

ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ТИТАНОВОЙ ПРОВОЛОКИ

¹Пономарев Т.С., ¹Белявин К.Е., ¹Минько Д.В.,
²Угурчиев У.Х., ²Столяров В.В.

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь, timofeus@tut.by, dminko@tyt.by

²Институт машиноведения РАН, Москва, Россия, vlstol@mail.ru

Электропластический эффект (ЭПЭ) в металлах — увеличение деформируемости и снижение усилий деформирования металла под действием импульсов электрического тока большой плотности [1]. В основе эффекта лежит явление «электронного ветра» или взаимодействия свободных электронов с дислокациями материала (дефектами строения, неоднородностями решетки). В результате импульсного характера тока сопротивление металла деформации сильно уменьшается, а пластичность увеличивается. Ранее ЭПЭ был исследован на стальной сварочной проволоке, для которой была показана зависимость ЭПЭ от химического состава стали и режимов вводимого тока [2]. Цель настоящей работы — исследовать влияние отжига и режимов тока на ЭПЭ в титановой проволоке.

Материалом исследования был технически чистый титан ВТ1-0 в виде проволоки Ø0.8 мм, полученной многостадийной деформационной обработкой, включая прокатку, волочение и промежуточные отжиги. Проволоку исследовали в состоянии до и после вакуумного отжига при 850 °С. Испытания выполняли при комнатной температуре на горизонтальной разрывной машине ИР 5047-50-10 при растяжении со скоростью 2 мм/мин по режимам: без приложения тока; одиночные импульсы (максимальная плотность тока $j = 80 \text{ А/мм}^2$, длительность импульса $\tau = 100 \text{ мкс}$); многоимпульсный ток ($j = 40 \text{ А/мм}^2$; $\tau = 10 \text{ мкс}$; $\nu = 1000 \text{ Гц}$); постоянный ток ($j = 6 \text{ А/мм}^2$). Температуру образца в процессе растяжения измеряли с помощью термопары, закрепленной в центре расчетной длины ($l_p = 44 \text{ мм}$). Она составляла 25 °С (без тока), 30 °С (одиночные импульсы), 80 °С (многоимпульсный ток), 80 °С (постоянный ток). Образцы проволоки испытывали в состоянии до и после низкого отжига. Схема подвода тока к захватам показана на рис. 1.

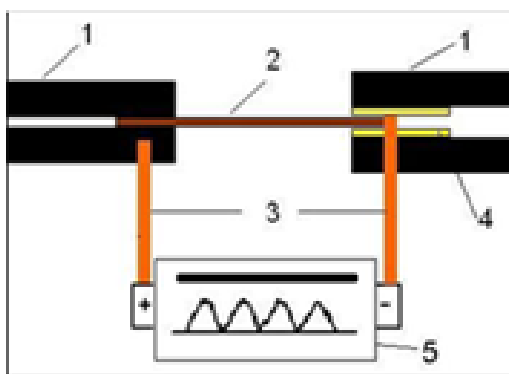


Рисунок 1 - Схема подвода тока к образцу:
1. Захваты; 2. Образец; 3. Медные шины для подвода тока;
4. Изоляционный материал; 5. Генератор импульсного тока (ГИТ).

На рис.2 и 3 приведены инженерные кривые растяжения «напряжение-деформация» для титана до и после отжига.

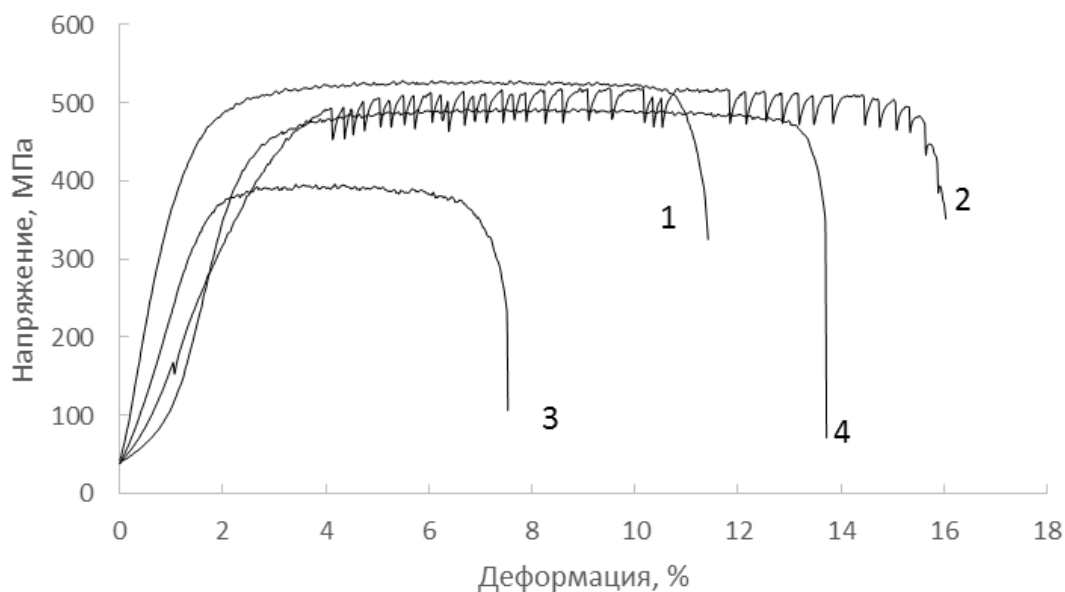


Рисунок 2 - Инженерные кривые «напряжение-деформация» титановой проволоки до отжига: без тока (1); одиночные импульсы тока (2); многоимпульсный ток (3); постоянный ток (4).

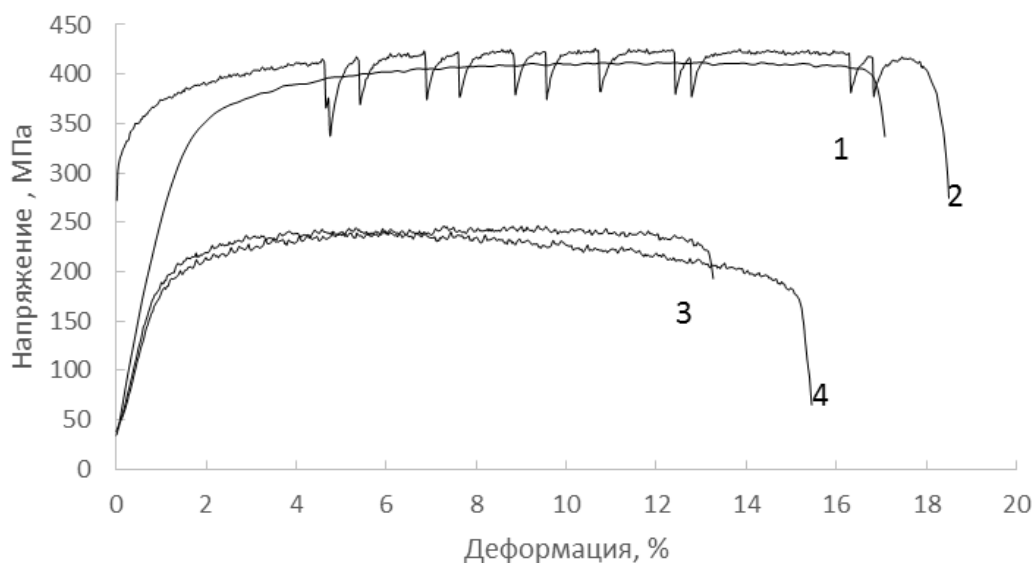


Рисунок 3 - Инженерные кривые «напряжение-деформация» титановой проволоки после отжига: без тока (1); одиночные импульсы тока (2); многоимпульсный ток (3); постоянный ток (4).

Отжиг при 850 °С привел к снижению прочности и увеличению пластичности проволоки. Результаты показывают, что предел прочности и относительное удлинение титановой проволоки при растяжении в нагартованном и отожжённом состояниях зависят от режимов тока. С увеличением интенсивности вводимого тока прочность уменьшается, особенно сильно в отожжённом состоянии, для многоимпульсного и постоянного тока, которые вызывают преимущественно тепловой эффект. Введение одиночных импульсов тока приводит к характерному эффекту для однофазного сплава в виде скачков напряжения вниз. В отличие от титана, в сплаве TiNi с памятью формы могут наблюдаться разнонаправленные скачки вверх-вниз [3]. Амплитуда скачка в отожжённой проволоке несколько выше (60-70 МПа), чем в нагартованном состоянии (менее 50 МПа), что может быть связано с длиной свободного пробега дислокаций.

Ассиметричный характер скачка напряжения объясняется мгновенной скоростью нагрева проволоки при введении импульса тока и последующем медленным ее охлаждением на воздухе.

Таким образом, подтверждено, что ЭПЭ зависит от режимов вводимого тока. Вклад ЭПЭ увеличивается с уменьшением интенсивности тока (одноимпульсный ток) и практически полностью замещается тепловым эффектом при повышении энергии тока (многоимпульсный ток и постоянный ток).

Литература

1. Троицкий О.А., Баранов Ю.В., Авраамов Ю.С., Шляпин А.Д., Физические основы и технологии обработки современных материалов, Т. 1, 2004.
2. Белявин К.Е., Минько Д.В., Пономарев Т.С., Угурчиев У.Х., Столяров В.В. Электропластический эффект при растяжении стальной проволоки, конф. сб. «Актуальные проблемы прочности», Витебск, (2018) 401-403.
3. Misochenko A.A., Fedotkin A.A., Stolyarov V.V., Influence of grain size and electric current regimes on deformation behavior under tension of shape memory alloy $Ti_{49,3}Ni_{50,7}$, Materials Today Proceedings, 4 (2017) 4753-4757.