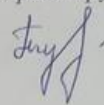


На правах рукописи



Тулаев Дмитрий Сергеевич

«Электрофизические свойства аморфных металлических сплавов, полученных методом спиннингования»

Специальность 22.04.01 – Материаловедение и технологии материалов. Материаловедение и технологии новых материалов

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание степени магистра

Пенза – 2023

Тулаев Дмитрий Сергеевич

**«Электрофизические свойства аморфных
металлических сплавов, полученных методом спиннин-
гования»**

**Специальность 22.04.01 – Материаловедение и технологии
материалов. Материаловедение и технологии новых материалов**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание степени магистра

АВТОРЕФЕРАТ

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Современный научно-технический прогресс сопровождается, с одной стороны, созданием принципиально новых технологий и процессов, с другой - требует применения более актуальных на сегодняшний день материалов. Одновременно с этим, новейшие технологии позволяют усовершенствовать уже известные материалы или создавать материалы нового поколения. В последние десятилетия появились такие ранее неизвестные материалы, как фуллерены, высокотемпературные сверхпроводящие материалы, квазикристаллы, жидкие кристаллы, аморфные и нанокристаллические сплавы и многие другие, обладающие совершенно новыми свойствами или целым их комплексом. Открытие и разработка этих альтернативных материалов неразрывно связаны с развитием физики твердого тела, материаловедения, физики металлов, поскольку изучение и управление характеристиками этих материалов требует привлечения комплекса самых современных физических методов исследования их структуры и свойств.

Степень разработанности темы. В 1960 г. проф. П. Дювез впервые наблюдал аморфное состояние в быстрозакалённом из расплава сплаве Au-Si. После разработки технологических способов получения аморфных сплавов разного химического состава, в 70-х годах прошлого века начался научный ажиотаж: проводились тематические симпозиумы и конференции, издавались многочисленные книги, статьи и патенты, посвящённые аморфным сплавам. Далее на практике удалось создать не только плёночные / ленточные аморфные сплавы, но и объёмные образцы (стержни, проволоки). Таким образом, аморфные материалы нашли более широкое применение в промышленности и технике. С новым интересом к аморфным сплавам обратились, когда в научном мире заговорили о наноструктурных материалах и возможностях их формирования. На протяжении последних десятилетий аморфные сплавы

продолжают удерживать лидирующие позиции и являются интереснейшими объектами для фундаментальных исследований.

Значительный вклад в расширение знаний по физике неупорядоченных систем в твёрдом состоянии был сделан усилиями российских и зарубежных учёных с акцентом на определённое научное направление: механическое поведение и структурные превращения в аморфных материалах (Молотилев Б.В., Глезер А.М., Алёхин В.П., Лузгин Д.В., Inoue A., Masumoto T., Kimura H.); особенности кристаллизации (Аронин А.С., Абросимова Г.Е., Плотников В.С., Köster U., Herold U., Scott M.G.); процессы структурной релаксации в АС (Золотухин И.В., Хоник В.А., Кекало И.Б., Granato A.V., Van den Beukel A., Chen H.S.); экспериментальное и теоретическое изучение закономерностей диффузии в АС (Бокштейн Б.С., Luborsky F.E., Cantor B., Cahn R.W., Faupel F.); моделирование аморфного состояния и теоретические представления о структуре АС (Бакай А.С., Белащенко Д.К., Полухин В.А., Finney J.P., Egami T., Gaskell P.H., Suzuki K.); термическая стабильность и способы её повышения (Зайченко С.Г., Chen H.S., Scott M.G., Naka M.); магнитное поведение (Гаврилюк А.А., Исхаков Р.С., Скулкина Н.А., Перов Н.С., Luborsky F.E., Fujimori H.); особенности и механизмы пластической деформации и разрушения (Поздняков В.А., Greer A.L., Spaepen F.A., Taub A.I., Argon A.S.); влияние облучения и лазерного воздействия на АС (Иевлев В.М., Гиржон В.В., Хмелевская В.С.); разработка составов, технологий получения, оборудования для создания объёмных аморфных сплавов (Ковнеристый Ю.К., Молоканов В.В., Лузгин Д.В.).

Парадоксально, но к настоящему времени нет ни одного аморфного сплава, о котором можно сказать, что его структура полностью известна; нет структурной модели, которая находилась бы в безупречном соответствии с совокупностью накопленных результатов; отсутствует всеобъемлющий критерий, опираясь на который можно гарантировано спрогнозировать с учётом состава и термодинамических характеристик термическую стабильность аморфных сплавов при разных скоростях закалки.

Изучение вопросов, связанных с влиянием процессов кристаллизации на магнитные свойства аморфных сплавов, имеет большую научную и прикладную значимость, поскольку данные материалы находят применение в качестве электромагнитных экранов, магнитопроводов в сердечниках трансформаторов тока и высокочувствительных магнитных датчиков.

Цель исследований. Исследование электрофизических свойств аморфных металлических сплавов, полученных методом спиннингования для выявления возможности их использования в качестве элементов электротехнических и электромеханических приборов.

Задачи исследований:

1. Провести анализ литературной информации по методам получения аморфных сплавов.
2. Разработать методики измерения термо-ЭДС и удельного электрического сопротивления аморфных лент, полученных методом спиннингования. Провести метрологическую аттестацию разработанных методик.
3. Проведение исследования термо-ЭДС и удельного электрического сопротивления, в том числе и после температурных воздействий.

Объект исследований. Исследованы 6 аморфных сплавов, полученных методом спиннингования: $\text{Ni}_{23}\text{Fe}_{23}\text{Co}_{19}\text{Cr}_{10}\text{B}_{20}\text{Mo}_5$, $\text{Ni}_{25}\text{Fe}_{25}\text{Co}_{20}\text{Cr}_{10}\text{B}_{20}$, $\text{Ni}_{68}\text{Si}_{12}\text{B}_{20}$, $\text{Ni}_{68}\text{Si}_{15}\text{B}_{17}$, $\text{Co}_{80}\text{Nb}_{12}\text{B}_8$, $\text{Ni}_{24}\text{Fe}_{24}\text{Co}_{20}\text{Cr}_{10}\text{B}_{20}\text{Si}_2$.

Предмет исследований. Электрофизические свойства данных аморфных сплавов, а именно: термо-ЭДС и удельное электрическое сопротивление.

Научную новизну работы составляют:

- теоретически и экспериментально обоснованные методики измерения термо-ЭДС и удельного электрического сопротивления;
- показатели термо-ЭДС после термообработки.

Теоретическая и практическая значимость работы. Выбранная методика измерения позволяет получить экспериментальные значения термо-ЭДС; также данная методика показывает, что величина термо-ЭДС структурно-чувствительна и может использоваться при анализе превращения в аморфных сплавах, в том числе и для определения температуры кристаллизации.

Методология и методы исследования. Теоретические исследования выполнены с использованием знаний термоэлектрических явлений – эффект Зеебека.

Экспериментальные исследования выполнены с специальной установки для измерения термо-ЭДС в диапазоне температур от 0°C до 200°C. Для определения удельного электросопротивления использовались: штангенциркуль, микрометр и цифровой вольтметр.

Научные положения и результаты исследований, выносимые на защиту:

- полученные результаты термо-ЭДС;
- изменения показателей термо-ЭДС после термообработки
- полученные результаты удельного электросопротивления аморфных резистивных сплавов и сравнение их с реальными значениями.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 51 с., состоит из введения, 4 разделов, общих выводов, списка использованной литературы из 20 наименований и приложения на 20 с., содержит 4 табл. и 21 рис.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы, поставлены цель и задачи исследований, сформулированы основные научные положения, выносимые на защиту.

В первом разделе *«Литературно-патентный обзор технологии получения аморфных сплавов»* изучены представления об удельном сопротивлении (ρ), температурном коэффициенте сопротивления ТКС, термо - ЭДС аморфных металлических материалов. Это связано

с тем, что материалы обладают не только специфическими магнитными свойствами, но и оригинальными электрофизическими характеристиками. В отличие от традиционных металлов и сплавов они характеризуются повышенным значением ρ , регулируемой величиной сопротивления, а также обладают низкой величиной температурного коэффициента сопротивления, что делает их перспективными для создания электротехнических устройств.

Поэтому одной из целей работы является исследование электрофизических свойств, в том числе и от температурных воздействий.

Во втором разделе *«Природа термоэлектрических явлений»* приводится литературный обзор, связанный с термоэлектрическими явлениями, а именно контактная разность потенциалов, история создания термоэлектрического эффекта, а также его развитие.

Источником ЭДС и электрической энергии в термопаре является не разница температур как таковая, а тепловой поток энергии. Тепловая неравновесность - это термодинамическая сила, генерирующая совместный поток тепловой энергии. Тепловой поток в виде согласованных колебаний кристаллической решетки передает часть своей энергии свободным электронам проводимости. Видимо нужно вести речь не об увлечении электронов фононами, а о двух формах взаимодействия узлов кристаллической решётки и свободных электронов проводимости. При своём периодическом колебании узлы кристаллической решётки различных веществ по разному взаимодействуют со свободными электронами проводимости. В одном случае энергия и импульс от узлов кристаллической решётки к электронам проводимости передается в полупериод, когда колебание ионных узлов решётки совпадает с направлением теплового потока. В веществах с таким взаимодействием образуется положительная термо-ЭДС. В другом случае энергия и импульс от узлов кристаллической решетки к электронам проводимости передаются за полупериод, когда колебания ионных узлов решетки противоположны направлению теплового потока. В веществах с таким взаимодействием образуется от-

рицательная термо-ЭДС.

Встаёт задача построения количественной теории возникновения положительной и отрицательной термо - ЭДС и задача экспериментального изучения тонкоплёночных термопар.

В третьем разделе «Методики определения электрофизических характеристик» рассмотрены самые распространенные методы исследования электрофизических характеристик материалов. Все они дают хорошие результаты при измерении электрофизических характеристик. Однако есть ряд отличий, которые определяют тот или иной метод:

а) Точность вольт – амперного метода зависит главным образом от точности используемых амперметра и вольтметра и величины переходных сопротивлений в местах включения приборов и измеряемого сопротивления.

б) Большинство мостов постоянного тока используются для измерения сопротивления, в то время как мосты переменного тока могут быть использованы для измерения различных электрических величин, таких как индуктивность, ёмкость и частота. Это метод измерения сопротивления предпочитают использовать в калибровочных лабораториях из-за его высокой точности.

в) Потенциометрический метод измерения сопротивлений обеспечивает высокую точность измерения температуры и широко применяется в лабораторной практике.

г) Косвенные структурно чувствительные методы, и в первую очередь, электрофизические методы, зачастую, являются наиболее эффективными, обладают высокой чувствительностью, так как их свойства определяются непосредственно электронной структурой веществ, от которой напрямую зависят многие физико-химические свойства твердых тел.

В данной работе проводятся измерения термо - ЭДС, исходя из этого, была выбрана специальная установка, позволяющая осуществлять локальный нагрев массивного длинномерного образца и считывать значения при помощи графопостроителя.

В четвертом разделе «Проведение эксперимента» представлена методика измерения термо - ЭДС для длинномерных образцов, представлен электрод, который имеет возможность автономного нагрева, изготовлена оснастка для надежного крепления образца и создания необходимой разности температур. Полученные результаты совпадают с реальными значениями, что говорит о том, что эксперимент выполнен верно и с высокой точностью. Результаты измерений также в дальнейшем могут использоваться для составления представления о структуре и составе исследуемых образцов.

Общие выводы

1. Приведены изменения термо-ЭДС аморфных сплавов различных составов, которые показали, что они имеют положительное значение термо-ЭДС, которые изменяются в диапазоне $5 \dots 10 \text{ мкВ/К}$.
2. Изменение термо-ЭДС аморфных сплавов после термообработки составляют в области исследуемых температур около 20% и показывают, что данная величина является структурно-чувствительна и может использоваться при анализе превращения в аморфных сплавах, в том числе и для определения температуры кристаллизации.
3. Удельное сопротивление аморфных резистивных сплавов, представленных в работе изменяется в диапазоне от $1,2\text{-}1,4 \text{ мкОм}\times\text{м}$, что совпадает с величинами удельного электросопротивления для никель - хромовых и никель – молибденовых материалов.