

Сведения о выполненных работах в 2018 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 кандидат физ.-мат. наук Тимофеева Екатерина Евгеньевна

При выполнении проекта получены высококачественные монокристаллы сплавов TiNi ($50.6 \text{ ат.}\% \leq \text{CNi} < 52 \text{ ат.}\%$). Проведено систематическое исследование термоупругих B2-B19' мартенситных превращений, эффекта памяти формы, сверхэластичности, внутреннего трения и модуля упругости в закаленных монокристаллах TiNi ($50.6 \text{ ат.}\% \leq \text{CNi} < 52 \text{ ат.}\%$). Сверхэластичность под сжимающей нагрузкой в закаленных монокристаллах обнаружена только в <001>-ориентации.

Экспериментально установлены оптимальные условия проявления сверхэластичности в высокопрочных высоконикелевых монокристаллах TiNi (CNi = 51.5 и 51.8 ат.%) с ориентациями <001>, <111> и <012>. Данные условия достигаются за счет старения при 823 К, которое приводит к выделению крупных частиц Ti₃Ni₄ и развитию мартенситных превращений через R-фазу.

Впервые получен широкий интервал развития сверхэластичности 250 К в <001>-монокристаллах Ti-51.5 ат.% Ni посредством старения при 823 К, 1 ч.

За счет ступенчатого старения при 823 К, 1 ч + 673 К, 1 ч возможно создать бимодальную структуру распределения частиц вторичной фазы Ti₃-Ni₄. В такой структуре обнаружены ступенчатое развитие R-B19' мартенситных превращений при охлаждении/нагреве и под нагрузкой, узкий механический и термический гистерезисы, самые низкие напряжения, необходимы для образования мартенсита среди исследуемых высоконикелевых сплавов.

В состаренных монокристаллах выяснены закономерности изменения механического и термического гистерезиса в зависимости от температуры испытания, приложенных напряжений, ориентации (наличия вклада раздвойникового B19'-мартенсита) и режима старения.

На монокристаллах Ti-50.6 ат.% Ni проведен отбор режимов термомеханических выдержек в аустенитном состоянии под и без нагрузки, найден режим, который приводит к улучшению функциональных свойств – выдержка в аустените при 573 К, 1.5 ч в свободном состоянии и под сжимающей нагрузкой (400-500 МПа).

Установлено, что в ходе выдержки выделяются наноразмерные частицы Ti₃Ni₄ ($d < 10 \text{ нм}$), которые приводят к значительному увеличению прочностных свойств

В2-фазы $\langle 001 \rangle$ -монокристаллов Ti-50.6 ат.% Ni до более чем 2100 МПа и увеличению интервала развития сверхэластичности в 2 раза до 170 К.

На монокристаллах Ti-50.6 ат.% Ni после выдержек выяснены особенности термического и механического гистерезиса при развитии R–B19' и B2–B19' мартенситных превращений под нагрузкой. При развитии R-B19' мартенситных превращений термический и механический гистерезисы уменьшаются в 2 раза с ростом приложенных напряжений и температуры испытания, что связано с изменением параметров R-фазы с температурой. Такое изменение нехимической составляющей свободной энергии оказывает сильное влияние на уровень напряжений и его зависимость от температуры, что учитывается в обобщенном уравнении Клапейрона-Клаузиуса.