

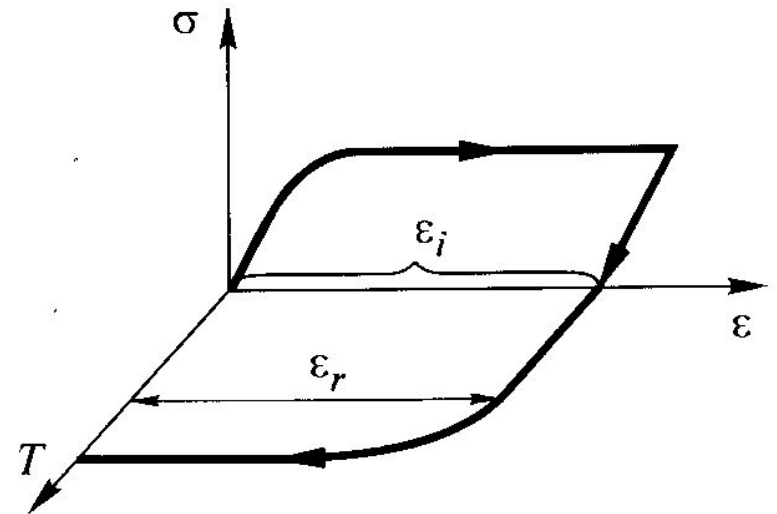
# Эффект памяти формы

Мазаев Павел  
Петров Алексей  
Группа МТ8-113



# Эффект памяти формы

- Восстановление формы при охлаждении после деформации, присущее ЭПФ-сплавам, претерпевшим обратное мартенситное превращение под напряжением или пластически деформированным в состоянии аустенита (как элемент **двустороннего ЭПФ**), также отнесено к ЭПФ

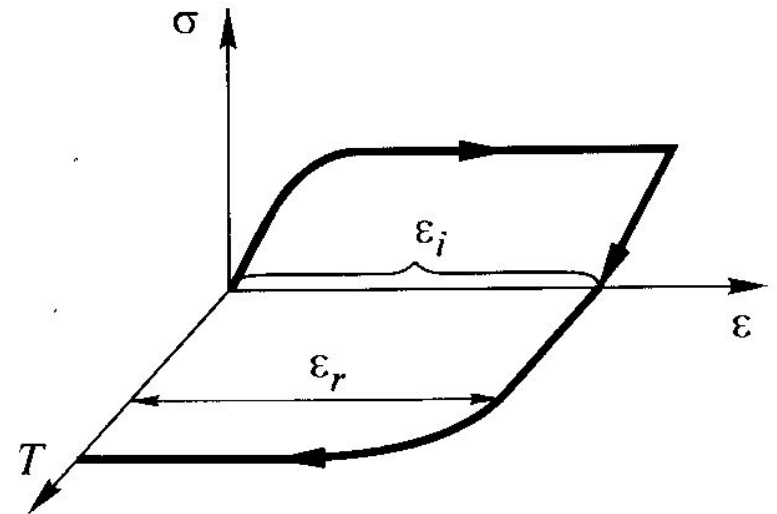


**Эффект памяти формы:**

$\epsilon_i$  - наведенная деформация;  
 $\epsilon_r$  - обратимая деформация

# Эффект памяти формы

- **Мартенситное превращение** – превращение решетки посредством деформации сдвига на основе кооперативного движения атомов
- При подобном кооперативном движении сохраняется однозначное соответствие между узлами решетки исходной фазы и решеткой мартенсита (у исходной фазы упорядоченная решетка – у мартенсита также образуется упорядоченная решетка)
- В основе ЭПФ и

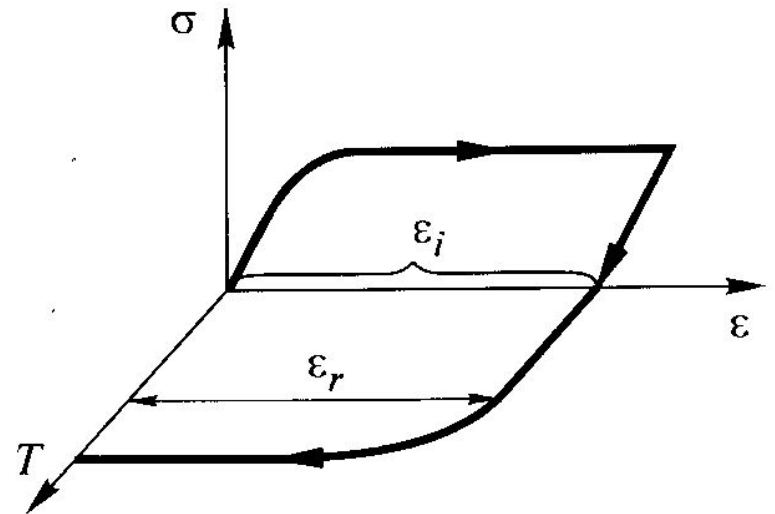


**Эффект памяти формы:**

$\epsilon_i$  - наведенная деформация;  
 $\epsilon_r$  - обратимая деформация

# Эффект памяти формы

- Кристаллы образующегося мартенсита при остановке охлаждения могут прекращать рост, а при последующем нагреве уменьшаются в размерах
- Последовательность исчезновения кристаллов мартенсита при нагреве и обратном превращении мартенсита в аустенит повторяет последовательность их возникновения в обратном порядке

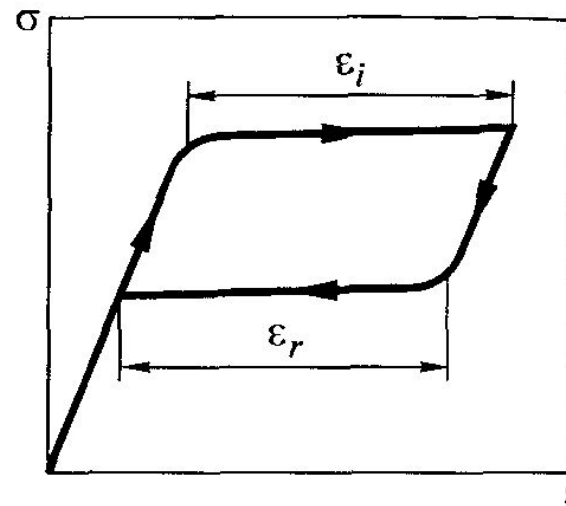


**Эффект памяти формы:**

$\epsilon_i$  - наведенная деформация;  
 $\epsilon_r$  - обратимая деформация

# Псевдоупругость

- Восстановление формы в ходе разгрузки при температуре деформации было названо **псевдоупругостью**



*Диаграмма деформации и разгрузки при реализации сверхупругости (температура постоянна)*

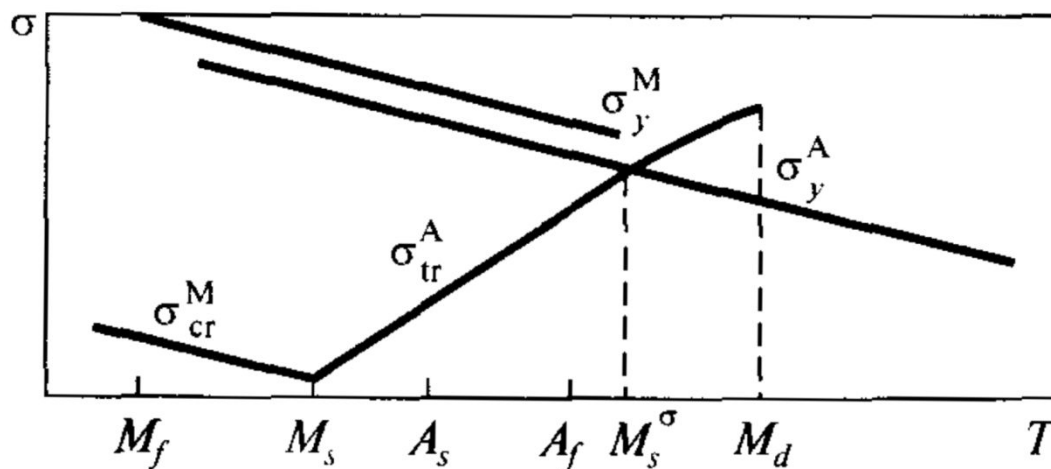
# Сущность процесса восстановления формы

Сущностью является **обратное движение обратимых «носителей» деформации:** межфазных, межкуристалльных и междвойниковых границ.

Поэтому для понимания структурных механизмов восстановления формы и температурных условий их реализации необходимо знать структурные механизмы предшествующей деформации и температурные условия их реализации.

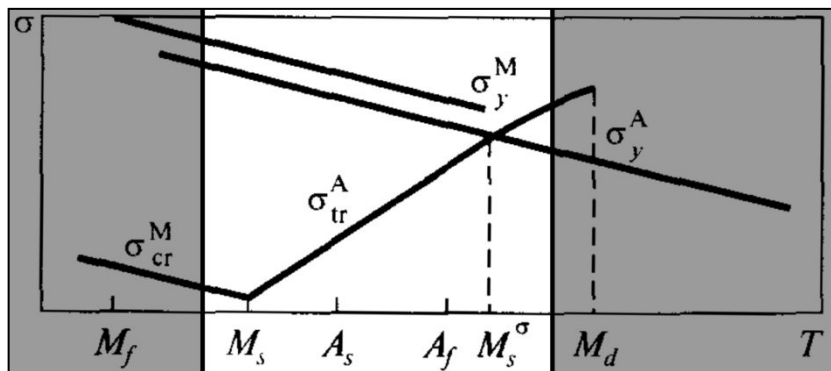
# Условия проявления и механизмы ЭПФ

- На рисунке показаны температурные зависимости обычных пределов текучести аустенита  $\sigma_y^A$  и мартенсита  $\sigma_y^M$ , по достижении которых при данной температуре начинается обычная ПД по механизму дислокационного скольжения
- По оси температур отмечены температуры мартенситного превращения ( $M_s, M_f, M_s^\sigma, M_d$ ) и обратного превращения в аустенит ( $A_s, A_f$ )
- При деформации происходят следующие процессы:

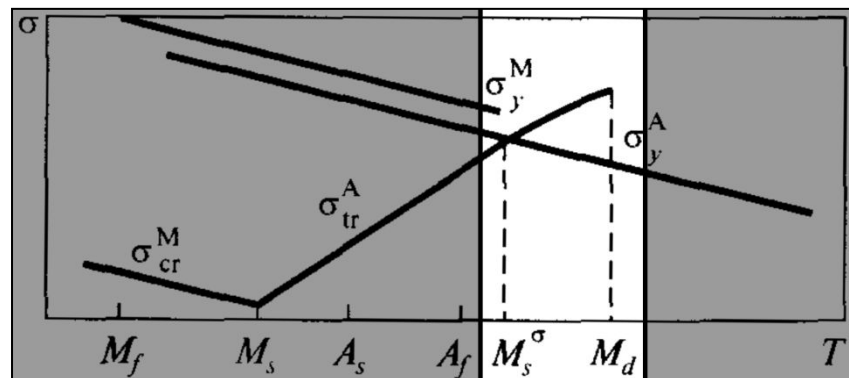




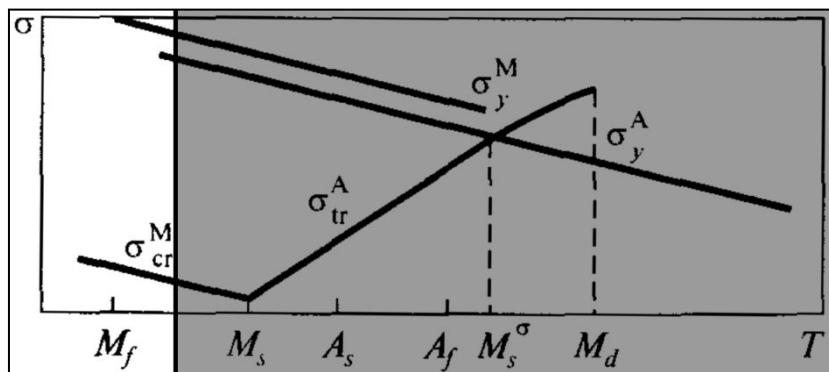
# Деформация в характерных температурных областях



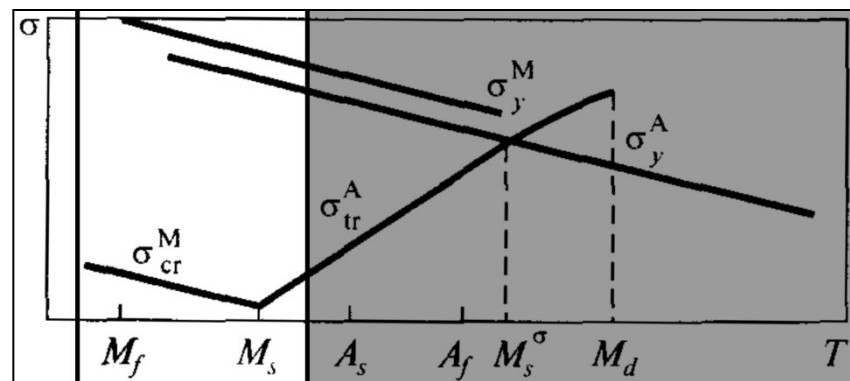
Область  $M_s < T_{\text{деф}} < M_s^\sigma$



Область  $M_s^\sigma < T_{\text{деф}} < M_d$

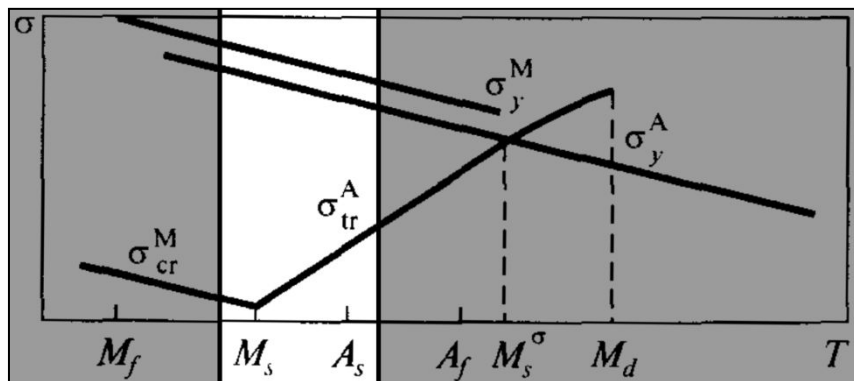


Область  $T_{\text{деф}} < M_f$

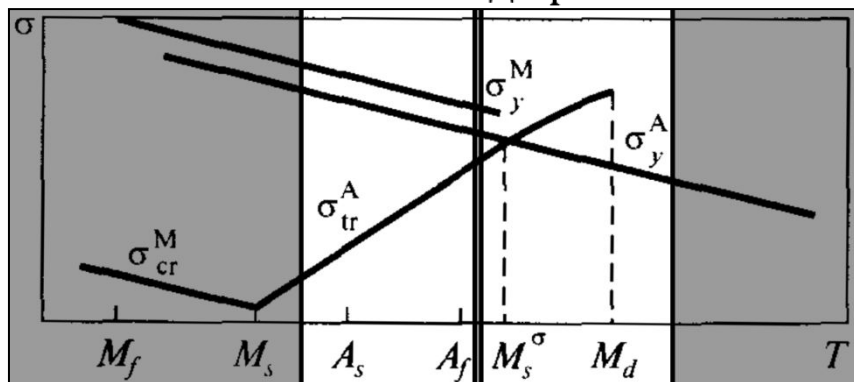


Область  $M_f < T_{\text{деф}} < M_s$

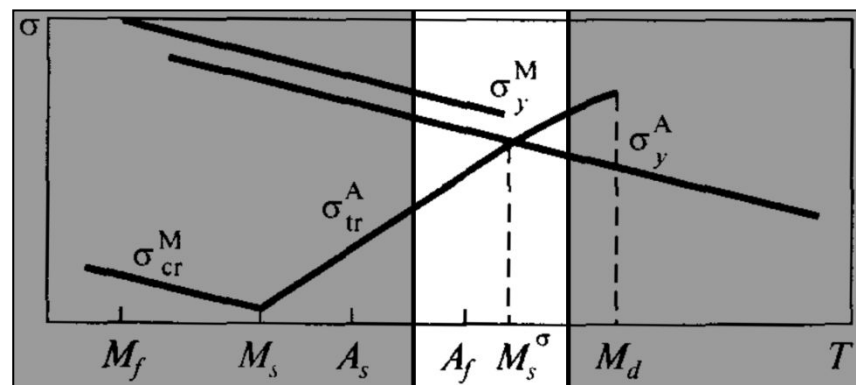
# Механизмы ЭПФ и их температурно-деформационные условия



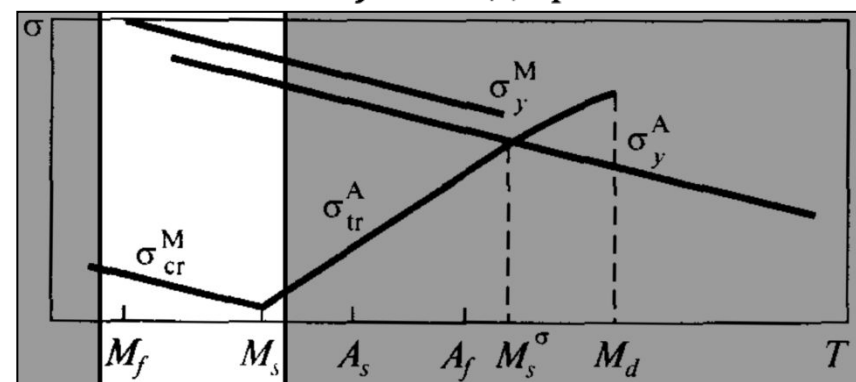
Область  $M_s < T_{\text{деф}} < A_s$



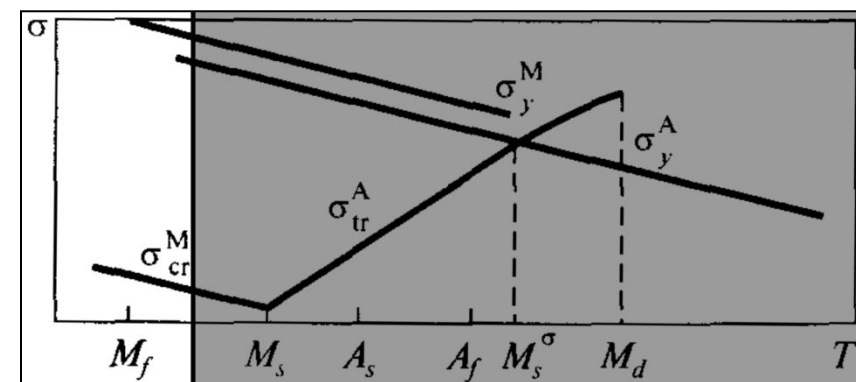
Область  $A_s < T_{\text{деф}} < A_f$   
и  $M_s^\sigma < T_{\text{деф}} < M_d$



Область  $A_f < T_{\text{деф}} < M_s^\sigma$



Область  $M_f < T_{\text{деф}} < M_s$



Область  $T_{\text{деф}} < M_f$

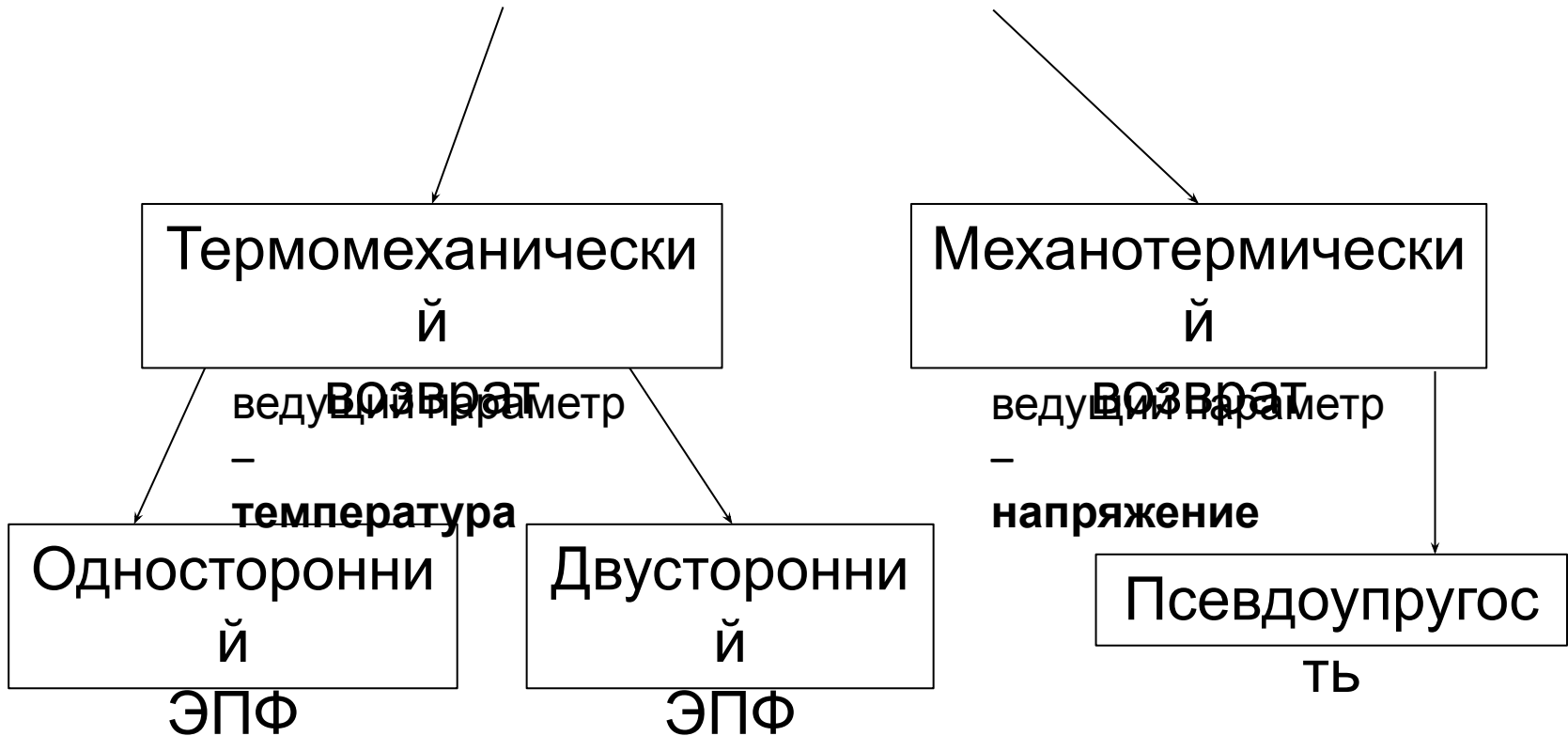
# Структурные механизмы обратимой деформации, обеспечивающие ЭПФ:

- движение когерентной границы мартенсита с аустенитом (или мартенситом другого типа);
- движение границ существующих двойников превращения;
- деформационное двойникование мартенсита;
- движение границы между кристаллами мартенсита;
- образование кристаллов мартенсита новых ориентационных вариантов в существующем мартенсите.

# Факторы, в совокупности обеспечивающие обратимость деформации

1. Должна быть обеспечена термоупругость мартенситного превращения при деформации ЭПФ-сплавов;
2. Должна быть обеспечена кристаллографическая обратимость мартенситного превращения:
  - решетка мартенсита должна иметь более низкую симметрию, чем решетка аустенита;
  - предпочтительна упорядоченная структура исходного аустенита;
  - наличие в аустените неподвижных дислокаций и дислокационных субграниц, наследуемых мартенситом, делает энергетически предпочтительным ориентационный вариант обратного превращения «точно назад»;
3. Должна быть обеспечена обратимость движения дефектов решетки – носителей деформации.

# Классификация ЭПФ



# Системы сплавов с ЭПФ

- Эффект памяти формы проявляется в сплавах
- Au-Cd
- Zn-Al
- Cu-Al-Ni
- Fe-Mn-Si
- Fe-Ni
- Cu-Al
- Cu-Mn
- Co-Ni
- Ni-Al

Наибольшее применение нашел сплав Ni-Ti.

Достоинства:

- Высокая коррозионная стойкость
- Высокая прочность
- Высокий коэффициент восстановления формы и высокая восстанавливающая сила. Деформация до 8 % может полностью восстанавливаться. Напряжение восстановления при этом может достигать 800 МПа.
- Хорошая совместимость с живыми организмами.
- Высокая демпфирующая способность материала.

Недостатки:

- Из-за наличия титана сплав легко присоединяет азот и кислород. Чтобы предотвратить реакции с этими элементами при производстве надо использовать вакуумное оборудование.
- Затруднена обработка при изготовлении деталей, особенно резанием.
- Высокая цена

# Функциональные свойства

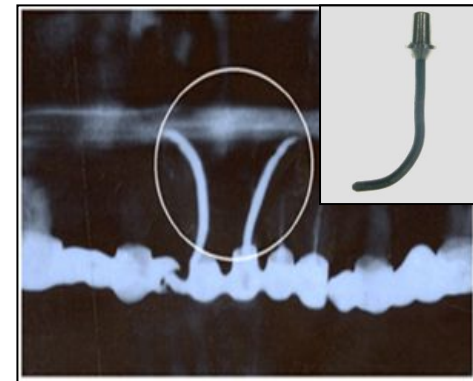
- **Обратимая деформация  $\varepsilon_r$**  - та деформация, которая «возвращается» при восстановлении формы;
- **Степень восстановления формы  $R = \frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_i}$**
- **Температурный интервал восстановления формы** – определяется точками начала  $A_s$  и конца  $A_f$  обратного М-превращения;
- **Реактивное напряжение  $\sigma_r$**  - генерируется материалом в условиях восстановления формы при внешнем механическом противодействии



# Применение ЭПФ-сплавов

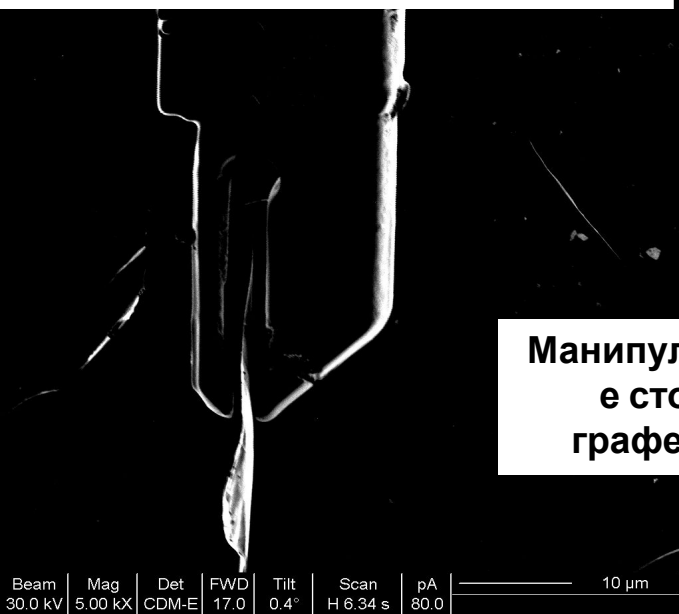
## Медицина и стоматология

- Фильтры для введения в сосуды кровеносной системы. Вводятся в виде прямой проволоки с помощью катетера, после чего они приобретают форму фильтров, имеющих заданную локацию.
- Зажимы для защемления слабых вен.
- Крепежные штифты, предназначенные для фиксации протезов на костях.
- Замещение хрящей головки бедренной кости. Заменяющий материал становится самозажимным под действием сферической формы (головки бедренной кости).
- Стержни для коррекции позвоночника при сколиозе.
- Оправа для очков. В нижней части, где стекла крепятся проволокой. Пластиковые линзы не выскальзывают при охлаждении. Оправа не растягивается при протирке линз и длительном использовании. Используется эффект **сверхупругости**.
- Ортопедические импланты.
- Проволока (ортодонтическая дуга) для исправления зубного ряда.
- Имплантаты дентальные (самофиксация расходящихся элементов в кости)



# Применение ЭПФ-сплавов.

## Нанопинцет



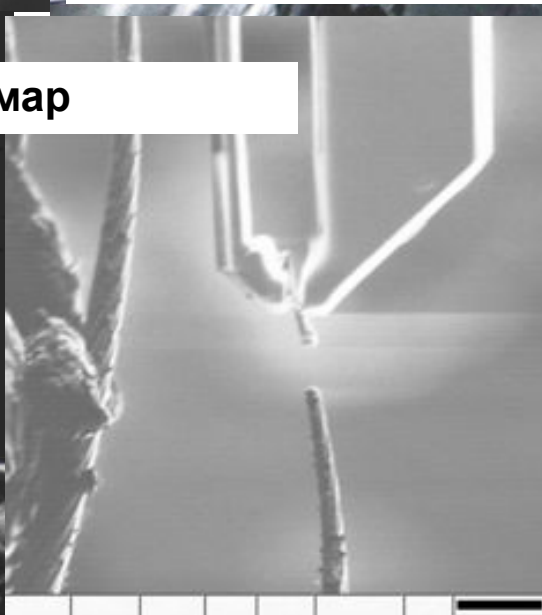
Манипулирование стопкой графеновых листов



Манипулирование пучком УНТ



Манипулирование биологическим объектом (комар обыкновенный)



# Применение ЭПФ-сплавов

## Тепловая сигнализация

- Пожарная сигнализация.
- Противопожарные заслонки.
- Сетевой предохранитель (защита электрических цепей).
- Устройство автоматического открывания-закрывания окон в теплицах.
- Бойлерные баки тепловой регенерации.
- Устройство для удаления тепла из радиатора.
- Устройство для включения противотуманных фар.
- Регулятор температуры в инкубаторе.
- Регулирующие клапаны охлаждающих и нагревательных устройств, тепловых машин.

# Применение ЭПФ-сплавов

