

強ひずみ加工による軽金属材料の高強度化技術の開発

機能素材加工課 佐藤智 山岸英樹 柿内茂樹*1 製品・機能評価課 清水孝晃

1. 緒言

近年、輸送機器では、素材への軽量化要求が特に厳しくなっており、主体としてきた鉄鋼材料から Al 合金や Mg 合金などの軽量材料に置換が進んでいる。さらなる部材の軽量化には、薄肉化が有効な手段の一つであるが、より高強度な材料が求められる。材料強化法のなかでも、結晶粒微細化は、基本的な化学組成を変えることなく、優れた強度特性が得られる強化法である。

極めて微細な結晶粒を得るためには、バルク材に巨大ひずみを導入することが必要とされ、その加工法として強ひずみ加工(Severe Plastic Deformation)が知られている。従来、HPT(High Pressure Torsion)や ECAP (Equal-Channel Angular Pressing)が主に研究されているが、対象となる部材形状が限定されるため、実用化は進んでいない。また、圧延加工による SPD 法の ARB(Accumulative Roll Bonding)は、板材の接合-圧延を繰り返す事で導入する相当ひずみを増加する加工法で、量産化技術として注目されている。一方、自由な断面形状が得られる押出加工を応用した SPD 法は、CEC(Cyclic Extrusion and Compression)などが開発されているが、自由な断面形状の加工が可能で、単工程で完了でき、かつ連続加工が可能な加工法はない。

そこで、本研究では、軽金属材料(Mg 合金など)に適用可能な押出 SPD 加工技術の開発を目指し、開発した加工法による純 Mg の試験加工と結晶方位解析(以下 EBSD)による組織観察を行った。

2. 実験方法

供試材料は、純 Mg(99.9%)である。加工実験は、試作した押出加工用金型をプレス機：H1F200-2 に供して、加工を行った。受理材は、φ32 の押出丸棒であったが、直径 25mm、長さ 50mm に機械加工した。機械加工の後に、内部のひずみ除去と加工直前の試料予熱を目的として、大気炉中で雰囲気温度 350°C - 45 分以上の焼鈍処理を行った。EBSD 用の試料前処理は、切断と #2400 以上の粗研磨した後、最終研磨をイオンミリング加工(Ar)で行った。

3. 実験結果および考察

図 1 に焼鈍処理のみを行った試料と焼鈍処理後に加工した試料断面における逆極点図方位マップと結晶粒界マップを示す。図 1 の結晶粒界マップの実線は、太線は 5~15°、細線は 15~180°の方位差を有する結晶粒界を示す。

図 1 にした観察領域において、焼鈍後の試料の結晶粒径は約 100μm であった。また、結晶粒界は、主に大傾角粒界：15~180°から形成されることが分かった。一方、加工後の試料では、結晶粒径が約 14μm まで微細化しているとともに、結晶粒界は大傾角粒界：15~180°とネットワーク状に形成された多くの小傾角粒界：5~15°が観察された。マグネシウムは動的再結晶過程は、 $\langle 10\bar{1}1 \rangle$ 圧縮双晶と $\langle 10\bar{1}2 \rangle$ 引張双晶(二重双晶)により生じる双晶界面に、転位の蓄積と回復に伴い小傾角粒界が形成され、さらなる変形をもって大傾角化すると考えられている²⁾。しかし、図 1 に示すように、いずれの双晶境界も明瞭に観察されなかった。これは、350°C まで昇温された金型から試料を取り外して、迅速に冷却することが困難であり、焼鈍が進行したため考えられる。

表 1 に、図 1 の結晶粒界マップに示した観察領域における粒界の方位差と長さを示す。焼鈍後と加工後の試料では、小傾角粒界：5~15°と大傾角粒界：15~180°が存在する比率が異なり、5~15°：15~180°=約 1:11 から約 1:3 となり、小傾角粒界が明らかに増加した。

マグネシウムでは、押し出し材表面に結晶格子の(0001)面が集積する特徴的な集合組織を示し、機械的性質の異方性を現す原因となるため³⁾、集合組織を観察することは重要である。これについて、図 1 に示した観察領域の逆

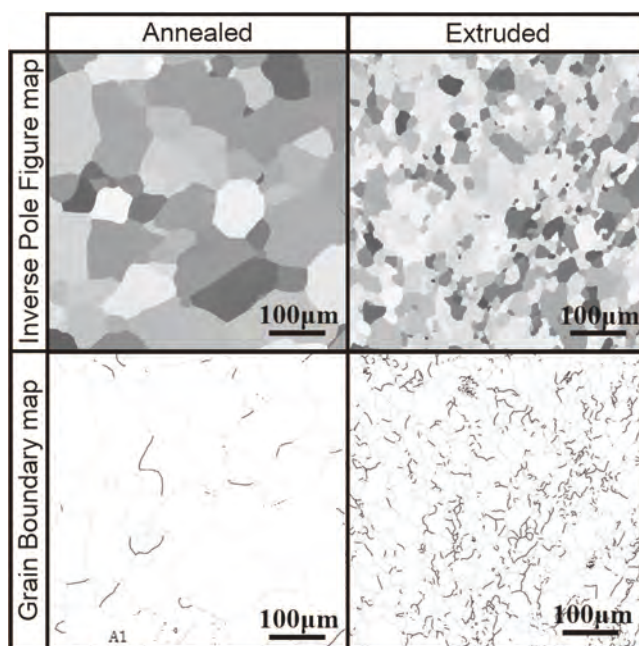


図 1 焼鈍後と加工後の試料における結晶方位解析による IPF マップと結晶粒界マップ

*1 現 企画調整課

表 1 結晶粒界マップに示す粒界の角度と長さ

Specimen	Length of boundary(mm)	
	5-15deg	15-180deg
Base metal	1	115
Extruded	116	355

極点図と(0001)面の極点図で解析した結果を図2示す。なお、逆極点図の括弧内は試料座標系を示しており、[001]は分析方向と平行な試料の半径方向、[010]は[001]と直行する試料の半径、[100]は試料の長手方向(押出方向)となるように試料調整の上、測定した。逆極点図をみると、焼鈍後の試料では[001]と[010]の試料半径方向に(0001)面が集積するが、加工後の試料では[010]のみに強く(0001)面が集積していることが観察された。これより、加工後の試料では、特定の半径方向に強い集合組織を形成していることが分かった。また、極点図では、逆極点図で示したように特定の試料半径方向に集積した(0001)面がみられ、さらにc軸が約37°傾斜した方位にも集積して観察された。これより、押出材の焼鈍組織とは明らかに異なる集合組織が形成されることが分かった。

4. 結言

軽金属材料に適用可能な強ひずみ押出加工技術の開発を目指して、開発した加工法による99.9%Mgの試験加工とEBSDによる試料断面の組織解析を行った。その結果を次に示す。

- ・結晶粒径は、初期結晶粒径：約100μmから約14μmまで微細した。
- ・加工後の試料では、焼鈍材よりも非常に多くの小傾角粒界：5~15°が形成された。
- ・加工によって形成された集合組織は、特定の試料半径方向に(0001)面が集積し、さらにc軸が約37°傾斜した方位にも集積がみられた。

キーワード：強ひずみ加工、押出、マグネシウム、EBSD

Development of High-Strength Technology for Light Metal by Using Severe Plastic Deformation

Functional Material Processing Section; Masaru SATO, Hideki YAMAGISHI, Shigeki KAKIUCHI*¹, and
Product and Function Evaluation Section; Takaaki SHIMIZU*²

Extrusion severe plastic deformation structure developed for pure-magnesium was analyzed by EBSD pattern. By IPF and GB maps, it was found that the grain size decreased to about 14μm and many low-angle grain boundaries were created in the extruded specimen. The plane (0001) pole figure of extrusion showed distribution in specific extrusion direction.

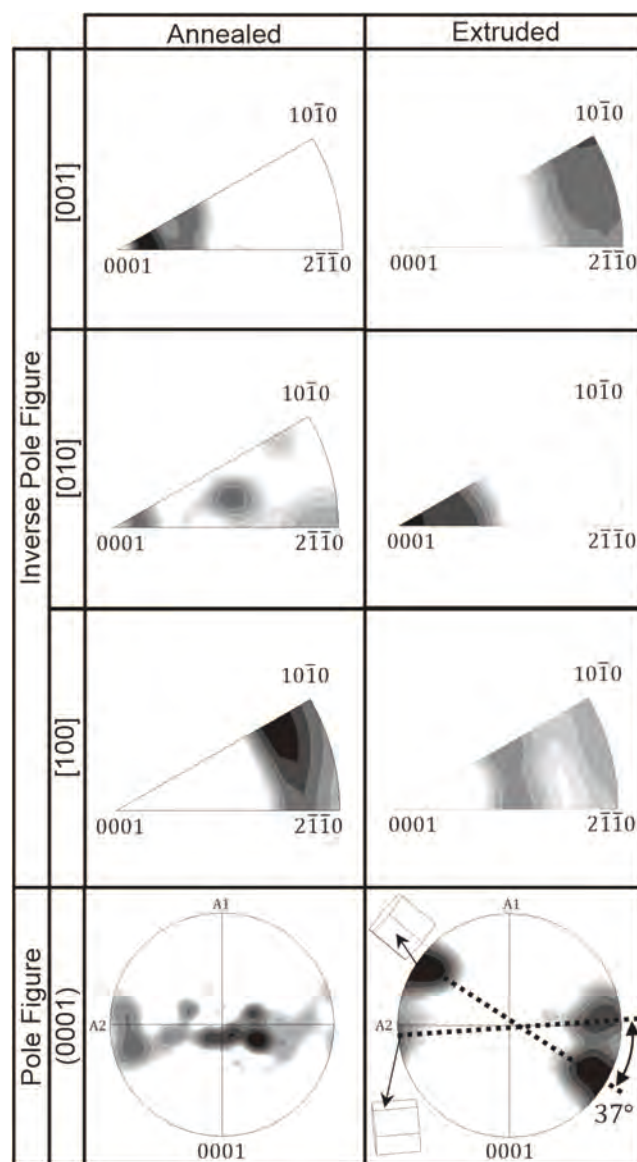


図2 焼鈍後と加工後の試料における逆極点図と極点図

参考文献

- 1)市川理衛ら：軽金属, vol.4 (1952) pp. 148-150
- 2)鎌土重春：塑性と加工, vol.54 (2013-4) pp. 336-341
- 3)村井勉：塑性と加工, vol.48 (2007-5) pp.379-382