

## **ТЕРМОУПРУГИЕ МАРТЕНСИТНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ И ЭФФЕКТЫ ПАМЯТИ ФОРМЫ: КЛАССИФИКАЦИЯ, ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ И КИНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ, СТРУКТУРА, СВОЙСТВА И ПОЛУЧЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СПЛАВОВ**

**Пушин В.Г.**

*Институт физики металлов Уральского отделения Российской академии наук,*

*Екатеринбург, Россия*

*pushin@imp.uran.ru*

Разработка перспективных конструкционных и функциональных материалов нового поколения и новых прорывных технологий их создания с заданными физическими, механическими, химическими и эксплуатационными характеристиками является одной из важнейших приоритетных проблем современного материаловедения. В работе представлен обзор комплексных систематических исследований сплавов с термоупругими мартенситными превращениями (ТМП), которые объединяют целый ряд необычных эффектов: однократно и многократно обратимые эффекты памяти формы (ЭПФ), осуществляющиеся при изменении температуры, давления, магнитного поля, эффекты сверхупругости и высокой обратимой деформации превращения под нагрузкой (при прямом превращении) или ее снятии (при обратном превращении).

Рассмотрены классификация сплавов, термодинамические и кинетические аспекты ТМП, природа и структурные механизмы формирования разнообразных предпереходных явлений и собственно ТМП, влияние комплексного легирования, особенности структуры, физико-механические свойства и методы получения сплавов, наиболее перспективных для применения. Были использованы структурные методы рентгеноструктурного и рентгенофазового анализа, нейтронографии, просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии высокого разрешения, изучение текстуры и элементного состава, а также измерения ряда физических свойств и ЭПФ.

Установлено и систематизировано влияние легирования и внешних воздействий на магнитные и структурные фазовые превращения и свойства данных сплавов с магнитно-, термо- и механоуправляемой памятью формы. Определены последовательность ТМП с образованием различных мартенситных фаз, их структура и кристаллогеометрические особенности их образования. Построены фазовые диаграммы магнитных и мартенситных превращений в ряде сплавов, бинарных, тройных, четырехкомпонентных, синтезированных по разным схемам легирования.

Рассмотрено влияние сверхбыстрой закалки на внутреннюю структуру и измельчение зерна сплавов, вплоть до аморфизации в ряде сплавов на основе никелида титана. Обсуждаются причины аморфизации и способы последующей наноструктуризации данных сплавов.

В бинарных и легированных сплавах TiNi показано, что использование механотермических обработок путем многократных кручения под высоким давлением, прокатки или волочения приводит к их сильному упрочнению и измельчению зерна (вплоть до аморфизации). В таком случае применение низкотемпературного отжига позволяет создать в сплавах однородное наноструктурное состояние с контролируемым размером зерна уже в интервале 50-200 нм и обеспечить эффективное регулирование физико-механических свойств при сохранении высоких параметров ЭПФ, деформационных, температурных, силовых.

Показано, что нано- и субмикрористаллические сплавы испытывают практически те же ТМП, что и крупнозернистые прототипы. При этом могут быть реализованы полипакетные, монопакетные двойникованные или монокристаллические структуры мартенсита в зависимости от размера зерен. Установлено влияние размера зерна на критические температуры ТМП и, как следствие, обусловленные ими ЭПФ.

Исследовано влияние комплексного легирования на ТМП в L<sub>21</sub>-сплавах Гейслера на основе системы Ni<sub>2</sub>MnGa с магнитоуправляемыми ЭПФ. Также обнаружено деформационно индуцированное атомное разупорядочение в сплавах Гейслера с образованием нанокристаллической ГЦК(A1)-структуры и последующее восстановление дальнего порядка по типу L<sub>21</sub> при низкотемпературном отжиге в условиях сохранения наноструктурного состояния L<sub>21</sub>-аустенита и при возможности каскадных ТМП и связанных с ними ЭПФ. Применение сверхбыстрой закалки спиннингованием позволило получить пластичные субмикрористаллические ленты сплавов Гейслера с магнитоуправляемыми ТМП.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 14-02-00379, проектов Президиума РАН 12-П-2-1060 и УрО РАН 12-2-2-005.

1. Pushin V.G. // Phys. Met. Metallography, 2000. V.90. Suppl.1. P. S68-S95.
2. Valiev R.Z., Pushin V.G. // Phys.Met.Metallography, 2002, V. 94, Suppl 1, pp. S1-S4.
3. Пушин В.Г., Прокошкин С.Д., Валиев Р.З. и др. Сплавы никелида титана с памятью формы. Ч. I. Структура, фазовые превращения и свойства // Екатеринбург: УрО РАН, 2006. - 440 с.
4. Лободюк В.А., Коваль Ю.Н., Пушин В.Г. // ФММ. 2011. Т.111. №2. С.169-194.