

COMPORTAREA ÎN EXPLOATARE A GRUPURILOR DE REZEMARE A CUPTOARELOR ROTATIVE

I. COMPORTAREA ROLELOR DE REZEMARE ȘI A CELOR DE GARDĂ

OPERATING BEHAVIOR OF ROTARY KILNS SUPPORTS

I. THE BEHAVIOR OF SUPPORTING ROLLERS AND GUARD ROLLERS

Prof. univ. dr. ing. Gheorghe ENE

Catedra Echipamente de Proces, Facultatea de Inginerie Mecanică și Mecatronică
Universitatea POLITEHNICA din București, Romania.
e-mail: ghene01@yahoo.com

***Rezumat:** În lucrarea de față se prezintă modul cum se comportă în exploatare rolele de rezemare și cele de gardă din componența grupurilor de reazem ale cuptoarelor cu tambur rotativ. Se prezintă, de asemenea, influența asupra funcționării acestor elemente a preciziei execuției, montajului și reglării lor.*

***Cuvinte cheie:** cuptoare rotative, role de rezemare, reazemele cuptoarelor rotative.*

***Abstract:** In this article is presented the operating behavior of supporting and guard rollers of rotary kilns supports. Also, is presented the influence of precision of the fabrication, montage and adjustment on operating behavior of these elements.*

***Keywords:** rotary kilns, supporting rollers, rotary kilns supports.*

1. GENERALITĂȚI

În industria cimentului, ca și în alte industrii (chimică, metalurgică, alimentară, materialelor de construcții etc.) se utilizează pe scară largă pentru realizarea diferitelor operații fizice (uscarea, răcire etc.) sau/și fizico-chimice (ardere, sinterizare etc.) agregate termotehnologice cu tambur rotativ care îndeplinesc diferite funcțiuni (uscătoare, răcitoare, cuptoare etc.) [1, 2, 3, 4, 5].

Astfel, cuptoarele rotative se utilizează în: industria cimentului pentru arderea clincherului; industria produselor refractare, pentru arderea șamotei, magnezitei (carbonat natural de magneziu) și dolomitei (carbonat de calciu și de magneziu); industria chimică, pentru producerea sodei, sulfatului de bariu, cianurii de calciu și a gazelor de sulf din care apoi se obține acidul sulfuric; în uzinele de aluminiu, pentru calcinarea aluminei; în industria

materialelor de construcții, pentru arderea varului și a altor materiale de construcții [1, 2, 3, 4, 5].

Cuptoarele rotative constau dintr-un tambur cilindric (prevăzut cu amenajările interioare corespunzătoare), înclinat cu un unghi mic ($1...4^{\circ}$) față de planul orizontal, rezemat pe un anumir numit număr grupuri de rezemare și care se rotește cu o turație redusă ($0,75...4,0$ rot/min) în jurul cu axei longitudinale.

Rezemarea tamburului cuptoarelor rotative este specifică acestor utilaje, în componența grupurilor de reazem intrând bandajele și rolele de reazem. În figura 1 [1, 2, 4] este prezentată construcția unui grup de rezemare. Bandajul 2, antrenat de tambur în mișcare de rotație, se sprijină pe cele două role 3, plasate astfel încât linia care unește centrul rolei cu centrul bandajului face, de regulă, un unghi de 30° cu verticala. Grupul de rezemare cuprinde, în afara bandajului și a celor două role, lagărele 4 pentru axele acestora și placa de fundație 5 pe care se fixează lagărele rolelor. Placa de fundație se prinde pe fundația din beton armat a reazemului prin intermediul șuruburilor de fundație. Grupul de rezemare se montează înclinat față de planul orizontal cu același unghi ca și tamburul cuptorului. Ecranele 10 au rolul de a proteja lagărele rolelor împotriva radiației termice a tamburului cuptorului, care are temperatură ridicată. În același scop se prevede răcirea cu apă a lagărele rolelor.

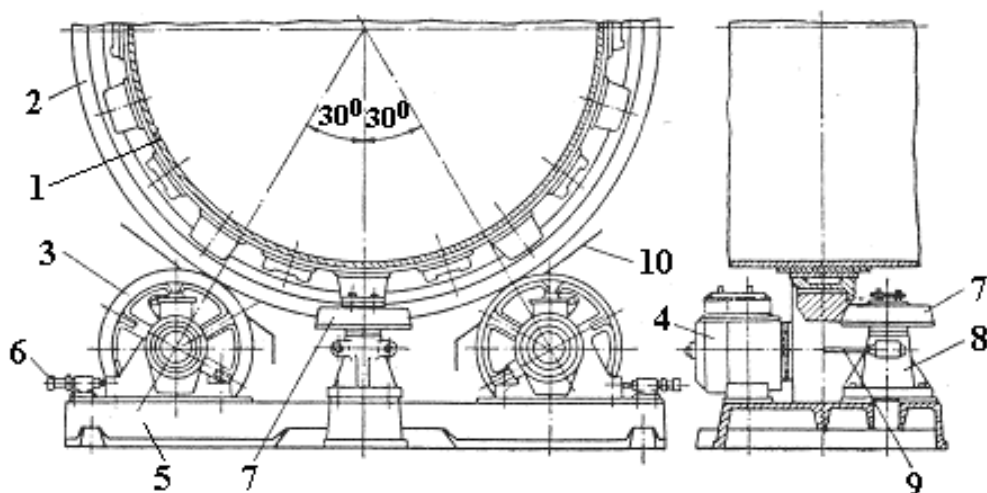


Fig. 1. Grup de rezemare.

1 – tambur; 2 – bandaj; 3 – rolă de reazem; 4 – lagărele rolelor de reazem; 5 – placă de fundație ;
6 – șuruburi pentru reglarea poziției rolelor de reazem ; 7 – rolă de gardă ; 8 – suportul rolei de gardă ;
9 – tiranți pentru solidarizarea rolelor de gardă ; 10 – ecrane pentru protecția lagărele rolelor de reazem.

Numărul grupurilor de rezemare se adoptă în funcție cu lungimea și încărcarea tamburului. Unul dintre grupurile de rezemare este prevăzut, pe lângă rolele obișnuite 3, și cu rolele de gardă 7.

Rolele de gardă 7 pot prelua temporar încărcări axiale relativ reduse. Acestea au numai rolul de a semnaliza dacă tamburul are tendința de a se deplasa în lungul lui, sub acțiunea componentei axiale a propriei greutate. În această situație, se impune reglarea corespunzătoare a rolelor de rezemare ale grupului prevăzut cu role de gardă.

Întotdeauna se prevăd două role de gardă plasate de o parte și de alta a bandajului (v. fig.1), jocul dintre ele și bandaj având valori de $5...20$ mm. Suporturile 8 ale rolelor de

gardă (v. fig. 1) se fixează prin șuruburi de placa de fundație 5 a grupului de rezemare și se solidarizează între ele prin intermediul tiranților 9. De regulă, grupul de rezemare prevăzut cu role de gardă este așezat în imediata apropiere a coroanei dințate de acționare, ambele aflându-se plasate la aproximativ jumătatea lungimii tamburului.

La funcționarea normală a cuptorului totativ, în timpul rotirii tamburului, acesta are și o mișcare în lungul axei lui, alternativ, când spre capătul inferior, când spre cel superior, în anumite limite. Această mișcare longitudinală alternativă a tamburului pe reazeme contribuie la buna funcționare a tuturor subansamblurilor componente ale cuptorului rotativ: grupuri de rezemare, angrenajul coroană dințată-pinion al sistemului de acționare, etanșări de capăt.

La cuptoarele rotative de dimensiuni și capacități mari există pericolul ca, în urma dereglării rezemării, tamburul să se deplaseze preponderent spre unul din capete și, avariind rolele de gardă, să cadă de pe reazeme. Pentru a evita un asemenea grav incident de exploatare, grupul de rezemare prevăzut cu role de gardă este prevăzut cu opritoare fixe de siguranță, jocul dintre bandaj și opritor fiind mai mare decât cel dintre bandaj și rolele de gardă. Atunci când bandajul are tendința de a cădea de pe reazeme, ajungând în contact cu unul dintre opritoare, se dezvoltă forțe de frecare atât de mari încât provoacă suprasolicitarea motorului electric de acționare și deconectarea acestuia în urma intervenției protecției la suprasarcină. O altă variantă de protecție constă în montarea unui limitator de cursă care, în situația în care bandajul depășește o anumită valoare prestabilită a deplasării, comandă decuplarea motorului electric de acționare, evitând astfel atât suprasolicitarea acestuia, cât și a transmisiei dintre motor și tambur.

2. ÎNCĂRCAREA LAGĂRELOR ROLELOR DE REZEMARE

Rolele unui grup de reazem trebuie să aibă același diametru, iar axele lor trebuie să fie plasate în același plan orizontal (centul fiecărei role trebuie să se afle la aceeași distanță, pe verticală, față de axa tamburului) (v. fig. 2). Dacă rolele se plasează sub unghiul $\psi = 30^0$, în raport cu planul diametral vertical al tamburului, atunci distanța dintre centrele lor, în planul orizontal, este egală cu suma razelor bandajului și rolei ($R_B + R_R$). La valoare unghiului $\psi = 30^0$ nu există pericolul ca tamburul cuptorului să se răstoarne de pe reazeme, iar apăsarea exercitată de role asupra bandajului este minimă.

Apăsarea (reacțiunea) fiecăreia dintre role asupra bandajului are expresia:

$$T = \frac{Q}{2 \cdot \cos \psi} = \frac{Q}{2 \cdot \cos 30^0} = 0,578 \cdot Q. \quad (1)$$

Componentele acestei reacțiuni sunt determinate de relațiile:

- componenta verticală:

$$V_1 = T \cdot \cos \psi = T \cdot \cos 30^0 = 0,5 \cdot Q; \quad (2)$$

- componenta orizontală:

$$H_1 = T \cdot \sin \psi = T \cdot \sin 30^\circ = 0,3 \cdot Q. \quad (3)$$

Componentele verticale ale forțelor T apasă lagărele rozelor pe placa de fundație a reazemului, iar cele orizontale tind să depărteze lagărele între ele. Datorită componentei orizontale a apăsării T , între talpa corpului lagărului și placa de fundație apare forțele de frecare:

$$F_{f1} = f \cdot V_1 = 0,5 \cdot f \cdot Q. \quad (4)$$

unde f este coeficientul de frecare corespunzător.

Această forță de frecare reduce tendința de îndepărtare a lagărelor unul față de celălalt produsă de forța H_1 , în această situație, forța care tinde să depărteze lagărele fiind:

$$H = H_1 - F_{f1} = 0,3 \cdot Q - 0,5 \cdot 0,15 \cdot Q = 0,2 \cdot Q \quad (5)$$

unde s-a considerat, pentru frecarea uscată a cuplului oțel/oțel, valoarea coeficientului de frecare $f = 0,15$.

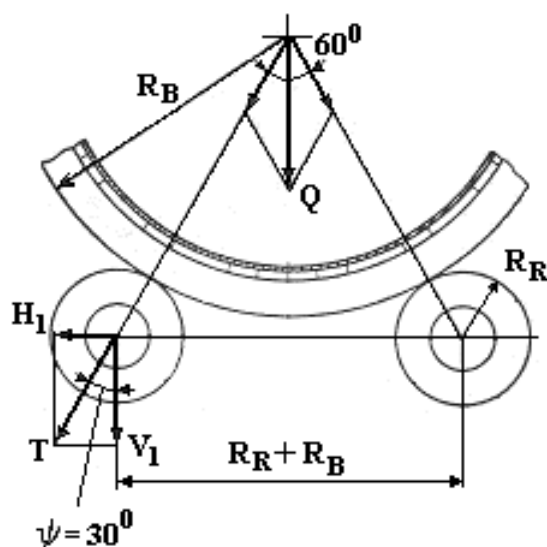


Fig. 2. Schema încărcării reazemului.

Pentru preluarea forțelor H_1 , care tind să îndepărteze rolele între ele, pot fi luate următoarele măsuri:

- realizarea frecării suplimentare, necesare între talpa lagărului și placa de fundație, prin strângerea șuruburilor de fixare a lagărului;
- preluarea forțelor laterale de împingere de către șuruburile de reglare ale poziției rozelor în raport cu axa tamburului (v. poz. 6, fig. 1);
- utilizarea unor tiranți care să solidarizeze ambele lagăre ale reazemului între ele.

Forța orizontală H_l produce, de asemenea, un moment de răsturnare a lagărului în jurul muchiei exterioare a tălpii acestuia.

În funcție de dimensiunile cuptorului rotativ și de numărul grupurilor de rezemare, încărcarea unui reazem este $Q = 15...50 \text{ MN}$ ($150...500 \text{ t}$), apăsarea rolei pe bandaj având valoarea: $T = 0,578 (15...50) = 9...29 \text{ MN}$ ($90...290 \text{ t}$) [1].

3. DETERMINAREA TENSIUNILOR DE CONTACT DINTRE BANDAȘI SI ROLELE DE REZEMARE

Cuplul rolă-bandaj este supus la strivire în zona de contact. De mărimea tensiunilor de contact depinde, în principal, durata de viață a bandajului.

Bandajul și rola de reazem sunt corpuri cilindrice circulare supuse acțiunii efortului de contact:

$$p = T / b \quad \text{N/m} \quad (6)$$

unde b este lățimea bandajului.

Efortul de contact produce deformarea elastică a elementelor formându-se o zonă de contact dreptunghiulară cu lățimea $b_c = 2 \cdot b_0$ și lungimea b (lățimea bandajului).

Presiunea maximă de contact p_0 și lățimea zonei de contact $b_c = 2 \cdot b_0$ (v. fig. 3) se determină pe baza teoriei lui Hertz pentru cilindri de lungime mare, când se pot neglija influențele zonelor de capăt. În cazul în care materialul de construcție al corpurilor în contact (bandaj și role) este oțel (coeficientul contracției transversale (Poisson) $\mu = 0,3$, modulul de elasticitate longitudinal (Young) $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$) presiunea maximă de contact și lățimea zonei de contact are expresiile [1, 2, 3, 4].

- presiunea maximă de contact este dată de relația :

$$p_0 = 0,418 \sqrt{p \cdot E \cdot \frac{R_B + R_R}{R_B \cdot R_R}} = 0,591 \sqrt{p \cdot E \cdot \frac{D_B + D_R}{D_B \cdot D_R}}, \text{ N/m}^2 \quad (7)$$

- iar lățimea de contact, de relația:

$$2 \cdot b_0 = 3,044 \sqrt{\frac{p}{E} \cdot \frac{R_B \cdot R_R}{R_B + R_R}} = 2,158 \sqrt{\frac{p}{E} \cdot \frac{D_B \cdot D_R}{D_B + D_R}} \quad \text{m} \quad (8)$$

în care: D_B este diametrul exterior al bandajului (R_R – raza acestuia), D_R , cel al rolei de reazem (R_R – raza acesteia).

La bandajele de dimensiuni mari, lățimea zonei de contact $2b_0$ este de ordinul a $1,0 \text{ mm}$ [4].

În zona de contact apare o stare spațială de tensiuni. Tensiunile normale după cele trei direcții având valori maxime în centrul petei de contact (fig. 3), sunt:

- $\sigma_{x=0} = -2\mu \cdot p_0$, după direcția axială ;
- $\sigma_{y=0} = -p_0$, după direcția inelară ;
- $\sigma_{z=0} = -p_0$, după direcția radială.

(9)

Se observă că toate cele trei tensiuni sunt de compresie (solicitare hidrostatică). În consecință mărimea fiecăreia dintre ele, în parte, poate depăși limita de curgere a materialului, tensiunile remanente de compresie nefiind dezavantajoase, deci valorile admisibile p_0 pot fi relativ mari.

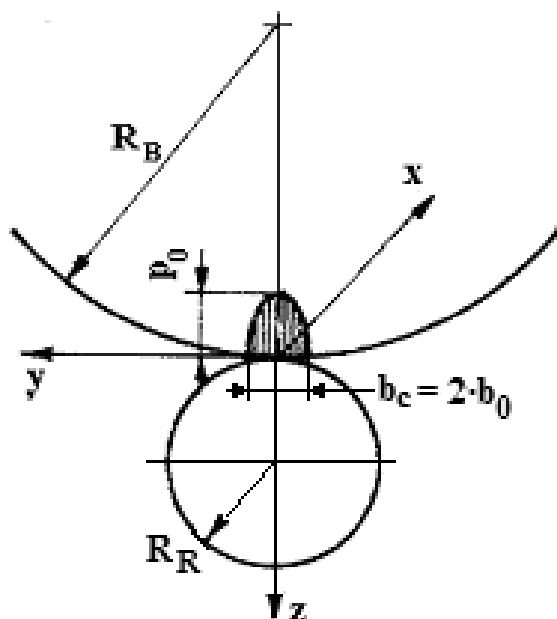


Fig. 3. Schema zonei de contact dintre bandaj și roată.

Tensiunea tangențială maximă apare dincolo de suprafața de contact, în profunzimea materialului, la adâncimea :

$$z = 0,79 \cdot b_0, \quad (10)$$

unde b_0 este lățimea ptei de contact dintre bandaj și roată.

Tensiunea tangențială maximă are mărimea:

$$\tau_{\max} = 0,60 \cdot p_0. \quad (11)$$

Deoarece: $\tau_{\max} = \sigma_{ech}/2$, rezultă că: $\tau_{\max} = \sigma_{ech}/2 = 0,60 p_0$ din care se obține:

$$p_0 \leq p_{0,a} = 0,83 \sigma_a = 0,83 \sigma_r. \quad (12)$$

Intrucât, tensiunile sunt de compresiune, rezistența admisibilă σ_a se poate considera egală cu cea de rupere a materialului.

Practic, pata de contact dintre bandaj și rolă este o elipsă care are axa mare egală cu lățimea b a bandajului, iar axa mică: b_c .

Lățimea bandajului se determină cu relația (6) în care efortul de contact p are valorile [4]:

- $p \leq 2,4 \text{ MN/m}$, pentru tambure cu turații reduse ($3...4 \text{ rot/min}$);
- $p = 1,0 \text{ MN/m}$, pentru tambure cu turații mai mari.

Dacă condiția (12) nu este îndeplinită, se mărește fie lățimea bandajului, fie valoarea raportului R_R/R_B , fie se utilizează un material cu limita de curgere mai ridicată.

În cele expuse nu s-a ținut seama de frecarea dintre bandaj și rolă care are ca efect o sporire cu aproximativ 10% a tensiunii echivalente [4].

4. MONTAJUL SI REGLAJUL GRUPURILOR DE REZEMARE

Grupurile de rezemare compuse din role, lagărele acestora și placa de fundație, trebuie construite astfel, încât să permită un reglaj precis al rolor. Lipsa de paralelism între axele rolor și axa tamburului cuptorului duce la apăsări mari pe muciiile rolor (v. fig. 4 a). O variantă constructivă a grupului de rezemare care permite o aliniere automată a poziției rolor în raport cu axa tamburului este prezentată în figura 4 b [8].

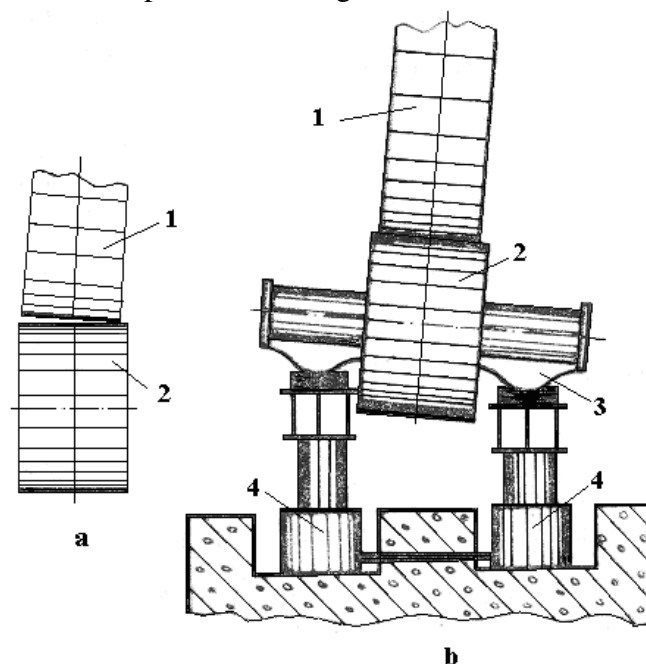


Fig. 4. Reglarea hidraulică, a poziției rolor de rezem.

1 - bandaj; 2 - rolă de rezem; lagăr oscilant; 4 - cilindri hidraulici.

Prin montaj, rolele trebuie, de asemenea, să se afle la cota necesară pentru a fi toate în contact cu bandajele. “Lăsarea” rolor unui rezem conduce la supraîncărcarea celorlalte rezeme și la solocitări suplimentare mari ale tamburului.

a. Deplasarea tamburului cuptorului rotativ pe rolele de reazem, spre capătul lui inferior

Tamburul cuptorului rotativ, montat înclinat față de planul orizontal cu unghiul α , transmite sistemului de rezemare forțele (fig. 5):

- după direcția normală la axa tamburului:

$$G_1 = \frac{G \cdot \cos \alpha}{\cos \psi} ; \quad (13)$$

- după direcția axei tamburului:

$$G_2 = \frac{G \cdot \sin \alpha}{\cos \psi} \quad (14)$$

unde: G este greutatea totală a tamburului în condiții de exploatare, MN ; α – unghiul de înclinare al axei tamburului în raport cu orizontala, *grade*; ψ – unghiul sub care sunt plasate rolele de reazem în raport cu axa verticală care trece prin centrul secțiunii tamburului, *grade*.

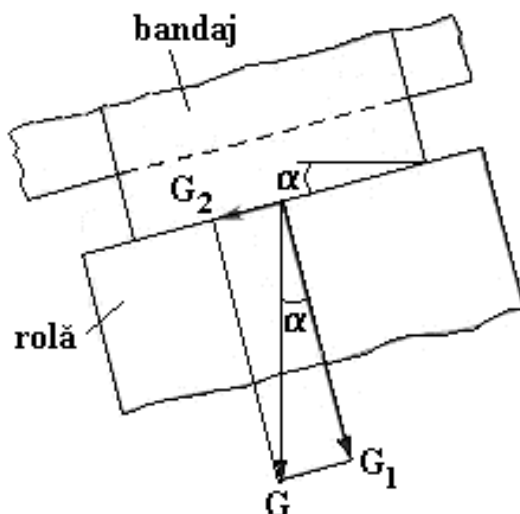


Fig. 5. Schemă pentru determinarea încărcării grupurilor de reazem ale tamburului.

Coponentă axială G_2 a greutății tamburului tinde să-l deplaseze pe acesta în lungul axei lui, spre capătul inferior, existând pericolul ca tamburul să cadă de pe reazeme. Acestei forțe i se opune forța totală de frecare dintre bandaje și rolele de reazem, determinată de relația :

$$F_{f,t} = f \cdot G_1 \quad (15)$$

unde f este coeficientul de frecare dintre bandaje și role.

Pentru ca tamburul să nu cadă de pe reazeme, trebuie îndeplinită condiția :

$$F_{f,t} \geq G_2. \quad (16)$$

Ținând seama de relațiile (13), (14) și (15), condiția (16) poate fi pusă sub forma :

$$\varphi \geq \alpha \quad (17)$$

unde φ este unghiul de frecare corespunzător coeficientului de frecare f .

Deoarece atât bandajele cât și rotele de reazem se realizează din oțel și, în condiții normale de funcționare a cuptorului, între suprafețele în contact ale acestora nu există lubrifiant, coeficientul de frecare are valorile $f = 0,15 \dots 0,20$. De asemenea, de regulă, unghiul de înclinare al tamburului cuptoarelor rotative față de orizontală nu depășește valoarea $\alpha = 2^{\circ} 20' = 2,3^{\circ}$ (adică o pantă de 4 %). În această situație, condiția (17) este satisfăcută:

$$\varphi = \arctg f = \arctg(0,15 \dots 0,20) = 8,5 \dots 11,3^{\circ} \geq \alpha = 2,3^{\circ}.$$

Dacă se consideră $\alpha = 2^{\circ} 20'$ (4%), $\psi = 30^{\circ}$, din relațiile (13), (14) și (15) rezultă:

$$G_1 = \frac{G \cdot \cos \alpha}{\cos \psi} = \frac{G \cdot \cos 2^{\circ} 20'}{\cos 30^{\circ}} = 1,16 \cdot G ; \quad (18)$$

$$G_2 = \frac{G \cdot \sin 2^{\circ} 20'}{\cos 30^{\circ}} = 0,047 \cdot G ; \quad (19)$$

$$F_{f,t} = f \cdot G_1 = 1,16 \cdot f \cdot G. \quad (20)$$

Considerând $f = 0,15$, din relația (20) rezultă, pentru forța totală de frecare dintre bandaje și rotele de reazem, valoarea:

$$F_{f,t} = f \cdot G_1 = 1,16 \cdot 0,15 \cdot G = 0,174 \cdot G. \quad (21)$$

Comparând relațiile (21) și (19), rezultă că forța de frecare depășește componenta axială a greutatei tamburului de $0,174/0,047 = 3,7$ ori. Prin urmare, dacă nu intervin alte forțe suplimentare, tamburul înclinat al cuptorului nu se poate deplasa în lungul lui, spre capătul inferior.

În timpul rotirii însă, asupra tamburului intervine și forța periferică produsă de mecanismul de acționare al acestuia. Sub acțiunea rezultantei dintre forța periferică produsă de mecanismul de acționare al tamburului și componenta axială a greutatei lui, acesta se va deplasa spre capătul inferior. Cuplul bandaj-rola se comportă ca o transmisie prin fricțiune, bandajul fiind roata motoare, iar rola cea condusă. La transmisia prin roți de fricțiune are loc o alunecare a roții motoare față de cea condusă atât datorită aderenței insuficiente dintre roți, cât și datorită elasticității materialelor din care roțile sunt realizate. În cazul cuptoarelor rotative, forța periferică transmisă bandajului de către mecanismul de acționare al tamburului este de

3...4 ori mai mică decât forța frecării de alunecare dintre bandaj și rolele de reazem [7]. Prin urmare, lunecarea (patinarea) bandajului pe role din cauza aderenței insuficiente este exclusă, aceasta având loc numai datorită deformațiilor elastice ale materialelor din care acestea sunt realizate. Din cauza acestei lunecări elastice, viteza periferică a bandajului va fi mai mică decât cea a rolei.

Lunecării elastice pe role a bandajului i se opune forța periferică de frecare $F_{f,p} = f \cdot G_1$. Deplasării produse de componenta axială a greutății tamburului (orientată spre capătul lui inferior) și de lunecarea elastică a bandajului pe role i se opune forța frecării de alunecare dintre suprafețele în contact ale acestora.

Viteza axială v_a de deplasare a tamburului spre capătul lui inferior și viteza lunecare elastice $v_{l,e}$ a bandajului în raport cu rola sunt proporționale cu forțele corespunzătoare care produc aceste mișcări [7]:

$$\frac{v_a}{G_2} = \frac{v_{l,e}}{F_{f,p}}$$

sau:

$$v_a = v_{l,e} \cdot \frac{G_2}{F_{f,p}} = \xi \cdot v_{p,b} \cdot \frac{G_2}{f \cdot G_1} = \quad (22)$$

unde:

$$\xi = \frac{v_{l,e}}{v_{p,b}} \quad (23)$$

este un coeficient care exprimă viteza de lunecare a bandajului în raport cu rola, în funcție de viteza lui periferică $v_{p,b}$.

În comparație cu transmisiile prin fricțiune, se poate adopta pentru acest coeficient valorile $\psi = 0,02 \dots 0,05$, în funcție de materialele utilizate pentru realizarea bandajului și rolelor și de coeficientul de frecare din lagărele acestora [7].

Viteza lunecării elastice a bandajului în raport cu rolele de reazem depinde de proprietățile elastice ale oțelului din care sunt realizate elementele în contact și de rezistența care se opune rotirii rolelor (frecarea din lagărele acestora). Dacă frecările din lagărele rolelor sunt reduse și dacă bandajul și rolele de reazem au rigidități ridicate (sunt realizate din oțeluri de duritate mare), lunecarea elastică a bandajului pe role este foarte mică și, prin urmare, tamburul nu va avea tendința să se deplaseze pe reazeme către capătul lui inferior.

Deoarece oțelurile din care se realizează bandajul și rolele sunt de regulă deformabile, soluția posibilă pentru a preveni deplasarea tamburului pe reazeme (către capătul lui inferior) este să se reducă frecarea în lagărele rolelor. În general, pentru învingerea frecărilor din lagărele rolelor de reazem se utilizează până la 30% din puterea motorului electric folosit pentru acționarea tamburului. De aceea este necesar să se acorde atenția cuvenită construcției lagărelor, ungerii și etanșării acestora.

b. Dispunerea axelor rolelor de reazem în raport cu axa tamburului

Rolele de reazem se montează astfel încât axele lor să fie paralele cu axa tamburului cuptorului rotativ.

Pentru a preveni alunecarea tamburului pe reazeme spre capătul inferior al lui, rolele unor grupuri de reazem se dezaxează în același sens, cu un unghi mic $\beta = 20...30'$ în raport cu axa tamburului (fig. 6) [1, 2, 4].

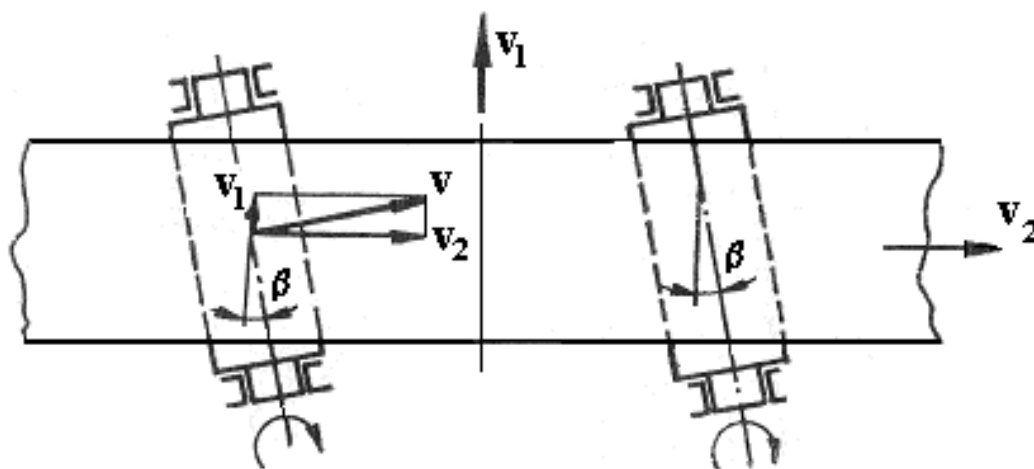


Fig. 6. Dezaxarea rolor de reazem.

Prin această dezaxare, viteza periferică a fiecăreia dintre role se descompune în două componente: v_1 - dirijată în lungul axei tamburului și v_2 - viteza periferică a bandajului, perpendiculară pe aceasta, între cele două componente existând corelația:

$$v_1 = v_2 \cdot \operatorname{tg} \beta. \quad (24)$$

Este necesar ca viteze v_1 să fie egală cu cea de deplasare a tamburului spre capătul inferior și orientată în sens contrar acesteia. Modalitatea de dezaxare a rolor, prezentată în figura 6, este singura acceptată pentru a preveni deplasarea tamburului spre capătul inferior sub acțiunea componentei axiale a greutateii lui.

Pentru a preveni deplasarea tamburului pe role spre capătul inferior al acestuia, trebuie îndeplinită condiția:

$$n_r \cdot f \cdot T \geq G_2 \quad (25)$$

unde n_r este numărul de role; f - coeficientul frecării de alunecare dintre bandaj și role (fără ca între suprafețele acestora să existe lubrifiant) $f = 0,15...0,20$; T - forța pe care tamburul cuptorului rotativ o exercită asupra unei role (reacțiunea rolei), MN ; G_2 - componenta axială a greutateii tamburului, MN .

Utilizând relația (25) se determină numărul de role care trebuie dezaxate pentru a preveni deplasarea tamburului spre capătul lui inferior.

c. Exemplu de calcul

Se consideră cazul cuptorului rotativ lung pentru clincher de ciment, după procedeul umed, $\Phi 3,6 \times 150 \text{ m}$, cu următoarele caracteristici [7]:

- greutatea totală a tamburului : $G = 16,0 \text{ MN (1600 t)}$;
- unghiul de înclinare al tamburului față de orizontală: $\alpha = 2^{\circ}20'$;
- încărcarea unei role: $T = 1,0 \text{ MN (100t)}$.

Pentru a prelua componenta axială G_2 a greutateii tamburului care tinde să-l deplaseze spre capătul inferior, este necesar să se dezaxeze un număr de role dat de relația:

$$n_r = \frac{G_2}{f \cdot T} = \frac{G \cdot \sin \alpha}{f \cdot T} = \frac{16 \cdot \sin 2^{\circ}20'}{0,15 \cdot 1,0} = 4,3 \quad (26)$$

Prin urmare, trebuie să se dezaxeze rolele a două grupuri de reazem.

Unghiul cu care trebuie să se încline axele rolor față de axa tamburului se determină cu relația (22) pusă sub forma:

$$v_1 = v_2 \cdot \frac{\xi}{f} \cdot \frac{G_2}{G_1}$$

din care, ținând seama că $v_1 = v_2 \cdot \operatorname{tg} \beta$, rezultă:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\xi}{f} \cdot \frac{G_2}{G_1} = \frac{\xi}{f} \cdot \frac{G \cdot \sin \alpha}{G \cdot \cos \alpha} = \frac{\xi}{f} \cdot \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{\xi}{f} \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (27)$$

În cazul exemplului de față, considerând $\xi = 0,04$, rezultă:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\xi}{f} \cdot \operatorname{tg} \alpha = \frac{0,04}{0,15} \cdot \operatorname{tg} 2^{\circ}20' = 0,00108,$$

adică unghiul este: $\beta = 40'$.

Pentru a realiza echilibrul dintre componenta axială a greutateii tamburului, care tinde să-l deplaseze spre capătul inferior, și forța de frecare de alunecare, direcționată în sens invers acesteia, trebuie ca suprafețele în contact ale bandajului și rolor de reazem să fie uscate (între ele să nu existe lubrifiant). Apariția accidentală a lubrifiantului între role și bandaj perturbă funcționarea normală a cuptorului rotativ deoarece, reducându-se forța de frecare dintre acestea, tamburul începe să se deplaseze către capătul lui inferior. Numai în cazul în care tamburul are tendința de a se deplasa spre capătul superior se introduce lubrifiant între bandaj și role.

După stabilirea regimului de funcționare normală a tamburului pe reazeme, prin reglarea corespunzătoare, la rece, a rolor unui grup de reazem, la funcționarea la cald, în regim staționar, tamburul trebuie să aibă o mișcare atât spre capătul superior, cât și spre cel inferior, în limitele jocului dintre bandaj și rolele de gardă, fără ca acestea să fie încărcate excesiv. Această funcționare stabilă a cuptoarelor rotative depinde atât execuția, montajul, cât și exploatarea corectă a lor (aliniera corectă a tamburului, poziționarea corectă a grupurilor de reazem; execuția îngrijită a bandajelor și rolor, asigurând precizia dimensională și de formă a acestora; păstrarea regimului de temperatură al cuptorului, cu evitarea încălzirilor

neuniforme sau a supraîncălzirilor tamburului care să conducă la deformarea (curbarea) acestuia etc.).

Pentru diminuarea lunecării tamburului pe reazeme, spre capătul inferior al acestuia, trebuie redusă valoarea coeficientului de frecare în lagărele rolor de reazem. În acest scop, rolele de reazem sunt prevăzute cu lagăre de rostogolire (rulmenți), în locul celor de alunecare.

5. ROLELE DE GARDĂ

În timpul funcționării (rotirii) tamburul se deplasează alternativ în sus sau în jos, pe role, în lungul axei lui. Dacă aceste deplasări nu depășesc muchiile rolor, dantura coroanei de acționare lucrează pe toată lungimea dinților, iar etanșările de capăt funcționează, de asemenea, în bune condițiuni.

În anumite condiții de funcționare a cuptoarelor rotative, variațiile de temperatură ale diferitelor zone ale cuptorului pot perturba echilibrul tamburului pe reazeme, acesta deplasându-se exagerat pe role fie spre capătul superior, fie spre cel inferior. Dacă deplasarea tamburului este mare, atunci atât grupurile de reazem, cât și cel de acționare vor funcționa defectuos, marginea bandajului sau a coroanei dințate depășind suprafața de contact cu rolele, respectiv cu pinionul de acționare. Pentru a controla poziția tamburului cuptorului pe grupurile de reazem, unul dintre acestea, de regulă cel din imediata apropiere a coroanei dințate de acționare, este prevăzut cu role de gardă.

Corespunzător condițiilor de funcționare normală a cuptorului, rolele de gardă se montează astfel, încât jocul dintre ele și bandaj, pe o parte și pe cealaltă a acestuia, să permită deplasările tamburului în mișcarea lui de oscilație pe reazeme. Prin urmare, în mod normal, rolele de gardă nu sunt încărcate sau sunt încărcate slab, intermitent.

Cele două role de gardă ale reazemului respectiv sunt montate de o parte și de cealaltă a bandajului, distanța (jocul) dintre fiecare rolă de gardă și bandaj având valoarea de 20...60 mm [1, 2, 4, 7]. Dacă valoarea acestui joc se adoptă prea mică, atunci bandajul va fi aproape tot timpul în contact cu una dintre rolele de gardă, producând uzura acesteia și a lagărelor ei. Jocul se adoptă astfel încât, la funcționarea normală a cuptorului bandajul, în deplasarea lui, să nu atingă rolele de gardă. La o deplasare mai mare a tamburului pe reazeme, bandajul atinge una dintre rolele de gardă și aceasta, rotindu-se, semnalizează deplasarea exagerată tamburului. În acest caz trebuie să se ia măsurile necesare pentru restabilirea unei deplasări normale a tamburului pe rolele de reazem. Prin urmare, rolele de gardă au numai rolul de a semnaliza funcționarea defectuoasă a tamburului și de a prelua numai încărcări reduse, de scurtă durată, până când se remediază situația.

Pentru ca frecarea dintre bandaj și rola de gardă să fie minimă, bandajul trebuie să se rostogolească pe rolă, fără alunecare. Acest lucru este posibil numai dacă vârful conului rolei se găsește pe axa bandajului (v. fig. 7), adică dacă:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{d_b}{D} \quad (28)$$

unde β este semiunghiul la vârf al conului rolei de gardă; d_b - diametrul rolei de gardă conice, la baza acesteia; D - diametrul bandajului.

Utilizând relația (28) se pot determina unghiurile pe care generatoarele suprafețelor conice ale bandajului și rolei de gardă le fac cu diferite elemente de referință.

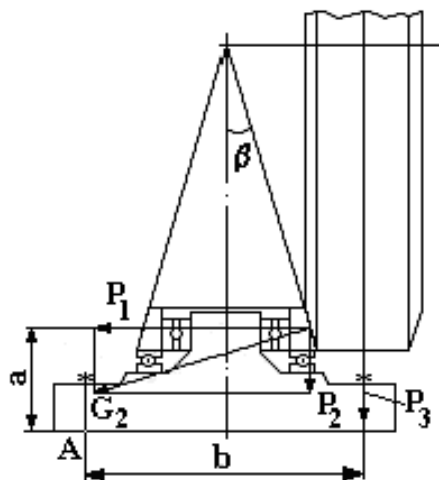


Fig. 7. Schemă pentru determinarea forțelor care încarcă rola de gardă.

Apăsarea pe care bandajul o exercită asupra rolei de gardă (plasată în aval) după direcția orizontală și care soliciță rulmentul radial al acesteia, este determinată de relația (v. fig. 7):

$$P_1 = G_2 \cdot \cos \beta \quad (29)$$

unde G_2 este componenta axială a greutateii tamburului.

Apăsarea după direcția verticală a bandajului asupra rolei de gardă, preluată de rulmentul axial al acesteia are expresia:

$$P_2 = G_2 \cdot \sin \beta. \quad (30)$$

Șuruburile cu care corpul rolei de gardă se fixează pe placa de fundație a grupului de reazem, sunt supuse următoarelor două sollicitări:

- forfecare, datorită forței P_1 ;
- întindere, datorită forței P_3 .

Forța P_3 se determină scriind ecuația de momente ale forțelor în raport cu punctul A:

$$P_3 = \frac{a}{b} \cdot P_1 - \frac{b + d_m}{2 \cdot b} \cdot P_2. \quad (31)$$

Datorită dereglării poziției rotelor de reazem și a modificării regimului termic al cuptorului, apăsarea bandajului se poate exercita și asupra celeilalte rolă de gardă (plasată în amonte). Apăsarea bandajului asupra rotelor de gardă poate fi foarte redusă sau, din contra, foarte mare, în funcție de diferiți factori: poziționarea corectă a rotelor de reazem în raport cu

axa tamburului, gradul de curățenie al suprafețelor bandajului și rozelor de reazem, existența lubrifierea accidentală a acestor suprafețe, etc. Datorită apăsării bandajului, rola de gardă este sollicitată la compresiune. Lățimea petei (dreptunghiulare) de contact dintre bandaj și rola de gardă, considerând-o pe aceasta cilindrică (deoarece conicitatea ei este foarte mică), este determinată de relația [7]:

$$b = 0,216 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot d_m}{E}} \quad m \quad (32)$$

unde p este încărcarea rolei, raportată la unitatea de lungime a generatoarei ei, N/m ; E – modulul de elasticitate al materialului rolei, N/m^2 ; d_m – diametrul mediu al rolei de gardă, m .

Tensiunea de compresiune maximă în centrul petei de contact dintre bandaj și rola de gardă se determină cu relația [7]:

$$p_{\max} = 0,591 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot E}{d_m}} \quad \frac{N}{m^2} \quad (33)$$

Tensiunea de compresiune la contactul dintre bandaj și rola de gardă poate avea valori foarte mari de aceea, în cazul în care acestea se află în contact o durată mare de timp, rola de gardă se uzează destul de repede. Durata de serviciu a rozelor de gardă se mărește printr-o reglare corespunzătoare a rozelor de reazem, astfel ca tamburul, în timpul funcționării cuptorului, să se deplaseze atât spre capătul superior, cât și spre cel inferior, în limitele jocului dintre bandaj și rolele de gardă.

Pentru a preveni căderea tamburului de pe reazeme în cazul unei deplasări axiale exagerate a acestuia, grupul de rezemare cu role de gardă trebuie prevăzut și cu opritoare fixe solidarizate între ele prin tiranți și bine ancorate de placa de fundație a grupului de reazem. Distanța fiecărui opritor față de bandaj este cu $30...50 \text{ mm}$ mai mare decât jocul dintre acesta și rolele de gardă. Deoarece la contactul dintre bandaj și opritoare frecarea dintre acestea devine foarte mare, protecția la suprasarcină a motorului electric de acționare oprește funcționarea acestuia. La alte construcții de cuptoare rotative, opritoarele sunt prevăzute cu limitatoare de cursă care, la contactul dintre bandaj și acestea, decuplează motorul electric de acționare de la rețeaua de alimentare.

CONCLUZII

La funcționarea normală a cuptorului rotativ, în timpul rotirii tamburului, acesta are și o mișcare în lungul axei lui, în anumite limite, alternativ, când spre capătul inferior, când spre cel superior. Această mișcare longitudinală alternativă a tamburului pe reazeme contribuie la buna funcționare a tuturor subansamblurilor componente ale cuptorului rotativ: grupuri de rezemare, angrenajul coroană dințată-pinion al sistemului de acționare, etanșări de capăt.

Funcționare în condiții normale a cuptorului rotativ necesită ca elementele componente ale grupului de rezemare să fie realizate, montate și reglate corect. Pentru aceasta rolele fiecărui grup de rezemare trebuie să aibă același diametru, iar axele lor trebuie să fie

plasate în același plan orizontal (centul fiecărei role trebuie să se afle, pe verticală, la aceeași distanță față de axa tamburului). De asemenea, axele rozelor trebuie să fie paralele cu axa bandajului (tamburului) pentru a evita apăsările pe muchie care conduc la suprasolicitarea în zona de contact atât a rozelor cât și a inelului de reazem accentuând uzura acestora.

Un aspect important îl reprezintă și uzura suprafeței exterioare în contact ale bandajului și rozelor de reazem produsă, în special, de creșterea presiunii de contact dintre acestea, 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 rozelor de reazem. 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 uzurii.

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, uzura 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., *Vrașciaiuscisia peci țementnoi promîșlenosti*, Izd. Mașinostroenie, 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.