AZ31 マグネシウム合金の曲げ変形に伴う結晶方位および 微視機械的性質の変化

酒井 孝*

Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol. 55, No. 9 (2005), pp. 414-415

Change of crystallographic orientation and micromechanical properties during bending deformation in an AZ31 Mg-based alloy

Takashi SAKAI*

1. 緒 言

EBSP (Electron Back Scattered diffraction Pattern) 方位解析システムの開発により、結晶方位分布や集合組織が解析できるようになり、その普及に相まって結晶粒に関する情報量は飛躍的に増大した。しかしながら、材料が外力を受けた場合の微視的な結晶粒形状の変化のメカニズムについては、依然として未知な部分が多い。

そこで本研究では、軽量材料として近年特に注目されているマグネシウム合金を対象として、曲げ変形に伴う結晶粒形状や結晶方位の変化を詳細に調べた。また、AFM (Atomic Force Microscope) ・ナノインデンテーション複合装置を用いて微視スケールでの結晶粒内および結晶粒界近傍における機械的特性値の計測を行い、金属組織学を考慮して考察した。

2. 供試材およびマグネシウム合金の結晶方位観察

本研究で用いた材料は、板厚 $t=1.0\text{mm}$ のマグネシウム合金展伸材 AZ31 であり、AFM・SEM-EBSP 観察やナノインデンテーション試験等の必要に応じて、 $5.0\text{mm}\times 5.0\text{mm}$ の正方形に細分した。試験片は、冷間での曲げ変形に伴う板厚方向の結晶粒形状の変化を調べるために、 0° (未変形材)、 20° 、 40° の3種類を準備した。

Fig. 1 は、 20° 曲げ変形後の試験片の圧縮側および引張側表層部の組織写真を示したものである。楊らは SPCC 材に関する組織観察において、圧縮側の結晶粒は曲げ角度に比例して等軸状の球形となり、引張側では圧延方向に顕著に伸張した組織を示したが¹⁾、本研究で対象とした AZ31 についてはこのような傾向はほとんど見られず、圧縮・引張側ともに等軸状の形状を示した。

Fig. 2 は、 0° および 40° 曲げ変形後の試験片の圧縮側表層部および引張側表層部に関して、EBSP 測定結果から得られた方位マップを表したものである。 0° 材では、特定の方位(色)で表される領域が非常に多く、圧延集合組織に関する強い組織配向を有している。 40° 曲げ変形後では、引張側表層部は方位分布に変化がないのに対して、圧縮側では隣接粒

同士が異なる色を示しており、方位差を十分有していることがわかる。このことは、引張側と圧縮側で異なる微視変形挙動を表すことに対応する。

3. ナノインデンテーション法による機械的性質の評価

結晶粒内および結晶粒界近傍における局所的な機械的性質を評価するために、AFM・ナノインデンテーション複合装置を使用した。これは、負荷-除荷過程の荷重-変位曲線の初期勾配から複合弾性係数 E_r (ポアソン比を含んだ値) および硬さ H を次の関係から求めるものである。

$$E_r = \frac{\sqrt{\pi}}{2\sqrt{A(h_c)}} S, \quad H = \frac{P}{A(h_c)} \quad (1)$$

ここで、 S は除荷曲線の勾配、 P は押込み荷重、 $A(h_c)$ は接触面積をそれぞれ表す。なお、圧子の押込み荷重は $1500\mu\text{N}$ とし、最大荷重までの負荷時間は 10s とした。

ナノインデンテーション試験によって形成された圧痕の AFM 像の例を **Fig. 3** に示す。図に示した結晶粒は、 20° 曲げ変形後の引張側表層部の表面下およそ $80\mu\text{m}$ のものである。なお、試験は、析出物がない平坦な面について行った。図中に示すように、同一結晶粒内における、結晶内部および結晶粒界近傍の試験箇所を IG, GB とそれぞれ定め、両者を区分するために ▲ および ▼ の圧痕イメージマークを付記した。試験から得られた複合弾性係数 E_r と硬さ H の値を **Table 1** に示す。硬さについてはいずれも同程度の値を示しているが、結晶粒界付近の複合弾性係数は結晶粒内部よりも低かった。この結果は、塑性変形に伴い転位が増殖し結晶粒界近傍に堆積したことに起因すると考えられる。さらに、マイクロビッカース試験機を用いて本材料を $100\mu\text{m}$ 間隔で板厚方向の機械的性質分布を詳細に調べた場合、その試験結果から推定される複合弾性係数は $45.0\sim 50.0\text{GPa}$ 程度に分布した²⁾。この値は先の **Table 1** に示した結晶粒内のナノインデンテーション試験結果と同程度であり、巨視的な複合弾性係数は結晶粒内における特性が支配的であることがわかった。

* 高松工業高等専門学校機械工学科 (〒761-8058 香川県高松市勅使町355)。Department of Mechanical Engineering, Takamatsu National College of Technology (355 Chokushi, Takamatsu-shi, Kagawa 761-8058).

受理日: 平成17年5月18日

4. 結 言

(1) 曲げ加工材の EBSD 解析では、曲げ角度の増加に従っ

Fig. 1 Cross sectional photographs of AZ31 magnesium alloy plate.

て引張側表層部で十分な方位差を有する結果を得た。

(2) 同一結晶粒内における微視的な機械的性質を調べたところ、転位の増殖および堆積に起因して、結晶粒界近傍の複合弾性係数は結晶粒内のものよりも小さくなった。

(3) マイクロビッカース硬さから推定される板厚方向の複合弾性係数は 45.0~50.0 GPa 程度であるが、この値は結晶粒内のナノインデンテーション試験結果と同程度であった。

本研究を遂行するにあたり、天田金属加工機械技術振興財団の援助を得た (AF-2001026)。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 秋山裕太, 楊 明, 佐々木智恵: 平成 15 年度塑性加工春期講演会講演論文集, (2003), 315-316.
- 2) 末武正充, 酒井 孝, 楊 明, 真鍋健一: 日本機械学会関東支部第 41 回学生員卒業研究発表講演会論文集, (2002).

Fig. 2 Orientation imaging micrographs with color key obtained by EBSD analysis for AZ31 magnesium alloy with different bending angles.

Fig. 3 AFM image after nano-indentation tests for tension side of cross section. (after 20° bending, depth=80 μm)

Table 1 Numerical list of mechanical properties obtained by nano-indentation tests

Point	Testing No.	E_r (GPa)	H (GPa)
Grain boundary (GB)	GB1	27.3	0.90
	GB2	37.4	1.06
	GB3	37.7	0.93
	GB4	38.0	0.93
Inner grain (IG)	IG1	44.5	0.83
	IG2	56.3	1.29
	IG3	46.6	0.88