

**ИЗМЕНЕНИЕ МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТЕКОЛ ПОД
ВЛИЯНИЕМ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ**

Федоров В.А., Яковлев А.В., Плужникова Т.Н., Березнер А.Д., Федотов Д.Ю.

*Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина,
г. Тамбов, Россия, E-mail: feodorov@tsu.tmb.ru*

Аморфное состояние твердого тела – одна из наименее изученных областей современной физики конденсированного состояния. Его можно определить как состояние с отсутствием корреляций между атомами на больших расстояниях при сохранении их на ближайших координационных сферах. Отсутствие дальнего порядка в расположении атомов приводит к совокупности таких физических свойств, которые нельзя получить в твердом теле с кристаллической структурой.

Большой интерес, который привлекают к себе аморфные металлические сплавы или металлические стекла, обусловлен как фундаментальными проблемами (задачами), так и прикладными аспектами их использования. Так, несмотря на значительное количество научных публикаций, до настоящего времени отсутствуют единые представления о структуре аморфных металлических сплавов. Многочисленные модели аморфного состояния твердого тела, как правило, не могут адекватно описать его физические свойства. Особенностью аморфных твердых тел, и в частности, аморфных металлических сплавов, является отсутствие у них дефектов, присущих кристаллическим твердым телам (дислокаций, границ зерен и т.д.) что во многом обуславливает высокие магнитные свойства аморфных металлических сплавов. Варьирование химического состава позволяет получать многообразие их магнитных характеристик.

Важно отметить, что, несмотря на значительное число опубликованных работ, посвященных исследованию магнитных и магнитоупругих свойств аморфных металлических сплавов до сих пор отсутствуют целостные представления, связывающие между собой процессы перестройки доменной структуры аморфных металлических сплавов, особенности их структурного состояния, магнитные, магнитоупругие свойства. Выработка таких представлений затруднена из-за целого ряда факторов, среди которых следует отметить сложность наблюдения у таких сплавов доменной структуры и процессов ее перестройки под действием магнитного поля и упругих деформаций, высокую чувствительность магнитной и фазовой структур к режимам предварительных обработок, а также многообразие объектов исследования, отличающихся методами получения и геометрическими параметрами (аморфные металлические сплавы в виде лент, пленок и проволоки). При этом для объяснения свойств аморфных металлических сплавов практически не использовались представления о механизмах перестройки доменной структуры развитые для тонких магнитных пленок. Широкое использование этих представлений стало актуальным только в конце 90-х годов прошлого – начале нынешнего века, после обнаружения у аморфных сплавов эффекта гигантского магнито-импеданса. В последние несколько лет все более актуальным направлением в области исследования аморфных металлических сплавов становится направление, связанное с целенаправленным управлением их магнитными свойствами. Дальнейшее развитие исследований в этой области непосредственно связано с изучением взаимосвязи магнитных и магнитоупругих характеристик аморфных металлических сплавов с процессами перестройки их доменной структуры под действием внешних магнитных полей и упругих деформаций.

В настоящее время недостаточно полно исследовано поведение магнитоупругих характеристик аморфных металлических сплавов в магнитных полях, а также влияние на эти характеристики различных видов предварительной обработки сплавов и упругих деформаций. Не разработаны систематические представления о процессах перестройки магнитной доменной структуры в аморфных металлических пленках, лентах и проволоках, под действием магнитного поля и упругих напряжений. Практически не исследованы вопросы влияния рельефа поверхности и неоднородностей магнитной структуры на магнитные и магнитоупругие свойствам аморфных металлических лент и проволоки.

Одной из значимых проблем при исследовании неупорядоченных сред таких как аморфные металлические сплавы остается проблема стабильности магнитных свойств и контроля изменений их физических и механических характеристик.

В работе проведены исследования магнитных характеристик аморфных металлических сплавов на основе Со, полученных методом спиннингования с различным содержанием основы и набором составляющих. Размеры образцов для исследований 0,02x3,5x80 мм. В первой серии экспериментов образцы подвергались 10-ти минутному изохронному отжигу при температурах 443, 593, 743, 893 К. Во второй серии образцы подвергались комбинированному действию отжига и нагружения, т.е. испытаниям на ползучесть, причем исследовались образцы на различных стадиях ползучести при температурах указанных выше. После указанных воздействий исследовали магнитные характеристики на вибрационном магнитометре фирмы LakeShore. Для всех образцов определялись: намагниченность насыщения, коэрцитивная сила, остаточная намагниченность, коэффициент прямоугольности. На вибрационном магнитометре были сняты петли гистерезиса для всех образцов сплавов АМАГ-179, АМАГ-180, АМАГ-183 АМАГ-186 после указанных обработок. Результаты приведены в таблицах 1, 2. В таблицах приведены усредненные значения основных магнитных характеристик.

Таблица 1 – Намагниченности насыщения и коэрцитивные силы для образцов АМАГ-179, АМАГ-180, АМАГ-183, АМАГ-186 после отжига

| Температура, К | АМАГ-179 | | АМАГ-180 | | АМАГ-183 | | АМАГ-186 | |
|----------------|---|--|---|--|---|--|---|--|
| | Н _с , Э Коэрцитивное поле | М/м, ед. СГС/г Магнитное насыщение | Н _с , Э Коэрцитивное поле | М/м, ед. СГС/г Магнитное насыщение | Н _с , Э Коэрцитивное поле | М/м, ед. СГС/г Магнитное насыщение | Н _с , Э Коэрцитивное поле | М/м, ед. СГС/г Магнитное насыщение |
| 443 | 0,15 | 51,4 | 0,8 | 60,6 | 0,7 | 73 | 0,5 | 83,2 |
| 593 | 0,25 | 42 | 0,25 | 67,9 | 0,1 | 74,4 | 0,3 | 84,5 |
| 743 | 0,1 | 45,1 | 0,4 | 72 | 0,1 | 74,3 | 0,3 | 83,7 |
| 893 | 0,2 | 44,9 | 184,8 | 72,65 | 94,3 | 72,6 | 131,9 | 56,1 |

Для образцов сплавов АМАГ-179, АМАГ-180, АМАГ-183 АМАГ-186, подвергавшихся 10-ти минутному отжигу при различных температурах были построены графики зависимости коэрцитивной силы и намагниченности насыщения от температуры отжига. Из полученной зависимости коэрцитивной силы от времени отжига наблюдается тенденция к росту коэрцитивной силы при температуре отжига близкой к температуре Кюри, что может быть связано с резкой переменой магнитных характеристик, обусловленных атомными перестройками. У сплава АМАГ-180 наблюдается тенденция к росту намагниченности насыщения, что может быть связано с тем, что у данного сплава не достигнута температура Кюри. У всех исследованных сплавов с увеличением содержания основы наблюдается повышение магнитных характеристик. Кобальт относится к группе железа, являющегося ферромагнетиком, что может являться причиной изменения магнитных характеристик исследуемых сплавов. При одинаковом, постоянном времени отжига 10 минут в диапазоне температур от 443 до 893 К наблюдалось изменение коэрцитивной силы, а также изменение намагниченности насыщения. При температуре близкой к температуре Кюри происходит резкий скачок магнитных характеристик, что обусловлено сменой магнитных свойств. При комбинированном действии отжига и нагружения наблюдается увеличение коэрцитивной силы и намагниченности насыщения у исследуемых сплавов, что обусловлено дополнительным воздействием деформации на магнитные характеристики. Предположительно изменение магнитных характеристик при указанных воздействиях объясняется устранением анизотропии, связанной со спонтанными структурными дефектами, такими как: пары атомов с изменённой

валентностью, микрообласти с пониженной и повышенной плотностью упаковки атомов, поры, межкластерные границы, трещины и т.д. Нагружение образца при термической обработке вызвало уменьшение коэрцитивной силы, по-видимому, уменьшив таким образом дефекты структуры материала. Следует отметить, что на основании полученных результатов можно говорить о возможности управления магнитными свойствами конкретного аморфного материала с помощью отжига, что является важным заключением для современной промышленности.

Таблица 2 – Намагниченности насыщения и коэрцитивные силы для образцов АМАГ-179, АМАГ-180, АМАГ-183, АМАГ-186 после комбинированного действия отжига и нагружения

| Температура, К | АМАГ-179 | | АМАГ-180 | | АМАГ-183 | | АМАГ-186 | |
|----------------|---|--|---|--|---|--|---|--|
| | Н _c , Э Коэрцитивное поле | М/м, ед. СГС/г Магнитное насыщение | Н _c , Э Коэрцитивное поле | М/м, ед. СГС/г Магнитное насыщение | Н _c , Э Коэрцитивное поле | М/м, ед. СГС/г Магнитное насыщение | Н _c , Э Коэрцитивное поле | М/м, ед. СГС/г Магнитное насыщение |
| 443 | 0,2 | 43,8 | 0,1 | 66,7 | 0,25 | 77 | 0,5 | 93,4 |
| 593 | 1,2 | 44,3 | 0,3 | 69,7 | 34,5 | 72,1 | 0,5 | 92,5 |
| 743 | 425,5 | 44,8 | 0,55 | 66,2 | 233,2 | 74,3 | 126,8 | 67,5 |
| 893 | 176,6 | 40,8 | 154,8 | 51,7 | 290 | 74 | 180 | 80,7 |

Таким образом, отжиг и комбинированное действие отжига и нагружения приводят к изменению магнитных характеристик исследуемых сплавов, а также увеличение содержания основы вызывает повышение магнитных характеристик.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №15-41-03166, грант № 15-01-04553_а).