

УДК 620.22

DOI: 10.47813/mip.4.2022.4.18-24

EDN: [XIPUFB](https://xipufb.ru)



Изучение и использование материалов с эффектом памяти формы

Н.Н. Насирова, С.А. Арефьева*

Кубанский государственный технологический университет,
ул. Московская, д. 2, Краснодар, 350072, Россия

*E-mail: materialoved@mail.ru

Аннотация. Приведен краткий обзор по получению и применению материалов с эффектом памяти формы. Приведены данные, появления такого понятия, как эффект памяти формы в целом, также данные о первых исследованиях материалов с эффектом памяти формы (ЭПФ), данные свидетельствующие об отсутствии упрочнения процесса накопления деформаций прямого мартенситного превращения в сплавах с памятью формы. Рассказано о возникновении внутренних напряжений, стремящихся вернуть структуру в исходное состояние. Показаны преимущества и уникальность этих сплавов. Эффект памяти формы металлов связан с особыми видами деформации - мартенситными превращениями. Как от температуры зависят мартенситные превращения. Также большинство сплавов с памятью формы чаще всего содержат сплавы меди, алюминия и никеля, а также никеля и титана. Широкое использование таких материалов в различных сферах жизнедеятельности. Рассматривается характеристика эффекта памяти формы и обратимой памяти формы. Анализируется реализация механизмов с эффектом памяти формы. Спектр применения этих материалов растет день ото дня и обещает еще много интересного. Материалы с эффектом памяти формы – это материалы будущего.

Ключевые слова: материал, форма, деформация, мартенсит, память, упругость

Exploring and using shape memory materials

N.N. Nasirova, S.A. Arefieva*

Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya str., Krasnodar, 350072,
Russia

*E-mail: materialoved@mail.ru

Abstract. A brief overview of the production and application of materials with shape memory effect is given. Data are given, the emergence of such a concept as the shape memory effect in general, as well as data on the first studies of materials with a shape memory effect (SME), data indicating the absence of hardening of the process of accumulation of deformations of direct martensitic transformation in shape memory alloys. It is told about the occurrence of internal stresses, tending to return the structure to its original state. The advantages and uniqueness of these alloys are shown. The shape memory effect of metals is associated with special types of deformation - martensitic transformations. How does martensitic transformation depend on temperature. Also, most shape memory alloys most often contain alloys of copper, aluminum and nickel, as well as nickel and titanium. Widespread use of such materials in various spheres of life. The characteristics of the effect of shape memory and reversible shape memory are considered. The implementation of mechanisms with the memory shape effect is analyzed. The range of applications of these materials is growing day by day and promises many more interesting things. Shape memory materials are the materials of the future.

Keywords: material, shape, deformation, martensite, memory, elasticity

1. Введение

В настоящее время ключевой задачей материаловедения является создание новых конструкционных и функциональных материалов и технологий их производства, необходимых для обеспечения конкурентоспособности высокотехнологичных отраслей экономики. Приоритетным направлением является разработка «умных» материалов, в том числе с эффектом памяти формы (ЭПФ).

Целью данной работы является анализ возможностей использования материалов с «умными» элементами, сплавов и их систем с обратимой фазовой структурой – материалов с эффектом памяти формы (ЭПФ).

Формирование наноструктурированных слоев на поверхности из материалов с ЭПФ, обладающих помимо высоких механических свойств, также высокой сглаживающей способностью и особыми функциями, что является эффективным способом повышения эксплуатационных характеристик и срока службы изделий [1].

В перечень стандартных представлений людей о явлениях окружающего мира входит надежность и долговечность конструкций и изделий, выполненных из металла, которые обладают способностью на протяжении длительного промежутка времени сохранять имеющуюся функциональную структуру.

Для всех природных материалов, которые находятся в окружающем мире характерно наличие строго обозначенного перечня свойств, к ним можно отнести удельную прочность, твердость, упругость. Одновременно с этим многие забывают о таком свойстве материалов как память.

2. Материалы и методы

Исследованием обозначенного свойства занимались и занимаются ученые по всему миру. Люди воспринимают тот факт, что пружина приходит в исходное положение, как обычное явление, при этом никто не задается вопросом, почему так происходит [2].

Не так давно исследователи нашли металлы, они после воздействия и изменения своей формы «вспоминают» ту форму, которую они имели до обработки. На основании этого была сформирована доказательная база о существовании набора металлических сплавов, материалов, они в условиях высоких температур после предварительного

воздействия обнаруживают явление возврата к той форме, которая была до обработки. Данный эффект получил название эффект памяти формы.

Под эффектом памяти формы принято понимать явление возвращения к начальной форме в условиях температурного воздействия. Это явление нашло свое отражение в некоторых материалах после предварительного изменения формы в конкретном для каждого сплава температурном режиме.

Эффект памяти формы (ЭПФ) в случае с металлами является одним из важнейших открытий в сфере материаловедения. Значимость этого открытия на данный момент времени высоко оценивается учеными и исследователями, которые продолжают изучение и применяют на практике полученные результаты [3].

Многие ученые проявляют особый интерес к данному явлению. Все дело в том, что они стремятся найти ответы на вопросы о физической природе и механизме ЭПФ, что оказывает положительное влияние на формирование представления о неупругом поведении твердых тел.

3. Результаты и практические приложения

С практической точки зрения данные исследования актуальны в том плане, что ЭПФ в металлах уже открывает большие перспективы для использования в технологическом процессе, благодаря этому можно разрабатывать элементы и устройства, оснащенные новыми функциональными свойствами.

Исследования в области изучения свойства памяти формы у материалов начались много лет назад. Первые исследования в этом направлении были начаты в начале 20 века, когда учеными была предпринята попытка к изучению свойств сплавов и металлов.

Специалист в области физики из Швеции Арни Оландер стал тем, кто в 1932 году открыл эффект памяти формы, также результаты его работы заложили основы для формирования представления о сверхэластичности. При этом термин «сплав с памятью формы» был сформулирован после случая, который произошел в середине прошлого столетия. Материалы с памятью формы стали очень актуальными после того, как У. Бугер и Ф. Ванг представили данные о найденном ими материале, обладающем памятью формы, что произошло в 1962 на научной конференции. Исследователи осуществляли свою деятельность на базе Военно-морской артиллерийской лаборатории. Основным направлением из работы был анализ жаропрочности и жаростойкости сплавов системы

Ti-Ni. Им удалось выяснить, что при эквиатомном составе (50 ат. % Ti + 50 ат. % Ni) материал при охлаждении начинает накапливать значительные деформации и может восстанавливать их при повторном температурном воздействии, другими словами вернуться к своей первоначальной форме. Это открытие эффекта памяти формы, применимое к никелевым и титановым сплавам экви-атомного состава (TiNi) в дальнейшем получило название никелид титана. Это внесло большой вклад в исследование эффекта памяти формы [4].

Данный эффект характеризуется наличием тесной взаимосвязи с особыми видами деформациями, в данном случае речь идет о мартенситных превращениях.

В своем изначальном состоянии материал имеет строго обозначенную структуру. В ходе деформации (изгибе) наблюдается растяжение внешних слоев материала, одновременно с этим происходит сжатие внутренних слоев материалов, средние не подвергаются изменениям. Эти удлиненные структуры принято называть мартенситными пластинами, что является распространенным явлением для металлических сплавов. Важно отметить, что в материалах с памятью формы мартенсит проявляет термоупругость [5].

В условиях воздействия высоких температур проявляется термоупругость мартенситных пластин, другими словами, формируются внутренние напряжения, стремящиеся вернуть структуру в первоначальную форму, на практике это выражается в сжатии вытянутых пластин и растяжении плотных.

С учетом того факта, что наружные удлиненные пластины сжимаются, а внутренние уплощенные начинают растягиваться, материал изменяется в противоположном направлении и возвращается к своей первоначальной структуре, это же актуально для формы.

В ходе проявления эффекта памяти формы принимают участие мартенситные превращения двух типов: прямое и обратное. Каждая из них проявление в своем температурном режиме: M_n и M_k – начало и конец прямого мартенситного превращения при охлаждении, A_n и A_k – начало и конец обратного мартенситного превращения в условиях воздействия высоких температур [6].

Марка сплава (система сплавов) и его химический состав оказывает большое влияние на температуру мартенситного превращения. Малые изменения состава сплава

приводят к изменению этих температура. В связи с этим уделяется особое внимание соблюдению химического состава сплавов, для однозначного функционального проявления эффекта памяти формы, создавая условия для перевода металлургической промышленности в сферу высоких технологий. Проявление эффекта памяти формы наблюдается после большого количества циклов, его необходимо укрепить за счет предварительной обработки высокими температурами.

Отдельного внимания заслуживает обратимый эффект памяти форм, когда материал при строго обозначенном температурном режиме «запоминает» одну конфигурацию, а при изменении температуры – другую. Показатель температуры обратного мартенситного превращения оказывает большое влияние на выраженность эффекта формы памяти.

В перечень функциональных свойств памяти форм входит явление, получившее название – направленная трансформационная деформация, которая имеет особое теоретическое и практическое значение. Есть суть можно представить таким образом: если тело, охлажденное под напряжением, переместить в области температуры, в которых проявляется пластичность прямого мартенситного превращения, и не прекратить уменьшение температуры, то в условиях продолжающегося охлаждения не всегда будет наблюдаться деформация на макроскопическом уровне. В таких условиях деформация накапливается. В других случаях наблюдается повышенная отдача, когда снижается температурный режим. Такие свойства как деформация ориентированного превращения и аномальный возврат деформации характеризуются наличием тесной взаимосвязи с ростом кристаллов мартенсита, возникающие под действием нагрузки – в случае изменения ориентированного превращения кристаллов положительной ориентации. В случае с аномальным возвратом наблюдается негативная ориентация. Для запуска этих явлений одним из условий являются направленные малые напряжения [7].

Сверхэластичность представляет собой свойство материала, связанное с воздействием памяти формы. Речь идет о свойстве материала, нагруженного напряжением, которое превышает его предел текучести, для полного восстановления его начальной формы после снятия нагрузки. Повышенная эластичность начинает проявляться в условиях определенного температурного режима. На данный момент времени самым изученным материалом с точки зрения памяти формы является никелид

титана (нитинол) — с 55 % Ni (по массе). Для плавления этого материала необходимо создать температурный режим от 1240 до 1310 градусов.

В конце 20 века этот эффект был обнаружен у большого количества сплавов.

Важно отметить, что после соответствующей обработки сплавы с эффектом памяти могут самостоятельно принимать одну формы при охлаждении и другую при воздействии высокими температурами. Это свойство получило название обратимый эффект памяти формы. В строго обозначенном интервале температур сплавы с памятью формы начинают проявлять свойства, характерные для резины, речь идет об эффекте сверхэластичности и сверхпластичности. Эти сплавы нашли свое применение в разных областях, включая науку, технику и медицину.

С металлом, которые может возвращать деформации, можно выполнять сложные операции с точки зрения изменения его форм. На практике это выражается в термине «трансформируемые конструкции».

Сочетая силовые и деформационные свойства металлических элементов с эффектом памяти формы, можно разрабатывать и внедрять простые и эффективные приводы роботов, приводы в конвейерном производстве, усилители перемещений.

Сплавы с памятью формы проявляют уникальное поведение, по этой причине им отдается предпочтение при изготовлении изделий и компонентов. Область применения материала с памятью формы расширяется. Изделия из такого сплава нашли свое применение в стоматологии и создании очков. У этого материала имеются большие перспективы, которые находят свое отражение в новых областях.

4. Заключение

Мировой опыт показывает, что использование материалов ЭПФ вместе с нанотехнологиями является интенсивно развивающейся и самостоятельной областью современного космического, стратегического и гражданского материаловедения [8]. Такой повышенный интерес обусловлен возможностью создания технологий нового поколения в областях аэрокосмической и автомобильной промышленности, приборостроения и машиностроения, электроники, биомедицины и др.

Список литературы

1. Харрисон, Дж. Д. Использование сплавов системы Ti-Ni в механических и электрических соединениях / Дж. Д. Харрисон, Д. Е. Ходгсон // Эффект памяти формы в сплавах. Под ред. В.А. Займовского. – М.: Металлургия, 1979. – 429-434 с.
2. Academic.RU: агрегатор энциклопедий: сайт. – 2000. <https://academic.ru/>
3. Интернет-энциклопедия: сайт. – 2001.
https://ru.wikipedia.org/wiki/Эффект_памяти_формы
4. Скрипко, З. А. Изучение темы «Эффект памяти формы материалов» в педагогическом вузе: учебно-методическое пособие / З. А. Скрипко; ГОУ ВПО «Томский государственный педагогический университет». – Томск: Изд-во ТГПУ, 2010. – 40 с.
5. Бледнова, Ж.М. Структурно-механические свойства материалов, поверхностно-модифицированных сплавами с эффектом памяти формы / Ж.М. Бледнова, Д.Г. Будревич, Н.А. Махутов, М.И. Чаевский // Заводская лаборатория. – 2003. – № 9. – С. 61-64.
6. Ооцука, К. Сплавы с эффектом памяти формы / К.Ооцука, К.Симидзу, Ю. Судзуки // Под ред. Х. Фунакубо. – М.: Металлургия, 1990. – 224 с.
7. Лихачев, В. А. Эффект памяти формы / В. А. Лихачев, С. Л. Кузьмин, З. П. Каменцева. – Л.: ЛГУ, 1987. – 216 с.
8. Хачин, В. Н. Никелид титана. Структура и свойства / В. Н. Хачин, В. Г. Пушин, В. В. Кондратьев. – М.: Наука, 1992. – 160 с.