

NOI DOMENII DE UTILIZARE PENTRU MORILE VIBRATOARE CU EXCENTRIC

NEW APPLICATION DOMAINS FOR ECCENTRIC VIBRATING MILLS

Cristian PAVEL¹⁾, Amelitta LEGENDI²⁾

¹⁾ Prof. univ. dr. ing., Facultatea de Utilaj Tehnologic, Departamentul de Tehnologie Mecanică (DTM)

²⁾ Conf. univ. dr. ing., Facultatea de Utilaj Tehnologic, Departamentul de Mașini de Construcții și Mecatronică (DMCM)

Universitatea Tehnică de Construcții din București

B-dul Lacul Tei 124, 020396, București, Romania

e-mail: cpcristianpavel@gmail.com; amelitta.legendi@gmail.com

Rezumat: În urmă cu câțiva ani, utilizarea morilor vibratoare convenționale a ajuns într-un impas datorită consumului mare de energie și a nivelului scăzut de material tehnologic rezultat. Variantele constructive propuse – morile vibratoare cu excentric – au condus, atât la multiplicarea de două ori a capacității de măcinare în același interval de timp considerat, cât și la reducerea consumului puterii specifice cu 45...50% față de morile vibratoare convenționale cu vibrații circulare. În prezent, specialiștii urmăresc identificarea a cât mai multe domenii de utilizare ale acestor variante constructive de mori vibratoare (cele cu excentric).

Cuvinte cheie: proces de mărunțire; generator de vibrații; excentric; model dinamic

Abstract. Some years ago, the use of conventional vibratory mills reached an impasse due to high energy consumption and low level of technological material resulted. The constructive models proposed – the eccentric vibrating mills – led to both the doubling the milling capacity in the same period of time and the 45 ... 50% reduction of specific power consumption compared to towards vibratory mills circular vibrations. Currently, specialists aim to identify the most possible usage areas of these constructive variants of vibrating mills (those with eccentric).

Keywords: grinding process; vibration generator; eccentric; dynamic model

1. INTRODUCERE

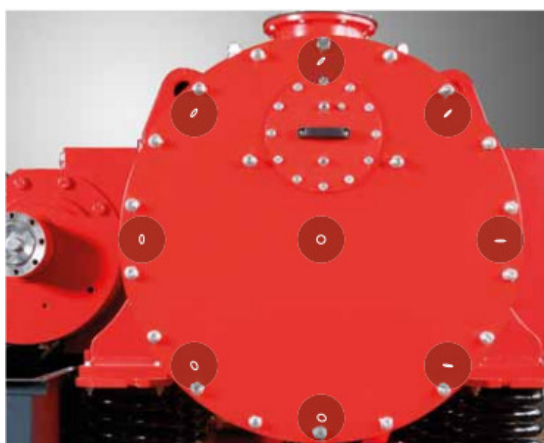
Spre deosebire de ciururile vibratoare, care au înlocuit aproape în totalitate ciururile la care sitele nu sunt acționate prin intermediul vibrațiilor, morile vibratoare sunt la fel de răspândite ca și celelalte tipuri de mori ce nu folosesc vibrațiile în acționarea incintei de măcinare.

Fiecare din categoriile de mori menționate prezintă atât avantaje, cât și dezavantaje în funcționare. De exemplu, s-a constatat experimental că suprafața specifică a cimentului măcinat în morile vibratoare este de aproximativ 5000 cm²/g față de 3000 cm²/g, valoare prezentată de cimentul măcinat prin alte procedee. În mod evident, sporirea substanțială a gradului de finețe a cimentului este de o importanță deosebită pentru industria prefabricatelor. Astfel se explică și afirmația de la începutul acestui paragraf, prin care am semnalat că

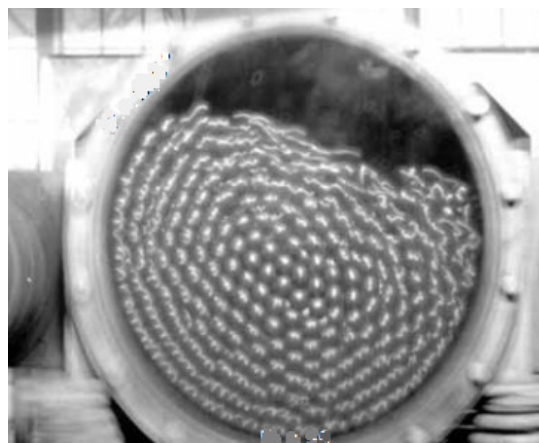
ponderea măcinării prin intermediul morilor vibratoare este comparabilă cu cea prin intermediul morilor convenționale (centrifugale).

2. DESCRIEREA GENERALĂ A PROCESELOR CE AU LOC ÎN INCINTA MORILOR VIBRATOARE CU EXCENTRIC

Indiferent de varianta constructivă a morii vibratoare, mecanismul de măcinare se bazează pe disiparea de energie ce are loc în urma impactului și a frecării dintre corpurile de măcinare (bile sau bare cilindrice) și peretele corpului morii. Figura 1 prezintă o moară vibratoare cu excentric realizată de Siebtechnik GmbH în 2012.



a. vedere laterală



b. secțiune transversală ce ilustrează traiectoriile descrise de corpurile de măcinat

Fig. 1. Moară vibratoare cu excentric produsă de firma Siebtechnik GmbH

Dorim să menționăm că primele variante constructive ale unor asemenea mori au apărut în 1993, în colaborare cu Technische Universität Clausthal. Moara prezentată în figura 1, atât în vedere laterală, cât și în secțiune transversală, este excitată lateral dintr-o singură parte, astfel încât vibrațiile neomogene (eliptice sau liniare) se suprapun peste vibrațiile circulare întâlnite în cazul morilor uzuale. S-a constatat că mișcarea orbitală a umpluturii de măcinat se realizează numai în situația în care generatorul de vibrații este montat pe partea stângă a incintei de măcinare - cu funcționare în sens trigonometric, sau pe partea dreaptă - cu funcționare în sens orar.

Avantajul tehnologic cel mai important constă în faptul că amplitudinea vibrațiilor ia valori în intervalul 12 mm (moară convențională) până la 20 mm (moară cu excentric), ceea ce conduce la o creștere semnificativă a forțelor de impact dintre corpurile de măcinare.

Mai multe studii de referință ([4], [5], [6] etc) au evidențiat avantajul utilizării morilor vibratoare cu excentric în comparație cu variantele constructive convenționale: a. creșterea randamentului specific; b. reducerea consumului de energie; c. eliminarea limitei superioare impusă de energia consumată asupra diametrului tubului de măcinare (cea existentă este de aproximativ $\Phi = 650$ mm); d. posibilitatea construcției modulare a morii.

3. PROIECTAREA ȘI FUNCȚIONAREA MORILOR VIBRATOARE CU EXCENTRIC

În timpul funcționării oricărui tip de moară vibratoare, umplutura de măcinare, alcătuită din bile sau bare cilindrice scurte, recepționează vibrațiile corpului morii. La rândul său, ansamblul corpurilor de măcinare transmite mișcările vibratorii materialului de mărunțit introdus în incinta morii. Procesul tehnologic descris are loc ca urmare a șocurilor puternice repetate și a frecărilor reciproce – fenomen ce apare între corpurile de măcinare, materialul de măcinat și pereții morii vibratoare analizate.

În figura 2 este prezentată o schemă constructivă a unei mori vibratoare cu excentric (unul din cele mai noi modele produse de firma Siebetechnik).

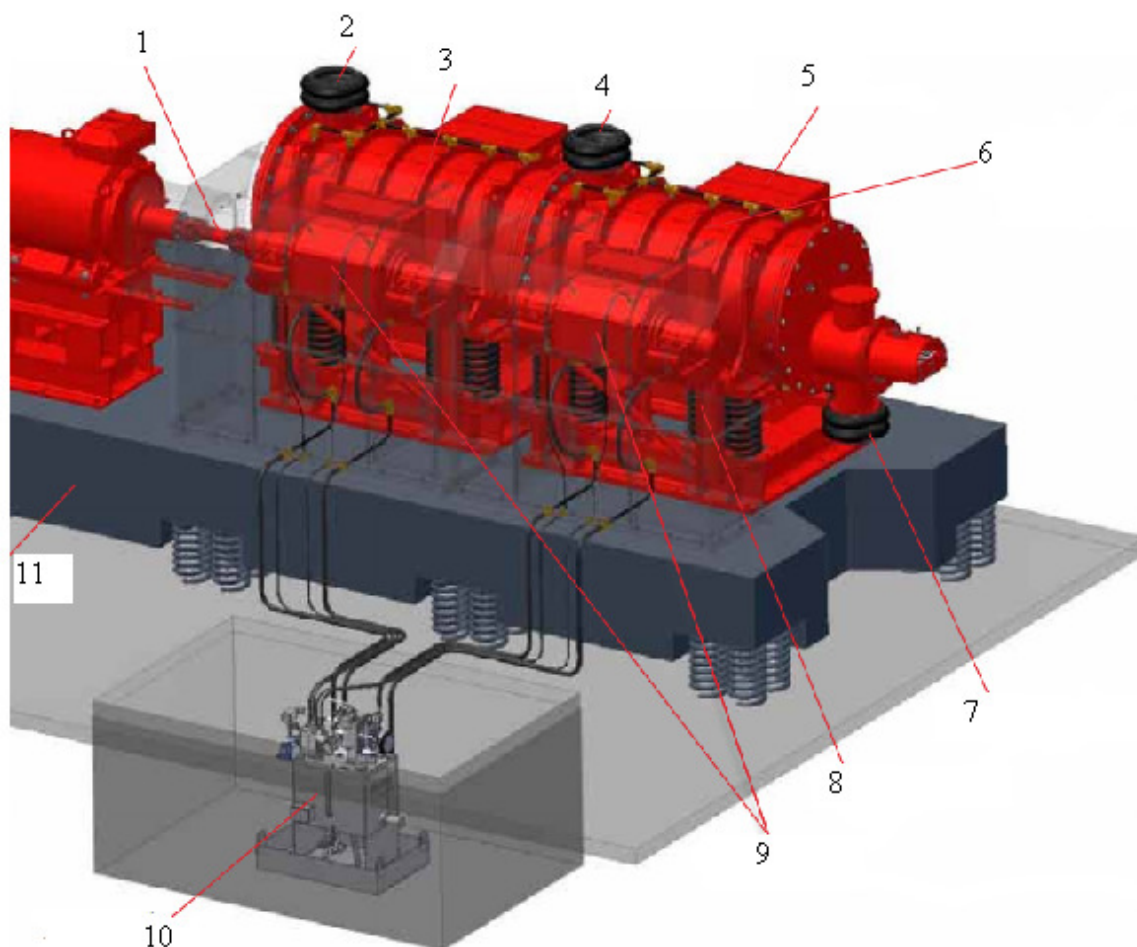


Fig. 2. Schema constructivă a unei mori vibratoare cu excentric produse de firma Siebetechnik
1-arbore cardanic; 2- pâlnie material alimentat; 3- modulul 1 al incintei de măcinare; 4- orificiu pentru introducerea materialelor auxiliare; 5- contragreutăți; 6- modulul 2 al incintei de măcinare; 7- duză de evacuare a materialului măcinat; 8- mase excentrice; 9- generatorul de vibrații; 10- sistem de lubrifiere recirculare ulei; 11- contragreutate

Moara vibratoare cu excentric are în componență un cilindru de măcinare, de care este legat rigid generatorul de vibrații. Masa excitatoare este contrabalansată de o contragreutate paralelă, dispusă la partea opusă a tubului de măcinare. Corpul cilindric al incintei de măcinare este montat pe arcuri elicoidale, aflate pe fundația de bază.

Materialul de alimentare este introdus printr-o gură de alimentare montată în punctul cel mai înalt al containerului. Orificiul de evacuare a materialului măcinat este prevăzut cu o sită din tablă perforată care reține corpurile de măcinare în interiorul morii.

Acționarea morii se face cu un motor electric trifazic prin intermediul unui arbore cardanic. Unitatea excitatoare este montată lateral prin intermediul unei flanșe.

Proiectarea modulară a morilor vibratoare cu excentric prezintă următoarele avantaje substanțiale:

- a) alcătuirea morii vibratoare din tronsoane oferă multiple posibilități de transport;
- b) existența unor unități excitatoare compacte permite înlocuirea lor facilă în cazul unor defecțiuni;
- c) modularea incintei de măcinare simplifică considerabil înlocuirea tronsoanelor și a căptușelilor în cazul schimbării mediului de măcinare

Conform figurii 2 se observă existența unei pâlnii de alimentare cu material de măcinat în punctul cel mai înalt al recipientului de măcinare, precum și a unei duze de evacuare a materialului rezultat – situată în zona cea mai de jos a incintei de măcinare. O foaie din tablă perforată împiedică evacuarea (descărcarea) mediului de măcinare.

Diferitele sisteme de alimentare permit morilor vibratoare cu excentric următoarele tipuri de operare: a. continuă; b. în șarje (discontinuu); c. în șarje (automată).

Firma Siebtechnik produce o largă diversitate de opțiuni cu îmbunătățirile corespunzătoare:

- căptușeli rezistente pentru mediul de măcinare, confecționate din oțel laminat, ceramică sau elastomeri;
- mediu de măcinare alcătuit din bile sau bare confecționate din materiale metalice sau ceramice;
- posibilitatea de încălzire/ răcire prin pereții dubli ai incintei de măcinare;
- existența unei calote fonoabsorbante a zgomotului generat de ciocnirile dintre materialul de măcinat, mediul de măcinare, pereții incintei de măcinare
- posibilitatea dotării morii vibratoare cu dispozitive speciale de alimentare și evacuare

4. NOI DOMENII DE UTILIZARE ALE MORILOR VIBRATOARE CU EXCENTRIC

În tabelul 1 este prezentată parțial gama de aplicații ale morilor vibratoare cu excentric.

Tabelul 1 Din gama de aplicații ale morilor vibratoare cu excentric

1	Industria constructoare de mașini	- măcinarea azbestului fără fibre
2	Industria chimică	- producerea de pigmenți și catalizatori
3	Industria materialelor refractare	- măcinarea carburii siliconice și a șamotei
4	Industria ceramică	- măcinarea de activare a mineralelor argiloase
5	Industria alimentară	- modificarea proteinelor și amidonului
6	Agricultură	- utilizarea fosfaților bruți
7	Metalurgia pulberilor	- reacțiile de aliere ale pulberilor de metale dure
8	Optică	- măcinarea fără contaminare a nisipurilor de cuarț

În concluzie, materialele casante (fragile) au o structură cristalină parțial distrusă, condițiile energetice necesare sfărâmării fiind minimale.

Ca o alternativă la distrugerea termică a azbestului, moara vibratoare cu excentric este utilizată pentru microsfărâmarea acestuia. Atunci când azbestul este microsfărâmat cu o moară vibratoare cu excentric, se atinge o distrugere completă a structurii fibroase a acestuia datorită solicitărilor de impact și a temperaturilor înalte, astfel încât structura cristalină fibroasă, aciculară, să nu mai fie detectabilă. Ca urmare, se obține un material non-fibros.

Datorită impactului puternic dintre corpurile de măcinare și materialul de măcinare, morile vibratoare cu excentric pot fi utilizate cu succes și în măcinarea fragmentelor de carburi de tungsten.

Un material alimentat compus din mai multe componente poate fi mărunțit eficient și apoi mixat în întregime pe parcursul unei singure operații. Pentru sporirea eficienței este posibilă atât măcinarea în vacuum, sub presiune, cât și în prezența unui gaz inert.

Corporația Siebtechnik din Germania este deschisă oricăror teste experimentale ce vizează noi domenii de utilizare pentru morile vibratoare cu excentric produse. De altfel, aceste mori pot fi și închiriate temporar pentru asemenea teste.

5. DATE TEHNICE ALE PRINCIPALELOR TIPURI DE MORI VIBRATOARE CU EXCENTRIC PRODUSE ÎN GERMANIA

În figura 3 sunt prezentate unele din principalele date caracteristice ale morii vibratoare cu excentric produse de Siebtechnik GmbH (Germania).

În tabelul 2 sunt prezentate principalele date de identificare ale morilor vibratoare cu excentric produse de Siebtechnik GmbH (Germania), precum și modalitatea de codificare a acestor tipuri de mori.

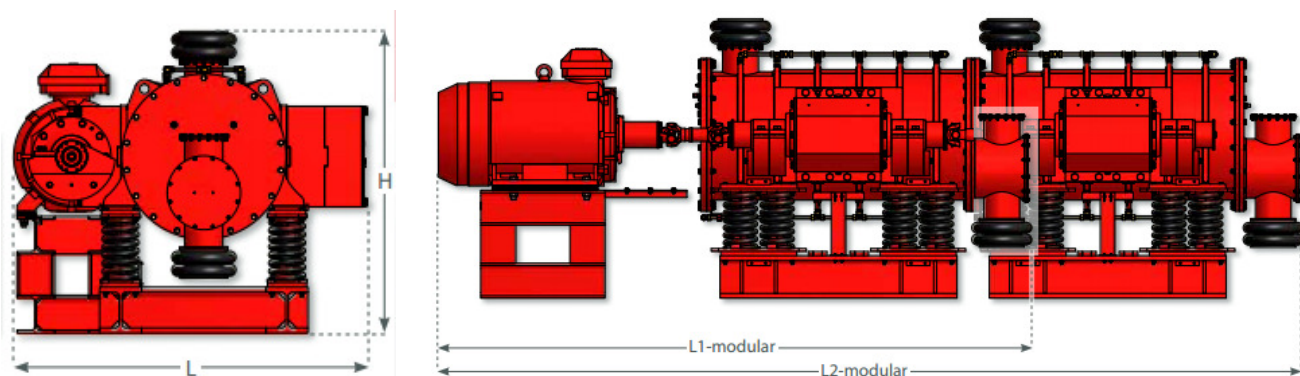


Fig. 3. Moară vibratoare cu excentric produsă de firma Siebtechnik – date caracteristice

MVE	32	4	-	1	k	s	
							Codificarea tipului de moară vibratoare
							MVE 32 4 - 1 k s
							căpușeală incintă măcinare
							mod operare (<i>k</i> -continuu; <i>b</i> -în șarje)
							numărul de module de măcinare
							numărul polilor motorului electric de acționare
							diametrul caracteristic al tubului de măcinare
							descrierea mașinii: moară vibratoare cu excentric

Tabelul 2

MVE		194 196	234 236	324 326		504 506		654 656		765		865	
modul		1	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Conținut total vas măcinare, în l		11	19	53	106	219	438	37	752	605	1210	951	1902
Conținut mediu măcinare, în l		9	15	42	84	175	350	301	602	484	968	761	1522
Greutatea mediu măcinare oțel, în kg		43	76	190	380	830	1660	1400	2800	2250	4500	3530	7060
Greutatea moară (fără mediu măcinare), în kg		141	140	550	1100	1700	3400	2600	5200	5300	10600	8500	17000
Putere motor, înkW		0,55	1,1	5,5	11	18,5	37	30	55	45	90	75	160
	D_M interior mm	174	235	307		476		620		712		820	
	L_M mm	450	450	712		1232		1246		1520		1800	
	$L1$ -modular mm	750	1400	1950		2450		2550		3100		4050	
	$L2$ -modular mm	-	1370	2750		3800		3850		4700		5900	
	L mm	650	800	1250		1450		1650		1850		2250	
	H mm	510	620	74		1215		1340		1410		1675	
Φ circuit oscilant	6..8 mm	la $n=1500$ rot/min a motorului											
	12...13 mm	la $n=1000$ rot/min a motorului											

OBSERVAȚII . Codificarea este: **ESM 32 4 - 1 k s**

ESM – moară vibratoare cu excentric

32 – diametru caracteristic al tubului de măcinare

4 – numărul polilor motorului electric de acționare

1 – numărul de module de măcinare

k – modul de operare (k- continuu; b- în șarje)

s – căpușeala incintei de măcinare (s- oțel; k- ceramic)

6. MODELUL DINAMIC PROPUȘ PENTRU STUDIUL COMPORTĂRII DINAMICE AL UNEI MORI VIBRATOARE CU EXCENTRIC

Modelul dinamic propus pentru varianta constructivă reprezentată în figura 3 este cel reprodus în figura 4. Acesta constă dintr-un solid rigid excitat de o forță perturbatoare rotitoare, sprijinit liniar elastic, având o amortizare proporțională cu viteza. Mișcarea sa poate fi definită cu ajutorul a trei parametri geometrici independenți, coordonatele $q_1(t) = x(t)$; $q_2(t) = y(t)$ și $q_3(t) = \theta(t)$.

Pe baza acestui model dinamic, pe care autorii acestui articol l-au mai utilizat cu succes atunci când au efectuat anumite studii asupra unei mori vibratoare aflată în dotarea SC DUCTIL SA din Buzău (utilizată acolo pentru obținerea unor pudre fine necesare în producția de electrozi pentru sudură), se pot scrie ecuațiile diferențiale care guvernează procesele vibratorii ce au loc în incinta de măcinare a oricărei mori vibratoare cu excentric.

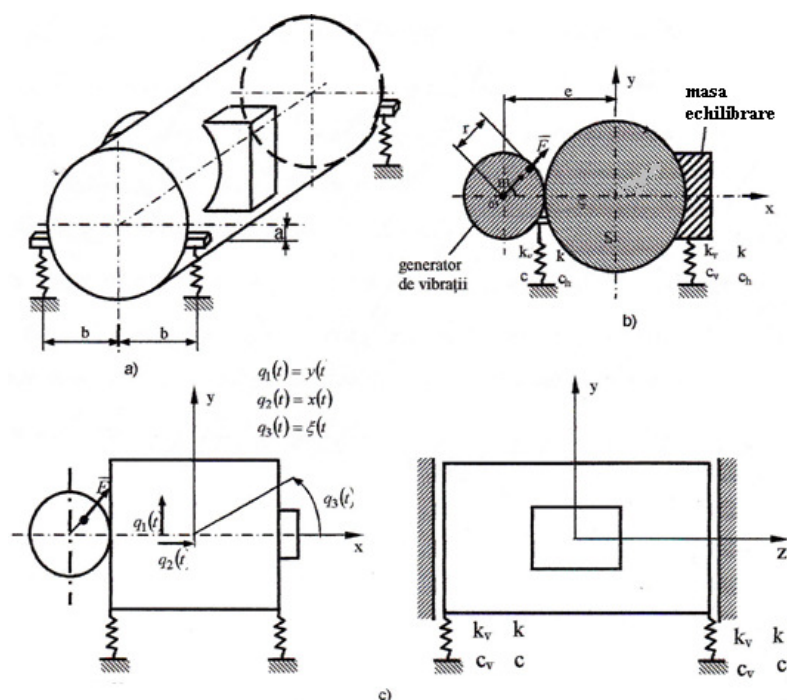


Fig. 4. Modelul dinamic propus pentru o moară vibratoare
 m - masa aflată în proces vibratoriu; **c_v** , **c_h** – coeficientul de amortizare al tampoanelor de cauciuc pe direcție verticală, respectiv, pe orizontală; **k_v** , **k_h** – coeficientul de elasticitate al tampoanelor de cauciuc, pe direcție verticală, respectiv, pe orizontală; **m_e** – masa excentricului; **ω** -pulsatia forței perturbatoare; **r** – distanța de dezechilibru

7. CONCLUZII

După ce în urmă cu câțiva ani exista pe plan intrnațional o tendință de înlocuire a morilor vibratoare convenționale cu cele vibratoare cu excentric, iată că, în prezent, specialiștii din domeniu caută să identifice noi domenii de utilizare pentru acestea din urmă.

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. Cristian PAVEL Impacts' Influence on Vibrating Mills' Operation Used in Granular Materials' Processing. Articol și comunicare. Proceedings of the VIII-th Symposium "Acustica și vibrațiile structurilor mecanice" Timișoara, 26-27 mai 2005, ISBN 973-625-288-8, Editura POLITEHNICA
4. KURRER, K-E Analyse von Rohrschwig mühlen, VDI, Verlag, Düsseldorf, 1992
5. * * * http://www.siebtechnik-gmbh.de/fileadmin/user_upload/PDF/en/Abt2/wb238e.pdf
6. * * * <https://www.generalkinematics.com/mining-equipment/grinding-mill/>