

## ТРАНСФОРМАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКИ НАГРУЖЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ АМОРФНОГО СПЛАВА $Fe_{70}Cr_{15}V_{15}$

*В.Е.Корсуков, А.С.Лукьяненко, Б.А.Обидов, В.Н.Светлов*

*Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе*

Поступила в редакцию 8 апреля 1992 г.

Методом СТМ обнаружено зарождение и рост шероховатости под действием одноосной растягивающей нагрузки на поверхности аморфного сплава железа. Шероховатость исчезает при сбросе нагрузки в процессе образования трещиноватой структуры на поверхности.

В работе <sup>1</sup> методом сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) изучалось воздействие растягивающего напряжения на монокристаллическую поверхность Ge (111). Обнаруженные даже при небольших нагрузках (порядка нескольких килограмм на миллиметр квадратный), крупномасштабные динамические флуктуации рельефа поверхности с вертикальными размерами от десятков до сотен нанометров свидетельствуют о пониженной термодинамической устойчивости этой поверхности. Динамический характер указанных процессов, в частности их обратимость при снятии нагрузки, заставляет предположить, что в их основе лежит интенсивный массоперенос за счет повышенной самодиффузии вдоль поверхности в поле механических сил. В то же время нельзя полностью исключить влияния процессов в подповерхностном кристаллическом слое на рельеф поверхности. Имеется в виду процесс зарождения и выхода дислокций на поверхность. Сразу заметим, что в наших опытах наблюдалось образование ступенек и трещин при больших нагрузках (порядка нескольких десятков  $кГ/мм^2$ ) – эти процессы вполне определены по своему масштабу и характеру, в частности, они необратимы. Динамические флуктуации, о которых идет речь, достаточно мелкомасштабны и гомогенны, что позволяет их ассоциировать с естественной микрошероховатостью поверхности, усиленной действием нагрузки. Так или иначе, естественно возникает желание наблюдать эти поверхностные явления на иных материалах, в частности, на материалах с максимально неупорядоченной структурой, чтобы исключить кристаллографический фактор в проблеме интерпретации наблюдаемых явлений.

Достаточно хорошо изучены механические свойства аморфных сплавов <sup>2</sup>. Эти материалы, полученные резким охлаждением с вытяжкой из расплава, имеют широкую область упругой деформации, хотя и находятся в неустойчивом по отношению к кристаллизации состоянии. В наших опытах поверхность полоски фольги из аморфного сплава  $Fe_{70}Cr_{15}V_{15}$  шириной 10 мм и толщиной 0,2 мм полировалась механически, затем промывалась ацетоном и этиловым спиртом. После обработки снимался СТМ профиль поверхности ненагруженного образца. Наблюдение исходной поверхности велось в течение получаса. Никаких заметных изменений ее профиля обнаружено не было (рис.1).

Затем полоска наматывалась и приваривалась к цилиндрическому барабану диаметром 12 мм, так что ее внешняя поверхность становилась растянутой. Оценка дает для напряжения величину порядка  $\sigma \approx 50 кГ/мм^2$ . На рис.2 приведен СТМ профиль поверхности нагруженного образца через различные промежутки времени от начала нагружения. Рис.2а соответствует картине через 10 минут после нагружения. Наблюдается заметное увеличение шероховатости всей поверхности с характерными вертикальными размерами неровностей порядка  $10^2 - 10^3$  нм. На этом фоне, однако, сохраняются островки с относительно гладким рельефом, горизонтальный размер которых порядка  $10^3$  нм.

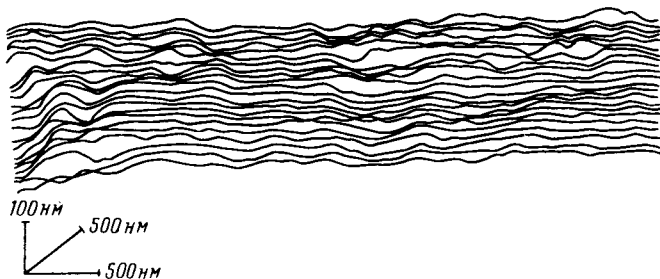


Рис.1. СТМ – профиль ненагруженной поверхности

Эти гладкие участки покрыты сетью ямок с горизонтальным размером  $10^2$  нм и вертикальным –  $10^2$  нм. Далее с течением времени наблюдается постепенная деградация гладких участков, так что поверхность становится полностью шероховатой (рис.2б).

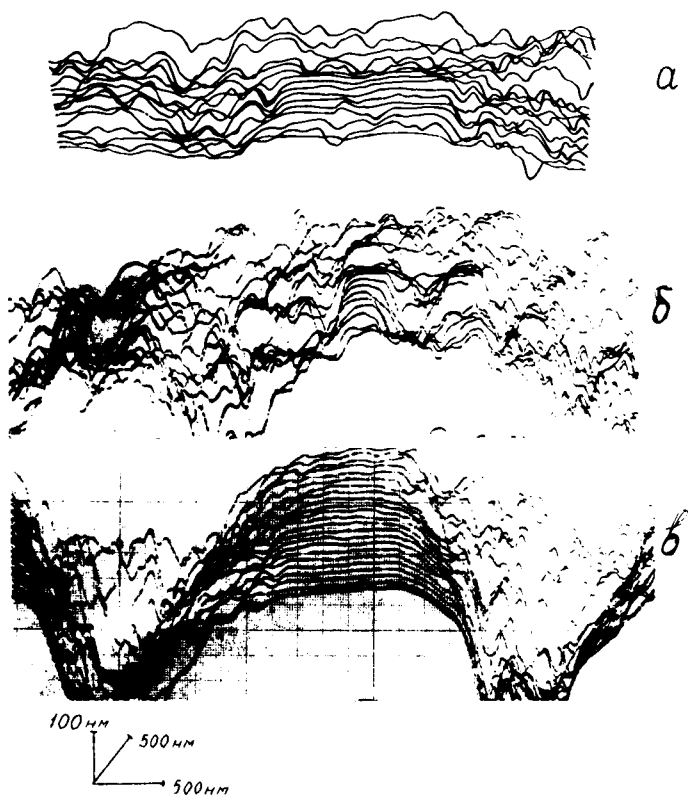


Рис.2. Трансформация во времени поверхности после ее нагружения: а – 10 мин, б – 120 мин, в – 140 мин

Этот этап увеличения шероховатости поверхности (подходящий термин, на наш взгляд, деградация), длящийся несколько часов, завершается резкой

трансформацией рельефа с образованием системы трещиноподобных образований, имеющих вид полос с характерными размерами: ширина -  $10^3$  нм, глубина -  $10^3$  нм (рис.2а). Эта система полос образует почти периодическую структуру на всем сканируемом участке поверхности, с периодом  $3 \cdot 10^3$  нм, ориентированную перпендикулярно оси действия нагрузки. Характерное время этой трансформации порядка 10 мин. Обращает на себя внимание тот факт, что участки поверхности между полосами становятся столь же гладкими как и исходная ненагруженная поверхность. В дальнейшем указанная структура остается стабильной в течение многих часов наблюдения, исключение составляет лишь рельеф "на дне" трещиноподобных образований, где под действием нагрузки рельеф претерпевает крупномасштабные трансформации.

В настоящее время мы не располагаем достаточным материалом, чтобы делать определенные заключения о природе наблюдаемой крупномасштабной структуры. С достаточной вероятностью ее можно отождествить с системой полос сброса, наблюдаемой на этих же материалах методом растровой электронной микроскопии <sup>3</sup>.

В то же время, сам факт образования системы полос приводит к релаксации механических напряжений на участках поверхности, ограниченных соседними полосами. Это последнее обстоятельство, на наш взгляд, является причиной резкого уменьшения шероховатости на указанных участках.

Изложенная выше трактовка наблюдаемых эффектов приводит к выводу, что механическая нагрузка является движущей силой ускоренного массопереноса на поверхности, приводящего к росту ее шероховатости. При сбросе нагрузки (в нашем случае - с образованием системы полос сброса) шероховатость исчезает, так что эффект является обратимым. Эта обратимость наблюдалась в работе <sup>1</sup>, когда нагрузка фактически снималась.

Обратим внимание, что аналогичные эффекты действия механических напряжений проявляются в процессах эпитаксиального роста пленок <sup>4</sup>.

В заключение авторы благодарят С.Н.Журкова, А.И.Слуцкера и А.М.Лексовского за содействие в выполнении работы и полезные обсуждения.

- 
1. С.Н.Журков, В.Е.Корсуков, А.С.Лукьяненко и др., Письма в ЖЭТФ **51**, 324 (1990).
  2. Rapidly cooled materials... BNF Bibliography-BNF Metals Technology Centre, 1983, v.1, N1006. p.46, v.2; N1008. p.115.
  3. А.М.Лексовский, А.Ю.Виноградов, В.А.Бернштейн и др., Тезисы доклада XI Всесоюзной конференции по физике прочности и пластичности. Куйбышев, 1986 с.41.
  4. C.W.Snyder, B.G.Orr, D.Kessler, and L.M.Sander. Phys. Rev. Lett. **66**, 3032 (1991).