

## 高 Mn オーステナイト鋼におけるマルテンサイト変態と高速変形

香川大学・工学部・上路林太郎  
 東北大学・金属材料研究所・小泉雄一郎、李 云平

## 1. はじめに

高 Mn オーステナイト鋼は、TRIP(Transformation Induced Plasticity)鋼あるいは TWIP(Twinning Induced Plasticity)鋼と呼ばれる現象をしめすことが知られている。高マンガン系の TRIP 鋼や TWIP 鋼は高い加工硬化を示し、高強度と高延性を兼ね備える鋼として知られている。オーステナイト鋼は高強度高延性を有するため、自動車用鋼板としての利用が期待される。自動車部材として利用する場合、衝突事故時に生じる高速変形に対しても十分な変形抵抗を有することが必要である。しかし、ひずみ速度が大きくなると、変態も双晶変形も抑制され、その結果加工硬化が小さくなる。これらの抑制メカニズムは、変形の高速化に起因する加工時の温度上昇や、変形応力の増大に伴う核形成の抑制などに着眼した説明が試みられているが、特性を改善できるほど十分には明らかとはなっておらず、オーステナイト鋼の自動車用途への展開の妨げとなっている。そこで本研究では、高 Mn オーステナイト鋼の中でも、特に大きな加工硬化率を有し優れた強度延性バランスを有する鉄鋼材料としてのポテンシャルを有する Hadfield 鋼を例にとり、その高速引張変形挙動と変形時に形成される組織との相関の解明を目的とした。

## 2. 研究経過

12mass%Mn-1%C 鋼を溶製し、インゴットに熱間圧延の後、350°C 圧延と 800°C 焼鈍を施して板厚 1.5mm の鋼板としたものを受け入れた。受入材はオーステナイト単相であり、粒径数十  $\mu\text{m}$  の等軸形状の結晶粒からなる完全再結晶組織を示した。検力ブロック式材料試験機を用いて、同一の試験機系を用いて、 $10^{-3}/\text{s}$  から  $10^3/\text{s}$  までの各種ひずみ速度における室温引張試験を行い、応力ひずみ曲線を測定した。各種ひずみ速度で破断まで変形させた試験片の SEM/EBSD(Electron Back Scattering Diffraction)測定を行った。

## 3. 研究成果

図1は、受入材の各種ひずみ速度における公称応力-公称ひずみ曲線である。ひずみ速度  $10^{-3}/\text{s}$  では、約 500MPa で降伏後非常に大きな加工硬化を示した後に最大応力に達する。その後、局部伸びを示すことなく破断する。ひずみ速度を増大させた場合、降伏応力は大きく変化しない一方で、加工硬化率は著しく減少し、それに伴い、同一の塑性ひずみで比較した際の公称応力も減少する。この応力低下現象は逆ひずみ速度依存性として、Hadfield 鋼においてよく知られている現象である。今回はこれまで多く検討されていなかった高速変形( $10^3/\text{s}$ )も合わせて調査した結果、Hadfield 鋼は特異な延性を示すことが明らかとなった。すなわち、ひずみ速度が  $10^1/\text{s}$  以上となると、低速変形では見られない局部伸びが発現するようになる。破面の SEM 観察を行った結果、 $10^{-3}/\text{s}$  破壊材ではリバーパターンが観察され、 $10^3/\text{s}$  破断材はディンプルパターンを示し、局部伸びの有無が破壊形態の変化とよく対応していることが明らかとなった。

図2は、 $10^{-3}/\text{s}$  破断材(a)および  $10^3/\text{s}$  破断材(b)の EBSD 測定結果である。図では測定点の引張軸の方位の違いを白黒のコントラストで示しており、合わせて、隣接測定点間の方位差が 15 度以上の大角粒界は黒線で描いている。EBSD 測定では、いずれの場合も HCP 相や BCC 相は認められなかった。一方で、いずれの変形条件においても、変形双晶が多くの結晶粒で観察される。変形双晶は特定方向にプレート状に伸長した形態を有しており、同一結晶粒内では1種類あるいは2種類のバリエーションのみが生成しており、引張軸との結晶方位関係によるバリエーション選択性の存在を示唆している。こうした存在形態はひずみ速度を変化させても大きく変化していなかった。

この結果より、Hadfield 鋼における高速時の局部延性の発現は、SEM レベルで観察できる組織形態変化に起因するのではなく、たとえば動的ひずみ時効のような、より微細な原子スケールで生じる現象によるものであることを示唆している。

## 4. まとめ

高 Mn オーステナイト鋼の一種である Hadfield 鋼が高速変形時に特異な局部延性を示すことを明らかにした。

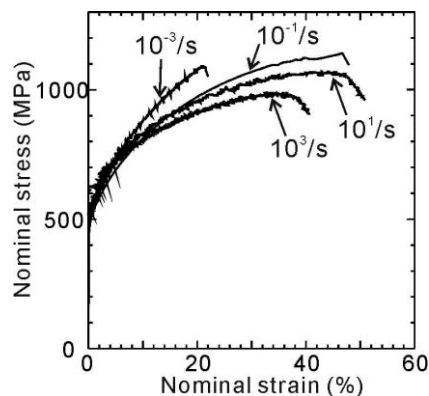


図1 種々のひずみ速度における Hadfield 鋼の応力ひずみ曲線

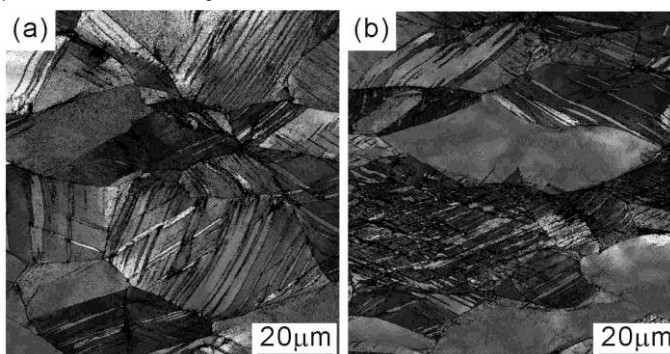


図2  $10^{-3}/\text{s}$ (a)または  $10^3/\text{s}$ (b)における室温引張変形で破断した Hadfield 鋼の EBSD 測定結果

## 研究課題名 金合金薄膜の欠陥構造と多孔質化への影響について

研究代表者名  
東北学院大学・工学部・桑野聡子

研究分担者名  
東北大学・金属材料研究所・金属ガラス総合研究センター・村上義弘

### 1. はじめに

多孔質材料は材質そのものだけでなく、形状や孔のサイズによっても性質が異なり、様々な用途に用いられる。多孔質材料は様々な手法を用いて作製することが可能であり、本研究で用いた金多孔質は、金銀合金薄膜を硝酸にて腐食することで多孔質化する脱合金法と呼ばれる手法を用いた。脱合金法において孔の形成および粗大化を促進する主な因子は銀原子を腐食する硝酸の温度と脱合金を行う時間の長さである。これらの因子は銀原子を腐食する化学反応の促進と、金原子の表面拡散運動を促進することで、孔の形成とその粗大化を促進させる。これらの要因以外にも、合金に含まれる歪みや欠陥、不純物によって金の拡散運動が様々な影響を受けることが孔の成長に影響を与えらる。よって孔サイズの調整方法の詳細について解明する上で、金の拡散運動に影響する因子を捉えることは重要である。そこで本研究では実験的手法により孔形成のメカニズム、特に初期段階における孔形成のメカニズムを理解するために、格子の歪みや欠陥密度の孔サイズに対する影響について調査した。

### 2. 研究経過

用いた Au<sub>30</sub>Ag<sub>65</sub> (at.%)合金薄膜は、歪みや欠陥を多く含む箔打ち法により作製されたものである。この合金薄膜を加熱炉中にて1時間加熱することで歪みを緩和した。加熱中の温度は 200 ~ 500 °C で、各温度での歪みの変化はX線回折装置(XRD)を用いて確認した。加熱後、脱合金法により合金薄膜を多孔質化し、走査型電子顕微鏡 (SEM)を用いて孔の形状を確認した。硝酸の温度は 25 °C とし、脱合金時間は最長 180 分間とした。得られた SEM 像より孔のサイズを解析することで、結晶の歪みと孔のサイズの関連性を確認した。

### 3. 研究成果

加熱処理の前後で合金薄膜を XRD にて測定した結果、全ての試料において(200)面からの明瞭なピークが観察された。加熱前の試料からは(220)面と(311)面からのピークも確認できた。この結果から、加熱処理により結晶格子の規則化が促進したと考えられる。また(200)面からのピークは加熱温度が高温になるほど高角側にシフトしていることが確認できた。さらに(200)面からのピークの半値幅を確認したところ、加熱温度が高温になるほど半値幅が小さくなる傾向が確認された。これらの結果も、加熱処理を行うことにより格子歪みが減少したことを示している。

次に加熱処理をした合金薄膜を用いて、熱処理の温度と孔のサイズの関係について調べた。その結果、脱合金前の加熱温度が高いほど孔サイズが小さい傾向が見られた (図 1)。さらに孔サイズの分布も調べた結果、加熱処理の温度が高いほど、孔サイズの分布幅が比較的狭くなることも確認できた。

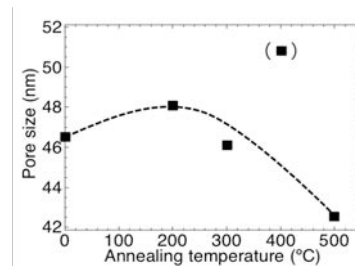


図 1. 合金薄膜の加熱処理温度と孔サイズの関係。脱合金条件は 25°C にて 180 分間。

### 4. まとめ

以上の結果から、歪みの少ない合金薄膜ほど小さいサイズの孔が得られる傾向があると分かった。これは当初予測していた、欠陥サイトなどが金原子の拡散運動を阻害するために歪みの多い合金薄膜の方が小さい孔サイズとなる、と言う予測と逆の結果を示している。これから考えられるのは、歪みが多いと銀原子の脱離が容易となり、その結果孔形状が形成されやすくなる可能性が挙げられる。

今後は加熱による歪みの効果の詳細についてさらに詳しく解析し、加熱処理が孔サイズを広げる結果となった原因を検証したいと考えている。