



Teorie a analýza

Technické vědy

УДК 622.73

СТРУЙНОЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ: ИСТОРИЯ ПРОЦЕССА И АППАРАТОВ

И. А. Серебряник
А. В. Дружинина

*Кандидат технических наук, доцент,
студентка,
Иркутский национальный
исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия*

JET MILLING: A HISTORY OF PROCESS AND MACHINES

I. A. Serebryanik
A. V. Druzhinina

*Candidate of Technical Sciences,
assistant professor,
student,
Irkutsk National Research
Technical University,
Irkutsk, Russia*

Summary. The article presents the history of jet milling and jet mills. Analyzes the major types of mills, their specifics. The main advantages and disadvantages of jet grinding. The author describes the different methods of grinding: inkjet, thermal, electro, ultrasonic grinding and others. It described in detail the principle of jet milling and the history of the development of the first jet mills. It is told about the invention of a countercurrent mill.

Keywords: jet grind; jet mill; grinding chamber; grinding; crushing.

Проблемы дробления и измельчения привлекают исследователей уже более 150 лет. За это время были выявлены многие закономерности этих процессов, на основе которых разработаны методики расчета мельниц и технологических циклов помола. Как правило, закономерности были эмпирической природы и касались ограниченного числа материалов в узком диапазоне дисперсности. В последнее время процессы измельчения становятся особенно актуальными в связи с тенденциями получения более тонких порош-

ков. Появилось много новых методов измельчения. К таким методам относятся струйное, термическое, электрогидравлическое, ультразвуковое измельчение и другие. Если же говорить о промышленном использовании, то широкое применение находит струйное измельчение.

В струйных мельницах измельчаемый материал разрушают одним из следующих способов: при ударе о специально установленную преграду; в результате взаимного столкновения частиц при тангенциальной подаче потока газа в камеру для измель-



чения; при столкновении частиц противоположно направленных струй.

Принцип струйного измельчения, основанный на ударе частиц о неподвижную преграду, является одним из наиболее старых. Первые конструкции струйных мельниц были запатентованы еще в 1880 г. [4, с. 45]. Начало же более масштабной разработки струйных мельниц следует отнести к 1927 г. [2, с. 93]. В 1936 г. фирма И. Г. Фарбениндустри провела испытания опытного образца мельницы, построенной по лицензии американской фирмы «Микронайзер». Результаты испытаний не дали ожидаемого результата. Продукт, полученный в ходе испытаний, не превышал дисперсность продуктов, полученных на других видах измельчителей, затраты же на помол были слишком велики. Ввиду вышеперечисленного, исследования в области работы струйных мельниц были прекращены.

По окончании Второй мировой войны совершенствование струйных мельниц продолжалось. В течение 1945–1961 гг. ежегодно появлялись одна-две обзорные статьи или рекламные проспекты по струйным мельницам. Механика струйных мельниц и методика их расчета практически не рассматривалась. Лишь в 1959–1960 гг. в иностранной литературе появились первые статьи с изложением некоторых вопросов теории струйных мельниц [1, с. 45].

Первоначально струйные мельницы изготавливались в США и не продавались за границу. Лишь в 1955–1956 гг. английская фирма «Берк и Ко» предложила СССР струйные мельницы с плоской горизонтальной камерой, предназначенные для сверхтонкого помола двуокиси титана. Однако известно, что в СССР существовали более ранние разработки, касающиеся струйного измельчения. В 1925 г. здесь была изготовлена мельница ударного действия под названием «Пушка». Она предназначалась для измельчения фрезерного торфа, но

вследствие целого ряда недостатков промышленного применения не получила.

В 1957 г. фирма «Макро Редакшн Процессис Лимитед» поставила в СССР две струйные мельницы с вертикальными трубчатыми камерами, а в 1958 г. были завезены образцы струйных мельниц с плоскими горизонтальными камерами диаметром 200 и 50 мм, изготовленные в ГДР. Струйные мельницы производили также и в ФРГ, и в других странах.

В СССР тоже велись разработки, касающиеся струйного измельчения, а именно струйных мельниц ударного типа. В лаборатории Центрального котлотурбинного института была изобретена высокоскоростная мельница, в которой в качестве энергоносителя использовался воздух, нагретый до 250 °С. Испытания мельницы не дали хороших результатов. Во-первых, наблюдался высокий удельных расход электроэнергии (70–140 кВт·ч/т донецкого угля); во-вторых, большая степень переизмельчения угля.

Далее развитие струйного измельчения шло по пути усовершенствования мельниц ударного типа. Примером тому может служить пневмомельница «Ангера» Всесоюзного теплотехнического института. К ее недостаткам можно отнести большую металлоемкость, повышенный износ разгонного аппарата при измельчении абразивных топлив, сложность поддержания номинальных режимов работы вследствие повышенных подсосов воздуха. В 1934 г. была разработана струйная мельница с плоской цилиндрической помольной камерой и тангенциальным вводом измельчаемого материала «Микронайзер». Зарубежные источники признают этот метод наиболее распространенным при измельчении материалов с высокой дисперсностью.

Следующий этап развития струйных мельниц – появление мельниц с трубчатой помольной камерой «Джет-о-Майзер», которые были впервые применены для тонкого измельчения



каменного угля. Основным преимуществом такой мельницы была простота изготовления и конструкции помольной камеры. Недостатком является быстрый износ их по причине того, что основная масса материала движется в пристеночной области трубы.

По-настоящему промышленное применение струйных мельниц началось с изобретением противоточной мельницы. Первоначально такой аппарат был создан в 1917 г. фирмой «Маяк» на основе патента Виллоуби. Затем на базе этой модели был произведен целый ряд отечественных конструкций (мельницы типа СП) как в нашей стране, так и за рубежом (мельницы фирм «Блоу Нокс» и «Маяк»). В таких установках используется энергия двух встречных струй, разрушение частиц происходит в результате их взаимного столкновения. Поэтому износ элементов мельницы и загрязнение измельчаемого материала продуктами износа невелики по сравнению с другими более ранними конструкциями.

Следующей разновидностью противоточной струйной мельницы стала мельница, предложенная в 1931 году Н. Эндрюсом и В. Виллоуби. В такой мельнице помольная камера изготовлена в виде кольца с вмонтированными по его периметру двумя рядами инжекторных узлов. В результате в центре помольной камеры сталкиваются сразу несколько струй смеси газа с измельчаемым материалом. Последний разделяется по крупности за счет изменения аэродинамического режима потока по пути его движения в классификационном пространстве. Недоизмельченный материал по трубам возвращается на измельчение, а готовый продукт выносится из мельницы. Образцы таких мельниц были переданы в серийное производство в 1964 году.

Сейчас совершенствование в области струйного измельчения идет по пути создания конструкций с большей произ-

водительностью. Из практики известно, что нецелесообразно применять воздух в струйных мельницах с диаметром помольной камеры более 100 мм. При этом отдается предпочтение энергоносителю повышенной температуры – перегретому пару. Хотя применение пара является достаточно сложным из-за трудоемкой подготовки энергоносителя.

В 1957 г. была впервые описана промышленная установка струйной мельницы с двумя помольными эжекторами. В 1959 г. появились сообщения о разработке в США опытного образца мельницы типа СП производительностью 30 т/ч.

Дальнейшие исследования отечественных и зарубежных ученых направлены на поиски путей снижения энергоемкости струйных мельниц. В монографии В. И. Акунова сделана попытка систематизировать и обобщить накопленный экспериментальный материал по струйному измельчению [2]. В дальнейших работах особое внимание уделено новому направлению в области струйного измельчения – газоструйному методу, основанному на использовании газового энергоносителя высокой температуры [3].

Сегодня под названием «струйная измельчительная установка» понимается комплекс агрегатов и узлов системы, обеспечивающей получение материала заданной крупности за счет энергии газов или пара. Основными узлами струйной измельчительной установки являются источники газового энергоносителя, собственно мельница и пылеулавливающая система с устройствами для транспортировки материала и газа.

Как показала практика, струйный метод измельчения обладает многими преимуществами: высокой интенсивностью разрушения материала; низкой металлоемкостью; максимально четкой классификацией частиц по размерам; однородной крупностью конечного продукта; минимальной степенью



загрязнения измельчаемого материала (конструкционная возможность выполнить небольшие участки, подвергающиеся интенсивному локальному воздействию, из высокой образивостойкой керамики или твердых сплавов, определяет малые величины загрязнения конечного продукта материалами износа); возможностью совмещения измельчения с другими процессами – химической обработкой, сушкой, обжигом; простотой устройства и отсутствием движущихся частей в струйных измельчителях; относительной малогабаритностью; долговечностью. Отсутствие существенных механических напряжений в конструкциях помольной камеры делает эти машины весьма долговечными.

Необходимо также выделить недостатки, присущие струйному помолу, среди них можно назвать: износ разгонного аппарата (в струйных мельницах значительно изнашивается разгонный аппарат и, прежде всего, конфузор, расположенный в начале разгонной трубки, а также отбойная плита; тем не менее, общий расход металла на износ струйных мельниц ниже, чем у шаровых); значительно большие, по сравнению с шаровым измельчением, энергозатраты (в среднем струйная мельница, размалывая в тончайший порошок 1 тонну породы, тратит свыше 8 тысяч кВт); потери мате-

риала, уносимого отработанным газом; дополнительные затраты на очистку отработанного газа.

Струйный помол применяется в различных видах промышленности. Объясняется это не только возможностью получения высокодиспергированных материалов со средним размером частиц менее 1 мкм, но и высокой чистотой продукта.

Библиографический список

1. Акунов В. И. Струйное измельчение горных пород // Горный журнал. – 1985. – № 4. – С. 35–38.
2. Гарднер Р. П., Аустин Л. Г. Труды Европейского совещания по измельчению. – М.: Стройиздат, 1966.
3. Шквирский А. В., Гершович В. И. Моделирование системы управления процессом измельчения известняка и бентонита на ЭВМ. – Днепропетровск, 1993. – 8 с.

Bibliografickij spisok

1. Akunov V. I. Strujnoe izmelchenie gornyh porod // Gornyj zhurnal. – 1985. – № 4. – S. 35–38.
2. Gardner R. P., Austin L. G. Trudy Evropejskogo soveshhanija po izmelcheniju. – M.: Strojizdat, 1966.
3. Shkvirskij A. V., Gershovich V. I. Modelirovanie sistemy upravlenija processom izmelchenija izvestnjaka i bentonita na JeVM. – Dnepropetrovsk, 1993. – 8 s.

© Серебряник И. А., 2015