

УДК 539.3

ДЕФОРМАЦИЯ АМОРФНОГО И НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СПЛАВОВ В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

© В.А. Федоров, Т.Н. Плужникова, С.А. Сидоров,
Д.Ю. Федотов, А.В. Яковлев, С.Н. Плужников,
А.А. Михайлова, А.А. Шмелев

Ключевые слова: деформация сплавов; аморфный сплав; нанокристаллический сплав; импульсный электрический ток.

Исследованы деформационные процессы в аморфном сплаве на основе кобальта и нанокристаллическом сплаве на основе железа в условиях импульсного электрического тока плотностью выше 10^9 А/м². Получены зависимости величины сброса механического напряжения от плотности электрического тока.

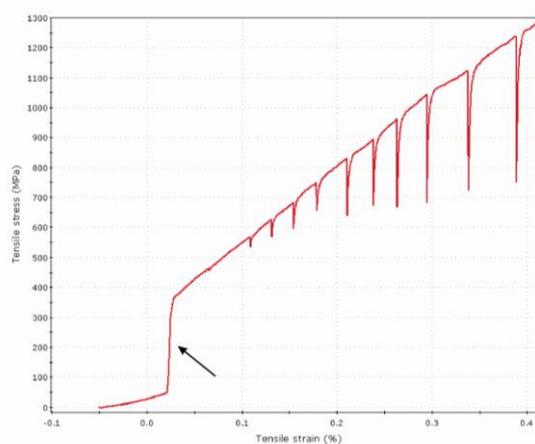
Пропускание импульсного электрического тока высокой плотности ($> 2 \cdot 10^8$ А/м²) приводит к сбросу механического напряжения в аморфных и нанокристаллических металлических сплавах с последующим полным восстановлением хода зависимости [1–3]. Это явление сопровождается скачкообразным увеличением температуры образца пропорционально величине импульса тока.

Цель работы – выяснить, как изменяются механические свойства материалов при деформации с одновременным пропусканием импульсного электрического тока в условиях температур жидкого азота.

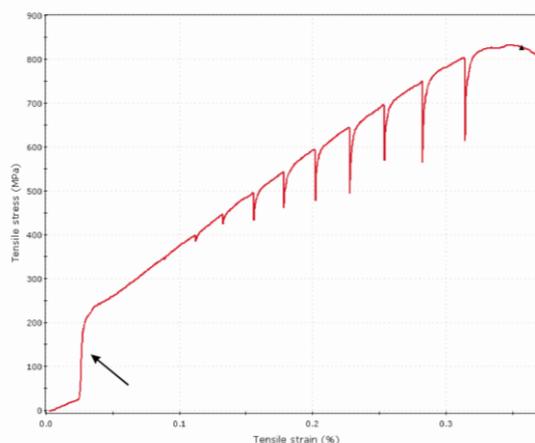
Материалами для исследования служили аморфный сплав ($\text{Co}_{78,65}\text{Fe}_{4,03}\text{Ni}_{4,73}\text{Si}_{7,22}\text{Mn}_{1,88}\text{B}_2\text{Cr}_{1,49}$) на основе кобальта и нанокристаллический сплав на основе железа ($\text{Fe}_{80,22}\text{Si}_{8,25}\text{Nb}_{10,09}\text{Cu}_{1,44}$). Эксперименты по одноосному растяжению напряжений проводили на электро-механической машине для статических испытаний Instron-5565 со скоростью движения траверсы 0,1 мм/мин. Образец погружали в жидкий азот и во время деформации путем разрядки конденсатора подавали импульсы тока. Плотность тока (j), протекающего через образцы, варьировали от $1 \cdot 10^8$ до $1 \cdot 10^9$ А/м². Использовали импульсы с длительностью $\tau \sim 5$ мс.

Понижение температуры образца до температуры жидкого азота приводит к возрастанию механического напряжения (рис. 1а, 1б – показано стрелками). Для аморфного сплава это увеличение составляет ≈ 300 МПа, для нанокристаллического – ≈ 200 МПа.

Получены зависимости величины сброса механического напряжения от плотности электрического тока для образцов всех исследованных сплавов, находящихся при температуре жидкого азота. Сравнение этих зависимостей с аналогичными зависимостями для образцов, находящихся при комнатной температуре, показало, что в аморфном сплаве величина сброса механического напряжения уменьшилась на ≈ 40 % (рис. 2а), в нанокристаллическом сплаве величина сброса механического напряжения практически не изменилась (рис. 2б).



а)



б)

Рис. 1. Диаграмма $\sigma(\epsilon)$ аморфного сплава на основе кобальта (а) и нанокристаллического сплава на основе железа (б) при пропускании импульсного тока

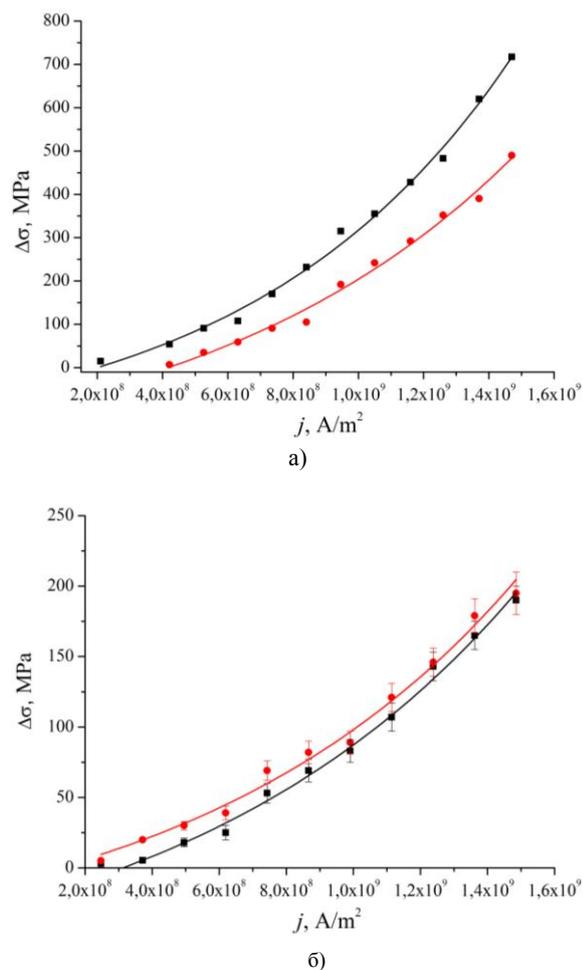


Рис. 2. Зависимость величины сброса механического напряжения от плотности тока для аморфного (а) и нанокристаллического (б) сплавов

В аморфном сплаве разность в величине сброса при комнатной температуре и температуре жидкого азота, по-видимому, можно объяснить отсутствием обратимой

стадии структурной релаксации, которая инициируется пропусканием импульса тока. По-видимому, величина обратимой стадии структурной релаксации пропорциональна температуре образца.

Таким образом, понижение температуры образца при деформации сопровождается резким возрастанием механического напряжения, при этом сброс механического напряжения, вызванный пропусканием импульсного тока в аморфном сплаве, происходит за счет уменьшения величины обратимой структурной релаксации.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Федоров В.А., Плужникова Т.Н., Сидоров С.А. Влияние агрессивных сред на деформацию аморфных и нанокристаллических сплавов, обусловленную воздействием импульсного электрического тока // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2013. № 4. С. 59-62.
3. Федоров В.А., Сидоров С.А., Дручинина О.А. Влияние импульсного электрического тока на механические свойства наводороженных металлических стекол на основе кобальта и железа // Альтернативная энергетика и экология. 2013. № 1 (117). С. 10-13.

БЛАГОДАРНОСТИ: Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект № 12-01-00638.

Поступила в редакцию 21 ноября 2013 г.

Feodorov V.A., Pluzhnikova T.N., Sidorov S.A., Fedotov D.Y., Yakovlev A.V., Pluzhnikov S.N., Mikhaylova A.A., Shmelev A.A. DEFORMATION OF AMORPHOUS AND NANOCRYSTALLINE ALLOYS IN ELECTROPULSE EXPOSURE AT LOW TEMPERATURES

The deformation processes in the amorphous cobalt-base alloy and the nanocrystalline iron-based alloy in a pulsed electric current density above 10^9 A/m² is investigated. The dependence of the strain relief on the density of electric current is obtained.

Key words: deformation of alloys; amorphous alloy; nanocrystalline alloy; the pulsed electric current.

Федоров Виктор Александрович, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, доктор физико-математических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, зав. кафедрой общей физики, e-mail: feodorov@tsu.tmb.ru

Feodorov Viktor Aleksandrovich, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Honored Worker of Science of Russian Federation, Head of General Physics Department, e-mail: feodorov@tsu.tmb.ru

Плужникова Татьяна Николаевна, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры общей физики; e-mail: plushnik@mail.ru

Pluzhnikova Tatyana Nikolayevna, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Associate Professor of General Physics Department, e-mail: plushnik@mail.ru

Сидоров Сергей Анатольевич, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, аспирант, кафедра общей физики, e-mail: feodorov@tsu.tmb.ru

Sidorov Sergey Anatolyevich, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Post-graduate Student, General Physics Department, e-mail: feodorov@tsu.tmb.ru

Федотов Дмитрий Юрьевич, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, аспирант, кафедра общей физики, e-mail: dmitry_989@mail.ru

Fedotov Dmitriy Yuryevich, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Post-graduate Student, General Physics Department, e-mail: feodorov@tsu.tmb.ru

Яковлев Алексей Владимирович, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры общей физики, e-mail: DAK-83@mail.ru

Yakovlev Aleksey Vladimirovich, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Candidate of Physics and Mathematics, Senior Lecturer of General Physics Department, e-mail: feodorov@tsu.tmb.ru

Плужников Сергей Николаевич, Тамбовский государственный музыкально-педагогический институт им. С.В. Рахманинова, г. Тамбов, Российская Федерация, кандидат физико-математических наук, доцент, зав. кафедрой гуманитарных, естественнонаучных и социально-экономических дисциплин, e-mail: plushnik@mail.ru

Pluzhnikov Sergey Nikolayevich, Tambov State Musical Pedagogical Institute named after S.V. Rakhmaninov, Tambov, Russian Federation, Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Head of Humanitarian Natural and Socio-economic Disciplines Department, e-mail: plushnik@mail.ru

Михайлова Анна Андреевна, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, магистрант по направлению подготовки «Физика» института математики, физики и информатики, e-mail: feodorov@tsu.tmb.ru

Mikhaylova Anna Andreyevna, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Candidate for Master's Degree of Direction of Preparation of "Physics" of Mathematics, Physics and Informatics Institute, e-mail: feodorov@tsu.tmb.ru

Шмелев Алексей Александрович, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, студент института математики, физики и информатики, e-mail: feodorov@tsu.tmb.ru

Shmelev Aleksey Aleksandrovich, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Student of Mathematics, Physics and Informatics Institute, e-mail: feodorov@tsu.tmb.ru