

応力誘起マルテンサイト変態の塑性加工への応用

茨城大学工学部金属工学科

助教授 友田 陽

(昭和62年度外国人技術者養成援助助成 AF-87032)

1. 研究の背景

準安定オーステナイト系ステンレス鋼や高Mn鋼は $\gamma \rightarrow \epsilon$ および α' マルテンサイト変態が起る代表的合金である。鉄鋼のマルテンサイト変態とその応用に関してはこれまでに膨大な研究がされてきたが $\gamma \rightarrow \epsilon$ 変態に関する報告は意外と少なく、その機構は最も単純であると言われながら著者らには不明に思われる点が多い。この変態の応用として、①形状記憶特性と②高加工硬化特性の利用がある。①に関して現在研究が活発である。②に関しては古くからハッドフィールド鋼の加工硬化の要因として検討が続けられ、約10年前にTRIP現象の研究でとりあげられた。①では応力誘起 $\gamma \rightarrow \epsilon$ 変態による軟化、②では硬化を利用するわけであり、どちらが主体になるかはそのときの条件による。本研究では、まず加工中に生ずる $\gamma \rightarrow \epsilon$ 変態による軟化および硬化の機構を明らかにし、さらに $\gamma \rightarrow \epsilon$ および $\gamma \rightarrow \epsilon \rightarrow \alpha'$ 変態を起こす場合の変形挙動を定量的に表現し、これらの変態を塑性加工へ応用することを検討する。

2. 実験方法

本実験の試料は高周波溶解炉を用いてアルゴン雰囲気中で溶製した、Fe-Mn 2元合金、Fe-Mn-Si、Fe-Mn-Coの3元合金、および市販のステン

レス鋼と高Mn鋼である。各インゴットは試料によって若干異なるが、均質化処理、熱間、温間あるいは冷間圧延、中間焼鈍および機械加工等によって、所定の試験片に加工した。その後、1273K、3.6Ksの溶体化処理を施し、水中に焼入れた。変態点は熱膨張測定より求めた。引張試験や外力下での変態挙動（変位計による長さ変化の測定）にはテンシロンRT-ITを使用し、温度は反射炉を取り付けて制御した。得られた応力-ひずみ曲線を相変態と関連させて解析した。

3. 実験結果

3.1 冷却による $\gamma \rightarrow \epsilon$ 変態： Fe-Mn 2元系合金では約16~30wt% Mnの場合に焼入状態で ϵ と γ の2相組織となる。15%あたり以下では α' も生成する。 ϵ 最大量は17%Mn近傍で得られ、X線回折では約70%である（ただし、電顕や光顕で眺めるともっと少ないように思われる）。室温以下に冷却しても ϵ の量はほとんど増加しないのが特徴的である。これに対して、SiやCoを添加した3元合金では、同じMn量の2元合金と比較するとMs点はほとんど変化しないが、室温での ϵ 量は少ない。しかし、室温以下へ冷却すると $\gamma \rightarrow \epsilon$ 変態が進行する。また、加工による ϵ 生成量が多いのが特徴である。

3.2 引張性質におよぼす試験温度の影響： 種々な温度におけるFe-25Mnの引張試験結果をFig. 1に示す。

●は室温の $\gamma + \epsilon$ 組織から試験温度へ昇温した場合の結果で ϵ の逆変態を反映している。○はいったんAf点温度以上へ加熱して γ 単相とした後試験温度へ冷却したときの結果である。Ms点近傍で0.2%耐力が応用誘起 $\gamma \rightarrow \epsilon$ 変態によって低下する（軟化）。

△はAf点以上である673Kで圧延

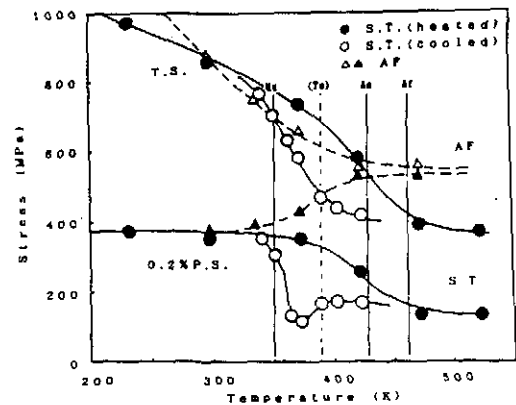


Fig. 1 Tensile strength and 0.2% proof stress as a function of test temperature in 25Mn.

し γ を安定化させた場合の結果である。 γ が加工硬化したため上述の軟化が広い温度範囲で顕著に認められる。一方、引張強さの変化は ϵ （生成量）による加工硬化を反映している。このような実験を3元系でも行ったところ、Siの固溶硬化の影響が注目された。

3. 3 外力下での変態挙動： 外力は変態経路（せん断）に影響をおよぼすので、 $\gamma \rightarrow \epsilon$ 収縮反応に対して引張応力をかけたまま冷却する実験をFe-16Mn、Fe-25MnおよびFe-24Mn-6Si合金について行った。いずれの場合も T_0 以上（安定 γ 域）で降伏応力以上の力をかけそのまま冷却すると、 $\gamma \rightarrow \epsilon$ 変態によって外力方向に伸びの現れることが認められた。各結晶粒で一方向に多くの $\gamma \rightarrow \epsilon$ せん断の生じたことが組織観察から推定された。これら伸びの現れた試料を加熱した際の $\epsilon \rightarrow \gamma$ 逆変態では合金系で違いが現れ、Siを含む場合に形状回復が著しく良好であることが見いだされた。

3. 4 応力-ひずみ曲線の形状： 応力-ひずみ曲線の形状は、変形に伴い生成する ϵ の量に依存して変化する。このとき $\gamma \rightarrow \epsilon$ 変態に伴う瞬間的な軟化とそのときの組織に依存した加工硬化（内部組織と新しく生成する ϵ の相互作用）が起こるので、その両者を取り入れた解析が必要である。ここでは、変形双晶の発生を伴う場合の変形に対するRemyの方法等を参考にした整理と定式化を行った。

同様な実験を $\gamma \rightarrow \epsilon \rightarrow \alpha'$ 変態を起こすFe-14、16Mn合金やFe-Cr-Ni合金についても行い、変態と塑性変形の間関係を調べた。

以上のように、本研究では基礎データをそろえる段階で、いくつかの興味深い事実が見いだされた。その部分の解明に、より時間を費やしたので、目的の後半部であげた「定量的な相変態を伴う材料の構成式より塑性加工を解析する実用的な部分の研究」は未完成となってしまう、現在、研究を続けている。また、これに関連して、ハッドフィールド鋼の加工硬化の原因について調査したところ、 ϵ 生成説は否定はされていないが有力ではなく、「変形双晶生成説」と「動的ひずみ時効説」の2つに大きく意見が分かれおり、この点でも本研究の続行は意義があると思われる。