

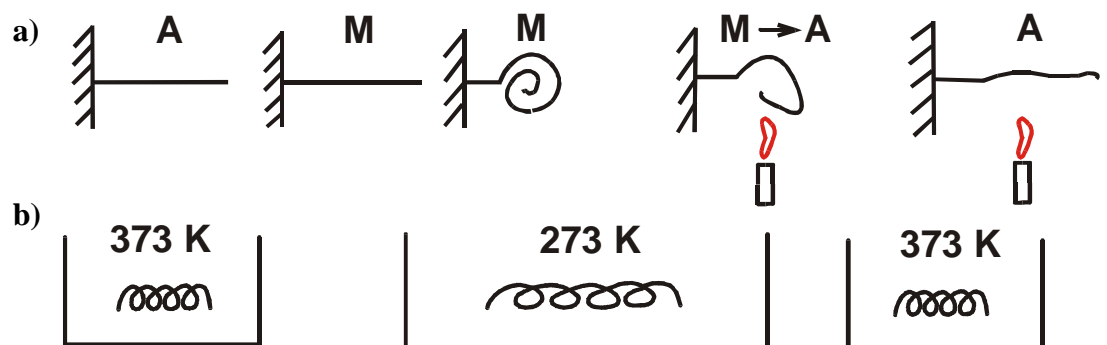
EFEKT PAMIĘCI KSZTAŁTU

1. Przykłady efektu.
2. Co się dzieje podczas odwracalnej przemiany martenzytycznej ?
3. Przykłady stopów wykazujących pamięć kształtu.
4. Charakterystyka przemiany.
5. Opis termodynamiczny.
6. Tekstura przemiany martenzytycznej.
7. Zastosowania.

I. Przykłady efektu :

„ Jeśli stopowi o strukturze A nadamy pewien kształt, a następnie przeprowadzimy do struktury M i zmienimy jego kształt, to powrót do struktury A spowoduje odzyskanie pierwotnego kształtu ”

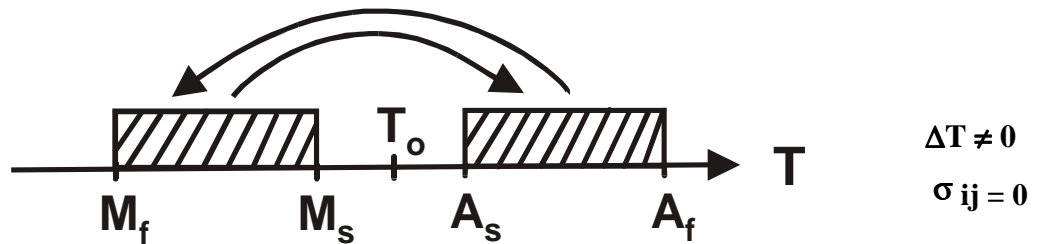
A – faza wysokotemperaturowa
M – faza niskotemperaturowa



Efekt „ dwukierunkowy” Ti – 50% Ni

c) krzywe rozciągania

- Efekt pamięci kształtu (P.K.) → bodziec : ΔT

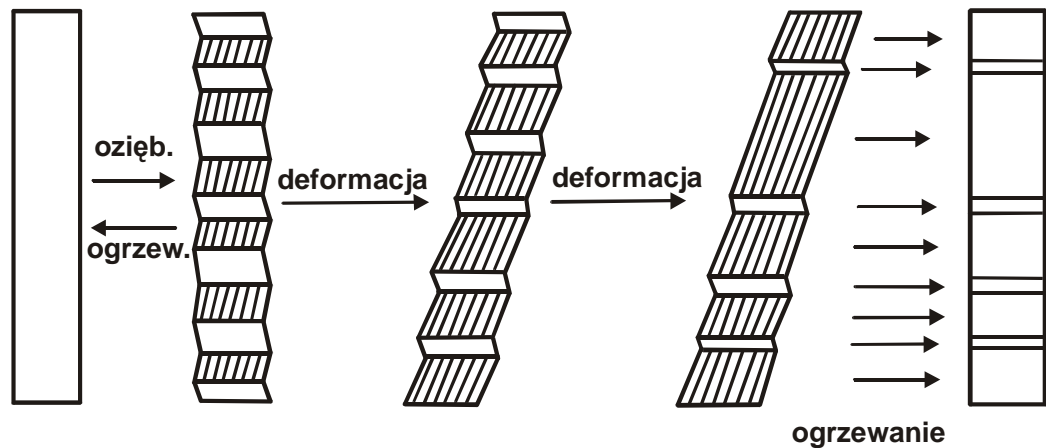


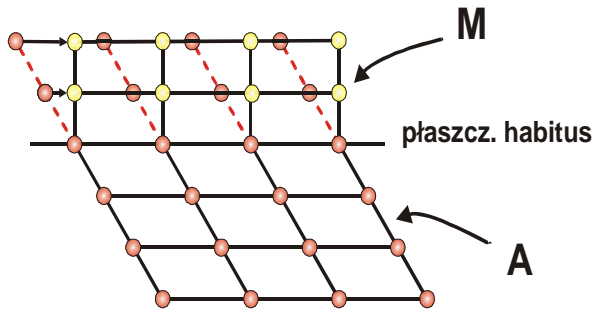
- Super-sprężystość lub pseudo-sprężystość (P.E.) → bodziec: $\sigma_{ij} \neq 0$
dla $T > A_f$

Dwie zmienne : T i σ_{ij}

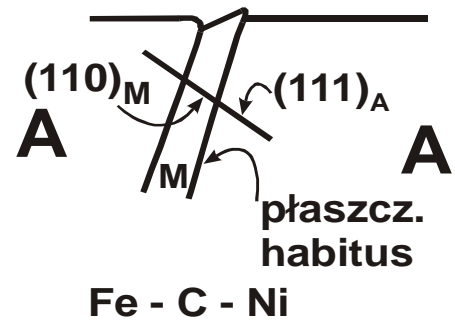
II. Co się dzieje podczas odwracalnej przemiany martenzytycznej ?

- Tworzenie płytek nowej fazy (M) z fazy macierzystej (A)
- Prędkość przesuwania się frontu płytki $v \cong v_{\text{dźwięku}}$
(w stalach $v = 1000 - 7000 \text{ m/s}$)
- Jest to proces **BEZDYFUZYJNY !!!**
- Na ogół kilka wariantów martenzytu (kilka płaszczyzn habitus)
- Przy transformacji odwrotnej – atomy wracają na stare miejsca → powraca Stara struktura i stary kształt



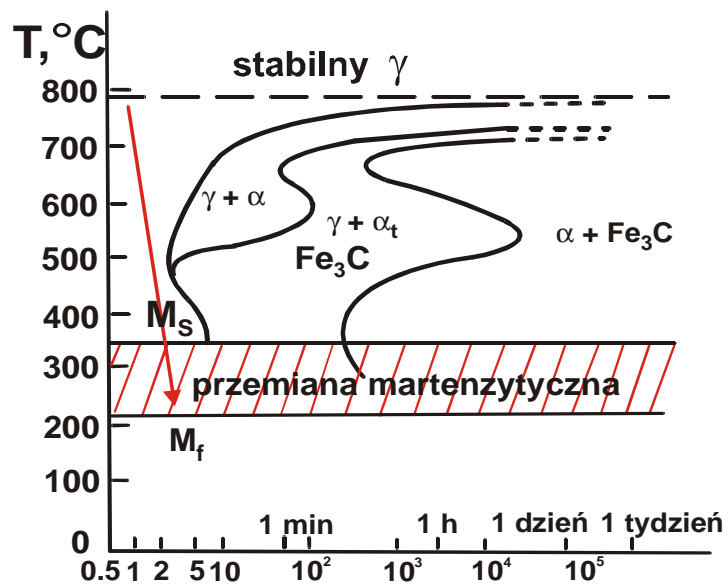


Aspekt atomowy



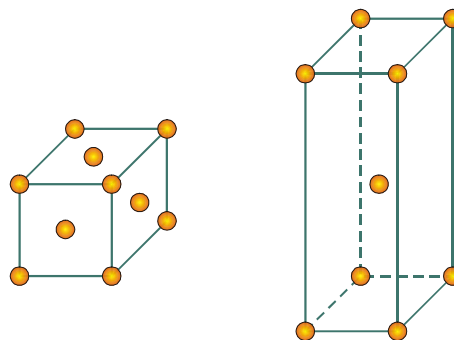
„Rzeźba” powierzchni

Martenzyt w stali



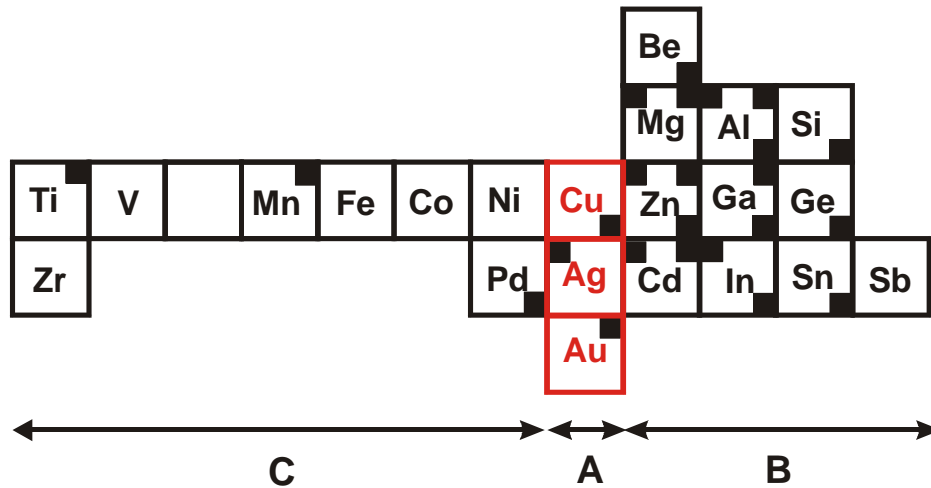
γ - austenit, α - ferryt, Fe_3C - cementyt, $\frac{dT}{dt} \cong 250 \text{ K/s}$

Austenit \rightarrow Martenzyt
(R.S.C.) (T.P.C.)



III. Przykłady stopów wykazujących pamięć kształtu:

Stopy na bazie Cu, Ag, Au:



Stopy potrójne: A B_i B_j → np. Cu - Zn - Al
 A_i A_j B → np. Au - Cu - Zn
 A B C → np. Cu - Zn - Ni

Sieć wyjściowa : R.P.C. (faza β) → sieć końcowa : R.S.C. lub H.Z. lub ortorombowa

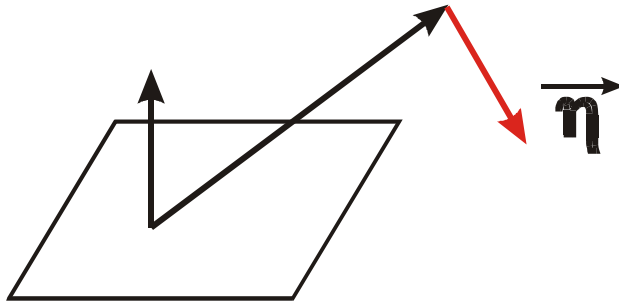
Wybrane stopy podwójne :

Ag - Cd ,	44 ÷ 49 % Cd ,	B ₂ → 2H (R.P.C. → H.Z.)
Au - Cd ,	46.5 ÷ 50 % Cd ,	B ₂ → 2H (R.P.C. → H.Z.)
Cu - Zn ,	38.5 ÷ 41.5 % Zn ,	B ₂ → 9R (R.P.C. → ortorombowa)
Cu - Sn ,	~ 15 % Sn ,	DO ₃ → 2H, 18 R (R.P.C. → H.Z. lub ortorombowa)
Mn - Cu ,	5 ÷ 35 % Cu ,	R.S.C. → T.S.C.
Ni - Al ,	36 ÷ 38 Al ,	B ₂ → 3R (R.P.C. → ortorombowa)
Ti - Ni ,	49 ÷ 51 % Ni ,	B ₂ → jednoskośna (R.P.C. → jednosk.)
Tn - Cd ,	4 ÷ 5 % Cd ,	R.S.C. → T.S.C.
Fe - Pd ,	~ 30 % Pd ,	R.S.C. → T.S.C.

IV. Charakterystyka przemiany

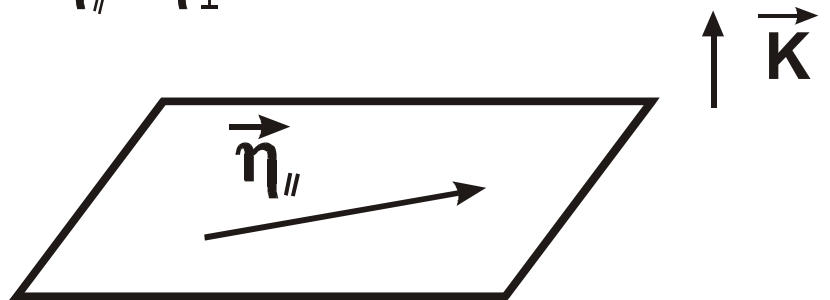
- !) - Istnieje płaszczyzna habitus \vec{K}
 - Zasadnicza deformacja : niezmiennicze płaskie odkształcenie.

$$\vec{u} = \vec{\eta} \left(\vec{r} \cdot \vec{K} \right)$$



Ogólnie: $\vec{\eta} = \vec{\eta}_{//} + \vec{\eta}_{\perp}$

$\vec{\eta}_{//}$ - proste ścinanie

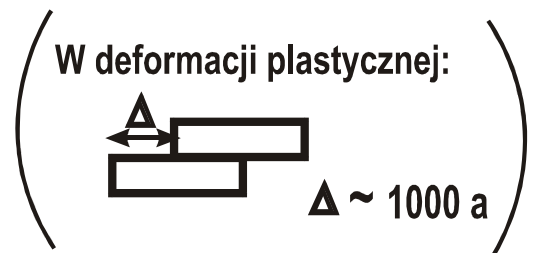
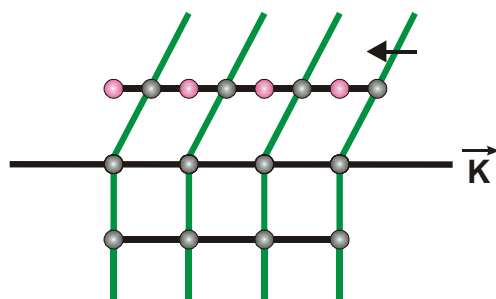


!!) Konieczne jest odkształcenie normalne $\rightarrow \vec{\eta}_{\perp}$ ($\Delta V/V \sim 3 \cdot 10^{-3}$)

!!!) Istnieje pewna rotacja ω_{ij}

Dlaczego odwracalność ?

1. Atomy przemieszczają się np. o $\frac{1}{3} a \rightarrow$ powrót łatwy.



2. Zawsze istnieją zarodki A w M.
3. Istnienie dyslokacji strefowych – zapis starej konfiguracji
4. Naprężenia wewnętrzne – faworyzują powrót do A

(czasem przedwcześnie – transformacja termoeLASTYCZNA

i wtedy ).

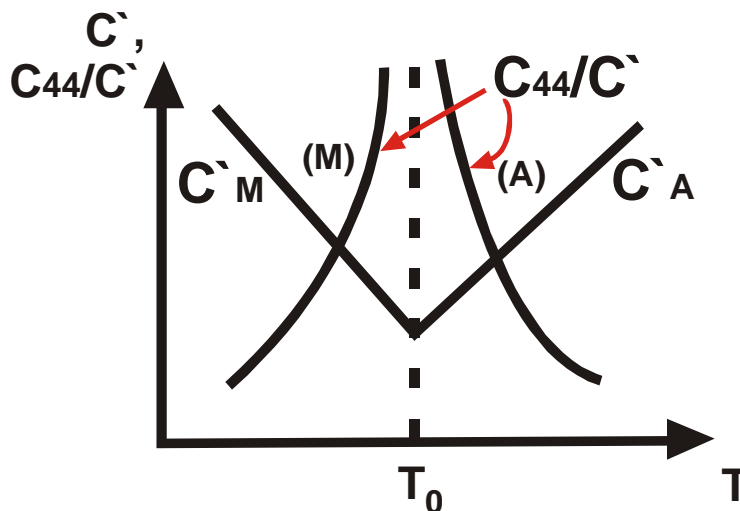
Mechanizm w skali atomowej.

- „Mięknienie” sieci w pewnych kierunkach.

W strukturze regularnej:

$C' = (C_{11} - C_{12}) / 2$ – stała elastyczna określająca
łatwość ścinania $\langle 110 \rangle \{110\}$

C_{44} / C' - anizotropia elastyczna



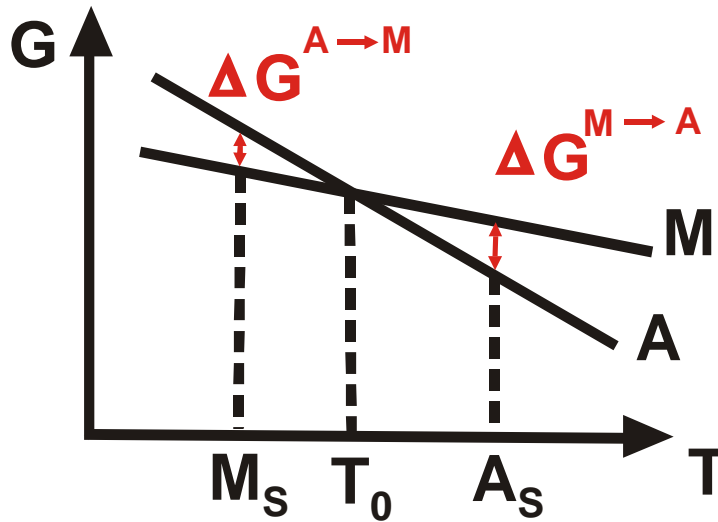
A - faza β (R.P.C.)

- Miękki mod fononowy

$TA_1 \rightarrow (C_{11} - C_{12}) / 2$, dla $q \cong \frac{2}{3}$
(AuCuZn₂)

V. Opis termodynamiczny

Siła napędowa – różnica energii swobodnej obu faz



$$T_0 - M_s = \Delta T, \quad \Delta T \sim 20 \text{ K} - 400 \text{ K}$$

Warunek wzrostu płytki martenzytu :

$$\Delta G^{A \rightarrow M} dV + \sigma_a \varepsilon_M dV \stackrel{>}{<} \sigma_i \varepsilon_M dV + \gamma_M dS + \xi \varepsilon_M dV$$

różnica energii swobodnej obu faz siła napędowa od przyłożonego naprężenia energia naprężeń wewnętrznych energia tworzenia granicy praca przeciw tarcia (ruch granicy)

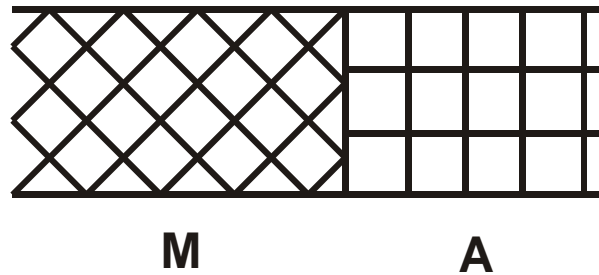
Rodzaj przemiany

Na ogół **I** rodzaju :

!) $QP \sim 100 \div 1000 \text{ J/mol}$

!!) histereza własności w funkcji T

VI. Tekstura przemiany martenzytycznej



Zależność orientacji ; np. dla Ti (i jego stopów):

A (R.P.C.) \rightarrow M (H.Z.)

Relacja orientacji : $\left. \begin{array}{l} \{0001\}_M \parallel \{110\}_A \\ \langle 10\bar{1}0 \rangle \parallel \langle 111 \rangle_A \end{array} \right\}$ relacja Burgersa

Stop : Ti - 3% Al - 8% V - 6% Cr - 4% Mo - 4% Zr

VII. Zastosowania

1. Silniki.

$\eta : 5 \div 21 \%$ (wyprowadzone z równania Clausiusa – Clapeyrona)

373 K



273 K



373 K



$\frac{\Delta l}{l} \sim 15 \%$

2. Łączenie elementów (zamiast spawania). Zespalenie obwodów scalonych
3. Zastosowania medyczne – np. korekcja kręgosłupa,
element sztucznych narządów.
4. Przełączniki temperaturowe
5. Elementy akustyczne
6. Manipulatory, roboty (sterowanie temperaturowe)
7. Magazynowanie energii mechanicznej – hamowanie samochodu
8. Wytrzymałość na cykliczne zginanie ($N \sim 10^4 \div 10^6$)

DODATEK: Przykładowy wykres fazowy stopu potrójnego (Cu - Zn - Al)

Naniesiono także zależność temperatury M_s (początek przemiany martenzytycznej)

