

Высокотемпературное спекания в вакууме композиционного материала на основе железа

Е.В. Соловьева, В.А. Довыденков
ФГБОУ ВПО Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрен механизм процесса инфильтрации порошковых материалов на основе железа, изготовленных путем формования и спекания композиций из порошков железа, его оксидов и терморезистивного связующего на основе резольной смолы. Исследованы особенности структуры и свойств псевдосплавов после высокотемпературного отжига в вакууме.

Ключевые слова

Композиции, порошки железа, связующее, восстановленные, инфильтрация, псевдосплав.

В производстве деталей машин находит широкое применение инфильтрация медными сплавами пористых спеченных заготовок. При этом одновременно решаются 2 задачи – получение деталей сложной формы и получение беспористых изделий с высокими физико-механическими и другими специальными свойствами [1-5]. Новые возможности открываются, если для получения заготовки использовать технологию формования и спекания композиций из порошков металлов, их оксидов и связующего [6]. В качестве исходных материалов для получения заготовок использовались: порошок железа марки А100S; изготовитель «Höganäs», Швеция; порошок оксида железа (II, III) окись ElectrOxide 20 (Fe_3O_4), изготовитель «Höganäs», Швеция; смола фенолформальдегидная жидкая, марка СФЖ-301Б. Композиции формовались прямым компрессионным прессованием в бруски размерами 10x10x55 мм. Полученные бруски подвергались термической обработке в три стадии: на I-й стадии образцы нагревались без доступа воздуха; на II-й стадии в вакууме; на III-й стадии спекались в среде эндогаза. [6]

Инфильтрация полученных, пористых заготовок проводилась латунью Л63, путем наложения. При составлении композиций и их спекании образуются межзеренные границы и фазовые границы, которые могут быть различно ориентированы и иметь разную структуру. Это обусловлено различиями между параметрами решеток Fe-Cu. Если разориентация отсутствует, то образуется граница когерентного срастания, где все кристаллографические плоскости продолжают через фазовую границу. На самом деле на наш взгляд не все кристаллографические плоскости проникают через границу, и образуется частично когерентное срастание.

Реальные межфазные поверхности, особенно в композиционных материалах, как правило, находятся в неравновесном состоянии и образуют очень сложные поверхностные структуры.

Анализируя полученные экспериментальные данные образцов, изготовленных по вышеописанной технологии, можно предположить, что сам процесс инфильтрации завершается уже за 15 секунд выдержки при температуре, при последующей выдержке при данной температуре происходит увеличение областей, заполненных медным сплавом вследствие растворения высокодисперсного железа. Характер процесса инфильтрации заключается в заполнении сначала больших пор, с последующим заполнением областей на основе восстановленного оксида содержащих малые поры.

Изложенное выше подтверждается результатами эксперимента по инфильтрации губчатого железа, прошедшее высокотемпературное спекание. Образец подвергался высокотемпературному спеканию в вакууме при давлении 10^{-3} мм рт.ст.

Режим спекания представлен на рис. 1.

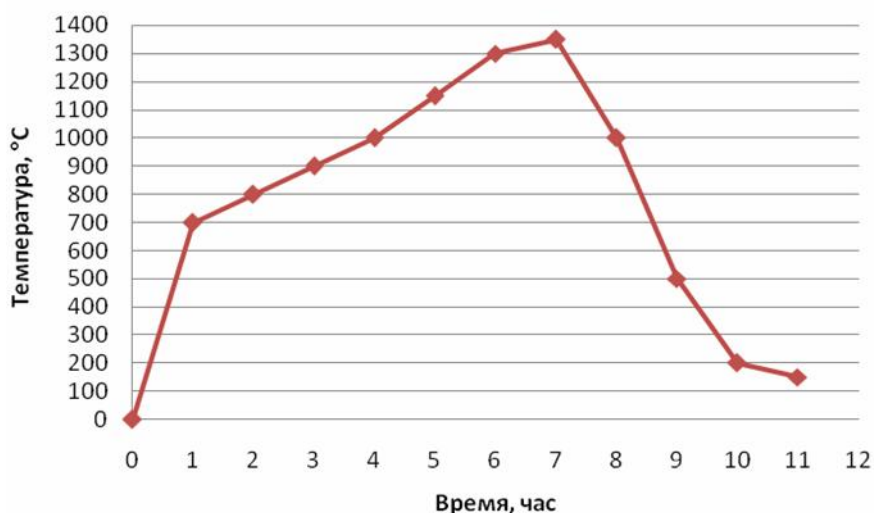


Рисунок. 1. Режим высокотемпературного спекания в вакууме

Структура образца после данной термической обработки (рис. 2) представляет плотно упакованный каркас из частиц железа А100S и высокодисперсного губчатого железа — продукта восстановления оксида. Между частицами располагаются усадочные поры. Размер частиц 50-150 мкм, размер частиц губчатого железа 3-5 мкм, размер усадочных пор 5-10 мкм, размер пор губчатого железа около 1 мкм. Из сказанного следует, что высокотемпературное спекание приводит к огрублению структуры по сравнению с образцами, изготовленными по описанной выше технологии [6, 9]. Огрубление структуры приводит к уменьшению поверхностной энергии, являющейся движущей силой процесса инфильтрации. [7,8]

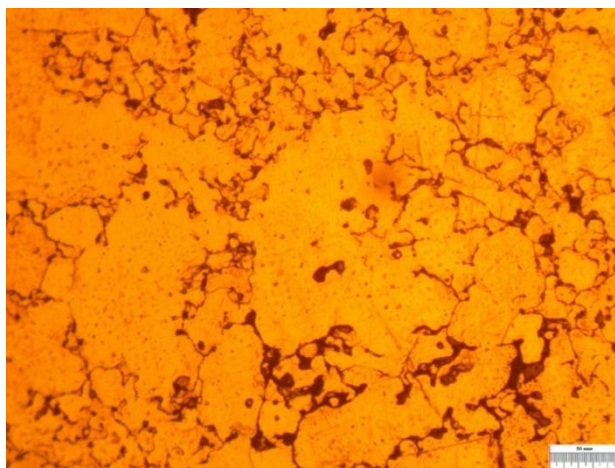


Рисунок. 2. Структура композиции после высокотемпературного спекания до инфильтрации. x200

Процесс инфильтрации образцов, не подвергнутых высокотемпературному спеканию в вакууме, начинается при температуре 834°C . Для образца после отжига в вакууме по режиму, представленному на рисунке 1, эта температура является недостаточной для начала процесса инфильтрации. При повышении температуры до 850°C , нами было зафиксировано начало процесса заполнения пор инфильтратом. Процесс инфильтрации при данной температуре только начинается, об этом свидетельствует материал инфильтрата, оставшийся на поверхности не проникнутым в образец, также при исследовании структуры псевдосплава видна четкая граница проникновения медной фазы (рис. 3).

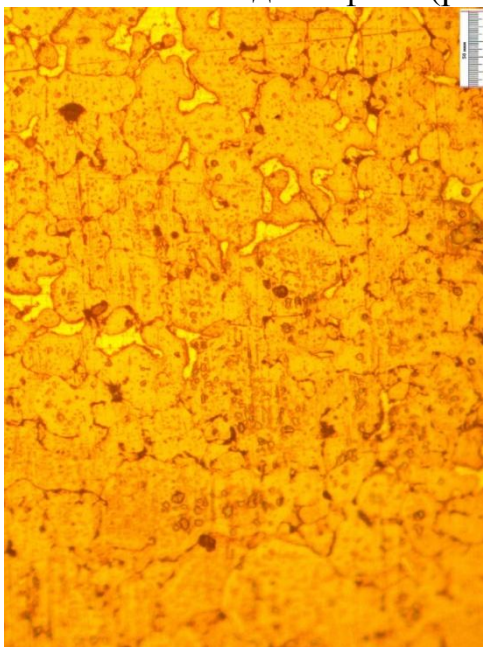


Рисунок. 3. Граница проникновения инфильтрата в образец после высокотемпературного отжига при инфильтрации при 850°C , время выдержки 10 секунд. x200.

Повышение температуры начала процесса инфильтрации образца, после высокотемпературного спекания в вакууме, можно объяснить тем, что

структура образца более крупная, с меньшей удельной поверхностью пор, чем у композиции, не подвергнутой высокотемпературному спеканию в вакууме, при инфильтрации уменьшается количество поверхностной энергии высокодисперсного губчатого железа, эффект локального повышения температуры сохраняется, но в гораздо меньшей степени.

Далее проводилась инфильтрация при температуре 950°C, для получения полностью сформировавшейся структуры образца (рис. 4).

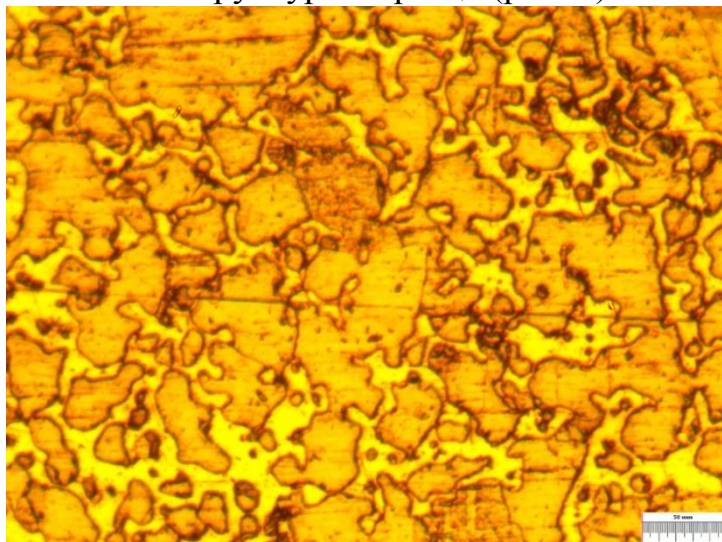


Рисунок. 4. Структура образца после высокотемпературного спекания в вакууме после инфильтрации при 950°C, время выдержки 10 секунд. x200.

Структура представляет каркас из частиц железа размером 30-100 мкм, окруженные материалом инфильтрата, где наблюдаются выделения сферических частиц на основе железа, диаметром от 1÷3 мкм.

У образцов до и после процесса инфильтрации определялись основные физико-механические характеристики: плотность, твердость и испытания на растяжение (табл. 1).

Таблица 1

Результаты физико-механических испытаний образцов после высокотемпературного отжига в вакууме

	До инфильтрации	После инфильтрации
Плотность, г/см ³	5,36	7,68
Твердость, МПа	110	134,9
Максимальная сила нагрузки F _m , кг/с	101,6	413,5
Временное сопротивление σ _B , кгс/мм ²	5,2	21,3
Относительное удлинение δ, %	5,2	7,1

На рис. 5 представлены диаграммы растяжения образцов до и после инфильтрации, отображающие зависимость между нагрузкой и деформацией при статическом растяжении образца до его разрыва.

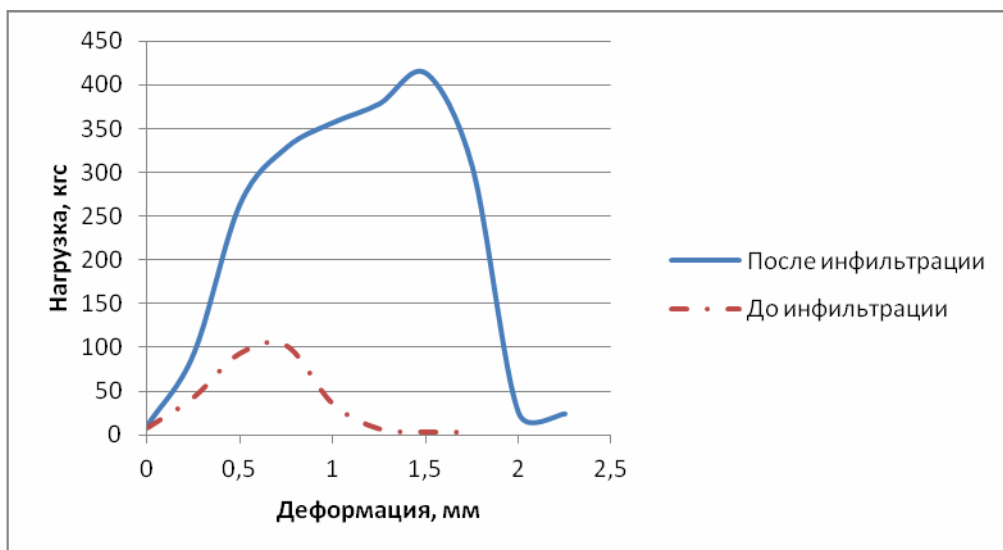


Рисунок. 5. Диаграмма растяжения образцов после высокотемпературного отжига

Как и следовало ожидать после инфильтрации прочность и твердость образцов существенно повышается, что связано с формированием монолитной беспористой структуры.

Заключение

Анализ влияния высокотемпературного отжига в вакууме на процесс, скорость инфильтрации и структуру псевдосплава показал, что в этом случае происходит укрупнение структуры и уменьшение поверхностной энергии, которая является основной движущей силой процесса. Для завершения процесса инфильтрации требуется повышение температуры или времени выдержки. В связи с этим высокотемпературное спекание материалов, подвергаемых инфильтрации, не рекомендуется.

Литература

1. Дьячкова Л.Н., Витязь П.А., Воронежская Л.Я. Псевдосплавы сталь-медный сплав антифрикционного назначения // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка. Материалы докладов 10-й международной науч.-техн. конф. Минск, 12-14 сентября 2012 г., Минск, 2012 – с.52-54.
2. Звонарев Е.В. Инфильтрованные материалы и их применение / Е.В. Звонарев, Л.Н. Дьячкова, В.М. Шенхина, Г.А. Миронович // Порошковая металлургия. Минск, 2004, № 27, с. 95-99.
3. L.N. Dyachkova. Effect of Steel Skeleton composition on the triboengineering properties of steel copper pseudo alloys produced by infiltration / L.N. Dyachkova, L.F. Kerzentseva, P.A. Vityaz //Jornal of Friction and wear. 2010, Vol 31, №4, - p. 270-275.
4. Головин С.А., Зуев В.С. Проблемы прочности, 1976, №1, с. 23-26.
5. Спеченные материалы для электротехники и электроники: Справочник под ред. Гнесина Г.Г. / М. Металлургия, 1981, с. 344.

6. В.А. Довыденков, Е.В. Соловьева. Пропитка латунью заготовок на основе губчатого железа. М 341 Материалы I-ой Международной научно-практической конференции «Современные технологии в машиностроении и литейном производстве» (Чебоксары 22-24 октября 2015 г.): под ред. д.т.н., проф. И. Е. Илларионова. – Чебоксары: Чуваш. гос. ун-та, 2015. -416 с., с. 326-331.

7. Тучинский Л.И. Композиционные материалы, получаемые методом пропитки.– М.: Металлургия, 1986, 208 с.

8. Францевич И.Н., Бойко Е.Б. Порошковая металлургия, 1964, № 1, с. 44-45.

9. Довыденков В.А., Зверева О.С. Технология изготовления деталей сложной формы путем формования и спекания композиций из порошков железа, его оксидов и связующего / В.А. Довыденков, О.С. Зверева // Порошковая металлургия, 2013, № 9/10 с. 137-143.