

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОЙ СКОРОСТИ РАСТЯЖЕНИЯ НА ОДНОКРАТНЫЙ И ОБРАТИМЫЙ ЭФФЕКТЫ ПАМЯТИ ФОРМЫ В СПЛАВЕ TiNi

Галиева А.Х., Григорьева В.И., Данилов А.Н., Моторин А.С.,

Остропико Е.С., Разов А.И.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

razov@smel.math.spbu.ru

Сплавы с эффектом памяти формы, обладая рядом уникальных механических и функциональных свойств, находят все более широкое применение на практике. Одним из перспективных направлений их использования являются рабочие элементы быстродействующих устройств, конструкции, воспринимающие высокоскоростные воздействия. Кроме того, представляет интерес исследование существования возможности улучшения функциональных свойств таких сплавов с использованием быстротекущих процессов. Учитывая при этом, что большинство предыдущих работ других авторов было посвящено изучению механических свойств при динамических нагружениях в режиме сжатия, исследование функциональных свойств никелида титана после высокоскоростного деформирования представляет значительный практический интерес и актуальность.

Целью работы являлось изучение влияния высокоскоростного растяжения при температурах, охватывающих интервал обратимых мартенситных превращений, на однократную и обратимую память формы сплава TiNi.

Объектом исследования функциональных свойств служил сплав TiNi эквиатомного состава. Цилиндрические образцы с диаметром и длиной рабочей части 5 мм и 10 мм, соответственно, отжигали при температуре 500°C в течение 1 часа и охлаждали с печью. После термобработки сплав имел следующие характеристические температуры: $M_s = 74^\circ\text{C}$, $M_f = 32^\circ\text{C}$, $A_s = 74^\circ\text{C}$, $A_f = 98^\circ\text{C}$. Высокоскоростное растяжение образцов со скоростью 10^3 сек^{-1} в диапазоне температур 20-300°C осуществляли с использованием метода Кольского для разрезных стержней Гопкинсона. Квазистатическое растяжение образцов со скоростью 10^{-3} сек^{-1} при тех же температурах проводили в универсальной машине для механических испытаний Lloyd 30K Plus, оснащенной термокамерой. Остаточная деформация после нагружения составляла 10-25%. Некоторые температуры испытаний, лежащие внутри интервала температур мартенситных переходов, достигались двумя путями. В первом – образцы нагревали до выбранной температуры испытания от комнатной температуры. Во втором – образцы

предварительно нагревали до 180°C, переводя их в аустенитное состояние, а затем охлаждали до температуры испытаний. Это позволяло при одной и той же температуре внутри интервала обратимых мартенситных превращений проводить сравнение механического отклика сплава на высокоскоростное и квазистатическое растяжение при одной и той же температуре, но с отличным друг от друга фазовым составом.

После задания предварительной остаточной деформации высокоскоростным и квазистатическим растяжением образцы термоциклировали в оригинальной дилатометрической установке через интервал температур мартенситных превращений. Во время первого нагрева после деформирования в мартенситном состоянии проявлялся однократный эффект памяти формы, а при последующих теплосменах наблюдали обратимую память формы мартенситного типа. Во время первого нагрева после деформирования в аустенитном состоянии при температурах выше 150°C однократный эффект памяти формы не проявлялся, а сразу возникал эффект обратимой памяти формы аустенитного типа. После растяжения в аустенитном состоянии ниже 150°C при первом нагревании наблюдали незначительный однократный эффект памяти формы, а в следующих термоциклах появлялась реверсивная обратимая память формы, которая с повышением температуры, при которой осуществлялось деформирование, сменялась эффектом обратимой памяти формы аустенитного типа.

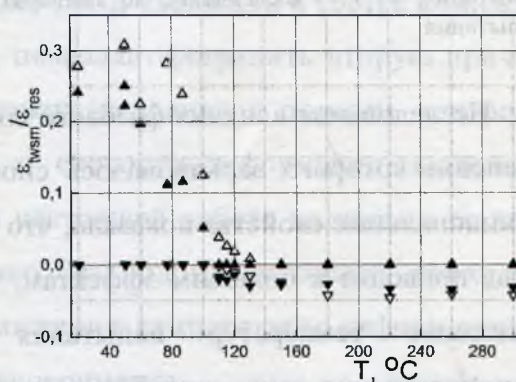
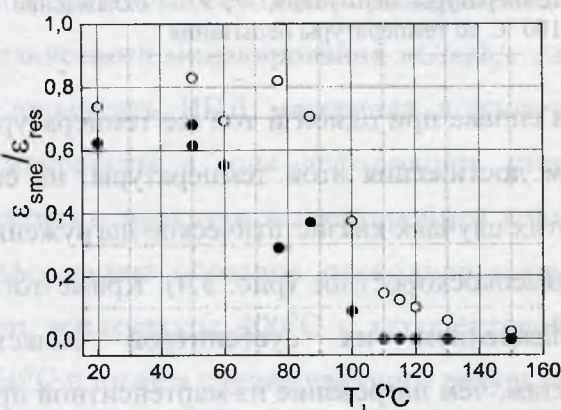


Рисунок 1. Зависимость отношения величины эффекта памяти формы к остаточной деформации ϵ_{res} от температуры, при которой проводили нагружение. $\circ$ – температуры, при которой проводили квазистатическое нагружение, $\bullet$ – высокоскоростное нагружение

Рисунок 2. Зависимость отношения эффекта обратимой памяти формы (ОПФ) ϵ_{twsm} к остаточной деформации ϵ_{res} от температуры, при которой проводили нагружение. Δ, ∇ – квазистатическое нагружение, $\blacktriangle, \blacktriangledown$ – высокоскоростное нагружение. $\Delta, \blacktriangle$ – ОПФ мартенситного типа, $\nabla, \blacktriangledown$ – ОПФ аустенитного типа

Однократная память формы при указанных остаточных деформациях всегда оказывалась совершеннее после квазистатического нагружения, чем после высокоскоростного (рис. 1.), что говорит о том, что в последнем случае

дислокационные каналы деформирования преобладают над обратимыми фазовыми. Аналогичное поведение демонстрировала и обратимая память формы – и в случае мартенситного типа, и в случае аустенитного типа значения обратной памяти формы после высокоскоростного нагружения были ниже, чем после квазистатического (рис.2). Правда, различие между обратной памятью формы аустенитного типа после высокоскоростного и квазистатического растяжения было незначительным.

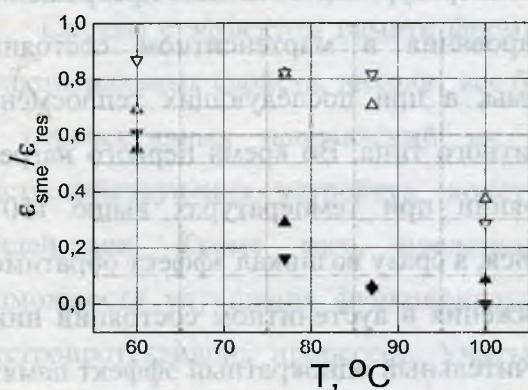


Рисунок 3. Зависимость отношения эффекта памяти формы ε_{sme} к остаточной предварительной деформации ε_{res} от температуры, при которой проводили нагружение. Δ, ∇ – квазистатическое нагружение, $\blacktriangle, \blacktriangledown$ – высокоскоростное нагружение. $\Delta, \blacktriangle$ – нагрев до температуры испытания, $\nabla, \blacktriangledown$ – охлаждение до температуры испытания

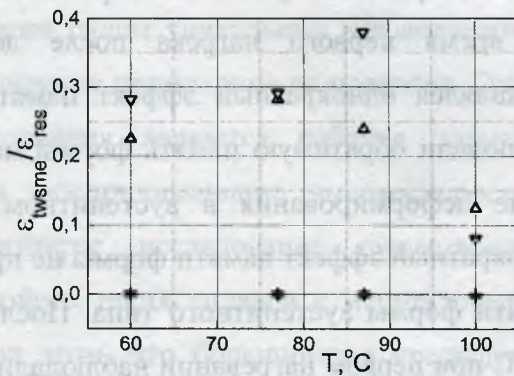


Рисунок 4. Зависимость отношения эффекта обратной памяти формы ε_{twsme} к остаточной предварительной деформации ε_{res} от температуры, при которой проводили квазистатическое нагружение. Δ, ∇ – ОФ мартенситного типа, $\blacktriangle, \blacktriangledown$ – ОФ аустенитного типа. $\Delta, \blacktriangle$ – нагрев до температуры испытания, $\nabla, \blacktriangledown$ – охлаждение от 180 °C до температуры испытания

Исследования влияния фазового состава сплава при одной и той же температуре, изменение которого варьировалось способом достижения этой температуры, на его функциональные свойства показало, что и в этих случаях квазистатическое нагружение всегда приводит к большим эффектам, чем высокоскоростное (рис. 3,4). Кроме того, достижение температур испытания охлаждением их аустенитной области преимущественно приводит к большим эффектам, чем нагревание из мартенситной при квазистатическом нагружении. Этот факт можно объяснить тем, что подготовленная к прямому переходу аустенитная фаза преимущественно деформируется по обратимым фазовым каналам, в отличие от мартенситной, в которой значительную роль начинают играть необратимые дислокационные механизмы деформирования.

Таким образом, можно делать вывод о том, что при остаточных деформациях свыше 10% однократный и обратимый эффекты памяти формы не могут быть улучшены повышением скорости предварительного деформирования растяжением.