

05.1;12

## ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДА НА СВОЙСТВА АМОРФНОГО СПЛАВА Fe-78-Nb-3.5Cu-1B-4Si-13.5

© Н.Е.Скрябина, Л.В.Спивак, В.П.Вылежнев,  
М.А.Хоминский

Сообщается об обнаружении практически полной потери упругих свойств после наводороживания и о последующем возврате этих свойств в процессе выдержки наводороженного аморфного металлического сплава при 295 К. Обсуждаются возможные причины столь необычного явления.

Относительно недавно непосредственно при наводороживании в поле напряжений на некоторых аморфных металлических сплавах (АМС) было обнаружено многократное ускорение ползучести и немонотонный характер изменения при этом модуля сдвига и нормального модуля упругости [1-2]. Последнее давало основание ожидать заметной релаксации напряжений при наводороживании АМС, тем более, что для кристаллических материалов такие эффекты установлены и изучены [3].

Известной схемой [4] изучения релаксации напряжений в АМС является отжиг ленты, согнутой вокруг оправки определенного радиуса. Данная методика была использована в настоящей работе для выяснения вопроса о влиянии водорода на релаксацию напряжений в АМС Fe-78Nb-3.5Cu-1B-4Si-13.5.

Образцы сплава  $9 \times 70$  мм и толщиной 40 мкм закрепляли на оправках разного радиуса (16 и 36 мм) и электролитически наводороживали в течение 5-15 мин при плотности катодного тока  $50 \text{ А/м}^2$ . Электролит —  $1 \text{ N H}_2\text{SO}_4 + 100 \text{ мг/л As}_2\text{O}_3$ . Температура наводороживания 295 К.

После наводороживания по указанным режимам снятые с оправки образцы практически полностью теряли упругие свойства, что особенно хорошо видно при их консольном закреплении (рис. 1). С течением времени происходило восстановление упругих свойств наводороженного сплава. Его деформация при такой схеме нагружения и достаточно продолжительной выдержке при 295 К практически не отличалась от деформации ненаводороженного образца, а чаще всего была даже меньше. Обнаруженное явление авторы назвали реп-Х эффектом.

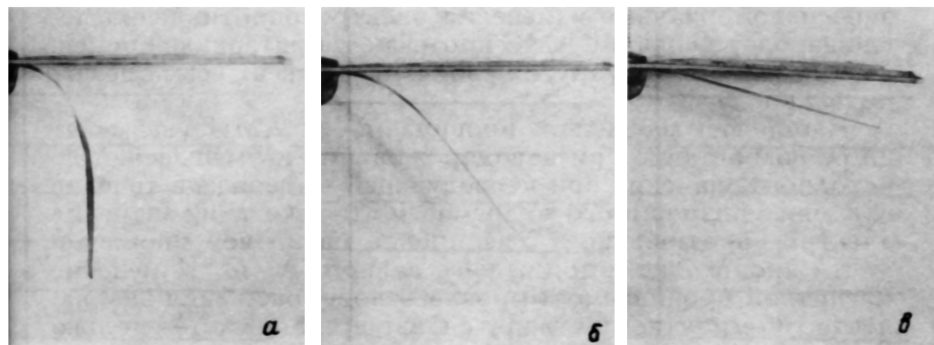


Рис. 1. Внешний вид консольно закрепленного образца АМС после наводороживания: а — через 10 мин, б — через 24 ч, в — через 78 ч выдержки при 293 К. Плотность катодного тока  $50 \text{ А/м}^2$ , продолжительность наводороживания 10 мин.

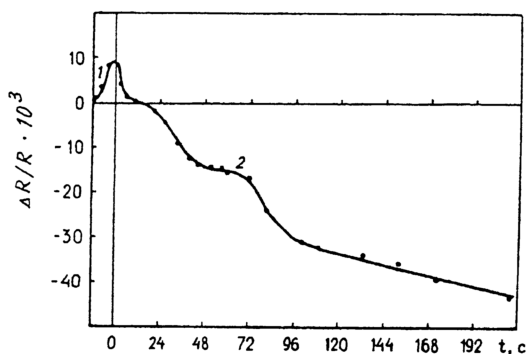


Рис. 2. Относительное изменение электросопротивления АМС при наводороживании (1) и последующей выдержке при 293 К (2). Плотность катодного тока  $50 \text{ А/м}^2$ .

С целью выяснения природы реп-Х эффекта были проведены измерения электросопротивления образцов АМС непосредственно при наводороживании и последующей выдержке при 295 К. Показано (рис. 2), что введение водорода приводит к некоторому росту электросопротивления. Выдержка наводороженного сплава при 295 К сопровождается возвратом некоторой части электросопротивления (рис. 2), что можно было бы связать с выходом водорода из АМС. Существенно, однако, подчеркнуть, что электросопротивление продолжает уменьшаться в течение нескольких часов после наводороживания и его значение становится меньше исходного перед наводороживанием. Это второй необычный эффект, установленный в этом исследовании. Все

зарегистрированные изменения электросопротивления после наводороживания АМС протекают в интервале времен, когда еще возврат упругих свойств выражен весьма незначительно.

Измерение магнитной проницаемости АМС указывает на ее возрастание при наводороживании и уменьшение до исходного значения при последующей выдержке в течение времени, соизмеримого со временем стабилизации значения электросопротивления. Увеличение магнитной проницаемости происходит и при отжиге данного АМС. Изменение магнитной проницаемости после наводороживания эквивалентно 30-минутному отжигу сплава при 573 К с тем только отличием, что после отжига намагниченность сплава практически не изменяется при выдержках более месяца.

Рентгеноструктурные исследования выявляют четко выраженную тенденцию к появлению на дифрактограммах наводороженного АМС сателлитного гало, смещенного в сторону меньших углов по сравнению с основным гало. С увеличением длительности выдержки наводороженных образцов при 295 К сателлитное гало дрейфует в сторону основного и постепенно исчезает.

Анализ полученного материала позволяет считать одной из наиболее вероятных причин реп-Х эффекта потерю механической устойчивости сплава в момент структурной перестройки заметной части объема АМС: переход от одной метастабильной конфигурации к другой, еще менее стабильной. Возникновение последней является, по-видимому, следствием значительного отклонения от квазиравновесного состояния в условиях совместного действия поля напряжений и высокоградиентного диффузионного потока водорода. В пользу данного предположения может свидетельствовать появление дополнительного гало на дифрактограммах, изменение намагниченности, которое наблюдается в обычных условиях при изменяющей структуру сплава термической обработке, характер возврата электросопротивления и намагниченности АМС после наводороживания. Все эти данные указывают на частичную или полную обратимость структурных изменений, возникающих в АМС при насыщении его водородом.

Специфика рассматриваемой ситуации связана с тем, что структурная перестройка в АМС принципиально отличается от таковой в кристаллических аналогах и, как мы предполагаем, она реализуется за счет изменения топологического и композиционного порядка, инициируемого присутствием водорода в объеме данного АМС. Скорость обратной перестройки структуры контролируется диффузионной подвижностью атомов матрицы, которая даже для атомов металлоидов на несколько порядков меньше диффузионной подвижности атомов водорода в АМС.

Авторы выражают признательность РФФИ за поддержку исследований.

### Список литературы

- [1] *Спивак Л.В., Хоник И.А., Скрябина Н.Е.* // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 17. В. 19. С. 39-43.
- [2] *Спивак Л.В., Хоник И.А., Скрябина Н.Е.* // ЖТФ. 1995. Т. 65. В. 5. С. 104-113.
- [3] *Спивак Л.В., Скрябина Н.Е.* // ФММ. 1993. Т. 76. В. 5. С. 141-146.
- [4] *Манозин А.И.* // и др. Аморфные сплавы. М.: Металлургия, 1984. 160 с.
- [5] *Вагнер Х.* // Водород в металлах / Под ред. Г. Алефельд, Фелькль. М.: Изд-во иностр. лит. 1980. С. 16-69.
- [6] *Спивак Л.В., Скрябина Н.Е., Кац М.Я.* Водород и механическое последствие в металлах и сплавах. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1993. 343 с.

Пермский  
государственный  
университет

Поступило в Редакцию  
22 июля 1996 г.