

УДК 378.147

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НА НАВОДОРОЖЕННЫЕ АМОРФНЫЕ И НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ СПЛАВЫ

© С.А. Сидоров, В.А. Федоров, Т.Н. Плужникова,
А.В. Яковлев, Д.Ю. Федотов, А.Ю. Анненков

Ключевые слова: металлическое стекло; наводороживание; импульс тока; скачок механического напряжения. Исследовано импульсное токовое воздействие на структуру и свойства наводороженных аморфных и нанокристаллических металлических сплавов. Установлены зависимости скачка механического напряжения в исследуемых материалах от плотности электрического тока. Изучены морфологические особенности материалов после воздействия наводороживающих сред различной концентрации в целях объяснения изменения величины скачка механического напряжения на наводороженном нанокристаллическом сплаве на основе железа.

ВВЕДЕНИЕ

Металлические стекла обладают хорошей коррозионной стойкостью, но проявляют заметную чувствительность к воздействию водорода и агрессивных сред, что выражается в их охрупчивании. Большую чувствительность к охрупчиванию в среде водорода аморфные сплавы проявляют после отжига [1–2]. Пропускание импульсного электрического тока высокой плотности в момент деформации металлических стекол сопровождается снижением механического напряжения, фиксируемого на диаграммах $\sigma(\epsilon)$ [3]. В реальных условиях применения металлические стекла подвергаются воздействию одновременно нескольких факторов, которые могут значительно повлиять на их эксплуатационные характеристики. Это могут быть как стационарные, так и нестационарные тепловые поля, импульсные и статические электрические и магнитные поля, а также различные среды, ведущие к окислению и коррозии. Вследствие этого представляет интерес их совместное влияние на изменение механических свойств металлических стекол.

Цель работы состоит в рассмотрении влияния импульсного электрического тока на аморфные и нанокристаллические сплавы, подвергнутые наводороживанию.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Экспериментальным материалом служили аморфные металлические сплавы на основе Co (АМАГ-172, АМАГ-180) и нанокристаллический сплав на основе Fe (АМАГ-200), полученные методом спиннингования. Размеры образцов: $\sim 3,5 \times 0,02 \times 40$ мм. В качестве наводороживающих сред использовали растворы NACE + 100 мг/л H_2S и NACE + 400 мг/л H_2S . Образцы предварительно выдерживали в растворах в течение 24 часов. После чего производилось одноосное растяжение образцов на разрывной машине Instron-5565 при одновременном воздействии импульсного электрического тока длительностью $\tau = 5$ мс и плотностью тока $j = 10^8$ –

10^9 А/м². Элементный состав и морфологию поверхности исходных и наводороженных образцов исследовали на растровом электронном микроскопе Quanta 600.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Деформация аморфных и нанокристаллических сплавов, неподверженных влиянию среды NACE, с одновременным пропусканием импульсного электрического тока на диаграммах нагружения сопровождается явлением, подобным электропластическому эффекту (рис. 1). В момент прохождения импульса тока на диаграммах σ – ϵ наблюдается кратковременный ($\sim 1,1$ с) скачок механического напряжения $\Delta\sigma$ с последующим полным восстановлением хода зависимости σ – ϵ . Кроме того, пропускание импульсного электрического тока вызывает скачкообразное кратковременное увеличение температуры образцов металлических стекол (рис. 2). В работе [3] показано, что спад механического напряжения связан не только с нагревом.

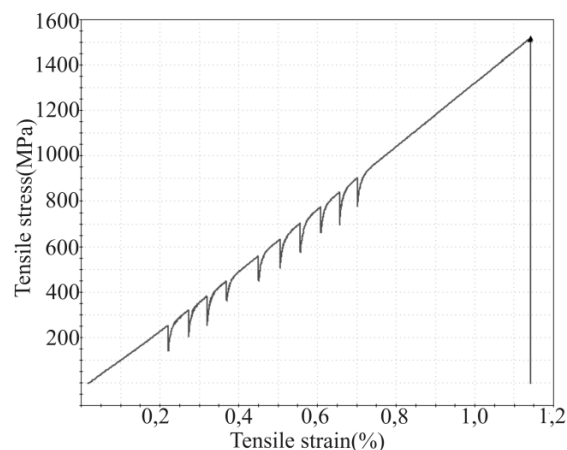


Рис. 1. Диаграмма $\sigma(\epsilon)$ аморфного сплава на основе кобальта

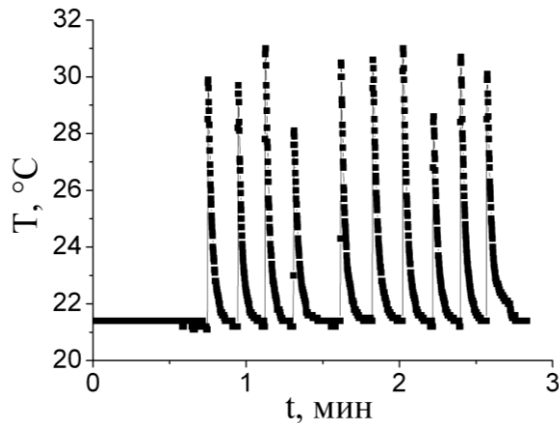


Рис. 2. Термо-временная зависимость аморфного сплава на основе кобальта

Установлено, что характер деформации наводороженных образцов не отличается от образцов, не подвергнутых этому влиянию. Однако при воздействии раствора NACE + 400 мг/л H_2S и NACE + 100 мг/л H_2S на нанокристаллический сплав на основе Fe скачок нагрузки, вызванный пропуском импульсного тока плотностью свыше $6 \cdot 10^8$ А/м², увеличивается на $\Delta\sigma \approx 10\%$ по отношению к образцам этого же сплава, но не подвергнутым наводороживанию (рис. 3). Кроме того, величина скачка механической нагрузки в образцах не меняется в зависимости от того, в какой концентрации раствора они выдерживались. Воздействие наводороживающей среды на сплавы на основе Co не влияет на величину скачков механического напряжения. На рис. 4 показано, что зависимости скачков механического напряжения от плотности тока для исходных образцов и образцов, выдержанных в среде NACE, совпадают.

С целью выяснения того, что могло бы повлиять на увеличение скачка механического напряжения, проводились морфологические исследования поверхности образцов. Электронной микроскопией обнаружено, что на отдельных участках поверхности металлических стекол наблюдается образование как отдельных кристаллов соли NaCl (рис. 5), так и дендритных структур (рис. 6). Причина роста кристаллов NaCl в одном случае евклидовой формы, а в другом – фрактальной пока не ясна и требует дополнительных исследований.

Исследование элементного состава образцов аморфных и нанокристаллических сплавов на основе Fe показало, что наводороживание приводит к появлению в составе атомов кислорода. При этом в аморфных сплавах его концентрация равна $\sim 1\%$, а в нанокристаллическом – более $2,5\%$. Появление кислорода связано с тем, что на поверхности образцов образуются оксидные соединения. В частности, на нанокристаллическом сплаве оксиды железа образуют поверхностную пленку толщиной ~ 1 мкм (рис. 7).

По-видимому, образовавшаяся в результате выдерживания в среде NACE оксидная пленка на поверхности нанокристаллического сплава снижает теплоотдачу материала. В результате этого пропускание импульсного тока вызывает больший нагрев образца, что увеличивает скачок механического напряжения. На поверхности аморфных сплавов подобной пленки не наблюдается,

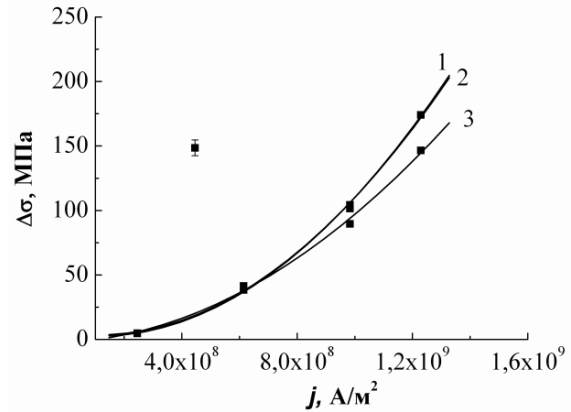


Рис. 3. Зависимость скачка механического напряжения от плотности тока, действующего на сплав АМАГ-200: 1 – для образцов, выдержанных в растворе NACE + 100 мг/л; 2 – для образцов, выдержанных в растворе NACE + 400 мг/л; 3 – без воздействия среды NACE

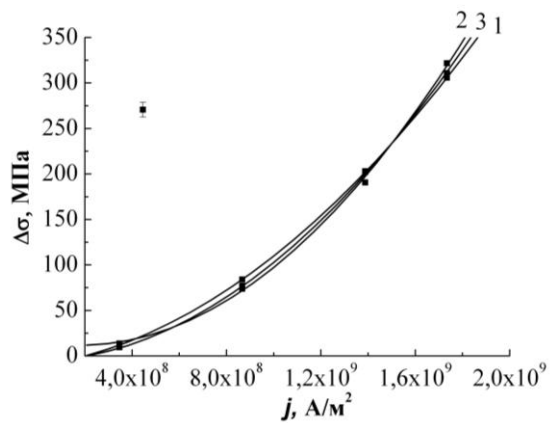


Рис. 4. Зависимость скачка механического напряжения от плотности тока, действующего на сплав АМАГ-180: 1 – для образцов, выдержанных в растворе NACE + 100 мг/л; 2 – для образцов, выдержанных в растворе NACE + 400 мг/л; 3 – без воздействия среды NACE

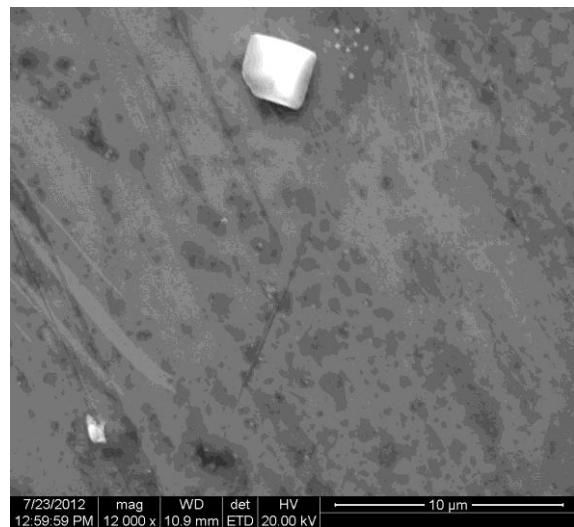


Рис. 5. Кристаллы NaCl на поверхности сплава АМАГ-172

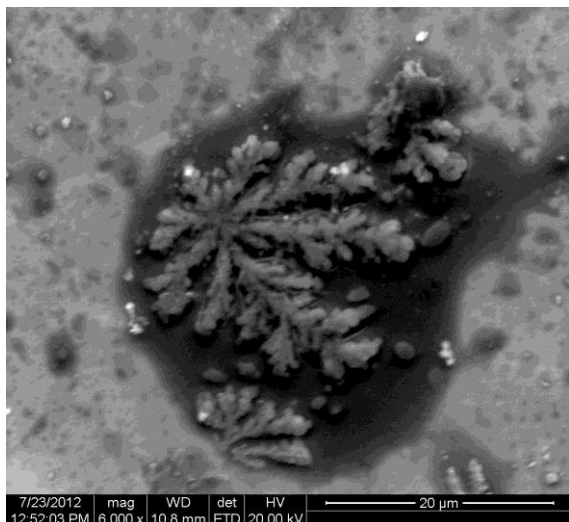


Рис. 6. Дендритообразные ветви кристаллов NaCl на поверхности АМАГ-180



Рис. 7. Оксидная пленка на поверхности нанокристаллического сплава АМАГ-200

вследствие этого нагрев образца не изменяется, а следовательно, значения спадов механического напряжения не изменяются. Выдержка в среде NACE изменяет только структурное состояние поверхности материалов, изменений каких-либо свойств в объеме образцов не зафиксировано.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, выдержка в среде NACE изменяет структуру поверхности материалов, образуя на ней как отдельные кристаллы NaCl евклидовой формы, так и фрактальные кристаллические структуры. Кроме того, на нанокристаллическом сплаве образуется оксидная пленка, препятствующая теплообмену образца с окружающей средой. В результате этого пропускание импульсного тока приводит к увеличению скачка механического напряжения. Из вышесказанного следует, что аморфная структура является более устойчивой к коррозионному воздействию среды NACE при одновременном влиянии импульсного электрического тока по сравнению с нанокристаллическим состоянием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлев А.В., Плужникова Т.Н., Черемисина Ю.В., Васильева С.В., Федоров В.А., Колесников Д.А., Марадудина О.Н. Воздействие водородсодержащей среды на механические свойства ленточных металлических стекол // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2010. Т. 15. Вып. 3. С. 1103-1104.
2. Глезер А.М., Пермякова И.Е., Громов В.Е., Коваленко В.В. Механическое поведение аморфных сплавов. Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2006. 416 с.
3. Сидоров С.А., Федоров В.А., Плужникова Т.Н., Кириллов А.М., Яковлев А.В., Черникова А.А. Исследование процессов деформации аморфных сплавов в условиях импульсного электрического тока // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2012. Т. 17. Вып. 1. С. 135-138.

БЛАГОДАРНОСТИ: Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 12-01-00638) и Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг. (проект № 14.В37.21.1161).

Поступила в редакцию 23 ноября 2012 г.

Sidorov S.A., Fedorov V.A., Pluzhnikova T.N., Yakovlev A.V., Fedotov D.Y., Annenkov A.Y. EFFECT OF PULSED ELECTRIC CURRENT ON HYDROGENATED AMORPHOUS AND NANOCRYSTALLINE ALLOYS

The researchers studied the pulse current impact on the structure and properties of hydrogenated amorphous and nanocrystalline metal alloys. The dependences of jump of mechanical stress in the studied materials of the electric current density are determined. The morphological characteristics of the materials after the impact hydrogenated environments of varying concentrations are studied in order to explain the variation of the values of the jump mechanical stress on the hydrogenated nanocrystalline alloy on the basis of iron.

Key words: metallic glass; hydrogenation; current pulse; jump stress.