

不純物元素を含むアルミニウム合金の加工性向上に関する検討

機能素材加工課 佐藤 智

1. 緒言

近年、アルミニウム合金のリサイクルへの関心が増しており、分析結果に基づく分別による水平リサイクルや固体電解によるアップグレードリサイクルに関する取組みなどが進められている。一方、不純物の混入は避けられないと想定されるため、不回避的に混入してしまう不純物の濃度を許容できれば、アップグレードリサイクルや新材の添加の頻度を低減させ、省エネルギー性に優れたリサイクルが可能と考えられる。

本研究では、不純物の加工性への悪影響に注目し、強ひずみ加工による結晶粒微細化と熱間加工性の向上を検討する。本報では、不純物を添加していない供試材料に対して、その効果を検討した結果を報告する。

2. 実験方法

供試材料は、アルミニウムの規格合金の中のうち高温における巨大伸びが確認されている A5083-O¹⁾とした。この試料を幅 29.8mm、長さ 44.4mm、高さ 20mm となるよう機械加工を施した。

強ひずみ加工には、多軸鍛造(MDF: Multi-Directional Forging)を用いて、鍛造パス間の相当ひずみが $\epsilon = 0.8$ となるように鍛造金型を製作した²⁾。鍛造金型内部に供試材料を設置し、加熱された油圧プレス機のチャンバーに導入後、圧縮荷重を加えて鍛造した。その後、試料を金型から取出し、所定のパス数(2、4、6)となるまで動作を繰り返し行った。加工温度として、チャンバー内部を 473、573、673K に加熱した。

得られた試料について、EBSD による組織解析と高温引張試験による m 値(ひずみ速度感受性指数)の測定を行った。EBSD は、Fig. 1 に示すように、試料の高さ約 10mm において、①中心部近傍と②の端から 5mm の位置で分析を行った。

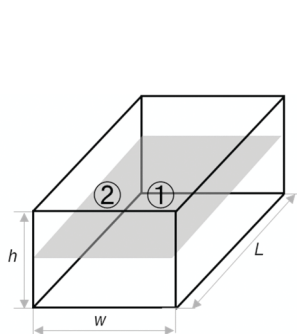


Fig. 1 EBSD の分析位置

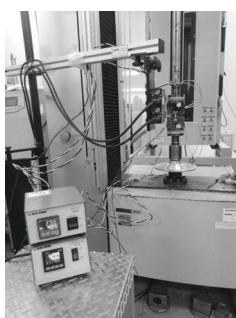


Fig. 2 高温引張試験

高温引張試験は、Fig. 2 に示すカードリッジヒーター式の加熱治具を製作し、治具温度は 673K で実施した。 m 値の測定のため、ひずみ速度急変法による試験を行い、公称ひずみ 10%毎にクロスヘッド変位速度を変化させ、1 つの試験片あたり 4 水準の速度で実施した。なお、試験片の平行部は、幅 3mm、厚さ 5mm、長さ 19mm であり、標線間距離 18mm とした。

3. 実験結果および考察

Fig. 3 に、供試材料と 573K の加工温度で 6 パスの多軸鍛造を行った試料の EBSD による分析結果を示す。供試材料の平均結晶粒径は、約 $33\mu\text{m}$ であったが、多軸鍛造材では、②では約 $10.2\mu\text{m}$ まで、①では約 $3.8\mu\text{m}$ まで微細化され、いずれも微細粒と粗大粒が混在した混粒組織となった。各加工温度において、このように測定した平均結晶粒径と累積相当ひずみの関係を Fig. 4 に示す。なお、573K-6 パス以外の条件については、1 回の分析結果に基づくものである。累積相当ひずみの増加に伴って、平均結晶粒径

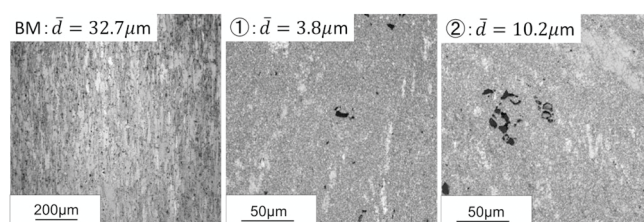


Fig. 3 EBSD による分析結果

(供試材料:BM、MDF 材:①中心部近傍、②端から 5mm)

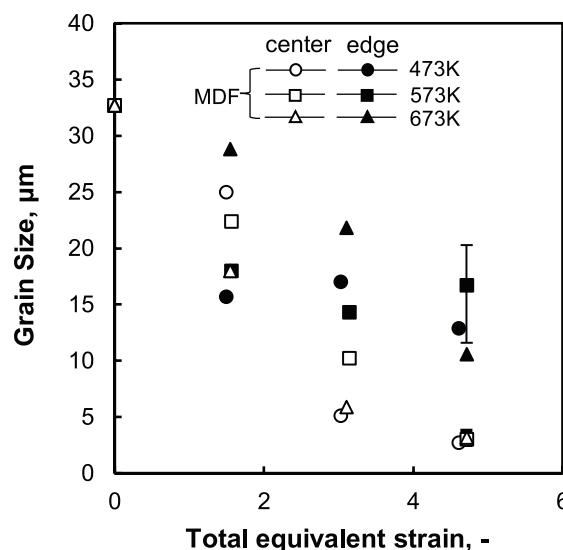


Fig. 4 各加工温度における累積相当ひずみと平均結晶粒径の関係

が小さくなる傾向があった。また、加工温度によらず、累積相当ひずみ約 4.8(6 パス)では、中心部近傍の結晶粒は数 μm まで微細化した。

Fig. 5 に、得られた結晶粒の熱安定性を調査するため、各加工温度の 6 パスで得られた試料について、673K-1hr の焼鈍しを行い、結晶粒径の変化を測定した結果を示す。熱処理前の粒径は、低温から順に 2.4、3.8、6.2 μm で顕著な差はなかったが、焼鈍しをすると、7.2、10.1、57.4 μm となった。特に 673K-6 パス材は、供試材料の加工前の結晶粒径を超える著しい粗大化が観察された。

Fig. 6 に、高温引張試験の治具温度 673K で得られた供試材料と多軸鍛造材(573K-6 パス)の真応力と真ひずみ速度の両対数関係を示す。なお、この図の関係は、次式で与えられ、 σ_f は真応力、 K は K 値、 $\dot{\epsilon}$ は真ひずみ速度である。

$$\sigma_f = K \dot{\epsilon}^m$$

これにより、図の勾配が m 値を示しており、供試材料では 0.23、多軸鍛造材では 0.28 となった。しかしながら、本報では、高温引張試験を実施するため、一般的な電気炉を用いた加熱機構ではなく、加熱治具を介した熱伝導により試験片を昇温した。これにより、試験片の平行部で大きな温度分布が生じ、不均一な変形となるため、 m 値が不正確と想定される。また、つかみ部においても変形がみられたことから、 K 値も同様に考えている。

4. 結言

不純物を添加していない A5083-O に対して、多軸鍛造を施し、EBSD による組織解析と m 値による熱間加工性の向上を検討した。その結果を次に示す。

- ・多軸鍛造により、数 μm の結晶粒径が得られた。
- ・多軸鍛造の加工温度が高い試料では、焼鈍しにより、微細化された結晶粒が著しく粗大化した。
- ・ m 値は、供試材料 : 0.23 から多軸鍛造材 : 0.28 まで向上した。

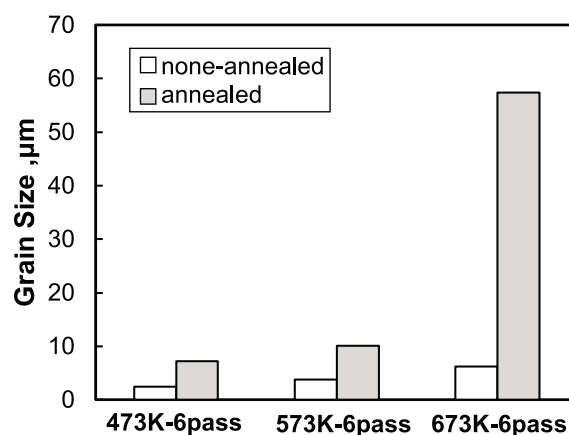


Fig. 5 焼鈍しによる結晶粒径の変化

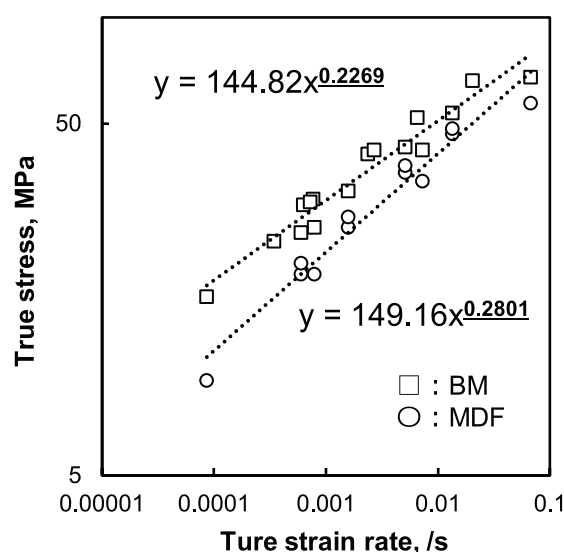


Fig. 6 真応力と真ひずみ速度の両対数関係

参考文献

- 1)伊藤勉ら:まてりあ, **56** (2017) 346-353
- 2)邢劼ら:軽金属, **54** (2004) 527-531

キーワード: アルミニウム合金、結晶粒微細化、 m 値

Study on the Improved Workability of Aluminum Alloys Containing Impurity Elements

Functional Material Processing Section; Masaru SATO

The severe plastic deformation, multi-directional forging was applied to aluminum alloy A5083-O in order to refining grain size and improving hot workability. The grain size in all processing temperature became down about 33 μm to several micrometer at total equivalent strain about 4.8. The specimen 673K-6pass significantly grew to from 6.2 μm to 57.4 μm by annealed 673K-1hr. The m -value in strain rate change test at 673K was 0.23 in unforged specimen, 0.28 in forged specimen 573K-6pass.