

# **UTILIZAREA MORILOR VIBRATOARE TIP PALLA ÎN PROCESUL DE MĂCINARE AL MATERIALELOR GRANULARE ȘI PULVERULENTE**

Cristian PAVEL, prof.univ.dr.ing., U.T.C.B  
Amelitta LEGENDI, conf.univ.dr.ing., U.T.C.B

## **ABSTRACT**

The authors of this article plated a brief presentation of the vibrating mills' running principle using some solid arguments regarding the large exploitation domain of the PALLA vibrating mills in the granular and powdery materials grinding.

## **1. INTRODUCERE**

Prin procesul de mărunțire a materialelor utilizate în diverse ramuri industriale se efectuează o micșorare a dimensiunilor particulelor componente ale acestora, care să devină convenabile unei prelucrări ulterioare. În mod evident, cele două obiective urmărite de acest proces sunt: a) obținerea dimensiunilor optime ale particulelor de material care să permită desfășurarea cât mai eficientă a procesului ulterior de prelucrare; b) desprinderea unor constituenți care se întrepătrund cu materia primă în vederea separării lor de materialul care se sfărâmă.

Ideea utilizării mișcării vibratorii în procesul măcinării materialelor granulare și pulverulente a apărut încă din secolul trecut. De atunci încoace, cerințele referitoare la producerea unor granule de anumite dimensiuni, utilizate ulterior în industria procesării mineralelor, au crescut în mod vertiginos. Ca urmare, moara vibratoare a constituit mereu o temă inginerască predispusă unei îmbunătățiri permanente.

## **2. CONSTRUCȚIA ȘI FUNCȚIONAREA UNEI MORI VIBRATOARE TIP PALLA**

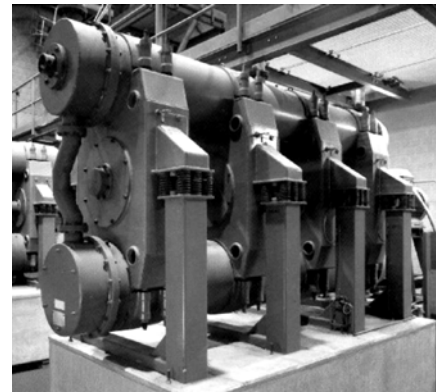
Procesarea materialelor de diferite structuri și compoziții chimice necesită aplicarea unui concept larg și versatil de măcinare, care poate fi realizat în majoritatea situațiilor cu morile vibratoare din gama Palla (ilustrate în tabelul 1 și prezentate în figura 1).

Produsul final obținut depinde atât de mărimea morii (vezi tabelul 1), dar și de alți diverși parametri, cum ar fi: frecvența și amplitudinea vibrațiilor, dispunerea incintelor de măcinare, tipul corpurilor de măcinare etc.

Având puterile instalate de până la 200 kW, morile tip Palla sunt unele dintre cele mai puternice mori vibratoare de pe piața europeană.

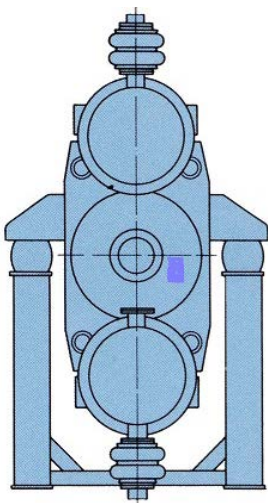
Tip	Diametru [mm]	Lungime [m]	Debit [kg/h]	Putere [kW]
20U	200	1,0	20..500	5,5
35U	350	2,0	50..3000	22
50U	500	3,0	200..10000	75
65U	650	4,0	400..20000	160

**Tabelul 1. Principalele dimensiuni ale morilor vibratoare tip Palla**



**Fig. 1. Moara vibratoare tip Palla 65U**

În figura 2 este prezentată o construcție tipică de moară vibratoare din gama PALLA.



**Fig. 2. Schema constructivă a unei mori vibratoare**

În varianta prezentată în figură, aceasta este alcătuită din două camere (tuburi) de măcinare montate paralel și fixate de grinda orizontală a cadrului de susținere. Acest ansamblu constituie așa-zisa unitate oscilantă.

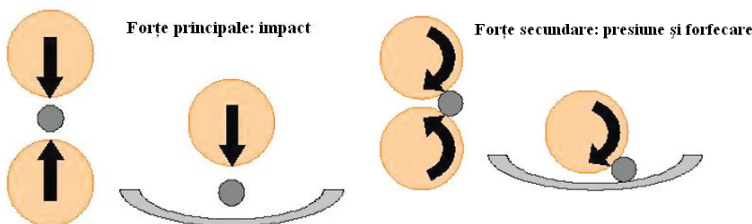
La ambele capete ale tuburilor cilindrice de măcinare sunt prevăzute orificii de alimentare și evacuare. Masele neechilibrate generatoare de vibrații sunt plasate pe linia centrelor grinzilor.

La capătul superior al axei centrelor, arborele cu reazeme și mase excentrice este cuplat la un motor electric prin intermediul unei transmisii cardanice.

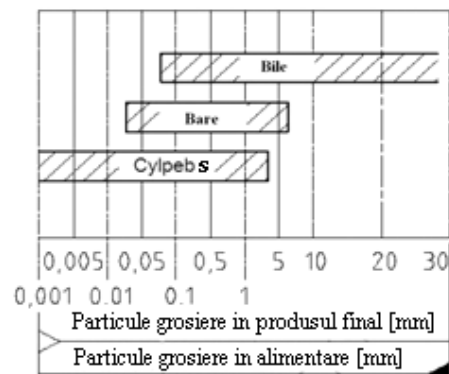
Incinta oscilantă sprijină pe un grup de reazeme alcătuite din elemente elastice speciale atașate cadrului morii. Tuburile cilindrice de măcinare sunt protejate la interior cu blindaje.

### 3. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE AL MORILOR VIBRATOARE

În procesul de mărunțire, morile vibratoare utilizează cu precădere forțele de impact ce iau naștere atât între corpurile de măcinare (bile, bare, cylpebs), cât și între acestea și suprafața interioară a incintelor de măcinare. În procesul de mărunțire intervin și forțele de frecare ce apar între componentele masei de măcinare, însă acestea joacă un rol secundar.



**Fig. 3. Forțele de măcinare din moara vibratoare**



**Fig. 4. Gradul de operare pentru corpurile de măcinare uzuale**

Mecanismul de sfărâmare din interiorul unei mori vibratoare este prezentat în figura 3. Și aici se evidențiază faptul că efectul de măcinare este cauzat, în principal - de fenomenul de impact, și, într-o măsură mai mică – de fenomenul de frecare.

În consecință, pentru a atinge transmiterea unei doze optime de energie masei materialului de măcinat, este esențială alegerea corectă a mediului de măcinare (bile, bare, cylpebs). În cazul morilor cu bare, mediul de măcinare este alcătuit din bare cilindrice de lungime puțin mai mică decât lungimea utilă a incintei de măcinare, pe când în cazul morilor cu cylpebs sau minipebs, corpurile de măcinare sunt niște bare cilindrice scurte. Lucrând cu cele trei medii de măcinare, apar diferențe semnificative, în special în zona măcinării grosiere, datorită diferenței mari de masă dintre corpurile de măcinare. Pentru o măcinare grosieră, energia de fricțiune este aproximativ neglijabilă, însă aceasta câștigă ca importanță în zona măcinării fine.

Ținând seama de experiența practică, gradul de utilizare a celor trei tipuri de corpuri poate fi stabilit conform figurii 4 (preluată din [3]).

Pe lângă această diagramă orientativă, trebuie luate în considerare și unele proprietăți specifice ale materialului de măcinat (duritate, densitate, forma granulei, proprietățile suprafeței granulei etc).

Nu numai tipul, dar și dimensiunile corpurilor de măcinare influențează rezultatul final. În general, dimensiunea maximă a corpurilor de măcinare trebuie să fie mai mare decât dimensiunea maximă a particulelor ce se macină. Utilizând corpuri de măcinare prea mari, există pericolul de scădere a gradului de măcinare, ceea ce conduce la o ineficiență a procesului de sfărâmare. Lucrând cu corpuri de măcinare prea mici, materialul alimentat poate trece prin moară fără a i se reduce dimensiunea de intrare sau se poate acumula, obturând evacuarea.

Gradul de măcinare depinde, în principal, de doi factori: timpul de reținere în incinta de măcinare și debitul de alimentare cu material de măcinat.

La finele traseului parcurs în incinta de măcinare pot fi instalate site pentru reținerea corpurilor de măcinare în interiorul morii, înlesnindu-se astfel evacuarea materialului sfărâmat.

#### 4. CONDIȚII SPECIALE DE EXPLOATARE A MORILOR VIBRATOARE TIP PALLA

Morile vibratoare tip Palla sunt folosite cu succes pentru ceva mai mult de 160 materiale diferite, atât în măcinarea acestora, cât și pentru omogenizarea lor. Gradul substanțial de umplere cu corpuri de măcinare și debitul de aer relativ scăzut sunt condiții benefice pentru măcinarea materialelor metalice, cărbune, cocs și unele materiale organice. În această situație, funcționarea trebuie să evite riscul unei explozii de praf.

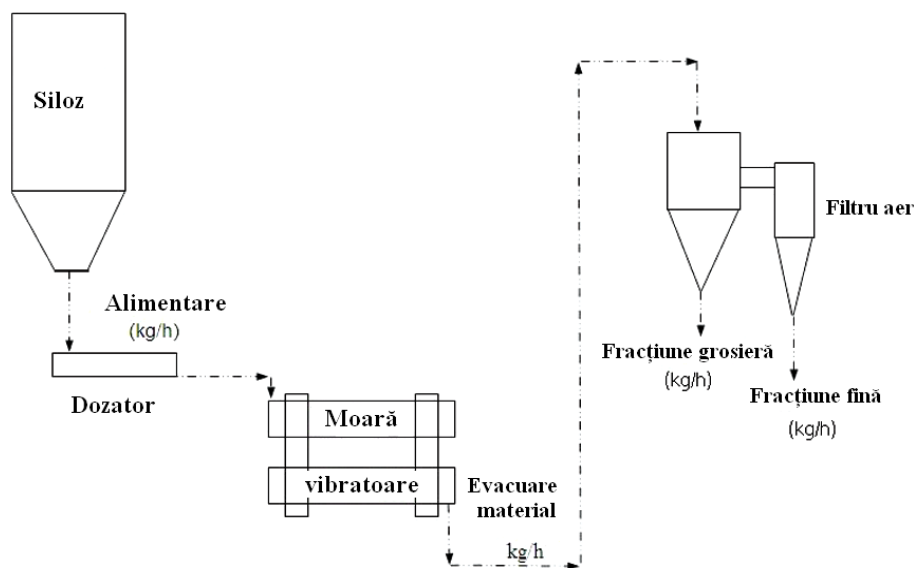


Fig. 5. Circuit alcătuit din moară vibratoare – filtru de aer

Mărimea materialului alimentat în moara vibratoare poate atinge 15 mm, maximum 30 mm, situație în care mărimea produsului finit poate fi mai mică de 10  $\mu\text{m}$  –în cazul unei funcționări continue.

În aplicațiile speciale, utilizând filtre de aer cât mai adecvate, se pot obține particule și mai mici, de cca 3  $\mu\text{m}$ , prin recircularea materialului care nu a ajuns la dimensiunea impusă.

Figura 5 prezintă un circuit filtru de aer –moară vibratoare. Materialul de alimentat este trecut mai întâi prin filtrul de aer și apoi introdus în moara vibratoare. Acest tip de circuit este avantajos dacă materialul ce alimentează moara conține deja numeroase fracțiuni de particule fine.

Practica a arătat că este totuși mai avantajoasă utilizarea morii vibratoare fără filtru de aer, însă trebuie încercată optimizarea funcționării acesteia prin creșterea timpului de retenție a materialului în interiorul incintei de măcinare.

## 5. SCHEMA CONSTRUCTIVĂ ȘI MODELUL DINAMIC AFERENT

Moara vibratoare tip PALLA-U35, care a fost studiată ulterior mai detaliat, este alcătuită din (fig. 6, a) din: a) camerele de măcinare 1 și 2 – identice și dispuse simetric față de axa longitudinal; b) vibrogeneratorul inerțial 3 (vibrogenerator cu forță perturbatoare rotitoare); c) sistemul antivibratil de rezemare 4 (confectionat numai din elemente din cauciuc).

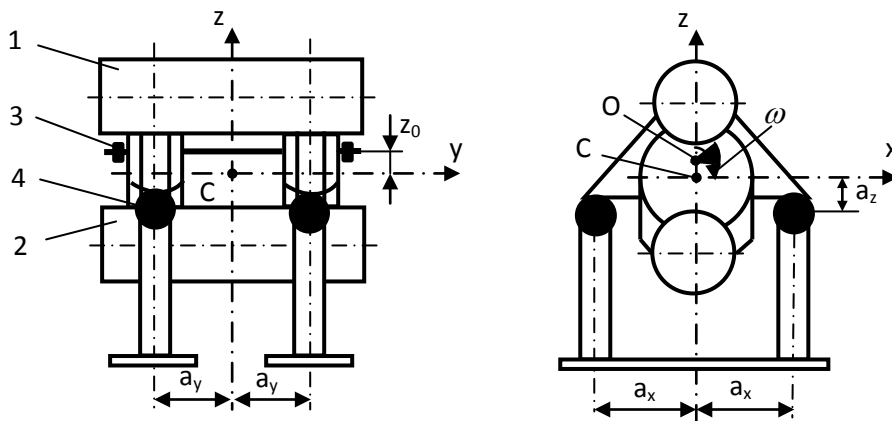


Fig. 6a. Moară vibratoare cu două camere de măcinare descentrate ( $C \neq 0$  și  $a_z \neq 0$ )

Studiul dinamic al oricărei mori vibratoare trebuie să rezolve două aspecte fundamentale: a) stabilirea regimului dinamic optim necesar realizării vibrațiilor tehnologice; b) stabilirea soluției de rezemare pentru realizarea unei izolări antivibratilită optime.

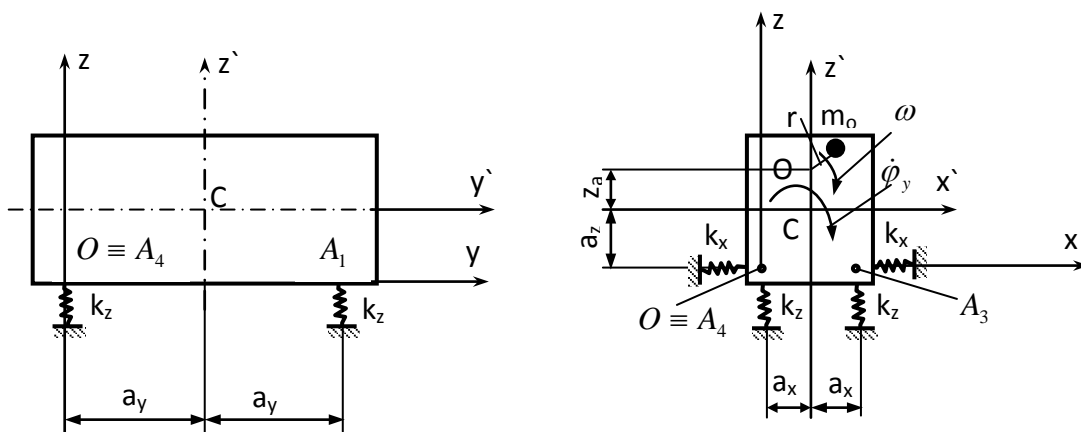


Fig. 6 b. Modelul dinamic de calcul

În continuare, în analiza efectuată s-a considerat situația când planul orizontal al elementelor elastice de rezemare nu conține centrul de masă al sistemului. Luând în considerație această ipoteză, modelul de calcul schematizează utilajul sub forma unui corp solid cu două plane verticale de simetrie, rezemat pe elemente identice și supus acțiunii perturbatoare a unei forțe a cărei suport nu trece prin centrul de masă (conform fig.6 b).

Sistemul oscilant prezentat are trei grade de libertate (translație după  $Cx$ , translație după  $Cz$  și rotație în jurul lui  $Cy$ ). Corespunzător acestora s-au adoptat coordonatele curente - funcții de timp - notate, respectiv, cu  $x$ ,  $y$  și  $\phi_y$ .

Ținând seama că sistemul oscilant are patru reazeme elastice ( $i = 4$ ) și că forța perturbatoare acționează generând un moment perturbator de expresie:

$$M_y = z_0 \cdot P_0 \cos \omega t \quad (1)$$

mișcarea sistemului elastic poate fi caracterizată prin următorul sistem de ecuații diferențiale.

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} + 4k_x x + 4a_z k_x \phi_y &= P_0 \cos \omega t \\ J_y \ddot{\phi}_y + 4\phi_y (k_z a_x^2 + k_x a_z^2) + 4k_x a_z x &= z_0 P_0 \cos \omega t \\ m\ddot{z} + 4k_z z &= P_0 \sin \omega t \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Notății:

$m$  - masa totală a utilajului;

$J_y$  - momentul de inerție al utilajului în raport cu axa  $Cy$ ;

$k_x, k_z$  - coeficientul de rigiditate al unui element elastic pe direcția  $Cx$ , respectiv  $Cz$ ;

$a_x$  - distanța măsurată pe orizontală între planul median longitudinal și reazemele elastice;

$a_z$  - distanța măsurată pe verticală între planul orizontal ce conține elementele elastice și poziția centrului de masă,  $C$ ;

$z_0$  - distanța măsurată pe verticală în planul median longitudinal, între centrul de masă  $C$  și centrul de perturbare  $O$ ;

$P_0$  - amplitudinea forței perturbatoare de tip inerțial de forma  $P_0 = m_0 \cdot e \cdot \omega^2$ ;

$\omega$  - pulsația forței perturbatoare;

$m_0$  - masa totală excentrică în raport cu axa de rotație a elementelor de dezechilibrare din componența vibratorului;

## 6. CONCLUZII

Soluțiile sistemului de ecuații (2), confirmate ulterior de rezultate experimentale [1], au evidențiat existența unui palier larg de funcționare în regim stabil în zona postrezonanței. De asemenea, în această zonă s-au identificat domenii largi de funcționare, în care vibrațiile de translație sunt preponderente față de cele de rotație.

### Bibliografie

- [1] Cristian PAVEL                      Dinamica morilor vibratoare utilizate în industria materialelor de construcții. Editura CONSPRESS, București, 2000, ISBN 973-99571-2-9
- [2] Cristian PAVEL                      Comportarea dinamică a unei mori vibratoare cu tub interior. Comunicare. Al XI-lea Simpozion Național de Utilaje pentru Construcții, SINUC 2005, București, ISBN 973-7797-72-8
- [3]                      \* \* \*                      <http://www.saimm.co.za/Journal/v110n03p125.pdf>