

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Д.С. Шумков

shumkov@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Представлен обзор современных методов получения деталей из порошков с заданной структурой и свойствами. Определены основные характеристики процессов и целесообразность применения методов для конкретного класса изделий

Ключевые слова

Порошковая металлургия, формование, спекание

Поступила в редакцию 20.09.2016

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016

Многочисленные исследования и практики последних десятилетий в России и за рубежом показали, что методы порошковой металлургии позволяют получать детали и части сборочных конструкций с высокой точностью линейных размеров, практически любой формы, а главное — с высоким уровнем однородности изделия по сечению. Рассмотрим традиционные и инновационные методы порошковой металлургии.

В современной порошковой металлургии применяют множество технологий формовки. Так, для прессования нанопорошков наиболее широкое распространение получила *технология одноосного прессования* и его методы: статическое (прессование в пресс-формах или штамповка), динамическое (магнитно-импульсное и взрывное) и вибрационное (ультразвуковое) прессование [1–6].

В целях получения высокоплотных изделий применяют прессование, при котором условия сжатия материала близки к всестороннему. Данная технология формовки получила название *изостатического прессования*. Выделяют несколько видов изостатического прессования: гидростатическое, газостатическое, квазигидростатическое. При изостатическом прессовании порошок помещают в эластичную или деформируемую оболочку (рис. 1) [1]. Полученные таким способом детали (изделия) отличаются однородной плотностью, хотя во внутренних объемах плотность бывает несколько меньше и отсутствует выраженная анизотропия свойств. Существенными недостатком метода являются сложность процесса, высокая стоимость и необходимость выдерживания точности размеров формовки [6].

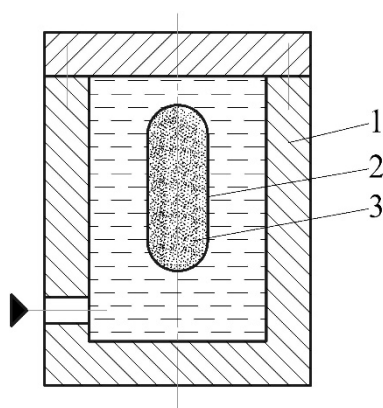


Рис. 1. Схема изостатического прессования:

1 — камера; 2 — прессовка;
3 — металлический порошок

Гидростатическое прессование осуществляют с помощью резиновых или других эластичных оболочек толщиной 0,1–2 мм. Оболочку с порошком помещают в рабочую камеру гидростата, куда нагнетают жидкость (масло, вода, глицерин и др.) под давлением от 100 до 1200 МПа (рис. 2). Данный метод прессования позволяет получать детали сложной формы, нестандартных размеров, а также изделия с большим отношением высоты к диаметру. Поскольку давление всестороннее и отсутствует трение о форму, то при одинаковом давлении получают более плотные и прочные изделия, в сравнении с обычным прессованием, а при одинаковой плотности требуется меньшее давление, чем при обычном прессовании.

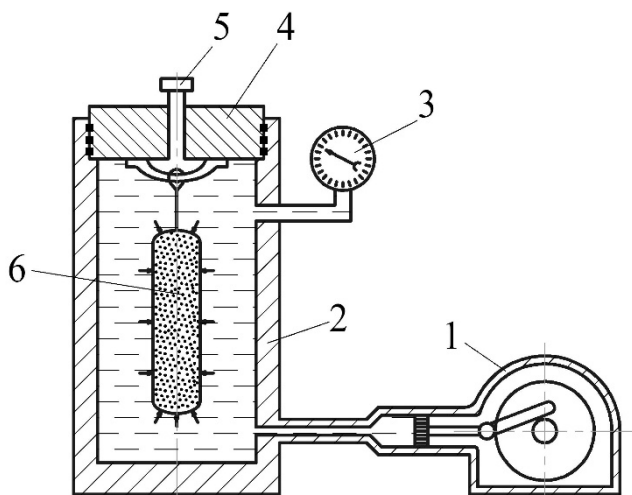


Рис. 2. Схема установки гидростатического прессования:

1 — насос высокого давления, камера прессования; 2 — камера; 3 — манометр;
4 — затвор; 5 — воздушник; 6 — прессовка

Газостатическое прессование проводят при использовании металлических оболочек (капсул) из алюминия или пластичных сталей. Форма оболочек — простая, максимально приближенная к размерам готовых изделий. Часто газостатическому прессованию подвергают заготовку, полученную ранее другими методами. Металлическую капсулу помещают в газостат, в рабочей камере которого создают давление до 300 МПа [6]. Газостатическая обработка порошковых материалов позволяет получать изделия сложной формы, сократить припуски на механическую обработку в 2–3 раза, снизить расход металла на 30–40 %. Кроме того, комбинированное воздействие на заготовку высоких всесторонних давлений и температуры позволяет эффективно устранять микро- и макродефекты, возникающие в монолитных заготовках при получении традиционными методами (литьем или обработкой давлением).

Квазигидростатическое прессование является упрощенным вариантом гидростатического прессования. Порошок помещают в эластичные оболочки, прессование которых проводят при одностороннем или двустороннем приложении

давления в обычном прессовом оборудовании. Материал оболочки (резиновая масса, эпоксидные смолы и др.) должен под давлением вести себя подобно жидкости, иметь определенную упругость и не склеиваться с порошком.

Успешно применяют в последние годы метод интенсивного пластического деформирования — *кручение под давлением*. В отдельных случаях, например для получения лент, применяют прокатку. При деформации кручением под высоким давлением образцы приобретают форму дисков. Образец помещают между бойками и сжимают под давлением в несколько ГПа, при этом нижний боек вращается, и силы поверхностного трения заставляют образец деформироваться путем сдвига. Геометрическая форма образцов такова, что основной объем материала деформируется в условиях квазигидростатического сжатия под действием приложенного давления и давления со стороны внешних слоев образца. В результате деформируемый образец, несмотря на значительную степень деформации, не разрушается.

Спекание формовок из нанопорошка ограничено невозможностью использования высоких температур. Увеличение температуры спекания приводит к уменьшению пористости, но ведет к росту зерна. Решают эту проблему с помощью методов активации, позволяющих добиться низкой пористости изделий при более низких температурах спекания [7–10]:

- высокоскоростного микроволнового нагрева (при увеличении скорости нагрева с 10 до 300 град/мин температура спекания нанопорошка TiO_2 снижается с 1050 до 975 °C) [1];
- ступенчатого контролируемого спекания;
- плазмоактивированного спекания;
- спекания в вакууме или восстановительных средах (для металлических порошков).

Наиболее простой способ достижения высоких показателей плотности — *спекание при одноосном приложении давления*. Так по данным [1] при проведении спекания нанопорошка железа под давлением прессования до 400 МПа температура спекания, при которой отсутствует пористость, снижается с 700 до 350 °C, а размер зерна изделий уменьшается с 1,2 мкм до 80 нм. Для активации металлических нанопорошков процесс проводят в вакууме или восстановительной атмосфере. На рис. 3 представлена схема установки для спекания нанопорошков под давлением, разработанная учеными Института металлургии и материаловедения имени А.А. Байкова РАН.

Более прогрессивным методом совмещения процессов формовки и спекания является *горячее изостатическое прессование (ГИП) с использованием газостатов*, являющееся универсальным и широко применяемым в практике порошковой металлургии [4, 6]. В современных установках значение давления может достигать 300 МПа, температуры – 2000 °C. В таком случае металлические сварные капсулы для порошков изготавливают из углеродистой или стойкой к коррозии стали.

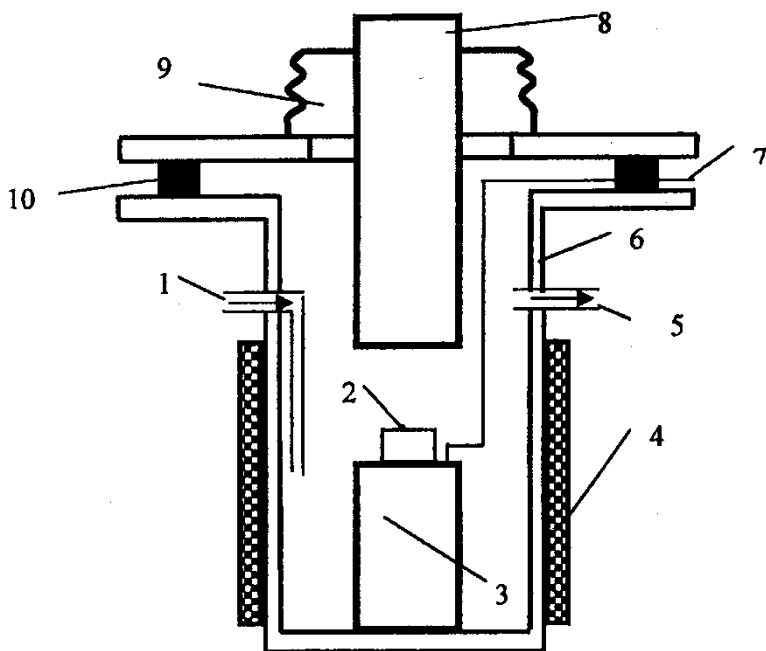


Рис. 3. Схема установки для спекания нанопорошков под давлением:

- 1 — вход инертного или реакционного газа; 2 — формовка; 3 — наковальня;
 4 — нагревательный элемент; 5 — вывод газа; 6 — рабочая камера; 7 — термопара;
 8 — пуансон; 9 — сильфон; 10 — герметизирующая прокладка

Менее затратным, по сравнению с ГИП, является *метод быстрого ненаправленного компактирования* [4]. В данном случае используют нагреваемую толстостенную цилиндрическую пресс-форму, которую после заполнения порошком подвергают одноосному сжатию под давлением до 900 МПа, что позволяет всего за несколько минут спрессовать металлический порошок до максимальной плотности.

Метод высокотемпературной газовой экструзии заключается в получении детали гидростатическим методом при комнатной температуре, затем ее термической обработке в среде водорода при относительно низкой температуре и последующем экструдировании при повышенной температуре [9–13]. Данный метод позволяет проводить компактирование порошков при кратковременном температурном воздействии и достаточно высоких температурах. Например, компакты из никелевого нанопорошка, полученные этим методом, отличаются высокими прочностными показателями и показателями пластичности [14].

Метод эжекционного литья основан на добавлении в порошок специальной связки (например, термопластичных полимеров типа полипропилена, полиэтилена или полистирола), которая обеспечивает малую вязкость порошковой смеси [1, 7]. Недостатками метода считают сложность удаления связующих при выгорании, поэтому применяют его ограниченно, для получения небольших деталей сложной формы с толщиной стенок менее 10 мм [7].

Методы интенсивной пластической деформации основаны на проведении деформации с большими степенями, в условиях высоких приложенных давлений при относительно низких температурах. В таких условиях происходит сильное измельчение микроструктуры в металлах и сплавах до наноразмеров [1–3], что позволяет получать объемные беспористые металлические наноматериалы. Однако диапазон размеров зерен материалов, получаемых рассматриваемыми методами, как правило, составляет более 100 нм, а структура, отличается сильной неравновесностью по причине малой плотности свободных дислокаций, преимущественно угловым характером границ зерен. Поэтому для обработанных изделий применяют дополнительную термообработку или дополнительное пластическое деформирование при повышенных температурах и большой степени деформации [1].

Наиболее популярные методы интенсивной пластической деформации — метод кручения под высоким давлением и метод равноканального углового прессования. Метод кручения под высоким давлением основан на принципе наковален Бриджмена, куда образец помещают между бойками и сжимают под приложенным давлением в несколько ГПа, затем прилагается деформация с большими степенями (10 и более). Средний размер зерен может достигать 100–200 нм (рис. 4) и определяется условиями деформации — давлением, температурой, скоростью деформации и видом обрабатываемого материала [2]. Разрабатывают также другие методы интенсивной пластической деформации, например, методы всестороннейковки и специальной прокатки. К первой группе методов относят те, в основе которых лежат химические процессы, ко второй — в основе которых лежат физические процессы.

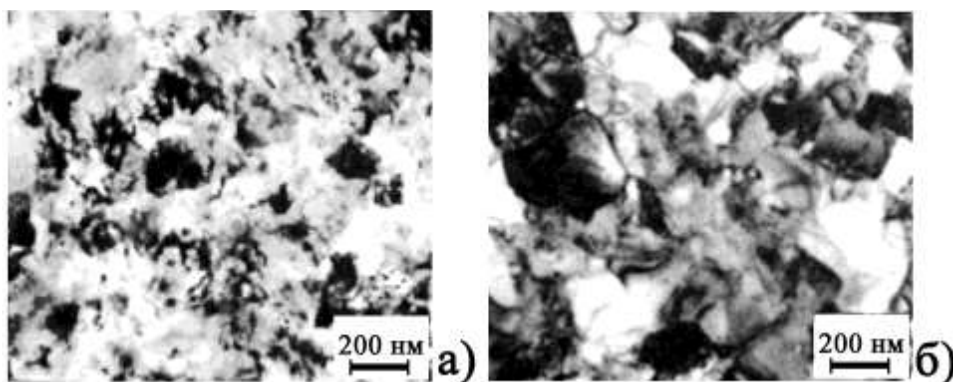


Рис. 4. Наноструктура меди, полученной методом кручения под высоким давлением (а) и методом равноканального углового прессования (б)

Рассмотрим основные физические процессы. В последние годы интенсивно развивается метод *взрывного испарения* (выделение большого количества энергии за малый промежуток времени).

Среди технологий *высокоэнергетического синтеза нанопорошков* широко применяют детонационный и плазмохимический методы [1]. *Детонационный синтез* основан на воздействии ударной волны давлением в несколько десятков

ГПа на смесь исходных реагентов. Этим методом, например, получают алмазный нанопорошок со средним размером частиц 4 нм из смеси графита и металлов. Происходит это под действием взрыва органических веществ с высоким содержанием углерода и низким содержанием кислорода [5]. Получают также нанопорошки различных морфологических форм углерода и оксидов Al, Mg, Zr, Zn.

Настоящая обзорная работа может быть полезна начинающим и опытным металлургам, инженерам-машиностроителям и всем, кто интересуется методами современной порошковой металлургии.

Литература

1. Алымов М.И., Зеленский В.А. Методы получения и физико-механические свойства объемных нанокристаллических материалов. М.: МИФИ. 2005. 52 с.
2. Новые материалы / Под ред. Ю.С. Карабасова. М.: МИСИС. 2002. 736 с.
3. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. М.: Логос. 2000. 272 с.
4. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства области применения / Отв. ред. И.М. Федорченко. Киев: Наукова думка. 1985. 624 с.
5. Белошাপко А.Г., Букаемский А.А., Кузьмин И.Г., Ставер А.М. Ультрадисперсный порошок стабилизированного диоксида циркония, синтезированный динамическим методом // Физика горения и взрыва. 1993. Т. 29. № 6. С.111–112.
6. Кипарисов С.С., Падалко О.В. Оборудование предприятий порошковой металлургии. М.: Металлургия. 1988. 448 с.
7. Новое в технологии получения материалов / Под ред. Ю.А. Осипьяна и А. Хауффа. М.: Машиностроение. 1990. 448 с.
8. Bykov Y., Gusev S., Ereemeev A. et al. Sintering of nanophase oxide ceramics by using millimeter-wave radiation // Nanostructured Materials. 1995. Vol. 6. No. 5–8. P. 855–858. DOI: 10.1016/0965-9773(95)00194-8
9. Chen I.-W., Wang X.H. Sintering dense nanocrystalline ceramics without final-stage grain growth // Nature. 1996. Vol. 404. No. 9. P. 168–171. DOI: 10.1038/35004548
10. Mishra R.S., Schneider J.A., Shackelford J.F., Mukherjee A.K. Plasma activated sintering of nanocrystalline γ -Al₂O₃ // Nanostructured Materials. 1995. Vol. 5. No. 5. P. 525–544. DOI: 10.1016/0965-9773(95)00263-E
11. Ковнеристый Ю.К. Объемно-аморфизирующиеся металлические сплавы. М.: Наука, 1999. 80 с.
12. Конструкционные материалы / Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. М.: Машиностроение, 1990. 688 с.
13. Ковнеристый Ю.К. Объемно-аморфизирующиеся металлические сплавы и наноструктурные материалы на их основе // МиТОМ. 2005. № 7. С. 14–16.
14. Alymov M.I., Leontieva O.N. Synthesis of nanoscale Ni and Fe powders and properties of their compacts // Nanostructured Materials. 1995. Vol. 6. No. 1–4. P. 393–395. DOI: 10.1016/0965-9773(95)00079-8

Шумков Даниил Сергеевич — студент кафедры «Технологии и оборудование прокатки», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — О.В. Соколова, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технологии и оборудование прокатки», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

MODERN POWDER METALLURGY METHODS

D.S. Shumkov

shumkov@yandex.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The study gives a review of modern methods for obtaining parts from powders with a given structure and properties. We determine the main characteristics of the processes and the appropriateness of applying the methods of the product class described

Keywords

Powder metallurgy, molding, sintering

© Bauman Moscow State Technical University, 2016

References

- [1] Alymov M.I., Zelenskiy V.A. Metody polucheniya i fiziko-mekhanicheskie svoystva ob'emnykh nanokristallicheskiykh materialov [Obtaining methods and physical-mechanical properties of bulk nanocrystalline materials]. Moscow, MEPHI Publ., 2005. 52 p. (in Russ.).
- [2] Karabasov Yu.S., ed. Novye materialy [New materials]. Moscow, MISIS Publ., 2002. 736 p. (in Russ.).
- [3] Valiev R.Z., Aleksandrov I.V. Nanostrukturnye materialy, poluchennye intensivnoy plasticheskoy deformatsiyey [Nanostructure materials obtained by severe plastic deformation]. Moscow, Logos Publ., 2000. 272 p. (in Russ.).
- [4] Fedorchenko I.M., ed. Poroshkovaya metallurgiya. Materialy, tekhnologiya, svoystva oblasti primeneniya [Powder metallurgy. Materials, technology and field of application properties]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1985. 624 p. (in Russ.).
- [5] Beloshapko A.G., Bukaemskiy A.A., Kuz'min I.G., Staver A.M. Ultradispersed stabilized zirconium dioxide powder synthesized by the dynamic method. Fizika goreniya i vzryva, 1993, vol. 29, no. 6, pp.111–112. (in Russ.). (Eng. version of journal: Combustion, Explosion and Shock Waves, 1993, vol. 29, no. 6, pp. 772–773)
- [6] Kiparisov S.S., Padalko O.V. Oborudovanie predpriyatiy poroshkovoy metallurgii [Equipment of powder metallurgy factory]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1988. 448 p. (in Russ.).
- [7] Osip'yana Yu.A., Khauffa A., eds. Novoe v tekhnologii polucheniya materialov [New in material technology]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1990. 448 p. (in Russ.).
- [8] Bykov Y., Gusev S., Eremeev A., et al. Sintering of nanophase oxide ceramics by using millimeter-wave radiation. Nanostructured Materials, 1995, vol. 6, no. 5-8, pp. 855–858. DOI: 10.1016/0965-9773(95)00194-8
- [9] Chen I.-W., Wang X.H. Sintering dense nanocrystalline ceramics without final-stage grain growth. Nature, 1996, vol. 404, no. 9, pp. 168–171. DOI: 10.1038/35004548
- [10] Mishra R.S., Schneider J.A., Shackelford J.F., Mukherjee A.K. Plasma activated sintering of nanocrystalline γ -Al₂O₃. Nanostructured Materials, 1995, vol. 5, no. 5, pp. 525–544. DOI: 10.1016/0965-9773(95)00263-E
- [11] Kovneristy Yu.K. Ob'emno-amorfiziruyushchiesya metallicheskie splavy [Volume-amorphizable metallic alloys]. Moscow, Nauka Publ., 1999. 80 p. (in Russ.).
- [12] Arzamasov B.N. ed. Konstruktsionnye materialy [Constructional material]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1990. 688 p. (in Russ.).
- [13] Kovneristy Yu.K. Volume-amorphizable metallic alloys and nanostructural materials based on them. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov, 2005, no. 7, pp. 14–16.

(Eng. version of journal: Metal Science and Heat Treatment, 2005, vol. 47, no. 7, pp. 266–268.
DOI: 10.1007/s11041-005-0065-8)

[14] Alymov M.I., Leontieva O.N. Synthesis of nanoscale Ni and Fe powders and properties of their compacts. Nanostructured Materials, 1995, vol. 6, no. 1–4, pp. 393–395.
DOI: 10.1016/0965-9773(95)00079-8

Shumkov D.S. — student of the Department of Rolling equipment and technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — O.V. Sokolova, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Professor of the Department of Rolling equipment and technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.