

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ НИКЕЛИДА ТИТАНА ПОД ДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

РУБАНИК В. В., БЕЛЯЕВ С. П*, ВОЛКОВ А. Е*, РУБАНИК В. В. (мл)

(ИНСТИТУТ ТЕХНИЧЕСКОЙ АКУСТИКИ НАН БЕЛАРУСИ, *ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ И
МЕХАНИКИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА)

Одним из важнейших вопросов преобразования тепловой энергии в механическую является экологический аспект этого процесса. В последние десятилетия, с появлением нового класса материалов обладающих эффектом памяти формы (ЭПФ), успешно идут разработки тепловых двигателей с элементами из этих материалов. Несомненное преимущество этих двигателей заключается в работоспособности при сравнительно низкой температуре, что дает возможность утилизации низкотемпературной тепловой энергии (солнечной, океанической, промышленных отходов, охлаждающей воды атомных и тепловых электростанций, геотермального тепла). В настоящей работе исследовали влияние ультразвуковых колебаний (УЗК) на напряжение пластического течения никелида титана, который проявляет свойство памяти формы и используется в тепловых мартенситных двигателях.

Классический эффект Лангенекера состоит в снижении напряжения необходимого для пластического деформирования материала при наложении ультразвуковых колебаний [1]. Природу этого эффекта объясняют тем, что осцилляции напряжения ультразвуковой частоты облегчают преодоление барьеров при движении дислокаций. В отличие от обычных материалов сплавы с памятью формы (СПФ) наряду с дислокационным обладают также другими специфическими механизмами деформации, такими как термоупругое мартенситное фазовое превращение или двойникование (при переходе от одной ориентации мартенсита к другой), осуществляемые посредством движения не дислокаций, а других носителей деформации - межфазных и двойниковых границ раздела. Закономерности деформирования материала по этим механизмам отличаются сложным характером зависимости соответствующего (условно, фазового) предела текучести от температуры, который при температурах внутри или вблизи интервала превращения ниже дислокационного предела текучести обеих фаз. Кроме того, различными являются дислокационные пределы текучести исходной и образующейся фаз, в

связи с чем изменение фазового состава также влияет на напряжение течения материала. Ввиду вышесказанного, можно ожидать, что влияние ультразвуковых колебаний на процесс пластического течения в СПФ при температурах вдали от интервала превращения будет подобно таковому в обычных материалах и может быть иным при температурах, близких к температурам превращения.

В качестве объекта исследования использовали проволоку из никелида титана с составом близким к эквиа tomному. О характеристических температурах и гистерезисе превращения судили по зависимостям электросопротивления и прогиба образца от температуры (рис.1). В процессе одноосного растяжения в образцах возбуждали ультразвуковые колебания частотой 22кГц и амплитудой механических смещений порядка 5мкм.

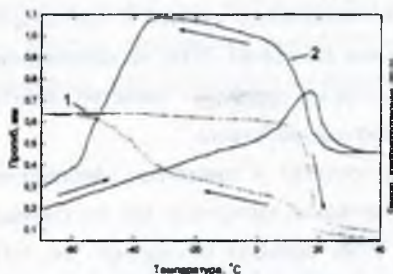


Рис.1. Зависимость прогиба под малой нагрузкой (1) и относительного электросопротивления (2) исследуемых образцов TiNi проволоки от температуры.

Если при температуре 315K (рис.2), сплав демонстрирует падение напряжения течения под действием ультразвука, то при температуре 290K, что близко к A_f , ультразвук вызывает рост напряжения течения - аномальный эффект Лангенекера, который сменяется нормальным на более поздних стадиях деформирования [2].

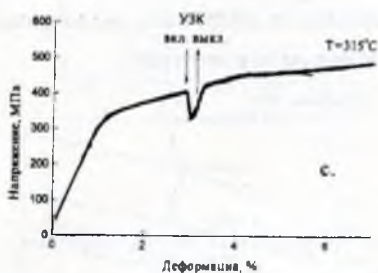
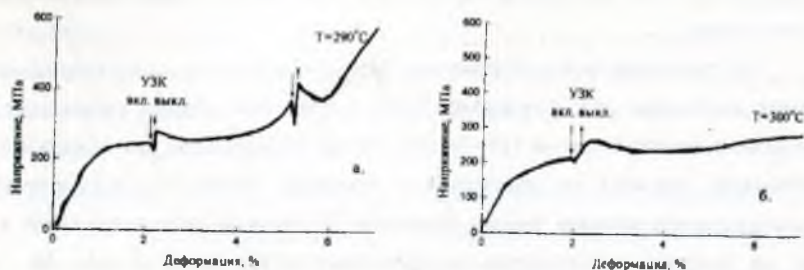


Рис.2. Диаграммы деформирования TiNi проволоки, включающие этапы приложения ультразвука, при температуре 290К (а), 300К (б) и 315К (в).

Известно, что вблизи характеристических температур превращения зависимость фазового предела текучести от температуры ярко выражена и имеет вид, представленный схематично на рис.3 [3].

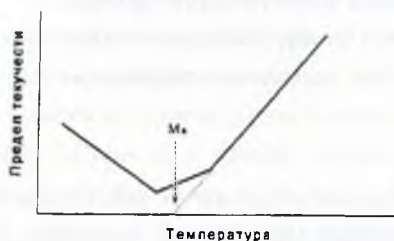


Рис.3. Схема зависимости фазового предела текучести СПФ от температуры.

Левая ветвь графика этой зависимости отображает напряжение, необходимое для переориентации, а правая - для наведения мартенсита. Таким образом, даже небольшое (в пределах 10К) изменение температуры может вызвать значительное изменение предела текучести: его падение, если исходная температура лежит ниже M_f и его рост, если она находится выше M_s . При этом нагрев происходит однородно по всему объему образца, а

охлаждение после выключения ультразвука за счет теплопроводности идет более плавно.

Подтверждением предложенному объяснению может служить модельный расчет диаграммы деформирования СПФ, в процессе которого производили повышение температуры на 10К (рис. 4). Расчет производили для модельного материала, близкого по свойствам к никелиду титана, по методологии структурно-аналитической теории прочности [4]. Кривые деформирования на рис. 4а относятся к мартенситному фазовому состоянию, а на рис. 4б - к аустенитному. Из рисунка видно, что результатом скачков температуры в ходе нагружения является возникновение особенностей на диаграммах, аналогичных тем, которые наблюдали в опытах с ультразвуковым воздействием.

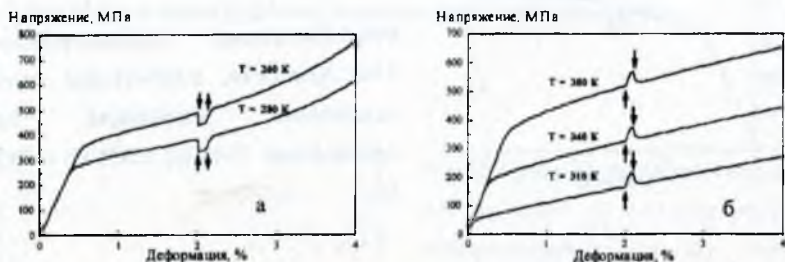


Рис.4. Расчетные диаграммы растяжения модельного материала в мартенситном (а) и аустенитном (б) состояниях. Стрелками отмечены моменты начала повышения и понижения температуры на 10К. Параметры модельного материала: $M_s=300K$, $M_f=280K$, $A_s=340K$, $A_f=360K$, ненулевая компонента тензора деформации превращения - 11%, энтальпия превращения -160 МДж/м³.

Результаты еще одного опыта свидетельствующие о значительном влиянии воздействия ультразвука на кинетику мартенситных превращений приведены на рис.5. Нагружение ультразвуком образца в заэволюционированном состоянии при температуре вблизи A_s вызывает генерацию напряжения. Т.е. включение УЗК в интервале температур $A_s < T < A_f$ вызывает мгновенный рост реактивных напряжений эквивалентных повышению температуры в образце. При этом при постоянной температуре образца в интервале $A_s < T < A_f$, включение и выключение УЗК приводит как к мгновенной генерации так и

практически полной релаксации реактивных напряжений, что не возможно осуществить с помощью нагрева и охлаждения из-за инерционности этих процессов. Такое поведение материала с ЭПФ может иметь практическое применение в различных исполнительных механизмах.

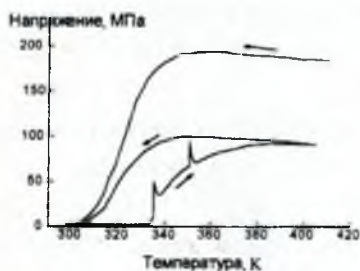


Рис.5. Зависимость напряжения от температуры и УЗК для проволоки из TiNi сплава при фиксированном значении деформации.

Резюмируя, можно сделать заключение, что влияние ультразвука на сплавы с памятью формы является многофакторным. При этом вблизи характеристических температур превращения основным является его тепловое действие, вызывающее локальный разогрев материала. Такое тепловое действие вызывает изменение фазового состава и фазового предела текучести как в сторону понижения, если материал образца находился в мартенситном или аустенитном состоянии, так и в сторону повышения, если деформирование производилось в двухфазном состоянии вблизи Af. В случае, когда температура образца соответствовала интервалу температур обратного превращения, приложение ультразвука может вызвать также связанные с этим превращением деформационные и силовые эффекты, такие как возврат деформации и генерация напряжения.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского ФФИ (проект Т95-300) и ФФИ молодых учёных (проект Т97М-167).

ЛИТЕРАТУРА

1. Blaha F., Langenecker B. Elongation of Zine monocrystals under ultrasonication // Die Naturwissenschaften. - 1955. - B.20, № 9. - S. 556.

2. Klubovich V.V., Rubanick V.V., et.al. Generation of Shape Memory Effect in Ti-Ni Alloy by Means of Ultrasound // II International Conference: Shape Memory and Superelastic Technologies: Engineering and Biomedical Applications. - Pacific Grove, USA, 1997. - P. 59-64.

3. Miyazaki S., Otsuka K., Suzuki Y. Transformation pseudoelasticity and deformation behaviour in a Ti-50.6 at.%Ni alloy // Scripta Metallurgica, 1981. - Vol.15, N 3. - P.287 - 292.

4. Likhachev V.A. Theory of martensitic unelasticity of crystals // Journal de Physique IV. Colloque C1 suppl., 1996.- Vol.6. - P. 321 - 333.