

COMPORTAREA ÎN EXPLOATARE A GRUPURILOR DE REZEMARE A CUPTOARELOR ROTATIVE

II. COMPORTAREA BANDAJELOR (INELELOR DE REAZEM)

OPERATING BEHAVIOR OF ROTARY KILNS SUPPORTS

II. THE BEHAVIOR OF LIVE-RINGS (TYRES)

Prof. univ. dr. ing. Gheorghe ENE

Catedra Echipamente de Proces, Facultatea de Inginerie Mecanică și Mecatronica
Universitatea POLITEHNICA din București, Romania.

e-mail: ghene01@yahoo.com

Rezumat: În prima parte a lucrării s-a prezentat comportarea în funcționarea a rotelor de rezemare și a celor de gardă din componența grupurilor de rezemare a tamburului cuptoarelor rotative. În lucrarea de față se prezintă comportarea în exploatare a bandajelor utilizate pentru rezemarea acestor cuptoare.

Cuvinte cheie: *cuptoare rotative, inele de rulare, bandaje, reazemele cuptoarelor rotative.*

Abstract: *In the first part of the article it was presented the operating behavior of supporting and guard rollers of rotary kiln supports. In this work is presented the operating behavior of the live-rings (tyres) of rotary kiln supports.*

Keywords: *rotary kilns, live-rings, tyres, rotary kilns supports.*

1. GENERALITĂȚI

Bandajele (inelele de rulare) fie se fixează pe tambur prin șuruburi sau prin sudare, fie se montează liber pe tambur prin intermediul unor saboți.

Bandajele montate liber pe saboți se utilizează practic la toate agregatele cu tambur rotativ din industria cimentului (cuptoare și răcitoare de clincher, uscătoare pentru materii prime de ciment etc.).

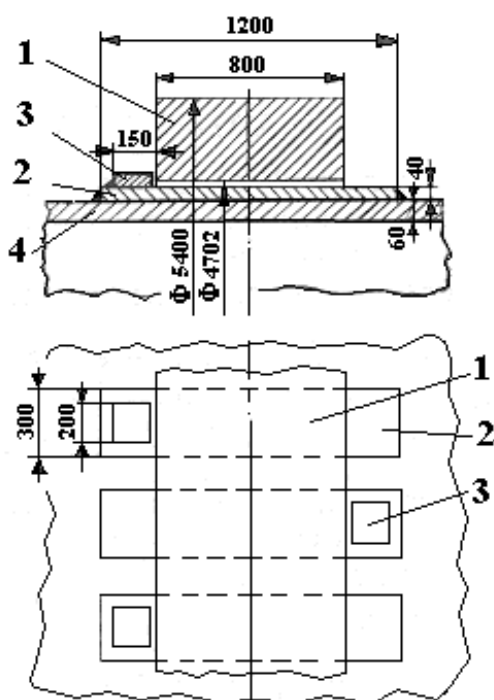


Fig. 1. Bandaj montat liber pe saboți.

1 – bandaj; 2 – saboți; 3 – opritoare, sudate alternativ de o parte și de cealaltă a bandajului; 4 – tambur.

Construcția saboților și modalitatea de asamblare a lor pe tambur este prezentată în figura 1. Forțele transmise de tamburul 4 bandajului 1, atât după direcția radială cât și după cea axială, se realizează prin intermediul saboților 2 fixați pe tambur prin sudare. Fixarea axială a bandajului este asigurată de plăcuțele 3, plasate alternativ de o parte și de alta a bandajului și sudate pe fiecare dintre saboți.

Pentru ca plăcuțele 3, aflate pe o parte a bandajului, să fie încărcate uniform cu sarcina axială transmisă de tambur, ele trebuie plasate riguros în același plan normal la axa acestuia. În caz contrar, încărcarea repartizându-se neuniform, unele dintre plăcuțe vor fi suprasolicitate și, din această cauză, cordoanele de sudură cu care sunt fixate pe saboți pot fi deteriorate prin forfecare.

Pentru a sigura bandajului o durată de funcționare corespunzătoare, suprafețele acestuia trebuie să aibă durezza de 180...200 unități Brinell [1, 2, 3, 4, 5].

2. ASPECTE PRIVIND MONTAREA ȘI COMPORTAREA ÎN FUNCȚIONARE ALE INELELOR DE REAZEM

Comportarea în exploatare a bandajelor agregatelor cu tambur rotativ depinde nu numai de rezistența mecanică și de rigiditatea lor, ci și de alți factori printre care esențial este jocul dintre bandaj și tamburul agregatului. Valoarea acestui joc variază în timpul exploatării în funcție de diferența de temperatură dintre bandaj și tambur și de evoluția uzurii suprafețelor în contact a acestor două elemente.

Unele elemente privind stabilirea jocului la montare, precum și valori ale jocului în exploatare, sunt prezentate în lucrările [1, 2, 4, 5, 6, 7].

a. Evaluarea jocului dintre bandaj și tambur

În cazul bandajelor montate liber (pe saboți sau cu contact continuu), o problemă deosebită o constituie asigurarea unei valori corespunzătoare a jocului dintre bandaj și tamburul agregatului atât în condiții de montaj (la rece), cât și în condiții de exploatare (la cald).

În condiții de exploatare, bandajul și tamburul lucrează la temperaturi diferite. Astfel, pentru grupul de reazem plasat în zona de clincherizare a cuptorului de clincher de ciment se poate admite că temperatura tamburului cuptorului este $t_c = 350^{\circ}$, temperatura medie a bandajului este $t_b = 150^{\circ}$, iar temperatura atmosferei înconjurătoare este $t_a = 50^{\circ} C$ (valori mai precise ale acestor temperaturi se pot determina prin calcule adecvate de transfer de căldură).

Jocul la montaj, determinat de relația:

$$j_0 = \frac{D_B - D_c}{2}, \quad (1)$$

se adoptă astfel încât, în exploatare (la cald), jocul să aibă valoarea $j_c = 3...5 \text{ mm}$, în funcție de mărimea cuptorului.

Pentru adoptarea jocului la montaj sunt posibile două variante:

1 – Jocul diametral la montaj se adoptă astfel încât, cel în condiții de exploatare (la cald) să aibă, în funcție de mărimea cuptorului, valoarea $j_e \approx 6 \dots 10 \text{ mm}$. În această situație tamburul se poate dilata liber, deformațiile transversale ale tamburului depinzând numai de rigiditatea acestuia.

2 – jocul diametral se adoptă astfel încât, la montaj, $j_0 \approx 0$. În această situație, în condiții de exploatare (la cald), rezultă o ușoară strângere a tamburului de către bandaj care contribuie la reducerea ovalizării, cu efect favorabil asupra durabilității înzidirii refractare a tamburului cuptorului.

În cazul în care se adoptă varianta de montaj cu joc între tambur și bandaj în condiții de exploatare ($j_e > 0$), viteza unghiulară a bandajului, al cărui diametru este mai mare decât cel al circumferinței care înfășoară saboții, fiind mai mică decât viteza cea a tamburului, între tambur și bandaj are loc o alunecare relativă.

Între jocul la montaj și cel din exploatare există relația :

$$2j_c = 2j_0 - 2\Delta j \quad (2)$$

în care Δj reprezintă diferența dintre dilatarea tamburului cuptorului și cea a bandajului, în condiții de exploatare.

Diferența dintre jocul la montaj și cel din exploatare (la cald) se poate exprima prin relația:

$$2\Delta j = \Delta D_c - \Delta D_B = \alpha[(t_c - t_a) D_c - (t_b - t_a) D_B] \quad (3)$$

în care D_B este diametrul exterior al bandajului; D_c - diametrul exterior al tamburului cuptorului (diametrul circumferinței care înfășoară saboții); α - coeficientul de dilatație liniară (pentru oțel și fontă $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ m/m} \cdot \text{grad}$).

Jocul la montaj se determină pentru fiecare reazem în parte, în funcție de temperatura tamburului cuptorului din zona reazemului respectiv. Deoarece diametrul interior are aceeași valoare pentru toate bandajele, rezultă că grosimile saboților vor fi diferite pentru fiecare reazem în parte, pentru a obține jocul corespunzător.

Rezultă pentru diametrul circumferinței care înfășoară saboții :

$$D_c = \frac{[1 + \alpha(t_b - t_a)]D_B - 2j_c}{1 + \alpha(t_c - t_a)} \quad (4)$$

Grosimea saboților este dată de relația :

$$\delta = \frac{D_c - (D_n + 2 \cdot \delta_t)}{2} \quad (5)$$

în care D_n este diametrul nominal al tamburului (diametrul exterior al virolei cilindrice), iar δ_t este grosimea peretelui tamburului în zona reazemului.

b. Funcționarea ansamblului bandaj-tambur

Deoarece $D_B > D_c$, iar tamburul este cel antrenat în mișcarea de rotație, rezultă că viteza unghiulară a bandajului va fi mai mică decât cea a tamburului, deci între tambur și bandaj va apare o lunecare. Pentru o rotație a tamburului lunecarea are mărimea:

$$a = \pi \cdot 2 \cdot j_e \quad (6)$$

Dacă jocul dintre tambur și bandaj valoarea $j_e = 3 \dots 5 \text{ mm}$, lunecarea dintre acestea are mărimea $a \approx 20 \dots 30 \text{ mm/rot}$.

Lunecarea dintre tambur și bandaj produce uzarea prin abraziune atât a suprafeței interioare a bandajului cât și a suprafețelor exterioare ale saboților, conducând la creșterea jocului. Aceasta are ca efect creșterea lunecării, sporirea uzurii, mărirea jocului etc. Deoarece jocul la rece este mai mare decât cel din exploatare, lunecarea este mai mare în condițiile funcționării la rece a cuptorului. Prin urmare, se recomandă ca perioada de funcționare la rece (necesară din diferite motive: reparații, revizii etc.) să fie cât mai redusă pentru a nu spori inutil jocul dintre corp și bandaj, ca urmare a uzurii mai accentuate din această perioadă.

Din practica exploatării cuptoarelor rotative din industria cimentului, rezultă că o funcționare normală a cuptorului se caracterizează prin lunecări de $25 \dots 30 \text{ mm/rot}$. Ceea ce corespunde unui joc (în exploatare) de $3 \dots 5 \text{ mm}$.

Valori mai mari ale jocului în exploatare, deci și a lunecărilor dintre inel și tambur, conduc la o funcționare necorespunzătoare a cuptorului, caracterizată prin socuri periodice

între tambur și bandaj, care afectează atât comportarea înzidirii refractare cât și funcționarea grupului de reazem respectiv (apariția încărcărilor dinamice, trepidații etc.).

c. Controlul jocului dintre bandaj și tambur în timpul funcționării agregatului [6]

Din cele prezentate anterior rezultă necesitatea controlului valorii jocului în timpul exploatării cuptorului. Acest lucru se poate realiza măsurând lunecarea dintre tambur șiinel în timpul funcționării cuptorului utilizând schema de principiu din fig. 2. În acest scop se măsoară numărul de rotații realizate de tamburul cuptorului n_c , respectiv de bandaj n_b , într-un interval de timp, de exemplu o oră, utilizând traductoare magnetice inductive, de exemplu.

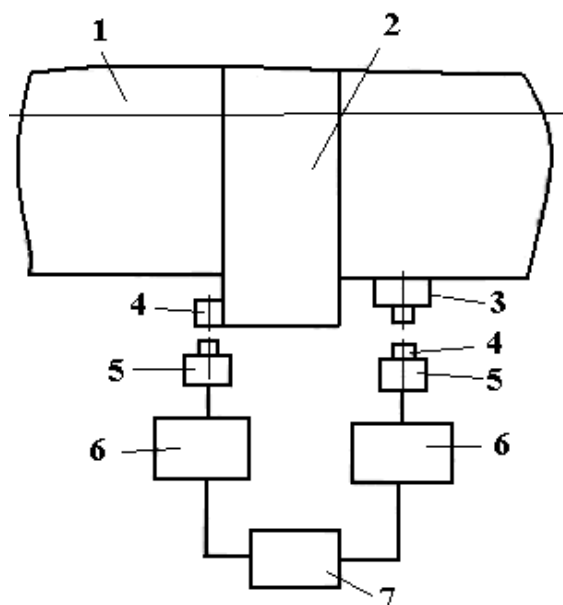


Fig. 2. Schema de principiu a instalației pentru determinarea jocului dintre tambur și bandaj, în condiții de exploatare.

1 – tamburul cuptorului ; 2 – bandaj ; 3 – suport ; 4 – magneți ; 5 – traductoare magnetice inductive ; 6 – contoare ; 7 – calculator.

Jocul în exploatare se determină utilizând relația:

$$a = 2 \cdot \pi \cdot j_e = \frac{n_c - n_b}{n_c} \cdot \pi \cdot D_c, \quad (7)$$

din care rezultă:

$$j_e = \frac{n_c - n_b}{n_c} \cdot \frac{D_c}{2} \quad (8)$$

unde n_c este numărul de rotații ale tamburului cuptorului într-un anumit interval de timp (1 oră, de exemplu), n_b - numărul de rotații ale bandajului în același interval de timp; D_c - diametrul tamburului cuptorului, măsurat peste saboți (diametrul circumferinței care înfășoară saboții).

Depășirea jocului admis poate fi adusă la cunoștința operatorului printr-un sistem de alarmă optic sau acustic integrat în schema prezentată în figura 2.

Aducerea jocului în limitele normale depinde de modul de construcție și de fixare a saboților pe corpul cuptorului și se realizează prin înlocuirea saboților uzați cu alții de grosime corespunzătoare. De obicei saboții se montează pe tamburul cuptorului prin sudare, ceea ce face dificilă înlocuirea lor. De aceea există preocupări pentru a găsi alte modalități de construcție și de fixare a sabotilor care să permită înlocuirea lor cu ușurință.

d. Uzarea suprafeței bandajului aflată în contact cu rolele de rezemare

Un alt aspect important îl reprezintă uzarea suprafeței exterioare a bandajului, care vine în contact cu rolele de rezemare. Uzarea acestei suprafețe apare, în special, din cauza creșterii presiunii de contact dintre bandaj și rolele de rezemare, ca urmare fie a reducerii ariei suprafeței de contact, fie a creșterii apăsării pe reazem.

Reducerea ariei suprafeței de contact apare datorită neparalelismului dintre axa geometrică a bandajului și axele rolor de rezemare (apăsare pe muchie). Bandajul se uzează neuniform, căpătând treptat, în timpul funcționării, o formă tronconică, ceea ce conduce la accentuarea neuniformizării apăsării pe lățimea lui și, deci, la accentuarea uzării.

Creșterea apăsării pe reazem (supraîncărcarea acestuia), apare ca urmare a « lăsării », din diferite cauze, a unora dintre reazeme, în raport cu celelalte, sau din cauza alinierii incorecte a acestora la montare. În practica exploatării cuptoarelor rotative din industria cimentului, se întâlnesc frecvent creșteri ale încărcărilor pe reazeme de 1,5.....2,0 ori față de situația normală fie din motivele expuse, fie din cauza suprasarcinilor la care este supus cuptorul în timpul exploatării [7]. Acestea conduc la exfolierea materialului suprafeței exterioare a bandajului însoțită de o serie de aspecte negative specifice (creșterea rezistenței la rotire a tamburului cuptorului pe reazeme, accentuarea uzurii etc.).

La uzarea suprafeței exterioare a bandajului contribuie și alți factori: pătrunderea în zona de contact dintre bandaj și role a unor impurități abrazive (particule solide, praf etc.), răcirea incorectă a bandajului, lipsa ungerii suprafețelor în contact ale bandajului și rolor etc.

În condiții teoretice, între bandaj și rola de rezemare, ambele fiind realizate din oțeluri cu aceleași valori ale modulului de elasticitate longitudinal (Young) ($E_B = E_R = E = 2 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$) și ale coeficientul contracției transversale (Poisson) ($\mu_B = \mu_R = \mu = 0,3$), se formează o pată de contact de formă dreptunghiulară cu lungimea b , egală cu lățimea bandajului, și lățimea $2 \cdot b_0$ determinată de relația:

$$2 \cdot b_0 = 3,044 \sqrt{\frac{P \cdot R_B \cdot R_R}{E \cdot (R_B + R_R)}} = 2,158 \sqrt{\frac{P \cdot D_B \cdot D_R}{E \cdot (D_B + D_R)}} \quad m \quad (9)$$

Presiunea maximă de contact dintre rola de rezemare și bandaj este definită de relația:

$$p_0 = 0,418 \sqrt{p \cdot E \cdot \frac{R_B + R_R}{R_B \cdot R_R}} = 0,591 \sqrt{p \cdot E \cdot \frac{D_B + D_R}{D_B \cdot D_R}}, \text{ N/m}^2 \quad (10)$$

În relațiile (9) și (10) mărimile care intervin sunt: D_B - diametrul exterior al bandajului (R_R - raza acestuia), D_R - diametrul al rolei de rezem (R_R - raza acesteia); p - efortului de contact determinat de relația:

$$p = T / b \quad \text{N/m} \quad (11)$$

unde b este lățimea bandajului ; T - forța cu care rola apasă asupra bandajului (reacțiunea rolei).

Mărimea și uniformitatea presiunii de strivire și a petei de contact influențează puternic asupra durabilității în funcționare a ansamblului bandaj-role de rezemare. Aceste influențe depind în măsură importantă de o serie de factori: materialul utilizat pentru construcția elementelor în contact, precizia dimensională și de formă a acestora, precizia montajului (abaterile de la poziția lor corectă) etc.

În cazul în care rolele sunt înclinate față de bandaj, fie în planul orizontal, fie în cel vertical, apăsare rolelor pe bandaj și, prin urmare, presiunea de contact dintre bandaj și role cresc foarte mult.

Dacă axele rolelor sunt riguros paralele cu cea a bandajului, pata de contact dintre rolă și bandaj va avea forma dreptunghiulară, iar presiunea de contact se va distribui după o semielipsă (v. fig. 3 a) [9].

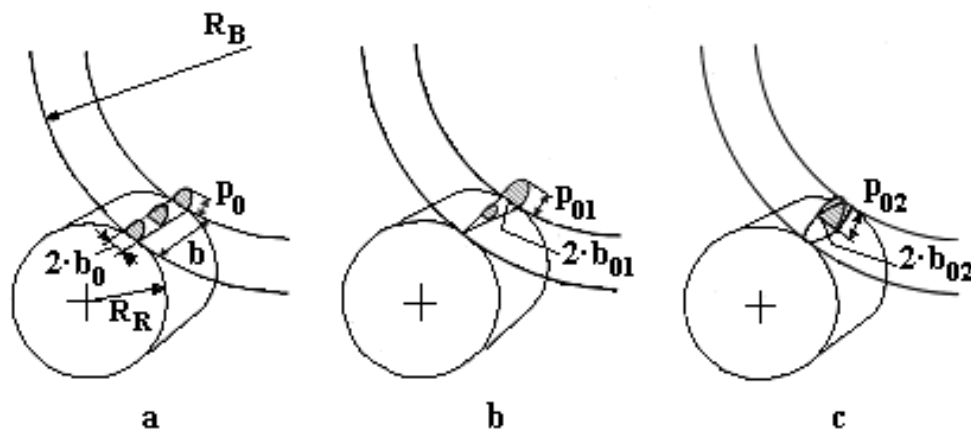


Fig. 3. Variația presiunii de contact dintre rola de rezemare și bandaj.

În această situație, forța cu care rola apasă pe bandaj este determinată de relația [9]:

$$T = \frac{\pi}{2} \cdot p_0 \cdot b_0 \cdot b \quad (12)$$

unde presiunea de contact p_0 și lățimea petei de contact b_0 sunt definite de relațiile (10) respectiv (9), iar b este lungimea petei de contact (lățimea bandajului).

Dacă bandajul este mult înclinat față de rolă atunci pata de contact are forma triunghiulară (v. fig. 3 b) și forța cu care rola apasă pe bandaj este determinată de relația [9]:

$$T = \frac{\pi}{2} \cdot p_{01} \cdot b_{01} \cdot \frac{b}{3} \quad (13)$$

unde $p_{01} = \sqrt{3} \cdot p_0 = 1,73 \cdot p_0$.

Se observă că în acest caz presiunea de contact este mai mare decât cea din cazul anterior cu 73 %. Dacă lungimea petei de contact este de numai 80 % din lățimea bandajului atunci presiunea de contact va crește de $\sqrt{3/0,8} = 1,94$ ori, adică cu 94 %.

Trebuie să se evite ca lungimea contactului dintre bandaj și rolă să scadă sub 70 % din lățimea bandajului deoarece, în aceste situații, apare pericolul ca suprafețele de lucru ale rolor și bandajului să se uzeze prin sudare locală sau pitting.

Dacă axele rolor sunt înclinate față de cea a cuptorului (bandajului) în planul orizontal atunci, rola fiind oblică în raport cu bandajul, apare o forță axială care încarcă suportul rolor. De asemenea, între suprafețele de lucru ale bandajului și rolor apare o oarecare alunecare care conduce la creșterea uzurii acestora.

În situația când înclinarea rolor este suficient de redusă astfel încât să se păstreze contactul dintre acestea și bandaj, pata de contact are formă eliptică, iar presiunea de contact se distribuie după un semielipsoid (v. fig. 3 c). În acest caz, forța cu care rola apasă pe bandaj este determinată de relația [9]:

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{3} \cdot p_{02} \cdot b_{02} \cdot \frac{b}{2} \quad (14)$$

unde $p_{02} = \sqrt{3/2} \cdot p_0 = 1,22 \cdot p_0$.

Dacă înclinarea rolei față de bandaj determină o lungime a contactului egală cu 80 % din lățimea bandajului, atunci presiunea de contact dintre bandaj și role crește de $\sqrt{3/(2 \cdot 0,8)} = 1,37$ ori, adică cu 37 %.

Înclinarea rolor față de bandaj determină suprasolicitări ale acestora care conduc la deteriorarea și la reducerea duratei lor de serviciu. Suprasarcinile din grupurile de rezemare conduc, de asemenea, la deformații ale tamburului cuptorului, cu efecte negative asupra durabilității căptușeli refractare a acestuia. Utilizarea grupurilor de rezemare cu role autoreglabile conduce la evitarea acestor neajunsuri.

Datorită greutatei mari a bandajelor cuptoarelor rotative, care ating valori de 35...40 t, din motive economice, acestea nu se realizează din oțeluri de calitate superioară cum sunt cele pentru șine de cale ferată, de exemplu. De regulă bandajele se realizează prin turnare din oțeluri OT 40...OT 50, a căror duritate este limitată la circa 220 HB (unități Brinell).

Deoarece aceste oțeluri suportă presiuni de contact de valori relativ ridicate, suprafețele de lucru ale bandajelor nu se uzează prea repede, uzura lor având loc treptat, în timp.

Uzura bandajelor reprezintă un fenomen negativ important de care trebuie să se țină seama, repararea sau înlocuirea lor necesitând oprirea cuptorului pentru un interval de timp destul de mare.

Ruperea bandajelor, așa cum arată practica exploatarea cuptoarelor rotative pentru clincher de ciment (care au răspândirea cea mai mare din toate industriile) are loc foarte rar și numai în acele cazuri când bandajele au defecte de turnare sau când sunt suprasolicitate excesiv.

Comportarea bandajelor (inelelor de reazem)

Uzura bandajele se amplifică dacă acestea, așa cum s-a amintit, se reazemă pe role montate necorespunzător (cu abateri de la paralelism). În aceste situații apăsarea bandajelor pe role se mărește, iar suprafață (pata) de contact dintre aceste se reduce, amplificând uzura.

Uzura bandajului are loc neuniform și pe lățimea acestuia, bandajele care rulează pe role cu abateri de la paralelism căpătând treptat o formă tronconică care constituie, de asemenea, o cauză a repartiției neuniforme a presiunii dintre bandaj și role care, prin urmare, amplifică uzura acestora.

Uzura bandajelor sporește și datorită apăsării neuniforme a tamburului pe reazeme ("lăsării" reazemelor), unele dintre acestea fiind mai mult sau mai puțin încărcate față de celelalte. Creșterea încărcării unui reazem de 1,5...2,0 ori față de cea normală (teoretică) se întâlnește frecvent în practica exploatarei cuptoarelor rotative pentru clincher de ciment. În aceste cazuri tensiunile de strivire a bandajului în zonele de contact cu rolele de reazemare ating valori de 400...600 MN/m² [7].

La asemenea valori ridicate ale presiunii de contact, rostogolirea bandajului pe rolele de reazemare are loc în alte condiții, în funcție de duritățile oțelurilor utilizate pentru realizarea bandajului și rolor, suprasolicitările acestora, durata de funcționare etc., putând să apară lipituri între suprafețele bandajului și rolor, modificarea structurii oțelurilor acestora, tensiuni remanente etc.

Un alt fenomen negativ privind funcționarea bandajului îl reprezintă încălzirea neuniformă a acestuia, temperatura fiind mult mai mare în interiorul secțiunii bandajului și mai mică la periferia lui. Din cauza încălzirii neuniforme în bandaj apar tensiuni termice (din temperatură). Acestea pot avea valori importante, îndeosebi în cazul bandajelor în formă de cheson (cu goluri interioare).

Uzura bandajelor se datorează și faptului că, după fabricare, ele se abat de la forma cilindrică corectă, prelucrarea mecanică bandajelor cu diametre de 4,5...5,5 m realizându-se cu dificultate.

În condițiile în care bandajele sunt fabricate și realizate corect ele trebuie să aibă o durată de serviciu, fără reparații, de circa 15...20 ani. Această durată de viață este cu atât mai necesară cu cât bandajele cuptoarelor rotative actuale, fiind de dimensiuni și greutatea din ce în ce mai mari prezintă dificultăți de execuție și se realizează într-un timp mai îndelungat.

Una dintre măsurile pentru sporirea duratei de serviciu a bandajelor constă în reducerea uzurii acestora prin mărirea durității suprafeței lor de lucru, ceea ce prezintă însă serioase dificultăți tehnice.

CONCLUZII

Bandajele cuptoarelor cu tambur rotativ sunt piese de dimensiuni mari (diametru de 4...5 m), grele (masa 35...50 t), care pun probleme deosebite la realizarea, montarea și recondiționarea lor. De aceea, durata lor de serviciu, fără reparații, trebuie să fie de 15...20 ani [7]. Realizarea acestui deziderat presupune, pe lângă o proiectare (din punctul de vedere al rezistenței mecanice și al rigidității), o execuție corectă, o montare și o exploatare pe măsură.

Funcționarea corectă a cuplului bandaj-tambur, și, în final, a reazemului în ansamblul său, necesită o adoptare adecvată a jocului dintre aceste elemente și controlul evoluției acestuia în exploatare, pentru fiecare reazem în parte.

Controlul automat al evoluției jocului bandaj-tambur pentru fiecare dintre grupurile de rezemare, devine o necesitate în cazul agregatelor de mari capacități (cazul cuptoarelor rotative pentru arderea clincherului de ciment, de exemplu).

Un alt aspect important îl reprezintă uzarea suprafeței exterioare a bandajului, ca urmare a contactului cu rolele de rezemare. Uzarea acestei suprafețe apare, în special, din cauza creșterii presiunii de contact dintre bandaj și rolele de rezemare, ca urmare, fie a reducerii ariei suprafeței de contact, fie a creșterii apăsării pe reazem.

Reducerea ariei suprafeței de contact apare datorită apăsării pe muchie produsă de lipsa paralelismului dintre axele bandajului și rolelor de rezemare. Din această cauză, în timp, bandajul se uzează neuniform, căpătând treptat o formă tronconică, ceea ce conduce la accentuarea neuniformizării apăsării pe lățimea lui și, prin urmare, la accentuarea uzării.

Creșterea apăsării pe reazeme de 1,5.....2,0 ori față de situația normală apare frecvent exploatarea cuptoarelor rotative fie ca urmare a « lăsării » accidentale a unora dintre reazeme, fie din cauza alinierii incorecte a acestora la montare. Acestea supraîncărcări conduc la exfolierea materialului suprafeței exterioare a bandajului însoțită de o serie de aspecte negative specifice (creșterea rezistenței la rotire a cuptorului pe reazeme, accentuarea uzurii etc.).

Pe lângă cauzele amintite, uzarea suprafețelor exterioare ale inelelor de reazem se datorează și altor factori: pătrunderea în zona de contact dintre bandaj și role a unor impurități abrazive (particule solide, praf etc.), răcirea neuniformă a bandajului, lipsa lubrifiantului din zona de contact dintre bandaj și role etc.

BIBLIOGRAFIE

- [1] **ENE, GH.** *Instalații termotehnologice pentru industria cimentului*, Editura Printech, ISBN 978-606-521-551-1, București, 2010.
- [2] **ENE, GH. MARIN, C.** *Agregate cu tambur rotativ. Calcul și construcție*, Editura Printech, ISBN 978 – 606 – 521 – 530 – 6, București, 2010.
- [3] **IORDACHE, GH., ENE, GH., RASIDESCU, M.,** *Utilaje pentru industria materialelor de construcții*, Editura Tehnică, București, 1987.
- [4] **JINESCU, V. V.,** *Utilaj tehnologic pentru industrii de proces IV*, Editura Tehnică, București, 1989.
- [5] **RENERT, M.,** *Calculul și construcția utilajului chimic*, vol.II, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1971.
- [6] **ENE, GH.,** *Inele de reazem ale agregatelor cu tambur rotativ III. Aspecte privind montarea și comportarea în funcționare*, Revista de Chimie, 54, Nr.2, 2003, p. 140 - 141.
- [7] **BOGANOV, A. I.,** *Vraščaiusciesia peci țementnoi promišlenosti*, Izd. Mašinostroenie, Moskva, 1965.
- [8] **JENSEN, F. E.,** *Self-aligning support rotary kilns*, VDZ Kongress 1977, Verfahrenstechnik der Zementherstellung Bauverlag GMBH.
- [9] **ANDERSEN, K. T.,** *Belasten und Überlasten von Ofenunterstützungen*, Zement-Kalk-Gips International, Nr. 4, 1961.