

## Промышленные применения сплавов с памятью формы

Д.Б. Лукмонов, Л.Б. Джумаева

*Чирчикский государственный педагогический институт Ташкентской области, г. Чирчик, Узбекистан*

*В этой статье показано что эти материалы являются относительно новыми, некоторые технические аспекты материала все еще недостаточно изучены. Многие типичные инженерные дескрипторы, такие как модуль Юнга и предел текучести, не относятся к сплавам с памятью формы, поскольку они очень сильно зависят от температуры. С другой стороны, должен быть введен новый набор дескрипторов, таких как стресс и амнезия.*

*Ключевые слова: Эффект памяти формы, термоупругое мартенситное превращение, односторонний эффект, псевдоупругость, сверхэластичность.*

В 1970 году первая успешная демонстрация сплава с памятью формы памяти состоялась на истребителе ВМС США F-14. С тех пор было выпущено много тысяч патентов для всех возможных приложений для сплавов с памятью формы.

Основные применения для этих сплавов - в области медицины и ортодонтии, с несколькими другими важными областями, такими как оправы для очков, антенны сотового телефона, женские бюстгалтеры и автомобильные устройства [1].

За последние несколько десятилетий развитие материальной науки было обусловлено открытием новых свойств материала. Сегодня сплавы с памятью формы уже коммерчески применяются в нескольких технических областях, таких как автомобилестроение, аэрокосмическая промышленность, медицина, и они могут быть очень успешно использованы в качестве исполнительных механизмов или разъемов в электронных устройствах.

Эффект памяти формы появляется в некоторых специальных сплавах, которые показывают кристаллографически обратимое, термоупругое, мартенситное превращение и относится к способности восстанавливать большие деформации после кажущейся пластической деформации только путем изменения температуры (односторонний эффект). Внешняя сила должна применяться для сброса элемента в его напряженное состояние, если этот эффект следует использовать повторно.

В 1970 году первая успешная демонстрация сплава с памятью формы памяти состоялась на истребителе ВМС США F-14. Эта демонстрация надежности устройства памяти формы в гидравлической системе высокого давления приводит к производству более миллиона муфт в последующие годы.

С тех пор было выпущено много тысяч патентов на каждое возможное применение для сплавов с памятью формы, но удивительно, что список действительно успешных на рынке устройств довольно мал. В этом смысле,

коммерчески успешным мы подразумеваем производство значительного объема, по крайней мере, в несколько тысяч в год. Основные применения для этих сплавов - в области медицины и ортодонтии, с несколькими другими важными областями, такими как оправы для очков, антенны сотового телефона, женские бюстгалтеры и автомобильные устройства. В то время как основное внимание уделялось медицинским устройствам из-за привлекательной стоимости бизнеса, потребление материалов из сплавов с памятью формы в потребительском и промышленном секторах, однако, намного превышает использование в медицинской области, а список коммерческих приложений растет быстрыми темпами.

При специальной термомеханической обработке (тренировке) сплавы с памятью формы развивают собственный двухсторонний эффект, что означает, что форма изменяется между двумя формами только в результате изменения температуры и без применения внешних напряжений (рис.1).

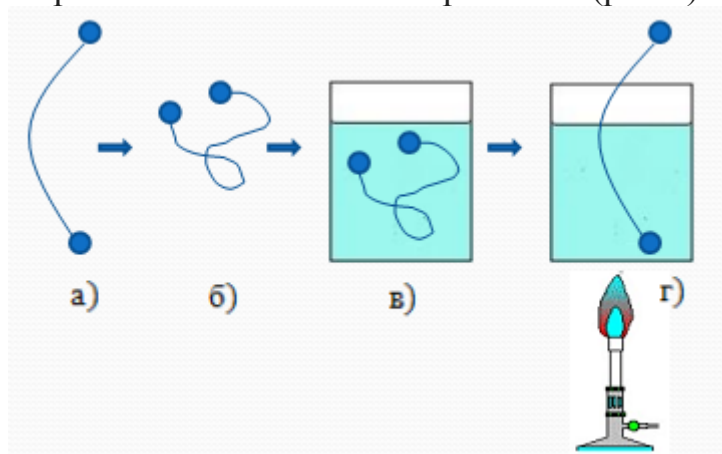


Рисунок 1. а) Металлическая проволока; б) Эту проволоку изгибаем; в) Вложим в холодную воду; г) Начинаем нагревать проволоку и получаем при нагреве при нагреве проволока распрямляется, восстанавливая свою исходную форму

Материалы с форматной памятью являются одним из основных элементов интеллектуальных умных композитов из-за их необычных свойств, таких как эффект памяти формы, псевдоупругость или большой восстанавливаемый удар (деформация), высокая демпфирующая способность и адаптивные свойства которые обусловлены (обратимыми) фазовыми переходами в материалах. Эффект памяти формы могут ощущать тепловой, механический, магнитный или электрический стимул и проявлять приведение в действие или некоторый predetermined отклик, позволяющий настраивать некоторые технические параметры, такие как форма, положение, деформация, жесткость, естественная частота, демпфирование, трение и другие статические и динамические характеристик материальных систем в ответ на изменения окружающей среды. На сегодняшний день было обнаружено, что различные сплавы, керамика, полимеры и гели демонстрируют поведение МСП. В частности, некоторые эффект памяти формы могут быть легко изготовлены в тонкие пленки, волокна или проволоку, частицы и даже пористые наполнители,

что позволяет им быть совместимым с другими материалами с образованием гибридных композитов [2].

Умным материалам уделялось большое внимание в основном для их инновационного использования в практических приложениях. Как упоминалось ранее, одним из лучших примеров таких материалов является также семейство сплавов с памятью формы, которые, возможно, являются первым хорошо известным и используемым интеллектуальным материалом. Исследовательская деятельность в этой области была интенсивной, и было исследовано несколько сплавов, таких как Cu-Zn, Cu-Zn-Al, Cu-Al-Ni, Cu-Sn, Cu-Au-Zn, Ni-Al, Ti-Ni, Ti-Ni-Cu, Ni-Ti-Nb и другие.

Поскольку эти материалы являются относительно новыми, некоторые технические аспекты материала все еще недостаточно изучены. Многие типичные инженерные дескрипторы, такие как модуль Юнга и предел текучести, не относятся к сплавам с памятью формы, поскольку они очень сильно зависят от температуры. С другой стороны, должен быть введен новый набор дескрипторов, таких как стресс и амнезия. Вот почему в течение последних 20 лет были предложены многочисленные конститутивные модели для прогнозирования термомеханического поведения.

Показано, что эти материалы имеют чрезвычайно большие извлекаемые штаммы (порядка 10%), и именно эти свойства являются функциями температуры и напряжения, которые позволяют использовать сплавы с памятью формы во многих интересных и инновационных применениях. С макроскопической точки зрения механическое поведение сплавы с памятью формы может быть разделено на две категории: эффект памяти формы, где большая остаточная (по-видимому пластическая) деформация может быть полностью восстановлена после повышения температуры после цикла загрузки и разгрузки; и псевдоупругость или сверхэластичность, когда очень большая (по-видимому, пластическая) деформация полностью восстанавливается после загрузки и разгрузки при постоянной температуре [3].

Оба эффекта - результат фазового превращения мартенсита. В свободном от напряжений состоянии в родительской фазе присутствует материал сплавы с памятью формы при высоких температурах (обычно кубическая кристаллическая структура с центром в центре, также называемая аустенитной фазой). При уменьшении температуры материала кристаллическая структура подвергается самодостаточному кристаллическому превращению в фазу мартенсита (обычно это гранецентрированная кубическая структура) [4].

Фазовое изменение безударного образования мартенсита из аустенита называется «самодостаточным» из-за образования множественных мартенситных вариантов и двойников, что препятствует возникновению деформации трансформации [5]. Варианты мартенсита, равномерно распределенные по всему материалу, все кристаллографически эквивалентны, отличающиеся только плоскостью привычки. Процесс самообеспечения путем двойникования позволяет материалу сплавы с памятью формы проявлять большие обратимые штаммы со стрессом. Тем не менее, процесс самообеспечения в обычных материалах, таких как нержавеющая сталь, не

происходит путем двойникования, но через механизм, называемый скольжением. Поскольку скольжение является постоянным или необратимым процессом, эффект памяти формы не может возникать в этих материалах.

Было обнаружено, что никель-титановые сплавы являются наиболее полезными из всех сплавов с памятью формы. Другие сплавы с памятью формы включают медно-алюминиево-никелевые, медно-цинко-алюминиевые и железомарганцево-кремниевые сплавы. Типичным названием семейства никель-титановых сплавов является нитинол.

Свойства нитинола особенно важны для точного состава металла и способа его обработки. Физические свойства нитинола включают температуру плавления около 1240 °С до 1310 °С и плотность около 6,5 г/см<sup>3</sup>. Различные другие физические свойства, испытываемые при различных температурах с различными составами элементов, включают в себя электросопротивление, термоэлектрическую мощность, коэффициент Холла, скорость звука, демпфирование, теплоемкость, магнитную восприимчивость и теплопроводность. Проверенные механические свойства включают твердость, ударную вязкость, усталостную прочность и обрабатываемость [6].

Нитинол используется в различных областях применения. Они используются для военных, медицинских, безопасных и робототехнических приложений (рис.2). Военные с конца 1960-х годов используют нитинольные муфты в истребителях F-14. Эти соединители соединяются гидравлическими линиями плотно и легко.

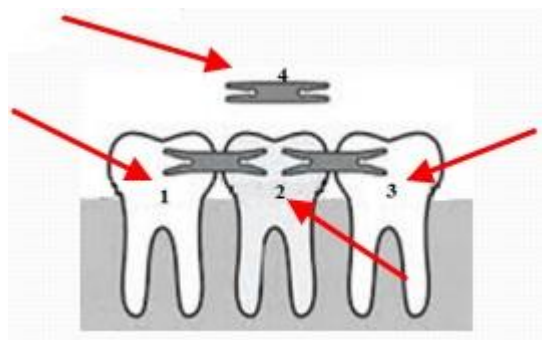


Рисунок 2. Проволока (ортодонтическая дуга) для исправления зубного ряда: 1-3) Здоровые зубы; 2) Больной зуб; 4) Приспособление на зубы из нитинола (TiNi)

Многие из текущих приложений нитинол были в области медицины. Нитинол используется в роботизированных приводах и микроманипуляторах для имитации движения мышц человека. Основным преимуществом нитинол является плавная, контролируемая сила, которую он оказывает на активацию. Другие различные применения сплавов с памятью формы включают использование в бытовых приборах, одежде и в конструкциях. Глубокая фритюрница использует тепловую чувствительность, опустив корзину в масло при правильной температуре. Приводы нитинол в качестве крепления двигателя и подвески также могут управлять вибрацией. Эти приводы могут помочь предотвратить разрушение таких конструкций, как здания и мосты.

Существует множество возможных приложений для сплавы с памятью формы. Будущие приложения предусматривают включение двигателей в автомобили и самолеты и электрические генераторы, использующие механическую энергию, возникающую в результате преобразований формы. Нитинол с свойством памяти формы также предусмотрен для использования в автомобильных рамах. Другие возможные автомобильные применения с использованием пружин сплавы с памятью формы включают в себя охлаждение двигателя, управление карбюратором и смазкой двигателя и управление жалюзи радиатора («для уменьшения потока воздуха через радиатор при запуске, когда двигатель холодный и, следовательно, для снижения расхода топлива и выбросы выхлопных газов»). Многие потенциальные применения и применение сплавов с памятью формы обеспечивают яркое будущее для этих металлов. В настоящее время исследования проводятся во многих отделах робототехники и отделах материаловедения. Благодаря инновационным идеям применения сплавы с памятью формы и количества продуктов на рынке с использованием сплавы с памятью формы, постоянно растущие успехи в области сплавов с памятью формы для использования во многих различных приложениях выглядят очень многообещающими.

#### Библиографический список

1. Гюнтер В.Э., Ходоренко В.Н., Чекалкин Т.Л. и др. Медицинские материалы с памятью формы. – Томск: Издво МИЦ, 2011. – 534 с. 2. Гюнтер В.Э., Котенко В.В., Миргазизов М.З. и др. Сплавы с памятью формы в медицине. – Томск: Издво Том. унта, 1986. – 208 с.
2. Лохов, В.А. Создание заданных усилий в фиксаторах, изготовленных из сплавов с памятью формы / В.А. Лохов, А.Г. Кучумов // Российский журнал биомеханики. – 2012. – Том 10, № 3. – С. 41–52.
3. Bowers ML, Gao Y, Yang L, Gaydosh DJ, De Graef M, Noebe RD, Wang Y, Mills MJ (2015) Austenite grain refinement during load-biased thermal cycling of a Ni<sub>49.9</sub>Ti<sub>50.1</sub> shape memory alloy. *Acta Mater* 91:318–329
4. Ходоренко В.Н., Гюнтер В.Э., Солдатова М.И. Влияние состава сплава никелида титана на его структуру и формирование зернограничного ансамбля // Известия вузов. Сер. Физика. – 2010. – Т. 53. – № 8. – С. 55–62. 4. Гуляев А.П. *Металловедение*. – М.: Металлургия, 1977. – 647 с. 5. Феллоуз Дж. *Фрактография и атлас фрактограмм*. – М.: Металлургия, 1982. – 488 с.
5. Бучельников В. Д., Васильев А. Н., Коледов В. В., Таскаев С. В., Ховайло В. В., Шавров В. Г. Магнитные сплавы с памятью формы: фазовые переходы и функциональные свойства // *Успехи физических наук*, 2013, т. 176, № 8, с. 900—906.
6. Воронов В. К., Подоплелов А. В. *Физика на переломе тысячелетий: конденсированное состояние*, 2-е изд., М.: ЛКИ, 2012, 336 стр., ISBN 978-5-382-01365-7