ANYAGTECHNOLÓGIA

Fő méret- és üzemjellemzők meghatározása az aprítóművek gépeinél

Csóke Barnabás

Miskolci Egyetem Eljárástechnikai Tanszék

ejtcsoba@gold.uni-miskolc.hu

Determination of principal dimensional and operational characteristics of comminution plant equipment

Technological design of the comminution process is a complex task. Namely, end products are manufactured through a series of crushing operations with intermediate classification. The individual steps of this process may differ by the nature of mechanical effects applied by the comminution machines like pressure, impact, shear or flexion. The task requires not only a proper selection of the equipment used

for the given crushing step but also the determination of the appropriate particle size distribution of the products using a suitable calculation method. Knowing these data the material balance of the technological process can be assessed and the dimensional and operational characteristics of the equipment established. This paper – to be published in three parts – describes dimensional characteristics of the equipment for coarse, medium and fine comminution as well as methods for the assessment of particle-size composition of their products.

1. Bevezetés

A technológiai folyamatban lévő aprító- és osztályozóberendezések termékei szemcseméret-eloszlásnak becslésére akkor van módunk, ha a gépi törés és az osztályozás leírására a megfelelő matematikai függvények, modellek ismeretese.

Nagy nehézségekkel jár azonban a modellek kialakításánál, hogy azok minden gépre, bármely anyag törésére alkalmas formában álljanak rendelkezésre (nyerjenek kidolgozást). Éppen ezért jár előnyökkel, különösen egy adott technológiai rendszer esetében olyan empirikus függvények alkalmazása, amelyek alakja az adott gépre jellemző. A paraméterek értékei az anyaggal kisebb-nagyobb mértékben ugyan változnak, de adott anyag esetén a paraméterek értéke is állandó. Egy adott üzemben tehát a feladat az empirikus törési függvény adott gépre vonatkozó

$$B(\zeta)$$

alakjának, valamint a függvény-paramétereknek a fő gépi fizikai jellemzőktől való függésének – $\zeta = f(\text{szemcseméret, fizikai paraméterek})$ függvénykapcsolat – a meghatározására korlátozódik, amely csekély számú üzemi mérést igényel.

E cél – a törési függvények felvétele – érdekében egyes gépeknek megfelelő kísérleti vizsgálati eljárásokat alakítottam ki, a törési technológia optimalására pedig módszert dolgoztam ki [3, 5]. Szisztematikus kutatások keretében számos durva- és középaprítás területén alkalmazott

törőberendezés – pofás törő, körtörő, kúpos törő, kalapácsos törő, röpitőtörő – empirikus törési függvényét határoztam meg munkatársaimmal üzemi vagy félüzemi méretű mérésekkel.

A gépek igényelt kapacitással összefüggő fő méret- és üzemjellemzői meghatározására a szakirodalomból tártam fel megfelelő összefüggéseket, amelyeket az üzemi tapasztalatokkal összevettem, a hiányzó területekre (pl. röpitőtörő) pedig szakirodalmi és katalógusadatok felhasználásával, korrelációs számításokkal jutottam elfogadható pontosságú empirikus képletekhez.

Korábbi munkámban a golyósmalmok méretezésének kérdésével foglalkoztam. Jelen cikksorozat a durva-, a közép- és finomaprítás berendezéseinek (aprítógépek) méretjellemzőit, valamint a termék szemcseméret-összetételének becslésére szolgáló módszereket ismerteti. A kérdéskört három részben tárgyalom: elsőként a réssel üzemelő durva- és középaprító gépekről (pofás, kúpos törőkről), azt követően a rotoros közép- és finomaprító gépekről (röpitőtörők, kalapácsos malmok, hengeres törők) és végzetül az osztályozóberendezésekről lesz szó.

2. Pofás és körtörők

A pofás törőket és körtörőket a kemény, koptató, rideg anyagok durvatörésére alkalmazzák, de középaprításra szerkesztett gépek is vannak.

2.1. Pofás törők

A pofás törőknek két meredek, alul hegyesszöget bezáró törőfelületük van; az egyik áll, a másik ehhez váltakozva közeledik-távolodik, miközben a közetdarabokat nyomással aprítja. Az egyingás típusú törőknél a mozgó törőlap felfüggesztése és hajtása egybeesik, a kétingás törőknél kettéosztott. (1. ábra.)

1. ábra. Egy- és kétingás pofás törő
Single and twin-jaw crusher

A pofás törőt az alábbi méretviszonyok jellemzik (Tarján G [1]):

- garatméret: $G = 1,2 X_{0,80}$, ahol $X_{0,80}$ a feladás 80%-os szemcsemérete
- garathossz: $L = 1,5 G$
- törőtér magassága: $H = 2 G$
- löket: $l = 0,06 G^{0,85}$
- gépi aprítási fok: $r_g = G/R = 6 \dots 8$

Pofás törők szemcseméret-eloszlása

A pofás törők töretének szemcseméret-eloszlását a résméretnél durvább feladásból a

$$B(\xi) = \left(\frac{\xi}{\xi_{\max}} \right)^n \quad (1)$$

empirikus Schuhmann–Gaudin (S–G) jellegű törési függvényrel [3, 5] becsülhetjük meg, az összefüggésben $\xi = x/R$, $\xi_{\max} = x_{\max}/R$, és x a szemcseméret, R a résméret. Ezen empirikus törési függvény a résméret és a töret szemcseméret-eloszlása közötti kapcsolatot tárja fel, azaz azt a törvényszerűségét fejezi ki, hogy a feladás $x > R$ darabjaiból, szemcséiből, az R résmérethez viszonyítva a ξ méretarányú szemcsék a töretben mindig ugyanazon $B(\xi)$ tömegarányban keletkeznek. Az üzemi mérés során tehát olyan közetdarabok aprításából határozhatjuk meg a függvényeket, amelyeknek mérete nagyobb a mindenkori karakterisztikus törőgép résméreténél (e résméretnél kisebb közetdarabok tovább nem aprózódnak a pofás és kúpos körtörőkben).

Katalógus és szakirodalmi (Mular–Bhappu [6]) adatokból elvégzett korrelációs számítások alapján a különböző gyártmányú kúpos körtörők törési függvényeinek paramétereit az 1. táblázatban foglaltuk össze (a számításokat Rácz József végezte el).

1. táblázat

Különböző körtörők törési függvényének paramétere
Fracture function parameters of various gyratory crushers

Körtörő gyártmánya (katalógus)	Függvényparaméterek	
	$\xi_{\max}$	n
TRAYLOR (kétingás)	1,204	0,876
MULAR (kétingás) adataiból	1,223	0,842
ROXON (egyingás)	1,542	0,806
STEDMAN (egyingás)	1,48	0,807

A pofás törők T [t/h] feldolgozóképesége

A réssel működő gépek kapacitása alapvetően két tényezőnek – a kiömlési keresztmetszetnek és a törőfelületek mozgási sebességének – a függvénye. Erre elméleti úton összefüggések is levezethetők, a pofás törőre például az 1 löket alatt távozó anyagtérfogat és a kritikus löketség a törő e részéből el tud távozni) szorzataként [1].

Mindezek ellenére leggyakrabban empirikus összefüggéseket alkalmaznak, amelyekben a kapacitás a kiömlési szelvénynek a függvénye, pofástörőre:

$$Q = \alpha A = \alpha RL \quad (2)$$

összefüggéssel számolható, ahol:

Q	– kapacitás, t/h	L, mm	α
k	– állandó	400	0,55
R	– résméret, mm	600	0,6
L	– réshossz, m	1000	0,65
A	– kiömlőrés szelvénye	1260	0,75
		1500	0,8

H. Schubert [2]

Az α tényező Tarján G. szerint: $\alpha = 850 (R L \text{ m-ben!})$

Hajtómotor teljesítményszükséglete

A Q kapacitású törő hajtómotorjának teljesítményszükséglete a W_f fajlagos törési munka ismeretében:

$$P = W_f Q, \text{ ahol } W_f = 0,2 \dots 0,7 \text{ kW} \cdot \text{h/t}. \quad (3)$$

A törés fajlagos munkaszükséglete durvaaprításkor Kick–Kipicsev-összefüggéssel is megbecsülhető:

$$W_{fK} \cong C_K \lg (X_0/x), \text{ kW} \cdot \text{h/t}, \quad (4)$$

amelyben

X_0 a feladás átlagos szemcse nagysága, %

x a töret átlagos szemcse nagysága, %

C_K a közet apríthatóságától függő tényező becslhető értéke: szénre 0,53; mészkőre 0,79; foszfátércre 0,73; andezitre 1,25; bazaltra 1,2.

A) Példa

Pofás törő (kétingás) méretezendő 140 t/h kapacitásra, $X_0 = 800$ mm szemcse nagyságú mészkő aprítására, 60%-ban $x_{60} = 80$ mm szemcse nagyságú töret előállítására.

1. lépés: részméret megállapítása a törési függvény alapján, az (1) egyenlet erre az esetre:

$B(\xi = \xi_{60}) = (\xi_{60}/\xi_{\max})^n$, azaz

$0,6 = (x_{60}/1,22R)^{0,855}$, amelyből $R = x_{60}/[1,22(0,6)^{1/0,855}] = 80/[1,22(0,6)^{1/0,855}] = 119$ mm.

2. ábra. Pofás törő töretének relatív szemcse méret-eloszlási függvénye: (1) összefüggésből

Relative particle size distribution function of a jaw crusher product, correlation (1)

3. ábra. Pofás törő töretének szemcse méret-eloszlási függvénye: (1) összefüggésből $R = 119$ mm részméretnél

Relative particle size distribution function of a jaw crusher product: from correlation (1) at gap size $R = 119$ mm

Az előbbi számítás menetét szemlélteti a 2. és 3. ábra, amelyek alapján az $\xi_{60} = x_{60}/R$ összefüggésből a részméret most is $R = x_{60}/\xi_{60} = 80/0,67 = 119$ mm.

2. lépés: szükséges a törőtér L hosszúságának meghatározása a összefüggésből, valamint a fő méretek becslése. A Tarján-féle α tényezővel számolva $L = Q/(\alpha R) = 140/(850 \cdot 0,119) = 1,38 \text{ m} \approx 1,4 \text{ m}$. A garat $G = L/1,5 = 0,93 \text{ m} \approx 0,9 \text{ m}$, a törőtér magassága $H = 2G = 1,8 \text{ m}$. Aprítási fok ellenőrzése: $r_g = G/R$; $6 < r_g = 0,9/0,119 = 7,6 < 8$.

3. lépés: a teljesítményszükséglet meghatározása. A 3. és 4. összefüggésből, valamint a feladás átlagos szemcse nagyságát $X_0 = 400$ mm-re becsülve és a töret átlagos szemcse méretét a töret 50%-os szemcse méretével jellemezve a 3. ábra alapján $x = x_{50} = 64$ mm.

$P = QC_K \lg(X_0/x) = 140 \cdot 0,79 \cdot \lg(400/64) = 88 \text{ kW}$.

A névleges motorteljesítmény 20%-kal nagyobbra választandó, $P_m = 105 \text{ kW}$.

2.2. Körtörők

A körtörőket durvaaprításra (ritkábban középaprításra) alkalmazzák. E körtörő kúpos törőkben az aprítás a külső álló és a belső forgó törőkúp között nyomással történik.

Körtörő
Gyratory crusher

4. ábra. Körtörő mért törési függvénye

Fracture function of a gyratory crusher as measured

A kúpos körtörő általunk végzett üzemi méréssel különböző részmérettel kapott szemcse méret-eloszlási adatokból származtatott empirikus törési függvényét a 4. ábra szemlélteti. Az ábra adatiból a vizsgált KKD körtörők töretének szemcseösszetételét a

$$B(\xi) = \left(\frac{\xi}{\xi_{\max}} \right)^n = \left(\frac{\xi}{1,251} \right)^{0,843} \quad (5)$$

empirikus törési függvénnyel becsülhetjük meg, amely a rész méret és a szemcseméret kapcsolatát fejezi ki [22], az összefüggésben $\xi = x/s$, és x a szemcseméret, s a legszűkebb rész méret.

A körtörők Q [t/h] feldolgozóképesége [1]:

$$Q = \alpha A = \alpha \pi R D_a, \quad (6)$$

ahol R rész méret, m ;

D_a az álló törőkúp alsó átmérője;

α konstans, $\alpha = 1050$

A hajtómotor teljesítményszükségletét a pófás törőnél megismert módon a (3) és (4) összefüggésekkel számíthatjuk.

3. Kúpos törők

A Symons standard és rövid fejű kúpos törőket a nagy szilárdságú kőzetek (andezit, bazalt, építési hulladékoknál a betonok) aprítására alkalmazzák. A Symons kúpos törőkben az aprítás a külső álló és a belső hüvelyben alátámasztott, támolygó mozgást végző törőkúpok között többnyire ütéssel történik.

3.1. Symons kúpos törők szemcseméret-eloszlása

A kúpos törők (5. ábra) törétének szemcseösszetételét a

$$B(\xi) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{\xi}{\xi_c} \right)^m \right] \quad (7)$$

empirikus törési függvénnyel becsülhetjük meg [3, 5], amely most is a rész méret és a szemcseméret kapcsolatát fejezi ki, az összefüggésben $\xi = x/X^* = c s$ és x a szemcseméret, s a legszűkebb rész méret; ξ_c a 63%-os relatív

5. ábra. Symons kúpos törő
Symons type cone crusher

szemcseméret, azaz $B(\xi = \xi_c) = 0,63$. A c értéke a gép terhelésétől függ, leggyakrabban $c \approx 1$.

6. ábra. Symons kúpos törő törési függvénye (törétének relatív szemcseméret-eloszlása)

Fracture function of a Symons type cone crusher (relative particle size distribution of its crushed product)

7. ábra. A c tényező függése a gép terhelésétől (törétének relatív szemcseméret-eloszlása)

Dependence of the c factor from the load of the machine

A 6. és 7. ábrán Uzsán korábban a KHD törőkkel végzett mérési adatokat tüntettük fel.

Az alábbi három függvény a SANDVIK (ALLIS) kúpos törők jellegzetes törési függvényei. A függvény-paraméterek meghatározása a katalógusokból és Mulár munkájából [7] származó adatokból történt. Az első függvény a H-22MF törőé:

$$B(\xi) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{\xi}{0,875} \right)^{1,423} \right]; \quad (8)$$

a második a H-22M törőhöz tartozik (az összefüggésekben $\xi = x/s$):

$$B(\xi) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{\xi}{0,923} \right)^{1,509} \right]; \quad (9)$$

MULAR adataiból [7] sekunder és terciér kúpostörőre:

$$B(\xi) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{\xi}{1,017} \right)^{2,119} \right] \quad (10)$$

3.2. Symons kúpos törők kapacitása és a hajtómotor teljesítményszüksége

A Symons kúpos törők Q [t/h] feldolgozóképesége (Tarján G [1]):

$$Q = \alpha D^{\beta} s, \quad (11)$$

ahol: D a törőkúp (alsó) átmérője, m,
 s a kihordórés minimális mérete, m,
 $\beta = 2 \dots 2,5$
 $D < 1,5$ m $D > 1,5$ (Tarján-Csöke),
 $\alpha = 3611$ (standard, Symons),
 $\alpha = 4710$ (rövid fejű kúpos törő).

Hajtómotor teljesítményszüksége [1]:

$$P = k D^{1,8}, \quad (12)$$

ahol $k = 50$ (standard) és $k = 65$ (rövid fejű törőre)

B) Példa

Symons kúpos törő méretezendő 140 t/h kapacitásra, $X_0 = 80$ mm szemcsenagyságú andezit aprítására, 75%-ban $x_{75} = 30$ mm szemcsenagyságú töret előállítására.

1. lépés: rész méret megállapítása a törési függvény alapján, az (7) egyenlet (SANDVIK H-22M) erre az esetre:

$$B(\xi = \xi_{75}) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{\xi_{75}}{\xi_c} \right)^m \right],$$

azaz

$$\begin{aligned} 0,75 &= 1 - \exp \left[- \left(\frac{x_{75}/s}{\xi_c} \right)^m \right] = \\ &= 1 - \exp \left[- \left(\frac{30/s}{0,923} \right)^{1,509} \right], \end{aligned}$$

amelyből $s = 30 / [0,923 \ln(4)^{1/1,509}] = 26$ mm.

Az előbbi számítás menetét szemlélteti a 8. és 9. ábra, amelyek alapján az $\xi_{75} = x_{75}/s$ összefüggésből a rész méret most is $s = x_{60}/\xi_{60} = 30/1,146 = 26$ mm.

2. lépés: a törő szükséges átmérőjének a meghatározása a $Q = \alpha D^{\beta} s$ összefüggésből.

A Tarján-féle α és β tényezővel számolva $D = [Q/(\alpha s)]^{1/\beta} = [140/(3611 \cdot 0,026)]^{1/2,2} = 1,20$ m.

3. lépés: a teljesítményszükséglet meghatározása.

$P = k D^{1,8}$ összefüggés felhasználásával $P = 50 \cdot 1,2^{1,8} = 69$ kW.

8. ábra. Symons kúpos törő töretének relatív szemcseméret-eloszlási függvénye: (9) össze-függésből
 Relative particle size distribution function of a Symons type cone crusher's product, correlation (9)

9. ábra. Symons kúpos törő töretének szemcseméret-eloszlási függvénye: (9) összefüggésből $s = 26$ mm rész méretnél
 Particle size distribution function of a Symons type cone crusher's product: from correlation (9) at gap size $s = 26$ mm

A névleges motorteljesítmény 20%-kal nagyobbra választandó, $P_m = 83$ kW.

4. Pofás és kúpos törők töretszemcseméret-eloszlásának becslése a rész méretnél finmabb szemcséket is tartalmazó feladás esetén

A töretszemcse-eloszlás becslésénél valójában tekintettel kell lenni arra is, hogy a feladás rész méretnél kisebb közetdarabjai, szemcséi nem szenvednek törést. Az $F(x)$ töret-szemcseeloszlás tehát:

a) Pofás törők és kúpos körtörők esetében:

$x \leq R$ szemcsékre:

$$F(x) = F(x) + [1 - F(x = R)]B(x), \quad (13)$$

$x > R$ tartományban:

$$F(x) = F(x = R) + [1 - F(x = R)]B(x). \quad (14)$$

b) Symons kúpos törők esetében pedig (King, R. P.):

$x \leq 0,65s$ szemcsékre:

$$F(x) = F(x) + [1 - F(x = 0,65s)]B(x), \quad (15)$$

$x > 0,65s$ tartományban:

$$F(x) = F(x = 0,65s) + [1 - F(x = 0,65s)]B(x), \quad (16)$$

ahol $F(x)$ a feladás szemcseeloszlása.

Irodalom

- [1] Tarján, G.: 1981. Mineral Processing I. AK, Budapest.
- [2] Schubert, H.: Aufbereitung fester Rohstoffe (I). VEB Deutsch. Verl. Für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1987.
- [3] Csőke, B.: Simulation and optimization of crushing technologies. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Polska Akademia Nauk, Kraków, 1995/4, Tom 11. p. 480–491.
- [4] Szpravocsnyik po Obogascseniju rud. Nedra. Moszkva, 1972.
- [5] Csőke, B. – Pethő, Sz. – Földesi, J. – Mészáros, L.: Optimatization of Stone-Quarry Technologies. Comminution 1994. (Ed. K.S.E. Forssberg – K.Schönert). ELSVIER. Amsterdam-Lausanne-New York-Oxford-Shannon-Tokyo, 1996. pp. 447–459.
- [6] Csőke, B.: Golyósmalmok fő méret- és üzemjellemzőinek meghatározása számítógéppel. Építőanyag, 2005/1.
- [7] Mular, A. L. – Bhappu, R. B.: Mineral processing plant design. AIME, New York, 1980.
- [8] King, R. P.: Simulation – the modern cost effective way to solve crusher circuit processing problems. International Juornal of Mineral Processing, 1990, 29, pp. 249–265.