

СОДЕРЖАНИЕ

ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ МЕТАЛЛОВ И МАТЕРИАЛОВ

- Смирнов Е.Н., Скляр В.А., Богадевич Д.И., Белевитин В.А.,
Смирнов А.Н., Еронько С.П.** Исследование влияния комбинированного
деформационного воздействия на формоизменение кристаллизующейся
сортовой заготовки с использованием физической модели 2

ТЕХНОЛОГИИ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

- Винокуров Г.Г., Васильева М.И., Кычкин А.К., Москвитина Л.В.**
Структура и трибологические свойства износостойких покрытий
из порошковых проволок, модифицированных танталом и вольфрамом 12
- Скрябин В.А.** Влияние процессов формования на структуру и свойства
порошковых материалов. 19

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЙ, ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ И ДРУГИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

- Бугакова Н.Ю., Гайдар С.М., Карелина М.Ю., Приходько В.М.**
Увеличение эксплуатационного ресурса сельхозтехники путем поверхностно-
энергетической модификации поверхностей трибосопряжений
фторуглеродными поверхностно-активными веществами 24

НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ

- Кончаковский И.В., Харчук М.Д., Галактионова Н.Л., Черменский В.И.**
Исследование коррозионных свойств литейного инварного сплава 33НКУЛ
с различными видами защитных покрытий 32

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОБОРУДОВАНИЯ, КОНСТРУКЦИЙ И МАТЕРИАЛОВ

- Вдовин К.Н., Маркевич А.В.** Отображение взаимосвязи параметров
магнитного неразрушающего контроля и механических свойств
автомобильной стали 08пс с применением парного и множественного
регрессионного анализа. 40
- Памяти Маслénкова Станислава Борисовича 47

Влияние процессов формования на структуру и свойства порошковых материалов

В.А. СКРЯБИН*, д-р техн. наук, проф.

ФГБОУ ВО Пензенский государственный университет, г. Пенза, 440026, Российская Федерация

*E-mail: vs-51@list.ru

DOI: 10.31044/1684-2499-2019-4-0-19-23

Статья поступила в редакцию 10.08.2018

Принята после доработки 10.10.2018

Принята к публикации 12.12.2018

Рассмотрены вопросы влияния формования на структуру и свойства порошковых материалов. Исследовано предельное структурное состояние стадий прессования. Определены зависимости степени деформации порошковой массы от давления и текущей пористости и явление упругого послейдействия.

Ключевые слова: формование, структура, свойства порошковых материалов, предельное структурное состояние стадий прессования, степени деформации порошковой массы, явление упругого послейдействия.

Структура и свойства порошковых материалов в значительной степени определяются условиями формования изделий. Осуществляют формование изделий из порошков или смесей порошков различными методами: прессованием в металлических пресс-формах, эластичных оболочках, прокаткой, экструзией и другими методами [1–4]. Наиболее широко в практике порошковой металлургии используют метод прессования порошков в стальной пресс-форме (рис. 1).

Процесс прессования порошков в стальной пресс-форме состоит из операций засыпки порошка в полость матрицы (рис. 1, а), прессования под действием силы, приложенной к пуансону (рис. 1, б), и выталкивания прессовки из матрицы (рис. 1, в). При прессовании порошка происходит уменьшение его объема, тогда как при деформировании компактных

материалов объем остается постоянным, а изменяются форма и размеры заготовки.

Исследование процесса прессования порошка в стальных пресс-формах показывает, что увеличение плотности с ростом давления прессования происходит неравномерно и состоит из нескольких этапов (рис. 2).

При засыпке порошка в пресс-форму его частицы располагаются хаотично, образуя при этом так называемые мостики и арки. Плотность засыпанного порошка близка к его насыпной плотности $\gamma_{\text{нас}}$. На первом этапе прессования при низких давлениях происходит бездеформационное перемещение частиц и их более плотная упаковка, что приводит к уменьшению высоты и резкому повышению плотности (рис. 2, область 1). При этом частицы, находящиеся в особо благоприятных условиях, перемещаются в близлежащие пустоты

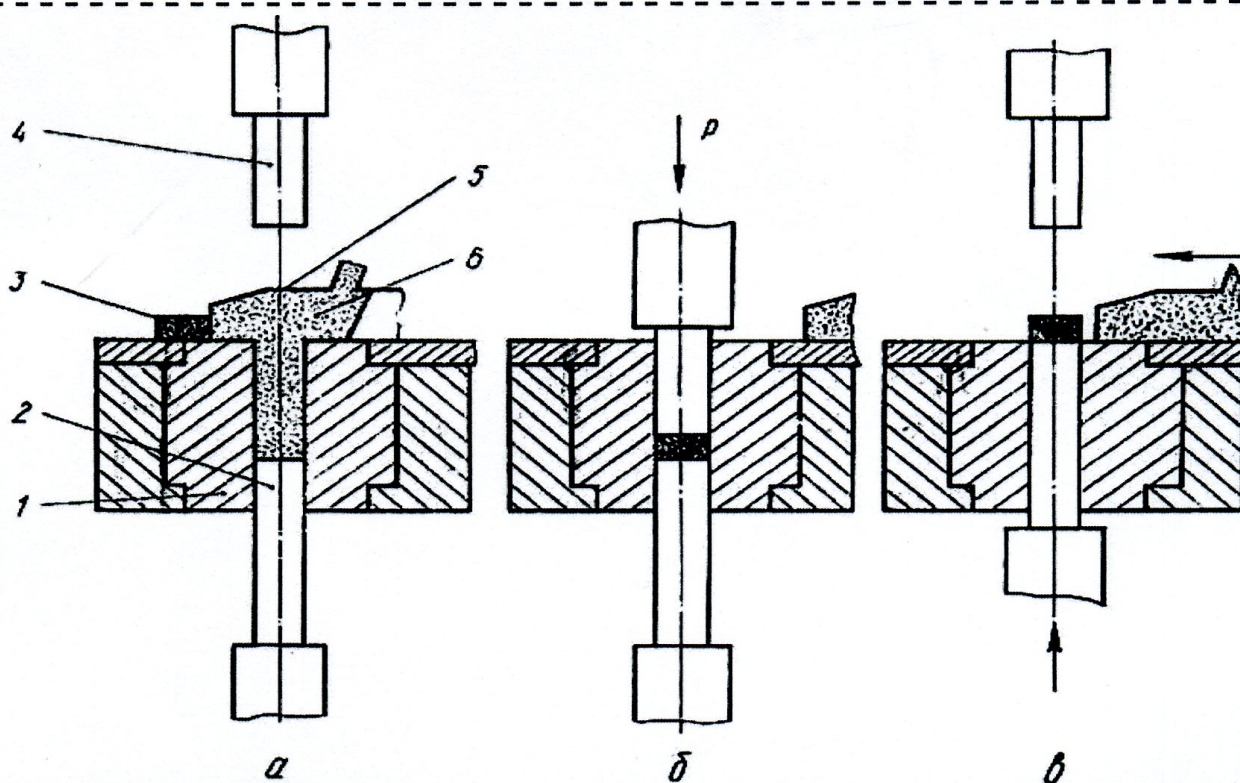


Рис. 1. Схема прессования порошков в стальной пресс-форме:

а — заполнение полости матрицы порошком; б — прессование; в — выталкивание; 1 — матрица; 2 — нижний пуансон; 3 — изделие; 4 — верхний пуансон; 5 — порошок; 6 — питатель

с небольшим трением между собой. Скорость их перемещения примерно равна скорости перемещению пуансона. Другие частицы, находящиеся в тесном контакте друг с другом и особенно прилегающие к стенкам матрицы, перемещаются со значительно меньшей скоростью.

Например, при прессовании железного порошка увеличение давления от 0 до 200 МПа приводит к повышению плотности прессовки почти в 3 раза (от 1,8 до 5,0 г/см³), тогда как дальнейшее увеличение давления с 200 до 900 МПа, т.е. в 4,5 раза, ведет к увеличению плотности только в 1,3 раза.

Предельное структурное состояние первой стадии прессования соответствует наиболее плотной упаковке частиц порошка. Работа прессования на этом этапе в основном затрачивается на преодоление сил трения между частицами.

По мере увеличения плотности прессовок и повышения давления прессования происходит разрушение мостиков и арок, проникновение частиц в поры, перемеще-

ние неблагоприятно расположенных частиц. Большая часть работы на этом этапе затрачивается на преодоление трения частиц о стенки матрицы (рис. 2, область 2).

На дальнейших этапах прессования по мере роста давления происходят значительные изменения структурного состояния пористого

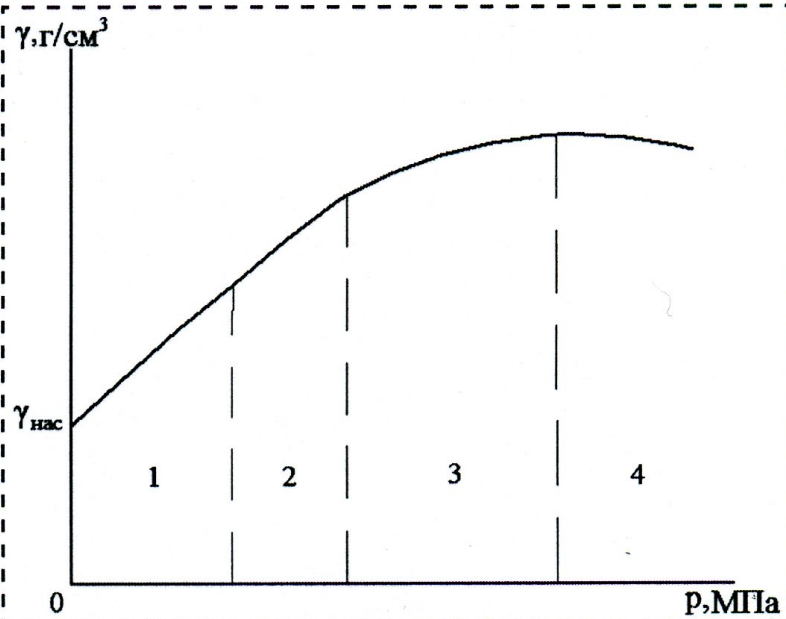


Рис. 2. Идеализированная кривая уплотнения порошка при прессовании в стальной пресс-форме

тела: увеличивается площадь контактов между частицами, изменяются качественные характеристики контактов. За счет трения частиц относительно друг друга их поверхности несколько сглаживаются, оксидные пленки сдираются, образуются чистые от оксидов, так называемые ювенильные поверхности, и контакты в этих местах из неметаллических переходят в металлические. В местах контактов, через которые передаются усилия прессования от частицы к частице, происходит деформация частиц, которая в зависимости от характера материала может быть пластической или хрупкой.

При давлениях, близких к пределу текучести металла, частицы деформируются и происходит выдавливание металла в межчастичное пространство. В результате совместной пластической деформации контактных участков частицы сближаются, что приводит к росту межчастичных участков. Качественные и количественные изменения контактных поверхностей ведут к появлению сил межатомного взаимодействия. Сопротивление материала частиц внешнему давлению возрастает, и рост плотности затормаживается (рис. 2, область 3).

Для обеспечения возможности дальнейшего уплотнения необходимо, чтобы возникающие на контактах напряжения превышали предел текучести (в случае пластичного) или предел прочности (в случае хрупкого) материала. Деформационные процессы распространяются на весь объем порошковой частицы и контролируются деформационной способностью материала частиц. Происходит деформация частиц порошков из пластичных материалов, разрушение контактных участков хрупких порошков и заполнение межчастичных пор продуктами разрушения. Работа прессования на данном этапе затрачивается в основном на деформацию и разрушение частиц. Нарастание уплотнения прессовок с увеличением давления происходит очень медленно и постепенно прекращается (рис. 2, область 4). Замедление уплотнения порошков при высоких давлениях связано с увеличением плотности прессовок, повышением твердости металла частиц вследствие его наклепа, возрастанием внутренних напряжений, увеличе-

нием площадок взаимных контактов частиц, что ведет к росту молекулярного взаимодействия частиц.

Продолжительность каждого этапа зависит от конкретных свойств порошка. Этапы перекрываются и могут происходить одновременно. В зависимости от формы частиц, насыпной плотности порошка, условий прессования, механических характеристик металла порошка уже на ранних этапах уплотнения в некоторых объемах происходит пластическая деформация на контактных участках частиц, однако преобладающим будет механизм, характерный для данного этапа. Чем пластичнее материал порошка, тем при более низких давлениях начинается уплотнение за счет деформации частиц, чем выше прочность металла порошка и ниже его пластичность, тем большее давление необходимо приложить для достижения одинаковой плотности [5—8].

У сферических порошков с хорошей пластичностью этап бездеформационного перемещения практически полностью отсутствует из-за полной стабилизации структуры при засыпке. У порошков с неправильной формой частиц перемещение частиц продолжается до тех пор, пока вследствие трения между частицами не начинается процесс пластической деформации и образуется стабильная конфигурация распределения частиц.

Общая (структурная) степень деформации при уплотнении порошка прессованием в пресс-форме (см. рис. 1, а, б) до некоторой конечной плотности зависит от насыпной плотности порошка:

$$\epsilon = \frac{H_H - H_K}{H_H} = 1 - \frac{\Theta_H}{\Theta_K}, \quad (1)$$

где H_H , H_K — высота засыпки порошка в пресс-форму и прессовки; Θ_H , Θ_K — относительная плотность засыпки и прессовки.

Чем больше насыпная плотность порошка, тем меньше высота засыпки и меньше степень структурной деформации при получении заданной плотности прессовки. Например, при прессовании образцов плотностью 7,0 г/см³ из медного порошка с насыпной плотностью 2,55 г/см³ степень структурной деформации составляет 0,64, а при применении

порошка с насыпной плотностью $3,36 \text{ г/см}^3$ — 0,52.

Связь давления и деформации можно выразить зависимостью [5]:

$$p = N\epsilon^n, \quad (2)$$

где N и n — константы материала, зависящие от микротвердости материала частиц; ϵ — степень деформации.

Зависимость текущей пористости от степени деформации выражается формулой:

$$\vartheta = \vartheta_0 \exp(S\epsilon), \quad (3)$$

где S — площадь прессования.

Порошок при прессовании стремится растекаться во все стороны, в результате чего возникает давление на стенки пресс-формы. Такое давление называют *боковым*. Его величина определяется выражением:

$$p_B = \xi p, \quad (4)$$

где p — давление прессования; ξ — коэффициент бокового давления.

Коэффициент бокового давления зависит от коэффициента Пуассона металла порошка ν :

$$\xi = \nu / (1 - \nu). \quad (5)$$

Давление прессования с учетом потерь на боковое давление и трение определяется зависимостью:

$$p_{\text{пр}} = p(1 + f\xi S_i/S), \quad (6)$$

где $p_{\text{пр}}$ — давление прессования; p — давление, необходимое для уплотнения порошка без учета потерь; f — коэффициент трения порошка о стенки матрицы (внешнее трение); ξ — коэффициент бокового давления; S_i — площадь боковой поверхности матрицы, по которой происходит прессование (поверхность внешнего трения); S — площадь сечения прессовки, нормального к направлению прессования.

Заключительным этапом прессования является выталкивание спрессованного изделия из пресс-формы (см. рис. 1, в). Для этого необходимо приложить давление, которое называется *давлением выпрессовки*. Оно должно быть больше, чем силы трения прессовки о стенки матрицы, и зависит от давления прессования,

коэффициента внешнего трения и коэффициента Пуассона металла порошка

$$P_B \geq P_T = f\xi PS_T, \quad (7)$$

где S_T — поверхность трения.

После снятия внешнего давления упругие силы, накопленные в прессовке при прессовании, стремятся увеличить ее объем. Стенки матрицы препятствуют расширению прессовки в радиальном направлении, поэтому происходит увеличение высоты, пока упругие силы не уравниваются силами внешнего трения. При достижении равновесия этих сил увеличение высоты прекращается.

После выталкивания происходит изменение размеров как по высоте, так и в радиальном направлении. Явление изменения размеров спрессованного изделия под действием внутренних напряжений называется *упругим последствием*. Основная часть упругого последствия протекает почти мгновенно сразу после выталкивания прессовки, а оставшая часть протекает в течение некоторого времени вплоть до нескольких часов. Относительное изменение линейных размеров изделий вследствие упругого последствия определяется из выражения

$$\delta_1 = (\Delta l/l_0)100, \quad (8)$$

где δ_1 — величина упругого последствия; Δl — абсолютное увеличение размера по диаметру или высоте; l_0 — размер прессовки, находящейся в пресс-форме под нагрузкой.

Объемная величина упругого последствия определяется по аналогичной зависимости.

Упругое последствие в поперечном направлении может достигать 1—3%, а по высоте еще больше — до 5—6%. Это связано с большей величиной осевого давления по сравнению с боковым. Например, у прессовок из железного порошка упругое последствие в направлении прессования — 0,6%, в поперечном — 0,2%.

Величина упругого последствия зависит от взаимодействия двух факторов: упругих свойств и прочности прессовок. С увеличением давления прессования величина упругого

последствия сначала возрастает, т.к. происходит образование межчастичных контактов и их увеличение, а затем снижается с ростом прочности контактных участков.

Прессовки из твердых и хрупких порошков имеют большую величину упругого последствия, чем прессовки из мягких и пластичных материалов, так как при одинаковом давлении прессования прочность прессовок из твердых порошков меньше и у них возрастает роль упругой деформации по сравнению с пластической.

Существенное влияние на величину упругого последствия оказывают смазки, особенно поверхностно-активные. Введение смазки в количестве 0,8—1,5% от массы порошковой смеси снижает упругое последствие на 50—70%.

Упругое последствие частично снимает напряжения на контактных участках, что приводит к уменьшению их числа и суммарной площади. Разрыв контактов между частицами может вызвать нарушение целостности прессовок, появление трещин, а иногда и их разрушение.

Список литературы

1. Андриевский Р.А. Порошковое материаловедение. М.: Металлургия. 1991. 207 с.
2. Анциферов В.Н., Акименко В.В. Спеченные легированные стали. М.: Металлургия, 1983. 88 с.
3. Анциферов В.Н., Бобров В.Г., Дружинин Л.К. и др. Порошковая металлургия и напыленные покрытия. М.: Металлургия, 1987. 792 с.
4. Анциферов В.Н., Гревнов Л.М., Перельман О.М. Особенности $\alpha \rightarrow \gamma$ превращения в порошковых углеродистых сталях // Металловедение и термическая обработка металлов. 1996. № 3. С. 14—16.
5. Баглюк Г.А., Позняк Л.А. Порошковые износостойкие материалы на основе железа. Ч. I. Материалы, полученные прессованием и пропиткой // Порошковая металлургия. 2001. № 1 / 2. С. 44—52.
6. Герман Р. Порошковая металлургия от А до Я: М.: Интеллект, 2009. 336 с.
7. Сапунов С.В. Материаловедение. Учебное пособие. Санкт-Петербург: Лань. 2015. 208 с.
8. Скрябин В.А. Исследование структуры поверхности деталей из порошковых материалов после лезвийной и абразивной обработки // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2018. № 1. С. 42—47.
9. Буров А.М., Уткин Д.В. Влияние состава горячештампованного порошкового сплава на производственную технологичность // Технология металлов. 2018. № 6. С. 40—42.
10. Скрябин В.А. Вневанное электролитическое осаждение металла при восстановлении деталей // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2018. № 1. С. 3—6.

Внимание!

Уважаемые подписчики,

на нашем сайте www.nait.ru доступна подписка на электронные версии всех журналов научно-технического издательства «Наука и технологии». Вы можете оформить подписку как на полнотекстовую версию журнала, так и на одну или несколько интересующих Вас статей.

Кроме того, с 2017 года Вы можете оформить подписку на электронные версии всех наших журналов и на сайте «НАУЧНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ БИБЛИОТЕКИ» <http://elibrary.ru>.