

令和元年6月10日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04534

研究課題名（和文）金属間化合物その場生成によるネットワーク組織に基づいた革新的ポーラスアルミニウム

研究課題名（英文）Fabrication of porous aluminum with harmonic structures

研究代表者

半谷 禎彦（Hangai, Yoshihiko）

群馬大学・大学院理工学府・教授

研究者番号：80361385

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、Al粉末にCu微粉末を添加することで調和組織の形成を試みた。Al粒子の周囲にCu微粒子を配置し焼結させることで、Al粒子を囲うようにCu-Al系金属間化合物の生成が考えられる。したがって、高延性なAlの周囲に高強度なCu-Al系金属間化合物を配置した調和組織の形成が可能だと考えられる。一方で、圧縮特性の向上には気孔率、気孔径、気孔分布などの気孔形態を精度よく制御することも求められる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ポーラスアルミニウムは多孔質構造を有する素材であり、軽量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。本研究では、飴山らによって提唱されている高強度部と高延性部からなるネットワーク組織を、ポーラスアルミニウムのアルミニウム母材中に形成させることにより、高強度化と高延性化の両立を実現したポーラスアルミニウムの作製が期待される。

研究成果の概要（英文）：Aluminum foam (Al foam) is expected to be used for vehicle components and construction materials owing to its light weight along with its good energy absorption and thermal insulation properties. Although Al foam has superior specific strength to general dense Al, improved strength is desired for its application in these industrial fields. In this study, we attempted to fabricate an Al foam having a substrate with a harmonic structure that exhibits high strength and ductile deformation by adding Cu and using a sintering and dissolution process.

研究分野：金属加工学

キーワード：ポーラスアルミニウム

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

1. 研究開始当初の背景

右図 1 に示すようなポラスアルミニウムは多孔質構造を有する素材であり、軽量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。

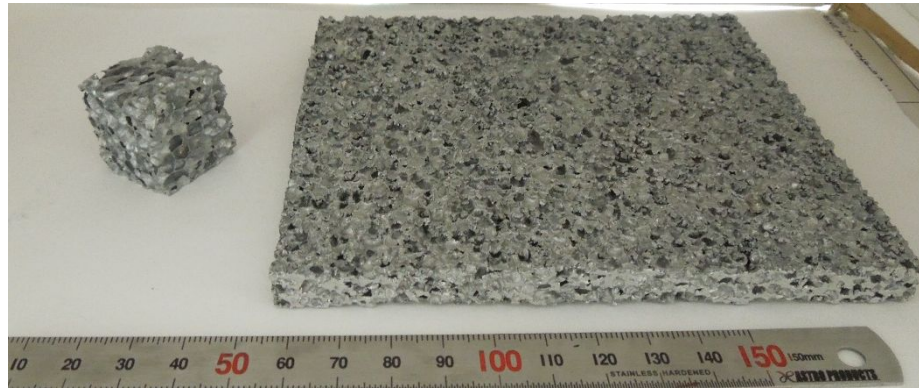


図 1 ポラスアルミニウム

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ラスアルミニウムでは圧縮特性の向上に限界がある。近年、原材料にアルミニウム合金を用いてポラスアルミニウムを作製することにより、ポラスアルミニウムの高強度化が図られている。しかしながら、アルミニウム合金によって作製されたポラスアルミニウムは、脆性的な破壊挙動となり、プラトー領域 (JIS H 7902:2016 ポラス金属の圧縮試験方法, JIS H 7009:ポラス金属用語等の規定では応力 - ひずみ曲線においてひずみ 20-30%の部分の応力の平均値で定義されている) で応力値の乱れが発生することが懸念されている。

そこで、飴山らによって提唱されている高強度部と高延性部からなるネットワーク組織を、ポラスアルミニウムのアルミニウム母材中に形成させることにより、高強度化と高延性化の両立を実現したポラスアルミニウムの作製が期待される。

一方で、圧縮特性の向上には気孔形態を精度良く制御することが不可欠であると考えられる。焼結スパーサー法を用いることで、母材となるアルミニウムと塩化ナトリウム (NaCl) 粉末を混合し、何らかの方法で焼結し、その後、焼結体を水洗し焼結体中から NaCl を除去することで、気孔形態の制御が可能であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、焼結スパーサー法を利用して気孔形態を精度良く制御を行うとともに、アルミニウム母材中にネットワーク組織を形成させることで、アルミニウム母材の高強度化と高延性化の両立を実現し、そのことにより、ポラスアルミニウムの高強度化と脆性破壊防止の両立をはかることを目的とする。特に、図 2 に示すように、アルミニウム粉末中に銅粉末を混合させておく

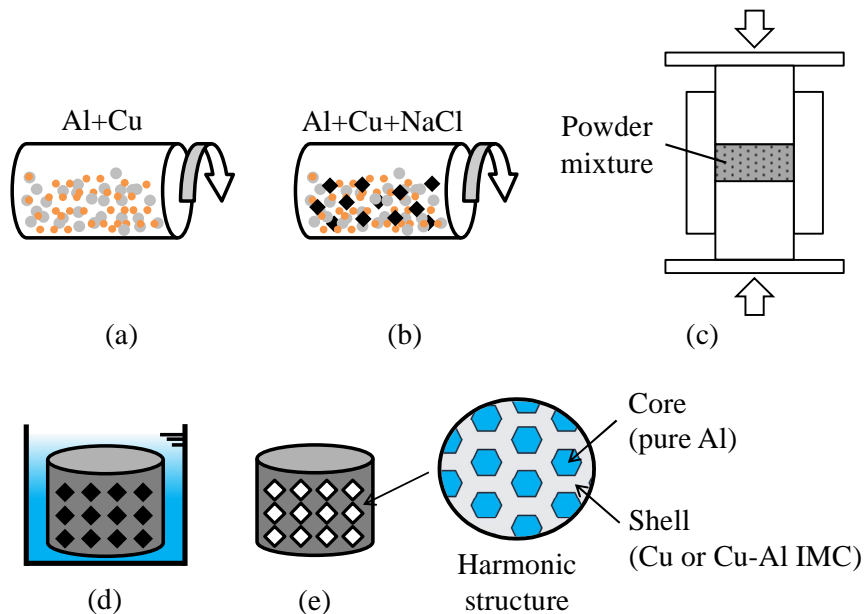


図 2 本研究のネットワーク組織による高強度化と脆性破壊防止の両立方法

ことで、焼結時にアルミニウム粒子の表面に高強度な Al-Cu 金属間化合物層を生成させることで、金属間化合物層がネットワーク組織となるため、高延性のアルミニウムと、高強度の金属間化合物で、ネットワーク組織となり、高強度化と脆性破壊防止の両立をはかれることが期待される。

3. 研究の方法

図3に焼結スパーサー法の作製手順の概略図を示す。出発材として、Pure Al粉末（粒径 20 μm 以下）、Cu粉末（粒径 1 μm 以下）およびスパーサー粉末として塩化ナトリウム（NaCl）粉末（425 - 500 μm ）を用いた（図3（a））。まず、Cu粉末の添加量が 3 vol%、6 vol%、10 vol% となるように Al粉末と混合した（図3（b））。そして、NaCl体積割合が 70% となるように NaCl粉末を混合し、混合粉末を作製した（図3（c））。混合粉末を直径 20 mm、高さ 40 mm の黒鉛型に充填した（図3（d））。上下から黒鉛パンチによって圧力を加え、放電プラズマ焼結（Spark Plasma Sintering, SPS）装置（住友石炭鉱業株式会社製 SPS 1050）で焼結を行った。焼結条件は、室温から 723 K まで 8 min で昇温させた後、773 K まで 2 min で昇温させた。その後、773 K を 10 min 保持し、焼結体を作製した。焼結時、加圧力は 50 MPa を保持した。得られた焼結体を静水中で水洗することで NaCl を除去し（図3（e））、ポーラス Al を作製した（図3（f））。作製したポーラス Al は、クロスヘッド速度 2 mm/min による静的圧縮試験から圧縮特性の評価を行った。

4. 研究成果

図4（a）、（b）に Cu 添加量 3 vol%、6 vol% のポーラス Al の外観写真を示す。得られたポーラス Al は、水洗時、焼結不足による崩れは見られなかった。また、NaCl の偏析による崩れも見られなかつ

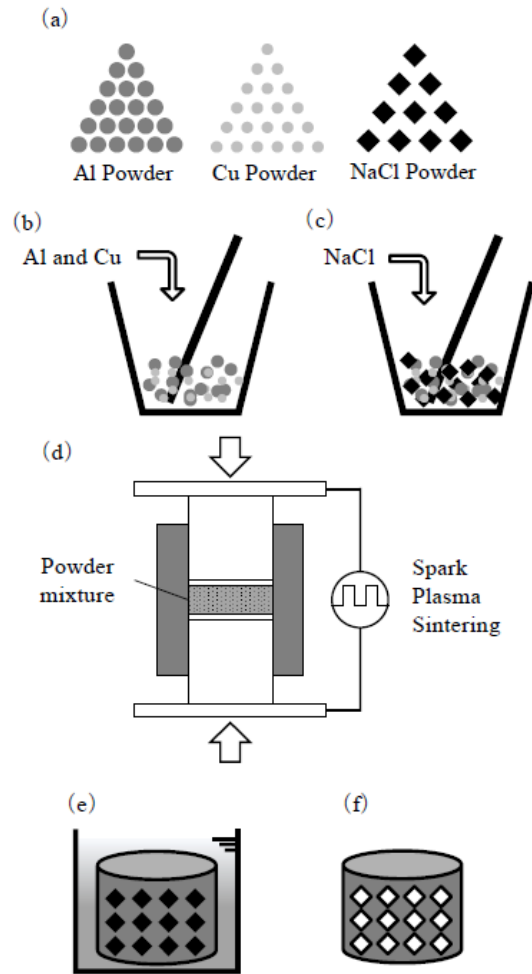


図3 ネットワーク組織を有するポーラスアルミニウムの作製方法概略図

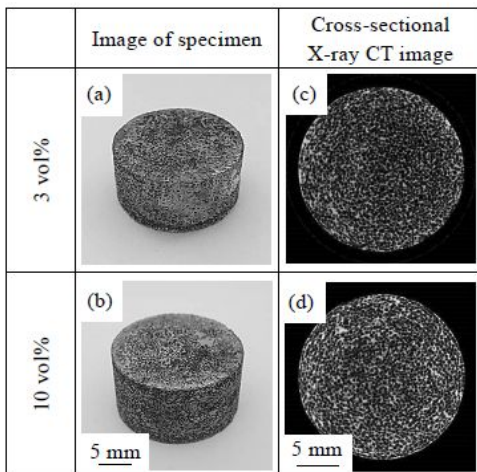


図4 作製したポーラスアルミニウム外観とその X 線 CT 画像

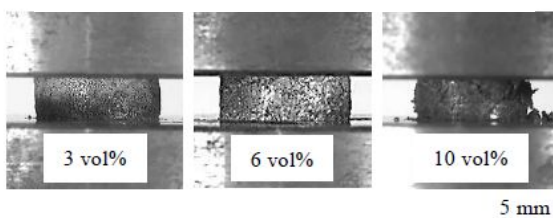


図5 作製したポーラスアルミニウムの圧縮変形挙動

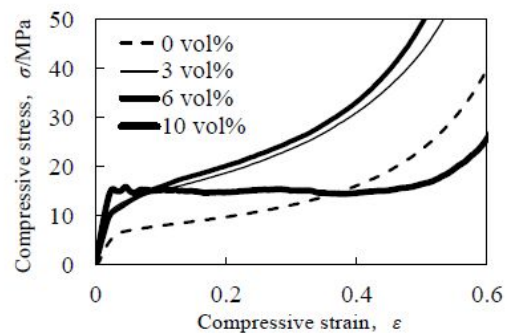


図6 作製したポーラスアルミニウムの応力 - ひずみ曲線

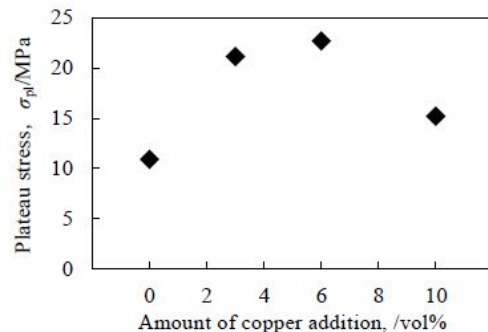


図7 作製したポーラスアルミニウムのプラトー応力と Cu 添加量

た。図4(c),(d)に3 vol%, 6 vol%の試験片中心位置のX線CT画像を示す。X線CT画像から、得られたポーラスAlは、ほぼ均一な気孔分布を有していた。また、試験片中心までNaClが除去されていることが確認できた。加えて、除塩前と除塩後の質量から算出した除塩率からもNaClが除去されていることを確認した。

図5に圧縮ひずみ = 0.3における圧縮変形挙動の様子を示す。3 vol%, 6 vol%は試験片が崩れることなく延性的な破壊挙動を示した。しかし、3 vol%, 6 vol%は緻密化領域において試験片の欠落が見られた。これはCu-Al系金属間化合物の脆性破壊により欠落したと考えられる。10 vol%は焼結不足のため試験片側面部から欠落し、試験片全体に脆性的な破壊が進行した。

図6に静的圧縮試験から得られた応力-ひずみ線図を示す。また、比較のためにCuを添加していない0 vol%のポーラスAlの結果も示す。応力-ひずみ線図から、Cuの添加により0 vol%に比べ初期最大圧縮応力値が上昇し、高強度な応力-ひずみ曲線が得られた。3 vol%, 6 vol%は延性的な破壊により、試験片の崩れが伴わず気孔が圧潰したため滑らかな応力-ひずみ曲線となった。10 vol%は最も高い初期最大圧縮応力を示したが、プラトー領域において応力値の低下が見られた。この応力値の低下は、焼結不足により試験片が欠落したことが要因だと考えられる。今後、焼結時の加圧力を上昇させることで焼結状態を改善し、10 vol%の条件においても圧縮特性の向上が期待できる。

図7に圧縮試験から得られたプラトー応力を示す。プラトー応力は、0.2 - 0.3の圧縮ひずみにおける圧縮応力の平均値として算出した(4)。3 vol%, 6 vol%は0 vol%に比べて2倍のプラトー応力を示した。しかし、10 vol%は0 vol%に比べて1.4倍のプラトー応力を示し、3 vol%, 6 vol%よりも低い値を示した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 7件)

(1) [Yoshihiko Hangai](#), Nguyen Ngoc Minh, Tomoaki Morita, Ryosuke Suzuki, Masaaki Matsubara and Shinji Koyama, Cutting process for aluminum foam fabricated by sintering and dissolution process, *Advanced Powder Technology*, 28(5), pp. 1426-1429 (2017). (査読有)

(2) [Yoshihiko Hangai](#), Tomoaki Morita, [Takao Utsunomiya](#), Functionally graded aluminum foam consisting of dissimilar aluminum alloys fabricated by sintering and dissolution process, *Materials Science & Engineering A*, 696, pp. 544-551 (2017). (査読有)

(3) [Yoshihiko Hangai](#), Tomoaki Morita, [Takao Utsunomiya](#), Mechanical Properties of Functionally Graded Porous Aluminum Consisting of Pure Aluminum and Al-Mg-Si Aluminum Alloy, *Key Engineering Materials*, 741, pp. 1-6 (2017). (査読有)

(4) [Yoshihiko Hangai](#), Hayato Matsushita, Shinji Koyama, Ryosuke Suzuki and Masaaki Matsubara, Reproducibility of aluminum foam by combining sintering and dissolution process with precursor foaming process, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 48(7), pp. 3161-3163 (2017). (査読有)

(5) [Yoshihiko Hangai](#), Kousuke Zushida, Hidetoshi Fujii, Osamu Kuwazuru and Nobuhiro Yoshikawa, Fabrication and compression properties of functionally graded copper foam made using friction powder sintering and dissolution, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 26(9), pp. 4508-4513 (2017). (査読有)

(6) [Yoshihiko Hangai](#), Tomoaki Morita, [Takao Utsunomiya](#), Fabrication of Al foam with harmonic structure by Cu addition using sintering and dissolution process, *Materials Letters*, 230, pp. 120-122 (2018). (査読有)

(7) [Yoshihiko Hangai](#), Hiroki Ikeda, Kenji Amagai, Ryosuke Suzuki, Masaaki Matsubara, Nobuhiro Yoshikawa, Fabrication of two-layered aluminum foam having layers with closed-cell and open-cell pores, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 49(10), pp. 4452-4455 (2018). (査読有)

[学会発表](計 1件)

(1) 安藤瑞季, 半谷禎彦, 天谷賢児, 永廣怜平, 宇都宮登雄, 吉川暢宏, 焼結スパーサー法と発泡法で作製した傾斜機能ポーラスアルミニウムの圧縮特性 軽金属学会第135回秋期大会, 東京, 2018年11月. (pp.263-264)

[図書](計 0件)

[産業財産権]

出願状況(計 0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：宇都宮 登雄

ローマ字氏名：Takao Utsunomiya

所属研究機関名：芝浦工業大学

部局名：工学部

職名：教授

研究者番号（8桁）：60176708

(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。