
**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕХАНИКА,
ДИАГНОСТИКА, ИСПЫТАНИЯ**

УДК 621.791.70

**УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ
ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАГОТОВОК ИЗ TiNi**© 2019 г. У. Хасьянов¹, У. Угурчиев^{1,*}¹ Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия

*e-mail: umar77@bk.ru

Поступила в редакцию 24.04.2018 г.

Принята к публикации 24.04.2019 г.

В статье рассмотрены особенности характеристик сплавов, обладающих эффектами памяти формы и сверхупругостью. Представлены принципы проведения контроля термомеханических характеристик материала заготовок перед их непосредственным применением. В статье представлен ультразвуковой метод контроля фазовых превращений для заготовок применительно к муфтам термомеханического соединения.

Ключевые слова: эффект памяти формы, сверхупругость, термомеханические соединения, мартенситные превращения

DOI: 10.1134/S0235711919040096

Введение. Эффекты памяти формы (ЭПФ) и сверхупругости (СУ), обнаруженные в интерметаллических соединениях являются одними из самых необычных и интересных свойств металлов. В настоящее время, для практического применения, наибольший интерес представляют немагнитные сплавы на основе TiNi, проявляющие наиболее удовлетворительную обрабатываемость, значительную пластичность в широком интервале температур вплоть до криогенных, при этом, обладающие высокой коррозионной и эрозионной стойкостью. Проявление свойства ЭПФ и СУ и условия их возникновения в интерметаллических соединениях никелида титана связаны с термоупругими фазовыми превращениями. Область существования данного соединения ограничена соотношением компонентов от 49 до 52 ат. % Ni, остальное Ti. При этом, уникальные свойства ЭПФ и СУ могут проявляться в широких температурных пределах от +120 до –200°C. Однако, температурные интервалы фазовых (МП-мартенситных) превращений, при которых реализуются эффекты ЭПФ и СУ, происходят в узких рамках температур от 2-х до 50°C в зависимости от соотношения компонентов Ni и Ti. Эти свойства проявляются только у матрицы TiNi. Характеристики матрицы очень чувствительны к изменениям соотношения компонентов, так как возрастание одного из них примерно на 0.1% приводит к смещениям температур МП от 10 до 15°C, со значительными изменениями физических и термомеханических свойств материала.

Исходя из изложенного для качественного применения уникальных свойств никелида титана и из условий эксплуатации, необходимо осуществлять всесторонний контроль физических и термомеханических характеристик. Для этого необходимо производить не только стандартный контроль, осуществляемый перед запуском партии материала, но и контролировать температуры МП каждой заготовки.

Метод ультразвукового контроля термомеханических характеристик. Одним из наиболее технологичных способов, обеспечивающих неразрушаемый контроль является

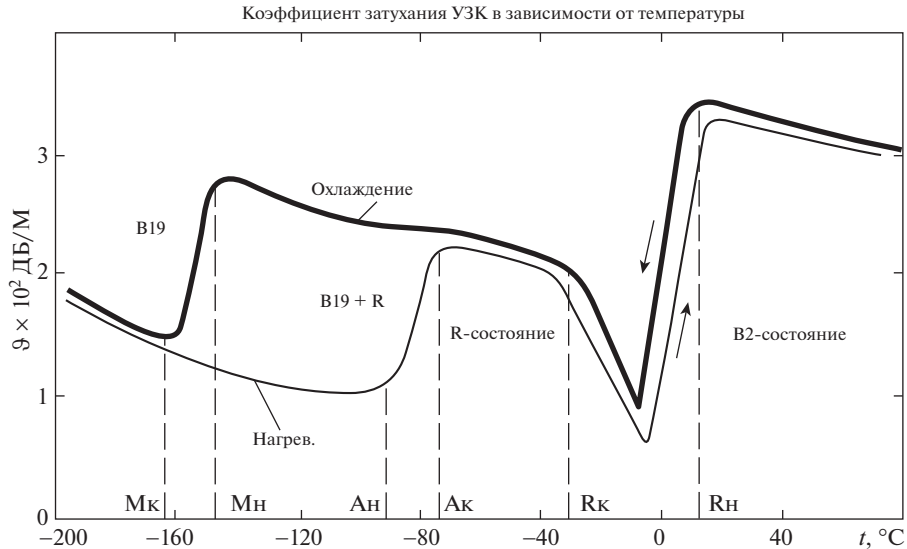


Рис. 1. Диаграмма записи контроля заготовки.

ультразвуковой метод. В основе метода принят принцип оценки коэффициента затухания в материале как меры рассеяния и поглощения ультразвуковой энергии в интервалах фазовых превращений при термоциклировании. Аномальные свойства коэффициента затухания обусловлены изменениями упругих модулей кристаллической решетки, происходящие при охлаждении или нагреве сплава в процессе фазовых превращений [1, 3, 5].

Оценка коэффициента затухания в динамическом режиме осуществляется по изменению уровня напряжения 1-го видеоимпульса из серии отраженных от противоположной грани образца эхо-импульса.

На рис. 1 представлена диаграмма записи амплитуды 1-го донного эхо-импульса при контроле заготовки в процессе фазового перехода по схеме превращения $B2 \leftrightarrow R \leftrightarrow B19$ [6].

Введение ультразвуковых колебаний в образец с частотой $f = 3\text{--}5$ МГц осуществляется контактным способом. Для обеспечения стабильного контакта между образцом и кварцевым пьезоэлектрическим преобразователем применяется смазка на основе кремнийорганического масла и графитового порошка. Скорость охлаждения и нагрева заготовки должна находиться в пределах 8 град/мин [7–9].

Структурная схема ультразвуковой установки с перечнем необходимого для контроля оборудования представлена на рис. 2.

На рис. 3 представлена конструкция ультразвуковой камеры.

Данный метод позволяет фиксировать не только температурные точки при прямом (Мн–Мк) и обратном (Ан–Ак) фазовых переходах, но и выявлять неупругое поведение материала при R -переходах [6]. В зависимости от свойств и исходного состояния сплава при охлаждении могут реализовываться от одного до трех фазовых переходов, при которых образуются два независимых продукта превращения. Необходимо отметить, что термоупругие мартенситные превращения $B2 \leftrightarrow R$ при охлаждении и нагреве характеризуются отсутствием или очень малой величиной гистерезиса, а превращения $B2 \leftrightarrow B19$ и $R \leftrightarrow B19$ сопровождаются значительным гистерезисом в $20\text{--}60^\circ\text{C}$ [4, 6, 10].

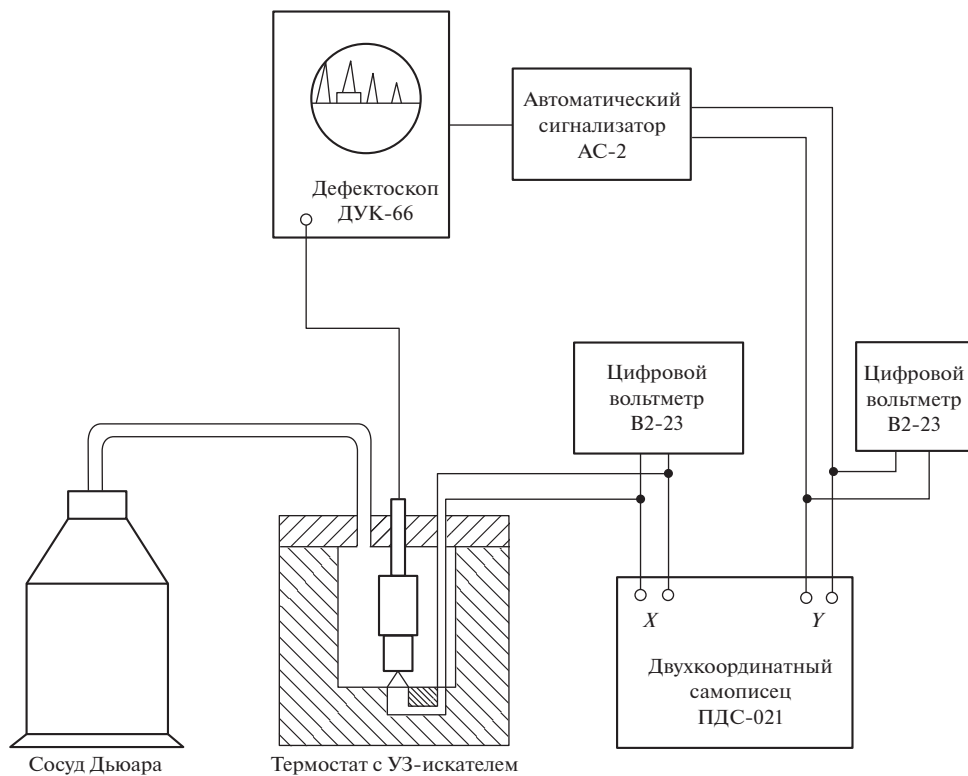


Рис. 2. Структурная схема установки.

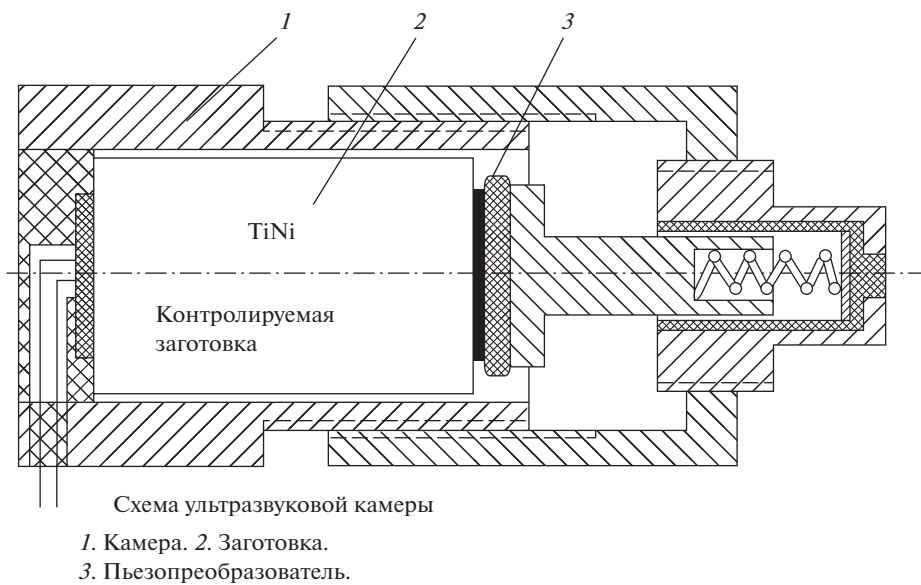


Рис. 3. Конструкция ультразвуковой камеры.

Сплавы на основе TiNi обладают высокими звукопоглощающими свойствами. С целью повышения чувствительности при измерениях затухания по 1-му из отраженных импульсов к геометрии контролируемых образцов предъявляются следующие требования: образцы должны иметь строго цилиндрическую форму; торцевые поверхности должны быть плоскими и строго параллельными; поверхности торцевых поверхностей должны быть перпендикулярны к оси цилиндра.

Исходя из характеристик применения деталей для конкретных температур эксплуатации данный метод позволяет применять те партии материалов, которые отвечают техническим требованиям изделия. Например, для авиационной промышленности нижний порог температур эксплуатации трубопроводов составляет -60°C . Соответственно, температуры мартенситных превращений должны быть ниже -80°C , что требует применение криогенной жидкости при технологической переработке заготовок. В судостроении температура эксплуатации трубопроводов выше 0°C и нижний порог мартенситных превращений находится в пределах -20°C .

Выводы. Представленный ультразвуковой метод контроля фазовых превращений для заготовок применительно к муфтам термомеханического соединения (ТМС) позволяет осуществлять всесторонний контроль физических и термомеханических характеристик. Следует подчеркнуть, что данный метод применим для 100% контроля, разбраковки заготовок (типа муфт ТМС) диаметрами 12–40 мм и длиной 10–100 мм, в интервалах температур от -196 до $+300^{\circ}\text{C}$.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермаков В.П., Коломыцев В.И., Лободюк В.А., Хандрос Л.Г. Связь физических свойств и структурных состояний, возникающих при термомеханической обработке в сплавах // Ж. Металлофизика. 1982. Т. 4. № 6. С. 23.
2. Лотков А.И., Гришков В.И. Никелид титана. Кристаллическая структура и фазовые превращения // Ж. Известия вузов. Физика. 1985. № 5.
3. Лахтин Ю.М. Основы металловедения. М.: Машиностроение, 1957.
4. Современные физические методы исследования в металловедении / Пер. с англ., под ред. Я.С. Уманского М.: Металлургия, 1958. С. 250.
5. Хасьянов У., Хасьянова Д.У., Албагачиев А.Ю. Прогрессивные машиностроительные технологии, оборудование инструменты. М.: Изд. дом. Спектр, 2014. С. 302.
6. Хасьянова Д.У. Технологическое обеспечение качества изготовления муфт ТМС и сборки трубопроводов. Автореферат канд. дис., М.: МГУПИ, 2012.
7. Чернов Д.Б. Принципы конструкционного применения материалов с термомеханической памятью. М.: НИИСУ, 1984. С. 150.
8. Перкинс Д., Эдвардс Г.Р., Сач С.Р. и др. Термомеханические характеристики сплавов с термоупругим мартенситом. Эффект памяти формы в сплавах / Под ред. В.А. Займовского. М.: Металлургия, 1979. С. 230.
9. де Янг В., де Батист Р., де Бонте М. Измерение внутреннего трения в мартенсите сплавов системы медь–цинк. Эффект памяти формы в сплавах / Под ред. В.А. Займовского. М.: Металлургия, 1979. С. 371.
10. Tong H.C., Wayman C.M. Thermodynamic considerations of “Solid State Engineers” based on thermoelastic martensitic transformations and the shape memory effect // Met. Trans. 1975. V. 6a. № 1. P. 29.