



УДК 622.73.621.926.9С

ІСТОРИЯ РОЗВИТКУ ПРОЦЕСУ САМОПОДРІБНЕННЯ

Микола Сокур, доктор технічних наук, професор, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. E-mail: m_sokur39@ukr.net

THE HISTORY OF THE DEVELOPMENT OF THE SELF-GRINDING PROCESS

Mykola Sokur, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. E-mail: m_sokur39@ukr.net

ABSTRACT

Простежена історія техніки та технології, а також впровадження само подрібнення руд у світі та Україні. Огляд та аналіз охоплює ХХ і початок ХХІ ст. Показано, що самоподрібнення почало впроваджуватися в схеми рудопідготовки в 1950–62 рр. і набуло поширення в США, Канаді, Швеції, Австралії, Норвегії, ПАР, ФРН, Фінляндії, Туреччині та інш. країнах. Станом на 2010 рік в зарубіжній гірничій промисловості знаходилось в експлуатації близько 160 великих млинів повного чи часткового самоподрібнення, у тому числі 65 з них працювали в залізорудній промисловості, 28 – у мідній, а інші – при збагаченні руди рідкісних і благородних металів.

У процесі самоподрібнення руд та іншої мінеральної сировини великі шматки руди є подрібнювальним середовищем, що подрібнює більш дрібні грудки, причому і великі шматки поступово руйнуються в барабані млина самоподрібнення, перетворюючись на дрібний продукт.

Розвиток самоподрібнення пов'язаний насамперед з удосконаленням технології переробки золотомісних руд, так як процес вилучення золота із застосуванням ціанування вимагав більш тонкого подрібнення руди, а також виключення з процесу металевих помельних тіл, з тим, щоб звести до мінімуму кількість домішок заліза в пульпі.

Для зниження потрапляння в пульпу апаратного тонкодисперсного заліза (сильного відновника золота) футеровка барабанних млинів виконується з гальки, закріпленої по барабану портландцементом. Замість куль в якості подрібнювального середовища використовується також галька. Самоподрібнення ефективно при переробці кімберлітових руд, тому що дозволяє захистити від руйнування кристали алмазів.

Перші згадки про роботу барабанних млинів з гальковим подрібнювальним середовищем датуються 1904 роком. У 1907

р. на руднику Гельденхьюс–Діт Йоханнесбургу в Південній Африканській Республіці були проведені паралельні випробування двох трубних млинів діаметром 2,7 і довжиною 6,8 м, причому в одному з них як подрібнювальне середовище вико ристовували привезену з Європи гальку, в іншому – великі шматки золотомісного кварцу. В історичному плані ці випробування вважають початком машинного подрібнення руди рудою, тобто початком самоподрібнення руд.

Перший патент на спосіб подрібнення крупновкрапленої руди і устаткування для здійснення цього процесу був отриманий А.Д. Хадселем в 1908 р. Проте пройшло 24 роки, перш ніж в 1932 р. був виготовлений перший промисловий млин. Діаметр барабана млина 7320 мм, довжина 900 мм, частота обертання $2,66 \text{ хв}^{-1}$, потужність привода 100 кВт. У млині здійснювалося самоподрібнення сульфідної руди від 305 до 0,246 мм. У процесі експлуатації був виявлений ряд конструктивних недоліків, які усувалися у міру реконструкції першого промислового зразка.

Самоподрібнення почало впроваджуватися в схеми рудопідготовки в 1950–62 рр. і набуло поширення в США,

Канаді, Швеції, Австралії, Норвегії, ПАР, ФРН, Фінляндії, Туреччині та інш. країнах.

У період 1960–1970 рр. у промислово розвинутих капіталістичних країнах були введені в дію великі фабрики, обладнані млинами самоподрібнення. У Радянському Союзі промислові млини самоподрібнення почали серійно випускатися з 1967 року і на кінець ХХ ст. в експлуатації знаходилося близько 200 млинів типу МБ–70Х23, ММС–70Х23 і ММС–90Х30А. У чорній металургії працюють три великі збагачувальні фабрики, які обладнані млинами самоподрібнення на Інгулецькому, Лебединському і Північному гірничо–збагачувальних комбінатах.

Друга світова війна загальмувала дослідні та проектно–конструкторські роботи з самоподрібнення руд. У повоєнні роки фірми «Х. Хардінал», «Аерофол Міллз» широко розгорнули роботи в галузі мокрого та сухого самоподрібнення, в результаті чого цей процес був істотно вдосконалений, створені високопродуктивні промислові млини. Завдяки цьому вже у 1950 р. стала до ладу збагачувальна фабрика «Мангулан», обладнана млинами сухого самоподрібнення діаметром 6,7 м. Фабрика переробляла багату мідну руду. У 1962 р. шість таких млинів було встановлено на фабриці «Керала Лейк» в Канаді. У 1961 р. експлуатувалося 12 млинів мокрого рудного самоподрібнення на фабриці «Лейк–Дженін» (Канада). Діаметр барабана млинів 5,5 м, довжина 1,5 м, потужність привода 440 кВт. У тому ж році стала до ладу фабрика «Крїтейшн» (США), на якій були встановлені більші млини розміром 6,7×2,14 м з двома двигунами привода загальною потужністю 660 кВт. Такий же млин було встановлений у 1962 р. на фабриці «Валсто», Швеція для переробки поліметалічних руд. З цього періоду починається широке впровадження самоподрібнення для переробки руд чорних і кольорових металів. Вже у 1965 р. закінчується будівництво і починається промислова експлуатація великої збагачувальної фабрики «Вобуш» (Канада) з переробки залізних руд. Подрібнення на цій фабриці здійснюється в більш досконалих млинах мокрого самоподрібнення розміром 7,32 x 2,44 м з приводом потужністю 1300 кВт. Продуктивність цих млинів до 300 т/год при крупності кінцевого продукту подрібнення до –0,8 мм. Частота обертання барабана 0,75% критичної (22,5 хв⁻¹), коефіцієнт заповнення – близько 0,42–0,45. У

наступні роки за кордоном вступають в дію потужні збагачувальні фабрики, обладнані іншими великими млинами самоподрібнення.

В даний час одним з найбільших зарубіжних підприємств, що застосовують технологію самоподрібнення, є фабрика збагачення «Хіббінг Таконайт» фірми «Пікандз Мазер» (Канада), на якій експлуатуються найбільші млини самоподрібнення з діаметром барабана 11 і завдовжки 4,6 м.

У СРСР дослідження промислового застосування самоподрібнення руд чорних і кольорових металів датуються 1962–1964 рр. Перший в нашій країні дослідно–промисловий млин мокрого самоподрібнення діаметром 5,7 м був встановлений на одному з підприємств «Якуталмаз» в 1964 р. Млин такого ж діаметру в 1964–1968 рр. випробовувався на ЦГЗК для сухого самоподрібнення криворізьких залізних кварцитів.

У 1966–1967 рр. на НКГЗК (Новокриворізький гірничозбагачувальний комбінат) були проведені випробування дослідно–промислового млина мокрого самоподрібнення МБ–70–22. З урахуванням результатів цих випробувань була розроблена технічна документація і розпочато виробництво вітчизняних млинів МБ–70–23 з об'ємом барабана 80 м³. У січні 1969 р. два такі млини почали експлуатуватися на першій, найбільшій у чорній металургії фабриці мокрого самоподрібнення руд – РЗФ–2 ІнГЗК в Кривому Розі. До кінця 1969 р. на цій фабриці було встановлено вже 10 таких млинів, а в грудні 1970 р. була здана в експлуатацію РЗФ–2 ІнГЗК, обладнана 16 млинами мокрого самоподрібнення МБ–70–23 і такою ж кількістю млинів рудного подрібнення МРГ–45–75. Зі збільшенням обсягу видобутку руди на ІнГЗК збагачувальна фабрика продовжувала розширюватися і подальша її черга (РЗФ–3) була також обладнана модернізованими млинами ММС–70–23.

З урахуванням позитивного досвіду впровадження самоподрібнення на ІнГЗК на родовищі Курської магнітної аномалії була споруджена і в 1974 р. здана в експлуатацію велика збагачувальна фабрика, обладнана млинами ММС–70–23.

Паралельно з широким впровадженням у гірничорудну промисловість серійних млинів ММС–70–23 Механобрчормет спільно з партнерами розробляв більш габаритний млин

самоподрібнення більшої одиначної потужності з об'ємом барабана 160 м³. Перший дослідний зразок такого млина з розміром барабана 9 х 3 м (МБ-90-30) був випробуваний на дослідній фабриці ІнГЗК в 1973-1975 рр. З урахуванням результатів цих випробувань була виготовлена дослідно-промислова партія найбільших вітчизняних млинів мокрого самоподрібнення ММС-90-30 з потужністю привода 4000 кВт.

Ці млини були встановлені на II черзі збагачувальної фабрики ЛебГЗК, яка була здана в експлуатацію в 1976 р.. Вісім таких же млинів були встановлені на збагачувальній фабриці ПівнГЗК, прийнятої у промислову експлуатацію в 1980 р.

У 1980-1981 рр. млинами ММС-90-30А вдосконаленої конструкції була обладнана третя рудозбагачувальна фабрика ЛебГЗК. Згодом Механобрчорметом видано технічне завдання, а СТЗ розроблено технічний проект найбільшого млина самоподрібнення ММС-105-50 з об'ємом барабана 400 м³ і встановленою потужністю привода близько 10 000 кВт.

Таким чином, у вітчизняній гірничозбагачувальній промисловості кінця ХХ ст.. самоподрібнення знайшло широке застосування при підготовці руд до збагачувальної переробки.

За станом на 2010 рік в зарубіжній гірничій промисловості знаходилося в експлуатації близько 160 великих млинів повного чи часткового самоподрібнення, у тому числі 65 з них працювали в залізорудній промисловості, 28 – у мідній, а інші – при збагаченні руди рідкісних і благородних металів.

Література

1. М.І. Сокур, В.С.Білецький. Рудопомольні апарати самоподрібнення / Навчальний посібник. – К.: ФОП Халіков Р. Х. 225 с.
2. Restor D. W. Pyrolysis and agglomeration // Mining End. – 1977. – № 2. – Р. 82-86.
3. Ягупов А. В. Мельницы самоизмельчения в СССР и за рубежом, – М., 1978, – 35 с.
4. Смирнов В. О., Білецький В. С. Підготовчі процеси збагачення корисних копалин. – Донецьк: Східний видавничий дім, Донецьке відділення НТШ, 2012. – 286 с.

5. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. – Д. : Східний видавничий дім, 2013. – Т. 3 : С – Я. – 644 с.

6. Білецький В. С., Олійник Т. А., Смирнов В. О., Скляр Л. В. Основи техніки та технології збагачення корисних копалин: навчальний посібник. – К.: Ліра-К, 2020. – 634 с.

7. Дезінтеграція мінеральних ресурсів: монографія / Сокур М. І., Кіянковський М. В., Воробйов О. М., Сокур Л. М., Сокур І. М. – Кременчук: видавництво ПП Щербатих О. В., 2014–304 с.

8. The study of the lining layer abrading wear in the semi-autogenous grinding mill / Mykola Sokur, Volodymyr Biletskyi, Mykhailo Fyk, Oleksandr Fyk and Igor Zaselskiy / E3S Web Conf. Volume 166, 2020. The International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF 2020). Article Number 03008. Pages 7. Section Sustainable Mining/ <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016603008> Published online 22 April 2020.

9. Сокур М. І. Збірник наукових праць / М. І. Сокур, В.С. Білецький, Д. П. Божик ; Кременчук. нац. ун-т ім. М. Остроградського. – Кременчук : Новабук, 2022. – 294 с.

10. Aven, Terje (1 June 2017). "Improving the foundation and practice of reliability engineering". Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability. 231 (3): 295–305. doi:10.1177/1748006X17699478

11. Кармазин В. И., Денисенко А. И., Серго Е. Е, Есшаровое измельчение руд.– М. : Недра, 1968.– 184 с.

12. Гольдман С. М. Особенности движения материала в мельнице сухого самоизмельчения // Обогащение руд. – 1970. № 4.– С. 41-44.

13. Гольдман С. М. Мощность, потребляемая мельницей сухого самоизмельчения // Там же,– 1971.– № 2,– С. 37-39.

14. Мельберг Ф. Опыт эксплуатации мельниц самоизмельчения в Зинпгруване // Материалы семинара по самоизмельчению в Тронхейме (Норвегия, май 1979 г.).– Кривой Рог, 1979,– С. 1-33.

15. Уэйли Г., Томас У., Пиаре К. Мельницы самоизмельчения, установленные на фабриках фирмы «Пикандз Мазер» // Там же.– С. 34.

16. N. Sokur, V. Biletsky, L. Sokur, D. Bozyk, I. Sokur, Investigation of the process of crushing solid materials in the centrifugal disintegrators. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 3(7(81)), 34–40 (2016). doi:10.15587/1729-4061.2016.719837.

17. G.G. Stanley, Mechanisms in the autogenous mill and their mathematical representation. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy 75, 77–98 (1974), <https://www.saimm.co.za/Journal/v075n04/p077.pdf>. Accessed 21 Mar 20208.

18. S. Morrell, A new autogenous and semi-autogenous mill model for scale-up, design and optimization. Minerals Engineering 17(3), 437–445 (2004). doi:10.1016/j.mineng.2003.10.0139

19. P. Toor, M.S. Powell, M. Hilden, N.S. Weerasekara, Understanding the effects of liner wear on SAG mill performance, in MetPlant–2015, Perth,

Australia. 10. W.C. Dailey, Wet Semi-autogenous Grinding Mills, in SME–AIME Fall Meeting, Albuquerque, New Mexico. October 16–18, 1985.

20. Society of mining engineers. Preprint No. 85–405, <https://www.911metallurgist.com/wet-semi-autogenous-grinding-mills/>. Accessed 10 Apr 202011.

21. P. Toor, Quantifying the Influence of Liner Wear on SAG Mill Performance, MPhil Thesis, Sustainable Minerals Institute, The University of Queensland, 2013. doi:10.14264/uql.2014.11212.

22. D. Royston, Semi-autogenous grinding (SAG) mill liner design and development. Mining, Metallurgy & Exploration 24, 121–132 (2007). doi:10.1007/BF03403206 (9) (PDF)

23. The study of the lining layer abrading wear in the semi-autogenous grinding mill. Available from: https://www.researchgate.net/publication/340836571_The_study_of_the_lining_layer_abrading_wear_in_the_semi-autogenous_grinding_mill.

Abstract. The history of technique and technology, as well as the introduction of autogenous grinding of ores in the world and in Ukraine, is traced. The review and analysis covers the 20th and the beginning of the 21st centuries. It is shown that self-crushing began to be introduced into ore preparation schemes in 1950–62 and became widespread in the USA, Canada, Sweden, Australia, Norway, South Africa, Germany, Finland, Turkey and others countries. As of 2010, about 160 large full or partial autogenous grinding mills were in operation in the foreign mining industry, including 65 of them working in the iron ore industry, 28 in the copper industry, and the rest in the processing of ore of rare and precious metals.

Про автора:

Сокур М.І. Доктор технічних наук, професор, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. E-mail: m_sokur39@ukr.net