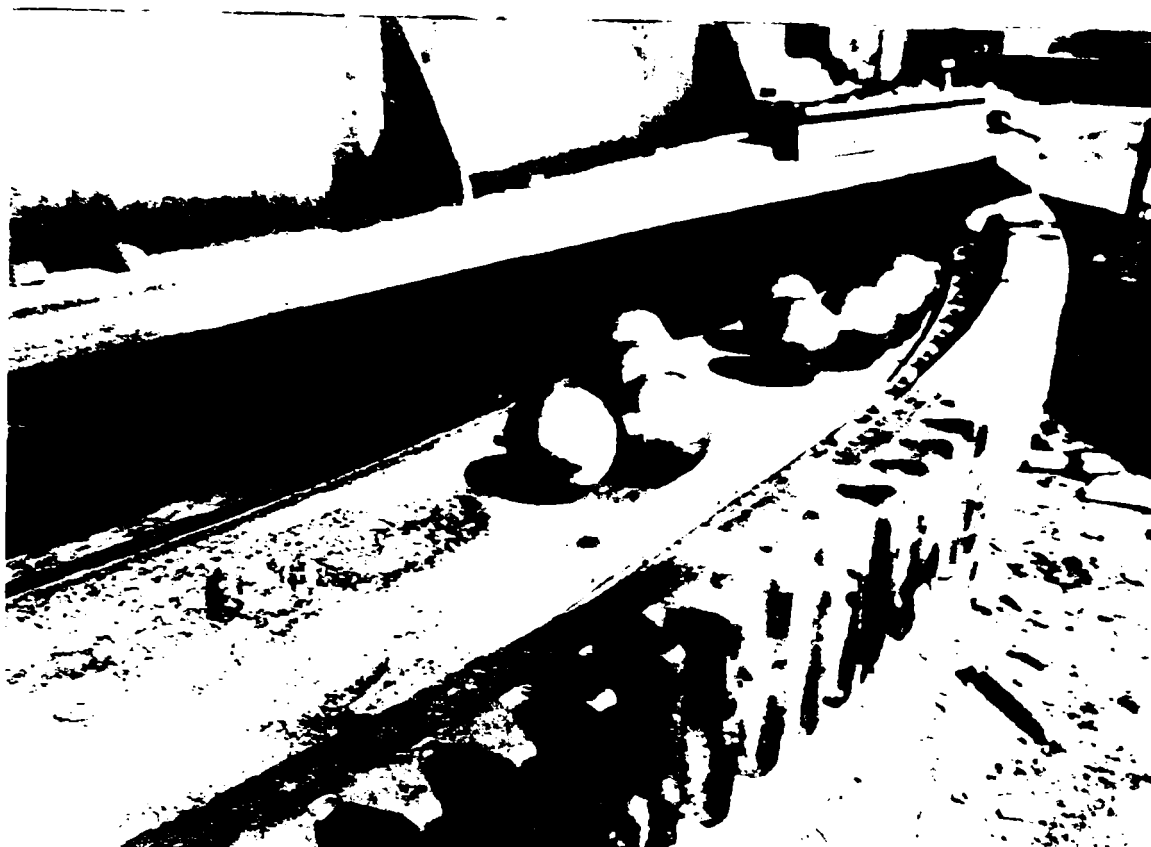


Foto 6.2

## 6.2. Considerații generale privind tehnologia de cântărire – echilibrare a utilajelor

Având în vedere structura foarte complexă a utilajelor grele tip excavator și faptul că starea generală, dar mai ales solicitările din rulment sunt influențate de “echilibrarea” suprastructurii (operațiune ce se execută prin “cântărirea” acesteia în vederea determinării contragreutăților din cutia de lest) operațiunea de cântărire este obligatorie la punerea în funcțiune a excavatorului.

Orice abatere de echilibru favorizează apariția trepidațiilor, balansului și vibrațiilor în structura portantă. O consecință a funcționării excavatorului în condițiile descrise mai sus este fisurarea structurii portante, distrugerea mecanismului de rotire, respectiv rulment și coroană dințată. Pentru a se evita aceste neajunsuri majore sunt necesare o serie de acțiuni în vederea efectuării cântării suprastructurii, și anume:

### 6.2.1. Lucrări preliminare

1. Se plasează excavatorul pe un teren orizontal și suficient de rezistent pentru a nu se produce tasări de teren sub șenile.

1. Se plasează excavatorul pe un teren orizontal și suficient de rezistent pentru a nu se produce tasări de teren sub șenile.

2. Se va verifica existența unor contragreutăți de 219 t în cutia de lest a excavatorului și de 14 t în cutia de lest a macaralei de montaj, conform proceselor verbale pentru "lucrări ascunse".

Partea rotitoare trebuie să fie complet echipată și fără depuneri pe utilaj (cărbune sau steril la roata cu cupe și pe traseele benzilor).

3. Se rotește construcția metalică portantă superioară, astfel încât punctele de aplicare a preselor, marcate constructiv pe suprafața platformei rotitoare, să ajungă în dreptul punctelor marcate pe platforma inferioară (vezi figura 6.6 ).

Observații la figura 6.6 (montaj articulație sferică):

*Valori de montaj și curse active:*

închis pe suport:	max. 725 mm
deschis pe suport:	min. 800 mm
cursa:	75 mm

4. Macaraua de montaj de pe brațul de echilibrare se va deplasa spre cutia de lest a excavatorului și se va asigura în această poziție.

5. Brațul roții port-cupe se coboară astfel încât perimetrul cercului de tăiere (muchia exterioară a dinților) să fie la cca 0,5 m deasupra nivelului solului.

6. Se verifică asigurarea frânelor de la mecanismul de rotire (2 frâne) pentru a se evita tendința de rotire în timpul ridicării.

7. Utilajul se decuplează de sub tensiune.

8. Se demontează suportii cu perii de pe inelele colectoare de 6 kV din platforma rotitoare.

9. Se vor introduce din lateral bucăți de lemn între ghearele dispozitivului de siguranță la răsturnare și platforma rotitoare (vezi figura 6.7), pentru a împiedica deplasarea laterală în timpul ridicării.

Lemnul nu are voie să producă o împănare între suprafețe.

10. Se va verifica dacă există jocul de 20 mm între plăcile cârligelor și platformă, la nevoie se vor demonta plăcile care ar putea împiedica ridicarea liberă (vezi figura 6.7).

11. Se va verifica dacă există jocul de 38 mm între inelul exterior al platformei și suportul de deasupra. Se va ține cont de jocul existent la cursa de ridicare a părții rotitoare (structură portantă vezi figura 6.7)

De asemenea se verifică jocul de 25 mm. Se demontează piesele de prindere.



a) În punctul A (vezi figura 6.6) se montează o pereche de prese de 250t. Presele trebuie să aibă sisteme de asigurare pentru menținerea în poziția ridicată (blocată) în situația pierderilor de ulei.

b) În punctul B se vor utiliza 2 prese de 250 t.

c) În punctul C se vor utiliza tot 2 prese de 250 t. Toate presele trebuie să fie asigurate în poziția ridicată.

d) Pentru prevenirea erorilor de măsurare, toate manometrele montate pe pompe cât și cele de rezervă se vor etalona înainte de măsurare și se vor sigila.

13. Între prese și partea rotitoare se intercalează traductoare de forță etalonate și verificate metrologic, prevăzute cu suporturi sferici pentru evitarea eventualelor erori de măsurare din cauza neparalelismului între suprafețele pe care acționează presele.

14. Se verifică îndeplinirea condiției de cursă. Suportii suplimentari ce se pun la prese din motive de spațiu, vor avea obligatoriu suprafețe plane și paralele.

15. Se montează traductorul de orizontalitate - opțional. Dacă nu se folosește traductor, orizontalitatea se verifică cu o nivelă cu bulă de aer având o lungime suficient de mare.

16. Se montează în fiecare punct de măsurare (A, B și C) un traductor de deplasare.

17. Se instalează sisteme electrice de alimentare, comandă și citire.

18. Se aerisesc camerele de lucru și racordurile din instalație.

### 6.2.2. Efectuarea măsurătorii

În timpul măsurătorii se admit doar adieri ușoare ale vântului.

Se comandă automat poziționarea platformei. Pompele se vor acționa simultan, astfel ca presiunea să apară la toate manometrele în același timp. Se stopează comenzile și se acordă un timp de relaxare, necesar pentru stabilizarea sistemului, adică dacă la o pompă presiunea apare mai devreme, se va opri pomparea la ea până apare presiunea sincronă la toate presele.

Din acest moment se va urmări ca ridicarea să fie uniformă pe înălțime pe toată circumferința, să nu apară împănări la lemnele laterale și să nu dispară spațiile libere, necesare cursei de ridicare (platforma rotitoare față de cârlige și suportul superior).

libere, necesare cursei de ridicare (platforma rotitoare față de cârlige și suportul superior).

Se va verifica dacă frânele de rotire au rămas strânse și pinionul de atac a rămas în contact pe o lungime de cel puțin 30 mm cu coroana dintată de pe șasiu.

Se vor efectua mai multe ridicări, fiecare urmată de coborâre scurtă pentru a se verifica influența frecării interioare. Diferența între ridicare și coborâre nu are voie să depășească 15 % din valoarea citită. În caz contrar trebuie înlocuite presele. Se vor face cel puțin 6 cântăriri succesive pentru verificare. Când presiunea după mai multe citiri se stabilizează, se consideră măsurătoarea corectă.

Pentru o verificare suplimentară, se pot înlocui succesiv presele între ele.

După determinarea citirilor se coboară partea rotitoare prin descărcarea hidraulică a preselor sub controlul orizontalității suprastructurii.

### 6.2.3. Calcul teoretic de echilibrare a suprastructurii:

Mărimea încărcărilor se notează cu A, B și C, corespunzător cu valorile măsurate în punctele A, B și C conform figurii 6.6 .

a) Se efectuează următoarele calcule:

$$G = A + B + C \quad (\text{t})$$

$$x = \frac{A \times 5,619}{G} - 1,873 \quad (\text{m}), \text{ A în tone}$$

$$\Delta M = G \times x \quad (\text{tm})$$

$$\Delta G = \frac{765 - \Delta M}{24,4} \quad (\text{t})$$

x și  $\Delta M$  pot fi cu semnul "+" sau "-", în formule se vor introduce cu aceste semne.

Metoda este valabilă pentru  $\Delta G$  în intervalul +15t la -25t, adică  $-25t \leq \Delta G \leq +15t$ .  
 Dacă  $\Delta G > 0$ , se adaugă valoarea la lestul existent.

$\Delta G < 0$ , se scade valoarea din lestul existent.

b) Dacă  $\Delta G > +15t$ , se efectuează următoarele calcule:

$$\Delta M_1 = G \cdot (x + 4,13) \quad (\text{tm})$$

$$\Delta G_1 = \frac{4276}{28.63} \text{ (t)}$$

x și G se calculează ca în cazul a), interpretarea semnului lui  $\Delta G_1$  este aceeași.

Metoda este valabilă pentru  $\Delta G_1 \leq +25t$ .

c) În cazul  $\Delta G_1 > +25t$  și  $\Delta G < -25t$  este necesară consultarea unui institut de specialitate.

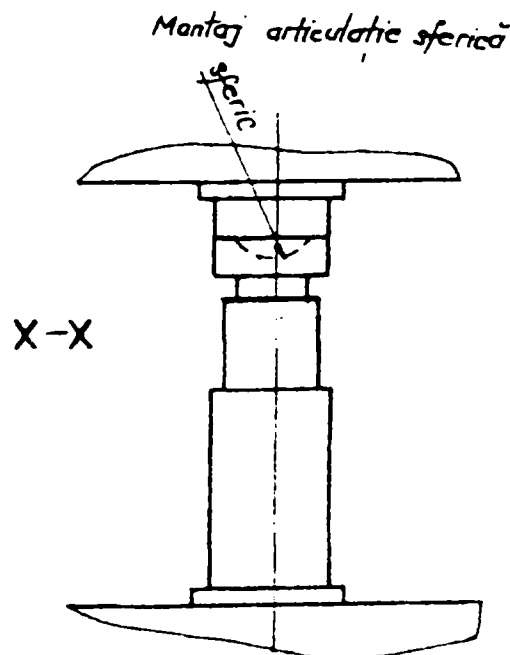
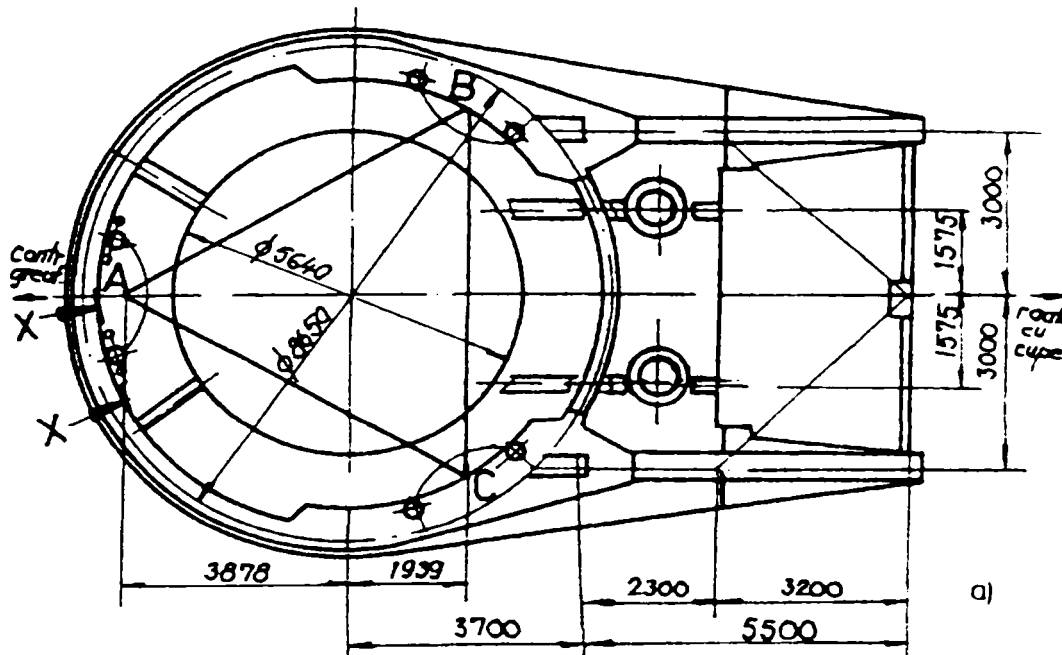


Figura 6.6

Puncte și mijloace de măsurare

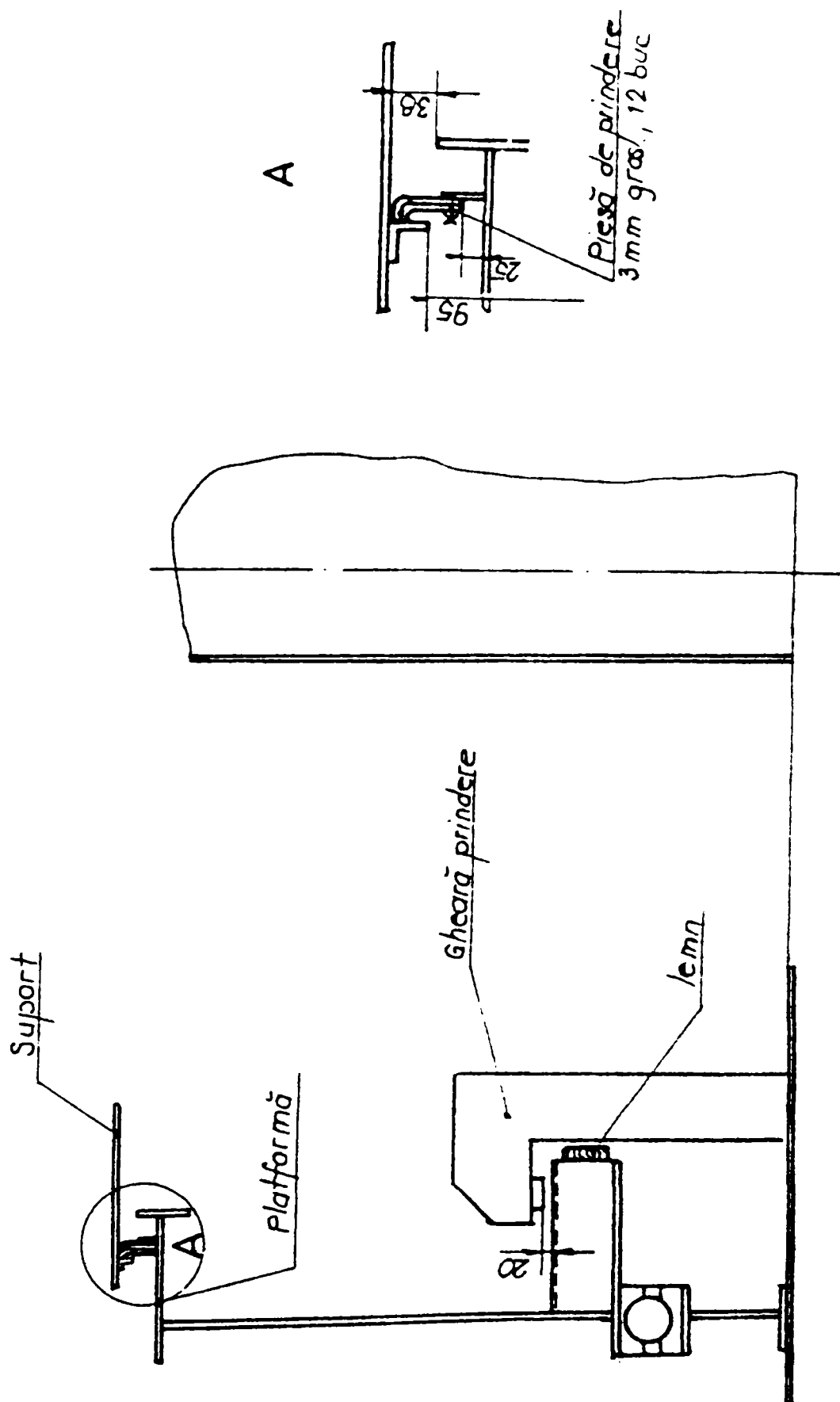


Figura 6.7  
Schema de montaj și verificare



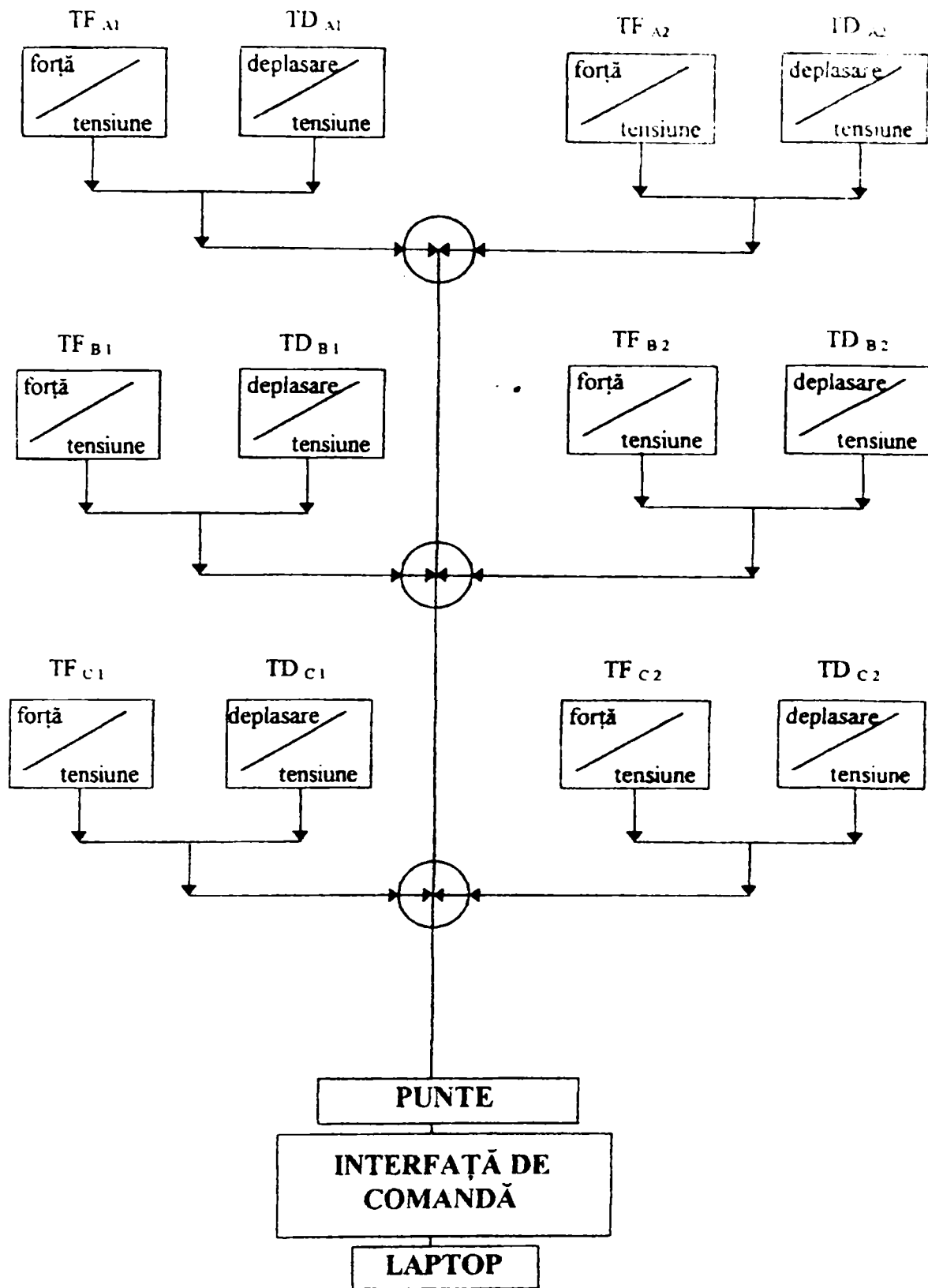


Figura 6.9 . Schema bloc a instalației hidraulice propuse pentru viitor  
 ( opțional – traductor de orizontalitate )

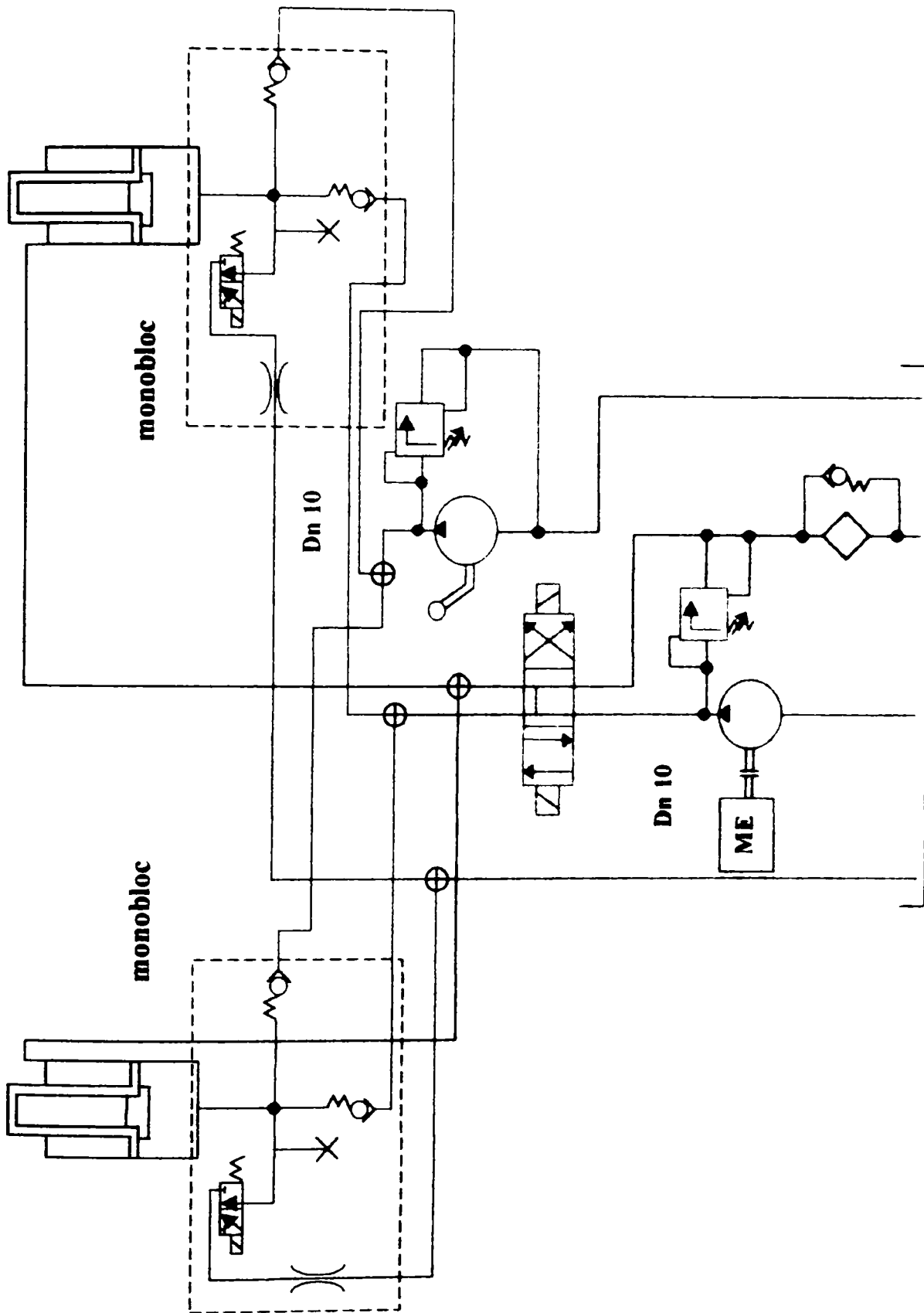


Figura 6.10. Schema instalației hidraulice pentru viltor

#### 6.2.4. Compararea succintă a celor două variante de instalații hidraulice de cântărire - echilibrare

După cum rezultă mai sus, pentru cântărirea – echilibrarea excavatorului, ca o condiție esențială de montaj, punere în funcție și funcționare corectă a componentelor principale – ( mai ales a rulmentului) se prezintă 2 scheme hidraulice, și anume:

##### A. Varianta inițială, utilizată până în prezent (vezi fig.6.8)

*Componenta instalației:*

- 3 x 2 cricuri hidraulice de 200 tf, acționate cu pompă manuală
- piese intermediare de blocare și montare
- manometre de presiune

##### B. Varianta propusă pentru viitor (vezi fig.6.9 și 6.10)

*Componenta instalației:*

- 3 x 2 cricuri hidraulice de 250 tf, acționate cu pompă electrică
- instalație de acționare complexă
- 6 traductoare de forță (anexă)
- 6 traductoare de deplasare (anexă)
- 1 traductor de orizontalitate
- 1 traductor de verticalitate
- calculator pentru achiziția și prelucrarea datelor

Descrierea instalației:

- Cele două *cricuri hidraulice* sunt alimentate de către *pompa volumică*, antrenată de un motor electric, pe durata parcurgerii unei curse de cca 300 mm, iar pentru poziționarea cu precizie a tijei pe o distanță de până la 50 mm, se utilizează *pompa manuală*.
- După orificiile de refulare ale celor două pompe s-au montat două *supape de siguranță* pentru reglarea presiunii maxime și deversarea excedentelor de debit.
- *Filtrul de ulei*, montat pe circuitul de retur, are rolul de eliminare a impurităților din uleiul care revine în rezervor. În paralel cu filtrul este o *supapă de ocolire*, care la colmatarea filtrului și creșterea implicită a căderii de presiune, se deschide pentru a evita deteriorarea filtrului.
- *Distribuitorul* din circuit este un distribuitor cu centrul deschis, cu 4 circuite și 3 poziții de lucru, acționat electromagnetic. Scopul lui este de a dirija discret lichidul de lucru de la pompă la cricuri și de a permite evacuarea acestuia spre rezervor, după realizarea sarcinii de lucru.
- Cele două pompe lucrează în paralel, deci s-a impus folosirea celor două *supape de sens unic* pe refulare, care permit trecerea liberă a lichidului de lucru într-un sens de curgere (cel liber) cu o pierdere minimă de presiune și închid trecerea acestuia în celălalt sens (cel restrictiv), cu o pierdere minimă de debit.



- *Droselele* au rolul de a asigura o descărcare frânată a cricurilor. *Distribuitoarele normal închise 3/2*, legate în paralel cu droselele, permit ca urmare a unei comenzi electrice, o descărcare rapidă a cricurilor.

### C. Analiza comparativă

AVANTAJE	
Varianta inițială	Varianta propusă
<ul style="list-style-type: none"> <li>- simplitatea aparaturii</li> <li>- personal mediu calificat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- achiziția și interpretarea datelor prin calculator</li> <li>- alimentarea cricurilor în tandem</li> <li>- eliminarea efortului uman prin introducerea acționării electrice</li> <li>- eliminarea erorilor de citire prin citire automată</li> <li>- poziționarea structurii în plan vertical și orizontal cu abateri de 1/1000</li> <li>- posibilitatea efectuării unor corecții</li> <li>- abateri la măsurători <math>\pm 2\%</math></li> <li>- sistem unitar de cântărire - echilibrare, utilizabil la diverse utilaje</li> </ul>

DEZAVANTAJE	
Varianta inițială	Varianta propusă
<ul style="list-style-type: none"> <li>- subiectivitate prin citirea valorilor la manometru de către operator</li> <li>- pierderi hidraulice considerabile</li> <li>- valorile citite sunt influențate de abaterile dimensionale ale cricurilor</li> <li>- abateri mari la poziționarea în plan vertical și orizontal a suprastructurii</li> <li>- abateri la măsurători <math>\pm 10\%</math></li> <li>- acționare manuală, efort fizic mare</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- valoarea investiției este mai mare</li> <li>- complexitatea sistemului reclamă personal specializat</li> </ul>

### CAP.6.3. ANALIZA SOLICITĂRILOR DIN RULMENȚII GREI FOLOSIȚI LA UTILAJELE GRELE DE TIP EXCAVATOR CU ROTOR

#### 6.3.1. DETERMINAREA EFORTURILOR – STĂRILOR DE SOLICITARE DIN RULMENTUL DE SPRIJIN ȘI ROTIRE.

Se definesc următoarele tipuri de sarcini teoretice cu caracter permanent, excepționale și limită

a.) *Sarcini principale h* (toate sarcinile cu caracter permanent):

- sarcini permanente care provin din greutatea construcției și leștului;
- sarcina utilă (capacitatea cupei + volumul și numărul cel mai mare de goliri):
  - greutatea materialului în cupe;
  - sarcinile pe bandă;
- murdărirea:
  - pe roata cu cupe;
  - pe bandă;
- forțele de întindere în covor (numai pentru calculul elementelor locale);
- forțele rezultate din înclinare;
- forța normală de tăiere periferică tangențială;
- forța normală de tăiere periferică laterală.

b.) *Sarcini suplimentare z* (sarcini care nu au caracter permanent, cum ar fi: forța vântului; forțe de tăiere și forțe laterale mărite, aplicate la rotor; forțe de acționare a șenilelor):

- sarcini datorate vântului;
- încărcări prin zăpadă;
- sarcini pe scări, podeste, pasarele (numai la dimensionarea locală);
- forțe de tăiere periferice tangențiale deosebite;
- forțe de tăiere periferice laterale deosebite;
- rezemarea roții cu cupe pe sol.

c.) *Sarcini deosebite – excepționale s* (sarcini care nu ar trebuie să apară în cazul funcționării normale a utilajului):

- înfundarea buncărelor;
- sprijinirea pe sol a elindei.
- oscilații și vibrații ca urmare a utilizării necorespunzătoare a utilajelor.

d.) *Sarcini limită - accidentale g* (sarcini care apar la cedarea unei instalații de siguranță sau la greșeli grave ale excavatoristului) forțe limită laterale, care rezultă din:

- valoarea la care decuplează cuplajul de siguranță la rotirea brațului în frontul de lucru;
- energia cinetică a leștului dacă drumul de frânare al roții cu cupe este de 30 cm și decelerația este constantă;
- lovirea laterală a roții în frontul de lucru.

### 6.3.2.DETERMINAREA CENTRELOR DE GREUTATE TEORETICE ȘI A CONTRAGREUTĂȚII NECESARE PENTRU DETERMINAREA EFORTURILOR – ÎNCĂRCĂRILOR DIN RULMENTUL DE SPRIJIN ȘI ROTIRE LA EXCAVATORUL ERC 1400 - 30/7

Pentru determinarea eforturilor la nivelul rulmentului mecanismului de rotire se ia în considerare un sistem de axe xOyz cu originea în centrul de rotire al platformei:

- axa x are direcția elindei și este orientată spre roata cu cupe,
- axa y este perpendiculară pe direcția elindei,
- axa z este axa de pivotare a suprastructurii excavatorului și este orientată în sus.

Centrul de greutate al suprastructurii pivotante inclusiv lest, fără material pe benzi și fără murdărie, cu roata cu cupe coborâtă la 0,5m de sol, cu macaraua de intervenție în spate (spre lest), pe un teren orizontal, are coordonatele:

$$x = - 0,91 \text{ m (deci deplasat spre lest)}$$

$$y = 0 \text{ (considerat astfel de către firma KRUPP, deși în realitate } y = 0,11 \text{ m).}$$

Pentru condițiile de calcul de mai jos, s-au obținut coordonatele centrului de greutate din tabel:

- a.) utilaj gol, fără murdărie, înclinare longitudinală 1:20,8 spre lest și brațul roții cu cupe în poziția "sus";
- b.) utilaj încărcat, funcționare în condiții normale, cu murdărie, înclinare longitudinală 1:20,8 spre roata cu cupe și brațul roții în poziție orizontală;
- c.) utilaj încărcat, în funcțiune, forțe de tăiere deosebite, cu murdărie, înclinare longitudinală 1:20,8 spre roata cu cupe, vânt de 25 kg / m<sup>2</sup> spre roata cu cupe și brațul roții cu cupe în poziție orizontală;
- d.) utilaj încărcat, în funcțiune, forțe de tăiere deosebite, înclinare transversală 1:20,8 și vânt transversal de 28 kg / m<sup>2</sup> și brațul roții cu cupe în poziție orizontală;
- e.) utilaj în staționare, cu murdărie, înclinare longitudinală 1:20,8 spre balast, vânt longitudinal de 80 kg / m<sup>2</sup> spre balast și brațul roții cu cupe în poziția "sus";
- f.) utilaj în staționare, cu murdărie, vânt de 80 kg / m<sup>2</sup>, înclinare transversală 1:20,8 și brațul roții cu cupe în poziția "sus";
- g.) utilaj în staționare, cu murdărie, vânt de 80 kg / m<sup>2</sup>, înclinare transversală 1:20,8 și brațul roții cu cupe în poziție orizontală;
- h.) utilaj în funcțiune, cu murdărie, forțe de tăiere normale, buncărul roții cu cupe înfundat, vânt de 25 kg / m<sup>2</sup>, înclinare longitudinală 1:20,8 spre rotor și brațul roții cu cupe în poziție orizontală;
- i.) utilaj în staționare, roata cu cupe rezemată pe sol, vânt de 28 kg / m<sup>2</sup>, înclinare longitudinală 1:20,8 spre balast și brațul roții cu cupe în poziția "sus";

j.) utilaj în staționare, roata cu cupe rezemată pe sol, vânt de 25 kg / m<sup>2</sup>, înclinare transversală 1:20,8 spre lest și brațul roții cu cupe în poziția "sus";

k.) utilaj în funcțiune, cu murdărie, forțe de tăiere normale, vânt de 25 kg / m<sup>2</sup>, înclinare transversală 1:20,8, lovirea laterală a elindei de front în timpul marșului și brațul roții cu cupe în poziția orizontală;

l.) utilaj în funcțiune, cu murdărie, forțe de tăiere normale, vânt de 28 kg / m<sup>2</sup>, înclinare transversală 1:20,8, lovirea laterală a elindei de front în timpul marșului și brațul roții cu cupe în poziția orizontală;

TABELUL 6.3.

CAZUL	X [M]	Y [M]	EXCENTRICITATE E [M]	IPOTEZĂ DE ÎNCĂRCARE
0	1	2	3	4
A	- 2,12	0	2,12	H
B	+ 1,96	+ 0,043	1,96	H
C	+ 2,71	+ 0,06	2,71	HZ
D	+ 1,94	+ 0,91	2,14	HZ
E	- 2,43	0	2,43	HZ
F	- 0,90	+ 1,92	2,12	HZ
G	- 0,26	+ 1,26	1,29	HZ
H	+ 2,82	+ 0,043	2,82	HZS
I.	- 3,82	0	3,82	HZG
J	- 4,05	0	4,05	HZG
K	+ 1,35	+ 0,99	1,67	HZG
L	+ 0,46	+ 1,40	1,47	HZG

DETERMINAREA CANTITĂȚII DE LEST (EXCAVATOR VECHI)

TABELUL 6.4.

Construcția metalică [t]	MECANISME [T]	INSTAL.ELECTRI CĂ [T]	DIVERSE [T]	ΣG [T]
0	1	2	3	4
ELINDA				
97.51	121.72	14.18	11.02	244.43
BRAȚUL CONTRAGREUTĂȚII / TURN				
143.58	36.48	24.04	6.12	210.22
STĂLP				
21.15	8.19	0.50	0.90	30.74
MACARA 10 T				
13.23	2.09	3.94	14.21	33.47
PLATFORMA				
70.16	39.15	0.73	3.30	113.34

Cazul a) – elinda în poziție orizontală, plină; Cazul b) – elinda în poziție jos, goală, cu murdărie

Tabelul 6.5

Cazul	G [t]	x [m]	M [tm]
0	1	2	3
<b>Cazul a)</b>			
Elinda	244.33	+26.78	+6543.15
Brațul contragreutății / turn	210.22	-9.06	-1904.59
Stâlp	30.74	+15.63	+480.47
Macara 10 t	33.47	-19.56	-654.67
Platforma	113.34	+2.10	+238.01
$\Sigma 1$	632.10		
Încărcătură utilă banda 1	22.00	+20.30	+446.60
Murdărie banda 1	2.20	+20.30	+44.66
Murdărie roată + material în cupe (50%)	7.50	+37.05	+277.87
Rezistența la săpare - normală	18.00	+42.80	+770.40
$\Sigma 2$	49.70		
$\Sigma = \Sigma 1 + \Sigma 2$	681.80		6241.90
<b>Cazul b)</b>			
Elinda	244.33	+24.68	+6030.06
Brațul contragreutății / turn	210.22	-9.06	-1904.59
Stâlp	30.74	+15.63	+480.47
Macara 10 t	33.47	-19.56	-654.67
Platforma	113.34	+2.10	+238.01
$\Sigma 1$	632.10		
Murdărie banda 1	2.20	+18.90	+41.58
Murdărie roată + material în cupe (50%)	7.50	+33.75	+253.13
$\Sigma 2$	9.70		
$\Sigma = \Sigma 1 + \Sigma 2$	641.80		4483.99

Distanță centru de greutate lest - centrul de rotire al excavatorului:  $a = 24.4$

$$B = (6241.90 + 4483.99) / 2 \cdot 24.4 = 219.79t$$

$$B = 219t$$

DETERMINAREA CANTITĂȚII DE LEST (EXCAVATOR NOU)

TABELUL 6.6.

Construcția metalică [t]	Mecansime [t]	Instal. electrică [t]	Diverse [t]	$\Sigma G$ [t]
0	1	2	3	4
<b>ELINDA</b>				
107.198	116.273	14.18	11.02	248.671
<b>BRAȚUL CONTRAGREUTĂȚII / TURN</b>				
143.58	36.48	24.04	6.12	210.22
<b>STÂLP</b>				
21.15	8.19	0.50	0.90	30.74
<b>MACARA 10 T</b>				
13.23	2.09	3.94	14.21	33.47
<b>PLATFORMA</b>				
70.16	39.15	0.73	3.30	113.34

Cazul a) – elinda în poziție orizontală, plină; Cazul b) – elinda în poziție jos, goală, cu murdărie

TABELUL 6.7.

Cazul	G [t]	x [m]	M [tm]
0	1	2	3
<b>Cazul a)</b>			
Elinda	248.671	+26.78	+6659.40
Brațul contragreutății / turn	210.22	-9.06	-1904.59
Stâlp	30.74	+15.63	+480.47
Macara 10 t	33.47	-19.56	-654.67
Platforma	113.34	+2.10	+238.01
$\Sigma 1$	636.441		
Încărcătură utilă banda 1	22.00	+20.30	+446.60
Murdărie banda 1	2.20	+20.30	+44.66
Murdărie roată + material în cupe (50%)	7.50	+37.05	+277.87
Rezistența la săpare - normală	18.00	+42.80	+770.40
$\Sigma 2$	49.70		
$\Sigma = \Sigma 1 + \Sigma 2$	686.141		6358.15
<b>Cazul b)</b>			
Elinda	248.671	+24.68	+6137.20
Brațul contragreutății / turn	210.22	-9.06	-1904.59
Stâlp	30.74	+15.63	+480.47
Macara 10 t	33.47	-19.56	-654.67
Platforma	113.34	+2.10	+238.01

Continuarea tabelului 6.7

0	1	2	3
$\Sigma 1$	636.441		
Murdărie banda 1	2.20	+18.90	+41.58
Murdărie roată + material în cupe (50%)	7.50	+33.75	+253.13
$\Sigma 2$	9.70		
$\Sigma = \Sigma 1 + \Sigma 2$	646.141		4591.13

Distanță centru de greutate lest - centrul de rotire al excavatorului:  $a = 24.4$

$b = (6358.15 + 4591.13) / 2 \cdot 24.4 = 224.37 \text{ t}$

$b = 224.37$

DETERMINARE GREUTĂȚI (EXCAVATOR VECHI)

Tabelul 6.8.

Nr.crt.	Denumire	Constr.met.	Mecanisme	Instal.electr.	Diverse	ΣG (t)	x (m)	G·x (tm)
0	1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Perete posterior 16-19	2.96					32.9	97.38
2.	Perete intermediar 37-46	2.74					31.4	86.04
3.	Support mecanism roată	4.27					30.0	128.1
4.	Contravântuire inf. 16-19	0.96					31.8	30.53
5.	Cadru transv.+reazem ap.in.	1.23					37.7	46.37
6.	Grindă sup.roie+drv.16-46	1.37					34.0	46.58
7.	Perete protecție 16-16'	0.79					28.0	22.91
8.	Protecție mecanism roată	3.08					34.7	106.18
9.	Apărătoare roată cu cupe	2.72					33.6	91.39
10.	Apărătoare longitudinală	1.22					34.1	41.6
11.	Apărătoare transversală	0.67					37.5	25.13
12.	Ap.inelară dreapta	3.87					38.7	149.77
13.	Ap.inelară stânga	3.24					32.2	104.33
14.	Ap.inelară mijloc	0.65					35.6	23.14
15.	Podest perete lateral posterior	0.33					31.5	10.4
16.	Podest acces roată cu cupe	0.					32.1	16.05
17.	Plasă protecție	0.21					31.5	6.62
18.	Elinda O-3	11.00					4.9	53.9

E L I N D A



Continuarea tabelului 6.8.

0	1	2	3	4	5	6	7	8
19.	Elinda 3-5	2.03					16.8	34.1
20.	Elinda 5-7 (A)	3.20					26.2	83.84
23.	Contravântuire sup. 1-7	4.30					16.5	70.95
24.	Contravântuire inf. 0-16	4.37					16.5	72.11
25.	Grindă pendulară	2.16					24.7	53.35
26.	Grindă triunghiulară	1.33					16.0	21.28
27.	Scară basculantă	1.50					15.2	22.8
	Total parțial	66.33						1550.33
28.	Podeste + scări	1.95					22.3	43.49
29.	Podest (A)	1.85					16.4	30.34
30.	Podest (B)	2.10					19.6	41.16
31.	Grătar	1.05					16.0	16.8
32.	Cap susținere rolă	5.75					28.8	165.6
33.	Placă transversală 7-16	2.67					28.8	76.9
34.	Elinda 3'-5'	2.14					16.5	35.31
35.	Podest	0.36					-2.2	-0.79
36.	Bară verticală	1.56					26.3	41.03
37.	Schelet susținere bandă 0-14	6.50					9.0	58.5
38.	Schelet susținere bandă 14-16	4.05					25.1	101.66
39.	Cabină comandă	1.20					25.2	30.24
	<b>TOTAL CONSTR.MET.</b>	<b>97.51</b>						
40.	Bandă 1 Tambur act.		3.52				0	0.0
41.	Tambur schimb.dir. + tens.		6.21				30.6	190.03
42.	Tambur schimb.sens		1.33				15.5	20.62
43.	Răzuitoare		0.14				15.5	2.17
44.	Red.melcat		0.23				21.8	5.01
45.	Accesorii		1.05				18.8	19.74
46.	Roată dintată conică		5.32				-1.2	-6.38

E L I N D A

Continuarea tabelului 6.9.

0	1	2	3	4	5	6	7	8
47.	Suport + cuplaj + frână		2.32				-1.8	-4.18
48.	Role tampon		4.40				34.7	152.68
49.	Role		4.32				15.8	68.26
50.	Role inf.		0.88				17.4	15.31
51.	Reazem perete		0.07				-2.7	-0.19
52.	Banda 1.1 Tambur acționare		0.65				1.7	1.11
53.	Tambur schimb. sens		0.57				17.7	10.09
54.	Tambur tens.		0.10				17.7	1.77
55.	Red. melcat		0.15				17.9	2.69
	Total parțial		31.26					478.73
56.	Suport + cuplaj		0.12				19.8	2.38
57.	Role + răzuitoare		1.46				9.7	14.16
58.	Blocare cabină		0.15				20.6	3.09
59.	Troliu		0.67				25.4	17.02
60.	Role cablu		1.81				28.8	52.13
61.	Cabluri		1.61				25.7	41.38
62.	Corpul roții cu cupe		25.17				35.5	893.54
63.	Cupe		6.51				35.5	231.11
64.	Cuște pretăietoare		4.28				35.5	151.94
65.	Arbore roată cupe + lagăre		10.73				35.3	378.77
66.	Reductor roată cu cupe		34.80				34.6	1204.08
67.	Arbore cardanic		0.40				29.4	11.76
68.	Reductor aux.		1.71				27.8	47.54
69.	Suport motor		1.04				27.1	28.18
	<b>TOTAL MECANISME</b>		<b>121.72</b>					
70.	Acționare roată cu cupe			5.10			25.6	130.56
71.	Pompă act. roată cu cupe			0.07			33.9	2.37

E L I N D A



DETERMINARE GREUTĂȚI (EXCAVATOR NOU)

Tabelul 6.9.

Nr.crt.	Denumire	Constr.met.	Mecanisme	Instal.electr.	Diverse	$\Sigma G$ (t)	x (m)	G.x (tm)
0	1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Perete posterior 16-19	2.960					32.9	97.384
2.	Perete intermediar 37-45	2.820					31.4	88.548
3.	Suport mecanism roată	11.560					30.0	346.8
4.	Contravântuire inf. 16-19	1.050					31.8	33.39
5.	Cadru transv.+reazem ap.in.	1.273					37.7	47.992
6.	Grindă sup.role+ctrv.16-46	1.414					34.0	48.076
7.	Perete protecție 16-16'	0.792					29.0	22.968
8.	Protecție mecanism roată	4.945					34.7	171.592
9.	Apărătoare roată cu cupe	2.909					33.6	97.742
10.	Apărătoare longitudinală	1.263					34.1	43.068
11.	Apărătoare transversală	0.930					37.5	34.875
12.	Ap.inelară dreapta	3.480					38.7	134.676
13.	Ap.inelară stânga	3.150					32.2	101.43
14.	Ap.inelară mijloc	0.262					35.6	9.327
15.	Podest perete lateral posterior	0.328					31.5	10.332
16.	Podest acces roată cu cupe	1.100					32.1	35.31
17.	Plasă protecție	0.157					31.5	4.946
18.	Elinda 0-3	11.000					4.9	53.9
19.	Elinda 3-5	2.030					16.8	34.104

Continuarea tabelului 6.9.

0	1	2	3	4	5	6	7	8
20.	Elinda 5-7 (A)	3.200					26.2	83.84
21.	Elinda 5-7 (B)	3.820					25.6	97.792
22.	Placă transversală 1-10	1.830					4.2	7.686
23.	Contravântuire sup. 1-7	4.300					16.5	70.95
24.	Contravântuire inf. 0-16	4.370					16.5	72.105
25.	Grindă pendulară	2.160					24.7	53.352
26.	Grindă triunghiulară	1.330					16.0	21.28
27.	Scară basculantă	1.500					15.2	22.8
	Total parțial	75.933						1846.265
28.	Podeste + scări	1.950					22.3	43.485
29.	Podest (A)	1.850					16.4	30.34
30.	Podest (B)	2.100					19.6	41.16
31.	Grătar	1.050					16.0	16.8
32.	Cap susținere rolă	5.750					28.8	165.6
33.	Placă transversală 7-16	2.670					28.8	76.896
34.	Elinda 3'-5'	2.140					16.5	35.31
35.	Podest	0.360					-2.2	-0.792
36.	Bară verticală	1.650					26.3	43.395
37.	Schelet susținere bandă 0-14	6.500					9.0	58.5
38.	Schelet susținere bandă 14-16	3.601					25.1	90.385
39.	Cabină comandă	1.644					25.2	41.429
	<b>TOTAL CONSTR.MET.</b>	107.198						
40.	Banda 1 Tambur act.		3.520				0	0.0
41.	Tambur schimb.dir. + tens.		6.210				30.6	190.026
42.	Tambur schimb.sens		1.330				15.5	20.615
43.	Răzuitoare		0.140				15.5	2.17

Continuarea tabelului 6.9.

0	1	2	3	4	5	6	7	8
44.	Red.melcat		0.230				21.8	5.014
45.	Accesorii		1.050				18.8	19.74
46.	Roată dîntată conică		5.320				-1.2	-6.384
47.	Suport + cuplaj + frână		2.320				-1.8	-4.176
48.	Role tampon		4.400				34.7	152.68
49.	Role		4.320				15.8	68.256
50.	Role inf.		0.880				17.4	15.312
51.	Reazem perete		0.070				-2.7	-0.189
52.	Banda 1.1 Tambur acționare		0.650				1.7	1.105
53.	Tambur schimb.sens		0.570				17.7	10.089
54.	Tambur tens.		0.100				17.7	1.77
55.	Red.melcat		0.150				17.9	2.685
	Total parțial		31.26					478.713
56.	Suport + cuplaj		0.12				19.8	2.38
57.	Role + răzuitoare		1.46				9.7	14.16
58.	Blocare cabină		0.15				20.6	3.09
59.	Troliu		0.67				25.4	17.02
60.	Role cablu		1.81				28.8	52.13
61.	Cabluri		1.61				25.7	41.38
62.	Corpul roții cu cupe		31.00				35.5	1100.5
63.	Cupe		12.00				35.5	426
64.	Cuțite pretăietoare		0				35.5	0.0
65.	Arbore roată cupe + lagăre		11.355				35.3	400.831
66.	Reductor roată cu cupe		23.950				34.6	828.67
67.	Arbore cardanic		0.888				29.4	26.107
68.	Reductor aux.		0				27.8	0.0
	<b>TOTAL MECANISME</b>		116.273					

E L I N D A

Continuarea tabelului 6.9.

0	1	2	3	4	5	6	7	8
69.	Suport motor		0				27.1	0.0
70.	Acționare roată cu cupe			5.10			25.6	130.56
71.	Pompă act.roată cu cupe			0.07			33.9	2.37
72.	Pompă			0.04			27.8	1.11
73.	Pompă red. aux.			0.06			27.8	1.67
74.	Acționare banda 1			5.62			-2.6	-14.61
75.	Acționare banda 1.1			0.08			18.7	1.5
76.	Acționare inst.tensionare			0.18			25.6	4.61
77.	Acționare troliu			0.20			24.8	4.96
78.	Acționare cabină			0.07			20.6	1.44
79.	Post comandă			0.30			24.6	7.38
80.	Inst.comunicare			0.10			24.6	2.46
81.	20% cabluri el.			2.36			20.6	48.62
	<b>TOTAL</b>			<b>14.18</b>				
	<b>INSTAL.ELECTR.</b>							
82.	Covor cauciuc banda 1				3.26		18.8	61.29
83.	Covor cauciuc banda 1.1				0.76		9.8	7.45
84.	3% protecție anticorozivă				7.00		23.4	163.8
	<b>TOTAL DIVERSE</b>				<b>11.02</b>			<b>232.54</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>107.198</b>	<b>116.273</b>	<b>14.18</b>	<b>11.02</b>	<b>248.671</b>		
	Elinda orizontal					248.671	+ 25.23	+ 6273.969
	Elinda sus					248.671	+ 23.13	+ 5751.76
	Elinda jos					248.671	+ 23.09	+ 5741.813

E L I N D A

PĂRȚI COMUNE EXCAVATOR

Tabelul 6.10.

Nr.crt.	Denumire	Constr.met.	Mecanisme	Instal.electr.	Diverse	$\Sigma G$ (t)	x (m)	G·x (tm)
0	1	2	3	4	5	6	7	8
85.	Cutie lest - pereți laterali	11.00					-24.9	-273.9
86.	- perete inferior	5.85					-24.9	-145.67
87.	- acoperiș	3.50					-25.0	-87.5
88.	- pereți frontali	3.98					-24.1	-95.92
89.	- acces	1.38					-21.9	-30.22
90.	Perete transversal 32-15	2.26					-19.6	-44.3
91.	Contravântuire sup. 15-12	3.22					-4.9	-15.78
92.	Perete 15-17, 32-35	10.10					-16.2	-163.62
93.	Perete 18-21, 35-38	11.65					-6.7	-78.06
94.	Perete 21-2, 38-3	12.35					0.8	9.88
95.	Contravântuire inf. 32-38	2.75					-8.2	-22.55
96.	Acces spre macara	1.66					-4.9	-8.13
97.	Macara, lăgăruire troliu	1.48					8.2	12.14
98.	Schelet susț. 7-12, 8-1, 8-12	16.20					8.1	131.22
99.	Schelet susținere 1-7	15.07					3.6	54.25
100.	Schelet susținere 9-36	8.20					1.2	9.84
101.	Podest transformator	1.44					-15.7	-22.61
102.	Vană de ulei	0.15					-17.4	-2.61
103.	Podest rezistențe	3.34					-0.8	-2.67
104.	Podest 6-32	2.86					-2.4	-6.86
105.	Scară 6-9	1.70					6.4	10.88
106.	Podest 4-38	1.05					2.3	2.42
107.	Scară 1-9	1.16					7.5	8.7
108.	Plasă protecție	2.50					-0.6	-1.5

B R A T C O N T R A G R E U T A T E S I T U R N



Continuarea tabelului 6.10.

0	1	2	3	4	5	6	7	8
109.	Cadru troliu	1.40					-23.7	-33.18
110.	Ghidaj cablu el. - macara	0.45					-7.2	-3.24
111.	Dulap el.	14.15					-7.6	-107.54
112.	Dulap transformator	0.80					-17.4	-13.92
113.	Perete deviație	1.93					0	0.0
	<b>TOTAL CONSTR.MET.</b>	<b>143.58</b>						
114.	Lăgăruire elindă		5.64				1.6	9.02
115.	Cabluri (stâlp)		3.03				-14.7	-44.54
116.	Cabluri (elindă)		1.65				-25.7	-42.41
117.	Troliu tambur cablu		12.12				-26.0	-315.12
118.	reductor		2.41				-23.7	-57.12
119.	roată dintată		6.99				-26.0	-181.74
120.	pinion		0.39				-24.1	-9.4
121.	lagăr		0.28				-24.1	-6.75
122.	cuplaj Zapex		0.44				-24.1	-10.6
123.	cuplaj Elco		0.46				-23.0	-10.58
124.	accesorii		0.59				-23.0	-13.57
125.	Troliu macara		2.46				8.2	20.17
126.	Doză dinamometrică		0.02				-21.0	-0.42
	<b>TOTAL MECANISME</b>		<b>36.48</b>					

B R A T C O N T R A G R E

Continuarea tabelului 6.10.

0	1	2	3	4	5	6	7	8
127.	Ward Leonard			1.85			-9.7	-17.95
128.	Transformator			2.38			-17.4	-41.41
129.	Instal.el. de înaltă tensiune			3.00			-6.5	-19.5
130.	Instal.el. de joasă tensiune			5.40			-6.1	-32.94
131.	Acționare troliu			4.09			-23.0	-94.07
132.	Acționare macara			0.13			8.7	1.13
133.	Acționare compresor			0.29			11.8	3.42
134.	20% surplus din cabluri			3.40			10.1	34.34
135.	Rezistențe			3.50			-5.3	-18.55
	<b>TOTAL</b>			<b>24.04</b>				
	<b>INSTAL.ELECTR.</b>							
136.	3% protecție anticorozivă				6.12		-10.1	-61.81
	<b>TOTAL DIVERSE</b>				<b>6.12</b>			
	<b>TOTAL</b>	<b>143.58</b>	<b>36.48</b>	<b>24.04</b>	<b>6.12</b>	<b>210.22</b>	<b>-9.06</b>	<b>-1904.59</b>

Ș I T U R N

Continuarea tabelului 6.10.

0	1	2	3	4	5	6	7	8
137.	Stâlp susținere	8.30					13.2	109.56
138.	Cap role	11.0					17.5	192.5
139.	Scară la stâlpul de susținere	0.88					13.3	11.7
140.	Grindă cărucior macara	0.97					18.0	17.46
	<b>TOTAL CONSTR.MET.</b>	<b>21.15</b>						
141.	Cabluri (stâlp)		3.03				10.0	30.3
142.	Cabluri (elindă)		1.78				20.7	36.85
143.	Role de cablu		1.81				17.8	32.22
144.	Grindă role cablu		1.26				18.7	23.56
145.	Limitator		0.31				17.8	5.52
	<b>TOTAL MECANISME</b>		<b>8.19</b>					
146.	Mașină de ridicat			0.42			17.0	7.14
147.	20% surplus cabluri			0.08			14.1	1.13
	<b>TOTAL INSTAL.ELECTR.</b>			<b>0.5</b>				
148.	3% protecție anticorozivă				0.90		14.1	12.69
	<b>TOTAL DIVERSE</b>				<b>0.90</b>			
	<b>TOTAL</b>	<b>21.15</b>	<b>8.19</b>	<b>0.5</b>	<b>0.90</b>	<b>30.74</b>	<b>15.63</b>	<b>480.47</b>

S T Â L P

Continuarea tabelului 6.10.

0	1	2	3	4	5	6	7	8
149.	Parte inferioară	3.95					-18.2	-71.89
150.	Parte mijloc	3.34					-18.2	-60.79
151.	Brat	3.92					-15.2	-59.58
152.	Contrabrat	2.02					-20.7	-41.81
	<b>TOTAL CONSTR.MET.</b>	<b>13.23</b>						
153.	Pinion		0.21				-17.0	-3.57
154.	Reductor		0.25				-17.1	-4.28
155.	Accesorii		0.18				-17.1	-3.08
156.	Role		0.97				-18.2	-17.65
157.	Rulment		0.43				-18.2	-7.83
158.	Frână + cuplaj		0.05				-17.7	-0.89
	<b>TOTAL MECANISME</b>		<b>2.09</b>					
159.	Acționare mec.de rotire			0.09			-18.0	-1.62
160.	Limitator			0.04			-13.4	-0.54
161.	Electropalan			3.00			-15.3	-45.9
162.	Grindă cablu			0.15			-18.2	-2.73
163.	20% surplus cablu			0.66			-18.6	-12.28
	<b>TOTAL INSTAL.ELECTR.</b>			<b>3.94</b>				
164.	3% protecție anticorozivă				0.60		-18.6	-11.16
165.	Lest				13.61		-22.7	-308.95
	<b>TOTAL DIVERSE</b>				<b>14.21</b>			
	<b>TOTAL</b>			<b>3.94</b>	<b>14.21</b>	<b>33.47</b>	<b>-19.56</b>	<b>-654.67</b>

M A C A R A 1 0 to

Continuarea tabelului 6.10.

0	1	2	3	4	5	6	7	8
166.	Placă superioară	18.48					1.5	27.72
167.	Placă inferioară	20.16					1.6	32.26
168.	Diverse	22.83					1.8	41.09
169.	Prot.rulment / coroană d.	0.95					0	0.0
170.	Lăgăruire pod	5.28					0	0.0
171.	Podest + scări	1.57					8.1	12.72
172.	Podest + scări	0.38					8.3	3.15
173.	Grătare	0.51					8.2	4.18
	<b>TOTAL CONSTR.MET.</b>	<b>70.16</b>						
174.	Red.mec.de rotire		11.67				5.3	61.85
175.	Cuplaj de siguranță		3.39				5.1	17.29
176.	Arbore pinion cu lăgăruire		4.08				5.1	20.81
177.	Cale rulare rulm. / coroană d.		18.17				0	0.0
178.	Lăgăruire pod		0.50				0	0.0
179.	Fixare mec.rotire		0.71				5.8	4.12
180.	Ungere mec.rotire		0.63				5.3	3.34
	<b>TOTAL MECANISME</b>		<b>39.15</b>					
181.	Pompă red.mec.rotire			0.07			5.3	0.37
182.	Motor mec.rotire			0.54			5.8	3.13
183.	20% surplus cablu			0.12			1.8	0.22
	<b>TOTAL INSTAL.ELECTR.</b>			<b>0.73</b>				
184.	3% protecție anticorozivă				3.30		1.8	5.94
	<b>TOTAL DIVERSE</b>				<b>3.30</b>			
	<b>TOTAL</b>	<b>70.16</b>	<b>39.15</b>	<b>0.73</b>	<b>3.30</b>	<b>113.34</b>	<b>2.10</b>	<b>238.01</b>

P L A T F O R M A

## 6.4. CONCLUZII

- 6.4.1** Printr-un montaj corect din punct de vedere al unui rulment greu se urmărește:
- asigurarea unor suprafețe de sprijin corespunzătoare din punct de vedere al rezistenței
  - asigurarea suprafețelor de așezare corespunzătoare din punct de vedere al abaterilor de la planeitate sau al abaterilor de la diametrul de așezare.
  - fixare corespunzătoare din punct de vedere al rezistenței elementelor de îmbinare
  - funcționare în regim de temperatură constantă
  - funcționare în regim viteză constantă
  - etanșarea corespunzătoare a rulmenților contra pătrunderii prafului, apei, umidității
  - ungerea, gresarea corespunzătoare
  - accesul pentru efectuarea controlului funcționării și al intervențiilor, etc.

**6.4.2** Soluția inițială practică până în prezent la determinarea centrului de greutate și a echilibrului general al excavatorului, a permis măsurători cu o toleranță de  $\pm 10\%$  ce poate reprezenta o abatere la cutia de lest de  $\pm 24,3$  to. Prin noua metodă propusă la care atât determinarea parametrilor cât și stocarea lor, este complet automatizată, rezultatele obținute sunt în toleranță de  $\pm 2\%$ , obținându-se o abatere la cutia de lest de  $\pm 4,86$  to.

Consecințele unei cântăririi mai precise vor determina îmbunătățirea:

- stării generale de echilibru a excavatorului
- reducerea eforturilor în structura portantă
- atenuarea până la eliminare a fenomenelor de balans și vibrații
- reducerea substanțială a eforturilor asupra elementelor de sprijin și rotire
- prelungirea duratei de viață în condiții de securitate.

### A. Varianta inițială

*Componenta instalației:*

- 3 x 2 cricuri hidraulice de 200 tf, acționate manual
- piese intermediare de blocare și montare
- manometre de presiune

### B. Varianta propusă

*Componenta instalației:*

- 3 x 2 cricuri hidraulice de 250 tf, acționate electric
- instalație de acționare complexă
- 6 traductoare de forță (anexă)
- 6 traductoare de deplasare (anexă)
- 1 traductor de orizontalitate
- 1 traductor de verticalitate
- calculator pentru achiziția și prelucrarea datelor

<b>AVANTAJE</b>	
<b>Varianta inițială</b>	<b>Varianta propusă</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- simplitatea aparaturii</li> <li>- personal mediu calificat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- achiziția și interpretarea datelor prin calculator</li> <li>- alimentarea cricurilor în tandem</li> <li>- eliminarea efortului uman prin introducerea acționării electrice</li> <li>- eliminarea erorilor de citire prin citire automată</li> <li>- poziționarea structurii în plan vertical și orizontal cu abateri de 1/1000</li> <li>- posibilitatea efectuării unor corecții</li> <li>- abateri la măsurători <math>\pm 2\%</math></li> <li>- sistem unitar de cântărire - echilibrare, utilizabil la diverse utilaje</li> </ul>

<b>DEZAVANTAJE</b>	
<b>Varianta inițială</b>	<b>Varianta propusă</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- subiectivitate prin citirea valorilor la manometru de către operator</li> <li>- pierderi hidraulice considerabile</li> <li>- valorile citite sunt influențate de abaterile dimensionale ale cricurilor</li> <li>- abateri mari la poziționarea în plan vertical și orizontal a suprastructurii</li> <li>- abateri la măsurători <math>\pm 10\%</math></li> <li>- acționare manuală, efort fizic mare</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- valoarea investiției este mai mare</li> <li>- complexitatea sistemului reclamă personal specializat</li> </ul>

## Cap. 7. STUDIUL TEHNOLOGIC ȘI TEHNICO-ECONOMIC PRIVIND OPORTUNITATEA ÎNLOCUIRII RULMENȚILOR UZAȚI DE PE EXCAVATOARELE CU ROTOR.

7.1. Tehnologia de verificare și recondiționare a rulmenților grei.

7.1.1. Principalele deteriorări întâlnite la rulmenții de sprijin și rotire.

Deteriorarea rulmenților de sprijin și rotire se produce datorită unor cauze ce țin de caracteristicile intrinseci ale acestora sau de parametrii funcționali și de exploatare. Aceștia se pot grupa în:

Factori interni:

- Calitatea materialelor utilizate
- Tratamente termice aplicate
- Calitatea prelucrărilor mecanice privind încadrarea în cotele funcționale și de precizie a suprafețelor.

Factori de exploatare:

- Sarcinile aplicate asupra ansamblului în exploatare.
- Calitatea montajului
- Calitatea și cantitatea lubrifiantului utilizat.
- Precizia desortare a corpurilor de rulare
- Nerespectarea tehnologiei de exploatare.
- Calitatea etanșărilor
- Apariția fenomenelor de oboseală.

Toți acești factori pot cauza sau favoriza apariția unor defecțiuni ale rulmenților de sprijin și rotire astfel:

a) Deteriorări ale inelelor superior – inferior manifestate prin:

- Griparea căilor de rulare;
- Deformarea prin “tasare” (brimellare) a căilor de rulare;
- Exfolieri de material pe căile de rulare;
- Deformarea plastică (îndoirea inelelor);
- Deteriorarea cotelor de fixare (umeri de centrare și alezajele pentru șuruburi);
- Obturarea sau deteriorarea canalelor pentru ungere;
- Coroziunea suprafețelor de așezare și a celor de rulare



b) Deteriorarea corpurilor de rulare (bile,role).

- Exfolierea în suprafață
- Abateri de la forma geometrică
- Uzare sau deformație;
- Coroziune în suprafață.

c) Deterioararea coliviilor

- Uzura locașurilor (alezaje) pentru corpurile de rulare;
- Jocuri exagerate care conduc la o repartizare neuniformă pe calea de rulare a corpurilor de rostogolire.

d) Deterioararea coroanelor dințate:

- Uzura cotelor de fixare (umeri de centru și alezajele pentru șuruburi).
- Uzura danturii manifestată prin:
  - Ruperi de dinți;
  - Oboseală de contact a materialului;
  - "Curgeri" de material manifestate prin deformarea flancurilor și apariția bavurilor pe capul dinților și în secțiunea frontală.

e) Deterioararea sistemului de etanșare

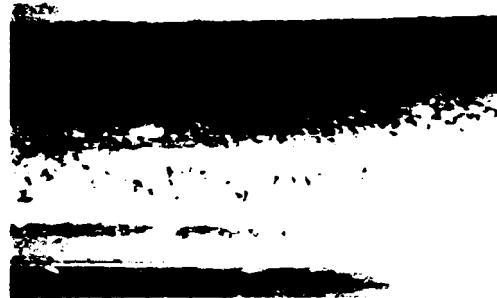
- desprinderi și deformări ale asamblărilor;
- deformări ale suprafețelor;
- distrugerea elementului de etanșare nemetalic

f) Deteriorarea construcției metalice suport

Deformarea construcției metalice datorită nerespectării tehnologiei de lucru cu utilajele sau a apariției unor forțe neprevăzute. În pozele 7 a.b.c.d.e.f.g. se prezintă starea tehnică a diferitelor inele de rulment la demontarea în șantier după o funcționare de 15 până la 25 de ani.



a



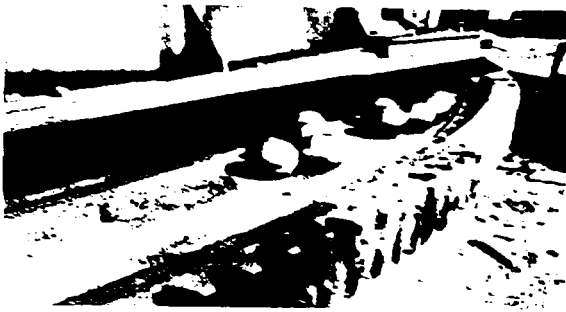
b



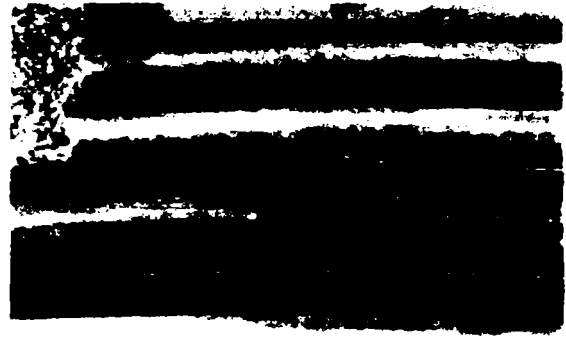
c



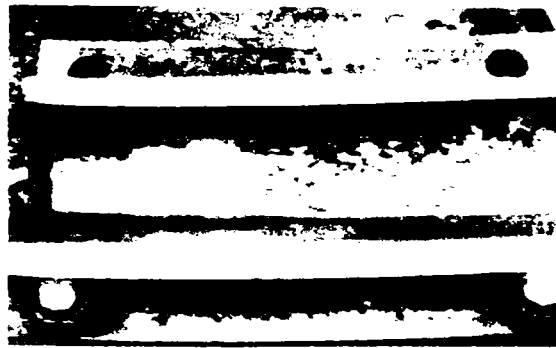
d



e



f



g

Poza 7

Se constată că la unele inele uzura este practic inexistentă iar alte sunt compromise definitiv, deși factorii de mediu exterior au fost aceiași în toate cazurile.

Ungerea și etanșarea necorespunzătoare, cu infiltrarea apei și a prafului în inele, precum și o utilizare necorespunzătoare au dus la exfolieri, ciupituri și coroziuni ce fac imposibilă reparația.

#### 7.1.2. Verificarea rulmenților

În vederea recondiționării rulmenților și a stabilirii tehnologiilor de reparare este necesară verificarea acestora pe fiecare componentă în parte, și anume :

- cote de fixare inele rulment
- abateri de formă și poziție (deformări) ale inelelor
- starea de oboseală a materialului de bază a inelelor
- uzura căii de rulare
- corodarea suprafețelor exterioare / de așezare a inelelor
- uzura bilelor / rolelor
- uzura coliviilor
- starea sistemului de etanșare

Pentru fiecare verificare se vor întocmi fișe de măsurători care se constituie ca bază de decizie pentru soluția și tehnologia de reparare.

Se vor consemna:

- uzurile și deformările alezajelor de fixare a inelelor
- modificările geometrice / spațiale ale inelelor
- scăderea valorii caracteristicilor fizico – mecanice ale materialelor
- uzura inelelor și/sau a bilelor (rolelor)
- uzura coliviilor
- elementele necesare recondiționării / înlocuirii componentelor sistemului de ungere și etanșare (garnituri, nituri, alezaje, construcții metalice conexe).

Dacă majoritatea verificărilor de mai sus se fac cu mijloace comune și pe baza experienței verificatorului, considerăm utilă prezentarea următoarelor soluții.

#### A. Măsurarea jocului în rulmenți în timpul funcționării

La rulmenți se poate prelungi mult durata de viață. Acest lucru depinde însă de condițiile de funcționare, întreținere și control.

La depășirea duratei de viață apare fenomenul de pitting, adică se desprind mici părți metalice de pe calea de rulare durificată. În timp acest lucru conduce la distrugerea rulmentului. Deoarece fabricarea și repararea rulmenților grei se desfășoară în majoritatea cazurilor la cerere, o nouă livrare a unui rulment poate dura luni de zile. Aceasta înseamnă o staționare îndelungată a utilajului. Pentru a preveni aceasta ar trebui ca un rulment de schimb să fie întotdeauna la dispoziție, ceea ce deseori nu se poate face. (costuri mari blocate, suprafețe de depozitare mari, etc.).

Firma Rothe Erde – Germania a inventat un dispozitiv de măsurare a uzurii la rulmenți care oferă posibilitatea verificării jocului axial maxim admis a rulmenților în mișcare, fără a fi necesare întreruperea funcționării (vezi fig. 7.1)

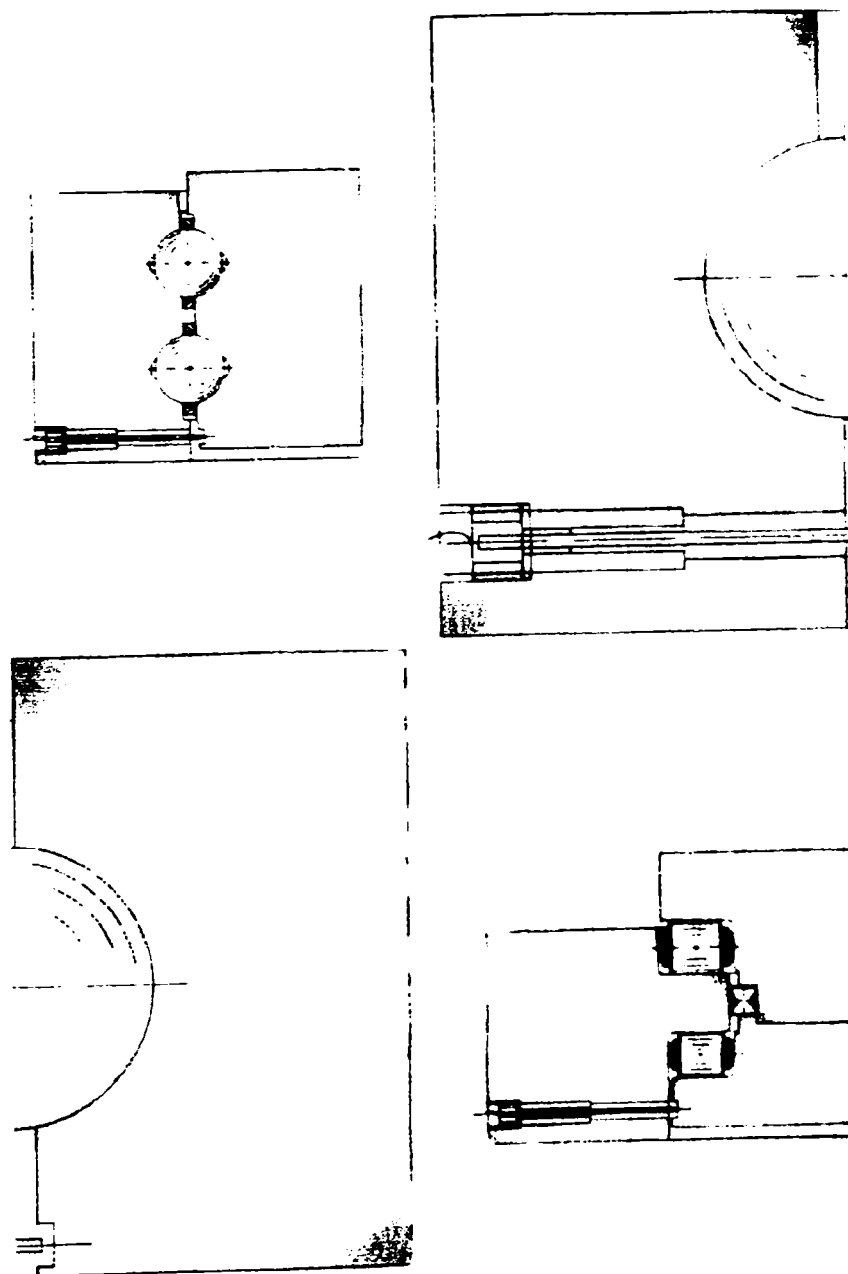


Fig.7.1

Un știft din metal inoxidabil se amplasează în zona căii de rulare. Acesta este izolat electric față de inelul în care este montat. El face contact cu o canelură care se află într-un contra-inel. Dacă se sesizează un joc mai mare decât cel admisibil atunci acestea intră în contact mecanic și electric, emițând un semnal care va arăta ca este necesară verificarea elementului.

În felul acesta se poate preveni apariția unor defecțiuni care pot compromite definitiv rulmentul, minimalizându-se costurile pentru personalul de întreținere.

#### B. Măsurarea jocului de răsturnare al rulmenților, între inelul superior și inferior

La utilajele la care este posibil, se recomandă măsurarea jocului de răsturnare în scopul determinării uzurii.

Principiul încărcării pentru o asemenea măsurare este reprezentat în fig. 7.2.

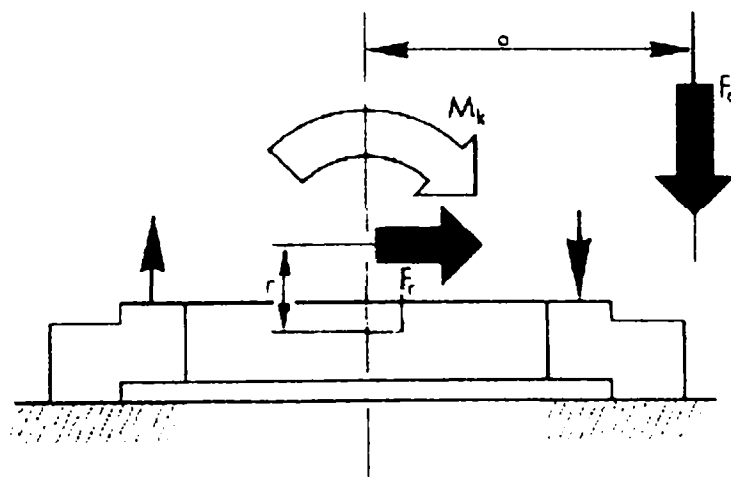


Fig.7. 2 Principiul de încărcare la măsurarea jocului de răsturnare

Etapele sunt următoarele:

- la punerea în funcțiune trebuie să se efectueze o primă măsurare pentru determinare valorii de referință pentru viitoarele măsurători.
- se va executa în prealabil controlul strângerii șuruburilor.
- pornind de la o poziție fixă a elindei se marchează poziția de măsurare pe perimetrul platformei.
- se măsoară jocul între construcția portantă inferioară și rulmentul fixat pe construcția superioară. (vezi fig.7.3)

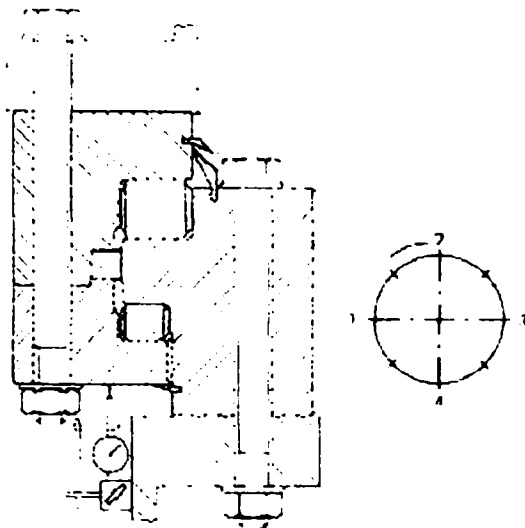


Fig. 7.3 Rulment pe trei rânduri de role - reprezentarea de principiu a măsurătorii jocului de răsturnare

- pentru a limita influența deformărilor elastice a construcției portante la nivele cât de mici posibile, trebuie ca măsurătoarea să se desfășoare aproape de rulment.
- pentru a seta pe zero ceasurile de măsurare care trebuie să arate o exactitate de măsurare de 0,01mm, se va determina întâi momentul de rotație inversă maximal. În continuare se va genera un moment de rotație înainte, prin preluarea sarcinii.
- măsurarea se va repeta după rotirea suprastructurii în pozițiile marcate de măsurat.
- valorile de bază determinate se vor consemna în forma unui tabel.
- după cel târziu 12 luni se va efectua o măsurare în aceleași condiții ca la măsurarea de bază.
- diferența de măsurare la măsurarea de bază indică uzura apărută între timp.
- la valori crescânde de uzură se vor micșora intervalele de timp dintre măsurători.

### C. Măsurarea “scufundării” rulmentului între inelul superior și suprafața de așezare a inelului inferior

Dacă măsurarea jocului de răsturnare nu este posibilă, se recomandă măsurarea scufundării în vederea determinării uzurii.

Centrul de greutate al sarcinilor combinate se află în interiorul diametrului cercului de rulare a rulmentului.(vezi fig.7.4)

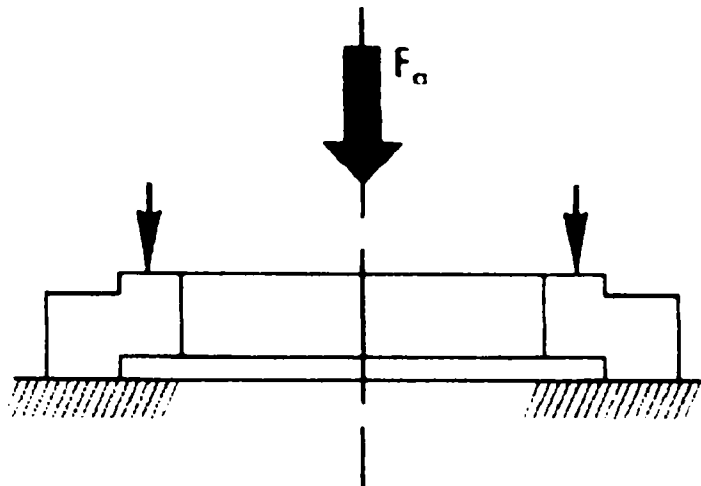


Fig.7.4 - Principiu de încărcare la măsurarea scufundării

Etapele sunt următoarele:

- și la măsurarea scufundării trebuie să se determine deja de la punerea în funcțiune a utilajului o valoare de referință.
- se va efectua în prealabil controlul strângerii șuruburilor.
- pomind de la o poziție fixă a elindei se vor marca pozițiile de măsurare pe perimetrul platformei.
- se va măsura jocul între construcția portantă inferioară și a inelului rulmentului care este fixat pe suprastructura. (vezi fig.7.5)

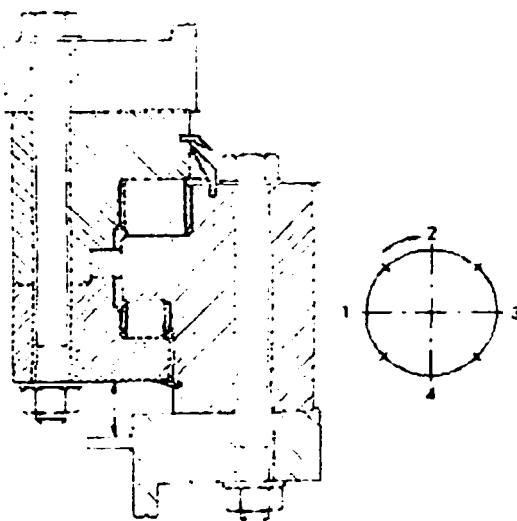


Fig.7.5. Rulment pe 3 rânduri de role –reprezentarea de principiu a măsurării scufundării

- valorile determinate sunt consemnate într-un tabel .
- măsurarea “scufundării” trebuie să se repete la perioade de cel mult 12 luni, în aceleași condiții de măsurare.
- dacă se remarcă uzură puternică, intervalele de timp între măsurători trebuie să se scurteze.

Avantajul acestui sistem de măsurare față de cele clasice este faptul că deformarea construcției anexe sau elasticitatea îmbinării prin șuruburi nu influențează rezultatul măsurării. Aproximativ elastică a căilor de rulare, jocul axial a rulmentului și calitatea suprafeței de sprijin pot fi compensate.

### 7.1.3. Tehnologiile de recondiționare a rulmenților de sprijin și rotire.

Ținând cont de defecțiunile posibile mai sus prezentate, pentru repararea rulmenților de sprijin și rotire se pot aplica diverse tehnologii adaptate concret la specificul fiecărui reper component, ce face obiectul acțiunii de recondiționare, astfel:

- Pentru recondiționarea inelelor superioare – inferioare se parcurge următorul traseu tehnologic:
  - Curățire degresare inele – segmente;
  - Verificarea (măsurarea) dimensională și a abaterilor de formă;
  - Redresarea – îndreptarea segmentelor deformate;
  - Asamblarea pe dispozitiv de fixare și corectarea cotelor de fixare și prindere pe utilaj; corectarea prin prelucrare mecanică a căilor de rulare ;
  - Recondiționarea canalelor de ungere;
  - Marcarea prin poansonare a notațiilor impuse de documentația constructivă și de montaj.
    - Recondiționarea corpurilor de rulare implică următoarele operații tehnologice:
      - Curățirea și degresarea corpurilor de rulare ( bile, role ).
      - Verificarea integrală a parametrilor dimensionali ai corpurilor de rulare;
      - Înlocuirea corpurilor de rulare deteriorate;
      - Verificarea noilor corpuri de rulare pentru încadrarea în clasa de sortare impusă;
      - Inscricționarea cotelor efective și a ordinii de montaj pentru toate corpurile de rulare.
        - Pentru recondiționarea coliviilor se parcurge următorul traseu tehnologic:
          - Curățire – degresare;
          - Verificare cote;
          - Frezare plană a fețelor laterale pentru restabilirea jocului între inelele inferior – superior și colivii.
          - Coliviile care prezintă jocuri exagerate, în stare montată, între corpurile de rulare și alezajul din colivie se înlocuiesc.

### 7.1.4. Recondiționarea rulmentului $\Phi$ 8650 mm (din dotarea excavatorului cu rotor port cupe tip ESRc 1400, care lucrează în carierele din bazinele Olteniei.)

a) Constatare: degresat, curățat suprafețe segmenti.

b) verificarea abaterilor de formă la inelele de segment.

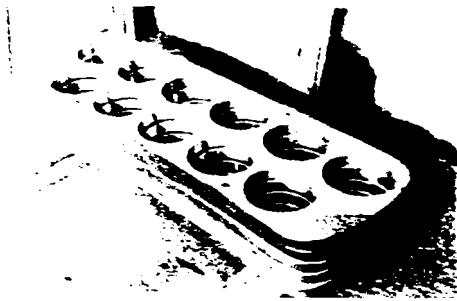
-șablon R78

-șubler 0 – 150 pr.0,1

c) verificarea dimensională a inelelor superioare (inferioare) pe strung carusel tip – Bertiez.

- montat dispozitivul pentru fixat inele rulment
- strunjit suprafețele de așezare a dispozitivului
- fixat pe dispozitiv segmentii și centrat
- verificat abateri de poziție
- controlat cu pulberi magnetice calea de rulare
- verificat dimensional  $\Phi_e; \Phi_i$  – prin afișaj numeric

- SDV-uri –
- dispozitiv pentru fixat rulment pe platou
- jug magnetic
- electrozi pentru magnetizare.



Poza 7.2 a,b,c,d. Imagini din fabricarea elementelor componente ale rulmenților

Reconstrucția rulmentului se face prin procedura care să preîntâmpine apariția de anizotropii ale proprietăților fizico-mecanice ale suprafețelor de rulare. Prin urmare nu se acceptă reconstrucția prin reparații locale ale căilor de rulare, cu material de adaos, ci doar prin prelucrările mecanice la "rece" ale materialului de bază.

Intocmirea documentelor pentru R.K.:

- întocmit fișe măsurători
- întocmit buletin de control cu pulberi magnetice
- transmis beneficiarului și proiectantului spre avizare (cost și calitate)
- primit sau "nu" accept proiectant de produs și beneficiar.

Reconstrucționat inele:

- a) Frezat – mașină de alezat frezat MAF  $\Phi$  120 - Scharmann
- fixat și centrat pe masa rotativă a MAF – cu șuruburi cap T; bride

- verificare: ceas comparator cu suporturi magnetici



- corectat prin frezare (cap.I) (până la luciu metalic uniform pe toată suprafața).
- rotit masă la 180°
- corectat prin frezare (cap.II)
- desprins; depozitat.

b) Strunjit – strung Carusell  $\Phi 15.000$  – Bertiez

- fixat dispozitivul pe carrusell
- fixat pe dispozitiv pentru prelucrat la luciu metalic față opusa căii de rulare.
- rectificat suprafață de rulare
- desprins, întors la 180°
- fixat pe dispozitiv
- rectificat față a II-a la curat
- rectificat  $\Phi_e$  și  $\Phi_i$  cu respectare  $\Phi$  rulare
- rectificat calea de rulare (adâncit cu valoarea uzurii)
- controlat cu pulberi magnetici
- dat jos pe dispozitiv
- sablare profil.

c) Ajustat grad, corectat prin filetare toate găurile.


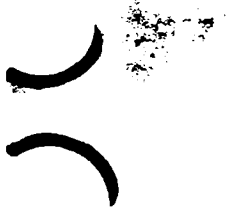
d) Conservat; ambalat.

Recondiționarea inelelor se face prin frezare, strunjire, ajustare grad, corectat prin filetare toate găurile, conservat .

#### 7.1.5.Durificarea căilor de rulare prin CIF-are

Tipurile de rulmenți descrise au căi de rulare durificate prin inducție. Acest procedeu asigură o reproducere a datelor tehnice teoretice de duritate și garantează astfel o calitate uniformă. Bobina de călire depinde de forma de construcție.Acestea sunt astfel realizate ca pentru mărimea rulmenților respectivi să se asigure capacitatea portantă dorită.

Bobina de călire asigură la toate tipurile de rulmenți (cu bilă sau cu role pe 2 și 3 rânduri) o călire bună a suprafețelor de rulare și a razelor de trecere.

	<p>Calea de rulare a unui inel portant cu bile pe un rând</p>
	<p>Calea de rulare a unui inel portant cu flanșă cu bile pe două rânduri</p>

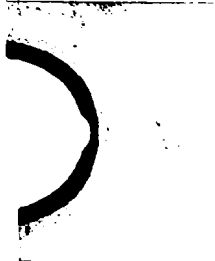

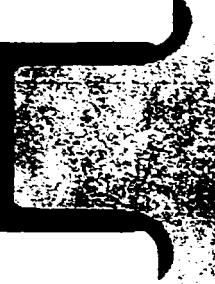
	<p>Calea de rulare a unei legături rotative cu bile pe un rând cu contact în 4 puncte</p>
	<p>Calea de rulare a unui inel portant cu role pe un rând</p>
	<p>Calea de rulare a unui inel portant cu flanșă cu role pe trei rânduri</p>

Fig 7.3 Exemple de călire a suprafețelor de rulare.

### 7.1.6 Înlocuirea rulmentului Ø 8650

Acest tip de rulment cu un diametru de Ø 8650 echipează excavatoarele ESRc 1400-30/7 în număr de 59 buc. aflate în dotarea exploatărilor miniere din componența Companiei Naționale a Lignitului Oltenia.

Rulmentul este în soluție constructivă cu un rând de ~~Ø 150~~ și se compune din:

- segmenti inferiori (6 buc.); = 5,15 to.
- bile Ø 150 (143 buc.); = 1,86 to
- segmenti superiori (6 buc.); = 5,15 to.
- colivie bile; = 0,64 to.
- garnitură de etanșare; = 0,12 to.
- garnitură de etanșare (9 buc.). = 0,38 to.

Masa totală = 13.300 kg.

Prețul mediu oferit de potențialii producători este de 9,3 EUR/kg. (pentru UPETROM- S.A. și FORTUS-S.A.) în condiții de livrare EX-Works.

Din datele obținute, rezultă că un rulment de sprijin și rotire de Ø 8650 în România se poate executa la un preț de 123.690 EUR/buc.

Achiziționarea rulmentului de la o firmă producătoare străină la o valoare cuprinsă între 15 EUR/kg până la 21 de EUR/kg (preț MAN TAKRAF, respectiv ROTHE-ERDE) înseamnă o valoare cuprinsă între 200.000 EUR/buc. până la 272.300 EUR/buc.

În concluzie prețurile de achiziție și execuție din România a rulmenților  $\varnothing$  8650 reprezintă aproximativ 45% din valoarea unui produs importat.

## 7.2 Calculul tehnico – economic al înlocuirii unui rulment nou.

Înlocuirea unui rulment uzat cu unul nou presupune o serie de operații tehnice a căror evaluare și cost se prezintă astfel:

- Oprirea utilajului
- Marșul acestuia pe o platformă de demontare amenajată anterior
- Asigurarea pe platformă a mijloacelor de ridicat (macarale fixe sau mobile) și a utilităților necesare (energie, aer comprimat) și a dispozitivelor necesare (stâlpi de calare, cricuri hidraulice de 50 ÷ 200 tf)
- Calarea utilajului prin stabilirea și ridicarea suprastructurii
- Desfacerea elementelor de închidere și scoaterea bilelor
- Desfacerea șuruburilor de fixare și scoaterea segmentelor inelelor de rulment
- Curățarea suprafeței de așezare și aplicarea unui strat nou de pastă epilox
- Montarea inelelor rulmentului nou prin strângerea șuruburilor la forțe de pretensionare bine calculate
- Introducerea bilelor sortate anterior în ordinea crescândă a abaterilor câmpului de toleranță
- Montarea elementelor de închidere
- Aplicarea soluțiilor de etanșare în planul de separare a inelelor și în zona elementelor de închidere

Toate aceste operații pregătitoare presupun costuri materiale și de muncă vie, pe lângă un grad al pregătirii profesionale foarte ridicat.

**Prețul execuției unui rulment cu diametrul de  $\varnothing$  8650 mm este de 2.450 milioane lei (în condiții ex work).**

Costurile medii ale transportului din uzină în șantier și a operațiilor descrise anterior se ridică la 1.100 milioane lei / bucată.

Dacă la aceasta se adaugă și valoarea producției ce se pierde pe durata staționării utilajului pentru schimbarea rulmentului care poate fi de 3 – 5 zile (circa 7.000 milioane lei – la lucru în cărbune), se poate observa importanța necesității fabricației de calitate ale acestor organe ale mașinii.

Sub conducerea autorului, S.C. ROMINEX SA a fabricat până în prezent în țară un număr de rulmenți grei după cum urmează:

a) Pentru piața română:

- $\varnothing$  5000 – 128 bucăți
- $\varnothing$  5500 – 5 bucăți
- $\varnothing$  8000 – 4 bucăți
- $\varnothing$  8650 – 105 bucăți
- $\varnothing$  10.000 – 2 bucăți

b) Pentru export:

- φ 6800 – 6 bucăți
- φ 9000 – 2 bucăți
- φ 10.250 – 3 bucăți
- φ 12.500 – 1 bucată

Aportul valutar, în urma exportului acestor rulmenți a fost de 1250 mii EURO.

### 7.3. Calculul tehnico – economic pentru recondiționarea rulmentului.

Acest calcul se va efectua pe baza proceselor tehnice de constatare și se rezumă la 3 variante constructive de recondiționare a rulmentului Ø 8650 după cum urmează:

**Varianta I** – reprezintă înlocuirea a 4 segmenti din componența căilor de rulare cu segmenti noi și reutilizarea în proporție de 70% a bilelor de Ø 150 și a coliviilor aferente.

**Varianta II** – reprezintă înlocuirea a 6 segmenti de rulment cu reutilizarea a 50% a bilelor Ø 150 și a coliviilor aferente.

**Varianta III** – reprezintă rectificarea celor 12 segmente ale căilor de rulare și înlocuirea bilelor Ø 150 cu bile de Ø 155 cu ajustarea aferentă a coliviilor.

**Varianta I** – reprezintă înlocuirea a 4 segmenti din componența căilor de rulare cu segmenti noi și reutilizarea în proporție de 70% a bilelor de Ø 150 și a coliviilor aferente.

Demontare și transport

$$C_{\text{dem+transp.}} = C_{\text{dem}} + C_{\text{transp.}} = 140 \text{ mil. lei} + 38 \text{ mil. lei} = 178 \text{ mil. lei} = 4,944 \text{ EUR}$$

Constatare: degresat, curățat suprafețe segmenti.

- pensule
- wite spirt
- lavele

$$C_{\text{constatare}} = (C_{\text{mat.}} + M_{\text{manoperă}} \times N_{\text{oameni}} \times Z) R_{\text{firmă}} = 24 \text{ mil. lei} + (8 \times 35.000 \times 6 \times 4) \times 5 = 153,6 \text{ mil. lei} = 4.266,7 \text{ EUR.}$$

Verificare abateri de formă la inelele de segment.

- șablon R78
- șubler lo – 150 pr.0,1

$$C_{\text{verif.}} = M_{\text{manop.}} \times N_{\text{oameni}} \times Z_{\text{zile}} \times R_{\text{eg.}} = 43 \times 2 \times 2 \times 8 \times 5 = 6,88 \text{ mil. lei} = 191,1 \text{ EUR.}$$

Verificat dimensional inele superioare (inferioare).

Strung Carrusell – Bertiez

- montat dispozitivul pentru fixat inele rulment
- strunjit suprafețele de așezare a dispozitivului
- fixat pe dispozitiv segmentii și centrat
- verificat abateri de poziție
- controlat cu pulberi magnetice calea de rulare
- verificat dimensional  $\Phi_e, \Phi_i$  – prin afișaj numeric

$$C_{\text{exec.}} = (C_{\text{mat.}} + M_{\text{amp.}} \times N_{\text{oameni}} \times Z_{\text{ile}}) \times R_{\text{eg.}} = (171,92 \text{ mil. lei} + 84.600 \times 6 \times 15 \times 8) \times 3,5 = 814,912 \text{ mil. lei} = 22.636,45 \text{ EUR.}$$

-SDV-uri –

-dispozitiv pentru fixat rulment pe platou

-jug magnetic

-electrozi pentru magnetizare.

$$C_{\text{verif.}} = M_{\text{manop.}} \times N_{\text{oameni}} \times Z_{\text{zile}} \times R_{\text{eg.}} = 43 \times 2 \times 2 \times 8 \times 5 = 6,88 \text{ mil. lei} = 191,1 \text{ EUR.}$$

$$\text{Achiziție bile } \varnothing 150 : 3,9 \text{ mil. lei/buc.} \times 43 \text{ buc.} = 167,7 \text{ mil. lei} = 4.658,3 \text{ EUR}$$

**TOTAL Varianta I = 36.887,65 EUR = 1.327.955.400 lei**

Varianta II reprezintă înlocuirea a 6 segmenti de rulment cu reutilizarea a 50% a bilelor  $\varnothing 150$  și coliviilor aferente.

Demontare și transport

$$C_{\text{dem+transp.}} = C_{\text{dem.}} + C_{\text{transp.}} = 140 \text{ milled} + 38 \text{ mil. lei} = 178 \text{ mil. lei} = 4,944 \text{ EUR}$$

Constatare: degresat, curățat suprafețe segmenti.

-pensule

-wite spirt

-lavele

$$C_{\text{constatare}} = (C_{\text{mat.}} + M_{\text{manoperă}} \times N_{\text{oameni}} \times Z) R_{\text{firmă}} = 24 \text{ mil. lei} + (8 \times 35.000 \times 6 \times 4) \times 5 = 153,6 \text{ mil. lei} = 4.266,7 \text{ EUR.}$$

Verificare abateri de formă la inelele de segment.

-șablon R78

-șubler lo – 150 pr.0,1

$$C_{\text{verif.}} = M_{\text{manop.}} \times N_{\text{oameni}} \times Z_{\text{zile}} \times R_{\text{eg.}} = 43 \times 2 \times 2 \times 8 \times 5 = 6,88 \text{ mil. lei} = 191,1 \text{ EUR.}$$

Verificat dimensional inele superioare (inferioare).

Strung Carrusell – Bertiez

-montat dispozitivul pentru fixat inele rulment

-strunjit suprafețele de așezare a dispozitivului

-fixat pe dispozitiv segmentii și centrat

-verificat abateri de poziție

-controlat cu pulberi magnetice calea de rulare

-verificat dimensional  $\Phi_e, \Phi_i$  – prin afișaj numeric

$$C_{\text{exec.}} = (C_{\text{mat.}} + M_{\text{amp.}} \times N_{\text{oameni}} \times Z_{\text{zile}}) \times R_{\text{eg.}} = (257,88 \text{ mil. lei} + 84.600 \times 6 \times 15 \times 8) \times 3,5 = 1,120,28 \text{ mil. lei} = 31.119 \text{ EUR.}$$

-SDV-uri –

-dispozitiv pentru fixat rulment pe platou

-jug magnetic

-electrozi pentru magnetizare.

$$C_{\text{verif.}} = M_{\text{manop.}} \times N_{\text{oameni}} \times Z_{\text{zile}} \times R_{\text{eg.}} = 43 \times 2 \times 2 \times 8 \times 5 = 6,88 \text{ mil. lei} = 191,1 \text{ EUR.}$$

$$\text{Achiziție bile } \varnothing 150 : 3,9 \text{ mil. lei/buc.} \times 72 \text{ buc.} = 280,8 \text{ mil. lei} = 7.800 \text{ EUR}$$

**TOTAL Varianta II= 48.511,9 EUR = 1.746.428.400 lei**

**Varianta III – reprezintă rectificarea celor 12 segmente ale căilor de rulare și înlocuirea bilelor Ø 150 cu bile de Ø 155 cu ajustarea aferentă a coliviilor.**

**Demontare și transport**

$$C_{\text{dem+transp.}} = C_{\text{dem}} + C_{\text{transp.}} = 140 \text{ mil. lei} + 38 \text{ mil. lei} = 178 \text{ mil. lei} = 4,944 \text{ EUR}$$

**Constatare: degresat, curățat suprafețe segmenti.**

-pensule

-wite spirt

-lavele

$$C_{\text{constatare}} = (C_{\text{mat.}} + M_{\text{manoperă}} \times N_{\text{oameni}} \times Z) R_{\text{firmă}} = 24 \text{ mil. lei} + (8 \times 35.000 \times 6 \times 4) \times 5 = 153,6 \text{ mil. lei} = 4.266,7 \text{ EUR.}$$

**Verificare abateri de formă la inelele de segment.**

-șablon R78

-șubler lo – 150 pr.0,1

$$C_{\text{verif.}} = M_{\text{manop.}} \times N_{\text{oameni}} \times Z_{\text{zile}} \times R_{\text{eg.}} = 43 \times 2 \times 2 \times 8 \times 5 = 6,88 \text{ mil. lei} = 191,1 \text{ EUR.}$$

**Verificat dimensional inele superioare (inferioare).**

**Strung Carrusell – Bertiez**

-montat dispozitivul pentru fixat inele rulment

-strunjit suprafețele de așezare a dispozitivului

-fixat pe dispozitiv segmentii și centrat

-verificat abateri de poziție

-controlat cu pulberi magnetice calea de rulare

-verificat dimensional  $\Phi_e; \Phi_i$  – prin afișaj numeric

$$C_{\text{exec.}} = (C_{\text{mat.}} + M_{\text{amp}} \times N_{\text{oameni}} \times Z_{\text{ile}}) \times R_{\text{eg.}} = (51,8 \text{ mil. lei} + 84.600 \times 6 \times 15 \times 8) \times 3,5 = 394.492 \text{ mil. lei} = 10.958 \text{ EUR.}$$

-SDV-uri –

-dispozitiv pentru fixat rulment pe platou

-jug magnetic

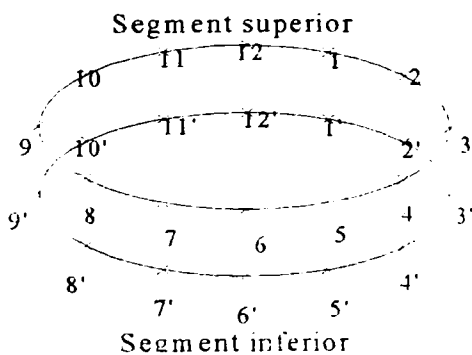
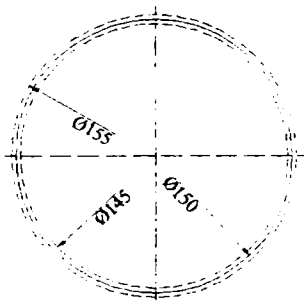
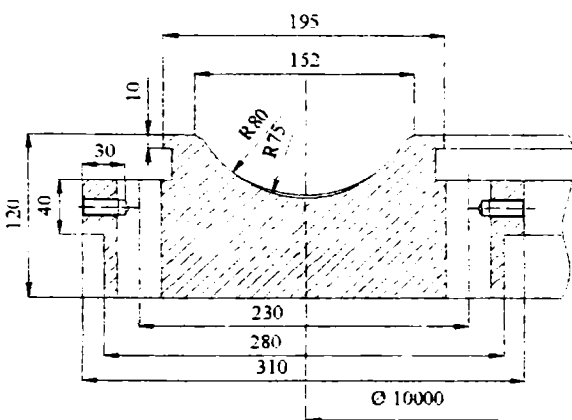
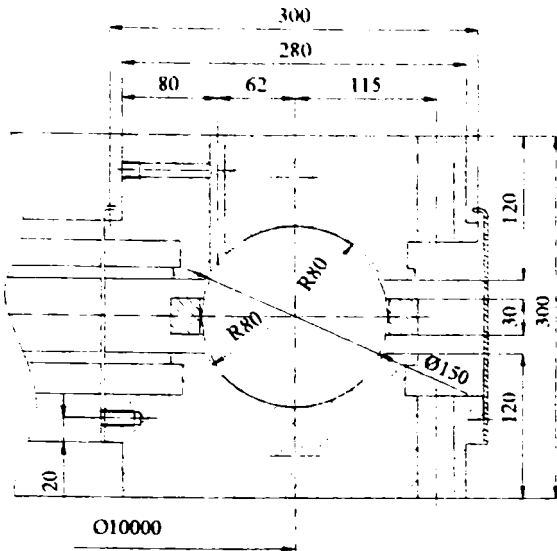
-electrozi pentru magnetizare.

$$C_{\text{verif.}} = M_{\text{manop.}} \times N_{\text{oameni}} \times Z_{\text{zile}} \times R_{\text{eg.}} = 43 \times 2 \times 2 \times 8 \times 5 = 6,88 \text{ mil. lei} = 191,1 \text{ EUR.}$$

$$\text{Achiziție bile } \varnothing 155 : 4,1 \text{ mil. lei/buc.} \times 143 \text{ buc.} = 586,3 \text{ mil. lei} = 16.286 \text{ EUR}$$

**TOTAL Varianta III= 36.836,9 EUR = 1.326.128.400 lei**

7.3.1 RAPORT DE EVALUARE TEHNICĂ ȘI TEHNOLOGICĂ PENTRU RULMENT  
 DE SPRIJIN ȘI ROTIRE Ø 10 000 LA EXCAVATOR SRs 2000



Nr. segment	Tip defect	Suprafață afectată %	Tip de remediu
<b>Segmenti superiori</b>			
Segm 1 – 2	LM; SM	50 %; 90%	Strunjire
Segm 2 – 3	LM; SM	10 %; 90%	Strunjire
Segm 3 – 4	LM; SM	60 %; 90%	Strunjire
Segm 4 – 5	LM; SM	10 %; 90%	Strunjire
Segm 5 – 6	LM; SM	90 %; 90%	Strunjire
Segm 6 – 7	LM; SM	50 %; 90%	Strunjire
Segm 7 – 8	LM; SM	10 %; 90%	Strunjire
Segm 8 – 9	LM; SM	15 %; 90%	Strunjire
Segm 9 – 10	LM; SM	20 %; 90%	Strunjire
Segm 10 – 11	LM; SM	30 %; 90%	Strunjire
Segm 11 – 12	LM; SM	30 %; 90%	Strunjire
Segm 12 - 1	LM; SM	30 %; 90%	Strunjire

<b>Segmenti inferiori</b>			
Segm 1' – 2'	LM; D	80 %; 30%	Strunjire
Segm 2' – 3'	LM; D	70 %; 30%	Strunjire
Segm 3' – 4'	LM; D	10 %; 30%	Strunjire
Segm 4' – 5'	LM; D	10 %; 30%	Strunjire
Segm 5' – 6'	LM; D	90 %; 30%	Strunjire
Segm 6' – 7'	LM; D	30 %; 30%	Strunjire
Segm 7' – 8'	LM; D	80 %; 30%	Strunjire
Segm 8' – 9'	LM; D	80 %; 30%	Strunjire
Segm 9' – 10'	LM; D	80 %; 30%	Strunjire
Segm 10' – 11'	LM; D	90 %; 30%	Strunjire
Segm 11' – 12'	LM; D	30 %; 30%	Strunjire
Segm 12' – 1'	LM; D	40 %; 30%	Strunjire

**Abreviar defecte**

LM – lipsă material (cratere 1+5 mm adâncime)  
 SM – smulgeri material (la fața de așezare 195x10–inel superior  
 D – deteriorare suprafață așezare a colivilor – inel inferior

**Nr. bile afectate**

Set	Tip defect	Suprafață afectată %	Tip remediu
-----	------------	----------------------	-------------

Bilele Ø 150 nelivrate  
 1.....număr de bile în funcționare/ rulment..... 188

**Soluția tehnică și tehnologică propusă pentru remediere**

**Pentru calea de rulare inferioară și superioară**

După efectuarea verificărilor tehnice rezultă că segmentii căilor de rulare inferior și superior se pot reabilita tehnic prin operațiunea de strunjire

**Pentru bile**

Bilele utilizabile pot fi în soluții alternative și anume: de Ø 150 sau Ø 155 mm, funcție de rezultatul operațiunii de strunjire (dimensiunea canalului de rulare).

# FIȘA DE MĂSURĂTORI PENTRU SEGMENT SUPERIOR Ø 10 000

COTA DIN DESEN	SERIA			SERIA			SERIA					
	Cota măsurată 1 – 2	Desen 2 – 3	Piesă 3 – 4	Cota măsurată 4 – 5	Desen 5 – 6	Piesă 6 – 7	Cota măsurată 7 – 8	Desen 8 – 9	Piesă 9 – 10	Cota măsurată 10 – 11	Desen 11 – 12	Piesă 12 – 1
2665,8	2667	2664	2666	2666	2666	2666	2665	2666	2666	2664	2665	2665
120	110	104	110	108	106	106	114	106	106	106	108	104
34	24	16	20	22	20	20	28	20	20	20	22	18
75	75	75	72	75	72	72	74	75	75	74	72	75
R 80	80	80	83	80	83	83	81	80	80	81	83	80
195	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185
10*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Nr. 1 – 2 prezintă cratere pe calea de rulare de aprox. 5 mm adâncime											
	Nr. 2 – 3 prezintă cratere pe calea de rulare de aprox. 1 mm adâncime											
	Nr. 3 – 4 prezintă cratere pe calea de rulare de aprox. 5 mm adâncime											
	Nr. 4 – 5 prezintă smulgeri din material de aprox. 1 mm adâncime											
	Nr. 5 – 6 prezintă cratere pe calea de rulare de aprox. 5 mm adâncime											
	Nr. 6 – 7 prezintă cratere pe calea de rulare de aprox. 5 mm adâncime											
	Nr. 7 – 8 prezintă cratere și smulgeri de material pe calea de rulare de aprox. 2 mm adâncime											
	Nr. 8 – 9 prezintă cratere și smulgeri de material pe calea de rulare de aprox. 2 mm adâncime											
	Nr. 9 – 10 prezintă smulgeri din material pe calea de rulare de aprox. 1 mm adâncime											
	Nr. 10 – 11 prezintă cratere pe calea de rulare de aprox. 3 mm adâncime											
	Nr. 11 – 12 prezintă cratere pe calea de rulare de aprox. 3 mm adâncime											
	Nr. 12 – 1 prezintă cratere pe calea de rulare de aprox. 5 mm adâncime											
	* Pe suprafața interioară a cotei de 34 mm (calea de rulare) prezintă canale de aprox. 3 mm adâncime (toți segmentii).											
	* Cota de 10 mm nu se mai regăsește datorită uzurii marterialului în funcționarea rulmentului.											

Obs.



**FIȘA DE MĂSURĂTORI  
SEGMENT INFERIOR (NORMAL) Ø10.000**

COTA DIN DESEN	SERIA			SERIA			SERIA			SERIA		
	Cota măsurată 1 - 2	Desen 2 - 3	Piesă 3 - 4	Cota măsurată 4 - 5	Desen 5 - 6	Piesă 6 - 7	Cota măsurată 7 - 8	Desen 8 - 9	Piesă 9 - 10	Cota măsurată 10 - 11	Desen	Piesă
2668,4	2665	2665	2665	2665	2865	260	2670	2665	2665	2665		
120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120		
75	74	72	75	75	72	75	73	72	73	73		
R 80	81	83	80	80	83	80	82	82	82	82		
34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34		
195	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196		
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10		
	Nr. 1 - 2 prezintă craterare pe calea de rulare de aprox. 5 mm adâncime											
	Nr. 2 - 3 prezintă craterare pe calea de rulare de aprox. 5 mm adâncime											
	Nr. 3 - 4 prezintă craterare pe calea de rulare de aprox. 1 mm adâncime											
	Nr. 4 - 5 prezintă smulgeri din material de aprox. 1 mm adâncime											
	Nr. 5 - 6 prezintă craterare pe calea de rulare de aprox. 3 mm adâncime											
	Nr. 6 - 7 prezintă craterare pe calea de rulare de aprox. 2 mm adâncime											
	Nr. 7 - 8 prezintă craterare pe calea de rulare de aprox. 3 mm adâncime											
	Nr. 8 - 9 prezintă craterare pe calea de rulare de aprox. 3 mm adâncime											
	Nr. 9 - 10 prezintă craterare pe calea de rulare de aprox. 3 mm adâncime											
	Nr. 10 - 11 prezintă craterare pe calea de rulare de aprox. 5 mm adâncime											
	* Pe suprafața exterioară la cota de 34 mm (calea de rulare) prezintă lipsă de material de până la 3 mm (toți segmentii)											

Obs



## Cap. 7.4 CONCLUZII

**7.4.1** Tehnologiile de reparare a rulmenților uzați, ce urmează a fi adaptați, vor ține seama de:

- posibilitatea tehnică a reparației
- de costurile implicate
- asigurarea calității solicitate

**7.4.2** Stabilirea deciziei asupra recondiționării sau înlocuirii rulmenților se va lua numai după o expertiză tehnică detaliată prin care se va stabili gradul de uzură, mărimea jocurilor și metodele de recondiționare.

**7.4.3** Costurile mari de fabricație și de recondiționare a unui rulment de mașini mari, precum și costurile demontării și remontării (cu pierderi mari de producție) impun pentru execuția rulmentului pretenții de calitate foarte ridicate.

**7.4.4** Costurile de fabricație ale unui rulment fabricat în țară de către S.C. ROMINEX S.A., reprezintă ~ 45% din prețul unui rulment similar care ar fi importat de la firma KF. Datorită acestui lucru la numărul total de rulmenți executați în țară rezultă o economie de valută de ~ 27,3 mil EUR .

**7.4.5** Costul unui rulment reparat reprezintă 45 ÷ 75 % funcție de gradul de uzură al inelelor, de posibilitatea reutilizării bilelor și eliminarea defectelor de la căile de rulare prin strunjire , față de costul unuia nou.

Prin aplicarea tehnologiei de reparare a rezultat o reducere a costului la beneficiar de 70 ÷ 154 mii EUR / an.

## CAP.8 CONSIDERAȚII FINALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI PROBLEME DE VIITOR

### 8.1 Considerații finale

Elaborarea tezei de doctorat a presupus atât analizarea unui mare volum de material bibliografic din țară și străinătate cât și antrenarea unor discuții cu specialiști din domeniul mecanic și tehnologic privind comportarea în exploatare a U.G. Pe baza informațiilor acumulate din bibliografia amintită, din analizele efectuate și din experiența dobândită de autor în cei 30 de ani de activitate în domeniu, din vizitarea la fața locului a marilor cariere ale lumii, din vizitele și colaborarea cu întreprinderile românești ce fabrică utilaje grele, am elaborat această teză de doctorat din care sintetizez unele considerații finale

**8.1.1** În cadrul sistemului energetic național, exploatarea minereurilor de cărbune ocupă un loc prioritar pentru asigurarea din resurse proprii a necesităților interne de energie.

Prin modernizarea utilajelor grele mobile (U.G.) 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 U.G. face parte din ansamblul măsurilor care se iau în plan tehnic în cadrul etapei actuale, în care se trece de la utilizarea extensivă la cea intensivă a acestora. Aceasta presupune realizarea creșterii producției prin creșterea indicatorilor de utilizare ai U.G. Reproiectarea și modernizarea U.G. are drept scop reducerea consumurilor de materiale și mărirea duratei de viață a acestora. Sunt avute în vedere, de asemenea, elaborarea de metode și tehnologii pentru realizarea unor componente specifice importante (ex: rulmenți grei) și, nu în ultimul rând, comportarea în exploatare a elementelor portante ale U.G.

**8.1.2** În ceea ce privește reproiectarea unor elemente portante, datorită faptului că acestea sunt elemente care determină durata de viață a utilajului, s-a elaborat o metodologie de analiză a rulmenților grei pentru a se putea determina durata de utilizare în siguranță a acestora. Soluțiile constructive alese la U.G. 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 U.G., 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 U.G.

La alegerea oțelurilor din care se construiesc componentele elementelor portante ale U.G. care se supun Instrucțiunilor Tehnice ISCIR (România) se au în vedere, în special, condițiile de lucru (încărcări, regim de lucru și temperatură).

**8.1.3** Una dintre cele mai definitorii componente ale U.G. o constituie rulmenții grei. Datorită dimensiunilor mari (cei fabricați în România sub conducerea autorului au diametre cuprinse între 5000 și 12500 mm ) aceștia se fabrică din segmente (atât inelul inferior cât și superior ) și se execută, montează și se transportă cu ajutorul dispozitivelor speciale.

**8.1.4** Cercetările privind modificările caracteristicilor structurale și mecanice ale materialelor utilizate în timpul exploatării au condus la concluzia că, pe lângă

modul de utilizare, factorii care au preponderență în degradarea U.G. 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 componentelor U.G. la oboseală s-a făcut prin re-proiectarea anumitor ansamble constructive.

Literatura de specialitate din domeniul U.G. oferă numeroase lucrări care abordează probleme concrete și practice de coroziune a oțelurilor, de oboseală a ansamblelor constructive portante. 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).

**8.1.5** Produsele U.G. 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 U.G.-uri la care s-au constatat deficiențe de proiectare, de execuție, de exploatare a condus la concluzii menite să îmbunătățească re-proiectarea lor. Analiza fiabilistică a structurii complexe urmărește, în principal, stabilirea concluziilor elementelor portante ale U.G. 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 incubare a fisurii.

**8.1.6** Oțelurile folosite la construcția rulmenților grei sunt oțeluri aliate clasificate pe grupe și anume :

- Grupa oțelurilor durificate pătruns cu C = 1% și Cr = 0,5 – 2%.
- Grupa oțelurilor de cementare cu C cuprins între 0,14 și 0,22%, iar Cr nu depășește valoarea de 1,8%.
- Grupa oțelurilor de îmbunătățire (se durifică superficial) cuprinde oțeluri ce se supun procesului de îmbunătățire (călire + revenire înaltă) ce au conținutul de carbon cuprins între 0,4 și 0,57% și procentul maxim de crom de 1,2.
- Grupa oțelurilor inoxidabile au conținutul maxim în carbon de 1,1% iar procentul de crom cuprins între 12,5 și 18%.
- Grupa oțelurilor termorezistente (termostabile) cuprinde oțeluri cu conținutul de carbon ridicat (cuprins între 0,7 și 0,86%), conținutul de crom cuprins între 3,75 și 4,5% iar procentul maxim de molibden este de 5,2%.

De asemenea, aceste oțeluri prezintă vanadiu (maxim 2%) și wolfram cu valori între 6 și 17%.

Formele de produse și stările de tratament termic se iau în considerare în toate cazurile și se indică în următorul tabel (după EURONORM 79).

Produsul		Bare		Inele și discuri				
Starea de livrare		U	C	BF	BG	GKZ	GKZ +K+ G	V
Marca oțelului	Nr. fabricație (W)							
0	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Oțeluri durificate pătruns</b>								
100Cr2	1,3501	-	-	-	-	-	-	-
100Cr6	1,3501	X	X	-	-	X	X	-
100CrMn6	1,3520	X	X	-	-	X	X	-
100CrMo7	1,3537	X	X	-	-	X	X	-
100CrMo7.3	1,3536	X	X	-	-	X	X	-
100CrMnMo8	1,3539	X	X	-	-	X	X	-
<b>Oțeluri de cementare</b>								
17MnCr5	1,3521	X	X	X	X	X	X	-
19MnCr5	1,3523	X	X	X	X	X	X	-
16CrNiMo6	1,3531	X	X	X	X	X	X	-
17NiCrMo14	1,3533	X	X	-	-	X	X	-
<b>Oțeluri de îmbunătățire</b>								
Cf54	1,1219	X	X	-	-	-	-	X
44Cr2	1,3561	X	X	-	-	-	-	X
43CrMo4	1,3563	X	X	-	-	-	-	X
48CrMo4	1,3565	X	X	-	-	-	-	X
<b>Oțeluri inoxidabile</b>								
X45Cr13	1,3541	-	-	-	-	X	X	-
X102CrMo17	1,3543	-	-	-	-	X	X	-
X89CrMoV18.1	1,3549	-	-	-	-	X	X	-
<b>Oțeluri termorezistente</b>								
80MoCrV42.16	1,3551	-	-	-	-	X	X	-
X82WmoCrV6.5 .4	1,3553	-	-	-	-	X	X	-
X75WCrV18.4.1	1,3558	-	-	-	-	X	X	-

## 8.2.Contribuții originale:

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

**8.2.1.** 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 aplicării rulmenților grei în sectoare ca industria minieră de suprafață ,energetică, lucrări de construcție a tunelurilor, turbine eoline, radare, tehnică spațială , etc.

**8.2.2.** Alegerea celor mai noi și moderne metode de investigare a fenomenelor de coroziune în mediul specific de lucru al utilajelor grele a jocurilor în rulment și interpretarea tuturor rezultatelor prin prisma conceptului de funcționare în mediul real.

**8.2.3.** Studiarea celor mai reprezentative ansamble mecanice și elemente portante ale structurilor complexe prin metoda elementelor finite, în vederea estimării cu un grad ridicat de certitudine a comportării lor în exploatare.

**8.2.4.** Stabilirea cauzelor unor defectări la utilajele grele mobile ce funcționează în carierele de lignit din România, pe baza analizării statisticilor avariilor din carierele de cărbune renumite prin performanțele și eficiența lor din Germania, USA, Australia șiThailanda .

**8.2.5.** Pe baza rezultatelor obținute, pe durata modernizării a 16 bucăți excavatoare cu rotor ( între 1998 – 2003 ) s-au stabilit soluții constructive de remanieră și tehnologii de execuție particulare care au permis reutilizarea unor cantități mari de subanasamble ( inele, bile, colivii ) și au contribuit la reducerea consumurilor de materiale și a costurilor financiare. Simplificarea tehnologiilor de execuție și folosirea unor soluții de înalt nivel tehnic în montarea, selectarea și verificarea rulmenților grei au condus la prelungirea efectivă a duratei de viață, la creștere siguranței în exploatare și la scăderea prețului de cost.

**8.2.6** Elaborarea tehnologiei de cântărire a suprastructurii și a conceperii unei instalații computerizate aferente, în vederea obținerii la cântărire a unei abateri maxime de  $\pm 2 \%$  - ( față de  $10 \%$  realizat în prezent ) .

### **8.3 Probleme de viitor**

**8.3.1.** Dezvoltarea utilizării rulmenților grei la cele mai diversificate și complexe condiții de exploatare, impune folosirea la fabricația acestora a noi materiale cum ar fi : materiale compozite ( tehnica cosmosului ), neferoase, oțeluri inox, etc.

**8.3.2.** Elaborarea de tehnologi și programe pentru executarea rulmenților grei – segment cu segment – pe mașină de frezat cu comandă CNC

**8.3.3.**În vederea reproiectării unor componente ale U.G. ( cu rulmenți grei ) se vor elabora norme specifice pe baza metodologiei prezentate privind inspecția, expertizarea și urmărirea în exploatare a acestora .

**8.3.4.** Elaborarea unei propuneri de standard național specific rulmenților grei pentru încercarea acestora la coroziune în medii agresive care va ține cont și de procedurile tehnice internaționale din domeniu.



## REFERINȚE BIBLIOGRAFICE

1. BADEA S. Forjarea și extruziunea materialelor metalice, EDP, București, 1980
2. BARSOUM J. M. Fracture and Fatigue Control in Structures, Second Edition, and all Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1987, U.S.A.
3. BĂLĂȘOIU V. Acționări hidraulice și pneumatice, vol.I., Institutul Politehnic "Traian Vuia", Timișoara, 1990
4. BĂLĂȘOIU V. Hidraulica sistemelor de acționare, Editura Mirton, Timișoara, 1996
5. BILLMANN R.R. Statistical inferences from censored, Technometrics, 14, 1995, London, England.
6. BRANDES, M. Mechanical Properties of Material under Hydrostatic Pressure, in : Mechanical Behavior of Material under Pressure, Ed. By H.L 1. D. Pugh, Elsevier Publishing Company Limited Amsterdam – London – New York 1970, S. 236 – 298.
7. BROWN K.R. The Chevron Notched Fneture Toughness Test, ASTM Standarditation Neus, 1988, U.S.A.
8. CARTIȘ I. Tratamente termice, Editura Facla, Timișoara, 1982
9. CATTANEO, C. Theoria del contatto elastico in seconda approssimazione. Rend. Mat. E. Appl., II. – IV., 1947.
10. CHESA I. ș.a. Mărci și produse din oțel, Ed. Tehnică, București, 1989, România
11. CHIRIȚĂ V. ș.a. Matrițarea la cald a metalelor, Et. Tehnică, București, 1989 România
12. CIJIKOV IU. M. : Procesele de deformare plastică a oțelurilor aliate și aliajelor neferoase speciale, Ed. Tehnică, București 1969, România
13. CIREȘ I.; CIOARĂ T.; BERETEU L. Cercetări experimentale privind mișcările vibratorii la utilajele grele mobile - Seminarul științific: Metode pentru determinarea rezervei de viață la utilajele grele mobile, Timișoara, 1996
14. CIREȘ I.; GHIRASIM T. Cercetări pentru stabilirea metodologică de expertizare a utilajelor destinate manipulării cărbunelui în centralele termoelectrice ale sistemului energetic național și excavării lui la suprafață care au norma de viață îndeplinită în vederea utilizării lor în condiții de siguranță. Raport de cercetare MCT București, 1997, România

15. CIREȘ I.;  
GHIRASIM T. Rapoarte interne privind inspecția, execuția și exploatarea U.G.M. ( fiabilitate operațională și previzională ) rapoarte C – D Prompt ( 1980 – 1993 ), Timișoara, România
16. CIREȘ I.;  
GHIRASIM T. Expertizarea și inspecția construcției de rezistență – braț roată cu cupe la excavatorul SRs 1300 – 02 de la Cariera Tismana, Raport de cercetare , 1996, Timișoara, România
17. CVEKL, Z.u.a. Berührungsspannungen in den großräumigen Wälzlagorungen bei Tagebaugeräten. Forschungabericht Nr.KTZ 1/80, Techn. Univ. Prag, 1980.
18. DEUTSCH I. Rezistența materialelor, Editura didactică și pedagogică, București, 1979
19. DRĂGAN I. : Tehnologia deformării plastice, E.D.P. , București , 1976, România
20. DURST W.; VOGT W. Schaufelradbagger, Trans Tech Publications, Clausthal-Zellerfeld, 1986
21. ELITOV K. : Povisenie kacestva podsipnikovoi stali, Stali no.8 , 1993 , Moscow
22. ENEKES S. Effects of some metallurgical characteristics on the fatigue life of bearing steels, Cleen steels, London, 1990
23. ESCHMAN H. W. Ball and Roller bearings, Oldenbourg, München, 1988, Germany 1992, Austria
24. ESCHMANN,P.,  
L.HASBARGEN,  
R.WEIGAND : Die Wälzlagerpraxia, R. Oldenbourg Verlag und FAG – Schweinfurt, München – Wien 1978.
25. FERRERO M. Acciai per cuscinetti, Simposion Egam 1996, Roma
26. FLUERAȘ D.;  
RAȚIU M. Studiul metalelor de diagnoză a dereglărilor și analiza propagării lor în timp, ISIM Timișoara, 1995, România
27. GALTOI A. : Construcția excavatoarelor cu rotor și mașinilor de haldat. Construcția metalică de rezistență a acestora, forțe exterioare la care sunt supuse, stabilitatea lor, coeficienți de siguranță
28. GUSTAVSSON A. Fatigue Dimension Data and Methoda for Bearing heavy Steels, 10 – th ISATA, 1997 Florence
29. HARRIS, T.A. Rolling bearing analysis. John Wiley, New York, 1986.
30. HELG A. Grundlangen zür Anwendung von Walzlagen, Technicsche Rundschau Bern, 1995, Suisse
31. HEMPEL, M. Die Entstehung von Mikrorissen in metallischen Werkstoffen unter Wechselbeanspruchung, Archiv für das Eisenhüttenwesen 38 (1967), S. 446 – 455.
32. HETHERINGTON  
P.M. Amelioration de la proprete des aciers speciaux, CDS, București, 1991
33. IRESON W. Reliability handbook, McGraw-Hill, 1994, New York, U.S.A.

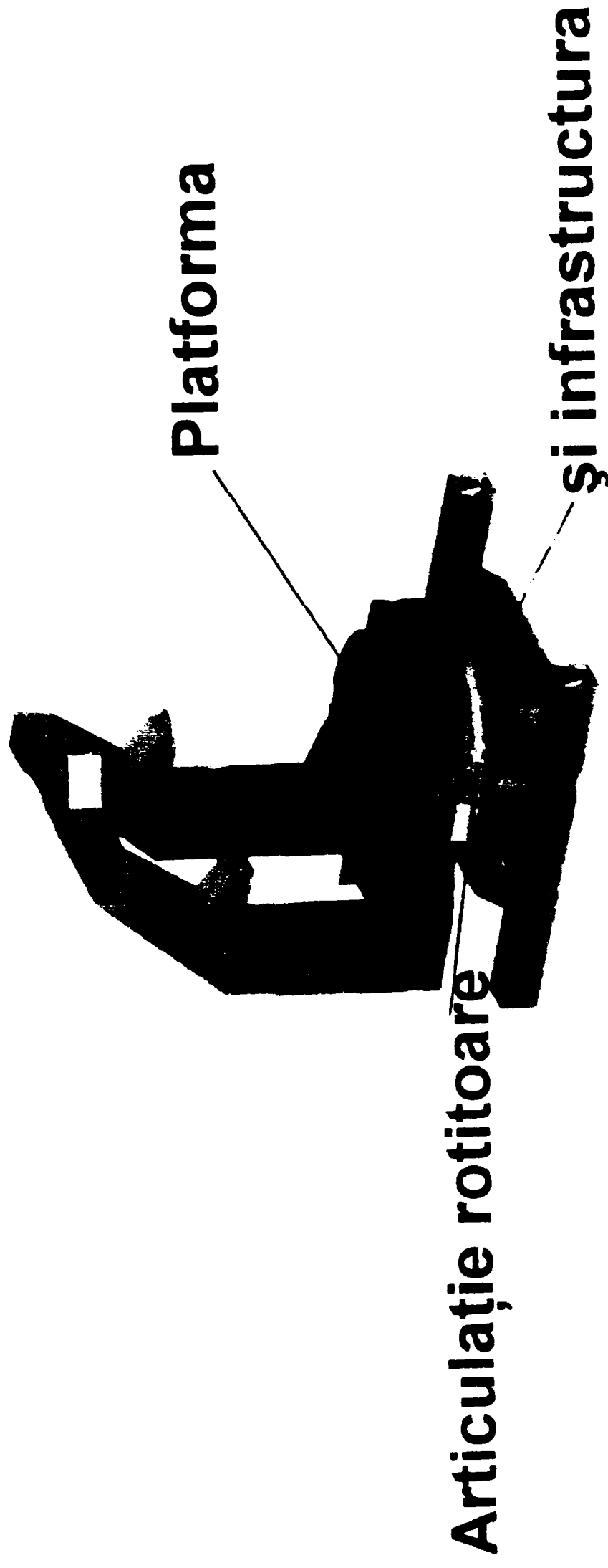
34. KAZVO O. Effect of Non – metallic Inclusions on the Rolling fatigue Life of ball Bearing Steels, Nippon steel Technical report Overseas no. 3, 1993
35. KAMEMASTU M. Application of DH Vacuum Degassing to the 1%C+1,5% Cr Bearing Steel at the Yawata Ironance Steel Works, 1996, Tokio
36. KABUCOVSKI A. F. Struktura I nemetallischeskaia vklucenia v slikah podsipnikovoistali, Stali no.11, 1990, Moscow
37. KOICHI A. Some Metallurgical Problemson the Life of Rolling Bearings, Nippon Steel Technical Raport Overseas, Nr. 2, 1993, Japan
38. KOLLETH H. Utilaje, instalații și benzi transportoare pentru exploatările miniere de suprafață
39. KURITA M. Ball Bearing Steels, Fusiksishi Engeineering Revue, No. 4, 1993, Tokyo
40. LITTMANN, W.E. : The Mechanism of Contact Fatigue, in : Interdisciplinary Approach to the Lubrication of Concentrated Contacts, NASA SP – 237, Washington 1970.
41. LOO, T.T. Journal of Applied Mechanics, 1958 (March),S. 122-124
42. MARIN V.; : Sisteme hidraulice de acționare și reglare automată. Probleme practice – proiectare, execuție, exploatare, Editura tehnică, București, 1981
- MOSCOVICI R.;
- TENESLAV D.
43. MASUMI O. Ball Bearing Steels, Fusikosishi Engeineering Revue, No. 4, 1993 , Tokyo
44. MATTHIAS, K. : Erforderliche Härtetiefe bei Wälzpaarungen, Hebezeuge und Fördermittel 19 (1979), S.132 – 134.
45. MITELEA I. Știința materialelor în construcția de mașini, Ed. Sudura, 1999 Timișoara, România
- LUGSCHEIDER E.
- TILLMANN W.
46. MOLDOVAN V.; : Utilaje pentru deformări plastice, E.D.P. , București, 1982 România
- MANIU A.
47. MOLDOVAN V. ; Modernizări în secțiile de foraje, Transilvania Press, 1993, România
- DIMITRIU S.
48. NIES GERHARD : Utilaje și tehnoligi moderne de excavare pentru exploatarea lignitului
49. PEHLKE R.D. Unit Processes of Extractive Metallurgy, Elsiver Publishing Company, New York, 1992
50. POPESCU N. : Tratamente termice neconvenționale, Ed. Tehnică. 1990, București, România
51. POPESCU N. ș.a. Tratamente termice și prelucrări la cald, E.D.P. , București, 1993, România
52. POPESCU I. V. Forjarea și extruziunea metalelor și aliajelor, E.D.P., București, 1976, România
53. RICHMOND D. I. Oxidation of Experimental Allays, Air Force Contact no. AF: 33/97, Național Bureau of Standards, June, 1997, Paris, France

54. SAGUE, J.E.,  
RUMBARGER, J.H. Design Criteria to Prevent Core Crushing Failure in Large Diameter, Case-Hardened Ball and Roller Bearings, Design Engineering Conference & Show, Chicago, Il., May 9 – 12, 1977, ASME Publ. 77 – DE - 99
55. SCHAUDE, B. Optimale Wälzkörperprofilierung von Zylinderrollenlagern, Dissertation Universität Karlsruhe 1978.
56. SCHLICHT, H. Der Überrollungsvorgang in Wälzelementen, Härtereie – Tehnische Mitteilungen 25 (1970), S. 47 – 54.
57. SEDMAK S. Service life assessmeret of joints of rotor excavator arrow, MDRVUGM 1996, Timișoara, România
58. SHEEROV I. A. Raskislenie poluspokoinni stoli, Stoli nr.12, 1993, Moscova, Rusia
59. SUZUKI Y. Secondary Steel making Review of Present Situation in Japan, Steelmarking, London, The Metals Society, 1997, Englend
60. TARDY P. Ein fluss des Verhältnisses von Somer-Stoff und Schwefelgelt auf die Lendensdauer von Waltzlagere Stahl, Archiv fuer das Eisenhuttenwesen, nr.7, 1966, Berlin, Germany
61. T.BARON T. Calitate și fiabilitate, Vol.1,2 Ed. Tehnică, 1988, București, România
62. TRICOT R. Relative detroitmental effect of inclusions on Service properties on bearing steels, cleen Steels, Balatonfured, 1990, England
63. TRICOT R. Propertis d"emploi des aciers pour roulments, International Symposion, Paris, 1995, France
64. TRUȘCULESCU M. ;  
GHIRASIM T. Studiul materialelor analizate și încercări, UPT 1997, Timișoara, România
65. VACU S. ș.a. : Elaborarea oțelurilor aliate Vol.II, Ed.Tehnică, București, România 1983
66. ZEVELEANU C. ;  
LARIONESCU S. ;  
DIMITRIU N. Institutul de Construcții București, Catedra de Mecanică teoretică și aplicată - Studiul comportării dinamice a excavatoarelor și mașinilor de haldat de mare capacitate, utilizate în bazinul minier Rovinari
67. WINKLER O. Vacuum Metalurgy, elsevier Publisching Company, New York, 1991, USA
68. SKF Hauptkatalog
69. Koyo BALL & ROLLER BEARINGS
70. FAG Hauptkatalog
71. TEHNOIMPORTEEXPORT General Bearings Catalogue  
- URB
72. \* \* \* Excavator cu roată cu cupe ERC 1400 - 30 / 7 Instrucțiuni de montaj, exploatare și întreținere Vol.I
73. \* \* \* \* Oțeluri pentru rulmenți, STAS 1456/1-89
74. \* \* \* \* Oțeluri pentru rulmenți tratate în vid, STAS 11250-89
75. \* \* \* \* Oțeluri pentru rulmenți Rollway, STAS 11525-80

76. \* \* \* \* Oțeluri aliate pentru tratament termic STAS 71-88
77. \* \* \* \* Oțeluri carbon de calitate și aliate pentru tratament termic STAS 71-88
78. \* \* \* \* Manualul inginerului mecanic, vol. 1, Editura tehnică, București, 1978
79. \* \* \* \* Manualul inginerului mecanic, vol. 2, Editura tehnică, București, 1980
80. \* \* \* \* Manualul inginerului metalurg, vol. 2, Editura tehnică, București, 1980
81. \* \* \* \* Vergutungsstahle, DIN 17200, DK 018.298.3, Germany
82. \* \* \* \* Einsatzstahle, DIN 17.210, DK 018.298.3, Germany
83. \* \* \* \* Walzlagere, DIN 17230, DK 669.14.018.2, Germany
84. \* \* \* \* Werkstoffprüfung Mechanische Prüfung der Metalle, Allgemens Abnorme, DIN 1650 Teil, Germany
85. \* \* \* \* : Benennung und Einteilung von Stahlerzeugnissen nach Formen und Abmessungen EURONORM 79, Germany
86. \* \* \* \* Prüfung metallischer Werkstoffe Härte prüfung nach Brinell, DIN 50351, Germany
87. \* \* \* \* : Ronds lamines a chand, dimensions et tolerances, NF A45.003, Paris France
88. \* \* \* \* : Plots laminesa chand, dimensions et tolerances, NF A45.005, Paris France
89. \* \* \* \* : Componente rulmenți grei, DIN 5401, Germany
90. \* \* \* \* : Încercarea materialelor metalice ( la îndoire ) DIN 50.115, Germany
91. \* \* \* \* : Determinarea și clasificarea produselor din oțel de rulmenți după forme și dimensiuni, EURONORM 79

# ANEXE

# Configurație



## Excavator cu roată port cupe compact

# Recomandări constructive pentru excavator roată port cupe compact

## 1. Infrastructură

### Configurație generală portantă

### 2. Articulație rotitoare

- 2.1 Soluții constructive
- 2.2 Cerințe pentru construcția portantă
- 2.3 Suprafețe de sprijin
  - 2.3.1 Fixare
  - 2.3.2 Suprafețe superioare
  - 2.4 Ungere centrală

### 3. Optimizarea platformei prin variația parametrilor

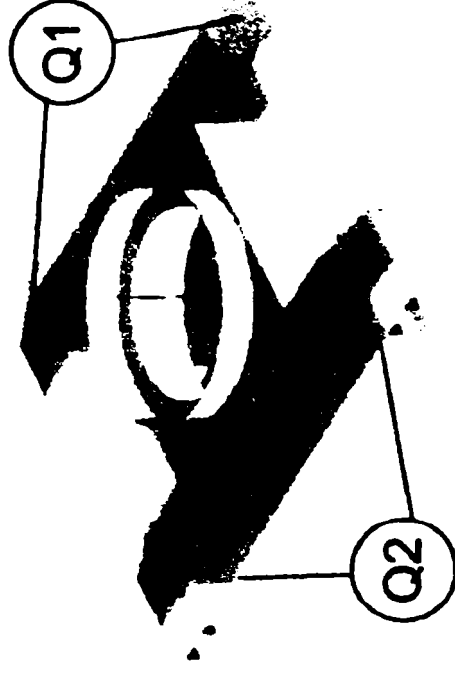
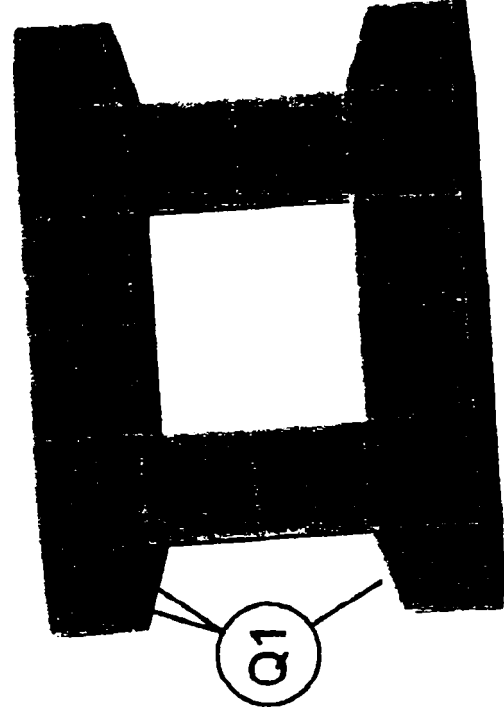
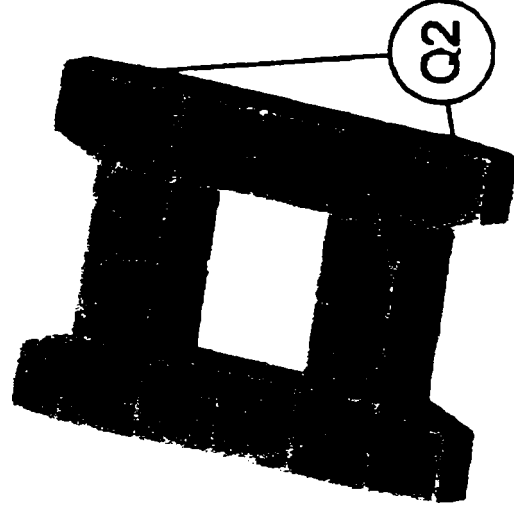
- 3.1 Compararea variantelor caracteristice
- 3.2 Sarcini relevante
- 3.3 Factori de creștere
- 3.4 Concluzii

Anexă: Modificarea constructivă a  
direcțiilor platformei



# 1. Infrastructură: Configurația generală

	Forma	Utilitate
Q1	Conică	Adaptarea constructivă la construcția portantă în special înălțimea
Q2	Unghiulară/ de aliniere	Efectul îmbunătățit al unei îmbinări sudate portante cu muchii unghiulare. Acesta este necesar mai ales de-a lungul traseului forțelor

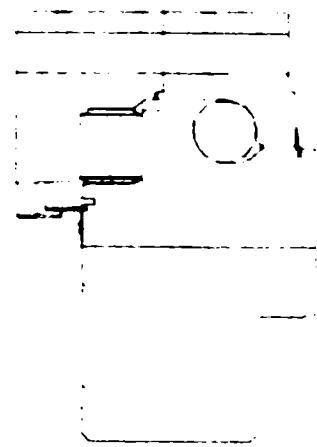
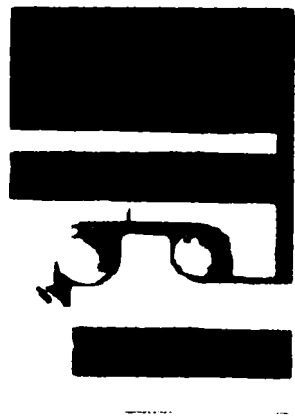


## 2.1 Articulație rotitoare: Soluții constructive

Serie tipizată/ tip	Soluție constructivă	Descriere	Proprietăți	Utilaje recomandate
KD320 / 011	rulment cu 2 rânduri de bile	Bile mari de rază bile mici pentru momentul de răsturnare	Deformabilitate redusă Capacitate de încărcare mai redusă	Mecanism de rotire la brațe de descărcare, utilaje mici
Formă constructivă specială asemănătoare	Rulment combinat	Role de rează mari bile mai mici pentru momentul de răsturnare. Unghi de înfășurare mare	Deformabilitate crescută Capacitate de încărcare mai mare	Excavator cu roată port cupe compact
<del>RD900 191</del>	<del>Rulment cu 3 rânduri de role</del>	<del>3 role pe fiecare unghiular</del>	<del>Pentru sarcini extreme sensibil la deformări</del>	<del>Fără referințe la utilaj, utilizare doar la sarcini extreme</del>

KD320/011

RD900/191



## 2.2 Articulație rotitoare: Deformări ale construcției portante

### Recomandare:

Se vor respecta prevederile de planietate ale suprafeței de sprijin neîncărcate (vezi abaterile de la planeitate din norme)

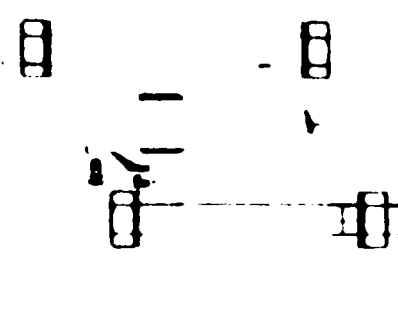


### Deformări admisibile ale construcției portante :

Deformări axiale admisibile depind de diametrul cercului de rulare.  
Valorile indicate sunt valurile de referință.  
Fiecare segment de 180° poate avea doar un singur vârf de deformare ( $\pm V$ ).

Diametrul cercului de rulare [mm]	Deformare axială maximă [ mm ]
2500	1,3
4000	2,5
6000	4,8
8000	7,0

## 2.3 Articulație rotitoare: suprafață de sprijin

### 2.3.1 Fixare

Execuție	Utilizare în funcție de :	Observații	Reprezentare
<p>Alezaje de trecere (străpânse)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diametrul de divizare al danturării</li> <li>- Mecanism de deplasare pe șenile (înălțimea și lățimea zalei)</li> <li>- Preț (coroana are un preț specific mare), necesită șuruburi de trecere</li> <li>- Spațiul de montaj (șuruburi, chei, dispozitive hidraulice de tensionare</li> </ul>	<p>Recomandat cu:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Șuruburi de înaltă rezistență</li> <li>- Prezon</li> </ul> <p>Atenție la lungimea de interior !</p>	
<p>Alezaje înfundate</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Argument corespunzător ca mai sus</li> <li>• La utilizarea prezoanelor (nu este posibilă o strângere corectă)</li> <li>• Pot apărea probleme la ruperi</li> </ul>	<p>A se evita !</p>	

## 2.3.2 Suprafețe superioare

Măsuri de prelucrare a suprafețelor superioare.	Observații	Explicații
1. Prelucrare mecanică	Recomandat	Pentru asigurarea unei funcționări fără frecare
2. Compensarea suprafețelor cu rășină	doar dacă nu se pot executa prelucrări mecanice	Este eventual foarte costisitor.

Măsuri de antrenare	Observații	Explicații
Adaosuri mecanice, știfturi de centrare, cepuri	Recomandat	Pretenții ridicate de execuție, îngreunează la demontare, posibil știfturi demontabile.
Marcaje	Alternativă nesigură	Pentru evitarea depășirii înălțimii, preciziei, poziționare: 1 mm doar cu mijloace optice.

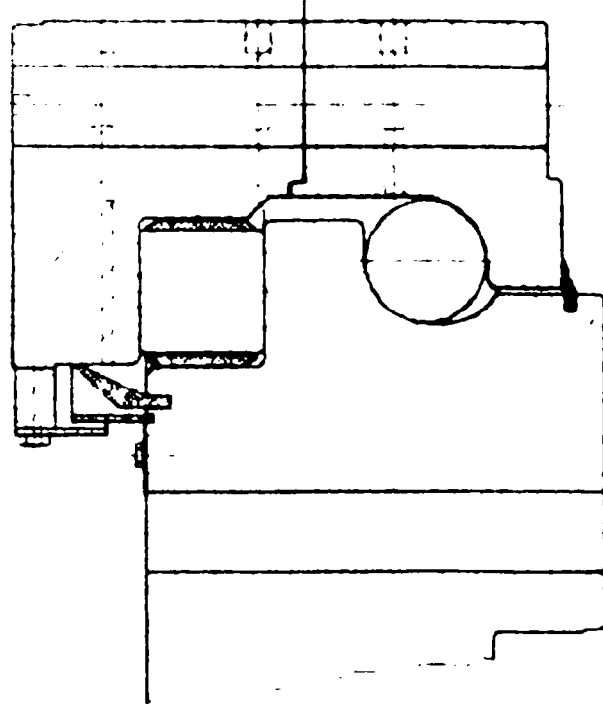
Măsuri de lipire	Observații	Explicație
Lipire suplimentară pentru elemente de înclinare	A se evita.	Dacă nu se asigură frecarea necesară strângerii se va mări numărul șuruburilor: fără lipire

## 2.4 Articulația rotitoare: ungere

Proprietate	Descriere
Ungere centrală	Labirint ca o repartizare mai bună a ungerii
Ungere primară necesară	reduc
Necesitate de vaselină principală	Pentru etanșare împotriva murdăririi

### Recomandare:

Calitatea vaselinei se alege conform datelor și a prescripțiilor producătorului pentru articulații rotitoare



## **3. Platformă: optimizarea platformei prin variații a parametrilor**

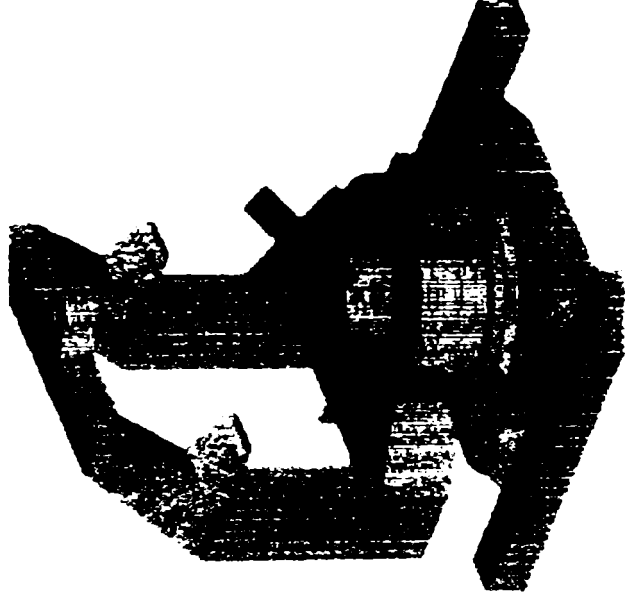
### **3.1 Compararea variantelor caracteristice pentru determinarea mărimilor importante de influență asupra forțelor din rulment**

- 3 1 0 Calcularea platformei prin metoda elementelor finite pe baza unui exemplu de referință.
- 3 1.1 Varianta 1: Reducerea înălțimii platformei
- 3 1.2 Varianta 2: Transmiterea asupra unei noi forme constructive
- 3 1.3 Varianta 3: Spațiu între contrabraț și grindă inelară în varianta 2
- 3 1.4 Varianta 4: Cutie transversală suplimentară între contrabraț și grindă inelară pe baza variantei 3
- 3 1.5 Varianta 5: Înlocuirea peretelui transversal din varianta 3 înspre contrabraț (mărirea distanței la grindă inelară)
- 3 1.6 Varianta 6: Eliminarea cutiei în varianta 5
- 3 1.7 Varianta 7: Perete transversal în locul celui longitudinal la grindă inelară
- 3 1.8 Varianta 8: Perete transversal prin grindă inelară
- 3 1.9 Varianta 9: Eliminarea cutiei posterioare în varianta 7 / varianta 8

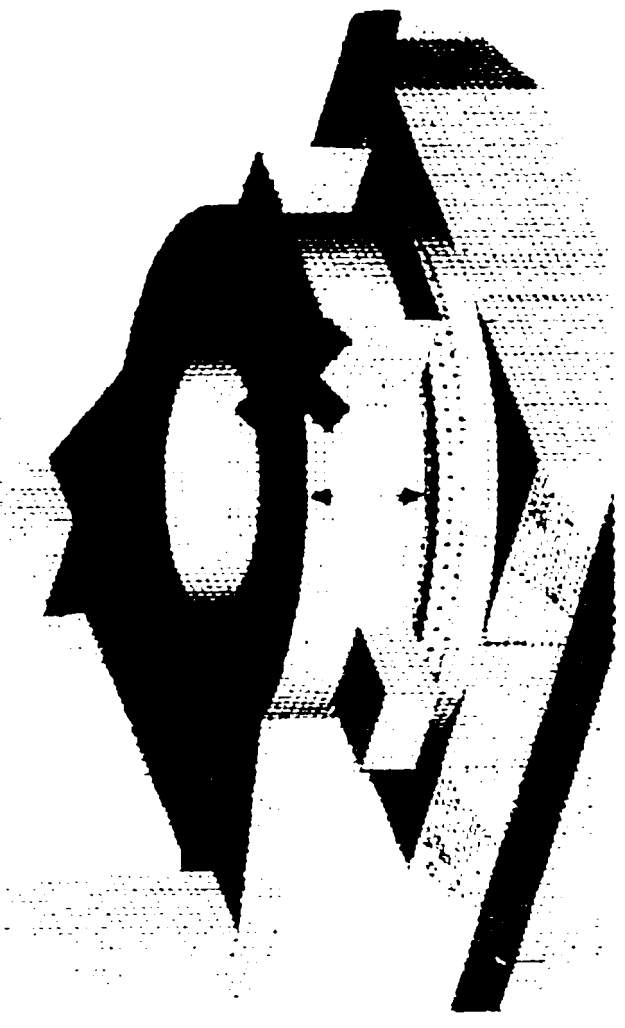
Vezi reprezentarea următoare

# Varianta de platformă I

Varianta 0: Model original



Varianta 1: Reducerea înălțimii platformei



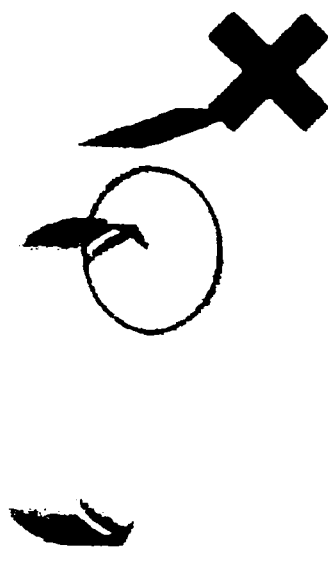


Varianta 2: noua formă constructivă

Varianta 3:

## Varianta de platformă

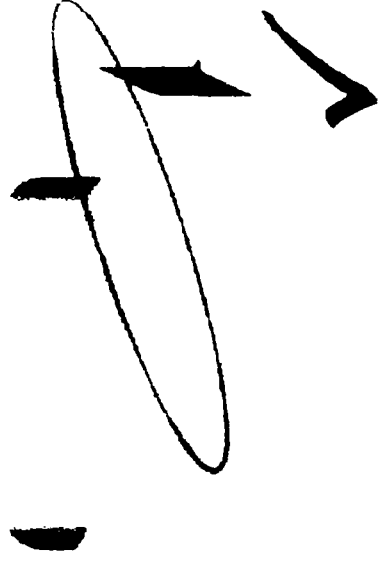
II



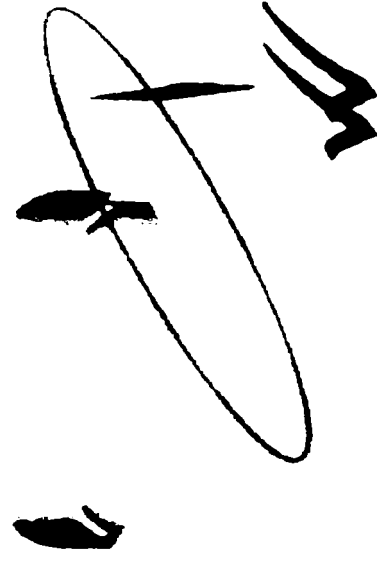
Varianta 4 (din 3):



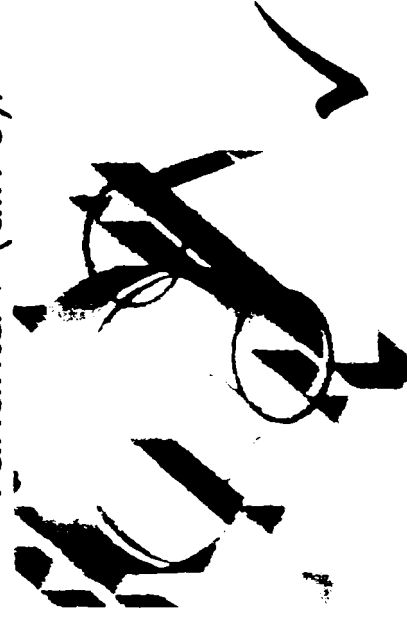
Varianta 5 (din 4):



Varianta 6 (din 5):



Varianta 7 (din 6):



Varianta 8 (din 7):



Varianta 9 (din 8):



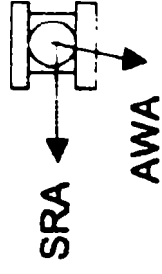
## 3.2 Platformă: Sarcini relevante: cazul de solicitare 1

LF 1:

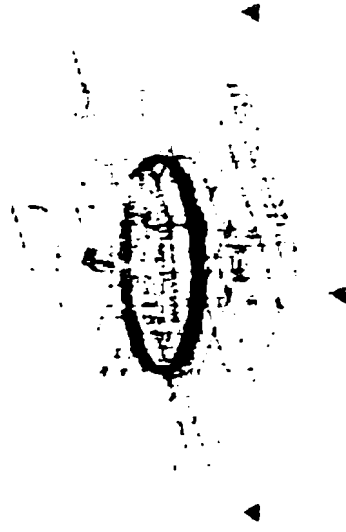
AWA: 95°, centric, plin

SRA: 0°, înalt, plin

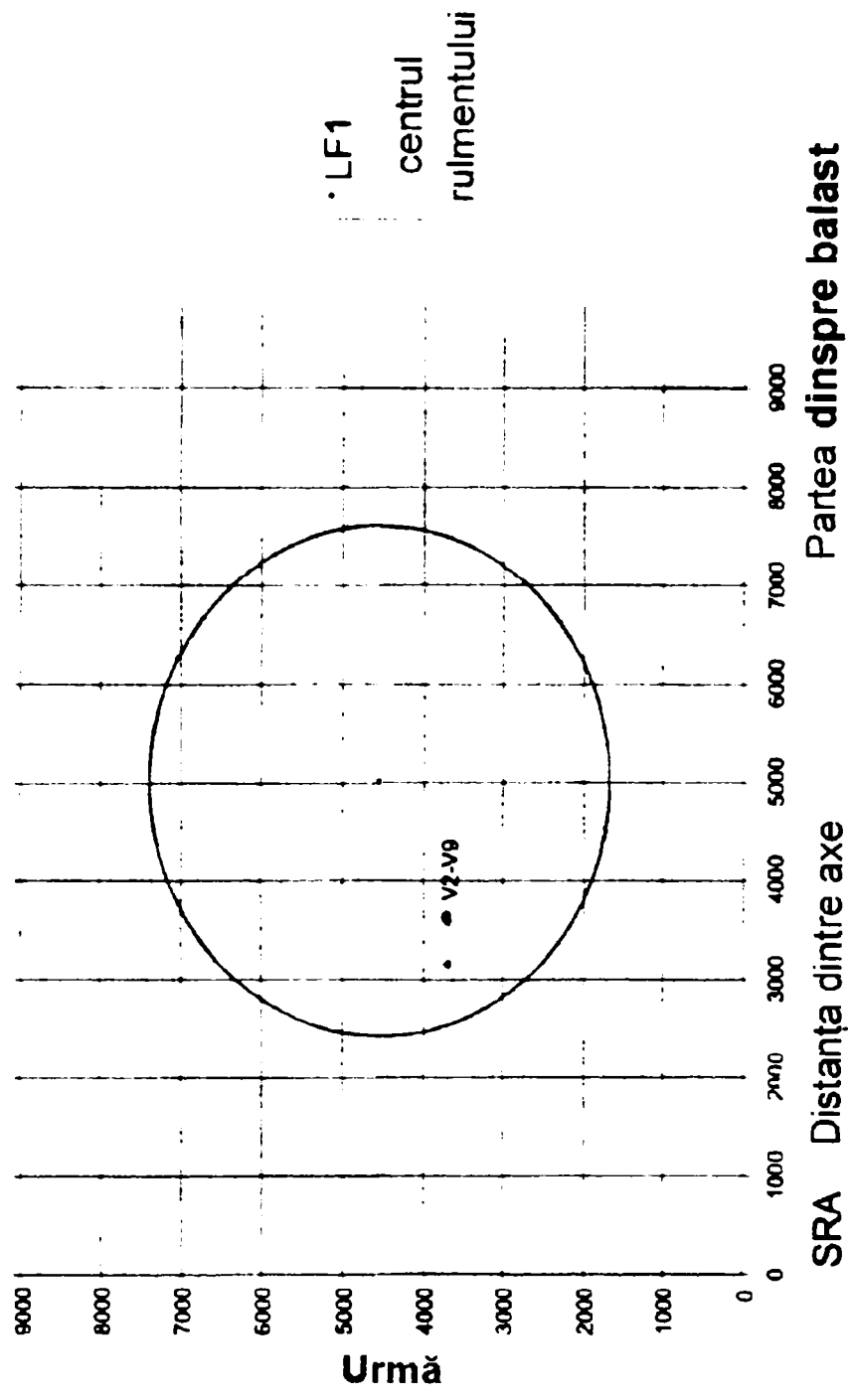
LF II (conf. ISO 5049)



Poziția centrului de greutate



LF 1 Provoacă momentul de răsturnare maxim



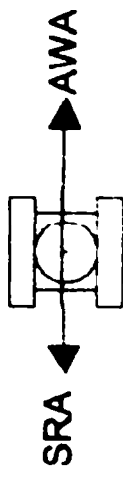
- 12 -

## 3.2 Platformă: Sarcini relevante: cazul de solicitare 2

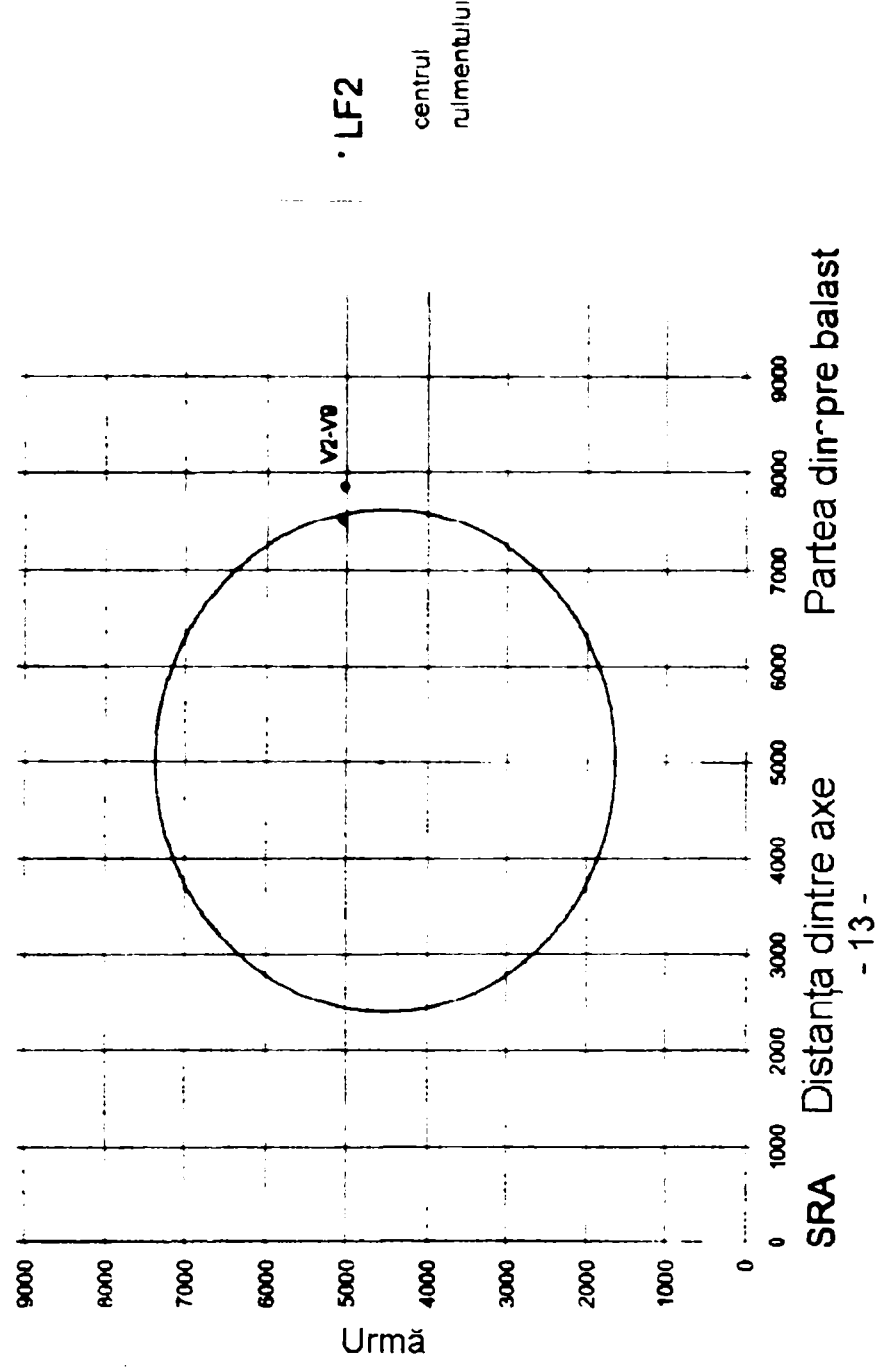
LF 2:

AWA: 0°, adânc, plin

SRA: 0°, înalt, gol  
desfășurat - LF II  
(conf. ISO 5049)



Poziția centrului de greutate



LF 2 provoacă sarcina maximă  
orizontală

SRA Distanța dintre axe

- 13 -

## 3.2 Platformă: Forțe teoretice de rulare dpdv al comportării statice pe baza unui exemplu



	LF1	LF2	KDV
Unghiul de-a lungul rulmentului	215,3	13,1	
Moment de încovoiere la X	8864,14	-2633,54	
Moment de încovoiere la Y	-12496,95	11327,32	
Momentul rezultat (din Mx și My)	15321,4	11629,4	5854
Rază exterioară			5614
Rază interioară			3036558432,5
Momente de rezistență	5,05	3,83	
Momente de încovoiere			
$F_z$			
Suprafața circulară	-5935,74	-5228,94	1080833,5
Efortul normal	-5,49	-4,84	
Efortul rezultat : sigma_res,max	10,54	8,67	
Componenta pe rolă: A_R			6004,6
Forța rezultantă de rulare:			

$$\sigma_B = M_{res} / W$$

$$\sigma_N = F_z / A$$

$$\sigma_{res,max} = \sigma_B - \sigma_n$$

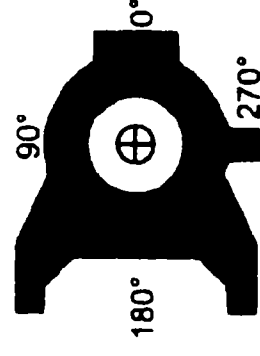
$$A_R = A / 180$$

### 3.3 Platformă: Factori de creștere pentru forțele de rulare (forțe de rulare maxime FE forță de abordare statică de referință)

$f_{R.o.ă}$ (maximal)	Original	VARIANTĂ 1	VARIANTĂ 2	VARIANTĂ 3	VARIANTĂ 4	VARIANTĂ 5	VARIANTĂ 6	VARIANTĂ 7	VARIANTĂ 8	VARIANTĂ 9
LF 1 Comp. statică <sup>1)</sup> 63,3kN 215°	4,1 224° <sup>2)</sup>	3,4 215°	3,3 215°	3,3 215°	3,2 215°	3,3 215°	3,3 215°	3,2 215°	3,2 215°	3,2 215°
LF 2 Comp. statică <sup>1)</sup> 52,0kN 13°	3,6 ± 28°	3,6 ± 28°	3,3 0°	3,4 0°	3,3 0°	3,2 0°	3,2 0°	3,2 0°	3,2 ± 28°	3,2 ± 28°

1) Mărimi ale calculului de comparație static (vezi sus)

Moment de încovoiere rezultant	Forța verticală	Sarcina rezultantă pe rolă	Sensul sarcinii rezultante principale
LF 1: 15321 kNm	5936 kN	63,3 kN	215,3°
LF 2: 11629 kNm	5229 kN	52,0 kN	13,1°



2) Poziția forțelor de rulare maximă de-a lungul rulmentului, 0° ; contrabrat central

### 3.4 Concluziile rezultatelor privind platforma

Execuția veche arată pentru ambele cazuri de solicitare extremă, sarcini maxime în articulația rotativă (rulment):

- > Modul de construcție al inelului (V0, V1) este dezavantajos, este mai potrivit modul constructiv de tip grilaj (V2 - V9)
- > Legăturile laterale în zona portanță a rulmentului conduc la vârfuri de sarcină și deformări (V0, V1)
- > Sensul forțelor să nu fie orientat radial față de rulment ci să se repartizeze tangențial.

Forțele minime rezultă conform variantelor 5 (LF1) și 7 (LF'')

- > Forțele depind de varianta constructivă și de pozițiile centrului de greutate, respectiv de sensul forței principale
- > Peretele de fixare către contrabrat să nu fie legat direct cu grinda inelară (concentrator de efort). Ca soluție înlocuitoare să se folosească construcția tip grilaj portant (V6 este cea mai bună soluție pentru ambele cazuri de solicitare, factor 3,2)
- Variantele 2-9 conduc la o repartizare uniformă mai bună a forțelor în rulment
- > Modul constructiv de tip grilaj, satisface cerințele producătorului de rulment, referitor la o mai bună repartizare uniformă (vezi forțele LF1)
- > Zonele portante sunt la modul constructiv de tip grilaj mai mari, deformările mai mici, repartizare mai bună
- Cazul de solicitare 1 conduce la forțe maxime absolute.
- > Momentul de răsturnare maxim și poziția excentrică a centrului de greutate formează sarcini relevante
- > În zona centrului de greutate a acestei poziții se elimină tablele laterale de rezemare
- > Influențele constructive ca în exemplul ale mecanismului de rotire, trebuie să fie tratate atent în ce privește dispunerea tablelor laterale de rezemare.
- Factorii de creștere față de calculul static sunt între 3,0 și 4,8
- > Cu luarea în considerare a factorilor numiți se pot face calcule cu un factor de 3,2 (varianta 6) (LF1, LF2: S=1,33)

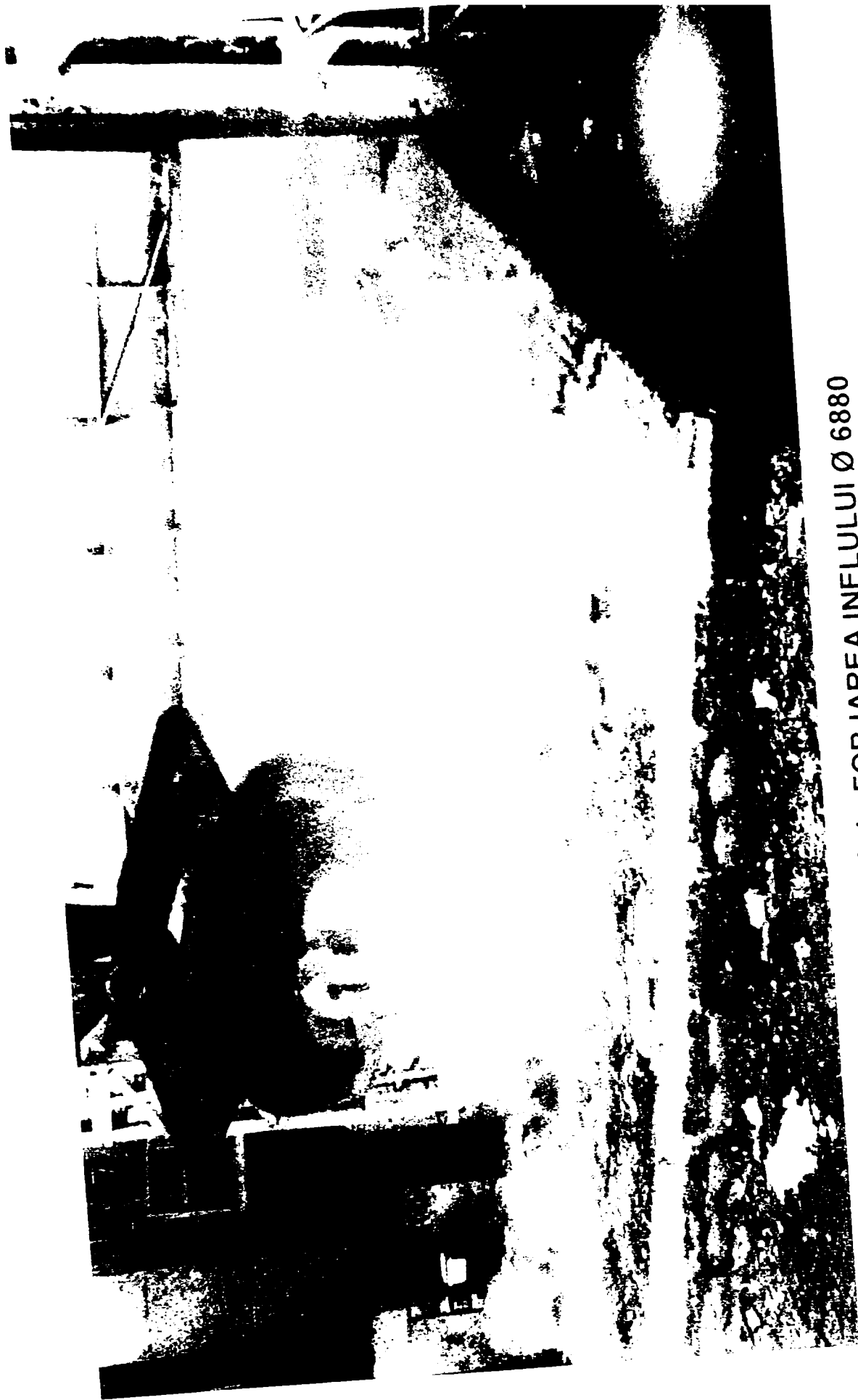


FOTO 1. FORJAREA INELULUI Ø 6880

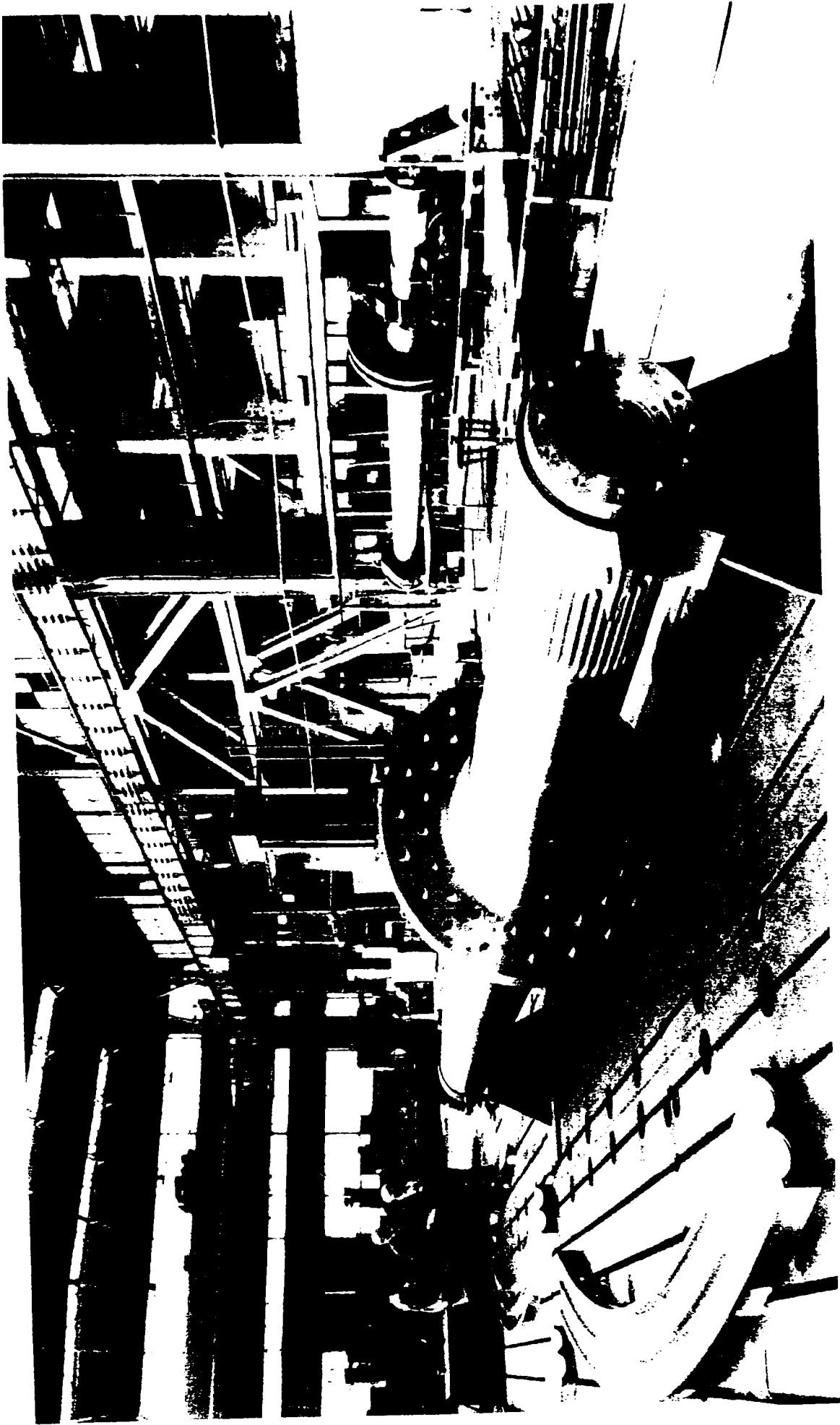


FOTO. 2 SEGMENT INEL CALE DE RULARE





FOTO. 3 PRELUCRARE SEGMENT INFERIOR



FOTO. 4 MAȘINĂ DE HALDAT CU BRAȚ DE 120 m

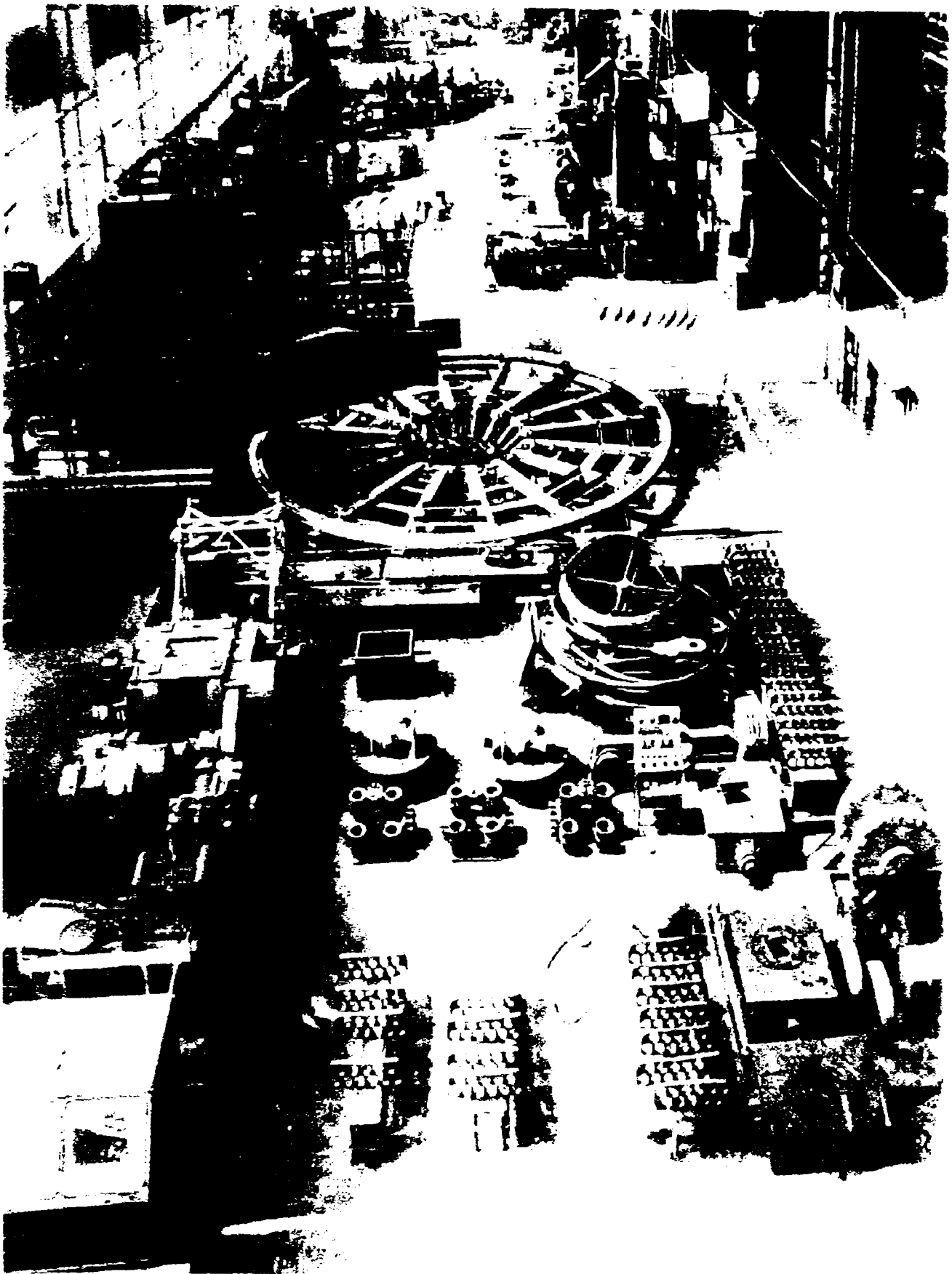


FOTO 5 VEDERE GENERALĂ HALĂ

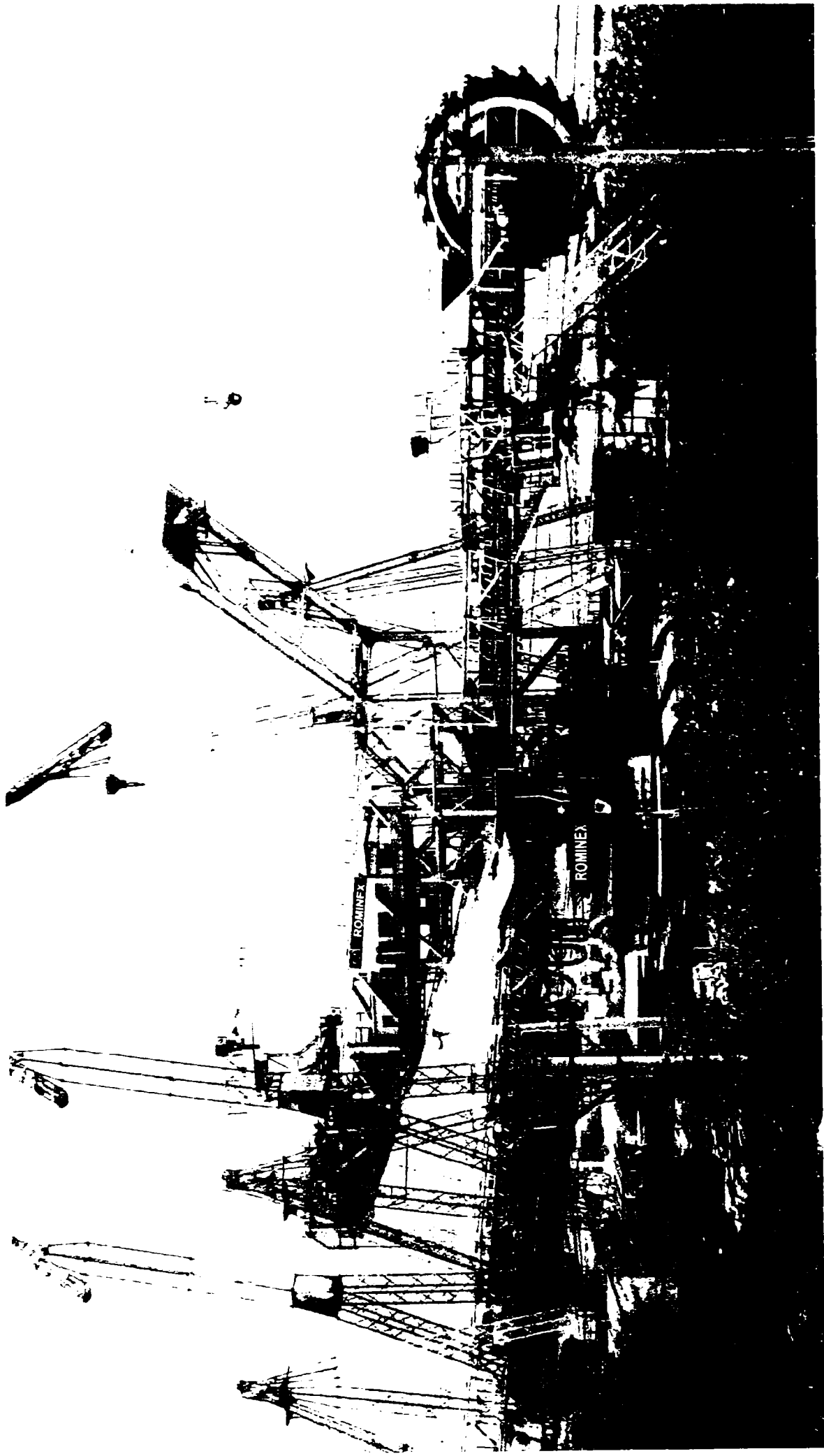


FOTO 6 EXCAVATOR - VEDERE GENERALĂ



FOTO 7 OPERAȚIUNI DE MONTARE – DEMONTARE RULMENT

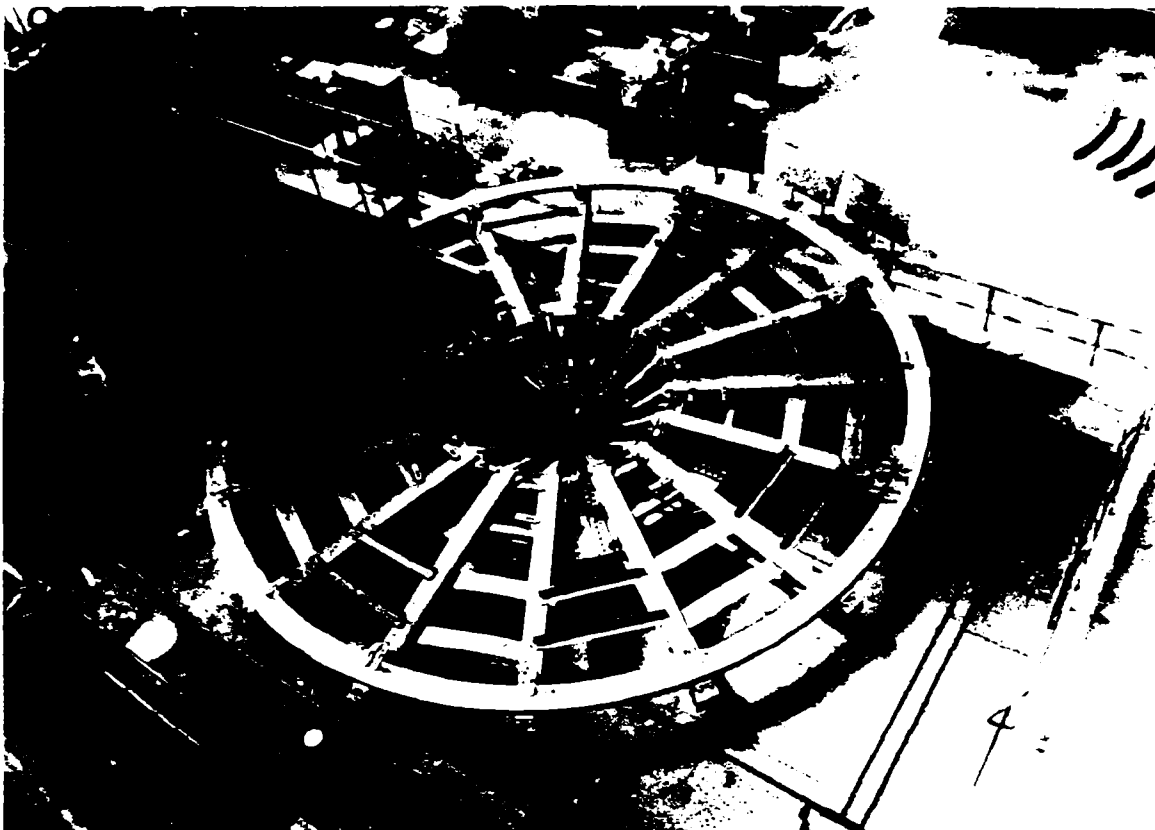


FOTO 8 PRELUCRARE MECANICĂ RULMENȚI GREI

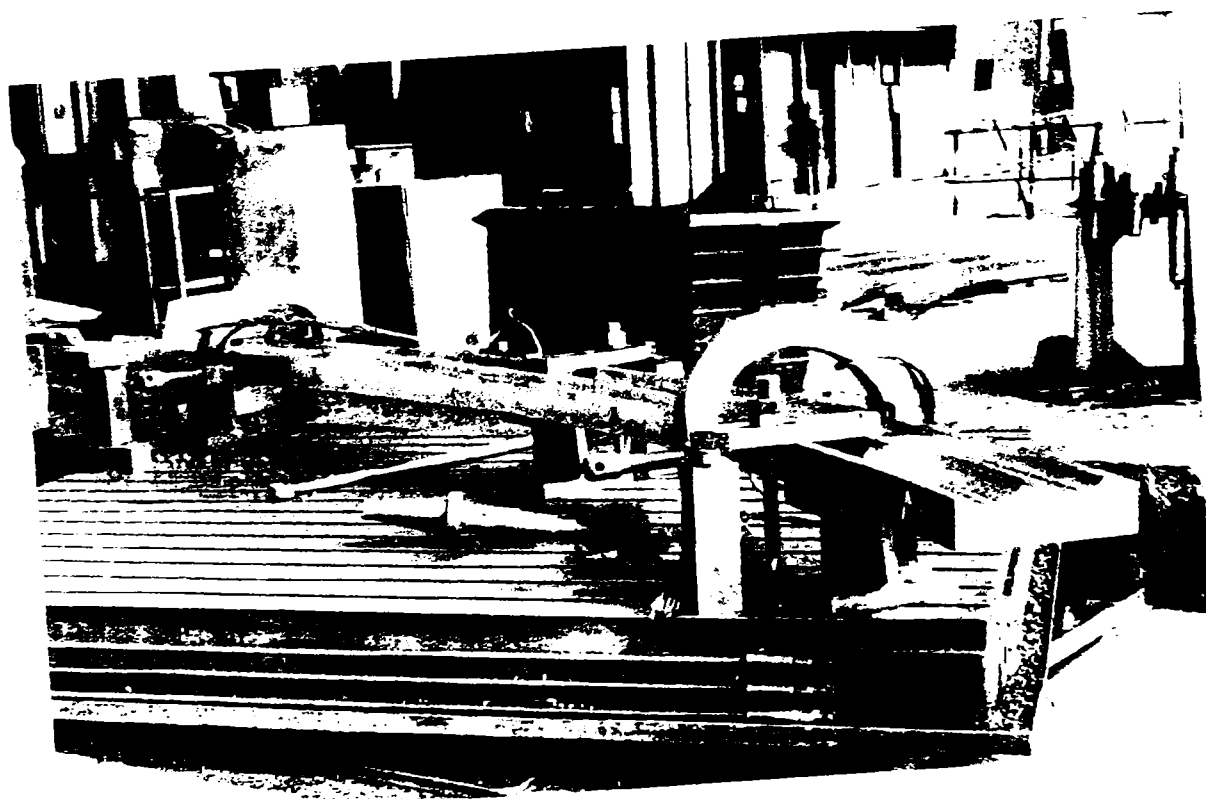


FOTO 9 CĂI DE RULARE

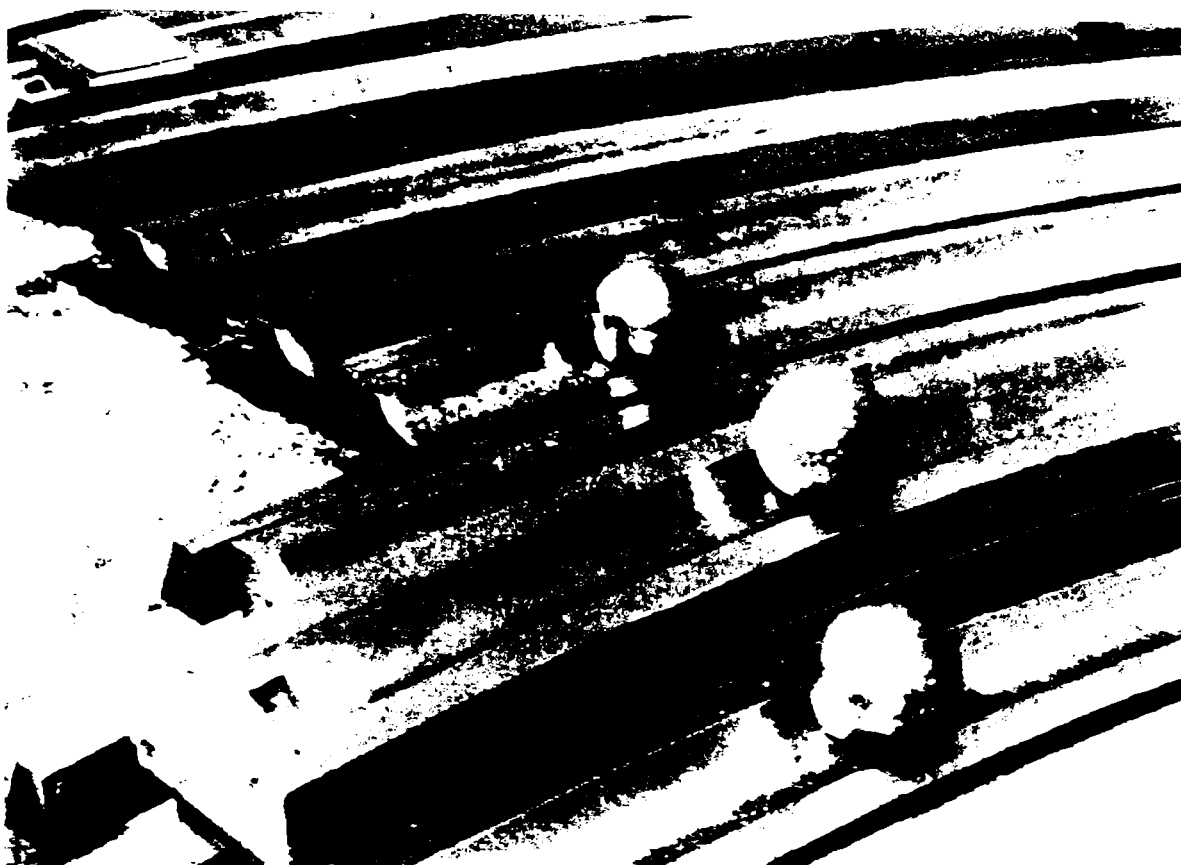


FOTO 10 UZURĂ CĂII DE RULARE ȘI BILE





FOTO 11 UZURĂ CĂII DE RULARE - DETALIU