

ВЛИЯНИЕ РАСТЯЖЕНИЯ И СЖАТИЯ НА ГЕОМЕТРИЮ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО СТЕКЛА $\text{Fe}_{77}\text{Ni}_1\text{Si}_9\text{B}_{13}$.

Бетехтин В.И., Бутенко П.Н., Гиляров В.Л., Гиляров И.В., Корсуков В.Е.,
Корсукова М.М., Нарыкова М.В., Обидов Б.А.

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург, Россия

Vjacheslav.Korsukov@mail.ioffe.ru

Многие металлические стекла (МС) на основе железа выделяются своими высокими магнитными и механическими характеристиками [1-3]. Роль поверхности в зарождении деформационных дефектов, развитие деформации и разрушения МС является предметом многочисленных исследований. Однако, известные в литературе экспериментальные и теоретические данные о поведении поверхностных слоев в процессе деформации и разрушение этих материалов являются часто противоречивыми и носят дискуссионный характер. В связи с этим, исследования трансформации рельефа поверхности в поле механических сил является актуальной задачей.

Цель работы: установить влияние растяжения и гидростатического сжатия на морфологию поверхности МС $\text{Fe}_{77}\text{Ni}_1\text{Si}_9\text{B}_{13}$.

Объекты и методы исследования: ленты МС $\text{Fe}_{77}\text{Ni}_1\text{Si}_9\text{B}_{13}$ (промышленная марка 2НСР), полученные методом спиннингования. Были применены методы сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) и атомной силовой микроскопии (АСМ), исследовалась контактная поверхность ленты по отношению к диску; одноосное растягивающее напряжение прикладывалось в диапазоне 0 — 2,7 GPa, гидростатическое сжатие — 1 GPa. Анализ рельефа поверхности проводился разными методами; строились функции распределения неоднородностей по их размерам, определялись фрактальные характеристики поверхности с помощью методик “Box Counting” и “Wavelet Transformation”.

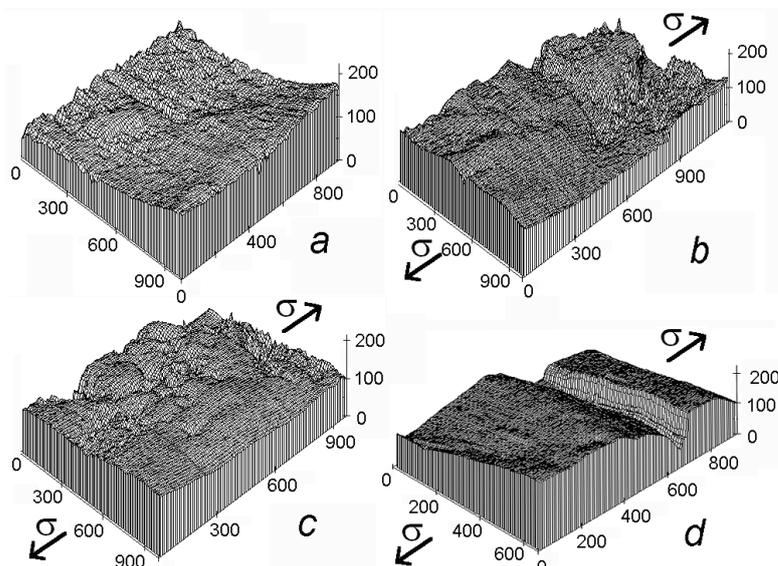


Рисунок 1- Поверхность ленты МС $\text{Fe}_{77}\text{Ni}_1\text{Si}_9\text{B}_{13}$: а – в свободном состоянии, b – нагрузка 1,45 GPa, с – нагрузка 1,7 GPa, d – нагрузка 2,3 GPa.

Результаты. Под действием растягивающей нагрузки проявляются следующие эффекты (рис. 1): линейные дефекты перпендикулярные оси действия нагрузки, линейные дефекты под углом 45° к оси действия нагрузки, нелинейные дефекты, заглаживание рельефа, крупные неоднородности, полосы сброса, поверхностные трещины. На Рис. 2 показана зависимость ширины спектра сингулярностей от растягивающей нагрузки (одномерный и двумерный случай) вплоть до разрыва образца. Двумерный случай показывает, что непосредственно перед разрывом

образца реализуется тенденция к монофрактализации поверхности, однако, в одномерном случае это происходит не всегда [3].

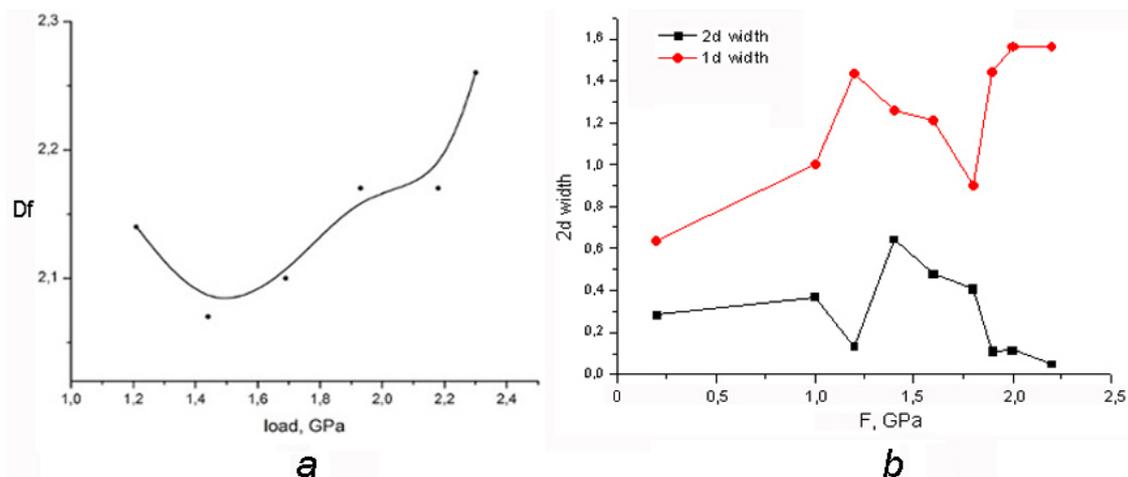


Рисунок 2 - Влияние нагрузки на фрактальную размерность (а) и ширину спектра сингулярностей (b) поверхности ленты МС $Fe_{77}Ni_1Si_9B_{13}$

Интересно посмотреть, как влияет гидростатическое сжатие на рельеф поверхности. На рис.3 приведены топограммы поверхности разных масштабов, полученные методом АСМ.

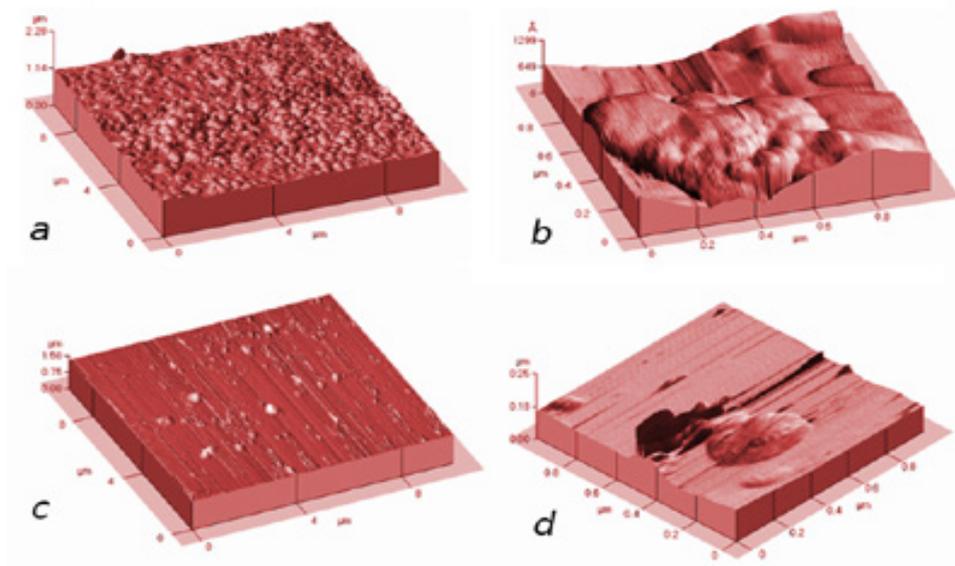


Рисунок 3- Влияние гидростатического сжатия на рельеф поверхности ленты МС $Fe_{77}Ni_1Si_9B_{13}$
 а, b – свободное состояние, с, d – нагрузка 1GPa

Видно, что гидростатическое сжатие сильно влияет на рельеф. Сильно бугристые поверхности (рис.а, b) после выдерживания образцов под давлением ~ 1 GPa, разглаживаются. Количественно этот эффект показан на рис. 4 а,b.

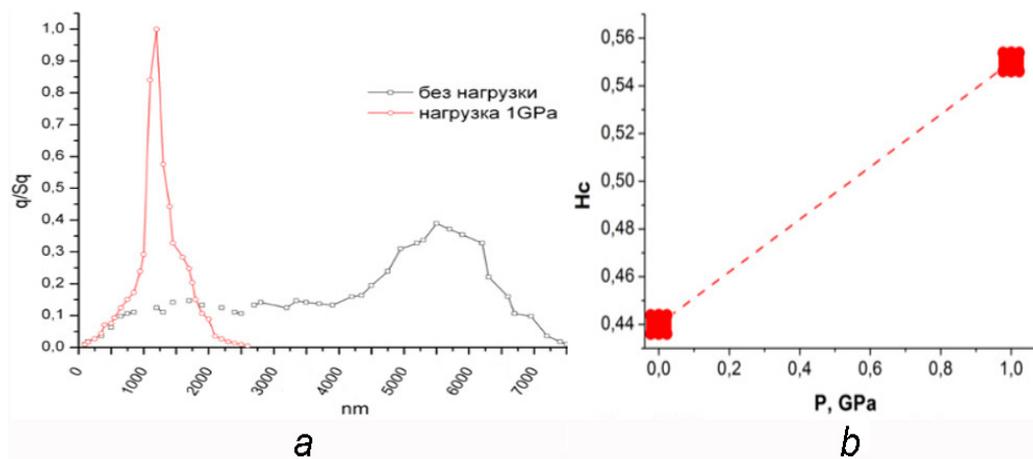


Рисунок 4 - Поверхность ленты MC Fe₇₇Ni₁Si₉B₁₃ под воздействием гидростатического сжатия: распределение неоднородностей по размерам (а), изменение коэффициента Херста (b)

Рис.4а демонстрирует уменьшение относительного количества крупных и увеличение количества мелких дефектов при гидростатическом сжатии. Рис.4б показывает увеличение коэффициента Херста (Hc) после выдержки образца под гидростатическим давлением. Это означает, что фрактальная размерность поверхности уменьшается, происходит уменьшение площади поверхности.

Выводы:

Исходные поверхности, а также поверхности, подвергнутые гидростатическому сжатию и растяжению – мультифрактальны.

Поверхности, подвергнутые гидростатическому сжатию, неравномерно разглаживаются (коэффициент Херста увеличивается), происходит уменьшение площади поверхности.

Характеристики геометрии поверхности образцов, подвергнутых одноосному растяжению, изменяются немонотонно. Вводится понятие *критических событий* на поверхности: появление полосы деформаций, появление магистральной трещины, приводящей к разрыву образца.

Перед критическим событием наблюдается тенденция перехода поверхности от мультифрактального к монофрактальному состоянию.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-08-00360.

Список литературы

1. A. Vinogradov, I.S. Yasnikov, Y. Estrin. Phys. Rev. Lett. 108, 205, 504 (2012).
2. M. Cai, L.E. Levine, S.C. Langford, J.T. Dickinson. Mater. Sci. Eng. A 400–401, 476 (2005).
3. В.Л. Гиляров, В.Е. Корсуков, П.Н. Бутенко, И.Н. Светлов. ФТТ 46, 1806 (2004).