

Министерство образования и науки Украины
Донбасская государственная машиностроительная академия (ДГМА)

ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ (ТТМП)

**Конспект лекций
для студентов специальности
6.05040104 «Обработка металлов давлением»
всех форм обучения**

Утверждено
на заседании
методического совета
Протокол № 1 от 20.11.2015

Краматорск
ДГМА
2015

УДК 621.73

Обработка давлением порошковых материалов (ТТП): конспект лекций для студентов специальности 6.05040104 «Обработка металлов давлением» всех форм обучения / сост. О. В. Чучин. – Краматорск : ДГМА, 2015. – 23 с.

Рассмотрены преимущества и недостатки порошковой металлургии, способы получения порошков, их подготовка к формованию, собственно методы формования, спекание заготовок из порошкового материала и их дополнительная обработка.

Составитель О. В. Чучин, ст. преп.

Отв. за выпуск И. С. Алиев, проф.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ЛЕКЦИЯ 1. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ. ПРИМЕРЫ ДЕТАЛЕЙ	5
ЛЕКЦИЯ 2. ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКОВ	10
ЛЕКЦИЯ 3. ПОДГОТОВКА ПОРОШКОВ К ФОРМОВАНИЮ	13
ЛЕКЦИИ 4–5. ФОРМОВАНИЕ ЗАГОТОВОК ИЗ ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА	15
ЛЕКЦИИ 6–7. СПЕКАНИЕ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК ИЗ ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА	20
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	23

ВВЕДЕНИЕ

Порошковой металлургией называют область техники, охватывающую совокупность приемов, позволяющих изготавливать полуфабрикаты и изделия из порошков металлов, сплавов и металлоподобных соединений или их смесей с неметаллическими порошками без расплавления основного компонента. Это прогрессивное производство, в котором сочетаются методы металлургии, материаловедения и металлообработки.

Среди имеющихся разнообразных способов обработки металлов порошковая металлургия занимает особое место, так как позволяет не только производить изделия различных форм и назначений, но и создавать принципиально новые материалы, получить которые иным путем затруднительно или вообще невозможно. Она успешно конкурирует с литьем, обработкой давлением, резанием и другими методами, дополняя или заменяя их.

Развитие порошковой металлургии обусловлено главным образом тем, что ее технологические операции сравнительно просты, а достигаемый с их помощью эффект во многих случаях поражает. Только порошковая металлургия позволила преодолеть трудности, возникшие при производстве изделий из тугоплавких металлов (температура плавления 2000 °C и выше), получать сплавы из металлов с резко различающимися температурами плавления, изготавливать материалы из металлов и неметаллов или из нескольких слоев разнородных компонентов, производить фильтрующие материалы с равномерной объемной пористостью и т. д.

Технологически порошковая металлургия держится на трех «китах», которыми являются: производство металлического порошка, придание ему требуемой формы (формование) и нагрев заготовки (спекание). Зачастую спеченные детали подвергают дополнительной обработке, существенно улучшая их физико-механические свойства.

Совокупность основных и дополнительных технологических операций позволяет решать с помощью порошковой металлургии две важнейшие задачи, определяющие направление ее развития в настоящее время:

- 1) изготавливать материалы и изделия с особыми составами, структурой и свойствами, которые недостижимы другими методами производства;
- 2) изготавливать материалы и изделия с обычными составами, структурой и свойствами, но при значительно более выгодных экономических показателях производства.

ЛЕКЦИЯ 1

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ. ПРИМЕРЫ ДЕТАЛЕЙ

Порошковая металлургия занимается изготовлением металлических порошков и разнообразных изделий из них. Иногда порошковую металлургию называют металлокерамикой, так как процессы изготовления изделий из металлических порошков сходны с керамическим производством.

Преимущества порошковой металлургии перед другими методами получения изделий:

1) является решением проблемы производства тугоплавких металлов (основа для получения режущего инструмента высокой твердости и жаропрочных материалов).

Плавить такие материалы и изготавливать изделия из них методом литья в промышленном масштабе невозможно, так как трудно подобрать футеровку печи, которая при высоких температурах (например, при 3400 °С – температура плавления вольфрама) не расплавлялась бы или не реагировала бы с расплавленным металлом либо соединением;

2) позволяет получать сплавы из металлов, не растворяющихся один в другом при плавлении обычными методами (особенно если точки плавления металлов, составляющих сплав, далеко отстоят одна от другой, например вольфрама и меди (соответственно 3400 °С и 1083 °С), железа и свинца (1535 °С и 327 °С) и т. п.);

3) можно изготавливать материалы, содержащие наряду с металлическими составляющими и неметаллические (например, введение неметаллических составляющих в металлическую основу, что не может быть достигнуто другими методами), а также материалы и изделия, состоящие из двух (биметаллы) или нескольких слоев различных металлов;

4) можно получать пористые материалы с контролируемой пористостью, чего нельзя достигнуть плавлением и литьем;

5) можно получать металлы высокой чистоты (не загрязненные материалами футеровки печей и раскислителями), в отличие от обычных литых металлов;

6) можно получать готовые детали без последующей обработки резанием (это преимущество проявляется особенно при массовом производстве).

Так, 1 кг деталей из порошкового железа равнозначен 2–4 кг литого металла (благодаря отсутствию потерь металла в стружку, меньшему удельному весу и пр.); 1 кг металлокерамических твердых сплавов при обработке металлов резанием и давлением заменяет десятки килограммов высоколегированной инструментальной стали.

Недостатки порошковой металлургии перед другими методами получения изделий:

1) высокая стоимость порошков металлов (тем более, что при изготовлении деталей из порошковых металлов примеси, содержащиеся в них,

переходят в изделие, поэтому необходимо применять наиболее чистые порошки);

2) сложность получения порошков сплавов – сталей, бронз, латуней и пр.;

3) повышенная склонность к окислению не только на поверхности, но и по всей толщине изделия (из-за пористости);

4) изделия обладают сравнительно низкими пластическими свойствами (ударная вязкость, удлинение);

5) нерентабельно получение изделий, изготавливаемых в небольших количествах, вследствие высокой стоимости пресс-форм;

6) ограничены габариты получаемых изделий и их форма.

В настоящее время в порошковой металлургии применяются почти все известные металлы. Кроме того, металлокерамические материалы часто содержат также и неметаллические компоненты. Ассортимент материалов и изделий порошковой металлургии чрезвычайно широк и разнообразен.

К материалам и изделиям, которые можно получать исключительно методами порошковой металлургии, относятся тугоплавкие металлы, твердые сплавы, композиции металлов и неметаллов и различные пористые металлы и сплавы.

Так, металлические детали электро- и радиоламп изготавливаются из порошков тугоплавких металлов – вольфрама, молибдена, тантала. Современные резцы из твердых сплавов, полученные методом порошковой металлургии, позволили при обработке металлов резанием и в горном деле увеличить скорость обработки металлов в десятки раз. Успешно применяются в промышленности различные металлокерамические антифрикционные материалы, а также пористые подшипники, фильтры и многие другие изделия. Порошковая металлургия позволяет получать изделия как из самых тяжелых металлов (вольфрам, уран), так и из самых легких (бериллий, пористый алюминий). Из металлических порошков можно изготовить материалы с широким диапазоном свойств. Из железного порошка, в зависимости от технологии, можно получить материалы с механическими свойствами, соответствующими литому железу, бронзе или даже свинцу.

Иногда рентабельным производство становится уже при годовом выпуске в несколько тысяч изделий (например, в случае VII группы сложности), а иногда – только при выпуске 100–300 тыс. изделий некоторых типов I–III групп сложности (рис. 1.1).

Порошковой металлургией получают различные конструкционные материалы со специальными физико-механическими и эксплуатационными свойствами (табл. 1.1).

Технология получения металлокерамических материалов и деталей состоит из ряда операций: получение металлических порошков, формование, спекание, отделочные операции.

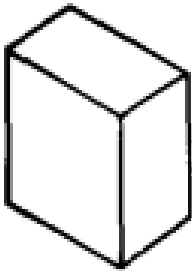
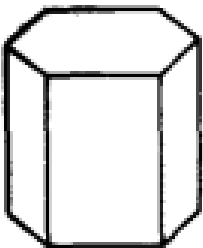
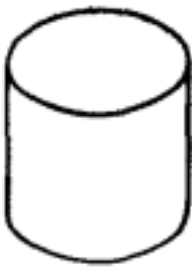
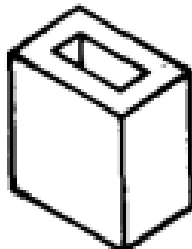
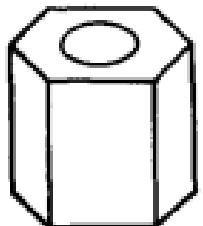
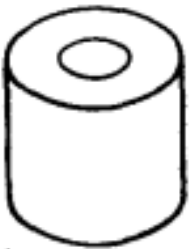
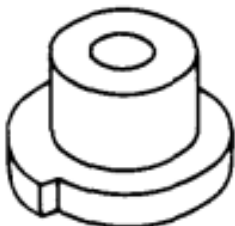
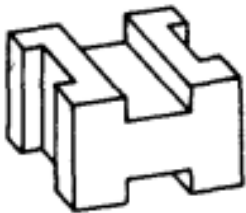
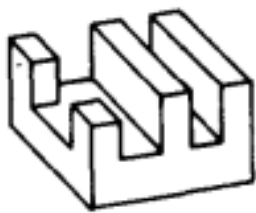
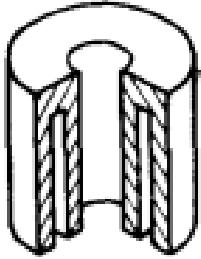
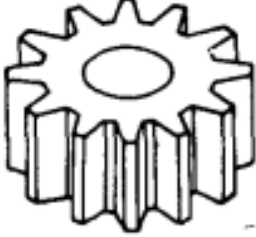
Группа	Детали		
I			
II–III			
IV–V			
VI			
VII			

Рисунок 1.1 – Вид порошковых изделий I–VII групп сложности

Таблица 1.1 – Классификация композиционных порошковых материалов

Группа материалов	Вид изделий	Состав материала
1	2	3
Электротехнические	Магниты	Порошки из чистого железа, сплавов, оксидов и т. д.
	Электроконтакты	Смесь тугоплавких металлов (вольфрама, молибдена и др.) с медью или серебром
	Электрощетки	Композиции графита с медью или серебром
Пористые	Фильтры	Порошки из бронзы, железа, титана, нихрома, коррозионно-стойкой стали и т. д. Материалы изготавливают из порошков с частицами преимущественно сферической формы с пористостью до 50 %
	«Потеющие» изделия	Материалы с пористостью до 30–40 % из коррозионно-стойкой стали, нихрома и др.
Фрикционные и антифрикционные	Подшипники скольжения	Композиции на основе медного или железного порошка с пористостью до 10–35 %, пропитанные парафином, маслом или пластмассой
	Тормозные накладки	Композиции на основе железного или медного порошка с различными легирующими добавками (свинец, никель и др.) и неметаллическими компонентами (асбест, кварц, графит и т. д.)

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3
Инструментальные	Пластины из твердых сплавов	Композиции на основе карбидов тугоплавких металлов (вольфрама, титана, тантала). В качестве связующего используют кобальт
	Пластины из сверхтвердых материалов	Композиции на основе зерен алмаза, эльбора, гексанида. Связующим служит более мягкий металл
	Минералокерамические пластины	Композиции на основе оксида алюминия с незначительным количеством примесей
Компактные конструкционные	Различные детали машин и приборов	Порошки из различных легированных и углеродистых сталей, цветных металлов и их сплавов с пористостью не более 1,0–2,0 %
Термостойкие	Жаропрочные детали различных изделий	Композиции на основе карбидов, боридов, нитридов тугоплавких металлов с чистыми тугоплавкими металлами
	Тугоплавкие детали различных изделий	Композиции на основе вольфрама, молибдена, тантала, ниобия, их карбидов и других тугоплавких металлов и сплавов
Специальные	Детали вакуумной аппаратуры	Композиции на основе железа и тугоплавких металлов
	Полупроводники	Композиции на основе германия, бора и др.

ЛЕКЦИЯ 2

ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКОВ

Металлические порошки подразделяются на отдельные небольшие тела, так называемые частицы, размером от 0,1 мкм до нескольких миллиметров. В большинстве порошков величина частиц колеблется от нескольких микрон до 0,5 мм. Частицы обычно имеют внутренние поры, капилляры, трещины и примеси – поверхностные и внутричастичные. Форма частиц весьма разнообразна и определяется способом производства порошков; желательная величина частиц достигается регулированием режима их получения. По форме частицы разделяются на три основные группы:

- 1) волокнистые, или игольчатые, длина которых значительно превосходит размеры по другим измерениям;
- 2) плоские (пластинки, листочки), длина и ширина которых во много раз больше толщины;
- 3) равноосные, имеющие примерно одинаковые размеры по всем измерениям.

Существует множество разновидностей этих основных групп, а также переходных форм между этими группами.

Все способы получения порошков, которые встречаются в современной практике, можно условно разделить на две большие группы: механические и физико-химические. Иногда с целью повышения экономичности процесса или улучшения характеристик продукта применяют комбинированные методы получения порошков.

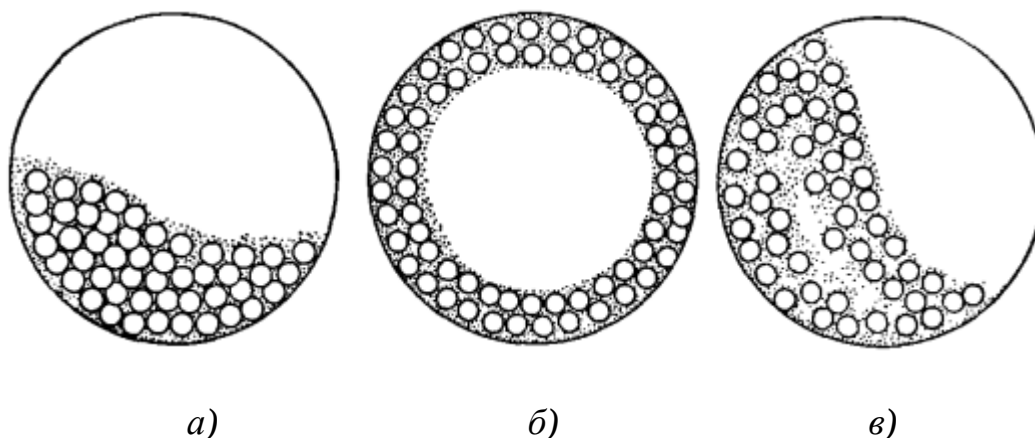
Механические методы получения порошков – это такие технологические процессы, при которых исходный материал в результате воздействия внешних сил измельчается без существенного изменения химического состава.

Дробление и размол – метод измельчения, распространенный не только как самостоятельный способ получения порошков, но и как дополнительная операция в производстве порошков, основанном на физико-химических методах; наибольшая эффективность размолла наблюдается в тех случаях, когда в качестве сырья для получения порошка используют отходы производства – стружку, обрезки и т. п.; этим методом получают порошки железа, меди, марганца, хрома, магния, алюминия, стали и сплавов на основе железа.

Шаровые мельницы применяются самой разнообразной величины и конструкции, однако общим для них является наличие барабана, в котором находятся размалываемый материал и размольные тела. Емкость промышленных барабанов с индивидуальным приводом обычно колеблется от 50 до 200 литров.

На размалывающее действие шаров большое влияние оказывает скорость вращения барабана. При очень большой скорости шары прижимаются к стенкам барабана и не могут производить размол; при малой скорости

шары перемещаются лишь по нижней части барабана и их размалывающее действие незначительно. Оптимальной скоростью вращения будет такая скорость, при которой шары поднимаются до верхней точки барабана и падают на размалываемый материал. В этом случае размол происходит наиболее интенсивно (рис. 2.1).



*а – при малой скорости; б – при большой скорости;
в – при средней (оптимальной) скорости*

Рисунок 2.1 – Схема расположения шаров и порошка в шаровой мельнице в зависимости от скорости вращения барабана

Распыление расплавленного металла – один из наиболее производительных методов, с помощью которого получают порошки алюминия, свинца, цинка, олова, бронзы, латуни, меди, ферросплавов, стали и железа.

Принцип работы установки для распыления жидких металлов газом основан на разрушении струи жидкого металла кинетической энергией воздуха или газа.

При разрушении струи жидкого металла (рис. 2.2) образующиеся частицы порошка, имеющие достаточно высокую температуру, охлаждаются водой во время полета для предохранения их от спекания.

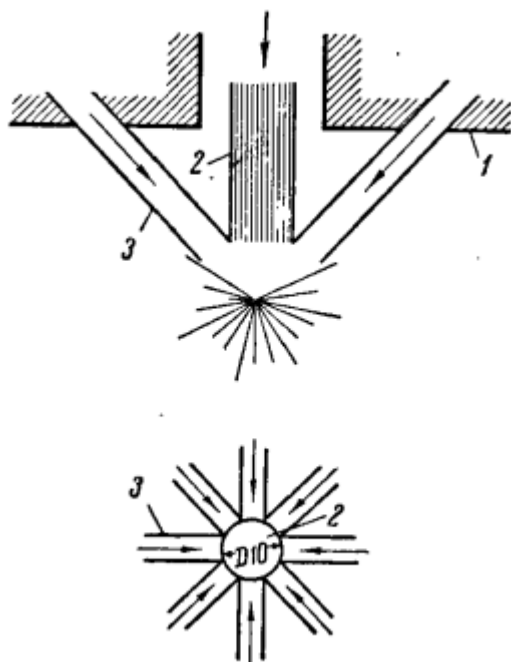
Грануляция – способ литья металла в воду, позволяющий получать грубые порошки железа, меди, серебра, свинца, олова, цинка.

Обработка металлов резанием – способ получения порошков магния, стали, латуни, бронзы, малокремнистого чугуна и т. п.

Под физико-химическими методами подразумевают технологические процессы, обеспечивающие получение порошкообразных материалов посредством глубоких физико-химических превращений исходного материала. При этом конечный продукт – порошок, как правило, отличается от исходного материала по химическому составу.

Восстановление окислов или солей – один из наиболее распространенных и самых экономичных способов, особенно когда в качестве исходного материала используют руды, отходы металлургического производства (прокатную окалину) и другие дешевые виды сырья; наиболее широко применяется для получения порошков железа, меди, никеля, кобальта,

вольфрама, молибдена, тантала, циркония и различных сплавов; позволяет легко регулировать при изготовлении размер и форму частиц порошка; порошки хорошо прессуются и спекаются.



1 – сопло; 2 – струя жидкого металла; 3 – струя газа

Рисунок 2.2 – Принципиальная схема распыления жидкого металла газом

Электролиз водных растворов и расплавленных сред – второй по значению (после способа восстановления) способ; можно получать порошки почти всех металлов; получаемые порошки являются весьма чистыми благодаря очистке от примесей в процессе электролиза, однако стоимость получаемых порошков очень высока из-за недостаточной производительности и больших затрат электроэнергии; получают порошки железа, никеля, меди, тантала, титана, тория, бериллия, серебра, хрома, марганца и различных сплавов на основе железа, никеля, меди.

Диссоциация карбониллов характеризуется тем, что получаемые порошки обладают высокой чистотой, но чрезвычайно дороги. Применяют для производства карбонильных порошков железа, никеля, кобальта, хрома, молибдена, вольфрама и легированных порошков железа или никеля. В настоящее время проводят работы по удешевлению получаемых порошков.

Конденсация – метод, пригодный только для производства порошков металлов с невысокой температурой испарения, например порошков цинка, магния, кадмия. Заключается в конденсации испаряемого металла на холодной поверхности. Порошки содержат большое количество окислов и являются очень тонкими, в связи с чем имеют ограниченное применение.

Межкристаллитная коррозия – метод, применяемый в ограниченных размерах; наиболее разработан для получения порошков из нержавеющей и

хромоникелевых сталей. Заключается в растравлении межкристаллитных прослоек, в результате чего кристаллиты теряют связь между собой.

Термодиффузионное насыщение – метод получения легированных порошков или различных сплавов. Наиболее эффективен не как самостоятельный способ получения порошков, а как способ создания поверхностных покрытий на различных металлах.

Из многочисленных способов производства порошков в промышленном масштабе применяют лишь несколько основных методов: восстановление окислов и других соединений металлов, электролиз, термическую диссоциацию летучих соединений, размол твердых металлов в шаровых, вибрационных, струйных и вихревых мельницах, распыление жидких металлов.

ЛЕКЦИЯ 3 ПОДГОТОВКА ПОРОШКОВ К ФОРМОВАНИЮ

Большое значение для получения качественных изделий имеет правильная и тщательная подготовка порошковой шихты. В большинстве случаев брак при прессовании и спекании вызывается нарушением технологических режимов на операциях подготовки шихты.

Порошки редко применяются в чистом виде, а большей частью в смеси с порошками других металлов и неметаллов.

Процесс приготовления смеси включает предварительный отжиг, сортировку порошка по размерам частиц и смешивание.

Предварительный отжиг порошка способствует восстановлению оксидов и снимает наклеп, возникающий при механическом измельчении исходного материала. Отжигу подвергают обычно порошки, полученные механическим измельчением, электролизом и разложением карбониллов. Отжиг проводят при температуре, равной 0,5–0,6 температуры плавления в защитной или восстановительной атмосфере.

Для сортировки порошков используется аппаратура, применяемая при обогащении руд и в химическом производстве. Рассев порошков производят посредством различных ситовых полотен. Применяются медные, бронзовые, никелевые металлические проволочные сита; каждое из них имеет вполне определенное назначение, например в производстве твердых сплавов в основном применяются бронзовые сита. Ситовые полотна различаются по размеру отверстий и толщине проволочек или нитей, из которых они сделаны.

Сита применяют для классификации ворошков с размером частиц 40–50 мкм. Более мелкие частицы разделяют методом воздушной классификации (сепарации). Воздушные классификаторы (сепараторы) иногда

являются частью оборудования для изготовления порошков. Для просева порошка употребляются механические и электромагнитные сита. Сита бывают открытые и закрытые.

Классифицированные порошки подвергаются смешению. От равномерности распределения компонентов в шихте зависят свойства готовых изделий.

В шаровых мельницах смешение порошков можно производить сухим и мокрым способом. При мокром смешении трение между перемешиваемыми частицами ослабляется действием жидкости и достигается более равномерное распределение частиц различных порошков между собой, чем при сухом способе. В качестве жидкости при мокром смешении применяется спирт. Применение других жидкостей нерационально потому, что тогда процесс сушки шихты требует много времени и высокой температуры, что может вызвать окисление порошков. В вибрационных мельницах при мокром или сухом смешении преодоление трения между частицами облегчается за счет вибрации шихты.

Сухое смешение в барабанах выгодно применять для порошков мягких металлов, сильно деформирующихся при смешении в шаровых мельницах, а также для шихты, содержащей графит, так как при обработке такой шихты в шаровой мельнице возможно обволакивание частиц металла графитом, что снижает прочность изделий. Сухое смешение в барабанах применяется в том случае, когда к шихте предъявляются невысокие требования. Наоборот, если нужно повысить взаимодействие между компонентами шихты, а также при необходимости измельчения частиц и тщательного их перемешивания, применяют шаровые или вибрационные мельницы. Особо тщательное перемешивание шихты получается в этих мельницах способом мокрого смешения.

У некоторых металлических порошков (вольфрам, молибден, порошки карбидов) частицы настолько тверды и прочны, что трудно поддаются деформации и прессованию. При прессовании таких порошков не происходит излома частиц и уплотнение достигается за счет вдавливания более мелких частиц между крупными и уменьшения общей пористости заготовки по сравнению с исходной шихтой. Чтобы облегчить этот процесс и одновременно получить относительно прочную спрессованную заготовку, в порошки добавляют смазывающее вещество – пластификатор, который как бы смазывает поверхность отдельных частиц, облегчая их скольжение друг относительно друга при прессовании. Кроме того, тончайшая пленка пластификатора связывает отдельные частицы между собой и прессовка приобретает некоторую дополнительную прочность, обеспечивающую сохранность формы для дальнейших операций. В качестве пластификатора применяют некоторые органические вещества, обладающие следующими свойствами:

- 1) сгоранием при нагревании без остатка;

2) легкой растворимостью в органических растворителях – спиртах, бензинах, бензолах, которые должны полностью удаляться при температуре 80–100 °С;

3) высокой смачивающей способностью.

К таким веществам можно отнести раствор (4–5 %) каучука в бензине, раствор глицерина в спирте, чистый парафин или раствор его в бензине либо бензоле, воск, канифоль и раствор ее в спирте, спиртовые растворы бакелитового лака. Наибольшее распространение (особенно в твердосплавной промышленности) получил раствор синтетического каучука в бензине.

Процесс введения связки^о – пластификатора, называемый замешиванием, состоит в том, что порошок при тщательном перемешивании заливают раствором, а затем смесь сушат для удаления растворителя. В процессе сушки смесь также перемешивается, чтобы не образовалось комков. Высушенную смесь просеивают или протирают через сито, так как даже небольшие комки могут стать причиной дефектов при прессовании.

Для повышения текучести порошка, что можно достигнуть образованием сферической формы конгломерата, иногда применяют грануляцию, при которой частицам придается форма мелких шариков. Очень простой способ грануляции заключается в том, что подготовленный порошок загружается в двухконусный смеситель-гранулятор, где в течение нескольких часов смесь скатывается в гранулы, которые затем рассеиваются на вибрационном сите. Применение гранулированной смеси сделало возможным объемную дозировку порошка при автоматическом прессовании.

Классифицированные, смешанные и предварительно обработанные порошки в виде шихты поступают на прессование.

ЛЕКЦИИ 4–5

ФОРМОВАНИЕ ЗАГОТОВОК ИЗ ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА

Формование^о – это технологическая операция получения изделия или заготовки заданной формы, размеров и плотности обжатием сыпучих материалов (порошков). Уплотнение порошка осуществляют прессованием в металлических пресс-формах или эластичных оболочках, прокаткой, шликерным литьем суспензии и другими методами.

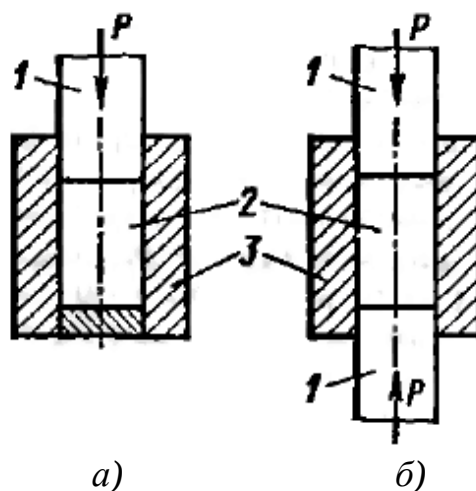
Холодное прессование смеси порошков с последующим спеканием^о – наиболее распространенный способ формования металлокерамических деталей.

Прессование порошков в металлической пресс-форме под давлением сжатия приводит к уменьшению объема порошка в результате перераспределения частиц, заполнения пустот и пластической деформации. Прессо-

вание не сопровождается полным устранением пор. Плотность полученной детали-прессовки по объему неравномерна, что обусловлено неравномерностью давления, различием физико-механических свойств частиц (формы, размера, твердости, насыпной плотности), наличием внешнего трения частиц порошка о стенки пресс-формы, межчастичным трением, наличием бокового давления. Чем больше отношение высоты к диаметру, тем больше колебание плотности. На стенки пресс-формы передается значительно меньшее боковое давление, чем в направлении прессования. Это обусловлено трением между частицами, заклиниванием их, что затрудняет их перемещение в стороны. После снятия давления, а также при выпрессовке брикета из пресс-формы размеры прессовки увеличиваются (явление упругого последействия). Для повышения и более равномерного распределения плотности прессовки по высоте используют смазку стенок матрицы пресс-формы, что уменьшает коэффициент внешнего и межчастичного трения.

Холодное прессование подразделяют на одностороннее и двустороннее.

Одностороннее прессование (рис. 4.1, а) применяют для изготовления сплошных деталей простой конфигурации с отношением высоты к диаметру меньше двух и при прессовании втулок с отношением высоты к толщине стенки меньше трех.



1 – пуансон; 2 – металлический порошок; 3 – пресс-форма

Рисунок 4.1 – Схема прессования

Равномерность распределения плотности увеличивается при двустороннем прессовании верхним и нижним пуансонами (рис. 4.1, б) и всестороннем сжатии (прессование в эластичной или деформируемой оболочке, рис. 4.2).

Двустороннее прессование (рис. 4.1, б) осуществляют взаимным движением навстречу друг другу двух пуансонов.

Этот метод позволяет получать детали с отношением высоты к диаметру больше двух, так как увеличивается равномерность распределения плотности по высоте. При двустороннем прессовании для достижения

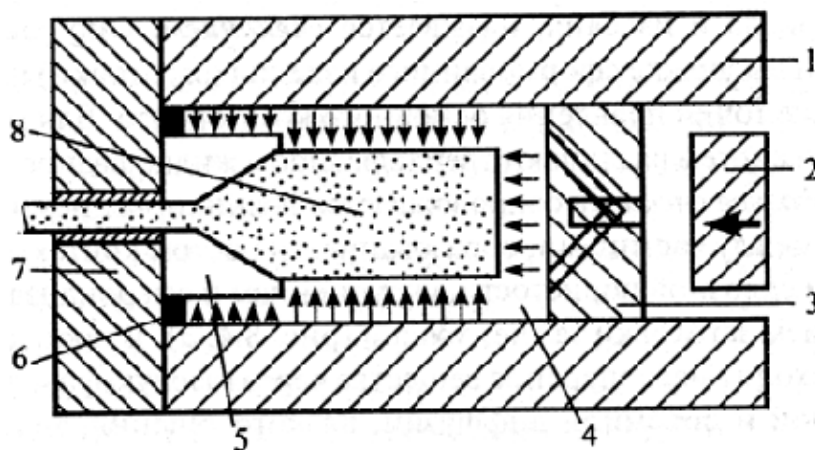
одинаковой средней плотности требуется усилие на 30–40 % меньшее, чем при одностороннем прессовании.

Использование вибрации при прессовании повышает плотность прессовки. Импульсные методы формования применяют для труднопрессуемых порошков или если необходимо получить особые свойства материала.

Горячее прессование совмещает формование и спекание заготовок. Этот процесс осуществляется в графитовых пресс-формах при индукционном или электроконтактном нагреве. Благодаря высокой температуре давление при горячем прессовании можно значительно уменьшить.

Горячее прессование отличается малой производительностью, большим расходом пресс-форм, поэтому применяется, главным образом, для получения заготовок из жаропрочных материалов, твердых сплавов, чистых тугоплавких металлов (W, Mo).

Гидростатическое прессование (рис. 4.2) применяют для получения металлокерамических заготовок простой формы и неточных размеров.



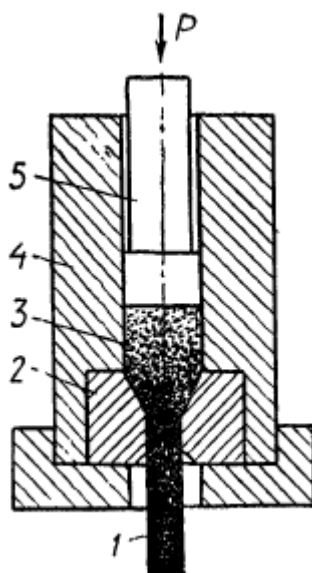
1 – рабочий цилиндр; 2 – пуансон; 3 – пресс-шайба; 4 – рабочая жидкость;
5 – матрица; 6 – уплотнитель; 7 – матрицедержатель;
8 – контейнер с материалом

Рисунок 4.2 – Схема гидростатического прессования

Металлический порошок, заключенный в эластичную резиновую или металлическую оболочку, подвергают всестороннему обжатию жидкостью. Прочность и плотность получаемых изделий зависит от давления прессования (1000–3000 МПа). Установки для гидравлического прессования отличаются простотой конструкции и отсутствием дорогостоящих пресс-форм. Этим методом можно получать материалы с высокой равномерностью распределенной плотности, а также заготовки и детали больших размеров и простой формы. При изготовлении деталей усложненной формы необходима дополнительная механическая обработка.

Экструдированием (мундштучным прессованием) называется процесс формования заготовок выдавливанием шихты через матрицу с отверстиями различного сечения (рис. 4.3). При мундштучном прессовании в

шихту добавляют 10 % пластификатора, обеспечивающем шихте консистенцию пластилина. В качестве пластификаторов используют парафин, поливиниловый спирт, крахмал и другие вещества. Изделия, полученные этим способом, имеют равномерную плотность. Процесс схож с прессованием слитков металла. Форма изделия задается формой матрицы и может быть любой сложности. Применяют для получения длинномерных заготовок типа прутков, труб, уголков с большим отношением длины к диаметру.



1 – заготовка; 2 – матрица; 3 – шихта; 4 – контейнер; 5 – пуансон
Рисунок 4.3 – Схема формования порошков экструдированием

Для получения полых изделий (труб и др.) в матрице располагают соответствующую оправку (иглу). Для повышения производительности целесообразно применять многогнездовые пресс-формы, позволяющие формовать одновременно несколько деталей. Как правило, прессуемый порошок подогревают. Это позволяет при прессовании металлов обходиться без пластификаторов. Алюминий и его сплавы прессуют при 400–600 °С, медь при 800–900 °С, никель и стали при 1050–1250 °С. Химически активные металлы (титан, цирконий, бериллий) прессуют в защитных средах или в защитных оболочках из стекла, графита или металлической фольги.

Для мундштучного прессования металлокерамических деталей применяют механические (эксцентриковые, кривошипные, кулачковые) и гидравлические прессы.

Прокатка осуществляется путем обжатия порошковой шихты между горизонтально расположенными валками. Этим способом получают пористые и компактные ленты, полосы и листы толщиной 0,02–3 мм и шириной до 300 мм из железа, никеля, нержавеющей стали, титана и других металлов. Процесс прокатки легко совмещается со спеканием и другими видами обработки. Для этого полученную заготовку пропускают через проходную печь и затем подают на прокатку с целью калибровки.

Металлические порошки прокатывают в вертикальном и горизонтальном направлениях. При прокатке в вертикальном направлении (рис. 4.4, а) на валки 3 устанавливают бункер 1, который предохраняет порошок 2 от просыпания. В бункере создается столб порошка высотой, необходимой для непрерывного поступления порошка под действием собственной массы в очаг деформации. Очаг деформации определяется углом захвата. При прокатке в горизонтальном положении (рис. 4.4, б) применяют наклонный желоб или принудительную подачу порошка шнековым механизмом.

Объем порошка при прокатке уменьшается в несколько раз. Плотность получаемой ленты зависит от величины и соотношения диаметра валков, угла захвата и толщины прокатываемой ленты. Обычно отношение диаметра валков к толщине прокатываемой ленты выбирают в пределах от 100:1 до 300:1. Скорость прокатки металлических порошков намного меньше скорости прокатки литых металлов. Ее величина ограничивается сыпучестью порошка, т. е. линейная скорость поверхности валков должна быть меньше скорости перемещения порошка из бункера в зазор между валками. Поэтому станы для прокатки металлических порошков имеют очень низкое число оборотов рабочих валков. В основном применяют станы дуо, а станы кварто – только для заключительных отделочных операций.

Одновременная прокатка порошков двух разных металлов (например, железо–медь) или металлического листа со слоем порошка позволяет получать многослойный прокат. Для этого в бункере необходимо установить перегородку для разделения его на две секции вдоль валков (рис. 4.4, в).

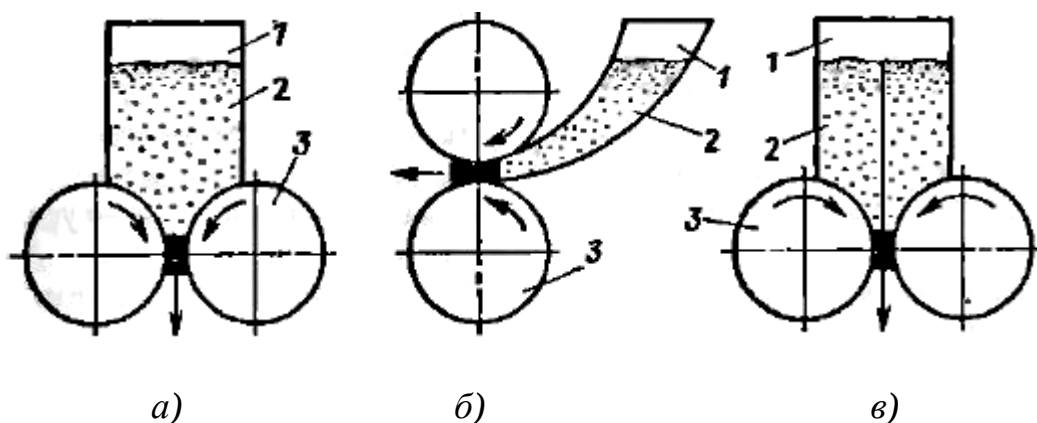


Рисунок 4.4 – Схема прокатки металлических порошков

В настоящее время широкое применение получает прокатка в вакууме или инертной среде порошков из химически активных металлов – титана, тантала, циркония. Прокаткой можно получать только изделия малой толщины, так как угол захвата порошков не превышает 13° .

Прокатка металлокерамических материалов – перспективный метод порошковой металлургии. Перед обычным прессованием она имеет ряд преимуществ: отсутствие дорогостоящих пресс-форм; возможность получения изделий относительно больших размеров при малой толщине и бо-

лее однородных по плотности; более высокая производительность; значительно меньшая мощность прокатных станов.

Сосуды и изделия сложной формы, которые трудно изготавливать обычными способами прессования, получают **шликерным формованием**. Этот процесс заключается в заливке в пористую форму шликера – однородной концентрированной суспензии порошка в жидкости. Количество порошка составляет 40–70 %. Жидкость впитывается в поры формы, а частицы порошка оседают на ее стенках, создавая твердый слой. Формирование слоя занимает 1–60 мин в зависимости от толщины стенки изделия, затем изделие вынимают и сушат при 100–150 °С. Относительная плотность полученных изделий может достигать 60 %.

ЛЕКЦИИ 6–7

СПЕКАНИЕ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК ИЗ ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА

Спекание – решающая операция в формировании свойств изделия. Оно всегда должно обеспечивать увеличение прочности изделия и во многих случаях – увеличение плотности. В спрессованных заготовках доля контакта между отдельными частицами очень мала и спекание сопровождается ростом контактов между отдельными частицами порошка. Главным, что обуславливает процессы при спекании, является большая поверхностная энергия порошков: площадь поверхности порошков составляет несколько квадратных метров на один грамм массы. Стремление системы к уменьшению поверхностной энергии приводит к возникновению так называемого «капиллярного давления», под действием которого происходит течение вещества, образуются контакты между частицами и уменьшается пористость.

При спекании изменяются линейные размеры заготовки (большей частью наблюдается усадка – уменьшение размеров) и физико-механические свойства спеченных материалов. Температура спекания обычно составляет 0,6–0,9 температуры плавления порошка для однокомпонентной системы, или ниже температуры плавления материала матрицы для композиций, в состав которых входят несколько компонентов. Время выдержки после достижения температуры спекания по всему сечению составляет 30–90 мин.

Спекание многокомпонентных смесей может осуществляться как в твердой фазе (твердофазное спекание), так и в присутствии жидкой фазы (жидкофазное спекание). *Твердофазное спекание* проводят при температурах 0,7–0,9 абсолютной температуры плавления наиболее легкоплавкого компонента смеси. На начальной стадии спекания, благодаря поверхност-

ной диффузии, происходит расширение участков контакта частиц порошка и увеличивается сцепление частиц. При этом пустоты между частицами приобретают округлую форму, но объем пустот не изменяется. На последующих стадиях спекания происходит объемная диффузия, уменьшается объем пор и прессовки в целом (идет усадка прессовки). Выдержка прессовки при постоянной температуре сопровождается сначала быстрой усадкой, потом усадка замедляется и размеры изделия стабилизируются. Если после этого увеличить температуру изотермической выдержки, то опять вначале быстро пройдет уплотнение изделия, а затем его размеры и плотность стабилизируются. И так при каждом новом подъеме температуры. Но с увеличением температуры и времени увеличивается интенсивность роста зерен, что может привести к снижению механических свойств изделия. Плотность и прочность спекаемых изделий существенно зависят от атмосферы, в которой проводят спекание.

Восстановительные среды предпочтительнее нейтральных газов, так как восстановление оксидных пленок на частицах порошка ускоряет спекание. Полно и быстро проходит спекание в вакууме. Длительность выдержки при спекании – от получаса до нескольких часов. Получить беспористый материал при твердофазном спекании практически не удается.

Жидкофазное спекание позволяет получать существенно более плотные изделия, чем твердофазное. Они могут быть практически беспористыми (пористость менее 1–2 %). Расплавы металлов хорошо смачивают чистые металлические поверхности, а также поверхности тех неметаллических веществ (карбидов, нитридов, боридов, оксидов и др.), с которыми они взаимодействуют. Различают спекание с жидкой фазой остающейся до конца процесса и спекание с исчезающей жидкой фазой. С оставшейся жидкой фазой спекают материалы на основе железа, содержащие медь, фосфор, серу. Характерные примеры спекания с исчезающей жидкой фазой – производство постоянных магнитов, бронзовых и бронзографитных материалов.

В производстве некоторых видов изделий применяют пропитку спрессованного и спеченного каркаса из тугоплавкого вещества легкоплавким сплавом. Так, пропитывают медь свинцом, карбид титана сталью, вольфрамовое волокно медью и медноникелевыми сплавами. Основное условие пропитки – смачивание тугоплавкого вещества расплавом. Пропитку выполняют погружением пористого каркаса в расплав или кладут на пористый каркас кусочек легкоплавкого сплава и расплавляют его в защитной среде; под действием капиллярных сил происходит пропитка каркаса.

После спекания заготовки в ряде случаев подвергают **дополнительной обработке** в целях повышения физико-механических свойств, получения окончательных размеров и формы, нанесения декоративных покрытий и защиты поверхности детали от коррозии.

Для повышения физико-механических свойств спеченных заготовок применяют следующие виды обработки: повторные прессование и спекание, пропитку смазочными материалами (антифрикционных деталей), термическую или химико-термическую обработку.

Повторные прессование и спекание позволяют получать детали с более высокой плотностью. Промежуточные отжиги, снимая наклеп в зернах заготовки, способствуют дальнейшему их уплотнению при относительно небольшом давлении. Процесс повторного прессования осуществляют в тех же пресс-формах или в пресс-формах с повышенной точностью изготовления формообразующих деталей. В производственных условиях, как правило, ограничиваются двукратными прессованием и спеканием.

Спеченные материалы можно подвергать ковке, прокатке, штамповке при повышенных температурах. Обработка давлением позволяет снизить пористость материалов и повысить их пластичность.

Пропитку заготовок обычно выполняют погружением их в масляную ванну с температурой 70–140 °С. Длительность пропитки колеблется от 15 мин до 2 ч. Степень заполнения пор при этом составляет 90–95 %. Более высокое заполнение пор маслом достигается при применении вакуумной пропитки.

Основными видами термической обработки являются отжиг и закалка. Операцию отжига используют для повышения технологических свойств при производстве деталей из тугоплавких металлов. Отжиг снижает прочностные характеристики и в несколько раз повышает пластичность материала, что облегчает дальнейшую обработку давлением (ковку, протяжку, прокатку и т. д.).

В некоторых случаях детали из железного порошка подвергают науглероживанию методами химико-термической обработки – нагреву в ящиках с карбюризатором или в газовой науглероживающей атмосфере. Процесс насыщения углеродом протекает значительно быстрее вследствие проникания газов внутрь пористого тела.

Для повышения износостойкости деталей применяют операцию сульфидирования; для придания спеченным заготовкам необходимых размеров и формы – калибровку, протягивание, штамповку и обработку резанием.

Калибровку осуществляют в специальных калибровочных пресс-формах. Усилие калибровки составляет 10–25 % от усилия прессования. Калибровка – почти всегда отделочная операция. Она позволяет достичь требуемого класса точности и чистоты поверхности. Большая степень деформации при калибровке может значительно повысить прочность и снизить пластичность деталей. Поэтому после калибровки применяют дополнительное спекание или отжиг.

Механической обработке (точению, фрезерованию, сверлению) подвергают заготовки для получения деталей сложных форм (твердосплавные вставки и матрицы штампов, волокна и т. д.), для нарезании наружных и внутренних резьб, для получения малых по диаметру, но глубоких отверстий и т. д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология конструкционных материалов : учебник / О. С. Комаров [и др.]. – 2-е изд., испр. – Минск. : Новое знание, 2007. – 567 с. : ил. – (Техническое образование).
2. Технология конструкционных материалов : учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / А. М. Дальский [и др.] ; под ред. А. М. Дальского. – 5-е изд., испр. – М. : Машиностроение, 2004. – 512 с. : ил.
3. Технология конструкционных материалов : учебник / Г. А. Прейс [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – К. : Выща шк., 1991. – 391 с. : ил.
4. Либенсон, Г. А. Производство порошковых изделий : учебник для техникумов / Г. А. Либенсон. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Metallurgia, 1990. – 240 с.
5. Кипарисов, С. С. Порошковая металлургия / С. С. Кипарисов, Г. А. Либенсон. – М. : Metallurgia, 1980. – 496 с.

Навчальне видання

ОБРОБКА ТИСКОМ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ (ТТМВ)

**Конспект лекцій
для студентів спеціальності
6.05040104 «Обробка металів тиском»
усіх форм навчання
(Російською мовою)**

Укладач ЧУЧИН Олег Володимирович

За авторським редагуванням

Комп'ютерне верстання О. М. Болкова

13/2015. Формат 60 × 84/16. Ум. друк. арк. 1,4.
Обл.-вид. арк. 1,16. Тираж 3 пр. Зам. №

Видавець і виготівник
Донбаська державна машинобудівна академія
84313, м. Краматорськ, вул. Шкадінова, 72.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК №1633 від 24.12.2003