

Сведения о выполненных работах в 2016 году
по проекту **Механизмы фазовых и структурных превращений в
высокопрочных кристаллах сплавов на основе железа и никелида титана с
обычным и магнитным эффектом памяти формы**»,
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 14-29-00012

Руководитель д-р физ.-мат наук Чумляков Юрий Иванович

Впервые, при сжатии [001]-кристаллов сплавов FeNiCoAlNb, FeNiCoAlTa, состаренных для выделения частиц γ' -фазы размером $d \geq 3$ нм, обнаружены большие обратимые деформации при изучении сверхэластичности, равные 14.5 %. Эти обратимые деформации равны теоретическим значениям деформации решетки при сжатии вдоль [001]-направления при ГЦК-ОЦТ мартенситных превращениях. Рост частиц до $d \geq 5-7$ нм приводит к подавлению сверхэластичности, но наблюдается эффект памяти формы, равный 14.5 %.

Высокие значения механического гистерезиса $\Delta\sigma = 350-400$ МПа и аномально большие обратимые деформации до 14.5% при сжатии [001]-кристаллов делают эти кристаллы перспективными для использования их как высокопрочных демпфирующих сплавов для авиации и космонавтики.

На монокристаллах FeNiCoAlNb с осью сжатия [001], содержащих наноразмерные частицы γ' -фазы размером $d \geq 3$ нм, показано, что приложение постоянного магнитного поля напряженностью 9 Тл приводит к росту температур мартенситных превращений и к понижению напряжений начала мартенситных переходов акр на 23 МПа по сравнению с состоянием без поля. Значения механического гистерезиса $\Delta\sigma = 46$ МПа оказываются больше магнитных напряжений $\sigma_{mag} = \sigma_0 - \sigma_H$ (здесь σ_0 , σ_H - напряжения начала превращения, соответственно, без магнитного поля и в поле). Петли механического гистерезиса в поле и без поля не разделяются друг от друга и не представляется возможным реализовать обратимые ГЦК-ОЦТ мартенситные переходы при одновременном приложении магнитного поля $H = 9$ Тл и напряжений.

Прокаткой монокристаллов вдоль [001]-направления до 80-87 % и рекристаллизацией получены поликристаллы сплавов FeNiCoAlBX ($X = Ta, Mb, NbTi$) с различной текстурой. Показано, что образование острой $\langle 111 \rangle \{112\}$ текстуры в сплавах FeNiCoAlTiNbV приводит к появлению обратимой деформации $\epsilon_{pr} = 1.7$ % при растяжении, которая оказывается близкой к экспериментальным значениям, найденным для [111]-монокристаллов при одном и том же размере дисперсных частиц γ' -фазы. Близкими оказываются значения $\alpha = \Delta\sigma_{кр}(T)/dT$, равные 6.7 МПа/К.

Текстура $\langle 001 \rangle \{012\}$ образуется в сплавах FeNiCoAlNbV, FeNiCoAlTaV и это определяет низкие значения $\alpha = 2.6$ МПа/К. Максимальные значения ϵ_{pr} равны 1.3 % и ограничены низкой пластичностью поликристаллов. Во всех исследованных поликристаллах мартенситные превращения происходят со значительным переохлаждением $\Delta 1 = M_s - M_f$ и перегревом $\Delta 2 = A_f - A_s$, $M_s > A_s$, что в соответствии с

классификацией типа мартенситных превращений, являются мартенситными превращениями второго класса, в которых накопленная упругая энергия ΔG_{el} оказывается больше $2\Delta G_{diss}$ (ΔG_{diss} - рассеянная энергия). В монокристаллах при близких размерах частиц и ориентациях, соответствующих текстуре поликристаллов, мартенситные превращения происходят с малыми значениями $\Delta 1$ и $\Delta 2$. Указанные различия в развитии мартенситных переходов в поли- и монокристаллах связаны с влиянием границ зерен и их различной ориентацией относительно приложенной нагрузки на процессы зарождения и роста мартенсита.

На высокопрочных кристаллах TiNiHf, TiNiHfPd показана принципиальная возможность управления температурами мартенситных переходов, значениями термического и механического гистерезисов за счет выделения дисперсных частиц H и H'- фазы. Уровень прочностных свойств высокотемпературной B2-фазы равный 1.75 ГПа достигается за счет выделения частиц и это обеспечивает развитие сверхэластичности в интервале напряжений от 400 МПа до 1700 МПа в температурном диапазоне от 250 К до 450 К при значениях механического гистерезиса от 400 МПа до 700 МПа и деформациях превращения от 3.3 % до 4.5 % при деформации растяжением и сжатием. Эти высокопрочные кристаллы TiNiHf, TiNiHfPd имеют комплекс уникальных функциональных свойств для их практического использования при высоких напряжениях до 1.7 ГПа и температурах до 470 К.