Лекция 8. Магнитомягкие и магнитотвёрдые материалы

8.1. Магнитомягкие материалы

Магнитомягкие материалы — ферромагнетики с малой коэрцитивной силой ($H_c < 4$ кА/м), узкой петлёй гистерезиса и большой магнитной проницаемостью. Они легко намагничиваются и размагничиваются. Применяются в устройствах, работающих в переменном магнитном поле: трансформаторах, электродвигателях, генераторах, реле, дросселях, магнитных усилителях.

Электротехническая сталь — основной магнитомягкий материал. Сплав железа с кремнием (0,8–4,8% Si). Кремний повышает удельное сопротивление (снижает вихревые токи) и уменьшает потери на гистерезис. Выпускается в виде холоднокатаной (анизотропной — текстурованной) и горячекатаной (изотропной) стали.

Марки электротехнической стали:

- Сталь горячекатаная (изотропная) — марки 1211, 1311, 1511. Применяется для двигателей и аппаратов невысокой точности.
- Сталь холоднокатаная анизотропная (текстурованная) — марки 3408, 3411, 3414. Лучшие магнитные свойства вдоль направления прокатки. Применяется для сердечников трансформаторов.
- Сталь холоднокатаная изотропная — марки 2011, 2111, 2411. Применяется для двигателей и генераторов.

Пермаллой — сплав железа с никелем (45–80% Ni). Очень высокая магнитная проницаемость (до 100000), малая коэрцитивная сила. Применяется в точных измерительных трансформаторах, магнитных экранах, головках магнитной записи. Чувствителен к механическим воздействиям — после штамповки требует отжига для восстановления магнитных свойств.

Ферриты — оксидные магнитные материалы (окислы железа, марганца, цинка, никеля). Обладают высоким удельным сопротивлением (10^6–10^9 Ом·м), что практически исключает вихревые токи. Применяются на высоких частотах — в сердечниках импульсных трансформаторов, дросселях фильтров, антеннах, магнитных головках. Марки: ММ, МН, ВТ, НН.

Альсифер — сплав алюминия (9%), кремния (9%) и железа (82%). Высокая магнитная проницаемость, высокая твёрдость. Применяется для магнитных экранов, сердечников, работающих в жёстких условиях.

8.2. Магнитотвёрдые материалы

Магнитотвёрдые материалы — ферромагнетики с большой коэрцитивной силой ($H_c > 4$ кА/м), широкой петлёй гистерезиса и большой остаточной индукцией. Они трудно намагничиваются, но зато сохраняют намагниченность длительное время. Применяются для изготовления постоянных магнитов.

Литые магниты — сплавы железа, никеля, алюминия, кобальта (ЮНДК — юнка):

- ЮНДК-15А — высокая магнитная энергия, применяется в измерительных приборах, реле.
- ЮНДК-24 — максимальная магнитная энергия среди литых сплавов.
- ЮНД-4 — более дешёвый сплав, для менее ответственных магнитов.

Порошковые магниты — прессованные из порошков с связующим. Механически прочные, могут быть любой формы. Менее мощные, чем литые, но дешевле.

Ферритовые магниты — бариевые и стронциевые ферриты. Дёшевы, обладают высокой коэрцитивной силой, но малой остаточной индукцией. Применяются в электродвигателях малой мощности, громкоговорителях, крепёжных магнитах.

Магниты на основе редкоземельных элементов — неодим-железо-бор (NdFeB), самарий-кобальт (SmCo). Самые мощные постоянные магниты (максимальная магнитная энергия). Применяются в компактных двигателях, генераторах, датчиках положения. Дорогостоящие.

8.3. Применение магнитных материалов в оборудовании

Электромонтёр встречается с магнитными материалами при ремонте электродвигателей (сердечники из электротехнической стали, постоянные магниты в роторах), трансформаторов (шихтованные магнитопроводы), реле и контакторов (магнитопроводы и якоря), измерительных приборов (магниты и сердечники). При ремонте важно сохранить изоляцию между листами шихтованного магнитопровода — повреждение изоляции приводит к росту вихревых токов, перегреву и снижению КПД.