

**СПЛАВЫ С ОСОБЫМИ
ТЕПЛОВЫМИ И УПРУГИМИ
СВОЙСТВАМИ**

ПЛАН

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

СПЛАВЫ С РЕГЛАМЕНТИРОВАННЫМ ТКЛР

СПЛАВЫ С ПОСТОЯННЫМ МОДУЛЕМ УПРУГОСТИ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Для ряда отраслей машиностроения и приборостроения необходимо применение материалов со строго регламентированными значениями в определенных температурных интервалах эксплуатации таких физических свойств, как **температурные коэффициенты линейного расширения α (ТКЛР) и модуля нормальной упругости β (ТКМУ).**

Эти коэффициенты определяют характер изменения размеров детали и модуля упругости сплава при нагреве.

СПЛАВЫ С РЕГЛАМЕНТИРУЕМЫМ ТКЛР

широко применяются в приборостроении, авиационно-космической отрасли, машиностроении. Также, достаточно часто из таких сплавов изготавливают мерительный инструмент.

Главное требование, которое предъявляется к деталям из таких сплавов это размерная стабильность в определенном интервале температур.

Коэффициент линейного расширения - это физическая величина α в 10^{-6} степени, которая измеряется величиной обратной температуре $1/^\circ\text{C}$ ($1/^\circ\text{K}$). Он характеризует относительное изменение линейных размеров тела с увеличением температуры на 1 градус.

В зависимости от величины ТКЛР сплавы делятся на три группы:

- 1) сплавы с минимальным, близким к нулю, ТКЛР;
- 2) сплавы с низким ТКЛР;
- 3) сплавы со средним ТКЛР.

СПЛАВЫ С РЕГЛАМЕНТИРУЕМЫМ ТКЛР

Сплавы с минимальным значением ТКЛР

Основным представителем сплавов с минимальным ТКЛР является сплав 36Н - **инвар**.

Это аустенитный сплав, состоящий из 0,05% С, 36% Ni, Fe - ост.

Инвар имеет самые низкие значения коэффициента α ($\alpha = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$) в интервале температур от -100 до +100 °С. Благодаря высокому уровню механических свойств и технологичности инвар используется в качестве **конструкционного материала для деталей, от которых требуется постоянство размеров при меняющихся температурных условиях эксплуатации.**

Из инвара изготавливают жесткозакрепленные трубопроводы сложной пространственной формы, перекачивающие сжиженные газы в криогенных установках. Малая величина ТКЛР позволяет уменьшить напряжения в трубопроводах и предотвратить возможность их разрушения. Отпадает необходимость установки сильфонных узлов для компенсации деформации, что упрощает конструкцию и делает ее более надежной.

СПЛАВЫ С РЕГЛАМЕНТИРУЕМЫМ ТКЛР

ТКЛР сплавов зависит от предварительной обработки. Минимальное значение коэффициента α инвара достигается после закалки от 830 °С, в результате которой примеси переходят в твердый раствор, и отпуска при 315 °С. Холодная деформация также способствует снижению ТКЛР. В результате комбинации обеих обработок α становится почти равным нулю.

Замена части никеля равным количеством кобальта и легирование малыми добавками меди позволяет дополнительно снизить ТКЛР инвара. Такой сплав называют **суперинваром**.

Сплав 32НДК состоит из ~0,05С, 32% Ni, ~3,5% Со, ~0,7% Сu.

Суперинвар имеет коэффициент линейного расширения α , не более $1 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$

Для конструкций и трубопроводов, работающих при низких температурах, применяются сплавы **36НХ** и **39Н**, структура и свойства которых стабильны до температуры жидкого гелия.

Рассмотренные сплавы не упрочняются термообработкой, их прочность возрастает после наклепа.

СПЛАВЫ С РЕГЛАМЕНТИРУЕМЫМ ТКЛР

Сплавы с низким и средним ТКЛР

Сплавы этих групп предназначены для вакуумноплотных соединений с неорганическими диэлектриками — стеклом, керамикой, слюдой, искусственным сапфиром и т. д. Указанные сплавы в интервале рабочих температур от -70 до $+550^{\circ}\text{C}$ имеют ТКЛР, близкий или равный по величине ТКЛР соединяемых с ними диэлектриков.

Из сплавов данных групп наиболее широко известен сплав 29НК (**ковар**). Он имеет такой же ТКЛР, как и термостойкое стекло. В коваре часть никеля заменена кобальтом, который повышает точку Кюри и расширяет область применения сплава до 420°C . Сплав хорошо спаивается со стеклом, так как оксидный слой достаточно прочно связан с основным металлом и хорошо смачивается расплавленным стеклом.

Ковар технологичен, хорошо обрабатывается давлением и резанием и поэтому широко применяется в электровакуумном производстве.

СПЛАВЫ С РЕГЛАМЕНТИРУЕМЫМ ТКЛР

Для **сплавов 47НД, 47НД-ВИ, 52Н, 52Н-ВИ**, применяемых также в качестве магнитных материалов для герметизированных магнитоуправляемых контактов, дополнительно к ТКЛР нормируется также индукция насыщения (не менее 1,4—1,5 Тл) и коэрцитивная сила (не менее 16 А/м).

Стали с определенным тепловым расширением служат также для изготовления **термобиметаллов**, когда слой с низким тепловым расширением ("пассивный слой") путем прокатки надежно соединяют с другим слоем, обладающим более высоким тепловым расширением ("активный слой"). Биметаллические пластины используют в качестве терморегулятора в приборостроении. Нагрев такой пластинки приводит к ее искривлению, позволяющему замкнуть электрическую цепь. Основным свойством термобиметаллов является термочувствительность, т.е. способность изгибаться при изменении температуры.

В качестве пассивной составляющей обычно применяют инвар 36Н с ТКЛР $\alpha = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, а в качестве активной – Fe-Ni сплавы с ТКЛР около $20 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, содержащие 8-27 % Ni, дополнительно легированные Cr, Mn, Mo.

СПЛАВЫ С РЕГЛАМЕНТИРУЕМЫМ ТКЛР

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	$\alpha, 10^{-6}K^{-1}$
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

СПЛАВЫ С ПОСТОЯННЫМ МОДУЛЕМ УПРУГОСТИ

обладают высокими упругими свойствами в сочетании с другими специальными свойствами (повышенной прочностью и коррозионной стойкостью, немагнитностью, заданным значением модуля нормальной упругости (E) и температурным коэффициентом модуля упругости (β_y)).

По способу упрочнения и физико-механическим свойствам сплавы с заданными свойствами упругости можно условно разделить на три группы:

1) дисперсионно-твердеющие коррозионно-стойкие сплавы на основе никеля (97НЛ, 68НХВКТЮ) и на основе систем **Fe — Ni — Cr** (36НХТЮ, 36НХТЮ5М, 36НХТЮ8М) и **Fe — Cr — Ni** (17ХНГТ), упрочняющиеся в результате закалки и старения или закалки, холодной пластической деформации и старения;

2) деформационно-твердеющие коррозионно-стойкие сплавы на основе системы **Co — Cr — Ni** (40КХНМ и 40КНХМВТЮ), упрочняющиеся только в результате закалки, холодной пластической деформации и старения;

3) сплавы с температурно-стабильным модулем упругости (элинвары) на основе систем **Fe — Ni — Cr** (42НХТЮ, 42НХТЮА, 44НХТЮ) и **Fe — Ni — Co** (43НКТЮ).

СПЛАВЫ С ПОСТОЯННЫМ МОДУЛЕМ УПРУГОСТИ

Дисперсионно-твердеющие коррозионно-стойкие сплавы обладают повышенными прочностными и упругими свойствами, теплостойкостью, коррозионной стойкостью в атмосферных условиях и ряде агрессивных сред. Из них изготавливают упругие чувствительные элементы и детали приборов, работающих в агрессивных средах и в широком диапазоне температур.

Деформационно-твердеющие сплавы на основе системы Co — Cr — Ni имеют очень высокую прочность, твердость, износостойкость и коррозионную стойкость. Они немагнитны. Основное назначение сплавов — заводные пружины различных механизмов, керны электроизмерительных приборов, хирургические детали. Сплавы упрочняют термомеханической обработкой, включающей закалку, холодную пластическую деформацию с большой степенью обжатия и старение. Основное упрочнение сплавов происходит в процессе холодной пластической деформации.

Сплавы с температурно-стабильным модулем упругости (элинвары). Элинвары — сплавы на основе систем Fe — Ni — Cr и Fe — Ni — Co, обладающие температурно-стабильным модулем упругости при 100—350°C, имеющие повышенные прочностные и упругие свойства. Указанные сплавы ферромагнитны. Они сохраняют низкий температурный коэффициент модуля упругости до температуры магнитного превращения — точки Кюри.

СПЛАВЫ С ПОСТОЯННЫМ МОДУЛЕМ УПРУГОСТИ

Уровень ТКМУ чистого железоникелевого сплава даже при небольших колебаниях концентрации никеля, неизбежных в сталеплавильном производстве, становится нестабильным и претерпевает значительные изменения.

Легирование хромом повышает стабильность сплава.

Элинвар, содержащий 36% Ni и 12% Cr, характеризуется такими же значениями ТКМУ, как и чистый Fe–Ni сплав, но менее зависящими от возможных отклонений в концентрации никеля. Однако он имеет более низкие механические свойства, которые нельзя улучшить термической обработкой из-за стабильности аустенитной структуры. Кроме того, температура Кюри этого сплава составляет около 100 °С, что ограничивает температурный интервал его применения.

СПЛАВЫ С ПОСТОЯННЫМ МОДУЛЕМ УПРУГОСТИ

Для повышения температуры Кюри в элинварах увеличивают концентрацию никеля, а для улучшения механических свойств элинвары дополнительно легируют титаном, алюминием или бериллием и подвергают двойной закалке 900-950 °С в воде и старению при 600-700 °С в течение 4 ч.

Состав и свойства элинварных сплавов (ГОСТ 10994-74)

Марка сплава	Массовая доля элементов, %, остальное – железо				Механические свойства после термообработки			$\alpha, 10^{-6} \text{K}^{-1}$	Температура эксплуатации, °С
	Ni	Cr	Ti	Al	$\sigma_{0,005}, \text{МПа}$	$\delta, \%$	E, ГПа		
42НХТЮ	41,5-43,5	5,3-5,9	2,4-3,0	0,5-1,0	590-690	10-15	177-186	9,5	От -269 до +100
44НХТЮ	43,5-45,5	5,0-5,6	2,2-2,7	0,4-0,8	590-640	10-15	177-181	8,0	От -269 до +200
30Н25КТЮ*	29,5-30,5	–	2,7-3,0	0,5-1,0	–	–	–	–	От -269 до +400

* Данный сплав содержит 25,5-26,5 % Со

$\sigma_{0,005}$ - предел упругости условный с допуском на остаточную деформацию 0,005%

СПЛАВЫ С ПОСТОЯННЫМ МОДУЛЕМ УПРУГОСТИ

После первой закалки элинварные сплавы высокопластичны. Относительное удлинение сплава 42НХТЮ составляет не менее 30%, сплава 44НХТЮ – не менее 20%. В этом состоянии они могут подвергаться штамповке и механической обработке.

При повторной закалке избыточные фазы растворяются в аустените, а при старении из твердого раствора происходит выделение упрочняющих дисперсных фаз $(\text{FeNi})_3(\text{TiAl})$, Ni_3Ti .

К наибольшему упрочнению приводит сочетание низкотемпературной термомеханической обработки с последующим старением.

Элинварные сплавы типа 42НХТЮ, 44НХТЮ применяют для изготовления упругих чувствительных элементов : расходомеров, регуляторов скорости и датчиков линейных ускорений, динамометров электронных весов, спиралей часовых механизмов.

СПЛАВЫ С ПОСТОЯННЫМ МОДУЛЕМ УПРУГОСТИ

Сплав 30Н25КТЮ относится к элинварам с наиболее высокой точкой Кюри (470 °С). Благодаря этому он сохраняет температурную стабильность упругих свойств вплоть до 400 °С. Сплав рекомендуется применять после низкотемпературной термомеханической обработки с последующей закалкой и старением.

Учитывая большое влияние предшествующей обработки на свойства, конкретный режим деформации и термической обработки подбирается для каждой партии сплава в зависимости от заданных механических свойств. Высокий запас пластичности в горячем и холодном состоянии позволяет изготавливать изделия сложной формы.