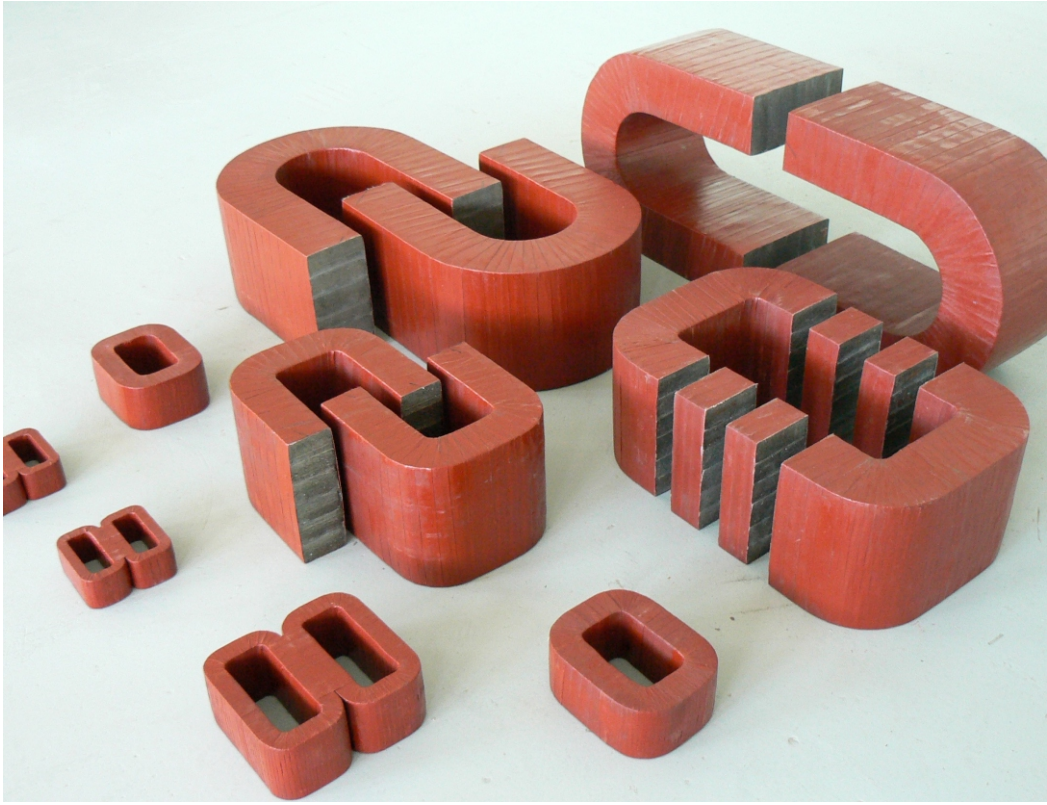


МАГНИТОПРОВОДЫ ГАММАМЕТ





ГАММАМЕТ®

ООО Научно-производственное предприятие
Россия, 620131, Екатеринбург, ул. Татищева 92, офис 1

Почтовый адрес: 620028, г. Екатеринбург, а/я 118
Телефон: (343) 334-38-77, 334-38-78
Производственное подразделение в г. Берёзовском
Телефон: (343) 383-11-47
E-mail: gammamet@ gammamet.ru
Http:// www.gammamet.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Аморфные и нанокристаллические материалы....3
Магнитопроводы ГАММАМЕТ из аморфных и нанокристаллических материалов....4
1 Магнитопроводы в защитном контейнере....5
1.1 Магнитопроводы ГМ414, ГМ501 с высокой начальной магнитной проницаемостью....7
1.2 Магнитопроводы ГМ412А, ГМ440А, ГМ503А, ГМ515А с прямоугольной петлей магнитного гистерезиса....10
1.3 Магнитопроводы ГМ412В, ГМ440В, ГМ503В, ГМ515В с линейной петлей магнитного гистерезиса....13
2 Композиционные магнитопроводы из аморфных и нанокристаллических материалов....17
2.1 Магнитопроводы ГМ14ДС, ГМ11ДС с высокой начальной магнитной проницаемостью....21
2.2 Магнитопроводы ГМ32ДС, ГМ33ДС, ГМ35ДС с прямоугольной петлей магнитного гистерезиса....22
2.3 Магнитопроводы ГМ42ДС, ГМ43ДС, ГМ40ВДС, ГМ45ДС с линейной петлей магнитного гистерезиса....23
2.4 Магнитопроводы ГМ40ДС с повышенной магнитной индукцией насыщения....24
2.5 Магнитопроводы ГМ14С с повышенной механической прочностью....24
3 Композиционные магнитопроводы ГМ 54ДС с фиксированным магнитной проницаемостью 25
4 Сборочные композиционные магнитопроводы ГМ24ДС....27
5 Стержневые композициооные магнитопроводы ГМ14С....31

© 2026 ООО Научно-производственное предприятие “ГАММАМЕТ”

АМОРФНЫЕ И НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Аморфные материалы получают методом быстрого охлаждения расплава с подавлением кристаллизации. В аморфной структуре твердого тела отсутствует дальний порядок в расположении атомов, поэтому без внешних воздействий макроскопические свойства тела являются изотропными, а плавление тела происходит в некотором температурном интервале (отсутствует точка плавления). Ближний порядок в аморфной структуре сохраняется, при этом расположение атомов в трех первых координационных сферах нельзя описать какой-либо кристаллографической системой. Ближний порядок имеет место также в жидкости, но в ней происходит постоянный интенсивный обмен местами между соседними атомами или молекулами, который затрудняется по мере увеличения ее вязкости. Поэтому аморфное твердое тело принято рассматривать как переохлажденную жидкость с очень высоким коэффициентом вязкости. Для фиксирования твердого состояния в переохлажденной жидкости необходима высокая скорость охлаждения. Для сплавов на основе железа, кобальта и никеля критическая скорость охлаждения составляет порядка 10^6 К/с.

Тонкие металлические ленты с аморфной структурой получают из расплава с формированием струи жидкого металла, вытекающего из отверстия в резервуаре, и подачи его на быстродвижущуюся охлаждающую поверхность (рис. 1).

При столкновении с поверхностью струя жидкого металла образует на движущейся поверхности лужу, которая непрерывно пополняется из резервуара. В свою очередь холодная поверхность непрерывно вытягивает из лужи быстрозакаленную ленту. В методе плоской струи стабильность лужи расплава достигается за счет малого (около 0,2 мм) расстояния между соплом и движущейся поверхностью. При малом зазоре существенно снижаются различные возмущения в луже расплава, что позволяет получать аморфную ленту шириной до 300 мм. При термической обработке аморфной микроленты при температуре (400 ± 50) °С, которая обеспечивает получение требуемых магнитных свойств, в материале сораняется аморфная структура.

После кристаллизации с формированием мелких кристаллитов размером (0,1 – 1) мкм происходит катастрофическое ухудшение магнитных свойств материала (рис. 2). С уменьшением размера зерна d примерно до 100 нм, то есть с увеличением плотности дефектов (объемной доли межзеренных границ) коэрцитивная сила растет пропорционально величине $1/d$, . Однако, если в аморфном материале после кристаллизации формируется нанокристаллическое зерно размером менее 100 нм, то достигается резкое снижение коэрцитивной силы. Такие материалы принято называть нанокристаллическими материалами.

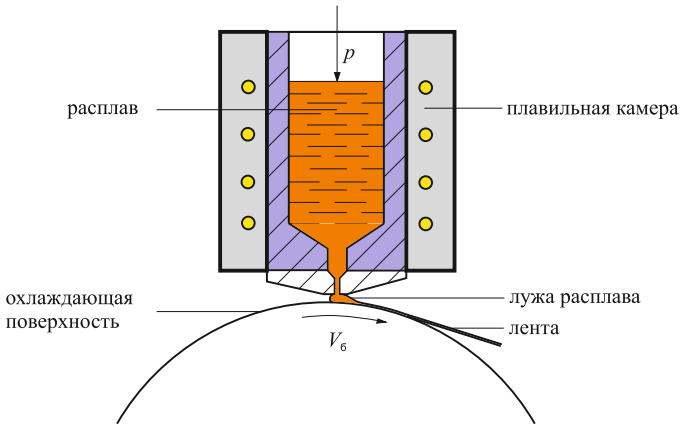


Рис. 1 - Схематическое изображение поперечного разреза устройства для производства аморфной ленты.

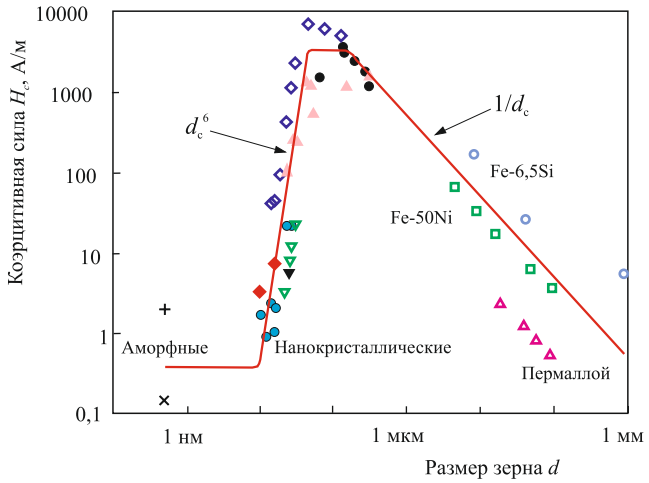


Рис. 2 - Зависимость коэрцитивной силы H_c от размера зерна d в магнитных материалах.

МАГНИТОПРОВОДЫ ГАММАМЕТ ИЗ АМОРФНЫХ И НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

ООО “Научно-производственное предприятие “Гаммамет” создано 23 мая 1991 года и является одним из ведущих предприятий Российской Федерации по производству аморфных и нанокристаллических магнито-мягких материалов. Предприятие обладает полным циклом производства от выплавки сплавов и разливки ленты до изготовления магнитопроводов и электро-магнитных изделий на их основе. Аморфную ленту с номинальной толщиной 22 мкм производят из сплавов на основе железа ГМ 414, ГМ 415, ГМ 412, ГМ 440 и на основе кобальта ГМ 501, ГМ 503, ГМ 515.

Для достижения оптимальных магнитных свойств магнитопроводы подвергают термической обработке. После термической обработки магнитопроводов из сплавов ГМ 440, ГМ 501, ГМ 503, ГМ 515 структура ленты остается аморфной, а из сплавов М 414, ГМ 415, ГМ 412 преобразуется в нанокристаллическую структуру. Типичные магнитные свойства кольцевых замкнутых магнитопроводов после термической обработки представлены в таблице 1. Буква А обозначает термическую обработку в продольном магнитном поле, В - в поперечном магнитном поле, без буквы - в отсутствии магнитного поля.

Таблица 1 – Типичные магнитные свойства аморфной ленты после термической обработки

Тип материала	B_{800}, Тл	$\mu_{0,08}$	μ_{max}	$K_{п800}$ ($*K_{п10}$)	H_c, А/м	$P_{0,2/20}$, Вт/кг	T_C, °С	Плотность, кг/м^3
ГМ 501	0,43	150000	600000	0,6	0,15	3,6	150	7700
ГМ 414	1,17	60000	300000	0,6	0,8	4,5	600	7400
ГМ 415	1,27	50000	250000	0,6	1,0	5,0	600	7400
ГМ 503А	0,58	5000	1500000	0,92*	0,2	8,5	260	7700
ГМ 412А	1,17	10000	600000	0,90*	1,2	10	610	7400
ГМ 440А	1,50	1000	200000	0,90	4,0	30	420	7300
ГМ 515А	0,95	150	250000	0,94	1,5	60	500	7900
ГМ 503В	0,58	40000	50000	0,03	0,25	2,6	260	7700
ГМ 412В	1,17	30000	45000	0,07	1,2	3,0	610	7400
ГМ 440В	1,5	8000	20000	0,06	4,0	8,0	420	7300
ГМ 515В	0,95	1500	1550	<0,01	1,5	12	500	7900

В таблице 1 использованы следующие обозначения: $\mu_{0,08}$ – относительная магнитная проницаемость при напряженности магнитного поля 0,08 А/м; H_c – коэрцитивная сила; B_{800} – магнитная индукция при напряженности магнитного поля 800 А/м; $K_{п800}$ ($K_{п10}$) – коэффициент прямоугольности петли магнитного гистерезиса при напряженности магнитного поля 800 (10) А/м; $P_{0,2/20}$ – удельные магнитные потери при максимальной магнитной индукции 0,2 Тл и частоте 20 кГц; T_c - температура Кюри.

В электротехнических расчетах необходимо учитывать коэффициент заполнения магнитопровода магнитным материалом, номинальное значение которого равно 0,7.

1 МАГНИТОПРОВОДЫ В ЗАЩИТНОМ КОНТЕЙНЕРЕ

В соответствии с ТУ 1261-030-12287107-2007 магнитопровод (магнитная система) размещается в защитном контейнере и закрепляется в нем демпфирующим заполнителем. На рис. 3 схематически представлен поперечный разрез магнитопровода в защитном контейнере. Магнитопроводы изготавливаются из ленты магнитомягких аморфных или нанокристаллических сплавов с номинальной толщиной 22 мкм. Магнитопроводы поставляются после термической обработки, после которой формируются гарантированные магнитные свойства. Магнитопроводы в защитном контейнере могут применяться взамен ферритов, прецизионных сплавов и электротехнической стали на частоте до 1 МГц.

На рис. 4 приведена структура условного обозначения магнитопровода в защитном контейнере. Гарантированные свойства магнитопроводов при температуре (25±10)°С должны соответствовать требованиям таблицы 1.



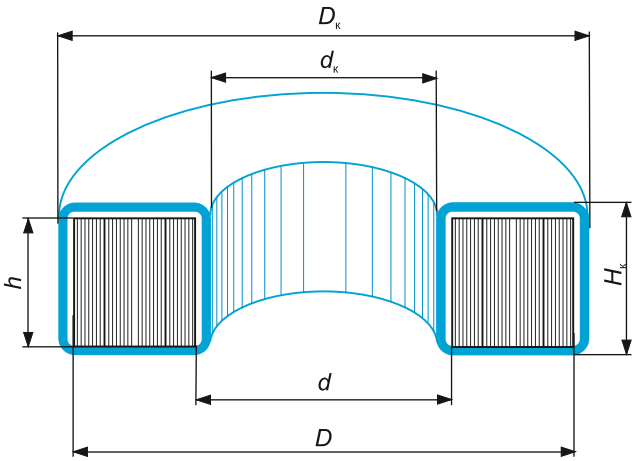


Рис. 3 - Поперечный разрез магнитопровода в защитном контейнере.

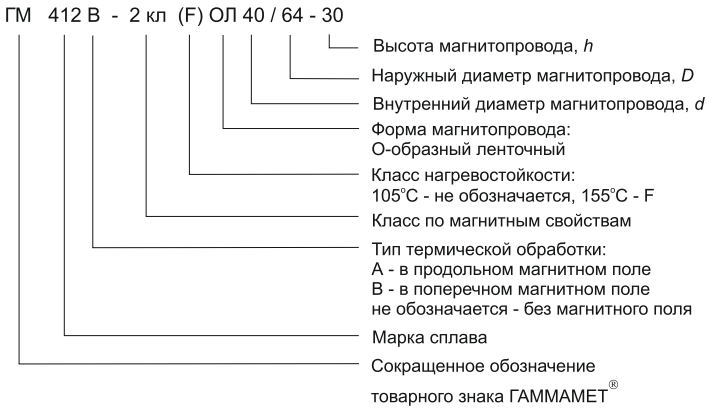


Рис. 4 - Структура условного обозначения магнитопровода в защитном контейнере.

В соответствии с ТУ 1261-030-12287107-2007 гарантированные магнитные свойства магнитопроводов в защитном контейнере при температуре (25±10)°С должны соответствовать требованиям таблицы 2.

Предпочтительные размеры магнитопроводов: внутренний диаметр не менее 10 мм, наружный диаметр не более 1000 мм, высота кратная 5 мм. Наружный диаметр магнитопроводов ГМ 503В и ГМ 440В не превышает 390 мм, а ГМ 515В - не более 160 мм. Допускается изготавливать магнитопроводы из отдельных деталей меньшей высоты.

Размеры магнитопровода регламентируются размерами защитного контейнера, при этом магнитопровод должен свободно размещаться в защитном контейнере и не перемещаться внутри него. В таблице 3 приведены номинальные размеры стандартных пластмассовых защитных контейнеров, а в таблице 4 - размеры и допуски нестандартных защитных контейнеров в зависимости от диаметра и высоты магнитопровода.

Таблица 2 – Магнитные свойства магнитопроводов в защитном контейнере, гарантируемые техническими условиями ТУ 1261-030-12287107-2007.

Тип магнитопровода	Класс по магнитным свойствам	$\mu_{0,08}$ не менее	H_c, А/м не более	B_{800}, Тл, не менее	$K_{п800}$	$K_{п10}$, не менее
ГМ 501	1	100000	0,40	0,40	–	–
ГМ 414	2	45000	2,0	1,15	–	–
ГМ 503А	–	–	0,6	0,55	–	0,90
ГМ 412А	–	–	2,0	1,15	–	0,80
ГМ 440А	–	–	8,0	1,45	0,80 не менее	–
ГМ 515А	–	–	3,0	0,90	0,90 не менее	–
ГМ 503В	2	30000	0,6	0,55	0,1 не более	–
ГМ 412В	2	20000	2,0	1,15	0,15 не более	–
ГМ 440В	–	–	8,0	1,45	0,15 не более	–
ГМ 515В	–	–	3,0	0,90	0,05 не более	–

Таблица 3 – Геометрические размеры стандартного пластмассового защитного контейнера.

Типоразмер магнитопровода	Номинальные размеры защитного контейнера		
	$h_к$, мм	$D_к$, мм	$d_к$, мм
ОЛ15/25-10	13,5	29,0	12,5
ОЛ20/32-10	13,5	34,0	17,5
ОЛ28/45-10	15,0	50,0	23,3
ОЛ40/64-10	15,0	69,5	36,3
ОЛ40/64-20	26,0	69,5	36,3
ОЛ40/64-30	36,5	69,5	36,3

Таблица 4 – Геометрические размеры нестандартного защитного контейнера.

Наружный диаметр магнитопровода D, мм	Наружный диаметр защитного контейнера $D_к$, мм	Внутренний диаметр защитного контейнера $d_к$, мм	Высота защитного контейнера $h_к$, мм
менее 200	D + 5	d – 5	h + 5
201 – 300	D + 6	d – 6	h + 5
301 – 400	D + 7	d – 7	h + 9
401 – 450	D + 9	d – 9	h + 9
451 – 500	D + 9	d – 9	h + 9
501 – 600	D + 10	d – 10	h + 11
601 – 700	D + 11	d – 11	h + 11

©ГАММАМЕТ

Магнитопроводы в защитном контейнере безотказны в работе при соблюдении требований технических условий в течение всего срока службы. Срок службы магнитопроводов составляет 30 лет.

Изготовитель гарантирует соответствие магнитопроводов в защитном контейнере требованиям технических условий при соблюдении условий эксплуатации, транспортирования и хранения, установленными техническими условиями. Гарантийный срок хранения магнитопроводов 15 лет со дня изготовления. Гарантийный срок эксплуатации магнитопроводов 6 лет со дня ввода в эксплуатацию в пределах гарантийного срока хранения.

При заказе и в документации других изделий условное обозначение магнитопровода в защитном контейнере должно содержать обозначение типа, типоразмера по ГОСТ 24011 и обозначение настоящих технических условий. Например, магнитопровод ленточный кольцевой в защитном контейнере ГАММАМЕТ 412В, 2 класс по магнитным свойствам, класс нагревостойкости А (105°С), имеющий внутренний диаметр 40 мм, наружный диаметр 64 мм, высоту 30 мм по ТУ 1261-030-12287107-2007 имеет условное обозначение “магнитопровод ГМ 412В – 2кл ОЛ40/64-30 ТУ 1261-030-12287107-2007”. Этот же магнитопровод класса нагревостойкости F (155°С) имеет условное обозначение “магнитопровод ГМ 412В – 2кл (F) ОЛ40/64-30 ТУ 1261-030-12287107-2007”.

При эксплуатации магнитопроводов в защитном контейнере следует соблюдать следующие рекомендации. При нанесении обмотки на защитный контейнер натяжение провода регулируется так, чтобы не допустить ухудшение магнитных свойств за пределы требований гарантируемых техническими условиями.

Конструкция защитного контейнера не удовлетворяет требованию герметичности. Поэтому необходима корректировка режима пропитки трансформатора или дополнительная изоляция защитного контейнера, чтобы исключить попадание лака на магнитопровод.

Температурный режим сушки трансформаторов должен соответствовать заданному классу нагревостойкости магнитопровода.

1.1 МАГНИТОПРОВОДЫ ГМ414, ГМ501 С ВЫСОКОЙ НАЧАЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ

Магнитопроводы изготавливаются из аморфной ленты толщиной 22 мкм. Высокую начальную магнитную проницаемость имеют магнитопроводы из аморфного сплава на основе кобальта ГМ 501 и магнитопроводы из нанокристаллического сплава на основе железа ГМ 414.

Магнитопроводы используются в измерительных трансформаторах тока и напряжения, в дифференциальных трансформаторах, согласующих трансформаторах, устройствах защитного отключения и высокочувствительных датчиках при частоте до 200 кГц.

Типичные физические свойства ГМ 414

Магнитная индукция B_{800}	**1,17 Тл**
Коэффициент прямоугольности B_r/B_{800}	**0,6**
Коэрцитивная сила	**0,8 А/м**
Начальная относительная магнитная проницаемость	**60000**
Максимальная относительная магнитная проницаемость	**300000**
Магнитострикция насыщения	**$1{,}5\cdot10^{-6}$**
Температура Кюри	**600°С**
Плотность	**7400 кг/м^3**
Удельное электросопротивление	**$1{,}25\cdot10^{-6}$ Ом·м**
Удельные магнитные потери P (Вт/кг) для частоты 3-200 кГц	
$P = 5{,}5\cdot10^{-6} f^{1{,}7} B_m^2$ (2класс)	

Магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц).

Типичные физические свойства ГМ 501

Магнитная индукция B_{800}	**0,43 Тл**
Коэффициент прямоугольности B_r/B_{800}	**0,6**
Коэрцитивная сила	**0,15 А/м**
Начальная относительная магнитная проницаемость	**150000**
Максимальная относительная магнитная проницаемость	**600000**
Магнитострикция насыщения	**$<0{,}2\cdot10^{-6}$**
Температура Кюри	**150°С**
Температура кристаллизации	**570°С**
Плотность	**7700 кг/м^3**
Удельное электросопротивление	**$1{,}4\cdot10^{-6}$ Ом·м**
Удельные магнитные потери P (Вт/кг) для частоты 10-200 кГц	
$P = 4{,}4\cdot10^{-6} f^{1{,}7} B_m^2$ (1класс)	

Магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц).

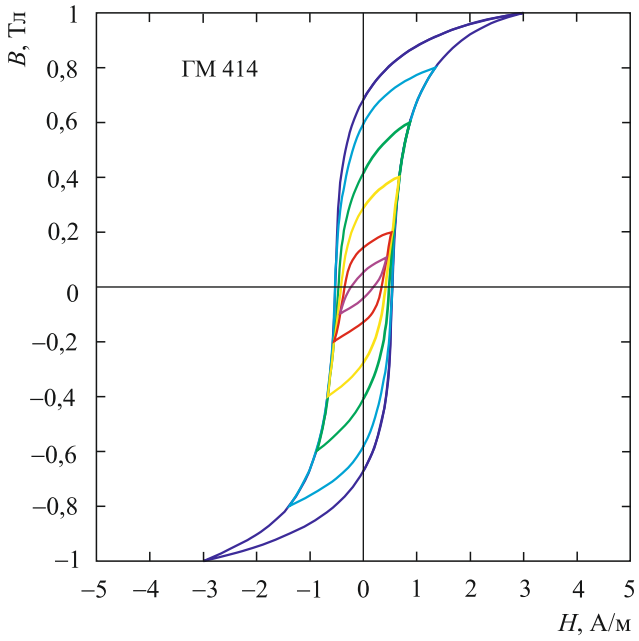


Рис. 5 - Семейство статических петель магнитного гистерезиса магнитопровода ГМ 414 .

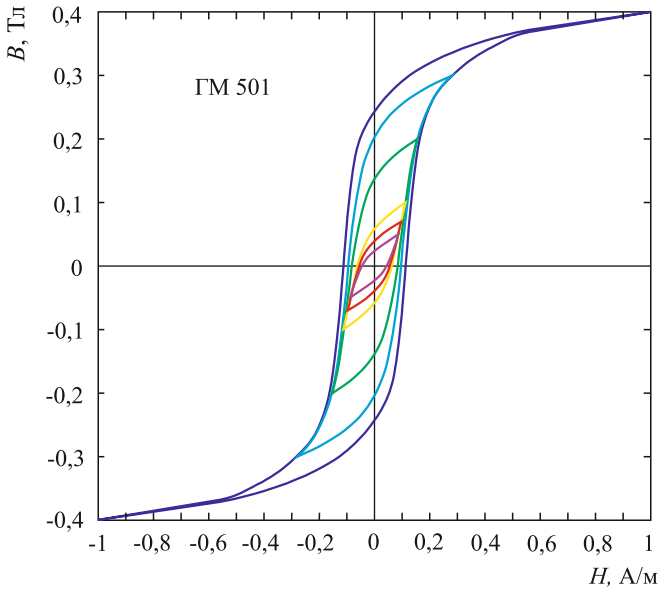


Рис. 6 - Семейство статических петель магнитного гистерезиса магнитопровода ГМ 501 .

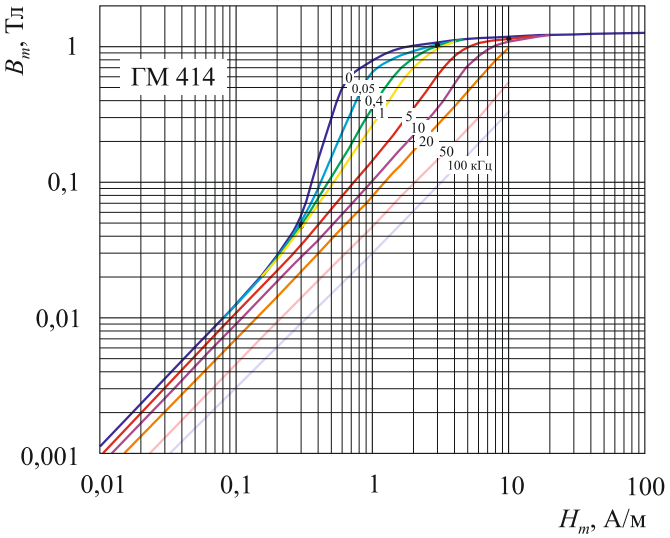


Рис. 7 - Динамические кривые намагничивания магнитопровода ГМ 414 .

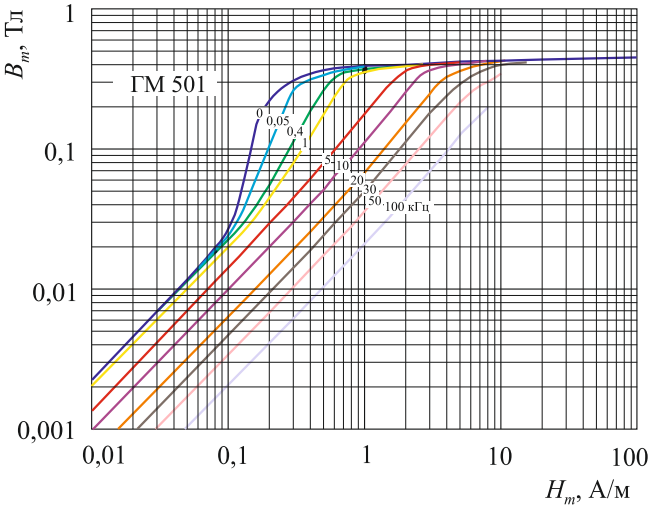


Рис. 8 - Динамические кривые намагничивания магнитопровода ГМ 501 .

Магнитопроводы в защитном контейнере ГМ 414 и ГМ 501 используются для изготовления высокоточных измерительных трансформаторов тока, работающих на промышленной частоты 50 Гц. Чем выше магнитная проницаемость материала магнитопровода, тем меньше погрешность измерения.

Магнитопроводы ГМ 414 и ГМ 501, используемые в трансформаторах тока, проходят приемку на соответствие кривой намагничивания на частоте 50 Гц.

На рис. 9 - 12 приведены зависимости угла потерь δ и действующей напряженности магнитного поля H от максимальной магнитной индукции B_m для магнитопроводов ГМ 414 и ГМ 501 на частоте 50 Гц.

В соответствии с ТУ 1261-030-12287107-2007 все точки кривой намагничивания на частоте 50 Гц должны быть не ниже точек, представленных в таблице 5.

©ГАММАМЕТ

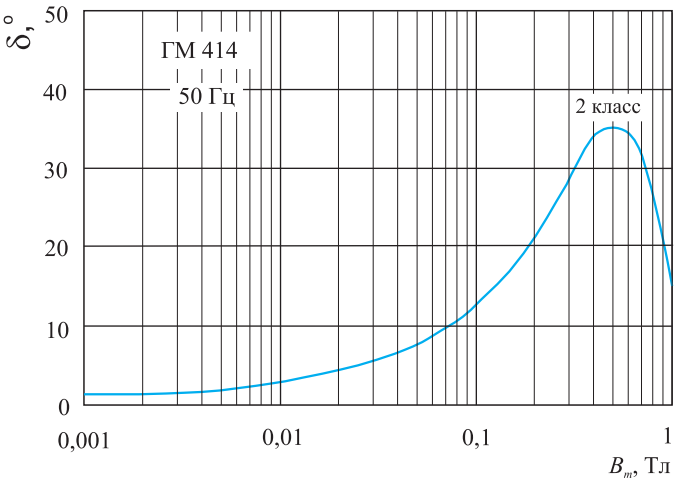


Рис. 9 - Зависимость угла потерь δ от максимальной магнитной индукции B_m магнитопроводов ГМ 414 на частоте 50 Гц.

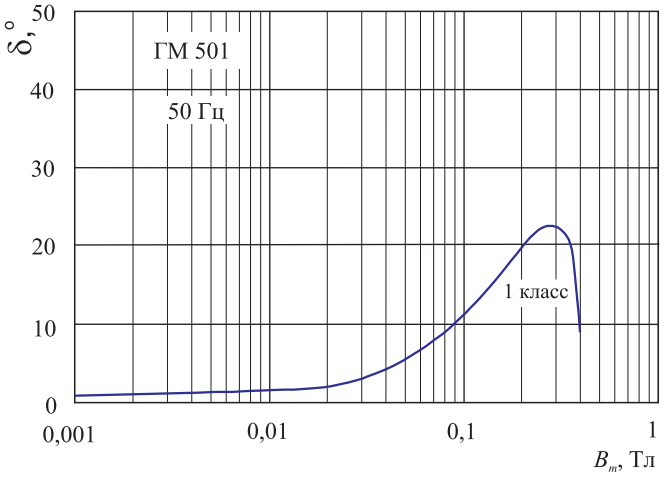


Рис. 10 - Зависимость угла потерь δ от максимальной магнитной индукции B_m магнитопроводов ГМ 501 на частоте 50 Гц.

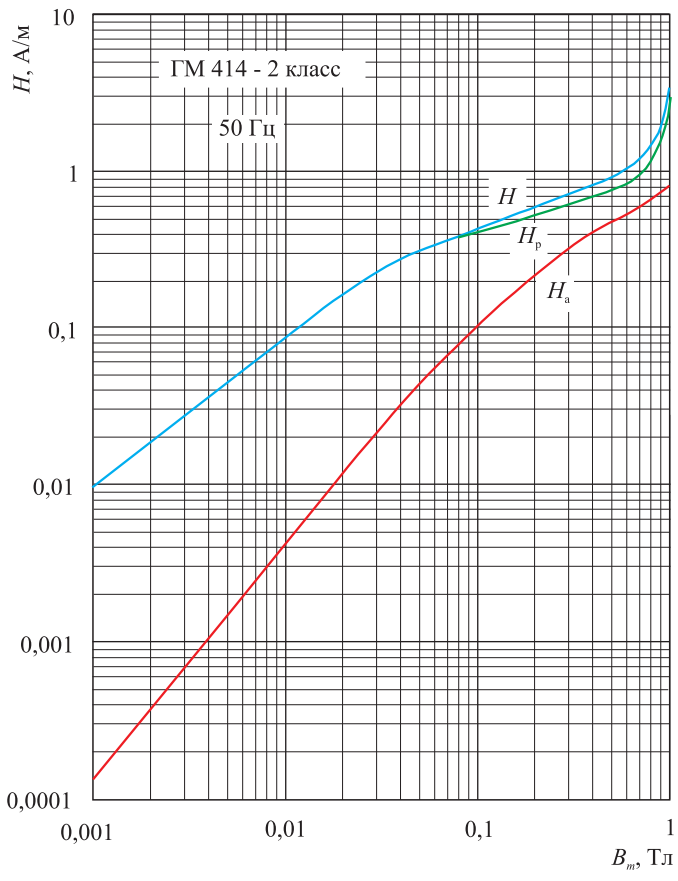


Рис. 11 - Зависимость действующей напряженности магнитного поля H от максимальной магнитной индукции B_m для магнитопроводов ГМ 414 - 2 класс на частоте 50 Гц.

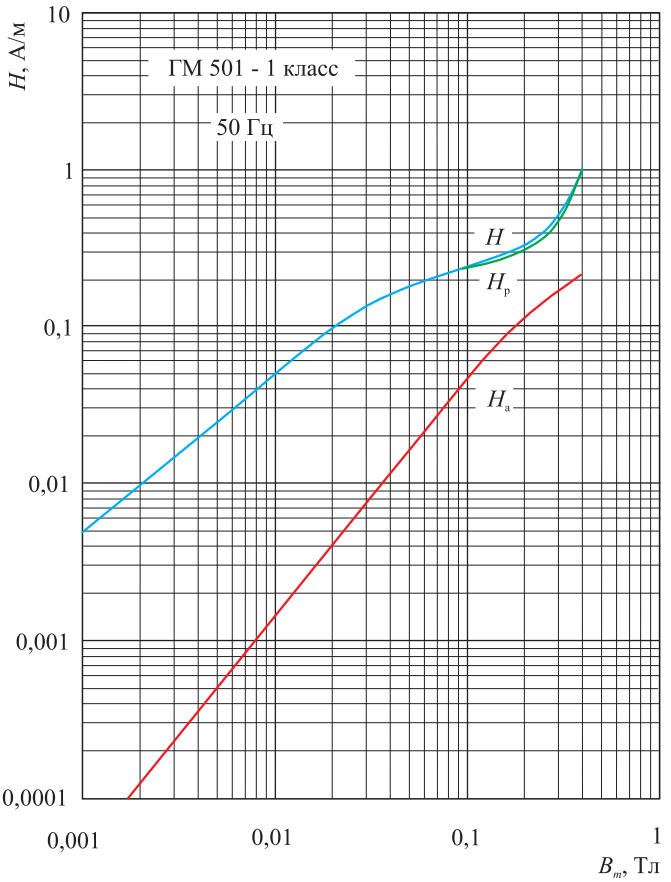


Рис. 12 - Зависимость действующей напряженности магнитного поля H от максимальной магнитной индукции B_m для магнитопроводов ГМ 501 - 1 класс на частоте 50 Гц.

Таблица 5 – Гарантированные кривые намагничивания магнитопроводов ГМ 414 и ГМ 501 на частоте 50 Гц.

Магнитопровод ГМ 414			Магнитопровод ГМ 501		
B_m, Тл	H_m, А/м	$\mu = B_m/\mu_0 H_m$	B_m, Тл	H_m, А/м	$\mu = B_m/\mu_0 H_m$
0,0005	0,01	40000	0,001	0,008	99500
0,001	0,0186	42800	0,002	0,016	99500
0,002	0,0363	43800	0,003	0,024	99500
0,003	0,054	44200	0,005	0,039	102000
0,0045	0,0796	45000	0,007	0,054	103000
0,005	0,088	45200	0,01	0,075	106000
0,007	0,122	45600	0,02	0,14	114000
0,01	0,173	46000	0,03	0,20	119400
0,015	0,251	47600	0,05	0,27	147400
0,02	0,324	49100	0,07	0,316	176300
0,025	0,4	49700	0,1	0,363	219200
0,03	0,468	51000	0,15	0,44	271200
0,05	0,62	64200	0,2	0,50	318300
0,07	0,708	78700	0,25	0,59	337200
0,10	0,81	98200	0,3	0,71	336200
0,2	1,1	144700	–	–	–
0,3	1,32	181000	–	–	–
0,4	1,48	215000	–	–	–
0,5	1,7	234000	–	–	–
0,6	2,0	239000	–	–	–
0,7	2,45	227000	–	–	–
0,8	3,02	211000	–	–	–
0,9	3,98	180000	–	–	–

1.2 МАГНИТОПРОВОДЫ ГМ412А, ГМ440А, ГМ503А, ГМ515А С ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЕТЛЕЙ МАГНИТНОГО ГИСТЕРЕЗИСА

Прямоугольную петлю магнитного гистерезиса магнитопроводы получают в результате термической обработки в продольном магнитном поле.

Типичные физические свойства ГМ 503А

Магнитная индукция B_{800}	**0,58 Тл**
Коэффициент прямоугольности B_r/B_{10}	**0,92**
Максимальная относительная магнитная проницаемость	**1500000**
Коэрцитивная сила	**0,2 А/м**
Магнитострикция насыщения	**$<0{,}2\cdot10^{-6}$**
Температура Кюри	**260°С**
Температура кристаллизации	**530°С**
Плотность	**7700 кг/м^3**
Удельное электросопротивление	**$1{,}2\cdot10^{-6}$ Ом·м**
Удельные магнитные потери P (Вт/кг) для частоты 3-200 кГц	

$P = 9\cdot10^{-5} f^{1,4} B_m^{1,5}$

Магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц).

На рис. 13 представлена статическая петля магнитного гистерезиса магнитопровода ГМ 503А после термической обработки в продольном магнитном поле, а на рис. 15 - динамические кривые намагничивания.

Магнитопроводы используются в импульсных трансформаторах, насыщающихся реакторах и магнитных усилителях.

Типичные физические свойства ГМ 515А

Магнитная индукция B_{800}	**0,95 Тл**
Коэффициент прямоугольности B_r/B_{800}	**0,94**
Максимальная относительная магнитная проницаемость	**250000**
Коэрцитивная сила	**1,5 А/м**
Магнитострикция насыщения	**$<0{,}2\cdot10^{-6}$**
Температура Кюри	**500°С**
Температура кристаллизации	**420°С**
Плотность	**7900 кг/м^3**
Удельное электросопротивление	**$1{,}3\cdot10^{-6}$ Ом·м**
Удельные магнитные потери P (Вт/кг) для частоты 3-200 кГц	

$P = 4{,}6\cdot10^{-4} f^{1,4} B_m^{1,3}$

Магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц).

На рис. 14 представлена статическая петля магнитного гистерезиса магнитопровода ГМ 515А после термической обработки в продольном магнитном поле, а на рис. 16 - динамические кривые намагничивания.

©ГАММАМЕТ

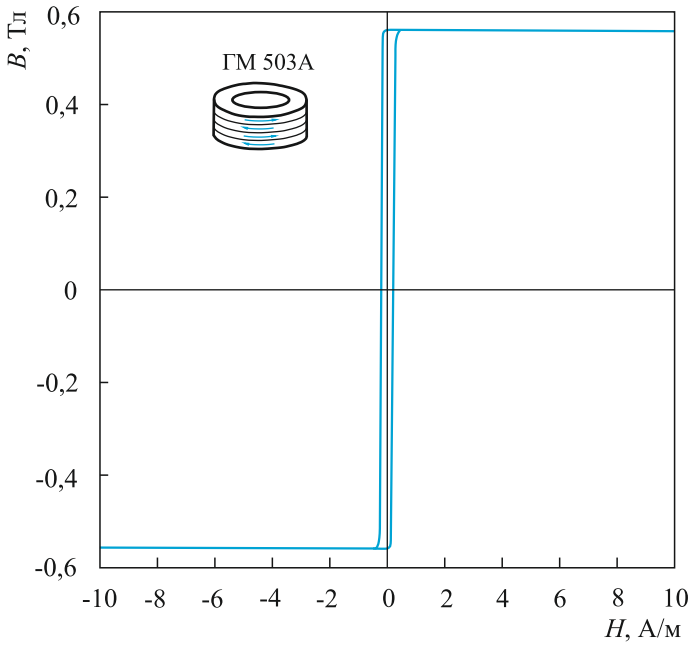


Рис. 13 - Статическая петля магнитного гистерезиса магнитопровода ГМ 503А после термической обработки в продольном магнитном поле.

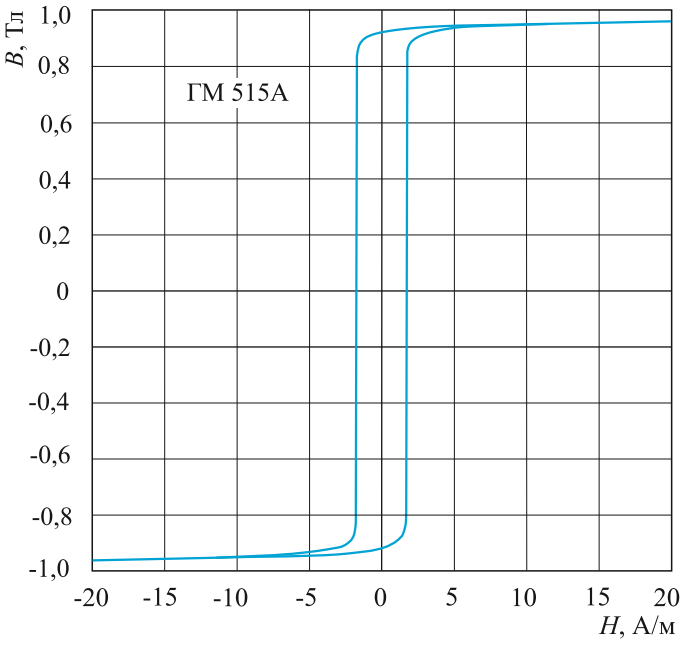


Рис. 14 - Статическая петля магнитного гистерезиса магнитопровода ГМ 515А, после термической обработки в продольном магнитном поле.

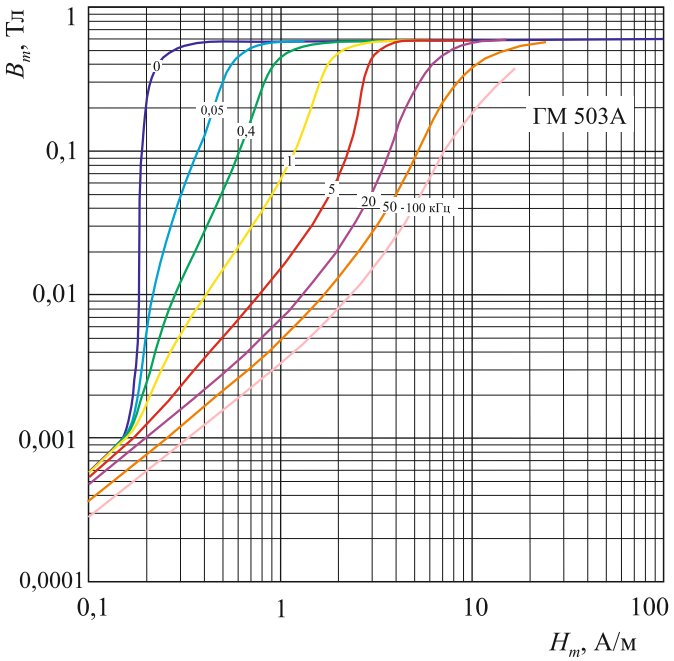


Рис. 15 - Динамические кривые намагничивания магнитопровода ГМ 503А.

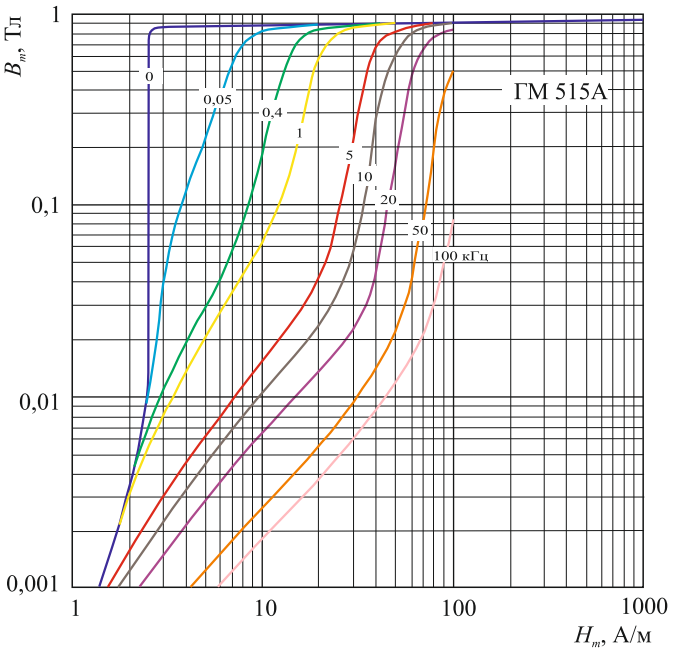


Рис. 16 - Динамические кривые намагничивания магнитопровода ГМ 515А.

Типичные физические свойства ГМ 412А

Магнитная индукция B_{800}	**1,17 Тл**
Коэффициент прямоугольности B_r/B_{10}	**0,9**
Максимальная относительная магнитная проницаемость	**600000**
Коэрцитивная сила	**1,2 А/м**
Магнитострикция насыщения	**$1{,}5\cdot10^{-6}$**
Температура Кюри	**610°С**
Температура кристаллизации	**530°С**
Плотность	**7400 кг/м^3**
Удельное электросопротивление	**$1{,}25\cdot10^{-6}$ Ом·м**

Удельные магнитные потери

P (Вт/кг) для частоты 3-200 кГц

$P = 5\cdot10^{-5} f^{1,5} B_m^{1,65}$

Магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц).

Магнитопроводы ГМ 412А изготавливаются из нанокристаллического магнитомягкого сплава. Прямоугольная петля магнитного гистерезиса получается в результате отжига в продольном магнитном поле. На рис. 17 представлена статическая петля магнитного гистерезиса магнитопровода ГМ 412А после термической обработки в продольном магнитном поле. На рис. 19 нанесены динамические кривые намагничивания ГМ 412А.

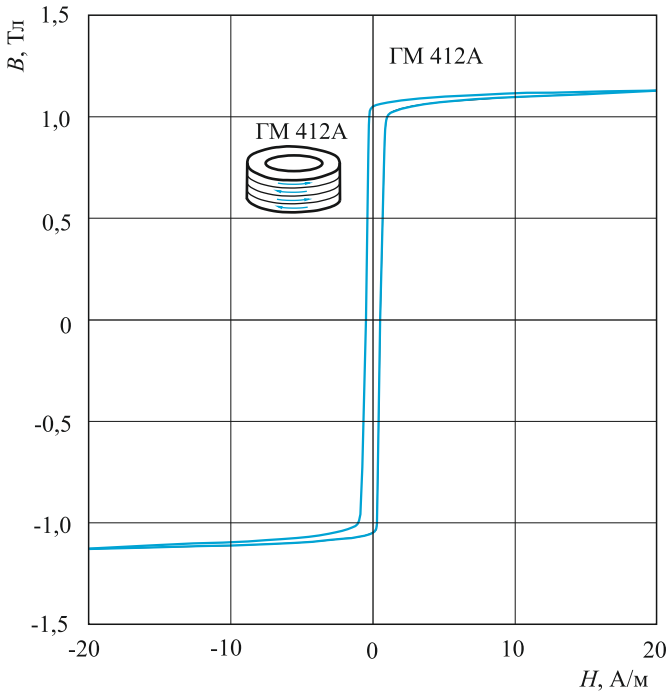


Рис. 17 - Статическая петля магнитного гистерезиса магнитопровода ГМ 412А из нанокристаллического сплава на основе железа после термической обработки в продольном магнитном поле.

Типичные физические свойства ГМ 440А

Магнитная индукция B_{800}	**1,5 Тл**
Коэффициент прямоугольности B_r/B_{800}	**0,9**
Коэрцитивная сила	**4 А/м**
Магнитострикция насыщения	**$25\cdot10^{-6}$**
Температура Кюри	**420°С**
Температура кристаллизации	**540°С**
Плотность	**7300 кг/м^3**
Удельное электросопротивление	**$1{,}3\cdot10^{-6}$ Ом·м**

Удельные магнитные потери

P (Вт/кг) для частоты 3-200 кГц и $B_m < 0{,}1$ Тл

$P = 2{,}8\cdot10^{-4} f^{1,5} B_m^{1,85}$,

для частоты 3-200 кГц и $B_m > 0{,}1$ Тл

$P = 10^{-4} f^{1,5} B_m^{1,4}$,

для частоты менее 3 кГц

$P = 2{,}2\cdot10^{-4} f^{1,4} B_m^{1,65}$.

Магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц).

Магнитопроводы ГМ 440А подвергаются отжигу в продольном магнитном поле. Они имеют наиболее высокую магнитную индукцию насыщения и низкую магнитострикцию вдоль оси легкого намагничивания, наводимую в процессе термомагнитной обработки. Поэтому основная частотная область применения 0,05 - 10 кГц. На рис. 18 показана статическая петля магнитного гистерезиса, а на рис. 20 - динамические кривые намагничивания ГМ 440А.

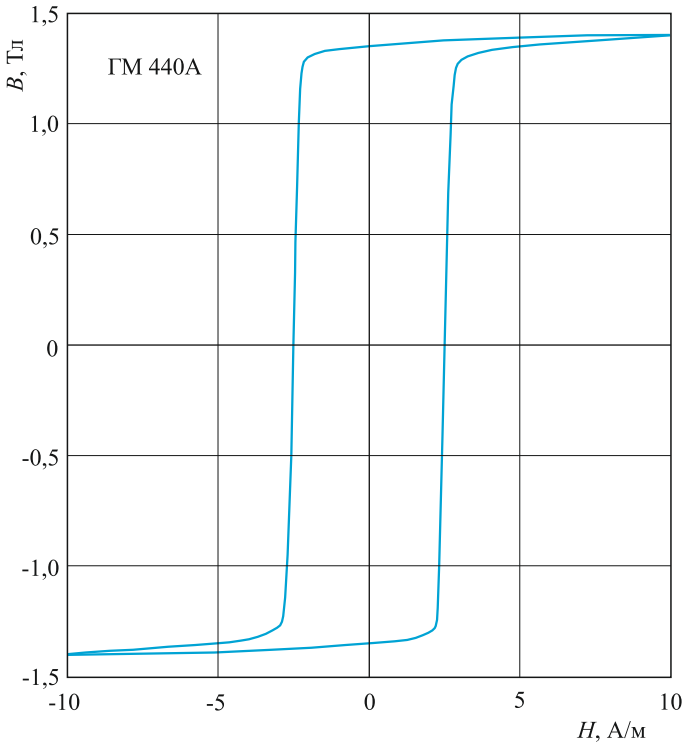


Рис. 18 - Статическая петля магнитного гистерезиса магнитопровода ГМ 440А.

©ГАММАМЕТ

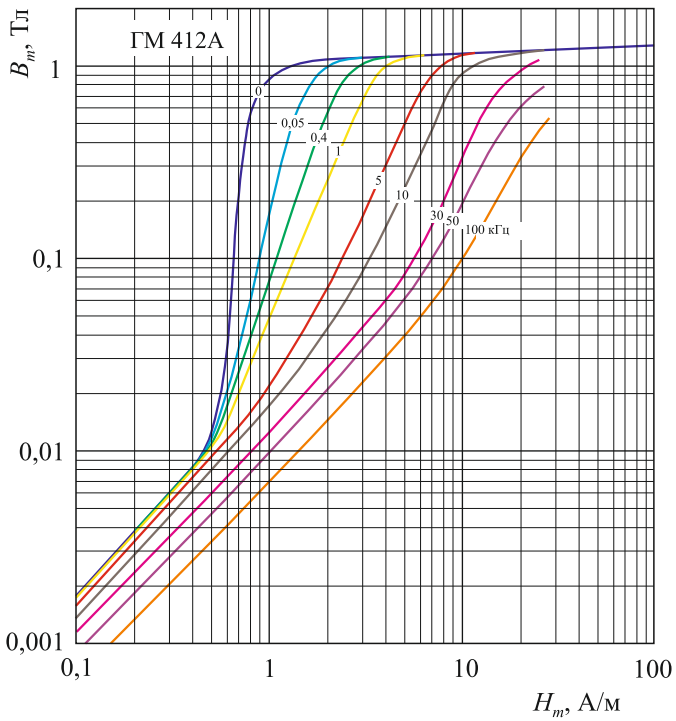


Рис. 19 - Динамические кривые намагничивания магнитопровода ГМ 412А.

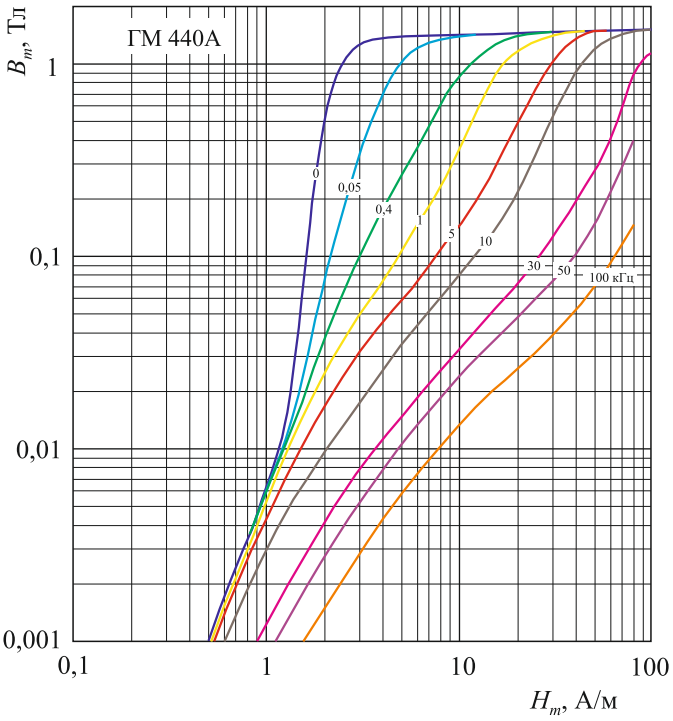


Рис. 20 - Динамические кривые намагничивания магнитопровода ГМ 440А.

1.3 МАГНИТОПРОВОДЫ ГМ412В, ГМ440В, ГМ503В, ГМ515В С ЛИНЕЙНОЙ ПЕТЛЕЙ МАГНИТНОГО ГИСТЕРЕЗИСА

Линейную петлю магнитного гистерезиса магнитопроводы получают в результате термической обработки в поперечном магнитном поле.

Магнитопроводы с линейной петлей магнитного гистерезиса используются в импульсных трансформаторах, согласующих трансформаторах, широкополосных трансформаторах, а также в измерительных трансформаторах тока при наличии постоянной составляющей.

Типичные физические свойства ГМ 503В

Магнитная индукция B_{800}	**0,58 Тл**
Коэффициент прямоугольности B_r/B_{800}	**0,03**
Начальная относительная магнитная проницаемость	**40000**
Максимальная относительная магнитная проницаемость	**50000**
Коэрцитивная сила	**0,25 А/м**
Магнитострикция насыщения	**$<0{,}2\cdot10^{-6}$**
Температура Кюри	**260°С**
Температура кристаллизации	**530°С**
Плотность	**7700 кг/м^3**
Удельное электросопротивление	**$1{,}2\cdot10^{-6}$ Ом·м**
Удельные магнитные потери	
P (Вт/кг) для частоты 3-200 кГц	
$P = 7{,}5\cdot10^{-7} f^{1,85} B_m^{2,03}$	

Магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц).

Типичные физические свойства ГМ 515 В

Магнитная индукция B_{800}	**0,95 Тл**
Коэффициент прямоугольности B_r/B_{800}	**<0,01**
Начальная относительная магнитная проницаемость	**1500**
Максимальная относительная магнитная проницаемость	**1550**
Коэрцитивная сила	**1,5 А/м**
Магнитострикция насыщения	**$<0{,}2\cdot10^{-6}$**
Температура Кюри	**500°С**
Температура кристаллизации	**420°С**
Плотность	**7900 кг/м^3**
Удельное электросопротивление	**$1{,}3\cdot10^{-6}$ Ом·м**
Удельные магнитные потери	
P (Вт/кг) для частоты 3-200 кГц	
$P = 5{,}4\cdot10^{-6} f^{1,8} B_m^{2}$	

Магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц).

На рис. 21 представлена статическая петля магнитного гистерезиса ГМ 503В после термомагнитной обработки в поперечном магнитном поле. На рис. 23 показаны частотные зависимости относительной магнитной проницаемости магнитопровода ГМ 503В для разной максимальной магнитной индукции B_m. Рисунок демонстрирует незначительное различие магнитной проницаемости при разной максимальной магнитной индукции B_m.

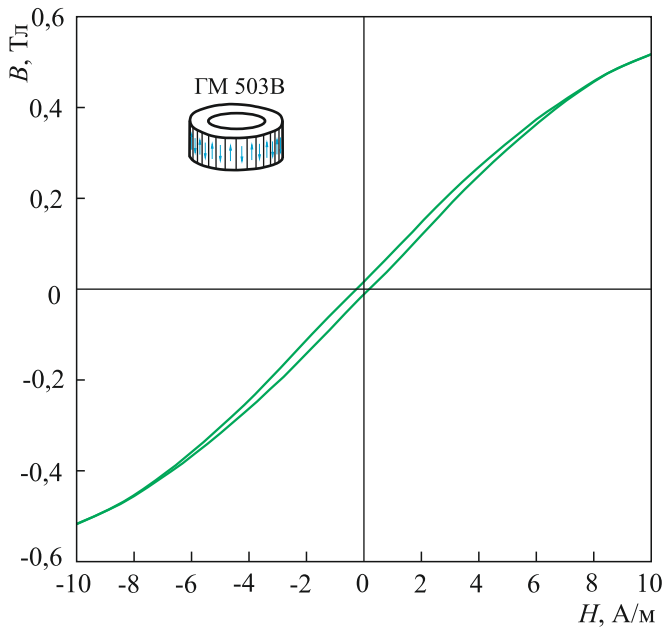


Рис. 21 - Статическая петля магнитного гистерезиса магнитопровода ГМ 503В.

На рис. 22 представлена статическая петля магнитного гистерезиса магнитопровода ГМ 515В. Магнитопроводы ГМ 515В обладают наиболее низким коэффициентом прямоугольности петли магнитного гистерезиса, а магнитная проницаемость постоянна в широкой частотной области, рис. 24.

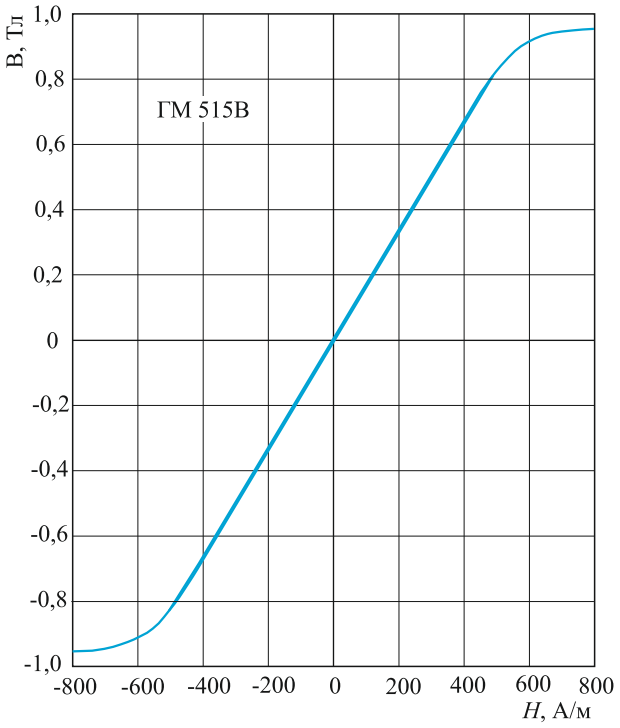


Рис. 22 - Статическая петля магнитного гистерезиса магнитопровода ГМ 515В.

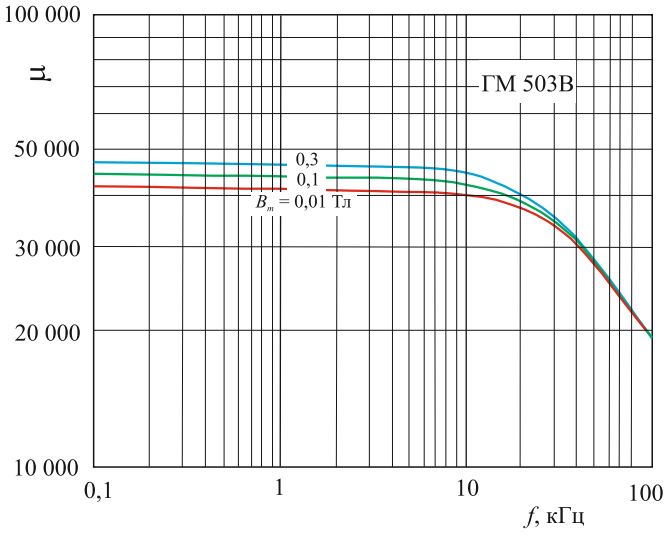


Рис. 23 - Частотные зависимости относительной магнитной проницаемости магнитопровода ГМ 503В для разной максимальной магнитной индукции B_m.

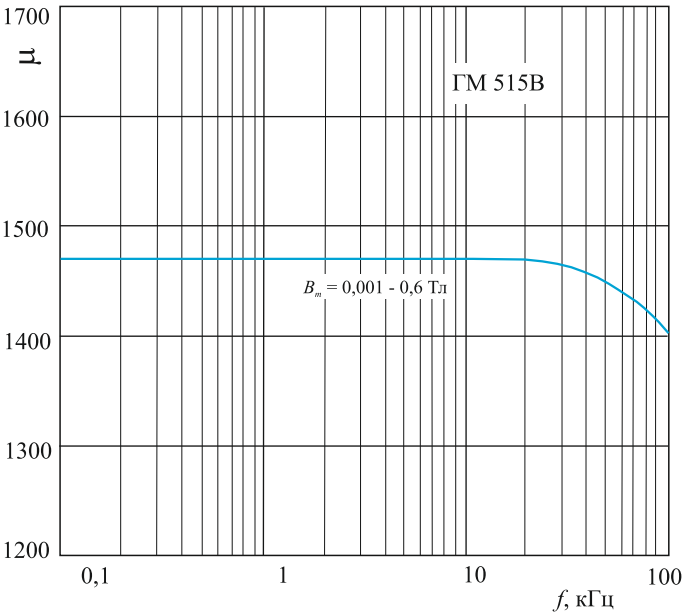


Рис. 24 - Частотные зависимости относительной магнитной проницаемости магнитопровода ГМ 515В.

©ГАММАМЕТ

Типичные физические свойства ГМ 412В

Магнитная индукция B_{800}	**1,17 Тл**
Коэффициент прямоугольности B_r/B_{800}	**0,07**
Начальная относительная магнитная проницаемость	**30000**
Максимальная относительная магнитная проницаемость	**45000**
Коэрцитивная сила	**1,2 А/м**
Магнитострикция насыщения	**$1{,}5\cdot10^{-6}$**
Температура Кюри	**610°С**
Температура кристаллизации	**530°С**
Плотность	**7400 кг/м^3**
Удельное электросопротивление	**$1{,}25\cdot10^{-6}$ Ом·м**
Удельные магнитные потери	
P (Вт/кг) для частоты 3-200 кГц	
$P = 3{,}3\cdot10^{-6} f^{1,7} B_m^{2,05}$	

Магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц).

На рис. 25 показана статическая петля магнитного гистерезиса магнитопровода ГМ 412В, на рис. 27 - динамические кривые намагничивания, а на рис. 29 - частотные зависимости магнитной проницаемости.

Типичные физические свойства ГМ 440В

Магнитная индукция B_{800}	**1,5 Тл**
Коэффициент прямоугольности B_r/B_{800}	**0,06**
Начальная относительная магнитная проницаемость	**8000**
Максимальная относительная магнитная проницаемость	**20000**
Коэрцитивная сила	**4 А/м**
Магнитострикция насыщения	**$25\cdot10^{-6}$**
Температура Кюри	**420°С**
Температура кристаллизации	**540°С**
Плотность	**7300 кг/м^3**
Удельное электросопротивление	**$1{,}3\cdot10^{-6}$ Ом·м**
Удельные магнитные потери	
P (Вт/кг) для частоты 3-200 кГц	
$P = 3\cdot10^{-5} f^{1,6} B_m^{2,1}$	

Магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц).

На рис. 26 показана статическая петля магнитного гистерезиса магнитопровода ГМ 440В после термической обработки в поперечном магнитном поле, на рис. 28 - динамические кривые намагничивания, а на рис. 30 - частотные зависимости магнитной проницаемости.

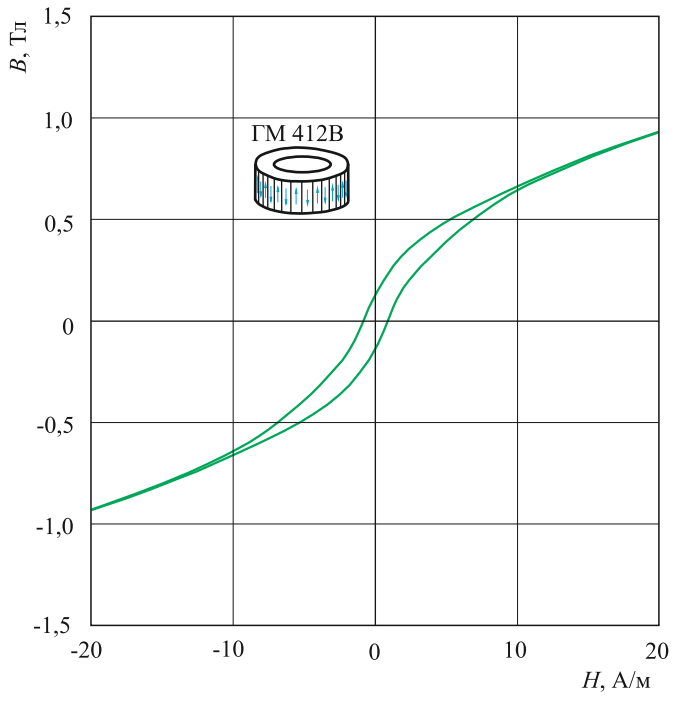


Рис. 25 - Статическая петля магнитного гистерезиса магнитопровода ГМ 412В из нанокристаллического сплава на основе железа после термической обработки в поперечном магнитном поле.

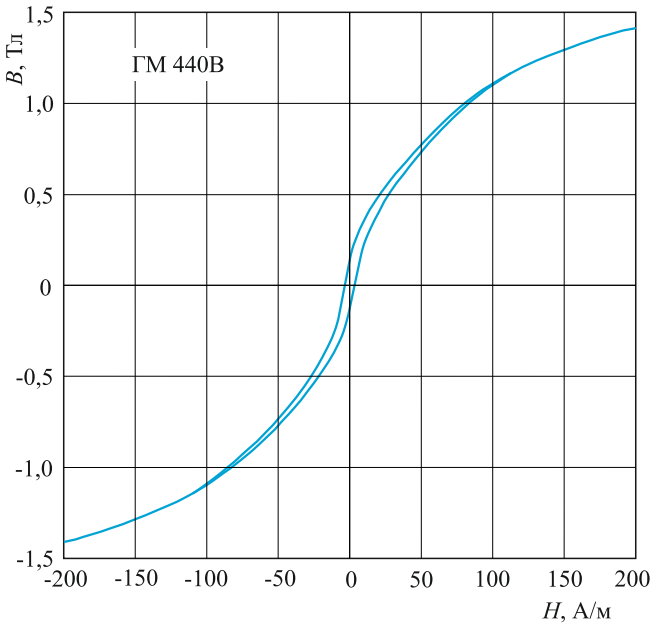


Рис. 26 - Статическая петля магнитного гистерезиса магнитопровода ГМ 440В из аморфного сплава на основе железа после термической обработки в поперечном магнитном поле.

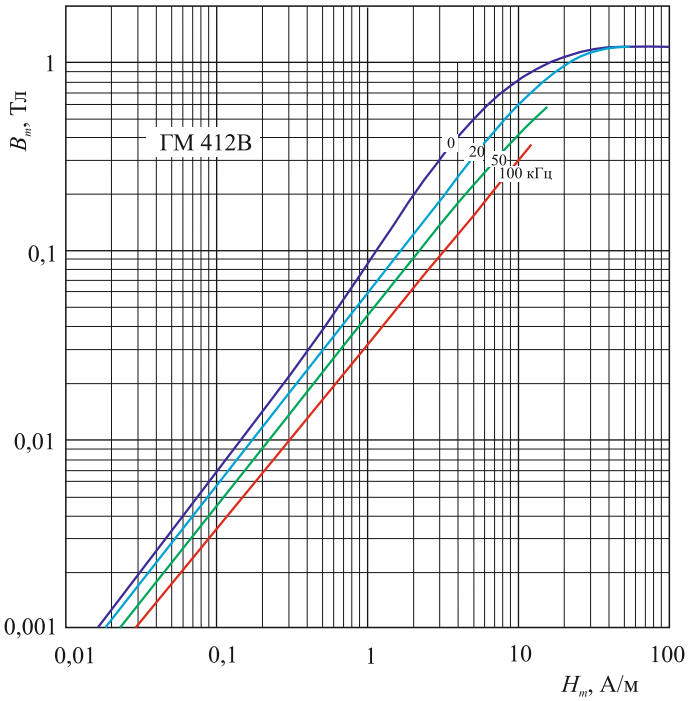


Рис. 27 - Динамические кривые намагничивания магнитопровода ГМ 412В.

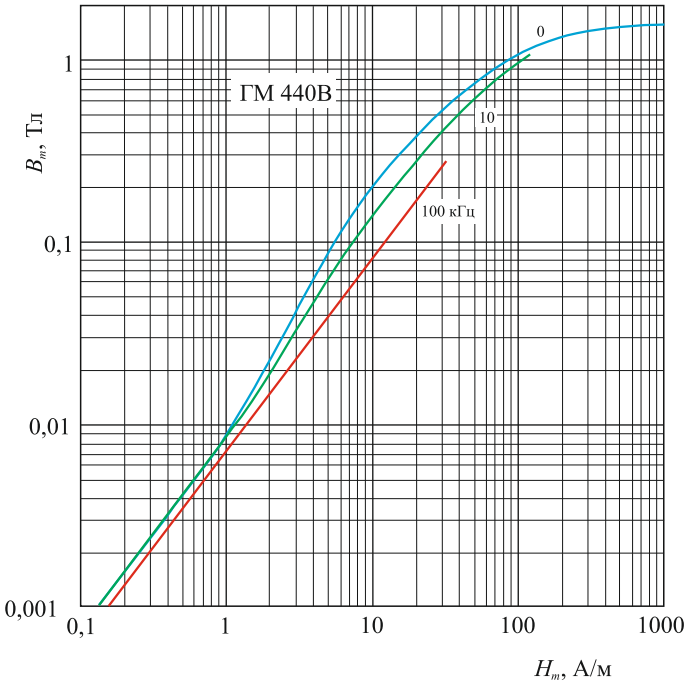


Рис. 28 - Динамические кривые намагничивания магнитопровода ГМ 440В.

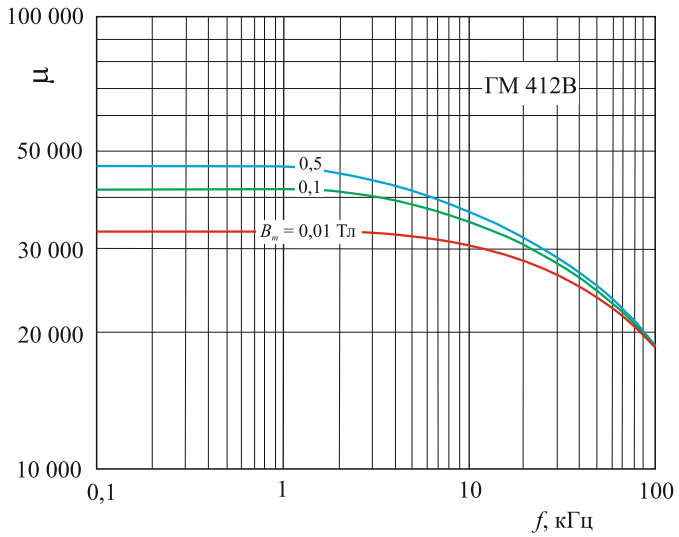


Рис. 29 - Частотные зависимости относительной магнитной проницаемости магнитопровода ГМ 412В для разной максимальной магнитной индукции B_m.

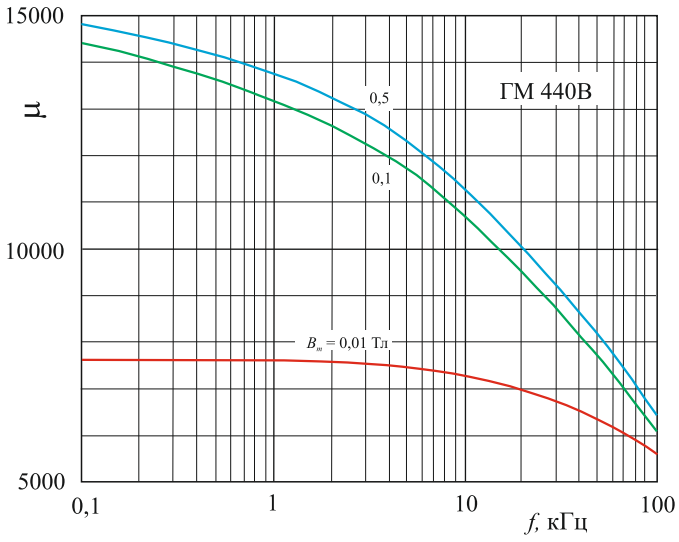


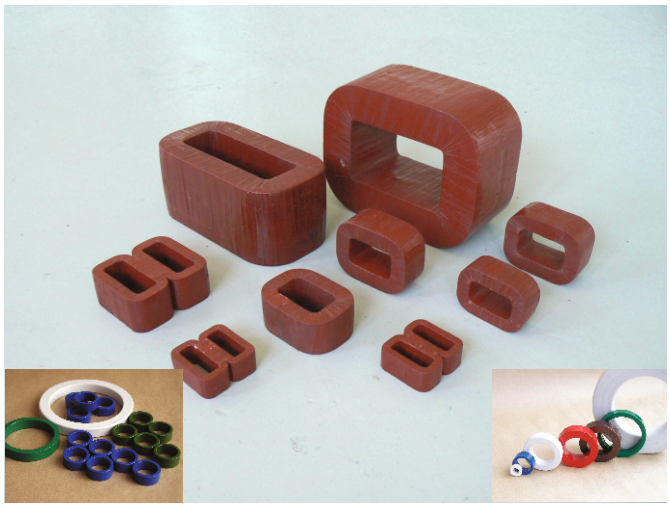
Рис. 30 - Частотные зависимости относительной магнитной проницаемости магнитопровода ГМ 440В для разной максимальной магнитной индукции B_m.

©ГАММАМЕТ

2 КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАГНИТОПРОВОДЫ ИЗ АМОРФНЫХ И НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

В соответствии с ТУ 1261-031-12287107-2008 композиционные магнитопроводы изготавливаются из ленты магнитомягких аморфных или нанокристаллических сплавов с номинальной толщиной 22 мкм. При этом используют те же аморфные и нанокристаллические сплавы, что и при производстве магнитопроводов в защитных контейнерах. Таким образом, все композиционные магнитопроводы имеют аналоги среди магнитопроводов в защитном контейнере. Различие связано с тем, что композиционные магнитопроводы проходят дополнительную операцию упрочнения, которая позволяет использовать их без защитного контейнера. Такая технология позволяет значительно расширить выбор типоразмеров магнитопроводов.

Магнитные свойства композиционных магнитопроводов соответствуют усредненным данным на единицу номинального геометрического сечения магнитопровода или на единицу номинального объема магнитопровода. При этом как бы считается, что эффективное действие оказывает некоторый композиционный материал, находящийся в геометрическом объеме данного магнитопровода.



В связи с принятым расчетом магнитных свойств композиционных магнитопроводов в электротехнических расчетах необходимо принимать коэффициент заполнения магнитопровода эффективным магнитным материалом равным единице. Типичные магнитные свойства композиционных магнитопроводов при температуре (25±10)°С представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Типичные магнитные свойства композиционных магнитопроводов.

Тип магнитопровода	B_{800}, Тл	$\mu_{0,08}$	μ_{max}	$K_{п800}$ ($*K_{п10}$)	H_c, А/м	$P_{0,2/20}$, мВт/см^3	T_C, °С	Плотность, кг/м^3
ГМ 11ДС	0,32	50000	150000	0,5	0,4	40	150	5400
ГМ 14ДС	0,80	20000	50000	0,4	2,5	90	600	5200
ГМ 14С	0,80	25000	6000	0,3	5,0	160	600	5200
ГМ 40ДС	1,0	2000	9000	0,3	10	240	420	5100
ГМ 43ДС	0,40	35000	40000	0,05	0,5	75	260	5400
ГМ 42ДС	0,80	15000	25000	0,1	3,0	110	610	5200
ГМ 40ВДС	1,0	3000	7000	0,15	8,0	200	420	5100
ГМ 45ДС	0,70	1200	1300	<0,01	2,0	220	500	5500
ГМ 33ДС	0,40	3000	600000	0,9*	0,5	100	260	5400
ГМ 32ДС	0,80	7000	200000	0,88*	2,5	180	610	5200
ГМ 35ДС	0,70	200	150000	0,92	2,0	560	500	5500

Условные обозначения в таблице 8:

$\mu_{0,08}$ – относительная магнитная проницаемость при напряженности магнитного поля 0,08 А/м;

μ_{max} – максимальная относительная магнитная проницаемость;

B_{800} – магнитная индукция при напряженности магнитного поля H = 800 А/м;

$K_{п800}$ ($K_{п10}$) – коэффициент прямоугольности петли магнитного гистерезиса при напряженности магнитного поля H = 800 (10) А/м;

H_c – коэрцитивная сила, А/м;

$P_{0,2/20}$ – удельные магнитные потери при максимальной магнитной индукции 0,2 Тл и частоте 20 кГц;

T_C - температура Кюри.

В соответствии с ТУ 1261-031-12287107-2008 композиционные магнитопроводы поставляются после термической обработки. Поверх магнитопроводов наносится покрытие. Электроизоляционные свойства покрытия не гарантируются. Поперечный разрез кольцевого композиционного магнитопровода представлен на рис. 31. Структура условного обозначения типа композиционного магнитопровода показана на рис. 32. Композиционные магнитопроводы применяются взамен ферритов, прецизионных сплавов и электротехнической стали.

В таблице 9 приведены магнитные свойства композиционных магнитопроводов, гарантируемые техническими условиями ТУ 1261-031-12287107-2008. Магнитные свойства магнитопроводов отнесены к единице номинального геометрического сечения или единице номинального объема магнитопровода и в электротехнических расчетах коэффициент заполнения магнитопровода магнитным материалом принимается равным 1.

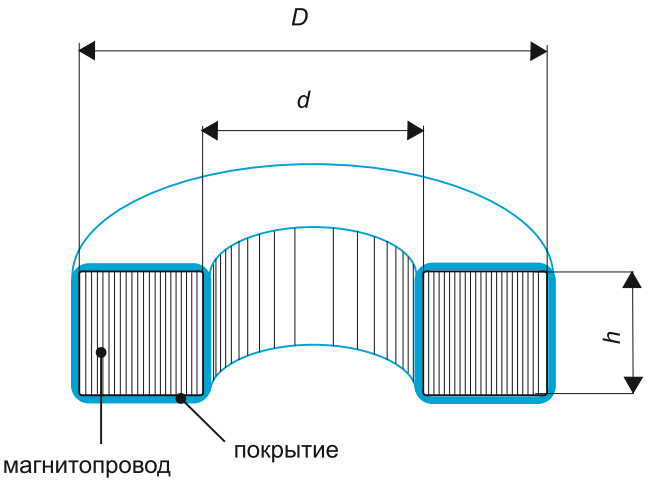


Рис. 31 - Поперечный разрез композиционного магнитопровода.



Рис. 32 - Структура условного обозначения типа композиционного магнитопровода.

Таблица 9 – Магнитные свойства композиционных магнитопроводов, гарантируемые ТУ 1261-031-12287107-2008.

Тип магнитопровода	Класс по магнитным свойствам	$\mu_{0,08}$, не менее	H_c, А/м не более	B_{800}, Тл, не менее	$K_{п800}$	$K_{п10}$ не менее
ГМ 11ДС	1	30000	0,8	0,28	–	–
ГМ 14ДС	1	10000	4,0	0,75	–	–
ГМ 14С*	–	5000	8,0	0,75	–	–
ГМ 40ДС	–	1500	20,0	1,0	–	–
ГМ 43ДС	2	20000	0,8	0,38	0,1 не более	–
ГМ 42ДС	2	10000	4,0	0,75	0,2** не более	–
ГМ 40ВДС	–	2000	15,0	1,0	0,2** не более	–
ГМ 45ДС	–	–	4,0	0,60	0,05 не более	–
ГМ 33ДС	–	–	1,0	0,38	–	0,85
ГМ 32ДС	–	–	4,0	0,75	–	0,80
ГМ 35ДС	–	–	4,0	0,60	0,85 не менее	–

* магнитопроводы могут подвергаться механической обработке.

** для магнитопроводов высотой менее 10 мм допускается значение 0,25, не более.

©ГАММАМЕТ

Композиционные магнитопроводы бывают кольцевыми (К), округлыми (ОКЛ) и овальными (ОВЛ). На рис. 33 - 35 показаны размеры кольцевого К, округлого ОКЛ и овального ОВЛ ленточных композиционных магнитопроводов. Структура условного обозначения типоразмера магитопроводов показана на рис. 36 и 37.

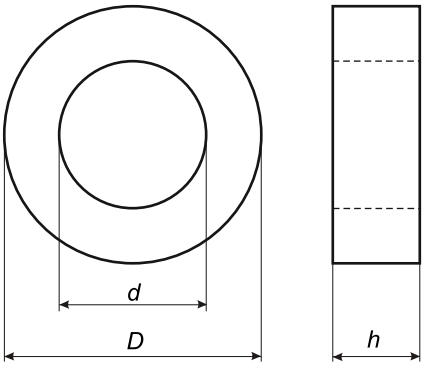


Рис. 33 - Размеры кольцевого ленточного композиционного магнитопровода К.

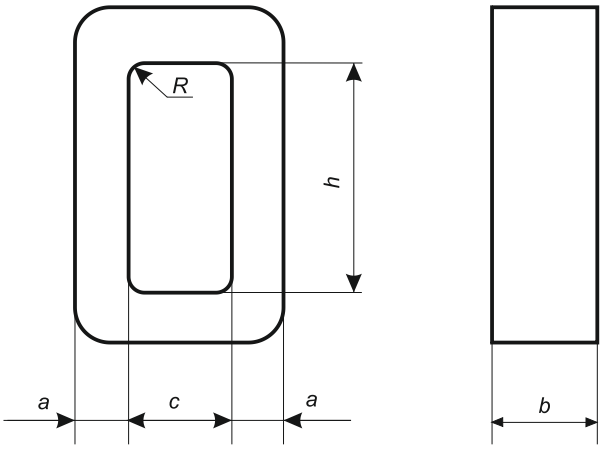


Рис. 34 - Размеры округлого ленточного композиционного магнитопровода ОКЛ.

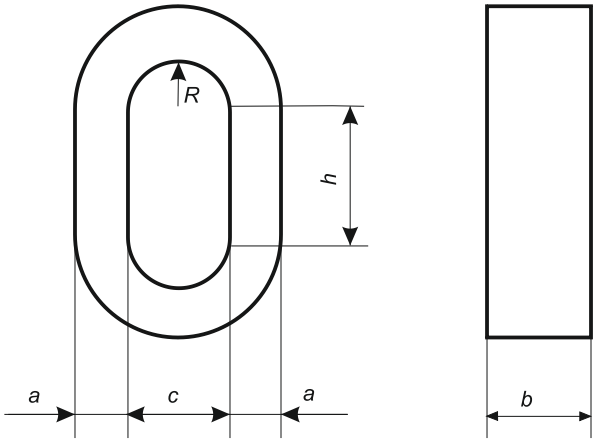


Рис. 35 - Размеры овального ленточного композиционного магнитопровода ОВЛ ($c = 2R$).

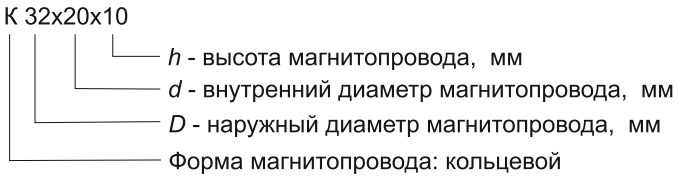


Рис. 36 - Структура условного обозначения типоразмера кольцевого композиционного магнитопровода.

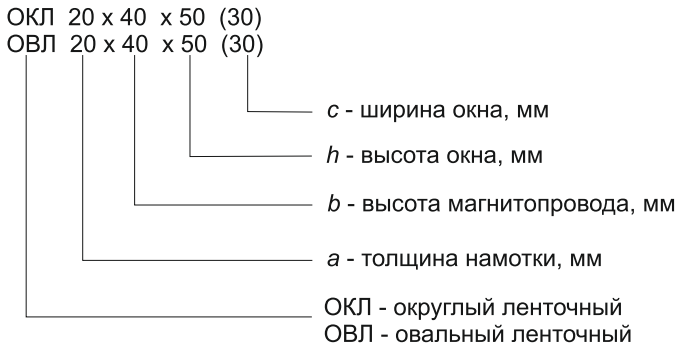


Рис. 37 - Структура условного обозначения типоразмера композиционных магнитопроводов ОКЛ и ОВЛ.

Предпочтительные размеры композиционных магнитопроводов: внутренний диаметр не менее 10 мм, наружный диаметр не более 1000 мм, высота – кратная 5 мм. Наружный диаметр магнитопроводов ГМ 43ДС и ГМ 40ВДС не превышает 390 мм, а ГМ 45ДС - не более 160 мм. Предельные отклонения от номинальных размеров магнитопровода с покрытием должны соответствовать таблицам 6 и 7.

Таблица 6 – Предельные отклонения наружных и внутренних размеров композиционного магнитопровода.

Номинальный размер магнитопровода, мм не более	Предельные отклонения наружного размера, мм	Предельные отклонения внутреннего размера, мм
25	+3,4 –0,4	+0,4 –3,4
50	+3,6 –0,6	+0,6 –3,6
90	+3,8 –0,8	+0,8 –3,8
140	+4,0 –1,0	+1,0 –4,0
250	+4,5 –1,5	+1,5 –4,5
400	+4,8 –1,8	+1,8 –4,8
500	+5,0 –2,0	+2,0 –5,0
650	+5,5 –2,5	+2,5 –5,5
800	+6,0 –3,0	+3,0 –6,0
1000	+6,5 –3,5	+3,5 –6,5

Таблица 7 – Предельные отклонения высоты композиционного магнитопровода.

Номинальная высота магнитопровода, мм не более	Предельное отклонение, мм
15	+2,0 –0,5
40	+2,8 –0,7
70	+3,6 –0,9
100	+4,4 –1,1
130	+5,5 –1,1
160	+6,3 –1,2
200	+7,1 –1,4

При заказе и в документации других изделий условное обозначение магнитопровода должно содержать обозначение типа, типоразмера и настоящих технических условий. Например, магнитопровод кольцевой ГАММАМЕТ 14ДС, 1 класс по магнитным свойствам, класс нагревостойкости А (105°С) в части применения электроизоляционных материалов, имеющий внутренний диаметр 20 мм, наружный диаметр 32 мм, высоту 10 мм по ТУ 1261-031-12287107-2008 имеет условное обозначение “магнитопровод ГМ 14ДС – 1кл К32х20х10 ТУ 1261-031-12287107-2008”. Этот же магнитопровод класса нагревостойкости F (155°С) имеет условное обозначение “магнитопровод ГМ 14ДС – 1кл (F) К32х20х10 ТУ 1261-031-12287107-2008”.

Допускается изготавливать композиционные магнитопроводы из отдельных деталей меньшей высоты. Допускается поставка магнитопроводов без покрытия.

Композиционные магнитопроводы должны иметь класс нагревостойкости в части применения электроизоляционных материалов А (105°С) или F (155°С) в соответствии с ГОСТ 8865. Вид климатического исполнения магнитопроводов должен быть УХЛ2 в соответствии с ГОСТ 15150.

Срок сохраняемости магнитопроводов составляет 30 лет. Магнитопроводы безотказны в работе при соблюдении требований технических условий в течение всего срока службы. Срок службы магнитопроводов составляет 30 лет.

Изготовитель гарантирует соответствие магнитопроводов требованиям технических условий при соблюдении условий эксплуатации, транспортирования и хранения. Гарантийный срок хранения магнитопроводов 15 лет со дня изготовления. Гарантийный срок эксплуатации магнитопроводов 15 лет со дня ввода в эксплуатацию в пределах гарантийного срока хранения.

При эксплуатации композиционных магнитопроводов следует соблюдать следующие рекомендации. При нанесении обмотки на магнитопровод натяжение провода регулируется так, чтобы не допустить ухудшение магнитных свойств за пределы требований настоящих технических условий. Температурный режим сушки трансформаторов должен соответствовать заданному классу нагревостойкости магнитопроводов.

Магнитные экраны изготавливаются из аморфного сплава с высокой магнитной проницаемостью ГМ 501 и имеют типовое обозначение ГМ 11С. Условное обозначение типоразмера цилиндрического экрана совпадает с обозначением кольцевого композиционного магнитопровода (рис. 33). Минимальная толщина стенки цилиндрического магнитного экрана – 1 мм. При длине цилиндра 500 мм наружный диаметр не превышает 100 мм. Цилиндрические магнитные экраны используют при температуре от – 60 °С до + 100 °С.

©ГАММАМЕТ

2.1 МАГНИТОПРОВОДЫ ГМ 14ДС, ГМ 11ДС С ВЫСОКОЙ НАЧАЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ

Магнитопроводы изготавливаются из аморфной ленты толщиной 22 мкм. Высокую начальную магнитную проницаемость имеют магнитопроводы ГМ 11ДС из аморфного сплава на основе кобальта и магнитопроводы ГМ 14ДС из нанокристаллического сплава на основе железа.

Магнитопроводы используются в измерительных трансформаторах тока и напряжения, в диференциальных трансформаторах, высокочастотных силовых и согласующих трансформаторах, устройствах защитного отключения и высокочувствительных датчиках при частоте до 200 кГц.

Типичные физические свойства ГМ 14ДС

Магнитная индукция B_{800}	**0,80 Тл**
Коэффициент прямоугольности B_r/B_{800}	**0,4**
Коэрцитивная сила	**2,5 А/м**
Начальная относительная магнитная проницаемость	**20000**
Максимальная относительная магнитная проницаемость	**50000**
Магнитострикция насыщения	**$1,5 \cdot 10^{-6}$**
Температура Кюри	**600°С**
Плотность	**5200 кг/м^3**
Удельное электросопротивление	**$1,25 \cdot 10^{-6}$ Ом·м**

Удельные магнитные потери P (Вт/м^3)

$P = 0,085\, f^{1,7} B_m^{2}$ для частоты 3-200 кГц

$P = 0,75\, f^{1,4} B_m^{1,7}$ для частоты менее 3 кГц

Магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц).

Динамические кривые намагничивания представлены на рис. 38.

Типичные физические свойства ГМ 11ДС

Магнитная индукция B_{800}	**0,32 Тл**
Коэффициент прямоугольности B_r/B_{800}	**0,5**
Коэрцитивная сила	**0,4 А/м**
Начальная относительная магнитная проницаемость	**50000**
Максимальная относительная магнитная проницаемость	**150000**
Магнитострикция насыщения	**$<0,2 \cdot 10^{-6}$**
Температура Кюри	**150°С**
Температура кристаллизации	**570°С**
Плотность	**5400 кг/м^3**
Удельное электросопротивление	**$1,4 \cdot 10^{-6}$ Ом·м**

Удельные магнитные потери P (Вт/м^3)

$P = 0,025\, f^{1,8} B_m^{2,2}$ для частоты 3 - 200 кГц

$P = 2,2\, f^{1,2} B_m^{2}$ для частоты менее 3 кГц

Магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц).

Динамические кривые намагничивания представлены на рис. 39.

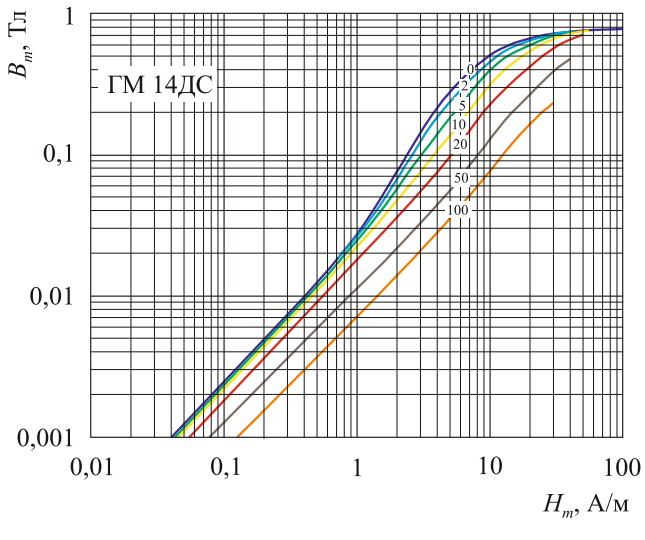


Рис. 38 - Динамические кривые намагничивания композиционных магнитопроводов с высокой начальной магнитной проницаемостью ГМ 14ДС.

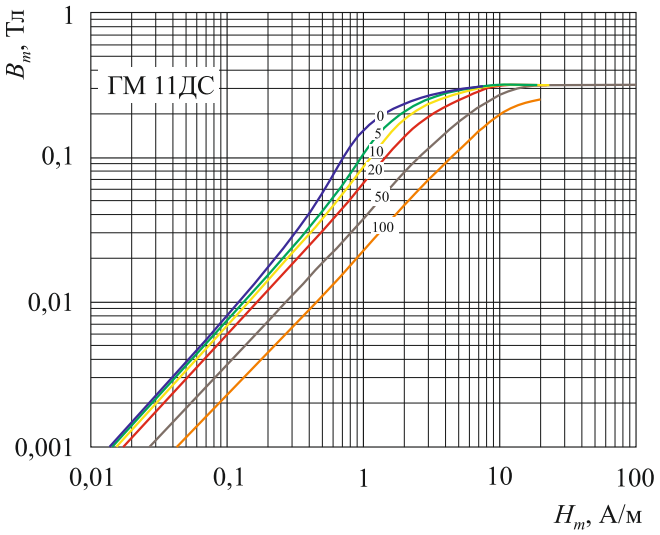


Рис. 39 - Динамические кривые намагничивания композиционных магнитопроводов с высокой начальной магнитной проницаемостью ГМ 11ДС.

2.2 МАГНИТОПРОВОДЫ ГМ 32ДС, ГМ33ДС, ГМ35ДС С ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЕТЛЕЙ МАГНИТНОГО ГИСТЕРЕЗИСА

Магнитопроводы изготавливаются из аморфной ленты толщиной 22 мкм. Прямоугольную петлю магнитного гистерезиса магнитопроводы получают в результате термической обработки в продольном магнитном поле. После термической обработки магнитопровод ГМ 32ДС имеет нанокристаллическую структуру, а магнитопроводы ГМ 33ДС и ГМ 35ДС остаются в аморфном состоянии.

Композиционные магнитопроводы с прямоугольной петлей магнитного гистерезиса используются в импульсных трансформаторах, насыщающихся реакторах и магнитных усилителях. На рис. 40 представлены сравнительные статические кривые намагничивания композиционных магнитопроводов с прямоугольной петлей магнитного гистерезиса.

Типичные физические свойства ГМ 32ДС

Магнитная индукция B_{800}	**0,80 Тл**
Коэффициент прямоугольности B_r/B_{10}	**0,88**
Коэрцитивная сила	**2,5 А/м**
Начальная относительная магнитная проницаемость	**7000**
Максимальная относительная магнитная проницаемость	**200000**
Магнитострикция насыщения	**$1,5\cdot10^{-6}$**
Температура Кюри	**610°С**
Плотность	**5200 кг/м^3**
Удельное электросопротивление	**$1,25\cdot10^{-6}$ Ом·м**

Удельные магнитные потери P (Вт/м^3)

$P = 0,26\, f^{1,6} B_m^{1,7}$ для частоты 3-200 кГц

Магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц).

Типичные физические свойства ГМ 33ДС

Магнитная индукция B_{800}	**0,40 Тл**
Коэффициент прямоугольности B_r/B_{10}	**0,9**
Коэрцитивная сила	**0,5 А/м**
Начальная относительная магнитная проницаемость	**3000**
Максимальная относительная магнитная проницаемость	**600000**
Магнитострикция насыщения	**$<0,2\cdot10^{-6}$**
Температура Кюри	**260°С**
Плотность	**5400 кг/м^3**
Удельное электросопротивление	**$1,2\cdot10^{-6}$ Ом·м**

Удельные магнитные потери P (Вт/м^3)

$P = 0,72\, f^{1,45} B_m^{1,55}$ для частоты 3-200 кГц

Магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц).

Типичные физические свойства ГМ 35ДС

Магнитная индукция B_{800}	**0,70 Тл**
Коэффициент прямоугольности B_r/B_{800}	**0,92**
Коэрцитивная сила	**2,0 А/м**
Начальная относительная магнитная проницаемость	**200**
Максимальная относительная магнитная проницаемость	**150000**
Магнитострикция насыщения	**$<0,2\cdot10^{-6}$**
Температура Кюри	**500°С**
Плотность	**5500 кг/м^3**
Удельное электросопротивление	**$1,3\cdot10^{-6}$ Ом·м**

Удельные магнитные потери P (Вт/м^3)

$P = 4,3\, f^{1,4} B_m^{1,3}$ для частоты 3-200 кГц

Магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц).

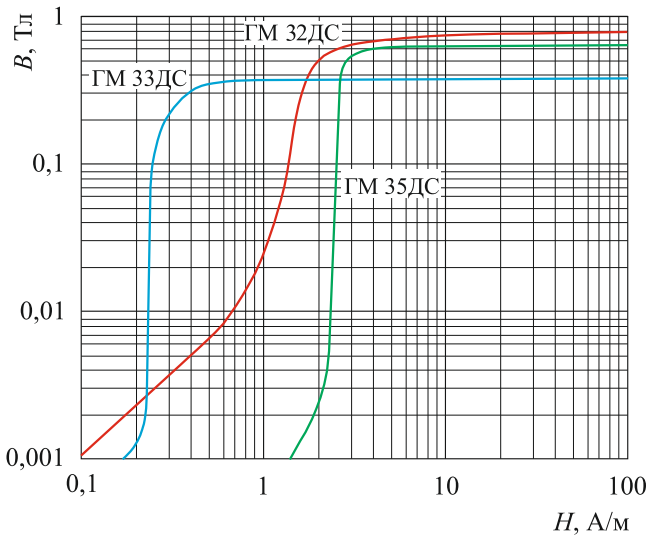


Рис. 40 - Статические кривые намагничивания композиционных магнитопроводов с прямоугольной петлей магнитного гистерезиса.

©ГАММАМЕТ

Магнитопроводы изготавливаются из аморфной ленты толщиной 22 мкм. Линейную петлю магнитного гистерезиса магнитопроводы получают в результате термической обработки в продольном магнитном поле. После термической обработки магнитопровод ГМ 42ДС имеет нанокристаллическую структуру, а магнитопроводы ГМ 43ДС, ГМ 45ДС и ГМ 40ВДС остаются в аморфном состоянии.

Типичные физические свойства ГМ 42ДС

Магнитная индукция B_{800}	**0,80 Тл**
Коэффициент прямоугольности B_r/B_{800}	**0,10**
Коэрцитивная сила	**3,0 А/м**
Начальная относительная магнитная проницаемость	**15000**
Максимальная относительная магнитная проницаемость	**25000**
Магнитострикция насыщения	**$1,5 \cdot 10^{-6}$**
Температура Кюри	**610°С**
Плотность	**5200 кг/м^3**
Удельное электросопротивление	**$1,25 \cdot 10^{-6}$ Ом·м**

Удельные магнитные потери P (Вт/м^3)

$P = 0,95\, f^{1,7} B_m^2$ для частоты 3-200 кГц

Магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц).

На рис. 42 показаны частотные зависимости относительной магнитной проницаемости.

Типичные физические свойства ГМ 43ДС

Магнитная индукция B_{800}	**0,40 Тл**
Коэффициент прямоугольности B_r/B_{800}	**0,05**
Коэрцитивная сила	**0,5 А/м**
Начальная относительная магнитная проницаемость	**35000**
Максимальная относительная магнитная проницаемость	**40000**
Магнитострикция насыщения	**$<0,2 \cdot 10^{-6}$**
Температура Кюри	**260°С**
Плотность	**5400 кг/м^3**
Удельное электросопротивление	**$1,2 \cdot 10^{-6}$ Ом·м**

Удельные магнитные потери P (Вт/м^3)

$P = 0,091\, f^{1,7} B_m^2$ для частоты 3-200 кГц

Магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц).

Композиционные магнитопроводы с линейной петлей магнитного гистерезиса используются в высокочастотных силовых трансформаторах, импульсных трансформаторах, согласующих и широкополосных трансформтаорах. На рис. 41 представлены сравнительные статические кривые намагничивания композиционных магнитопроводов с линейной петлей магнитного гистерезиса. На рис.42 показаны частотные зависимости относительной магнитной проницаемости магнитопровода ГМ 42ДС.

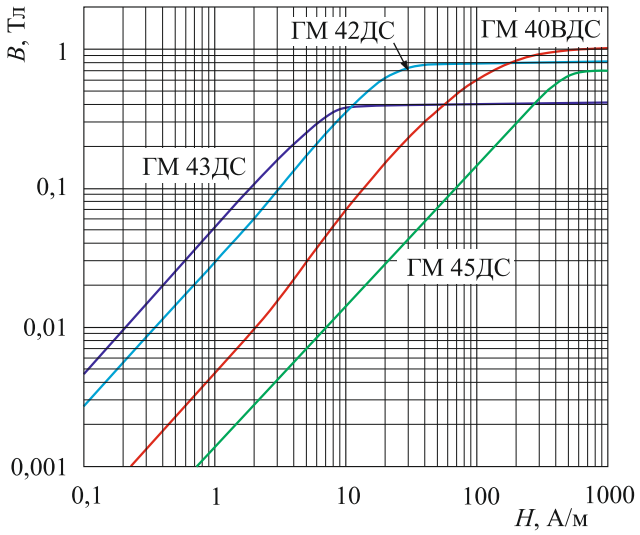


Рис. 41 - Статические кривые намагничивания композиционных магнитопроводов с линейной петлей магнитного гистерезиса.

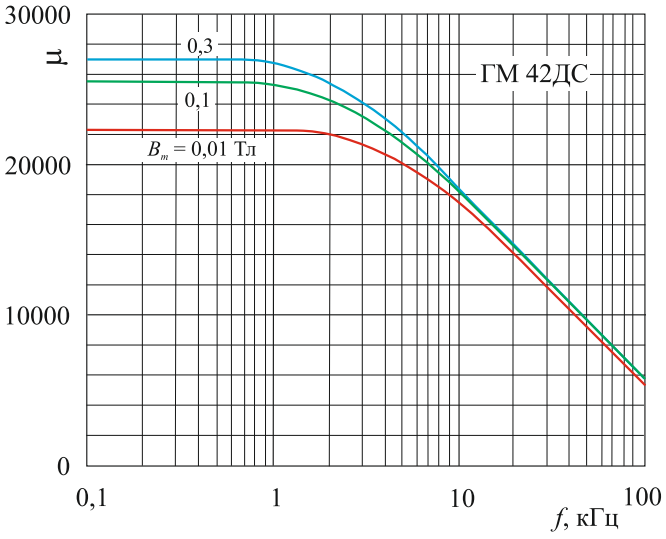


Рис. 42 - Частотные зависимости относительной магнитной проницаемости магнитопровода ГМ 42ДС.

Типичные физические свойства ГМ 40ВДС	
Магнитная индукция B_{800}	1,0 Тл
Коэффициент прямоугольности B_r/B_{800}	0,15
Коэрцитивная сила	8 А/м
Начальная относительная магнитная проницаемость	3000
Максимальная относительная магнитная проницаемость	7000
Магнитострикция насыщения	$25 \cdot 10^{-6}$
Температура Кюри	420°С
Плотность	5100 кг/м^3
Удельное электросопротивление	$1{,}3 \cdot 10^{-6}$ Ом·м
Удельные магнитные потери P (Вт/м^3)	
$P = 0{,}54\, f^{1{,}6} B_m^{\,2}$ для частоты 3-200 кГц	

Магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц).

Типичные физические свойства ГМ 45ДС	
Магнитная индукция B_{800}	0,70 Тл
Коэффициент прямоугольности B_r/B_{800}	0,01
Коэрцитивная сила	2,0 А/м
Начальная относительная магнитная проницаемость	1200
Максимальная относительная магнитная проницаемость	1300
Магнитострикция насыщения	$<0{,}2 \cdot 10^{-6}$
Температура Кюри	500°С
Плотность	5500 кг/м^3
Удельное электросопротивление	$1{,}2 \cdot 10^{-6}$ Ом·м
Удельные магнитные потери P (Вт/м^3)	
$P = 0{,}1\, f^{1{,}8} B_m^{\,2}$ для частоты 3-200 кГц	

Магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц).

2.4 МАГНИТОПРОВОДЫ ГМ 40ДС С ПОВЫШЕННОЙ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИЕЙ НАСЫЩЕНИЯ

Магнитопроводы ГМ 40ДС изготовлены из аморфного сплава ГМ 440. На рис. 43 представлены динамические кривые намагничивания.

Типичные физические свойства ГМ 40ДС	
Магнитная индукция B_{800}	1,0 Тл
Коэффициент прямоугольности B_r/B_{800}	0,3
Коэрцитивная сила	10 А/м
Начальная относительная магнитная проницаемость	2000
Максимальная относительная магнитная проницаемость	9000
Магнитострикция насыщения	$25 \cdot 10^{-6}$
Температура Кюри	420°С
Плотность	5100 кг/м^3
Удельное электросопротивление	$1{,}3 \cdot 10^{-6}$ Ом·м
Удельные магнитные потери P (Вт/м^3)	
$P = 0{,}8\, f^{1{,}6} B_m^{\,2}$ для частоты 3-200 кГц	

Магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц).

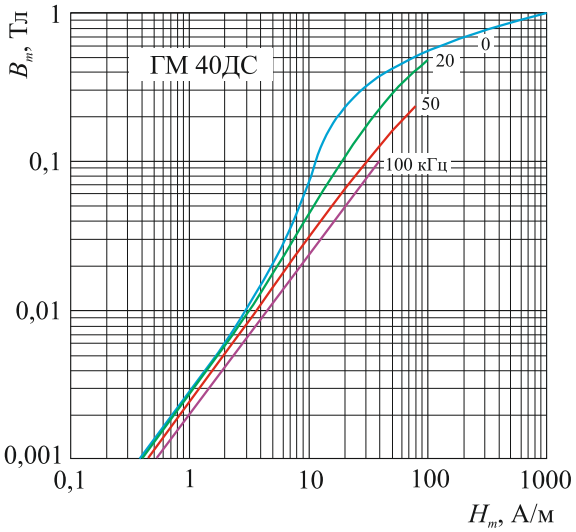


Рис. 43 - Динамические кривые намагничивания магнитопроводов ГМ 40ДС.

2.5 МАГНИТОПРОВОДЫ ГМ 14С С ПОВЫШЕННОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТЬЮ

Магнитопроводы ГМ 14С с повышенной механической прочностью изготовлены из нанокристаллического сплава ГМ 415. Для упрочнения магнитопроводы повергаются дополнительной пропитке, которая позволяет производить резку магнитопроводов или другую механическую обработку.

Магнитопроводы ГМ 14С с повышенной механической прочностью поставляются без электроизоляционного покрытия. Типичные магнитные свойства магнитопроводов представлены в таблице 8.

©ГАММАМЕТ

3 КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАГНИТОПРОВОДЫ ГМ 54ДС С ФИКСИРОВАННОЙ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ

Композиционные магнитопроводы ГМ 54ДС изготавливаются из ленты магнитомягкого нанокристаллического сплава ГМ 415 с номинальной толщиной 22 мкм и соответствуют требованиям ТУ 1261-032-12282107-2010.

Магнитопроводы ГМ 54ДС имеют линейную кривую намагничивания за счет немагнитного зазора. После разреза магнитопровода немагнитный зазор фиксируется, так чтобы получить в магнитопроводе заданное численное значение магнитной проницаемости. Магнитопроводы ГМ 54ДС подразделяются на классы по относительной магнитной проницаемости (таблица 10). На рис. 44 представлена структура условного обозначения типа магнитопровода ГМ 54ДС.

Таблица 10 - Классы магнитопроводов ГМ 54ДС по магнитной проницаемости.

Класс магнитопровода	Начальная относительная магнитная проницаемость	
	номинальная	предельные отклонения
30	30	25÷35
40	40	35÷50
60	60	50÷75
90	90	75÷110
140	140	110÷170
200	200	170÷220
250	250	220÷290
350	350	290÷400
500	500	400÷600
700	700	600÷850
1000	1000	850÷1200

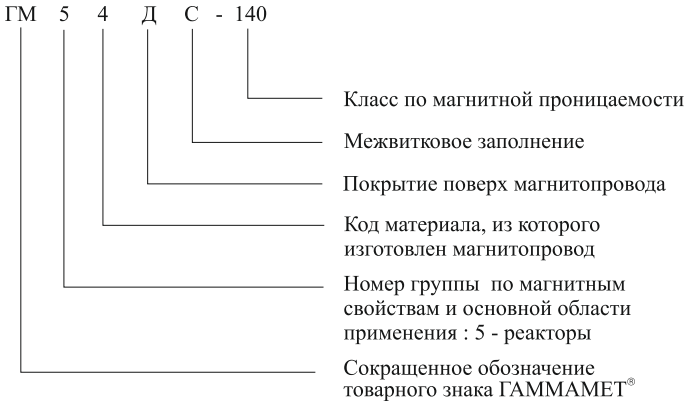
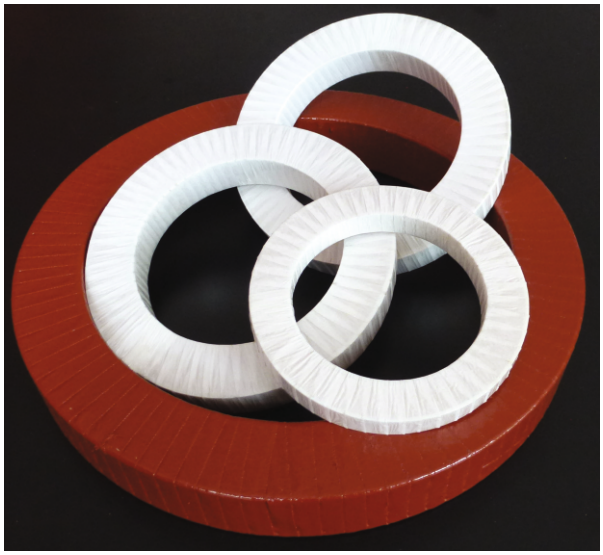


Рис. 44 - Структура условного обозначения композиционного магнитопровода ГМ 54ДС.



Магнитопроводы ГМ 54ДС способны запасать значительную магнитную энергию. Они используются для изготовления электрических реакторов(дросселей) различного назначения и трансформаторов в схемах импульсных источников вторичного питания. Магнитопроводы можно использовать взамен магнитодиэлектриков, ферритов и прецизионных сплавов на частоте до 1 МГц при температуре до 200°С.

ТИПИЧНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Магнитная индукция насыщения	0,80 Тл
Коэрцитивная сила	3,0 А/м
Начальная относительная магнитная проницаемость	от 30 до 1000
Магнитострикция насыщения	$1{,}5\cdot10^{-6}$
Температура Кюри	600°С
Плотность	5200 кг/м^3
Удельное электросопротивление	$1{,}25\cdot10^{-6}$ Ом·м

Физические свойства приведены к единице площади или единице объема магнитопровода.

Начальная относительная магнитная проницаемость магнитопровода ГМ 54ДС может быть не более численного значения, которое вычисляется по формуле

$$\mu_н = 200 S^{-0,39} / l_{ср},$$

где S - площадь поперечного сечения магнитопровода (м^2), $l_{ср}$ - средняя длина магнитной силовой линии магнитопровода (м). Примеры для некоторых типоразмеров:

К25х15х10 $\mu_н$ не более 600;
К32х20х10 $\mu_н$ не более 700;
К45х28х10 $\mu_н$ не более 900;
К64х40х10 $\mu_н$ не более 1100;
К175х130х20 $\mu_н$ не более 1900.

На рис. 45 представлены типичные статические кривые намагничивания магнитопроводов ГМ 54ДС различного класса по магнитной проницаемости.

Удельные магнитные потери в магнитопроводах ГМ 54ДС в частотной области 3 - 200 кГц можно оценить, используя формулу

$$P = 75(\ln \mu)^{-2,3} f^{1,48} B_m^{1,8}$$

P - удельные магнитные потери, Вт/м^3

μ - номинальная магнитная проницаемость магнитопровода

f - частота, Гц

B_m - максимальная магнитная индукция, Тл

В таблице 11 представлены типичные магнитные свойства магнитопроводов ГМ 54ДС.

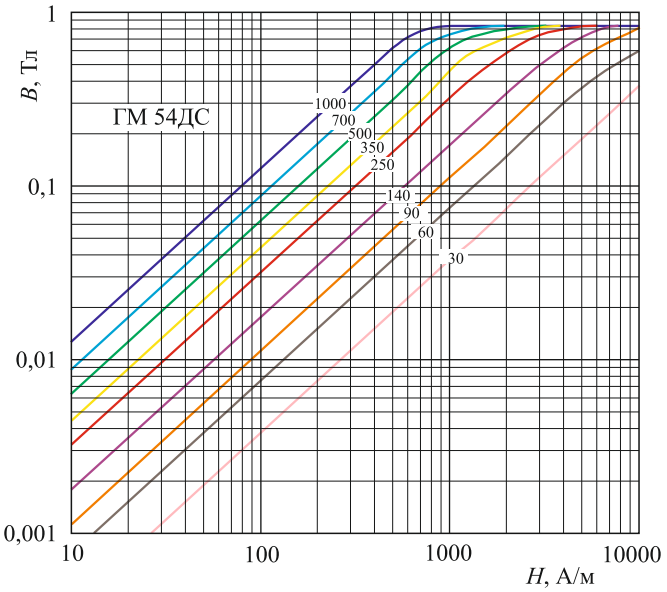


Рис. 45 - Типичные статические кривые намагничивания магнитопроводов ГМ 54ДС.

Таблица 11 - Типичные магнитные свойства магнитопроводов ГМ 54ДС

Магнитопровод	Начальная относительная магнитная проницаемость	Максимальная относительная магнитная проницаемость	Коэрцитивная сила, А/м	Удельные магнитные потери (0,2Тл/20кГц) мВт/см^3	Удельные магнитные потери (0,05Тл/100кГц) мВт/см^3
ГМ 54ДС-1000	1000	1100	3	100	80
ГМ 54ДС-700	700	760		120	90
ГМ 54ДС-500	500	540		130	100
ГМ 54ДС-350	350	370		150	110
ГМ 54ДС-250	250	260		180	130
ГМ 54ДС-200	200	215		190	145
ГМ 54ДС-140	140	150		210	160
ГМ 54ДС-90	90	96	4	270	200
ГМ 54ДС-60	60	64		350	260
ГМ 54ДС-40	40	42		450	350
ГМ 54ДС-30	30	31		510	390

©ГАММАМЕТ

При заказе и в документации других изделий условное обозначение композиционных магнитопроводов с фиксированной магнитной проницаемостью должно содержать обозначение типа, типоразмера и технических условий. Например, магнитопровод кольцевой ГАММАМЕТ 54ДС, класс по магнитной проницаемости 140, класс нагревостойкости А (105С) в части применения электроизоляционных материалов, имеющий геометрические размеры по магнитному материалу: внутренний диаметр 20 мм, наружный диаметр 32 мм, высоту 10 мм по ТУ 1261-032-12287107-2010 имеет условное обозначение «магнитопровод ГМ 54ДС-140 К32х20х10 ТУ 1261-032-12287107-2010». Этот же магнитопровод класса нагревостойкости F (155С) имеет условное обозначение «магнитопровод ГМ 54ДС-140 (F) К32х20х10 ТУ 1261-032-12287107-2010».

Композиционный магнитопровод с фиксированной магнитной проницаемостью состоит из собственно магнитопровода (магнитной системы), который пропитан упрочняющим составом, и покрытия. Конструкция магнитопровода позволяет наносить обмотку непосредственно на покрытие. Класс нагревостойкости магнитопровода от 105°С до 155°С определяется типом защитного покрытия.

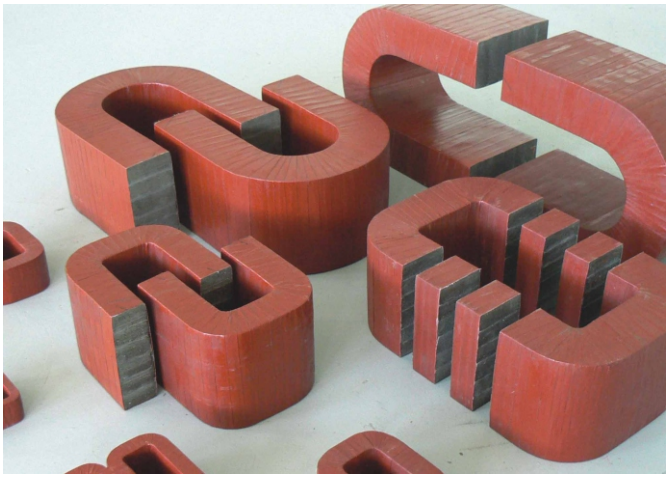
Предпочтительные размеры композиционных магнитопроводов с фиксироанной магнитной проницаемостью: внутренний диаметр не менее 10 мм, наружный диаметр не более 1000 мм, высота кратная 5 мм.

4 СБОРОЧНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАГНИТОПРОВОДЫ ГМ 24ДС

Сборочные композиционные магнитопроводы ГАММАМЕТ 24ДС изготавливаются из ленты магнитомягкого нанокристаллического сплава ГМ 415 с номинальной толщиной 22 мкм и соответствуют требованиям ТУ 1261-032-12282107-2010. Магнитопроводы поставляются после термической обработки в виде комплекта нескольких конструктивных единиц, составные части которого подлежат соединению в процессе сборки магнитной системы электротехничесого изделия у потребителя.

Сборочные композиционные магнитопроводы состоят из собственно магнитопровода (магнитной системы), который пропитан упрочняющим составом, и защитного покрытия. Конструкция магнитопроводов позволяет наносить обмотку непосредственно на покрытие. Класс нагревостойкости магнитопроводов 155°С определяется типом защитного покрытия. Магнитопроводы имеют прямоугольную, овальную, Ш-образную и кольцевую формы. Место реза указывается при заказе.

Сборочные композиционные магнитопроводы используют для изготовления электрических реакторов (дросселей) и трансформаторов в силовой электронике. **Магнитопроводы могут применяться взамен магнитодиэлектриков, ферритов и прецизионных сплавов на частоте до 100 кГц при температуре до 200°С.**



ТИПИЧНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Магнитная индукция насыщения	0,80 Тл
Коэрцитивная сила	3,0 А/м
Магнитострикция насыщения	$1{,}5\cdot10^{-6}$
Температура Кюри	600°С
Плотность	5200 кг/м^3
Удельное электросопротивление	$1{,}25\cdot10^{-6}$ Ом·м

Удельные магнитные потери P (Вт/м^3)

$P = 75(\ln \mu)^{-2,3} f^{1,48} B_m^{1,8}$

для частоты 3-200 кГц, магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц), μ – относительная магнитная проницаемость магнитопровода после сборки.

Физические свойства приведены к единице площади или единице объема магнитопровода.

Размеры сборочного композиционного П - образного магнитопровода (ПЛ) и П-об-разного овального магнито-провода (ПОЛ) представлены на рис. 46 и 47. При этом введены обозначения: *a* - толщина магнитопровода, мм, *b* - высота магнитопровода, мм, *c* - ширина окна магнито-провода, мм, *h* - высота окна магнитопровода, мм, *R* - внутренний радиус магнито-провода, мм, который обычно принимается равным 3 мм. В магнитопроводах ПОЛ величина *h* определяет длину прямолинейной части окна магнитопровода, а внутренний радиус магнитопровода связан с шириной окна соотно-шением $2R = c$. На рис. 48 представлено условное обозначение сборочных компо-зиционных магнитопроводов ПЛ и ПОЛ.

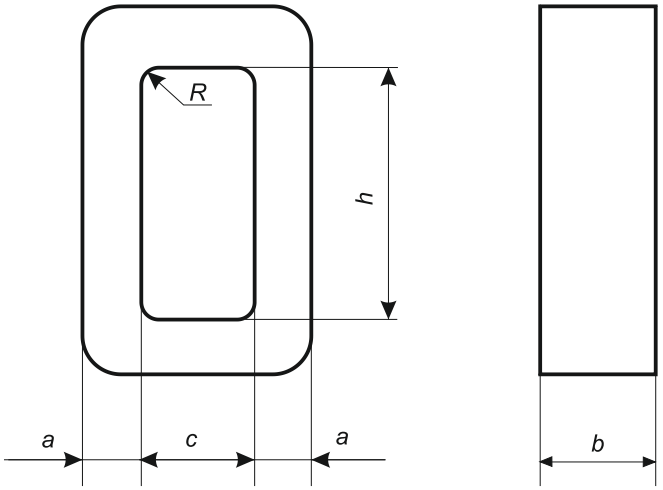


Рис. 46 - Размеры П - образного ленточного магнито-провода ПЛ. Место реза указывается при заказе.

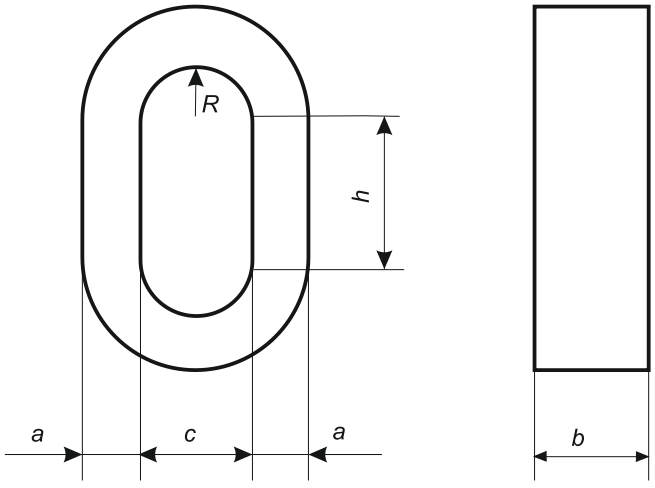


Рис. 47 - Размеры П - образного овального ленточного магнитопровода ПОЛ ($c = 2R$). Место реза указывается при заказе.

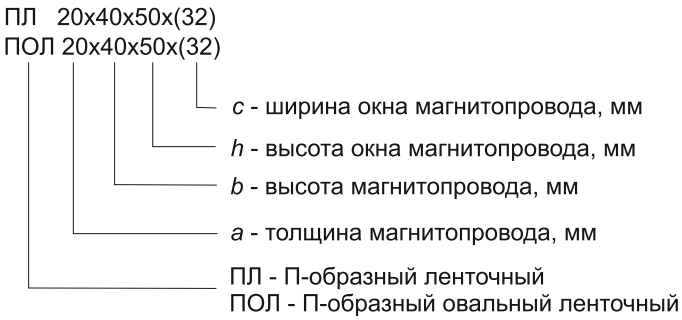


Рис. 48 - Условное обозначение сборочных компо-зиционных магнитопроводов ПЛ и ПОЛ.

Сборочные композиционные магнитопроводы броневой конструкции, изготовленные из двух прямо-угольных магнитопроводов. На рис. 49 представлены размеры магнитопровода ШЛ, а на рис. 50 - мгнитопроводы ШОЛ. В магнитопроводах ШОЛ высота окна *h* определяется длиной прямолинейной части окна магнитопровода.

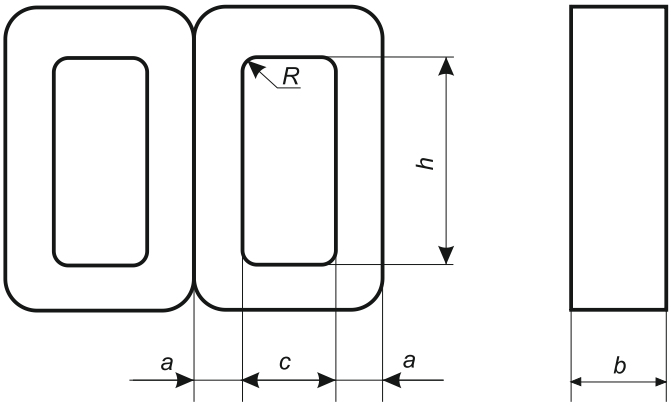


Рис. 49 - Размеры Ш - образного ленточного магнито-провода ШЛ. Место реза указывается при заказе.

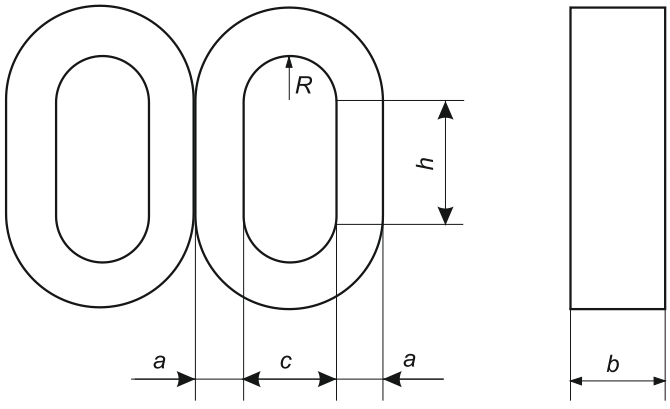


Рис. 50 - Размеры Ш - образного овального ленточного магнитопровода ШОЛ. Место реза указывается при заказе.

©ГАММАМЕТ

На рис. 51 представлено условное обозначение сборочных композиционных магнитопроводов ШЛ и ШОЛ. В таблицах 12 и 13 приведены основные размеры магнитопроводов. Изготовление магнитопроводов других типоразмеров по чертежам заказчика. Предельные отклонения от номинальных размеров магнитопроводов ШЛ и ШОЛ с покрытием должны соответствовать таблицам 6 и 7.

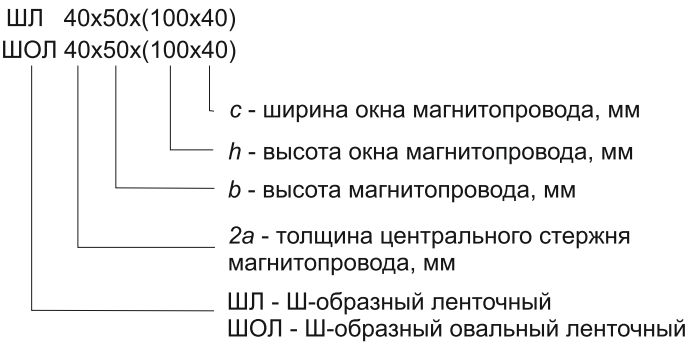


Рис. 51 - Условное обозначение разрезного композиционного магнитопровода ШЛ и ШОЛ.

Таблица 12 - Основные размеры сборочных композиционных магнитопроводов ПЛ.

Типоразмер	Размеры магнитопровода, мм				Средняя длина магнитной силовой линии $l_{ср}\cdot10^2$, м	Площадь поперечного сечения $S\cdot10^4$, м^2	Объем $V\cdot10^6$, м^3
	a	*b*	*c*	*h*			
ПЛ16х30х40 (25)	16	30	25	40	18,0	4,8	86,5
ПЛ16х30х50 (25)				50	20,0		98,5
ПЛ16х30х65 (25)				65	23,0		110,5
ПЛ16х30х80 (25)				80	26,0		124,9
ПЛ20х40х50 (32)	20	40	32	50	22,7	8	181,5
ПЛ20х40х60 (32)				60	24,7		197,5
ПЛ20х40х80 (32)				80	28,7		229,5
ПЛ20х40х100 (32)				100	32,7		261,5
ПЛ25х50х65 (40)	25	50	40	65	28,9	12,5	361
ПЛ25х50х80 (40)				80	31,9		398
ПЛ25х50х100 (40)				100	35,9		448
ПЛ25х50х120 (40)				120	39,9		498
ПЛ32х65х80 (50)	32	65	50	80	36,1	20,8	750
ПЛ32х65х100 (50)				100	40,1		833
ПЛ32х65х130 (50)				130	46,1		958
ПЛ32х65х160(50)				160	52,1		1083
ПЛ40х80х100 (64)	40	80	64	100	45,4	32	1453
ПЛ40х80х120 (64)				120	49,4		1580
ПЛ40х80х160 (64)				160	57,4		1836
ПЛ40х80х200 (64)				200	65,4		2092

Таблица 13 - Основные размеры композиционных разрезных магнитопроводов ШЛ.

Типоразмер	Размеры магнитопровода, мм				Средняя длина магнитной силовой линии $l_{ср}\cdot10^2$, м	Площадь поперечного сечения $S\cdot10^4$, м^2	Объем $V\cdot10^6$, м^3
	a	*b*	*c*	*h*			
ШЛ20х20 (50х20)	10	20	20	50	17,1	4	68,6
ШЛ20х25 (50х20)		25				5	85,7
ШЛ20х30 (50х20)		30				6	102,8
ШЛ20х40 (50х20)		40				8	137,1
ШЛ25х25 (62,5х25)	12,5	25	25	62,5	21,4	6,25	133,9
ШЛ25х30 (62,5х25)		30				7,5	160,7
ШЛ25х40 (62,5х25)		40				10	214,3
ШЛ25х50 (62,5х25)		50				12,5	267,8
ШЛ32х30 (80х32)	16	30	32	80	27,4	9,6	263,3
ШЛ32х40 (80х32)		40				12,8	351
ШЛ32х50 (80х32)		50				16	439
ШЛ32х65 (80х32)		65				20,8	571
ШЛ40х40 (100х40)	20	40	40	100	34,3	16	549
ШЛ40х50 (100х40)		50				20	686
ШЛ40х65 (100х40)		65				26	891
ШЛ40х80 (100х40)		80				32	1097

Сборочные композиционные магнитопроводы ГМ 24ДС поставляются в виде двух или большего числа конструктивных единиц. Численное значение немагнитного зазора заказчик выбирает по своему усмотрению.

Качество реза контролируется по коэффициенту индуктивности A_L обмотки равномерно нанесенной на магнитопровод при минимальном немагнитном зазоре (при плотном сжатии составных частей магнитопровода).

Коэффициент индуктивности магнитопроводов ГМ 24ДС с двумя немагнитными зазорами должен быть не менее

$A_L = 50\pi\cdot S^{0,61}$,

где A_L коэффициент индуктивности, мкГн, S – площадь поперечного сечения магнитопровода, м^2.

В магнитопроводе с четырьмя немагнитными зазорами требование по коэффициенту индуктивности снижается в два раза, а в магнитопроводе с шестью зазорами - в три раза.

Сборочные композиционные магнитопроводы ГМ 24ДС должны иметь класс нагревостойкости в части применения электроизоляционных материалов F (155°С) в соответствии с ГОСТ 8865. Вид климатического исполнения магнитопроводов должен быть УХЛ2 в соответствии с ГОСТ 15150.

Срок сохраняемости магнитопроводов составляет 30 лет. Магнитопроводы безотказны в работе при соблюдении требований технических условий в течение всего срока службы. Срок службы магнитопроводов составляет 30 лет.

Изготовитель гарантирует соответствие магнитопроводов требованиям технических условий при соблюдении условий эксплуатации, транспортирования и хранения. Гарантийный срок хранения магнитопроводов 15 лет со дня изготовления. Гарантийный срок эксплуатации магнитопроводов 15 лет со дня ввода в эксплуатацию в пределах гарантийного срока хранения.

©ГАММАМЕТ

5 СТЕРЖНЕВЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАГНИТОПРОВОДЫ

Стержневые магнитопроводы имеют вид, представленный на рис. 52. За ширину стержня принимается размер *b* в направлении ширины ленты. Стержни изготавливают из нанокристаллического сплава ГМ 415 с термической обработкой без магнитного поля и имеют типовое обозначение ГМ 14С. Магнитопроводы соответствуют требованиям ТТГМ-4-2014 Стержневые ленточные магнитопроводы ГАММАМЕТ.

Структура условного обозначения типоразмера стержневого ленточного магнитопровода показана на рис. 53. Условное обозначение магнитопровода можно представить в виде формулы СЛ*a*x*b*x*l*. Стержневые магнитопроводы могут иметь длину до 1000 мм, а ширина и высота стержня должна быть кратной 5 мм. Стержневые магнитопроводы ГМ 14С используют при температуре до + 200°С.

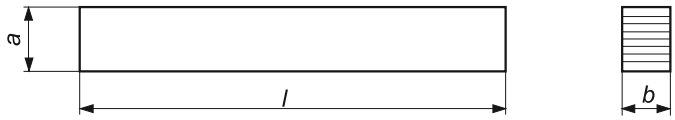
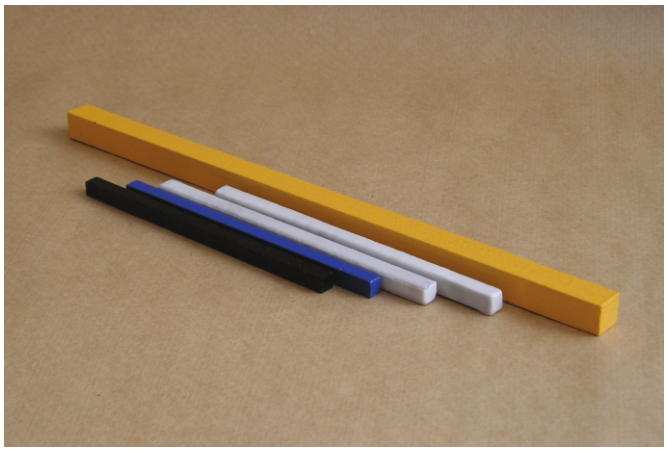


Рис. 52 - Размеры стержневого магнитопровода СЛ.



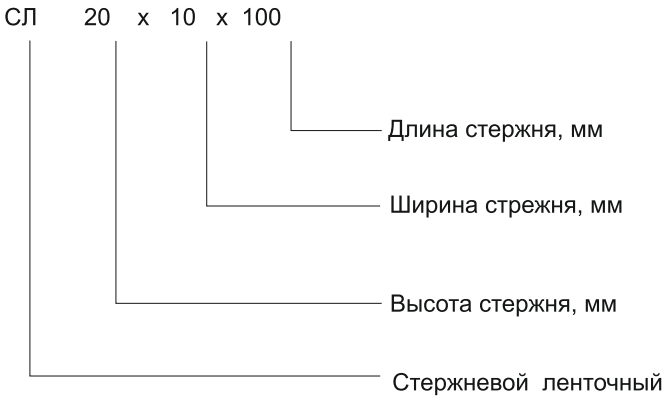


Рис. 53 - Структура условного обозначения типоразмера стержневого магнитопровода СЛ.

МАГНИТОПРОВОДЫ ГАММАМЕТ из аморфных и нанокристаллических материалов для силовой электроники и приборостроения.
Екатеринбург: ООО “Научно-производственное предприятие “Гаммамет”, 2026. - 32 с.

Каталог содержит информацию о магнитопроводах, выпускаемых Научно-производственного предприятия “Гаммамет”. Приведены типичные и гарантируемые свойства магнитопроводов из аморфных и нанокристаллических сплавов. Дана общая информация об области применения магнитопроводов. Каталог содержит справочные материалы для расчета трансформаторов, электрических реакторов и других электромагнитных компонентов силовой электроники и приборостроения.

ГАММАМЕТ
Научно-производственное предприятие
Россия, 620131, Екатеринбург, ул. Татищева 92, офис 1

Магнитопроводы, трансформаторы, электрические реакторы из аморфных и нанокристаллических сплавов для частоты до 200 кГц

Почтовый адрес: 620028, г. Екатеринбург, а/я 118
Телефоны: (343) 334-3877, 334-3878
Подразделение в г. Березовский: телефон (343) 383-1147
gammamet@gammamet.ru
http://www.gammamet.ru

GAMMAMET
Research & Production Enterprise
1Office, 92 Tatishchev street, Ekaterinburg, 620131 Russia

Magnetic cores, transformers, electrical reactors of amorphous and nanocrystalline alloys for frequency up to 200 kHz

P. O. Box 118, Ekaterinburg, 620028, Russia
Phone: (007-343) 334-3877б 334-3878
Beryezovsky phone (007-343) 383-1147
E-mail: gammamet@gammamet.ru
http://www.gammamet.ru

© ГАММАМЕТ 2026