

# 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 國方伸亮\*1

## 1. 緒言

近年、輸送機器の軽量化要求が特に厳しくなっていることから、これまで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への置換が進められている。これまで以上に使用する部材を軽量化するためには、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必要となる。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ずに、優れた強度特性が得られる強化法である。この加工法として、バルク材に巨大ひずみを導入し、極めて微細な結晶粒が得られる強ひずみ加工(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。一方で、圧延加工を応用した 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させる加工法で、量産化技術として注目されている。中空形状など比較的自由的な断面形状を得ることができる押出加工では、CEC(Cyclic Extrusion and Compression)などが SPD 法として開発されているが、自由的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

### 2.1 使用材料

供試材料は、純 Mg(99.9%)である。受理材の押出丸棒の内部のひずみ除去を目的として、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。その後、直径約 30mm、長さ約 50mm の試料寸法まで機械加工した。

### 2.2 加工方法および観察方法

試料の余熱の温度に応じて予備加熱した押出加工用金型を、サーボプレス機：H1F200-2 に供して、押出材の直径が約 10mm になるよう加工を行った。試料は、押出加工の直前に、所定温度(350、400°C)で余熱した。

得られた円柱試料の中心部近傍において、イオンミリング(Ar)で前処理した後、EBSD による組織観察を行った。

## 3. 実験結果および考察

図 1 に、各余熱温度で得られた押出加工材の中心部近傍における IQ マップおよび結晶粒界(GB)マップ、表 1 に結晶粒界の方位差と長さを示す。なお、GB マップにおいて、太線は大傾角粒界( $\theta_1 > 15^\circ$ )、細線は小傾角粒界( $5^\circ < \theta_2 < 15^\circ$ )をそれぞれ示している。なお、350°C で加工した押出材の IQ マップにおいて、結晶粒内に、5°未満の粒界も観察されたが、GB マップには示していない。いずれの温度で余熱した試料でも、大傾角粒界が多く形成されていることが観察された。表 1 に示すとおり、各試料の小傾角粒界( $\theta_2$ )の長さは、余熱温度の低い試料では、比較的多く観察された。

図 2 に、焼鈍材と押出材の極点図形と逆極点図形を示す。A1 方向と[100]は押出方向、極点図中心と A2 方向は円柱試料の半径方向となるよう分析した。焼鈍材では、マグネシウムの六方最密充填構造(hcp)の(0001)面が、極点図中心と A2 方向に集積しており、受理材の押出加工で生じ

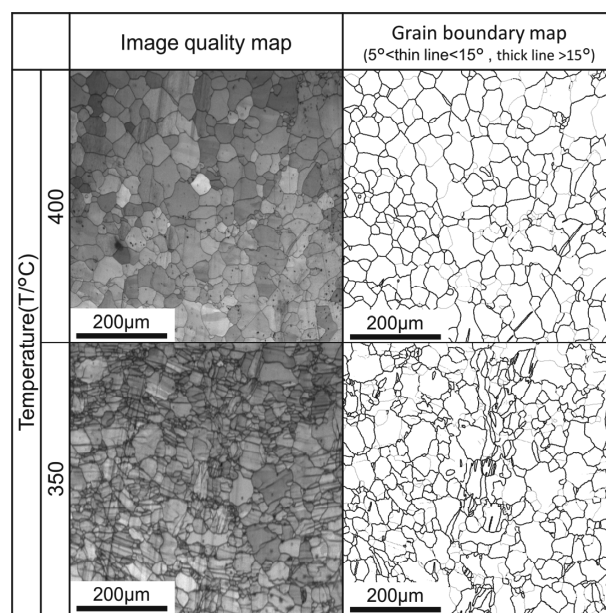


図 1 押出材の結晶粒界マップ

表 1 結晶粒界の角度と長さ

Temperature(°C)	Length of boundary(mm)	
	5-15deg	15-180deg
400	5.82	219
350	9.00	310

\*1 現 機械電子研究所

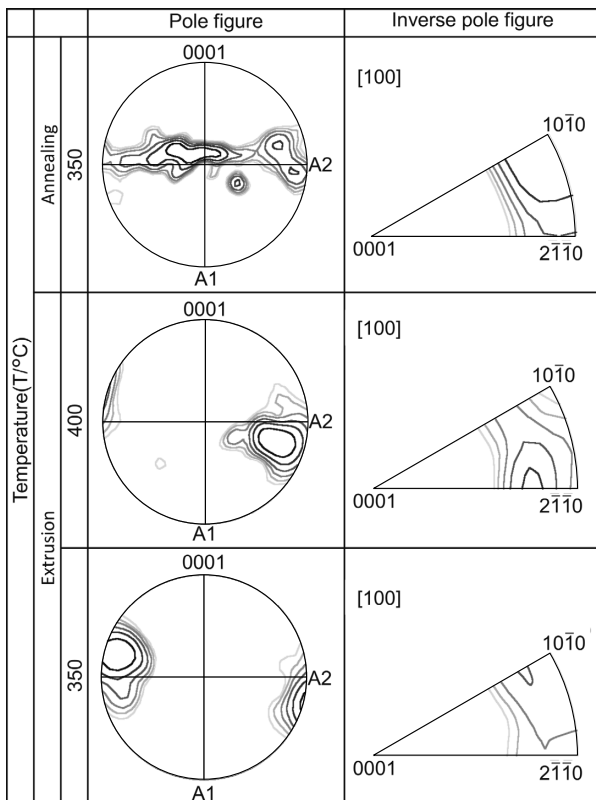


図2 焼鈍材と押出材の極点図形と逆極点図

た集合組織<sup>2)</sup>を形成しているものと考えられる。一方で、押出材の極点図形では、いずれの余熱温度においても、A2方向に(0001)面が強く集積したが、試料半径方向として等価な極点図中央には、ほとんど(0001)面の集積が観察されなかった。このことから、押出材は、特定の試料半径方向に対して、強い集合組織を形成したと考えられる。なお、焼鈍材と押出材のいずれの試料においても、押出方向への(0001)面の集積は、観察されなかった。

図3に、押出加工材の面積率による結晶粒径を示す。平均結晶粒径は、40 $\mu\text{m}$ (○: 予熱温度 350°C)と50 $\mu\text{m}$ (□: 予熱温度 400°C)であった。予熱温度を低くすることで、わずかな粒径の変化が確認されたが、目的とした微細結晶粒径には至らなかった。

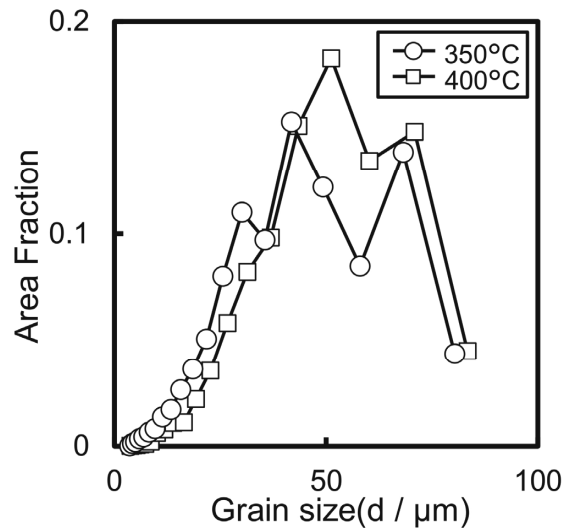


図3 押出加工材の結晶粒径

#### 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による組織解析を行った。その結果を次に示す。

- ・押出材の結晶粒界は、主に大傾角粒界であったが、余熱温度の低い試料の結晶粒界では、比較的多くの小傾角粒界が観察された。
- ・焼鈍材と押出材のいずれの試料でも、試料半径方向に対して、(0001)面が強く集積した集合組織が形成された。
- ・押出材で形成された集合組織は、特定の試料半径方向に(0001)が強く集積した。
- ・余熱温度による変化があるものの、押出材の平均結晶粒径は、40~50 $\mu\text{m}$ であった。

#### 参考文献

- 1)市川理衛ら：軽金属, vol.4 (1952) pp. 148-150
- 2)村井勉：塑性と加工, vol.48 (2007-5) pp.379-382

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, Nobuaki KUNIKATA

Extrusion severe plastic deformation developed for pure-magnesium, 99.9%Mg, its microstructure was analyzed by electron back scattered diffraction pattern. These grain sizes of specimen at extruded condition wasn't significant changed. In GB maps, low-angle grain boundary clearly increased at extrusion temperature. The plane (0001) pole figure of specimen extruded severe plastic deformation developed, showed distribution in specific extrusion direction.