

ЛЕКЦИЯ

«Факторы, обуславливающие необходимость подготовки руд и флюсов.

Часть 1. Дробление и измельчение»

Извлеченные из земных недр руды в большинстве случаев не могут быть непосредственно использованы в металлургическом производстве и проходят поэтому сложный цикл последовательных операций подготовки к плавке. Отметим, что при добыче руды открытыми разработками в зависимости от расстояния между взрывными шпурами и размера ковша экскаватора величина крупных глыб руды может достигать 1000-1500 мм. При подземной добыче максимальный размер куска не превышает обычно 350 мм. Во всех случаях добываемая руда содержит и большое количество мелких фракций.

Производительность металлургических печей, расход топлива и качество получаемых металлов и сплавов зависят от состава исходных материалов для плавки – металлсодержащего сырья (агломерат, окатыши), кокса и флюсов. На сегодня установлено оптимальное содержание металла в шихтовых материалах для разных процессов. Так, для доменной плавки оптимальное содержание железа должно быть на уровне 60-61% и выше. Однако обычно содержание железа (и других металлов) в добываемых рудах значительно ниже; кроме того, многие из них содержат вредные примеси, ухудшающие качество сплавов, например, серу и фосфор. Поэтому перед плавкой руды подвергают специальной подготовке, цель которой состоит в увеличении содержания металлсодержащих компонентов в шихте, повышении ее однородности по кусковатости и химическому составу.

Подготовка руды к плавке включает следующие основные стадии: дробление и сортировка по крупности; обогащение; окускование. Метод подготовки добываемой руды зависит от ее качества и физико-химических свойств (состав, прочность и др.).

Рассмотрим теперь более подробно отдельные стадии подготовки сырья к плавке.

ДРОБЛЕНИЕ И ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ (ПОМОЛ).

Независимо от последующей схемы подготовки руды к плавке вся добываемая руда проходит прежде всего стадию первичного дробления, так как величина крупных кусков и глыб при добыче намного превышает размер куска руды, максимально допустимый по условиям технологии доменной плавки.

Поскольку эта стадия подготовки сырья является самой энергозатратной, то необходимо соблюдать одно простое, но важное **правило**: не измельчать ничего лишнего, т.е. измельчение любого материала необходимо вести только до той степени тонкости, которая требуется для дальнейшей его переработки или применения, частицы материала, измельченные до требуемого размера должны удаляться из машины.

По техническим требованиям для доменного процесса размер кусков руды 40-100 мм, для мартеновских печей 20-40 мм, для агломерации 6-10 мм, а для обогащения в ряде случаев требуется менее 0,1 мм.

Дробление – это разрушение твердых тел до требуемых размеров.

По размеру (крупности) измельченного продукта различают:

Дробление:	помол:
грубое (300-100 мм),	грубый (1000-500 мкм),
среднее (100-25 мм)	средний (500-100 мкм),
мелкое (25-1 мм)	тонкий (100-40 мкм)
	сверхтонкий (< 40 мкм)

Цель дробления - получение кускового продукта необходимой крупности и гранулометрического, или фракционного, состава, подготовка к помолу.

Цель помола - увеличение дисперсности твердого материала, придание ему определенных гранулометрич. состава и формы частиц (остроугольные, скатанные, чешуйчатые и т. п.), дезагрегирование.

Основными характеристиками процесса дробления являются:

- степень дробления (измельчения), которая выражается отношением среднего размера кусков (зерен) исходного материала к среднему размеру кусков (зерен, частиц) измельченного продукта;
- уд. энергетич. затраты (в кВт.ч на 1 т продукта).

Главные характеристики продукта измельчения – гранулометрический состав (в %) и удельная поверхность (в см²/г).

Измельчение может быть **сухим** (как правило, при грубом и среднем дроблении) и **мокрым** (часто при мелком дроблении и помоле).

Сухое измельчение проводят в воздушной среде или в инертных газах (при переработке окисляющихся, пожаро- и взрывоопасных материалов).

Мокрое измельчение (исходный материал смешивают с жидкостью, преимущественно с водой) применяют, например, при обогащении руд методом флотации или при необходимости исключить пылеобразование. Часто мокрое измельчение проводят **с добавками ПАВ**. Последние препятствуют агрегированию мелких частиц и позволяют получать тонкие порошки с модифицированной (гидрофобизированной или гидрофилизированной) поверхностью. Одновременно ПАВ облегчают возникновение и развитие в измельчаемом материале пластических сдвигов и трещин, что снижает его сопротивляемость измельчению.

Измельчение может осуществляться **периодически либо непрерывно**.

Периодический процесс применяют при небольших масштабах производства, т. к. он сравнительно малоэкономичен, сопровождается сильным нагреванием, поскольку происходит в замкнутом объеме, и агрегированием обрабатываемого материала, и дает возможность получать продукт только широкого гранулометрического состава, содержащий значительное количество мелких и крупных фракций.

Непрерывный процесс осуществляют по двум основным схемам. При работе **в открытом цикле** материал проходит через измельчитель только

один раз, не возвращаясь в него, и также характеризуется широким гранулометрическим составом.

Наилучшие показатели по качеству продукта, производительности измельчителя и энергетическим затратам достигаются в случае измельчения **в замкнутом цикле** с непрерывным отбором тонкой фракции.

При высокой степени измельчения резко возрастает расход энергии. С целью его снижения процесс осуществляют в несколько стадий (обычно в две, реже в три), направляя материал в установленные последовательно дробилки или мельницы для грубого, среднего и тонкого измельчения.

В промышленных измельчителях чаще всего применяют следующие виды механических воздействий: свободный удар, раздавливание, истирание, а также их комбинации.

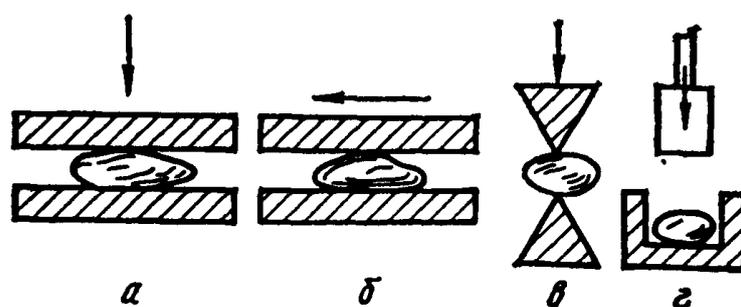


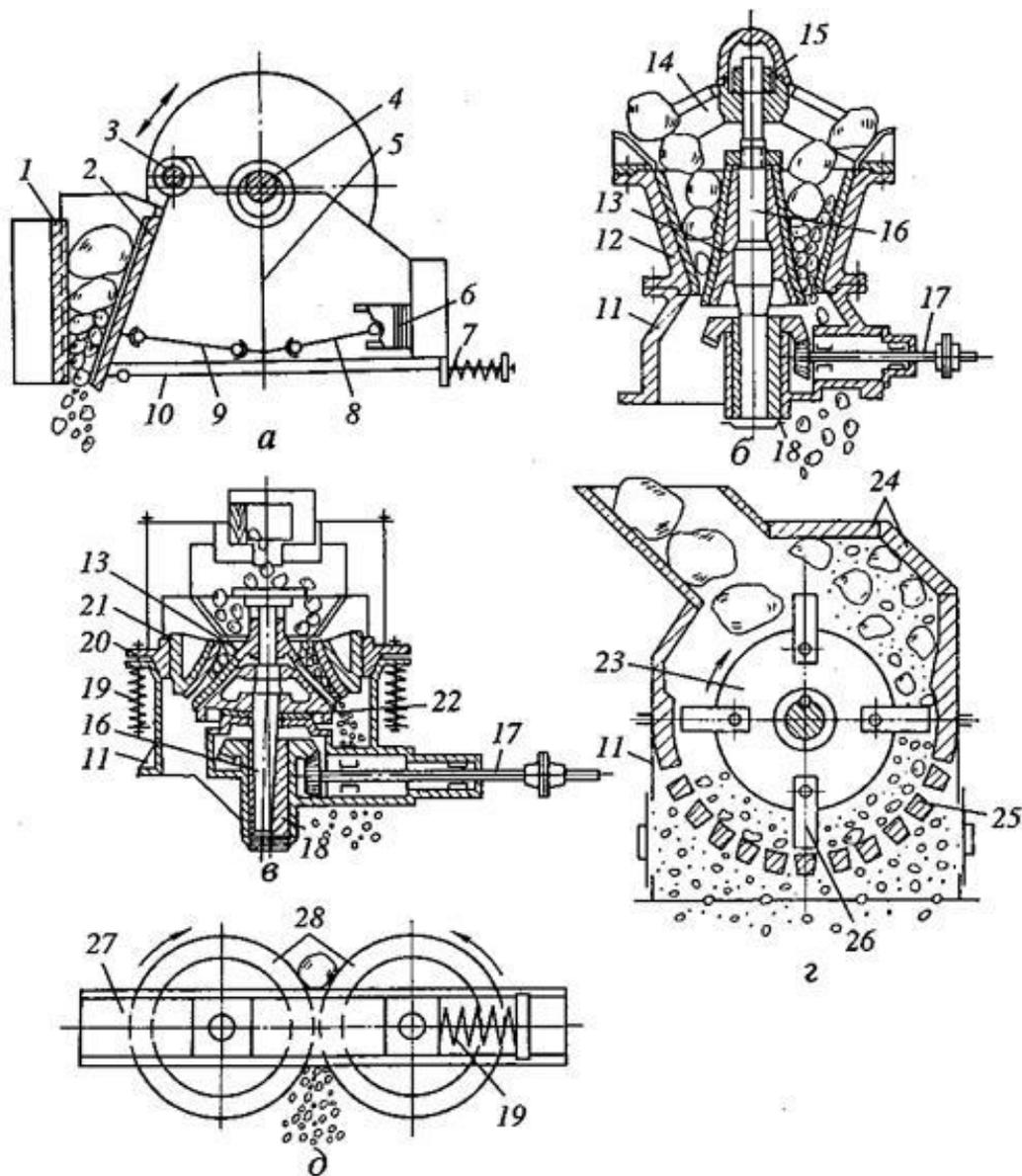
Рисунок – Схематическое изображение основных способов дробления:
а – раздавливание; б – истирание; в – раскалывание; г - удар

Выбор усилия зависит от крупности и прочности материала. Наиболее дешевым методом дробления является раздавливание, а наиболее дорогим – истирание, связанное с наибольшим расходом энергии. По принципу истирания производится тонкое измельчение.

Для дробления применяют чаще всего дробилки различных конструкций, а для измельчения – мельницы.

Дробление производят в основном с помощью дробилок четырех типов:

- щековых,
- конусных,
- валковых,
- роторных.



1 – неподвижная щека с осью вращения; 2 – подвижная щека; 3, 4 – эксцентриковый вал; 5 – шатун; 6 – шарнирная опора задней распорной щеки; 7 – пружина; 8, 9 – механизм регулировки ширины разгрузочной щели; 10 – тяга замыкающего устройства; 11 – станина; 12 – неподвижный конус; 13 – подвижный конус; 14 – траверса; 15 – шарнир подвески подвижного конуса; 16 – вал конуса; 17 – приводной вал; 18 – эксцентрик; 19 – амортизационная пружина; 20 – опорное кольцо; 21 – регулирующее кольцо; 22 – подпятник конуса; 23 – ротор; 24 – отбойные плиты; 25 – колосниковая решетка; 26 – молоток; 27 – основная рама; 28 – дробящие валки

Рисунок 2 – Конструктивные схемы дробилок:

а – щековая; б – конусная; в – грибовидная; г – молотковая; д – валковая

Щековые дробилки (рис. 2, а) служат для грубого и среднего дробления. В них материал раздавливается между неподвижной и подвижной плитами, называемых щеками, рабочие поверхности которых имеют зубчатую

форму; расстояние между щеками уменьшается в направлении движения материала.

Основные достоинства: высокая производительность, простота конструкции, широкая область применения (в т. ч. для дробления крупнокусковых материалов большой твердости), компактность, легкость обслуживания.

Недостатки: периодичность воздействия на материал (только при сближении щек), неполная уравновешенность движущихся масс, что является причиной шума и сотрясений зданий, где работают дробилки, интенсивный износ рабочих органов; степень измельчения 3-6.

Производительность наиболее крупных щековых дробилок не превышает 450-500 т/ч. Расход электроэнергии на дробление 1 т сырья в этих установках может колебаться от 0,3 до 1,3 кВт*ч.

В конусных дробилках (рис. 2, б) предназначенных для среднего и мелкого дробления, материал подвергается раздавливанию (и частично излому) между неподвижным наружным конусом и внутренним, вращающимся в нем эксцентрично; зазор между конусами уменьшается книзу (по ходу материала).

Основные достоинства: надежность работы, высокая степень измельчения; недостатки: сложность конструкции и обслуживания. Степень измельчения 3-6.

Таким образом дробление руды в конусной дробилке осуществляется непрерывно. Достигаемая производительность составляет 3500-4000 т/ч при расходе электроэнергии на дробление 0,1-1,3 кВт*ч/т.

Конусные дробилки с успехом можно применять для руд любого типа, в том числе со слоистым, плитчатым строением куска, а также для глинистых руд. Конусные дробилки не нуждаются в питателях и могут работать «под завалом», т. е. с рабочим пространством, полностью заполняемым рудой, поступающей из расположенного выше бункера.

Короткоконусная грибовидная дробилка Саймонса (рис. 2, в) отличается от обычной конусной дробилки удлиненной зоной выдачи

дробленого продукта, обеспечивающей полное дробление материала до заданного размера кусков.

Валковые дробилки (рис. 2, д), используемые для мелкого дробления, состоят из одной или двух пар горизонтальных зубчатых валков, которые, вращаясь навстречу друг другу, захватывают и раздавливают куски материала; при разной частоте вращения валков происходит также истирание материала.

Основные достоинства: простота конструкции, равномерность измельчения материала.

Недостатки: малая производительность и непригодность для дробления высокотвердых материалов, неравномерный износ валков; степень измельчения 2-4.

Для дробления всех видов служат **роторные, или молотковые, дробилки** (рис. 2, г), где материал измельчается ударами вращающихся шарнирно подвешенных молотков либо жестко закрепленных на роторе бил, а также при ударах кусков материала друг о друга и о поверхность статора или отбойных плит.

Основные достоинства: компактность конструкции, высокие производительность и степень измельчения (10-120), низкие энергозатраты.

Недостаток – повышенный абразивный износ.

Эти машины используют, например, для дробления доломитов и известняков.

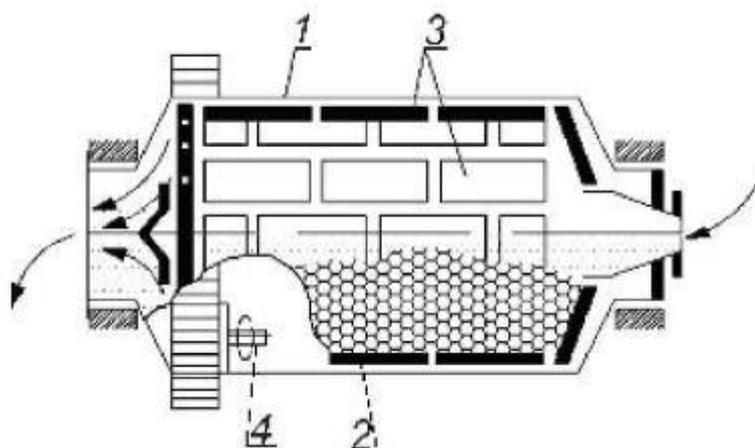
Измельчение (помол) способствует: улучшению однородности смесей, ускорению и повышению глубины протекания гетерогенных химических реакций, повышению интенсивности других технологических процессов (перемешивание, сушка, обжиг).

Помол осуществляют с помощью мельниц со свободными и закрепленными мелющими телами и без них:

- тихоходные мельницы - вращающиеся барабанные мельницы (шаровые, стержневые);

- быстроходные мельницы - центробежно-шаровые, вибрационные, планетарные, магнитные и др. (для тонкого и сверхтонкого помола).

Шаровые мельницы (рис. 3) представляют собой пустотелые барабаны, футерованные плитами 1 из износостойчивой стали с полыми цапфами 2, опирающимися на подшипники 3. Измельчаемый материал вместе с водой вводится в одну из цапф 4, а пульпа (измельченный продукт с водой) выводится через противоположную цапфу.



1 – корпус; 2 – мелющие тела (стальные, чугунные, керамические);
3 – футеровочные плиты; 4 – привод

Рисунок 3 – Схема шаровой мельницы

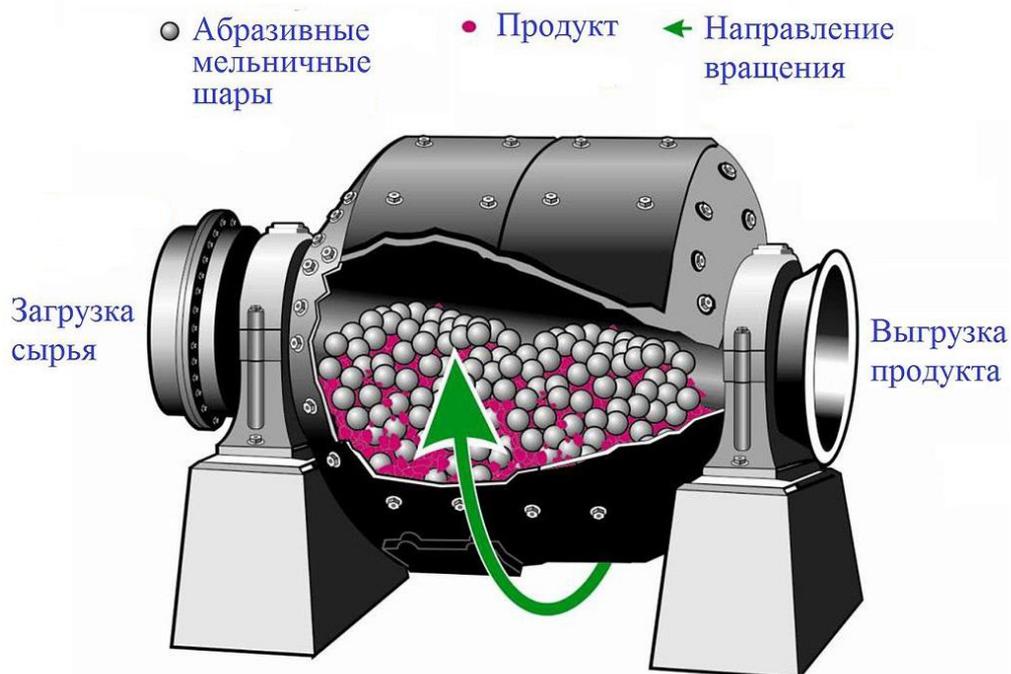


Схема работы шаровой мельницы.

Рабочее пространство мельницы почти наполовину заполнено стальными или чугунными шарами, которые при вращении барабана приводом через зубчатый венец движутся в мельнице в каскадном или водопадном режиме. Кусочки руды, испытывая удары падающих шаров, раскалываются, раздавливаются и истираются. Производительность крупных шаровых мельниц составляет 150-200 т/сут. Расход электроэнергии для измельчения 1 т сырья до крупности <74 мкм близок к 14-15 кВт*ч.

Основные достоинства шаровой мельницы: возможность применения в много тоннажных производствах, простота конструкции.

Недостатки: большая металлоемкость, значительный износ мелющих тел, сильный шум, производимый при работе. Степень измельчения 20-100.

Различные режимы работы шаровой мельницы приведены на рис. 4. Самым высокопроизводительным считается смешанный режим, который возникает при скорости около 75% от критической.

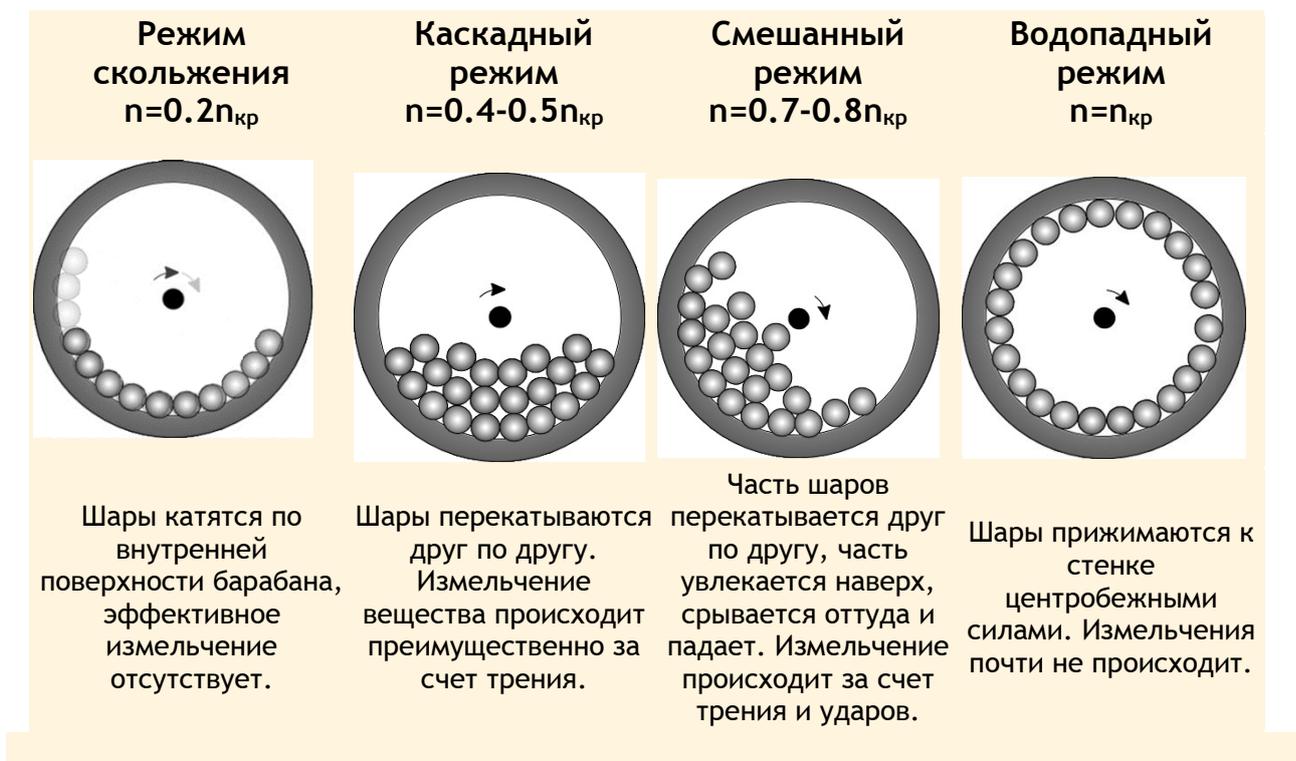
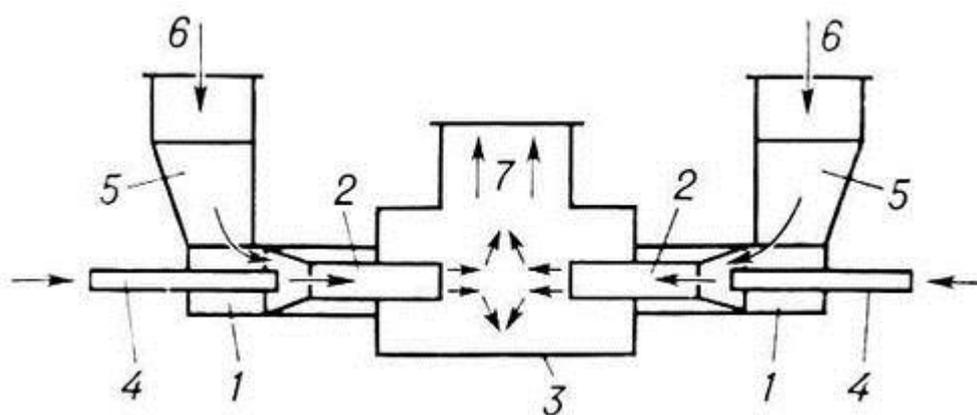


Рисунок 4 – Режимы работы шаровой мельницы

В последние годы распространение получил **бесшаровой помол или мельницы самоизмельчения.**

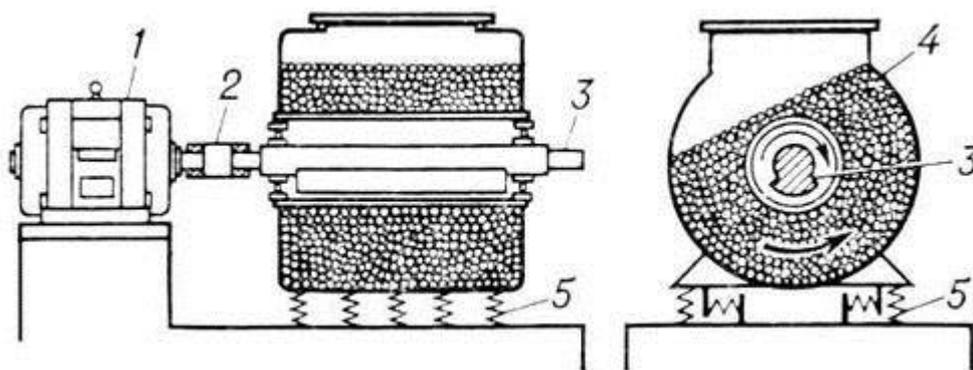
Для очень тонкого измельчения до размера зёрен 0,001-0,05 мм применяются **струйные мельницы** (рис. 5). Измельчаемый материал подаётся во встречно расположенные на одной оси эжекторы, к которым подводится сжатый воздух под давлением 0,4-0,8 МН/м², перегретый пар или горячие газы - продукты сгорания. Через разгонные трубки материал с огромной скоростью (до 500 м/сек) поступает в помольную камеру. Частицы материала, летящие одна навстречу другой, соударяются и разрушаются; измельченный материал отсасывается из камеры в классификатор, откуда крупный продукт вновь поступает в эжекторы.



1 - эжекторы; 2 - разгонные трубы; 3 - размольная камера; 4 - трубы сжатого воздуха или пара; 5 - загрузочные воронки; 6 - подача измельчаемого материала; 7 - измельченный продукт

Рисунок 5 – Струйная противоточная мельница

Вибрационные мельницы (рис. 6) заполнены шарами на 80-90% объема; под действием вращающихся дебалансов корпус, опирающийся на пружины, совершает частые круговые колебания, и шарам сообщаются импульсы, в результате они движутся по сложным траекториям, интенсивно измельчая и перемешивая материал, находящийся в межшаровом пространстве.



1 - электродвигатель; 2 - эластичная муфта; 3 - вал с дебалансом;
4 - барабан; 5 - пружины

Рисунок 6 – Схема вибрационной мельницы

Основные достоинства: возможность получения высокодисперсных продуктов (степень измельчения 20-200), малая продолжительность помола, компактность.

Недостатки: ограниченная производительность, высокий уровень шума. В этих машинах измельчают, например, гидрокарбонат натрия, различные пигменты, кварц, графит.

В **планетарных мельницах** (рис. 7) несколько барабанов смонтировано на общем водиле.

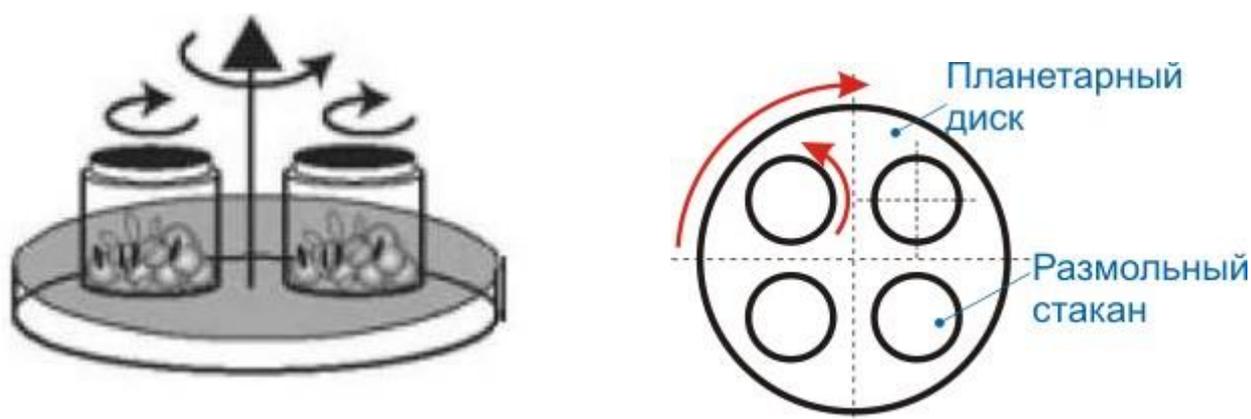


Рисунок 7 – Схема планетарной мельницы

На оси каждого барабана насажена малая шестерня, которая находится в зацеплении с неподвижным центральным зубчатым колесом. При вращении водила малые шестерни обкатываются вокруг колеса, и барабаны

одновременно вращаются вокруг своих осей и центр. вала; в результате мелющие тела приобретают сложное движение при больших ускорениях, что обуславливает весьма интенсивное измельчение материала.

Основное достоинство - высокая эффективность измельчения.

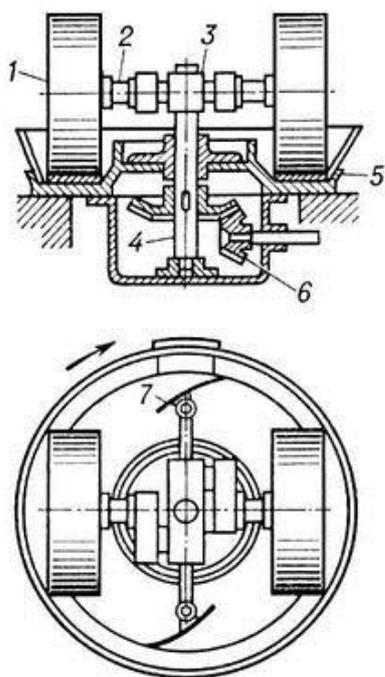
Недостатки: малая производительность, периодичность процесса, возможность использования, как правило, в малотоннажных производствах, сильный разогрев продуктов вследствие значительного выделения теплоты. Эти мельницы применяют, например, при переработке руд РЗЭ и титановых, а также в качестве быстродействующих лабораторных устройств (подготовка проб для экспресс-анализов); степень измельчения 20-300.

К машинам с закрепленными мелющими телами (ролики, катки, вальцы и т. п.) относятся среднеходовые мельницы - бегуны (для грубого и среднего помола), дезинтеграторы и т. п. (для грубого, среднего и тонкого помола).

В **бегунах** (рис. 8), служащих в основном для измельчения вязких материалов (часто в сочетании с перемешиванием), например, угольных шихт, при вращении вала катки, которые свободно сидят на полуосях, катятся («бегут») по дну чаши, раздавливая и истирая находящийся в ней материал. Под действием центробежных сил его куски перемещаются к наружному борту чаши, откуда возвращаются на катки с помощью специальных скребков.

Основное достоинство - простота конструкции.

Недостаток - низкая производительность, ограниченная степень измельчения (10-40).



1 - катки; 2 - полуоси катков; 3 - водило; 4 - центральный вал; 5 - чаша;
6 - привод; 7 - скребки

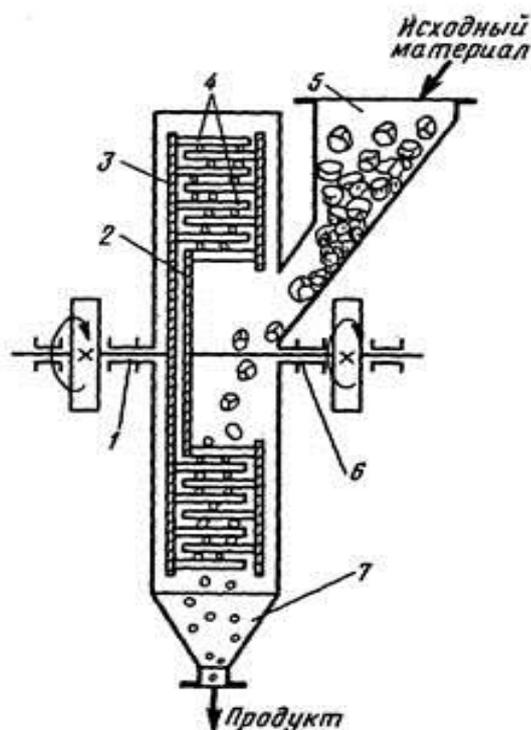
Рисунок 8 – Бегуны

Дезинтеграторы (рис. 9) служат для сухого помола хрупких, мягких материалов с малой абразивной способностью. Он состоит из двух входящих друг в друга барабанов, каждый из которых снабжен собственным приводным валом. Барабан состоит из диска, на котором по концентрическим окружностям укреплены пальцы. Ряды пальцев одного барабана находятся между рядами пальцев другого.

Исходный материал через загрузочную воронку поступает в центральную часть одного из барабанов, вращающихся в противоположных направлениях, и попадает между их пальцами. Под действием центробежных сил куски (зерна) материала продвигаются от центра к периферии роторов, многократно ускоряются, ударяясь о пальцы и сталкиваясь. Измельченный продукт отбрасывается из роторов в кожух и сыпается через специальный патрубок.

Основные достоинства: простота устройства, высокий смешивающий эффект.

Недостатки: интенсивный износ пальцев, большое пылеобразование, значит. расход энергии; степень измельчения 5-10.



1, 6 - валы; 2, 3 - диски; 4 - пальцы била; 5 - загрузочная воронка;
7 — разгрузочная воронка

Рисунок 9 - Схема дезинтегратора

В зависимости от размера дезинтегратора число концентрических рядов пальцев колеблется от 2 до 4 на одном барабане (на двух – от 4 до 8). Пальцы изготавливают из стали, бронзы, дуралюмина. Они являются самым уязвимым местом дезинтегратора, быстро изнашиваются, их замена очень громоздкая и длительная операция.

Для поддержания заданных характеристик продуктов измельчения необходимо контролировать и корректировать параметры процесса (влажность, крупность, измельчаемость, др. свойства исходных материалов, производительность машин). Для этого мощные дробильные и помольные установки оснащают системами автоматического регулирования. С целью

уменьшения износа оборудования при измельчении абразивных материалов ограничивают скорость движения рабочих органов, применяют быстросъемные узлы и детали, подвергаемые легкому изнашиванию, футеруют рабочие поверхности. Для уменьшения износа машин при мокром измельчении в жидкость вводят ингибиторы коррозии. При измельчении пожаро- и взрывоопасных материалов необходимо соблюдать правила техники безопасности.

Контрольные вопросы

1. Обоснуйте необходимость подготовки материалов к плавке.
2. Назовите основные стадии подготовки руды к плавке
3. Чем отличается дробление от измельчения?
4. Разновидности процессов измельчения (мокрое и сухое).
5. Как наиболее энергетически выгодно проводить дробление?
6. Основные показатели процесса дробления.
7. Виды механических воздействий при дроблении
8. Основные типы дробилок, их преимущества и недостатки.
9. Расскажите о конструкции и принципе действия основных типов дробилок.
10. Основные типы оборудования для измельчения.
11. Конструкция и принцип действия шаровой мельницы.
12. Конструкция и принцип действия вибрационных мельниц.
13. Конструкция и принцип действия струйных мельниц.
14. Конструкция и принцип действия планетарных мельниц.
15. Типы машин с закрепленными мелющими телами.

