

ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА УСЪВЪРШЕНСТВАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНИТЕ ПОКАЗАТЕЛИ НА ЦЕНТРОБЕЖНО-РОЛКОВИТЕ МЕЛНИЦИ

С. Сезонов¹, Д. Мочев²

¹ Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, E-mail: sezonov@abv.bg

² Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, E-mail: dmochev@start.bg

РЕЗЮМЕ. Анализирани са параметрите на работа на центробежно-ролковите мелници и постигнатите технологични показатели –зърнометрия, производителност, консумация на мощност. Направен е преглед на съществуващите конструктивни варианти и отражението на конструктивните решения върху технологичните показатели. Представена е съвременна класификация на центробежно-ролковите мелници и са описани конструктивните решения, които осигуряват най-добри технологични резултати. Анализирани са нововъведените в конструкциите и са анализирани възможностите за оптимизиране на технологичните показатели.

POSSIBILITIES FOR THE IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF CENTRIFUGAL-ROLL MILLS

S. Sezonov¹, D. Mochev²

¹ University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, E-mail: sezonov@abv.bg

² University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, E-mail: dmochev@start.bg

ABSTRACT. A principle of the intensification of the technical processes consists of the enlargement of the motive force of the process. In the case of the ball mills it means an increase of the striking force, i.e. for one and the same striking body - an enlargement of the falling height and approximately an increase of tumbling velocity and/or the size of the drum. And because there exists a very important limitation of this algorithm, involving of another force field should solve the problem as for example the centrifugal-roll mill and the *reduction ratio* and the *size of the final product* by a lower *energy requirement* are its best features. An analysis of the work parameters and the advance of the technological conditions of the centrifugal-roll mills has been realized and a survey in the field of the design variances, as well as its influence on design solutions has been made. The most disseminated constructive performances of the best application possibilities as also a now-a-days classification have been created. An extensive review of the directions for the optimal elaboration of this kind of mills, considering different constructions has been developed.

Увод

Прилагането на принципа на интензификацията на движещата сила на процеса при въртящите се /барабани/ мелници води до увеличаване на височината на падане на мелещите тела с цел произвеждане на по-голяма сила на удара. По този начин използването единствено на силата на земното гравитационно поле води до прекомерно увеличение на размерите на апарата, в който се осъществява операцията и евентуално на скоростта на въртене, която от своя страна също е лимитирана от стойността на „критичната скорост“. И тъй като такава инвестиция, при ограничена наличност от работни пространства за мелницата, е икономически неизгодна, за увеличение на производствения интензитет при една и съща производителност на апарата е естествено разрешаването на задачата чрез въвеждането на друго силово поле. Едно от възможните решения е подлагането на мелещите тела на действието на центробежно силово поле при *избягване* на ограничението на критичната скорост на въртене на мелницата. Центробежно-ролковата мелница е едно такова решение на задачата за интензифициране на процеса смилане по отношение на

показателите *степен на смилане* и *финоста на крайния продукт* при висока енергийна ефективност.

Работа на центробежно-ролковите мелници

Смиланият материал се смачква между вътрешната цилиндрична повърхнина на барабана на мелницата и бързо въртящите се ролки. Притискането на ролките към барабана на мелницата се реализира от силите на центробежното силово поле.

В центробежно-ролковите мелници геометричните размери на ролките се избират по следния начин:

– диаметъра се определя така, че да се осигури достатъчен ъгъл на захващане, т. е при отчитане на едрината на хранящия продукт;

– Ширината се избира да е равна на половината от диаметъра.

Ъгловата скорост на ротора се избира с оглед да се гарантира необходимата за процеса смилане сила на натиск.

Специфичната натискава сила между ролките и кожата за единица дължина от обиколката на ролката се избира най-често в интервала $1,0 \leq P \leq 2,5 \text{ kN/cm}$ [3].

Смилането в центробежно-ролковите мелници става на два етапа. Първият етап е предварителното донатрошаване на материала. Това се осъществява чрез въртящата се перка, която се намира непосредствено под бункера. Тя изстрелва частиците под действието на центробежната сила към стените на барабана. Там те се удрят в подходящо изработена облицовка и намаляват габаритите си, като се разтрошават.

Вторият етап е същинското им смилане. То се реализира чрез въртящите се ролки. Под действието на центробежната сила ролките прилепват към стените на кожата. Освен около оста на вала на мелницата, ролките се въртят и около собствената си ос. Също под действието на центробежната сила, смиланият материал полепва по стените на барабана. Така той попада под ударите на въртящите се ролки. Силата, с която се притискат ролките, е достатъчна да разрушава частиците. Габаритите на смлените частици зависят от броя на взаимодействията с ролките, така че колкото повече са взаимодействията, толкова по-фин ще бъде готовият продукт [2].

Посредством увеличаването броя на етажите, на които са разположени ролките, се осигурява по-голям брой взаимодействия на материала с ролките. Броят на взаимодействията се увеличава и чрез въртящия се кожух, което осигурява по-бавно придвижване на материала във вертикална посока.

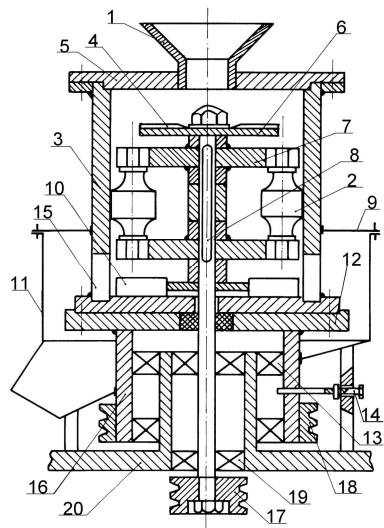
В дъното на барабана се намира въртяща се перка, която изхвърля под налягане смления материал в улея.

Основни типове конструкции на центробежно-ролковите мелници

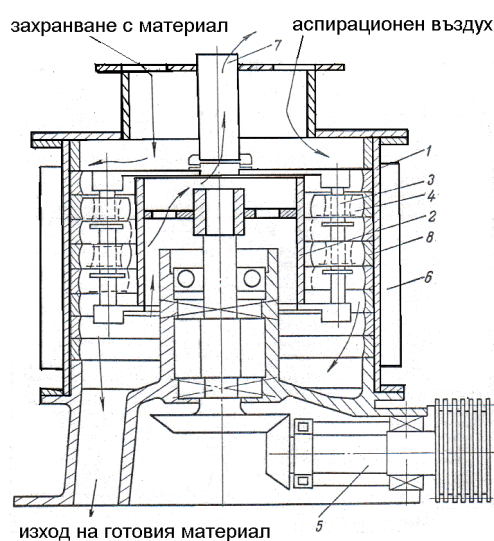
На фиг. 1 е показана едноетажна центробежно-ролкова мелница. Изходният материал постъпва в мелницата през отвора 1, където ролките 2 го смилат. Сепараторът отделя готовия продукт и недосмлените частички, които се връщат обратно в мелницата за досмилане.

Едноетажните центробежно-ролковите мелници се използват в практиката за смилане на различни минерални суровини по сух способ [2].

Многоетажната мелница на фиг. 2 е центробежна за сухо и мокро смилане на циментов клинкер, както в открит така и в затворен цикъл със сепаратор [4].



Фиг. 1. Едноетажна центробежно-ролкова мелница

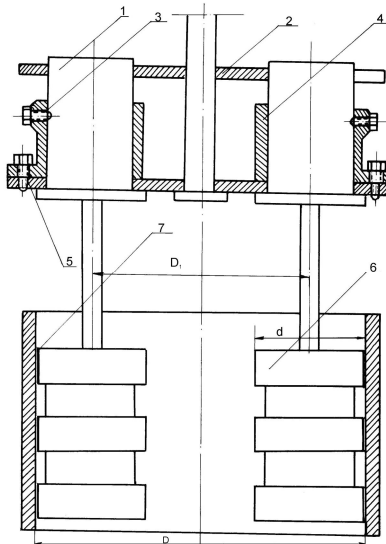


Фиг. 2. Многоетажна центробежна ролкова мелница [4]

Едно направление за усъвършенстване на центробежно-ролкова мелница е вграждането на устройство, което да компенсира хлабините, получавани в следствие на износване на мелещите тела. Конструкция на такава мелница е представена на фиг. 3. При нея лагеруването е изнесено извън ролките посредством кухи валове.

Мелницата е снабдена с устройство за обирание на хлабината, получена вследствие износване на работната повърхност на ролката и смилачната камера, без да се намалява получената инерционна сила от необходимата деформация на вала, за да се компенсира хлабината.

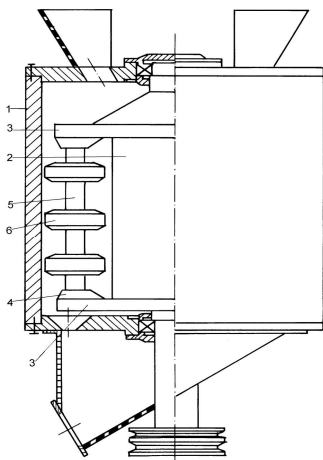
Тези конструкции се отнасят за ротори на мелници, при които лагеруването е осъществено в самите ролки [1].



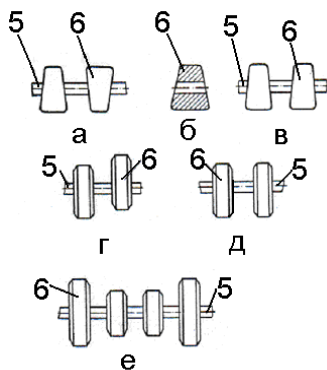
Фиг.3. Центробежно–ролкова мелница с лагеруване извън ролките [1]

На фиг 4 е представена конструкцията на центробежно–ролкова мелница позволяваща свръх точно смилане и механична активация на различни материали. Използва се главно в технологии, изискващи механично активиране на материалите. Осигурява подобрена ефективност на последната.

На фиг. 5 са представени различните варианти на изпълнение на лагеруването на мелещите тела [5].



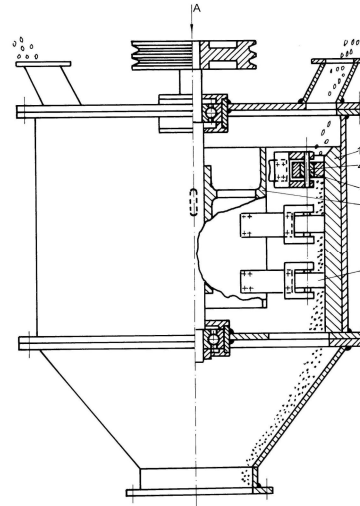
Фиг. 4. Центробежно–ролкова мелница за свръхточно смилане



Фиг. 5. Монтажни схеми на смилещите ролки

Представената мелница на фиг. 6 е с повишена надеждност и дълготрайност на мелещите ролки.

Мелницата, се отнася към машините за сухото и мокро смилане на различни материали и може да се прилага в строителството, миннодобивната, химическата и др. промишлености.



Фиг. 6. Центробежно–ролкова мелница с повишена дълготрайност на ролките [6]

Предлаганата конструкция разширява сферата на приложение на мелниците и може да се използва за смилане на материали с едновременното им сушене чрез пропускане на горещи газове през барабана [6].

Производителност на центробежно–ролкова мелница по работни параметри [2]

Производителността на центробежно–ролковите мелници зависи от редица параметри между които: размерите на мелницата, безразмерните геометрични величини – диаметър на кожуха, диаметър на ротора

$$d_r = \frac{d}{D} = k \text{ и диаметър на смилания материал}$$

$$d_{I_r} = \frac{d_1}{D}, \text{ ъглова скорост на ротора } \omega, \text{ работна}$$

$$\text{височина } \psi = \frac{H}{D}, \text{ вида на смилания материал, желаната}$$

финност, напора, подържан от двете страни на работната камера и др. Съобразно тези фактори производителността на мелницата се изчислява по следните уравнения:

$$Q = 3600V_{cp} \cdot F_{cv} \cdot k_s \quad \text{kg/h} \quad (1)$$

V_{cp} – средна скорост на движение на смилания материал;

$$V_{cp.} = \frac{1}{\omega} \cdot 9 \left(\Pi + \frac{\gamma}{4\Pi} - 4\gamma \right) \quad (2)$$

$$F_{св.} = (D^2 - d_{зax.}^2 - a_p \cdot k \cdot d_p^2)$$

α – ъгъл на задържане на материала;
 $d_{зax.}$ – диаметър на захранващия диск;

a_p – брой на ролките в етаж;

d_p – диаметър на ролката (фиг. 7);

k_s – коефициент на запълване на мелницата с ролки;

γ – ъгъл на естествения откос на материала;

k – коефициент на припокриването на ролките на диска.

Понеже липсва аналитичен израз за k_s – уравнение 1 е трудно приложимо на практика. Уравнението става точно ако $V_{cp.}$ се замени със скоростта, с която смлените частици напускат мелницата.

С помощта на теория на подобие е изведен функционал, благодарение на който производителността на центробежната-ролкова мелница се изчислява по следното уравнение:

$$\Pi_Q = C_1 \left(1 + \frac{d_1}{h_p} \right)^{\alpha_1} \left(1 + \frac{d_p}{h_p} \right)^{\alpha_2} \left(1 + \frac{Q}{\frac{\pi d^2}{4} \cdot h_p \cdot \rho \cdot \omega} \right)^{\alpha_3}$$

$$\left(1 + \frac{h_p \cdot a_p^2 \cdot \omega^4}{4g^2 \pi} \cdot D_k \cdot d_p \right)^{\alpha_4} \left(1 + \sqrt{\frac{D_k - d_p - d_1}{D_k \cdot d_p}} \right)^{\alpha_5}$$

$$\cdot (1+k)^{\alpha_6} \cdot \left(1 + \frac{\sigma_k \cdot h_p^2}{m_p} \right)^{\alpha_7} \quad (3)$$

където

d_1 – среден диаметър на изходния материал m;

Π_Q – коефициент, определящ производителността;

h_p – височина на ролката m (фиг 7);

ρ – плътност на смилания материал kg/m^3 ;

D_k – диаметър на кожуха на мелницата m (фиг. 7);

m_p – маса на ролката kg;

σ_k – контактни напрежения, N/m^2 .

При празен ход

$$N_{n.x.} = C_3 \cdot m_p \cdot d_p^2 \cdot \omega^3 \cdot \left(\frac{h_p}{d_p} \right)^{\gamma_1} \cdot \left(\frac{H_k}{D_k} \right)^{\gamma_2}$$

$$\cdot (F_r)^{\gamma_3} \cdot (\omega \cdot t)^{\gamma_4} \cdot (a_p)^{\gamma_5} \cdot \left(\frac{\sigma_k}{d_p \cdot m_p \cdot \omega^2} \right)^{\gamma_6} \quad (4)$$

където

$N_{n.x.}$ – изразходвана мощност на празен ход;

H_k – височина на кожуха на мелницата (фиг. 7);

F_r – критерий на Фруд;

Като се приравнят десните страни на равенствата (3) и (4) за коефициентите на триене се получава:

$$\delta_p = \frac{C_2 \cdot d_p^2 \cdot \omega^3}{0,001359 \pi k} \cdot \left(\frac{Q}{d_p \cdot m_p \cdot \omega^3} \right)^{\beta_1} \cdot (i)^{\beta_2} \cdot \left(\frac{h_p}{d_p} \right)^{\beta_3}$$

$$\cdot \left(\frac{H_k}{D_k} \right)^{\beta_4} \cdot (\Pi_M)^{\beta_5} \cdot (F_r)^{\beta_6} \cdot (f \tau_u)^{\beta_7} \cdot (a_p)^{\beta_8} \cdot (\omega t)^{\beta_9}$$

$$\cdot (\beta 74\%)^{\beta_{10}},$$

където

Π_M – коефициент, определящ физико-механичните свойства на смилания материал;

i – степен на смилане;

f – коефициент на триене на материала по диска;

τ_u – брой на взаимодействията върху частичка от материала.

За производителността Q , която има дименсия, $[kg/s]$, степенните показатели са съответно: $\alpha = 0, \beta = 1, \gamma = 1$.

За мощността с дименсия $[N] = J \cdot s$ степенните показатели са: $\alpha = 1, \beta = 1, \gamma = 1$;

$$K_H = \frac{N_H}{N_M} = K_1^{3,5}$$

Мащабният коефициент на относителния разход на енергия е: $E = \frac{N}{Q} [kWh/t]$.

За броя на взаимодействията, които изпитва [2] частичка от смилания материал, са изведени уравненията:

1) при сухо смилане

$$\tau_u = \frac{h_p \cdot a_p^2 \cdot \omega \cdot k}{k_1 (4\pi^2 + \alpha^2 \cdot a_p^2 - 4\alpha) g}$$

където

k_1 – коефициент, отчитащ отклонението на траекторията на падащото тяло от вертикалата.

2) за мокро смилане

$$\tau_{\text{ц}} = \frac{h_p \cdot a_p^2 \cdot k_{em} \cdot \omega^2}{k_g \cdot 2700g},$$

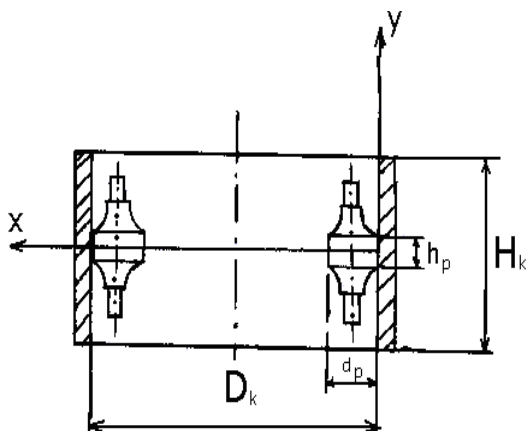
където

k_g е коригиращ коефициент, зависещ от тегловната част на течността в пулпа;

k_{em} – брой на етажите на мелницата.

Смилащата сила на ролката се определя по формулата:

$$F_{\text{ц}} = \frac{G_p \cdot (D_k - d_p) \omega^2}{2g}, \quad N$$



Фиг. 7. Геометрични характеристики на центробежно-ролкова мелница

4.1. Определяне на зърнометричния състав:

При един внимателен анализ на практиката за зърнометричните разпределения, функцията на разпределение показва среден наклон ($tg\alpha$) много близък до $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0,7071$ за натрошени и смялни продукти. За

степенна функция на разпределението от вида: $y = ax^b$,

при $tg\alpha = (\sqrt{2})^{-1}$ и $x = \frac{d}{d_{80}}$, се получава $a = 80$ и

за едрината и сумарния добив по минус в линейния мащаб зависимостта придобива вида:

$$D = 80 \left(\frac{d}{d_{80}} \right)^{\frac{1}{\sqrt{2}}},$$

където D е процентната част, преминаваща на сито d , d_{80} е диаметърът на отвора пропускащ 80% от сумарното количество. Следователно, сумарният добив по минус класа е пропорционален на размера на частиците на степен $-\sqrt{2}$.

Доказва се, че за сферични частици [7] [8] относителната повърхност за единица обем е обратно пропорционална на размера - S_{sp} и е линейна функция на

$\frac{1}{d}$. При нормалните материали процентното тегло на всяка размерна класа в скалата на ситата с модул $\sqrt{2}$ е пропорционално на $\frac{1}{\sqrt{2}}$. Следователно общата повърхност на всяка класа варира, както:

$$\frac{X^{\frac{1}{\sqrt{2}}}}{x}, \quad \text{или като } \frac{1}{X^{0,2929}}.$$

Ако наклонът на функцията на разпределението е единица, площта на повърхността на всяка размерна класа или ще бъде еднаква, т.е. ще се изменя както $\frac{1}{(x)^0}$, а ако

наклонът е $\frac{1}{2}$, площта на повърхността ще се изменя

както $\frac{1}{(x)^{\frac{1}{2}}}$.

4.2. За произволни стойности на F и P – за раздробяване от размер $F[\mu m]$ до размер $P[\mu m]$ общата работа W_t е пропорционална на $\frac{1}{\sqrt{P}}$, а W е

пропорционална на $\frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{F}}$ и следователно е в сила отношението:

$$\frac{W_t}{\frac{1}{\sqrt{P}}} = \frac{W}{\frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{F}}} = \frac{W}{\frac{\sqrt{F} - \sqrt{P}}{\sqrt{F} \cdot \sqrt{P}}}$$

Тогава:

$$W_t = W \frac{\sqrt{F}}{\sqrt{F} - \sqrt{P}}, \quad \text{и } W = W_t \frac{\sqrt{F} - \sqrt{P}}{\sqrt{F}}.$$

Като се раздели $\frac{\sqrt{F}}{\sqrt{F} - \frac{\sqrt{F}}{\sqrt{F} - \sqrt{P}}}$ на \sqrt{P} се получава

$$\frac{\sqrt{i}}{(\sqrt{i} - 1)}$$
 за степента на раздробяване $i = \frac{F}{P}$.

4.3. Ако с W_i се означи относителната работа

$$\left[\frac{kWh}{t} \right], \text{ необходима за раздробяване от безкраен}$$

размер до размера $P = 100 \mu m$, то

$$W_i = W \frac{\sqrt{F}}{\sqrt{F} - \sqrt{P}} \cdot \sqrt{\frac{P}{100}}$$

W_i е индексът на работата на Бонд.

Ако е известен индексът на работата на Bond, енергийният разход, необходим за разрушаването, при една и съща ефективност, на материал с начална едрина $F[\mu m]$ до продукт с размер $P[\mu m]$, то вложената работа се определя като:

$$W = W_i \frac{\sqrt{F} - \sqrt{P}}{\sqrt{F}} \cdot \sqrt{\frac{100}{P}}$$

По дефиниция индексът на работата изразява съпротивлението на материала при раздробяването и е специфичен за всеки материал. Различните стойности на индекса са отражение на различните характеристики на раздробяване при различни размери и на различия в ефективността на разнообразните машини и операции. При един и същ материал и при еднаква ефективност на използваното оборудване за всички размерни обхвати индексът на работата трябва да бъде постоянен. [7] [8] За отношението на работата, извършена за два различни процеса на раздробяване, се получава:

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{\sqrt{F_1} - \sqrt{P_1}}{\sqrt{F_1 \cdot P_1}} \cdot \frac{\sqrt{F_2} - \sqrt{P_2}}{\sqrt{F_2 \cdot P_2}}$$

Препоръчана за публикуване от катедра
„Обогатяване и рециклиране на суровини“, МТФ

Изводи

1. Центробежно ролковите мелници са перспективен тип обогатителни машини и тяхното усъвършенстване е актуална задача;

2. В разработката въз основа на теорията на подобие са предложени зависимостите за определяне на производителността, необходимата мощност и силащата сила на ролката;

3. Детайлното проучване на механиката на разглеждания тип мелници дава възможност за формулиране на обосновани конструктивни предложения с цел усъвършенстване на технологичните им показатели;

Конструктивните решения в тази насока ще са обект на бъдещи изследвания и лабораторни експерименти.

Литература

- Обрешков Д., Т. Койчев „устройство за периодична центровка на силащите групи в центробежно–ролковите мелници“, авторско свид. НРБ от 20.09.1976г., № 21679
- Чалашканов М. „Изследване на функционалната връзка между основните конструктивно–технологични параметри на центробежна ролкова мелница при смилане на полезни изкопаеми“, София 1978год.– Дисертация
- Цветков Х.: Обогатителни машини. София, 1988 год.
- Миронов П. И., А. С. Князев, А. Л. Панин, Ф. Н. Андреев и В. И. Силкина „центробежная мельница“, авторское свид. СССР, 7.03.92г. № 225676 А1
- Козлов В. И., Ф. Р. Кребель, А. В. Попов и Н. М. Рубцов „Центробежная мельница“, авторское свид. СССР, 30.08.87г. № 1333407 А1
- Иванчев Л. М., А. Л. Панин, Н. Г. Виткалов и В. П. Пряничников „Центробежная мельница“, авторское свид. СССР, 10.02.78г. № 590010
- Bond, Fred C.: The Third Theory of Comminution. Transactions of AIME, Mining Engineering, May 1952, p.484-494.
- Bond, Fred C, Wang Jen-Tang : A new theory of comminution. Transactions AIME 1950 187 p. 871, Mining engineering (August 1951) TP 29 02 B.