

Лабораторная работа

СТРУКТУРА, СВОЙСТВА И НАЗНАЧЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ СТАЛЕЙ

1 Цель работы

Ознакомиться с технологией изготовления порошковых материалов на основе железа, маркировкой, структурой, свойствами и областью их применения.

2 Основные сведения

Порошковая металлургия - это область техники, охватывающая совокупность методов изготовления металлических порошков и металлоподобных соединений, полуфабрикатов и изделий из них или их смесей с неметаллическими порошками без расплавления основного компонента.

Быстрое развитие порошковой металлургии создало предпосылки для разработки широкого класса сплавов, которые используются как заменители традиционных литых и кованных сталей и сплавов, так и в качестве материалов со свойствами, которые не могут быть получены при использовании других технологических процессов.

Преимущества порошковой металлургии по сравнению с другими методами изготовления деталей машин и приборов состоят в следующем:

- получение изделий, которые невозможно изготовить никакими другими методами (фильтры, пористые подшипники, контакты из псевдосплавов на основе тугоплавких металлов и др.);

- большая экономия металлов, так как можно использовать для получения порошков отходы (например, стружку, окалину) и получать изделия без дальнейшей механической обработки (втулки, шестерни, кулачки и др.), что приводит к значительному снижению себестоимости материалов и готовой продукции.

Наряду с преимуществами порошковая металлургия имеет ряд недостатков: дорогостоящая оснастка (экономически выгодна лишь при серийном и крупносерийном производстве), относительная нестабильность свойств, трудности изготовления крупногабаритных и сложных по форме изделий.

Основными технологическими операциями изготовления порошковых изделий являются:

- а) приготовление порошковой шихты заданного химического и гранулометрического составов;

- б) формование (прессование) заготовок;

- в) спекание спрессованных заготовок с целью придания им необходимой прочности и физико-механических свойств;

- г) дополнительная обработка в зависимости от назначения изделий и предъявляемых к ним требований (механическая, термическая и др.).

Порошки металлов и неметаллов являются основными исходными материалами для изготовления порошковых изделий. Промышленностью выпускаются следующие металлические порошки: железный, медный, никелевый, хромовый, кобальтовый, вольфрамовый, молибденовый, титановый и другие. Существуют различные методы получения металлических порошков: механическим размельчением (размолом), распылением металлов, восстановлением окалины или чистых оксидов, карбонильный, электролизный и другие. В зависимости от химической природы металла и способа получения частицы порошка могут иметь различную форму: сферическую, каплеобразную, губчатую, тарельчатую и другие.

2.1 Прессование

Прессование (формование) металлических порошков и их смесей - операция, при которой из сыпучего порошка получают относительно прочные полуфабрикаты или заготовки, имеющие форму и размеры готовых изделий с учётом изменения размеров при спекании, а также припусков, связанных с какой-либо необходимой обработкой.

Среди методов формования порошковых полуфабрикатов и заготовок - однократное, многократное, горячее, динамическое, гидростатическое, взрывное и др. - наибольшее распространение получил метод холодного прессования в закрытых пресс-формах. Этот метод является наиболее простым и легко поддаётся автоматизации.

Он состоит в засыпке шихты в пресс-форму, прессовании, непродолжительной выдержке под давлением и выталкивании прессовки из пресс-формы. Для получения достаточно прочных заготовок при холодном прессовании применяются значительные давления, которые в зависимости от заданной пористости и свойств порошковой шихты могут колебаться от 600 МПа до 1000 МПа.

Заготовки, полученные после прессования, как правило, имеют пористость от 15 до 25 %, обладают низкими механическими свойствами. Высота прессовки обычно бывает в три-пять раз меньше по сравнению с высотой засыпанного в матрицу порошка, что приводит к деформационной анизотропии свойств прессовки (механических, формы и размера пор, проницаемости).

Прессование в закрытых пресс-формах может быть односторонним и двухсторонним. Одностороннее применяется при изготовлении изделий простой формы, у которых отношение длины или высоты к диаметру или толщине не превышает трёх.

2.2 Спекание

Холодное прессование не обеспечивает механической прочности прессовок. Для повышения механических свойств и придания порошковым заготовкам необходимых физико-механических свойств заготовки подвергают спеканию. Спекание производят при температуре 0,7-0,9 от термодинамической температуры плавления металла основного компонента в многокомпонентной порошковой смеси. Спекание любой системы состоит из нагрева изделий до заданной температуры, изотермической выдержки при этой температуре и охлаждении до комнатной температуры. Одним из характерных проявлений процесса спекания является уменьшение размеров - «усадка» изделия.

Спекание порошковых заготовок производится в восстановительных или нейтральных атмосферах (вакууме, водороде, конвертированном газе и др.). Длительность выдержки при температуре спекания в зависимости от состава шихты может быть до нескольких часов (таблица 12.1).

Таблица 12.1 - Режимы изготовления конструкционных порошковых материалов

| Порошковый материал | Давление прессования, МПа | Режим спекания | | |
|--|---------------------------|-----------------|----------------------------------|--|
| | | температура, °С | продолжительность выдержки, мин. | защитная среда при спекании |
| Железо графит, 0,5-2 % С | 600-800 | 1050-1150 | 60-180 | Конвертированный газ, эндогаз и др. |
| Железо графит, легированный медью, никелем, хромом, 0,5-1,5% С | 700-900 | 1150-1200 | 60-180 | Конвертированный газ, водород, диссоциированный аммиак |

При спекании порошковых материалов происходит удаление газов и адсорбированных на поверхности частиц, возгонка различных примесей, снятие остаточных напряжений на контактных участках между частицами и в самих частицах, восстановление оксидных плёнок, растворение или коагуляция, перестройка поверхностного слоя в результате диффузии и переноса металла в виде пара с одних мест в другие, рекристаллизация и др.

В процессе спекания вследствие качественного и количественного изменения контактов, связанных с большой подвижностью атомов при повышенных температурах, увеличивается поверхность сцепления частиц, повышается плотность и прочность изделий, достигаются необходимые физико-химические

свойства. В результате спекания предел прочности при растяжении железобетона увеличивается от 100 МПа до 300 МПа (в зависимости от материала, режимов, пористости), твёрдость увеличивается от 60 НВ до 100 НВ (таблица 12.2).

Таблица 12.2 - Физико-механические свойства порошковых конструкционных материалов общего назначения без термической обработки

| Марка материала | Предел прочности при растяжении ств, МПа, не менее | Относительное удлинение после разрыва 8, %, не менее | Ударная вязкость КСV, кДж/м ² , не менее | Твёрдость НВ |
|-----------------|--|--|---|--------------|
| СП10-1 | 100 | 6 | 200 | 50-70 |
| СП 10-2 | 120 | 8 | 350 | 70-80 |
| СП 10-3 | 150 | 12 | 500 | 80-90 |
| СП 10-4 | 250 | 18 | 700 | 90-130 |
| СПЗ0-1 | 120 | 6 | 200 | 50-70 |
| СПЗ0-2 | 160 | 8 | 350 | 70-80 |
| СПЗ0-3 | 200 | 12 | 500 | 80-90 |
| СПЗ0-4 | 250 | 18 | 700 | 90-130 |
| СП70-1 | 120 | 5 | 150 | 50-70 |
| СП 70-2 | 200 | 8 | 300 | 70-90 |
| СП70-3 | 280 | 10 | 400 | 90-110 |
| СП70-4 | 350 | 15 | 600 | 110-150 |
| СПЗ0ДЗ-2 | 220 | 4 | 300 | 70-90 |
| спзодз-3 | 280 | 6 | 400 | 90-100 |
| СПЗ0ДЗ-4 | 360 | 10 | 600 | 100-140 |
| СП70ДЗ-2 | 260 | 3 | 200 | 80-100 |
| СП70ДЗ-3 | 360 | 5 | 300 | 100-120 |
| СП70ДЗ-4 | 450 | 8 | 450 | 120-160 |
| СПЗ0ДЗП-2 | 300 | 3 | 200 | 90-110 |
| СПЗ0ДЗП-3 | 360 | 4 | 300 | 110-130 |
| СПЗ0ДЗП-4 | 450 | 6 | 400 | 130-180 |

2.3 Маркировка порошковых сталей

В маркировке порошковых сталей две буквы «СП» указывают, что сталь получена методом порошковой металлургии. Число после букв «СП» показывает среднее содержание углерода в сотых долях процента (содержание свободного углерода при этом не превышает 0,2 %). Следующие за этим числом буквы (как и в легированных

сталих) обозначают легирующие элементы: Д - медь, Н - никель, С - кремний, Х - хром и т. д.

Цифра после дефиса указывает подгруппу плотности материала:

- 1 - пористость 26-16 %, плотность $\rho = 6,0-6,6 \text{ г/см}^3$;
- 2 - пористость 15-10 %, плотность $\rho = 6,7-7,1 \text{ г/см}^3$;
- 3 - пористость 9-12 %, плотность $\rho = 7,2-7,7 \text{ г/см}^3$;
- 4 - пористость не более 2 %, плотность $\rho > 7,7 \text{ г/см}^3$.

2.4 Микроструктура порошковых сталей

Свойства порошковых сталей зависят от их макро- и микроструктуры. Структурными составляющими порошковых материалов являются металлические фазы, образующие основу материала и неметаллические включения (например, графит, оксиды, карбиды, нитриды и др.). Металлическая основа порошковых сталей, как и литых сталей - ферритная, феррито-перлитная или перлитно-цементитная, согласно диаграмме Fe - Fe₃C.

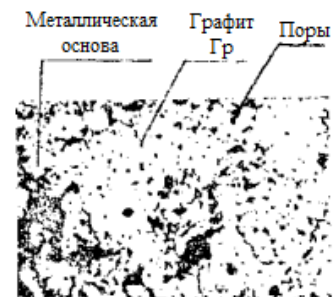
Пористость может рассматриваться как совокупность сообщающихся протяжённых пор - каналов, которые могут быть тупиковыми, изолированными или выходить на поверхность и сообщаться между собой. Для определения формы пор и их распределения готовят шлифы по различным направлениям по отношению направления прессования и изучают пористость на не протравленных или слегка протравленных шлифах.

При травлении железографитовых сплавов 4 %-ным раствором азотной кислоты в спирте выявляются цементитные и ферритные составляющие. Перлит окрашивается в коричневый цвет, феррит остаётся светлым. Для выявления цементита проводят травление пикратом натрия. При травлении образец часто просто погружают в травитель, однако, если материал пористый, травитель проникает в поры и трудно из них вымывается, что приводит к коррозии шлифа. Для материалов с более 20 % пор целесообразно применять метод втирания. Распределение пористости и включений рекомендуется исследовать при 150-200-кратном увеличении. При исследовании пористых материалов на микрошлифах трудно отличить поры от включений графита. В этом случае следует обращать внимание на разницу очертания границ. Границы пор очерчены более чётко, в то время как включения фафита не имеют резких очертаний. Поры легко отличить от включений графита при изменении фокусировки микроскопа, так как при приближении к окуляру выявляется дно поры.

Из анализа микроструктур (рисунки 12.1, 12.2) следует, что если до спекания образец представляет собой конгломерат поверхностно-деформированных частиц, разделённых между собой межчастичными границами и порами различной формы (см. рисунок 12.1), то после спекания частицы приобретают более равновесную форму, межчастичные границы утончаются, а их сплошность нарушается, что приводит к возникновению качественно новых контактных участков с характерными металлическими свойствами (см. рисунок 12.2).

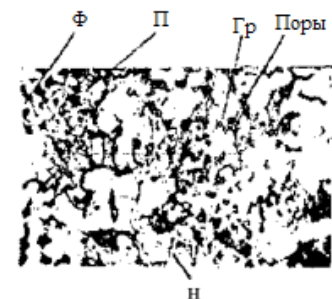
Порошковые стали характеризуются значительной химической и структурной неоднородностью. Это определяется тем, что спекание выполняется при температурах ниже температуры плавления; скорости диффузии элементов, входящих в состав сплава, не обеспечивают полного растворения (рисунок 12.3).

На не травленных шлифах хорошо различимы некоторые металлические включения, например, меди (рисунок 12.4). Залегания видны в виде розово-жёлтых включений, расположенных на стыках частиц, прилегающих к порам. После травления крупные включения фафита хорошо заметны.



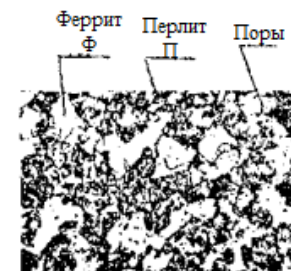
x340

Рисунок 12.1 - Микроструктура спрессованного образца из шихты СП50



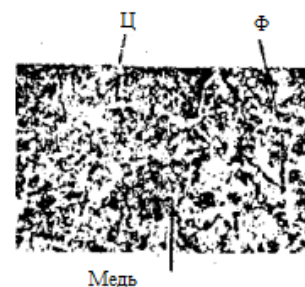
Феррит, перлит, цементит, графит, поры x340

Рисунок 12.3 - Микроструктура спеченной стали СП 100-2



Феррит, перлит, свободный графит, поры x340

Рисунок 12.2 - Микроструктура спеченной стали CI 150-1



Феррит, перлит, цементит, выделения меди, поры x450

Рисунок 12.4 - Микроструктура спеченной стали СП 150D2-1

2.5 Термическим обработка порошковых сталей

Для порошковых сталей применяют различные виды термической обработки. Наличие пористости в изделиях вызывает необходимость ряда условий: нагрев под закалку необходимо вести в защитных средах или вакууме, время нагрева и время выдержки должно быть на 20-30 % больше, чем для литых сталей аналогичного состава, вследствие пониженной теплопроводности необходимы повышенные скорости охлаждения.

Принципиальное отличие закалённых порошковых сталей от беспористых состоит в том, что если твердость у порошковых сталей после закалки повышается (как в беспористых сталях соответствующего химического состава), то прочность либо повышается несущественно по отношению к спечённому состоянию, либо даже несколько понижается. В порошковых сталях при закалке на величину и распределение закалочных напряжений будут оказывать влияние поры, межчастичные границы, химическая неоднородность. Это влияние проявляется в крайне неравномерном распределении в изделиях внутренних напряжений, появлении их пиков в устьях пор и других дефектах структуры, что снижает вязкость и способствует хрупкому разрушению.

Повышение прочности в закалённых сталях происходит только после отпуска с температур, обеспечивающих снятие закалочных напряжений. Установлено, что максимальная прочность закаленных порошковых сталей достигается после проведения отпуска в интервале температур от 200 до 450 °С.

Скорость охлаждения при термической обработке оказывает решающее влияние на структуру и свойства изделий, поэтому она строго устанавливается в зависимости от назначения обработки и требований, предъявляемых к термически обрабатываемым изделиям. При закалке в масле твердость ниже, чем при закалке в воде, но наблюдается повышение прочности. Объясняется это тем, что более «мягкая» закалка в масле снижает величину и неоднородность внутренних напряжений и обеспечивает более устойчивое состояние структуры по сравнению с закалкой в воде. Охлаждение в масле при закалке в большинстве случаев не обеспечивает получение мартенситной структуры, а соответственно высокой прочности и твердости.

Преимущество воды в качестве закалочной жидкости заключается в том, что она, обладая высокой охлаждающей способностью в интервале температур 650-550 °С, подавляет диффузионное превращение аустенита в области его минимальной устойчивости.

Это свойство воды является особенно ценным для порошковых сталей в связи с пониженной устойчивостью аустенита. Одновременно повышенная охлаждающая способность воды в области температур 300-100 °С не обеспечивает равномерного охлаждения, способствует появлению в закалённых изделиях внутренних трещин, а также трещин и «мягких» пятен на поверхности.

Температура нагрева при термической обработке оказывает большое влияние на структуру и свойства обрабатываемых порошковых сталей, поэтому

она устанавливается в зависимости от состава стали, её пористости и назначения обработки. Температура нагрева под закалку для углеродистых и низколегированных сталей выше точки A_{c3} на 60-80 °С. Оптимальная температура отпуска связана также с пористостью, с увеличением пористости сталей температура отпуска повышается.

На кафедре МТМ ОГУ проведён большой объём работ по термической и химико-термической обработке порошковых сталей с нагревом в соляных ваннах.

Порошковые стали из-за наличия пор имеют повышенную склонность к коррозии по сравнению с литыми сталями. Снижение коррозии порошковых сталей достигается проведением термической обработки по предложенной нами технологии, а также за счёт введения операций пассивации и маслопропитки после термической обработки (таблица 12.3).

Таблица 12.3 - Технология термической обработки спечённых сталей

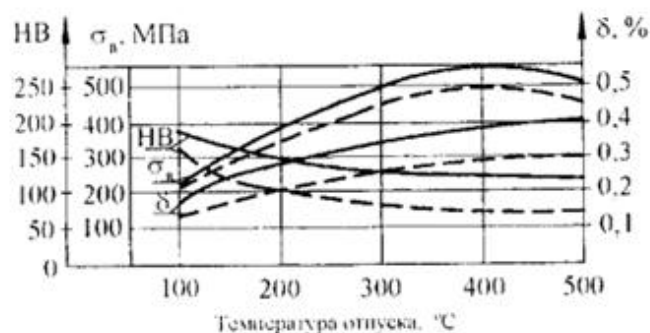
| № | Наименование операций | Среда | Температура, °С | Время, мин. |
|---|-----------------------------|---|-----------------|-----------------------------------|
| 1 | Нагрев в соляных ваннах | Соляная ванна состава 75-80 % $BaCl_2$ + 25-20 % $NaCl$ | 760-950 | В зависимости от размеров и массы |
| 2 | Ванна закалки | Вода - 0,5 % $NaCl$ или масло | | 1-2 |
| 3 | Участок сушки после закалки | Сжатый подогретый воздух | 70-100 | 3-6 |
| 4 | Ванна отпуска | 50 % KN_3 + 50 % NaN_3 | 160-500 | 9-18 |
| 5 | Первая отмывка | Вода + 1 % Na_2CO_3 | 90-100 | 3-6 |
| 6 | Вторая отмывка | Вода | 90-100 | 3-6 |
| 7 | Пассивация | Вода + 4-5 % NaN_3 + 1-1,5 % $Ma_2(Ю_3)$ | 90-100 | 3-6 |
| 8 | Сушка | | 100-120 | 3-6 |
| 9 | Ванна пропитки | Масло И-20 | 80-90 | 3-6 |

Примечание - Время 3-6 мин. в зависимости от размеров деталей

Проведённые коррозионные испытания показали, что скорость коррозии порошковых изделий различной пористости при относительной влажности воздуха 90 % практически равна скорости коррозии аналогичных порошковых материалов после спекания. Установлено, что и после длительного хранения коррозионная стойкость термообработанных в соляных расплавах порошковых материалов сравнима с коррозией аналогичных материалов после спекания.

Сравнительные исследования различных защитных сред при термической обработке порошковых сталей позволяют сделать заключение, что при нагреве порошковых сталей в соляных ваннах свойства их выше и стабильнее, чем при применении газовых защитных атмосфер (рисунок 12.5).

Кроме того, время термической обработки с использованием соляных ванн в 4-6 раз меньше и операция термической обработки легко поддается автоматизации.



Сплошные линии - термообработка в соляных ваннах, штриховые линии - термообработка в среде водорода

Рисунок 12.5 - Влияние среды нагрева и температуры отпуска на механические свойства порошковой стали СП150Д2,5

3 Порядок выполнения работы

- 3.1 Ознакомиться с образцами деталей, изготовленных методом порошковой металлургии.
- 3.2 По излому сделать выводы о равномерности спекания образца, наличии оплавления, окисления.
- 3.3 Просмотреть под микроскопом микрошлифы порошковых сталей в нетравленном и травленном видах.
- 3.4 Описать наличие пор, их форму, размеры, распределение по объёму изделия.
- 3.5 Определить и описать микроструктуру стали, металлические фазы, наличие неметаллических включений.
- 3.6 По маркировке определить химический состав порошковых сталей.
- 3.7 Определить массу и объём порошковой детали. Вычислить относительную плотность O , %, и пористость Π , %.

Относительная плотность определяется отношением плотности спечённого изделия к плотности компактного сплава:

$$O = \frac{Y_{СП}}{Y_K} \cdot 100\%$$

где $Y_{СП}$ — плотность спрессованного или спечённого изделия, г/см³;

Y_K — плотность того же изделия в беспористом состоянии (компактного сплава), г/см³.

Пористость определяют из соотношения:

$$\Pi = \left(1 - \frac{Y_{СП}}{Y_K}\right) \cdot 100\%$$

3.8 Измерить твёрдость НВ спечённых образцов порошковой стали.

4 Содержание отчета

4.1 Цель работы.

4.2 Характеристика основных процессов порошковой металлургии.

4.3 Описание микроструктуры образцов порошковой стали.

4.4 Расчёт плотности и пористости спечённого образца.

4.5 Результаты измерения твёрдости.

4.6 Выводы.

5 Контрольные вопросы

- 5.1 Что такое порошковая металлургия?
- 5.2 Преимущества и недостатки метода порошковой металлургии.
- 5.3 Технологическая схема получения изделий методом порошковой металлургии.
- 5.4 Сущность процесса формообразования.
- 5.5 Методы формования заготовок.
- 5.6 Назначение процесса спекания. При каких температурах и в каких защитных средах ведётся спекание? Каковы внешние признаки спекания?
- 5.7 Какова структура порошковых сталей?
- 5.8 Маркировка порошковых сталей,
- 5.9 Классификация и области применения порошковых материалов.