



ВСЕ МАТЕРИАЛЫ

ЭНЦИКЛОПЕДИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

С 2011 г. журнал «Все материалы. Энциклопедический справочник» переводится на английский язык и выпускается издательством "Pleiades Publishing, Ltd" как приложение к журналу "Polymer Science, Series D", распространение которого осуществляет издательство "Springer".

Переводная версия журнала входит в международные реферативные базы данных систем цитирования (индексирования): Academic OneFile, Chemical Abstracts Service (CAS), EI-Compendex, Expanded Academic, Google Scholar, INSPEC, OCLC, PASCAL, SCImago, SCOPUS, Summon by Serial Solutions.

СОДЕРЖАНИЕ

Материалы специального назначения

Лавров Н.А., Самойлова К.О. Прогнозирование биологической активности N-винильных соединений и полимеров на их основе 2

Ольхов А.А., Мураев А.А., Волков А.В., Ивашкевич С.Г., Ким Э.В., Поздняков М.С., Староверова О.В., Иорданский А.Л., Горшенев В.Н. Структура и свойства биорезорбируемых материалов на основе полилактида для регенеративной медицины . . . 7

Повышение качества материалов

Галиновский А.Л., Бочкарев С.В., Судник Л.В., Чжо Мьо Хтет, Плохих А.И. Наномодифицирование бетонов суспензиями, обработанными по ультразвуковой технологии 16

Нефелов И.С., Баурова Н.И. Определение стойкости соединений изделий из пластмасс, изготовленных с применением аддитивных технологий, к воздействию отрицательных температур 23

Подживотов Н.Ю. Об оптимизации подхода к обоснованию минимального объема испытаний авиационных конструкционных материалов 28

Информация

Леднев И.С., Павлова Т.Д., Кадосов А.Д. Обзор национальных стандартов по магнитопорошковому методу неразрушающего контроля и оценка их применимости для объектов авиационной техники 36

Скрябин В.А., Зверовщиков А.Е. Механизм формирования гетерогенной структуры порошковых инструментальных материалов 41

Новости литературы 45

УДК 621.923

Механизм формирования гетерогенной структуры порошковых инструментальных материалов

В.А. Скрябин, д-р техн. наук, А.Е. Зверовщиков, д-р техн. наук

Пензенский государственный университет (г. Пенза, 440026, Россия)

E-mail: vs_51@list.ru

Статья поступила в редакцию 08.05.2020

После доработки 09.07.2020

Принята к публикации 29.09.2020

Рассмотрена структура гетерогенных порошковых материалов и установлено, что их качество зависит от формы частиц твердой фазы. Наибольшие значения прочности сцепления получены при использовании округлых частиц.

Ключевые слова: структура, многокомпонентные сплавы, качественный материал, смачивание, расплав, легкоплавкая составляющая, число пор.

В России практически отсутствует промышленное производство порошков твердых сплавов с частицами, имеющими форму и размеры, необходимые для аддитивных технологий машиностроения, инструментального производства, повышения параметров качества поверхности изделий из полимерных композиционных материалов в процессе их получения. Производимые в настоящее время порошки имеют форму и фракционный состав частиц, малопригодные для получения качественных изделий.

Многие предприятия в мире используют порошковое сырье собственного производства. Остальная доля (примерно 60%) разделена между несколькими крупными производителями порошковых материалов: BASF (Германия), Ryer (США), Atmix Epson Corp. (Япония) и др. Выпускаемые порошковые материалы характеризуются дисперсностью основной фракции 0,5–10 мкм и сфероидальной формой частиц. Формируемые различными физико-химическими методами

частицы имеют гетерогенную структуру с высокой степенью неоднородности.

Исследования, представленные в работах [1–4], показывают определяющее влияние структуры на технологические свойства порошковых материалов (коэффициент внутреннего трения, степень активации поверхности, агломерационные свойства и т.п.) и эксплуатационные свойства конечных изделий (усталостную прочность, стойкость к различным видам износа и коррозии).

Целью исследований является попытка разработки физико-химических моделей и проведение экспериментальных исследований процессов формирования правильно ограниченных или сфероидальных частиц режущих пластин из металлических и порошковых твердых сплавов, предназначенных для качественного изготовления изделий из труднообрабатываемых полимерных композитных материалов.

Получаемые в промышленности в настоящее время порошки для создания различных

сплавов методом порошковой металлургии и покрытий в преобладающем большинстве своем состоят из смеси различных порошковых компонентов, образуя так называемые многокомпонентные (комбинированные) структуры. Формирование структуры вышеуказанных материалов зависит от трансформации (изменения) пористости и образования твердой составляющей.

Получение многокомпонентных металлических и твердосплавных материалов является гораздо более трудоемкой задачей по сравнению с формированием однокомпонентных структур и имеет свои отличия [1—4]:

- понижение свободной энергии при спекании;

- снижение усадки в результате уплотнения спекаемых компонентов изделий, гетеродиффузии в многокомпонентных системах;

- структурообразование в этих системах при спекании приводит к уплотнению спекаемых материалов и изменению физико-механических свойств;

- спекание многокомпонентных систем может проходить без образования жидкой фазы либо с образованием жидкой фазы, когда легкоплавкие компоненты шихты расплавляются, а тугоплавкие остаются в твердом состоянии. В первом случае спекание называется твердофазным, а во втором — жидкофазным.

Материалы легированных порошков состоят из однородной структуры и имеют более высокие физико-механические параметры по сравнению со сталями из разнородных порошков [2].

Полученные из смеси порошков материалы отличаются неравновесным состоянием на различных точках участков за счет неоднородности химического состава. В вышеуказанных материалах происходит само- и гетеродиффузия (взаимодиффузия разнородных атомов), формирующая межфазные поверхности [2]. В структуру материалов, полученных из порошковой смеси, входят чистые металлы, твердые растворы переменной концентрации, химические соединения [2, 4].

При спекании комбинированных структур возникает диффузионная пористость, которая появляется из-за большого числа дефектов (вакансий) в компоненте структуры. В этом случае диффузионные поры могут возникать как со стороны частиц легирующей добавки, так и со стороны материала основы.

При спекании многокомпонентных (комбинированных) структур образуется жидкая фаза, являющаяся следствием плавления легкоплавкого компонента или структурной составляющей (например, эвтектики в сталях (перлит)). Это — мелкокристаллические смеси (многофазные структуры) компонентов с самой низкой температурой кристаллизации в данных условиях и интервале составов спекаемого материала.

При жидкофазном спекании на структурообразование в процессе существенно влияют: состояние соответствующей системы компонентов, начальная пористость, температура и длительность изотермической выдержки, скорость нагрева, количество жидкой фазы, размеры частиц порошка, а также степень смачивания твердой фазы жидкостью и взаимная растворимость фаз.

Жидкая фаза структуры материала повышает скорость само- и гетеродиффузии атомов, что влияет на ускорение структурообразования, существенно облегчает перемещение твердых частиц относительно друг друга.

Текущее определяется скоростью деформации тела под воздействием давления пуансона на смесь частиц и температуры нагрева.

Типичным примером спекания с образованием жидкой фазы, исчезающей в процессе нагрева, может служить производство напаянных и механически закрепляемых пластинок из твердого мелкозернистого сплава марки ВК6М (M05 по стандарту ISO) на режущем инструменте или покрытие металлической поверхности твердым сплавом.

Исследованиями [2, 4] установлено, что при температуре плавления эвтектики в твердом кобальте растворяется до 8% карбида

вольфрама. В процессе спекания происходит диффузия WC в Co через контактные поверхности, после чего образуется жидкая фаза, содержащая около 20% WC и не более 80% Co.

При перекристаллизации зерна карбида вольфрама непрерывно изменяют свою форму и размеры, приобретая, в некоторой степени, подвижность относительно друг друга. При охлаждении сплава после завершения усадки происходит выкристаллизовывание карбида из кобальтового расплава, так как растворимость WC в кобальте с понижением температуры уменьшается. Растворимость WC в твердом кобальте при комнатной температуре меньше 1%.

Однако при быстром охлаждении сплава концентрация WC в цементирующих прослойках после остывания сплава может оказаться и несколько более высокой. Это объясняется тем, что затвердевание эвтектики происходит в узких каналах и зазорах между близко соприкасающимися избыточными зернами WC, служащими центрами кристаллизации для карбида вольфрама, выделяющегося из расплава. Поэтому после охлаждения сплава между зернами WC затвердевает однородный твердый раствор кобальта с небольшой концентрацией растворенного карбида вольфрама.

Для оценки количества свободной (поверхностной) энергии сил межатомного вза-

имодействия твердых составляющих сплавов можно рассмотреть молекулу, которая состоит из двух атомов (1 и 2) с радиусами R_1 и R_2 . В процессе кристаллизации сплава расстояние между вышеуказанными атомами уменьшается, что приводит к возникновению силы притяжения и снижению до минимальной величины энергии сил взаимодействия между атомами, которую в первом приближении можно принять за нуль [4, 5]. При расстоянии между атомами $R = R_0$ поверхностная энергия снижается до величины, соответствующей силе притяжения, определяемой как:

$$F = -\left(\frac{dE}{dR}\right)_{R=R_0} = 0, \text{ Н.}$$

Этот минимум должен быть обязательно, так как в противном случае атомы не смогли бы трансформироваться в молекулу. Это объясняется тем, что полная потенциальная энергия состоит из суммы энергии сил притяжения $E_{\text{пр}}(R)$ и энергии сил отталкивания $E_{\text{от}}(R)$. На рис. 1 условно показаны графические зависимости энергий сил притяжения и отталкивания и результирующая кривая, обозначающая полную потенциальную энергию межатомных сил.

Исследованиями [2, 4] установлено, что у твердого мелкозернистого сплава марки ВК6М в результате рекристаллизации форма растущих частиц (рис. 2) становится более правильной (ограниченной, округлой) с размерами частиц (зерен) WC 0,5–1,5 мкм.

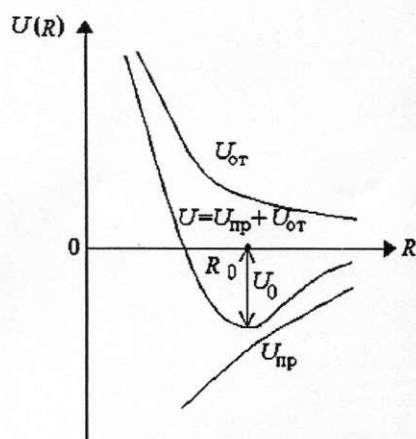


Рис. 1. Зависимость суммарной потенциальной энергии сил межатомного взаимодействия

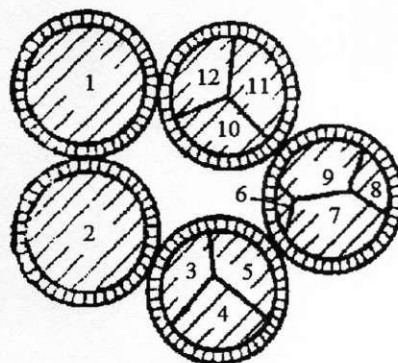


Рис. 2. Структура твердого сплава марки ВК6М в результате рекристаллизации при температуре 1473 °C (1–12 — различные зерна вольфрама)

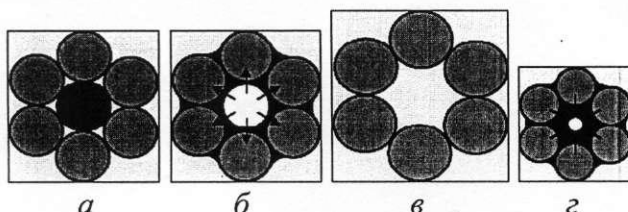


Рис. 3. Возможные изменения формы порошковых гранул при жидкофазном спекании:

а — расположение частиц по периферии; б — расплавление частицы и смачивание частиц твердой фазы элементами жидкой фазы; в — рост и перемещение частиц при диффузии атомов из расплава; г — уменьшение размеров частиц основы твердого сплава при переходе их атомов в жидкую фазу

Возможные изменения формы порошковых гранул при жидкофазном спекании приведены на рис. 3. В этом случае минимизируется свободная энергия сил межатомного взаимодействия твердых составляющих сплавов (гранул), что позволяет улучшать такие важнейшие свойства твердых сплавов, как прочность, износоустойчивость, твердость тугоплавкость, жаростойкие и жаропрочные параметры.

Работа выполнена в рамках проекта № 0748-2020-0010 «Научные принципы формирования гетерогенных структур методами физико-химического диспергирования» (государственное задание вузу в сфере научной деятельности. Заказчик Министерство науки и высшего образования РФ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Витязь П.Л. Пористые порошковые материалы и изделия из них / П.А. Витязь, В.М. Капцевич, В.К. Шелег. Минск.: Выш. шк., 2005. 160 с.
2. Скрябин В.А., Зверовщиков А.Е. Металлографический анализ образцов из порошковых материалов // Все материалы. Энциклопедический справочник. № 3. 2019. С. 33—37.
3. Савицкий А.П. Многоуровневое моделирование объемных изменений двухкомпонентных порошковых тел при спекании // Журнал технической физики. 2010. Т. 80. Вып. 3. С. 63—68.
4. Скрябин В.А. Особенности финишной обработки сложнопрофильных деталей из порошковых материалов / В.А. Скрябин, А.А. Машенцев. Труды международного симпозиума «Надежность и качество — 2003». Пенза, 2003. 545 с.
5. Либенсон Г.А. Процессы порошковой металлургии в 2-х томах. Т. 1. Производство металлических порошков. Учебник для вузов / Г.А. Либенсон, В.Ю. Лопатин, Г.В. Копарницкий. М.: МИСИС, 2001. 368 с.
6. Skryabin V.A. Treatment of Products of Polymeric Materials // Polymer Science, Series D. 2016. V. 9. N 3. P. 331—337.
7. Скрябин В.А. Механическая обработка резанием деталей из полимерных материалов // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2018. № 7. С. 40—47.
8. Обработка материалов на основе углеродного волокна. Техническое руководство. «Sandvik Coromant», 2010. 42 с.
9. Баурова Н.И., Зорин В.А., Приходько В.М. Технологическая наследственность и идентификация технологических процессов // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2015. № 2. С. 2—7.
10. Нелюб В.А. Применение полимерных композиционных материалов в судостроении для ремонта корабельных надстроек // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2013. № 5. С. 21—24.
11. Муранов А.Н., Мальшева Г.В., Нелюб В.А., Буянов И.А., Чуднов И.В., Бородулин А.С. Исследование свойств полимерных композиционных материалов на основе гетерогенной матрицы // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. № 4. С. 2—6.
12. Guido P.H. Gubbels. Diamond turning of glassy polymers. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2006. P. 221—229.