

УДК 537.6.8

## АМОРФНЫЕ ФЕРРОМАГНИТНЫЕ СПЛАВЫ

Морозова А.Э., Рыжков Н.С.

Научный руководитель – Маркова Л.В., д.т.н., профессор

Понятие “металл” до недавнего времени связывалось с понятием “кристаллического тела”, атомы которого расположены в пространстве строго упорядочено. Однако в 60-х годах эксперименты по быстрому охлаждению металлических расплавов обнаружили, что в некоторых случаях кристаллическая решётка в металле вообще отсутствует, а расположение атомов характерно для бесструктурного, аморфного тела. Так появились аморфные сплавы (АС), которые также называются металлическими стёклами.

**Структура АС.** До настоящего времени нет прямых экспериментальных методов, которые могли бы дать однозначный ответ о структуре аморфных сплавов. Однако с помощью рентгеновской, нейтронной, электронной дифракции было показано, что в АС имеется ближний порядок, в отличие от дальнего порядка, характерного для кристаллических металлов. При нагреве АС до температуры кристаллизации  $T_x$  (300–1000 К) его структура перестраивается в обычную кристаллическую структуру. Данные особенности аморфной структуры обуславливают высокий уровень и уникальное сочетание механических, физических и магнитных свойств, недостижимых для кристаллических аналогов.

**Свойства АС.** Аморфные сплавы имеют особые магнитные свойства, одним из которых является более высокое значение начальной магнитной проницаемости как на низких (0,1–1 МГц), так и на высоких (5–15 МГц) частотах. Это свойство определяется высоким удельным электрическим сопротивлением аморфных ферромагнетиков.

Среди электрических свойств АС можно отметить высокое удельное электрическое сопротивление в 3–5 раз выше, чем у кристаллических аналогов. Так как при движении электронов через нерегулярную структуру сплава они испытывают гораздо больше столкновений с ионами, чем в кристаллической решетке [1].

Несмотря на то, что плотность аморфных сплавов на 1–2% ниже плотности кристаллических аналогов, прочность их выше в 5–10 раз. Более

высокая прочность связана с тем, что в АС отсутствуют такие дефекты, как дислокации и границы зерен, свойственные кристаллическому состоянию. Высокая твёрдость влечёт за собой их высокую износостойкость. Другое важнейшее преимущество АС – их высокая коррозионная стойкость. Во многих весьма агрессивных средах металлические стёкла вообще не корродируют.

В настоящее время наибольшее распространение получили ферромагнитные аморфные сплавы, в которых сочетаются высокие магнитные и механические свойства. Ферромагнитные аморфные сплавы имеют узкую петлю гистерезиса. В радио- и электротехнических изделиях с начала восьмидесятых годов стали широко применяться аморфные материалы, которые используются вместо пермаллоев, ферритов, электротехнических сталей, магнитодиэлектриков.

**Методы получения АС.** Аморфные металлические сплавы получают в основном или закалкой из жидкого состояния, или ионно-плазменным распылением металлов из сплавов.

Закалка из жидкого состояния основана на том, что при быстром охлаждении расплава (со скоростью  $10^6$ – $10^8$  К/с) атомы не успевают переместиться на расстояние, которое позволило бы им сформировать кристаллическую решетку. На рис.1а представлено устройство, реализующее этот метод. Обод металлического диска или цилиндра изготавливается из материала, обладающего хорошей теплопроводностью. Струя расплавленного металла вытекает под небольшим давлением (0,2 атм) через инжекционное сопло, которое сделано из плавленого кварца или окиси алюминия. Струя попадает на поверхность быстро вращающегося колеса и затвердевает в виде непрерывной ленты шириной от 1 до 20 мм и толщиной 20–40 мкм.

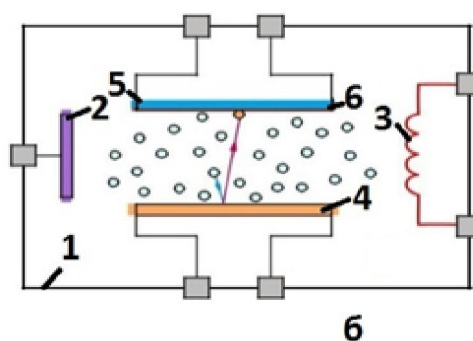
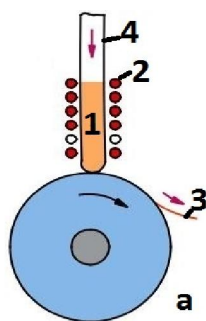


Рисунок 1. Схема устройства для получения аморфных сплавов закалкой из жидкого состояния (а) ионно-плазменным распылением металлов из сплавов (б)

Метод ионно-плазменного распыления металлов из сплавов реализован в устройстве, основанном на четырех электродной схеме распыления рис.1б. Вся система находится в вакуумной камере 1, содержащей газ аргон под давлением 0,5 Па. При нагреве вольфрамовой спирали 3 электрическим током эмитированные электроны перемещаются в сторону анода 2 под действием потенциала, создаваемого источником высокого напряжения (порядка 3 кВ). По пути электроны сталкиваются с атомами аргона и ионизируют их. Ионы аргона образуют плазму. После того, как “зажглась” плазма, к мишени 4 прикладывается отрицательный потенциал. При этом положительно заряженные ионы инертного газа из плазмы устремляются на мишень. Ионы аргона, имея достаточно большую энергию, выбивают поверхностные атомы мишени. Распыляемые таким образом атомы осаждаются на подложку 5. Расчеты показывают, что скорость охлаждения достигает значений 1010К/с. Аморфные металлические сплавы получают в виде напыленного слоя 6 толщиной от 1 до 1000 мкм [2].

**Применение ферромагнитных аморфных сплавов.** АС используются для изготовления чувствительных элементов в миниатюрных магнитоупругих датчиках оперативного контроля вязкости жидкостей, работа которых основана на явлении магнитострикции [3].

Пластинки аморфного ферромагнитного сплава применяются в транспондерах (этикетках) противокражных систем акустомагнитной технологии, которые широко распространены в торговых сетях.

АМС на основе железа применяются как материалы для сердечников высокочастотных трансформаторов различного назначения, дросселей, магнитных усилителей.

**Выводы.** Применение аморфных сплавов является перспективным в различных областях техники. В частности, возможно изготовление сверхпроводящих кабелей. Однако широкому распространению аморфных металлов препятствуют высокая себестоимость, сравнительно низкая

термическая устойчивость, а также малые размеры получаемых лент, проволоки, гранул.

### Литература

1. Чуева Т. Р. Разработка «толстых» аморфных микропроводов в системе  $Fe_{75}Si_{10}B_{15} - Co_{75}Si_{10}B_{15} - Ni_{75}Si_{10}B_{15}$ /Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01. – М., 2014. – 86 с.
2. Золотухин И.В. Аморфные металлические материалы// Соросовский образовательный журнал. –1997. – №4. – С.73–78.
3. Л.В. Маркова, В.М. Макаренко, М.С. Семенюк, А.П. Зозуля, Х.Конг, Х-Г. Хан. Магнитоупругий вискозиметр для оперативного контроля вязкости смазочных масел// Трение и износ. – 2011. – Т. 32, № 1. – С.54-64.

УДК 535.016

### УПРАВЛЯЕМЫЕ ЖИДКИЕ ЛИНЗЫ

Веракса Р.В., Камыш В.В.

Научный руководитель – Маркова Л.В., д.т.н., профессор

В настоящее время развитие технологий позволяет создавать управляемые (адаптивные) жидкие линзы (ЖЛ), что является актуальной задачей в проектировании компактных быстро фокусирующихся оптических приборов.

Существуют различные методы управления параметрами жидкой линзы – гидравлический, электростатический, химический и др.

На рис. 1а показана принципиальная конструкция ЖЛ с управлением на гидравлической основе. Камера 1 закрыта прозрачными эластичными мембранами 2 и заполнена оптически прозрачной жидкостью 3. Давление в камере управляется поршнем 4. Физические свойства жидкости и мембраны позволяют формировать сферическую поверхность жидкой линзы от выпуклой (рис. 1б) до вогнутой (рис. 1в).