

Литература

1. Мытько Д. Ю., Вайтехович П. Е. (2021), Гидродинамика и эффективность регулярно-структурированных зигзагообразных насадок, Химическая технология и техника: материалы 85-й науч.-техн. конф. профес.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 2021, С. 56–58.
2. Бальчугов А. В., Шевель С. О., Бадеников А. В. (2020), Применение метода наименьших квадратов для обработки результатов экспериментов по определению брызгоуноса в слое насадки, Высокие технологии, наука и образование: актуальные вопросы, достижения и инновации, Пенза, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», 2020, С. 102–105.
3. Рамм, В.М. (1976), Абсорбция газов, Москва, Химия, 656 с.
4. Каган А. М. (2013), Контактные насадки промышленных тепло-массообменных аппаратов: монография, Казань, Отечество, 454 с.

УДК 621.926

Боровский Д.Н., Козловский В.И., Гребенчук П.С.
(БГТУ)

ПОМОЛ СТЕКЛОБОЯ В МЕЛЬНИЦАХ С ШАРОВОЙ ЗАГРУЗКОЙ

Утилизация и переработка минерального сырья, в частности отходов стекла, является актуальной задачей в различных отраслях промышленности. Переработанное стекло легко возвращается в производственный цикл при изготовлении различных видов листового и бутылочного стекла, теплоизоляционного волокна и иных строительных материалов на его основе. Помимо экономии сырья, введение стекловолокна в состав стекольной шихты снижает ее температуру плавления и уменьшает время варки, что позволяет экономить до 10% электроэнергии, затрачиваемой на процесс.

Стекло относится к высокоабразивным материалам средней прочности, не меняющим своих свойств с увеличением влажности. По данным предыдущих исследований тонкое измельчение таких материалов целесообразно проводить в мельницах различных конструкций с шаровой загрузкой [1–3].

Целью экспериментальных исследований являлось получение максимального выхода продукта фракцией 40÷100 мкм. Эффективность помола оценивалась по фракционному составу, который был получен

на рассеивающей машине Retsch AS 200 с набором сит от 20 мкм до 2 мм. По полученным данным были построены графики зависимости гранулометрического состава от режимных параметров измельчителей.

Исследования процесса помола стеклобоя проводились в различных типах мельниц, использующих шаровую загрузку, а именно: вибрационная, барабанная шаровая, планетарная [4] и вертикальная центробежно-шаровая мельницы [2]. Данные помольные машины разработаны и изготовлены на кафедре «Машины и аппараты химических и силикатных производств» УО «БГТУ».

Опыты проводились на *вибрационной мельнице* при фиксированной частоте вращения выходного вала 1470 мин^{-1} . При этом продолжительность однократного помола находилась в пределе $2,5 \div 5 \text{ мин}$. с шагом в 2,5 мин. В качестве загрузки использовались стальные цельпесы с размером $70 \times 45 \text{ мм}$.

Требовалось получить готовый продукт с фракционным составом, находящимся в пределах $40 \div 100 \text{ мкм}$. Как видно из графика (рис. 1), с увеличением времени помола остаток на сите 100 мкм снижается, но все же имеет довольно большое значение – порядка 57% и выше.

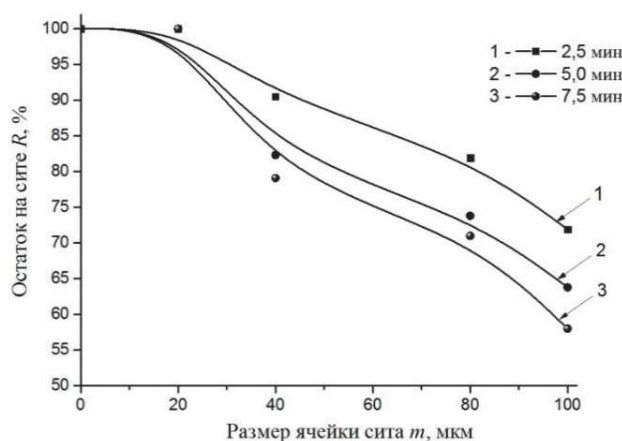


Рисунок 1 – Фракционный состав измельченного стекла при помоле в вибрационной мельнице

В то же время из-за периодической работы мельницы с увеличением времени измельчения происходит и увеличение количества мелкой фракции – менее 40 мкм. Остаток на сите 40 мкм при этом достигает 21%. Эти экспериментальные данные свидетельствуют о нецелесообразности применения данной мельницы для получения узкой фракции $40 \div 100 \text{ мкм}$ при однократном измельчении.

Следующей помольной машиной была выбрана *барабанная шаровая мельница* периодического действия. Эта конструкция в различных ее вариантах общеизвестна и широко используется во всех отраслях

промышленности, особенно там, где требуется получить тонкий продукт при существенной производительности. В качестве мелющих тел использовались керамические цельпесы с размером 35×20 мм. Время помола составляло 2 часа, после которого в готовом продукте остаток на сите 100 мкм составляет около 80%. Это говорит о том, что необходимо существенно увеличивать время цикла, но при этом производительность мельницы будет снижаться, что для промышленного производства безусловно имеет значение. Поэтому для помола стеклобоя узконаправленного фракционного состава данная мельница также не подходит.

Третьей мельницей с шаровой загрузкой была выбрана *вертикальная центробежно-шаровая мельница с классификатором* [2].

В качестве мелющих тел использовалась комбинированная загрузка стальных шаров диаметром $2,8 \div 18$ мм. Линейная скорость ротора составляла 11,6 м/с, скорость воздушного потока в кольцевом зазоре – 25 м/с, линейная скорость корзины классификатора – 4 м/с.

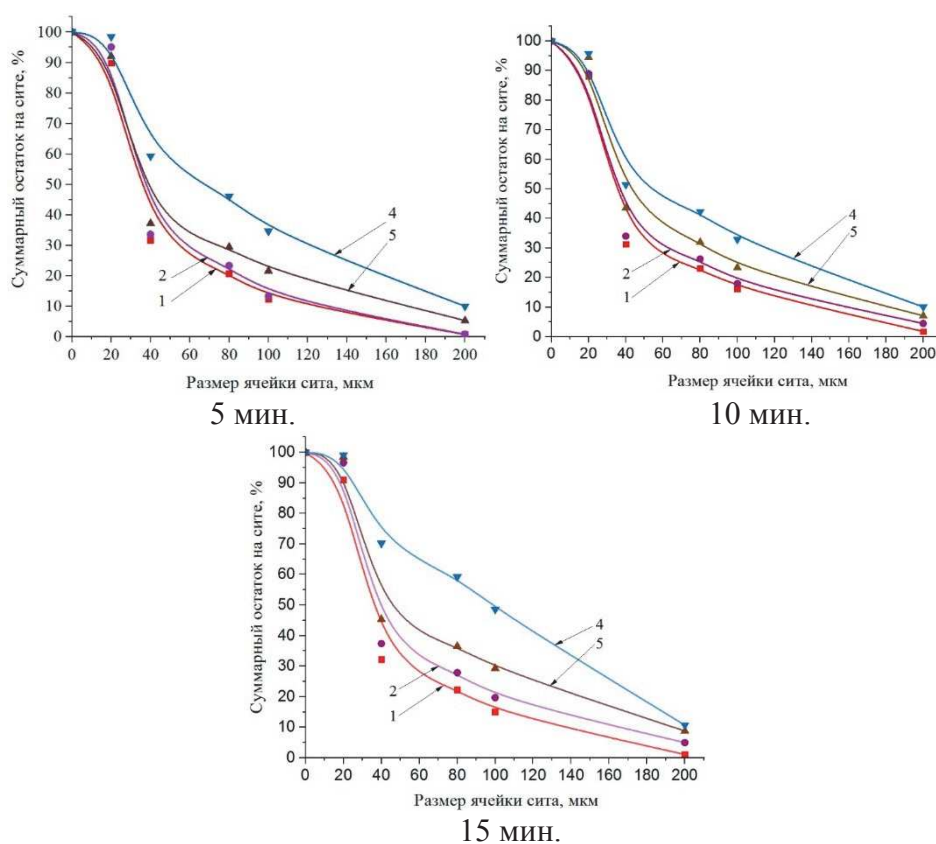
При измельчении на данной мельнице остаток на сите 100 мкм составляет всего 6%. Процентное содержание частиц менее 40 мкм – около 40%. Снизить содержание мелкой фракции в данном помольном агрегате можно, например, за счет уменьшения линейной скорости корзины классификатора. Таким образом, наиболее целесообразно применить для получения готового продукта с размером частиц $40 \div 100$ мкм вертикальную центробежно-шаровую мельницу. Доля годного продукта при этом составляет около 54%.

Четвертой мельницей с шаровой загрузкой в качестве объекта для экспериментальных исследований была выбрана вертикальная планетарная мельница периодического действия [4] с максимальной угловой скоростью стаканов $\omega = 140$ рад/с. Ее основные геометрические параметры помольных стаканов следующие: $D_B = 120$ мм, $L_B = 90$ мм, расстоянием между осями стаканов – 260 мм, $k = 0,24$ и $b = 1,7$. Стаканы заполнялись мелющими телами $d_{ш} = 18$ мм и измельчаемым материалом в различном объемном соотношении.

Помол стеклобоя осуществлялся в течение трех промежутков времени – 5, 10 и 15 мин., и при различном процентном соотношении мелющих тел к измельчаемому материалу – 1:1, 1:0,8, 1:0,5 и 1:0,3. По результатам экспериментов были построены графические зависимости фракционного состава продукта для разных комбинаций начальных параметров (рис. 2).

Из построенных графических зависимостей видно, что при увеличении степени заполнения измельчаемым продуктом помольных стаканов при фиксированном проценте мелющих тел тонина готового

порошка увеличивается. Причем дисперсность готового продукта при соотношении 1:1 и 1:0,8 при 5 мин. измельчения идентична, заметные отличия наблюдаются только при помоле свыше 10 мин.



**Рисунок 2 – Фракционный состав измельченного стекла при помоле на планетарной мельнице периодического действия:
1 – соотношение мелющие тела к материалу 1:1; 2 – 1:0,8; 3 – 1:0,5; 4 – 1:0,3**

При степени заполнения 1:1 и 1:0,8 остаток на сите 200 мкм практически отсутствует и составляет в зависимости от времени $0,7 \div 5,1\%$. В данном случае в помольном стакане на материал воздействует большее раздавливающее, истирающее и ударное усилия. В то же время для соотношений 1:0,5 и 1:0,3 остаток повышается – $5,3 \div 10,7\%$. Это связано с тем, что при меньшем количестве материала может наблюдаться отсутствие контакта его с мелющими телами и, как следствие, не будет происходить его измельчение.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования показали, что для измельчения стеклобоя до крупности частиц в готовом продукте 100 мкм и менее шаровой помол целесообразно использовать и, в частности, одну из наиболее эффективных конструкций в этом сегменте – вертикальную центробежно-шаровую мельницу. Следует отметить, что использование классификационной камеры

при непрерывном режиме работы агрегата предпочтительно. Также полученные результаты экспериментов позволили оценить эффективность процесса измельчения стеклобоя в планетарной мельнице и отмечено, что для достижения наибольшего процента частиц с размером меньше 100 мкм целесообразно применять соотношение мелющие тела к материалу 1:1.

Литература

1. Богданов, В.С. Шаровые барабанные мельницы / В.С. Богданов. – Белгород: БелГТАСМ, 2002. – 258 с.
2. Боровский Д.Н. Тонкое измельчение материалов малотоннажных производств в быстроходных центробежно-шаровых мельницах: автореф. дис. ... к-та. техн. наук: 05.02.13 / Д.Н. Боровский; Бел. гос. технолог. ун-т. – Минск, 2015. – 23 с.
3. Гребенчук, П.С. Тонкое измельчение стеклобоя в мельницах различных конструкций / П.С. Гребенчук, Д.Н. Боровский // Вестник ПГУ. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки. – 2018. – Новополоцк. – №3. – С. 79–83.
4. Боровский, Д.Н. Тонкое измельчение стеклобоя в планетарной мельнице / Д.Н. Боровский, А.А. Гарабажиу, О.А. Петров, Д.В. Семенов // Вестник ПГУ. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки. – 2020. – Новополоцк. – №3. – С. 35–38.

УДК 621.926

Козловский В.И., Петров О.А., Боровский Д.Н.
(БГТУ)

РАСЧЕТ ДИАМЕТРА ВАЛА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ БИСЕРНОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Одним из основных элементов горизонтальной бисерной мельницы (ГБМ) является вал ротора, от параметров которого зависит производительность и ресурс работы оборудования, так как он непосредственно связан со всеми ответственными узлами и деталями. Поэтому правильное конструирование вала и ротора в целом оказывает значительный эффект на работоспособность машины.

Основными параметрами, которые будут оказывать отрицательное воздействие на работоспособность конструкции, являются величина смещения вала (прогиб) от оси вращения на консоли и величина смещения вала в месте установки уплотнения.