

## ЭФФЕКТЫ ИМПУЛЬСНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ТОКА И УЛЬТРАЗВУКА В СПЛАВАХ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ

<sup>1</sup>Столяров В.В., <sup>1</sup>Фролова А.В., <sup>2</sup>Царенко Ю.В., <sup>2</sup>Рубаник В.В.

<sup>1</sup>Институт машиноведения РАН, Москва, Россия, *v1stol@mail.ru*

<sup>2</sup>Институт технической акустики НАН Беларуси, Витебск, Беларусь

В сплавах с термоупругим мартенситным превращением деформационно-термические методы обработки в сочетании с импульсным током (ИТ) или ультразвуковым (УЗ) воздействием позволяют существенно повысить технологические и эксплуатационные свойства, однако механизм такого воздействия недостаточно изучен. Для чистой меди было показано, что комбинация электропластического (ЭПЭ) и акустопластического (АПЭ) эффектов, может оказывать заметное влияние на дислокационную подвижность и деформационное поведение материала. Целью данной работы было исследование деформационного поведения при растяжении сплавов  $Ti_{50-x}Ni_{50+x}$  в аустенитном и мартенситном состояниях при последовательном воздействии импульсного тока и ультразвука.

Объектом исследования были сплавы с памятью формы в аустенитном ( $Ti_{49.3}Ni_{50.7}$ ) и мартенситном ( $Ti_{50.0}Ni_{50.0}$ ) состояниях при комнатной температуре в форме проволоки диаметром  $\varnothing 1,5$  мм после закалки от  $800\text{ }^\circ\text{C}$  с размером зерен  $\sim 50$  мкм. В соответствии с сертификатом качества, температурами начала мартенситного ( $M_n$ ) и окончания аустенитного ( $A_k$ ) превращений для сплава  $Ti_{49.3}Ni_{50.7}$  являются  $M_n = 6\text{ }^\circ\text{C}$  и  $A_k = 26\text{ }^\circ\text{C}$ , а для сплава  $Ti_{50.0}Ni_{50.0}$   $M_n = 45\text{ }^\circ\text{C}$  и  $A_k = 75\text{ }^\circ\text{C}$ , соответственно. Растяжение выполняли при  $20\text{ }^\circ\text{C}$  на испытательной машине ИР 5081-20. При растяжении импульсный ток и ультразвуковые колебания в различной последовательности вводили в образец на разных стадиях деформации и фиксировали амплитуду скачка напряжений от ЭПЭ или АПЭ эффекта. Режимы импульсов тока и ультразвука были выбраны так, чтобы наблюдаемые эффекты были соизмеримы по интенсивности: для тока – частота  $0,8 - 1$  кГц, плотность тока  $j=150\text{ A/мм}^2$ , длительность импульса  $\tau = 100$  мкс; для ультразвука – частота  $20$  кГц, длительность  $1$  с, амплитуда  $5$  и  $20$  мкм.

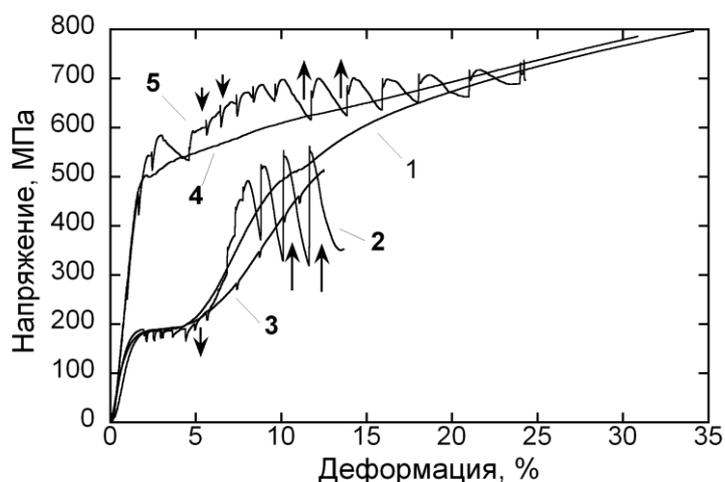


Рисунок 1 - Деформационное поведение сплавов  $Ti_{50.0}Ni_{50.0}$ :  
1 - исходный, 2 – с током, 3 – с УЗ и  $Ti_{49.3}Ni_{50.7}$ : 4 – исходный,  
5 – с током.

Стрелками указаны соответствующие скачки «вверх» и «вниз».

Для *мартенситного сплава*  $Ti_{50.0}Ni_{50.0}$  введение одиночных ИТ приводит к разным эффектам: к ЭПЭ (скачки «вниз»,  $\Delta\sigma \sim 10-25$  МПа) на стадии переориентации мартенсита и к ЭПФ (скачки «вверх»,  $\Delta\sigma \leq 200$  МПа) на стадии деформационного упрочнения, а также к заметному уменьшению относительного удлинения до разрушения (рис.1, кривая 2). В отличие от тока, введение УЗ не приводит к проявлению ЭПФ на всей области кривой (рис.1, кривая 3). При их одновременном воздействии наблюдается преимущественное влияние тока по сравнению с УЗ.

В *аустенитном сплаве*  $Ti_{49.3}Ni_{50.7}$  введение одиночных ИТ также приводит к последовательному проявлению ЭПЭ и ЭПФ и сохранению высокой пластичности (рис.1, кривая 5). Применение одновременного воздействия тока и УЗ приводит к резкому охрупчиванию и разрушению практически в упругой области.

Таким образом, раздельное и совместное воздействие тока и УЗ в сплавах с памятью формы стимулирует проявление ЭПЭ и АПЭ эффектов, величина которых зависит от типа сплава, режимов воздействия и области деформации кривой растяжения.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-58-48001 ИНД\_оми и проекта БРФФИ № Т16Р-152.*