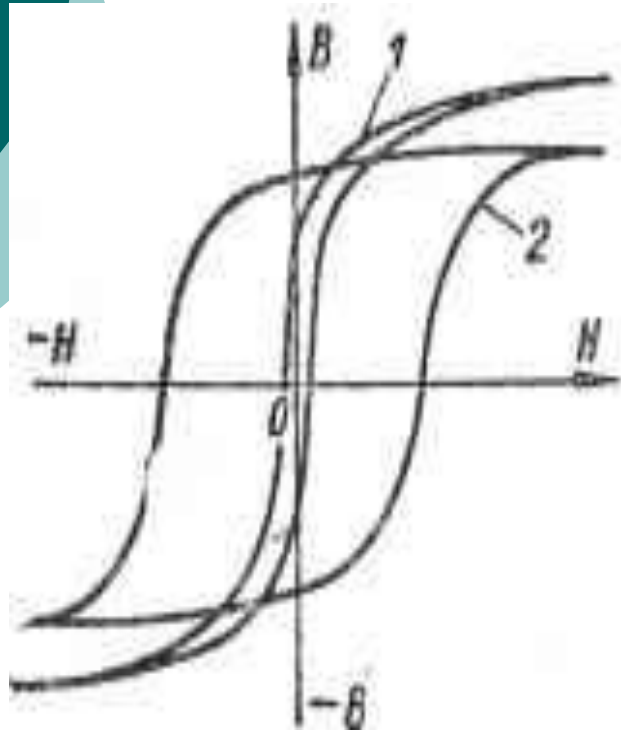


В зависимости от знака и степени магнитной восприимчивости материалов различают:

- *диамагнетики* - обладают отрицательной магнитной восприимчивостью (полупроводники (Si, Ge), диэлектрики (полимеры, Cu, Ag, Be);
- *парамагнетики* - характеризуются слабой намагниченностью под действием внешнего поля (K, Na, Al, Mo, W, Ti);
- *ферромагнетики* - обладают высокой магнитной восприимчивостью (Fe, Co, Ni, Gd).

Основные характеристики ферромагнитных материалов:

- *остаточная индукция* B_r (Тл) – магнитная индукция, остающаяся в образце после его намагничивания и снятия магнитного поля;
- *коэрцитивная сила* H_c (А/м) – напряженность магнитного поля обратного знака, которая должна быть приложена к образцу для его размагничивания;
- *магнитная проницаемость* μ (Гн/м) – интенсивность намагничивания, определяющаяся как тангенс угла наклона к первичной кривой намагничивания $B = f(H)$.



Зависимость магнитной индукции B от напряженности магнитного поля H :

- 1 – магнитомягкие материалы;
- 2 – магнитотвердые материалы.



Магнитные и электротехнические стали и сплавы

Магнитотвердые материалы

Материалы для изготовления постоянных магнитов:

1. Высокоуглеродистые стали ($\sim 1\%$ C), дополнительно легированные хромом (3 %) *EX3*, а также одновременно хромом и кобальтом *EX5K5*, *EX9K15M2*.
2. Сплавы системы Fe-Ni-Co - *альнико* или *ЮНДК* (*ЮНДК31ТЗБА*, *ЮНДК40Т8АА*).
3. Сплавы *пермендур* (50 % Fe, 50 % Co), *перминвар* (45 % Ni, 25 % Co, 23 % Fe).

Для повышения магнитных свойств магнитотвердые сплавы **должны** иметь:

- неравновесную структуру, сопровождающуюся значительными внутренними напряжениями;
- мелкое зерно.

Основные **требования** для магнитомягких материалов:

- низкое значение коэрцитивной силы;
- высокая магнитная проницаемость;
- малые потери при перемагничивании и на вихревые токи.



Материал **должен** обладать:

- гомогенной структурой,
- быть чистым от примесей и включений,
- иметь крупнозернистое строение, свободное от внутренних напряжений.



Магнитные и электротехнические стали и сплавы

Магнитомягкие материалы

Магнитомягкие материалы:

1. Технически чистое железо ($< 0,025 \% \text{ C}$). *Обработка*: высокотемпературный отжиг в безкислородной среде. *Применение*: реле, сердечники, электромагниты постоянного тока.
2. Электротехническая низкоуглеродистая легированная сталь ($0,8-4,8 \% \text{ Si}$).
Маркировка: Э11, Э12, Э320
Обработка: после прокатки подвергается высокотемпературному отжигу в вакууме или атмосфере сухого водорода при $1100-1200^{\circ}\text{C}$.
Применение: реле, сердечники, электромагниты постоянного тока.
3. Высоконикелевые **пермаллои** 79НМ, 81НМА ($\sim 79 \% \text{ Ni}$), иногда с добавками Cr, Mo.
Обработка: вакуумный переплав, прокатка на ленты и листы, отжиг при $1100-1300^{\circ}\text{C}$ в вакууме или водороде. *Применение*: детали для работы в слабых магнитных полях (телекоммуникации).
4. **Альсифер** ($5,4 \% \text{ Al}$, $9,6 \% \text{ Si}$, остальное железо). *Обработка*: изделия изготавливают в виде тонкостенных отливок или методом порошковой металлургии. *Применение*: для работы в слабых полях (радио, телефон).
5. **Ферриты** - магнитная керамика, состоящая из Fe_2O_3 и следующих оксидов: MnO , MgO , ZnO , Li_2O . *Применение*: для высокочастотной техники.

Магнитные и электротехнические стали и сплавы

Магнитомягкие материалы

Магнитные свойства легированной электротехнической тонколистовой стали (ГОСТ 21427-75)

Сталь	Толщина листа, мм	Р _{1,5/50} , Вт/кг	В, Тл, при H, кА/м, не менее	
			2,5	30
Горячекатаная изотропная				
1311	0,50	6,1	1,48	1,95
1411	0,50	4,4	1,46	1,94
1511	0,50	3,5	1,46	1,90
Холоднокатаная изотропная				
2011	0,65	9,0	1,60	2,02
2111	0,65	10,0	1,58	2,0
2211	0,65	7,0	1,56	1,96
2311	0,65	5,8	1,52	1,96
2411	0,50	3,6	1,49	1,96
Холоднокатаная анизотропная				
3411	0,50	2,45	1,75	-
3416	0,28	0,89	1,9	-

Магнитные и электротехнические стали и сплавы

Магнитомягкие материалы

Российская маркировка легированной электротехнической стали

Первая цифра определяет структуру и вид проката:

1 – горячекатаная изотропная;
2 – холоднокатаная изотропная;
3 – холоднокатаная анизотропная с кристаллической структурой направления [100].

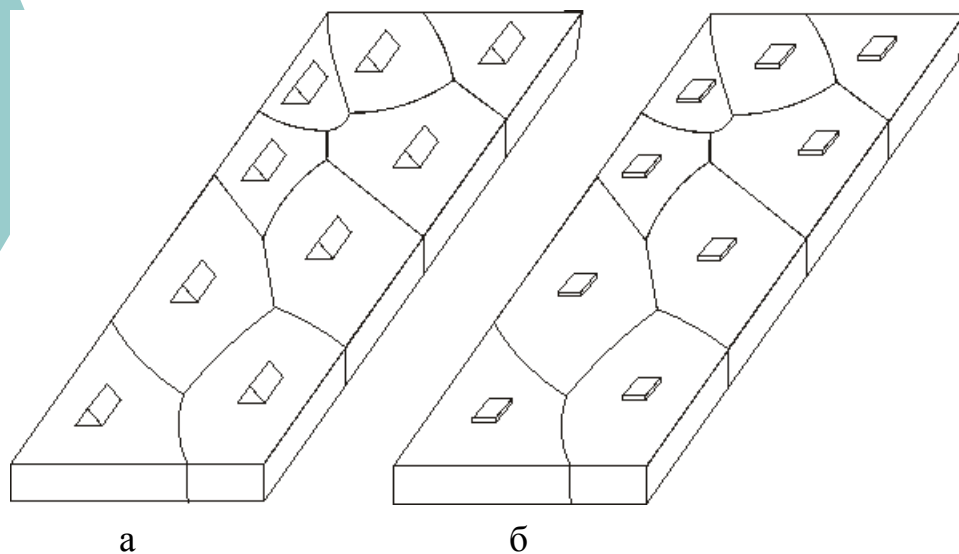
Вторая цифра определяет содержание кремния:

0 - $< 0,4 \%$;
1 – $0,4-0,8 \%$;
2 – $0,8-1,8 \%$;
3 – $1,8-2,8\%$;
4 – $2,8-3,8 \%$;
5 – $3,8-4,8 \%$

1311

Третья цифра определяет потери на гистерезис и тепловые потери при определенном значении B и f

Четвертая цифра – код числового значения нормируемого параметра, чем больше цифра, тем меньше удельные потери $P_{1,5/50}$



Положение элементарных ячеек кристаллической решетки в листе с ребровой текстурой (текстура Госса) (а) и кубической текстурой (б)





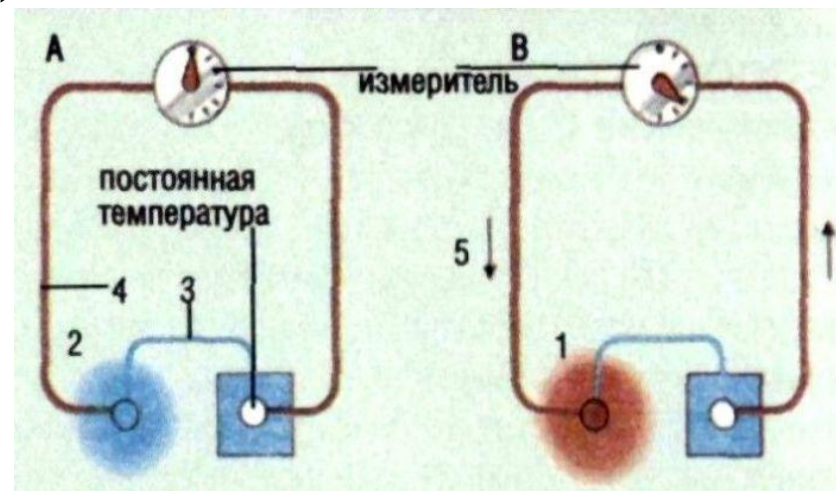
Магнитные и электротехнические стали и сплавы

Электротехнические сплавы

1. В качестве реостатных сплавов применяют сплавы на основе меди с добавками Ni, Mn, Zn: *константан* МНМц40-1,5, *копель* МНМц45-0,5. Максимальная рабочая температура – 500 °С.
2. Для работы при более высоких температурах, для определения температуры в термических печах применяют: платино-платинородиевые термопары, сплавы Ni с 2 % Al (*алюмель*), Ni с 10 % Cr (*хромель*).

А) оба соединения находятся в тепловом равновесии, ток через измеритель не течет;
В) разница температур вызывает ток, который фиксируется измерителем.

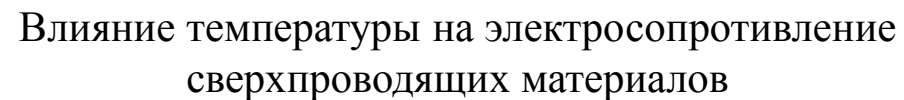
- 1 - «горячий контакт»;
- 2 - «холодный контакт»;
- 3 - висмутовая проволока;
- 4 - медная проволока;
- 5 - электрический ток.





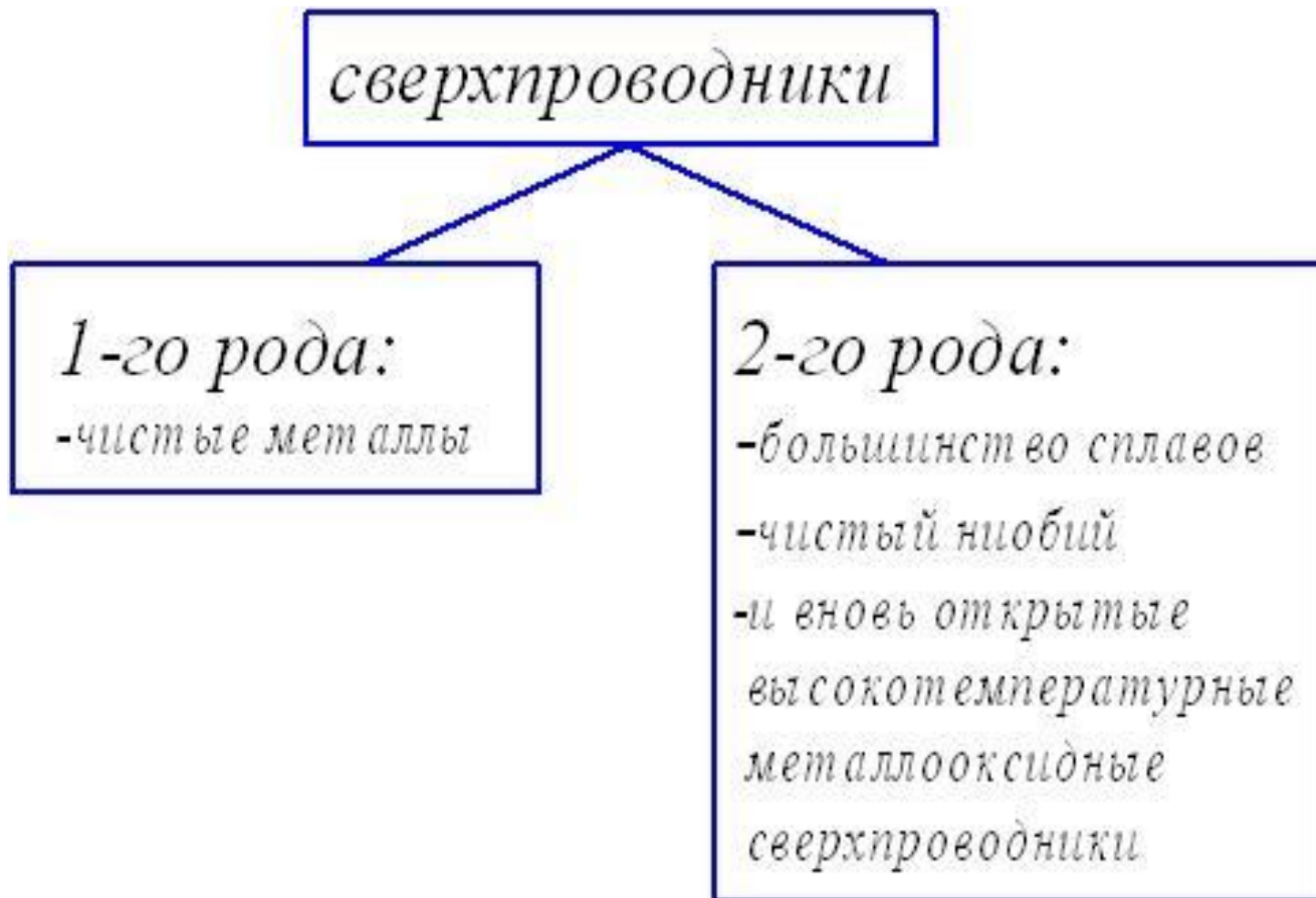
Сверхпроводимость

Сверхпроводимость – способность материала не оказывать сопротивление электрическому току при температурах ниже характерной для них критической температуры T_K

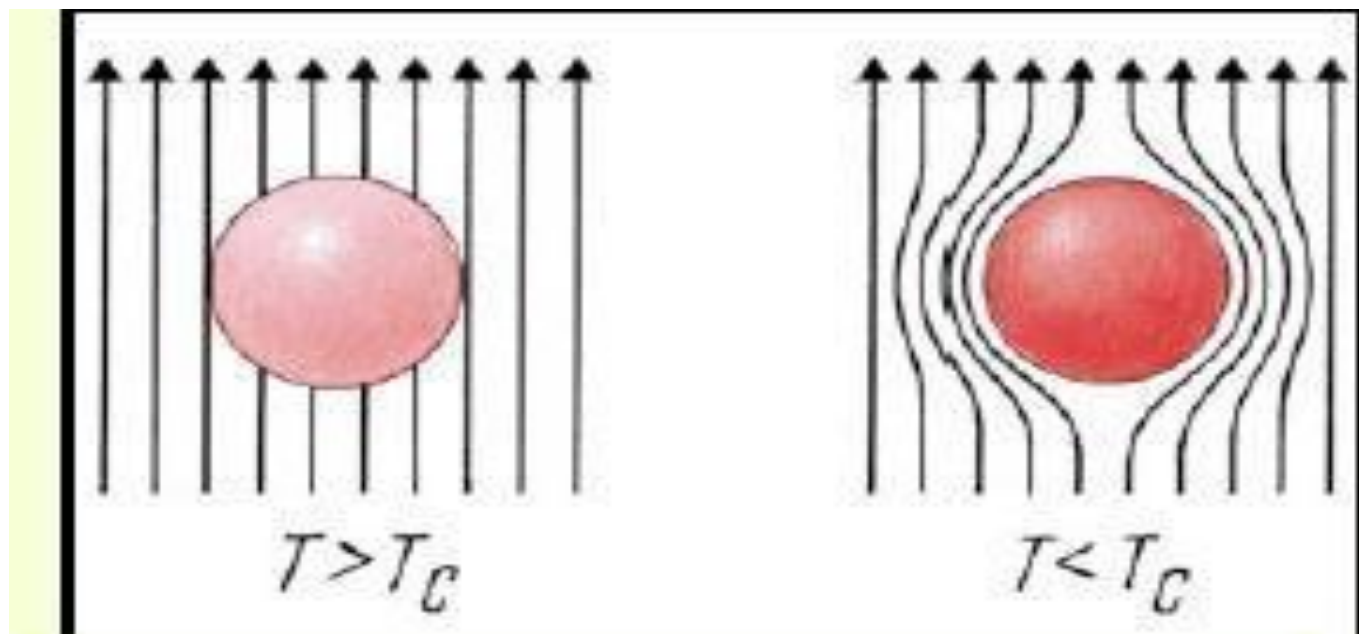


Сверхпроводимость и сверхпроводящие материалы

Сверхпроводящие материалы



Эффект Мейснера в шаре из сверхпроводника



При охлаждении массивного сверхпроводника ниже температуры перехода происходит выталкивание магнитного поля из толщи сверхпроводника образца в окружающее магнитное поле, так что внутри образца (за исключением тонкого поверхностного слоя толщиной 100...1000 ангстрем) оно всегда равно нулю.

Сверхпроводимость и сверхпроводящие материалы

Сверхпроводящие материалы

Критические параметры сверхпроводящих материалов

Материал	Критические параметры		Материал	Критические параметры	
	T_c , К	B_c , Тл, при $T_c = 4,2$ К		T_c , К	B_c , Тл, при $T_c = 4,2$ К
Nb-Zn	9-11	7-9	Nb ₃ Ga	20,2	34
Nb-Ni	8-10	9-13	Nb ₃ Ge	23,2	37
Nb ₃ Sn	18,0	22-25	V ₃ Ga	14,5-15,0	21
Nb ₃ Al _{1-x} Ge _x	20,3-20,5	40	V ₃ Si	17,0	23

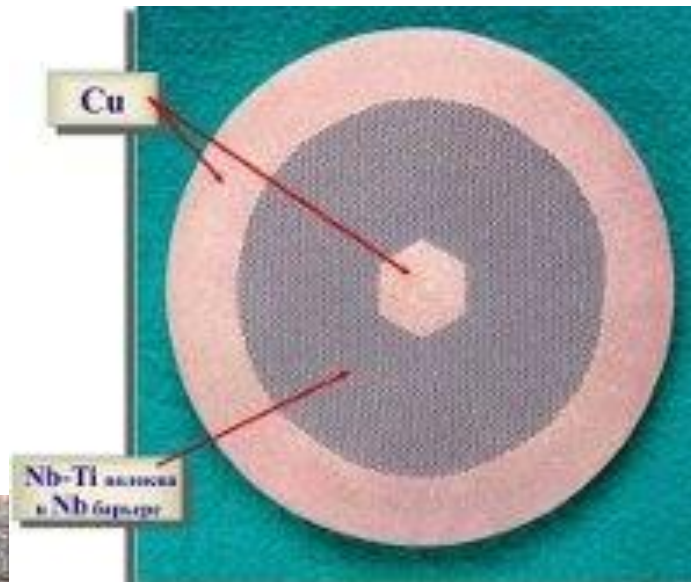
Сверхпроводимость и сверхпроводящие материалы

Технология получения многожильного кабеля



Сверхпроводимость и сверхпроводящие материалы

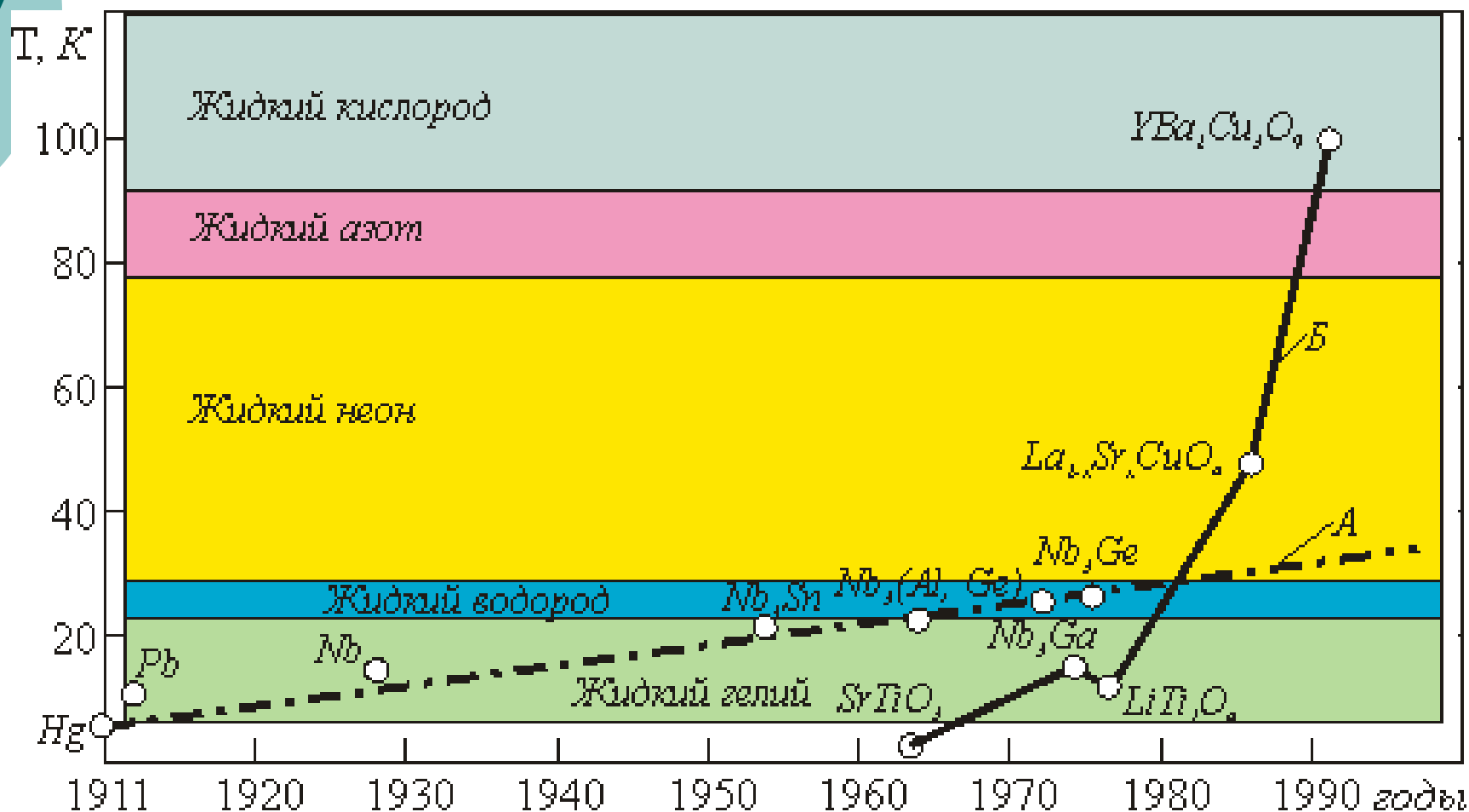
Примеры многожильных кабелей



Сверхпроводимость и сверхпроводящие материалы

Примеры многожильных кабелей

Динамика разработок сверхпроводимости:
А – металлические материалы; Б - керамика



Сверхпроводимость и сверхпроводящие материалы

Перспектива использования

Преимущества:

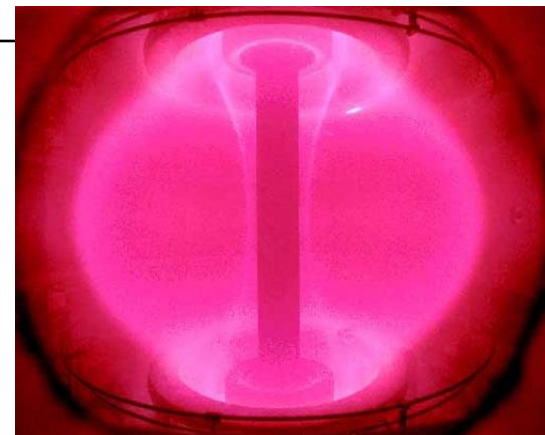
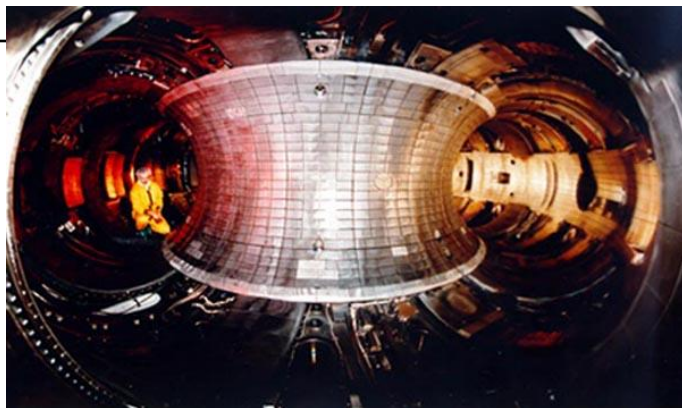
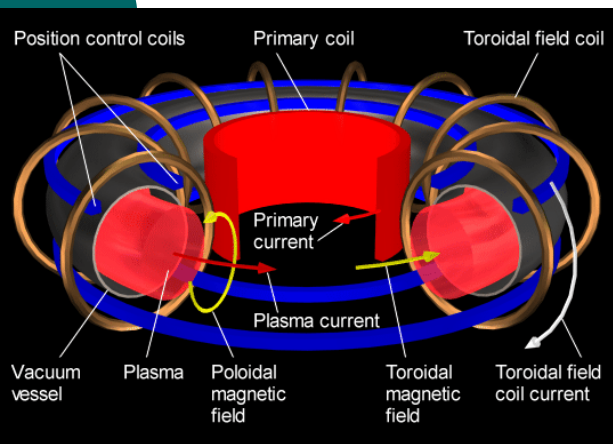
- соленоид из сверхпроводящего материала может работать без подвода энергии извне сколь угодно долго, поскольку однажды возбужденный в нем ток не затухает;
- поддержание соленоида в сверхпроводящем состоянии не требует больших энергетических затрат;
- сверхпроводящие магниты намного компактнее обычных.

Применение:

- используют для исследований в области физики высоких энергий, создания мощных магнитных кольцевых ускорителей частиц и систем управления движением пучков частиц на выходе из ускорителя;
- для осуществления управляемого термоядерного синтеза;
- для изготовления сверхпроводящих генераторов электроэнергии значительно большей мощности;
- для создания поезда без колес с магнитной подвеской и тягой – поезд на магнитной подушке.

Сверхпроводимость и сверхпроводящие материалы

Перспектива использования



Установка «Токамак»



Магнитоплан

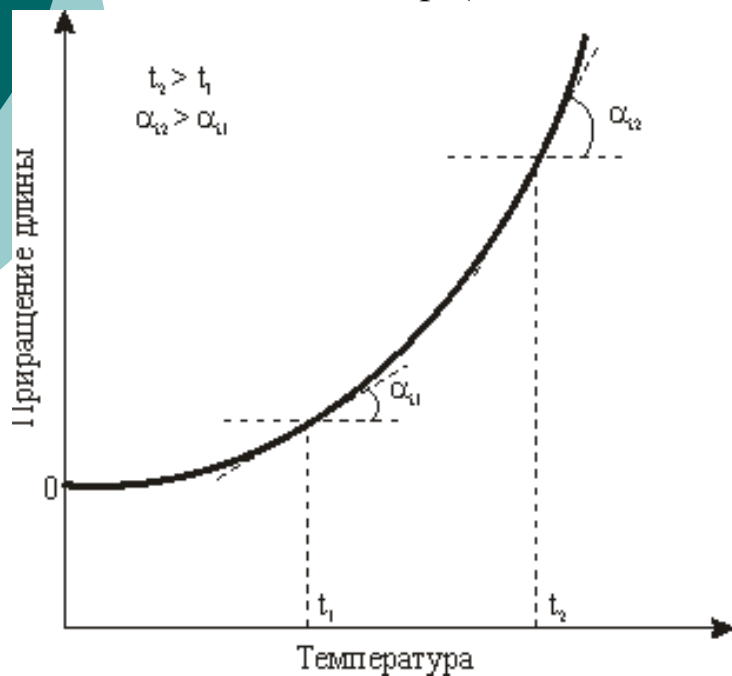


Ходовая часть магнитоплана

Сплавы с особыми тепловыми и упругими свойствами

Общие сведения

Инвар (лат. invariabilis) - неизменный

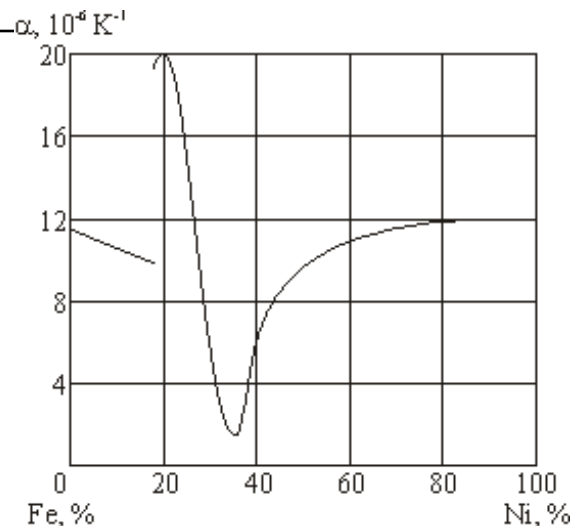


Кривая расширения сплавов при повышении температуры

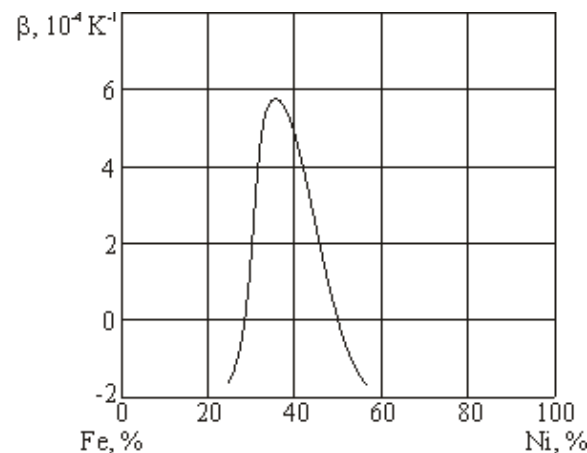
Сплавы, сохраняющие постоянство модуля упругости в широком интервале температур, называются *элинварами*.



*Гийом,
Шарль Эдуар*



ТКЛР сплавов Fe-Ni



ТКМУ сплавов Fe-Ni

Сплавы с особыми тепловыми и упругими свойствами

Общие сведения

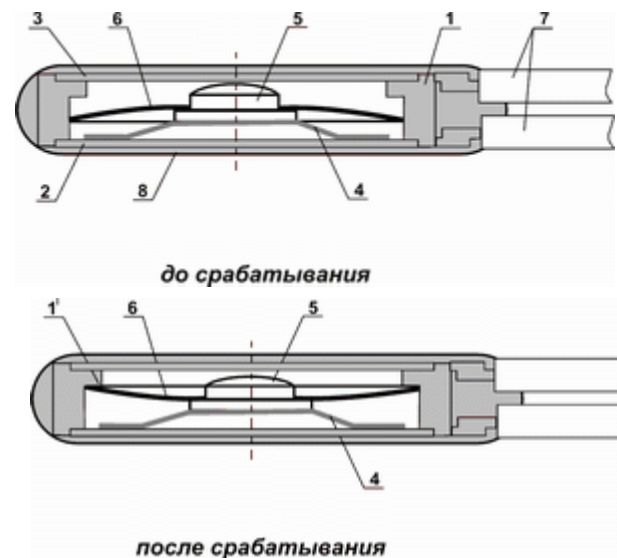
Области применения прецизионных (от франц. Precision – точность) сплавов

Интервал значений ТКЛР, 10^{-7} K^{-1}	Область использования
0-20	Измерительные приборы, геодезические измерительные ленты, регуляторы расширения, компенсационные элементы, компоненты термобиметаллов, криогенная техника
50-80	Регуляторы расширения, компоненты термобиметаллов, спаи с тугоплавким стеклом, металлокерамические соединения, материал сердцевин проволоки с медной оболочкой
80-110	Спаи с низкоплавким стеклом
180-210	Регуляторы расширения, компоненты термобиметаллов

Сплавы с особыми тепловыми и упругими свойствами

Состав и свойства Fe-Ni сплавов с регламентированным ТКЛР (ГОСТ 10994-74)

Названия сплавов	Марка сплава	Массовая доля элементов, %			Тепловые свойства	
		Ni	Co	Cu	Интервал температур, °C	α , 10^{-6} K^{-1}
Инвар	36Н	35-37	-	-	20-80	1,5
Суперинвар	32НКД	31,5-33	3,3-4,2	0,6-0,8	20-100	1,0
Ковар	29НК	28,5-29,5	17-18	-	20-400	4,5-5,2
Платинит	47НД	46-48	-	4,5-5,5	20-400	9,2-10,0



Материалы с эффектом памяти формы

Механизм эффекта памяти формы

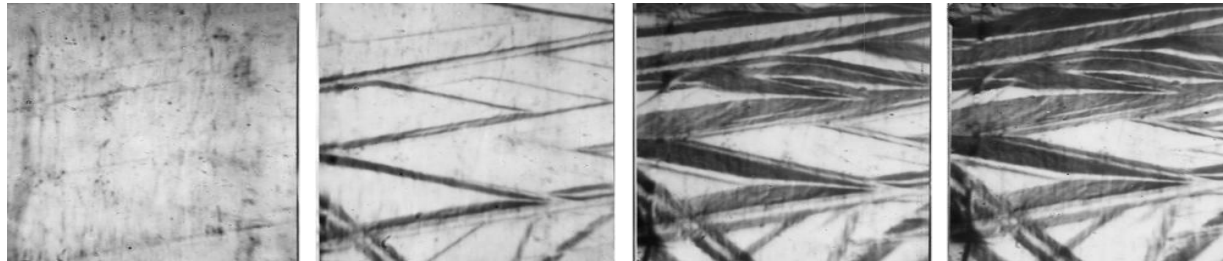


Сплавы с ЭПФ:

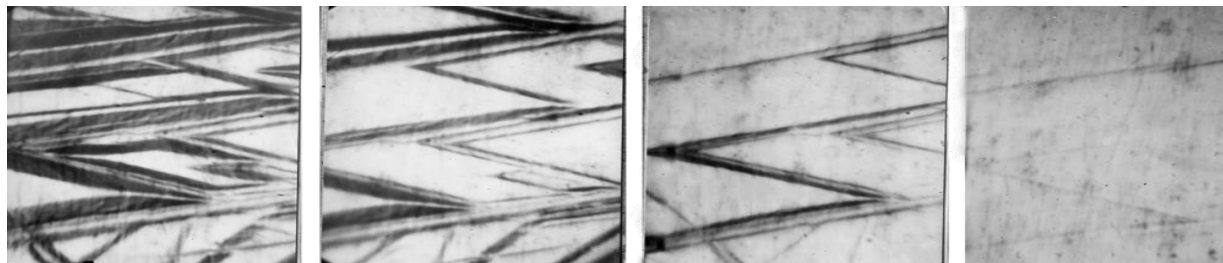
- никелид титана или нитенол (50 % Ni, 50 % Ti);
- сплавы на основе меди: Cu-Al-Ni, Cu-Al-Zn.

ЭПФ проявляется в сплавах, характеризующихся:

- термоупругим мартенситным превращением,
- когерентностью решеток исходной аустенитной и мартенситной фаз,
- малыми изменениями объема при превращениях.



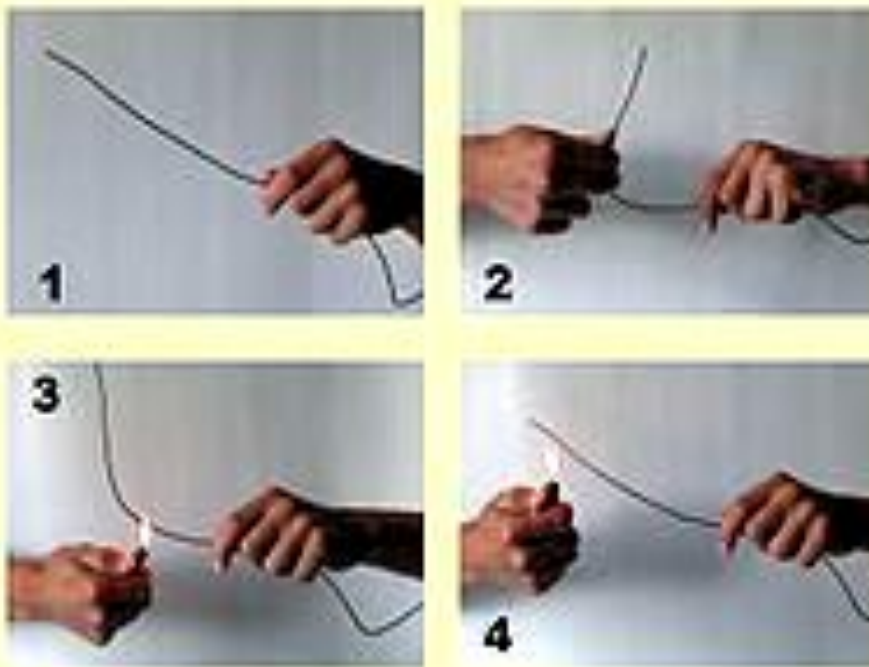
Охлаждение



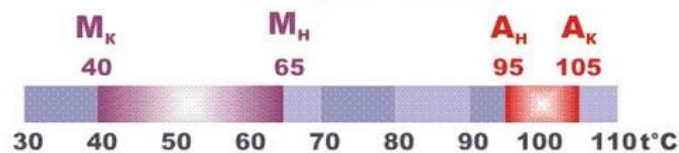
Нагрев

Материалы с эффектом памяти формы

Механизм эффекта памяти формы



TiNi (50%Ni)



прямое
мартенситное
превращение
(при деформации)



обратное
мартенситное
превращение
(при нагреве)

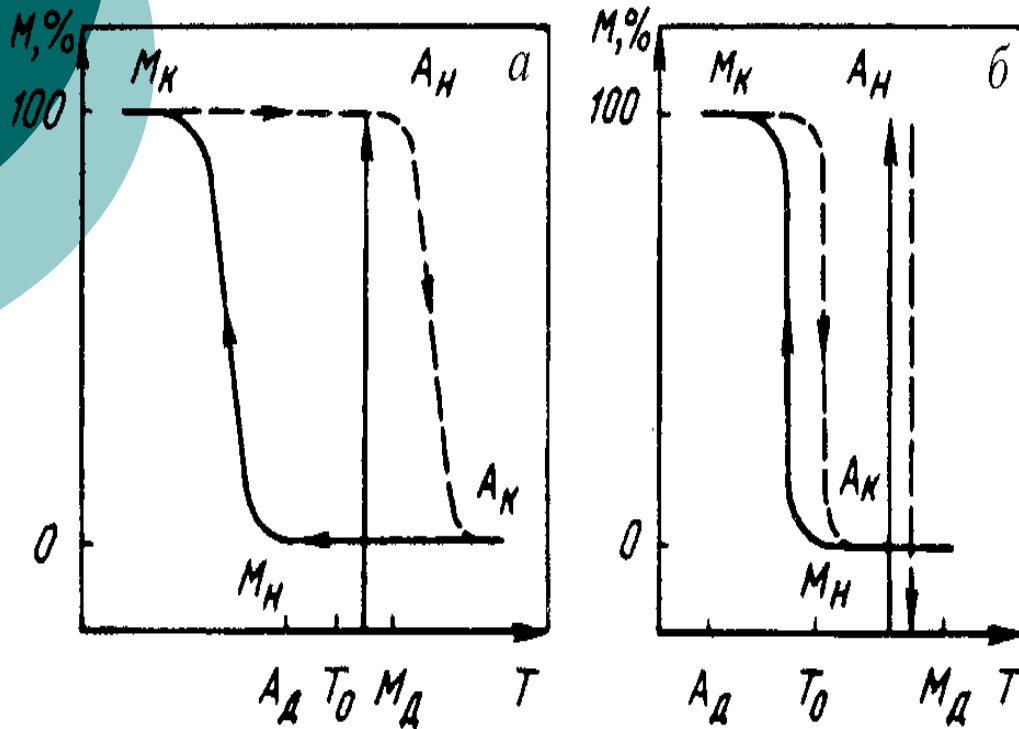


Суть эффекта памяти формы



Материалы с эффектом памяти формы

Механизм эффекта памяти формы



Зависимость фазового состава сплава от температуры:

а – широкий гистерезис; б – узкий гистерезис.

M_H и M_K — начало и конец прямого мартенситного превращения при деформации;

A_H и A_K — начало и конец обратного мартенситного превращения при нагреве;

T_0 — температура термодинамического равновесия;

M_D — температура, ниже которой мартенсит может возникнуть не только вследствие понижения температуры, но и под действием механического напряжения;

A_D — температура, выше которой аустенит может появиться не только под воздействием температуры, но и под действием внешних нагрузжений.

Материалы с эффектом памяти формы

Характеристические температуры сплавов Ti-Ni

Состав, % (ат.0)		Температура, °C			
Ti	Ni	M _H	M _K	A _H	A _K
52,8	47,2	90	60	100	135
50,0	50,0	50	20	55	75
49,5	50,5	25	5	35	60
49,25	50,75	0	-20	10	30
49,0	51,0	-55	-90	-50	-25

Материалы с эффектом памяти формы

Технология производства

Выплавка в вакууме или атмосфере чистого инертного газа

Обработка давлением в интервале температур 700-900 °С

Термофиксация (заневоливание) с нагревом в вакууме до температуры 650-700 °С

Химический состав сплавов никелида титана, % (мас.)

Марка	Основные элементы		Примеси, не более							
	Ni	Ti	Fe	Si	C	N	O	H	Co	Остальное
ТН-1	53,5-56,5	Ост.	0,3	0,15	0,10	0,05	0,2	0,013	-	0,30
ТН-1К	50,0-53,5	Ост.	2,5-4,5	0,15	0,10	0,05	0,2	0,030	0,2	0,30

Достоинства:

1. Превосходная коррозионная стойкость.
2. Высокая прочность.
3. Хорошие характеристиками формозапоминания. Высокий коэффициент восстановления формы и высокая восстанавливающая сила. Деформация до 8 % может полностью восстанавливаться. Напряжение восстановления при этом может достигать 800 МПа.

Недостатки:

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

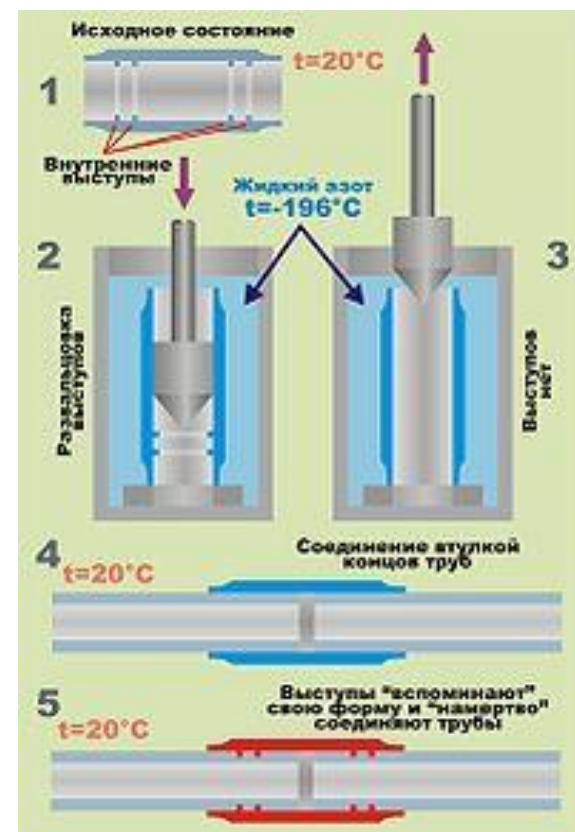
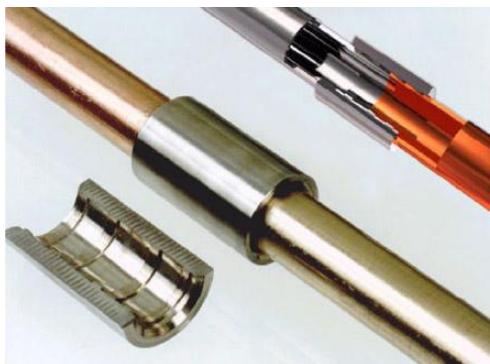
Материалы с эффектом памяти формы

Применение

1. Освоении космического пространства



2. Технология соединения элементов в открытом космосе или под водой с использованием муфты из сплава ТН-1



3. Стопоры из сплава с эффектом памяти формы



4. В силовых конструкциях прессов, домкратов, тепловая сигнализация, пожарная сигнализация, противопожарные заслонки, сигнальные устройства для ванн, сетевой предохранитель, устройство автоматического открывания-закрывания окон в теплицах, бойлерные баки тепловой регенерации, пепельница с автоматическим стряхиванием пепла, электронный контактор, система для предотвращения выхлопа газов, содержащих пары топлива (в автомобилях), устройство для удаления тепла из радиатора, устройство для включения противотуманных фар, регулятор температуры в инкубаторе, регулирующие клапаны охлаждающих и нагревательных устройств, тепловых машин.



Материалы с эффектом памяти формы

Применение. Медицина

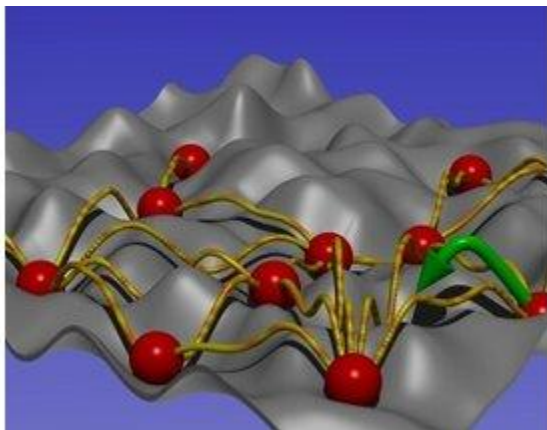
Никелид титана не подвергается коррозии в биологической среде, обладает большой совместимостью с тканями человеческого организма, отсутствие токсичности, канцерогенности, имеет высокое сопротивление к образованию тромбов.

1. Перчатки, применяемые в процессе реабилитации и предназначенные для реактивации групп активных мышц с функциональной недостаточностью.
2. Фильтры для введения в сосуды кровеносной системы. Вводятся в виде прямой проволоки с помощью катетера, после чего они приобретают форму фильтров, имеющих заданную локацию.
3. Зажимы для защемления слабых вен.
4. Искусственные мышцы, которые приводятся в действие электрическим током.
5. Стержни для коррекции позвоночника при сколиозе.
6. Временные зажимные фиксирующие элементы при имплантации искусственного хрусталика.
7. Оправа для очков. В нижней части оправы стекла крепятся проволокой. Пластиковые линзы не выскальзывают при охлаждении. Оправа не растягивается при протирке линз и длительном использовании.
8. Ортопедические импланты.
9. Проволока (ортодонтическая дуга) для исправления зубного ряда.

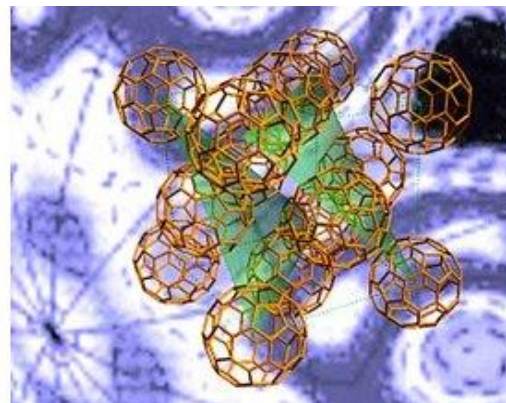


Материалы с эффектом памяти формы

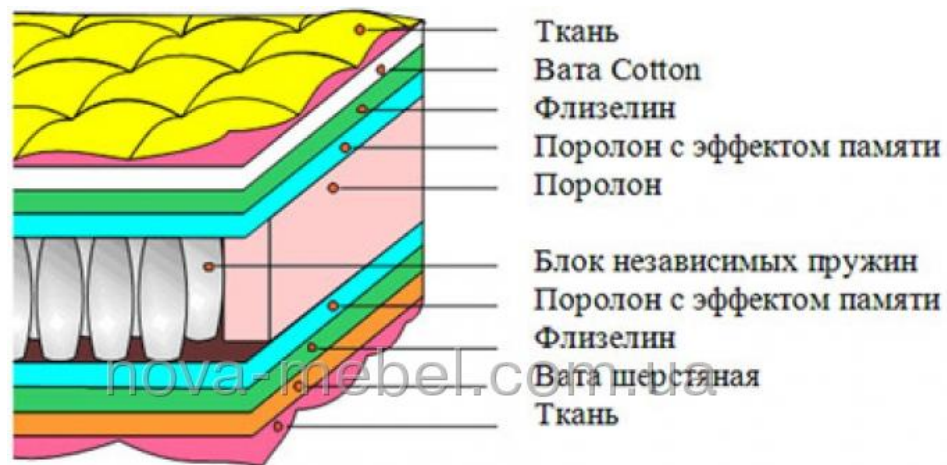
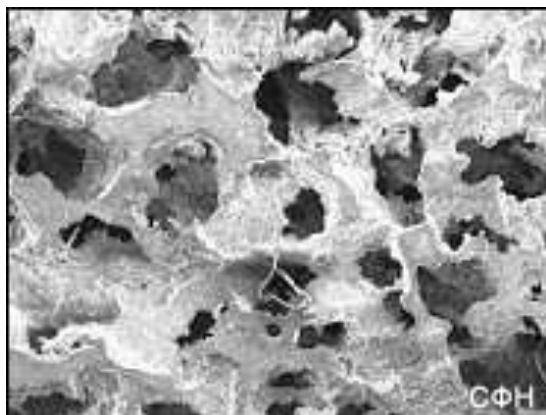
Последние новости



Металлический материал
(удлиняется под действием
магнитного поля)



Полимерный материал
с эффектом памяти формы



Отрпедический матрац с эффектом памяти формы