

## Глава 6. ПОРОШКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

### 6.1. Общие сведения

*Порошковыми называют материалы, изготавливаемые путем прессования металлических порошков в изделия необходимой формы и размеров и последующего спекания сформированных изделий в вакууме или защитной атмосфере при температуре 0,75–0,85 от температуры плавления основного компонента.*

Методы порошковой металлургии (ПМ) позволяют создавать принципиально новые материалы, которые сложно или даже невозможно получить другими способами: многослойные композиции, различные комбинации металлических и неметаллических компонентов, пористые материалы с широким диапазоном контролируемой пористости, изделия из тугоплавких металлов и т.д.

Сегодня из них изготавливаются конструкционные элементы машин и механизмов, металлорежущий и породоразрушающий инструмент, подшипники и прочие компоненты узлов трения, детали электротехнического оборудования и оснащения атомных реакторов, магниты, охладители испарительного типа, множество других незаменимых изделий промышленного назначения.

Основным сырьем порошковой металлургии являются порошки чистых металлов и сплавов, а также порошки некоторых неметаллических элементов и соединений, в которые добавляются пластификаторы для сохранения формы прессовок и смазки для более равномерного уплотнения.

Различают пористые и компактные порошковые материалы.

Пористыми называют материалы, в которых после окончательной обработки сохраняется  $> 10\text{--}30\%$  остаточной пористости. Компактные материалы имеют пористость  $1\text{--}3\%$ .

#### ***Преимущества порошковой металлургии:***

- возможность создавать принципиально новые материалы и изделия из них, которые невозможно получить традиционными методами (фильтры, пористые подшипники и т.д.);
- возможность изготавливать изделия различной формы, которые не требуют последующей механической обработки;
- возможность свести к минимуму отходы металла в стружку, упростить технологию изготовления деталей и снизить трудоёмкость их производства.

### **Недостатки порошковой металлургии:**

- многие металллокерамические материалы и детали имеют низкие механические свойства (пластичность, ударная вязкость);
- в ряде случаев стоимость металлических порошков выше стоимости литых металлов.

**Технологический процесс изготовления изделий из порошков** включает в себя получение порошков, подготовку шихты, формование, спекание, горячее прессование и штамповку.

Заготовки, полученные после прессования (формирования), как правило, обладают низкими механическими свойствами, а процесс спекания позволяет увеличить поверхность сцепления частиц, повысить плотность и прочность изделий и получить необходимые свойства.

В большинстве случаев спекание является завершающей операцией. В случае необходимости изделия могут быть подвергнуты механической, термической, химико-термической обработке, калибровке и обработке резанием, пропитке маслами, жидкими металлами, гальванической обработке и т.д.

Размеры частиц порошка обычно составляют от 0,1 мкм до 0,1 мм. Более крупные фракции называют *гранулами*, более мелкие – *пудрой*.

**Получение металлических порошков** осуществляют физико-механическими и химико-металлургическими способами.

В основе **физико-механических способов** получения порошков лежат методы механического измельчения металлов в твёрдом и жидком состояниях. К ним относятся:

- дробление и размол стружки в мельницах;
- распыление расплавленного металла струёй сжатого воздуха, газа или жидкости;
- грануляция при литье расплавленного металла в жидкость и др.

К **химико-металлургическим способам** относятся:

- способы восстановления металлов из оксидов;
- осаждение металлов из водных растворов солей;
- термическая диссоциация карбонильных соединений металлов.

При формовании заготовок прессованием из порошков определённого химического состава им придают форму и размеры готовых деталей, после чего направляют на спекание. При спекании непрочные прессованные заготовки превращаются в прочное спечённое изделие со свойствами, приближающимися к свойствам беспористого компактного материала.

Наиболее распространённым является метод прессования в пресс-формах. При *холодном прессовании* и последующем спекании

получают пористые изделия с пористостью 5–20%. *При горячем прессовании* порошков ( $t \geq t_{н.р.}$ ) получают изделия, практически не имеющие пористости и обладающие высокими прочностными и пластическими свойствами.

Температура спекания деталей из конструкционных порошковых материалов на основе железа с добавками графита, никеля и других компонентов составляет 1100–1200°C. Температура спекания изделий антифрикционного назначения на основе железа составляет 1000–1050°C, на основе бронзы – 850–950°C. Спекание проводят в течение 0,5–1,5 ч в нагревательных печах, как правило, в защитной атмосфере или в вакууме для предотвращения окисления частиц порошка. Для получения более высоких характеристик механических и эксплуатационных свойств материалов и повышения точности размеров после формования и спекания дополнительно производят горячее прессование, штамповку, прокатку.

В ряде случаев дополнительно проводят ХТО деталей из порошковых материалов. Цементацию и нитроцементацию применяют для повышения твёрдости и износостойкости поверхностного слоя. Азотирование позволяет получать высокую твёрдость, усталостную прочность и коррозионную стойкость деталей.

*Сульфидирование* применяют с целью уменьшения коэффициента трения для повышения износостойкости и твёрдости железных и железографитовых изделий. Наиболее простой способ сульфидирования – пропитка серой погружением пористых изделий в расплавленную серу при температуре 140–160°C (выдержка 10–15 мин) с последующим нагревом до 400–500°C в герметизированной печи с азотоводородной атмосферой.

*Оксидирование* обработкой паром применяют для повышения износостойкости и коррозионной стойкости порошковых деталей на железной основе. Обычно используют обработку паром при температуре 550°C в течение 1 ч с последующим охлаждением в масле. При взаимодействии паров воды с железом на поверхности деталей и на поверхности открытых пор образуется прочная коррозионно-стойкая плёнка.

*Основными свойствами порошковых материалов являются: химический состав, плотность (пористость), однородность состава и структуры.*

Современные порошковые материалы по видам применения условно подразделяют на следующие функциональные категории:

1) конструкционные (включая группы металлов и их сплавов, металлокерамических твердых сплавов и минералокерамики);

- 2) пористые (включая группы фильтрующих, триботехнических, «потеющих» и пеноматериалов);
- 3) электротехнического назначения;
- 4) специальные материалы для ядерной энергетики и др.

## 6.2. Конструкционные порошковые материалы

Изделия для машиностроения из конструкционных порошковых материалов являются наиболее распространенным видом продукции порошковой металлургии. Обладая набором высоких механических характеристик, они повсеместно используются в машиностроении для производства высоконагруженных шестерен, звездочек, зубчатых колес, червячных пар, клапанов и седел к ним, муфт, фланцев, эксцентриков, накладок, заглушек, храповиков, гаек, ограничителей, кулачков, шайб, крышек, корпусов подшипников, компонентов насосного оборудования и измерительного инструмента, различных дисков, втулок, деталей множества других элементов технических устройств (рис. 6.1).



Рис. 6.1. Конструкционные детали из порошковых материалов

Правильность выбора порошковых конструкционных материалов зависит от того, насколько верно учтены особенности их применения в технолого-экономическом и эксплуатационном аспектах, которые зависят от: *физико-механических свойств, технологических свойств* (обрабатываемости резанием и давлением, термическими способами, методами литья), *эксплуатационных (служебных) свойств, устойчивости к температурным факторам* (жароустойчивость, жаропрочность и т.п.).

Различают конструкционные порошковые материалы общего назначения, заменяющие обычные углеродистые и легированные стали, чугуны и цветные металлы, и материалы, обладающие специальными свойствами – высокой износостойкостью, твёрдостью, жаропрочностью, коррозионной стойкостью. В зависимости от условий нагружения

различают мало-, средне- и тяжелонагруженные детали, которые в свою очередь делятся на тяжелонагруженные статическими и динамическими усилиями.

Чем выше требования по прочности, тем меньше должна быть пористость металла. По плотности (пористости) порошковые детали подразделяют на группы.

*Тяжелонагруженные статическими усилиями* детали изготавливают из порошков углеродистых или легированных сталей и цветных сплавов. Пористость материала не должна превышать 9%. Изделия получают холодным прессованием и спеканием с последующей дополнительной горячей и холодной штамповкой или горячим прессованием. Применяют также пропитку легкоплавкими металлическими расплавами с последующей термической обработкой.

*Тяжелонагруженные динамическими нагрузками* детали изготавливают из порошков углеродистых и легированных сталей и сплавов цветных металлов с пористостью не более 2%. В этом случае проводят холодное прессование, спекание, горячую штамповку, горячее прессование или ХТО.

На рис. 6.2 представлена зависимость относительной прочности  $\sigma_{\text{отн}} = (\sigma_{\text{пор}}/\sigma_{\text{комп}})100\%$  от относительной плотности  $\gamma_{\text{отн}} = (\gamma_{\text{пор}}/\gamma_{\text{комп}})100\%$  порошковых материалов при различных технологических процессах формообразования, где  $\sigma_{\text{пор}}$ ,  $\gamma_{\text{пор}}$  – прочность и плотность порошковых материалов;  $\sigma_{\text{комп}}$ ,  $\gamma_{\text{комп}}$  – прочность и плотность композитов.

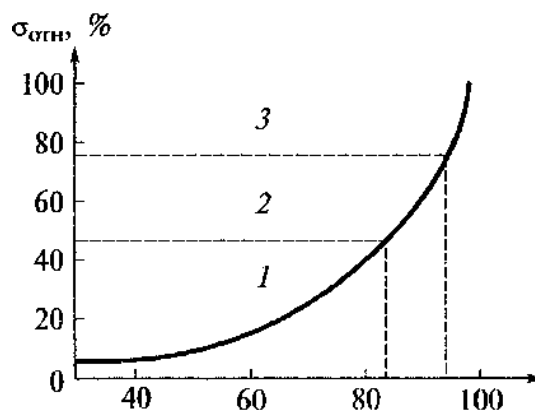


Рис. 6.2. Зависимость относительной прочности порошковых конструкционных материалов от их относительной плотности и технологии формообразования: 1 – статическое холодное прессование; 2 – высокоскоростное холодное прессование; 3 – горячая штамповка

С увеличением плотности одновременно возрастают пластичность и ударная вязкость. Изменяя пористость, можно регулировать

плотность и механические свойства, подбирать материалы с заданными свойствами для конкретных условий работы изделий.

Порошковые стали по механическим свойствам могут не уступать литым и кованым сталям соответствующего состава. Так, мартенситно-стареющие стали благодаря возможности повышения содержания титана до 2...3% имеют временное сопротивление до 2000 МПа при ударной вязкости  $KCU$  30–40 Дж/см<sup>2</sup>.

Основой для получения порошковых коррозионностойких материалов обычно служат порошки сталей и сплавов определённого состава.

Перспективно использование порошков титана и его сплавов для изготовления тяжело нагруженных деталей. Высокие механические свойства порошковых изделий на основе титана ( $\sigma_b = 650\text{--}900$  МПа;  $\delta = 8\text{--}16\%$ ) позволяют применять их для изготовления шатунов автомобильных двигателей, что существенно уменьшает массу, снижает инерционные силы и повышает мощность двигателя.

### **6.2.1. Износостойкие порошковые материалы**

К основным принципам создания порошковых износостойких материалов относятся следующие:

1. Структура материала должна быть гетерогенной и состоять из твердых зерен, равномерно распределенных в упругопластической матрице. В этом случае приложенная нагрузка действует в основном на включения твердой фазы, а в матрице происходит релаксация напряжений.

2. Структура материала не должна существенно изменяться в процессе трения или должна перестраиваться в структуру, выгодную с точки зрения трения и износа.

3. Поверхностный слой трущихся материалов должен иметь меньшую прочность, чем нижележащие слои (правило положительного градиента).

4. Поверхностный слой не должен наклёпываться в процессе трения.

5. Под влиянием окружающей среды в материале не должны происходить структурные изменения, ухудшение характеристик прочности и пластичности.

6. В состав материала рекомендуется вводить вещества, способные работать в качестве твердых смазок.

7. Между структурными составляющими материала должна существовать адгезионная связь.

8. Противозадирные добавки не должны значительно снижать прочность материала.

9. Коэффициент трения твердых включений между собой и по материалу матрицы должен быть минимальным.

Порошковые износостойкие материалы должны быть плотными ( $P < 10\%$ ). Они могут быть получены двойным прессованием и спеканием прессовок, либо горячим прессованием, либо горячей штамповкой, либо пропиткой более тугоплавкой металлической заготовки неметаллическим расплавом и т.д.

**Материалы с неравновесной грубогетерогенной структурой**, формируемой в процессе спекания, представляют собой прочную и пластичную металлическую матрицу и равномерно распределённые в ней твёрдые включения оксидов, тугоплавких соединений или интерметаллидов в количестве 15–20 об. %. Такая гетерогенная структура позволяет исключить макросхватывание и повысить износостойкость материалов.

Созданная как аналог (по химическому составу) стали ШХ15, спеченная сталь ПЖЧ20Х3 обладает большей износостойкостью, несмотря на то, что имеет пористость 10–12% и уступает ей по прочности и твердости. Испытания в режиме граничного трения со сталью Р9 при скорости 2,5 м/с и давлении 3,4 МПа показали, что материал ПЖЧ20Х3 по износостойкости превосходит сталь ШХ15 в 5 раз. Промышленное применение порошковых деталей масляного насоса кузнечно-прессового оборудования, изготовленных из стали ПЖЧ20Х3, позволило повысить ресурс масляного насоса с 3000 до 12000 ч.

Высокой прочностью и износостойкостью обладают порошковые материалы на основе железа, содержащие карбид бора. Легированная матрица и дисперсные твердые включения сложных карбидов и боридов обеспечивают повышенную прочность и износостойкость материалов.

Повышенной износостойкостью характеризуются материалы типа *железо-феррохром, железо-ферромарганец, железо-ферротитан, железо-карбид титана*.

Высокой работоспособностью при высоких температурах обладают износостойкие материалы на основе никеля или кобальта, содержащие в качестве противозадирных добавок оксид магния MgO.

**Самосмазывающиеся подшипники** получают методом порошковой металлургии из материалов различной комбинации: железо-

графит, железо-медь (2–3%) – графит или бронза-графит. Графит вводят в количестве 1–4%. После спекания в материале сохраняют 15–35% пор, которые затем заполняют маслом. Масло и графит смазывают трущиеся поверхности. При увеличении трения под влиянием нагрева поры раскрываются полнее, и смазочный материал поступает обильнее. Тем самым осуществляется автоматическое регулирование подачи смазочного материала (его запас находится в специальной камере). Такие подшипники работают при небольших скоростях скольжения (до 3 м/с), отсутствии ударных нагрузок и устанавливаются в труднодоступных для смазки местах.

**Металлостеклянные материалы** – порошковые материалы, полученные из смеси порошков металла и стекла. Изделия из них получают холодным прессованием шихты с последующим спеканием заготовок, горячим статическим прессованием или горячей штамповкой заготовок, пропиткой расплавленным стеклом пористых металлических заготовок. Металлостеклянные материалы имеют ярко выраженную гетерогенную структуру – металлическую матрицу и равномерно распределенные стеклянные включения (1,2–1,5 мкм). Стеклянные частицы в процессе спекания или нагрева под штамповку изменяют свою форму с осколочной на более округлую.

После термической обработки металлическая матрица на основе углеродистых и легированных сталей имеет микротвердость порядка 5–6 ГПа, стеклянная фаза – 8–12 ГПа, что предопределяет высокую износостойкость металлостеклянных материалов.

Оптимальные фрикционные и физико-механические свойства наблюдаются при введении 15–25 об. % стекла.

Одним из применяемых в технике износостойких материалов, работающих без смазки в вакууме, является металлостеклянный материал ПС5ГШ на основе эвтектоидной стали с 15 об. % стеклянной фазы, внедренной в виде стеклянного порошка. Материал подвергают термической обработке: закалке с 820–840°C в водные растворы солей и отпуску при 200°C в течение 1 ч. Механические свойства при этом:  $\sigma_b = 580\text{--}620$  МПа;  $KCU = 100$  кДж/м<sup>2</sup>;  $\delta = 2\text{--}3\%$ ; HRC 52–58. Фрикционные испытания в условиях трения без смазки показывают, что при отсутствии стекла трущиеся поверхности схватываются, температура в зоне трения превышает 600°C, интенсивность износа возрастает в 20–30 раз.

Металлостеклянные материалы в 1,5–5 раз дешевле легированной стали ШХ15, превосходят ее при равной твердости: при трении без



смазки – в 3–11 раз, при работе в абразивной среде – в 1,9–2,5 раза. Металлостеклянные материалы применяют при изготовлении тяжело-нагруженных узлов трения, работающих при ограниченном подводе смазки или при её отсутствии (*шестерни, кулачки, детали сельскохозяйственных машин* и др.).

**Карбидостали** – это порошковые материалы, состоящие из легированной стальной матрицы и карбидов с массовой долей 20–70%. В качестве карбидной составляющей чаще всего применяют карбид титана. Матрица из легированной стали выполняет роль связки с равномерно распределёнными в ней карбидами. Приготовление порошковой смеси состоит в смешивании порошка карбида титана с порошком стали-связки заданного состава либо со смесью порошка железа с порошками легирующих компонентов. В качестве металла-связки обычно используют легированные инструментальные стали марок Х12М, Х4Н2МВ, Х6В3М, 5Х6ВМ2, Р6М5К5. Карбидостали после закалки и отпуска обладают высокой твёрдостью и износостойкостью. По комплексу свойств карбидостали занимают промежуточное положение между твёрдыми сплавами и быстрорежущими сталями.

Кроме инструментов разного назначения карбидостали можно использовать для изготовления деталей, подвергающихся интенсивному изнашиванию (*втулки, валики, подшипники, зубчатые колеса, кулачки*), а также деталей, работающих в условиях гидроабразивного изнашивания, при повышенных температурах и в коррозионных средах. В качестве матрицы могут использоваться инструментальные, конструкционные, коррозионностойкие и другие стали, что определяется назначением карбидосталей.

### **Конструкционные металлокерамические материалы**

К данной группе конструкционных материалов относятся отличающиеся сложной структурой металлокерамические твердые сплавы (керметы), содержащие в своем составе более 50% (по объему) твердодозернистой фазы (карбиды, бориды, оксиды, нитриды различных металлов), а также используемое в качестве матрицы для удержания зерен пластичное связующее в виде чистых металлов (никель, кобальт, тугоплавкие металлы). Керметы применяют для производства бурового инструмента.

Металлокерамические твердые сплавы – один из наиболее распространенных классов конструкционных порошковых материалов с уникальным набором физико-механических свойств. Твердые сплавы находят применение в буровом оборудовании. Показатели плотности

керметов (керамики с матричным металлическим связующим) достигают  $3,97 \text{ г/см}^3$ , а твердости – 93 HRA.

В сфере легкого, среднего и тяжелого машиностроения широко используются детали с твердосплавным армированием; из твёрдых сплавов изготавливают размольные шары для шаровых мельниц.

### ***Конструкционные минералокерамические материалы***

Минералокерамику, структурно включающую в свой состав кристаллиты, соединенные стекловидным аморфным связующим, получают преимущественно на базе порошковых оксидов и высокотвердых безоксидных карбидных, боридных, нитридных и силицидных тугоплавких композиций, а также подобных соединений Al, Ti, Zr и ряда других металлов. Минералокерамические материалы являются высокопрочностными, термостойкими, износоустойчивыми. Минералокерамика имеет плотность в диапазоне  $4,2\text{--}4,6 \text{ г/см}^3$  и твердость в пределах 92–94 HRA.

К группе минералокерамики по свойствам причисляют также корунды. Корунды незаменимы при изготовлении износоустойчивых насадок к *породоразрушающим долотам гидромониторного типа*, насосных горловин. Весьма результативным оказывается использование корундов для изготовления рабочих кромок *грунтопланировочных машин*.

## **6.3. Триботехнические пористые материалы**

*Триботехническими* (от греч. «трибос» – «трение») называют пористые материалы, используемые для изготовления пар трения. Группа триботехнических материалов в свою очередь подразделяется на подгруппы антифрикционных материалов, обеспечивающих наименьшее сопротивление при взаимодействии трущихся поверхностей, и фрикционных материалов, которые, напротив, применяются с целью сделать силу трения максимальной.

### ***6.3.1. Антифрикционные пористые материалы***

Пористые антифрикционные материалы (ГОСТ 26614-85) изготавливают методом формопрессования с последующим спеканием из металлопорошков на основе Fe, Cu и Ti, а также боридных, карбидных и оксидных композиций со смазывающей пропиткой из свинца, графита, дисульфида молибдена, сернистого цинка, селенидов, фторопластов и других мягких наполнителей. Степень пористости таких материалов может быть различной, варьируясь в диапазоне 15–35%.

Большинство изделий из порошковых антифрикционных материалов – самосмазывающиеся (смазывающий компонент содержится в порах матричной основы) (см. раздел 6.2.1). Оптимальную структуру антифрикционных материалов в виде твердой матричной основы с заполняющим ее мягким смазывающим компонентом возможно получить лишь с применением порошковой металлургии. Изготавливаемая таким образом продукция способна обеспечить стабильно малые показатели трения благодаря идеальной прирабатываемости, высоким характеристикам износоустойчивости, теплопроводности, оптимальной вязкости в режиме ударных нагрузок и сопротивляемости схватывающему эффекту.

Из антифрикционных материалов – достойной альтернативы традиционным чистометаллическим сплавам – выпускают широкий ассортимент подшипников скольжения (рис. 6.3).



Рис. 6.3. Металлокерамический подшипник скольжения

Подшипники изготавливают из пористой металлокерамики с различными значениями пористости, исходя из их условий эксплуатации. *В экстремальных условиях* (высокоскоростной режим с возможными ударными нагрузками), требующих наличия особенно прочных опор, применяют изделия из мелкодисперсных порошков с невысокой степенью пористости (до 22%). *В средненагруженном режиме* пористость 22–28%, а для эксплуатации *в щадящем режиме* нужны изделия из порошков крупной дисперсии (пористость 28–35%). Чем выше показатель пластичности и ниже степень пористости металлопорошка, тем ближе он по набору функциональных свойств к компактному металлу.

При *высокотемпературных условиях* (до 280°C) металлокерамические подшипники на железографитовой пористой основе могут эксплуатироваться в режиме невысоких скоростей ( $v < 0,11$  м/сек) с использованием графитосмазки.

Возможность пропитывания материалов основы твердыми смазочными наполнителями позволило применять пористые подшипники в случаях, когда применение жидкой смазки не представляется возможным, например, при эксплуатации в режиме высоких температур.

### **6.3.2. Фрикционные пористые материалы**

Фрикционные порошковые материалы (ГОСТ 17359-82) при степени пористости 10–13% имеют высокие показатели коэффициента трения, износо-, тепло-, коррозионной стойкости, прочности, прирабатываемости. Поэтому их используют в составе технических устройств, предназначенных для передачи или рассеивания кинетической энергии (тормозов, фрикционных муфт, демпферов и др.). Как и антифрикционные, фрикционные материалы также являются пористыми композициями, хотя в практическом отношении и выполняют прямо противоположную функцию.

Они состоят из металлических и неметаллических компонентов для деталей, работающих в масле (75%) и при сухом трении, в виде, соответственно, металлической основы (стальной, чугуновой, медно-никелевой и т.д.) (рис. 6.4).



*Рис. 6.4. Изделия из спеченных фрикционных металлопорошков, а также припекаемых к основе под давлением керамических фрикционных накладок (рис. 6.5)*

При этом металлокомпоненты позволяют добиться высоких значений теплопроводности и прирабатываемости, а безметаллические составляющие ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , графит и др.) способствуют увеличению силы трения и минимизируют возможность заедания вследствие схватывания.

К наиболее востребованным маркам антифрикционных материалов причисляют: ФМК-8; ФМК-11; МКВ-50А; СМК-80; МК-5; МК-263.

Первые 3 марки разработаны для сильнонагруженных тормозов, муфт сцепления *летательных аппаратов и дорожной техники военного назначения.*



*Рис. 6.5. Керамические фрикционные накладки, представляющие собой спеченную композицию из материалов с высоким коэффициентом трения (металло-, асболокно, кварциты, карбиды, оксиды, бориды), пропитанных твердой смазкой (Pb, Sn, Bi, оксиды Al, сульфаты Ba и Fe, графит)*

Марка СМК-80 используется в составе тормозов и муфт сцепления большегрузной автотехники (например, *карьерные самосвалы грузоподъемностью свыше 70 т*).

Самыми же распространенными являются марки МК-5 и МК-263 на латунно-бронзовой основе, предназначенные для эксплуатации в условиях тяжелых и средних нагрузок при температуре поверхности трения не свыше 550–650°C. Из материалов данных марок производят широчайший ассортимент дисков сцепления и тормозных колодок, которыми комплектуют *автотракторную технику и спецтехнику строительного и дорожно-строительного назначения.*

#### **6.4. Пористые фильтрующие элементы**

Для изготовления фильтрующих элементов обычно применяют ткани, войлок, керамику, фарфор, а также сетчатые фильтры из различных материалов. Их недостатками являются низкая коррозионная стойкость, недостаточная механическая прочность, низкая термостойкость и жаропрочность. В большинстве случаев они не допускают высоких перепадов давлений, с трудом поддаются регенерации.

Высокопористые порошковые металлические материалы (степень пористости 45–55%), благодаря жёсткому пространственному

каркасу имеют более высокую прочность, выдерживают резкие колебания температур, легко обрабатываются, свариваются и паяются, обеспечивают необходимую коррозионную стойкость, жаростойкость, теплопроводность. Вследствие высокой пористости такие материалы имеют хорошую проницаемость для жидкостей и газов при достаточно тонкой фильтрации (до 30 мкм), легко регенерируются (при этом почти полностью восстанавливают свои первоначальные свойства), не засоряют фильтрующиеся жидкости или газы материалами фильтра.

*Технология изготовления* металлических пористых элементов зависит от их формы и размеров. Фильтры небольших размеров изготавливают спеканием свободно засыпанного порошка. Для более крупных фильтров применяют холодное прессование и последующее спекание. Для получения тонких пористых лент применяют прокатку.

Спекаемые фильтрующие элементы получают из металлопорошков однородной дисперсности и требуемого химического состава. Спеченные пористые фильтры чаще всего изготавливают из сферических порошков, так как такие изделия характеризуются большой степенью проницаемости, а также их можно регулировать и восстанавливать.

Для изготовления пористых проницаемых элементов применяют порошки различных металлов и сплавов: углеродистых и коррозионностойких сталей различных марок, сплавов никеля с хромом и молибденом, сплавов меди, титана, алюминия, вольфрама, молибдена и др. В технике наибольшее распространение получили фильтры из коррозионностойкой стали, бронзы, сплавов никеля и титана.

Их изготавливают методом формовки (формопрессование с различными усилиями или свободная засыпка в формы) с последующим спеканием бронзового, никелевого, титанового, вольфрамового, молибденового порошка, а также порошков нержавеющей сталей и тугоплавких композиций. Рабочий температурный диапазон составляет от  $-270$  до  $+1000^{\circ}\text{C}$ . Методами порошковой металлургии в числе прочих изготавливают фильтрующие элементы, степень пористости которых, а значит и очищающую способность, можно изменять и даже регулировать в зависимости от конкретных задач (рис. 6.6).

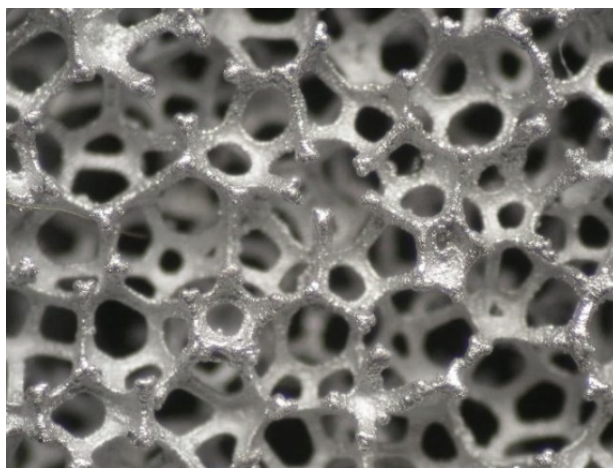
По форме фильтрующие элементы из спеченных порошковых материалов представляют собой диски, пластинки, цилиндры, втулки, конусы и фасонные изделия более сложной конфигурации (рис. 6.7).

Применение порошковых материалов позволяет увеличить срок службы насосов, двигателей и других агрегатов, работающих на очищенных жидкостях. С их помощью повышается эффективность хими-



ческих процессов и улучшается качество вакуумной продукции, создаются возможности для получения материалов с новыми свойствами.

Пористые фильтры применяются для механической очистки топлива в двигателях самолетов, автомобилей, тракторов и т.д., различных жидкостей и газов от частиц посторонних включений. Они составляют значительную долю продукции, выпускаемой из пористых порошковых материалов.



*Рис. 6.6. Структура пористого фильтра под микроскопом*



*Рис. 6.7. Пористые порошковые фильтрующие элементы*

Порошковые фильтры имеют целый ряд преимуществ перед непорошковыми аналогами, среди которых основными являются:

- несложное изготовление;
- повышенная прочность;
- лучшие очищающие свойства;
- высокие значения жаростойкости, теплопроводности, сопротивления абразивному износу;
- равномерное распределение фильтрации по всей площади фильтрующего элемента.

Определяющими критериями качества пористых фильтроматериалов являются:

- характер пористости;
- степень проницаемости;
- тонкость очистки;
- грязеемкость;
- капиллярность.

Технология производства спеченных пористых фильтров в каждом случае является избирательной. В зависимости от особенностей условий фильтрации учитывают необходимые значения тонкости очистки, степени проницаемости, пропускной способности, прочности и размерных параметров.

### ***Контрольные вопросы***

1. Как получают порошковые материалы?
2. Что такое порошок, гранула, пудра?
3. Какие операции включает в себя технологический процесс изготовления изделий из порошковых материалов?
4. Какую дополнительную обработку проводят для изделий, изготовленных из порошков?
5. Почему подшипники, изготовленные из порошков, могут длительное время работать без добавления смазочного материала?
6. Какие порошковые материалы используют для изготовления тормозов?
7. В чем особенность фильтров, изготовленных из порошков?
8. Что такое карбидосталь?