

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：12301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K14178

研究課題名（和文）高プラトー応力と広プラトー領域を兼ね備えた革新的ポーラスアルミニウムの開発

研究課題名（英文）Fabrication of high plateau stress and wide plateau region porous aluminum

研究代表者

半谷 禎彦（Hangai, Yoshihiko）

群馬大学・大学院理工学府・准教授

研究者番号：80361385

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：ポーラスアルミニウム（Al）はAl内部に多くの気孔を含む多孔質構造を有するため超軽量な材料である。加えてポーラス化により衝撃吸収能や吸音性、断熱性といった優れた機能を持たせることができる。これらの機能により衝撃吸収材にポーラスAlを適用することで衝突時の衝撃緩和などの効果が期待される。更に、調和組織を利用することで、ポーラスAlの高プラトー応力と広プラトー領域を兼ね備えたポーラスAlが得られる。

研究成果の概要（英文）：Porous aluminum (Al) which has lightweight and high energy absorption has attracted special interest as a new functional material. It was found that high plateau stress and wide plateau region porous aluminum can be obtained by applying harmonic structures.

研究分野：金属材料工学

キーワード：ポーラス材料

1. 研究開始当初の背景

ポーラスアルミニウムは内部に気孔が多数存在する多孔質構造を有する素材であり、軽量なだけでなく緻密材にない優れた衝撃吸収性、断熱性、吸音性などを有している。そのため、自動車用部材への利用が期待されている。自動車用部材への利用に際して、衝撃吸収性を向上させるためには、圧縮特性を向上させることが重要である。しかし、純アルミニウム単体のポーラスアルミニウムでは圧縮特性の向上に限界がある。

また、ポーラスアルミニウムの母材の合金化により高強度化が可能となる。しかし、Al合金によって作製されたポーラスAlは脆性的な破壊挙動となり、プラトー領域において波打つような曲線となる。また、高ひずみ速度下の破壊では、ポーラスAlの破片が飛散してしまう問題も懸念される。

2. 研究の目的

そこで、純アルミニウムに高強度なアルミニウム合金であるADC12 (Al-Si-Cu系アルミニウム合金)粉末を添加することで、ポーラスアルミニウム母材をネットワーク組織(調和組織)化することで、圧縮特性の更なる向上を目指す。ポーラスアルミニウムの作製は、摩擦粉末焼結法(Friction powder sintering process)により行った。摩擦粉末焼結法はスペーサー法(Sintering and dissolution process)の一種であり、気孔形態の制御が容易なため圧縮特性の安定化につながると思われる。

本研究では摩擦粉末焼結法を用いて気孔率70%のADC12アルミニウム合金粉末を添加したポーラスアルミニウムの作製を試みた。得られたポーラスアルミニウムはX線CT(X-ray computed tomography)撮像により気孔形態の観察を行った。その後、静的圧縮試験によりポーラスアルミニウムの圧縮特性の評価を行った。これによりADC12アルミニウム合金粉末添加が圧縮特性にどのような影響を及ぼすか検討した。

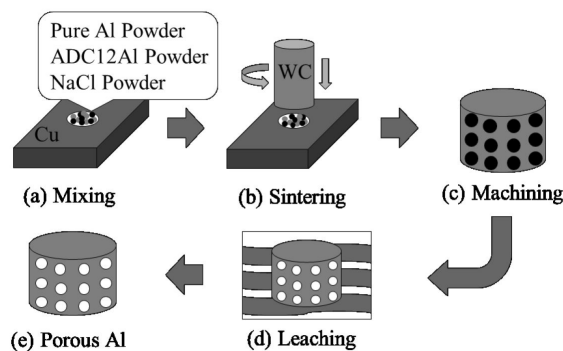


Fig1. Schematic illustration of friction powder sintering process for fabricating porous Al

3. 研究の方法

Fig.1 にポーラスアルミニウム作製方法の概略図を示す。純アルミニウム粉末、ADC12アルミニウム合金粉末と塩化ナトリウム(NaCl)粉末を原材料として用いた。ADC12アルミニウム合金粉末は純アルミニウム粉末に対して5 mass%、10 mass%、15 mass%を添加した。Fig.1 に示すように、NaCl体積割合70%となるように純アルミニウム粉末、ADC12アルミニウム合金粉末とNaCl粉末を混ぜた混合粉末を作製した。作製した混合粉末を直径15mmの穴を開けた厚さ10mm

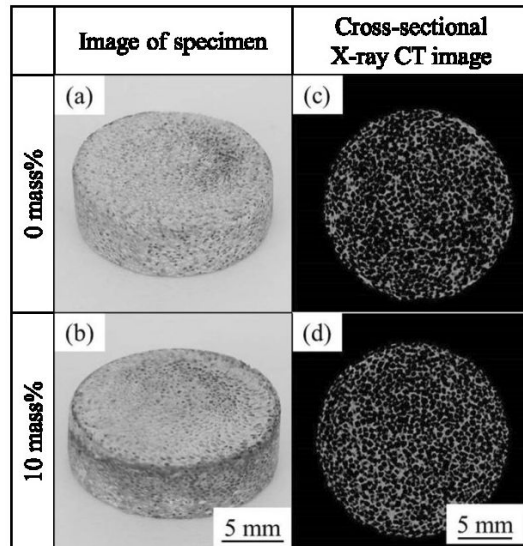


Fig.2 Images of obtained porous Al and cross-sectional X-ray CT

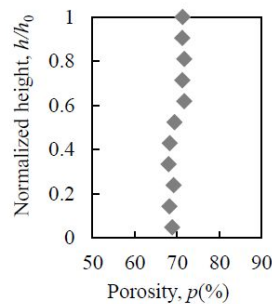


Fig.3 Distribution of porosity of Porous Al (10 mass%)

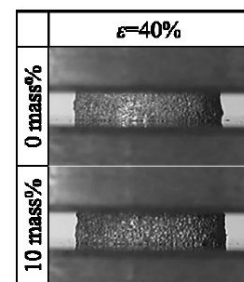


Fig.4 Deformation images during compression tests

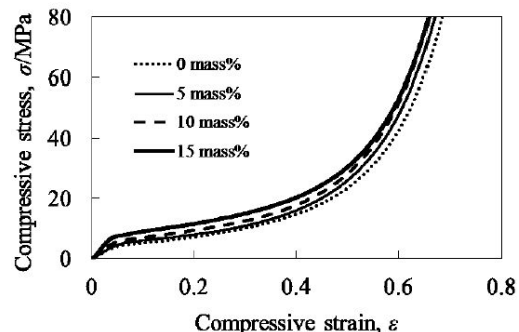


Fig.5 Stress-strain curves of compression test specimens

の無酸素銅の型に入れた．直径 25 mm の先端が平坦な超硬合金ツール (WC) を垂直方向に荷重 4000 kgf, 押し込み時間 120 s, 回転数 700 rpm で押し込むことで焼結を行った．焼結後, 機械加工によって焼結体を取り出し, 水洗により NaCl を除去することで, ポーラスアルミニウムが得られた．比較のため, ADC12 アルミニウム合金粉末を添加しない (0 mass%) の純アルミニウム単体のポーラスアルミニウムも同様の方法により作製した．

作製したポーラスアルミニウムに対して X 線 CT 撮像を用いて, NaCl が全て除去できているかの確認, およびポーラスアルミニウムの気孔形態の観察を行った．X 線 CT 撮像は管電圧 111 kV, 管電流 30 μ A の条件で行った．その後, 静的圧縮試験をクロスヘッド速度 1 mm/min の条件で行った．また, 圧縮試験時のポーラスアルミニウムの様子をビデオカメラで撮影し, その変形挙動を観察した．静的圧縮試験の結果から得られた ADC12 添加ポーラスアルミニウムの圧縮特性を比較した．

4. 研究成果

Fig.2 の(a)に純アルミニウム単体のポーラスアルミニウム, (b)に ADC12 を 10 mass% 添加したポーラスアルミニウムの外観図を示す．作製したポーラスアルミニウムは NaCl の融解は見られず, また, 水洗時における焼結不足による崩れは見られなかった．

Fig.2 の(c)に純アルミニウム単体のポーラスアルミニウム, (d)に ADC12 を 10 mass% 添加したポーラスアルミニウムのそれぞれの中心部における断面の X 線 CT 画像を示す．X 線 CT 画像より NaCl は完全に除去されたことが確認できた．気孔形状に注目してみると, ポーラスアルミニウムの気孔はスパーサーである NaCl の形状を転写した形状を有していることが確認された．また, 気孔の粗大化および気孔分布に偏析はなく, ほぼ均一な気孔形状が得られていることが確認できた．

Fig.3 に ADC12 添加量 10 mass% の試験片高さにおける気孔率分布を示す．気孔率は試験片の位置によらずおおよそ 70% となっていることが確認された．

Fig.4 に圧縮試験時における純アルミニウム単体, および ADC12 添加量が 10 mass% のポーラスアルミニウムの圧縮ひずみ 40% 時の変形の様子を示す．圧縮試験時, ポーラスアルミニウムは脆性的な破壊挙動は見られず, 延性的に破壊している様子が見られた．

Fig.5 に静的圧縮試験によって得られた応力 - ひずみ線図を示す．ADC12 アルミニウム粉末の添加量に関わらず, プラトー領域(4)での乱れも生じず, 延性的な曲線を示していることから十分な焼結状態であると考えられる．ADC12 の添加量の増加に伴って, 圧縮応力が向上していることが確認できた．これらのことからポーラスアルミニウムに

ADC12 アルミニウム合金を添加することで, 機械的性質は向上することが分かった．

以上, まとめると, 摩擦粉末焼結法により作製した気孔率 70 % のポーラスアルミニウムの, ADC12 アルミニウム合金粉末添加による機械的特性への影響を検討した．ADC12 を添加した場合でもポーラスアルミニウムは水洗時による崩れが見られず, 十分な焼結が行われていた．X 線 CT 撮像による気孔観察では, 気孔は NaCl の形状を転写した形を有していることが確認された．このことから気孔率, 気孔形態の制御が可能であり, 摩擦粉末焼結法の特徴を満たしていると考えられる．また, 応力 - ひずみ線図も ADC12 アルミニウム合金粉末の添加量の増加に伴い, プラトー応力の上昇が見られ, かつ延性的な曲線を示した．以上のことから ADC12 添加ポーラスアルミニウムの機械的性質は向上したと考えられる．

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

Yoshihiko Hangai, Tomoaki Morita, Shinji Koyama, Osamu Kuwazuru and Nobuhiro Yoshikawa, Functionally graded aluminum foam fabricated by friction powder sintering process with traversing tool, Journal of Materials Engineering and Performance, 25(9), pp. 3691-3696 (2016).(査読有)
<http://doi.org/10.1007/s11665-016-2218-x>

[学会発表](計6件)

池田裕樹, 半谷禎彦, 宇都宮登雄, A6061 合金添加ポーラス Al の作製の検討, 日本金属学会 2017 年春期(第 160 回)講演大会, 東京, 2017 年 3 月．(CD-ROM:P43-P0094)

池田裕樹, 半谷禎彦, 宇都宮登雄, ポーラスアルミニウムの Al 合金添加による圧縮特性向上の評価, 日本機械学会第 24 回機械材料・材料加工技術講演会, 東京, 2016 年 11 月．(CD-ROM: 609)

池田裕樹, 半谷禎彦, 宇都宮登雄, 放電プラズマ焼結法を用いた ADC12Al 合金添加ポーラス Al の作製の検討, 日本機械学会 M&M2016 材料力学カンファレンス, 神戸, 2016 年 10 月．(pp.777-778)

池田裕樹, 半谷禎彦, 藤井英俊, 桑水流理, 吉川暢宏, ポーラスアルミニウムの ADC12Al 合金粉末添加による機械的性質向上の検討, 軽金属学会第 130 回春期大会, 大阪, 2016 年 5 月．(pp.381-382)

池田裕樹, 半谷禎彦, 藤井英俊, 上路林太郎, 桑水流理, 吉川暢宏, ADC12 アルミニウム合金粉末添加ポーラスアル

ミニウムの気孔観察および組織観察，日本機械学会関東学生会第 55 回学生員卒業研究発表講演会，東京，2016 年 3 月．
(CD-ROM：402)

池田裕樹，半谷禎彦，鈴木良祐，松原雅昭，吉川暢宏，ADC12 アルミニウム合金粉末添加によるポーラスアルミニウム高強度化の検討，日本機械学会 M&M2015 材料力学カンファレンス，横浜，2015 年 11 月．(CD-ROM：OS0806-424)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

- 出願状況(計 0 件)
- 取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.st.gunma-u.ac.jp/mst/teacher>

6．研究組織

(1) 研究代表者

半谷 禎彦 (HANGAI YOSHIHIKO)
群馬大学・大学院理工学府・准教授
研究者番号：80361385

(2) 研究分担者

該当者無し

(3) 連携研究者

宇都宮 登雄 (UTSUNOMIYA TAKAO)
芝浦工業大学・工学部・教授
研究者番号：60176708

小山 真司 (KOYAMA SHINJI)
群馬大学・大学院理工学府・准教授
研究者番号：70414109

(4) 研究協力者

池田 裕樹 (IKEDA HIROKI)