

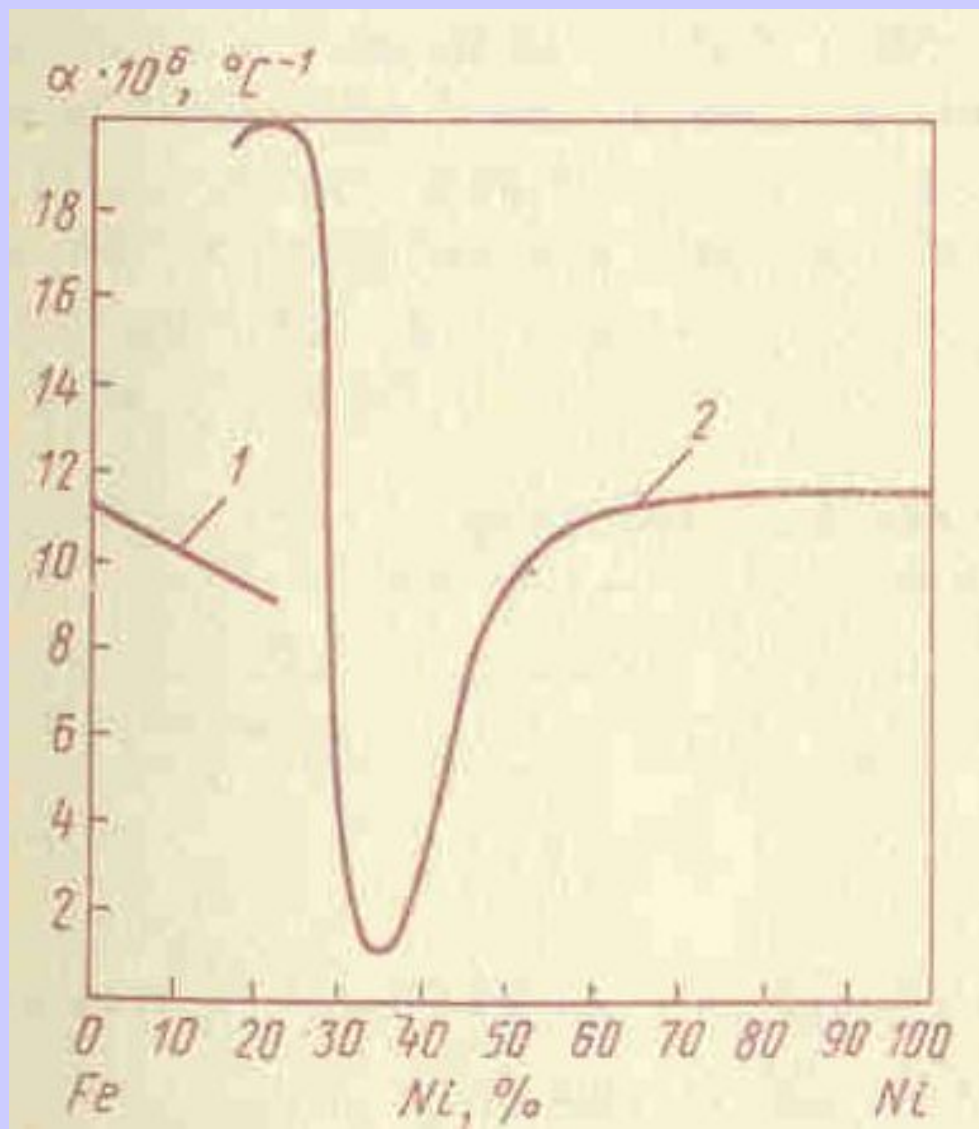
Материалы с особыми тепловыми свойствами

**Сплавы с заданным
температурным коэффициентом линейного расширения**

К этой группе материалов относят сплавы системы *Fe-Ni*

Химический состав позволяет создавать сплавы с малым температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР) – *инварные сплавы*

Зависимость температурного коэффициента линейного расширения от содержания никеля в железоникелевых сплавах



- 1- α -фазы
- 2- γ -фаза

Низкое значение ТКЛР имеет ферромагнитную природу и объясняется большой магнитострикцией парапроцесса

Основная кривая намагничивания

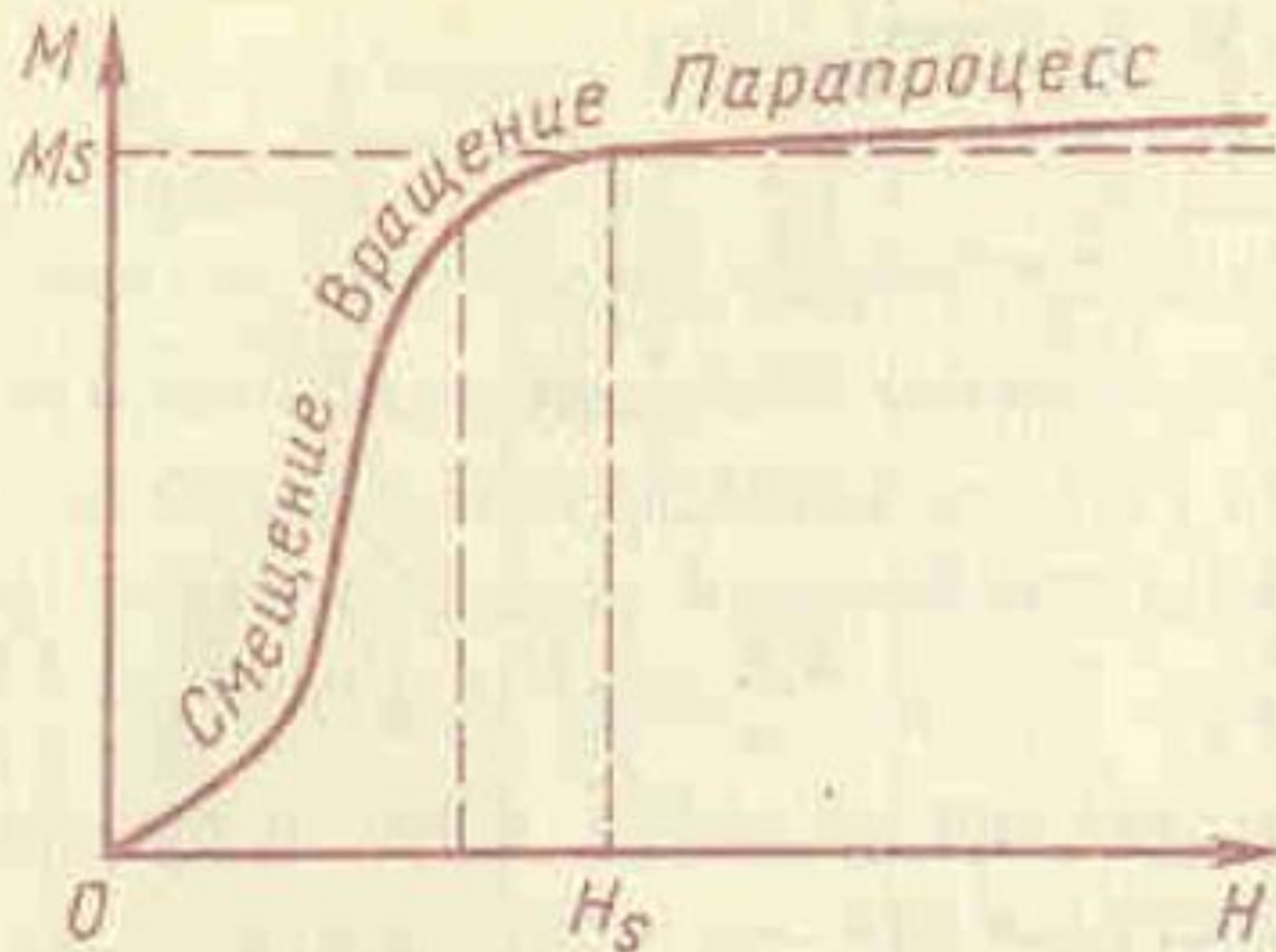
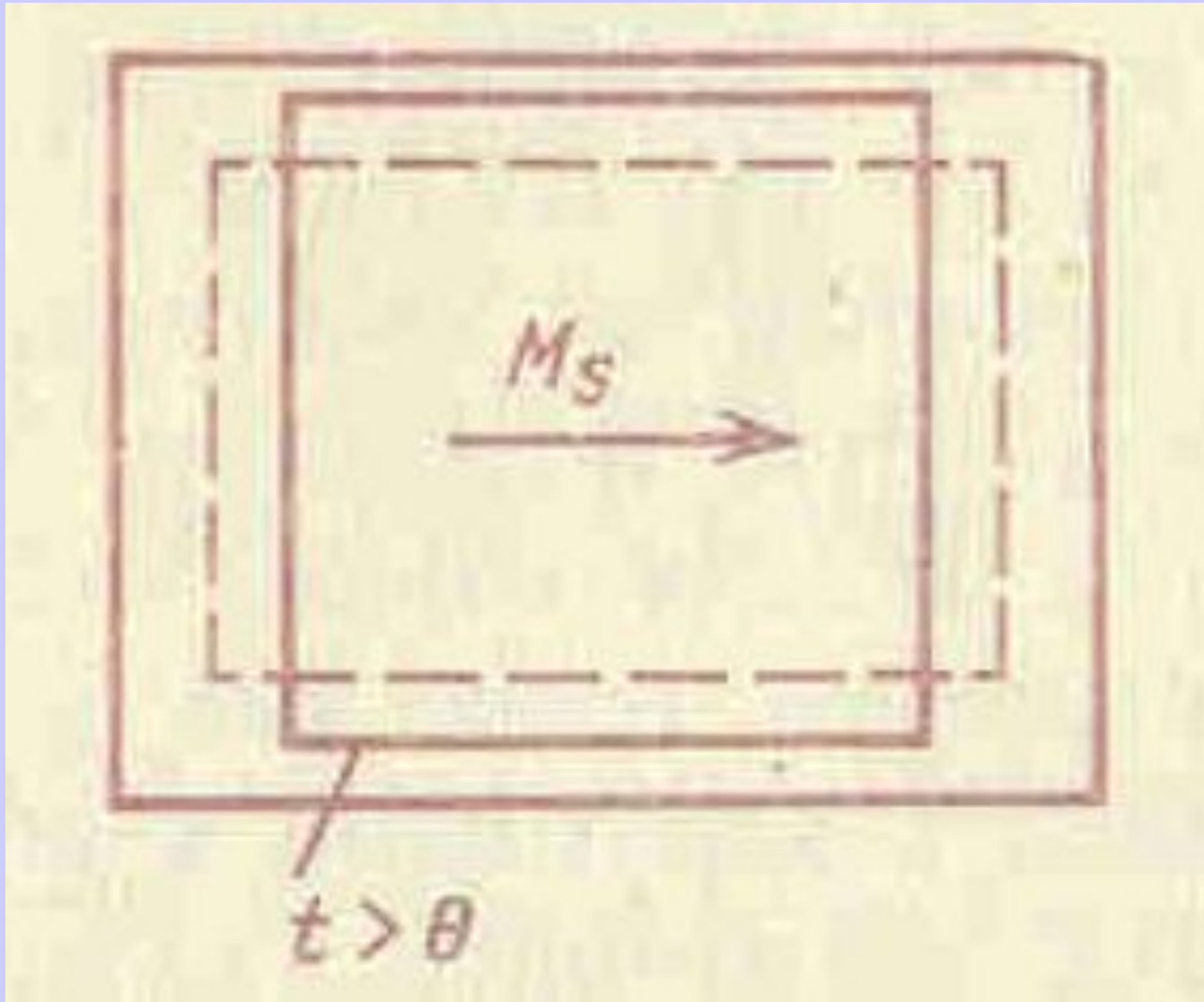


Схема изменения формы и размера домена ферромагнетика под влиянием внутреннего магнитного поля



В сплавах инварного типа размеры ферромагнетика увеличены из-за большой объемной магнитострикции

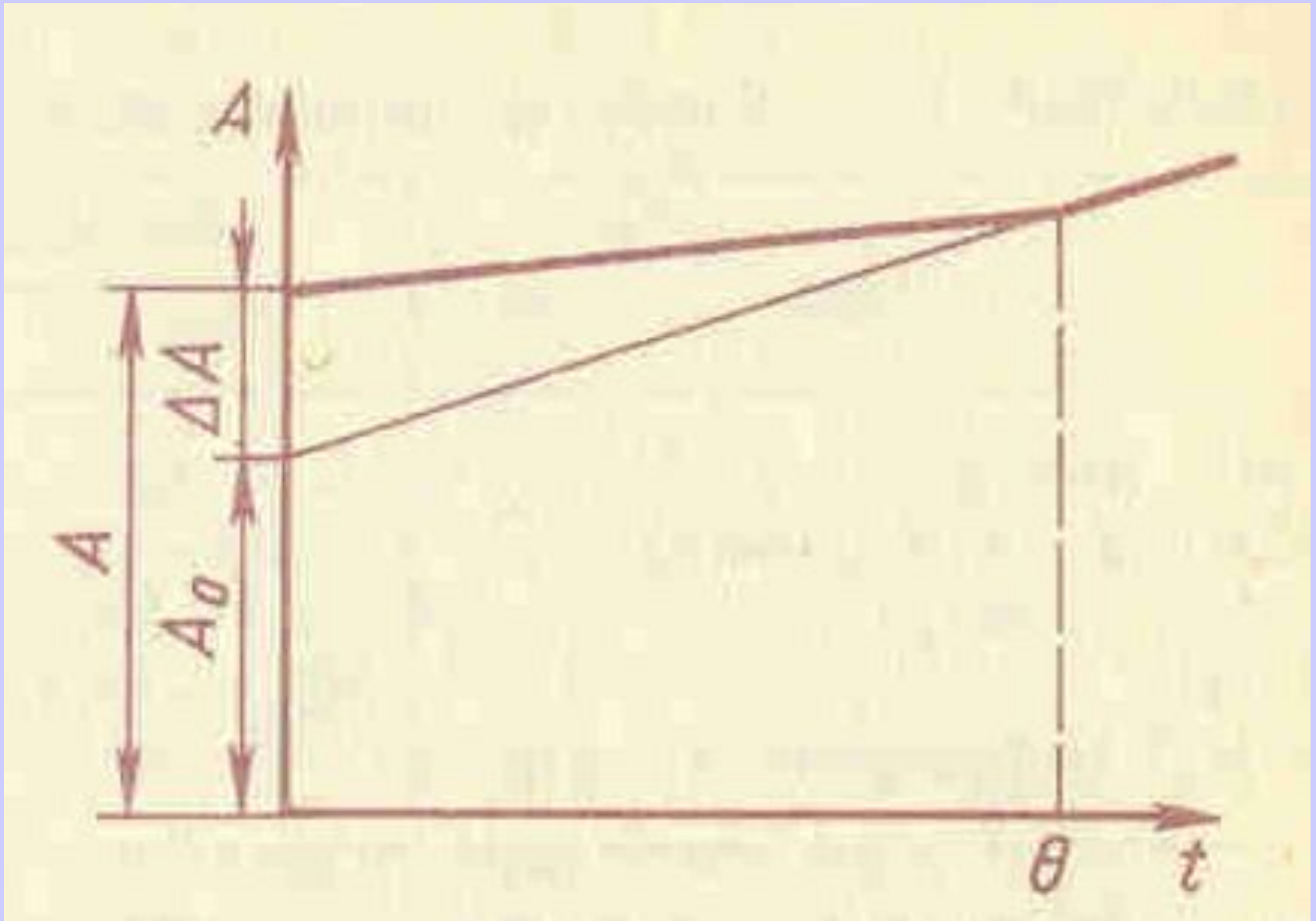
ТКЛР для ферромагнетиков в общем виде определяется:

$$\alpha = \alpha_0 - \Delta$$

Размеры детали из инварного сплава при нагреве изменяются согласно формуле:

$$A = A_0 (1 + \alpha t)$$

Схема изменения размера кристалла инварного сплава при нагреве



Сплав, содержащий 54%*Co*, 9%*Cr*, 37%*Fe*, в интервале температур 20-70°C имеет $\alpha = -1,2 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Свойства сплавов инварного типа (ГОСТ 10994-74)

Сплав	Массовая доля элементов, %			$\alpha \cdot 10^6$, 1/°C	Температурный интервал измерения, °C
	Ni	Co	Cu		
36Н (инвар)	35–37	—	—	1,5	–60 ÷ 100
32НКД (суперинвар)	31,5–33	3,2–4,2	0,6–0,8	1	–60 ÷ 100
29НК (ковар)	28,5–29,5	17–18	—	4,5–6,5	–70 ÷ 420
33НК	32,5–33,5	16,5–17,5	—	6–9	–70 ÷ 470
47НД (платинит)	46–48	—	4,5–5,5	9–11	–70 ÷ 440

Значения ТКЛР зависят от содержания примесей (особенно углерода) и технологии термической обработки сплава

Инвар - Закалка 850°С, отпуск 315°С, 1 ч, старение 95°С, 48 ч

**Сплавы с заданным
температурным коэффициентом модуля упругости**

К этой группе материалов относят сплавы системы *Fe-Ni*

Химический состав позволяет создавать сплавы с малым температурным коэффициентом модуля нормальной упругости – *элинварные сплавы*

Применяют сплавы для изготовления упругих элементов и пружин точных приборов и механизмов (пружины, камертоны, резонаторы, электромеханических фильтров)

Внешние растягивающие напряжения действуют на ферромагнетик подобно магнитному полю.

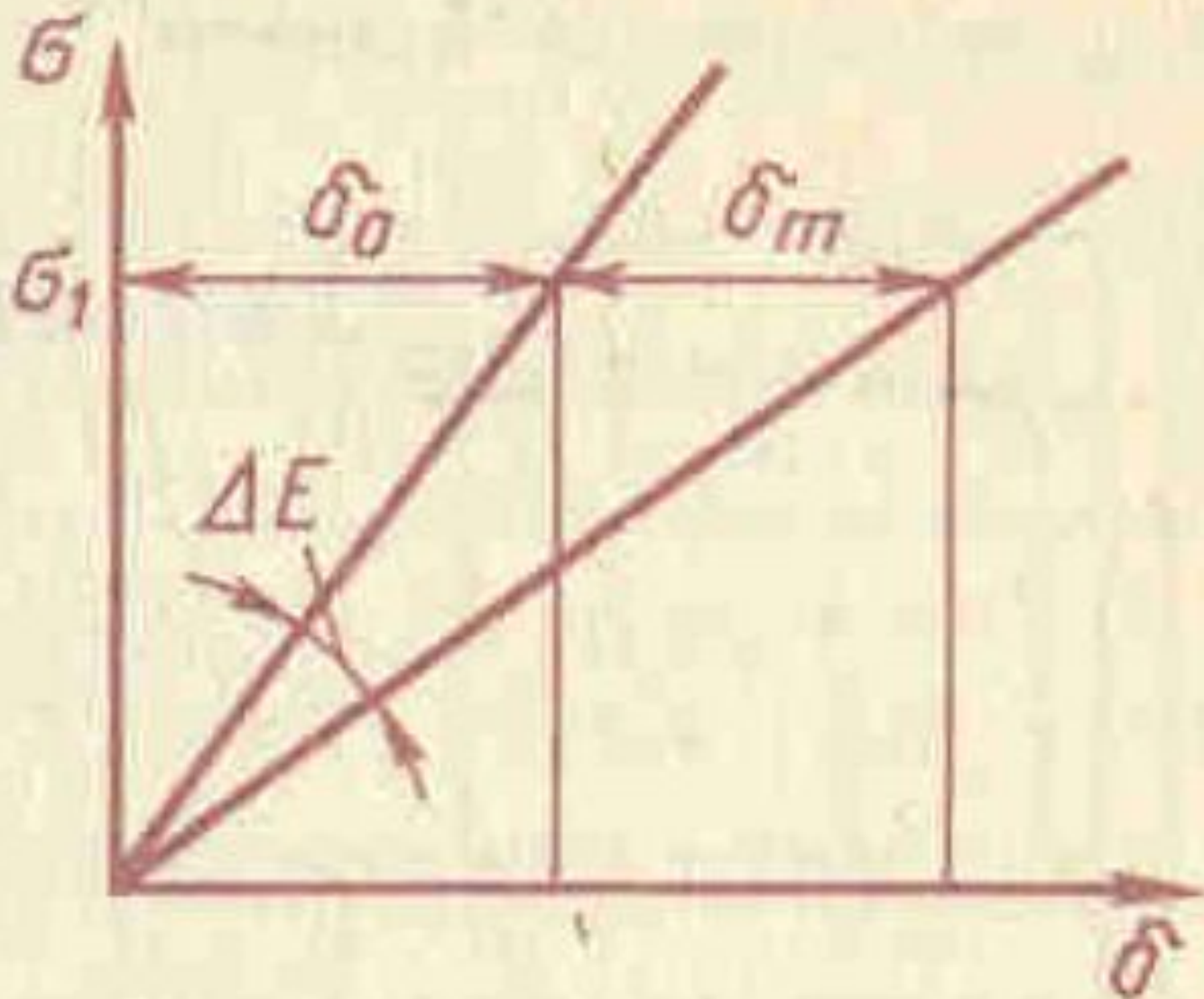
Они ориентируют магнитные векторы доменов и вызывают магнитострикцию, которую в данном случае называют

механострикцией

$$E = \frac{\sigma}{(\delta_0 + \delta_m)}$$

Модуль нормальной упругости для ферромагнетика определяется по формуле:

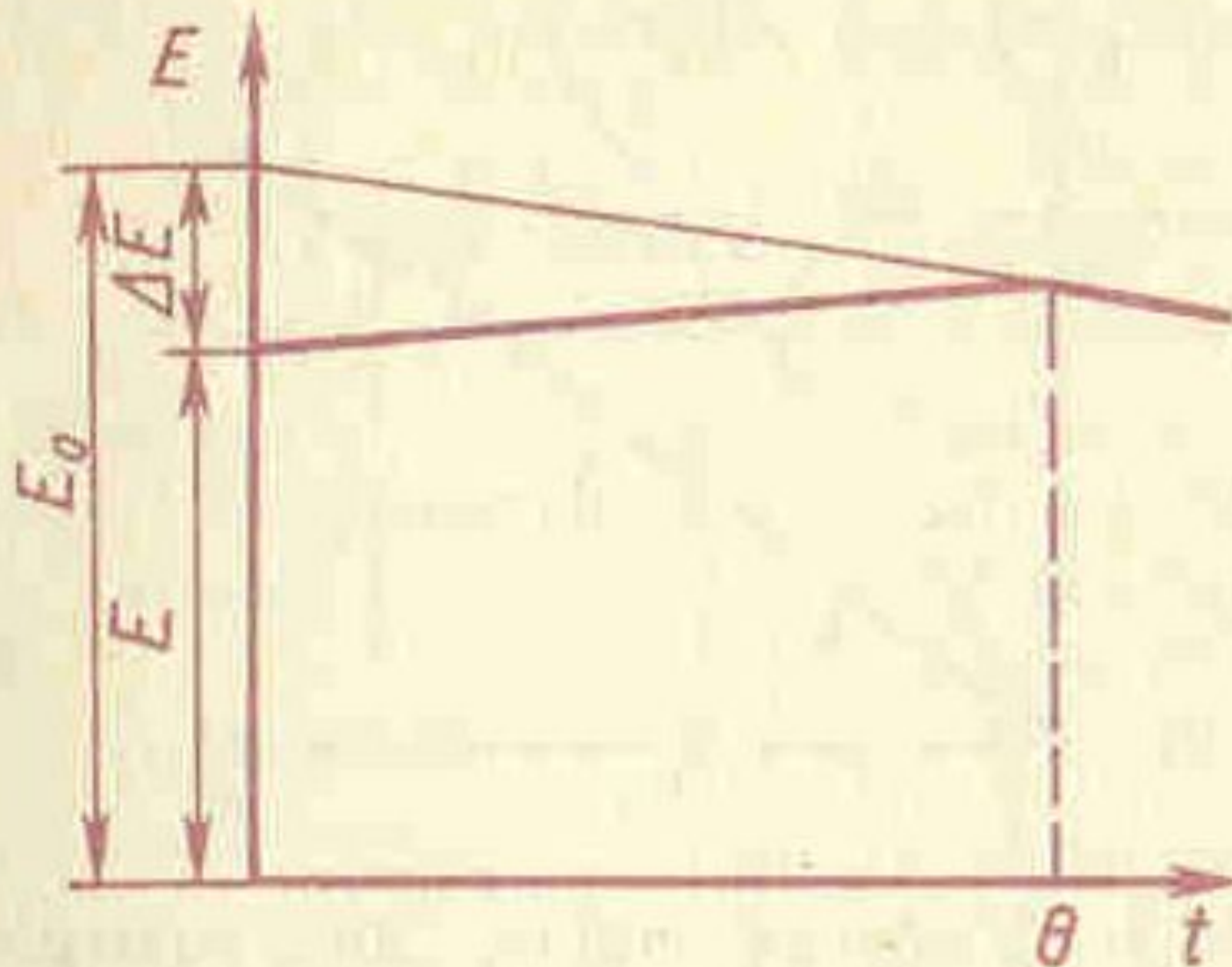
Упругая часть диаграммы деформации ферромагнетика



Во всех ферромагнетиках модуль нормальной упругости занижен из-за наличия деформации ферромагнитной природы:

$$E = E_0 - \Delta E$$

Схема изменения модуля упругости ферромагнетика при нагреве



Температурный коэффициент модуля нормальной упругости определяет характер изменения модуля упругости при нагреве

$$E_t = E_{20} (1 + \gamma t)$$

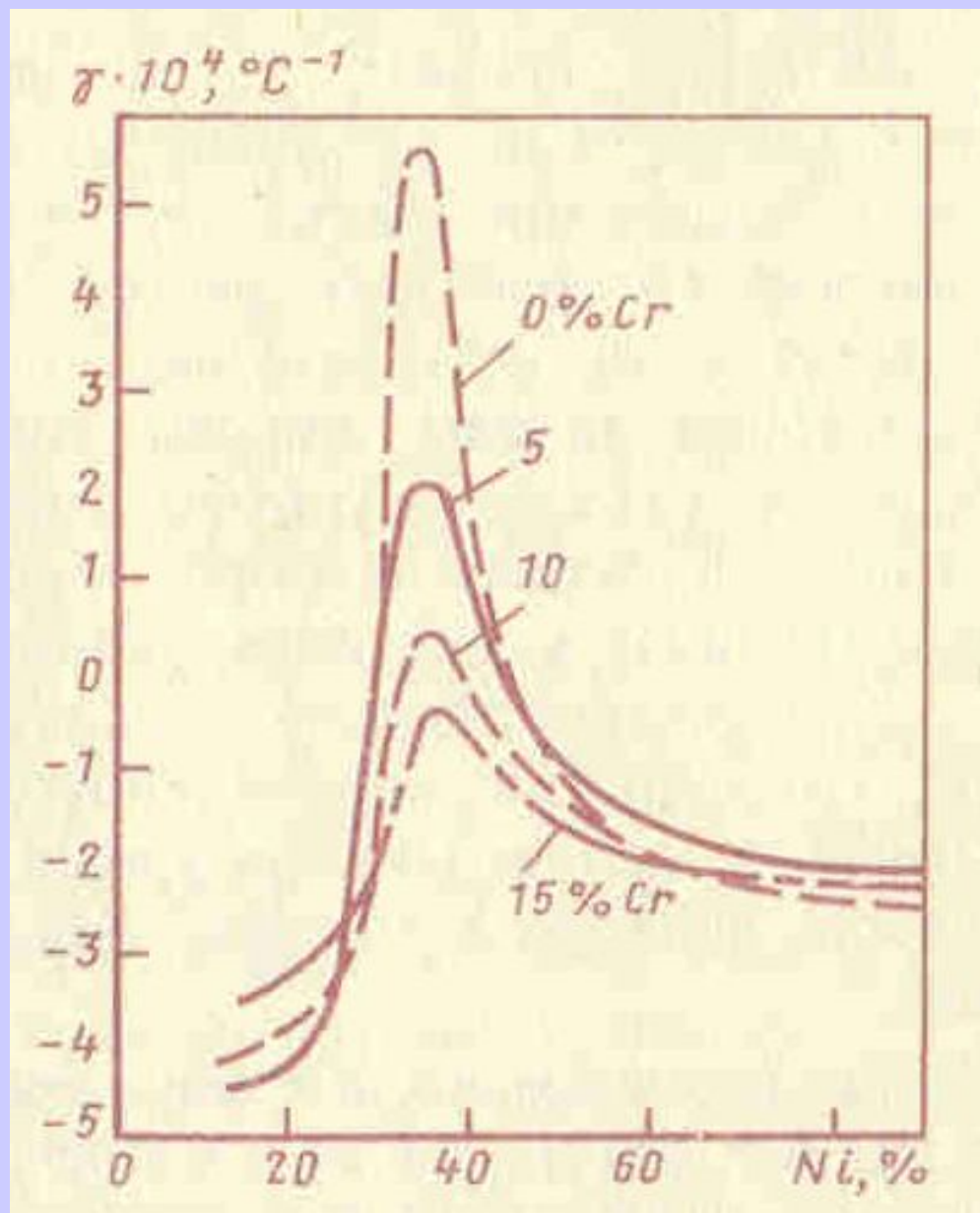
Для сплавов системы *Fe-Ni* значения термоупругого коэффициента определяются концентрацией никеля

Сплавы содержащие 29 и 45% *Ni*, имеют нулевые значения коэффициента

Хром делает эту зависимость менее резкой

Сплав *36НХ* (36%*Ni* и 12%*Cr*) называли *элинваром*

Зависимость термоупругого коэффициента от содержания никеля в сплавах *Fe-Ni*



Химический состав (ГОСТ 10994-74) и рабочая температура элинварных сплавов

Сплав	Содержание элементов (остальное Fe), %				$t_{\text{раб}}$, °C
	Ni	Cr	Ti	Al	
42НХТЮ	41,5 – 43,5	5,3 – 5,9	2,4 – 3	0,5 – 1	< 100
44НХТЮ	43,5 – 45,5	5 – 5,6	2,2 – 2,7	0,4 – 0,8	< 200

Сплавы подвергают термической обработке:

Закалка от 950 С, отпуск (старение) при 700 С, 4 ч

$$\gamma = \pm 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}$$