

## ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ, МЕХАНИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ БЫСТРОЗАКАЛЁННОГО СПЛАВА $Fe_{75}Ni_2Si_{10}B_{13}$

**В.В. Ткачев, Д.А. Полянский, А.К. Цесарская, Е.А. Гридасова, А.Н. Федорец,  
Г.С. Крайнова, В.С. Плотников**

*Дальневосточный федеральный университет  
690950 г. Владивосток, ул. Суханова, 8  
E-mail: tkachev.vv@dvfu.ru*

## FEATURES OF SURFACE STRUCTURE, MECHANICAL AND MAGNETIC PROPERTIES OF RAPIDLY QUENCHED $Fe_{75}Ni_2Si_{10}B_{13}$ ALLOY

**V.V. Tkachev, D.A. Polyanskiy, A.K. Tcesarskaya, E.A. Gridasova, A.N. Fedorets,  
G.S. Kraynova, V.S. Plotnikov**

*Far Eastern Federal University  
8 Sukhanova str., Vladivostok, 690950 Russia  
E-mail: tkachev.vv@dvfu.ru*

В данной работе проведено исследование особенностей морфологии поверхности, механических свойств (микротвердости со свободной стороны), магнитных свойств аморфного металлического сплава  $Fe_{75}Ni_2Si_{10}B_{13}$ . Методами растровой электронной микроскопии, микротвердометрии по Виккерсу, термомагнитного отжига, мессбауэровской спектроскопии изучены особенности распределения ансамбля неоднородностей, поведения микротвердости в зависимости от расстояния до середины фольги и особенности магнитных свойств.

The investigation of the surface morphology features, mechanical properties (microhardness by the free side) and magnetic properties of amorphous metal alloy  $Fe_{75}Ni_2Si_{10}B_{13}$  has been carried out in the work. The features of inhomogeneity assembly distribution, behavior of microhardness depending on the distance to the middle of the foil and also the magnetic properties' features have been studied via methods of raster electron microscopy, Vickers microhardness measuring, thermomagnetic annealing and Moessbauer spectroscopy.

Сплавы, полученные методами быстрой закалки из жидкого состояния, обладают сложной структурой и вследствие этого нетривиальными, в том числе, структурно-чувствительными свойствами. Их отличительной особенностью, является наличие двух поверхностей раздела (контактной к охлаждающему барабану и свободной от его влияния). Получение информации о масштабах и природе структурных неоднородностей таких быстрозакаленных сплавов, характере морфологии спиннингованных лент необходимо для определения физических свойств данных материалов. В данной работе представлено исследование структуры поверхности, механических и магнитных свойств спиннингованной ленты  $Fe_{75}Ni_2Si_{10}B_{13}$ .

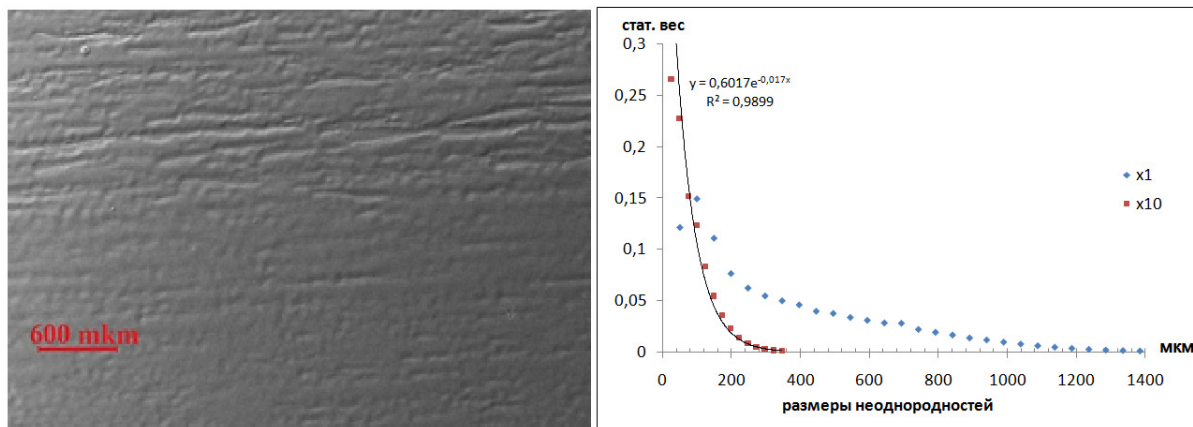
Образцы в виде ленты толщиной около 20 мкм были получены методом закалки из расплава и были подготовлены по уже отработанной методике, как показано на рис. 1. Электронно-микроскопические изображения поверхностей раздела спиннингованных лент (контактной и свободной), и выбранных срезов во вторичных электронах получены Carl Zeiss Cross Beam 1540XB. Микротвердость измерялась на микротвердомере Shimadzu HMV-G по методу Виккерса. Контроль отпечатков микроиндентора производился на растровом электронном микроскопе Carl Zeiss Ultra. Проведен анализ морфологии свободной поверхности при различных увеличениях. Использование быстрого Фурье преобразования для анализа полученных электронно-микроскопических изображений позволило количественно охарактеризовать спектр топологических неоднородностей.

Изучение магнитных характеристик аморфной металлической фольги производилось на сверхпроводящем квантовом магнитометре, а также при помощи Мёссбауэровской спектроскопии.



**Рис. 1** - Схема подготовки образцов для электронно-микроскопического исследования

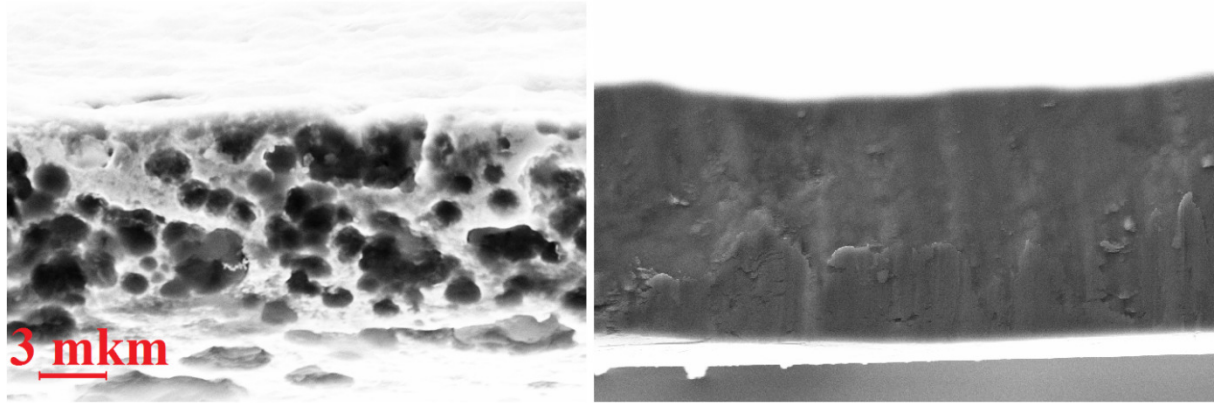
В связи с тем, что ансамбль неоднородностей контактной поверхности в какой-то мере наследует структуру поверхности барабана, в данной работе нами исследовались неоднородности свободной поверхности. Оценка проводилась при исходном увеличении (написать сколько) и увеличении на том же участке ещё в 10 раз с целью оценить распределение неоднородностей различного масштаба. При увеличении крупные неоднородности исчезают из рассмотрения, ансамбль неоднородностей этого масштаба подчиняется экспоненциальному распределению. Статистический вес неоднородностей ~100 мкм является близким при обоих масштабах рассмотрения, что позволяет считать этот размер неоднородностей основным для свободной поверхности.



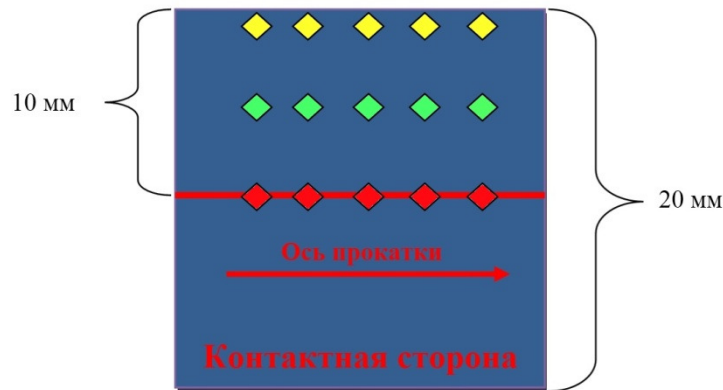
**Рис.2** - РЭМ-изображение свободной поверхности (а), распределение поверхностных неоднородностей сплава  $Fe_{75}Ni_2Si_{10}B_{13}$  по размерам (x1 – исходный масштаб, x10 – увеличение в 10 раз)

Измерение микротвердости производилось тремя сериями, как показано на Рис.3. Первая серия у края (желтые метки), вторая на расстоянии 5 мм от первой (зеленые метки) и третья в центре фольги (красные метки). Было показано, что в первой серии микротвердость на 100 HV меньше, чем в двух оставшихся сериях. В рамках каждой из серий, а также последних двух, микротвердость не изменяется. Это позволяет говорить об изменении механических свойств около края фольги в направлении перпендикулярном оси прокатки. Доподлинно пока неизвестно с чем связан данный факт, однако имеется рабочая гипотеза о связи толщины фольги на краях и ближе к середине, которая на данный момент проверяется.

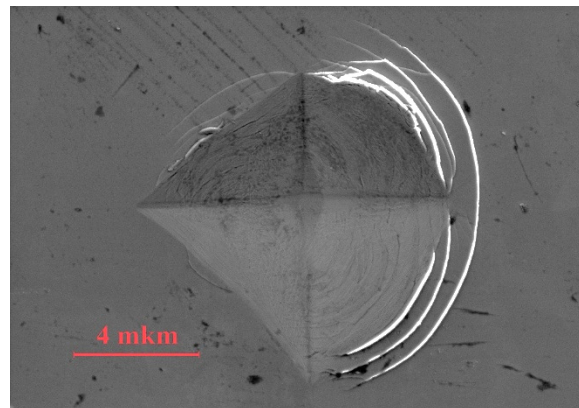
Исследования срезов ленты показали, что по толщине она является однородной, без выраженных систем пор, как в случае с исследованными ранее лентами  $Fe_{55}Co_{26}Si_5B_{14}$ (рис.3.).



**Рис.3** - Изображения срезов лент  $Fe_{55}Co_{26}Si_5B_{14}$  (а) и  $Fe_{75}Ni_2Si_{10}B_{13}$  (б)



**Рис.4** - Принципиальная схема измерения микротвердости, где цветом выделены различные серии испытаний



**Рис.5** - РЭМ - изображение типичного отпечатка из первой серии (желтые метки Рис.4)

В своем исходном состоянии сплав является ферромагнитным, о чем говорят данные Мессбауэровской спектроскопии (рис. 6а) и вид кривых намагничивания, полученных при комнатной температуре (рис. 6б). Отношение интенсивностей симметричных пиков в пределах ошибки практически одинаковое (1:1,5:1:1:1,5:1), особенно ярко выражены вторая и пятая линии спектра (Таблица 1). Поэтому, исходя из геометрии установки для получения спектров, мы можем сделать вывод, что вектор намагниченности ориентирован преимущественно в плоскости фольги.

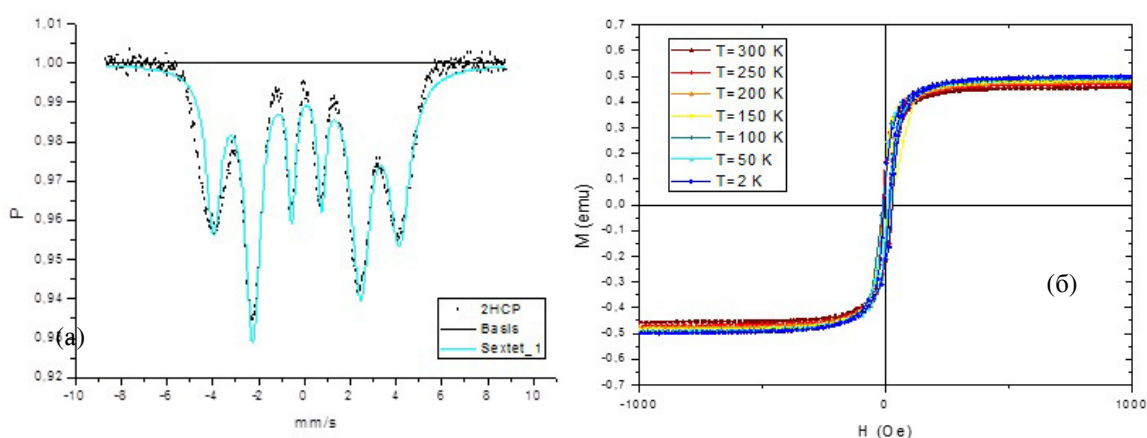
**Таблица 1:**

Параметры мессбауэровского спектра спиннингованных лент

2НСР	$v$ , мм/с	Интенсивность пиков спектра I, усл. ед.	Отношение интенсивностей, б/р
1	-4	0,0423	1,04

2HCP	$\nu$ , мм/с	Интенсивность пиков спектра I, усл. ед.	Отношение интенсивностей, б/р
2	-2,4	0,0662	1,62
3	-0,53	0,0408	1
4	0,8	0,0362	1
5	2,4	0,06	1,66
6	4,26	0,0454	1,25

Действие тепловых нагрузок на магнитное упорядочение спиннингованных лент показано на рис. 6б. Кривые намагничивания получены в магнитном поле 5000 Э, что выше поля насыщения сплава при всех температурах, измерения проводились через 50К. Вид кривых, рис. 6б. характерен для ферромагнитного состояния вещества. Сплав в исходном состоянии является магнитомягким, обладает низким полем насыщения  $H_s$  и остаточным магнитным моментом  $M_r$ . Максимальным магнитным моментом аморфная спиннингованная лента обладает при температуре 2К. Увеличение температуры приводит к монотонному спаду намагниченности насыщения.



**Рис.6** - Результаты Мёссбауэровской спектроскопии и магнитных измерений:  
а) Мёссбауэровский спектр образца  $Fe_{75}Ni_2Si_{10}B_{13}$  в исходном состоянии;  
б) Кривая намагничивания образца в диапазоне температур от 2 до 300 К

Необходимо также обратить внимание на характер поведения кривых магнитной восприимчивости в зависимости от внешнего магнитного поля. Данная лента обладает значительной начальной восприимчивостью, однако ее дальнейший монотонный спад не характерен для классических ферромагнетиков, как и малый остаточный магнитный момент  $M_r$ .