

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ИСПЫТАНИЙ И СТРУКТУРЫ НА РЕАКТИВНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В СПЛАВАХ НА ОСНОВЕ НИКЕЛИДА ТИТАНА

Гусев Д.Е., Коллеров М.Ю., Шаронов А.А., Гуртовой С.И.

ФГБОУ ВПО «МАТИ – Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского», Москва, Россия

gusevde@mati.ru

Реактивные напряжения (σ_r), генерируемые изделиями с эффектом запоминания формы (ЭЗФ), зависят от фазового состава и структурного состояния сплава, а так же от условий механического и температурного воздействия на материал. В настоящее время влияние этих факторов на генерацию σ_r в сплавах на основе никелида титана изучено не полностью.

Нами были проведены исследования влияния условий эксплуатации изделий из сплавов на основе никелида титана на уровень генерируемых ими реактивных напряжений с целью изучения возможности прогнозирования величины σ_r по результатам более простых испытаний. Исследования проводили на образцах из проволочных (диаметром 1,8÷2,3 мм) и листовых (толщиной 0,5÷2 мм) полуфабрикатов из сплава Ti – 55,8 вес. % Ni, а также на имплантатах для остеосинтеза грудины [1].

Напряжения σ_r измеряли двумя методами: 1) образец деформировали изгибом в охлажденном состоянии (при температуре ниже A_H) до заданной деформации, а затем осуществляли его нагрев в захватах испытательной машины, жесткость которой многократно превышала жесткость образца; 2) нагрев образца осуществляли после деформации и полной разгрузки образца в охлажденном состоянии (рис. 1). Нагрев образцов осуществляли до температуры, превышающей температуру конца восстановления формы в свободном состоянии (A_K^B) на 2÷10 °С.

При нагреве образцов в нагруженном состоянии (метод 1), уровень σ_r был выше (рис. 2). Целесообразно сравнить измеренные реактивные напряжения с диаграммой деформации сплава при той же температуре испытаний. Так в нагретом состоянии образцы демонстрируют сверхупругое поведение (см. рис. 2), а величины измеренных реактивных напряжений ограничены кривыми нагрузки и разгрузки в сверхупругом состоянии. При этом реактивные напряжения, измеренные методом 1, расположены ближе к кривой нагрузки, а напряжения, измеренные методом 2, располагаются ближе к кривой разгрузки.

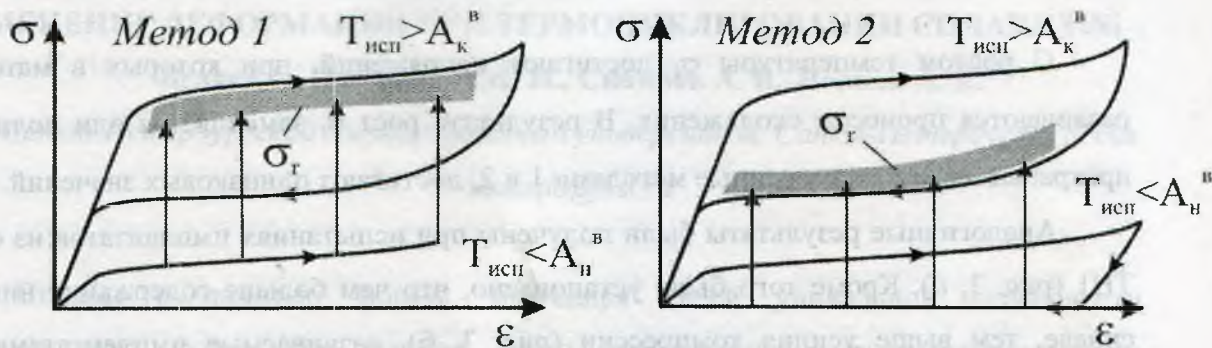


Рисунок 1. Методы определения реактивных напряжений

По-видимому, при нагреве образцов в нагруженном состоянии напряжения σ_r стремятся достичь уровня напряжений, которые соответствуют кривой нагружения в сверхупругом состоянии, и которые определяются силами трения σ_f при движении межфазных границ раздела [2, 3], а при нагреве образцов в разгруженном состоянии – уровня напряжений, соответствующих кривой разгрузки. Однако на кривые деформации сплава в сверхупругом состоянии оказывают влияние еще и силы трения, связанные с неоднородностью структуры (наличием других фаз), с тепловыми эффектами на фронте движения межфазных границ и со скольжением. Поэтому гистерезис диаграммы деформации становится более широким. В результате измеренные напряжения σ_r оказываются как бы «окруженными» экспериментально-полученными кривыми нагрузки-разгрузки в сверхупругом состоянии.

Наблюдаемые закономерности справедливы только для относительно узкого интервала температур (вблизи температуры A_k), когда сплав проявляет хорошие сверхупругие свойства.

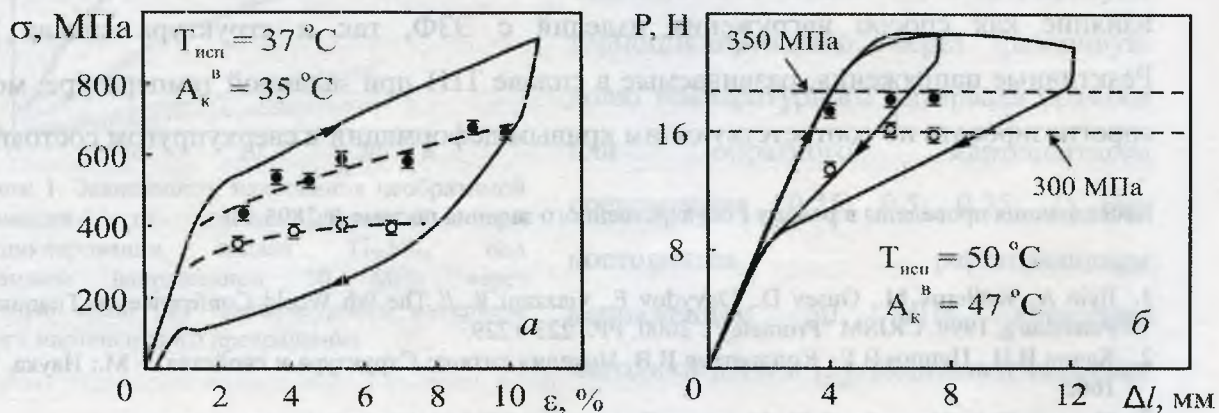


Рисунок 2. Реактивные напряжения и кривые нагрузка-разгрузка проволочных (а) и листовых (б) образцов сплава ТН1 (темные значки – σ_r , измеренные методом 1, светлые значки – методом 2)

С ростом температуры σ_r достигают напряжений, при которых в материале развиваются процессы скольжения. В результате рост σ_r замедляется или полностью прекращается, а σ_r , измеренные методами 1 и 2, достигают одинаковых значений.

Аналогичные результаты были получены при испытаниях имплантатов из сплава ТН1 (рис. 3, а). Кроме того было установлено, что чем больше содержание никеля в сплаве, тем выше усилия компрессии (рис. 3, б), развиваемые имплантатами. Это связано с тем, что при обеспечении имплантатам методами термической обработки сплавов температуры $A_{\kappa}^B = 35 \div 36 \text{ }^\circ\text{C}$ происходит упрочнение В2-фазы дисперсными частицами Ti_3Ni_4 . Чем больше содержание никеля в сплаве, тем больше объемная доля интерметаллидов, выделенных при старении, что, с одной стороны, препятствует развитию скольжения В2-матрице, а с другой, – увеличивает силы трения σ_r .

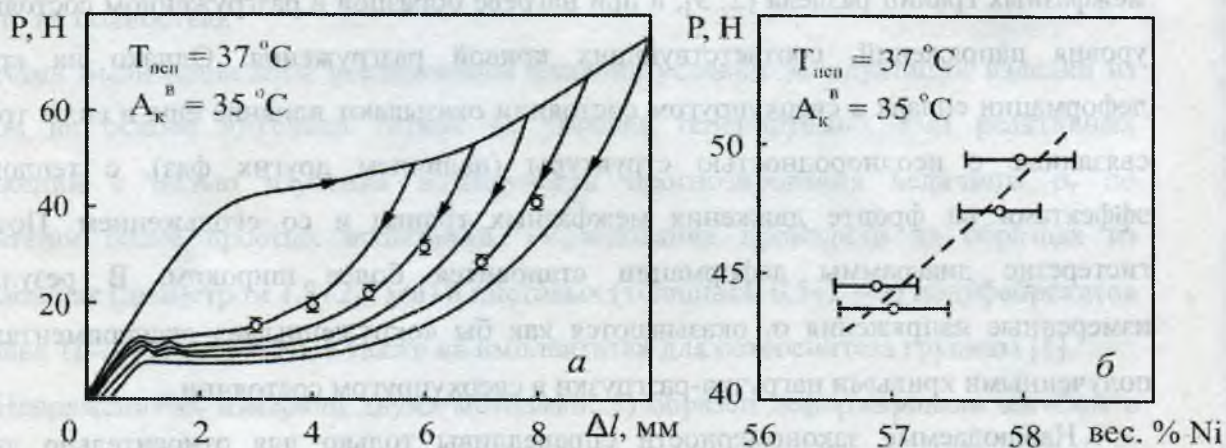


Рисунок 3. Усилия компрессии, развиваемые имплантатами из сплава ТН1: а – влияние предварительной деформации (метод 2), б – влияние содержания никеля в сплаве (метод 1)

Таким образом, на уровень реактивных напряжений оказывает существенное влияние как способ нагружения изделий с ЭЗФ, так и структура сплава ТН1. Реактивные напряжения, развиваемые в сплаве ТН1 при заданной температуре, можно спрогнозировать по соответствующим кривым деформации в сверхупругом состоянии.

Исследования проведены в рамках Государственного задания по теме №2895.14

1. Ilyin A., Kollerov M., Gusev D., Davydov E., Gazzani R. // The 9th World Conference on Titanium. St. Petersburg, 1999. CRISM "Prometey". 2000. PP.1223-1229.
2. Хачин В.Н., Пушин В.Г., Кондратьев В.В. Никелид титана: Структура и свойства. – М.: Наука, 1992. 160с.
3. Пульнев С.А., Николаев В.И., Малыгин Г.А. и др. // ЖТФ. 2006. Т.76. Вып.8, С. 42-45.