

Министерство промышленности и торговли
Российской Федерации
Государственный научный центр
Российской Федерации



**Центральный
научно-исследовательский
институт черной металлургии
им. И.П.Бардина**

Федеральное государственное унитарное предприятие
(ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина»)

105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 9/23
Тел. (495) 777-93-01; Факс (495) 777-93-00
ИНН/КПП 7701027596/770101001
E-mail: chermet@chermet.net
www.chermet.net

20__ г. №

48/1375

На № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»
И.о. генерального директора
ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина»



В.А. УГЛОВ

« 11 »

2014 г

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Чуевой Т.Р. «Разработка «толстых» аморфных микропроводов в системе $Fe_{75}Si_{10}B_{15} - Co_{75}Si_{10}B_{15} - Ni_{75}Si_{10}B_{15}$ » на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Актуальность диссертации.

Базовым элементом развития инновационных процессов и технологий является создание «умных» материалов, обладающих новым, недостижимым ранее уровнем служебных характеристик. К таким материалам относятся, безусловно, аморфные сплавы. Перспективы реализации уникальных механических, физических и магнитных свойств аморфных сплавов связаны с созданием протяженных аморфных микропроводов и совершенствованием технологии их получения.

Диссертационная работа Чуевой Т.Р. содержит систематическое изложение проведенных ею самостоятельно исследований по выявлению физико-химических закономерностей формирования новой группы ферромагнитных аморфных пластичных микропроводов с высокой стеклообразующей способностью (СОС); выявлению факторов, определяющих СОС микропроводов, получаемых закалкой струи расплава в стеклянной оболочке по методу Улитовского-Тейлора; определению составов

микропроводов с наиболее высокой СОС и условию их получения; комплексному исследованию структуры, основных механических, физических и магнитных свойств; определению перспективных областей эффективного использования новых материалов. Работа выполнена в соответствии с планами НИР ИМЕТ РАН. Тематика работы включена в план работ ИМЕТ РАН на 2014-2016 гг. Актуальность данной работы не вызывает сомнения.

Основное содержание диссертации.

Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы из 90 наименований, содержит 44 рисунка и 2 таблицы.

В первой главе дан обзор отечественной и зарубежной литературы по теме диссертации. Отмечено, что наибольшее практическое значение имеют ферромагнитные аморфные сплавы (АС) на основе Fe-Co-Ni, легированные Si и В. Сделан вывод, что перспективы расширения практического использования АС связаны с разработкой новых составов аморфных ферромагнитных микропроводов. Такие микропровода могут использоваться не только как функциональные, но и как высокопрочные конструкционные материалы. Проведен анализ основных методов получения АС. Показано, что наиболее перспективным методом для получения микропроводов повышенной толщины может служить метод Улитовского-Тейлора. Сделано заключение о целесообразности использования физико-химического подхода для поиска микропроводов с высокой СОС. Отмечено, что в основе разработки большинства АС лежит выбор типа кристаллизации и оптимизация выбранного механизма кристаллизации. На основе сопоставления литературных данных показано, что имеется соответствие между максимально возможным диаметром аморфного микропровода и отвечающим ему механизмом кристаллизации. Проведен анализ свойств существующих микропроводов и областей их применения.

На основании детального литературного анализа автор четко обозначил проблемы и цели настоящей работы.

Во второй главе изложены методы получения и исследования образцов. Известно, что для получения аморфных сплавов необходимо использовать

высокочистые материалы. Поэтому с целью повышения чистоты прекурсоров был использован современный метод комплексной металлургической очистки расплава. Для получения быстрозакаленных лент и микропроводов использованы оригинальные лабораторные установки. Впервые применен метод непрерывной механической очистки объемного микропровода от стеклянной оболочки. При выполнении работы были использованы современные методы исследования, такие как: растровая микроскопия, термический и рентгеноструктурный анализ. Были проведены комплексные испытания механических и магнитных свойств микропроводов. Для исследования магнитоупругого поведения аморфных микропроводов повышенной толщины был создан оригинальный лабораторный стенд, который позволяет фиксировать распределение напряжений по длине микропровода, исследовать влияние растягивающих напряжений, напряжений кручения, влияние термической обработки на его способность к перемагничиванию в слабых электромагнитных полях.

В третьей главе проведено построение и анализ диаграмм состав - свойство системы $Fe_{75}Si_{10}B_{15} - Co_{75}Si_{10}B_{15}$. На основании проведенных экспериментов, автором показано, что механизм кристаллизации аморфных лент и микропроводов является одинаковым. Кристаллизация аморфных сплавов в основном протекает в две стадии. Построены концентрационные зависимости теплофизических свойств сплавов системы: температур пиков кристаллизации (T_{p1} , T_{p2}), отношения тепловых эффектов кристаллизации (H_1/H_2), эмпирического критерия стеклообразования (T_X/T_L). Результаты сопоставлены с данными по концентрационной зависимости максимального диаметра жилы ($d_{крит}$), при котором сплав сохраняет пластичность. Методом рентгеноструктурного анализа сплавов исследована структура фаз, выделяющихся после протекания первой и второй стадий кристаллизации. Отмечено, что кристаллизация аморфных микропроводов, получаемых в стеклянной оболочке, протекает без образования фаз – стеклообразователей. Обычно такие фазы отвечают за высокую СОС в группе объемных аморфных сплавов, получаемых литьем.

Показано, что все полученные микропровода с удаленной стеклянной оболочкой имеют гладкую зеркальную поверхность без видимых дефектов и сохраняют стабильные геометрические размеры; «толстый» аморфный микропровод может быть затянут в полный узел без разрушения; пластическая деформация протекает по механизму зарождения и распространения сетки полос сдвига, что характерно для аморфных сплавов; излом микропровода является вязким венообразным и характеризуется наличием редких и крупных «вен».

В четвертой главе проведено физико-химическое исследование сплавов квазитройной системы $\text{Fe}_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15} - \text{Co}_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15} - \text{Ni}_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$, определена концентрационная область устойчивости ферромагнитных микропроводов с высокой стеклообразующей способностью и выявлены особенности магнитоупругого поведения аморфных микропроводов при различных деформационных воздействиях. Построена проекция поверхности ликвидус данной системы. Исследована концентрационная зависимость механизма кристаллизации аморфных сплавов системы. Впервые определена группа составов пластичных микропроводов с диаметром более 50 мкм. Отмечено, что данная группа характеризуется наличием двустадийного механизма кристаллизации. Проведено исследование магнитоупругого эффекта Виллари в сплавах системы при приложении различных видов деформационных воздействий. Показано, что магнитные свойства полученных аморфных микропроводов исследованной системы могут быть повышены за счет приложенных упругих деформационных воздействий. Основываясь, на совокупности полученных данных, были выбраны 2 сплава для проведения подробных и систематических исследований.

В пятой главе приведены результаты исследования структуры и свойств сплавов $\text{Co}_{71}\text{Fe}_4\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ и $\text{Fe}_{31}\text{Co}_{34}\text{Ni}_{10}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$. Впервые были получены микропровода с различными повышенными диаметрами металлической жилы в диапазоне от 50 до 200 мкм и с удаленной стеклянной оболочкой. Технологическая проба на способность к формированию узла показала, что полный узел может быть получен для микропроводов сплава $\text{Co}_{71}\text{Fe}_4\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$

диаметром до 90 мкм и для микропроводов сплава $\text{Fe}_{31}\text{Co}_{34}\text{Ni}_{10}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ диаметром до 140 мкм. Проведен термический и рентгеноструктурный анализ микропроводов, сделан вывод, что вместо ожидаемого процесса гомогенизации в расплаве происходит процесс расслоения: полученные микропровода содержат две близкие по составу аморфные фазы, образовавшиеся в результате «замораживания» исходной расслоившейся жидкости в условиях адиабатического сжатия расплава стеклянкой оболочкой. Проведено исследование механических свойств микропроводов. Показано, что прочность микропроводов (3000 МПа) превышает прочность кристаллического провода из прецизионного сплава. Кривая растяжения аморфного микропровода повышенной толщины сохраняет вид, близкий к линейному, вплоть до разрушения. Отмечены высокие упругие свойства аморфных микропроводов при кручении. Пластическая деформация начинается при нагрузках, близких к пределу прочности, и локализуется в узкой зоне разрушения. Отмечена зависимость магнитных характеристик (поля насыщения и коэрцитивной силы) микропроводов от их диаметра и приложенных напряжений. Полученные результаты свидетельствуют, что магнитные свойства аморфных микропроводов могут быть значительно повышены за счет приложения контролируемых упругих деформационных воздействий без использования традиционной высокотемпературной термоманитной обработки, приводящей к необратимому охрупчиванию.

В шестой главе оценены перспективы промышленного использования аморфных ферромагнитных микропроводов с повышенным поперечным сечением. Выделены четыре основных направления: высокочувствительные сенсоры поля, датчики напряжений и перемещений, композиты с высокими упругими свойствами и стресс – композиты. Приведены схемы изготовленных демонстрационных образцов датчиков напряжений и перемещений, рабочим элементом которых является «толстый» аморфный микропровод.

Научная новизна результатов диссертации.

Выполненная Чуевой Т.Р. работа, несомненно, обладает научной новизной. Впервые в системе $\text{Fe}_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15} - \text{Co}_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15} - \text{Ni}_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ определена область

составов сплавов аморфных ферромагнитных микропроводов с диаметром жилы более 50 мкм, полученных методом Улитовского-Тейлора. Показано, что микропроводам с высокой стеклообразующей способностью отвечает особый двухстадийный механизм кристаллизации из аморфного состояния. Впервые определены составы пластичных ферромагнитных микропроводов с рекордно высоким диаметром аморфной жилы.

Практическая значимость полученных результатов.

Практическая значимость диссертации также не вызывает сомнений. Разработаны оригинальные составы аморфных микропроводов с комплексом высоких механических и магнитных свойств. Освоена технология их получения методом Улитовского-Тейлора в широком диапазоне диаметров 50 – 150 мкм и технология удаления стеклянной оболочки. Создан лабораторный стенд для исследования влияния растягивающих напряжений, напряжений кручения, термических и термомеханических воздействий на магнитные свойства микропровода и подготовки образцов композиционных материалов. Изготовлены демонстрационные образцы датчиков напряжений и перемещений, рабочим элементом которых является утолщенный аморфный микропровод. Полученные результаты являются основой проведения дальнейших исследований, направленных на практическую реализацию комплекса высоких механических и магнитных свойств новой группы материалов.

Достоверность полученных результатов.

Высокая степень обоснованности и достоверности результатов исследований и научных выводов соискателя подтверждается большим объемом экспериментальных данных, полученных с использованием современных методов исследования, их согласованностью и воспроизводимостью.

Замечания по диссертации.

Необходимо сделать следующие замечания:

1. В работе не отмечено влияние металлургических факторов на механизм кристаллизации (чистота шихтовых материалов, режим проведения плавки, необходимость введения добавок).

2. Автор не приводит ограничений по чувствительности магнитных характеристик к нагрузкам. Из приведенных данных, следует вывод, что чувствительность магнитных характеристик к нагрузкам ограничена. Нужно дать диапазон рекомендованных нагрузок. Целесообразно также сопоставить результаты термической, термомагнитной обработки и деформационных воздействий на магнитные свойства.

3. В качестве критерия пластичности микропровода в работе используется не совсем строгий с научной точки зрения «метод пробы на способность к формированию узла». Хотелось бы видеть в исследовании более корректные методы оценки пластичности.

4. Не совсем удачным следует признать активно используемый в диссертации (в том числе и в ее названии) термин «толстый микропровод».

Отмеченные замечания не влияют на общую положительную оценку работы и не умаляют значимость результатов работы.

Общее заключение.

Результаты диссертационной работы Чуевой Т.Р. представляют большую ценность и могут быть рекомендованы для использования и внедрения в исследовательских институтах РАН, отраслевых научно-исследовательских институтах, научно производственных предприятиях, университетах и ВУЗах, а также в других учреждениях, занимающихся разработкой, изучением и использованием ферромагнитных сплавов (МГУ, ИРЭ РАН, Ин-ут магнетизма СО РАН, ИФМ УрО РАН, ИФТТ РАН, ИМЕТ РАН, НИТУ «МИСиС», ЦНИИчермет, ВНИИНМ и др.).

В целом работа Чуевой Т.Р. «Разработка «толстых» аморфных микропроводов в системе $Fe_{75}Si_{10}B_{15} - Co_{75}Si_{10}B_{15} - Ni_{75}Si_{10}B_{15}$ » выполнена на высоком научно - методическом уровне, отличается новизной, оригинальностью и свидетельствует о научной зрелости соискателя. Диссертация грамотно оформлена, материал изложен последовательно и ясно.

Материалы диссертации достаточно полно представлены и обсуждены на международных и всероссийских научных конференциях в виде устных и стендовых докладов, а также полностью опубликованы в многочисленных статьях в изданиях, рекомендованных ВАК.

Полученные в работе результаты решают важную научную и практическую задачи и расширяют наши представления о закономерностях формирования изделий из аморфных сплавов, используемых в качестве материала с высокими магнитными и механическими свойствами. .

По своей актуальности, новизне, научной и практической ценности диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.16.01 – металловедение и термическая обработка металлов и сплавов и в целом «Положению о порядке присуждения ученых степеней». Автореферат и публикации диссертанта полностью и правильно отражают содержание диссертационной работы.

Считаем, что Татьяна Равильевна Чуева заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Диссертационная работа заслушана и обсуждена на заседании научно-технического совета института металловедения и физики металлов имени Г.В. Курдюмова ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина» 11 сентября 2014 г (протокол № 9)

Председатель НТС,
директор Института металловедения
и физики металлов им. Г.В. Курдюмова
ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»,
доктор физ.-мат. наук, профессор

А.М. Глезер

Ученый секретарь НТС,
к.ф.-м.н.

В.П. Филлипова