MSTATOR

опыт открытия новых горизонтов

ЛЕНТЫ АМОРФНЫЕ И НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ из сплавов АМАГ

Российское производство
ПАО «МСТАТОР»

СОДЕРЖАНИЕ

1. Историческая справка 3

2. Способ изготовления 6

3. Характеристики и производство ПАО «МСТАТОР» 8

4. Преимущества 11

5. Области применения 12

1. ИСТОРИЯ ЗАРОЖДЕНИЯ АМОРФНЫХ И НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ЛЕНТ В РОССИИ

Первые работы по созданию опытного оборудования и получению аморфных лент начались в СССР во второй половине 70-х годов 20 века. Эта задача была поставлена трем ведомствам: Академии наук в лице Института физики твердого тела (ИФТТ, г. Черноголовка), Министерству черной металлургии, а конкретно ЦНИИчермет (г. Москва) и Министерству электронной промышленности в лице Всесоюзного НИИ материалов электронной техники (ВНИИМЭТ, г. Калуга).

Развитие направления в каждой из отраслей пошло своим путем.

ИФТТ сконцентрировался большей частью на научной работе и теоретическом обосновании взаимосвязи параметров процесса получения ленты и ее свойств. Коллективом исследователей и разработчиков руководил профессор Серебряков А. В. Небольшое опытное производство по собственным ТУ было размещено на металлургическом заводе "Электросталь" в Подмосковье. Основой производства стал высокопроницаемый сплав на основе кобальта с нулевой магнитострикцией.

ЦНИИчермет сосредоточился на создании крупнотоннажного оборудования для последующего массового производства на подведомственных ему предприятиях: Ашинском металлургическом заводе (Челябинская область) и Верхне-Исетском металлургическом заводе, г. Свердловск (Екатеринбург). Первые образцы оборудования были размещены на опытно-экспериментальном заводе ЦНИИЧМ. Позже во ВНИИМЕТМАШе была создана установка Сириус, до сих пор являющаяся основой производства на предприятиях, вышедших из лона Минчермета. Работы большого коллектива возглавили известные ученые: Молотилов Б.В., Соснин В.В., Глезер А.М. и другие. Были разработаны ряд марок аморфных лент и ТУ на них. Некоторые сплавы, такие как 2НСР, 84КХСР, 86КГСР, 82К3ХСР, а также появившийся позже нанокристаллический сплав 5БДСР напрямую или в рамках своих модификаций по-прежнему производятся крупными предприятиями Южного Урала – АМЗ (г. Аша) и Гаммамет (г. Екатеринбург).

Калужский ВНИИМЭТ поставил задачу создания малотоннажного оборудования по производству мерной (от 0,7 до 25 мм) АМОРФНОЙ ЛЕНТЫ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА, отличающейся самой малой толщиной (от 15 мкм). В общей сложности за годы работы были собраны 7 установок типа "Венера", часть из которых в конце 80-х годов были размещены

Олег Иванов

- кандидат технических наук
- специалист в области магнитомягких материалов

на участке производства аморфных лент завода Аметист, входящего в ПО Гранат – в рамках внедрения разработок ВНИИМЭТ. В середине 90-х годов, в процессе банкротства завода Аметист, все оборудование вернулось под крыло НИИ.

Ленты, выпускаемые по собственным ТУ, такие, как АМАГ 183 и АМАГ 176 уже в самом начале 80-х годов стали первыми в СССР, внедренными в серийное производство магнитопроводов, причём (благодаря своему уникальному качеству) – для изделий специальной техники. На заводе Горизонт (ныне ПАО «МСТАТОР»), также входящим в Минэлектронпром СССР, в г. Боровичи, был совершен технологический прорыв в производстве микротрансформаторов благодаря переходу с традиционно использовавшегося пермаллоя на аморфные ленты. В 2-3 раза уменьшились массогабаритные параметры изделий, в огромной степени снизились трудозатраты и энергопотребление производства благодаря полному исчезновению ряда технологических операций и серьёзному упрощению остальных. Это значительное достижение в серийном производстве было высоко отмечено Правительством рядом наград.

Начиная с 1994 года и последующие 15 лет благодаря трехстороннему сотрудничеству НИИМЭТ – ПАО «МСТАТОР» – Yu Yu Co. (Южная Корея) были разработаны около полутора десятков аморфных и нанокристаллических лент марки АМАГ. Работы велись в рамках лаборатории, а с 1996 года – научно-производственного комплекса Сплав, входящего в НИИМЭТ, под руководством выдающегося ученого-металловеда, к.т.н. Чернова Виктора Сергеевича. Составы сплавов АМАГ были защищены несколькими совместными российскими и корейскими патентами.

В начале 2000-х годов, в связи со значительным ростом потребности в подобных материалах, завод МСТАТОР приступил к созданию собственного среднетоннажного оборудования по производству аморфных и нанокристаллических лент – установки розлива «Сатурн». Задача была успешно решена, начат выпуск некоторых лент марки АМАГ по ТУ НИИМЭТ, а затем, в 2010 году, когда по вине собственника у калужского института возникли проблемы и он фактически прекратил свое существование, то и весь параметрический ряд лент данной марки был освоен на производстве ПАО «МСТАТОР». В 2016 году выпущены собственные ТУ, куда вошли ленты не только рожденные НИИМЭТ, но и своей оригинальной разработки, главным образом – НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ СПЛАВЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ.

Компания МСТАТОР сохранила и развила отличительные черты лент АМАГ:

- высочайшее качество;
- прецизионность химического состава;
- наименьшую в России толщину с минимальными допусками по геометрическим размерам;
- самый широкий номенклатурный ряд среди конкурентов.

Важные заметки из интервью с Ивановым О.Г.

Чем так важна толщина аморфной металлической ленты?

– Уменьшение толщины аморфных лент критически важно для снижения потерь в сердечнике на вихревые токи, повышения КПД и, благодаря возможности перехода на более высокие рабочие частоты – значительного уменьшения массогабаритных параметров изделий. У нас одна из самых тонких (от 15 до 25 микрон) и стабильных лент с допуском толщины всего ±2 микрон.

Есть ли возможность конкурировать с Китайскими производителями?

– Да, безусловно. А всё благодаря сильному импульсу развития массового коммерческого рынка в 90-х годах. Именно в это время мы адаптировали советские разработки к требованиям мировой электроники, ориентируясь прежде всего на опыт иностранных конкурентов и компаньонов – это позволило нам занять своё место на глобальном рынке. Кроме того, немаловажную роль до сих пор играют: хорошее фундаментальное понимание закономерностей взаимосвязи характеристик аморфных лент и их химического состава, возможности по быстрой разработке и внедрению новых материалов и изделий, прецизионность технологии получения лент и наличие оборудования, перестраиваемого под различные задачи термомагнитной обработки магнитопроводов на их основе.

Можно ли сегодня поставить точку в изучении аморфных магнитомягких металлических сплавов?

– Конечно, нет! Эта тема продолжает развиваться. Появляются новые удивительные материалы под новые задачи, расширяются области применения разработанных ранее сплавов. Продолжается поэтапная замена традиционных кристаллических магнитомягких материалов аморфными и нанокристаллическими в ряде областей техники. К примеру, с переходом к импульсным источникам питания стали всё чаще смотреть вместо феррита на магнитопроводы из нанокристаллических материалов. А постоянно развивающиеся темы эффективного экранирования и электромагнитной совместимости привели к появлению отдельных узкоспециализированных химических составов аморфных материалов и электронных компонентов на их основе. Не перестаёт удивлять и тенденция быстрого развития технологий, рынок уже диктует новые требования к высокоэффективным материалам.

В частности, для производства электромобилей требуется новое поколение трансформаторов тока и нанокристаллических синфазных дросселей, как в схемах питания, так и в электроприводах.
Разработчики квадрокоптеров сейчас озабочены уменьшением лишней весовой нагрузки комплектующих, избавлением от паразитных помех и снижением внешнего электромагнитного воздействия – и тут мы смогли помочь!

В чём преимущества подобных материалов перед ферритами?

– В ряде случаев эти материалы, благодаря комплексу магнитных характеристик, таких, как индукция насыщения и магнитная проницаемость, позволяют, по сравнению с ферритами, значительно уменьшить размеры изделий и их массу, что критически важно, особенно для специальной техники. Кроме того, аморфные и тем более нанокристаллические ленты обладают намного более высокой температурной стабильностью характеристик по сравнению с ферритами.

Возможно ли импортозамещение?

– Оно не только возможно, но и является жизненной необходимостью, причём для этого имеются все возможности: научные, технологические и материальные.

Много ли в России специалистов осталось, кто изучает новые возможности подобных сплавов?

– Увы, их не может быть много, как не много и серьезных, значимых и имеющих опыт производителей этих сплавов, а таких, пожалуй, можно перечислить на пальцах одной руки.

Изучают ли подобные материалы современные студенты в институтах?

– Видимо, данные сплавы больше фигурируют в обзорных лекциях по новым магнитомягким материалам и областям их применения – в соответствующих вузах. Думаю, одним из учебных заведений, где эта тема даётся наиболее глубоко, является НИТУ «МИСиС», кафедра физического материаловедения – научная школа профессора Кекало И.Б. и его учеников. Нельзя также не назвать УрФУ и одного из ведущих специалистов России по данной тематике Стародубцева Ю.Н.

В каких источниках можно ознакомиться более подробно?

– Источников масса – как российских, так и зарубежных. Особенно много публикаций по теме аморфных сплавов наблюдалось в конце 20-го столетия, в эпоху активной разработки и промышленного внедрения этих материалов, тогда, когда они были еще внове. Однако и в настоящее время достаточно часто появляются статьи, посвященные углубленному изучению свойств аморфных и нанокристаллических лент, изменению их структуры и характеристик под воздействием тех или иных, в том числе узкоспециальных, факторов. Среди отечественных журналов можно назвать «Сталь», «Металловедение и термообработка», «Физика металлов и металловедение» и др. Одним из наиболее серьезных, систематизирующих изданий в рассматриваемой области является книга Ю.Н. Стародубцева и В.Я. Белозерова «Магнитные свойства аморфных и нанокристаллических сплавов», Екатеринбург, Издательство Уральского Университета, 2002.

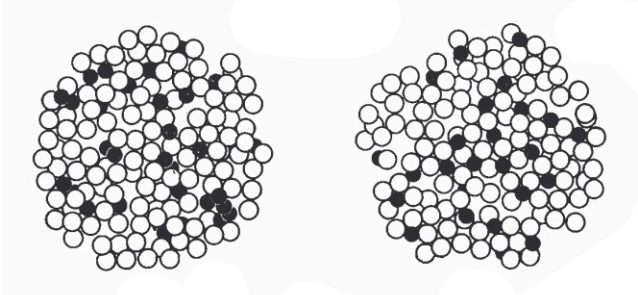
Олег Иванов

> Тема аморфных сплавов, охватывающая своей историей лишь немногим более полувека, ещё бесконечно молода в сравнении с возрастом традиционной металлургии, которой не одна тысяча лет. Не сомневаюсь, на пути этой юной науки впереди ещё немало замечательных открытий и ярких достижений!

2. СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АМОРФНЫХ И НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ И ЛЕНТ

Аморфные сплавы

Аморфные сплавы – новый особый класс прецизионных сплавов, отличающийся от кристаллических сплавов структурой, способом изготовления, областью существования на температурно-временной диаграмме и свойствами.

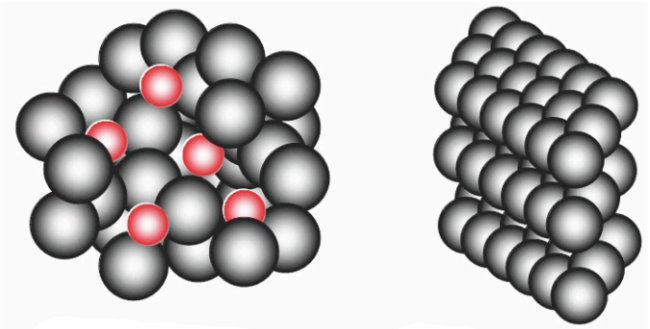


В 60-х годах эксперименты по быстрому охлаждению металлических расплавов, которые проводились с целью получения субмикроскопической структуры металла, обнаружили, что в некоторых случаях кристаллическая решётка в металле вообще отсутствует, а расположение атомов характерно для бесструктурного, аморфного тела. Структура аморфных сплавов подобна структуре замороженной жидкости и характеризуется отсутствием дальнего порядка в расположении атомов. Оказалось, что у аморфного металла совсем другие, не сходные свойства с металлом кристаллическим. Он становится в несколько раз прочнее, повышается его стойкость к коррозии, меняются электромагнитные характеристики и даже одна из самых устойчивых констант – модуль упругости.

В отличие от сплавов с кристаллической структурой, технология получения которых имеет серьёзные проблемы, связанные с антагонизмом свойств компонентов на этапе кристаллизации, в аморфных сплавах прекрасно соединяются, уживаются все необходимые компоненты. При сверхбыстром охлаждении сплав затвердевает, прежде чем компоненты-антагонисты успевают проявить свой антагонизм.
Это открывает широчайшие возможности поиска оптимальных комбинаций компонентов для получения конкретных свойств. Аморфные сплавы получили название металлических стёкол. Интерес к ним стремительно возрастает.

Прежде всего, исследователей заинтересовали ферромагнитные свойства сплавов на основе железа, никеля и кобальта. Магнитомягкие свойства металлических стёкол в основном оказались лучше свойств пермаллоев, притом эти свойства более стабильны. Аморфное состояние сплавов достигается подбором химического состава и использованием специальной технологии охлаждения из расплава со скоростью выше критической, определённой для каждого состава. Отсутствие дислокаций приводит к тому, что металлические стёкла по прочности превосходят самые лучшие легированные стали. Высокая твёрдость влечёт за собой их великолепную износостойкость.

Другое важнейшее преимущество аморфных металлических сплавов – их исключительно высокая коррозионная стойкость. Во многих весьма агрессивных средах (морской воде, кислотах) металлические стёкла вообще не корродируют. Например, скорость коррозии аморфного сплава, содержащего железо, никель и хром, в растворе соляной кислоты практически равна нулю. По-видимому, основная причина такой высокой коррозионной стойкости аморфных сплавов состоит в том, что, не имея кристаллической решётки, они лишены и характерных «дефектов» кристаллов - дислокаций и, главное, границ между зёрнами. Высокая плотность упаковки атомов в кристалле вблизи этих "дефектов" уменьшается столь резко, что вдоль них легко проникают в металл "вражеские агенты". Важно, что бездефектная структура аморфного сплава придаётся той тонкой окисной плёнке, которая образуется на его поверхности на начальных стадиях коррозионного процесса и в дальнейшем защищает металл от прямого контакта с "агрессором". Специфичность технологий позволяет изготавливать аморфные сплавы в виде лент толщиной менее 40 мкм.



Аморфная и кристаллическая структуры

Для изготовления аморфных сплавов в виде лент обычно используется способ охлаждения, при котором струя жидкого металла с определённой скоростью направляется на поверхность быстро вращающегося цилиндра, изготовленного из материала с высокой теплопроводностью.

Микропровод с аморфной структурой изготавливается путём расплавления токами высокой частоты металла, заключённого в стеклянную трубку с коническим дном, с вытягиванием и охлаждением тонкого капилляра, заполненного металлом.

Аморфные сплавы при нагревании переходят в кристаллическое состояние. Для стабильной работы изделий из аморфных сплавов необходимо, чтобы их температура не превышала для каждого сплава максимальной рабочей температуры (Траб max).

В настоящее время наибольшее распространение получили магнитомягкие аморфные сплавы, в которых сочетаются высокие магнитные и механические свойства. Магнитомягкие аморфные сплавы – ферромагнитные сплавы с узкой петлёй гистерезиса. Особенностью магнитомягких аморфных сплавов по сравнению с кристаллическими является большое (около 20%) содержание немагнитных элементов, как бор, кремний, углерод, фосфор и проч., необходимых для сохранения аморфной структуры. Наличие этих элементов снижает максимальные значения индукции насыщения в аморфных сплавах по сравнению с кристаллическими и увеличивает температурный коэффициент магнитных свойств. Эти же элементы увеличивают электросопротивление, повышают твёрдость и прочность аморфных сплавов, а также их коррозионную стойкость. В радио- и электротехнических изделиях с начала восьмидесятых годов стали широко применяться аморфные материалы, которые используются вместо пермаллоев, ферритов, электротехнических сталей, магнитодиэлектриков.

Нанокристаллические магнитные сплавы

Вторым представителем нового класса метастабильных быстроохлаждённых сплавов и активным соперником аморфных сплавов являются нанокристаллические сплавы. Их особенность – сверхмелкокристаллическая структура. Размер кристаллов (наночастицы) в этих сплавах составляет от 1 до 10 нм. Нанокристаллические и аморфные сплавы – ближайшие родственники. Их «родство» основано на двух обстоятельствах.

Во-первых, это структурное сходство. Как известно, структура аморфных сплавов имеет ближний порядок, т. е. состоит из упорядоченных микрогруппировок атомов, размеры которых близки к размерам нанозёрен нанокристаллических сплавов.

Во-вторых, это технология получения. В настоящее время наиболее распространённым методом получения наноструктуры является регулируемая кристаллизация из исходного аморфного состояния.

Таким образом, «материнской» основой нанокристаллического сплава является сплав аморфный.

Структура нанокристаллического сплава представляет собой двухфазную систему, одной из фаз которой являются нанокристаллы, а другой – остаточная аморфная матрица. Свойства наносплава зависят от состава, размера и количества нанокристаллов, а также их соотношения с аморфной фазой. Основой экономичного сырья являются кремний и железо. Имея высокую индукцию насыщения (1.2 Т), хорошую температурную стабильность в широком диапазоне температур от –60 до +180ºС, новый нанокристаллический материал имеет отличные характеристики в высокочастотной области на уровне аморфных сплавов на основе кобальта. При этом новый сплав является намного более экономичным.

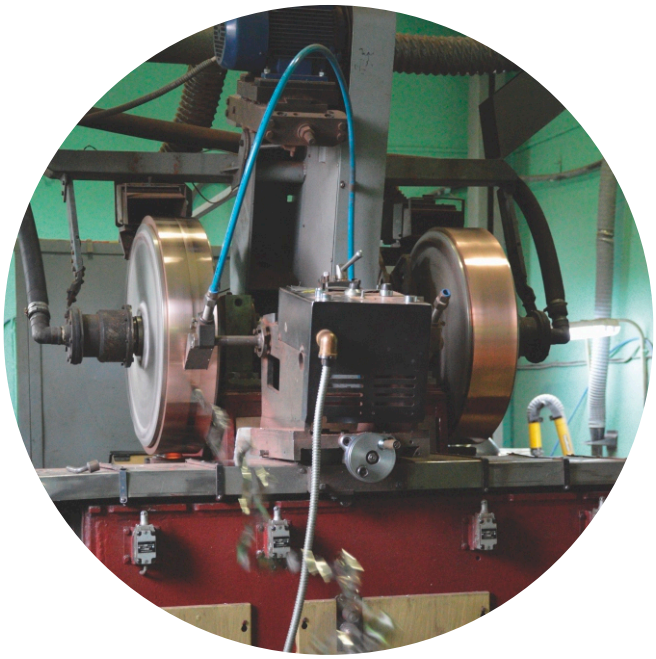
Точное управление параметрами отжига навитых из ленты тороидов позволяет в широких пределах регулировать требуемые свойства материала (например, форму петли гистерезиса, уровень магнитной проницаемости, коэффициент прямоугольности, удельные потери). Одновременно, хорошее качество по доступной цене становится все более весомым показателем конкурентоспособности нанокристаллического материала в сравнении с ферритами и пермаллоями.

3. ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПРОИЗВОДСТВО ПАО «МСТАТОР»

ПАО «МСТАТОР» выпускает широкую номенклатуру лент из аморфных и нанокристаллических сплавов марки АМАГ шириной от 0,7 до 30 мм* и толщиной от 15 до 25 мкм (к примеру, 18 ± 2 мкм) по требованию клиента, а также использует в собственном производстве тороидальных магнитопроводов и законченных электромагнитных компонентов (дроссели и трансформаторы).

* ширина 20, 25, 30 мм в исходном варианте после спиннингования (розлива), менее 20 мм – после резки

Установка получения ленты «САТУРН» в работе



Станок резки ленты РЛМ-3 в работе

Список металлических лент производства ПАО «Мстатор» (Россия, г. Боровичи)

АМАГ (аморфные)	АМАГ 170, АМАГ 172, АМАГ 179, АМАГ 180, АМАГ 183, АМАГ 186А, АМАГ 186В, АМАГ 186С, АМАГ 202, АМАГ 223, АМАГ 225, АМАГ 245, АМАГ 254, АМАГ 321, АМАГ 324, АМАГ 492
АМАГ (нанокристаллические)	АМАГ 178N, АМАГ 200, АМАГ 200С, АМАГ 201N, АМАГ 204N, АМАГ 211N, АМАГ 212N

Сплавы марки АМАГ (ПАО «МСТАТОР») могут иметь сопоставимые свойства со следующими материалами:

ООО НПП «Гаммамет» (Россия)	Гаммамет (аморфные)	ГМ440, ГМ501, ГМ503, ГМ515
	Гаммамет (нанокристаллические)	ГМ412, ГМ414
ПАО «Ашинский металлургический завод» (Россия)	(аморфные)	82КГМСР, 82К3КХСР, 84КСР, 84КХСР, 86КГСР, 2НСР, 15ХНСР, 24КСР, 25НХСР, 30КСР, УСР, 1СР
	(нанокристаллические)	5БДСР
Hitachi (Япония) Metglas, Inc. (США)	Metglas (MG) (аморфные)	MG2605SA1, MG2605CO, MG2605S3A, MG2705M, MG2714, MG2826MB, MG2826MB3, MG2605SC, AHEF-1
	Finemet (FT) (нанокристаллические)	FT-3KM, FT-3KL, FT-3AM, FT-3SH, FT-3K50T, FT-8K50D, FT-3TL, FT-3W
VACUUMSCHMELZE GmbH & Co. KG (Германия)	VITROVAC (VAC) (аморфные)	VAC4040, VAC6025, VAC6030, VAC6070, VAC6080, VAC6125, VAC6150, VAC7505, VAC7600
	VITROPERM (нанокристаллические)	Vitroperm 220F, Vitroperm 250F, Vitroperm 270F, Vitroperm 500F, Vitroperm 712F, Vitroperm 800
Magnetec (Германия)	Nanoperm (нанокристаллические)	Nanoperm, Nanoperm LM
Китай	Аморфные Нанокристаллические	1k101 1k107B, 1k107D

Свойства выпускаемых аморфных лент на основе кобальта

(после соответствующей термомагнитной обработки)

Свойства сплавов	АМАГ 186С	АМАГ 186В	АМАГ 186А	АМАГ 183	АМАГ 180	АМАГ 179	АМАГ 172	АМАГ 170
Индукция насыщения B_{10}, Тл	1,0	0,9	0,85	0,75	0,68	0,66	0,60	0,55
Коэрцитивная сила H_c, А/м	4,0	2,0	1,6	1,2	0,24	0,24	0,24	0,16
Относительная магнитная проницаемость μ на частоте 10 кГц *	1400	2200	3300	10000	35000	50000	70000	120000
Максимальная магнитная μ max проницаемость, $\times 10^3$ **	-	-	-	500	-	800	1000	1200
Удельные потери Руд., Вт/кг * при амплитуде индукции 0,2 Тл на частотах: 10 кГц 100 кГц	1,5÷2,0 50÷60	1,5÷2,0 45÷55	1,5÷2,0 35÷45	1,5÷2,0 30÷40	20÷30	1,0÷1,5 20÷30	1,0÷1,5 20÷25	0,5÷1,0 20÷25
Температура кристаллизации $T_{кр.}$, ºС	450	470	485	515	505	510	520	530
Температура Кюри T_c, ºС	≥ Ткр.	430	380	350	275	265	235	200
Плотность γ г/см^3	7,9	7,85	7,8	7,7	7,8	7,8	7,7	7,7
Коэффициент прямоугольности линейной петли гистерезиса, не более*	0,02	0,03	0,03	0,05	0,05	0,05	0,10	0,20
Коэффициент прямоугольности прямоугольной петли гистерезиса, не менее**	0,95	0,95	0,95	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Магнитострикция насыщения λ_s, $\times 10^{-6}$	0,05	0,05	0,05	1,0	0,1	0,2	-0,1	0,1
Отечественные и зарубежные (VAC – Vacuumschmelze, MG – Metglass) сплавы-аналоги по применению	VAC6150 VAC6125 86КГСР ГМ515	VAC6150	VAC6030	VAC6030 MG2705M 84КСР 82КГМСР	-	-	VAC6070 VAC6080 84КХСР ГМ503	VAC6025 MG2714 82К3ХСР ГМ501

* термомагнитная обработка в поперечном магнитном поле
** термомагнитная обработка в продольном магнитном поле

Свойства выпускаемых аморфных лент на основе железа-никеля

(после термомагнитной обработки в поперечном поле)

Свойства сплавов	АМАГ 202	АМАГ 223	АМАГ 225*	АМАГ 245*	АМАГ 254**
Индукция насыщения B_{10}, Тл	1,4	1,32	1,10	0,83	0,83
Коэффициент прямоугольности Кп, не более	0,1	0,03	0,05	0,10	0,05
Коэрцитивная сила H_c, А/м	4,0	5,0	3,2	1,5	8,0
Проницаемость μ при частоте 10 кГц	5000	1800	6000	8000	1500
Температура кристаллизации $T_{кр}$, ºС	520	425	485	480	400
Температура Кюри T_c, ºС	380	≥Ткр	390	290	≥Ткр
Плотность γ, г/см^3	7,3	7,4	7,4	7,5	7,9
Отечественные и зарубежные (VAC – Vacuumschmelze, MG – Metglass) сплавы-аналоги по применению	VAC7505 2НСР MG2605S3A ГМ440	-	15ХНСР 25НХСР АНЕF-1	VAC4040 MG2826MB АНЕF-1 15ХНСР 25НХСР	-

* Сплавы АМАГ225 и АМАГ245 применяются для изготовления низкотемпературных (инфракрасных) электронагревателей.
Удельное электросопротивление ρ = 1,3~1,35 мкОмхм.
Номинальное сопротивление 1 м ленты шириной 10 мм – 8.5 ± 1,0 Ом.
** Сплав АМАГ254 применяется в метках (датчиках) антикражных систем акустомагнитного типа.

Свойства выпускаемых аморфных лент на основе железа и железа-кобальта

(после термомагнитной обработки в поперечном поле)

Свойства сплавов	АМАГ 321	АМАГ 324	АМАГ 492
Индукция насыщения B_s, Тл	1,80	1,55	1,56
Коэффициент прямоугольности Кп, не более	0,25	0,03	0,20
Коэрцитивная сила H_c, А/м	30,0	4,0	8,0
Проницаемость μ при частоте 10 кГц	300	1700	5000
Температура кристаллизации $T_{кр}$, ºС	400	520	500
Температура Кюри T_c, ºС	≥Ткр	≥Ткр	380
Плотность γ, г/см^3	7,6	7,6	7,3
Отечественные и зарубежные (VAC – Vacuumschmelze, MG – Metglass) сплавы-аналоги по применению	MG2605CO VAC7600	24КСР 30КСР	MG2605SA1 УСР 1СР 1k101

Свойства выпускаемых нанокристаллических лент

(после соответствующей термомагнитной обработки)

Свойства сплавов	АМАГ 178N	АМАГ 200	АМАГ 200С	АМАГ 201N	АМАГ 204N	АМАГ 211N	АМАГ 212N
Индукция насыщения B_{10}, Тл	1,05***	1,2	1,16	1,2	1,2	1,25	1,3
Коэрцитивная сила H_c, А/м	2,0	0,8	0,8	1,5	2,0	3,2	3,2
Проницаемость μ при частоте 10 кГц *	190÷250	30000÷ 80000	50000÷ 100000	30000	10000÷ 15000	3000÷8000	1600÷3000
Температура кристаллизации $T_{кр}$, ºС	450	515	515	515	515	510	500
Температура Кюри T_c, ºС	>$T_{кр}$	570	560	-	-	-	>$T_{кр}$
Плотность γ, г/см^3	7,8	7,3	7,3	7,3	7,4	7,6	7,7
Коэффициент прямоугольности линейной петли гистерезиса, не более*	0,01	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05	0,01
Коэффициент прямоугольности прямоугольной петли гистерезиса, не менее**	-	0,9	0,9	-	-	-	-
Удельные потери Руд., Вт/кг * при амплитуде индукции 0,2 Тл на частотах: 10 кГц 100 кГц	 4÷6 100÷130	 1÷1,5 30÷40	 1÷1,5 30÷40	 - -	 - -	 - -	 2÷3 45-55
Магнитострикция насыщения λ_s, $\times10^{-6}$	-	2	0,5	3	4,5	8	8
Отечественные и зарубежные (Vitroperm, Nanoperm – Vacuumschmelze, Finemet – Hitachi) сплавы-аналоги по применению	-	Finemet 5БДСР МДС-277 ГМ412	Vitroperm 500F Vitroperm 550HF Vitroperm 800 Nanoperm ГМ414 5БДСР МДС-277 FT-3K 1k107	-	Vitroperm 270F Vitroperm 712F	Vitroperm 250F	Vitroperm 220F Nanoperm LM

* термомагнитная обработка в поперечном магнитном поле
** термомагнитная обработка в продольном магнитном поле
*** при H=7200 А/м

Направление аморфных и нанокристаллических материалов активно развивается нашими специалистами. К примеру, недавно были разработаны два новых сплава АМАГ 178N и АМАГ 212N, обладающих значительными преимуществами в магнитопроводах: уникально низкими потерями, высокой предельной рабочей температурой, отличной линейностью петли гистерезиса, что делает их незаменимыми для всех устройств, связанных с хранением энергии.

Магнитопроводы имеют хорошую стабильность проницаемости при изменениях температуры, амплитуды индукции, частоты. Соответственно, на основе нанокристаллической ленты АМАГ 178N была разработана и внедрена новая серия магнитопроводов MSCN-TH.

4. ПРЕИМУЩЕСТВА

Независимо от варианта применения, при использовании аморфных и нанокристаллических магнитопроводов в индуктивных компонентах проявляются следующие преимущества:

- Уменьшенный вес
- Снижение потерь в меди благодаря сокращению числа витков
- Расширенный температурный диапазон от –60 до +125°C
- Повышенная стабильность свойств и надёжность
- Высокая точность для измерительных устройств
- Повышение КПД устройства

Сравнительные характеристики аморфных и нанокристаллических магнитомягких материалов относительно традиционных:

МАТЕРИАЛ / СВОЙСТВА	Электро тех. сталь	Пермаллой		Феррит Mn-Zn	Аморфный		Нанокристаллический
		50 Ni	80 Ni		На осн. Co	На осн. Fe	На осн. Fe
Амплитуда магн. индукции, B_m (T)	2,0	1,55	0,74	0,5	0,6	1,56	1,16
Коэрцитивная сила, H_c (Э)	0,5	0,15	0,03	0,1	0,003	0,03	0,01
Начальная проницаемость, μ_i	1500	6000	40000	3000	70000	5000	70 000
Максимальная проницаемость, μ_m	20000	60000	200000	6000	1000000	50000	600 000
Удельное сопротивление, р μO/см)	50	30	60	1000000	130	130	130
Температура Кюри, T_c (°C)	750	500	500	140	235	415	560
Температура кристаллизации, T_x (°C)	-	-	-	-	520	550	515
Предельная рабочая температура, T (°C)				100	90	150	180
Оптим. область рабочих частот, f (кГц)	0...1	0...10		10...	10...100000		

Лента аморфная и нанокристаллическая

2.2. Метки акустомагнитные и электромагнитные (противокражные технологии)

Технологии противокражных систем постоянно развиваются. В последнее время наблюдается активная конкуренция между основными игроками этого рынка.
Если рассматривать мировые тренды, то можно выделить 7 основных направлений, но на российском рынке на данный момент наибольшее распространение получили

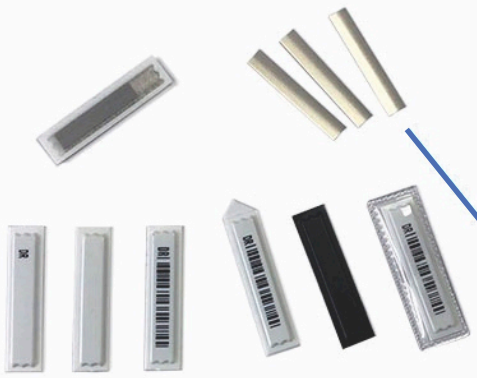
3 ТЕХНОЛОГИИ:

Радиочастотная (РЧ)
(эффективность 70-75%)

Акустомагнитная (АМ)
(эффективность 90-95%)
Аморфная лента **АМАГ 254**
ширина 6 мм

Электромагнитная (ЭМ)
(эффективность до 70%)
Аморфная лента **АМАГ 172**
ширина 0,7 мм

Все эти технологии основаны на принципе однобитных транспондеров



Полоска аморфного магнитомягкого металла (рекомендуем ленты **АМАГ**)

Транспондеры (этикетки) противокражных систем

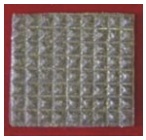
2.3. Магнитные экраны

Композитный радиопоглощающий материал с применением порошка из нанокристаллических лент.

Гибкие полотна из лент аморфных и нанокристаллических магнитомягких сплавов, прошедших специальную термомагнитную обработку.

Обмотка вокруг медного проводника

Однослойный и многослойный композит



Сетка

Применяются аморфные ленты **АМАГ 170** и **АМАГ 172**, а также порошок из нанокристаллической ленты **АМАГ 200С**

5. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Наиболее востребованные области применения аморфных и нанокристаллических лент:

- Магнитопроводы
- Метки акустомагнитные и электромагнитные
- Магнитные экраны
- Низкотемпературные (инфракрасные) электронагреватели
- Припойные ленты
- Дисперсное армирование конструкционных материалов

2.1. Магнитопроводы (основная специализация для ПАО «МСТАТОР»)

В радио- и электротехнических изделиях с начала восьмидесятых годов стали широко применяться аморфные материалы, которые

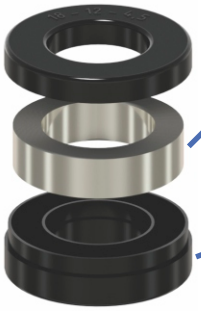
используются вместо пермаллоев, ферритов, электротехнических сталей, магнитодиэлектриков

благодаря сочетанию уникальных магнитных, электрических и механических свойств.

1 метод (ленточные): лента сматывается в тороид, который затем подвергается термомагнитной обработке (без поля, в продольном или в поперечном магнитном поле) в специализированных печах, после чего уже магнитопровод помещают в защитный контейнер или покрывают краской.

2 метод (порошковые): лента сматывается в тороид и подвергается термической обработке. Охрупченную ленту измельчают в порошок с нужным размером фракции, который с помощью связующего компонента формуют в O, EI или другие варианты форм магнитопроводов.

Схема сборки магнитопровода

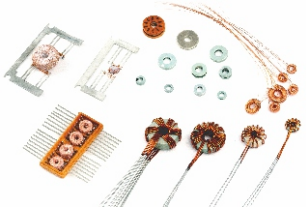


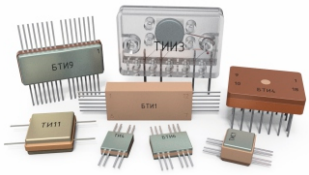
Лента аморфная или нанокристаллическая **АМАГ** свитая в тороид и после термомагнитной обработки

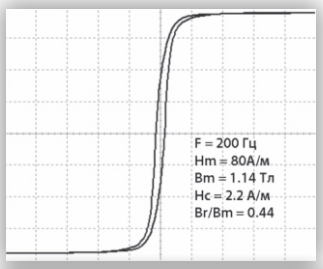
Пластмассовый колпак

ПАО «МСТАТОР» производит широкий ряд витых тороидальных магнитопроводов (ссылка) с внешним диаметром от 3 до 200 мм, высотой от 0,7 до 30 мм из аморфных и нанокристаллических лент АМАГ, а также электромагнитные компоненты на их основе.

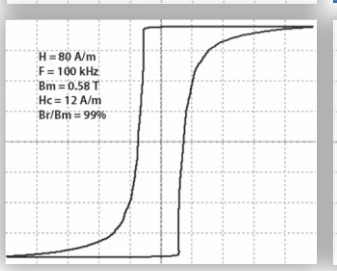
Магнитопроводы применяются в **трансформаторах** и **дросселях**

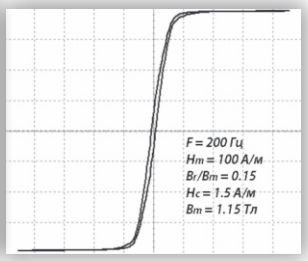






ПОРОШКОВЫЕ МАГНИТОПРОВОДЫ АРН и АРМ





ЛЕНТОЧНЫЕ МАГНИТОПРОВОДЫ

Тип магнитопровода приёмка «ОТК» / «1» КВШУ.684459.090ТУ
приёмка «ВП» / «5» КВШУ.684459.001ТУ

Возможно изготовление по ТЗ заказчика

МАЛЫЕ ПОТЕРИ

2.4. Низкотемпературные (инфракрасные) электронагреватели

Теплый пол или потолок на основе аморфных лент – отличная альтернатива кабельному и водяному нагреву, поскольку в нём нет недостатков, присущих этим двум типам нагревателей.

Преимущества:

- Высокая теплоотдача благодаря крайне малой толщине аморфной металлической ленты всего 15-25 мкм;
- Распространение тепла по помещению с таким обогревом намного эффективней и равномерней;
- Рабочая температура в пределах +40^{0}С, что абсолютно безопасно для человека;
- Система конструктивно очень прочная, чего нельзя сказать о металлах в кристаллическом виде;
- Служит такой пол долго и практически не поддается коррозии;
- Нетребовательность к условиям монтажа: укладывать можно прямо в слой плиточного клея;
- Безопасное электромагнитное поле;
- Отсутствуют конвекционные потоки, связанные с разностью температур в разных горизонтальных плоскостях помещения;
- Экономия электроэнергии за счет быстрого нагрева и медленного остывания;
- Греет не воздух, а непосредственно человека, поэтому сохраняется свежесть окружающего воздуха.

Для электронагревателей у ПАО «Мстатор» есть два сплава: **АМАГ 225** и **АМАГ 245**, обладающие всеми необходимыми конкурентными преимуществами.

Свойства сплавов	АМАГ 225	АМАГ 245
Плотность γ, г/см^3	7.4	7.5
Удельное электросопротивление ρ, мкОмхм	1.3	1.35
Электросопротивление 1 м ленты шириной 10 мм R, Ом	8.5±1	9.0±1

2.5. Припойные ленты

Аморфные припои представляют собой металлические сплавы специальных составов.
Предназначены для пайки однородных и разнородных неразъемных соединений:

металл – металл, металл – керамика,
металл – стекло, керамика – керамика.

- более широкий диапазон по содержанию химических элементов;
- возможность получения заданных свойств без применения серебра, золота и других дефицитных и дорогостоящих легирующих элементов;
- хорошие адгезионные свойства (смачиваемость, растекаемость);
- исключение связующего при пайке;
- возможность дозированной укладки в зазор;
- экономия припоя, минимальная толщина шва;
- узкий интервал температур плавления;
- высокие прочность и пластичность;
- простота и надежность монтажа паяемых соединений;
- возможность механизации и автоматизации технологического процесса пайки – высокая производительность;
- возможность пайки изделий сложной конфигурации за один цикл;
- экологичность.

ПАО «МСТАТОР» производит припойные ленты различного состава по требованиям заказчика

2.6. Дисперсное армирование конструкционных материалов

Дисперсное армирование сочетает в себе высокую прочность аморфного металлического материала и хорошую адгезию к материалу матрицы (бетону или полимеру), в результате чего полученный композит приобретает высокую прочность.

Это позволяет значительно повысить прочность на изгиб бетона, дисперсно-армированного аморфной лентой, по сравнению с неармированным бетоном и по сравнению с бетоном, армированным другими материалами.

Кроме того, данный метод используется в бетонах для агрессивных сред, где применяют ленты с ярко выраженными антикоррозийными свойствами.

Аморфные и нанокристаллические магнитомягкие материалы находят применение в различных отраслях:

- В системах телекоммуникаций. Трансформаторы и дроссели ISDN, DSL, PLC.
- В электротехнической промышленности замена обычной трансформаторной стали аморфным сплавом даёт экономию электроэнергии на вихревых токах.
- В устройствах защитного отключения (УЗО), управляемых дифференциальным током, предназначенных для защиты людей от поражения электрическим током, в том числе и при использовании бытовой электроаппаратуры. Высокая проницаемость обеспечивает хорошую чувствительность, низкий порог срабатывания и хорошую точность.
- В солнечных генераторах.
- В высокоэффективных электромагнитных экранах. Низкотемпературный отжиг позволяет получить высокую магнитную проницаемость при сохранении высокой пластичности ленты. Используются для экранировки специальных помещений с чувствительной аппаратурой, экранировки чувствительных узлов аппаратуры, экранировки кабелей (кабели обматываются лентой) и т.п.
- В электроизмерительной технике - трансформаторах тока, электронных счётчиках электроэнергии. Использование нанокристаллических материалов в трансформаторах тока повышает точность измерения, исключает зависимость от формы и симметрии тока нагрузки, обеспечивает класс точности 0.2.
- В фильтрах ЭМС/электромагнитных помех (EMC/EMI) для переключаемых источников питания (SMPS) и инверторных приводов. Отличаются более высоким коэффициентом подавления помех в широком диапазоне частот.
- В импульсных источниках питания, инверторах, в AC/DC и DC/DC преобразователях. За счёт новых материалов обеспечиваются высокая надёжность, высокий КПД, малые размеры и вес, низкий уровень помех.
- В дросселях магнитных усилителей. Малый размер, низкий ток управления, низкие потери.
- В высокочастотных силовых трансформаторах и дросселях. Низкие потери и высокая рабочая температура обеспечивают снижение габаритов
- В дросселях корректоров коэффициента мощности. Низкие потери и малые габариты.
- В современных источниках питания для электрической сварки. Малая масса устройств, широкий диапазон температур, возможность работы с стабильным постоянным током. Лёгкость регулирования режима, универсальность.
- В зарядных устройствах аккумуляторных батарей. Малые габариты, автоматическое отключение, работа по оптимальной программе, многоканальные зарядные устройства.

  В промышленных балластах. Надёжность, низкий вес, жёсткие условия эксплуатации.
- В аудио- и видеоаппаратуре для изготовления магнитных головок высокочастотной высокоплотной записи
- В ламповых усилителях аудио аппаратуры Hi-End класса для изготовления выходных звуковых трансформаторов.
- Высокая радиационная и коррозийная стойкость аморфных материалов позволяет использовать их в качестве аморфных припоев на основе никеля и меди для соединения узлов ядерных и термоядерных реакторов в атомной технике.
- В датчиках противокражных устройств электромагнитного и акустомагнитного типов.
- Высокое удельное сопротивление аморфных материалов позволяет использовать их в качестве резистивных элементов в эффективных низкотемпературных (инфракрасных) ленточных нагревателях с коэффициентом использования поверхности до 95%. Используются в автомобилях (нагрев сидений, подогрев топливопроводов, аккумуляторов), в строительстве (тёплые полы, потолки, новые системы отопления), в сельском хозяйстве (локальный подогрев помещений в животноводстве, обогрев ульев, теплиц, инкубаторов и т.п.).
- В гасителях коротких всплесков напряжения/тока (помехоподавляющие магнитопроводы). Одеваются на выводы компонентов. Устраняют причину помех, изменяя характер переключения.
- В автомобильной технике: в источниках питания, гибких магнитных антеннах, помехоподавляющих дросселях и др.

Заказ изделий **expo@mstator.ru**

Мы ждём Вашего звонка **+7 (81664) 9-02-26**

MSTATOR

ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО “МСТАТОР”

РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ПОСТАВКА МАГНИТОМЯГКИХ МАТЕРИАЛОВ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОМПОНЕНТОВ

АДРЕС:

РОССИЯ,
НОВГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ,
БОРОВИЧСКИЙ РАЙОН,
Г. БОРОВИЧИ,
УЛ. А.НЕВСКОГО, 10

САЙТ:

WWW.MSTATOR.RU

E-MAIL:

EXPO@MSTATOR.RU

ТЕЛ.:

8-81664-90226

ФАКС:

8-81664-44284