

ВЗРЫВНОЕ ПРЕССОВАНИЕ ПОРОШКА SmCo_5

А. Н. Киселев

Прессование взрывом порошкообразных материалов успешно применяется для решения самых различных задач [1—3]. В настоящей работе изучена возможность прессования взрывом постоянных магнитов из порошка SmCo_5 . Как известно [4, 5], в процессе упаковки при взрывном прессовании порошков происходит интенсивное перемешивание и дробление порошка, сопровождающееся значительным подъемом температуры.

Представляло интерес исследовать возможность получения прессовок из соединения SmCo_5 взрывным методом с высокой плотностью и с хорошей параллельной ориентацией осей легкого намагничивания частиц порошка в «жестких» условиях взрывного прессования. Кроме того, по измерению остаточной намагниченности представлялась возможность косвенно оценить величину разориентировки в процессе прессования предварительно выстроенных в магнитном поле частиц. Также были проведены эксперименты с наложением импульсного магнитного поля порядка 100 кЭ с целью изучения его влияния на магнитные характеристики прессовок.

Исходное соединение¹ SmCo_5 было получено индукционной плавкой компонентов в алуновом тигле в атмосфере аргона. После гомогенизирующего отжига в нем не было обнаружено следов других фаз. Слиток дробился в ступке и затем размалывался в вибромельнице в толуоле до получения частиц размером 5—10 мкм.

Экспериментальная сборка (рис. 1) представляла собой конструкцию, позволяющую проводить прессование взрывом вакуумированных ампул с возможностью наложения в момент прессования импульсного магнитного поля. Ампула 7 заполнялась порошком SmCo_5 до начальной плотности $\rho_0 = 3,7 \div 4,2 \text{ г/см}^3$, а затем подвергалась вибрации перпендикулярно оси в постоянном однородном магнитном поле 10 кЭ с переменной плавно меняющейся частотой от 20 до 200 Гц. Такая процедура способствовала более полному выстраиванию частиц осью легкого намагничивания параллельно полю.

Подготовленные к прессованию образцы предварительно вакуумировались до $(2 \div 5) \times 10^{-2}$ мм рт. ст. с целью просушивания, а также для уменьшения окисления в процессе прессования; в момент прессования в образце сохранялся такой же вакуум. После откачки ампулы 8 до необходимого вакуума подавался импульс на детонатор, и распространяющаяся детонационная волна обжимала ампулу.

Образцы, прессуемые с наложением импульсного магнитного поля, подвергались аналогичной предварительной обработке: набивке, вибрации в постоянном магнитном поле, сушке вакуумированием. Импульсное магнитное поле создавалось в катушке намагничивания 3 в момент разряда конденсаторной бата-

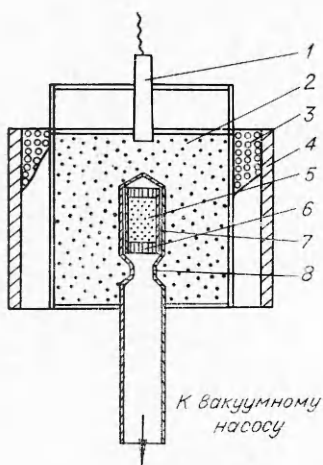


Рис. 1. Схема экспериментальной сборки для прессования порошков в вакууме с наложением магнитного поля.

1 — детонатор; 2 — взрывчатое вещество; 3 — катушка намагничивания; 4 — поддерживающий кожух; 5 — прессуемый порошок; 6 — пробки; 7 — внутренняя ампула; 8 — внешняя ампула.

¹ Приготовление порошка SmCo_5 и измерение магнитных свойств прессовок было сделано в Институте физики металлов УНЦ АН СССР.

реи после подачи импульса синхронизирующим устройством. В момент максимальной амплитуды магнитного поля ($H_{\max} = 114$ кЭ, $t = 0,6 \cdot 10^{-3}$ с) подавался импульс на детонатор, срабатывающий за время $1 \cdot 10^{-6}$ с.

Материал ампулы (нержавеющая сталь) и его толщина обеспечили промагничивание образца. Оценка по скин-слою (1,3 см) была подтверждена прямыми измерениями магнитного поля в ампуле с порошком и вне ампулы; величины магнитных полей в пределах точности измерений (10%) совпали. В начале детонации катушка намагничивания разрушалась, но магнитное поле не исчезало из образца, а, напротив, увеличивалось, что было обнаружено при измерениях. Объяснение этого факта лежит в уменьшении площади поперечного сечения образца при прессовании и, следовательно, сжатии магнитного потока, в малой величине скин-слоя материала ампулы для времени прессования (10^{-5} с), а также увеличении проводимости прессуемого порошка.

Прессование проводилось во взрывной камере промышленным аммонитом марки 6ЖВ с плотностью засыпки $\rho_0 = 1$ г/см³.

Осмотр спрессованных взрывом образцов показал наличие в центре ампулы следов существования «диска» Маха [6], типичных для прессования взрывом в цилиндрической конфигурации порошкообразных материалов. Часть материала ампулы, ближе к центру, как правило, выносилась вследствие большой разницы в величине массовых скоростей за «диском» Маха и конической частью ударной волны. Из прессовок, полученных взрывом, были изготовлены цилиндрические образцы. Методом гидростатического взвешивания была определена их плотность, а на установке «Пермограф» снята размагничивающая часть петли гистерезиса. Плотность образцов оказалась весьма высокой — 8,33 г/см³, что составляет 97,5% от плотности соединения SmCo₅.

Кривая размагничивания одного из образцов показана на рис. 2. Коэрцитивная сила H_c образцов практически не изменилась по сравнению с исходным значением, полученным на порошке, однако прямоугольность петли гистерезиса стала хуже. Остаточная намагниченность сохранилась на достаточно высоком уровне. Оценка степени выстраивания частиц, полученной в результате всех предварительных процедур и прессования взрывом по отношению остаточной намагниченности (поправленной на 100%-ную плотность) к намагниченности насыщения SmCo₅, дает значение 85%.

Была исследована возможность получения образцов с более высокими магнитными свойствами, наложением магнитного поля в момент прессования. Предполагалось, что импульсное магнитное поле может оказать стабилизирующее действие на предварительно выстроенные частицы. Оценка величины магнитных усилий, удерживающих частицу, ориентированную в магнитном поле 100 кЭ, показала, что магнитные усилия становятся сравнимы с усилиями, действующими со стороны ударной волны при прессовании аммонитом только за ее фронтом, в волне разрежения. Результаты измерений образцов, полученных с наложением поля, показали, что магнитные характеристики (B_r , H_c) практически не отличаются от характеристик образцов, полученных без поля.

Отсутствие влияния импульсного магнитного поля на магнитные характеристики образцов, полученных взрывом, можно, по-видимому, объяснить как недостаточной амплитудой магнитного поля, так и высокими температурами, развивающимися при прессовании порошков взрывом.

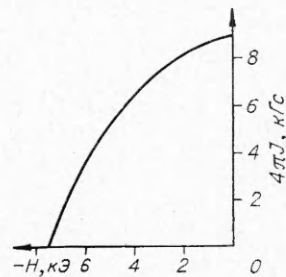


Рис. 2. Кривая размагничивания спрессованного взрывом постоянного магнита из соединения SmCo₅.

Достаточно высокая степень текстуры в образцах, полученных взрывным прессованием при начальной пористости, большей 0,5, позволяет сделать вывод, что в процессе упаковки частиц порошка не происходит существенного их вращения. Необходимо отметить, что вращение частиц порошка относительно оси легкого намагничивания c , выстроенной параллельно магнитному полю, не будет сказываться на измерениях при данном методе оценки текстуры.

Этот вывод согласуется с результатами работы [6], где импульсным рентгеновским методом было исследовано течение за ударными волнами при взрывном прессовании порошка $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ в случае цилиндрической симметрии. Авторами работы [6] показано существование зоны ламинарного потока, в которой не происходило разрушения датчиков, расположенных параллельно оси ампулы (общая толщина датчиков не превышала 20÷60 мкм), и зоны интенсивного перемешивания материала, находящейся вблизи оси ампулы, где через некоторое время за фронтом маховского «диска» наблюдалось разрушение датчиков-фольг.

Несмотря на сложную картину взаимодействия ударных волн при прессовании порошков в случае цилиндрической симметрии, можно сделать вывод, что ударные волны практически не нарушают предварительного выстраивания частиц и на результат конечной текстуры влияют слабо.

Необходимо отметить, что импульсные магнитные поля, наложенные в момент прессования, в технически легко достижимом диапазоне (сотни килоэрстед), по-видимому, не могут оказать существенного влияния на магнитные характеристики получаемых образцов, более высокие поля (порядка нескольких мегагаусс) сильно усложняют и удорожают эксперимент (катушка намагничивания служит однократно).

Эксперименты, проведенные без импульсного магнитного поля, показали, что предварительное выстраивание частиц порошка практически сохраняется после прессования, обеспечивая такую же степень текстуры, как и в магнитах, полученных статическим прессованием [7] и последующим спеканием. Таким образом, прессование взрывом может успешно применяться для получения из анизотропных порошков постоянных магнитов с высокой плотностью и высокой степенью текстуры.

В заключение автор выражает благодарность сотруднику Института физики металлов УНЦ АН СССР А. С. Ермоленко за полезные идеи как в процессе выполнения, так и при обсуждении результатов работы.

*Институт гидродинамики СО АН СССР,
Новосибирск*

*Поступила в редакцию
2/X 1975*

ЛИТЕРАТУРА

1. М. П. Бондарь, А. М. Ставер. Динамика сплошной среды. Вып. 5. Новосибирск, 1970.
2. В. Г. Кононенко, Н. П. Фролова, Л. И. Федоренко.— В кн.: Обработка металлов энергией взрыва. Киев, 1963.
3. Shock—sintering of diamond. Patent of USA. No 1115650, опубли. 18.05.64, Industr. diamond rev., 1968, 28, 337, 557.
4. Э. С. Атрошенко, В. А. Косович.— В кн.: Технология машиностроения. Труды ВПИ, Волгоград, 1971.
5. С. С. Бацанов, Г. С. Доронин и др. ФГВ. 1968, 4, 1, 108.
6. А. А. Дерибас, А. М. Ставер. ФГВ, 1974, 10, 4, 568.
7. M. Benz, D. Martin. Appl. Phys., Lett., 1970, 17, 176.