

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени М.В.ЛОМОНОСОВА
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА МАГНЕТИЗМА

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

«СВОЙСТВА МАГНИТНОМЯГКИХ АМОРФНЫХ СПЛАВОВ»

Выполнил студент
419 группы:
Вовк Олег Игоревич

Научный
руководитель:
Профессор Перов
Н.С.

Допущен к защите
Зав. кафедрой магнетизма
профессор Перов Н.С. _____

Москва

2015

Оглавление

Оглавление.....	2
Литературный обзор	3
Методика измерений, экспериментальная установка и образцы.....	7
Образцы.....	11
Результаты измерений	12
Основные результаты.	20
Литература.	21

Литературный обзор

Аморфные материалы (или металлические стекла) - относительно новый и весьма перспективный класс магнитномягких материалов. Возможность их существования предсказана в 1960 году А. И. Губановым. Такие материалы сочетают в себе магнитную структуру и аморфное состояние. Поскольку, эти вещества не имеют кристаллической структуры (дальнего порядка), параметром упорядочения является усредненное расстояние между атомами. Кроме того, неупорядоченность расположения атомов приводит к изотропии структурных свойств. Несмотря на хаотичное расположение атомов, данная структура является метастабильной. Например, оценки временного интервала эксплуатации, определяемого началом процесса кристаллизации, дают для одного из наименее стабильных аморфных материалов $Fe_{80}V_{20}$ порядка 550 лет при $175^{\circ}C$ и 25 лет при $200^{\circ}C$. В основном аморфные сплавы изготавливают в виде пленки, ленты и проволоки в связи с тем, что для образования данной структуры необходимо быстрое охлаждение расплава со скоростями порядка 10^8 К/с и эти формы являются единственными, для которых такой процесс изготовления осуществим. В данной работе будут подробнее рассмотрены аморфные ленты.

Существует два основных класса аморфных магнетиков по их составу. Первый содержит в себе 75-85% ферромагнитного переходного металла (Fe, Co, Ni, ...) и 15-25 % неметаллов (B, C, Si, P, ...), играющих роль стеклообразующих элементов. Этот класс материалов обладает незначительной коэрцитивной силой, ввиду отсутствия магнитокристаллической анизотропии (в отсутствии механических напряжений). Также, такие магнетики обладают почти прямоугольной петлей гистерезиса с высоким значением индукции насыщения. В сочетании с высоким электрическим сопротивлением и, следовательно, низкими потерями на вихревые токи, это делает такие материалы весьма

перспективными в применении, например в трансформаторах, устройств электро- и радиотехники.

Другой важный класс – сочетание переходных d-металлов с редкоземельными элементами. Такие материалы обычно изготавливаются в виде пленок с помощью катодного распыления. Они обладают низкой намагниченностью насыщения и высокой анизотропией, перпендикулярной к плоскости пленки. Совокупность этих свойств позволяет использовать этот класс веществ в устройствах памяти с цилиндрическими доменами¹.

В целом, аморфные материалы обладают целым рядом полезных свойств, как механических, так и электрических и магнитных. Из механических свойств важно отметить высокую прочность на растяжение, иногда превышающее значения для сталей, одновременно с большой эластичностью. Аморфные материалы обладают большим электрическим сопротивлением (в 2-4 раза), по сравнению с кристаллическими, но гораздо меньшим температурным коэффициентом сопротивления порядка 10^{-4} - 10^{-5} К⁻¹. Однако, их температурный интервал применения ограничен температурой кристаллизации. Некоторые материалы проявляют исключительную коррозионную стойкость, даже в агрессивных средах, на несколько порядков превышающую стойкость нержавеющей сталей². Но, наиболее важными являются магнитные свойства, среди которых: высокая магнитная проницаемость ($\sim 10^6$), малые магнитные потери (около 50 Вт/кг), высокая индукция насыщения, низкая коэрцитивная сила, малая магнитострикция.

Методов получения таких материалов несколько, в зависимости от формы готового материала, но все они отличаются сверхбыстрым охлаждением расплавленного вещества. Так, основными методами получения аморфных являются метод спиннингования расплава, заключающийся в охлаждении расплава на вращающемся барабане, и метод экстракции, в котором расплав «выбрасывается» из ванны вращающимся

диском. Для получения лучших магнитных свойств полученные материалы отжигают в течении 1 – 1,5 часов, в том числе и в поле. Отжиг значительно снижает механические напряжения в материале, а присутствие поля влияет на магнитные качества материала.

Вполне естественно, что ведется активный поиск новых аморфных материалов и методов усовершенствования процесса их изготовления. Так, в статье Б.А. Корниенкова и Е.В.Артамонова³ было рассмотрено влияние термомагнитной обработки аморфной ленты 2НСР (Fe-Ni-Si-B) с одновременным приложением механического напряжения на величину намагниченности насыщения. Рассматривались 2 ленты: одна исходного состава, вторая – легированная ниобием. Выбор ниобия обусловлен тем, что он замедляет рост зерен кристаллизации в аморфных материалах при повышении температуры. Намагниченность насыщения лент 2НСР (без легирования) выросла с 1.42 Тл до 1.57-1.59 Тл, для легированных лент был достигнут рост намагниченности вплоть до 1.71 Тл.

В другой статье, авторов Е. Е. Шалыгиной, Н. М. Абросимовой, М. А. Комаровой, В. В. Молоканова, Ч. О. Ким, Ч. Ж. Ким, Я. Ву Рим⁴, также исследовалось влияние процесса изготовления на магнитные свойства лент $\text{Co}_{68}\text{Fe}_4\text{Cr}_4\text{Si}_{12}\text{B}_{12}$. Часть этой ленты была расплавлена, прошла специальную термическую обработку и закалена в атмосфере гелия. Толщина и состав второй ленты остался неизменным. Ленты исследовались магнитооптическими методами. Оказалось, лента, подвергшаяся обработке, имела более однородные локальные магнитные свойства, что отразилось малых различиях кривых намагничивания вдоль оси ленты и перпендикулярно ей. Кроме того, как коэрцитивная сила, так и намагниченность насыщения упали на порядок по сравнению с исходной лентой, максимальное значение магнитоимпенданса возросло с 25% до 120 %.

Изучается и строение аморфных магнитномягких материалов путем компьютерного моделирования. В работе Д. К. Белашенко⁵ рассмотрен механизм диффузии в аморфных материалах. Построены модели, позволяющие рассчитать коэффициенты самодиффузии для двух ее механизмов: кооперативного и активационного. Однако, эти расчеты оказались весьма сложны и применимы лишь для моделей, содержащих большое число частиц.

В своей статье L. Kraus и P. Svec⁶ рассматривали влияние упругих растяжений на петлю гистерезиса двух различных аморфных лент: $\text{Fe}_{64}\text{Co}_{21}\text{B}_{15}$ с высоким значением магнитострикции и $\text{Co}_{69}\text{Fe}_2\text{Cr}_7\text{Si}_8\text{B}_{14}$ с низким ее значением. Для ленты на основе железа от нагрузки зависела величина коэрцитивной силы (с ростом нагрузки уменьшалась). Для кобальтовой ленты при приложении нагрузки изменялся лишь наклон петли гистерезиса. Рассмотрены процессы, приводящие к изменениям намагниченности в данных лентах.

Особое внимание следует обратить на работу Н. С. Перова, Е. В. Паньковой, Г. С. Кузнецова и В. В. Родионова⁷, поскольку она имеет непосредственное влияние и на мою дипломную работу. В данной статье исследовался магнитоупругий эффект в 3-х аморфных лентах, путем возбуждения в них стоячих акустических волн. На ленты действовало, как переменное локальное поле, создаваемое намагничивающей катушкой, так и поле от постоянного магнита. Исследовалось влияние частоты переменного и амплитуды постоянного магнитного поля на распределение упругих волн, построено распределение стоячих волн вдоль длины ленты.

Целью настоящей работы является изучение упругих свойств аморфных сплавов в виде лент с помощью эффекта магнитострикции за счет возбуждения в них акустических колебаний при перемагничивании.

Методика измерений, экспериментальная установка и образцы.

В ходе работы было проведено исследование магнитоупругих свойств аморфных металлических лент при возбуждении в них продольных упругих колебаний за счет магнитострикции при перемагничивании участка ленты и их последующего анализа. Предполагалось, что все ленты обладают константами магнитострикции, достаточными для возбуждения таких колебаний при намагничивании в полу порядка 5Э. Тогда при помещении ленты в переменное магнитное поле, частотой f , в ней возникают продольные упругие колебания частотой $2f$, поскольку магнитострикция является четным эффектом и не зависит от направления поля. Эти колебания являются ничем иным, как звуковыми колебаниями, распространяющимися в упругой среде. Определив длину волны этих колебаний, можно найти скорость распространения звука, а зная скорость и плотность среды найти модули Юнга исследуемых образцов. Кроме того, исследовались зависимости модуля Юнга от растяжения ленты, получаемого путем прикрепления к ней груза заданной массы.

Экспериментальная установка (рис.1) позволяет создавать и регистрировать возникающие в ленте механические колебания. Она состоит из следующих частей (см.рисунок): планка, на которую прикрепляется лента при помощи зажимов, шкала длины (линейка), намагничивающая катушка, приемная катушка, генератор сигналов звуковой частоты ГЗ-111, селективный нановольтметр 737 и осциллограф С1-65А.

Измеряемая лента укладывается на скамью. Один из ее концов помещается в зазор намагничивающей катушки и закрепляется, второй конец может оставаться свободным или так же быть закрепленным. Кроме того, на второй конец можно подвесить груз заданной массы для создания в ленте механического напряжения. На намагничивающую катушку

подается переменный ток заданной частоты от генератора сигналов. Этот же сигнал подается на вход X осциллографа. Вдоль скамьи может свободно перемещаться приемная катушка, в зазоре которой так же находится исследуемая лента. Возбуждаемый в приемной катушке сигнал поступает на вход селективного нановольтметра, который может работать как в широкополосном, так и в узкополосном режиме. С выхода селективного нановольтметра сигнал подается на вход Y осциллографа. Таким образом на экране осциллографа можно увидеть фигуры Лиссажу. На рис 1 представлена блок-схема экспериментальной установки.

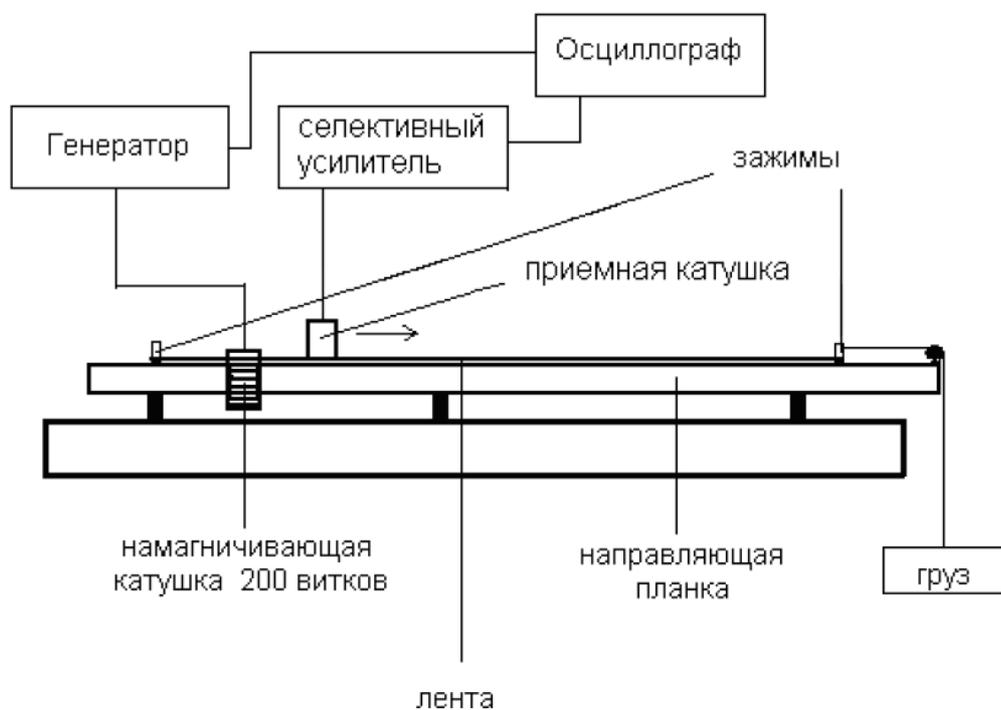


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки.

Размер намагничивающей катушки - 33x10x8 мм, размер зазора 5x30 мм. Катушка имеет $N = 200$ витков. Величина тока в катушке ~ 10 мА, что соответствует полю около 4 эрстед. Приемная катушка по своим параметрам идентична намагничивающей. Генератор сигналов может создавать гармонические колебания с частотой от 100 Гц до 200кГц, но в

работе использовались частоты от 1 до 50 кГц. Установка позволяет изучать образцы аморфных лент длиной до 40 см и шириной до 25 мм.

В ходе работы для каждой ленты при помощи генератора звуковых колебаний подбирались частоты, на которых в ленте образовывались стоячие волны. Их наличие определялось при переводе селективного нановольтметра в узкополосный режим. При этом частота на нановольтметре указывалась вдвое больше частоты генератора, поскольку, как уже говорилось, магнитострикция не зависит от направления поля. Далее, проверялось распределение амплитуды колебаний при перемещении измерительной катушки (в ленте со стоячими акустическими колебаниями создаются области сжатия-растяжения в которых за счет обратной магнитострикции происходит изменений намагниченности, эти изменения намагниченности приводили к появлению в приемной катушке ЭДС индукции). При переходе в узкополосный режим на экране осциллографа появлялась фигура, подобная “лежащей” цифре 8. При перемещении измерительной катушки, дуги восьмерки схлопывались и расжимались в зависимости от положения, нарушалась симметрия дуг. Если же происходило просто вырождение в прямую или же изменения были неперiodичны, то данная частота не могла считаться частотой стоячих волн. На каждой такой частоте мерилось распределение амплитуды сигнала в измерительной катушке вдоль всей длины ленты. То же самое проделывалось и для ленты с нагрузкой.

Далее, полученные значения напряжений в зависимости от координаты вдоль ленты заносились к компьютер, в программу Origin. В ней строились полученные зависимости в виде графиков. Полученные кривые имели резкий спад по экспоненциальному закону в начале и далее периодические гармонические колебания. Для каждой частоты был определен участок устойчивых колебаний. Этот участок был

интерполирован функцией вида: $y = y_0 + A \cdot \sin\left(\frac{\pi(x-x_0)}{w}\right)$. Параметры интерполяции подбирались программой Origin автоматически. На рис 2 можно видеть пример такой интерполяции.

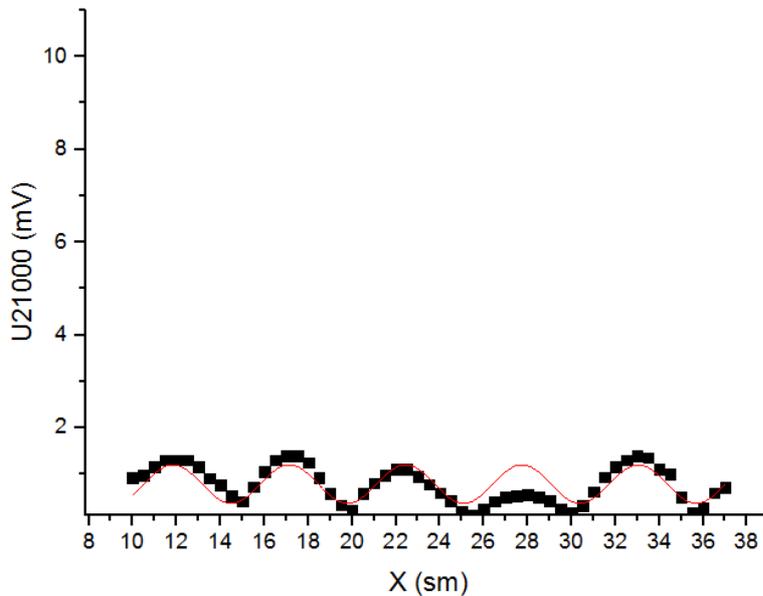


Рис 2. Пример интерполяции для ленты 24КСП с нагрузкой 50 гр в поле частотой 21 000 Гц. Черные точки – результаты измерений, красная кривая – интерполяционная кривая, построенная программой Origin.

Для дальнейшей обработки были выбраны параметры w , отвечающие за частоту колебаний. Искомая длина волны λ равна удвоенному параметру w : $\lambda = 2w$. Зная длину волны, можно найти скорость звука c в ленте по формуле: $c = 2\lambda f$, где f – частота внешнего магнитного поля, коэффициент 2 появляется, так как упругие колебания возбуждаются на удвоенной частоте. Отсюда, по формуле $E = \rho c^2$ (пренебрегая вкладом коэффициента Пуассона), в которой ρ – плотность среды, можно найти модуль Юнга E . Плотность лент находилась по литературным данным.

Образцы

В данной работе проводилось исследование магнитоупругих свойств трех аморфных лент. Ленты получены методом спиннингования из расплава и предоставлены от старшим научным сотрудником ЦНИИ ЧерМет Корниенковым Борисом Александровичем. Суть метода спиннингования состоит в быстром охлаждении расплава на вращающемся барабане. Исследовались промышленные стандартные сплавы: 24КСП, 2НСП, 71КНСП.

Сплав 24КСП содержит в себе железо и кобальт с добавлением небольших концентраций кремния и бора. Примерная формула: $Fe_{70}Co_{24}Si_{2,9}B_{3,1}$ (индексы здесь и ниже обозначают весовые проценты). Лента имела размеры $41,5 \times 1 \times 2 \cdot 10^{-3}$ см. Индукция насыщения данного сплава около 1,55 Тл, коэрцитивная сила – 4 А/м. Плотность данного сплава 7.5 г/см^3 . Температура Кюри – $380 \text{ }^\circ\text{C}$. Удельное электросопротивление $1,3 \cdot 10^6 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, удельные потери мощности 8 Вт/кг (в поле 0,2 Тл, 20кГц). Основное применение - магнитопроводы силовых трансформаторов преобразователей, высокочастотных магнитных усилителей, фазовращателей, магнитных модуляторов. Диапазон частот применения 5—50 кГц, диапазон температур применения от -60 до $125 \text{ }^\circ\text{C}$.

Сплав 2НСП имеет в своем составе железо и никель с примесями кремния и бора. Формула выглядит следующим образом: $Fe_{90,3}Ni_{1,5}Si_{5,2}B_3$. Размер измеряемой ленты - $42,1 \times 1 \times 3 \cdot 10^{-3}$ см. Сплав имеет индукцию насыщения – 1,4 Тл, коэрцитивную силу – 3-5 А/м. Плотность – $7,5 \text{ г/см}^3$. Температура Кюри – $380 \text{ }^\circ\text{C}$. Удельное сопротивление так же равно $1,3 \cdot 10^6 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, удельные потери мощности 8 Вт/кг (в поле 0,2 Тл, 20кГц). Сплав применяется для изготовления низкотемпературных (инфракрасных) электронагревателей. Номинальное сопротивление 1 м ленты шириной 10 мм – $8.5 \pm 1.0 \text{ Ом}$., температурный диапазон применения от -60 до $125 \text{ }^\circ\text{C}$.

Последний сплав, 71КНСП, содержит железо, кобальт и никель с добавлением кремния и бора. Формула сплава $Co_{72}Ni_{12,2}Fe_{5,7}Si_{6,5}B_{3,6}$. Лента имела размеры $42,3 \times 2,05 \times 2,5 \cdot 10^{-3}$ см. Индукция насыщения – 0,58 Тл,

коэрцитивная сила – 0,8 А/м. Температура Кюри – 225 °С. Плотность – 7,7 г/см³. Удельное сопротивление $1,35 \cdot 10^6$ Ом*м, удельные потери мощности 2 Вт/кг (в поле 0,2 Тл, 20кГц). Этот сплав предназначен для работы на высоких (до 200 кГц) частотах, в высокочастотных силовых трансформаторах, магнитных ключах, магнитных экранах, магнитных головках, магнетометрах и т.д. Применяется при температурах от -60 до 80 °С.

Результаты измерений

В ходе эксперимента удалось возбудить стоячие волны в лентах 24КСР и 2НСР. Согласно литературным данным, у ленты 71КНСР константа магнитострикции небольшой величины. Скорее всего, поэтому в ленте 71КНСР стоячих волн обнаружено не было, зависимость сигнала имела вид экспоненциального спада по всей длине. Для оставшихся двух лент измерены зависимости напряжения с измерительной катушки от положения датчика вдоль оси ленты на разных частотах. Началом отсчета был выбран центр намагничивающей катушки. Измерительная катушка начинала измерения на 4,5 см длины, поскольку значения напряжения до этого могли превышать допустимые для нановольтметра. Кроме того, для обработки результатов измерений важно изменение второй гармоники волны (поскольку упругие волны возбуждаются на удвоенной частоте генератора), а на расстояниях, близких к намагничивающей катушке их вклад перекрывается напряжением первой гармоники. Поиск стоячих волн велся на частотах от 1000 Гц до 45 кГц. Верхняя граница обусловлена рабочим диапазоном нановольтметра. Характерная кривая, полученная на фиксированной частоте, выглядела следующим образом (рис 3):

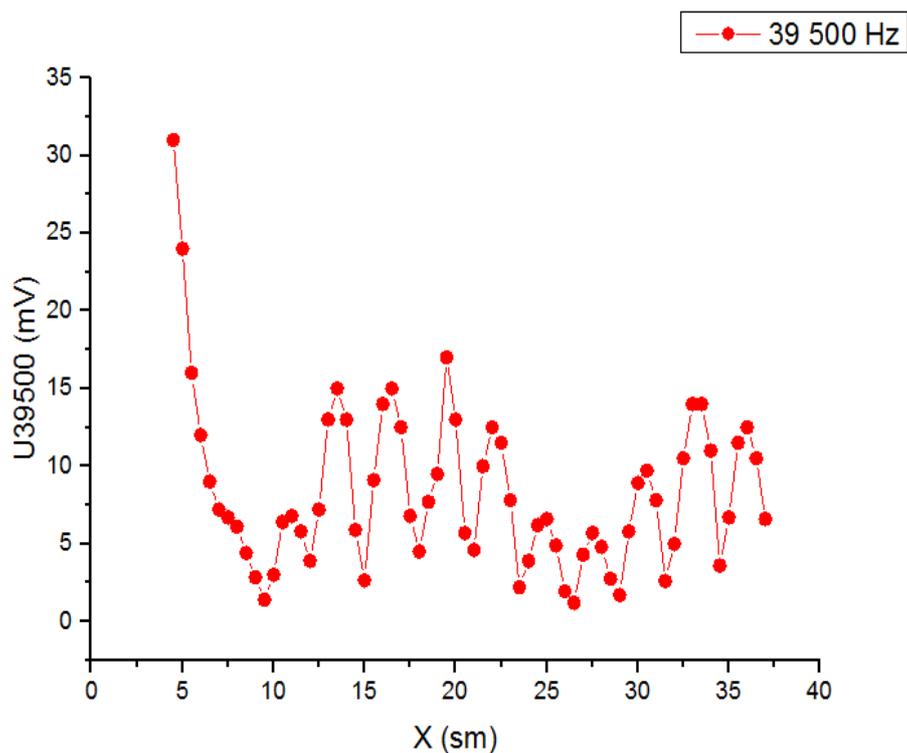


Рис 3. Распределение амплитуды сигнала вдоль ленты 24КСП на частоте 39500 Гц.

Как видно, до 10 см существенную роль играет первая гармоника волны и лишь потом можно увидеть упругие колебания. Однако, далеко не все колебания имели столь большую амплитуду. На некоторых частотах колебания носили едва заметный характер. Пример – рис 4.

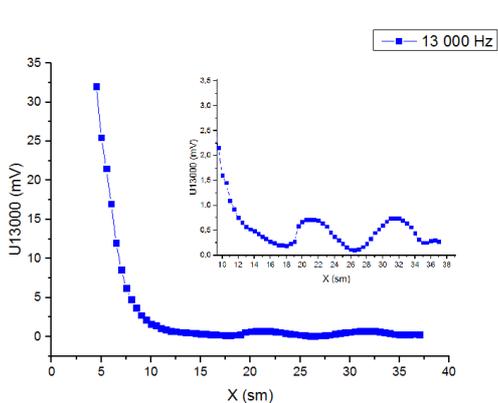


Рис 4. Распределение амплитуды колебаний вдоль ленты 2HSP на частоте 13 000 Гц.

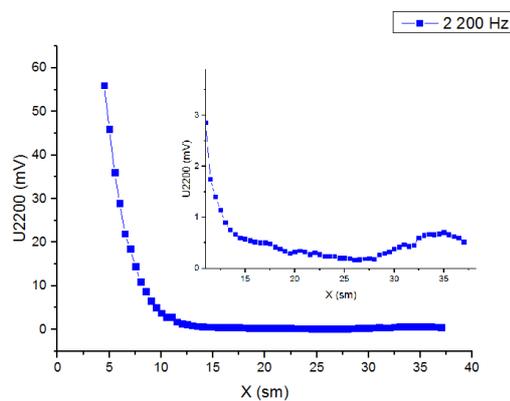


Рис 5. Распределение амплитуды колебаний вдоль ленты 2HSP на частоте 2 200 Гц.

На низких частотах колебания были обнаружены, однако в виду малости этих колебаний, они не смогли быть обработаны программой и в расчетах не учитывались (рис 5). Поэтому и важен статистический сбор данных, при котором скорость волны в ленте находится, как усредненная скорость по всем промеренным частотам (если на этих частотах она была найдена). Полные зависимости, содержащие все найденные частоты возбуждения стоячих волн для лент 2НСР и 24КСР, можно увидеть на рис 6 и 7, соответственно. Как можно увидеть, ленты схожи по своим параметрам. Однако, амплитуда сигнала в ленте 24КСР в среднем больше.

Далее по параметрам интерполяции были найдены длины стоячих волн для каждой частоты внешнего переменного магнитного поля, а по ним определены скорости распространения упругих колебаний в ленте. Данные усреднены для каждой ленты, высчитано среднеквадратичное отклонение. По формуле: $E = \rho c^2$, найден модуль Юнга, посчитана погрешность. Данные показаны в табл. 1.

Табл. 1. Скорости и модули Юнга для лент 2НСР и 24 КСР

Лента	Средняя скорость, м/с	Погрешность скорости, м/с	Модуль Юнга, ГПа	Погрешность модуля Юнга, ГПа
2НСР	4650	250	158,092	17,19544
24КСР	4460	90	149,2582	6,15482

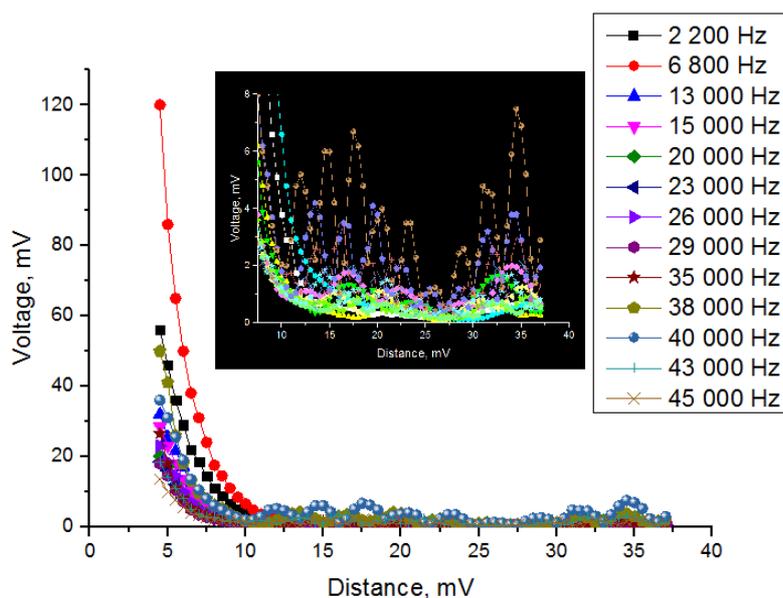


Рис 6. Распределение амплитуды колебаний вдоль ленты 2КСП. Контрастом показан конец кривой в большем масштабе.

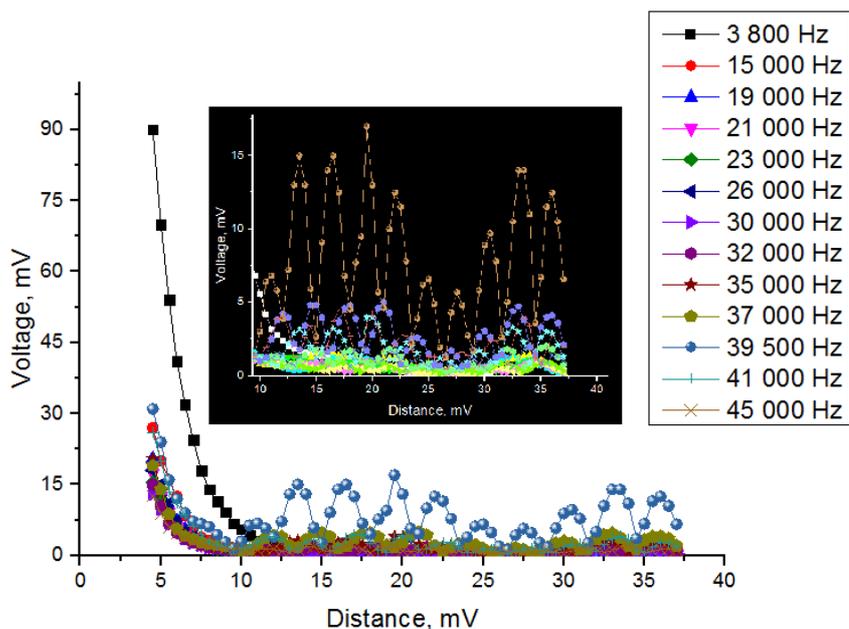


Рис 7. Распределение амплитуды колебаний вдоль ленты 24КСП. Контрастом показан конец кривой в большем масштабе.

Лента 24КСП была выбрана для дальнейших исследований, в ходе которых изучалась зависимость параметров стоячих волн от продольных напряжений в ленте (к ленте крепился груз). Величина растягивающих напряжений (масса груза) варьировалась. Были проведены измерения для

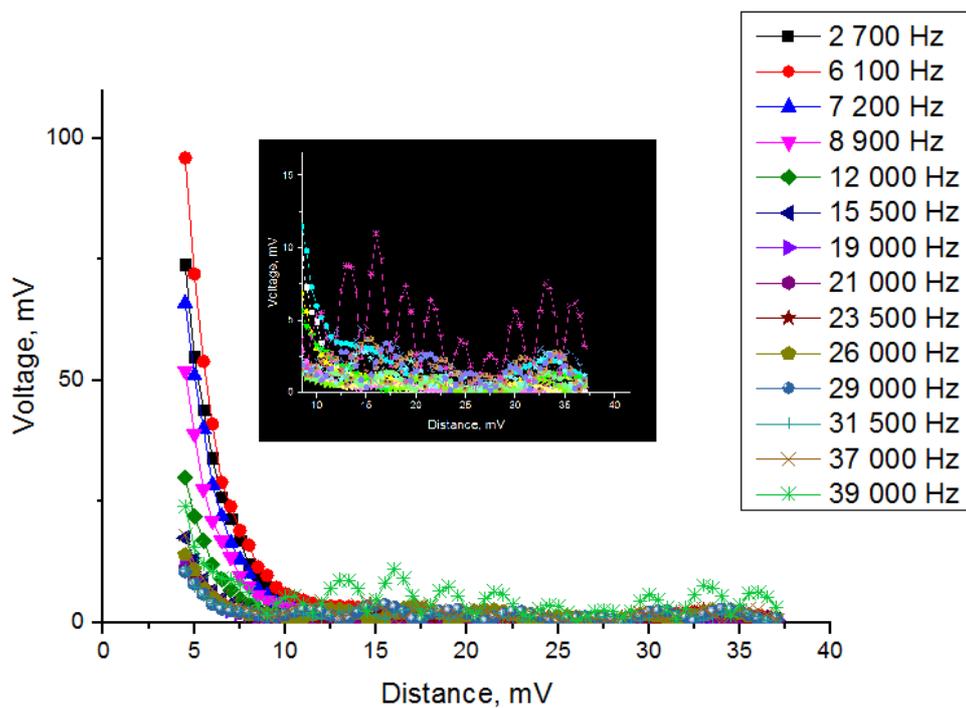
грузов 20, 50, 100, 200 гр. Результаты исследований показаны на рис 8 ,9, 10, 11.

Были проделаны те же вычисления, что и для лент без нагрузки. Результаты занесены в табл 2.

Табл. 2 Результаты вычисления скоростей звука и модулей Юнга для ленты 24 КСР с нагрузкой. Для сравнения введены данные для ленты 2 НСР без нагрузки.

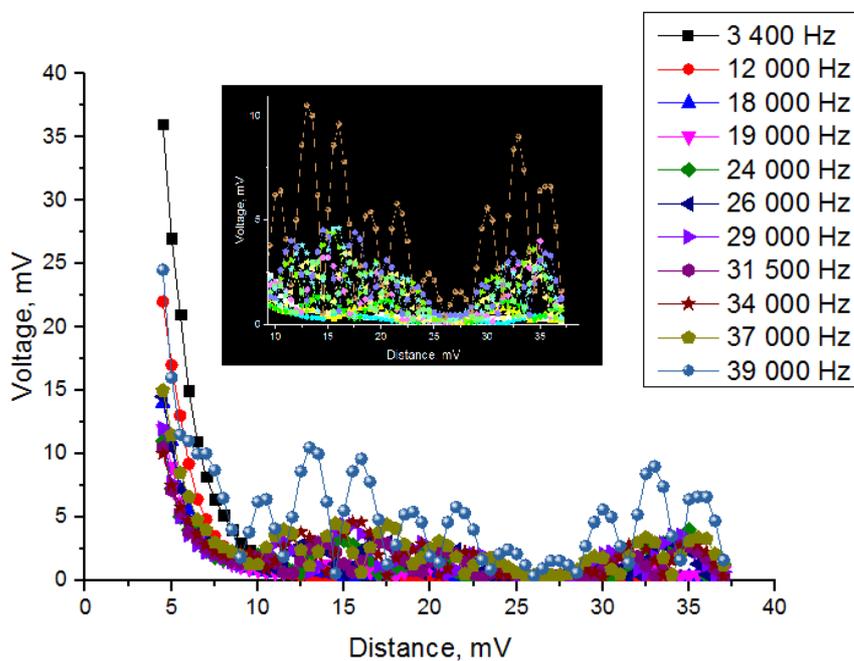
Лента	Масса груза, г	Средняя скорость, м/с	Модуль Юнга, ГПа
2НСР	0	4653,65± 253,09	158,092± 17,195
24КСР	0	4461,06± 91,98	149,258± 6,155
24КСР	20	4605,68± 188,83	159,092± 13,046
24КСР	50	4417,14± 114,33	146,333± 7,575
24КСР	100	4282,93± 311,79	137,576± 20,030
24КСР	200	4518,76 ± 96,87	153,144± 6,566

По результатам этих измерений, построены зависимости скорости упругой волны и модуля Юнга от нагрузки (рис 12, 13).



Рис

8. Распределение амплитуды колебаний вдоль ленты 24КСП с грузом в 20 гр. Контрастом показан конец кривой в большем масштабе.



Рис

9. Распределение амплитуды колебаний вдоль ленты 24КСП с грузом в 50 гр. Контрастом показан конец кривой в большем масштабе.

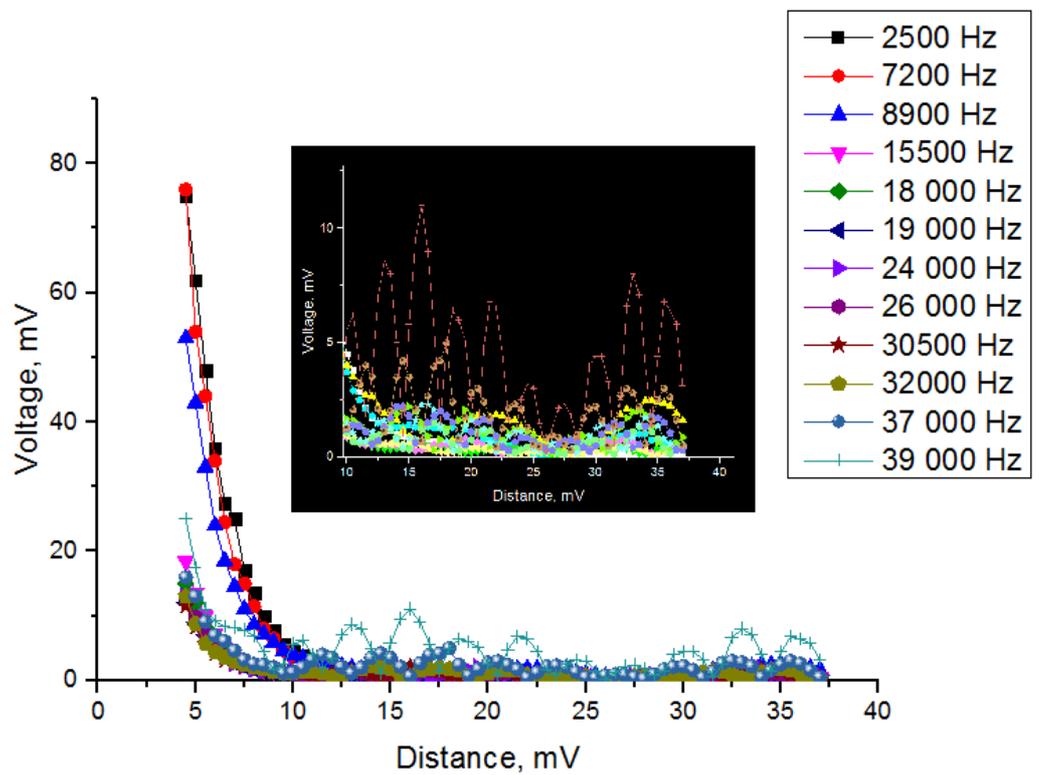


Рис 10. Распределение амплитуды колебаний вдоль ленты 24КСП с грузом в 100 гр. Контрастом показан конец кривой в большем масштабе.

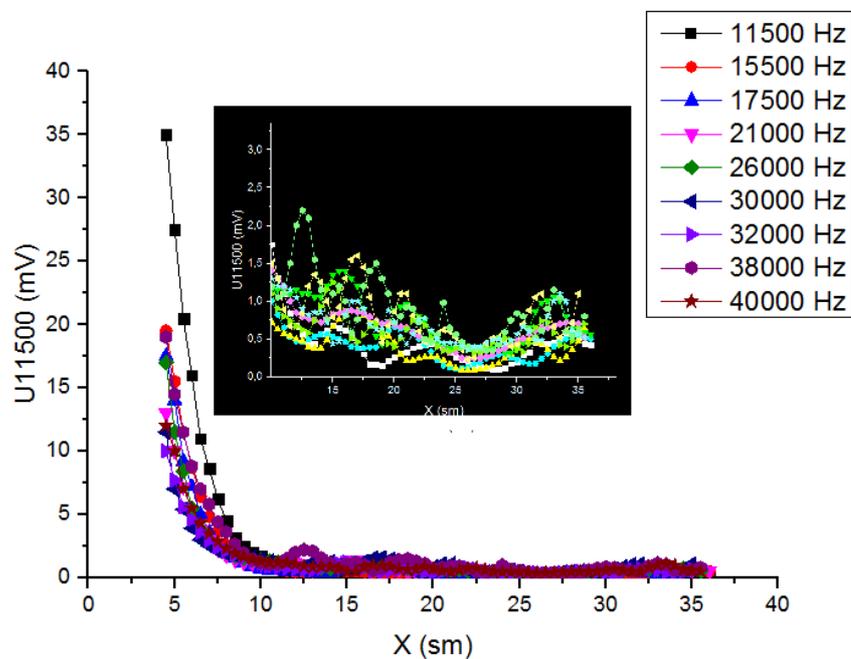


Рис 11. Распределение амплитуды колебаний вдоль ленты 24КСП с грузом в 200 гр. Контрастом показан конец кривой в большем масштабе.

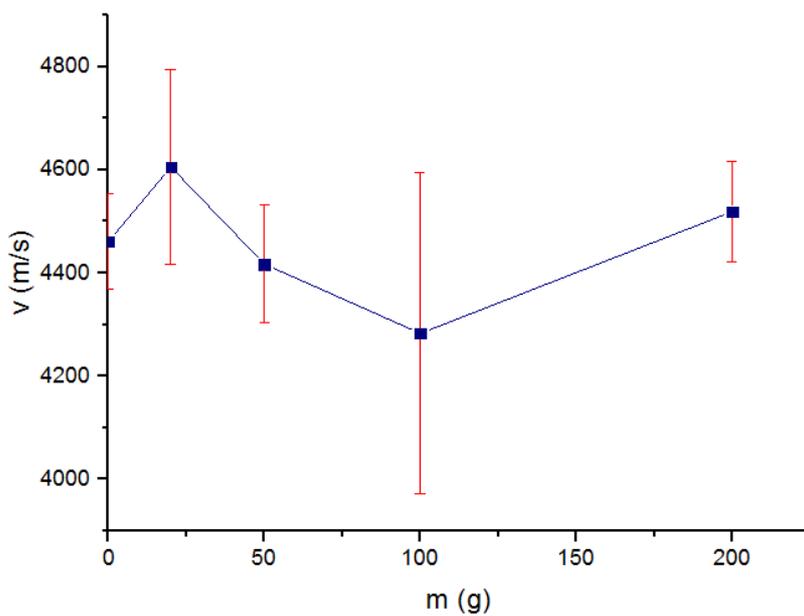


Рис 12. Зависимость скорости распространения упругих колебаний в ленте 24КСР от нагрузки ленты.

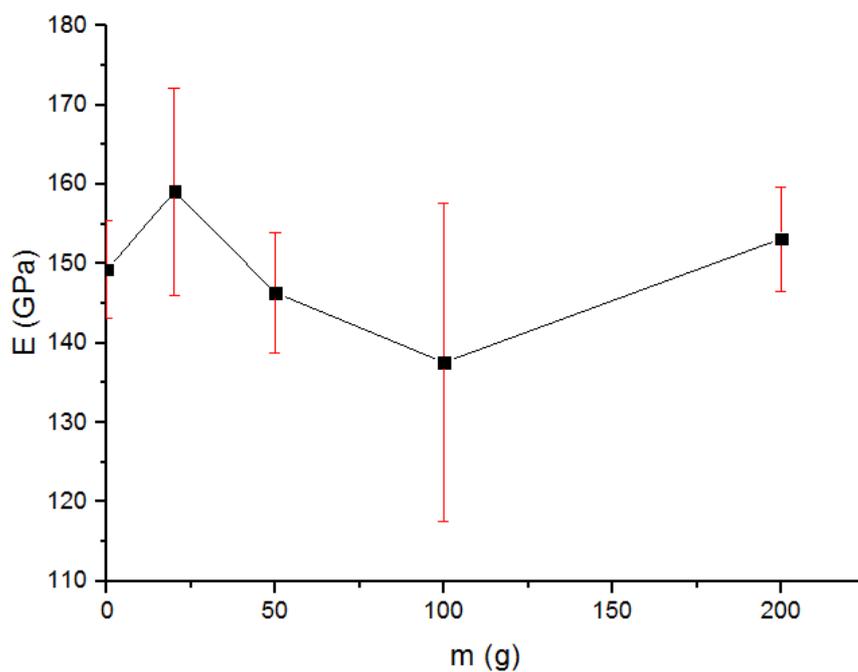


Рис 13. Зависимость модуля Юнга ленты 24КСР от нагрузки.

Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют утверждать, что в пределах изученных растяжений скорость звука и модуль Юнга не зависят от их величины напряжений в пределах погрешности измерений.

Основные результаты.

Проведены измерения скорости звука и модуля Юнга в аморфных сплавах 2НСП и 24КСР с помощью возбуждения стоячих волн продольных колебаний. Получены значения скорости звука для сплава 2НСП 4650 м/с, а для сплава 24КСР -4460 м/с. Значения модуля Юнга для сплавов оказались равными 160 и 150 ГПа, соответственно.

Разработана и опробована методика обработки результатов экспериментальных измерений с помощью программного пакета Origin.

Проведены исследования зависимости модуля Юнга от растягивающих напряжений в аморфной ленте сплава 24КСР. Показано, что в пределах погрешности измерений и в диапазоне нагрузок до 0.2 кг модуль Юнга от величины напряжений не зависит и равна 150 ГПа.

Литература.

¹ http://femto.com.ua/articles/part_1/2237.html

² http://femto.com.ua/articles/part_1/0106.html

³ Б.А. Корниенков, Е.В.Артамонов «Улучшение магнитных свойств аморфного сплава 2НСР», ж. Сталь №6, 2009 г., стр 71

⁴ Е. Е. Шалыгина, Н. М. Абросимова, М. А. Комарова, В. В. Молоканов, Ч. О. Ким, Ч. Ж. Ким, Я. Ву Рим «Влияние технологии получения $\text{Co}_{68}\text{Fe}_4\text{Cr}_4\text{Si}_{12}\text{B}_{12}$ аморфных лент на их приповерхностные магнитостатические и динамические характеристики», Вестник Московского Университета, Серия 3 Физика, Астрономия, 2003 г №4, стр51

⁵ Д. К. Белащенко «Механизмы диффузии в неупорядоченных системах (компьютерное моделирование)», успехи физических науктом 169 №4, апрель 1999, стр 361-382

⁶ L. Kraus, P. Svec «Magnetoelastic hysteresis of amorphous ribbons», Journal of Applied Physics, volume 93, number 10 15 MAY 2003, p 7220

⁷ N.S. Perov, E.V. Pan'kova , G.S. Kuznetsov, V.V. Rodionov , M. Inoue, “Magnetoelastic waves in amorphous ribbons excited by local AC magnetic fields: Effect of stresses and DC magnetic field”, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 310 (2007), p. 2633–2635