



«Технологія виготовлення изделий из порошків и пластмас»

Лекція 5

Порошковая металлургия. Формование

Lec_5_TIIP_MC41_LNA_09_03_2017

Лалазарова Н.А.

Содержание



5.1. Операции формования порошков.



5.2. Прессование в стальной прессформе



5.3. Формование порошков прокаткой



5.4. Формование порошков экструзией



5.5. Мундштучное прессование



5.6. Изостатическое прессование



5.7. Спекание



Контрольные вопросы



Задания для самостоятельной работы



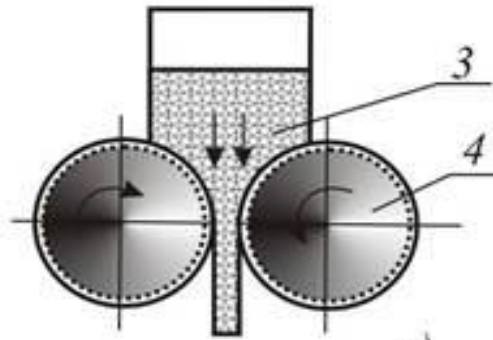
Список литературы

5.1. ОПЕРАЦИИ ФОРМОВАНИЯ ПОРОШКОВ

Целью **формования порошка** является придание заготовкам из порошка формы, размеров, плотности и механической прочности, необходимых для последующего изготовления изделий. **Формование включает следующие операции: отжиг, классификацию, приготовление смеси, дозирование и формование.**

Отжиг порошков

применяют с целью повышения их пластичности и прессуемости за счет восстановления остаточных окислов и снятия наклепа.



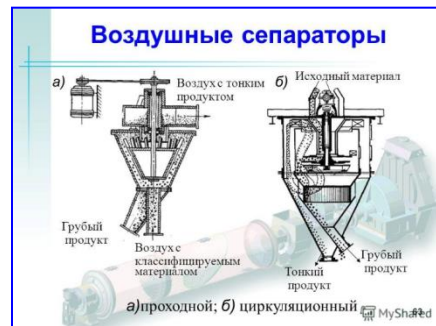
Нагрев осуществляют в защитной среде (восстановительной, инертной или вакууме) при температуре 0,4...0,6 абсолютной температуры плавления металла порошка.

Наиболее часто отжигают порошки полученные механическим измельчением, электролизом и разложением карбониллов.

ОПЕРАЦИИ ФОРМОВАНИЯ ПОРОШКОВ.

Классификация порошков - это процесс разделения порошков по **величине частиц**. Порошки с различной величиной частиц используют для составления смеси, содержащей требуемый процент каждого размера. Классификация частиц размером более 40 мкм производят в проволочных ситах. Если свободный просев затруднен, то применяют протирочные сита.

Более мелкие порошки классифицируют на воздушных сепараторах.



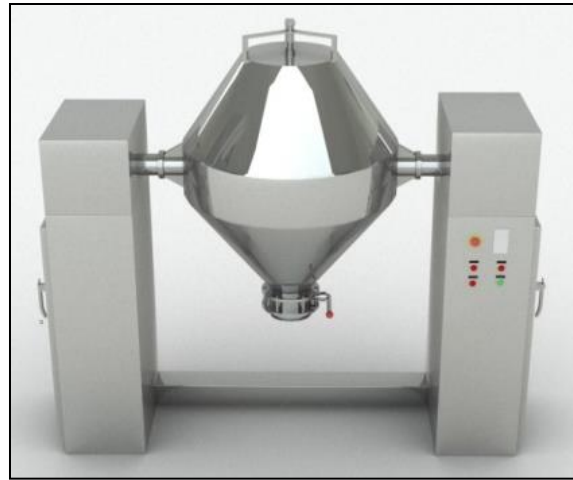
Приготовление смесей. В производстве для изготовления изделий используют смеси порошков разных металлов.

Смешивание порошков есть одна из важных операций и задачей ее является обеспечение однородности смеси, так как от этого зависят конечные свойства изделий. Наиболее часто применяют механическое смешивание компонентов в шаровых мельницах и смесителях. Соотношение шихты и шаров по массе 1:1. Смешивание сопровождается измельчением компонентов.

ОПЕРАЦИИ ФОРМОВАНИЯ ПОРОШКОВ

Смешивание без измельчения проводят в барабанных, шнековых, лопастных, центробежных, планетарных, конусных смесителях и установках непрерывного действия. Равномерное и быстрое распределение частиц порошков в объеме смеси достигается при близкой по абсолютной величине плотности смешиваемых компонентов.

При большой разнице абсолютной величины плотности наступает расслоение компонентов.



Смеситель

В этом случае полезно применять отдельную загрузку компонентов по частям: сначала более легкие с каким-либо более тяжелым, затем остальные компоненты.

Смешивание всегда лучше происходит в жидкой среде, что не всегда экономически целесообразно из-за усложнения технологического процесса.

ОПЕРАЦИИ ФОРМОВАНИЯ ПОРОШКОВ

При приготовлении шихты некоторых металлических порошков высокой прочности (вольфрама, карбидов металлов) для повышения формуемости в смесь добавляют **пластификаторы** - вещества смачивающие поверхность частиц. Пластификаторы должны удовлетворять требованиям: обладать высокой смачивающей возможностью, выгорать при нагреве без остатка, легко растворяться в органических растворителях.

Раствор пластификатора обычно заливают в перемешиваемый порошок, затем смесь сушат для удаления растворителя. Обычно используют вязкие жидкости и вещества – спиртовые растворы бакелита, стеариновой кислоты, парафин и др.

Высушенную смесь просеивают через сито.

Дозирование - это процесс отделения определенных объемов смеси порошка.

Различают объемное дозирование и дозирование по массе. Объемное дозирование используют при автоматизированном формовании изделий. Дозирование по массе наиболее точный способ, этот способ обеспечивает одинаковую плотность формования заготовок.

5.2. ПРЕССОВАНИЕ В СТАЛЬНОЙ ПРЕССФОРМЕ

Для формования изделий из порошков применяют следующие способы: прессование в стальной прессформе, изостатическое прессование, прокатку порошков, мундштучное прессование и др.

При **прессовании**, происходящем в закрытом объеме, возникает сцепление частиц и получают заготовку требуемых формы и размеров. Такое изменение объема происходит в результате смещения и деформации отдельных частиц и связано с заполнением пустот между частицами порошка и заклинивания - механического сцепления частиц.

У пластичных материалов деформация возникает вначале у приграничных контактных участков малой площади

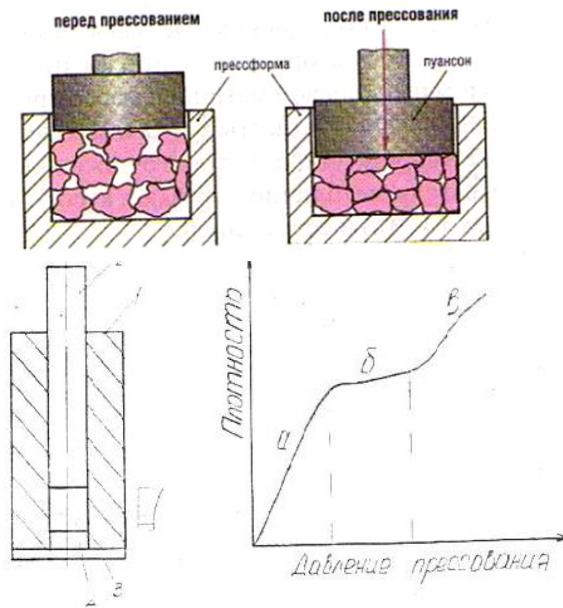
под действием огромных напряжений, а затем распространяется вглубь частиц.

У хрупких материалов деформация проявляется в разрушении выступов частиц.

ПРЕССОВАНИЕ В СТАЛЬНОЙ ПРЕССФОРМЕ

Кривая процесса уплотнения частиц порошка имеет три характерных участка. Наиболее интенсивно плотность нарастает на участке А при относительно свободном перемещении частиц, занимающих пустоты. После этого заполнения пустот возникает горизонтальный участок В

кривой, связанный с возрастанием давления и практически неизменяющейся плотностью, т.е. неизменным объемом порошка.



При достижении предела текучести при сжатии порошкового тела начинается деформация частиц и третья стадия процесса уплотнения (участок С).

При перемещении частиц порошка в прессформе возникает давление порошка на стенки. Это давление меньше давления со стороны сжимающего порошок пуансона из-за трения между частицами и боковой стенкой прессформы и между отдельными частицами.

ПРЕССОВАНИЕ В СТАЛЬНОЙ ПРЕССФОРМЕ

Величина давления на боковые стенки зависит от трения между частицами, частицами и стенкой прессформы и равна 25...40% вертикального давления пуансона. Из-за трения на боковых стенках по высоте изделия вертикальная величина давления получается неодинаковой: у пуансона наибольшей, а у нижней части - наименьшей.

По этой причине невозможно получить по высоте отпрессованной заготовки равномерную плотность.

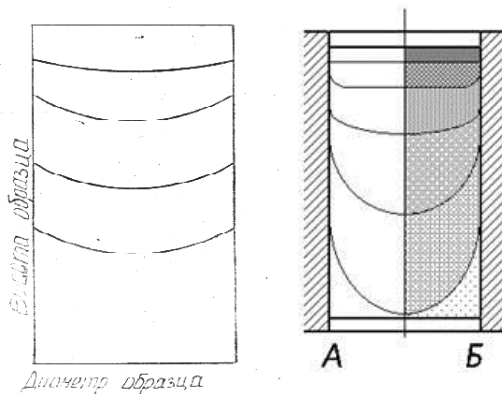


Схема распределения плотности по вертикальному сечению спрессованного порошка при одностороннем приложении давления (сверху).

Неравномерность плотности по высоте заметна в тех случаях, когда высота больше минимального поперечного сечения.

При прессовании засыпанных в цилиндрическую прессформу одинаковых доз порошка, разделенных прокладками из тонкой фольги получают отдельные слои различной формы и размера.

ПРЕССОВАНИЕ В СТАЛЬНОЙ ПРЕССФОРМЕ

В вертикальном направлении каждый верхний слой оказывается тоньше нижележащего. Изгиб слоев объясняется меньшей скоростью перемещения порошка у стенки из-за трения, чем в центре. Наибольшая плотность получается

на расстоянии около 0,2...0,3 наименьшего поперечного размера прессуемого изделия, что связано с действием сил трения между торцом пуансона и порошком.

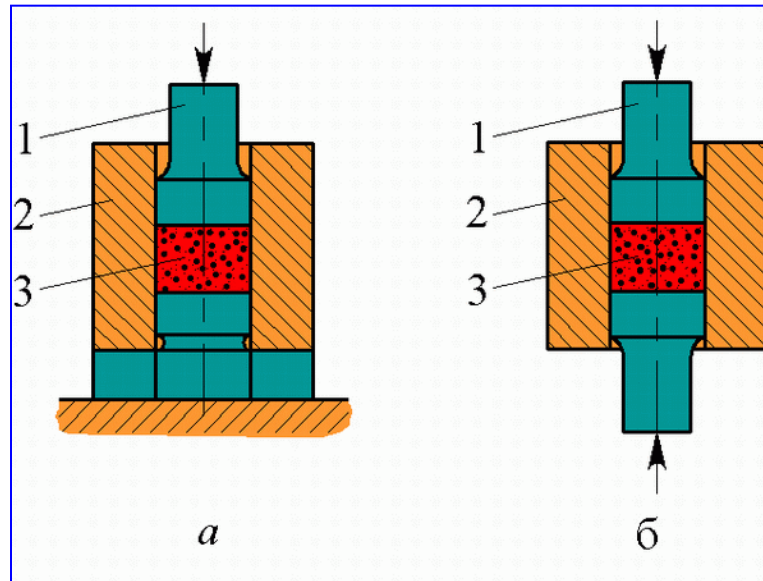
Для получения более качественных изделий после прессования получения более равномерной плотности по различным сечениям применяют смазки (стеариновую кислоту и ее соли, олеиновую кислоту, поливиниловый

спирт, парафин, глицерин и др.), уменьшающие внутреннее трение и трение на стенках инструмента. Смазку обычно добавляют в порошок, что обеспечивает наилучшие производственные показатели.

ПРЕССОВАНИЕ В СТАЛЬНОЙ ПРЕССФОРМЕ

Холодное прессование в стальных пресс-формах – это наиболее распространённый способ формования порошков.

Представленная схема (а) показывает одностороннее прессование, которое применяют для прессуемых изделий



с соотношением высоты к наименьшему размеру поперечного сечения $d:H/d = 2...3$.

Схемы одностороннего (а) и двустороннего (б) холодного прессования:
1 - пуансон; 2 - пресс-форма; 3 - порошок

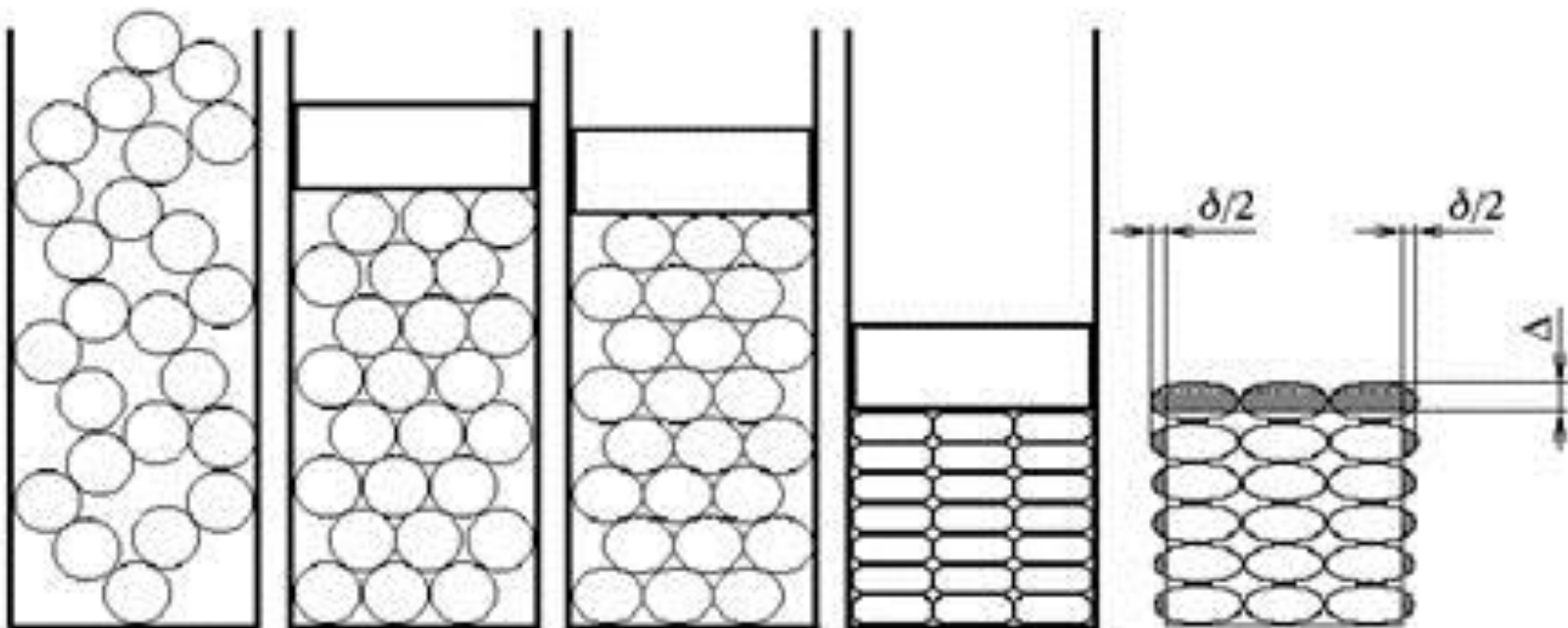
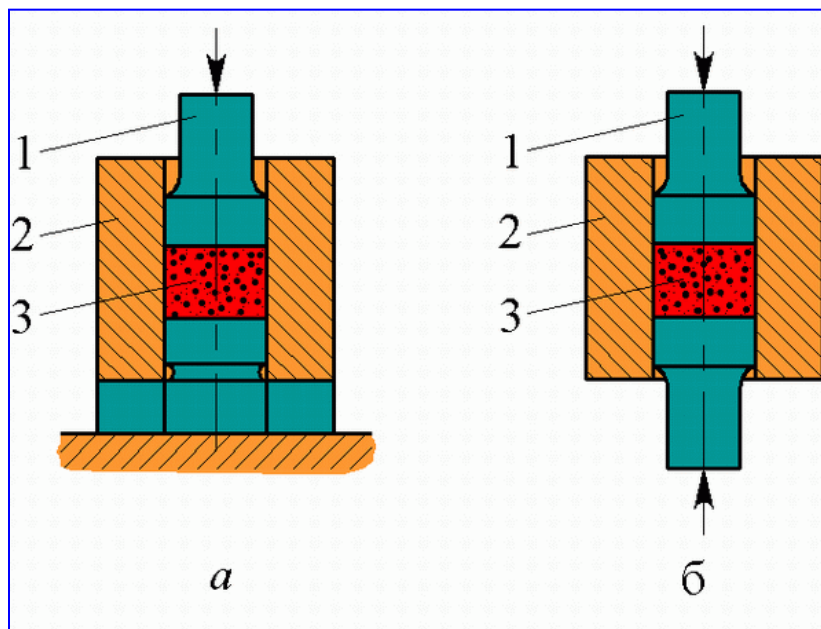


Схема одностороннего прессования. А - шихта свободно засыпана в прессформу, Б - свободное перемещение частиц, вытеснение воздуха; В - упругая деформация частиц, которые заняли окончательное положение; Г - пластическая деформация частиц и окончательное формирование порошкового тела; Д - упругое расширение прессовки после извлечения её из прессформы.

ПРЕССОВАНИЕ В СТАЛЬНОЙ ПРЕССФОРМЕ

Если это соотношение больше 3, но меньше 5, то применяют схему двухстороннего прессования (б); при большем соотношении размеров применяют другой метод.

Прессование сложных изделий, т.е. изделий с неодинаковыми размерами



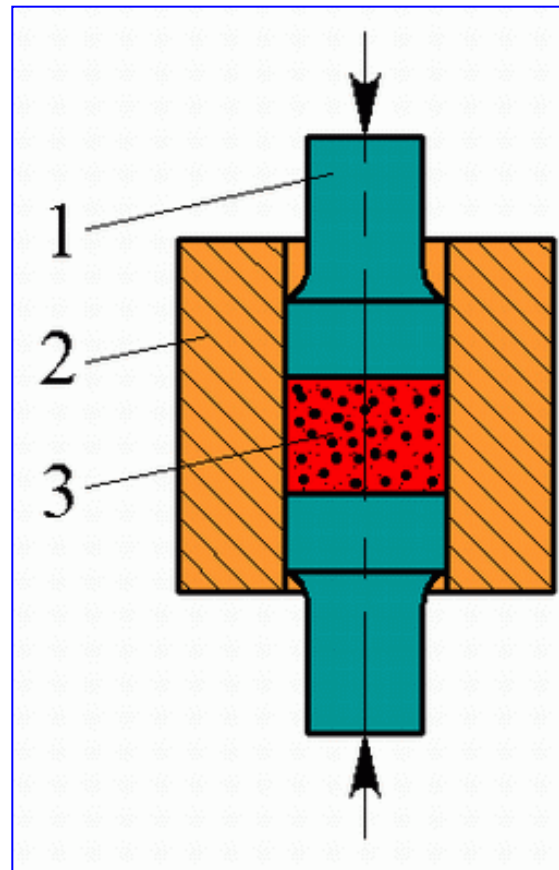
в направлении прессования, связано с трудностями обеспечения

равномерной плотности спрессованного изделия в различных сечениях. Эту задачу решают путем применения нескольких пуансонов, через которые прикладывают к порошку различные усилия.

ПРЕССОВАНИЕ В СТАЛЬНОЙ ПРЕССФОРМЕ

Двустороннее прессование осуществляется с помощью двух движущихся пуансонов.

Двустороннее прессование применяют для формообразования заготовок сложной формы.



При такой схеме плотность, пористость и прочность заготовки распределяются по высоте более равномерно и давление прессования снижается на 30–40 %.

Величина удельного давления прессования находится в пределах 100–1000 МПа.

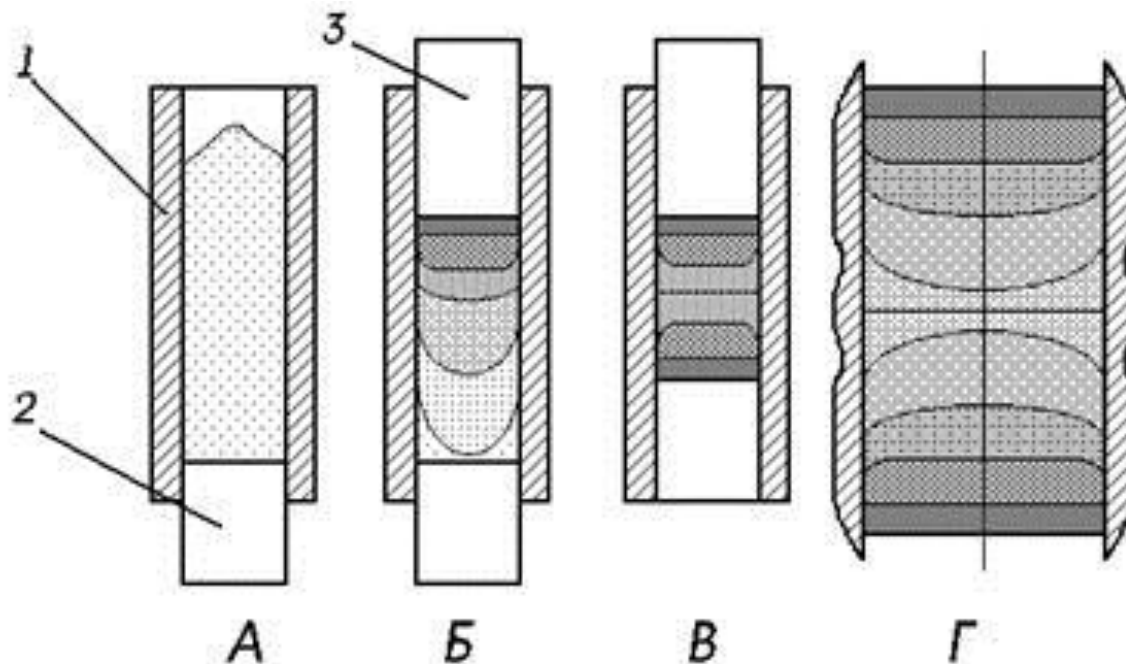


Схема двухстороннего прессования. А - шихта свободно засыпана в прессформу; Б - прессование верхним пуансоном с одной стороны; В - прессование нижним пуансоном с другой стороны; Г - распределение напряжений в прессовке.

1 - матрица; 2 - нижний пуансон; 3 - верхний пуансон.

ПРЕССОВАНИЕ В СТАЛЬНОЙ ПРЕССФОРМЕ

При прессовании кроме стальных прессформ - основного инструмента производства используют гидравлические универсальные или механические прессы.

Для прессования сложных изделий используют специальные многоплунжерные прессовые установки.



Давление прессования зависит в основном от требуемой плотности изделий, вида порошка и метода его производства

Автомат механический для прессования изделий из металлических порошков

Давление прессования зависит в основном от требуемой плотности изделий, виде порошка и метода его производства. Давление прессования в этом случае может составлять $(3...5) \sigma_T$ пределов текучести материала порошка.

Автоматы механические для прессования изделий из металлических порошков



5.3. ФОРМОВАНИЕ ПРОКАТКОЙ

Прокатка порошка – это метод получения заготовок (изделий) из металлического порошка путем его обработки с использованием валков прокатного стана. При этом получают равномерно спрессованное изделие большой длины с прочностью достаточной для транспортировки на следующую операцию – спекание.

Различают четыре основных вида прокатки: *вертикальную* (а–в), при которой оси прокатных валков расположены в одной горизонтальной плоскости;

горизонтальную (г, д), при которой оси валков расположены в одной вертикальной плоскости; *наклонную* (рис. 2.27, е), при которой оси валков расположены в плоскости, наклоненной под углом (обычно 30–60°) к горизонту;

радиусную (рис. 2.27, ж, з), когда порошок уплотняется в зазоре между валком и внешним кольцом. Силами трения о поверхность валков, вращающихся навстречу один другому, порошок увлекается в зазор между ними и спрессовывается в полосу (ленту, пластину и т.п.) с определенной плотностью и прочностью.

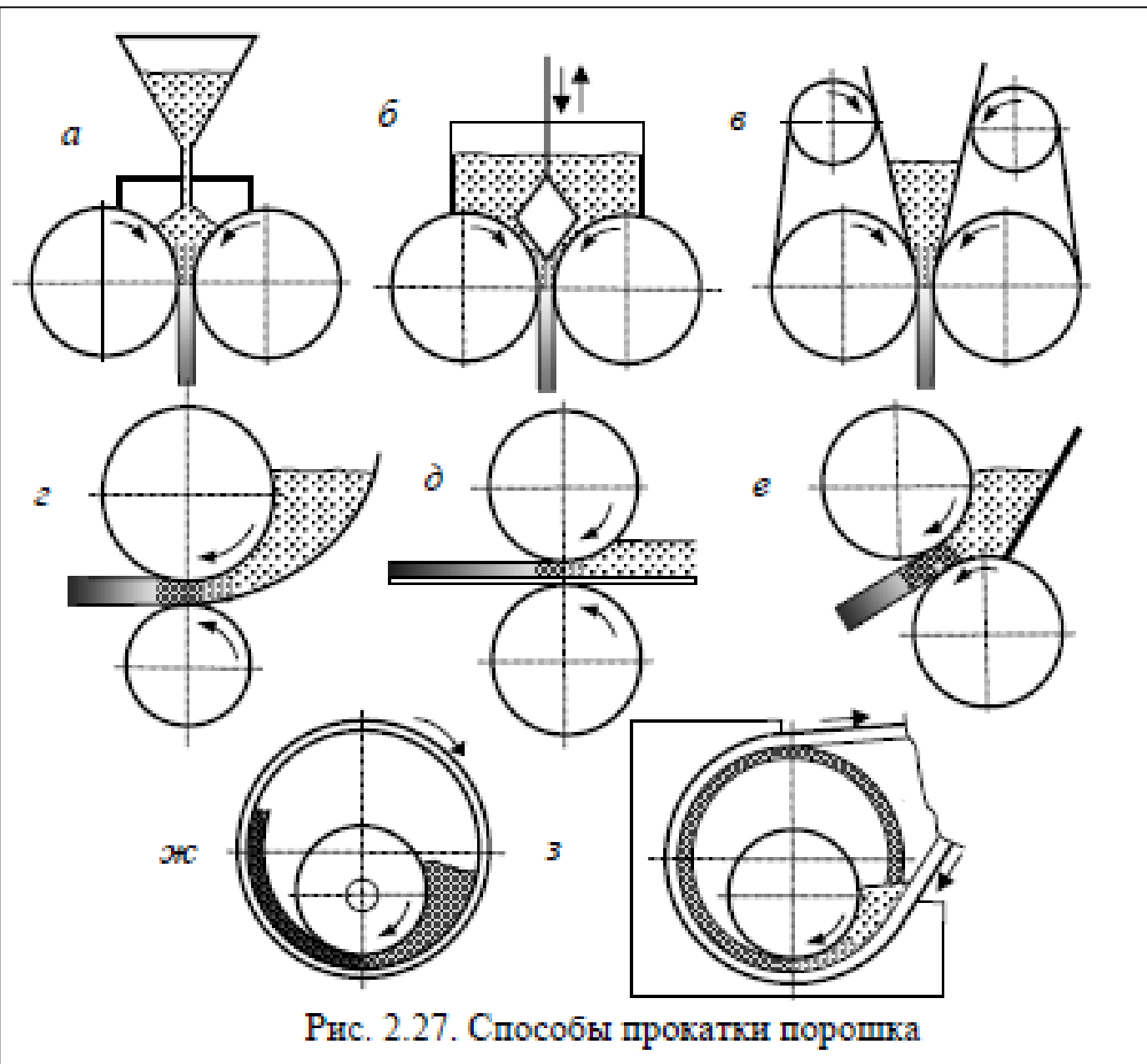
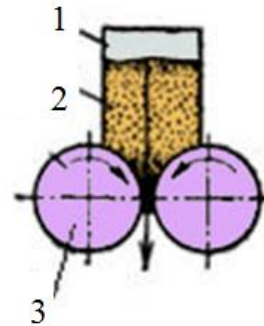


Рис. 2.27. Способы прокатки порошка

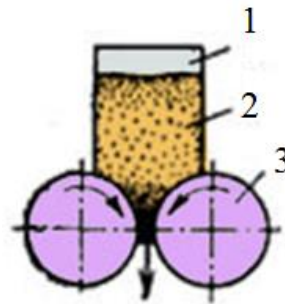
ФОРМОВАНИЕ ПОРОШКОВ ПРОКАТКОЙ

Прокатка порошка обеспечивает высокую производительность при сравнительно низкой энергоемкости процесса, возможность получения тонких с большой поверхностью заготовок, отличающихся изотропностью свойств и равномерностью плотности. Затраты энергии на прокатку существенно меньше затрат на получение заготовок той же площади, холодным прессованием.

В этом случае (а) порошок 2 непрерывно поступает из бункера 1 в пространство между валками 3. При вращении валков имеет место сжатие и вытягивание порошка в полосу определенной толщины и ширины.



а



б

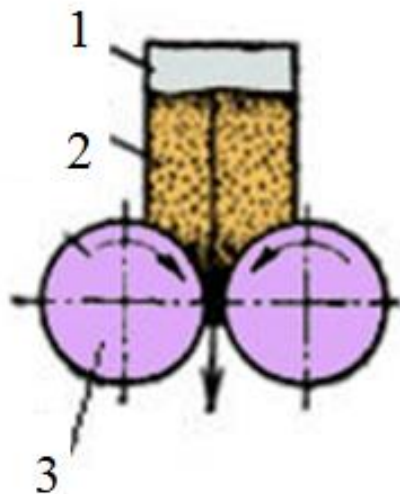
Прокаткой можно получить двухслойные заготовки (б). Для этого в бункере устанавливают перегородку, чтобы разделить его на две секции для двух потоков порошков 2.

Схема прокатки порошков

ФОРМОВАНИЕ ПОРОШКОВ ПРОКАТКОЙ

Прокатка порошков является экономичным и прогрессивным способом непрерывного формообразования заготовок. Ее можно производить в любом направлении.

В настоящее время прокаткой металлических порошков получают ленты и полосы толщиной 0,025...3 мм и шириной до 300 мм, прутки различного профиля и т. д.



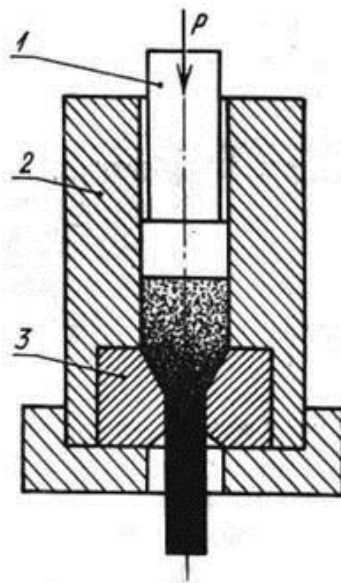
Технологический процесс прокатки может быть совмещен со спеканием и окончательной отделкой получаемых изделий.

Непрерывность процесса обеспечивает высокую производительность и возможность его автоматизации. В настоящее время прокатку порошков применяют для получения заготовок конструкционных материалов (полосы, ленту и профили), а также для производства фильтров, электрохимических электродов и других пористых изделий.

5.5. МУНДШТУЧНОЕ ПРЕССОВАНИЕ

Мундштучное формование – формование металлического порошка путем продавливания его через отверстие. Форма отверстия определяет форму и размеры поперечного сечения изделия. Мундштучным формованием изготавливают прутки, трубы, сверла, профили и другие длинномерные изделия.

Достоинством этого метода является возможность получения изделий с равномерной плотностью.



Продавливать через отверстие (а) можно не только порошок, но и предварительно спрессованную из него заготовку.

Для уменьшения трения порошка о матрицу в порошок добавляют пластификаторы. В качестве пластификатора применяют парафин, крахмал, поливиниловый спирт, бакелит.

5.5. МУНДШТУЧНОЕ ПРЕССОВАНИЕ

При производстве изделий с постоянным или изменяемым по высоте сечением внутренней полости (отверстия) в мундштук помещается «звездочка». При формировании изделий с постоянным сечением внутренней полости в звездочку вворачивается игла.

Выходное отверстие мундштука называется «очком». При формировании труб и стержней небольшого диаметра и сечения высота мундштука должна быть в 2,5–4 раза больше диаметра его выходного отверстия,

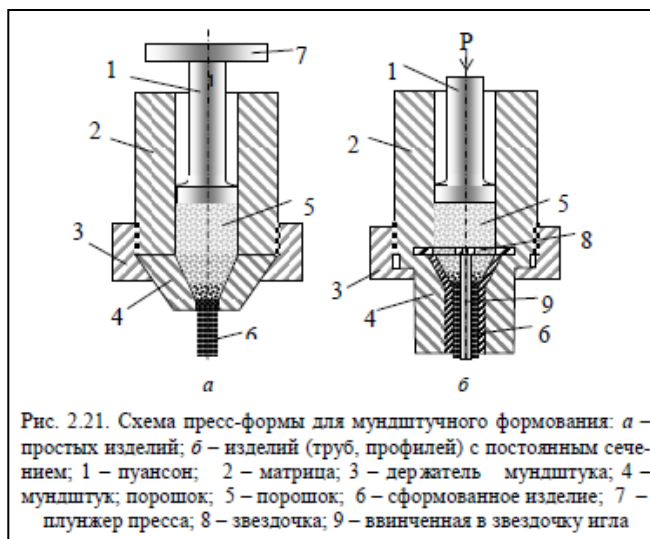


Рис. 2.21. Схема пресс-формы для мундштучного формования: а – простых изделий; б – изделий (труб, профилей) с постоянным сечением; 1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – держатель мундштука; 4 – мундштук; 5 – порошок; 6 – сформованное изделие; 7 – плунжер пресса; 8 – звездочка; 9 – винтовая игла

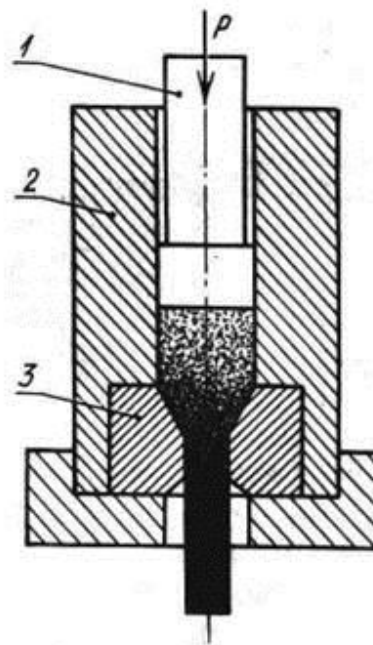
Скорость выдавливания материала через мундштук не должна превышать 5–10 мм/с. Более высокие скорости формования приводят к появлению неравномерной пористости изделий.

Давление мундштучного формования при постоянной степени обжатия минимально при выдавливании материала через мундштук с углом конуса 90° . Обычно это давление составляет несколько сотен мегапаскалей.

МУНДШТУЧНОЕ ПРЕССОВАНИЕ

Обычно мундштучное прессование выполняют при подогреве материала изделия и в этом случае обычно не используют пластификатор; порошки алюминия и его сплавов прессуют при $400...600^{\circ}\text{C}$, меди - $800...900^{\circ}\text{C}$, никеля - $1000...1200^{\circ}\text{C}$, стали - $1050...1250^{\circ}\text{C}$.

Для предупреждения окисления при горячей обработке применяют защитные среды (инертные газы, вакуум) или прессование в защитных оболочках



(стеклянных, графитовых, металлических - медных, латунных, медно-железной фольге).

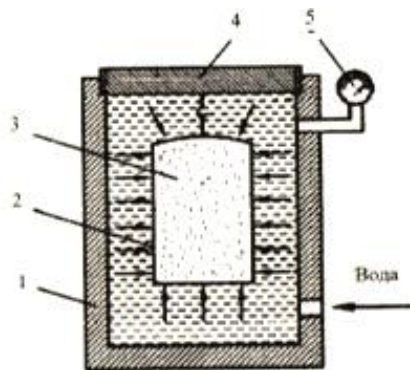
После прессования оболочки удаляют механическим путем или травлением в растворах, инертных спрессованному металлу.

5.6.ИЗОСТАТИЧЕСКОЕ ПРЕССОВАНИЕ

Изостатическое прессование - это прессование в эластичной оболочке под действием всестороннего сжатия. Изостатическое формование позволяет получать из порошка заготовки (порошковые формовки) с большим отношением длины к диаметру (ширине) и тонкими стенками, обладающие равномерной объемной плотностью.

В настоящее время выделяют три базовые разновидности изостатического формования:

- гидростатическое,
- газостатическое,
- в эластичных оболочках.



Гидростатическим прессованием (ГП) получают цилиндры, трубы, шары и другие изделия как сравнительно простой, так и весьма сложной

формы единичной массы от нескольких грамм до нескольких сотен килограмм. ГП заключается в обжатии порошка, размещённого в эластичной (например, резиновой) оболочке, жидкостью под давлением 2ГПа в специальных установках для гидростатического прессования.

ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ ПРЕССОВАНИЕ

К преимуществам метода гидростатического формования относится то, что в большинстве случаев удается получить изделие с более высокой плотностью и прочностью формовки при давлениях, сопоставимых с давлениями холодного одно- и двухстороннего прессования. Кроме того, при применении этого метода:

- наблюдается высокая равномерность изделия;
- напряжения в объеме формовки незначительны

- можно формовать порошок без смазки или при ее минимальном количестве;

- однородная (без текстуры) структура формовки;
- уменьшенная усадка при спекании;
- более высокая и равномерная плотность заготовки после спекания;
- можно получать крупногабаритные изделия (ограничения по размеру связаны только с габаритами гидростата);
- можно получать изделия сложной формы;

ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ ПРЕССОВАНИЕ

К недостаткам этого метода относятся:

- низкая точность изготовления изделий (необходимость дальнейшей механической обработки неспеченного порошкового тела);
- длительность полного цикла формования (по сравнению с другими методами);

- высокая чувствительность к химически загрязнениям;
- быстрый износ эластичных оболочек и пр.

В самом общем случае для организации гидростатического формования необходимы: жидкость, эластичные оболочки и специальные устройства (гидростаты)

с системой создания давления жидкости на оболочку с порошком. Уплотнение порошка, помещенного в эластичную оболочку, осуществляют жидкостью высокого давления (масло, вода с добавками ингибиторов коррозии, водные эмульсии масел, глицерин и др.),

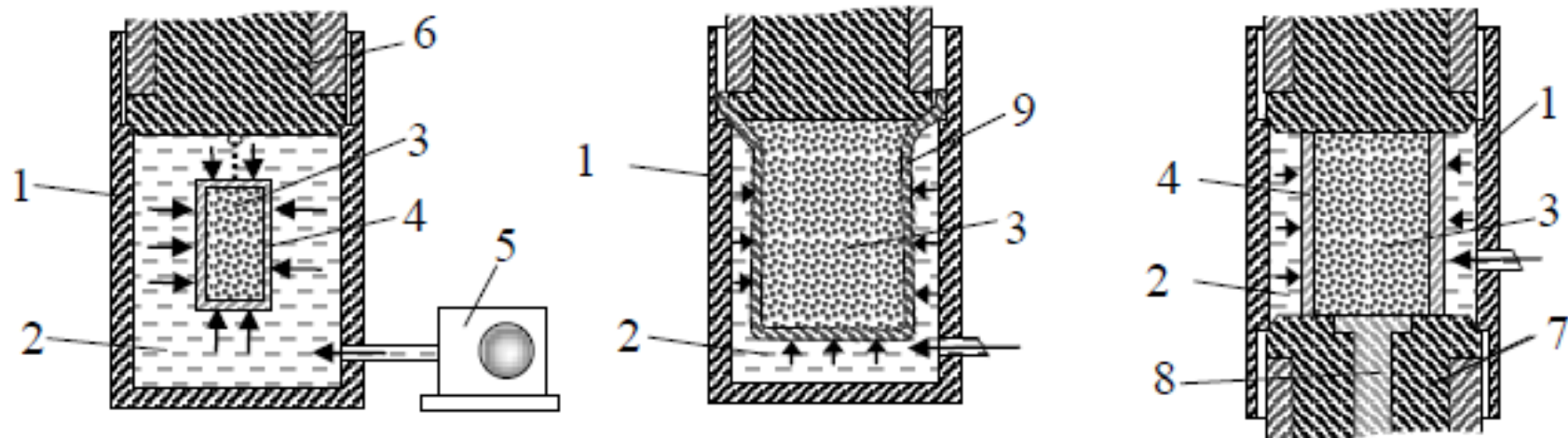


Рис. 2.12. Схемы методов холодного изостатического прессования: 1 – контейнер; 2 – жидкость высокого давления; 3 – порошок; 4 – эластичная оболочка; 5 – компрессор; 6, 7 – уплотняющие затворы; 8 – выталкиватель формовки; 9 – матрица типа «сухого мешка»

5.7. СПЕКАНИЕ

Спеканием называют процесс развития межчастичного сцепления и формирования свойств изделия, полученных при нагреве сформованного порошка. Плотность, прочность и другие физико-механические свойства спеченных изделий зависят от условий

изготовления:
давления,
прессования,
температуры,
времени и
атмосферы н
спекания н
других
факторов.



**Вакуумная
печь**

В зависимости от состава шихты различают твердофазное спекание (т.е. спекание без образования жидкой фазы) и жидкофазное, при котором легкоплавкие компоненты смеси порошков расплавляются.

При твердофазном спекании протекают следующие основные процессы: поверхностная и объемная диффузия атомов, усадка, рекристаллизация, перенос атомов через газовую среду.

СПЕКАНИЕ

Все металлы имеют кристаллическое строение и уже при комнатной температуре атомы совершают значительные колебательные движения относительно положения равновесия. С повышением температуры энергия и амплитуда атомов увеличивается и при некотором их значении возможен переход атома в новое положение,

где его энергия и амплитуда снова увеличиваются и возможен новый переход в другое положение.

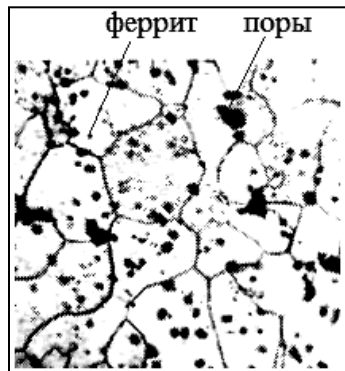
Такое перемещение атомов носит название диффузии и может совершаться как по поверхности (поверхностная диффузия), так и в объеме тела (объемная диффузия).

Сокращение суммарного объема пор возможно только при объемной диффузии. При этом происходит изменение геометрических размеров изделия - усадка. Усадка при спекании может проявляться в изменении размеров и объема и поэтому различают линейную и объемную усадку. Обычно усадка в направлении прессования больше, чем в поперечном направлении.

СПЕКАНИЕ ЗАГОТОВОК

При нагреве в пористой прессовке происходит ряд сложных физико-химических процессов: удаление газов, адсорбированных на поверхности частиц, возгонка различных примесей, снятие остаточных напряжений на контактных участках между частицами и в самих частицах,

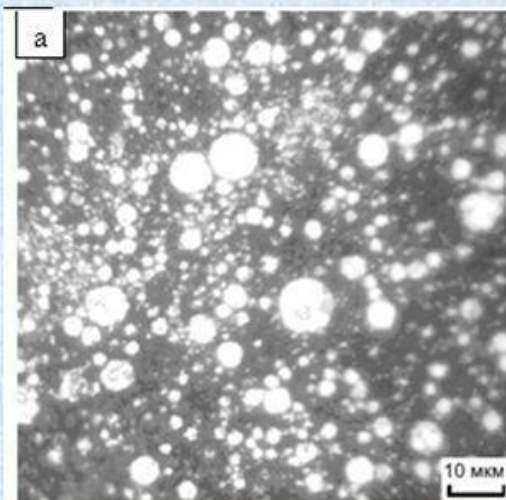
восстановление оксидных пленок или растворение их и других примесей в основном металле, перестройка поверхностного слоя частиц, рекристаллизация и другие процессы.



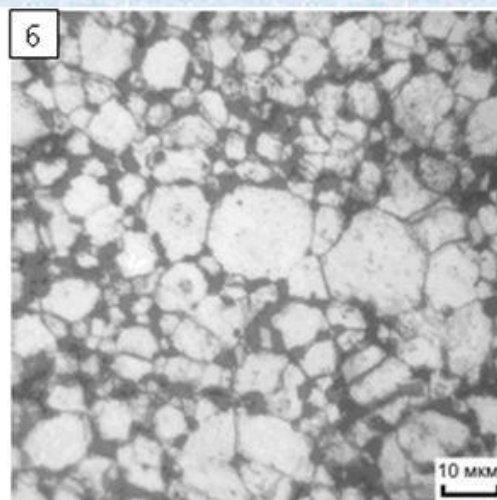
В результате спекания состояние межчастичных контактов претерпевает качественное и количественное изменение.

Структура порошкового железа спекенного при температуре 1250°C: феррит и поры (x300)

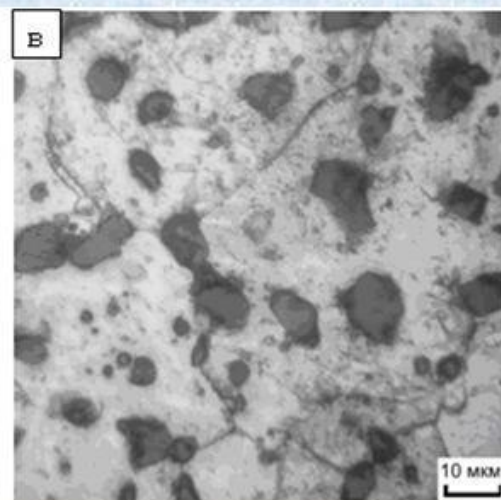
Из оксидного контакт превращается в металлический, наблюдается сращивание частиц, рост контактных участков, уменьшение объема пор и из конгломерата частиц консолидируется единое тело, структура которого состоит из двух фаз – твердой и пор и обладающее определенными свойствами.



0,5 $T_{пл}$



0,7 $T_{пл}$



0,85 $T_{пл}$

Микроструктура прессовок, спеченных из ЭВП НП Fe

СПЕКАНИЕ ЗАГОТОВОК

Основными признаками спекания является снижение количества дефектов, зарастание пор, уменьшение объема пористого тела - усадка. Усадка оказывает значительное влияние на формирование структуры порошкового материала, приводит к росту плотности и прочности.

Многообразие макро- и микродефектов в прессовках обуславливает и многообразие механизмов их «залечивания».



**Вакуумная
печь**

Наиболее существенными молекулярно-кинетическими процессами, определяющими формирование структуры,

являются химические реакции на поверхностях частиц и границах раздела, поверхностная и объемная диффузия и диффузионно – вязкое течение металла частиц.

СПЕКАНИЕ. ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА СВОЙСТВА СПЕЧЕННЫХ ТЕЛ.

При спекании имеет место рекристаллизация, которая приводит к росту зерен и уменьшению суммарной поверхности частиц, что энергетически выгодно. Однако рост зерен ограничен тормозящим влиянием посторонних включений на поверхностях зерен: порами, пленками, примесями. Различают рекристаллизацию внутризеренную и межчастичную.

Свойства исходных порошков - величина частиц, их форма, состояние поверхности,

тип окислов и степень совершенства кристаллического строения - определяют скорость изменения плотности и свойства спрессованных изделий.

При одинаковой плотности спеченных изделий механические и электрические свойства тем выше, чем меньше были частицы порошка, шероховатость поверхности частиц, дефекты кристаллического строения способствуют усилению диффузии, увеличению плотности и прочности изделия.

СПЕКАНИЕ. ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА СВОЙСТВА СПЕЧЕННЫХ ТЕЛ

Структура изделий, спеченных из тонкоизмельченных порошков, отличается наличием большого числа крупных зерен, образовавшихся в результате рекристаллизации при спекании. Увеличение давления прессования приводит к уменьшению усадки (объемной и линейной), повышению всех показателей прочности - сопротивлению разрыву и сжатию, твердости.

С повышением температуры плотность и прочность спеченных изделий в общем возрастает тем быстрее, чем ниже было давление прессования.

Обычно температура спекания составляет 0,7...0,9 температуры плавления наиболее легкоплавкого компонента, входящего в состав шихты (смеси порошков).

Выдержка при постоянной температуре вызывает сначала резкий, а затем более медленный рост плотности, прочности и других свойств спеченного изделия. Наибольшая прочность достигается за сравнительно короткое время и затем почти не увеличивается. Время выдержки для различных материалов длится от 30...45 минут до 2...3 часов.

АТМОСФЕРА СПЕКАНИЯ

Плотность изделий выше при спекании в восстановительной, чем при спекании в нейтральной среде. Очень полно и быстро проходит спекание в вакууме, которое по сравнению со спеканием в нейтральной среде обычно начинается при более низких температурах и дает повышенную плотность изделия.

Температурный интервал спекания разделяют на три этапа. На первом этапе (температура до $0,2...0,3 T_{пл}$) плотность почти не изменяется, здесь

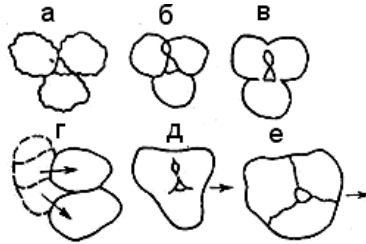
удаляются пластифицирующие присадки и адсорбированные поверхностью частички газа, частично снимаются остаточные напряжения, ослабляется физическое взаимодействие между частицами порошка.

На втором этапе (температура около $0,5 T_{пл}$) развиваются процессы восстановления окислов и удаления газообразных продуктов. Плотность может несколько снижаться. Третий - высокотемпературный этап (температура около $0,9 T_{пл}$) этап интенсивного спекания, характеризуется значительным увеличением скоростей диффузионных процессов, рекристаллизации, развитием полностью металлических контактов, существенным увеличением плотности материала.

СПЕКАНИЕ ЗАГОТОВОК

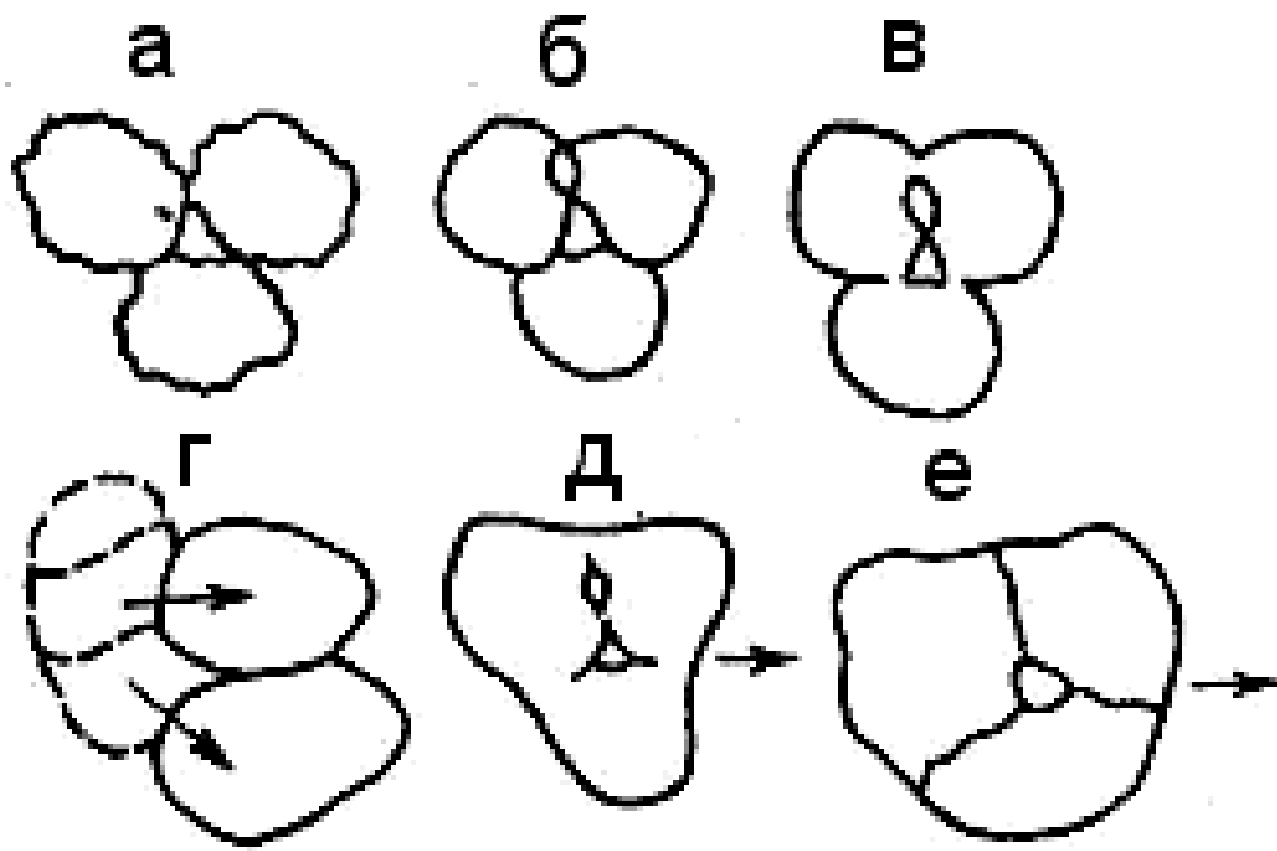
Спекание протекает в три стадии, для каждой из которых характерны движущие силы и соответствующий механизм массопереноса. Деление на стадии носит условный характер, т. к. в зависимости от свойств прессовок и условий спекания некоторые явления происходят одновременно, перекрывая стадии.

В начальный период спекания происходит рост прессовок. Причина этого явления — давление паров воды и газов, образовавшихся в результате испарения



или выгорания смазок и некоторых примесей, содержащихся в исходном порошке или введенных в состав шихты, а также релаксации внутренних напряжений.

Это приводит к уменьшению суммарной площади контактов между частицами. С повышением температуры спекания заканчиваются процессы релаксации напряжений, выгорания смазки, оксидные пленки восстанавливаются.



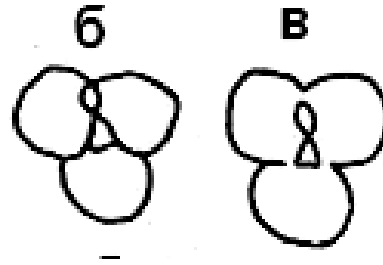
СПЕКАНИЕ ЗАГОТОВОК

Неметаллические контакты заменяются металлическими, увеличивается их площадь. Происходит припекание частиц друг к другу, рост контактных площадок. Каждая частица на этой стадии сохраняет свою структурную индивидуальность (а).



На второй стадии образуется единое пористое тело, состоящее из двух фаз – твердой и пор.

Контактные границы между частицами исчезают и образуются межзеренные границы, расположенные



произвольно, вне связи с начальным положением границ между исходными частицами. Поры на этой стадии остаются в основном сообщающимися (б, в).

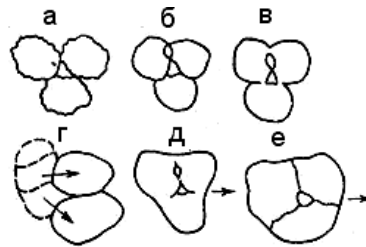


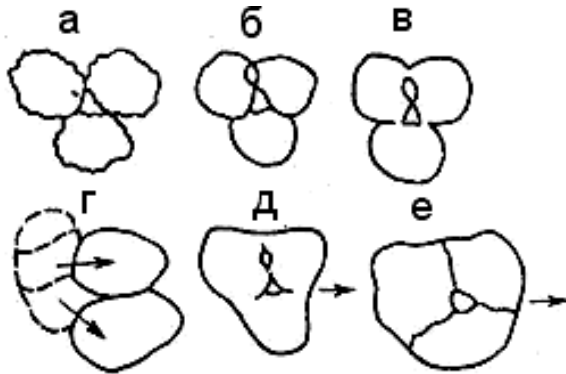
Схема спекания спрессованных порошковых заготовок : а- состояние после прессования; б- припекание частиц, сглаживание рельефа; в- образование межчастичных «мостиков»; г-растворение мелких частиц; д- затекание металла частиц в поры; е-образование закрытых пор и общее уплотнение изделия

СПЕКАНИЕ ЗАГОТОВОК

На третьей стадии при температуре $0,7-0,9 T_{пл}$ металлического порошка, завершаются процессы восстановления оксидов и образование металлических контактов, поры сфероидизируются и скорость усадки снижается, заканчивается образование закрытых пор, изолированных друг от друга.

Общая пористость уменьшается, происходит уплотнение материала. Между частицами образуется металлический контакт, протекают

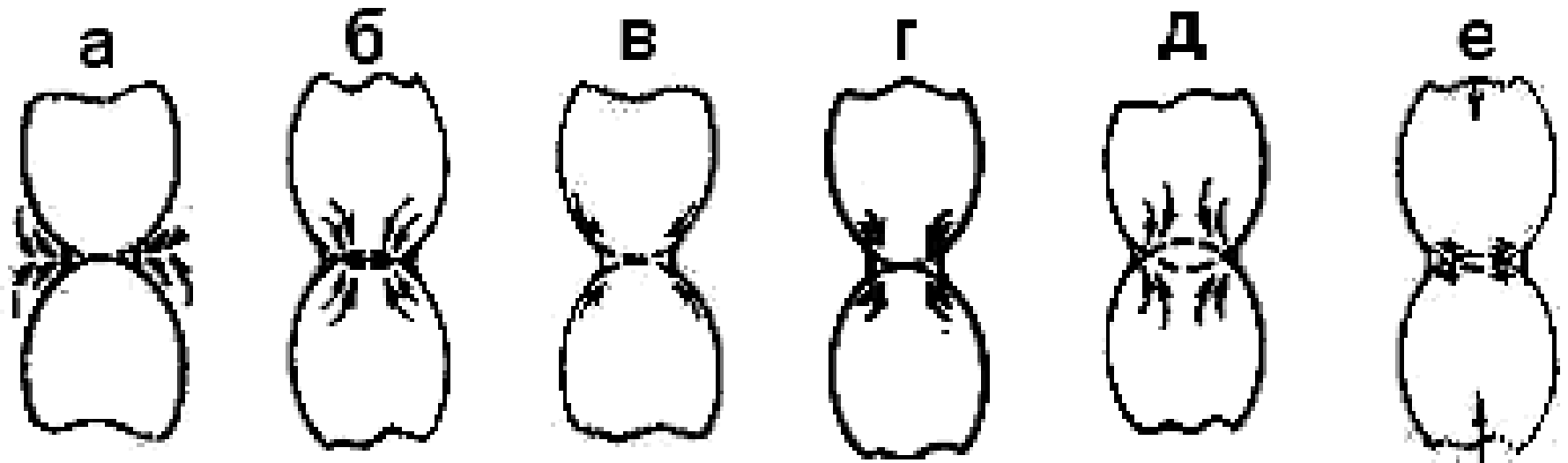
процессы рекристаллизации и слияние отдельных частиц в единое тело (г, д, е).
Образование и рост межчастичных контактов в процессе спекания обусловлен



массопереносом вещества, что становится возможным благодаря высокой подвижности атомов при нагреве. Массоперенос осуществляется рядом способов, механизм которых определяется дефектами структуры пористого тела.

СПЕКАНИЕ ЗАГОТОВОК

Схема механизмов припекания твердых сферических частиц: а - перенос вещества через газовую фазу, б - поверхностная диффузия, в - объемная диффузия, не приводящая к усадке, г - объемная диффузия при наличии границы между частицами, д - вязкое течение, е - припекание под влиянием прижимающих усилий

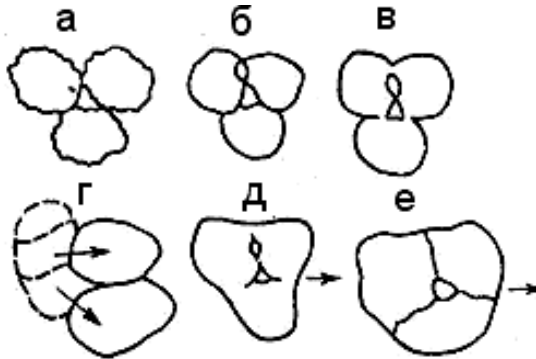


В реальных условиях спекание обеспечивается не одним механизмом, а протеканием всех процессов, причем преимущественное воздействие каждого из них определяется условиями спекания.

СПЕКАНИЕ ЗАГОТОВОК

В низкотемпературной области (например, при спекании меди в области температур 600 – 700^oC) уплотнение происходит главным образом в результате механического перемещения частиц с минимальным изменением их формы.

При низких и средних температурах спекания, особенно активно у дисперсных порошков, проявляется механизм поверхностной диффузии.



При более высоких температурах преимущественное развитие получает объемная диффузия.

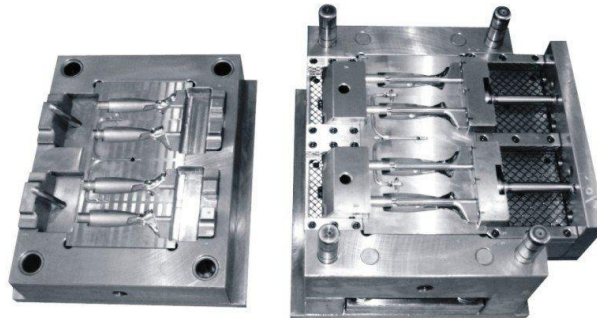
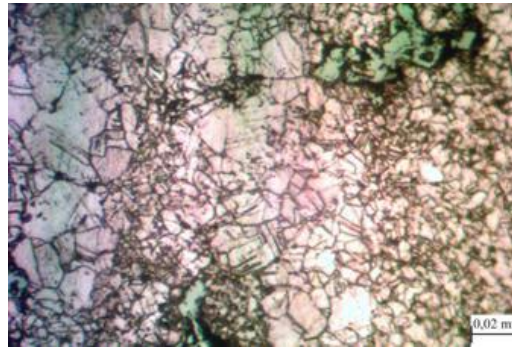
Силы поверхностного натяжения, действующие по границам частиц, имеющих высокую пластичность, вызывает «затекание» материала частиц в поры, их заполнение и усадку изделий. Процесс зарастания и исчезновения пор оказывает значительное влияние на формирования структуры и свойств порошковых материалов.

СПЕКАНИЕ ЗАГОТОВОК

В ряде случаев при изготовлении изделий из многокомпонентной шихты температура спекания назначается выше температуры плавления наиболее легкоплавкой составляющей.

То есть спекание происходит при наличии **жидкой фазы**.

Расплавленный металл заполняет поры, выполняя роль связи.



Для уменьшения пористости применяют также **горячее прессование** в пресс-форме, которое объединяет формование и спекание.

После спекания изделия из порошков поступают непосредственно в эксплуатацию или подвергаются **дополнительной обработке**: калибровке, разным видам термической и химико-термической обработки, механической обработке.

СПЕКАНИЕ

Горячее прессование это процесс одновременного прессования и спекания порошков при температуре 0,5...0,8 температуры плавления ($T_{пл}$) основного компонента шихты. Это позволяет использовать увеличение текучести шихты при повышенных температурах с целью получения малопористых изделий.

В этом случае силы давления формования суммируются с внутренними физическими силами приводящими к уплотнению.

Наиболее существенными результатами горячего прессования являются максимально быстрое уплотнение и получение изделия с минимальной пористостью при сравнительно малых давлениях.

Механизм уплотнения идентичен наблюдаемому при обычном спекании: образование межчастичного контакта, рост плотности с одновременным увеличением размеров частиц и дальнейший рост частиц при незначительном дополнительном уплотнении.

СПЕКАНИЕ

Изделия после горячего прессования обладают более высоким пределом текучести, большим удлинением, повышенной твердостью, лучшей электропроводностью и более точными размерами, чем изделия, полученные путем последовательного прессования и спекания.

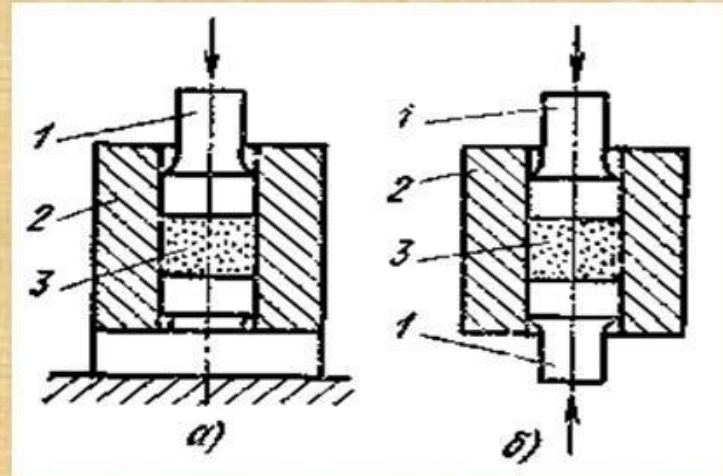
Указанные свойства тем выше, чем больше давление прессования.

Горячепрессованные изделия имеют мелкозернистую структуру.

Горячее прессование нагретого порошка или заготовки выполняют в прессформе.

Нагрев осуществляют обычно электрическим током. До приложения давления к порошку прессформа с порошком или порошок могут быть нагреты и другим способом. Материалом для изготовления прессформ служат жаропрочные стали (при температурах до 1000°С) графит, силицированный графит, имеющий повышенную механическую прочность. В настоящее время расширяется применение прессформ из тугоплавких окислов, силикатов и других химических соединений.

Горячее прессование



а – одностороннее; *б* – двустороннее

1-Пуансон

2-Пресс форма

3-Определенное количество порошка



videoplayback (1).mp4

Горячее прессование имеет и существенные недостатки: низкую производительность, малую стойкость пресс-форм (4–7 прессовок), необходимость проведения процессов в среде защитных газов, которые ограничивают применение данного способа!

СПЕКАНИЕ

Для предупреждения взаимодействия прессуемого материала с материалом прессформы внутреннюю поверхность ее покрывают каким-либо инертным составом (жидкое стекло, эмаль, нитрид бора др.) или металлической фольгой.

Кроме того, для предупреждения окисления прессуемого изделия применяют защитные среды (восстановительные или инертные) или вакуумирование.



Горячее прессование выполняют на специальных гидравлических прессах, имеющих устройства для регулирования температуры при прессовании.

Недостатки горячего прессования: высокая стоимость процесса, низкая производительность, низкая стойкость прессформ, необходимость применения защитных газов.

СПЕКАНИЕ

Интенсификация процесса спекания достигается использованием химических и физических способов активирования спекания. Химическое активирование заключается в изменении состава атмосферы спекания. Так например добавка в атмосферу спекания хлористых или фтористых соединений способствует активному соединению с ними выступов частичек, а образующиеся соединения снова восстанавливаются до металла, атомы которого конденсируются в местах с минимальным запасом свободной энергии.

Оптимальной является 5...10% концентрация хлористого водорода в водородной восстановительной среде. Интенсивное уплотнение спекаемой

заготовки наблюдается при добавке в порошок изделия малого количества металла

с меньшей температурой плавления. Например, к вольфраму добавляют никель, к железу - золото и т.п. В настоящее время широко применяют физические способы активирования спекания: циклическое изменение температуры, воздействие вибраций или ультразвука, облучение прессонок, наложение сильного магнитного поля.

СПЕКАНИЕ

Жидкофазное спекание. При жидкофазном спекании в случае смачивания жидкой фазой твердой фазы увеличивается сцепление твердых частичек, а при плохой смачиваемости жидкая фаза тормозит процесс спекания, препятствуя уплотнению.

Смачивающая жидкая фаза приводит к увеличению скорости диффузии компонентов и облегчает перемещение частиц твердой фазы.

При жидкофазном спекании можно получить практически беспористые изделия.

Различают спекание с жидкой фазой, присутствующей до конца процесса спекания, и спекание с жидкой фазой, исчезающей вскоре после ее появления, когда конечный период спекания происходит в твердой фазе.

Контрольные вопросы

1. В сущность формования?

2. Какие существуют виды формования?

3. В чём сущность холодного прессования ?

4. Что такое изостатическое прессование ?

5. В чём сущность прокатки ?

6. В чём сущность спекания ?

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Изучить оборудование, которое используется для формования и спекания металлических порошков.

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 матеріалознавства

Лалазарова Наталиа Алексеевна

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