

令和元年6月10日現在

機関番号：13904

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K17810

研究課題名（和文）多軸鍛造法による超高強度・高熱的安定性バルクAl合金の開発

研究課題名（英文）Development of high-strength Al alloy with high thermal stability by multi-directionally forging

研究代表者

青葉 知弥 (Aoba, Tomoya)

豊橋技術科学大学・工学（系）研究科（研究院）・助教

研究者番号：50757143

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、アルミニウム合金の巨大ひずみ加工法の一つである多軸鍛造による結晶粒微細化過程と熱的安定性に関して調査した。Al-Mg合金およびこの合金をベースにスカンジウムを添加した合金を用いた。その結果、スカンジウム添加材では、多軸鍛造により緻密なせん断帯が多量に導入されており、これにより結晶粒微細化の進行が促進されていた。ベース合金に多軸鍛造を施した試料は数時間の焼鈍で溶体化処理直後の硬度まで軟化した。スカンジウム添加材に多軸鍛造を施した試料は3か月の焼鈍でも高硬度を保っていた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、時効硬化性のあるアルミニウム合金に対して巨大ひずみ加工法の一つである多軸鍛造法を施した後、焼鈍処理を行った。巨大ひずみ加工後のアルミニウム合金の析出挙動に関しては未解明な部分が多く、これに関して知見を得ることで、実用的な高強度合金設計に関する指針を作成するための一助となる。

研究成果の概要（英文）：This study investigated the grain refinement and thermal stability of aluminum alloy during multi-directional forging. The grain size of multi-directionally forged (MDFed) Al-Mg-Sc alloy up to cumulative strains of $\epsilon=6$ was smaller than that of MDFed Al-Mg alloy due to dense shear banding. MDFed Al-Mg alloy was softened immediately by annealing for several hours, but the Al-Mg-Sc alloy maintained high hardness even after three months of annealing.

研究分野：材料工学

キーワード：アルミニウム合金 組織制御 多軸鍛造法 結晶粒微細化 析出

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

アルミニウム合金は、高比強度材料であるため自動車や高速鉄道車等の輸送機器分野での需要が高い。近年では、様々な巨大ひずみ加工法により、 $1\mu\text{m}$ を下回る結晶粒径まで、微細化することによる母相強化が試みられている。例えば、超々ジュラルミンに高圧ねじり加工を施すことにより 1GPa 級の高強度化が達成されている。しかしながら、こうした巨大ひずみ加工により高強度化された合金は、比較的低い温度でも、回復ならびに粒成長により容易に軟化してしまう欠点があり、これを解決することが求められている。

2. 研究の目的

本研究は、高強度アルミニウム合金創製のための加工熱処理プロセス開発を目的として、アルミニウム合金の巨大ひずみ加工中の結晶粒微細化過程の調査と巨大ひずみ加工材の熱的安定性を評価した。具体的には、Al-Mg 合金およびこの合金をベースにスカンジウムを添加し、これに巨大ひずみ加工法の一つである多軸鍛造法を施して結晶粒を超微細化させた後、熱的安定性を調査した。

3. 研究の方法

本研究では、Al-2.9%Mg-0.2%Sc 合金と Al-2.9%Mg 合金を用意した。これらの合金の化学組成を表 1 に示す。

表 1 本研究で使用した合金の合金成分 (mass%).

	Mg	Si	Sc	Fe	その他	Al
ベース合金	2.93	0.043	-	0.147	<0.007	Bal.
スカンジウム添加材	2.93	0.041	0.2	0.136	<0.006	Bal.

これらの試料をそれぞれスカンジウム添加材とベース合金と表記する。本合金の熱間圧延板から、 $15.0 \times 20.3 \times 27.3 \text{ mm}^3$ の直方体状試験片を切り出した。塩浴にて 863 K 、 7.2 ks の溶体化処理を行い、その後水冷した。溶体化処理直後の試料に、ただちに室温にてパス間ひずみ $\Delta\varepsilon = 0.6$ 、初期ひずみ速度 $1.0 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ の条件で、累積ひずみ $\Sigma\Delta\varepsilon = 6$ までアムスラー型万能試験機を用いて多軸鍛造加工を行った。なお、試験片のバルジングを防ぐため、鍛造面に鉱油系のグリースを塗布した。試料の最終鍛造方向 (F.A.) に平行な縦断面に対し、組織観察を行った。組織観察は、走査型電子顕微鏡に付属する結晶方位解析装置を用いて行った。平均結晶粒径は、組織写真から直線横断法により測定した。引張試験は、ゲージ部 $2 \times 4 \times 0.7 \text{ mm}^3$ の型付き引張試験片を最終 F.A. に対して垂直向きで切出し、初期ひずみ速度 10^{-2} s^{-1} で、インストロン型万能試験機を用いて行った。大気炉にて 523 K で最大 10^4 ks まで焼鈍し、このときのビッカース硬さの変化を調査した。硬さ試験は、試料の最終鍛造方向 (F.A.) に平行な縦断面に対し、試験荷重 2.942 N 、荷重保持時間 15 s の条件で行った。

4. 研究成果

まず、ベース合金とスカンジウム添加材に多軸鍛造を施した際の結晶粒微細化機構について結晶方位解析装置にて調査した。鍛造を一回行った後の、両合金の組織写真を図 1 に示す。両合金を比較すると、スカンジウム添加の有無で低加工度の加工組織に明瞭な差異が生じていることが分かる。スカンジウム添加材では、多軸鍛造により緻密なせん断帯が多量に導入されていた。それに対し、ベース合金では、結晶粒内の粒界密度はスカンジウム添加材に比べて低く、結晶粒を横断するせん断帯は観察されず、加工組織がほとんど発達していない。多軸鍛造を累積ひずみ $\Sigma\Delta\varepsilon = 6$ まで施すと、結晶粒が微細化しており、スカンジウム添加材とベース合金の結晶粒径はそれぞれ $0.91\mu\text{m}$ と $1.5\mu\text{m}$ であった。多軸鍛造前の初期結晶粒径は、それぞれ $182\mu\text{m}$ と $158\mu\text{m}$ で、スカンジウム添加材が大きかった。このことから、スカンジウム添

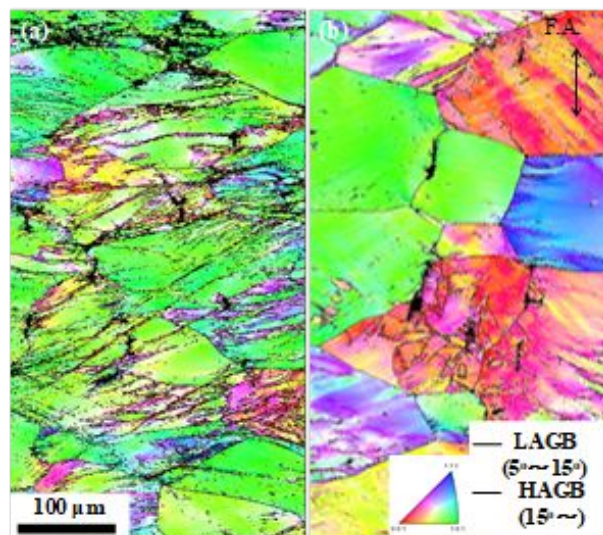


図 1. 低加工度での組織写真
(a)スカンジウム添加材、(b)ベース合金

加により発生したせん断帯の形成が多軸鍛造による結晶粒微細化の進行が促進したと考えられる。

図2に、スカンジウム添加材とベース合金の多軸鍛造材の引張試験結果を示す。多軸鍛造材はいずれも、均一伸びが1%程度で、伸びの大部分は局部伸びが占めている。全伸びは、累積ひずみ $\Sigma\Delta\varepsilon = 1.8$ 以上では加工度によらずほぼ一定で、8%程度の値を示した。累積ひずみ $\Sigma\Delta\varepsilon = 1.8$ では、スカンジウム添加材の方が、約30MPa強度が高く、全伸びは約2%小さい。加工度が $\Sigma\Delta\varepsilon = 6$ では、単調に降伏強度と引張強度は増大し、伸びはほとんど変化せず約8%を示した。降伏強度と引張強度ともに、スカンジウム添加材がわずかに大きく、約410MPaであった。中累積ひずみ($\Sigma\Delta\varepsilon = 1.8$)と高累積ひずみ($\Sigma\Delta\varepsilon = 6$)において、スカンジウム添加材が高強度を示したのは、スカンジウムの添加によって、すべり変形が抑制され、結晶粒がより微細化されたためと考えられる。次に、両合金に多軸鍛造を施した後に、523Kで焼鈍処理した際の硬度変化を調査した。ベース合金に多軸鍛造を施した試料は数時間の焼鈍で溶体化処理直後の硬度まで軟化したが、スカンジウム添加材に多軸鍛造を施した試料は約3か月の焼鈍でも100HV以上の高硬度を保っていた。スカンジウム添加によって顕著に熱的安定性が向上していることが明らかとなった。スカンジウム添加材の多軸鍛造後の熱的安定性に及ぼす、加工組織と析出状態の影響については更なる調査が期待される。

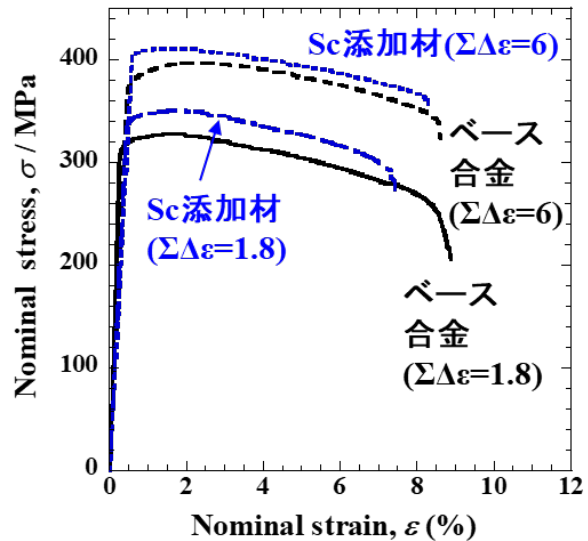


図2.引張試験により得られた応力ひずみ曲線

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

1. 青葉知弥、小林正和、三浦博己、“多軸鍛造を施した7075および7N01アルミニウム合金のミクロ組織と機械的性質”、*軽金属*, 68 (2018) 1-7. 査読有
2. T. Aoba, M. Kobayashi and H. Miura, “Microstructural Evolution and Enhanced Mechanical Properties by Multi-Directional Forging and Aging of 6000 Series Aluminum Alloy”, *Mater. Trans.*, 59 (2018) 373-379. 査読有

〔学会発表〕(計5件)

1. 青葉知弥、小林正和、三浦博己、“多軸鍛造を施したAl-Mg-Sc合金の時効特性と微細組織”、秋季軽金属学会、(2018).
2. T. Aoba, M. Kobayashi, H. Miura, "Microstructural evolution and change in mechanical properties of multi-directionally forged Al alloy", ICAA2018, (2018).
3. 青葉知弥、小林正和、三浦博己、“多軸鍛造Al-Mg合金の組織と機械的性質”、春季軽金属学会、(2018).
4. 渡邊千尋、門前亮一、青葉知弥、三浦博己、“超微細粒Al-Mg-Sc合金の変形挙動のひずみ速度・温度依存性”、秋季金属学会、(2017).
5. T. Aoba, M. Kobayashi, H. Miura, "Microstructural evolution and change in mechanical properties of 6063Al alloy by multi-directional forging and subsequent aging", International Research Center on Giant Straining for Advanced Materials, (2017).

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 出願年：
 国内外の別：

取得状況（計 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：
ローマ字氏名：
所属研究機関名：
部局名：
職名：
研究者番号（8桁）：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：
ローマ字氏名：

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。