SZILIKÁTTUDOMÁNY

Golyósmalmok fő méret- és üzemjellemzőinek meghatározása számítógéppel

Csőke Barnabás

Miskolci Egyetem Eljárástechnikai Tanszék

1. Bevezetés

A nyersanyagok gazdaságos előkészítésére-feldolgozására az őrlés igen jelentős befolyást gyakorol, ezért az őrlési folyamat kialakításának, a malmok méretezésének kitüntetett szerepe van. A golyósmalmok tervezésére a szakirodalom általában a Bond-eljárást, illetve Rowland és Kjos összefüggéseit ajánlja. Az összefüggések függvénykapcsolatokat adnak meg [1, 2]: az anyag őrlhetősége és a feladási szemcseeloszlás, valamint a kívánt őrlési finomságra való őrlés fajlagos munkaszükséglete (Bond-modell); a kapacitás (feladott anyag tömegárama) és a szükséges összes őrlési munka (a modellmalomtól való eltérő feltételek miatt a Bond-féle munkaindex-korrekciók figyelembevétele); valamint a golyósmalom energiája (golyók munkavégző képessége), illetve a hajtómotor villamos teljesítménye és a malom méretjellemzői között.

2. Az őrlhetőség meghatározása, az őrlés munkaszükséglete

Bond szerint [1, 2, 3] az üzemi őrlés fajlagos munkaszükséglete (W_B):

$$W_B = W_i \left(\frac{10}{\sqrt{x_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{X_{80}}} \right) \quad \text{kW} \cdot \text{h/t} \quad (1)$$

ahol

X_{80} a feladás, x_{80} az őrlemény 80%-os szemcsemérete, μm ;

W_i a Bond-munkaindex, amely a végtelen szemnagyságról 100 μm -re való őrlés fajlagos munkaszükséglete, $\text{kW} \cdot \text{h/t}$.

Bond a W_i anyagjellemző meghatározására mérési módszerrel dolgozott ki, az alapul választott őrlési modellt az 1. ábra szemlélteti. Laboratóriumban modellezte, 2,44 x 2,44 m belső méretű malommal végzett üzemi, zárt körfolyamatú nedvesőrlést; a kész finom termék aránya a visszajáró durva termékhez 1 : 2,5. A laboratóriumi mérés adataiból (a Bond-féle vizsgálati eljárás szerint) a munkaindex

1. ábra. Bond-modell

(W_i) az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$W_i = \frac{4,9}{x_{\max}^{0.23} G^{0.82} \left(\frac{1}{\sqrt{x_{80,m}}} - \frac{1}{\sqrt{X_{80,m}}} \right)} \quad \text{kW} \cdot \text{h/t} \quad (2)$$

ahol

$x_{\max}$ az őrlési finomság (a laboratóriumi őrlésnél alkalmazott ellenőrző szita nyílásmérete rendszerint 100 μm);

$X_{80,m}$ a laboratóriumi malom feladásának, $x_{80,m}$ pedig az őrleményének a 80%-os szemnagysága, μm ; G az őrlhetőségi tényező (g/fordulat), az egyensúlyi állapotban a laboratóriumi malomban 1 fordulat alatt képződő $< x_{\max}$ szemcseméretű anyag tömege.

A laboratóriumi mérés tehát a G tényező meghatározására irányul. A laboratóriumi őrlési vizsgálat 305 x 305 mm méretű malomban, $n = 70/\text{min}$ malomfordulatszámmal, 20,1 kg golyótöltettel (adott golyóméret-összetétel) előírt körülmények között történik. Az elmúlt időszakban számos hazai és külföldi nyersanyag őrlhetőségi munkaindexét meghatároztuk [4, 5, 6, 7].

Szokványos esetben az ásványfeldolgozás területén az őrlést száraz vagy nedves (vizes) közegben végzik. Számos esetben azonban ettől eltérnek a körülmények. Például a bauxitok őrlése lúgban (gyakran magasabb hőmérsékletű lúgban, lásd: diaszporos bauxitok) történik. Szükséges volt tehát olyan teszt módszer kialakítása, amellyel e sajátos körülmények mellett is megbízható

örölhetőségi mutatót kapunk, és pontosabb malomméretezés valósítható meg.

Ennek érdekében a Hardgrove-malom átalakításával új tesztberendezést fejlesztettünk ki, és örölhetőségi vizsgálatokat végeztünk párhuzamosan a Bond-malommal és az új malommal. Bizonyítottuk [5, 6, 7], hogy az új módszer és berendezés megfelelő, és a vizsgálat ilyen esetekben nem lehet hagyományos (száraz, normál-hőmérsékletű őrlés). Ha például lúgban fogunk őrlni, akkor az örölhetőséget is lúgban határozzuk meg. Ha pedig magasabb hőmérsékleten történik az üzemi őrlés, akkor az örölhetőségi vizsgálatot is a magasabb (a várható) hőmérsékleten kell lefolytatni.

A Hardgrove-eljárást az USA-ban dolgozták ki. A vizsgálat lényege [2]: ASTM D409 típusú csapágymalomban 50 g 590–1190 μm -es szénmintát 60 fordulatig őrlnek, és ezt követően a szénőrleményt 74 μm -es szitán (US-szita) Retsch-szitagéppel 20 percig szitálják. A Hardgrove-index:

$$H = 13 + 6,93 m_H, \quad (3)$$

ahol

H a Hardgrove-index;

m_H a 74 μm -nél kisebb szemcsék tömege g-ban.

A Hardgrove-indexből empirikus formulával a Bond-index megbecsülhető [Hease, M., 2]. A méréseink szerint Hease képleténél általánosabb (pontosabb) eredményt ad az alábbi összefüggés:

$$W_{B,H} = \frac{468}{H^{0,82}}. \quad (4)$$

3. A golyósmalom fő méret- és üzemjellemzőinek meghatározása

3.1. Valódi fajlagos munkaszükséglet

A modellfeltételektől való eltérés esetében a laboratóriumban mért W_i munkaindex értékét az új feltételeknek megfelelően korrigálni kell:

$$W_{i,\text{kor}} = k \cdot W_i. \quad (5)$$

A k tényező tehát az előző fejezetben ismertetett Bond-eljárástól eltérő körülmények figyelembevételére szolgál, azaz:

$$k = k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 k_6, \quad (6)$$

ahol

$k_1 \dots k_6$ az alábbi, Bond által kidolgozott korrekciós tényezők.

Ezek figyelembevételével:

$$W_{B,\text{kor}} = W_{i,\text{kor}} \left(\frac{10}{\sqrt{x_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{X_{80}}} \right) \text{ kW} \cdot \text{h/t} \quad (7)$$

ahol

X_{80} a feladás, x_{80} az őrlemény 80%-os szemcsemérete, μm ;

$W_{i,\text{kor}}$ a korrigált Bond-munkaindex.

$k_1 \dots k_6$ korrekciós tényezők

k_1 szárazörlés faktora;

$k_1 = 1,3$;

k_2 nyitott körfolyam faktora;

értéke az őrlési finomságtól függ (lásd a táblázatot):

< 100 mm-es rész* tömegaránya az őrleményben, %	k_2
50	1,035
60	0,05
70	1,10
80	1,20
90	1,40
92	1,46
95	1,57
98	1,70

*Pontosabban a mindenkori határszemcse-méretnél kisebb szemek.

k_3 átmérőfaktor;

ha $D \neq 2,44$ m, akkor:

$$k_3 = \left(\frac{2,44}{D} \right)^{0,2}; \quad (8)$$

k_4 durvafeladás faktora;

ha

$$X_{80} > X_{\text{opt}} = 4000 \sqrt{\frac{13}{W_{i(\text{mert})}}},$$

akkor:

$$k_4 = \frac{r + (W_i - 7) \left(\frac{X_{80}}{X_{\text{opt}}} - 1 \right)}{r}, \quad (9)$$

ahol

X_{opt} az optimális feladás 80%-os szemnagysága;

$r = X_{80}/x_{80}$ aprítási fok;

k_5 finomörlési faktor;

ha az őrlemény 80%-os szemnagysága $x_{80} < 75 \mu\text{m}$,

akkor:

$$k_5 = \frac{x_{80} + 10,3}{1,145 x_{80}}; \quad (10)$$

k_6 kis aprítási fok faktora;

ha $r < 6$, akkor:

$$k_6 = 1 + \frac{0,13}{X_{80}/x_{80} - 1,35}. \quad (11)$$

3.2. Az őrlés munka-, ill. teljesítményszükséglete

1. táblázat

A fenti módon meghatározott Bond-munkaindex felhasználásával a vizsgált anyagból Q mennyiségű és x_{80} finomságú őrlemény előállításának munka-, ill. teljesítményszükséglete ($P_{\text{őrlemény}}$):

$$P_{\text{őrlemény}} = W_{B,\text{kor}} Q, \quad \text{kW} \quad (12)$$

ahol

Q a körfolyamatba táplált friss feladás tömegárama, t/h; amely megegyezik a körfolyamatból távozó kész őrlemény (szilárd anyag) tömegáramával.

3.3. A golyósmalom-hajtás villamosteljesítmény-szükséglete (P_m , kW)

$$P_m = 7,33 e \varphi \rho_g (1 - 0,937 \varphi) \left(1 - \frac{0,1}{2^{9-10e}} \right) L D^{2,3}. \quad (13)$$

A malmok méretét (D , L) az anyag által igényelt munka ($P_{\text{őrlemény}}$ teljesítmény) és a gép munkavégző képességének (P_m teljesítőképességének) egyenlőségéből határozhatjuk meg, azaz:

$$P_{\text{őrlemény}} = P_m \quad (14)$$

A fenti összefüggésekben:

D a malom átmérője, m;

R a malom sugara, m;

L a malom hossza, m;

ρ_g a golyók sűrűsége, t/m³;

φ az őrlőtestek töltési (laza) foka;

$e = n/n_{\text{krit}}$, a malom-fordulatszám viszonya a kritikus fordulatszámmal, amelyben $n_{\text{krit}} = 30 (R)^{0,5}$;

X_{80} és x_{80} a feladás és az őrlemény 80%-os szemcsemérete, μm ;

W_i a Bond-munkaindex (mért!), kW·h/t;

K a korrekciós tényező.

3.4. Egyéb tényezők

A malmok e relatív fordulatszáma (az e a malomfordulatszám viszonya a kritikus fordulatszámmal) a malommérettől függ:

Malomátmérő, m	0,91–1,83	1,83–2,74	2,74–3,66	3,66–4,57	4,57–5,49
$E = 100 n/n_{\text{krit}}$	80–78	78–75	75–72	72–69	69–66

A fentiekben túlmenően a golyósmalmok méretviszonyait az őrlés módja (száraz vagy nedves, nyitott vagy zárt körfolyam) is erőteljesen befolyásolja.

Malom kialakítása (L/D), valamint a maximális őrlőgolyóméret az őrlési mód, a feladás és az őrlési finomság függvényében

Őrlés módja	Feladás szemcsemérete, mm	L/D hányados	Ajánlott max. őrlőgolyóméret, mm
nedves	5 ... 10	1 ... 1,25	60 ... 90
nedves	0,9 ... 4	1,25 ... 1,75	40 ... 50
száraz vagy nedves	finom feladás zárt körfolyamatban	1,5 ... 2,5	20 ... 30
száraz vagy nedves	finom feladás nyitott körfolyamatban	2,0 ... 3,0	20 ... 50
száraz	5 ... 10	1,3 ... 2,0	60 ... 90
száraz	0,9 ... 4	1,5 ... 2,0	40 ... 50

4. A számítógépi program

A számítógépi program quick basic-ben készült el, és rendkívül egyszerűen kezelhető. A bejelentkezés után **space** billentyűvel (space-bar) léphetünk be a kezdő táblázatba. A kezdő táblázat bármely alapadata kicserélhető oly módon, hogy a **le** (↓) és a **fel** (↑) billentyűvel a kérdéses sorra lépünk, majd **enter** gombbal töröljük a meglévő adatot, és beírjuk az új adatot, amit a gép az **enter** ismételt megnyomásával fogad el. Ezt követően a program a teljes számítást (az új feltételekkel) elvégzi, és a táblázat adatait a számítások eredményének megfelelően átírja.

Irodalom

- [1] Austin, L. G. – Klimpel, R. R. – Luckie, P. T.: Process Engineering of Size Reduction. Ball Milling American Institute of Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc. New York, 1984.
- [2] Mular, A. L. – Jergensen, G. V.: Design and Installation of Comminution Circuits Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc. New York, 1982.
- [3] Deister, R. J.: How to determine the Bond Work Index Using Lab Ball Mill Grindability Tests. Engineering Mining Journal, 1987.
- [4] Pethő, Sz. – Csőke, B.: Hazai közetek Bond-munkaindexének meghatározása. Építőanyag. 35. évf., 11. sz. 401–407. (1983).
- [5] Csőke, B. – Hatvani, Z. – Papanastassiou, D. – Solymár, K.: Investigation of Grindability of Diasporic Baixites in Dry, Aqueous and Alkaline Media as well as after high Pressure Crushing. 10th European Symposium on Comminution, 2–5 September, 2002. Heidelberg, Germany. Proceedings. (CD, p. B 4.1).
- [6] Csőke, B. – Hatvani, Z. – Papanastassiou, D. – Solymár, K.: Study of Grindability of Diasporic Baixites in Dry, Aqueous and Alkaline Media after high Pressure Crushing. Focus on Remaining Oil and Gas Reserves. (Ed. Lakatos, I.) Akadémiai Kiadó, Bp., 2002. p. 323–357.
- [7] Csőke, B. – Faitli, J. – Solymár, K. – Hatvani, Z.: New Test Method for Investigation of Grindability in Alkaline Media and High-temperature. South Africa, Cape Town 2003, Proceedings. p. 434–441.