

**НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ТЕХНИКЕ****SOME PROBLEMS OF USE OF MULTIPURPOSE MATERIALS IN EQUIPMENT**

*Макалада эстутум эффектисин ээлеген материалдарды техникада колдонуу маселелери каралган.*

*Ачык сөздөр: эстутум формасы, мартенсит, деформация, чыңалуу.*

*Рассмотрены проблемы применения в технике материалов обладающих эффектом памяти формы.*

*Ключевые слова: память формы, мартенсит, деформация, напряжение.*

*Application problems in equipment of the materials having effect of shape memory are considered.*

*Keywords: shape memory, martensite, deformation, tension.*

Со второй половины XX века по сей день разрабатываются различные многофункциональные материалы. Как правило, эти материалы обладают нетрадиционными свойствами. Появление новых материалов, в частности, обладающих эффектом памяти формы, вынуждает создателей различных конструкций проводить прочностные и деформационные расчеты устройств с учетом особенностей поведения этих материалов под температурно-силовым воздействием. В связи с этим, возникают и некоторые проблемы применения многофункциональных материалов в технике.

Рассмотрим поведение материалов, обладающих эффектом памяти формы при температурно-силовом воздействии.

При изменении температуры, нагрузки или их совместного действия во многих металлах и сплавах в определённый момент меняется тип кристаллической решётки. Стимулом к такому превращению является энергетическая выгодность существования такой кристаллической структуры с меньшим значением термодинамического потенциала. Впервые подвижность кристалла мартенсита в своих исследованиях показали Г.В. Курдюмов и Л.Г. Хандрос[1]. Кристаллы мартенсита при охлаждении росли, а при нагревании сокращались. Такие кристаллы стали называть термоупругими. А сам фазовый переход – термоупругим мартенситным превращением (Рис.1.).



Рис. 1. Схематическое изображение термоупругого мартенситного перехода

Эффект памяти обусловлен изменением структуры кристаллической структуры, состоящем в появлении микроструктур мартенситной фазы. Мартенситный переход обусловлен полиморфным переходом кристаллической структуры от исходной

(«родительской») фазы к мартенситной. Этот переход схематически иллюстрируется Рис. 1.

Такие переходы не связаны с диффузией или изменением химического состава и являются основой высокотемпературных методов обработки многих металлов, включая известный переход аустенита в мартенсит в сплавах железа.

Термически инициированный переход в мартенситную фазу происходит при снижении температуры (Рис. 2.). Постепенный переход начинается при температуре  $M_H$  (температуре инициации мартенситного перехода), и доля мартенситной фазы возрастает при снижении температуры вплоть до полного завершения перехода при температуре  $M_K$ .

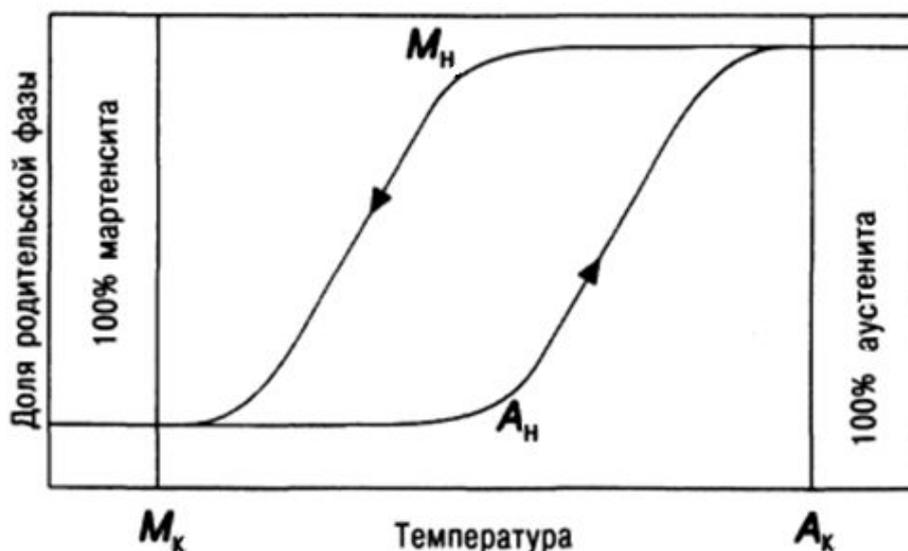


Рис. 2. Гистерезисная кривая термоупругого мартенситного перехода

При нагревании мартенситные зерна, сформированные последними в процессе перехода, первыми начинают возвращаться к родительской фазе, и обратный переход продолжается вплоть до температуры  $A_K$ , при которой полностью восстанавливается исходная высокотемпературная фаза. Ширина гистерезисной кривой между прямым и обратным переходами в сплавах с эффектом памяти формы (СЭП) невелика, обычно между 10 и 50°C. Если температура нагрева не слишком высока, термостимулированный мартенситный переход может быть повторен сколько угодно раз.

Приведём основные эксперименты, характеризующие поведение материалов с памятью формы при термосиловом воздействии.

1. Память формы. Образец деформируется в изотермических условиях при некоторой температуре  $T_0 < M_K$ . Здесь  $M_K$  — температура конца прямого мартенситного превращения. При достижении деформирующим напряжением некоторого значения, которое будем называть напряжением начала фазовой текучести  $\sigma_\phi(T_0)$ , материал генерирует фазовые деформации  $\varepsilon_\phi$ . Максимально возможное значение этой деформации зависит от материала и может достигать, например, для сплавов TiNi 10-15% [1].

При разгрузке фазовая деформация остаётся. При нагревании образца фазовая деформация исчезает и может полностью исчезнуть при температуре нагрева, превышающей величину  $A_K$  ( $A_K$  — температура конца обратного мартенситного превращения).

2. Отрицательная ползучесть. Образец деформируется некоторым напряжением в аустенитном состоянии, т.е. при температуре  $T > M_H$  ( $M_H$  — температура начала прямого мартенситного превращения), затем под постоянным напряжением охлаждается до температур мартенситного состояния ( $T < M_K$ ). При этом в области температур прямого

мартенситного превращения генерируются фазовые деформации. Максимальное значение этих деформаций зависит от величины приложенного напряжения. При последующем нагревании образца под нагрузкой в области температур обратного мартенситного превращения происходит возврат деформации, т.н. эффект «отрицательной ползучести». Отметим, что образец может вернуть накопленную при охлаждении деформацию и без нагрузки, т.е. после разгрузки мартенситной области.

3. Генерация реактивных сил. Если в процессе обратного мартенситного превращения (для вышеприведённых случаев) воспрепятствовать свободной деформации образца, то он генерирует реактивные усилия, величина которых будет зависеть от накопленной фазовой деформации.

4. Зависимость фазовых деформаций от напряжений. Экспериментально установлено, что величина максимальных деформаций, генерируемых в процессе прямого мартенситного превращения прямо пропорционально деформирующему напряжению перед началом термоциклирования. С увеличением величины начального деформирующего напряжения прямая пропорциональность нарушается и максимальная величина фазовых деформаций асимптотически стремится к некоторой предельной для данного материала величине  $\varepsilon_0^\phi$ .

Эффекты, приведённые в пунктах 1-4, можно объяснить зарождением и поведением термоупругого мартенсита. Деформирование в случае пункта 1 сопровождается реакцией «мартенсит-мартенсит», а в случае пункта 2 реакцией «аустенит-мартенсит». Появление термоупругого мартенсита приводит не только к изменению параметров решётки, но и меняет вид самой решётки.

Нами для определяющих соотношений механики материалов с памятью формы предложены следующие зависимости. Приращения деформаций представляются в виде трёх слагаемых [2]:

$$d\varepsilon_{ik} = d\varepsilon_{ik}^y + d\varepsilon_{ik}^T + d\varepsilon_{ik}^\phi, \quad (1)$$

где  $d\varepsilon_{ik}^y$  – приращение термоупругой деформации,  $d\varepsilon_{ik}^T, d\varepsilon_{ik}^\phi$  – соответственно, приращение температурной и фазовой деформации. Здесь первые два слагаемых определяются известным способом, а для третьего слагаемого предложена следующая зависимость:

$$d\varepsilon_{ik}^\phi = -\frac{(1 + \nu^\phi)dT}{\Pi} \left[ \frac{\Pi_1}{M_H - M_K} + \frac{\Pi_2}{\Lambda_K - \Lambda_H} \right] \left[ D_{ik}^m - \frac{3\nu^\phi}{1 + \nu^\phi} \sigma_0^m \delta_{ik} \right], \quad (2)$$

где  $\Pi$  – модуль превращения, постоянная материала, определяемая из опытов,  $\nu^\phi$  – фазовый коэффициент поперечной деформации;  $\Pi_1, \Pi_2$  – функции от температуры в зоне фазовых превращений материала;  $D_{ik}^m$  – тензор, составленный из максимальных значений главных напряжений перед началом термоциклирования;  $\sigma_0^m$  – максимальное среднее значение главных напряжений;  $\delta_{ik}$  – символ Кронеккера.

В настоящее время можно выделить три основных направления исследования:

1. Создание материалов с памятью формы с наперёд заданными физико-механическими характеристиками;
2. Разработка теории деформирования и разрушения таких материалов;
3. Создание принципиально новых машин и устройств с использованием материалов, обладающих эффектом памяти формы.

Отметим основные направления использования в инженерном деле материалов с ЭПФ – это:

1. В разнообразных устройствах для создания перемещений (не силовой вариант применения).
2. В приспособлениях для создания значительных усилий (силовой вариант применения).
3. В устройствах для аккумуляции и трансформации усилий.

4. Создание плотных неразъемных соединений (например: крепление металла с резиной, пластмассой или керамикой).

5. Преобразование тепловой энергии в механическую работу (мартенситные двигатели).

В заключение, отметим основные сферы возможного применения материалов с эффектом памяти формы:

КОСМОС	Саморазворачивающиеся конструкции (антенны, солнечные батареи и др.); механизмы ориентации солнечных батарей; инструменты для монтажных работ (гайковерты, самозатягивающиеся обоймы и муфты; зажимы, развальцеватели и т.д.); приводы поворотных механизмов (рули, заслонки, люки и т.д.); манипуляторы.
ЭНЕРГЕТИКА	Регуляторы подачи горячей воды прямого действия; регуляторы температуры в теплосетях, домах и квартирах; двигатели, работающие за счет колебаний температуры окружающей среды (в т.ч. за счет сбросовых вод и геотермальных источников); регуляторы подачи газа.
МЕДИЦИНА	Имплантанты клинической медицины (проволока для изготовления устройств для остеосинтеза, ортопедии, корректоров позвоночника, расширителей и др.); хирургические инструменты (скальпели, пинцеты. Рукоятки с меняющейся геометрией профиля); стоматологические мосты, стержни.
БЫТОВАЯ ТЕХНИКА, ЛЕГКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ	Регуляторы температуры для погребов, гаражей, складов; безфреоновые регуляторы к холодильникам; кодовые замки; дверные доводчики; приводы для автоматических ворот, дверей, окон; не мнущаяся бижутерия; приводы для самодвижущихся игрушек; терморегуляторы для электробытовых приборов (утюги, чайники, кофеварки и т.п.); режущие инструменты (ножи); водоподъемные насосы.
АВИА И СУДОСТРОЕНИЕ	Безсварочное соединение трубок подачи воздуха, масла и топлива): соединительные узлы (вместо заклепок).
ГОРНАЯ И НЕФТЕГАЗОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ	Автономные противопожарные люки в шахтных выработках; анкеры для крепления пород; устройства для отклонения бура от вертикали (наклонное бурение); герметизация буровых труб предварительно гофрированными кольцами; автоматические задвижки; нефтеподъемные насосы.
СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО	Автономные автоматические вентиляционные фрамуги для теплиц, ферм, овоще- и зернохранилищ; автономные регуляторы влажности; регуляторы температуры и направлений воздушных тепловых потоков; автономные механизмы зашторивания (экранирование солнечных лучей).
МАШИНОСТРОЕНИЕ И РОБОТОТЕХНИКА	Захваты для удерживания обрабатываемой детали: термокомпенсаторы; виброгасители, демпферы; искусственные мускулы для роботов; пружины с квазиулевым коэффициентом жесткости; мембраны с большим ресурсом рабочих циклов.
ПРИБОРОСТРОЕНИЕ	Механические теплосчетчики; турбина с меняющейся геометрией лопаток; измерители тепловых потоков; автономные гигрометры; автономные термографы; дистанционные измерители температуры.
ОПТИКА	Оправы для очков; дефлекторы; отражатели с управляемой интегральной и спектральной отражательной способностью; дифракционные решетки с управляемой меняющейся постоянной.

ТРАНСПОРТ	Подъемники заградительных полос (например перед железнодорожным переездом); приводы тормозов (вагоны, транспортеры, краны и г.д.); приводы для шлагбаумов; виброгасящие подвески для рабочих сидений водителей; термокомпенсаторы для буксовых узлов вагонов; автомобильные термостаты; транспортерные сбрасыватели (толкатели).
ВОЕННАЯ ОБЛАСТЬ	Тайнопись; снаряды с меняющейся геометрией оперения; двери с секретом.
ЮВЕЛИРНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ	Сплавы с меняющейся спектральной отражательной способностью; прессы для штамповки; искусственное золото.
АТОМНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ	Манипуляторы; счетчики нейтральных частиц.

### Список литературы

1. Лихачёв В.А. Эффект памяти формы [Текст] / В.А. Лихачёв и др. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1987. - 216 с.
2. Абдрахманов С.А. Деформация материалов с памятью формы при термосиловом воздействии[Текст] / С.А.Абдрахманов. – Бишкек: Илим, 1991. - 116 с.