



«Технология изготовления изделий из
порошков и пластмасс»

Лекция 3

Порошковая металлургия.

Механические методы получения порошков

Lec_3_TIPR_MC41_LNA_16_02_2017

Лалазарова Н.А.

Содержание

✦ 3.1. Устройство и основные элементы шаровых мельниц.

✦ 3.2. Факторы, определяющие степень измельчения

✦ 3.3. Управление процессом измельчения

✦ 3.4. Вибрационные мельницы

✦ 3.5. Центробежные мельницы

✦ 3.6. Вихревые мельницы

✦ 3.7. Струйные мельницы

✦ 3.5. Диспергирование расплавов

✦ Контрольные вопросы

✦ Задания для самостоятельной работы

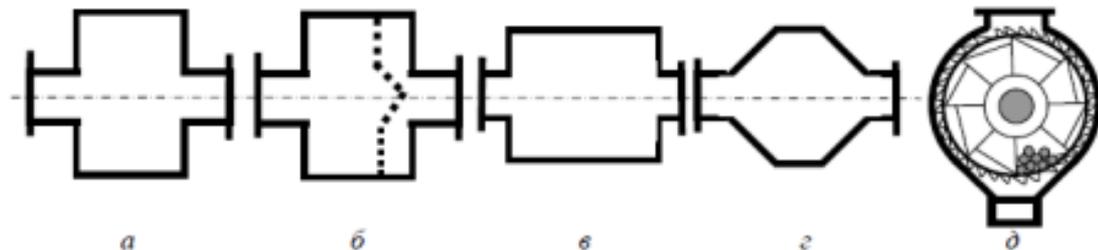
✦ Список литературы

3.1. УСТРОЙСТВО И ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ШАРОВЫХ 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

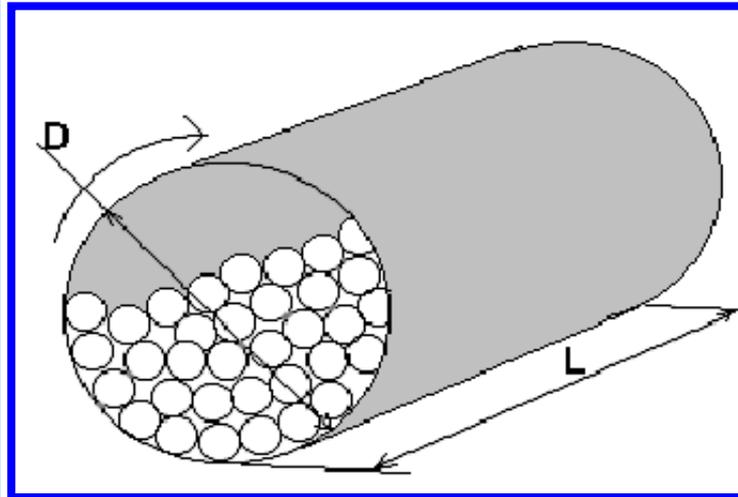


Схемы шаровых вращающихся мельниц: а, в – с центральной загрузкой барабана через цапфу; б – с торцевой загрузкой (цилиндро-коническая); г – с периферической загрузкой и выгрузкой материала через сита; д – разрез шаровой мельницы постоянного действия

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

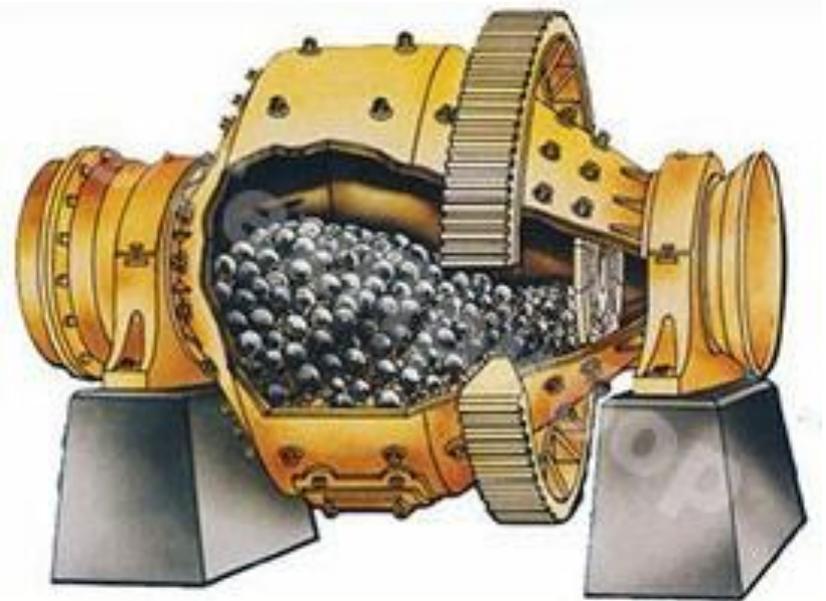
Недостатком измельчения является загрязнение порошков продуктами изнашивания шаров и футеровки мельницы.



Шаровые мельницы
для сухого и
мокрого помола
МШ-60



Шаровая
мельница



Ударная шаровая
мельница

3.2. 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.

3.3. 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.

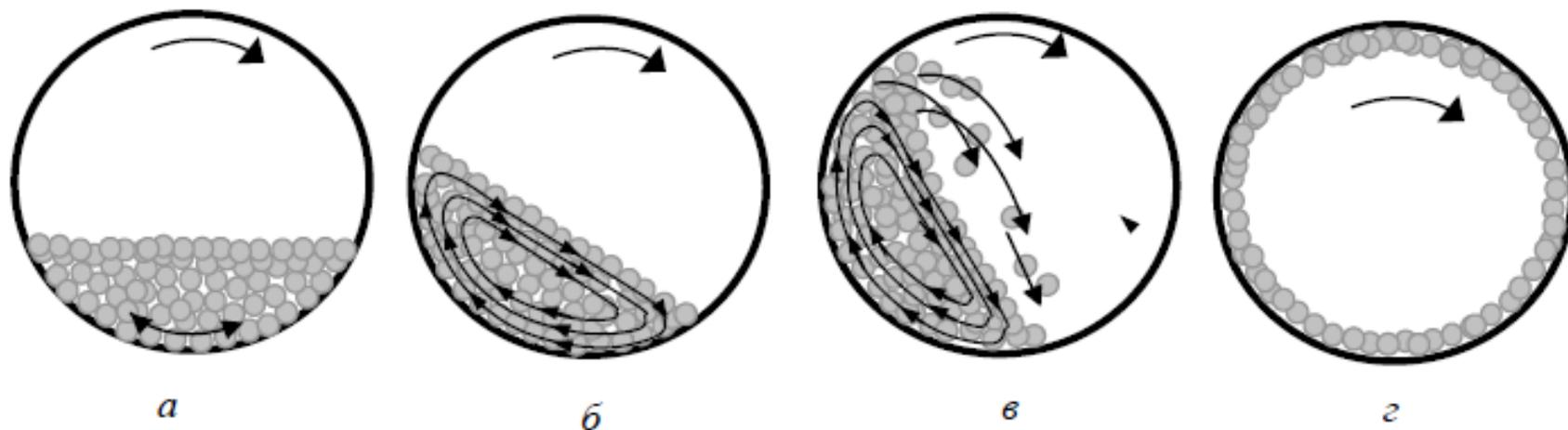


Схема движения шаров в барабане шаровой мельницы при различной скорости его вращения: *а* – режим скольжения при $n \leq 0,2 n_{кр}$; *б* – режим перекатывания при $n \leq 0,4–0,6 n_{кр}$; *в* – режим интенсивного измельчения (водопадный режим) при $n \leq 0,75–0,85 n_{кр}$; *г* – движение шаров при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

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.

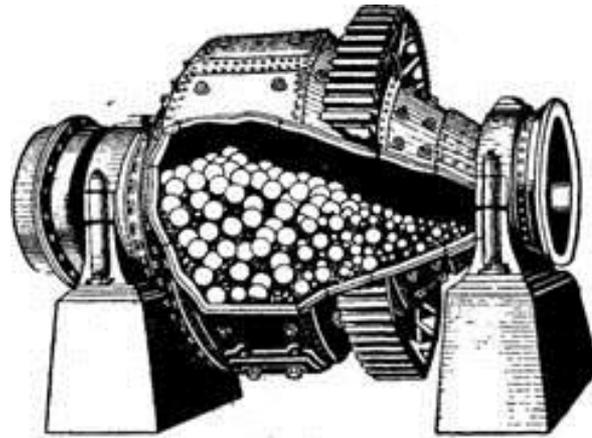
В практике размола величина φ иногда определяется местными условиями (например, наличием загрузочного люка в торцовой стенке барабана мельницы или количеством измельчаемого материала).

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.

3.4. ВИБРАЦИОННЫЕ МЕЛЬНИЦЫ

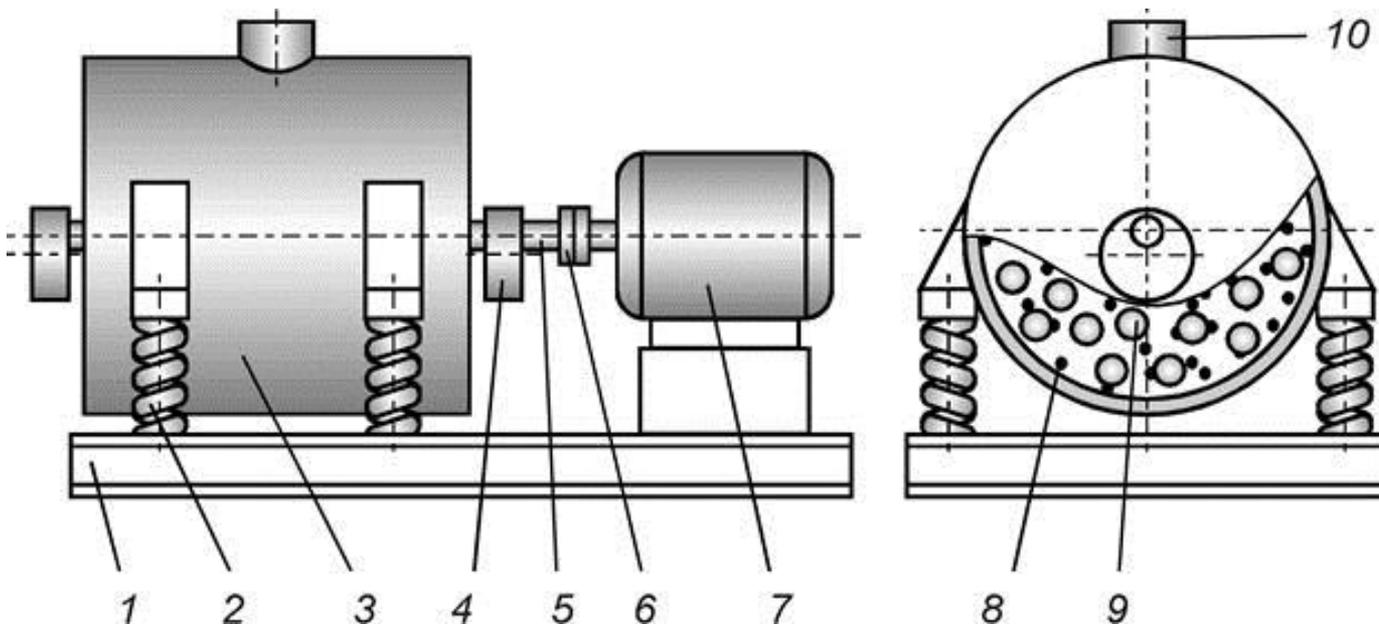
В практике порошковой металлургии широко используют **вибрационные мельницы**, обеспечивающие быстрое и тонкое измельчение обрабатываемых материалов, например карбидов и других тугоплавких соединений различных металлов, при производстве твердых сплавов и др.

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.

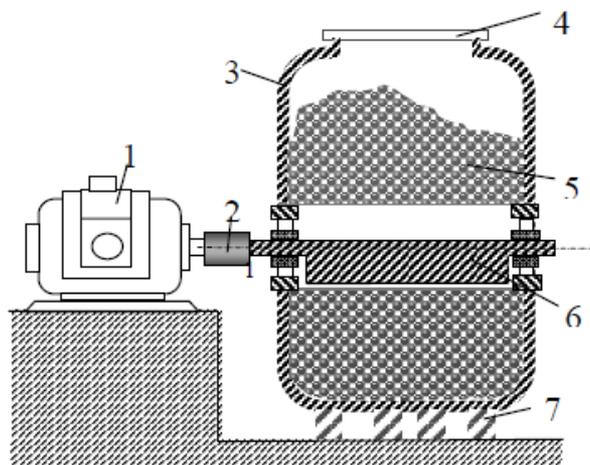


Вибрационная мельница состоит из станины 1, на которой через пружинные опоры 2 установлена помольная камера 3. Привод осуществляется от электродвигателя 7 через упругую муфту 6 к валу 5 вибровозбудителя. Вибровозбудитель представляет собой вал с дебалансными дисками и может быть установлен с наружной 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 пылевыделения 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.

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)

3.5. 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).

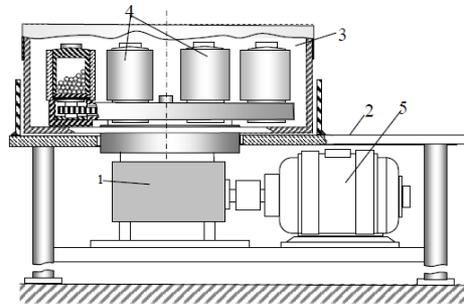


Схема планетарной центробежной мельницы: 1 – редуктор; 2 – опорный стол; 3 – корпус-шкив с механизмом привода барабанов; 4 – барабан с размольными телами, обоймы для установки барабанов; 5 – электродвигатель

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.

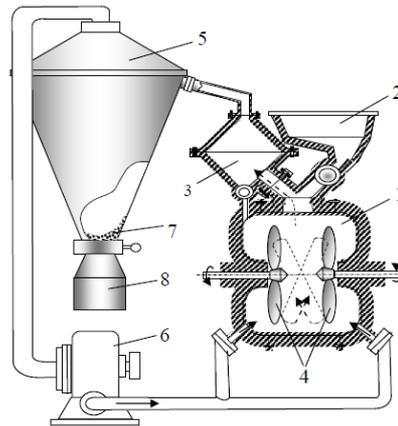
Размольные тела, применяемые для работы мельницы, также изготавливают из керамики на основе диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия.

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.

3.6. 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,



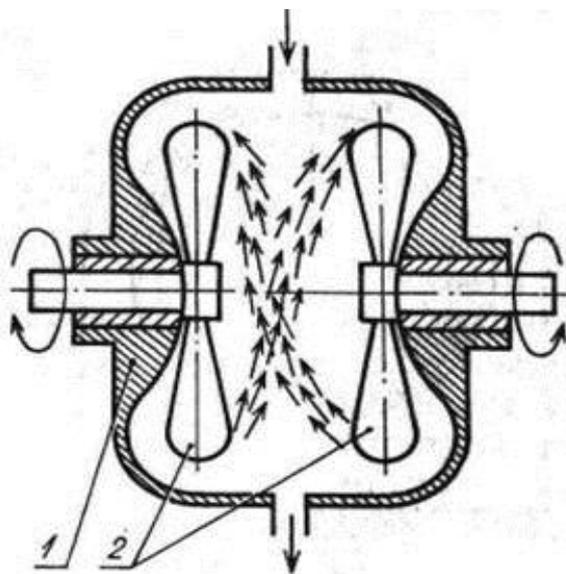
вращающиеся в противоположных направлениях при высоких (порядка 3 000 об/мин), но обязательно равных скоростях.

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.

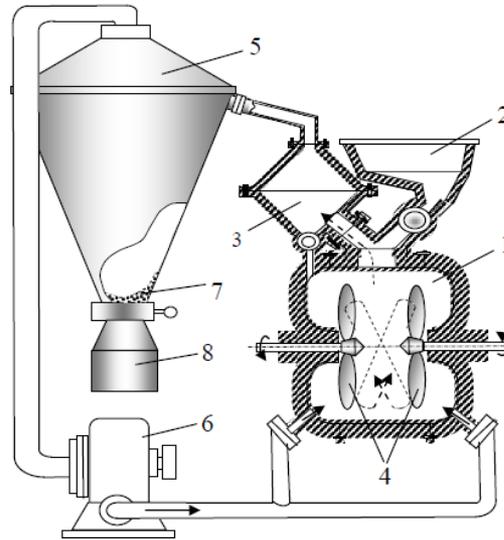
Схема вихревой мельницы

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,



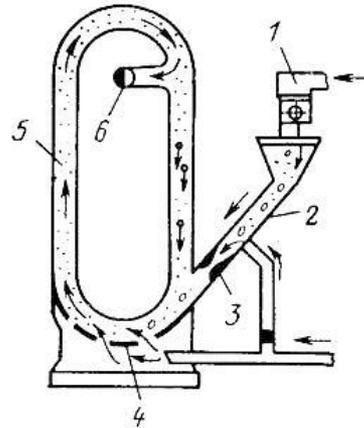
которые приводят к его интенсивному истиранию (самоизмельчению).

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

3.7. 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.

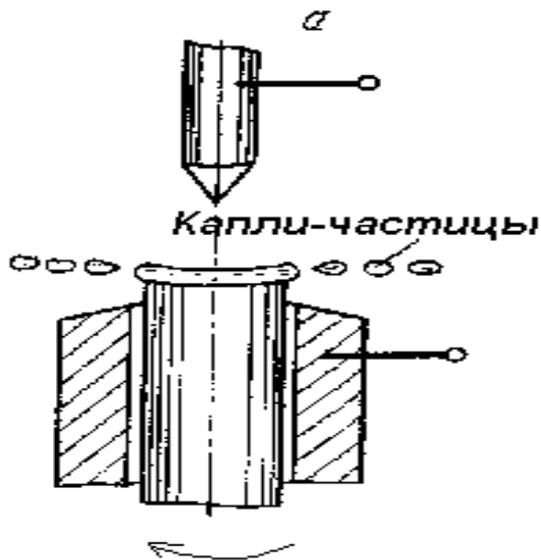
Струйная мельница с вертикальной кольцевой камерой

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.

3.8. 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



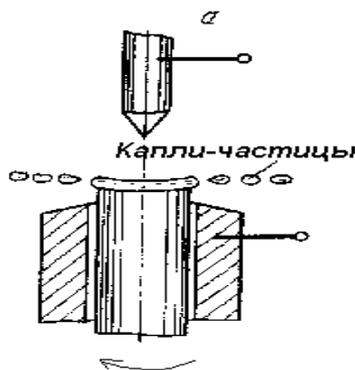
с контролируемыми свойствами при относительно низких затратах (в том числе капитальных)

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).

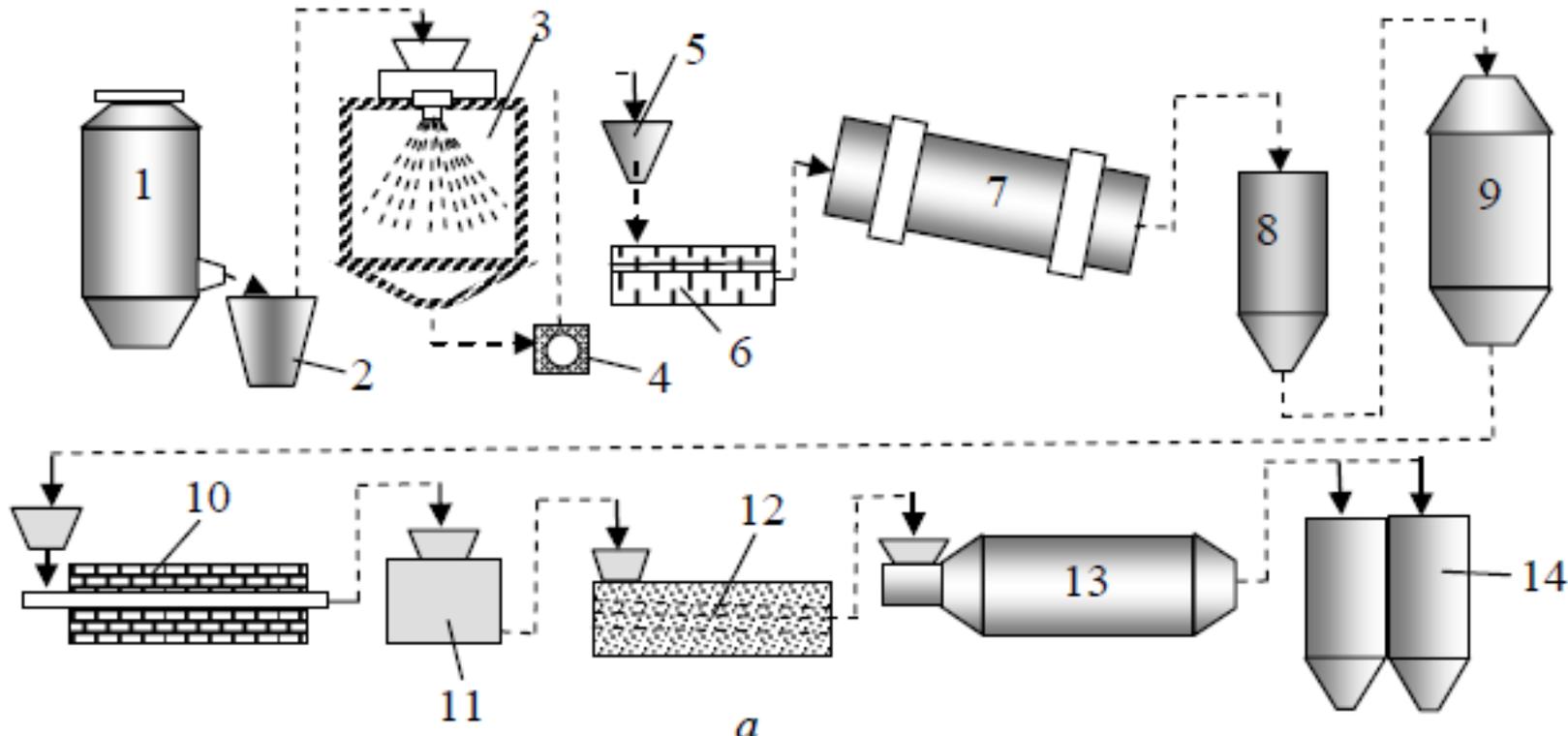
ДИСПЕРГИРОВАНИЕ РАСПЛАВОВ

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.

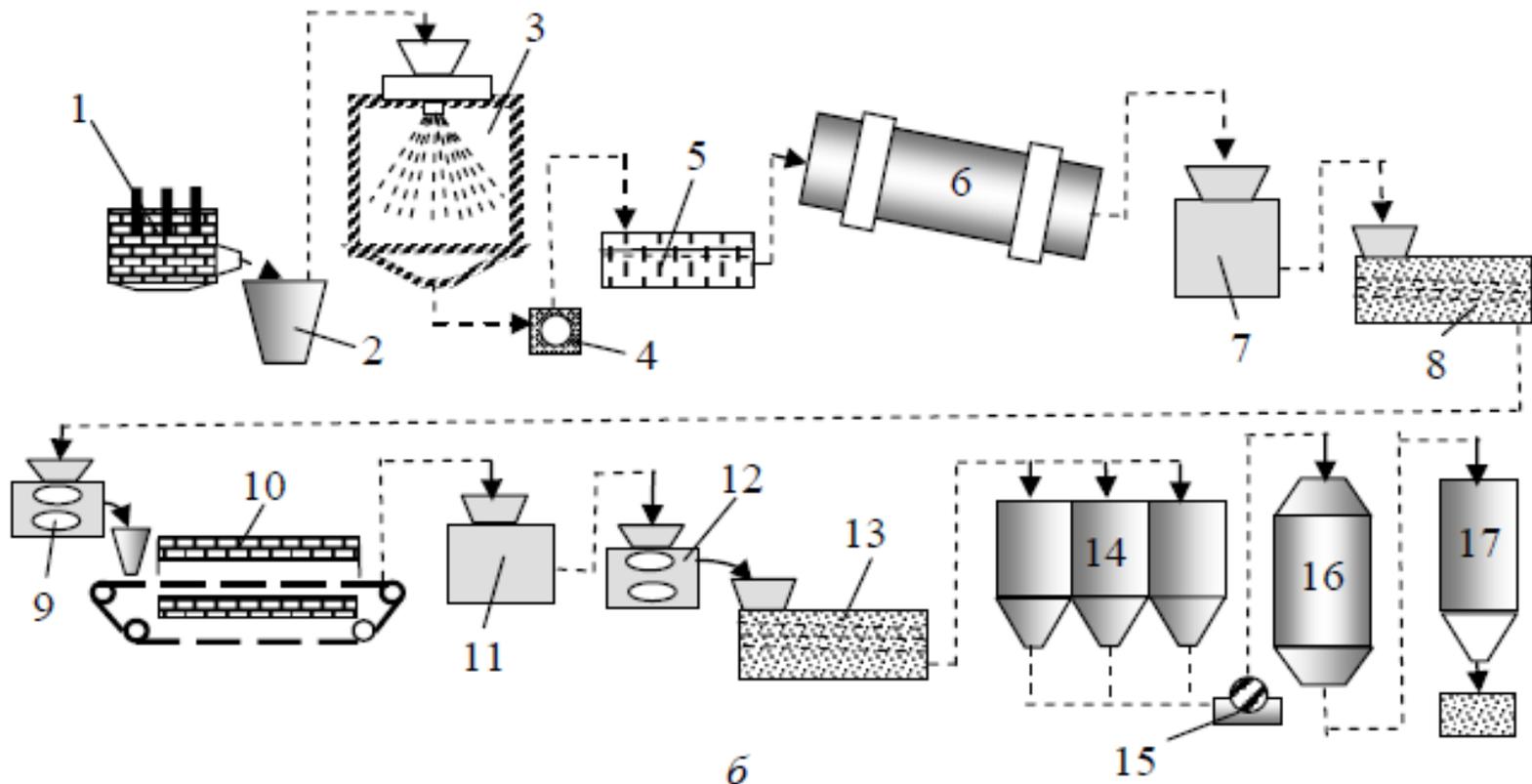
Водород в зоне распыления может образовываться в результате диссоциации паров воды при высоких температурах.

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.



Типовые аппаратно-технологические схемы получения порошков железа:

a – распыление расплава воздухом в воду: 1 – печь; 2 – емкость для расплава металла; 3 – установка распыления; 4 – насос для перекачки пульпы порошка; 5 – гидроциклон; 6 – фильтр; 7 – вращающаяся сушильная печь; 8 – бункер для хранения высушенного порошка; 9 – двойной конусообразный смеситель; 10 – печь для восстановления порошка (печь с шагающим подом); 11 – молотковая мельница; 12 – классификатор; 13 – смеситель (для усреднения порошка); 14 – бункеры для хранения порошка перед упаковкой;



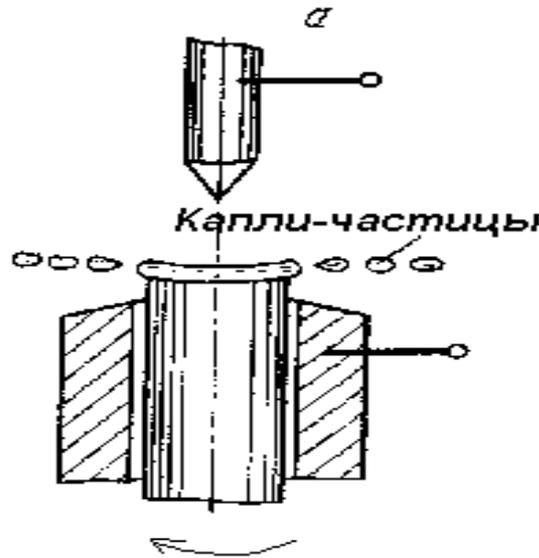
Типовые аппаратно-технологические схемы получения порошков железа:

б – распыление расплава водой в воду: 1 – печь; 2 – емкость для расплава металла; 3 – установка распыления; 4 – насос; 5 – гидроциклон; 6 – сушильная печь; 7 – мельница; 8, 13 – классификатор; 9, 12 – магнитный сепаратор; 10 – печь для восстановления порошка (конвейерная); 11 – молотковая мельница; 14 – бункеры для хранения порошка; 15 – весы; 16 – смеситель; 17 – бункер для хранения порошка перед упаковкой

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.

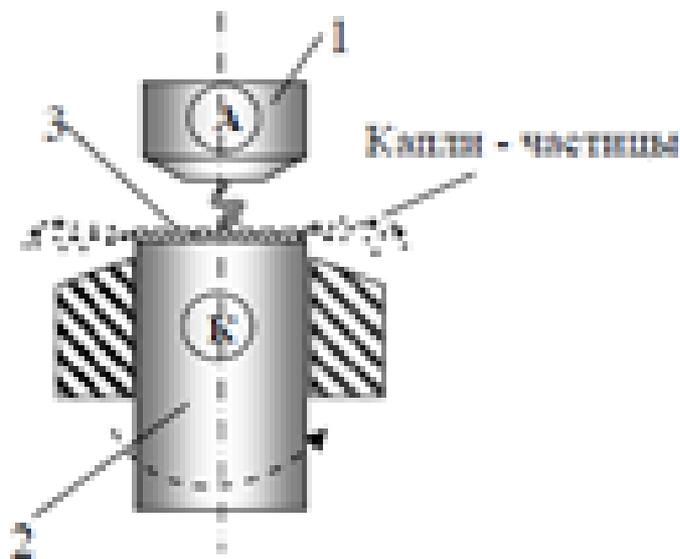
МЕТОДЫ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ РАСПЛАВОВ

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.



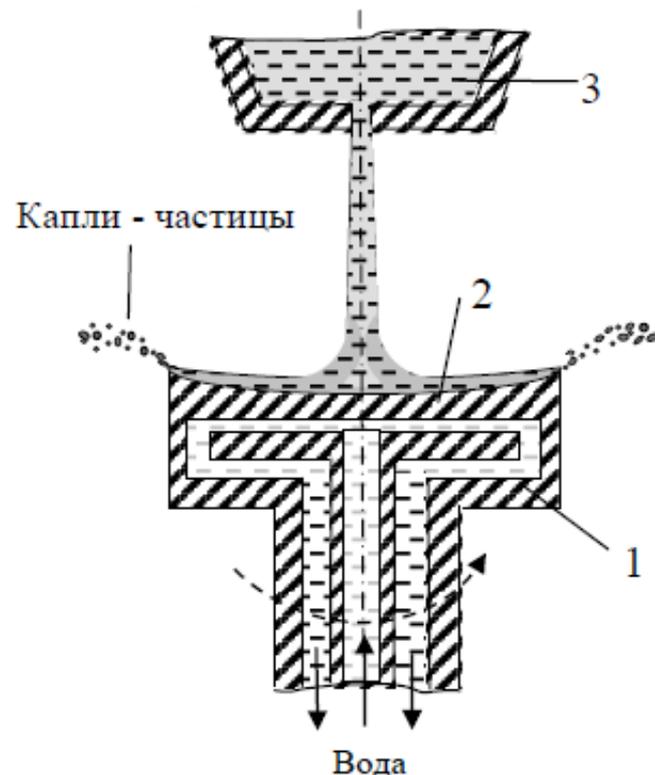
Схемы установки для центробежного распыления расплава металлов способом вращающегося электрода: 1 – противозлектрод; 2 – быстровращающийся электрод; 3 – пленка расплавленного металла

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 капليчастицы 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

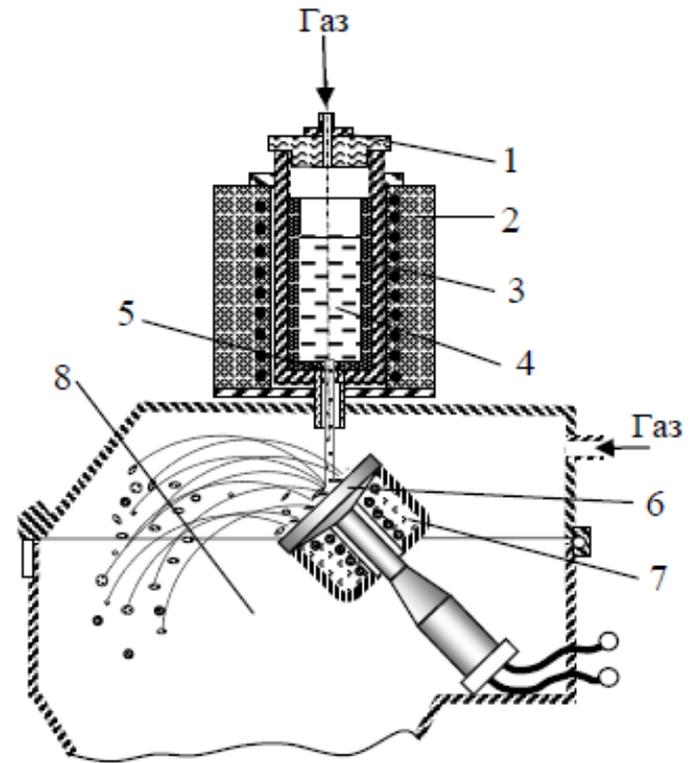


МЕТОДЫ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ РАСПЛАВОВ

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;

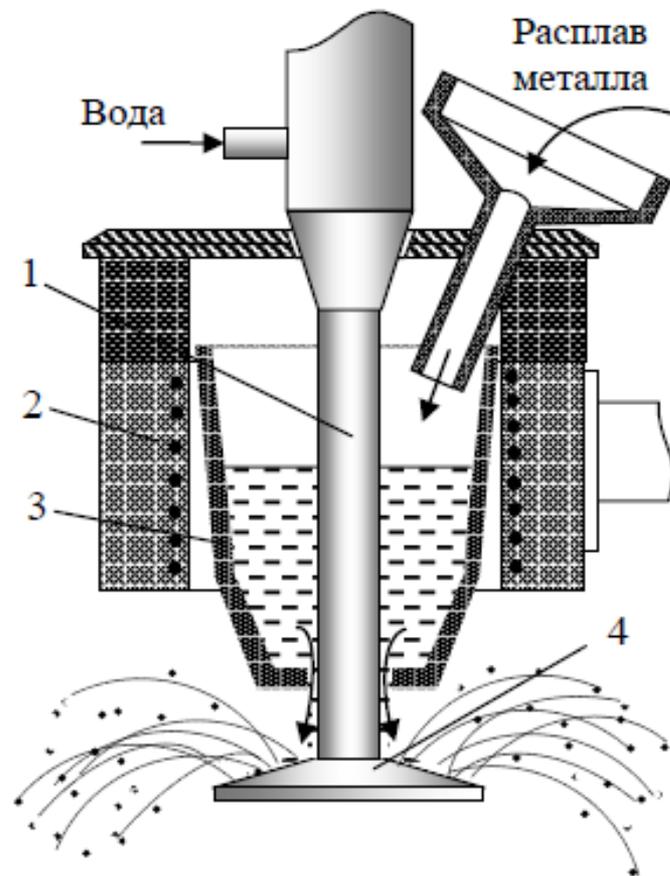


МЕТОДЫ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ РАСПЛАВОВ

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).

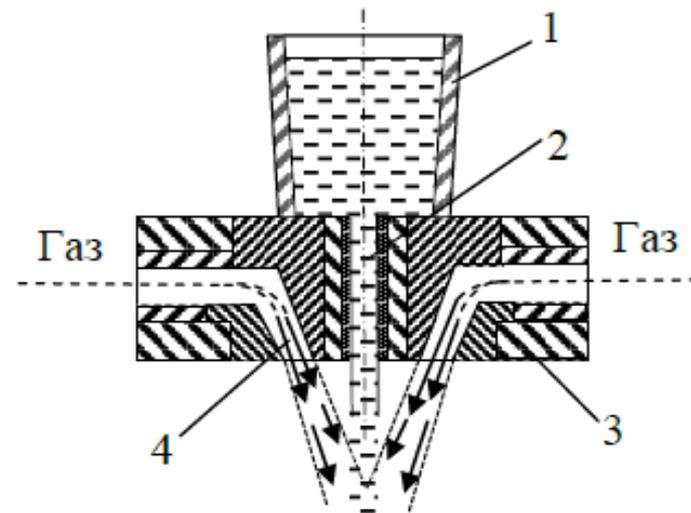
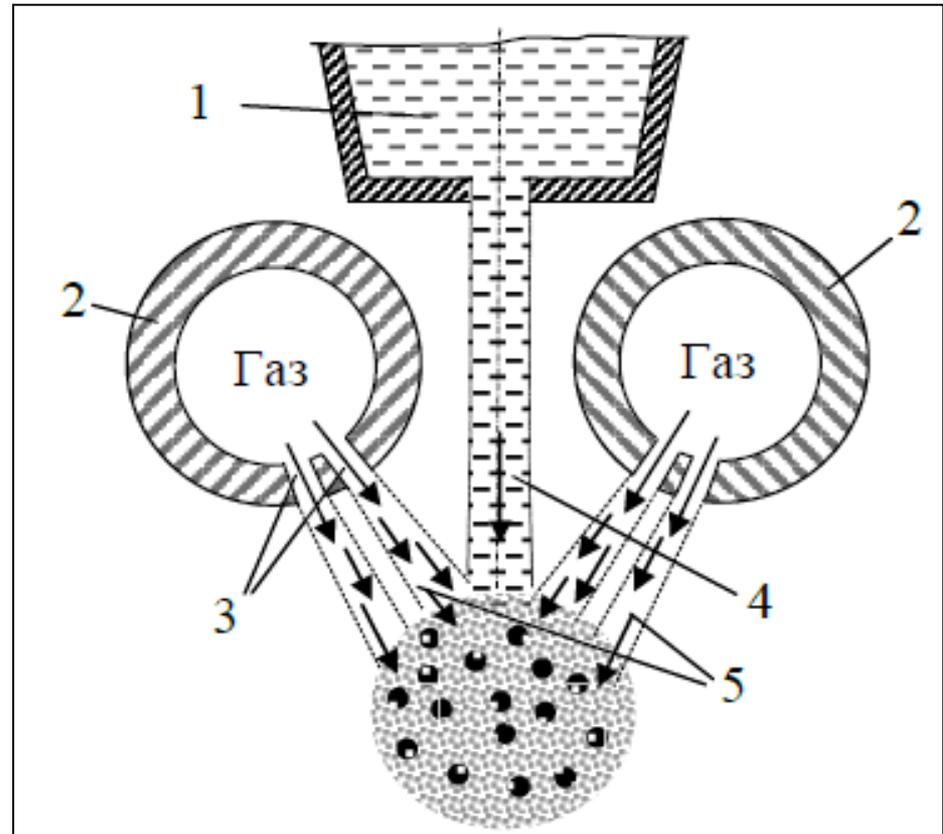


Схема с вертикальным расположением форсуночного устройства: 1 – металлоприемник; 2 – струя расплава; 3 – форсуночное устройство; 4 – кольцевое сопло Лаваля;

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:

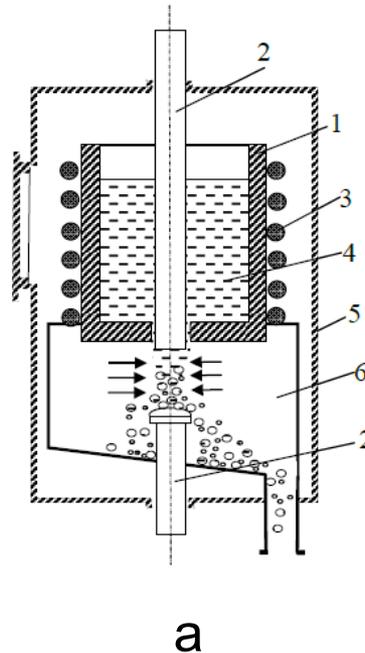
на практике применяются схемы, в которых диспергирование расплавов осуществляется коаксиальными потоками энергоносителя под углом от 5–15° до 60–70°.

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.

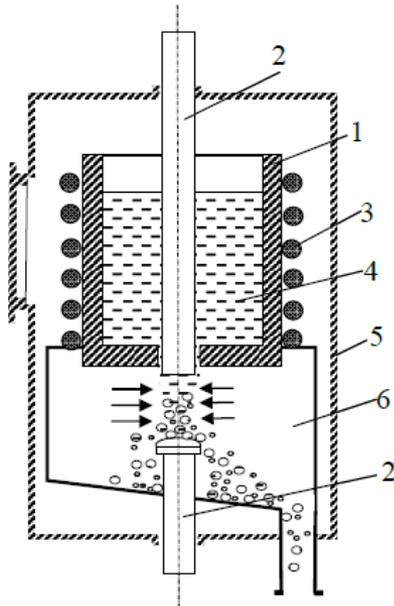


При диспергировании жидкого металла с помощью электромагнитного поля силы, которые инициируются в индукционной катушке, действуют либо на струю, сжимая и разрушая ее (а),

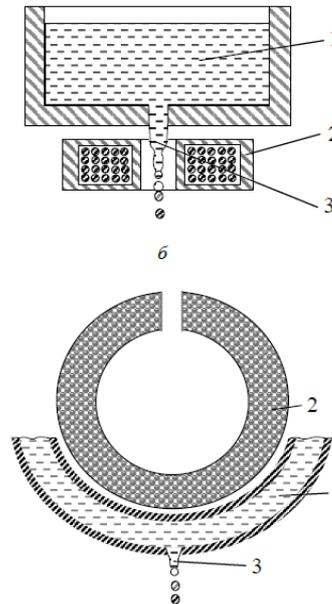
либо непосредственно на расплав, выдавливая его по каплям из отверстия в канале (б)

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

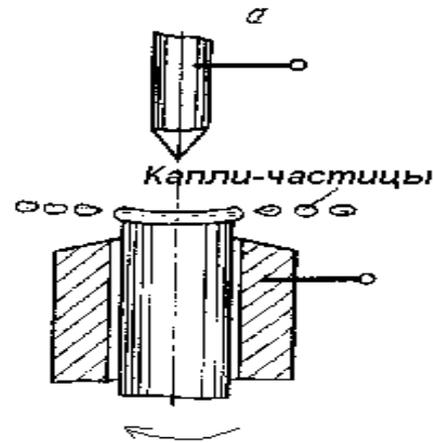
в

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.



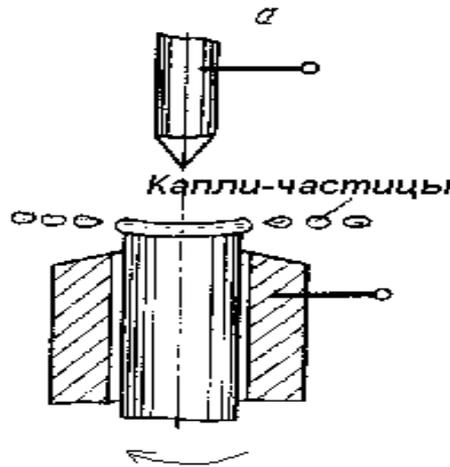
Один из применяемых на практике методов высокоскоростной закалки позволяет обеспечить быстрое (10^7 – 10^8 °C/с)

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. 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.

Список литературы

1. Осокин, Е.Н. Процессы порошковой металлургии. Версия 1.0 [Электронный ресурс] :курс лекций / Е. Н. Осокин, О. А. Артемьева. – Электрон. дан. (5 Мб). – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. –

2. <http://metal-archive.ru/tehnologiya-bystrozakalennyh-splavov/2684-metody-sverhbystrogo-zatverdevaniya-rasplava.html>

3. Цыркин А.Т., Михайлов А.Н., Петров М.Г., Головятинская В.В. Формирование структуры и свойств порошковых материалов. – Донецк: ДонНТУ, 2013. – 162 с.



Кафедра технології металлов и материаловедения

Лалазарова Наталия Алексеевна

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