

Отзыв

официального оппонента на диссертацию **Чуевой Татьяны Равильевны** «РАЗРАБОТКА «ТОЛСТЫХ» АМОΡФНЫХ МИКРОПРОВОДОВ В СИСТЕМЕ $Fe_{75}Si_{10}B_{15} - Co_{75}Si_{10}B_{15} - Ni_{75}Si_{10}B_{15}$ », представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Диссертационная работа Т.Р. Чуевой посвящена перспективной области материаловедения – исследованию условий формирования аморфных проводов в стеклянной оболочке. Капельная технология получения микропроводов в стеклянной оболочке методом Улитовского-Тейлора известна уже довольно давно, более 50 лет. Эта технология обеспечивает очень высокую скорость закалки металлического расплава и позволяет получать аморфные микропровода с диаметром жилы 5-30 мкм. Благодаря стеклянной оболочке и радиальной симметрии в аморфных микропроводах достигнуты рекордные магнитные и электрофизические свойства. Данная диссертация посвящена развитию капельного метода Улитовского, получены аморфные провода толщиной 100 мкм и более. Для этих проводов, сочетающих высокие механические и магнитные характеристики, открываются перспективы использования, например, в качестве армирующего элемента различного рода композитов, в том числе – стересс-чувствительных. Получен принципиально новый материал, обладающий комплексом новых, недостижимых ранее свойств. Поэтому постановка задачи данной диссертационной работы, безусловно, является **актуальной**. Данная работа несомненно обладает **научной новизной** и является важным этапом на пути освоения новых, высокотехнологичных наукоемких материалов.

Диссертационная работа состоит из введения и шести глав, выводов и списка цитируемой литературы, изложена на 89 страницах, включает 44 рисунка и 2 таблицы.

Первая глава диссертационной работы посвящена анализу известных данных по исследуемой проблеме. Приведены общие данные об аморфной структуре металлических систем, их отличительных свойствах, способности к аморфизации и кристаллизации. Особое внимание уделено технологии получения аморфных микропроводов в стеклянной оболочке методом Улитовского-Тейлора. Проведено сравнение капельного и непрерывного методов получения микропровода, рассмотрены особенности получения и свойств «тонких» и «толстых» микропроводов. На основе анализа известных данных сформулированы задачи диссертационной работы. В целом обзор литературы дает адекватное представление о состоянии вопроса по теме диссертации.

Следующая глава - методическая. В работе с целью поиска наиболее легко аморфизируемых композиций исследовали значительное число сплавов (более 30) в системе $Fe_{75}Si_{10}B_{15} - Co_{75}Si_{10}B_{15} - Ni_{75}Si_{10}B_{15}$. Ясно изложены методы получения лигатур, аморфных лент и основного оригинального метода получения аморфных проводов в стеклянной оболочке. Для исследования структуры в работе использовали современные методы электронной и оптической микроскопии и рентгеноструктурного анализа (РСА). Кристаллизацию изучали методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Даны описания методик

определения механических, магнитных и магнитоупругих характеристик полученных материалов.

В третьей главе излагаются результаты исследований в системе $Fe_{75}Si_{10}B_{15} - Co_{75}Si_{10}B_{15}$. Выявлены наиболее легко аморфизируемые композиции, получены аморфные микропровода толщиной до 100 мкм. Удивительно, но максимальной стеклообразующей способностью в этой системе обладают составы с близкой к нулю магнитострикцией $[Fe_5Co_{95}]_{75}Si_{10}B_{15}$, обладающие наилучшими магнитомягкими свойствами. Исследованы стадии кристаллизации аморфных фаз при нагреве, проведен рентгеноструктурный анализ образующихся фаз. Показано, что толстые провода имеют хорошую пластичность в аморфном состоянии.

В четвертой главе рассматриваются сплавы уже тройного разреза $Fe_{75}Si_{10}B_{15} - Co_{75}Si_{10}B_{15} - Ni_{75}Si_{10}B_{15}$. Подробно описаны результаты термического анализа сплавов исследуемой тройной системы, построены тройные диаграммы поверхностей ликвидус и солидус в тройной и соответствующих двойных системах. Методом ДСК изучены стадии кристаллизации аморфных сплавов при нагреве. Однако, в работе при исследовании механизма кристаллизации не приведено точной идентификации фаз, выделяющихся на каждой стадии кристаллизации. Вообще, глава написана очень лаконично. Колоссальный объем экспериментальной работы описан довольно скупо. Так, рис 4.3 содержит огромное количество информации, а его описанию посвящено 8 строк. В данной главе предложен довольно оригинальный способ оценки склонности сплавов к аморфизации: провода одинакового диаметра разрушаются (частично кристаллические) или не разрушаются (аморфные) при завязывании плотного узла. Выявлено, что сплавы с повышенной склонностью к аморфизации имеют двухстадийную кристаллизацию при нагреве.

Особое внимание в 4 главе уделено стресс-чувствительности полученных ферромагнитных проводов. Исследованы области составов в тройной системе $Fe_{75}Si_{10}B_{15} - Co_{75}Si_{10}B_{15} - Ni_{75}Si_{10}B_{15}$ с повышенной стресс-чувствительностью магнитных характеристик. В данном разделе приведены данные об областях составов сплавов, для которых магнитоупругий эффект имеет различный знак. Выявлены 2 оптимальных состава проводов, для которых характерен довольно высокий уровень склонности к аморфизации, что позволяет получать провода с большим диаметром, с одной стороны, и которые обладают высоким магнитоупругим эффектом, имеющим при этом различный знак – с другой. Эти сплавы выбраны для дальнейших исследований.

В главе 5 для выбранных составов сплавов диссертант провел специальные исследования по выявлению факторов, обеспечивающих получение проводов максимального диаметра. Для одного из составов аморфное состояние с сохранением пластических свойств было получено для диаметра 140 мкм. Исследованы механические свойства этих проводов, объемные и поверхностные магнитные свойства, характеристики магнитоупругого поведения. В данной главе приведены очень качественные электронные микрофотографии полос сдвига в аморфном проводе после пластической деформации. Одной из проблем аморфных сплавов является их хрупкость. Начало пластического течения, как правило, сопровождается катастрофическим развитием полос сдвига и разрушением. Этому вопросу было посвящено значительное число исследований, найдены особенности деформации ряда объемных сплавов, обсуждаются механизмы торможения полос

сдвига. В данном случае эти полосы образуют правильные пространственные сетки и это прекрасно показано микроскопическими исследованиями.

Последняя 6 глава диссертации посвящена анализу возможных применений полученных в работе микропроводов, в которых могут быть реализованы их высокие механические и магнитоупругие характеристики.

К наиболее важным достижениям данной диссертации можно отнести следующие:

На основе известного метода Улитовского-Тейлора разработан новый метод непрерывного получения аморфных микропроводов в стеклянной оболочке. Метод отличается низкими затратами и стабильностью свойств получаемого продукта. Фактически **реализована новая технология** получения «толстых» аморфных микропроводов. Это стало возможным благодаря подбору составов сплавов с высокой стеклообразующей способностью путем теоретического и экспериментального исследования свойств многокомпонентных систем на практически важных сплавах $Fe_{75}Si_{10}B_{15}$ – $Co_{75}Si_{10}B_{15}$ – $Ni_{75}Si_{10}B_{15}$.

Практическая значимость неоспорима. Получены микропровода аморфных сплавов с выдающимися свойствами. Для исследованных проводов достигнуты уникальные значения прочности (более 3 ГПа) и предела упругости (до 2,7 ГПа). Благодаря идеальной радиальной симметрии полученных проводов реализованы и высокие магнитные свойства, наиболее интересным из которых является чувствительность гистерезисных характеристик к внешним напряжениям, причем для разных составов сплавов наблюдается различный знак этого влияния.

Фактически создан новый вид материала и разработана технология его получения. Благодаря достигнутым механическим и магнитным свойствам намечена область применения разработанных микропроводов в качестве пружинных материалов и чувствительных элементов различных типов сенсоров.

Замечания, которые возникли при анализе представленных к защите материалов:

1. Стиль изложения автором работы довольно краток, в ряде случаев не дается достаточных разъяснений описываемых результатов, что вызывает вопросы. Например, поставлена задача «провести... исследования характера взаимодействия ... с использованием физико-химического подхода», что за этим стоит сразу непонятно (с.29.).
2. Подробный анализ областей проявления магнитоупругого эффекта в широкой области составов сплавов выявил области различного влияния растягивающих напряжений. Объяснений этому явлению не дано. При этом ничего не говорится о величине и знаке магнитострикции аморфных фаз в этих областях. Так область II на рис 4.4 скорее всего соответствует близким к нулю, или даже отрицательным значениям магнитострикции. Анализ магнитострикции, хотя бы по некоторым опубликованным данным, позволил бы более четко охарактеризовать наблюдаемые эффекты.
3. Много внимания в работе уделено исследованию стадий кристаллизации по пикам ДСК. При этом до конца неясно, какие фазовые превращения соответствуют первому и второму пикам, не меняются ли они местами при изменении состава аморфной фазы (с.43). Объяснение механизма распада аморфной фазы на стр.44-45 не достаточно проясняет вопрос.

4. В разделе 5.4 обсуждаются факторы высокой склонности к аморфизации металлических расплавов, делается предположение о наличии в аморфной структуре двух близких по составу аморфных фаз. Непонятно, на основании каких данных сделано такое предположение (с.61). В чем заключается определяющее влияние двухстадийного механизма кристаллизации на формирование толстых микропроводов? (с.47).

Подводя итог рассмотрения диссертационной работы хочу отметить, что, безусловно, она заслуживает того, чтобы быть представленной к защите и одобренной Советом. Имеются недостатки оформления и не до конца выясненные вопросы, но они не являются определяющими. Главным является то, что разработаны новые материалы и технология, получены новые результаты и достигнуты новые уровни свойств, намечены пути создания новых материалов и устройств с применением разработанных микропроводов. Не часто о диссертационной работе можно сказать, что сделан значительный шаг вперед. При выполнении данного исследования был проведен колоссальный объем экспериментальной работы. Количество изготовленных сплавов и методов исследования хватило бы на несколько подобных работ, все сделано качественной и доведено до реализации технологии. Поэтому квалификация автора не вызывает сомнений.

Автореферат диссертации полно отражает ее содержание. Результаты работы в достаточной мере представлены в публикациях и докладах на научных конференциях. По своему содержанию, актуальности, новизне полученных результатов, их надежности и достоверности, степени обоснованности научных положений, работа соответствует критериям, установленным Положением ВАК применяемым к оценке кандидатских диссертаций. Автор диссертации, Чуева Татьяна Равильевна, безусловно, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Директор института новых материалов
и нанотехнологий Национального
технологического исследовательского
университета «МИСИС», Д.Ф.М.И.



С.Д. Калошкин