

A KEVERŐMALMI SZÁRAZ ŐRLÉS LEGÚJABB SZAKIRODALMI EREDMÉNYEI

RÁCZ ÁDÁM¹

¹Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet, egyetemi docens
adam.racz@uni-miskolc.hu

Absztrakt

A száraz keverőmalmi őrlés egyre elterjedtebben alkalmazott eljárás a nagy finomságú őrlmények előállítására területén. A vízszintes tengelyű folyamatos üzemű száraz keverőmalomokról működéséről az utóbbi években számos szakirodalom gyűlt össze, így átfogóbb képet kaptunk e típusú keverőmalomok működésének részleteiről és a feladás anyagtulajdonságai és az optimális őrlési paraméterek kapcsolatáról. Jelen tanulmányban az elmúlt évek legújabb szakirodalmi eredményeit foglalom össze ezen a területen.

Kulcsszavak: keverőmalom, száraz őrlés

Abstract

Dry stirred media milling is an increasingly applied process in the production of high fineness ground materials. Numerous literatures has been gathered in recent years on the horizontal axis continuous dry stirred milling, so a more comprehensive picture is available now on the details of the operation of this type of stirred media mill. In the present study, the latest literature results in the field of horizontal axis dry stirred media milling are summarized.

Keywords: stirred media mill, dry grinding

1. BEVEZETÉS

A keverőmalomok széles körben elterjedt malomtípusok a finom, szubmikronos és nanoőrlés területén. Az első példa egy kevert edény és őrlőtestek aprításra való alkalmazására 1922-re nyúlik vissza, mikor Szegvári egy őrlőtestekkel teli tartályt kevert kén szuszpenzió rapid diszpergálására [1]. A keverőmalomok ebből az elképzelésből kiindulva, 1928-ban alakultak ki, mikor a finomőrlés hatásfokának növelése érdekében egy függőlegesen fixen rögzített őrlőtégelyű malmot hoztak létre, melyben a gömb őrlőtestek mozgását egy lassan forgó agitáló rotor segítségével érték el [2]. Az alacsony sebességű keverőmalomokat attritoroknak is hívják, ezek rotor kerületi sebessége maximum 6 m/s. A nagy sebességű keverőmalomok üzemeltetési sebessége 6-20 m/s [2]. A keverőmalomokat kezdetben főként nedves őrlésre alkalmazták, ahol bizonyították előnyeiket a többi őrlőtestes malommal szemben a finomőrlés területén. Az egységnyi idő alatt bekövetkező nagyon magas számú igénybevételi eseménynek és a megfelelő mértékű igénybevételi energiának köszönhetően a keverőmalomok energiateljesítménye nagy finomságú szemcsék előállításakor, azonos igénybevételi szám vagy igénybevételi energia esetén alacsonyabb, mint a golyós vagy rezgőmalomké [2]. A keverőmalomok tipikusan nedve-

sen üzemelnek, mivel a víz segíti a keverést és diszpergálja az őrlemény szemcséket, hogy elkerüljük azok újbóli összetapadását, a re-agglomerációt. Száraz őrlés esetén azonban a szemcsék agglomerációja komoly problémát okoz, ami jóval magasabb látszólagos őrlési határ szemcseméretre vezet, mint nedves őrlés esetén [3]. Az agglomeráció késleltetésére, elkerülésére őrlést segítő anyagok hozzáadása, valamint a keletkezett finomőrlemény őrlőtérből való gyors kivezetése szükséges [4]. A száraz őrlésnek ugyanakkor számos előnye és alkalmazási területe is van [5]. Száraz őrlés esetén nem kell számolnunk a keletkező szennyvíz tisztításával, valamint a termék szárításával. A keverőmalmok ígéretesek a klinker őrlés területén [6], ahol a hidratáció miatt csak a száraz őrlés jöhet szóba. Más esetekben a száraz őrlés mechanokémiai változásokat idéz elő [3], néhány ásvány esetében a mechanokémiai változás növelheti a flotáció kihatását [7].

2. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK VÍZSZINTES TENGELYŰ MALOMKIALAKÍTÁSOKKAL

A száraz keverőmalmok lehetnek vertikális, és horizontális kialakításúak is. Jelen tanulmányban csak a vízszintes kialakítással elért kutatási eredményekkel foglalkozok. Az első vízszintes kialakítású, folyamatos üzemű száraz keverőmalomról Altun és szerzőtársai [8] számoltak be részletesen. Annak érdekében, hogy megismerhessék a száraz keverőmalom üzemeltetési paramétereinek változtatása, milyen hatással bír a keletkezett őrleményre, vizsgálták a feladási tömegáram, keverőrotor kerületi sebesség, malom őrlőtest töltöttségi fok, illetve az őrlőtestek átmérőjének hatását az őrleményre cementőrlés során. A kutatók úgy találták, hogy a keverő kerületi sebességének növelése egészen addig a kritikus pontig finomabb őrleményt eredményezett, míg a további befektetett nagyobb mennyiségű energia már csak hővé alakult át, és nem eredményezte a termék további finomodását, tehát az őrlési hatékonyság lecsökkent, megállt. Az alacsonyabb őrlőtest töltöttségi fok, kevésbé hatékony környezetet biztosított az őrlésnek. A feladási tömegáramnak a fajlagos energia-felhasználásra, és az őrlemény finomságára van jelentős hatása. Altun és szerzőtársai [9] az előzőleg bemutatott száraz keverőmalommal a malom átmérőjének és a keverőlapátok geometriájának őrlésre gyakorolt hatásának szemszögéből vizsgálták tovább. Ezen kísérletek során a szerzők két malomátmérővel, 204 és 264 mm-el dolgoztak, és hasonlították őket össze azonos malomhosszúságok mellett. A malom őrlőtest töltési foka és az őrlőtestek átmérője, mindkét malomátmérő esetében azonos volt. A keverők geometriájának vizsgálatára 3 féle kialakítást választottak, azonos 160 mm-es keverőátmérővel. A két malomátmérő összehasonlítása során a kutatók megállapították, hogy a nagyobb (264 mm) átmérővel rendelkező malom, 31.8% majd 35.8%-al kevesebb energiát fogyasztott. A méréseket a keverő geometriájának hatásával, ezután a 264 mm-es malmon folytatták. Az tapasztalták, hogy magasabb energiaszinten (40 kWh/t) felett, a „szárny” és „kereszt” kialakítású keverők, több energiát használnak fel, mint a „tányér” geometriájúak, azonos aprítási fok elérése érdekében. Az őrlési hatékonyság csökkenésének magyarázatát a „szárny és kereszt” geometriák esetében a szerzők a malom

hőmérséklet emelkedésében keresték, és azt az energia hőként való távozásában találták meg.

Rácz és szerzőtársai [10,11] egy laboratóriumi méretű folyamatos üzemű száraz keverőmalmi rendszerről számoltak be, ahol az őrlemény szállítását elsősorban légáram végzi a malmon belül. Megállapítják, hogy a fejlesztésük során a malom stabil működési idejét sikeresen meghosszabbították, azonban a malomrendszer hosszú távú működéséhez további fejlesztések szükségesek. Az eredmények bebizonyították, hogy a malom hatékonyan képes 10 mikron alatti szemcséket előállítani, ám a szemcseméretének szabályozása az őrlés során állandó légáramlást igényel. Ennek biztosítása érdekében a jövőbeni céljuk a ventilátor vezérlőrendszerének felépítése, amely kompenzálja a malom és a szűrő nyomásvesztésének növekedését az őrlés során [11]. Folyamatos üzemű, vízszintes kialakítású száraz keverőmalommal végzett mészke őrlési kísérletekről számoltak be Prziwara és szerzőtársai [12], akik egy egyedileg átalakított malomban végezték kísérleteiket. Megállapították, hogy a folyamatos üzemű száraz keverőmalom működését mind gépi paraméterek (belső kialakítás, méretviszonyok, üzemeltetési paraméterek), mind a feladási anyag tulajdonságai, mint például a por folyási tulajdonsága, jelentősen befolyásolják. Munkájuk során kapcsolatba hozták a por folyási tulajdonságát az őrlés hatékonyságának magyarázatával. Megállapították, hogy a jó folyási tulajdonságú feladás kevésbé hatékony őrléshez vezetett. A malmukban az őrlőtestek malomtérben tartására egy osztályozó kereket alkalmaznak, amely a malom rotorjával együtt forog. Ez az eredmény az anyag nagy tengelyirányú transzportjának és az osztályozókerék sebessége és visszatartási viselkedése összetett kölcsönhatásával magyarázható. Jó folyási képességű feladás esetén a durva szemcsék a belső osztályozó előtt felhalmozódnak, amely rontja a malom őrlési hatékonyságát, mind a hátráltatja a termék osztályozókeréken való áthaladását. Ugyanakkor azt is azonosították, hogy a rossz folyási tulajdonságú porok ugyanúgy rontják az őrlés hatékonyságát, mivel az gátolja az őrlőtestek hatékony mozgását. Mindezekon kívül a keverőtárcsa kerületi sebességét tartják a legkritikusabbnak paraméternek, mivel az osztályozókerék a rotorhoz van csatlakoztatva, ezért a rotor kerületi sebessége nem csak az igénybevételi energia nagyságát befolyásolja, hanem az anyag transzport viselkedését is a malmon belül [12].

Mindezen munkák eredményeiből egyértelműen megállapítható, hogy a száraz keverőmalmi őrlés szignifikánsan különbözik a nedves keverőmalmi őrléstől. A száraz őrlés esetén a hatékony energiahasznosuláshoz mérsékelt rotor kerületi sebességre, milliméter tartományú őrlőtestekre és alacsonyabb őrlőtest töltési fokra [4,8] van szükség, jelen tudásunk szerint. A malmok folyamatos üzemeltetése további komoly kihívásokat tartogat, a pontos folyamatszabályozáshoz az őrlőtérben lejátszódó folyamatok pontos ismerete szükséges. Mindehhez az őrlőtest-anyag kölcsönhatások, és a malomban lejátszódó transzportfolyamatok megértése is szükséges. Az őrlőtest-anyag kölcsönhatások megértésével foglalkoznak Prziwara és szerzőtársai [13], ahol az őrlőtestek által a porágyra kifejtett igénybevételét vizsgálják részletesen esősúlyos teszttel. Ebben a tanulmányban kimutatták, hogy a finom szemcsék mozgási viselkedése a statikus lemez és a leeső golyó (őrlőtest) között a

különbféle termék- és folyamat paraméterek határozzák meg: a por folyási tulajdonságának javulása és az anyag finomsága fokozott elmozdulást eredményez az aktív őrlési zónán kívül, addig a nagyobb igénybevételi sebességek, valamint az őrlőgolyó mérete elősegítik a szemcsék befogását. Gömb-gömb geometria esetén a szemcsék befogódása csaknem négyszer rosszabb, mint a gömb-lemez érintkezésnél. Hasonló esősúlyos anyag karakterizáló módszert alkalmaz Altun és szerzőtársai [6] is a modellezési számítások megalapozásához.

3. ÖSSZEFOGLALÁS

Láthattuk, hogy több kutatócsoport is aktívan dolgozik a vízszintes tengelyű száraz keverőmalmi őrlés fejlesztésén. Összességében egy hosszas fejlesztő munka kezdeti fázisának végén lehetünk a fejlesztéseket tekintve, tehát a széles ipari alkalmazáshoz még számos feladatot kell megoldani. A malmok belső kialakításának üzemeltetésre gyakorolt hatásáról még keveset tudunk, valamint a malmon belüli anyag szállítási módokat is tovább szükséges vizsgálni. A malmokban lejátszódó folyamatok megértéséhez és kontrollálásához is további részletes kutatásokra van szükség, melyeknek segítségével meg kell értenünk az anyag-örlőtest kölcsönhatásokat, az anyag és örlőtestek mozgását a malmon belül, figyelembe véve mind a malom, üzemeltetési és anyag paramétereket is.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

"A tanulmányban ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg." A tanulmányban bemutatott kutatás a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János kutatási ösztöndíja támogatásával valósult meg.

IRODALOM

- [1] A. Szegvari, M. Yang, ATTRITOR GRINDING AND DISPERSING EQUIPMENT, Available Online at: https://Unionprocess.Com/Tech_papers/Attritor_-Grinding- and-Dispersing-Equipment.Pdf. (2019).
- [2] A. Kwade, Wet comminution in stirred media mills — research and its practical application, Powder Technol. 105 (1999) 14–20. doi:10.1016/S0032-5910(99)00113-8.
- [3] Á. Rácz, K. Bohács, F. Kristály, É. Gregus, G. Mucsi, Comparison of wet and dry stirredmediamilling from energetic

-
- and mechanochemical point of view, XXIX Int. Miner. Process. Congr. Moscow, Russ. 15-21st Sept. (2018).
- [4] Á. Rácz, B. Csóke, Application of the product related stress model for product dispersity control in dry stirred media milling, *Int. J. Miner. Process.* 157 (2016). doi:10.1016/j.minpro.2016.09.005.
- [5] L. Taylor, D. Skuse, S. Blackburn, R. Greenwood, Stirred media mills in the mining industry: Material grindability, energy-size relationships, and operating conditions, *Powder Technol.* 369 (2020) 1–16. doi:10.1016/j.powtec.2020.04.057.
- [6] O. Altun, H. Benzer, E. Karahan, S. Zencirci, A. Toprak, The impacts of dry stirred milling application on quality and production rate of the cement grinding circuits, *Miner. Eng.* 155 (2020) 106478. doi:10.1016/j.mineng.2020.106478.
- [7] S.C. Chelgani, M. Parian, P.S. Parapari, Y. Ghorbani, J. Rosenkranz, A comparative study on the effects of dry and wet grinding on mineral flotation separation—a review, *J. Mater. Res. Technol.* 8 (2019) 5004–5011. doi:10.1016/j.jmrt.2019.07.053.
- [8] O. Altun, H. Benzer, U. Enderle, Effects of operating parameters on the efficiency of dry stirred milling, *Miner. Eng.* 43–44 (2013) 58–66. doi:10.1016/j.mineng.2012.08.003.
- [9] O. Altun, H. Benzer, U. Enderle, The effects of chamber diameter and stirrer design on dry horizontal stirred mill performance, *Miner. Eng.* 69 (2014) 24–28. doi:10.1016/j.mineng.2014.07.008.
- [10] Á. Rácz, L. Tamás, I. Gombkötő, B. Csóke, J. Faitli, Effect of the milling parameters on the product dispersity and energy consumption in a continuous dry air-transported stirred media mill, *Proc. 15th Eur. Symp. Comminution Classif.* (2017) 1–5.
- [11] Á. Rácz, L. Tamás, Development of a laboratory scale continuous dry stirred media mill, *Epa. - J. Silic. Based Compos. Mater.* 71 (2019) 92–96. doi:10.14382/epitoanyag-jsbcm.2019.17.
- [12] P. Prziwara, S. Breitung-Faes, A. Kwade, Impact of the powder flow behavior on continuous fine grinding in dry operated stirred media mills, *Miner. Eng.* 128 (2018) 215–223. doi:10.1016/j.mineng.2018.08.032.
- [13] P. Prziwara, L.D. Hamilton, S. Breitung-Faes, A. Kwade, Evaluation of the capturing of dry fine particles between grinding media by drop-weight tests, *Powder Technol.* 363 (2020) 326–336. doi:10.1016/j.powtec.2020.01.012.