

МАГНИТОТВЕРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ (высококоэрцитивные материалы), материалы с коэрцитивной силой по индукции H_{CB} не менее 4 кА/м. Осн. параметрами М.м., характеризующими их свойства, являются H_{CB} , коэрцитивная сила по намагниченности H_{CM} , остаточная индукция B_r и макс. энергетическое произведение $(BH)_{\max}$, область рабочих температур, темп-ра Кюри T_C , а также температурные коэффициенты α обратимых изменений величин B_r , H_{CB} , H_{CM} и т.д. В табл. представлены осн. параметры некоторых магнитотвёрдых материалов.

В разл. М.м. природа высоких значений коэрцитивной силы H_C определяется одним из трёх осн. механизмов задержки процессов перемагничивания в магнетиках: необратимым вращением вектора спонтанной намагниченности M_s ; задержкой образования и/или роста зародышей перемагничивания (зародышей магнитной фазы с иным направлением M_s); закреплением доменных стенок на разл. локальных неоднородностях и структурных несовершенствах кристаллов. Поскольку любое намагниченное состояние является метастабильным, кристаллическая и вслед за ней электронная структура М.м. формируются таким образом, чтобы увеличить время релаксации в намагниченном состоянии.

Осн. типы М.м.: литые, спечённые и композиционные. Литые сплавы на основе железа, никеля и алюминия, а также железа, никеля, алюминия и кобальта, легированные медью, титаном, ниобием, промышленно выпускаются с 1930-х гг. Эти сплавы могут быть изотропными и анизотропными. Изотропные литые М.м. имеют более низкие (в 2–3 раза) значения осн. магнитных параметров, но они и более дешёвые, чем анизотропные. Такие сплавы обрабатываются шлифовкой или электроэрозионной резкой. К их преимуществам относятся: высокая однородность свойств по объёму, высокая температурная стабильность, способность работать при высоких темп-рах (до 450 °С), высокая радиац. стойкость. Эти материалы используются в магнитных системах измерит. приборов, сейсмодатчиках, прецизионных электродвигателях и в воен. технике.

Спечённые М.м. изготавливают путём прессования порошков (частицы до 2–3 мкм) с последующим спеканием. Различают следующие типы спечённых

М.м.: ферритовые М.м., материалы типа $SmCo_5$ и Sm_2Co_{17} и М.м. на основе сплава неодим – железо – бор. Осн. достоинствами спечённых М.м. являются: наличие отработанных технологий для их массового произ-ва, существенно более высокие характеристики магнитных свойств, чем у М.м. др. типов. М.м. этой группы, имея общую керамич. технологию изготовления, существенно различаются между собой по магнитным параметрам и стоимости. Ферритовые М.м. могут быть изотропными и анизотропными; они самые дешёвые и распространённые. Кроме низкой стоимости к их достоинствам относятся более высокие значения H_C , чем у литых М.м. Осн. их недостаток – сильная зависимость магнитных свойств от темп-ры, поэтому при темп-ре св. 100 °С они не применяются. М.м. типа $Sm-Co$ разработаны в кон. 1960-х гг. К их достоинствам относятся высокие магнитные свойства (уступает только $Fe-Nd-B$), высокая температурная стабильность, позволяющая использовать их при темп-ре до 350 °С и высокая коррозионная стойкость. М.м. типа $Fe-Nd-B$ разработаны в сер. 1980-х гг. Их преимущества: самые высокие значения $(BH)_{\max}$ (до 360 кДж/м³) и более низкая по сравнению с $Sm-Co$ стоимость. Вместе с этим данные М.м. имеют сильную зависимость свойств от темп-ры (применяют до 180 °С), низкую коррозионную стойкость и, как правило, требуют нанесения защитных покрытий (Zn , Ni и т.п.). Особенно эта проблема значима при их использовании в среде углеводородов (нефть, бензин).

К композиционным М.м. относятся полимерные постоянные магниты, или *магнитопласты*. В нач. 21 в. интенсивно разрабатываются обменно-связанные, наноструктурированные и др. магнитотвёрдые материалы.

М.м. применяются для произ-ва постоянных магнитов, записи магнитной информации и т.д. М.м. являются источниками постоянных магнитных полей, используемых в разл. аппаратуре в электро- и радиотехнике, автоматике, приборостроении, электронике. Каждый автомобиль, компьютер, мобильный телефон имеет несколько (совр. автомобили – неск. десятков) устройств, в состав которых входит постоянный магнит. Ветрогенератор мощностью 50 МВт содержит ок. 2 т постоянных магнитов состава $Fe-Nd-B$.

Лит.: Преображенский А.А., Бишард Е.Г. Магнитные материалы и элементы. 3-е изд. М., 1986.

А.С. Лилеев, М.М. Надеев, А.М. Тишин.

МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ (от *магнит* и лат. *tellus*, род. п. *telluris* – Земля; МТЗ), один из геофизических методов разведки, основанный на изучении естеств. переменного электромагнитного поля Земли (т.н. магнитотеллурического поля), возбуждаемого источниками, расположенными в околоземном пространстве. Математич. модель МТЗ предложена в 1950 А.Н. Тихоновым, в 1953 её развил франц. геофизик Л. Каньяр. В этой модели предполагается, что на горизонтально-однородную слоистую Землю вертикально падает плоская электромагнитная волна.

При проведении МТЗ регистрируют горизонтальные компоненты электромагнитного поля (его электрич. и магнитной составляющих), для чего на земной поверхности устанавливают две электроизмерительные заземлённые линии длиной ок. 500 м и два *магнитометра* (под прямым углом друг к другу). Глубина проникновения электромагнитного поля в глубь Земли зависит от его частоты и электромагнитных свойств горных пород, в первую очередь от их электропроводности. На высоких частотах б.ч. энергии падающей волны распределяется вблизи поверхности Земли (скин-эффект), поэтому наблюдаемое поле содержит сведения о физич. свойствах приповерхностных горных пород. Поле более низкой частоты проникает на большие глубины и, следовательно, несёт информацию об объектах, залегающих глубже.

Вариации магнитотеллурич. поля регистрируются в широком диапазоне частот. По результатам обработки полевых наблюдений строят кривую частотного зондирования, отображающую изменение электромагнитных свойств геологич. объектов с глубиной. В процессе интерпретации полученных данных кривые МТЗ, построенные по результатам эксперимента, сопоставляют с теоретич. кривыми, рассчитанными для моделей реальной среды с известными параметрами. Результатом интерпретации является информация о геологич. строении исследуемого участка Земли.

МТЗ используется при региональных геофизич. исследованиях, направленных на поиски нефти и газа, изучение глубинного строения Земли, а также при инж.-

Основные параметры некоторых магнитотвёрдых материалов

Тип материала	Марка материала	Состав, % по массе	B_r , Тл	H_{CB} , кА/м	H_{CM} , кА/м	$(BH)_{\max}$, кДж/м³	$\alpha(H_{CB})$, %/°С	T_C , °С	Плотность, г/см³
Литой	ЮНДКТ5 (тиконал)	7%Al, 14%Ni, 35%Co, 3,5%Cu, 5%Ti, 0,8%Nb, остальное Fe	1,1	120	–	88	–0,01	860	7,5
Спечённый	КС37	38,5%Sm, остальное Co	0,77	540	1300	110	–0,045	730	8,2
	НмБ 320/120	30%Nd, (0–20)%Co, (1–2)%B, (0–25)%Dy, Pr, Tb, остальное Fe	1,35	940	>1200	360	–0,12	593	7,6
	28БА190 (бариевый феррит)	BaO·6Fe₂O₃	0,39	185	190	28	–0,2	450	5,1