

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКИЗ ТЕКУЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ**ПОСТОЯННЫЙ МАГНИТ ИЗ ПОРОШКА $MnBi$**

Идея создания постоянных магнитов путём эмульгирования или спрессовывания ориентированного порошка ферромагнитных веществ не нова. Ещё в 1930 г. Я. И. Френкель и Я. Г. Дорфман¹ обратили внимание на то, что мелкие ферромагнитные частички, размеры которых близки к размерам доменов, обладают отчётливо выраженным намагничиванием. С другой стороны, поиски новых материалов для создания постоянных магнитов стимулируются тем обстоятельством, что обычно применяемые для этих целей сплавы (например, аллико) содержат дефицитные кобальт и никель. Авторы реферируемой статьи² разработали методы изготовления постоянных магнитов из порошка интерметаллического соединения $MnBi$. Этот материал был выбран, исходя из следующих соображений. Его постоянная кристаллической анизотропии (K) имеет чрезвычайно высокое значение порядка $11,6 \cdot 10^6$ эрг/см³, намагничивание насыщения соответствует 600 гауссам и температура Кюри — $340 \div 360^\circ$. Далее, критические размеры частиц (соответствующие размерам доменов) достигают 0,8 μ , причём присущая им коэрцитивная сила согласно расчётам приближается к 35 000 эрстед.

Наибольшие технологические трудности представляет получение сплава Bi и Mn , в достаточной мере обогащённого ферромагнитной фазой $MnBi$. Технология, разработанная авторами, такова. Мелкозернистые порошки Mn (16,65%) и Bi (83,35%) перемешиваются и расплавляются при температуре $700^\circ C$ в медленно вращающемся алюминиевом тигле (в атмосфере гелия). После пятичасовой выдержки в названном режиме температура расплава медленно понижается до $440^\circ C$. Через шестьдесят часов температура вновь медленно понижается до $320^\circ C$ и ещё через 8 часов производится охлаждение до комнатной температуры. Затем сплав подвергается размалыванию в порошок (на механической мельнице) до размеров порядка нескольких микронов, т. е. близких к размерам доменов. В некоторых случаях применяется последующее отсеивание порошка через тонкие сита.

Даже в наиболее благоприятных случаях получаемый таким путём порошок содержит, помимо $MnBi$, значительное количество примеси неотреагировавших Mn и Bi . Поэтому, прежде чем использовать его для создания магнита, необходимо провести процесс обогащения. С этой целью тонкая струйка порошка медленно пересыпается по стеклянной трубке, проходящей между полюсами магнита, причём ферромагнитная часть порошка ($MnBi$) оседает на стенках трубки, в то время как немагнитная часть его проходит через трубку, не задерживаясь. В результате такой операции получается обогащённая фракция, содержащая около 90% $MnBi$, 4% Mn и 6% Bi .

После обогащения порошок прессуется под невысоким давлением при температуре $300^\circ C$ (для предотвращения окисления прессование

производится в атмосфере инертного газа). Одновременно осуществляется ориентация частиц путём воздействия на них пульсирующим магнитным полем (до 20 000 эрстед), параллельным направлению прессования. Поскольку в порошке имеется некоторое количество чистого висмута, то нагревание до 300° ведёт к появлению жидкой фазы, что облегчает ориентировку частиц, обеспечивает эффективное их закрепление после охлаждения, а также способствует получению образцов, обладающих большей плотностью.

Изготовленные таким путём образцы были подвергнуты испытаниям с целью выяснения влияния различных факторов на их магнитные свойства. Авторы установили, что уменьшение размеров частиц ведёт к резкому увеличению коэрцитивной силы магнита. Точно так же, степень ориентации частиц в процессе прессования образца в сильной мере сказывается на величине как коэрцитивной силы, так и остаточного намагничивания. Не меньшее влияние оказывает плотность образца. Однако применение больших давлений при прессовании хотя и ведёт к увеличению плотности, обычно связано с уменьшением степени ориентировки частиц, а также с деформацией самих частиц, вследствие чего качества магнитов, получаемых прессованием под большим давлением, оказываются хуже, чем при прессовании под малым давлением.

В заключение авторы приводят следующую табличку, в которой характеристики некоторых из изготовленных ими порошковых магнитов сопоставляются с характеристиками магнитов, изготовленных из цельного металла:

Магнит	Плотность	Остаточная индукция	Коэрцитивная сила	$2K/I_{\text{нас}}$	$(BH)_{\text{макс}} \times 10^{-6}$
MnBi — 4 . . .	7,0	3 160	1 110	1 240	1,3
MnBi — 7 . . .	7,5	3 400	1 995	4 650	1,9
MnBi — 11 . .	6,6	3 375	31 100	7 740	2,9
Бисманол *) . .	8,1	4 300	3 400	7 000	4,3
Алико II . . .	7,1	7 200	540	540	1,6
Алико V . . .	7,3	12 000	580	580	4,5
Pt — Fe . . .	10,0	5 800	1 570	1 700	3,0
Pt — Co . . .	11,0	4 500	2 600	3 600	3,8
Силманал . . .	9,0	550	550	6 000	0,08

Как видно из таблицы, магниты из прессованного порошка MnBi обладают коэрцитивной силой, значительно превышающей коэрцитивную силу магнитов всех иных типов. Вместе с тем остаточное намагничивание, получаемое с магнитами этого типа, значительно ниже, чем, например, у магнитов, изготовленных из алико. Повидимому, магниты, изготовленные по описанному выше методу, смогут найти себе применение в аппаратуре, где основным требованием является не получение возможно сильных магнитных полей, а большая устойчивость постоянных магнитов относительно размагничивающих факторов (например, в электроизмерительных приборах).

Р. Г.

*) Типичный образец порошкового магнита из MnBi, полученного описанным выше путём, но при увеличенной степени обогащения порошка ферромагнитной фазой.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. J. Frenkel and J. Dorfman, Nature **126**, 274 (1930).
 2. E. Adams, W. M. Hubbard and A. M. Syeles, J. Appl. Phys. **23**, № 11, 1207 (1952).
-