

Тема 5.2 «Магнитомягкие и магнитотвердые материалы»

Магнитомягкие материалы (МММ) должны иметь высокую магнитную проницаемость, малую коэрцитивную силу, большую индукцию насыщения, узкую петлю гистерезиса, малые магнитные потери. Их можно разделить на следующие группы:

а) Технически чистое железо (низкоуглеродистая сталь) представляет собой магнитомягкий материал, свойства которого сильно зависят от содержания примесей.

Магнитные свойства железа сильно зависят от его чистоты и способа обработки.

В зависимости от способа получения чистого железа различают:

1) Электролитическое железо, получаемое в процессе электролиза сернокислого или хлористого железа, применяется в постоянных полях;

2) Карбонильное железо, получаемое термическим разложением пентакарбонила железа $\text{Fe}(\text{CO})_5$. Его получают в виде порошка и используют для изготовления сердечников, работающих на повышенных частотах.

б) Кремнистая электротехническая сталь содержит менее 0,05% углерода, от 0,7 до 4,8% кремния и относится к магнитомягким материалам широкого применения. Легирование стали кремнием приводит к существенному повышению удельного электрического сопротивления, которое растет линейно от 0,1 мкОм.м при нулевом содержании кремния до 0,60 мкОм.м при содержании кремния 5,0%, к увеличению начальной $\mu_{гн}$ и максимальной магнитной проницаемости $\mu_{тах}$.

Электротехническая сталь выпускается в виде отдельных листов, рулонов или ленты и предназначена для изготовления магнитопроводов. Для уменьшения потерь на вихревые токи на листы стали может быть нанесен электроизоляционный лак.

в) Пермаллои относятся к магнитомягким материалам, обладающим высокой магнитной проницаемостью в слабых полях, и представляют собой железоникелевые сплавы. Такие сплавы характеризуются тем, что значения магнитной анизотропии и магнитострикции равны нулю; это является одной из причин особенно легкого намагничивания пермаллоев. Пермаллои подразделяются на высоконикелевые (72... 80 % никеля) и низконикелевые (40... 50% никеля).

Из железоникелевых сплавов с высокой магнитной проницаемостью можно выделить следующие группы:

- нелегированные низконикелевые пермаллои - марок 45Н и 50Н (содержание никеля 45 и 50%); обладают наиболее высокой индукцией насыщения, поэтому их применяют для сердечников малогабаритных силовых трансформаторов, дросселей и деталей магнитных цепей, которые работают при повышенных индукциях без подмагничивания или с небольшим подмагничиванием;

- низконикелевые пермаллои (50% Ni), легированные хромом и кремнием - 50НХС - обладает повышенным сопротивлением и используется для сердечников импульсных трансформаторов, а также в устройствах связи для звуковых и высоких частот;

- высоконикелевые пермаллои, легированные соответственно молибденом, хромом и кремнием, хромом и медью применяются для сердечников малогабаритных трансформаторов, реле и магнитных экранов, при толщине 0,02 мм - для сердечников импульсных трансформаторов, магнитных усилителей; сплавы, обладающие текстурой и прямоугольной петлей гистерезиса.

г) Ферриты – неметаллические материалы, состоят из оксидов железа и оксидов двухвалентных металлов. Их получают методом керамической технологии. Изделия из ферритов формуются прессованием в стальных пресс-формах, выдавливанием через мундштук, горячим литьем под давлением, горячим прессованием. Магнитомягкие ферриты используют для изготовления сердечников трансформаторов, катушек индуктивности, магнитных антенн, статоров и роторов высокочастотных электрических моторов небольшой мощности, деталей отклоняющих систем телевизионной аппаратуры.

К *магнитотвердым* материалам относятся магнитные материалы с широкой петлей гистерезиса и большой коэрцитивной силой H_c . Чем «тверже» магнитный материал, т.е. чем выше его коэрцитивная сила H_c , тем меньше его магнитная проницаемость μ . Основными характеристиками магнитотвердых материалов являются коэрцитивная сила H_c , остаточная индукция B_r , максимальная удельная магнитная энергия, отдаваемая во внешнее пространство.

Постоянный магнит при замкнутом магнитопроводе практически не отдает энергию во внешнее пространство, так как почти все магнитные силовые линии замыкаются внутри сердечника, и магнитное поле вне сердечника отсутствует. Для использования магнитной энергии постоянных магнитов в замкнутом магнитопроводе создают воздушный зазор определенных размеров и конфигурации, магнитное поле в котором используют для технических целей. Магнитный поток постоянного магнита с течением времени уменьшается. Это явление называется старением магнита. Оно может быть обратимым и необратимым. В случае обратимого старения при воздействии на постоянный магнит ударов, толчков, резких колебаний температуры, внешних постоянных полей происходит снижение его остаточной магнитной индукции B_r на 1...3%; при повторном намагничивании свойства таких магнитов восстанавливаются. Если со временем в постоянном магните произошли структурные изменения, то повторное намагничивание не устраняет необратимого старения.

По назначению магнитотвердые материалы подразделяют на материалы для постоянных магнитов и материалы для записи и хранения информации (звуковой, цифровой, видеоинформации и др.)

По составу и способу получения магнитотвердые материалы подразделяют на:

а) литые высококоэрцитивные сплавы. Эти материалы имеют основой сплавы железо-никель-алюминий (Fe-Ni-Al) и железо-никель-кобальт (Fe-Ni-Co) и могут быть легированы медью, титаном, кремнием, ниобием. Они являются основными материалами для изготовления постоянных магнитов.

Бескобальтовые сплавы являются дешевыми и не содержат дефицитных металлов, но свойства их не очень высоки. Текстурированные сплавы, содержащие кобальт, имеют высокие магнитные характеристики, но в несколько раз дороже, чем бескобальтовые; их применяют для изготовления малогабаритных магнитных изделий, требующих высоких магнитных свойств и магнитной анизотропии.

б) порошковые магнитотвердые материалы применяют для изготовления миниатюрных постоянных магнитов сложной формы. К ним относят:

1) Металлокерамические магниты изготовляют из измельченных тонкодисперсных порошков сплавов ЮНДК, а также сплавов Cu-Ni-Co, Cu-Ni-Fe с применением прессования и дальнейшего спекания при высоких температурах.

Так как металлокерамические магниты содержат воздушные поры, то их магнитные свойства уступают литым материалам, но механические свойства их выше. Как правило, пористость уменьшает остаточную индукцию B_r и магнитную энергию W_{max} на 10...20% и не влияет на коэрцитивную силу H_c .

2) Металлопластические магниты изготовлять проще, чем металлокерамические, их получают из порошка сплавов ЮНД или ЮНДК, смешанного с порошком диэлектрика (например, фенолформальдегидной смолой). Процесс изготовления магнитов подобен процессу прессования пластмасс и заключается в прессовании смеси под давлением 500 МПа, нагревании заготовок до температуры 120...180°C для полимеризации диэлектрика.

в) магнитотвердые ферриты. Из них наибольшее распространение получили магнитотвердые материалы на основе бариевого и кобальтового феррита.

Бариевые магниты не содержат дефицитных материалов и примерно в 10 раз дешевле магнитов из ЮНДК, они обладают высокой стабильностью при воздействии магнитных полей, вибрации и ударном воздействии, поэтому их можно использовать в магнитных цепях, работающих в высокочастотных полях. К недостаткам бариевых магнитов относятся низкая остаточная индукция, высокая хрупкость и твердость, а также значительная зависимость магнитных свойств от температуры.

Кобальтовые ферриты более температуростабильны.

г) сплавы на основе редкоземельных элементов - интерметаллические соединения кобальта с редкоземельными металлами (РЗМ): церием Ce, самарием Sm, празеодимом Pr, лантаном La и иттрием Y. Они обладают очень

высокими значениями коэрцитивной силы и магнитной энергии. Технология получения магнитов из РЗМ заключается в спекании порошков в присутствии жидкой фазы или литья.. Основные недостатки сплавов - плохие механические свойства (высокая хрупкость), использование дефицитных материалов и высокая стоимость.

д) прочие магнитотвердые материалы к этой группе относят материалы, которые имеют узкоспециальное применение:

1) Пластически деформируемые сплавы, обладают хорошими пластическими свойствами; хорошо поддаются всем видам механической обработки (хорошо штампуются, режутся ножницами, обрабатываются на всех металлорежущих станках); имеют высокую стоимость. Различают сплавы: Кунифе – медь-никель-железо (Cu-Ni-Fe) обладают анизотропностью (намагничиваются в направлении прокатки). Применяются в виде проволоки с малым диаметром и штамповок. Викаллой – кобальт-ванадий (Co-V) получают в виде высокопрочной магнитной ленты и проволоки. Из него изготавливают очень мелкие магниты сложной конфигурации.

2) Эластичные магниты, представляют собой магниты на резиновой основе с наполнителем из мелкого порошка магнитотвердого материала (феррита бария). Они позволяют получать изделия любой формы, которую допускает технология изготовления деталей из резины; имеют высокую технологичность (легко режутся ножницами, штампуются, сгибаются, скручиваются) и невысокую стоимость; их применяют в качестве листов магнитной памяти для ЭВМ, для отклоняющих систем в телевидении, корректирующих систем.

3) Магнитные носители информации при перемещении создают в устройстве считывания информации переменное магнитное поле, которое изменяется во времени так же, как записываемый сигнал. Материалы для магнитных носителей информации представляют собой металлические ленты и проволоку из магнитотвердых материалов, сплошные металлические, биметаллические или пластмассовые ленты и магнитные порошки, которые наносятся на ленты, металлические диски и барабаны, магнитную резину.

4) Жидкие магниты представляют собой жидкость, наполненную мельчайшими частицами магнитотвердого материала. Жидкие магниты на кремнийорганической основе не расслаиваются под действием даже сильных магнитных полей, сохраняют работоспособность в диапазоне температур от -70 до +150°C