

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА TiNi ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ НАГРУЖЕНИИ

Моторин А.С.

*Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия*

As.Motorin@yandex.ru

Сплавы с эффектом памяти формы привлекают внимание исследователей и конструкторов своими уникальными свойствами. Одной из перспективных областей применения является использование этих материалов в быстродействующих элементах устройств различного назначения. В связи с этим исследование механических свойств никелида титана при высокоскоростном нагружении представляет значительный практический интерес и актуальность.

Цель работы состояла в исследовании механических свойств никелида титана при высокоскоростном нагружении и сравнении полученных результатов со случаем квазистатического нагружения.

Объектом исследования служил сплав Ti-Ni состава близкого к эквиаtomному с температурой начала прямого мартенситного превращения $M_n = 74^\circ\text{C}$. Образцы с рабочей частью диаметром 5 мм и длиной 10 мм отжигали при 500°C 1 час и охлаждали с печью. Деформирование растяжением осуществляли при температурах от 20 до 300°C . Такой интервал температур позволял исследовать механические свойства сплава в мартенситном, аустенитном и смешанном состоянии. Высокоскоростное нагружение осуществляли на установке, реализующей метод Кольского для разрезных стержней Гопкинсона со скоростями около 10^3c^{-1} . Квазистатическое нагружение проводили на испытательной машине Lloyd LR30K Plus со скоростью 10^{-4}c^{-1} .

Никелид титана обладает двумя пределами текучести – фазовым, при достижении которого начинается фазовая обратимая неупругость, и обычным дислокационным, при достижении которого начинается только необратимое формоизменение (рис.1. и рис.2.). Зависимости фазового и дислокационного пределов текучести от температуры, при которой проводили испытания, приведены на рисунках 3,4.

В квазистатическом случае фазовый предел текучести имеет минимум при $\approx 50^\circ\text{C}$, возрастает с увеличением температуры деформирования вплоть до температур 130- 150°C , выше которой фазовая неупругость уже не наблюдается. Дислокационный предел текучести, также имея минимум при $\approx 50^\circ\text{C}$, возрастает и при достижении 130-

150°C с дальнейшим увеличением температуры деформирования изменяется незначительно.

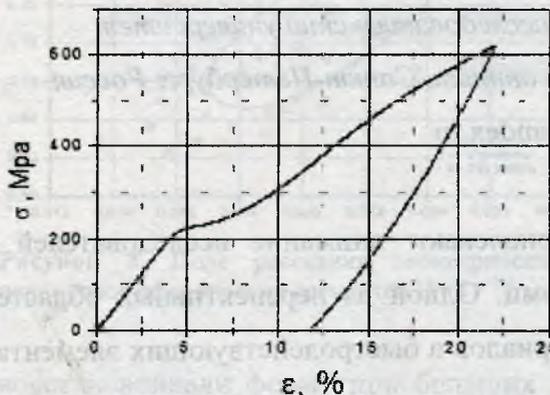


Рисунок 1. Диаграмма квазистатического деформирования сплава TiNi в мартенситном состоянии при температуре 20°C

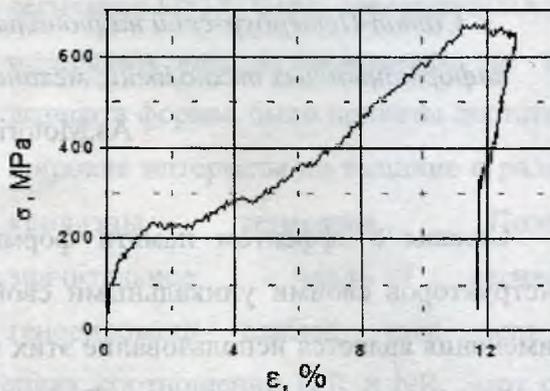


Рисунок 2. Диаграмма высокоскоростного деформирования сплава TiNi в мартенситном состоянии при температуре 20°C

При высокоскоростном нагружении фазовый предел текучести повышается с увеличением температуры деформирования и выше 100-120°C не наблюдается. Дислокационный предел текучести убывает, а после 100-120°C практически не изменяется.

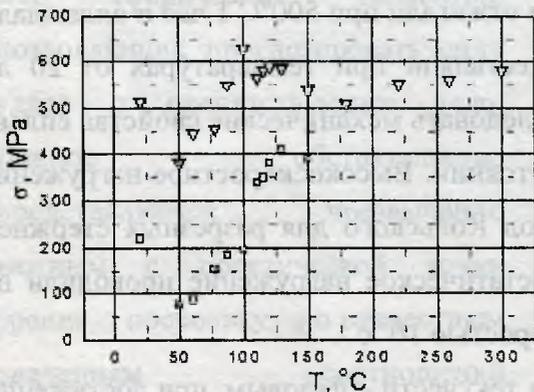


Рисунок 3. Зависимость пределов текучести сплава TiNi от температуры деформирования при квазистатическом нагружении:
 □ - фазовый предел текучести;
 ▽ - дислокационный предел текучести

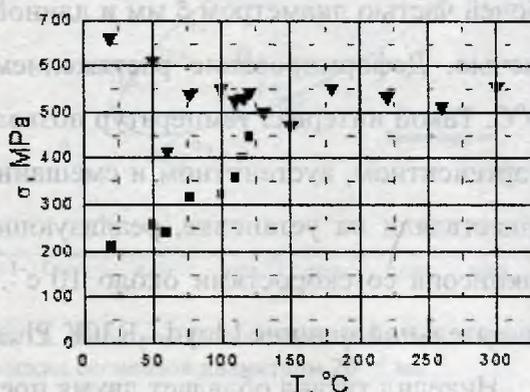


Рисунок 4. Зависимость пределов текучести сплава TiNi от температуры деформирования при высокоскоростном нагружении:
 ■ - фазовый предел текучести;
 ▼ - дислокационный предел текучести

Отдельно исследовали предел текучести при температурах 77°C и 87°C. Температуру деформирования обеспечивали двумя способами: в одном случае образцы нагревали от комнатной температуры до температуры деформирования, в другом — нагревали до 180°C и затем охлаждали до указанных температур. Такой подход обусловлен тем, что при одной и той же температуре сплав мог находиться как в

мартенситном состоянии, так и в аустенитном, в зависимости от того, как была достигнута температура деформирования. Фазовые и дислокационные пределы текучести для двух этих температур представлены на рисунке 5.

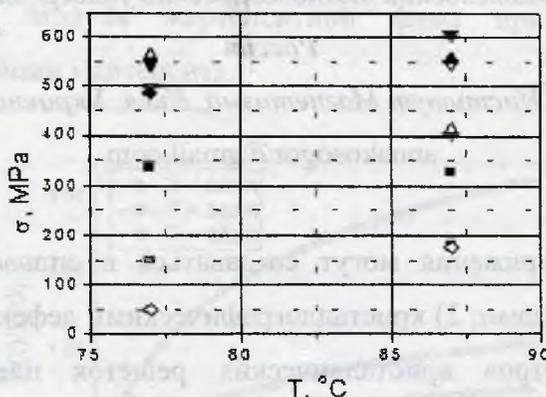


Рисунок 5. Пределы текучести сплава TiNi при температурах 77°C и 87°C при высокоскоростном (■, ▼, ◆, ▲) и при квазистатическом (□, ▽, ◇, △) нагружении: ■, ◆, □, ◇ - фазовый предел текучести, ▼, ▲, ▽, △ - дислокационный предел текучести, ■, ▼, □, ▽ - нагревание от комнатной температуры до температуры, при которой осуществляли нагружение, ◆, ▲, ◇, △ - предварительный нагрев до 180°C и охлаждение до температуры, при которой осуществляли нагружение

Установлено, что в случае квазистатического нагружения при 77°C в аустенитном состоянии фазовый предел текучести меньше, чем в мартенситном, пределы дислокационной пластичности в мартенситном и аустенитном состоянии совпадают с достаточной степенью точности, при 87°C наоборот дислокационный предел текучести в мартенситном состоянии меньше, чем в аустенитном, а пределы фазовой пластичности в мартенситном и аустенитном состоянии совпадают. В случае высокоскоростного нагружения пределы дислокационной пластичности в мартенситном и аустенитном состоянии совпадают с достаточной степенью точности, а фазовый предел текучести в аустенитном состоянии больше, чем в мартенситном.

Проведенные эксперименты показали, что фазовый предел текучести в обоих случаях ведет себя подобным образом, но при высокоскоростном нагружении его значения выше, чем при квазистатическом. Дислокационный предел текучести в обоих случаях имеет подобное поведение при температурах выше 130-150°C.

Разные механизмы деформации, сосуществующие в никелиде титана, определяют особенности механического поведения этих материалов, как при квазистатическом, так и при высокоскоростном растяжении. При повышении температуры испытания переход от фазового к дислокационному механизму деформирования при высокоскоростном нагружении происходит быстрее (около 100°C), чем при квазистатическом (около 150°C).