

STABILIREA UNOR RELAȚII ÎNTRE PARAMETRII MAȘINILOR DE CONCASAT ȘI CARACTERISTICILE PRODUSULUI CONCASĂRII

Autori: Dr. Ing. Marian BADIU –ICECON SA - Brăila;
Conf. Dr. Ing. Doina IOFCEA- Fac. Utilaj Tehnologic pentru Construcții.

Abstract

Theory and practice show that for the crushing processing imp un Case in processing characterized by UN set of conditions and characteristics of constructive functional machine broken, on the advice of a certain material processing is very difficult to stabilize, energy necessary for crushing.

Teoria și practica prelucrării prin concasare arată că pentru un caz concret de prelucrare caracterizat de un set de condiții funcționale și caracteristici constructive ale mașinii de sfărîmat, în condițiile prelucrării unui anumit tip de material, este foarte dificil a se stabili, energia necesară pentru sfărîmare. Volumul mare de experimente efectuate de anumite firme producătoare confirmă posibilitatea stabilirii unor corelații pentru:

- caracteristicile fizico-mecanice ale materialului;
- gradul de mărunțire “i”;
- parametrii dimensionali ai granulei;
- energia specifică consumată la sfărîmare.

Teoria (ipotezele) concasării, descriu legăturile între energia totală pentru efectuarea procesului și efectul acestui proces sub forma micșorării dimensiunilor particulelor.

Totodată procesul de concasare sub aspect microscopic, ținînd seama de energia la sfărîmare, se poate caracteriza prin:

- a) descrierea procesului de sfărîmare a corpului dur privind aspectul fizic al corpului dur și căutînd cauzele sfărîmării forțate (ruperea legăturilor atomice și a celor dintre particule) luînd în considerație golurile și microfisurile structurii lui;
- b) datele obținute în condiții de teren și laboratoare, încercînd să se stabilească pe această bază interdependența între energia de sfărîmare, specificul materialului și efectul sfărîmării măsurînd dimensiunile corpului înainte și după sfărîmare.

Desfășurarea sfărîmării este reprezentată în fig. 1 desenul arătînd schema procesului de concasare microscopic.

Energia de sfărîmare trebuie să producă slăbirea structurii corpului și divizarea lui. Această energie în procesul de concasare este suma energiei finale pentru distrugerea structurii granulelor (propagarea fisurilor, formarea de suprafețe noi) precum și energii de deformări elastice, formarea de concentrator de noi fisuri, consumuri legate de frecări exterioare și alte pierderi, particule care participă la zdrobire și nu se zdrobesc și care sunt în general generatoare de energie calorică care ridică temperatura corpului și o disipează în spațiu.

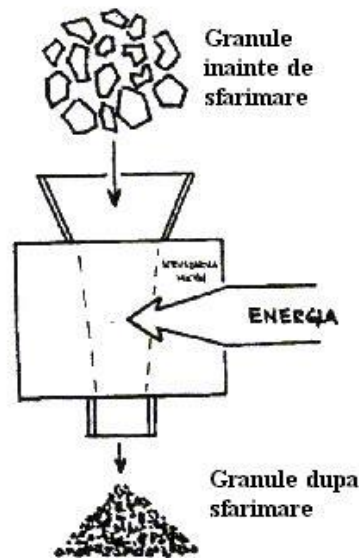


Fig. 1 Schema procedului de concasare privindul macroscopic

Componentele enumerate mai sus în totalitatea lor, necesită o anumită energie de sfărîmare din punctul de vedere macroscopic.

Problema separată este starea tehnică a utilajului de concasat care introduce componente energetice suplimentare, ca mișcarea granulelor în interiorul elementelor de lucru (destul de mari de exemplu în cazul bilelor la mori) și nu în cele din urmă rezistența la mișcare (frecarea) mașinii (mecanismelor acesteia).

Energia pe care trebuie să o asigurăm mașinii de concasat este suma energiilor de concasare atât pentru procesul fragmentării corpurilor de către elementele de concasare cât și a funcționării mașinii în ansamblul său.

Teoriile de concasare se ocupă de energia netă și nu de problema stării tehnice a concasoarelor și morilor.

O altă componentă importantă o constituie dimensiunea corpurilor cu care se alimentează și rezultatul concasării. Astfel, este analizat diferit prin teoria concasării după cum urmează:

- analiza lui Kick;
- teoria lui Rittinger unde ca dimensiune a corpului se folosește evaluarea corpului cu relația:

$$d_{R_i} = \frac{1}{\sum_i \frac{g_i}{d_i}} \quad (1)$$

în care g_i este masa de corpuri care participă la dimensiunea d_i și care se stabilește cu ajutorul măsurării liniare a suprafeței corpului, invers proporțională la această dimensiune. În mod convențional se introduce (consideră) mărimea corpului egal cu dimensiunea sitei prin care trece 80% materialul de concasat sau a produsului (D_{80} și d_{80}).

Brach indică alte posibilități de măsurare a corpului tendința fiind spre formula (1) adică pentru stabilirea mărimii corpului după metoda Rittinger.

În ipoteza concasării sunt indicatori constanți care caracterizează materialul care se sfărîmă și care nu se modifică în procesul de mărunțire. Putem să exemplificăm constanta k care reprezintă mărimea rezistenței materialului de concasat, precum și constanta m situându-se în rîndul componentelor potențiale, care sunt mărimea creșterii rezistenței odată cu micșorarea dimensiunilor particulelor.

Bond definește constanta k prin coeficientul “work index” w_i considerînd $k_{Bo} = 10w_i$, Brach concluzionînd ajunge la formula:

$$k_{Br} = \frac{C_0 D_0^m}{a^{m-1}} \quad (2)$$

stabilind în acest fel că la valoarea constantei k se unesc și alte constante precum m -masa, a-care caracterizează gradul de sfărîmare a grăuntelui dintr-o singură dată.

Cercetările și analizele conduc la concluzia că valorile exponentului w sunt în limitele de la 0 la 1 practic de la 0,2 la 0,85.

Toate teoriile de concasare analizate cel mai des încep de la ecuația diferențială a lui Walker de forma

$$dE' = -C \frac{(d'x)}{X^n} \text{ sau } \frac{d'E}{d'X} = -\frac{C}{X^n} \quad (3)$$

în care E este energia (lucru) de sfărîmare a unității de masă a corpului;

X este dimensiunea particulei;

C este constantă dependentă de caracteristicile materialului;

n este exponentul de putere, deasemeni dependent de material, $n > 1$;

d' este simbolul de distrugere (dimensiunea particulelor însemnate prin x).

Din ecuația diferențială a lui Walker, avem

$$E = k \left(\frac{1}{d^w} - \frac{1}{D^w} \right) \quad (4)$$

în care E este energia (lucrul) sfărîmării unității de masă a materialului;

k este coeficientul corespunzător rezistenței materialului;

D, d este dimensiunea materialului de alimentare și produs (dimensiunile particulelor înainte și după sfărîmare);

w este coeficient exponențial care definește creșterea rezistenței materialului odată cu micșorarea particulelor.

Aceasta conduce la determinarea unor asemenea dimensiuni D și d care introduse în formula (4) să dea același rezultat (același efort de concasare) ca suma forțelor calculate pentru fiecare particulă în parte. Presupunem că la început începem concasarea cu un grăunte de dimensiunea D și o masă M . Deoarece materia primă este din granule de diferite mărimi efortul de concasare îl putem calcula ca sumă a eforturilor necesare pentru obținerea de granule produs d_i și cu masa m_i ($i=1, 2, 3, \dots, k$), unde k -numărul granulelor produsului. Astfel, putem scrie că energia totală E_M necesară pentru concasare este:

$$E_M = \sum_i m_i \cdot k \cdot \left(\frac{1}{d_i^w} - \frac{1}{D_i^w} \right) \quad (5)$$

Dacă cu d_γ notăm dimensiunea granulelor de aceeași dimensiune dintr-o grupă de granule a produsului, așa numitelor particule pe care le-am obținut prin același efort de sfărîmare, dacă toate grăunțele (particulele) produsului ar fi fost identice, atunci putem scrie că:

$$E_M = M \cdot k \cdot \left(\frac{1}{d_\gamma^w} - \frac{1}{D^w} \right) \quad (6)$$

Prin compararea părților din dreapta a egalității (5) și (6) notarea cu g_i cantitatea masei particulelor cu dimensiunea d_i ($g_i = m_i : M$) și avînd în vedere că $\sum m_i = M$ sau altfel $\sum g_i = 1$ ajungem la formula

$$d_\gamma = \left(\frac{1}{\sum_i \frac{g_i}{d_i^w}} \right)^{\frac{1}{w}} \quad (7)$$

Deci dimensiunea grăuntelui echilibrat energetic a produsului depinde numai de compoziția grăuntelui și exponentului w . Se poate pune și altfel problema și știind dimensiunea d_γ să calculăm în același mod dimensiunea grăuntelui energetic echilibrat pentru materia primă G_j ($G_j = M_j : M$) scriind analog egalitatea ca la (5) și (6) se ajunge la formula:

$$D_{\gamma} = \left(\frac{1}{\sum_i \frac{G_i}{D_i^w}} \right)^{\frac{1}{w}} \quad (8)$$

Aceasta e identică cu (7). Egalitățile (7) și (8) sunt totodată răspuns la întrebarea dacă se poate în mod arbitrar, așa ca teoria lui Bond, să accepte dimensiunea grăuntelui ca reprezentant al grupei de granule de diferite mărimi.

Dacă $w=1$ pentru teoria lui Rittinger obținem:

$$\text{a) } D_{\gamma} = \left(\frac{1}{\sum_i \frac{G_i}{D_i^w}} \right)^{\frac{1}{w}} \quad \text{b) } d_{\gamma} = \left(\frac{1}{\sum_i \frac{g_i}{d_i^w}} \right)^{\frac{1}{w}} \quad (9)$$

Aceste egalități sunt de mult recunoscute și folosite, rezultă de aici că teoria lui Rittinger are esență, celelalte ori nu au legătură, de exemplu teoria lui Bond sau ocolesc această problemă.

Baza ecuației, folosită de ipoteza generalizată de sfărîmare, care descrie macroscopic desfășurarea procesului este ecuația lui Walker

$$d'E = -C \frac{d'X}{X^n} \quad (10)$$

Deoarece se consideră că valorile C și n nu depind de mărimea granulei X , dar sunt constante caracteristice sfărîmării materialului, rezolvarea acestei ecuații în limitele mărunțirii de la D la d și prin convenirea că $n>1$ rezultă:

$$E = k \left(\frac{1}{d_{\gamma}^w} - \frac{1}{D_{\gamma}^w} \right) \quad (11)$$

unde:

$$w=n-1.$$

Acesta este aspectul general al formulei de interdependența energiei de sfărîmare a granulelor, de la dimensiunile de înainte și după sfărîmare cuprinse în constantele k și w .

Constanta k pe care o vom numi indicele energiei de concasare este valoarea rezistenței materialului. La valoarea acestui indice se adună mulți factori legați de materialul corpului, structura lui cristalină, numărul și caracterul defectelor rețelei, precum și toate fisurile și părțile slabe.

În teoria lui Bond să presupunem că dimensiunea granulei la început este infinit mare. În acest caz unitatea de energie a concasării în particule pînă la dimensiunea d_{γ} este:

$$E(\infty + d_{\gamma}) = k \left(\frac{1}{d_{\gamma}^w} - 0 \right) = \frac{k}{d_{\gamma}^w} \quad \text{și dacă } d_{\gamma}=1 \text{ mm obținem: } E(\infty - 1 \text{ mm}) = k$$

Asta înseamnă că mai concludent $k : d_{\gamma}^w$ poate fi tratat ca măsura “nivelului de energie a granulelor de o anumită dimensiune dată, iar energia de sfărîmare de la dimensiunea D_{γ} la dimensiunea d_{γ} , ca diferență de “nivele energetice” corespunzătoare acelor dimensiuni. Putem spune de asemeni că valoarea numerică a constantei k este egală cu energia unitară de 1 mm. În cazul teoriei generalizate de concasare, energia se măsoară în [J/kg], dimensiunea granulelor în (mm), iar indicele energiei de sfărîmare k în [Jmm^w/kg].

Atenție mare trebuie acordată exponentului de putere “w” .

Din figura 2 în care este reprezentată curba compusă, se vede bine că valorile mai mici ale lui w corespund unei creșteri mai mici de reacțiune (opunere) la concasare și cu micșorarea dimensiunilor din mare în mai mare.

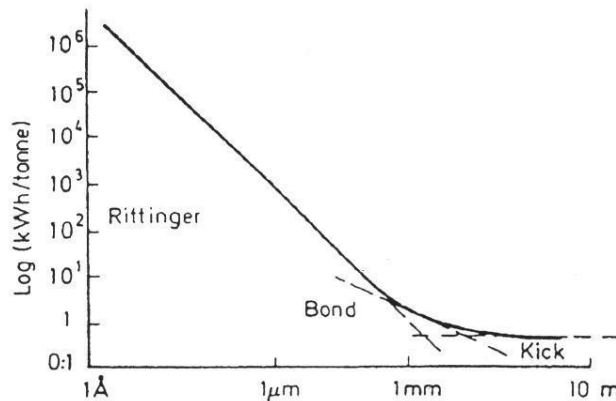


Fig. 2 Curba compusă a sfărâmării după Huk

Pe baza rezultatelor multor probe și de acord cu dependența de bază rezultate din ecuațiile lui Walker rezultă că sfărâmarea în aceeași măsură a granulelor de dimensiunea D_1 și granulelor de dimensiunea D_2 necesită cheltuială de energie pentru concasare a căror egalitate este:

$$\frac{E_1}{E_2} = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^w \quad (12)$$

Acesta este așa numitul efort de scală. Formula 12 determină dependența de bază cu care se poate calcula valoarea exponentului w pentru diferite materiale.

Așa cum în cazul constantei k se consideră că valoarea exponentului nu depinde de dimensiunea particulelor, $w \neq f(D, d)$ și pentru un anumit material are valoare constantă. Valoarea lui w influențează direct calitatea măsurătorii particulelor energetice echivalente D_γ pentru materia primă și d_γ pentru produs conform formulelor (7) și (8).

Se poate da la întâmplare ca exemplu:

dimensiunile particulelor energetice echivalente d_γ pentru exponentul

$w=0,25$; $d_{0,25}=2,70$ mm;

$w=0,50$; $d_{0,5}=2,33$ mm;

$w=0,75$; $d_{0,75}=2,00$ mm;

$w=1,00$; $d_{1,00}=1,74$ mm. (Rittinger)

Egalitatea (11) a ipotezei generalizate se poate modifica astfel încât poți afla gradul de sfărâmare, la un moment dat:

$$E = \frac{k}{D_\gamma^w} (i^w - 1) \quad (13)$$

Dacă admitem că sfărâmarea o începem de la o fracție strînsă îngustă de particule compusă din grăunți de același fel de dimensiunea de 20 mm, pentru un același tip de grăunți ca produs în funcție de valoarea numărului exponentului w , obținem următorul grad de sfărâmare (din punct de vedere energetic)

$i_{B_0} = 2,6$

$i_{0,25} = 7,4$

$i_{0,50} = 8,6$

$i_{0,75} = 10,0$

$i_{1,00} = 11,5$

Trebuie luat în considerație că în cazul diferiților exponenți w pierdem posibilitatea comparării numerice a indicatorilor k . Denumirea lor [Jmm^w/kg] la diferite valori w este diferită și

pierdem posibilitatea aprecierii care material este mai dur și care este mai puțin dur. Acest neajuns se poate elimina prin deformarea conștientă, deasemeni și prin simplificarea ipotezei generale de concasare.

Se convine să se ia (pentru scopuri practice) valoarea lui k aceeași pentru toate materialele indicatorul $w=0,5$. Folosind un singur indicator $w=0,5$ la care se adaugă valorile experimentale a indicelui $k_{0,5}$ conduce din punct de vedere al ipotezei generalizate de concasare convenite pentru folosirea în practică a următoarelor:

$$D_{0,5} = \left(\frac{1}{\sum_J \frac{G_J}{\sqrt{D_i}}} \right)^2 \quad (14)$$

$$d_{0,5} = \left(\frac{1}{\sum \frac{g_i}{\sqrt{d_i}}} \right)^2 \quad (15)$$

$$E = k_{0,5} \left(\frac{1}{\sqrt{d_{0,5}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{0,5}}} \right) \quad (16)$$

unde $D_{0,5}$ și $d_{0,5}$ (mm) sunt dimensiunile corespunzătoare materiei prime și a produsului finit;

- G_J și g_i sunt masele fracțiilor, particulelor de dimensiunile D_J și d_i pentru materia primă și produs și anume dimensiunea fracțiilor granulelor este media aritmetică a dimensiunilor ochiurilor sitei de reținere;
- $k_{0,5}$ [$\text{Jmm}^{0,5}/\text{kg}$] este indicatorul energiei de sfărîmare, echivalentul durtății materialului la concasare;
- E [J/kg] este energia concasării unui kg de materie primă. După multe studii practice pe probe a fost acceptată posibilitatea modificării formulelor, obținînd o formă simplă, practică de calcul prin folosirea constantei $k_{0,5}$ fără alte componente. ținînd seama de cele expuse mai sus se poate concluziona că:
- Rezultatul acestei analize arată încă o dată faptul că ipotezele sau teoriile mărunțirii nu reflectă cu exactitate rezultatele obținute în practica concasării, ci se apropie într-o măsură mai mare sau mai mică de acestea.
- Este pusă în evidență necesitatea stabilirii unor relații între parametrii mașinilor de sfărîmat și caracteristicile produsului sfărîmării, bazate pe rezultate experimentale, pentru fiecare mașină în parte și pentru fiecare categorie de material, astfel încît relațiile matematice deduse să reflecte cu exactitate realitatea pentru un anumit set de condiții în care decurge procesul sfărîmării.

BIBLIOGRAFIE:

- [1] M. Sokolovschi, "Energia de sfărîmare"; Institutul de utilaje pentru exploatarea și prelucrarea materialelor de carieră, Varșovia, 1995.
- [2] D. Stănescu, "Influența parametrilor constructivi și funcționali ai concasoarelor asupra caracteristicilor produsului obținut" - (teză de doctorat) ; București – 1998.
- [3] A. Silvan , "Mecanica rocilor" ; I.C.B., București-1983.