1. **Порошковая металлургия. Методы получения деталей из гранулированных, порошковых и слоистых материалов, их свойства и применение.**

Порошковая металлургия представляет собой совокупность методов изготовления порошков металлов и металлоподобных соединений, полуфабрикатов и изделий из них без расплавления основного компонента.

Методом порошковой металлургии можно получать:

• материалы из металлов, не смешивающихся в расплавленном виде (например, железо—свинец, вольфрам—хром и др.);

• материалы с особой структурой и характеристиками (например, многие пористые металлы для подшипников);

• медно-графитовые щетки для электрогенераторов и электродвигателей.

Основным преимуществом порошковой металлургии является и то, что спекаемые материалы можно производить не только в виде заготовок и полуфабрикатов, но и в виде готовых изделий, не требующих дальнейшей обработки резанием. В частности, к таким изделиям относятся зубчатые колеса для зубчатых передач автомобилей.

По сравнению с другими методами получения деталей — литьем, обработкой давлением, резанием и т. д. — изготовление деталей из спеченных материалов требует наименьших затрат, заводских площадей, оборудования. Автомобильная промышленность является одним из основных потребителей спеченных материалов. Например, для изготовления автомобиля марки ГАЗ необходимо 25—30 кг такого материала.

Применение спеченных материалов позволяет повысить износостойкость, долговечность, коррозионную стойкость изделий, а также снизить трудоемкость и металлоемкость машин и механизмов.

Технология производства спеченных материалов включает в себя следующие операции:

• получение исходных металлических порошков и приготовление из них шихты с заданными химическим составом и технологическими характеристиками;

• формование порошков или их смесей в заготовки (главным образом прессованием);

• спекание, т. е. температурную обработку заготовок при температуре ниже плавления всего металла или основной его части.

Иногда спекают порошки, засыпанные в соответствующие формы, исключая таким образом операцию формования. В ряде случаев формование и спекание объединяют в одну операцию — операцию горячего прессования, т. е. обжатие порошков при нагревании.

Порошки получают механическими или физико-механическими методами. К первым относят измельчение металлов в вихревых, вибрационных и шаровых мельницах или более производительное и экономичное распыление жидких металлов. Ко вторым — химическое восстановление металлов из окислов; электролиз расплавленных солей и др. Основной метод формования — прессование в пресс-формах из закаленной стали под давлением 200—1000 МПа. Частицы порошков для различных изделий имеют размеры от 0,01 до 1000 мкм, а форма частиц зависит от метода получения. Форма частиц порошка влияет на его технологические свойства, насыпную плотность, текучесть (скорость высыпания из воронки). Полученные порошки сортируют по фракциям ситовым методом (от 40 до 1000 мкм и от 0,1 до 40 мкм).

Спекание проводят в защищенной среде (водород; среда, содержащая соединение углерода; высокое разрежение (вакуум); защитные засыпки) при температуре около 70—85 % от точки плавления, а для многокомпонентных сплавов — несколько выше температуры плавления наиболее легкоплавкого компонента.

Применяют также горячее прессование, при котором изделия не только формуются, но и подвергаются спеканию. Ленту, проволоку и некоторые другие изделия из металлических порошков получают методом прокатки.

Прочность спеченных материалов определяется их относительной плотностью. Для повышения прочности и вязкости в шихту порошков на основе железа вводят порошки меди, никеля, молибдена, хромам, марганца, кремния. Помимо легирования для повышения прочности в шихту вводят до 1 % порошка графита, а после спекания заготовки закаливают или цементируют и заливают.

С помощью порошковой металлургии получают следующие виды изделий:

• компактную металлокерамику;

• металлокерамические твердые сплавы;

• ферриты;

• антифрикционные и фрикционные изделия;

• фильтры.

Недостатки порошковой металлургии:

• сравнительно высокая стоимость металлических порошков;

• необходимость спекания в защитной среде;

• в некоторых случаях трудность изготовления изделий и заготовок больших размеров;

• сложность получения металлов и сплавов в компактном беспористом состоянии.

 Гранулируемые сплавы — конструкционные металлические материалы, полученные путем изостатического прессования при высоких давлениях (компактирования) мельчайших частиц (гранул) сплавов определенного химического состава, закристаллизовавшихся с высокой скоростью. Металлургия гранул — одно из направлений порошковой металлургии. В авиационной промышленности широкое применение находят гранулируемые сплавы на основе никеля, титана, алюминия.

Важная характерная особенность металлургии гранул — высокая скорость затвердевания капель металлического расплава: если затвердевание промышленных слитков проходит при скорости охлаждения менее 1 град/с, то при затвердевании гранул размером до 200-300 мкм скорость охлаждения в интервале кристаллизации превышает 10 000 град/с.

Высокие скорости охлаждения, достигаемые при кристаллизации гранул, в сочетании с горячим изостатическим прессованием обеспечивают ряд преимуществ нового технологического процесса:

• отсутствие в больших объемах зональной ликвации и высокая однородность состава, структуры и свойств изделий даже из сложнолегированных сплавов;

• значительно меньшая чувствительность свойств к размерам заготовок и деталей;

• измельчение структуры сплава в сочетании со смещением фазовых равновесий по диаграмме состояния;

• возможность изготовления деталей или точных заготовок сложной формы при минимальной трудоемкости;

• резкое сокращение расхода металла;

• возможность получения изделий из сплавов с повышенным содержанием легирующих компонентов, а также создания нового класса материалов переменного химического состава, обеспечивающих значительное повышение механических, эксплуатационных и многих специальных характеристик.

Так, в сплавах алюминия с переходными металлами в несколько раз увеличивается растворимость (пересыщение твердого раствора), что приводит к существенному повышению конструкционной прочности и жаропрочности. Гранулированные сплавы алюминия со свинцом, которые невозможно получить традиционным способом, значительно превосходят известные алюминиевые сплавы с оловом по антифрикционным свойствам.

Гранулирование, приводя к многократному измельчению хрупких первичных кристаллов, дает возможность, эффективно деформируя брикеты, получать изделия с низким коэффициентом линейного расширения (сплавы алюминия с высоким содержанием кремния) и с хорошим сочетанием прочности и электрической проводимости при повышенных температурах (сплавы алюминия с редкоземельными металлами). Из высоколегированных никелевых сплавов, не поддающихся обработке давлением из-за малой пластичности в литом состоянии, методом металлургии гранул изготовляются диски газотурбинных двигателей. Предел прочности этих дисков на 20%, а при высоких температурах на 30% выше, чем у дисков, получаемых в серийном производстве обычными способами. Новая технология позволяет снизить массу деталей и увеличить ресурс.

Наряду с гранулируемыми сплавами на основе никеля, титана, алюминия получают распространение и другие гранулируемые материалы. Так, гранулируемые быстрорежущие стали обеспечивают значительно более высокую стойкость режущего инструмента и возможность замены дефицитных легирующих элементов. Металлургия гранул открывает широкие перспективы для повышения свойств сплавов на основе различных металлов.

Слоистые материалы — это важнейший класс композитов, обладающих широким спектром и уникальным сочетанием таких ценных свойств, как высокая прочность, коррозионная стойкость, электро- и теплопроводность, жаропрочность, износостойкость и др. Сегодня эти материалы находят все большее применение в судостроении, автотракторостроении, приборостроении, металлургическом, горнодобывающем, нефтяном, сельскохозяйственном и др. отраслях машиностроения. Из поли- и биметаллов изготовляют листы, ленты, прутки, проволоки, трубы, фасонные профили, детали и конструкции различной конфигурации. Применение слоистых металлических композиций позволяет не только повысить надежность и долговечность большой номенклатуры деталей и оборудования, но и существенно сократить расход высоколегированных сталей, дефицитных и дорогостоящих цветных металлов (никель, хром, медь, молибден и др.), снизить энергоемкость и металлоемкость, расходы на техническое обслуживание, производство запчастей и ремонт оборудования.
По функциональным признакам все производимые в настоящее время слоистые композиты подразделяются на следующие виды: коррозионностойкие, антифрикционные, электротехнические (проводниковые и контактные), инструментальные, износостойкие, термобиметаллы, биметаллы для глубокой вытяжки и бытовых изделий.
Применение коррозионностойких слоистых композитов характеризуется высокой эффективностью и экономичностью: значительно сокращается расход легирующих элементов, снижается стоимость машин и механизмов, повышается ресурс их работы. Из этих материалов изготовляются детали и конструкции, работающие в условиях низких и высоких температур и давлений, при воздействии различных агрессивных сред.

1. **Волочение. Сущность, схема процесса, оборудование и инструмент. Особенности, преимущества и недостатки.**

Сущность процесса волочения заключается в протягивании [заготовок](http://www.mtomd.info/archives/94) через сужающееся отверстие (фильеру) в инструменте, называемом волокой. Конфигурация отверстия определяет форму получаемого профиля.

Рисунок 1 — Схема волочения



Волочением получают проволоку диаметром 0,002…4 мм, прутки и профили фасонного сечения, тонкостенные трубы, в том числе и капиллярные. Волочение применяют также для калибровки сечения и повышения качества поверхности обрабатываемых изделий. Волочение чаще выполняют при комнатной температуре, когда пластическую деформацию сопровождает [наклеп](http://www.mtomd.info/archives/1251), это используют для повышения механических характеристик металла, например, [предел прочности](http://www.mtomd.info/archives/1171) возрастает в 1,5…2 раза.

Исходным материалом может быть горячекатаный пруток, сортовой прокат, проволока, трубы. Волочением обрабатывают стали различного химического состава, [цветные металлы и сплавы](http://www.mtomd.info/archives/tag/%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8-%D0%B8-%D1%81%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D1%8B), в том числе и драгоценные.

Оборудование для волочения

Основной инструмент при волочении – волоки различной конструкции. Волока работает в сложных условиях: большое напряжение сочетается с износом при протягивании, поэтому их изготавливают из [твердых сплавов](http://www.mtomd.info/archives/1777). Для получения особо точных профилей волоки изготавливают из алмаза. Конструкция инструмента представлена на рисунке 2.

Рисунок 2 — Волока



Волока *1* закрепляется в обойме *2.*Волоки имеют сложную конфигурацию, ее составными частями являются: заборная часть I, включающая входной конус и смазочную часть; деформирующая часть II с углом в вершине α (6…18 0 – для прутков, 10…24 0 – для труб); цилиндрический калибрующий поясок III длиной 0,4…1 мм; выходной конус IV.

Технологический процесс волочения включает операции:

* предварительный [отжиг](http://www.mtomd.info/archives/1444) заготовок для получения мелкозернистой структуры металла и повышения его [пластичности](http://www.mtomd.info/archives/1171);
* травление заготовок в подогретом растворе серной кислоты для удаления окалины с последующей промывкой, после удаления окалины на поверхность наносят подсмазочный слой путем омеднения, фосфатирования, известкования, к слою хорошо прилипает смазка и коэффициент трения значительно снижается;
* волочение, заготовку последовательно протягивают через ряд постепенно уменьшающихся отверстий;
* отжиг для устранения наклепа: после 70…85 % обжатия для стали и 99 % обжатия для цветных металлов ;
* отделка готовой продукции (обрезка концов, правка, резка на мерные длины и др.).

Технологический процесс волочения осуществляется на специальных волочильных станах. В зависимости от типа тянущего устройства различают станы: с прямолинейным движением протягиваемого металла (цепной, реечный); с наматыванием обрабатываемого металла на барабан (барабанный). Станы барабанного типа обычно применяются для получения проволоки. Число барабанов может доходить до двадцати. Скорость волочения достигает 50 м/с.

Процесс волочения характеризуется параметрами: коэффициентом вытяжки и степенью деформации.

|  |  |
| --- | --- |
| Преимущества | Недостатки |
| В результате волочения достигается высокая точность размеров изделия, что позволяет исключить или существенно снизить объем последующей механической обработки. | Основной недостаток волочения – многопроходность.Если при прессовании обычно получают нужное изделие за одну операцию, то при волочении для получения изделия часто требуется порядка пяти и более переходов через волоки с постепенно уменьшающимися отверстиями. |

1. **Изготовление отливок литьем под давлением. Сущность способа и его особенности. Схема процессов изготовления отливок на машинах литья под давлением с холодной и горячей камерами прессования.**

Принцип процесса **литья под давлением** основан на принудительном заполнении рабочей полости металлической пресс-формы расплавом и формировании отливки под действием давления пресс-поршня, перемещающегося в камере прессования, заполненной расплавом. В отличие от кокиля рабочие поверхности пресс-формы, контактирующие с отливкой, не имеют огнеупорного покрытия. Это приводит к необходимости кратковременного заполнения пресс-формы расплавом и действия на кристаллизующуюся отливку избыточного давления, в сотни раз превосходящего гравитационное. Современный процесс, реализуемый на специальных гидравлических машинах, обеспечивает получение от нескольких десятков до нескольких тысяч отливок разного назначения в час с высокими механическими свойствами, низкой шероховатостью поверхности и размерами, соответствующими или максимально приближенными к размерам готовой детали. Толщина стенки отливок может быть менее I ,0 мм, а масса – от нескольких граммов до десятков килограммов.

В зависимости от конструкции камеры прессования различают машины с холодной (рисунок 4.1) и горячей (рисунок 4.2) камерами прессования.



Рисунок 4.1 – Схема технологического процесса литья под давлением на машине с холодной камерой прессования: а – подача расплава в камеру прессования; б – запрессовка; в – раскрытие пресс-формы; г – выталкивание отливки; 1 – пресс-форма; 2 – пресс-поршень; 3 – камера прессования; 4 – стержень; 5 – толкатель



Рисунок 4.2 – Схема технологического процесса литья под давлением на машине с горячей камерой прессования: а – заполнение камеры прессования расплавом; б – запрессовка; в – раскрытие пресс-формы и выталкивание отливки; 1 – камера прессования; 2 – заливочное отверстие; 3 – тигель с расплавом; 4 – обогреваемый канал; 5 – пресс-форма; 6 – пресс-поршень; 7 – отливка; 8 – толкатели

Основные операции технологического процесса зависят от конструктивного решения камер прессования.

На машинах с холодной камерой прессования после подготовки пресс-формы 1 (рисунок 4.1, а) к очередному циклу, ее сборки и запирания с помощью запирающего механизма литейной машины в камеру прессования 3 подается доза расплава. Затем под действием пресс-поршня 2, перемещающегося в этой камере посредством механизма прессования, через каналы литниковой системы расплав заполняет рабочую полость пресс-формы (рисунок 4.1, б). После затвердевания и охлаждения отливки до определенной температуры извлекают стержни 4 и раскрывают пресс-форму (рисунок 4.1, в), а затем механизмом выталкивания и толкателями 5 отливку удаляют из пресс-формы (рисунок 4.1, г). Механизмы машины приходят в исходное состояние. Литники и заливы отделяются, от отливки, как правило, с помощью обрезного пресса, расположенного около литейной машины, либо механизмами пресс-формы. На этом рабочий цикл завершается.

На машинах с горячей камерой прессования особенность технологического процесса заключается в том, что камера прессования 1 (рисунок 4.2, а) располагается в тигле 3 и сообщается с ним заливочным отверстием 2. Через это отверстие при исходном положении пресс-поршня 6 расплав самотеком поступает из тигля в камеру прессования. После перекрытия пресс-поршнем заливочного отверстия расплав по обогреваемому каналу 4 поступает в рабочую полость пресс-формы 5 (рисунок 4.2, б). Рабочий цикл завершается после возврата пресс-поршня в исходное положение и слива остатков расплава из канала 4 в камеру прессования, раскрытия пресс-формы и удаления из нее отливки 7 толкателями 8 (рисунок 4.2, в).

Таким образом, процесс литья под давлением реализуется только на специальных машинах, что обеспечивает возможность комплексной автоматизации технологического процесса, способствует существенному улучшению санитарно-гигиенических условий труда, уменьшению вредного воздействия литейного производства на окружающую среду.

## Особенности формирования отливок и их качество

При литье под давлением основные показатели качества отливки – точность размеров, шероховатость поверхности, механические свойства, плотность и герметичность – определяются следующими особенностями ее формирования:

1. Кратковременность заполнения полости пресс-формы расплавом. Скорость поступления расплава в пресс-форму для разных отливок и сплавов колеблется от 0,3 до 140 м/с, продолжительность ее заполнения 0,02 – 0,3 с, а конечное давление на расплав может достигать 500 МПа. Это позволяет, несмотря на высокую скорость охлаждения расплава в форме, изготавливать весьма сложные корпусные отливки с толщиной стенки менее 1 мм из сплавов с низкой и даже близкой к нулю жидкотекучестью (таким свойством обладают, например, сплавы, находящиеся в твердожидком состоянии). Высокая кинетическая энергия движущегося расплава и давление, передаваемое на него в момент окончания заполнения формы, способствуют получению отливок с низкой шероховатостью поверхности.

2. Газонепроницаемость материала пресс-формы. Вентиляция рабочей полости происходит посредством специальных вентиляционных каналов. При высоких скоростях поступления расплава в полость пресс-формы воздух, а также газообразные продукты разложения смазочного материала, образующиеся при его взаимодействии с расплавом, не успевают полностью удалиться из пресс-формы за время заполнения ее расплавом. Они препятствуют заполнению пресс-формы и попадают в расплав, приводя к образованию неслитин, неспаев, раковин и газовоздушной пористости в отливках. Газовоздушная пористость приводит к уменьшению плотности отливок, снижению их герметичности и пластических свойств. Воздух, газы, продукты разложения смазочного материала, находящиеся в порах отливки под высоким давлением, затрудняют ее термическую обработку: при нагреве прочность отливки снижается, а давление газов в порах повышается, что вызывает коробление отливки, на ее поверхности появляются пузыри.

Для снижения газовоздушной пористости в отливках используют ряд технологических приемов, а также специальные способы литья под давлением (см. подраздел 4.2).

3. Высокая интенсивность теплового взаимодействия между материалом отливки и пресс-формой, обусловленная ее высокими теплопроводностью и теплоемкостью, малым термическим сопротивлением слоя смазочного материала и продуктов его разложения, значительным давлением расплава и отливки на стенки пресс-формы, улучшающим контакт между ними. Это способствует получению мелкозернистой структуры, особенно в поверхностных слоях отливки, повышению ее прочности и высокой производительности процесса.

4. Передача в момент окончания заполнения металлом пресс-формы давления, развиваемого пресс-поршнем в камере прессования, на расплав в полости формы. Это улучшает питание отливки, способствует уменьшению усадочной пористости, сжатию газовоздушных включений. В результате возрастают плотность, герметичность и механические свойства отливки. Однако эффективность действия подпрессовки ограничена, так как это давление на расплав в пресс-форме действует только до тех пор, пока питатель не затвердеет.

5. Использование металлической пресс-формы с точными размерами и низкой шероховатостью рабочих поверхностей. Это способствует получению высокоточных отливок по массе, геометрии и размерам. Высокая точность размеров отливок (классы 1 – 4 по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1,1998)) позволяет уменьшить припуски на обработку до 0,3 – 0,8 мм, а в некоторых случаях полностью исключить обработку резанием. Остается только зачистка мест удаления питателей, соединительных каналов промывников и облоя. Коэффициент точности отливок по массе (КТМ) при литье под давлением достигает 0,95 – 0,98. Шероховатость поверхности отливок, полученных под давлением, зависит в основном от шероховатости поверхности пресс-формы и технологических режимов литья. Обычно эти отливки имеют шероховатость от Rz = 160 – 80 мкм (сплавы на основе меди) до Rz = 1,00 – 0,32 мкм (цинковые сплавы).