

421 CuZnSn合金の形状記憶効果, 超弾性とその応用

熊本工業大学

三浦 精

まえがき： 熱弾性マルテンサイト合金の形状記憶効果や超弾性について多くの研究が報告されているが、多結晶で実用され安心して使用されているのは、ニチノールが殆どで他の合金では例えば単結晶で超弾性を示しても、粒界の存在のために大きな超弾性ひずみを生ずる前に粒界割れを起こすなどの問題があったり、高価な材料を使用している合金も多い。これを考慮して実用的にはCu-Zn-X (Al, Si, Snなど)合金が有望とされCuZnAlが一部実用に供されているが、他の合金系についてはまだ基礎的データの蓄積に乏しい様である。本研究ではCuZnSn合金多結晶を用いてその機械的性質を検討した結果について述べる。

実験方法： Cu-33.0at%Zn-2.4%Snの組織を試料として選んだ。これはCu-33.0Zn-4.3wt%Snに当る。

試料はフラックスに塩化亜鉛を用いて高周波で溶解熱間圧延で行われ25mm→5mm(中間焼鈍)→1.5mmまで圧延されこれを0.8mmまで研削、2×80mmの短冊状に切り出し、石英管にアルゴンと共に封入して1103Kで約2hr均一処理した後、β相をうるため273Kの水塩水中に焼入れた。結晶粒度は約1mmである。

変態温度は電気抵抗測定によって求め、引張試験はインストロン型引張試験機を用いてひずみ速度 5.6×10^{-4} /secで行った。

実験結果と考察： 電気抵抗によって求めた変態温度は $M_s=271K$, $M_f=243K$, $A_s=262K$, $A_f=277K$ であり、 $T_0=267K$ であった。Fig.1に代表的な電気抵抗温度曲線を示している。室温で超弾性が得られるように M_s 点が室温以下にあるようにした。

Fig.2に一般的な応力-ひずみ曲線を示した。 A_f 点以上では超弾性、以下では残留ひずみを残すがA点で368Kに加熱するとBを経てOに戻りいわゆる形状記憶効果を示す。

Brown [1]は単結晶で8.5%, 多結晶で4.5%の伸びを報告しているが、我々のデータでは4%前後で割れるものが多かった。このFig.2の0.1%耐力をとったものがFig.3である。260Kを中心として両側に降伏応力の増加が見られる。

またFig.4はFig.2の弾性直線よりの逸脱点をCritical Stressとしてプロットしたものであって高温よりの外挿点は温度において M_s 点とかなりの一致を見た。

変態点近傍における弾性回復ひずみと記憶回復ひずみと記憶回復ひずみ量との関係を求めたのがFig.5である。すなわち変形温度が M_s 点以下の各応力-ひず

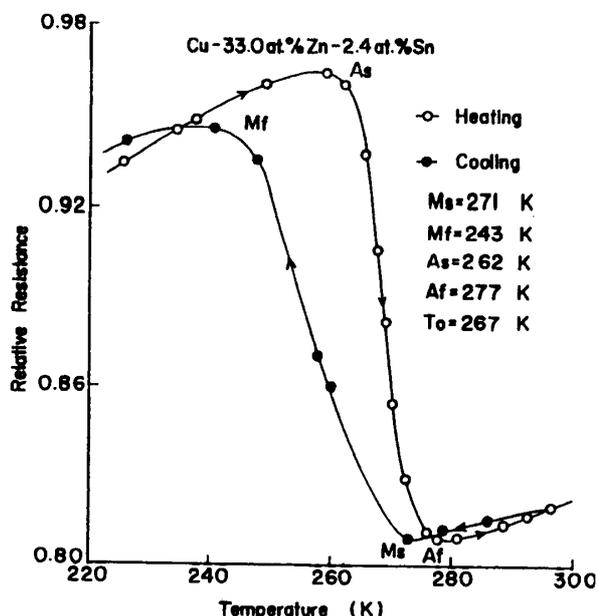


Fig. 1

Transformation behavior of Cu-33.0 at.% Zn-2.4 at.% Sn polycrystal.

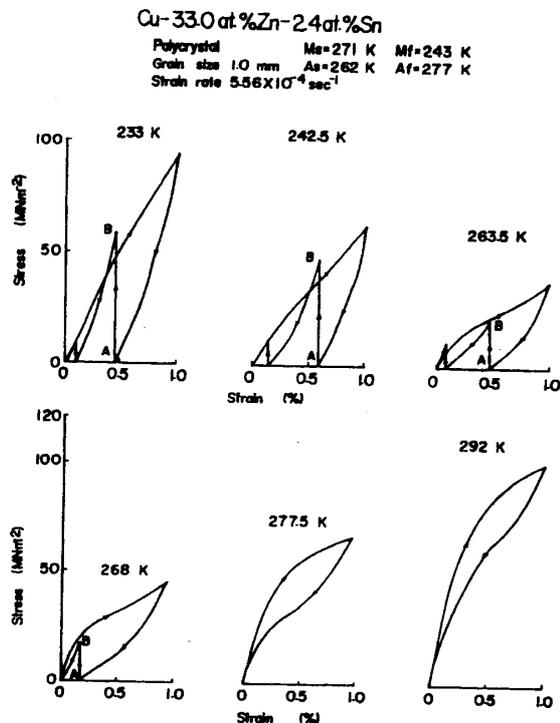


Fig. 2

Variation of stress-strain curves with temperatures in Cu-33.0 at.% Zn-2.4 at.% Sn polycrystal A: Unloaded B: After heated.

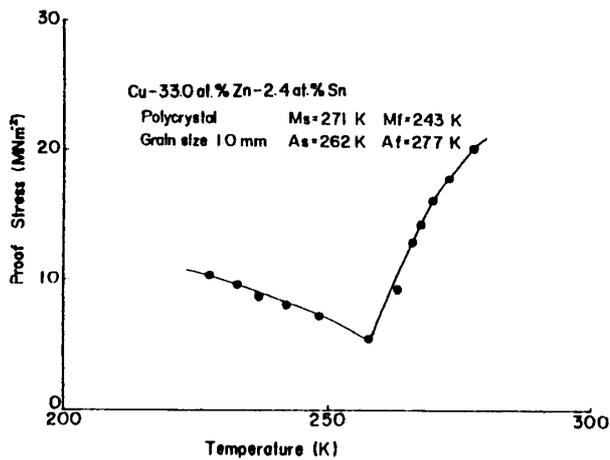


Fig. 3 Temperature variation of the proof stresses in Cu-33.0at.%Zn-2.4at.%Sn polycrystals.

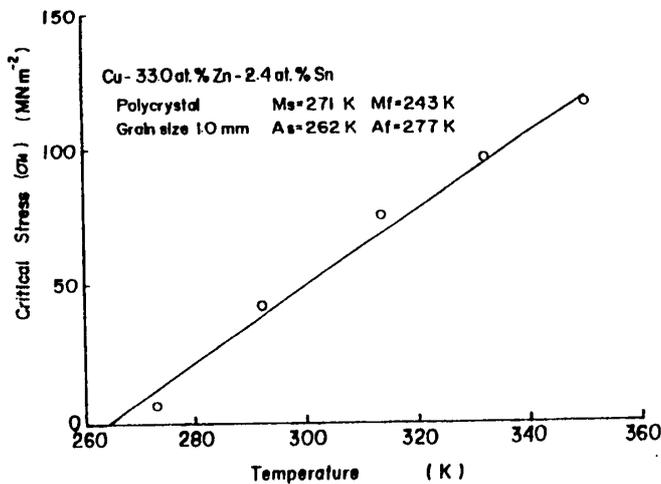


Fig. 4 Critical stress - temperature curve in Cu-33.0at.%Zn-2.4at.%Sn polycrystals.

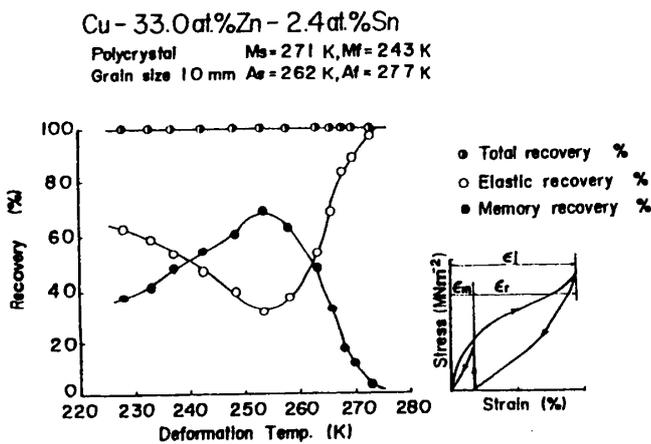


Fig. 5 Pseudelastic, shape-memory and total recovery as a function of temperature for Cu-33.0at.%Zn-2.4at.%Sn polycrystals. Elastic recovery = $\epsilon_r/\epsilon_l \times 100$, Memory recovery = $\epsilon_m/\epsilon_l \times 100$.

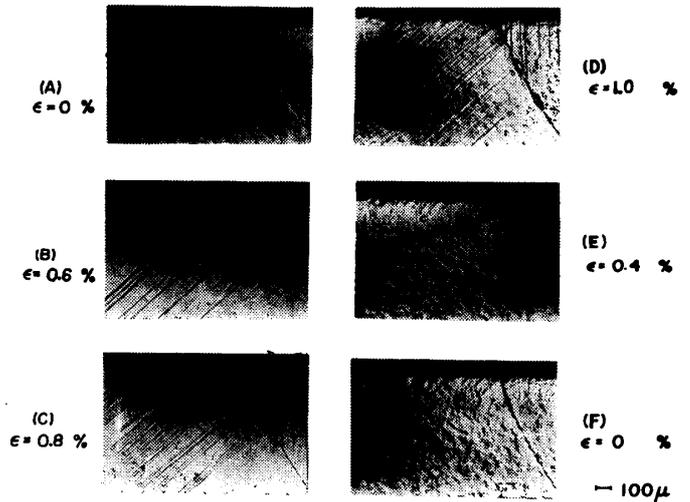


Fig. 6 Surface observation of stress-induced martensite while stressing of Cu-33.0at.%Zn-2.4at.%Sn polycrystal. (A) Before straining, (B) Strained by 0.6%, (C) 0.8%, (D) 1.0%, (E) Unload to 0.4%, (F) After unloading.

み曲線から、全ひずみ量 ϵ_j に対する弾性回復のひずみ量の割合 ϵ_r 、ならびに記憶回復ひずみ量の割合 ϵ_m を求め両者の温度依存性を求めたものである。

Brownら〔1〕はCu-Zn-Sn合金多結晶において弾性回復ひずみ量が、Af点近くで最大となり、この温度以上で急激に減少することを報告しているが、本研究ではそれほどの現象は認められなかった。温度がTo温度付近で記憶回復ひずみ量は最大となるが、To温度以下になると再び弾性回復ひずみ量が増加している。これは変態点以下においても超弾性挙動の性質を持ちうることを示唆している。

応力誘起によるマルテンサイト変態は、試片全面にわたって均一には起きず、数カ所の特定の位置、主として特定の結晶粒界を起点にして変態しはじめる。Fig.6は応力誘起変態を示したものであるが、ひずみの増加に伴って応力誘起マルテンサイトの成長が観察される。応力を減少させ、ひずみを低下すると応力誘起マルテンサイトは消滅して行く。

引張-除荷の繰返し試験をひずみ量一定(1.5%)で行った。超弾性ループの応力ヒステシスの幅はサイクルの増加と共に減少し、また臨界応力も減少した。応力ヒステシスの減少はHawbolt〔2〕によっても報告されているが臨界応力の減少は報告されていない。応力ヒステシスの減少は障害の掃集め効果によるものであろう。表面観察によるとサイクルとともにマルテンサイトが粒界に残留する。この試料は1.5%伸びサイクルで数100~1000回位で破断する。従って繰返しを伴う部材としては実用できないが締結合金のような部材には実用可能であろう。

文献

1. J. D. Eisenwassar and L. C. Brown : Met. Trans., 3, 1359(1972).
2. I. Dvarak and E. B. Hawbolt : Met. Trans., 6A, 95(1975).