



«Порошковые и композиционные материалы»

Лекция 2

Восстановители и защитные среды.

Механические методы получения порошков

Лалазарова Н.А.

Содержание



2.1. Восстановители и защитные среды



2.2. Оборудования для восстановления и спекания порошковых материалов



2.3. Механические методы получения порошков



2.4. Предварительное измельчение крупных сырьевых материалов в щековых, валковых, конусных дробилках и молотковых мельницах



2.5. Получение порошков резанием металлических заготовок



2.6. Устройство и основные элементы шаровых мельниц. классификация мельниц



2.7. Факторы, определяющие степень измельчения



2.8. Управление процессом измельчения

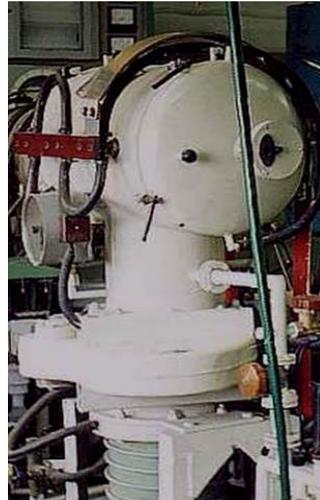
Содержание

- ✦ 2.9. Вибрационные мельницы
- ✦ 2.10. Центробежные мельницы
- ✦ 2.11. Вихревые мельницы
- ✦ 2.12. Струйные мельницы
- ✦ 2.13. Диспергирование расплавов
- ✦ Контрольные вопросы
- ✦ Задания для самостоятельной работы
- ✦ Список литературы

2.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЕЙ И ЗАЩИТНЫХ СРЕД

Технологические режимы многих процессов порошковой металлургии сопряжены с использованием восстановительных и защитных сред. **Восстановителями** обычно служат газы (чистый CO, H₂ или среды, содержащие эти газы в различной пропорции), твердый углерод и металлы (Ca, Na, Mg).

При спекании порошковых изделий восстановители играют роль защитных сред.



Методы получения и очистки восстановителей и защитных сред идентичны.

Основное отличие восстановителей от защитных сред состоит в том, что в качестве защитных сред могут использоваться нейтральные (инертные) газы, а также сыпучие инертные материалы (чаще всего оксиды алюминия и магния).

КЛАССИФИКАЦИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЕЙ И ЗАЩИТНЫХ СРЕД

Защитные среды позволяют исключить взаимодействие порошковых изделий с кислородом и азотом, а также придать изделиям необходимые свойства (например, упрочнить поверхность изделий). Они подразделяются на *газовые, сыпучие и комбинированные* (состоящие из твердых засыпок и защитного газа).

К защитным средам относится вакуум. По составу газовые защитные среды можно разделить на следующие системы:

- H_2-H_2O ;
- $H_2-H_2O-N_2$;
- $CO-CO_2-N_2$;
- $CO-CO_2-H_2-H_2O-N_2$;
- $CO-CO_2-H_2-H_2O-CH_4-N_2$;
- азот, инертные газы (аргон, гелий), вакуум.

Выбор восстановительной или защитной среды для восстановления химических соединений металлов и спекания порошковых материалов с целью получения заданных свойств определяется термодинамическими характеристиками систем пористое твердое тело – защитный газ (восстановитель).

КЛАССИФИКАЦИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЕЙ И ЗАЩИТНЫХ СРЕД

Для создания надежного контакта между спекаемыми частицами сформованного изделия необходимо обеспечить максимальное восстановление окисных пленок на их поверхности, поэтому защитная газовая среда при спекании должна быть восстановительной, т.е. содержать газы-восстановители (H_2 и/или CO).

По условиям взаимодействия с восстановительными газами H_2 , CO , $H_2 + CO$ металлы можно разделить на три группы.

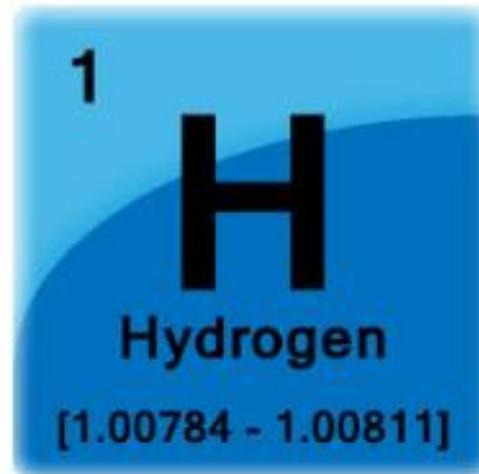
К первой группе относятся *медь, никель, кобальт, молибден, вольфрам* и *железо*, восстановление оксидов которых возможно при использовании любой из указанных газовых сред.

Во вторую группу объединяют *хром, марганец, кремний* и *ванадий*, восстановление оксидов которых возможно только водородом. К третьей группе относятся *алюминий, бериллий, титан, цирконий*, восстановление оксидов которых возможно только остро осушенным водородом в присутствии геттеров.

КЛАССИФИКАЦИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЕЙ И ЗАЩИТНЫХ СРЕД

Водород – один из наиболее распространенных элементов (составляет около 1 % от общей массы Земли). Водород входит в состав воды (около 11 % мас.), нефти, природных газов. В свободном состоянии практически не встречается.

Технический водород получают электролизом, каталитическим разложением углеводородов, железоконтактным (железопаровым) методом.



Применение водорода рекомендуется при восстановлении (спекании) изделий из порошков металлов, образующих трудновосстановимые

окислы бериллия, ванадия, кремния, марганца, хрома, циркония, а также твердых сплавов.

КЛАССИФИКАЦИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЕЙ И ЗАЩИТНЫХ СРЕД

Технический оксид углерода обычно получают газификацией малосернистого кокса или древесного угля с применением кислородного дутья. В некоторых случаях для восстановления химических соединений могут использовать газообразные выбросы фосфорных заводов, содержащие до 80 % CO,

около 0,5–1,0 % таких газов, как H₂ и N₂, и до 18–20 % CO₂. Оксид углерода ядовит и взрывоопасен.

Жидкие защитные среды образуются при плавлении солей металлов, шлаков, стекол, легкоплавких окислов.

Стеклянный расплав применяется при спекании изделий из порошков химически активных металлов, например, при спекании магнитных материалов.

Твердые защитные засыпки обычно состоят из порошков химически активных металлов и их соединений (Al, Mg, Ti, Cr, гидрид титана) и при необходимости инертного наполнителя (прокаленный глинозем, оксид магния и др.), а также из прокаленного глинозема с добавкой углерода в виде сажи, древесного угля.

2.2. ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И СПЕКАНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Для получения порошков и спекания порошковых формовок используют печи, различающиеся как по конструкции, так и по способу нагрева. Выбор типа печи зависит от многих факторов:

- характера защитной среды,
- температуры и выдержки при спекании,
- режима нагрева и охлаждения,
- требуемой производительности и т.п.

Получение порошков и спекание изделий из порошков чаще всего проводят в печах непрерывного действия (муфельных, трубчатых и

пр.), в которые газообразный восстановитель подается по принципу противотока (навстречу движению материала).

Обычно для **печей непрерывного действия** характерно наличие трех рабочих зон:

- 1) зоны нагрева,
- 2) горячей зоны (зоны максимальной температуры),
- 3) зоны охлаждения.

ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И СПЕКАНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

При спекании изделий из порошков в первой зоне печи происходит испарение или выжигание и удаление смазки (пластификатора), введенной в шихту перед формованием порошка, а также снятие (релаксация) напряжений, имеющих в порошковой формовке.

В горячей зоне осуществляется собственно спекание, а в третьей зоне – охлаждение материала (изделия)



с заданной скоростью до температуры, обеспечивающей безокислительную выгрузку на воздух.

При непрерывной транспортировке материалов через печь используют различные загрузочные устройства (конвейеры, лодочки, тигли и пр.). Перемещение материалов через печное пространство обеспечивается с помощью роликов (рольгангов), толкателей различного типа.

ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И СПЕКАНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

В некоторых случаях восстанавливаемый материал или спекаемые заготовки укладывают в поддоны или непосредственно на конвейерную ленту из окалиностойкой проволоки. Общая длина печей различного типа лежит в пределах от 5–6 до 15–25 м, при длине зоны спекания от 3 до 6–15 м.

Рабочая температура в печи зависит от материала нагревательных элементов и составляет 1 000–2 000 °С.



Толкательные муфельные или трубчатые печи наиболее просты по своей конструкции. Продвижение лодочек (поддонов) из графита, стали, карбида

кремния, в которые загружены восстанавливаемый материал или спекаемые изделия, производится механическим толкателем. Печи непрерывного действия экономичны и обеспечивают равномерное распределение температур в зоне нагрева, благодаря чему порошковые изделия после спекания имеют однородные свойства.

2.3. МЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВ

Метод механического измельчения твердых компактных материалов широко применяется в порошковой металлургии. Этим способом можно превратить в порошок практически любой из металлов,

их окислов и тугоплавких неметаллических соединений (боридов, нитридов, карбидов и пр.).

Способы измельчения

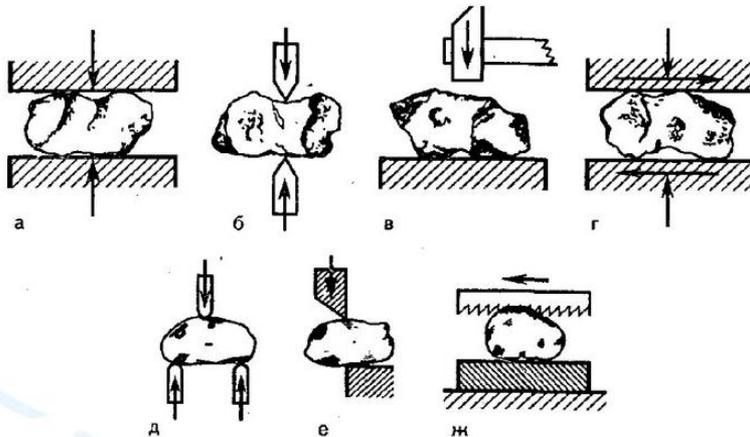


Рис. 7.1. Способы измельчения.

а — раздавливание; б — раскалывание; в — удар; г — истирание; д — разламывание; е — изрезывание; ж — распиливание.

Под *измельчением* понимают уменьшение начального размера частиц материала путем разрушения их действием внешних усилий.

Измельчение дроблением, размолотом или истиранием является старейшим методом перевода твердых веществ в порошкообразное состояние.

МЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВ

Наиболее целесообразно применять механическое измельчение при производстве порошков хрупких металлов, сплавов и неметаллических соединений (кремний, бериллий, хром, марганец, ферросплавы, оксиды, бориды, карбиды и др.).

Размол таких металлов, как медь, алюминий, серебро, золото, затруднен, что объясняется их высокой пластичностью.

Способы измельчения

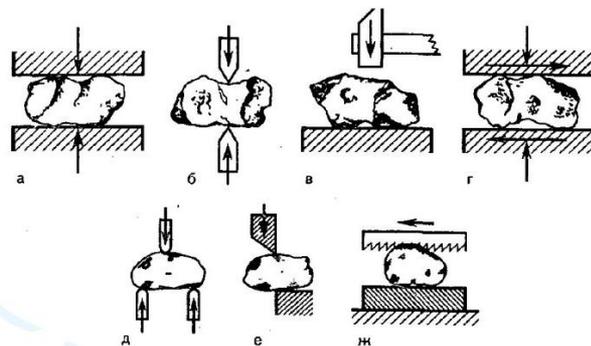


Рис. 7.1. Способы измельчения.
а — раздавливание; б — раскаливание; в — удар; г — истирание; д — разламывание; е — изрезывание; ж — распиливание.

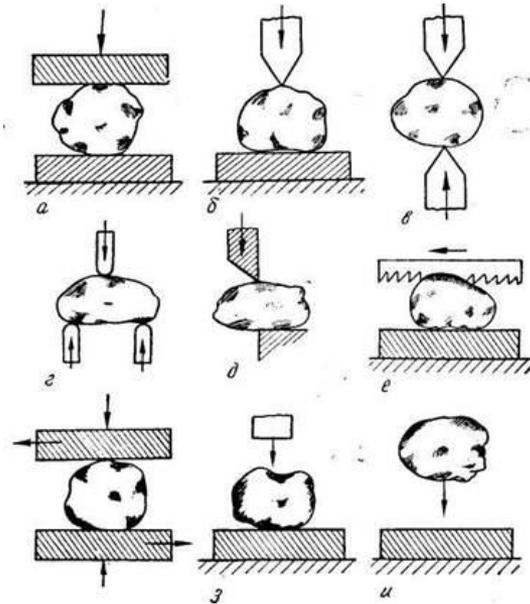
В процессе измельчения на материал действуют различные разрушающие усилия — раздавливающие (расплющивающие), ударные, истирающие.

При механическом измельчении твердых материалов затрачиваемая энергия расходуется на деформацию (упругую и пластическую) и на увеличение поверхности измельчаемого материала, которое свидетельствует об уменьшении размеров частиц, что и является основной целью процесса.

МЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВ

Процесс деформации твердых тел заключается в том, что под действием внешней статической нагрузки в твердом теле начинается движение дислокаций.

В момент разрушения напряжения в деформирующемся теле превышают некоторое предельное значение («предел прочности материала»),



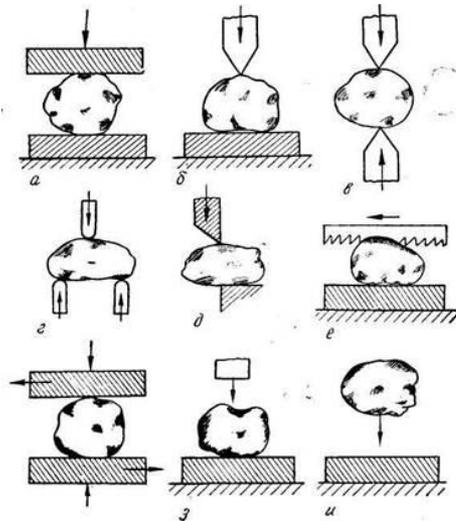
упругая деформация сменяется деформацией разрушения и происходит уменьшение размеров (измельчение) исходных агрегатов.

Твердые вещества можно механически разрушить и измельчить до частиц желаемого размера раздавливанием, раскалыванием, разламыванием, резанием, распиливанием, истиранием, ударом и различными комбинациями этих способов.

МЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВ

Раздавливание (а). Механическая сила прикладывается сверху прогрессивно; поверхности рабочих элементов измельчителя обычно плоские. Измельчаемое тело деформируется во всем объеме и, когда внутреннее напряжение в нем превысит предел прочности, тело разрушается — получаются кусочки разных размеров и формы.

Раскалывание (б, в). Сила прикладывается сверху и снизу внезапно или прогрессивно с помощью клинообразных рабочих элементов измельчителя.



Ввиду того что тело распадается на части только в местах концентрации наибольших нагрузок, получающиеся кусочки могут быть более или менее однородны по размерам, но не по форме.

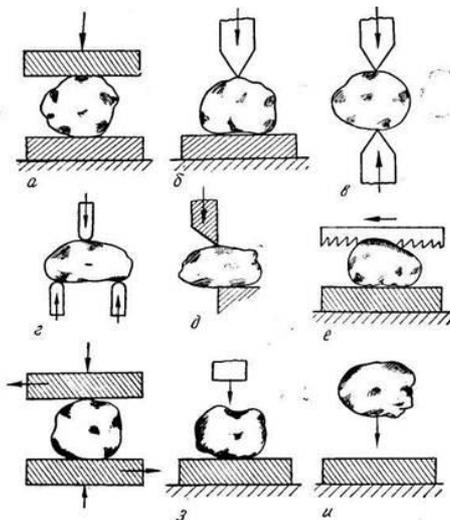
Способы измельчения.

а — раздавливание; *б, в* — раскалывание; *г* — разламывание; *д* — резание; *е* — распиливание; *ас* — истирание; *а* — жесткий удар; *u* — свободный удар.

МЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВ

Разламывание(рис.г). Измельчаемое тело разрушается под влиянием изгибающихся сил, действующих навстречу друг другу, с приложением одной верхней силы между двумя нижними. Размеры и форма кусочков примерно такие же, как и при раскалывании.

Изрезывание(д). Механическая сила прикладывается сверху, обычно рывком; рабочие элементы измельчителя острые, режущие (ножи). Управляемый процесс, позволяющий разделить тело на части требуемых размеров, а при необходимости и формы.



Распиливание(е). Сила прикладывается со стороны прогрессивно; рабочие элементы измельчителя с острой зубчатой поверхностью. Так же как и при изрезывании, можно получить кусочки нужных размеров, а при необходимости — и формы.

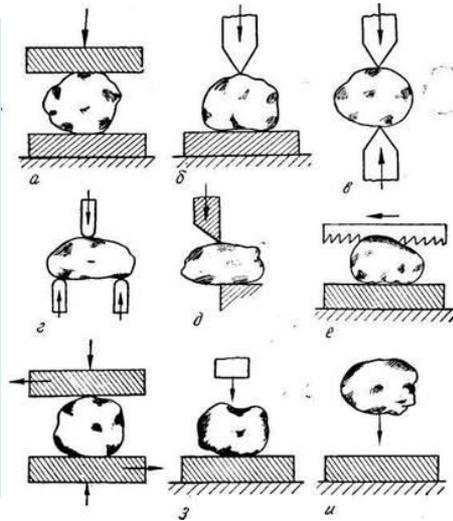
Способы измельчения.

а — раздавливание; б, в — раскалывание; г — разламывание; д — резание; е — распиливание; ас — истирание; а — жесткий удар; и — свободный удар.

МЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВ

Растирание (ж). Сила прикладывается сверху и со стороны прогрессивно; поверхности рабочих элементов измельчителя сферические или плоские. Тело измельчается под действием одновременно сжимающих, растягивающих и срезающих сил, в результате чего получают порошкообразные продукты.

Удар (з, и). Тело разрушается на части под влиянием динамично (внезапно) действующих сил. Удар может быть осуществлен двояко: 1) по измельчаемому телу производится удар рабочими элементами измельчителя—



молотками, падающими шарами и др. (рис.з); 2) измельчаемое тело само сталкивается с рабочими элементами измельчителя или другими телами в полете (рис. и).

В первом случае (при ограниченном ударе) эффект измельчения будет зависеть от кинетической энергии ударяющегося тела, во втором (при свободном ударе) — в основном определяется скоростью столкновений разрушаемого тела и его частей с рабочими элементами измельчителя.

МЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВ

Согласно теории дробления, предложенной П.А. Ребиндером, *работа, затрачиваемая на измельчение*, в общем случае представляет собой сумму энергии, расходуемой на образование новых поверхностей раздела при разрушении твердого тела, и энергии затраченной на деформацию.

При крупном дроблении вновь образующаяся поверхность невелика, так как получаемые частицы имеют сравнительно большие размеры.

В связи с этим энергия, затрачиваемая на образование новой поверхности, намного меньше энергии деформации, а расход энергии на дробление приблизительно пропорционален объему разрушаемого тела.

При тонком измельчении вновь образующаяся поверхность очень велика. Поэтому расход энергии на измельчение приблизительно пропорционален вновь образующейся поверхности. Однако сама работа диспергирования всегда незначительна, так как почти вся энергия измельчающего устройства затрачивается на деформацию разрушаемого тела и на образование теплоты.

МЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВ

Поведение материала при измельчении является следствием двух соперничающих процессов – *разрушения* (дезинтеграции) и *агрегатирования* (интеграции) частиц. Проявление второго процесса связано с явлениями адгезии, физико-химических и физико-механических реакций, протекающих в процессе измельчения.

Действие этих сил (помимо «закрепления» трещин) приводит к агрегатированию и комкованию порошка.

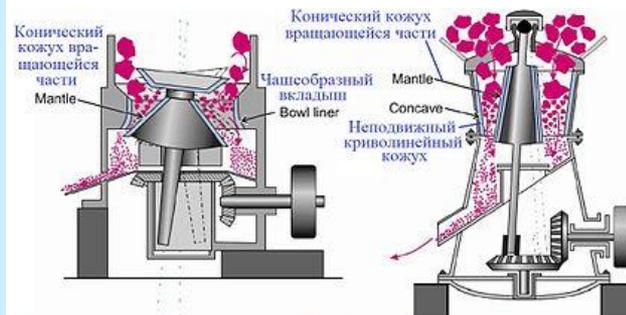


Рис. 4.2. Примеры дробилок, использующих ежатие. Слева – коническая дробилка, в которой материал измельчается между коническим кожухом и вращающейся втулкой. Справа – вращающаяся конусная дробилка, измельчающая материал между вращающимся сердечником и криволинейным кожухом.

Поэтому в подавляющем большинстве случаев предельный размер частиц, которые **удается получить при механическом измельчении материала, не превышает 0,1 мкм.**

Среди методов измельчения твердых материалов наибольшее распространение получили обработка металлов резанием, измельчение металла в шаровых, вихревых, молотковых и других мельницах, ультразвуковое диспергирование.

2.4. ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ КРУПНЫХ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЩЕКОВЫХ, ВАЛКОВЫХ, КОНУСНЫХ ДРОБИЛКАХ И МОЛОТКОВЫХ МЕЛЬНИЦАХ

Щековые, валковые и конусные дробилки применяются для предварительного измельчения крупных (до нескольких сантиметров) кусковых материалов с пределом прочности до 300–400 МПа. В дальнейшем предварительно измельченные в этих агрегатах материалы поступают на доизмельчение другими методами.

Щековые дробилки применяют для измельчения спекшейся губки, осадков с электродов, крупных кусков рудных концентратов и т.п.

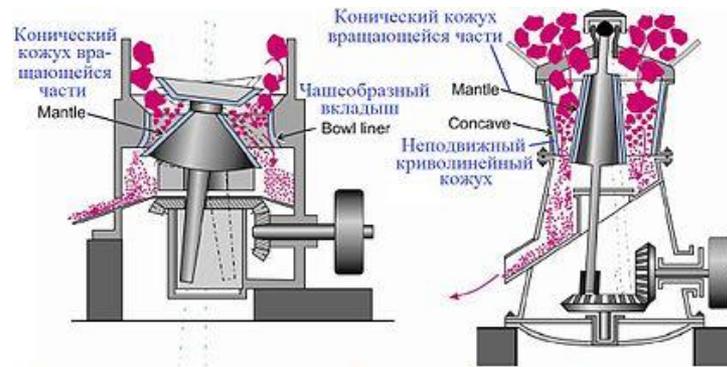


Рис. 4.2. Примеры дробилок, использующих сжатие. Слева – коническая дробилка, в которой материал измельчается между коническим кожухом и вращающейся втулкой. Справа – вращающаяся конусная дробилка, измельчающая материал между вращающимся сердечником и криволинейным кожухом.

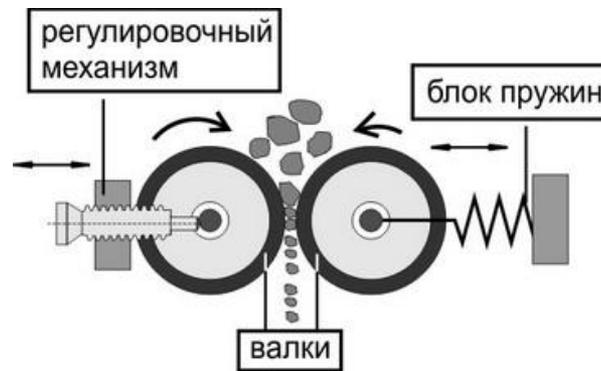
Размол материала в щековых дробилках до размера частиц 1–4 мм происходит за счет

раздавливания кусков между неподвижной и подвижной (качающейся с нижней или верхней осью подвеса) щеками установки. Рабочее пространство между щеками называют «пастью» дробилки.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ КРУПНЫХ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЩЕКОВЫХ, ВАЛКОВЫХ, КОНУСНЫХ ДРОБИЛКАХ И МОЛОТКОВЫХ МЕЛЬНИЦАХ

Измельчение материала до крупности частиц 0,5–1 мм обеспечивают *валковые дробилки*, один или оба валка которых могут совершать возвратно-поступательное движение по направляющим вдоль оси опорной рамы.

Валки вращаются навстречу друг другу от отдельных приводов с окружной скоростью 2–4 м/с, причем разность их скоростей обычно не превышает 2 %; при дроблении



вязких материалов разность этих скоростей может достигать до 20 %.

Эффективность работы валковых дробилок в большой степени зависит от условий подачи материала, особенно от непрерывности его поступления в щель между валками и равномерности распределения по их длине. Валки могут быть гладкими, рифлеными или зубчатыми.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ КРУПНЫХ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЩЕКОВЫХ, ВАЛКОВЫХ, КОНУСНЫХ ДРОБИЛКАХ И МОЛОТКОВЫХ МЕЛЬНИЦАХ

В конусных дробилках измельчение материала осуществляется в кольцевой полости между рабочей частью поверхности конуса и соответствующей частью внутренней поверхности корпуса дробилки (в камере дробления). Конусные дробилки обеспечивают измельчение материала до крупности частиц 1–2 мм.

Молотковые дробилки в основном используются для измельчения губчатых материалов (спекшихся при восстановлении порошков, катодных осадков и пр.).

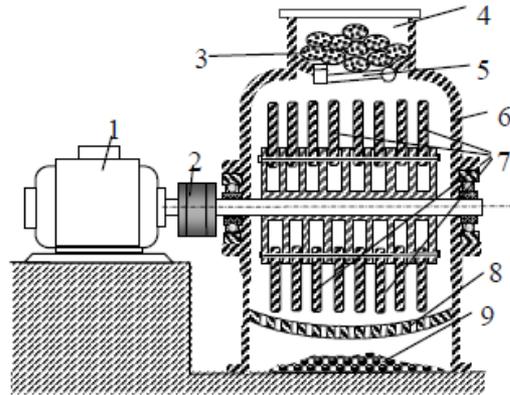
Измельчение обрабатываемого материала в них осуществляется за счет удара молотков (бил), укрепленных шарнирно на валу, вращающемся в рабочей камере с достаточно высокой скоростью (около 1 500 об/мин).

Исходный кусковой материал загружают в приемный бункер установки, откуда он поступает в рабочую камеру мельницы, в нижней части которой имеется отверстие, закрытое сеткой; после размола частицы проваливаются через ситовое полотно в сборник порошка.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ КРУПНЫХ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЩЕКОВЫХ, ВАЛКОВЫХ, КОНУСНЫХ ДРОБИЛКАХ И МОЛОТКОВЫХ МЕЛЬНИЦАХ

Размол губки в молотковой мельнице происходит в течение нескольких минут, и получаемый порошок мало наклепывается, что исключает необходимость его последующего отжига.

Более тонкое
измельчение
обеспечивают
*бесколосниковые
молотковые
мельницы,*



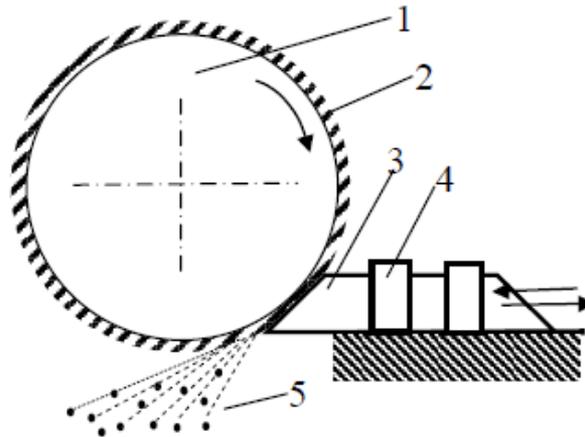
рабочим органом
которых является ротор с
шарнирно закреп-
ленными на нем тонкими
пластинчатыми
молотками.

Молотковая мельница: 1 – электродви-
гатель; 2 – муфта; 3 – губка; 4 – загрузочный
бункер; 5 – загрузочный люк с защелкой; 6 –
корпус мельницы; 7 – била; 8 – металлическая
решетка с ситовым полотном; 9 – порошок

2.5. ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКОВ РЕЗАНИЕМ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК

Специальное получение стружки или опилок для дальнейшего изготовления из них изделий экономически не очень выгодно и поэтому на практике используется крайне редко. Однако образующиеся при обработке металлов резанием отходы в виде мелкой стружки и опилок целесообразно использовать для последующего измельчения в мельницах различных типов.

Мелкую стружку железа, стали и чугуна размером около одного миллиметра (стружка сверления,



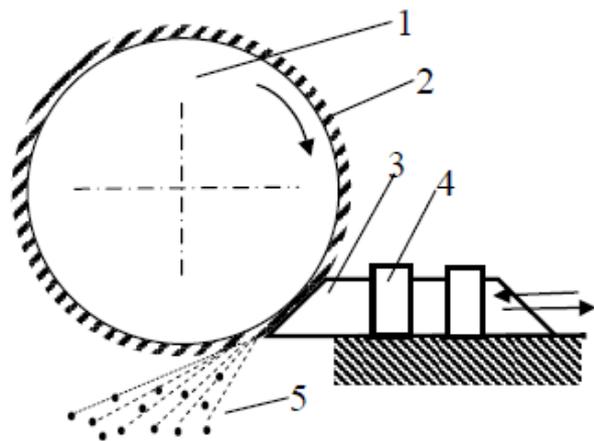
фрезерования и др.) можно использовать для изготовления изделий без ее дополнительного измельчения.

Чаще всего метод резания применяется при получении порошков металлов, которые весьма активны по отношению к кислороду, особенно в состоянии высокой дисперсности (например, магниевый порошок).

ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКОВ РЕЗАНИЕМ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК

Для получения порошка магния используется так называемая *кратцмашина*, которая представляет собой металлический вращающийся барабан с укрепленной на его поверхности царапающей лентой.

Пластину магния подают в установку через специальное отверстие и прижимают к царапающей ленте.



Равномерность истирания достигается применением непрерывного возвратно-поступательного движения пластины.

Крупность порошка можно регулировать диаметром щетки, числом и величиной зубьев, а также скоростью подачи магниевой пластины. Минимальный размер частиц получаемого с помощью кратцмашины магниевого порошка составляет около 200 мкм. Если требуется более мелкий порошок, то полученные на кратцмашине частицы измельчают в шаровых мельницах в среде углекислого газа.

ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКОВ РЕЗАНИЕМ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК

Кроме того, порошок магния можно получить обработкой его литых заготовок на фрезерных станках при комбинированном снятии мелкой стружки сразу двумя работающими фрезами – вертикальной и горизонтальной. Фрезерование ведут при больших скоростях перемещения фрезы (до 30–40 м/с),

получая порошок с частицами размером до 100 мкм в довольно широких размерных пределах в зависимости от режима работы станка.

Отфрезерованный порошок отсасывается в циклон и через шлюзовый затвор поступает на вибрационный грохот для разделения частиц по размерам (рассева на фракции).

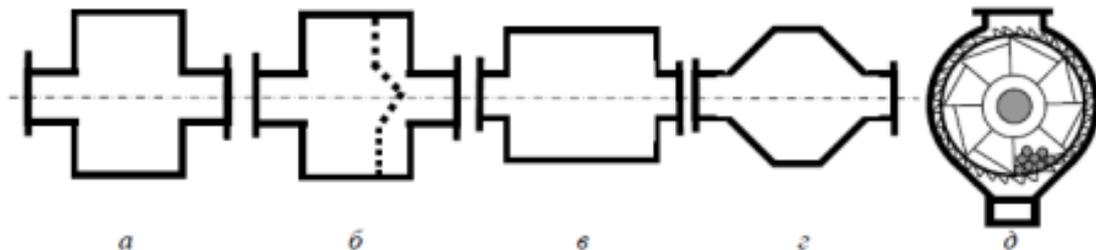
Мелкие частицы порошка, не осевшие в циклоне, проходят через сепаратор и улавливаются самоочищающимися фильтрами.

2.6. УСТРОЙСТВО И ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦ. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕЛЬНИЦ

В практике порошковой металлургии в большинстве случаев используют шаровые мельницы с периодической загрузкой и разгрузкой, вращение которых осуществляют либо непосредственно от электродвигателя, либо путем установки барабанов на валки.

Известны также мельницы с центральной разгрузкой измельченного материала через полуцапфу, с торцевой разгрузкой через диафрагму –

поперечную решетку, установленную у разгрузочного конца барабана, или с периферической разгрузкой через щели в барабане и окружающее его цилиндрическое сито



Схемы шаровых вращающихся мельниц: а, в – с центральной загрузкой барабана через цапфу; б – с торцевой загрузкой (цилиндро-коническая); г – с периферической загрузкой и выгрузкой материала через сита; д – разрез шаровой мельницы постоянного действия

2.7. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ СТЕПЕНЬ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Решающее влияние на интенсивность и механизм размола оказывают: скорость вращения барабана мельницы, число и размер размольных тел, масса измельчаемого материала, среда размола. С увеличением скорости вращения мельницы в связи с ростом центробежной силы и

угла подъема размольные тела падают вниз с большей высоты, производя главным образом дробящее действие.

При дальнейшем увеличении скорости вращения мельницы центробежная сила может настолько возрасти, что размольные тела будут вращаться вместе с барабаном и мате-

риал практически не будет измельчаться. Скорость, при которой наблюдается подобный режим работы мельницы, называют *критической скоростью вращения $n_{кр}$* . На процесс измельчения большое влияние оказывают масса (коэффициент заполнения барабана) размольных тел и отношение массы (объема) размольных тел к массе (объему) измельчаемого материала.

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ СТЕПЕНЬ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Оптимальный коэффициент заполнения φ барабана мельницы размольными телами составляет 0,4–0,5. При больших значениях φ уменьшается объем пространства в мельнице, необходимый для свободного падения или перекатывания размольных тел.

Уменьшение длины свободного падения размольных тел приводит к потере кинетической энергии, с которой они действуют на измельчаемый материал.

При меньшем коэффициенте заполнения снижается производительность мельницы, что связано как с уменьшением объемов загружаемого материала

(его должно быть столько, чтобы он не превышал объема пустот между размольными телами), так и переходом мельницы в другой режим работы (менее интенсивный). Если материала будет больше объема пустот между размольными телами, то часть его, не вмещающаяся в зазоры, измельчается менее интенсивно. Кроме того, размольные тела будут падать как бы на «подушку» из лишнего материала, что также снижает эффект от их действия.

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ СТЕПЕНЬ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Для интенсификации процесса размола его проводят в жидкой среде, которая препятствует распылению материала в свободном объеме барабана мельницы и обратному слипанию тонких частиц благодаря диэлектрическим свойствам.

Кроме того, проникая в микротрещины частиц, жидкость создает большое капиллярное давление, способствуя измельчению.

Жидкость также уменьшает трение как между размольными телами, так и между частицами обрабатываемого материала, благодаря чему интенсифицируется их перемещение относительно друг друга.

Жидкой средой обычно служат спирт, ацетон, вода, некоторые углеводороды и пр. Полезный эффект от размола в жидкости усиливается при добавлении в нее поверхностно-активных веществ (ПАВ). Количество жидкости должно быть таким, чтобы она достигала верхнего уровня размольных тел, находящихся в барабане мельницы, что составляет 0,15–0,25 л на 1 кг размольных тел.

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ СТЕПЕНЬ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Обычно в мельницу загружают 1,7–1,9 кг стальных шаров на один литр ее рабочего объема, а соотношение между массой размольных тел и массой измельчаемого материала составляет 2,5–3,0.

При интенсивном измельчении это соотношение увеличивается до 6–12 и даже больше.



Если плотности измельчаемого материала и размольных тел близки (как, например,

при размоле стальной стружки стальными шарами), указанное соотношение должно составлять 5–6.

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ СТЕПЕНЬ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Размер размольных тел (диаметр шаров) также оказывает влияние на процесс размола. По приближенной оценке его максимальное значение должно быть в пределах 5–6 % внутреннего диаметра барабана мельницы.

Производительность шаровых вращающихся мельниц во многом зависит от их габаритных размеров и от характера измельчаемого материала.



Длительность размола колеблется от нескольких часов до нескольких суток. Для шаровых вращающихся мельниц соотношение средних размеров частиц порошка

до и после измельчения, называемое *степенью измельчения*, составляет 50–100. **Форма частиц, получаемая в результате размола в шаровых вращающихся мельницах, обычно осколочная, т.е. неправильная, с острыми гранями,** а шероховатость их поверхности невелика.

2.8. УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

При измельчении материалов стараются поддерживать такие режимы работы мельницы, при которых на измельчаемый материал (со стороны размольных тел) действовали бы максимальные усилия. На практике чаще всего применяют два основных режима работы шаровых мельниц: *режим интенсивного измельчения*, при котором на

материал действуют в основном раздавливающие и ударные усилия, либо *режим перекатывания*,



при котором на материал действуют истирающие и раздавливающие усилия.

Первый режим применяется для получения грубых, крупных порошков, второй – для тонкого измельчения материала. Переход в тот или иной режим достигается вариацией скоростей вращения барабана мельницы.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Наличие перекатывания или скольжения размольных тел при вращении барабана мельницы зависит (при прочих равных условиях) от относительной загрузки φ . При загрузке большого числа шаров (или размольных тел другой формы, но обязательно полиэдрической) происходит перекатывание, а при малой загрузке – скольжение.

Для управления процессом размола необходимо знать условия перехода режима скольжения в режим перекатывания и обратно.

В практике размола величина φ иногда определяется местными условиями (например, наличием загрузочного люка в торцовой стенке барабана мельницы или количеством измельчаемого материала).

Изменяя величину загрузки мельницы размольными телами, можно получать в одних случаях режим перекатывания, а в других – режим скольжения, причем в зависимости от устанавливающегося режима эффективность размола будет различной.

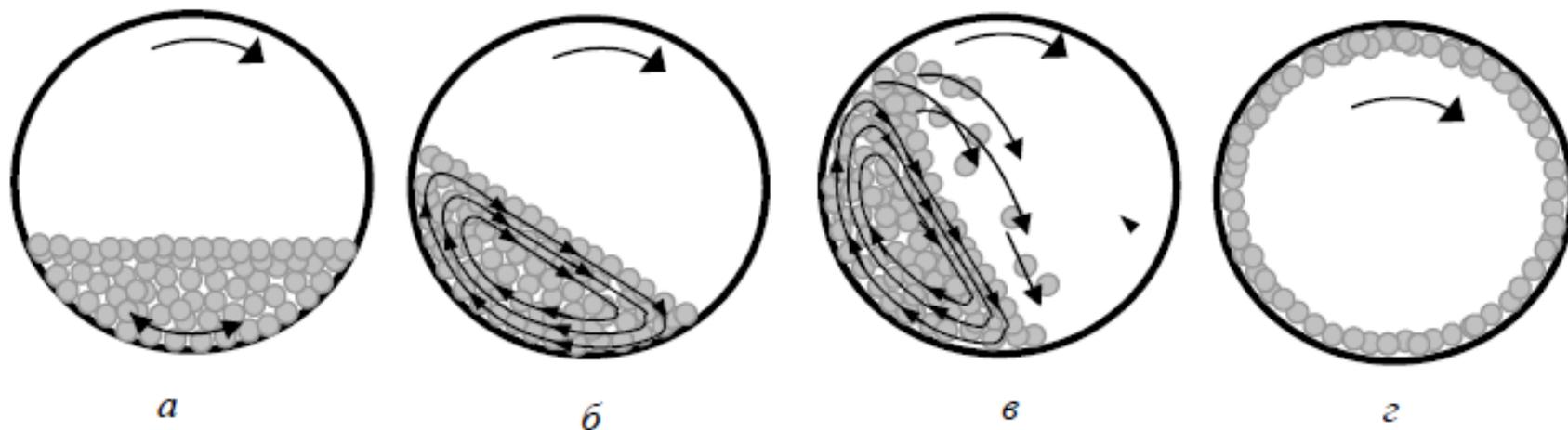
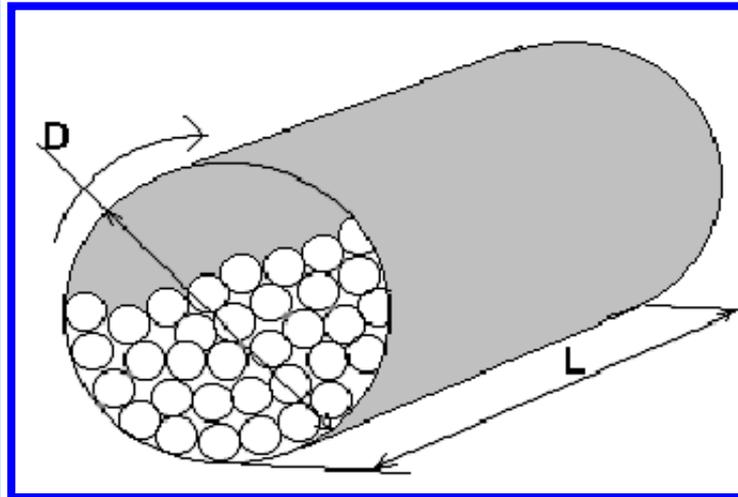


Схема движения шаров в барабане шаровой мельницы при различной скорости его вращения: *а* – режим скольжения при $n \leq 0,2 n_{кр}$; *б* – режим перекатывания при $n \leq 0,4–0,6 n_{кр}$; *в* – режим интенсивного измельчения (водопадный режим) при $n \leq 0,75–0,85 n_{кр}$; *г* – движение шаров при $n \geq n_{кр}$

ШАРОВЫЕ МЕЛЬНИЦЫ

Окончательный размол полученного материала проводится в **шаровых вращающихся и вибрационных мельницах.**

Шаровая мельница – это стальной или футерованный твёрдым сплавом барабан с тяжёлыми стальными, твердосплавными или чугунными шарами.



В шаровых мельницах измельчают хрупкие металлы и сплавы (ферросплавы, чугун).

Схема шаровой
мельницы

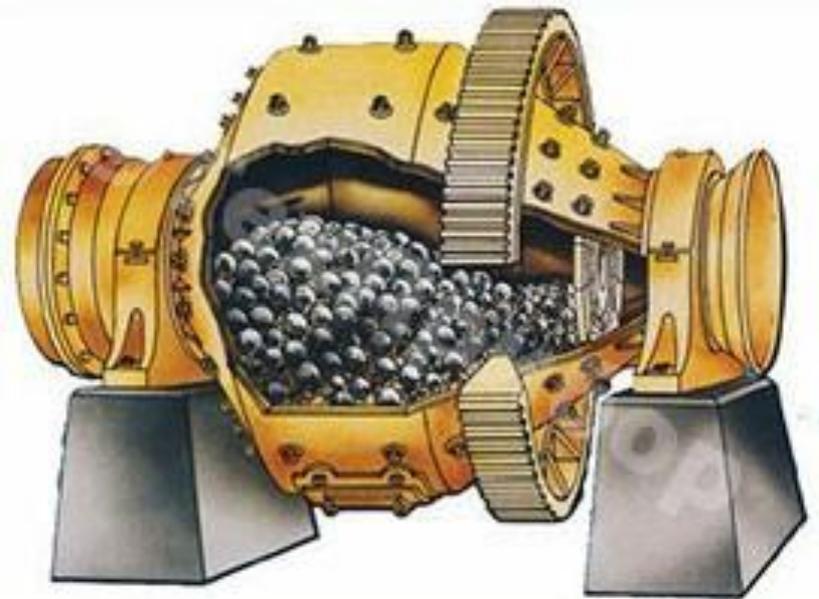
Недостатком измельчения является загрязнение порошков продуктами изнашивания шаров и футеровки мельницы.



Шаровые мельницы
для сухого и
мокрого помола
МШ-60



Шаровая
мельница

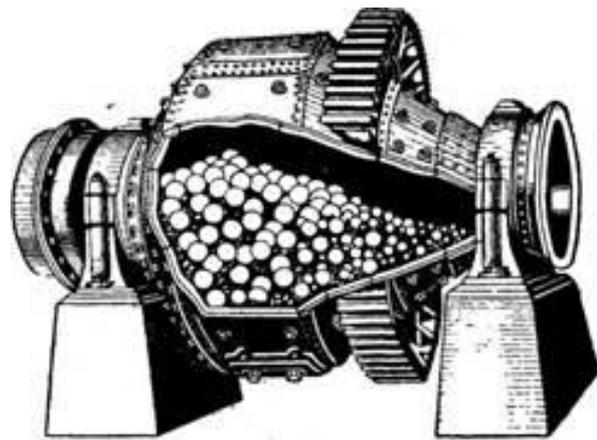


Ударная шаровая
мельница

2.9. ВИБРАЦИОННЫЕ МЕЛЬНИЦЫ

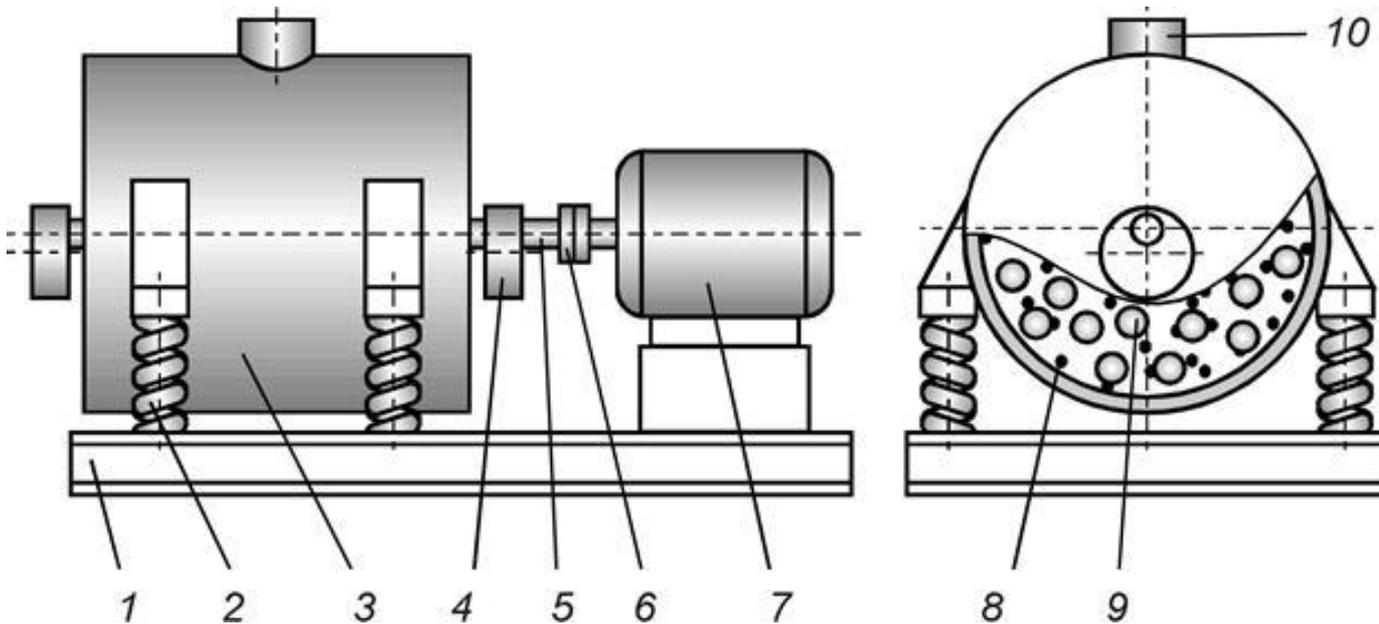
В практике порошковой металлургии широко используют **вибрационные мельницы**, обеспечивающие быстрое и тонкое измельчение обрабатываемых материалов, например карбидов и других тугоплавких соединений различных металлов, при производстве твердых сплавов и др.

При производстве порошков используют вибромельницы различных типов и конструкций, различающиеся



главным образом по технологическим и конструктивным признакам.

В соответствии с *технологическими признаками* их подразделяют: по **типу размола** (сухое измельчение или мокрое) и **характеру работы** (периодического действия или непрерывного). К *конструктивным признакам* относят тип возбудителя колебаний (эксцентрикковые или дебалансные), форму корпуса мельницы (цилиндрический, прямоугольный), тип ее опоры и т.д.



tudopedia.ru/1_103168_vibratsionnie-melnitsi-.html

Вибрационная мельница состоит из станины 1, на которой через пружинные опоры 2 установлена помольная камера 3. Привод осуществляется от электродвигателя 7 через упругую муфту 6 к валу 5 вибровозбудителя. Вибровозбудитель представляет собой вал с дебалансными дисками и может быть установлен с наружной стороны помольной камеры или внутри нее. На рисунке изображен второй вариант. При размещении вибровозбудителя внутри помольной камеры, его вал закрывается цилиндрическим кожухом. Помольная камера 3 представляет собой стальной полый цилиндр, служащий корпусом мельницы, он футерован листовой сталью в зоне действия мелющих тел и материала. В верхней части камеры имеется загрузочное отверстие 10. В нижней части камеры находится разгрузочное отверстие, с колосниковой решеткой. Решетка пропускает измельченный материал, но задерживает мелющие тела. Во избежание пылевыведения все отверстия закрывают пробками с резиновыми уплотнениями. Опорную металлическую раму 1 вибрационной мельницы устанавливают на деревянный настил, а между ними прокладывают листовую резину. Это исключает вредное воздействие вибрации на фундамент.

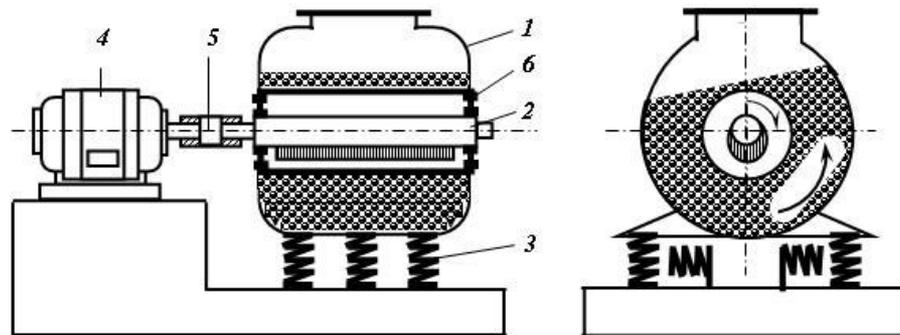
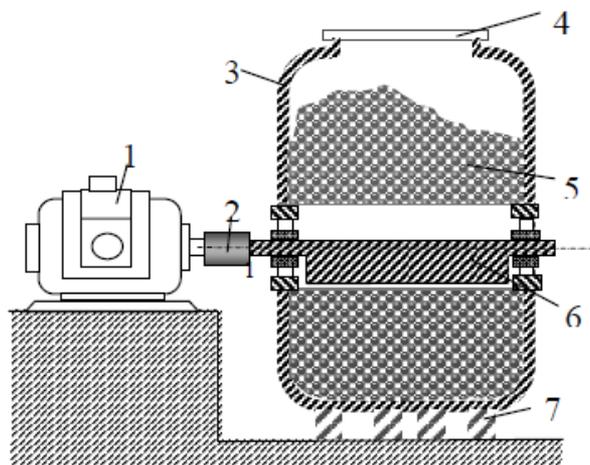


Рис. 1 – Схема інерційного вібраційного млина.
 1 – барабан; 2 – дебалансний вал; 3 – пружини; 4 – електродвигун;
 5 – гнучка муфта; 6 – підшипники.

ВИБРАЦИОННЫЕ МЕЛЬНИЦЫ

Наиболее распространены **вибрационные дебалансные мельницы**, дебалансный вал которых приводится во вращение от электродвигателя через эластичную муфту.

Вращение дебалансного вала вызывает колебания корпуса мельницы, загруженной размольными телами и измельчаемым материалом.



Частота вращения вала составляет от 1 000 до 3 000 об/мин, амплитуда колебаний корпуса мельницы – 2–4 мм.

Схема вибрационной мельницы:

1 – электродвигатель; 2 – соединительная муфта; 3 – корпус мельницы; 4 – загрузочный люк; 5 – размольные тела; 6 – дебалансный вал; 7 – амортизаторы (пружины)

2.10. ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ МЕЛЬНИЦЫ

Планетарные центробежные (ПЦМ) и гироскопические мельницы используются для получения сравнительно небольших объемов нано- и ультрадисперсных порошков. В **планетарных центробежных мельницах** тонкое измельчение трудноразмалываемых материалов производится во много раз быстрее, чем в мельницах других типов.

Время измельчения материалов в ПЦМ чаще всего не превышает нескольких десятков минут (10–30 мин).

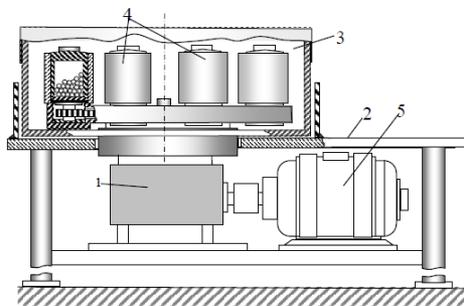


Схема планетарной центробежной мельницы: 1 – редуктор; 2 – опорный стол; 3 – корпус-шкив с механизмом привода барабанов; 4 – барабан с размольными телами, обоймы для установки барабанов; 5 – электродвигатель

Наиболее распространенный вариант ПЦМ состоит из корпуса-шкива, на котором установлены обоймы для крепления барабанов мельницы.

Электродвигатель приводит во вращение корпус оси промежуточных зубчатых колес и обоймы. Закрепленные в обоймах барабаны вращаются вместе с корпусом шкивом и одновременно вокруг своей оси в направлении, противоположном направлению вращения корпуса.

ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ МЕЛЬНИЦЫ

Наиболее существенный недостаток размола в ПЦМ и **гироскопических мельницах** – значительное загрязнение измельчаемого порошка примесью, образующейся в результате истирания стенок барабанов и размольных тел.

Для того чтобы увеличить срок службы барабанов мельницы и уменьшить загрязнение измельчаемого порошка, рабочую поверхность барабанов покрывают керамической клепкой.

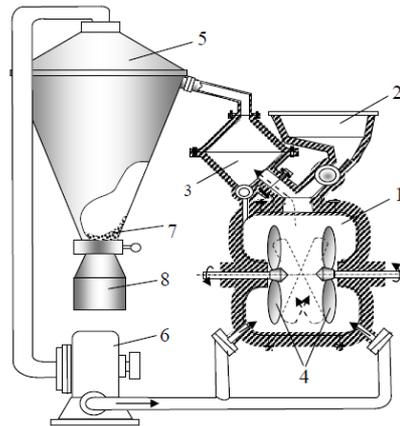
Размольные тела, применяемые для работы мельницы, также изготавливают из керамики на основе диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия.

Для тонкого измельчения материалов наряду с ПЦМ используют и так называемые **гироскопические мельницы**. Барабан этих мельниц одновременно вращается относительно горизонтальной и вертикальной осей. Размольные тела внутри барабана совершают сложные движения, аналогичные движению размольных тел в ПЦМ.

2.11. ВИХРЕВЫЕ МЕЛЬНИЦЫ

При измельчении в таких мельницах ударные и истирающие усилия возникают при соударении частиц обрабатываемого материала; загрязнение порошка материалом рабочего органа и стенок мельницы существенно уменьшается, а также устраняются явления, связанные с привариванием к стенкам мельницы обкованных, но не измельченных частиц.

В рабочей камере **вихревой мельницы** друг против друга расположены пропеллеры или била,



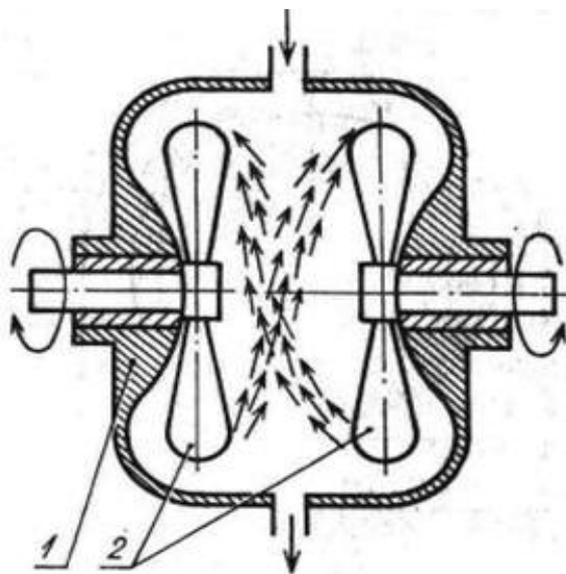
вращающиеся в противоположных направлениях при высоких (порядка 3 000 об/мин), но обязательно равных скоростях.

Вихревая мельница: 1 – рабочая камера мельницы; 2 – бункер для загрузки измельчаемого материала; 3 – приемная камера; 4 – пропеллеры; 5 – отсадочная камера; 6 – насос для подачи газа в рабочую камеру; 7 – порошок; 8 – емкость для выгрузки порошка из отсадочной камеры

ВИХРЕВЫЕ МЕЛЬНИЦЫ

Вихревая мельница состоит из кожуха 1, в котором с частотой 3000 об/мин вращаются в противоположных направлениях пропеллеры 2, образующих вихревые потоки противоположного направления.

Частицы металла, загруженные в бункер, захватываются воздушными потоками и дробятся за счёт ударов друг о друга



Процесс протекает более интенсивно, чем в шаровых мельницах. Получающиеся частицы порошка размером 50...200 мкм имеют тарельчатую форму.

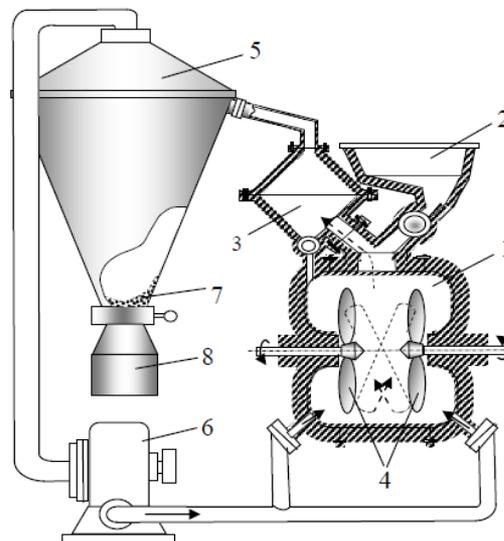
Схема вихревой мельницы

Измельчению подвергают как хрупкие, так и вязкие металлы, например, Fe, Cu, Al, Ag, различные сплавы железа, меди и других металлов. Преимущество - выход незагрязнённого порошка.

ВИХРЕВЫЕ МЕЛЬНИЦЫ

Производительность **вихревых мельниц** сравнительно невелика – не более 15 кг порошка в час у мельницы мощностью около 30 кВт. Более эффективны и производительны **струйные мельницы**, обеспечивающие сверхтонкое измельчение материала за счет энергии вводимых в рабочую камеру мельницы (со звуковой и даже сверхзвуковой скоростью) потоков сжатого газа (воздуха, азота и др.) или перегретого пара.

Материал, подаваемый в рабочую камеру мельницы, находится в постоянном движении, испытывая многократные соударения,



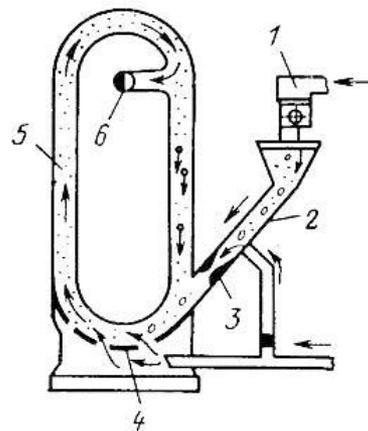
которые приводят к его интенсивному истиранию (самоизмельчению).

Так же как и в вихревых мельницах, измельченный материал (частицы размером от 1 до 5 мкм) удаляется из рабочей камеры потоком газа или пара.

2.12. СТРУЙНЫЕ МЕЛЬНИЦЫ

По виду энергоносителя струйные мельницы разделяют на воздушно-струйные и пароструйные. Основные принципиальные схемы струйных мельниц показаны ниже. **Струйная мельница с вертикальной кольцевой камерой** предназначена для сверхтонкого (менее 1 мкм) измельчения.

Материал, подаваемый питателем 1 по трубе 2 поступает в диффузор 3 и сжатым воздухом вносится в камеру мельницы 5.



Энергоноситель подается через систему сопел 4 в нижнюю часть камеры под определенным углом, чтобы вызвать циркуляцию воздуха в кольцевой камере.

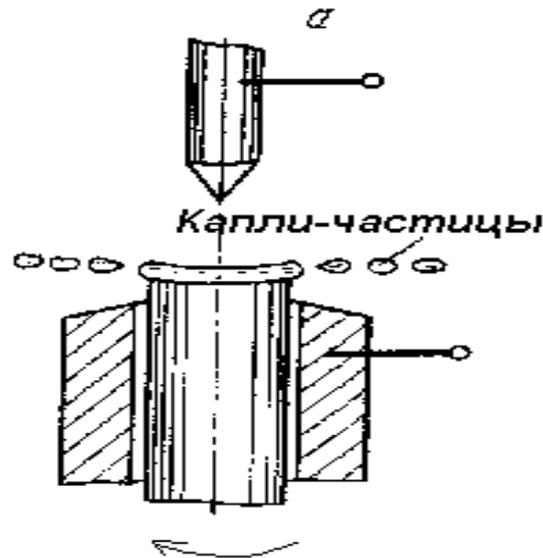
Струйная мельница с вертикальной кольцевой камерой

Измельчение происходит в результате соударений частиц в точках пересечения струй и в вихрях турбулентного потока. В верхнем участке камеры материал разделяется по крупности под действием центробежных сил, возникающих при движении струи по криволинейному участку. Тяжелые, более крупные частицы отбрасываются к внешней стороне камеры, теряют скорость и падают по правому стволу, где снова попадают в зону измельчения. Мелкие частицы сквозь жалюзи выносятся потоком газа в осадительные устройства по трубе 6.

2.13. ДИСПЕРГИРОВАНИЕ РАСПЛАВОВ

Диспергирование расплавленного металла или сплава струей сжатого газа, жидкости или механическим способом позволяет получать порошки, называемые **распыленными**. Процесс характеризуется высокой производительностью, технологичностью, степенью автоматизации и сравнительно малыми энергозатратами, экологической чистотой.

Метод диспергирования расплава дает возможность также оперативно увеличить производство металлического порошка



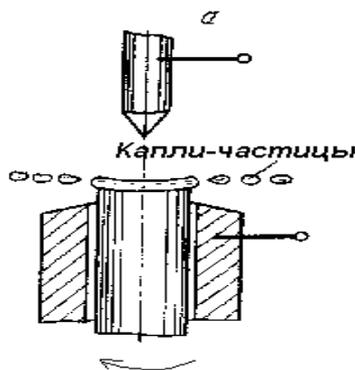
с контролируемыми свойствами при относительно низких затратах (в том числе капитальных)

и использовать в качестве исходного материала отходы металлообрабатывающей промышленности.

ДИСПЕРГИРОВАНИЕ РАСПЛАВОВ

Метод распыления широко используют для получения не только порошков железа, сталей и сплавов на основе железа, но и порошков цветных металлов и сплавов (алюминия, меди, свинца, цинка, титана, вольфрама и др.).

Распыление весьма эффективно при производстве порошков многокомпонентных сплавов и обеспечивает получение порошков с аморфной структурой,



которая позволяет достичь равномерного химического состава композиции, даже при содержании легирующих компонентов выше их предела растворимости в основном компоненте сплава.

Кроме того, порошки, полученные с использованием методов диспергирования расплавов, имеют оптимальное строение и тонкую структуру каждой образующейся частицы. Это связано с кристаллизацией дисперсных капель расплава с высокими скоростями **охлаждения** (до нескольких десятков и даже сотен миллионов градусов в секунду).

ДИСПЕРГИРОВАНИЕ РАСПЛАВОВ

Распыление неизбежно связано с изменением состава расплава из-за взаимодействия металла с энергоносителем или охлаждающей средой. Для распыления наиболее важны процессы взаимодействия расплава с кислородом (окисление), азотом (азотирование) и водородом (наводороживание).

При взаимодействии расплава с кислородом образование первичных оксидных пленок происходит практически мгновенно. Структура такой пленки может быть как аморфной, так и кристаллической.

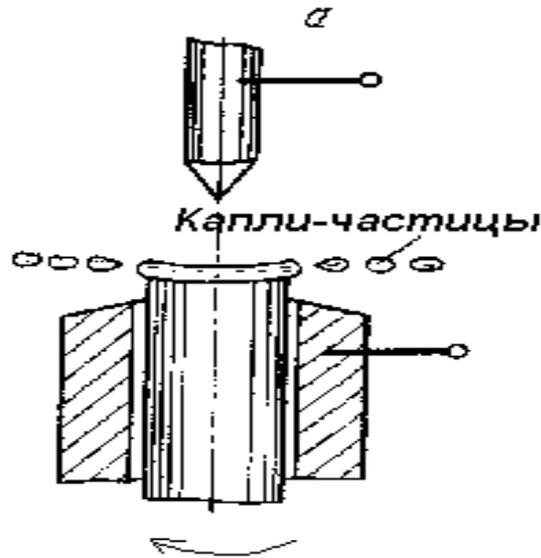
Водород в зоне распыления может образовываться в результате диссоциации паров воды при высоких температурах.

Азот попадает в расплав практически на всех этапах технологии. Он хорошо растворяется в железе, хrome, ванадии, марганце, молибдене, титане, цирконии и других металлах с образованием нитридов, что приводит к повышению твердости и снижению пластичности порошков, в связи с этим азот является нежелательной примесью. Для получения высококачественных, чистых по кислороду и азоту порошков жаропрочных сталей, титана, циркония и других металлов в технике в качестве технологических сред широко используют инертные газы (аргон, гелий) и вакуум.

ДИСПЕРГИРОВАНИЕ РАСПЛАВОВ

Сущность получения металлических порошков из расплава заключается в нарушении сплошности его потока (струи или пленки) под действием различных источников возмущений с возникновением дисперсных частиц.

Все методы диспергирования расплавов условно можно разделить на пять групп:



- методы центробежного распыления;
- методы ультразвукового распыления;

- методы распыления расплава потоками энергоносителей;
- бесконтактные методы распыления;
- высокоскоростные методы распыления.

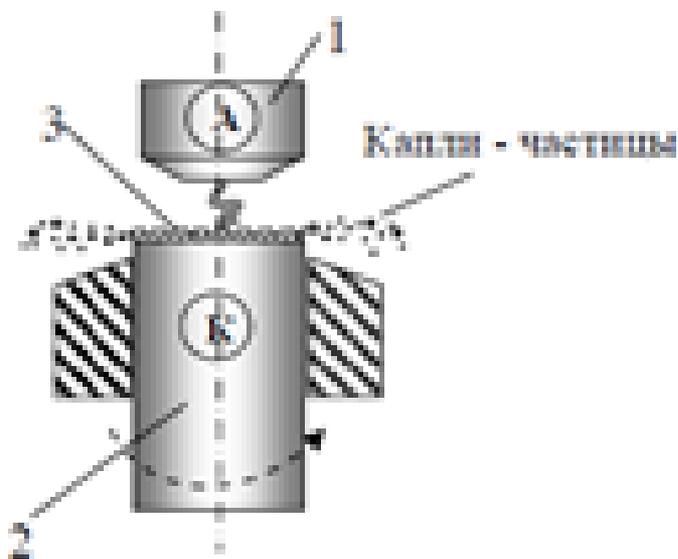
МЕТОДЫ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ РАСПЛАВОВ

Используют три способа центробежного диспергирования расплава:

- способ быстровращающегося электрода;
- способ вращающегося диска;
- способ вращающегося перфорированного стакана.

По способу вращающегося электрода распыление расплава проводят с торца расходуемой быстровращающейся (со скоростью 2 000–20 000 об/мин) заготовки цилиндрической формы.

Образование на торце заготовки тонкой пленки расплавленного металла (10–30 мкм) происходит за счет действия на нее электрической дуги, потока плазмы или мощного электронно-лучевого зонда.



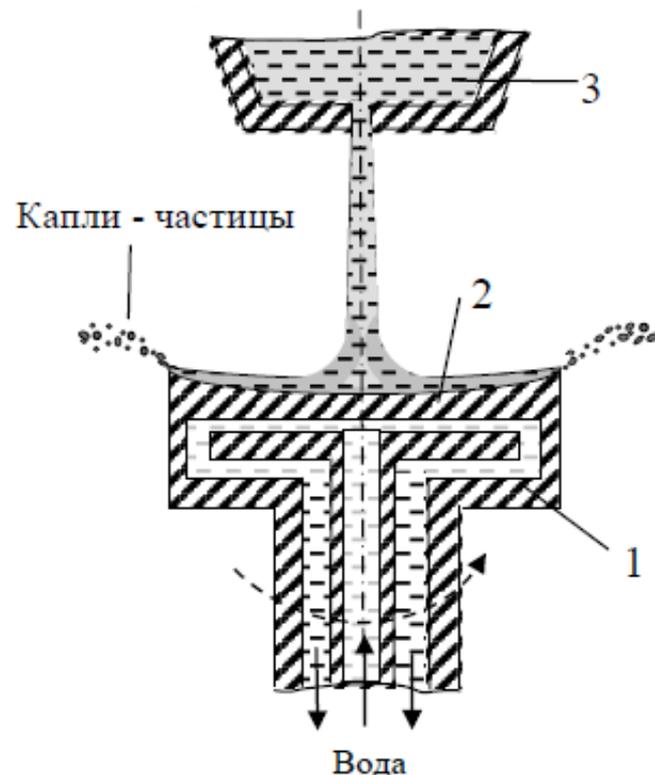
Схемы установки для центробежного распыления расплава металлов способом вращающегося электрода: 1 – противозлектрод; 2 – быстровращающийся электрод; 3 – пленка расплавленного металла

МЕТОДЫ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ РАСПЛАВОВ

На установке для центробежного распыления расплавов металлов **способом вращающегося диска** плавление металла проводят автономно, вне зоны распыления. Струю расплава подают на вращающийся со скоростью до 24 000 об/мин диск, на его вогнутой поверхности образуется пленка жидкого металла, от которой затем отрываются капли-частицы размером < 100 мкм.

Кристаллизация каплей происходит в атмосфере инертного газа. Скорость кристаллизации – 10^5 – 10^6 °C/с.

Схема установки для центробежного распыления расплавов металлов способом вращающегося диска: 1 – водоохлаждаемый диск; 2 – пленка металла; 3 – тигель с расплавом металла

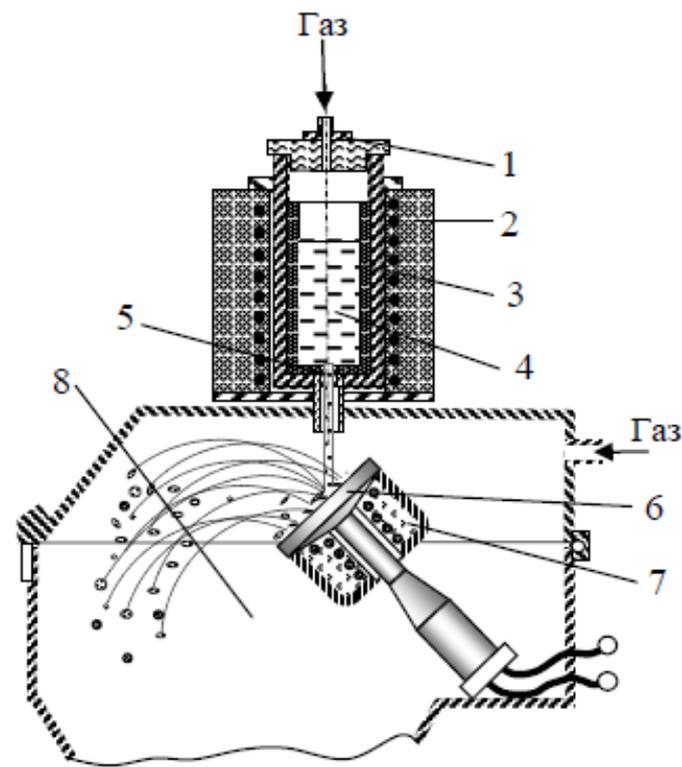


МЕТОДЫ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ РАСПЛАВОВ

Ультразвуковой метод распыления расплавов применяют при диспергировании легкоплавких металлов и сплавов ($T_{пл} < 1\ 000\ ^\circ\text{C}$). По одному из вариантов струя или капля расплава подается на обогреваемую поверхность излучателя, растекается по ней в виде

пленки (толщина пленки порядка 2–3 мм) и разрушается с образованием капель-частиц размером в несколько десятков микрометров (преимущественно 40–60 мкм).

Схема ультразвукового диспергирования расплавов металлов – установка с вынесенным излучателем: 1 – система подачи газа; 2 – печь; 3 – графитовый стакан; 4 – расплав металла; 5 – твердосплавное сопло; 6 – излучатель ультразвуковых колебаний; 7 – нагреватель излучателя; 8 – камера распыления;

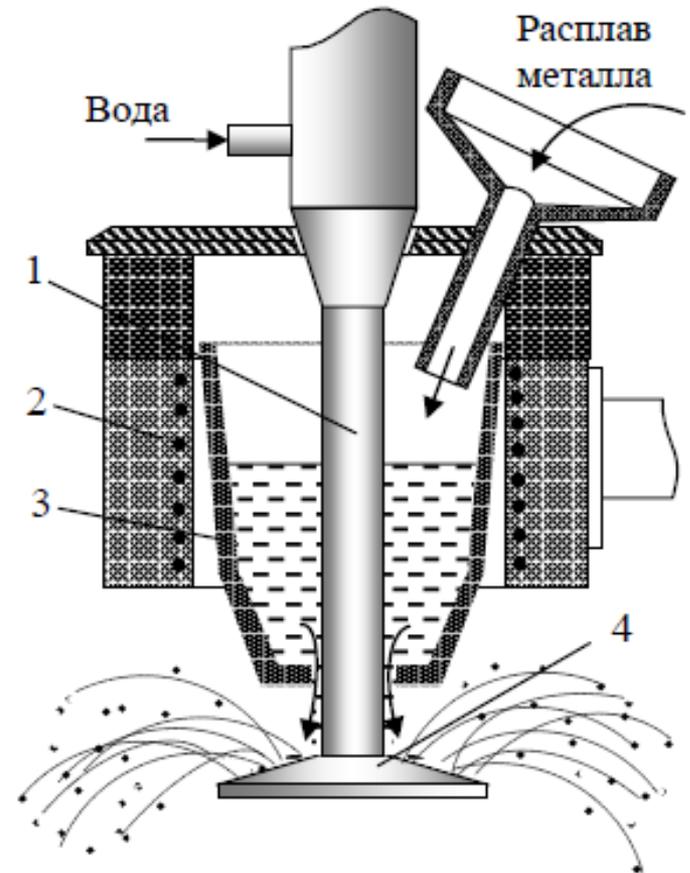


МЕТОДЫ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ РАСПЛАВОВ

По другой схеме распыление тонкой пленки расплава происходит с внешней поверхности конической части ультразвуковой насадки, проходящей через емкость с расплавленным металлом. Как в первом, так и во втором случаях,

распыление расплава осуществляется в закрытой камере, наполненной защитным газом (образующиеся капlichастицы охлаждаются струей инертного газа).

Схема ультразвукового диспергирования расплавов металлов – установка с излучателем, проходящим через емкость с расплавом: 1 – концентратор колебаний; 2 – нагревательное устройство; 3 – контейнер с расплавом; 4 – излучатель



МЕТОДЫ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ РАСПЛАВОВ ПОТОКАМИ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЯ

На практике при использовании газа используют три основные схемы подачи (направления на расплав) энергоносителя:

- поток газа обтекает струю расплава соосно;
- поток газа направлен к струе расплава под некоторым углом (наиболее распространено распыление с углом атаки от 20 до 60°);
- поток газа направлен к струе расплава под прямым углом.

Для распыления свободно истекающей струи металла или сплава с точкой ликвидуса до 1600 °С используют схему с вертикальным расположением форсуночного устройства. Подобная схема обеспечивает высокую производительность процесса. Кроме того, эта схема позволяет применять различные энергоносители (воздух, азот, аргон, гелий, углекислый газ).

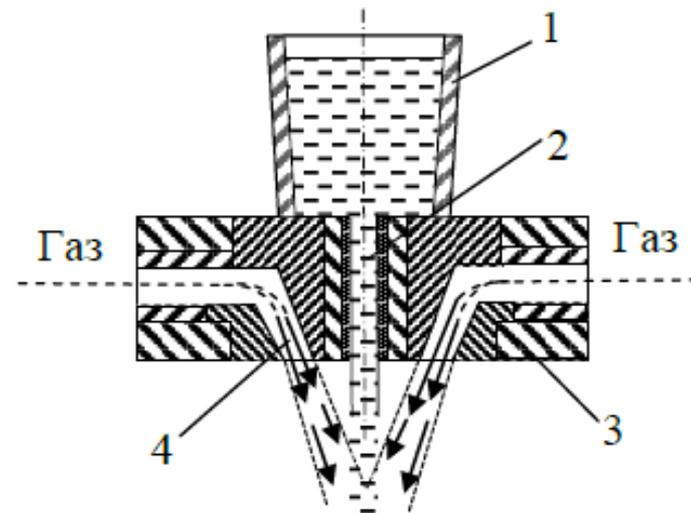
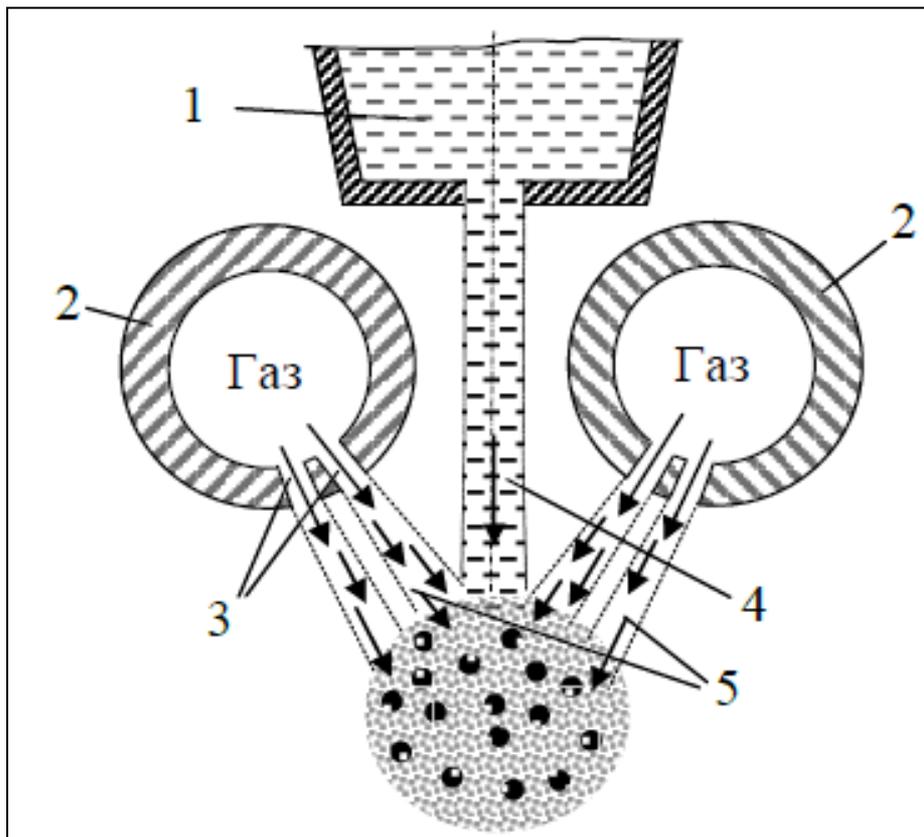


Схема с вертикальным расположением форсуночного устройства: 1 – металлоприемник; 2 – струя расплава; 3 – форсуночное устройство; 4 – кольцевое сопло Лаваля;

МЕТОДЫ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ РАСПЛАВОВ ПОТОКАМИ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЯ

Легкоплавкие металлы (с ликвидусом до 800 °С) могут распыляться путем подачи энергоносителя через горизонтальные, расположенные друг напротив друга трубы, с множеством отверстий для выхода газа. Расплав металла подается в зону распыления сразу из нескольких последовательно расположенных металлоприемников.

Схема многоструйного форсуночного элемента трубчатого типа: 1 – металлоприемник; 2 – трубопроводы; 3 – отверстия для выхода газа; 4 – струя расплава; 5 – струи газа



МЕТОДЫ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ РАСПЛАВОВ ПОТОКАМИ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЯ

В последние десятилетия в качестве энергоносителя все более активно используют воду. Скорость водных потоков, направляемых на расплав, достигает 100–150 м/с при давлении до 15–25 МПа. Высокая скорость воды в зависимости от конструкции форсунки сохраняется на расстоянии до 500 мм, что позволяет подобрать наиболее эффективную схему распыления расплава.

Струи воды могут направляться на расплав с одной или нескольких сторон:

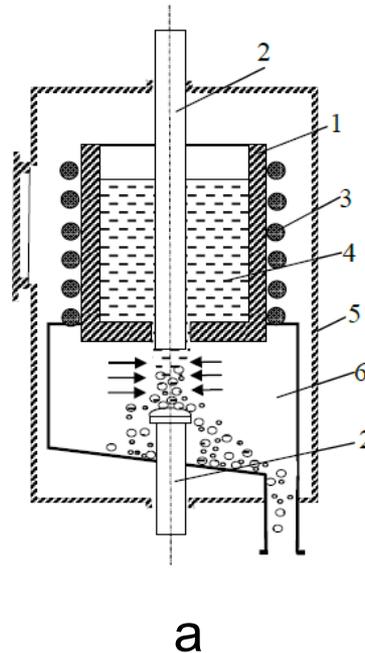
на практике применяются схемы, в которых диспергирование расплавов осуществляется коаксиальными потоками энергоносителя под углом от 5–15° до 60–70°.

В большинстве случаев для распыления металлов используют сопловые, кольцевые-щелевые или плоскощелевые форсунки.

БЕСКОНТАКТНЫЕ СПОСОБЫ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ РАСПЛАВОВ

Бесконтактные методы диспергирования расплава основаны на использовании мощных импульсов электрического тока, пропускаемых через твердый или жидкий металлический проводник, а также электромагнитных полей.

Если ток проходит по жидкому проводнику, то возникает магнитное давление, направленное по радиусу к центру струи расплава, приводящее к ее распаду на капле-частицы размером 10–500 мкм.

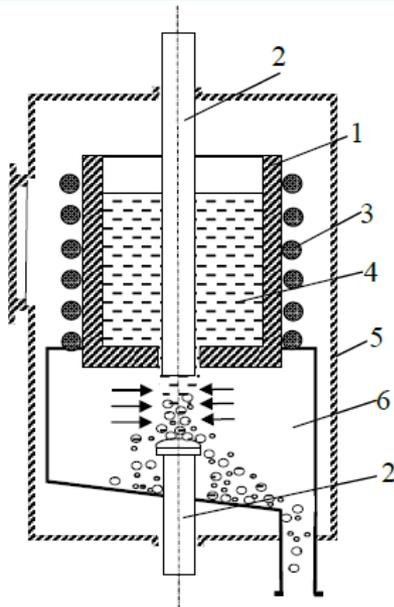


При диспергировании жидкого металла с помощью электромагнитного поля силы, которые инициируются в индукционной катушке, действуют либо на струю, сжимая и разрушая ее (а),

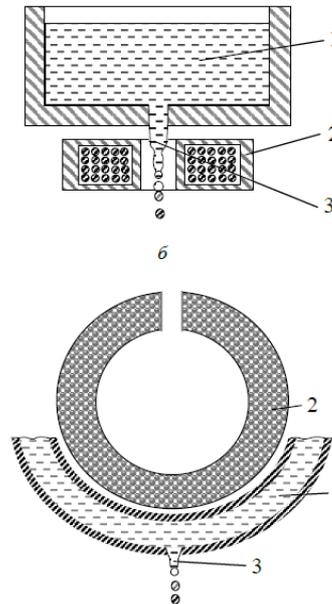
либо непосредственно на расплав, выдавливая его по каплям из отверстия в канале (б)

БЕСКОНТАКТНЫЕ СПОСОБЫ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ РАСПЛАВОВ

При диспергировании жидкого металла с помощью электромагнитного поля силы, которые инициируются в индукционной катушке, действуют либо на струю, сжимая и разрушая ее (а), либо непосредственно на расплав, выдавливая его по каплям из отверстия в канале (б)



а



б

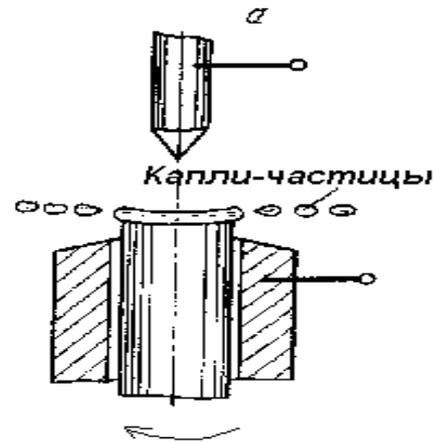
в

Схемы бесконтактных методов распыления расплава: а – пропускание тока по струе расплава: 1 – тигель; 2 – электроды; 3 – индуктор; 4 – расплав; 5 – камера; 6 – сборник порошка; б, в – при наложении электромагнитного поля (б – на струю, в – на расплав): 1 – металлоприемник; 2 – электромагнитная катушка; 3 – струя расплава

МЕТОД ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ РАСПЛАВА

В настоящее время активно развиваются методы распыления расплавов, обеспечивающие возможность получения порошков с аморфной структурой. Затвердевание металлического расплава со скоростью больше 10^6 °C/с связано с излучательной потерей энергии или конвекцией тепла.

Передача тепла путем непосредственного контакта капли расплава с теплопроводящей поверхностью позволяет достигать скоростей порядка 10^{10} °C/с.



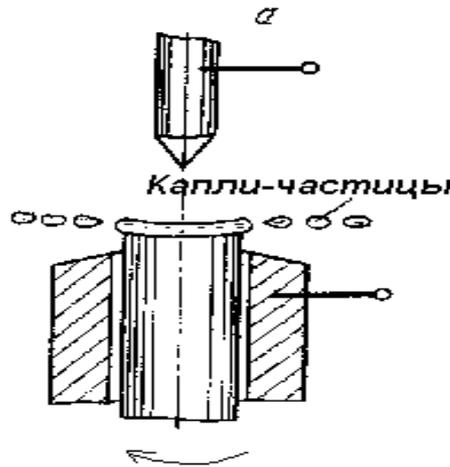
Один из применяемых на практике методов высокоскоростной закалки позволяет обеспечить быстрое (10^7 – 10^8 °C/с)

затвердевание жидкой капли расплава за счет ее попадания на водоохлаждаемый экран, который устанавливается под углом от 15 до 45° к направлению ее движения.

МЕТОД ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ РАСПЛАВА

При ударе об экран капля расплава перемещается по его поверхности и кристаллизуется в виде частицы пластинчатой формы. Этим методом получают так называемые РИБЗ-порошки (распыленные и быстрозакаленные).

Распыление расплава (чаще всего) производят с использованием перфорированного быстровращающегося тигля.



В настоящее время активно развиваются методы распыления расплавов,

обеспечивающие возможность получения порошков с аморфной структурой.

Контрольные вопросы

1. Для чего нужны защитные среды?

2. Какие защитные среды применяют на производствах порошковой металлургии?

3. Перечислите составы газовых защитных сред.

4. Рассмотрите принцип устройства валковых, щековых и молотковых дробилок.

5. Укажите механизмы перехода мельницы в различные режимы.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные технологические признаки классификации мельниц.
2. Какими методами осуществляется диспергирование расплавов?
3. Какое действие оказывает на расплав азот и водород?
4. Какие вы знаете бесконтактные способы диспергирования расплавов?
5. Назовите способы центробежного распыления расплавов.

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Изучить методы диспергирования расплавов для получения аморфной структуры.
2. Изучить схемы движения шаров в барабане шаровой мельницы при различной скорости его вращения.

Список литературы

1. Технология конструкционных материалов и материаловедение : учебное пособие / И. П. Гладкий, В. И. Мощенок, В. П. Тарабанова, Н. А. Лалазарова, Д. Б. Глушкова. – Харьков: ХНАДУ, 2014. – 528с.

2. Прейс Г.А. Технология конструкционных материалов / Г.А. Прейс и др. – К. : Выща шк., 1991.

3. Технология обработки конструкционных материалов: Учебн. Для машиностр. спец. вузов / П.Г. Петруха и др.; Под. ред. П.Г. Петрухи. – М.: Высш. шк., 1991. – 512с.



Кафедра технології металлов и матеріалознавства

Лалазарова Наталиа Алексеевна

**г. Харьков, ул. Петровского, 25, ХНАДУ, КАФЕДРА ТМ и М
Tel.(8-057)707-37-92**