

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ ТЕРМОУПРУГИХ МАРТЕНСИТНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЯХ В НИКЕЛИДЕ ТИТАНА В ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ЦИКЛАХ

Грязнов А.С., Плотников В.А.

Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

plotnikov@phys.asu.ru

Проведено исследование закономерностей накопления и возврата деформации при циклировании термоупругих мартенситных превращениях в никелиде титана в условиях внешнего механического нагружения.

В экспериментах по деформированию никелида титана использовали сплав ТН-1В, выплавленный в НИИ медицинских материалов и имплантатов с памятью формы Сибирского физико-технического института при Томском государственном университете [1]. Сплав ТН-1В содержал 50,5 ат. % титана, остальное никель и небольшие добавки железа и молибдена (не более 0,3 ат. % каждого). Выбор сплава обусловлен задачей исследования, заключающейся в изучении влияния внутренних напряжений и внешнего нагружения на процессы накопления и возврата деформации. Физико-механические свойства сплава ТН-1В изучены в работе [2].

Проведение серии циклов при постоянном приложенном механическом напряжении сопровождается существенным увеличением как обратимой, так и остаточной деформации, регистрируемой в цикле. На рис.1 приведены зависимости этих деформационных мод от номера цикла. При низких механических напряжениях в цикле (56 МПа на рис. 1-а) обратимая деформация превосходит остаточную в 1 цикле примерно на 0,2 %, в 17 – на 0,65 %. При больших (218 МПа на рис. 1-б) – остаточная деформация превосходит обратимую в 1 цикле примерно на 3,3 %, в 12 – на 4,0 %. При

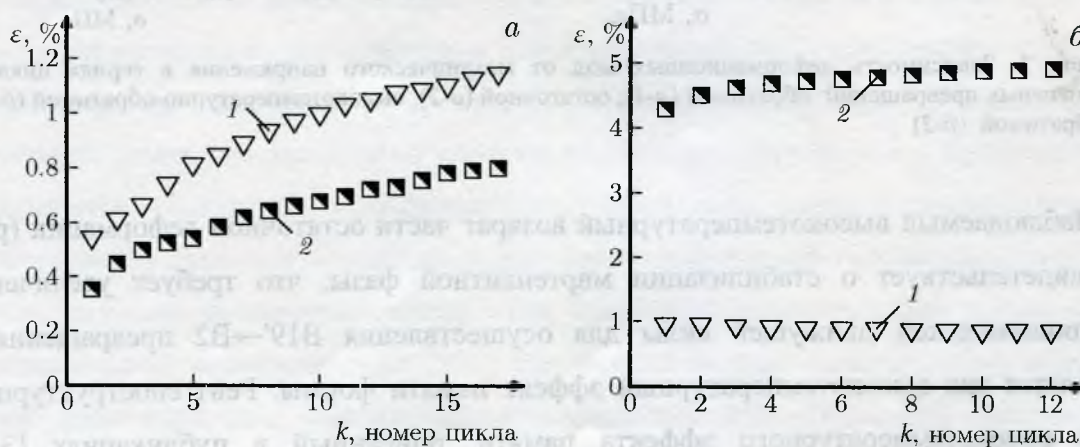


Рисунок 1. Зависимость деформации от номера цикла: а – при 56 МПа; б – при 218 МПа; 1 – обратимая деформация, 2 – остаточная деформация

нагрузке 56 МПа обратимая деформация выходит на насыщение при проведении не менее 17 циклов мартенситных превращений, остаточная же продолжает прирастать в каждом цикле. При нагрузке 218 МПа обратимая деформация к 12 циклу снижается примерно на 0,1 %, остаточная на эту же величину растет.

В ходе высокотемпературного отжига наблюдается высокотемпературный возврат деформации примерно до 600 °С. Из приведенной данных на рисунке 1 следует, что в температурном интервале циклирования с максимальной температурой в цикле 200 °С обратимая деформация составляет только часть обратимой деформации. Другая ее часть представляет собой остаточную деформацию. Таким образом, разделив деформацию на деформационные составляющие (деформационные моды), можно исследовать их отдельно. На рисунке 2 приведены зависимости высокотемпературной обратимой и необратимой составляющих остаточной деформации от напряжения в серии циклов, из которой следует, что высокотемпературная обратимая деформация растет с ростом механического напряжения в циклах, а необратимая – выходит на насыщение при напряжениях примерно 170 – 200 МПа. Характерно, что снижение обратимой деформации (рис 2.-а-1) в цикле наблюдается также при этих же напряжениях.

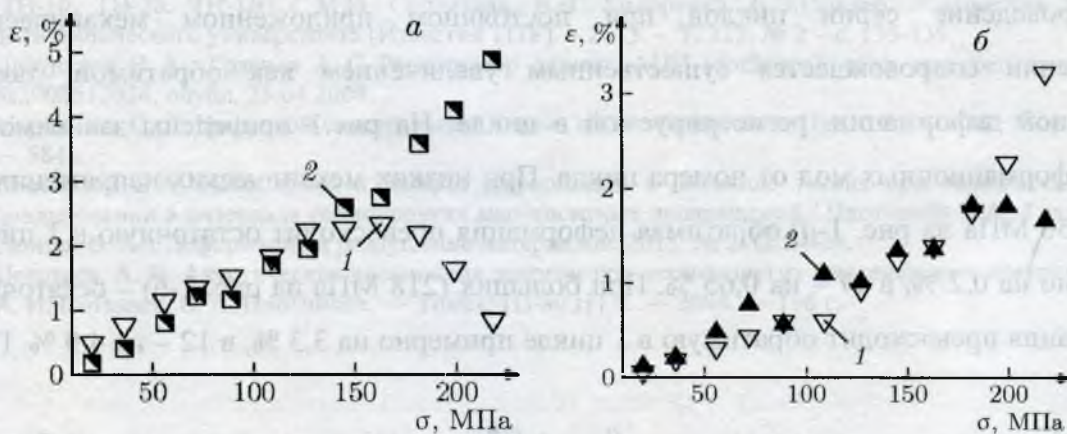


Рисунок 2. Зависимость деформационных мод от механического напряжения в сериях циклов мартенситных превращений: обратимой (а-1), остаточной (а-2), высокотемпературно-обратимой (б-1) и необратимой (б-2)

Наблюдаемый высокотемпературный возврат части остаточной деформации (рис. 2б), свидетельствует о стабилизации мартенситной фазы, что требует увеличения термодинамической движущей силы для осуществления В19'→В2 превращения и проявляется как высокотемпературный эффект памяти формы. Рентгеноструктурный анализ высокотемпературного эффекта памяти, описанный в публикациях [3,4], действительно установил наличие мартенситной фазы при высоких температурах.

Стабилизация мартенситной фазы может быть связана с действием локализованных механических напряжений, накапливающихся при циклировании мартенситных превращений как без нагрузки (явление фазового наклепа), так и в условиях механического нагружения, что усиливает эффект стабилизации мартенситной фазы. Как было показано в работе [5], даже при низких (менее 7 %) деформациях никелида титана наблюдается интенсивная локализация деформации, причем границы полос локализации сопряжены со следами плоскостей [131] мартенситной фазы.

Эффект стабилизации мартенситной фазы и связанный с этим процесс накопление остаточной деформации влияет на воспроизводство многократного эффекта памяти формы в различных устройствах автоматики, где используется никелид титана. С течением времени по мере циклирования никелида титана под нагрузкой можно выйти на невоспроизводимость обратимого накопления и возврата деформации.

1. Гюнтер В.Э. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы. Медицинские материалы с памятью формы. Т. 1 / В.Э. Гюнтер, В.Н. Ходоренко, Т.Л. Чекалкин, и др. / Под ред. В.Э. Гюнтера. – Томск: Изд-во МИЦ, 2011. – 534 с.
2. Солдатова М.И. Физико-механические и прочностные свойства сплавов на основе никелида титана (ТН-10, ТН-20, ТН-1В) / М.И. Солдатова, В.Н. Ходоренко, В.Э.Гюнтер. // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. – 2013. - Т. 322, № 2 – с. 135-139.
3. Прокошин С.Д., Тюренн С., Хмелевская И.Ю. и др. Рентгенографическое исследование высокотемпературного эффекта памяти формы в никелиде титана // ФММ. 2000. Т. 90. №2. С. 40-45.
4. Клопотов А.А., Ясенчук Ю.В., Голобоков Н.Н. и др. Рентгеноструктурные исследования мартенситных превращений в никелиде титана под действием внешней нагрузки // ФММ. 2000. Т. 90. № 4. С. 59-62.
5. Sehitoglu H., Karaman I., Zhang X., Visvanath A., Chumlyakov Y. And Maier H.J. Strain – temperature behavior of NiTiCu shape memory single crystals // Acta mater. 2001. V. 49. P. 3621-3634.