

МЕТАЛЛУРГИЯ

Обзорная статья

УДК 669.213.1:622.734

EDN: UAQWEC

DOI: 10.21285/1814-3520-2024-3-504-512



Агитируемые мельницы тонкого и сверхтонкого измельчения для последующих обогатительно-металлургических операций

Г.И. Войлошников^{1✉}, А.Ю. Чикин²¹Иркутский научно-исследовательский институт благородных и редких металлов и алмазов, Иркутск, Россия²Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

Резюме: Цель – провести краткий обзор конструкций, характеристик и параметров работы агитируемых мельниц зарубежных производителей, применяемых в настоящее время. Анализ информации об агитируемых мельницах, которые используются для повышения эффективности обогатительных и металлургических операций, проводился на основе обзора известных литературных и информационных источников. По результатам проведенного обзора опубликованных источников показано, что использование традиционных барабанных шаровых мельниц в схемах флотации руд и концентратов с тонким взаимным прорастанием минералов нецелесообразно. Также применение традиционных мельниц при вскрытии упорных к цианированию руд и концентратов, где золото тонко вкраплено в сульфиды, ограничено высоким расходом электроэнергии на измельчение и соответствующими эксплуатационными затратами. В работе рассмотрены различные типы агитируемых мельниц – вертикальные и горизонтальные. Отмечены преимущества агитируемых мельниц в сравнении с традиционными шаровыми мельницами, в частности по энергоэффективности. Представлены конструкции и основные характеристики агитируемых мельниц, получивших наибольшее применение. По данным зарубежных исследований приведены основные параметры, определяющие процесс измельчения в указанных мельницах (отношение размера бисера к крупности питания мельницы, плотность измельчающей среды, плотность пульпы в мельнице, объемная загрузка бисера, скорость перемешивания и т.п.). Анализ литературных данных свидетельствует о высокой эффективности мельниц с перемешиванием мелющей среды для тонкого и сверхтонкого измельчения руд и концентратов в сравнении с традиционными шаровыми мельницами. Учитывая, что объем руд и концентратов, упорных к переработке традиционными способами, увеличивается, применение указанного оборудования будет расширяться, повышая эффективность последующих обогатительных и металлургических операций.

Ключевые слова: тонкое и сверхтонкое измельчение, агитируемые мельницы, конструкция, расход электроэнергии, характеристики, параметры работы

Для цитирования: Войлошников Г.И., Чикин А.Ю. Агитируемые мельницы тонкого и сверхтонкого измельчения для последующих обогатительно-металлургических операций // iPolytech Journal. 2024. Т. 28. № 3. С. 504–512. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2024-3-504-512>. EDN: UAQWEC.

METALLURGY

Review article

Stirred media mills of fine and ultrafine grinding for subsequent beneficiation operations

Grigory I. Voiloshnikov^{1✉}, Andrey Yu. Chikin²¹Irkutsk Research Institute of Precious and Rare Metals and Diamonds, Irkutsk, Russia²Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

Abstract. This paper presents a brief review of the designs, characteristics, and operating parameters of Stirred media mills supplied by foreign manufacturers. An analysis of information on Stirred media mills, which are used to improve the efficiency of beneficiation and metallurgical operations, is carried out using available publications. The obtained results indicate the inexpediency of using conventional drum ball mills for flotation separation of ores and concentrates with a fine interpenetration of minerals. The application of conventional mills in extraction of ores and concentrates resistant to cyanidation, where gold is finely disseminated in sulfides, is limited by their high power consumption and the corresponding operating costs. In this work, different types of Stirred media mills are

considered, including their vertical and horizontal types. The advantages of Stirred media mills over conventional ball mills, particularly in terms of energy efficiency, are noted. The designs and main characteristics of Stirred media mills, which have received wide application, are presented. According to the data presented in the reviewed publications, the main parameters determining the grinding process in such mills are outlined, including the ratio of bead size to mill feed size, density of grinding medium, density of pulp in the mill, volume loading of beads, stirring speed, etc. The conducted analysis of literature data indicated high efficiency of mills based on agitation of grinding media for fine and ultrafine grinding of ores and concentrates in comparison with conventional ball mills. Given that the volume of ores and concentrates resistant to processing by conventional methods is increasing, the application of Stirred media mills is expected to become more widespread, thereby increasing the efficiency of subsequent beneficiation and metallurgical operations.

Keywords: fine and ultrafine grinding, stirred mills, mill designs, power consumption, characteristics, operating parameters

For citation: Voiloshnikov G.I., Chikin A.Yu. Stirred media mills of fine and ultrafine grinding for subsequent beneficiation operations. *iPolytech Journal*. 2024;28(3):504-512. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2024-3-504-512>. EDN: UAQWEC.

ВВЕДЕНИЕ

Вовлечение в производство сырья упорного к переработке традиционными способами требует постоянного совершенствования обогатительных и гидрометаллургических технологий извлечения ценных компонентов. При этом возрастает значение процессов тонкого и сверхтонкого измельчения, в частности, при флотации руд и концентратов с тонким взаимным прорастваниванием минералов, а также при вскрытии упорных к цианированию руд и концентратов, где золото тонко вкраплено в сульфиды. Указанные процессы позволяют существенно повысить эффективность разделения минералов при флотации, улучшить кинетику и полноту окисления сульфидных минералов в процессах атмосферного, автоклавного и бактериального вскрытия перед цианированием³ [1–4]. Однако использование для этих целей традиционных барабанных шаровых мельниц ограничено высоким расходом электроэнергии на измельчение и соответствующими эксплуатационными затратами. В связи с этим разработана и внедрена эффективная мельничная установка оборудования представляется весьма актуальной задачей.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является краткий обзор характеристик и параметров работы агитируемых мельниц (от англ. stirred mills – мельницы с перемешиванием мелющей среды) зарубежных производителей, применяемых в настоящее время.

МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основным оборудованием, используемым в процессах измельчения, в течение долгого времени оставались шаровые мельницы. Однако возрастающая потребность в тонком и сверхтонком измельчении руд и концентратов показала их главный недостаток для этих целей – высокий расход электроэнергии. В связи с этим возрастает значение применения аппаратов, позволяющих снизить расход электроэнергии [5, 6]. Важным направлением снижения расхода энергии в процессе измельчения является использование правильной технологии и оборудования измельчения для конкретного применения, в частности применение агитируемых мельниц. Агитируемые мельницы более энергоэффективны, чем обычные технологии измельчения (рис. 1.) [7, 8]. Они не менее чем на 50% более энергоэффективны для таких применений, чем обычные шаровые мельницы [9].

В настоящее время существуют различные типы мельниц с перемешиваемой мелющей среды, как вертикальные, так и горизонтальные. Вертикальные мельницы включают в себя башенную мельницу Vertimill, мельницы HiGmill, SMD (Metso-Outotec) и VXPmill (FLSmith). Примерами горизонтальных мельниц с перемешиванием мелющей среды являются мельницы Netzsch/IsaMill и ALC (КНР). Мельницы оснащены штифтами или дисками, установленными на центральном вращающемся валу. Вал распределяет механическую энергию от двигателя к загрузке, когда диски или штифты вращаются вместе с валом. Дей-

³2020 Compendium of Technical Papers // IsaKidd™. Режим доступа: <https://www.glencoretechnology.com/.rest/api/v1/documents/41037d647e29db4dcb9932ac302a59d6/2020+ISAKIDD+Compendium+of+Papers.pdf> (дата обращения: 20.02.2024).

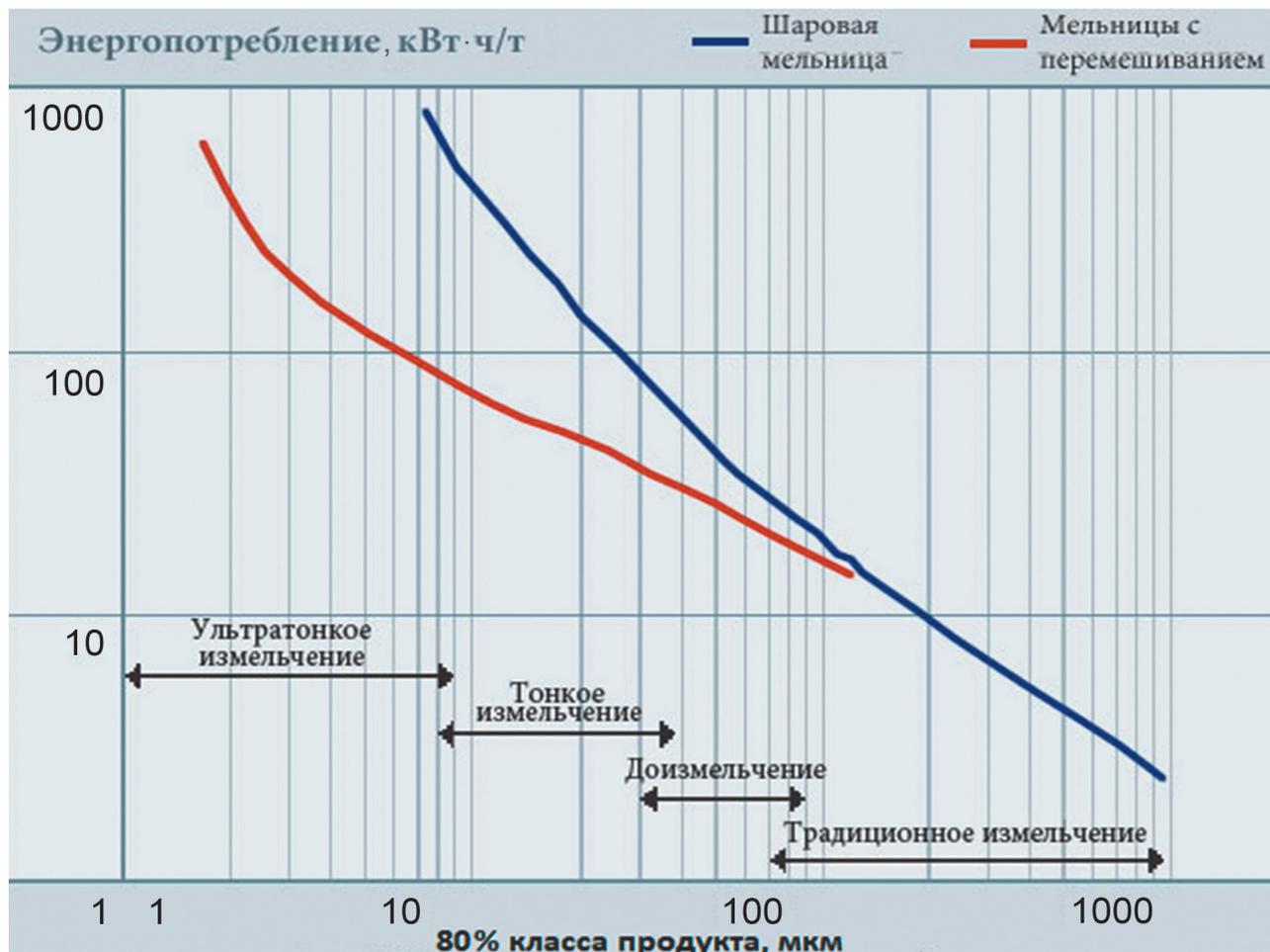


Рис. 1. Энергопотребление на измельчение в шаровой мельнице и мельницах с перемешиванием мелющей среды [8]
 Fig. 1. Energy consumption for grinding in a ball mill and stirred media mills [8]

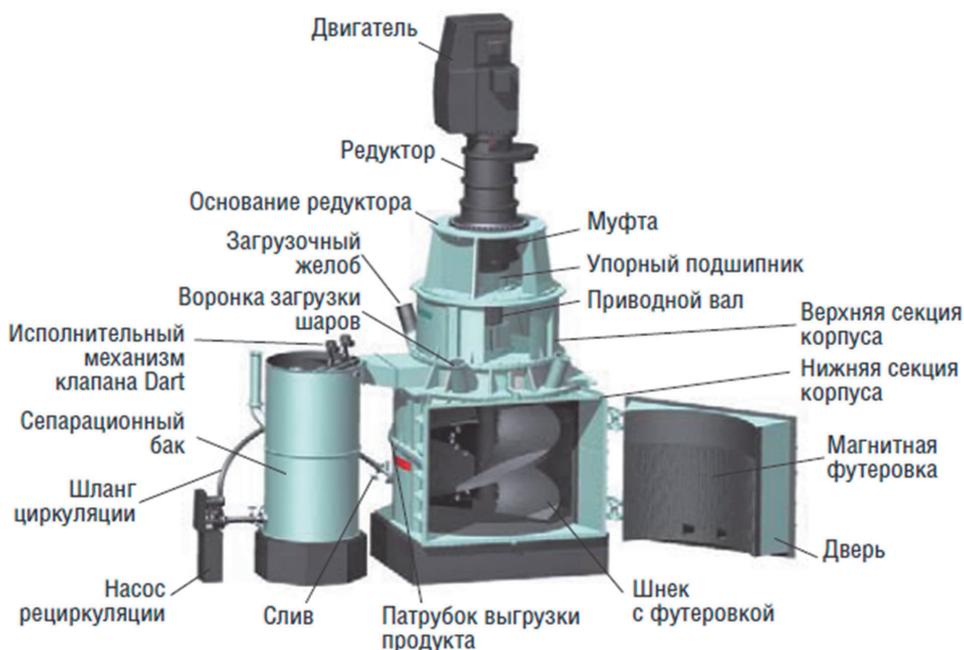


Рис. 2. Мельница Vertimill-Metso-Outotec (вертикальная, перемешиватель в виде шнека). Крупность питания до 6 мм, измельчает до 15–20 мкм. Мелющая среда – стальные шары 5–38 мм, скорость на конце перемешивателя 3 м/с. Мощность на единицу объема – 20–40 кВт/м³

Fig. 2. Vertimill-Metso-Outotec mill (vertical, screw-type agitator). Feed size is up to 6 mm, grinds up to 15–20 μm. Grinding medium is steel balls of 5–38 mm, agitator tip speed is 3 m/s. Power per unit volume is 20–40 kW/m³

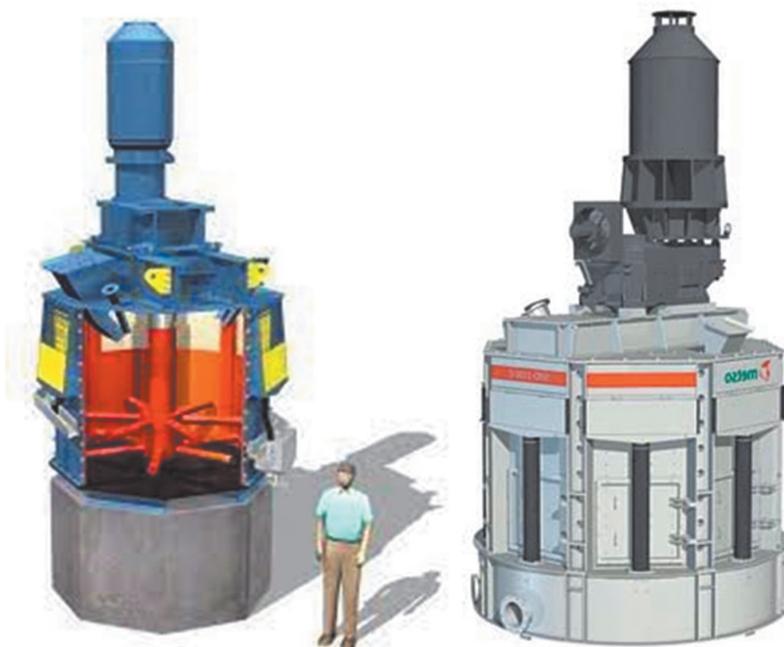


Рис. 3. Мельница SMD (Stirred Media Detritor) Metso-Outotec (вертикальная, перемешиватель – вал со штифтами). Крупность питания от 100 до 15 мкм, продукт до 98% – 2 мкм, стандартно 80% минус 6 мкм. Крупность бисера 1–3 мм. Мощность на единицу объема 50–100 кВт/м³
Fig. 3. SMD (Stirred Media Detritor) Metso-Outotec mill (vertical, a shaft with pins is an agitator). Feed size is from 100 to 15 μm, up to 98% product is 2 μm, usually 80% minus 6 μm. The bead size is 1-3 mm. Power per unit volume is 50-100 kW/m³

ствии измельчения происходит при столкновении измельчающих шариков и минеральных частиц. Ниже приведены конструкции и

основные характеристики применяемых в настоящее время (по данным производителей оборудования) мельниц (рис. 2–6).

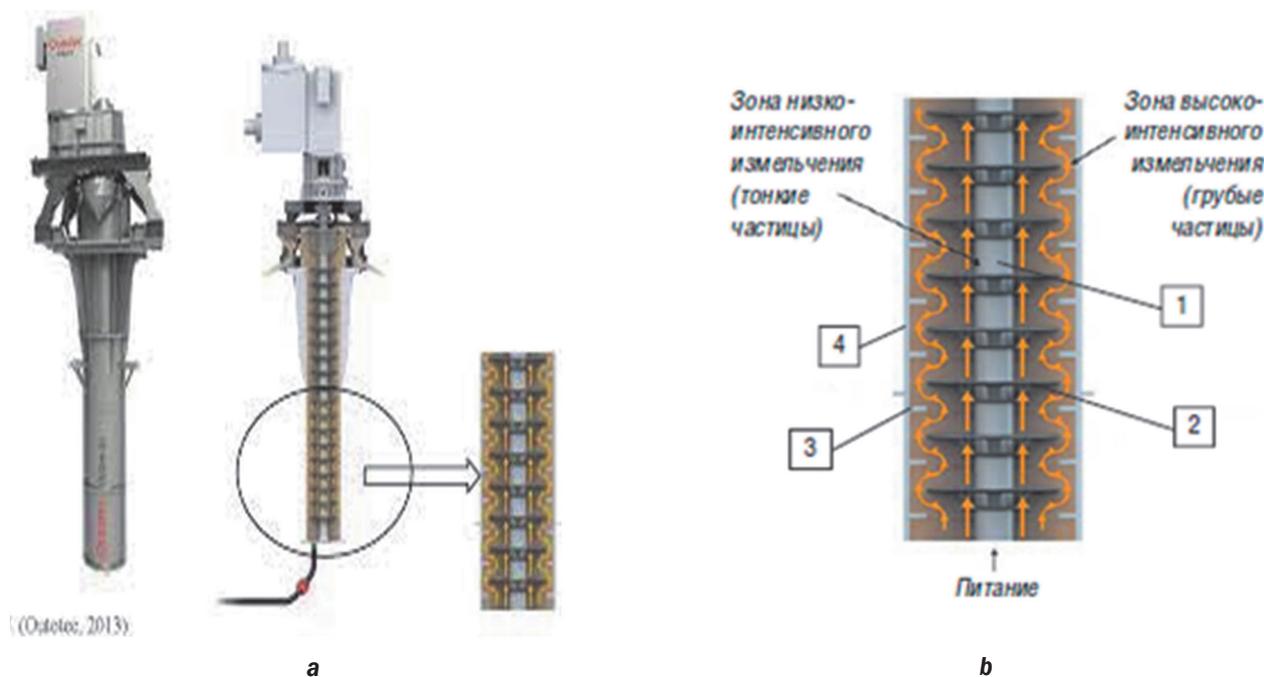


Рис. 4. Мельница (a) HIGmill Metso-Outotec (вертикальная, перемешиватель – вал с дисками); принцип работы мельницы (b) Outotec HIGmill (1 – вращающийся вал, 2 – измельчающие диски, 3 – неподвижные контрдиски, 4 – камера измельчения)
Fig. 4. (a) HIGmill Metso-Outotec mill (vertical, a shaft with discs is an agitator); (b) Outotec HIGmill operating principle (1 – rotating shaft, 2 – grinding discs, 3 – fixed counter discs, 4 – grinding chamber)



a



b

Рис. 5. Мельница VXPmill – FLSmith, ранее Deswik (вертикальная, перемешиватель – вал с дисками), скорость на конце перемешивателя 10–12 м/с. Мощность на единицу объема 240–765 кВт/м³: а – общий вид; б – вал с дисками при монтаже

Fig. 5. VXPmill – FLSmith mill, former Deswik (vertical, a shaft with discs is an agitator), agitator tip speed is 10–12 m/s. Power per unit volume is 240–765 kW/m³: а – general assembly; б – a shaft with discs under installation

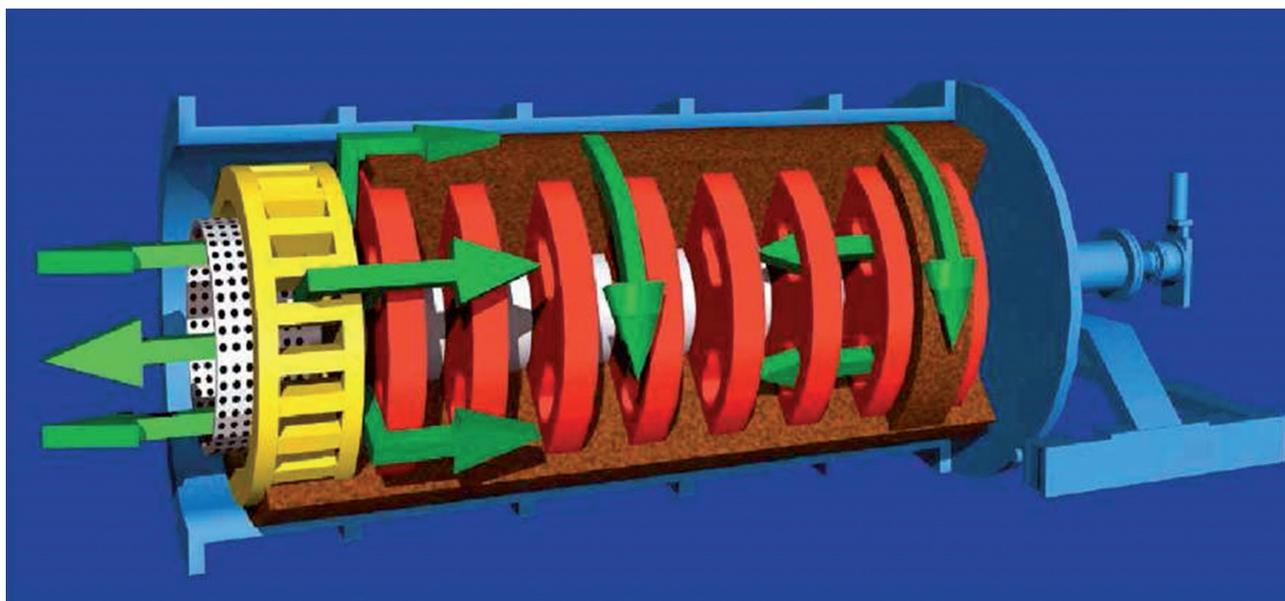


Рис. 6. Мельница Isamill – Glencore, ранее Netzsch/Isamill (горизонтальная, перемешиватель – вал с дисками) скорость на конце перемешивателя более 15 м/с. Мощность на единицу объема 300–1000 кВт/м³

Fig. 6. Isamill – Glencore mill, former Netzsch/Isamill (horizontal, a shaft with discs is an agitator), agitator tip speed is more than 15 m/s. Power per unit volume is 300–1000 kW/m³

Кроме энергоэффективности, мельницы с перемешиваемыми средами в виде бисера производят измельченный продукт, который не содержит железа благодаря использованию инертных керамических измельчающих сред тел [10]. Среда измельчения в отсутствие железа подразумевает меньше эксплуатационных проблем из-за меньшего потребления цианида и флотационных реагентов при последующей обработке.

Мельницы VXPmill и Isamill используют тонкую измельчающую среду и работают на высоких скоростях перемешивателей, что делает их пригодными для сверхтонкого измельчения [11]. В работе [12] приведены основные преимущества VXPmill перед Isamill: нет необходимости уплотнения подшипника вала (пульпа не контактирует с подшипником), отсутствие конструктивных сложностей из-за внутренних механизмов разделения продукта (переполнение продукта через экран удержания среды) и меньшую занимаемую площадь. Однако мельница Isamill более энергонасыщенная.

Анализ специализированной литературы позволил определить основные параметры, влияющие на показатели измельчения в мельницах с перемешиванием мелющей среды. К ним относятся:

Отношение размера бисера к крупности питания: для тонкого питания (менее 40 мкм) – 20:1; для более крупного питания ($F_{50} = 166$ мкм) – 12:1.

Плотность измельчающей среды (бисера) должна быть более чем в три раза выше ожидаемой плотности пульпы измельчаемого продукта, которая составляет от 1,2 до 1,5 кг/дм³ [12].

Помимо плотности бисера, другие соображения, которые следует учитывать, включают твердость, прочность и форму измельчающей среды. Прочные измельчающие среды должны быть хорошо округлены и свободны от дефектов и трещин; носители с дефектами и трещинами легко ломаются, что приводит к неприемлемо высокому износу измельчающей среды [6]. Для эффективного измельчения измельчающая среда должна быть тверже, чем измельчаемый минерал, [13, 14].

Объемная загрузка бисера. Увеличение загрузки бисера увеличивает частоту столкновений, т.е. стрессовые события в камере измельчения при заданной скорости мельницы. Это явление увеличивает площадь мест разрушения частиц в камере измельчения, но рабочий крутящий момент и мощность также увеличиваются [7]. Однако загрузка бисера не должна быть выше 90%, иначе сжатие среды приведет к неприемлемо высокому износу среды и футеровки из-за чрезмерного трения в измельчительной камере [15]. Диапазон загрузки бисера в мельницу составляет от 50 до 83%.

Скорость перемешивания. В специализированных источниках приводится или линейная скорость на конце перемешивателя, или число его оборотов. Наименьшая интенсивность перемешивания наблюдается у мельницы Vertimill. Типичные диапазоны скоростей перемешивания вертикальных мельниц с использованием штифтовых импеллеров: 200–330 об/мин [16], 200–1350 об/мин [17], 260–1000 об/мин [18] и 450, 1000–1500 об/мин [19]. Диапазоны скоростей горизонтальных мельниц с перфорированными дисковыми импеллерами выше, чем у вертикальных мельниц. Типичные скорости горизонтальной перемешиваемой мельницы: 2130–4370 об/мин [14] и 1500–2500 об/мин [20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ литературных данных свидетельствует о высокой эффективности применения мельниц с перемешиванием мелющей среды для тонкого и сверхтонкого измельчения руд и концентратов. К преимуществам указанных мельниц относится существенное снижение расхода электроэнергии на измельчение в сравнении с традиционными шаровыми мельницами. Проведен краткий обзор конструкций и характеристик промышленных агитируемых мельниц, а также параметров, влияющих на показатели измельчения. Учитывая, что объем руд и концентратов, упорных к переработке традиционными способами, увеличивается, применение указанного оборудования будет расширяться, повышая эффективность последующих обогатительных и металлургических операций.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Аксенов А.В., Васильев А.А., Охотин В.Н., Швец А.А. Применение ультратонкого измельчения при переработке минерального сырья // Известия вузов. Цветная металлургия. 2014. № 2. С. 20–25. EDN: SCETUV.
2. Комогорцев Б.В., Вареничев А.А. Совершенствование технологий флотационного обогащения тонкодисперсных сульфидных золотосодержащих руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 10. С. 180–190. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-10-0180-190>.
3. Thomas K.G., Pearson M.S. Pressure oxidation overview // *Gold Ore Processing*. 2016. Chapt. 21. P. 341–358. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63658-4.00021-9>.
4. Miller P., Brown A.R.G. Bacterial oxidation of refractory gold concentrates // *Developments in Mineral Processing*. 2005. Vol. 15. P. 371–402. [https://doi.org/10.1016/S0167-4528\(05\)15016-9](https://doi.org/10.1016/S0167-4528(05)15016-9).
5. El-Shall H., Somasundaran P. Physico-chemical aspects of grinding: a review of use of additives // *Powder Technology*. 1984. Vol. 38. Iss. 3. P. 275–293. [https://doi.org/10.1016/0032-5910\(84\)85009-3](https://doi.org/10.1016/0032-5910(84)85009-3).
6. Ларсон М., Андерсон Г., Моррисон Р., Янг М. Мельницы доизмельчения: проблемы масштабирования. Режим доступа: <https://www.glencoretechnology.com/.rest/api/v1/documents/7ee61fe4c646aa008a2f9a3ad32c6d66/Regrind%20Mills-%20Challenges%20of%20Scaleup%20-%20RUS.pdf> (дата обращения: 25.02.2024).
7. Kwade A., Stender H.H. Constant grinding results at scale-up of stirred media mills // *Aufbereitungs Technik*. 1998. Vol. 39. Iss. 8. P. 373–382.
8. Jankovic A. Variables affecting the fine grinding of minerals using stirred mills // *Minerals Engineering*. 2003. Vol. 16. Iss. 4. P. 337–345. [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(03\)00007-4](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(03)00007-4).
9. Stief D.E., Lawruk W.A., Wilson L.J. Tower mill and its application to fine grinding // *Minerals and metallurgical processing*. 1987. Vol. 4. Iss. 1. P. 45–50. <https://doi.org/10.1007/BF03402674>.
10. Burford B.D., Clark L.W. IsaMill™ technology used in efficient grinding circuits // VIII International Conference on Non-ferrous Ore Processing. 2007. Режим доступа: https://www.glencoretechnology.com/.rest/api/v1/documents/0b7155afb9ff65031120a9cfe530e86e/IsaMill_Technology_Used_in_Efficient_Grinding_Circuits.pdf (дата обращения: 25.02.2024).
11. Lichter J., Davey G. Selection and sizing of ultrafine and stirred grinding mills // *Advances in comminution - kowatra (1)*. Denver: Society for Mining, 2006. P. 69–86.
12. Rahal D., Erasmus D., Major K.J. Knelson-Deswik milling technology: bridging the gap between low and high speed stirred mills // 43rd Annual Meeting of the Canadian Mineral Processors (Ottawa, 18–20 January 2011). Ottawa, 2018. Vol. 35. P. 557–584.
13. Krause C., Pickering M. Evaluation of ultrafine wet mineral milling using carboceramics proppant products for attrition grinding media. Colorado Springs: Metso Minerals Optimization Services, 1998.
14. Becker M., Kwade A., Schwedes J. Stress intensity in stirred media mills and its effect on specific energy requirement // *International Journal of Mineral Process*. 2001. Vol. 61. Iss. 3. P. 189–208.
15. Gao M.W., Weller K.R. Fine grinding in mineral processing using stirred ball mills // *Chemical Engineering in Australia*. 1993. Vol. 18. Iss. 2. P. 8–12.
16. Mankosa M.J., Adel G.T., Yoon R.H. Effect of media size in stirred ball mill grinding of coal // *Powder technology*. 1986. Vol. 49. Iss. 1. P. 75–82. [https://doi.org/10.1016/0032-5910\(86\)85008-2](https://doi.org/10.1016/0032-5910(86)85008-2).
17. Mankosa M.J., Adel G.T., Yoon R.H. Effect of operating parameters in Stirred Ball Mill Grinding of Coal // *Powder technology*. 1989. Vol. 59. Iss. 4. P. 255–260.
18. Zheng Jie, Harris C.C., Somasundaran P. A study on grinding and energy input in stirred media mills // *Powder Technology*. 1996. Vol. 86. Iss. 2. P. 171–178. [https://doi.org/10.1016/0032-5910\(95\)03051-4](https://doi.org/10.1016/0032-5910(95)03051-4).
19. Fadhel H.B., Frances C. Wet batch grinding of alumina hydrate in a stirred bead mill // *Powder Technology*. 2001. Vol. 119. Iss. 2. P. 257–268. [https://doi.org/10.1016/S0032-5910\(01\)00266-2](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(01)00266-2).
20. Ouattara S., Frances C. Grinding of calcite suspensions in a stirred media mill: effect of operational parameters on the product quality and the specific energy // *Powder Technology*. 2014. Vol. 255. P. 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2013.11.025>.

References

1. Aksenov A.V., Vasilev A.A., Okhotin V.N., Shvetz A.A. Using ultrafine grinding in mineral raw material processing. *Izvestiya. Non-Ferrous Metallurgy*. 2014;2:20-25. (In Russ.). EDN: SCETUV.
2. Komogortsev B.V. Varenichev A.A. Improvement of flotation technologies for finely dispersed gold-bearing sulfide ore. *Mining informational and analytical bulletin*. 2018;10:180-190. (In Russ.). <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-10-0180-190>.
3. Thomas K.G., Pearson M.S. Pressure oxidation overview. In: *Gold Ore Processing*. 2016;21:341-358. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-63658-4.00021-9>.
4. Miller P., Brown A.R.G. Bacterial oxidation of refractory gold concentrates. In: *Developments in Mineral Processing*. 2005;15:371-402. [https://doi.org/10.1016/S0167-4528\(05\)15016-9](https://doi.org/10.1016/S0167-4528(05)15016-9).

5. El-Shall H., Somasundaran P. Physico-chemical aspects of grinding: a review of use of additives. *Powder Technology*. 1984;38(3):275-293. [https://doi.org/10.1016/0032-5910\(84\)85009-3](https://doi.org/10.1016/0032-5910(84)85009-3).
6. Larson M.G., Anderson G., Morrison R.D., Young M.F. Re grind mills – Challenges of Scaleup. Available from: <https://www.glencoretechnology.com/.rest/api/v1/documents/7ee61fe4c646aa008a2f9a3ad32c6d66/Regrind%20Mills-%20Challenges%20of%20Scaleup%20-%20RUS.pdf> [Accessed 25th February 2024]. (In Russ.).
7. Kwade A., Stender H.H. Constant grinding results at scale-up of stirred media mills. *Aufbereitungs Technik*. 1998;39(8):373-382.
8. Jankovic A. Variables affecting the fine grinding of minerals using stirred mills. *Minerals Engineering*. 2003;16(4):337-345. [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(03\)00007-4](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(03)00007-4).
9. Stief D.E., Lawruk W.A., Wilson L.J. Tower mill and its application to fine grinding. *Minerals and metallurgical processing*. 1987;4(1):45-50. <https://doi.org/10.1007/BF03402674>.
10. Burford B.D., Clark L.W. IsaMill™ technology used in efficient grinding circuits. In: *VIII International Conference on Non-ferrous Ore Processing*. 2007. Available from: https://www.glencoretechnology.com/.rest/api/v1/documents/Ob7155afb9ff65031120a9cfe530e86e/IsaMill_Technology_Used_in_Efficient_Grinding_Circuits.pdf [Accessed 25th October 2024].
11. Lichter J., Davey G. Selection and sizing of ultrafine and stirred grinding mills. In: *Advances in comminution - kowatra (1)*. Denver: Society for Mining; 2006, p. 69-86.
12. Rahal D., Erasmus D., Major K.J. Knelson-Deswik milling technology: bridging the gap between low and high speed stirred mills. In: *43rd Annual Meeting of the Canadian Mineral Processors*. 18–20 January 2011, Ottawa. Ottawa; 2018, vol. 35, p. 557-584.
13. Krause C., Pickering M. *Evaluation of ultrafine wet mineral milling using carboceramics proppant products for attrition grinding media*. Colorado Springs: Metso Minerals Optimization Services; 1998.
14. Becker M., Kwade A., Schwedes J. Stress intensity in stirred media mills and its effect on specific energy requirement. *International Journal of Mineral Process*. 2001;61(3):189-208.
15. Gao M.W., Weller K.R. Fine grinding in mineral processing using stirred ball mills. *Chemical Engineering in Australia*. 1993;18(2):8-12.
16. Mankosa M.J., Adel G.T., Yoon R.H. Effect of media size in stirred ball mill grinding of coal. *Powder technology*. 1986;49(1):75-82. [https://doi.org/10.1016/0032-5910\(86\)85008-2](https://doi.org/10.1016/0032-5910(86)85008-2).
17. Mankosa M.J., Adel G.T., Yoon R.H. Effect of operating parameters in stirred ball mill grinding of coal. *Powder technology*. 1989;59(4):255-260.
18. Zheng Jie, Harris C.C., Somasundaran P. A study on grinding and energy input in stirred media mills. *Powder Technology*. 1996;86(2):171-178. [https://doi.org/10.1016/0032-5910\(95\)03051-4](https://doi.org/10.1016/0032-5910(95)03051-4).
19. Fadhel H.B., Frances C. Wet batch grinding of alumina hydrate in a stirred bead mill. *Powder Technology*. 2001;119(2):257-268. [https://doi.org/10.1016/S0032-5910\(01\)00266-2](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(01)00266-2).
20. Ouattara S., Frances C. Grinding of calcite suspensions in a stirred media mill: effect of operational parameters on the product quality and the specific energy. *Powder Technology*. 2014;255:89-97. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2013.11.025>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Войлошников Григорий Иванович,

д.т.н., профессор,
заместитель генерального директора
по научно-методической и инновационной деятельности,
Иркутский научно-исследовательский институт
благородных и редких металлов и алмазов,
664025, г. Иркутск, ул. Бульвар Гагарина, 38, Россия
✉ greg@irgiredmet.ru

Grigory I. Voiloshnikov,

Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Deputy Director for Science, Methodology and
Innovations,
Irkutsk Research Institute of Precious
and Rare Metals and Diamonds,
38, Gagarin Blvd., Irkutsk 664025, Russia
✉ greg@irgiredmet.ru

Чикин Андрей Юрьевич,

д.т.н., профессор,
профессор кафедры технологий,
предпринимательства и методик их преподавания,
Иркутский государственный университет,
664011, г. Иркутск, ул. Нижняя Набережная, 6, Россия
anchik53@mail.ru
<https://orcid.org/0000-003-1489-5581>

Andrey Yu. Chikin,

Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Professor of the Department of Technology,
Entrepreneurship and Training Methods,
Irkutsk State University,
6 Nizhnyaya Naberezhnaya, Irkutsk 664011, Russia
anchik53@mail.ru
<https://orcid.org/0000-003-1489-5581>

Заявленный вклад авторов

Authors' contribution

Войлошников Г.И. – формирование концепции статьи,
анализ литературных источников, подготовка текста.
Чикин А.Ю. – общее редактирование текста статьи.

Grigory I. Voiloshnikov formed the concept of the
article, analysed the literature on the research problem,
prepared the text of the article. Andrey Yu. Chikin
performed general editing of the text of the article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 20.06.2024 г.; одобрена после рецензирования 13.07.2024 г.; принята к публикации 20.07.2024 г.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Information about the article

The article was submitted 20.06.2024; approved after reviewing 13.07.2024; accepted for publication 20.07.2024