

Сведения о выполненных работах в 2018 году
по проекту **«Исследование функциональных свойств и механизмов циклической деградации в монокристаллах сплавов Гейслера на основе Ni для разработки многофункциональных материалов с памятью формы»**,
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 16-19-10250

Руководитель д-р физ.-мат. наук Панченко Елена Юрьевна

При выполнении третьего этапа (2018 г.) проекта выяснены условия наведения и исследованы закономерности проявления двустороннего эффекта памяти формы и ферроэластичности в монокристаллах сплавов NiFeGaCo и NiMnGa, состаренных в мартенситном состоянии под нагрузкой. Продолжено изучение циклической стабильности функциональных свойств и механизмов их деградации в состаренных в аустените и мартенсите монокристаллах исследуемых сплавов.

Экспериментально показано, что создать условия для наведения двустороннего эффекта памяти формы и ферроэластичности за счет стабилизации ориентированного варианта (или нескольких вариантов) мартенсита при старении в мартенсите под нагрузкой возможно во всех исследуемых монокристаллах сплавов NiFeGaCo и NiMnGa с различной исходной микроструктурой: двухфазные (L21+ γ)- и (B2+ γ)-кристаллы и однофазные B2- и L21-кристаллы. Основной физической причиной стабилизации ориентированного варианта мартенсита при выдержке в мартенситном состоянии под нагрузкой и при повышенной температуре является переориентация ближнего порядка атомов разного сорта и точечных дефектов в соответствии с симметрией мартенситной фазы.

Величину и знак (растяжение/сжатие) обратимой деформации при проявлении двустороннего эффекта памяти формы можно контролировать за счет целенаправленного выбора ориентации оси сжимающей нагрузки при старении в мартенситном состоянии и исходной микроструктуры исследуемых монокристаллов.

Экспериментально показано, что старение в мартенситном состоянии под сжимающей нагрузкой вдоль [001]B2-, [110]B2- и [123]B2-направлений создает условия для наведения сжимающего двустороннего эффекта памяти формы вдоль этих же направлений с максимальной величиной обратимой деформации до $-5,0(\pm 0,3)$ % в монокристаллах сплавов NiFeGaCo и NiMnGa.

Старение в мартенситном состоянии под нагрузкой вдоль [110]B2-направления приводит к стабилизации раздвойникового L10-мартенсита и наведению растягивающего двустороннего эффекта памяти формы вдоль [001]B2-направления с величиной обратимой деформации до +9,0 % и взрывным характером развития МП в узких температурных интервалах 1-3 К независимо от химического состава исследуемых однофазных монокристаллов сплавов NiFeGaCo и NiMnGa.

Величина сжимающего и растягивающего двустороннего эффекта памяти формы в исследованных монокристаллах не превышает теоретическую величину деформации (L21)B2-L10 превращения при сжатии $-6,2\%$ и растяжении $+14,5\%$.

Впервые на состаренных под нагрузкой в мартенсите монокристаллах NiFeGaCo и NiMnGa получена ферроэластичность в циклах нагрузка/разгрузка при деформации сжатием вдоль [001]B2-направления с обратимой деформацией $-15,0\%$ и $-13,2\%$, соответственно, что в 2 раза превышает теоретический ресурс сжимающей деформации $-6,2\%$ при (L21)B2-L10 мартенситном превращении. Условия для получения ферроэластичности можно реализовать за счет старения в мартенсите под сжимающей нагрузкой вдоль [110]B2||[100]L10-направления. Ферроэластичность в этом случае наблюдается за счет обратимой переориентации вариантов мартенсита в циклах нагрузка/разгрузка при деформации сжатием в мартенситном состоянии вдоль [001]B2-направления, вдоль которого реализуется растягивающий двусторонний эффект памяти формы.

При исследовании циклической стабильности двустороннего эффекта памяти формы в циклах охлаждение/нагрев в свободном состоянии в монокристаллах NiFeGaCo, NiMnGa выяснено, что основными механизмами деградации двустороннего эффекта памяти формы являются: 1) увеличение объемной доли остаточного мартенсита; 2) дислокационное скольжение; 3) сокращение объемной доли ориентированного мартенсита с ростом числа циклов за счет релаксации внутренних полей напряжений. Вклад различных механизмов деградации определяется микроструктурой, полученной при термомеханической обработке и/или тренировке для наведения двустороннего эффекта памяти формы. В высокопрочных состаренных в аустените L21-монокристаллах NiFeGaCo при развитии L21-14M мартенситного превращения и состаренных в мартенсите под нагрузкой монокристаллах NiFeGaCo и NiMnGa возможно наблюдать деградацию двустороннего эффекта памяти формы преимущественно за счет релаксации внутренних полей напряжений, которая является обратимой при дополнительной термомеханической обработке или тренировке. Полученные при выполнении настоящего этапа проекта результаты показывают, что разработанная при выполнении проекта термомеханическая обработка – старение (выдержка) под нагрузкой в мартенсите, индуцированном внешними приложенными напряжениями, в температурном интервале развития высокотемпературной сверхэластичности является эффективной для контроля, расширения и улучшения функциональных свойств монокристаллов ферромагнитных сплавов NiFeGaCo и NiMnGa. Состаренные под нагрузкой монокристаллы, проявляющие ферроэластичности в широком температурном интервале ниже 373 К с гигантской величиной обратимой сжимающей деформации до -15% и двустороннего эффекта памяти формы величиной до $+9,0\%$ являются оптимальным материалом для разработки как демпфирующих устройств, так и термо- и магнитоконтролируемых датчиков и актюаторов (силовых приводов).