

### Тема 5.3 «Магнитные материалы специального назначения»

К материалам специального назначения, как правило, относят магнитомягкие материалы, которые разработаны для частного применения в устройствах, когда требуется использование одного или двух параметров с максимальными значениями. К ним относят:

а) Материалы с прямоугольной петлей гистерезиса (ППГ).

Ферриты с ППГ разделяют на:

1) Ферриты со спонтанной петлей гистерезиса получают благодаря составу феррита и условиям отжига, при которых появление спонтанной прямоугольности петли гистерезиса обусловлено преобладанием процесса необратимого смещения доменных стенок.

2) Ферриты с индуцированной петлей гистерезиса получают после термомагнитной обработки.

По химическому составу различают ферриты с ППГ:

1) Литиевые - приобретают необходимые свойства при введении в состав феррита натрия, магния, марганца и др. Они обладают хорошей термостабильностью электромагнитных параметров. Процесс их получения протекает со строгим соблюдением состава и при определенной концентрации кислорода при спекании.

2) Марганец-магниевые благодаря большому разнообразию свойств получили наибольшее распространение. Они обладают простотой в изготовлении, повышенной индукцией В; по термостабильности уступают литиевым.

3) Магнитомягкие состоят из железоникелевых и железоникелькобальтовых сплавов, легированных молибденом, медью или другими металлами. Выпускают в виде лент проката толщиной 20...500 мкм, лент микронного проката толщиной 3 мкм, сердечников с частотой перемагничивания примерно десятки килогерц и сердечников микронного проката с минимальным коэффициентом переключения  $K_g$ .

б) Ферриты для сверхвысоких частот (СВЧ-ферриты). Диапазон сверхвысоких частот соответствует частотам от сотен до десятков тысяч мегагерц, т.е. длинам волн от одного метра до нескольких миллиметров. Для их изготовления используют метод оксидов, с помощью которого получают пластины, стержни, диски.

Различают:

1) Никелевые СВЧ-ферриты - для изготовления изделий, которые работают в миллиметровом диапазоне длин волн и в коротковолновой части сантиметрового диапазона. Они обладают высокими значениями намагниченности насыщения  $M_s$ , высокой термостабильностью.

2) Магниевые СВЧ-ферриты применяют для изготовления изделий, работающих в средней части сантиметрового диапазона. Они имеют значения намагниченности насыщения меньше, чем у никелевых СВЧ-ферритов.

3) Магниево-ферроалюминаты, магниево- и никель-феррохромиты применяют для изготовления ферромагнитных изделий, работающих в длинноволновой части СВЧ-диапазона. Имеют малые значения намагниченности насыщения, малые магнитные потери, что позволяет применять их в ферритных приборах, работающих в малых подмагничивающих полях; низкие значения температуры Кюри, что ограничивает область их применения.

4) Иттриевые ферриты-гранаты применяют для изготовления различных СВЧ-устройств, работающих в низкочастотной части СВЧ диапазона. Они обладают малыми значениями магнитных потерь, относительно высокой намагниченностью, высокой термостабильностью.

в) Термомагнитные материалы характеризуются сильной зависимостью намагниченности  $M$  от температуры в полях, близких к полю насыщения материала. Термомагнитные материалы функционируют обычно в режиме насыщения в интервале рабочих температур от  $-60$  до  $+80 \dots 100$  °С. Они имеют низкие значения температуры Кюри, близкие к рабочему интервалу температур, так как наибольшая зависимость магнитной индукции от температуры наблюдается в области, близкой к точке Кюри; малые поля, необходимые для насыщения; высокую воспроизводимость характеристик.

К термомагнитным сплавам относят:

1) компенсаторы (термомагнитные сплавы системы железо-никель-хром) наиболее широко применяются, т.к. имеют большие значения намагниченности насыщения; полную обратимость магнитных свойств в диапазоне температур от  $-65$  до  $+180$  °С; высокую линейность магнитных характеристик, хорошую механическую обрабатываемость.

2) кальмаллой (сплавы системы никель-медь) обладают сравнительно малой магнитной индукцией, поэтому магнитные стержни из этих материалов имеют большие сечения.

3) термаллой (сплавы системы никель-железо) имеют необратимое изменение свойств под действием отрицательных температур; плохую воспроизводимость характеристик.

4) многослойные термомагнитные материалы получают совместной прокаткой листов или полос из термомагнитных сплавов с различными свойствами. Требуемые характеристики многослойных материалов получают в результате подбора исходных полос с необходимыми свойствами и в зависимости от их толщины. Они имеют слабую зависимость намагниченности насыщения, от напряженности магнитного поля  $H$ , малые параметры полей насыщения, возможность заранее рассчитать требуемые свойства материалов, разнообразие получаемых характеристик, однотипность технологии изготовления.

Термомагнитные материалы используют в качестве магнитных шунтов и добавочных резисторов для компенсации температурной погрешности или обеспечения изменения магнитной индукции в воздушном зазоре по заданному закону; в индукционных печах для поддержки заданной

температуры или в реле, момент срабатывания которых зависит от температуры.

г) Магнитострикционные материалы характеризуются остаточной индукцией  $B_s$ , коэрцитивной силой  $H_s$ , магнитострикционной деформацией насыщения.

В качестве магнитострикционных материалов применяют:

1) никель применяют в виде пластин, вырубленных из жесткой неотожженной ленты толщиной 0,1 мм и оксидированных при нагревании на воздухе до температуры 800°C в течение 15...25 мин. Из пластин набирают пакеты, которые устойчивы к коррозии в атмосфере и морской воде. Никель обладает высокими антикоррозионными свойствами, малым температурным коэффициентом модуля упругости, большим абсолютным значением коэффициента магнитострикции насыщения.

2) пермендюры (сплавы системы кобальт-железо) относятся к сплавам с высокой индукцией насыщения. Наивысшей индукцией насыщения обладает железо, но для уменьшения массы изделий используют сплавы железа с кобальтом и ванадием. Наиболее известен железоникелевый сплав, легированный ванадием, введение которого улучшает обрабатываемость сплава в холодном состоянии. Недостатки: малое удельное электрическое сопротивление; высокая стоимость; дефицитность кобальта и ванадия; неустойчивость к коррозии; плохая механическая обрабатываемость. Пермендюры применяют для изготовления телефонных мембран и изделий, работающих в постоянных или слабых переменных магнитных полях с сильным подмагничиванием постоянным полем.

3) никель-кобальтовые ферриты обладают лучшими высокочастотными свойствами по сравнению с другими магнитострикционными материалами, конструктивно-технологическими преимуществами, но низкой прочностью и теплопроводностью. С учетом низкой прочности и теплопроводности магнитострикционные ферриты применяют в прецизионных преобразователях электромеханических и магнитострикционных фильтров, акустических приемниках и излучателях малой и средней мощности.

д) аморфные магнитные материалы (АММ). Особенностью АММ является отсутствие в них дальнего порядка в расположении атомов. Однако, несмотря на отсутствие периодичности в расположении атомов, АММ обладают упорядоченным расположением магнитных моментов. АММ во многом подобны стеклам и металлическим расплавам. Такие материалы получают быстрым охлаждением из расплавленного состояния, кристаллизация при этом не успевает осуществиться. Аморфные магнитные материалы используются в технике магнитной записи и воспроизведения, различных типах специальных трансформаторов, импульсных источниках питания и преобразователях постоянного напряжения на частотах до нескольких мегагерц, магнитных усилителях, магниторезистивных головках с высокой плотностью записи, электродвигателях с высоким КПД, в качестве конструкционных материалов.

е) Магнитодиэлектрики. Эти материалы состоят из конгломерата мелкодисперсных частиц ферро- или ферромагнитного материала, изолированных между собой органическим или неорганическим диэлектриком - связующим элементом. Благодаря тому, что частицы магнитной фазы изолированы, магнитодиэлектрики обладают высоким удельным сопротивлением и малыми потерями на вихревой ток, но имеют пониженное значение магнитной проницаемости. Магнитодиэлектрики характеризуются незначительными потерями на гистерезис и высокой стабильностью проницаемости.

Магнитодиэлектрики предназначены для работы в слабых магнитных полях, близких по значению к коэрцитивной силе, и используются в высокочастотной проводной связи, радиоэлектронике и других областях.