

05.1;11;12

©1994

РОСТ ШЕРОХОВАТОСТИ КАК НАЧАЛЬНАЯ СТАДИЯ РАЗРУШЕНИЯ ДЕФОРМИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ АМОРФНОГО СПЛАВА $\text{Fe}_{70}\text{Cr}_{15}\text{V}_{15}$

*Е.А.Бакулин, В.Е.Корсуков,
А.С.Лукьяненко, Б.А.Обидов, Е.В.Степин*

Приведены результаты экспериментов по влиянию высоких механических нагрузок ($\sigma \sim 100$ кГ/мм²) на топографию поверхности фольги из аморфного сплава железа методом сканирующей туннельной микроскопии. На фове обнаруженного ранее при малых нагрузках ($\sigma \sim 30 - 50$ кГ/мм²) роста шероховатости поверхности [1-2] наблюдается быстрое нарастание крупномасштабных неоднородностей, которое мы связываем со специфически поверхностным механизмом зарождения разрушения.

В последнее время много работ посвящено изучению условий и причин возникновения и роста шероховатости на поверхности твердых тел в различных физико-химических процессах. Отметим, в частности, температурные эффекты на вицинальных гранях (наличие фазового перехода при T_R [3]), где T_R — температура перехода в шероховатую фазу, явление “островковой” эпитаксии, которое в [4] связывают с действием механических напряжений в поверхностном слое.

Наш интерес к этому явлению обусловлен тем, что часто механическое разрушение твердых тел начинается с поверхности [5] и можно полагать, что шероховатость способствует этому. В связи с этим нами проводятся систематические исследования влияния механической нагрузки на топографию поверхности различных материалов методом сканирующей туннельной микроскопии с целью обнаружения специфически поверхностных механизмов зарождения разрушения.

В качестве объектов исследования мы берем упругие в широком интервале нагрузок материалы, в частности Ge(111) и $\text{Fe}_{70}\text{Cr}_{15}\text{V}_{15}$, тем самым стремясь исключить влияние объемных пластических явлений на топографию поверхности.

В работах [1-2] при относительно малых нагрузках ($\sigma \sim 30 - 50$ кГ/мм²) на деформированной поверхности аморф-

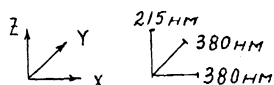
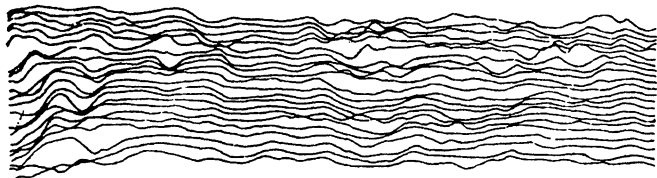


Рис. 1. Исходная поверхность.

ного сплава железа (одноосное растяжение) наблюдалось нарастание шероховатости до уровня порядка нескольких сот нанометров за полтора-два часа. Этот процесс либо стабилизировался [1], либо прерывался образованием системы трещиноподобных структур [2].

В настоящей работе приведена экспериментальная серия соответствующая относительно высокой нагрузке $\sigma \sim \sim 100$ кГ/мм². Методика эксперимента описана в наших предыдущих работах [1-2]. В наших опытах поверхность полоски фольги из аморфного сплава Fe₇₀Cr₁₅V₁₅ шириной 10 мм и толщиной 0.02 мм полировалась механически, затем промывалась ацетоном и спиртом. После обработки снимался профиль поверхности ненагруженного образца (рис. 1). Затем полоска плотно наматывалась и приваривалась к цилиндрической трубке диаметром 4 мм, так что ее внешняя поверхность становилась растянутой до величины, соответствующей нагрузке порядка $\sigma \sim 100$ кГ/мм².

На рис. 2 приведены профили нагруженной поверхности образца. Видно, что первоначально гладкая поверхность очень быстро становится шероховатой. За 5 минут максимальный уровень шероховатости достигает 500 нм. Отметим ускорение процесса роста шероховатости по сравнению со случаем меньших нагрузок. Здесь, особенно вначале, также проявляется характерная латеральная мода шероховатости, наличие которой подмечено в [1], ее мы рассматриваем как физико-механическую константу материала. На более поздних стадиях возникает крупномасштабная структура с горизонтальным размером порядка 1500 нм и вертикальным порядка 1000 нм. Именно ее возникновение, нарушающее однородность начального этапа роста шероховатости, как мы полагаем, является упомянутым выше специфически

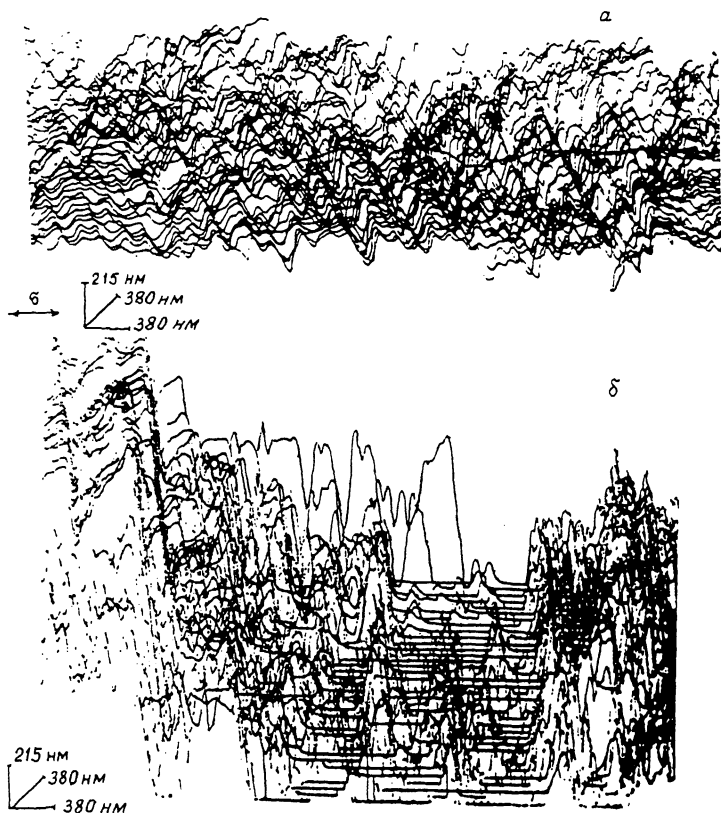


Рис. 2. Трансформация нагруженной поверхности во времени (растяжение вдоль оси X):

a — 5 минут после нагружения, b — 25 минут после нагружения.

поверхностным механизмом зарождения разрушения. Это подтверждается тем, что не происходит стабилизации топографии поверхности, однако дальнейшая динамика “ускользает” из поля зрения туннельного микроскопа ввиду ограниченности перемещения иглы по вертикали (~ 1000 нм). Ее возникновение может быть далее причиной разрушения образца в целом. Заметим в то же время, что уровень нагрузки в этом опыте все же ниже разрывного для изучаемого материала ($\sigma_* \approx 500$ кГ/мм²) и сравним с пределом упругости, так что при освобождении образца от нагрузки он лишь в малой степени сохраняет изгибающую кривую.

Отметим несколько возможных физических факторов, влияющих на описанные выше изменения топографии поверхности фольги под нагрузкой. Во-первых, следует иметь в виду, что аморфный сплав с самого начала является метастабильной структурой, а деформация может инициировать переход в стабильную фазу — островковую кристаллизацию. Во-вторых, нельзя исключать влияния окислительных процессов на топографию поверхности. Что касается кристаллизации, то на электронных дифрактограммах поверхности образца после снятия нагрузки не обнаружено каких-либо заметных ее следов, так что этот эффект не является значительным в описываемых явлениях.

Как и в работах [1,3], мы рассматриваем в качестве ведущего физического механизма роста шероховатости поверхностную самодиффузию, усиленную действием растягивающей нагрузки. Возникновение крупномасштабной моды и неустойчивости в процессе роста шероховатости мы связываем со значительным его ускорением при высоком уровне нагрузки. Можно предположить наличие критического уровня нагрузки по отношению к указанной неустойчивости. Однако это требует дальнейших исследований.

В заключение авторы благодарят С.Н. Журкова за интерес к работе, а А.И. Слущкера и А.М. Лексовского за содействие.

Список литературы

- [1] Корсуков В.Е., Лукьяненко А.С., Обидов Б.А., Светлов В.Н., Степин Е.В. // Письма в ЖЭТФ. 1993. Т. 57. В. 6. С. 343–345.
- [2] Корсуков В.Е., Лукьяненко А.С., Обидов Б.А., Светлов В.Н. // Письма в ЖЭТФ. 1992. Т. 55. В. 10. С. 595–597.
- [3] Robinson I.K., Vlieg E., Hornis H., Conrad E.H. // Phys. Rev. Lett. 1991. Т. 67. N 14. P. 1890–1893.
- [4] Snyder C.W., Orr B.G., Kessler D., Sander L.M. // Phys. Rev. Lett. 1991. V. 66. N 23. P. 3032–3035.
- [5] Корсуков В.Е., Лукьяненко А.С., Назаров Р.Р. и др. // Поверхность. 1988. № 2. С. 69–76.

Поступило в Редакцию
31 мая 1994 г.