

Пути поиска новых сплавов с эффектом памяти формы

А. Г. Хунджуа,* Е. А. Бровкина,† М. М. Мельников
 Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
 физический факультет, кафедра физики твёрдого тела
 Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2
 (Статья поступила 25.04.2016; Подписана в печать 05.05.2016)

В работе рассмотрены возможные пути создания новых сплавов с эффектом памяти формы. Предложен алгоритм поиска сплавов среди псевдобинарных интерметаллических соединений, близких по свойствам, но различных по кристаллической структуре. Сделан вывод о перспективности сплавов системы Al-Ti-Zr с точки зрения реализации эффекта памяти формы.

PACS: 61.50.ks

УДК: 53.49.05

Ключевые слова: эффект памяти формы, мартенситные превращения.

Создание металлических сплавов с эффектом памяти формы является одним из важнейших достижений физического металловедения. Однако, различных материалов с эффектом памяти формы не достаточно для их внедрения в широкий круг направлений современной техники. Поэтому создание новых материалов с эффектом памяти формы является актуальной задачей.

Эффект памяти формы обусловлен термоупругим мартенситным превращением, прогнозировать наличие которого в материалах принципиально нового состава практически невозможно. Тем не менее, существует, по крайней мере, три научно обоснованных направления поиска:

1. варьирование состава и легирование уже известных сплавов с памятью формы;
2. изменение кинетики мартенситных превращений со взрывной на термоупругую за счет термообработки;
3. поиск сплавов нового состава среди псевдобинарных интерметаллических соединений, близких по свойствам, но различных по кристаллической структуре.

Первое направление — легирование является мощным средством воздействия на свойства сплавов, в том числе и на характеристики мартенситных превращений. Легирование интерметаллических соединений имеет свои особенности, осознать которые можно на примере легирования никелида титана — сплава с памятью формы, нашедшего самое широкое применение в современной технике и медицине.

Интерметаллид TiNi является соединением переменного состава с максимальной протяженностью области гомогенности ~5–7 %. Растворимость легирующих

элементов в ОЦК В2-фазе никелида титана может меняться в широком интервале концентраций в зависимости как от выбора легирующего элемента, так и от того, в какую из подрешеток никелида титана этот элемент вводится. Например, такие элементы как Pd, Au, Pt, Fe, Co при введении в подрешетку никеля показывают неограниченную растворимость, образуя непрерывные ряды квазибинарных твёрдых растворов TiNi–TiPd, TiNi–TiAu, TiNi–TiPt, TiNi–TiFe, TiNi–TiCo. В то же время растворимость этих элементов при введении их в подрешетку титана не превышает нескольких атомных процентов. Особый интерес представляют сплавы, относящиеся к трём основным разрезам системы Ti–Ni–Me (Me — легирующий элемент), состав которых отвечает формулам: $Ni_{50}Ti_{50-x}Me_x$, $Ti_{50}Ni_{50-x}Me_x$, $Ti_{50-x}Ni_{50-x}Me_{2x}$ (рис. 1).

Первое и второе направления успешно применяются и далеко не исчерпаны.

Третье направление — подбор сплавов принципиально нового состава среди квазибинарных интерметаллических соединений, близких по свойствам, но различных по кристаллической структуре, представляется достаточно перспективным и предполагает поиск интерметаллических соединений, подходящих для создания квазибинарных систем.

Для конкретной реализации следует найти два соединения с химическими формулами A_nB_m и A_nC_m , обладающими разными кристаллическими структурами. Тогда в квазибинарной системе $A_nB_m-A_nC_m$ непрерывный переход от состава A_nB_m к составу A_nC_m невозможен по топологическим причинам, и вдоль разреза $A_nB_{m-x}C_x$ в зависимости от x должен реализовываться переход от одной кристаллической структуры к другой (рис. 2). Простейший вариант такого перехода реализуется через область двухфазного равновесия фаз различного состава. Но возможен и другой вариант: в случае, если конфигурация структур соединений A_nB_m и A_nC_m допускает взаимную перестройку по сдвиговому механизму, то переход от одной структуры к другой может происходить и по мартенситному механизму.

В чём-то подобным образом реализован бинарный сплав двух металлов III группы периодической си-

*E-mail: khundjua@mail.ru

†E-mail: el-brov@yandex.ru

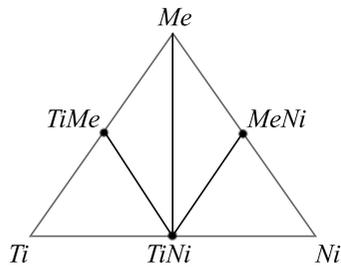


Рис. 1: Главные разрезы тройной диаграммы состояний системы Ti–Ni–Me

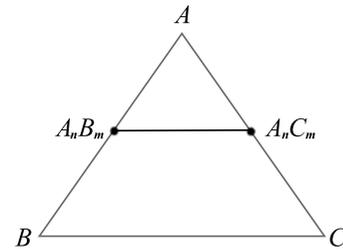
Рис. 2: Разрез A_nB_m – A_nC_m тройной диаграммы состояний системы A–B–C

Таблица I: Структура соединений алюминия

Соединение	Сингония	Соединение	Сингония
AlZr ₃	кубическая	AlTi ₃	гексагональная
AlNb ₃	кубическая	AlLa ₃	гексагональная
AlMo ₃	кубическая		
AlFe ₃	кубическая		
AlNi ₃	кубическая		
AlFe	кубическая	AlTi	тетрагональная
AlCo	кубическая	AlZr	орторомбическая
AlNi	кубическая	AlGd	орторомбическая
		AlHf	орторомбическая
		AlLa	орторомбическая
		AlSm	орторомбическая
Al ₂ Gd	кубическая	Al ₂ Ti	тетрагональная
Al ₂ La	кубическая	Al ₂ Zr	гексагональная
Al ₂ Sm	кубическая	Al ₂ Hf	гексагональная
		Al ₂ Cu	тетрагональная
		Al ₂ Fe	триклинная

стемы элементов, имеющих разную кристаллическую структуру (индия с ГЦ тетрагональной структурой А6 и таллия, в зависимости от температуры имеющего ОЦК структуру типа А2 или ГПУ структуру типа А3). В сплавах системы In–Tl имеет место мартенситное превращение ГЦК → ГЦТ.

Поиск подходящих пар бинарных соединений и последующий анализ препятствий к созданию из них квазибинарных систем с ожидаемой мартенситной неустойчивостью решетки следует начинать с анализа диаграмм равновесных состояний бинарных систем. Поиск следует изначально ограничить металлами разумной стоимости, принимая во внимание их токсичность и биосовместимость.

Существует достаточное количество интерметаллических соединений с общей формулой A_nB_m и кристаллическими структурами, относящимися к разным сингониям — в табл. 1 приведены лишь соответствующие условиям отбора соединения алюминия.

Из найденных соединений, аналогичных представленным в табл. 1, можно составить более 100 квазибинарных систем. Далее следует проанализировать имеющиеся в литературе диаграммы состояний тройных систем (определены далеко не все) и оставить только те, где не видно препятствий к формированию твердых растворов. Таким препятствием, в первую очередь, является формирование тройных интерметаллических соединений, примеров которых более чем достаточно.

С учётом доступных данных о тройных диаграммах состояний проведен дальнейший поиск квазибинарных сплавов, в которых можно ожидать эффекты памяти формы. Наиболее перспективными для поиска проявлений мартенситной неупругости представляются сплавы системы Al–Ti–Zr, в которой не исключены и эффекты памяти формы, индуцированные термообработкой закаленных твердых растворов, с выделением интерметаллических соединений AlZr₃–AlTi₃, AlZr–AlTi и AlZr₂–AlTi₂. Возможно, следует опираться на

четырёхкомпонентную систему Ti–Zr–Al–Nb, в которой, кроме интерметаллических соединений, должен

формироваться мартенсит α'' , показывающий обратную неупругость.

The ways of search for new alloys with shape memory effect

A.G. Khundjua^a, E.A. Brovkina^b, M.M. Melnikov

Department of Solid State Physics, Faculty of Physics,
M.V.Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia
E-mail: ^akhundjua@mail.ru, ^bel-brov@yandex.ru

In the paper it is discussed the possible ways of the creation of new alloys with shape memory effect. The algorithm of alloys search among the pseudobinary intermetallic compounds of similar properties, but different structure, is proposed. It is made the conclusions about the prospects of alloys of the system Al–Ti–Zr from the point of view of shape memory effect realization.

PACS: 61.50.ks

Keywords: shape memory effect, martensite transformations.

Received 25.04.2016.

Сведения об авторах

1. Хунджуга Андрей Георгиевич — докт. физ.-мат.наук, профессор, профессор; тел.: (495) 939–30–26, (495) 939–23–87, e-mail: khundjua@mail.ru.
2. Бровкина Елена Анатольевна — канд. физ.-мат. наук, доцент; тел.: (495) 939–10–73, (495) 939–23–87, e-mail: el-brov@yandex.ru.
3. Мельников Максим Михайлович — вед. программист; тел.: (495) 939–30–26, (495) 939–23–87.