

Сведения о выполненных работах в 2019 году
по проекту «Исследование термомеханической стабильности сверхэластичности
и разработка способов ее повышения в высокопрочных монокристаллах
никелида титана с содержанием Ni от 50.6 до 52.0 ат. %»,
поддержанному Российским научным фондом
Соглашение № 18-19-00298

Руководитель канд. физ.-мат. наук Тимофеева Екатерина Евгеньевна

При выполнении проекта получены высококачественные высоконикелевые монокристаллы TiNi (50.6 ат. % \leq CNi < 52 ат. %). Впервые проведено систематическое исследование влияния термомеханических выдержек при повышенных температурах (373-573 К) и напряжениях (0-2000 МПа) на закономерности развития B2-B19' мартенситных превращений под нагрузкой, эффекта памяти формы и сверхэластичности при деформации сжатием в монокристаллах Ti – 50.6 ат. % Ni, Ti – 51.5 ат. % Ni, Ti – 51.8 ат. % Ni, ориентированных вдоль высокопрочного [001]-направления.

Систематические исследования термомеханической стабильности эффекта памяти формы и сверхэластичности проведены в зависимости от следующих параметров:

- микроструктура состаренных монокристаллов TiNi (размер дисперсных частиц Ti₃Ni₄);
- режим термомеханических выдержек – температура, величина приложенных сжимающих напряжений, продолжительность, кристаллическая структура, в которой производились выдержки (в аустените без нагрузки, в условиях упруго-нагруженного аустенита, в мартенсите под нагрузкой и при циклировании нагрузка/разгрузка в интервале напряжений развития мартенситных превращений под нагрузкой);
- химический состав (содержание никеля CNi < 51 ат. % и CNi > 51 ат. %).

Впервые экспериментально установлены физические причины деградации функциональных свойств при высокотемпературных выдержках в аустените и мартенсите под нагрузкой, которые заключаются в

- стабилизации B2-аустенита во время выдержек, исключаящих выделение частиц вторичных фаз (при 373-423 К, аустенит, 0-1500 МПа, 1-7 ч), наблюдается в закаленных монокристаллах Ti – 50.6 ат. % Ni и состаренных монокристаллах Ti – 50.6 ат. % Ni, Ti – 51.5 ат. % Ni с крупными частицами Ti₃Ni₄ размером 400-600 нм;
- выделении наноразмерных частиц в ходе выдержек (выше 523 К, аустенит, 0-1400 МПа, 1-5 ч), наблюдается в состаренных монокристаллах Ti – 51.8 ат. % Ni с крупными частицами Ti₃Ni₄ размером 800 нм;

- деформации крупных частиц Ti_3Ni_4 в ходе выдержек (423 К, мартенсит, 2 ГПа), наблюдается в состаренных монокристаллах $Ti - 51.5$ ат. % Ni , содержащих только крупные частицы Ti_3Ni_4 размером 600 нм.

Впервые для каждого химического состава [001]-монокристаллов $Ti - 50.6$ ат. % Ni , $Ti - 51.5$ ат. % Ni , $Ti - 51.8$ ат. % Ni определены оптимальные состояния для получения высокотемпературной сверхэластичности и эффекта памяти формы, стабильных к термомеханическим выдержкам и эксплуатации при повышенных температурах (373-573 К) и напряжениях (500-2000 МПа).

На основе исследований разработаны монокристаллы, характеризующиеся высокой термомеханической стабильностью эффекта памяти формы и высокотемпературной сверхэластичностью – [001]-монокристаллы $Ti - 51.5 Ni$ (ат.%) после ступенчатого старения при 850 К, 1 ч + 673 К, 1 ч. Это старение приводит к формированию бимодального распределения частиц Ti_3Ni_4 по размерам $d \sim 600$ нм и $d < 30$ нм. Данная структура отличается высокими прочностными свойствами (2,3 ГПа), широким интервалом развития сверхэластичности (250 К), малым механическим гистерезисом (75 МПа) при развитии сверхэластичности и является наиболее стабильной к выдержкам в упруго-нагруженном аустените и мартенсите, при циклических нагрузках/разгрузках вплоть до температур 423 К и напряжений 2 ГПа, которые не приводят к каким-либо изменениям функциональных свойств и микроструктуры монокристаллов.