

УПРУГИЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ Fe-Mn-Al-Ni

Головин И.С.¹, Лянге М.В.¹, Ховайло В.В.¹, Omori T.², Kainuma R.²

¹НИТУ «МИСiC», Ленинский проспект. 4, 119049, Москва, Россия

²Department of Materials Science, Graduate School of Engineering, Tohoku University, Sendai
980-8579, Japan

maria.lyange@gmail.com

Исследованиям эффектов сверхупругости и памяти формы в материалах с термоупругими мартенситными превращениями уделяется большое внимание ввиду большой практической значимости этих явлений. В частности, противоударные и вибропоглощающие свойства этих функциональных материалов обусловлены сверхупругостью, которая выражается в специфической зависимости деформации от напряжения, вызванной формированием мартенсита деформации при приложении внешних напряжений при температурах выше температуры обратного мартенситного превращения. Среди сплавов с эффектом памяти формы наиболее эффективными вибропоглощающими свойствами обладают сплавы на основе никелида титана. Однако эти материалы не нашли широкого практического применения в противоударных и вибропоглощающих системах ввиду их высокой стоимости. Сравнительно недавно японским ученым удалось разработать сплав на основе Fe-Mn-Al-Ni, который демонстрирует ярко выраженные сверхупругие свойства [1]. Наиболее необычной особенностью сплавов Fe-Mn-Al-Ni является то, что эффекты сверхупругости наблюдается в очень широком диапазоне температур, от -150 до $+160^{\circ}\text{C}$ [1], и сравними по величине с эффектами, наблюдаемыми в никелиде титана. В данной работе будут представлены результаты исследований внутреннего трения, модуля упругости и модуля потерь сплавов Fe-Mn-Al-Ni.

Поликристаллические сплавы номинального состава $\text{Fe}_{43,5}\text{Mn}_{34}\text{Al}_{13}\text{Ni}_{7,5}$ (в ат.%) были изготовлены методом индукционной плавки исходных химических элементов чистоты 99,99% и выше. Сплавы подвергались горячей прокатке при $T = 1200^{\circ}\text{C}$. После этого использовалась холодная прокатка для получения образцов требуемой толщины порядка 1 – 2 мм. Полученные образцы в виде пластин подвергались термообработке при 1200°C с последующей закалкой в холодную воду. Упругие свойства образцов исследовались на динамическом механическом анализаторе (ДМА) Q800 (TAInstrument, США).

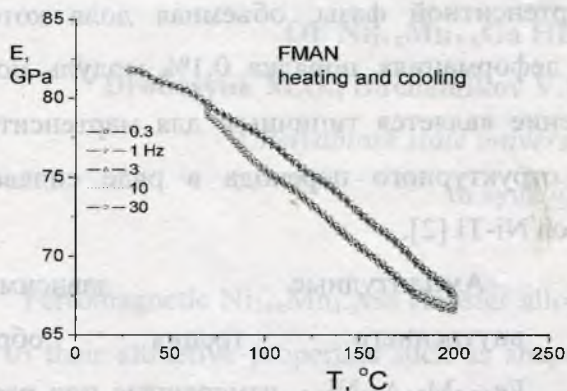


Рисунок 1. Температурные зависимости модуля упругости сплава $Fe_{43,5}M_{34}A_{13}Ni_{7,5}$

Температурные зависимости модуля упругости E образца $Fe_{43,5}M_{34}A_{13}Ni_{7,5}$, измеренные в интервале температур 20 – 250°C, показаны на рисунке 1. Из рисунка видно, что при комнатной температуре модуль упругости образца равен примерно 82 ГПа. При повышении температуры E

монотонно понижается до величин порядка 67 ГПа. Такое поведение модуля упругости характерно для сплавов с эффектом памяти формы. Необходимо учитывать, что приведенные измерения характеризуют модуль упругости высокотемпературной аустенитной фазы, т.к. величина приложенной нагрузки была недостаточной для формирования деформационно-индуцированного мартенсита. Из рисунка 1 также видно, что модуль упругости не зависит от частоты внешней нагрузки. Это опять же свидетельствует о том, что формирование мартенсита не происходит, так как в этом случае модуль упругости должен зависеть от частоты внешней нагрузки.

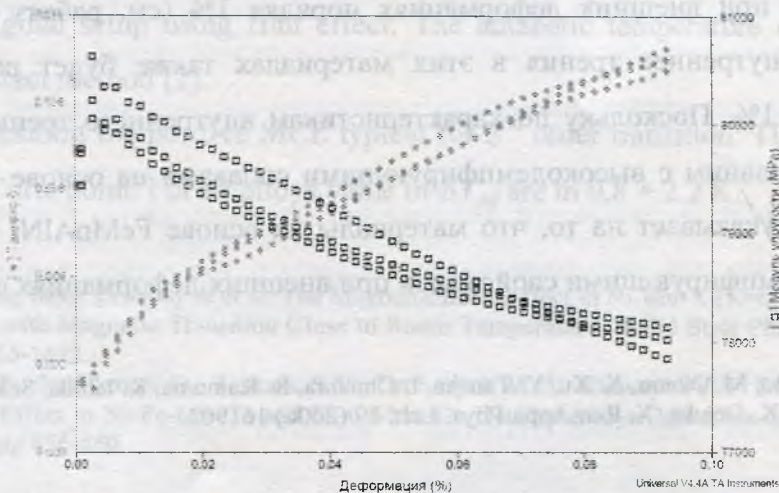


Рисунок 2. Амплитудные зависимости модуля упругости и модуля потерь

Амплитудные зависимости модуля упругости и модуля потерь $tg\delta$ показаны на рис. 2. Видно, что при увеличении амплитуды колебаний образца, то есть при увеличении его деформации, модуль упругости понижается, а модуль потерь растет. Поскольку хорошо известно, что аустенит имеет больший модуль упругости и меньший модуль потерь, чем мартенсит (здесь предполагается, что магнитные свойства этих фаз одинаковы), этот результат свидетельствует о том, что при приложении внешних

нагрузок происходит формирование мартенситной фазы, объемная доля которой зависит от величины деформации. При деформациях порядка 0,1% модуль потерь достигает величины $\text{tg}\delta \approx 0,01$. Это значение является типичным для мартенситного состояния при температурах вдали от структурного перехода в ряде сплавов с эффектом памяти формы, например, сплавов Ni-Ti [2].

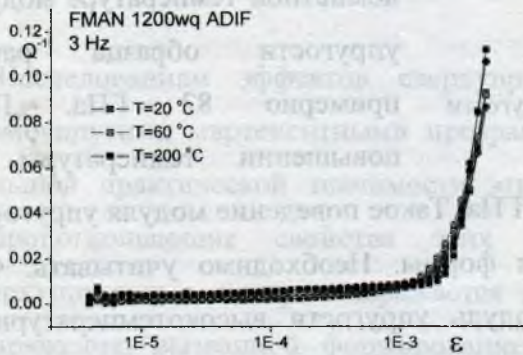


Рисунок 3. Амплитудные зависимости внутреннего трения сплава $\text{Fe}_{43,5}\text{M}_{34}\text{A}_{13}\text{Ni}_{7,5}$

Амплитудные зависимости внутреннего трения образца $\text{Fe}_{43,5}\text{M}_{34}\text{A}_{13}\text{Ni}_{7,5}$, измеренные при разных температурах на частоте 3 Гц, показаны на рисунке 3. Полученные амплитудные зависимости внутреннего трения однозначно указывают на то, что при деформациях $\epsilon > 0,1\%$ происходит эффективное формирование мартенситной фазы. Необходимо также

отметить, что, поскольку экспериментальные кривые деформация – напряжение свидетельствуют о том, что сверхупругое плато деформационной кривой начинает образовываться при внешних деформациях порядка 1% (см. работу [1]), то можно ожидать, что внутреннее трения в этих материалах также будет расти вплоть до деформаций $\epsilon \approx 1\%$. Поскольку по характеристикам внутреннего трения исследуемый материал уже сравним с высокодемпфирующими сплавами на основе Ni-Ti[2], то это предположение указывает на то, что материалы на основе FeMnAlNi будут обладать уникальными демпфирующими свойствами при внешних деформациях от 0,1 до 1%.

1. T. Omori, K. Ando, M. Okano, X. Xu, Y. Tanaka, I. Ohnuma, R. Kainuma, K. Ishida, Science 333 (2011) 68.
2. G. Fan, Y. Zhou, K. Otsuka, X. Ren, Appl. Phys. Lett. 89 (2006) 161902.