

## Сплавы с эффектом памяти формы

Студент гр.104214 Генюш И.П.

Научный руководитель – Пучков Э.П.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Целью данной работы является повышение внимания к сплавам с эффектом памяти формы...

В начале 60-х годов XX в. появился класс материалов с эффектом памяти формы (ЭПФ), которые обладают обратимостью неупругой деформации. Образцу, находящемуся в аустенитном состоянии (высокотемпературную фазу принято называть аустенитом, низкотемпературную - мартенситом), при повышенной температуре придают нужную форму, затем при более низкой температуре в интервале мартенситного превращения придают новую форму, а после нагрева исходная форма образца восстанавливается. Например, если при повышенной температуре проволоку закрутить в спираль, выпрямить при комнатной температуре, то при последующем нагреве проволока снова примет форму спирали. При теплосменах такие материалы могут многократно обратимо деформироваться, причем восстановление формы не может быть подавлено внешним силовым воздействием. Реактивные напряжения в некоторых материалах с ЭПФ могут достигать 1300 МПа.

Наибольшее практическое применение нашли сплавы Ti-Ni, близкие по составу к эквиатомному (нитинол). Используют также более дешевые сплавы на основе меди (Cu-Al-Ni и Cu-Al-Zn).

Известно, что в случае термоупругого мартенсита при обратном превращении межфазные границы проходят пути, обратные тем, что они проходили при прямом превращении. ЭПФ проявляется в сплавах, характеризующихся термоупругим мартенситным превращением, когерентностью решеток аустенитной и мартенситной фаз и малыми изменениями объема при превращении.

На рисунке представлена зависимость фазового состава от температуры

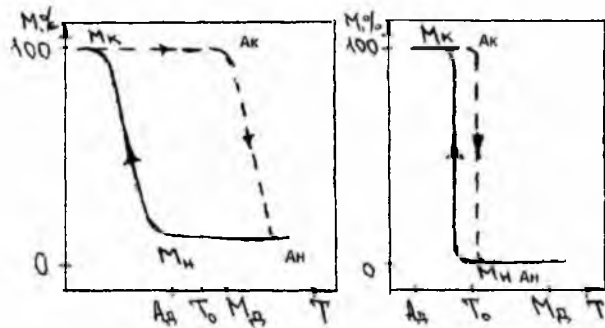


Рисунок 1- Зависимость фазового состава сплава от температуры:  
а- широкий гистерезис; б- узкий гистерезис

При охлаждении из аустенитного состояния мартенситное превращение протекает в интервале  $M_n - M_k$ . При нагреве превращение мартенсита в аустенит в интервале  $A_n - A_k$ . При полном термоциклировании получается гистерезисная петля, температурная ширина которой различна для разных материалов. В процессе превращения межфазные границы между аустенитом и мартенситом сохраняют когерентность и легко подвижны. Для полного восстановления формы необходимо, чтобы мартенситное превращение являлось кристаллографически обратимым: при обратном ( $M \rightarrow A$ ) превращении должна восстанавливаться не только кристаллическая структура исходной фазы (А), но и кристаллографическая ориентировка аустенита перед превращением.

Мартенситное превращение может инициироваться не только изменением температуры, но и механическими напряжениями. Поэтому вводят еще три характеристических температуры на фазовых диаграммах:  $T_0$  - температура термодинамического равновесия;  $M_d$  - температура, ниже которой мартенсит может возникать не только вследствие понижения температуры, но и под действием механических напряжений;  $A_d$  - температура, выше которой аустенит может образовываться не только вследствие нагрева, но и под действием механических напряжений.

При воспрепятствовании восстановлению исходной формы при нагреве сплавы с ЭПФ генерируют реактивные механические напряжения, которые могут достигать значительных величин.

В таблице 1 приведен химический состав и характеристическая температура сплавов никелида титана

Таблица 1- Химсостав и характеристические температуры сплавов никелида титана

Марка сплава	Основные элементы		Примеси, не более				Температура, °С			
	Ni	Ti	Fe	Si	C	Co	$M_n$	$M_k$	$A_n$	$A_k$
ТН-1	53,5-56,5	остальное	0,3	0,15	0,10	-	90	60	100	135
ТН-1К	50,5-53,5	«-»	2,5-4,5	0,15	0,10	0,2	50	20	55	25

Приведем некоторые примеры использования сплавов с ЭПФ.

При освоении космоса необходимо сооружение таких громоздких объектов как антенны. Для этого используют саморазворачивающиеся листы или стержни, свернутые в спирали и помещенные в углубление в спутнике. После запуска и выведения спутника на орбиту антенна нагревается с помощью специального нагревателя или солнечного тепла, в результате чего она разворачивается и выходит в космическое пространство.

Материалы с ЭПФ используют для соединения трубопроводов в авиации, атомных подводных лодках, надводных кораблях, для ремонта трубопроводов для перекачки нефти со дна моря и т.д.

Стопоры из сплавов с ЭПФ позволяют выполнить операции крепления, если невозможно осуществить какие-либо действия на противоположной стороне скрепляемых деталей (например, в герметичной пустотелой конструкции). Принцип действия стопора с ЭПФ показан на рисунке 2.

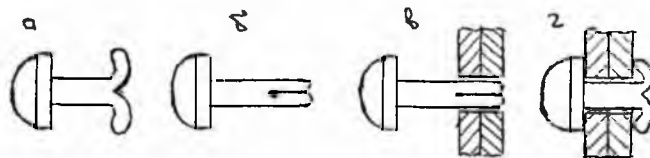


Рисунок 2- Действие стопора с ЭПФ

В исходном состоянии стопор имеет раскрытый торец. Перед операцией крепления стопор погружают в сухой лед или жидкий воздух; после чего выправляют торцы и вводят в отверстие для крепления. При повышении температуры до комнатной происходит восстановление формы, торцы штифта расходятся и операция крепления завершается.

Материалы с ЭПФ используют для создания роботов, действия которых приближаются к действию мускульного механизма. Все большее применение находят материалы с ЭПФ в медицине.