

半凝固アルミニウム合金を用いた多孔質金属材料の作製

花房龍男, 大石 郁

Making of Porous Metallic Material by the Semi-solid Aluminum Alloy

HANAFUSA Tatsuo and OHISHI Kaoru

We tried to make the porous metallic material to which paid attention as a functionality material, recently, without using the viscosity improver. The porous aluminum was able to be made by the semi-solid aluminum. And, a peculiar Plateau area to the porous material was able to be confirmed by the compression examination of the porous aluminum.

近年、機能性材料として着目されている多孔質金属材料を、増粘剤を用いることなく作製することを試みた。半凝固状態にしたアルミニウム合金を発泡させることでアルミニウム多孔質体を作製することができた。また、アルミニウム多孔質体の圧縮試験を行い、多孔質体特有のプラトー領域を確認することができた。

キーワード：多孔質金属, 半凝固, アルミニウム

1. 緒 言

内部に数 nm～数 mm の空孔を有する金属材料は多孔質(ポーラス)金属といわれ、母材となる金属の種類や空孔の形、大きさ等に応じて様々な特徴を有し、その特徴を生かして超軽量材料、振動吸収・触媒材料、フィルター材料、生体医療材料、熱交換器材料など、極めて広い応用展開が期待されている¹⁾。

その中で、現在一般機械器具等で広く使用されている材質であるアルミニウム合金を多孔質化させる手法には、鋳造法、焼結法等の手法が知られている¹⁾。これらの中で、大量生産に向いているのは鋳造法である。鋳造法により多孔質アルミニウム合金を作製する場合、隣接する気孔同士が結合して1つになる“合一”を防止するために、母材溶湯の粘度を増す必要がある。そのため、溶湯中に増粘剤として一般的に金属 Ca が添加される^{1), 2)}。しかし、Ca は活性金属であり取扱いに注意が必要である。

一方、スラリーや泥漿において知られているように液体中に固体が分散されると見かけの粘度が増加する。これは、分散された固体により流動性が阻害されるためである。

そこで、本研究では増粘剤を使用することなく多孔質体を作製するために、固液共存状態である半凝固状態のアルミニウム合金を発泡させることで多孔質体を作製することを試みた。

2. 実験方法

母材に用いたアルミニウム合金の化学組成を表 1 に示す。また、発泡剤には高純度化学研究所製水素化チタン(粒径 45 μm 以下, 純度 99%)を用いた。

多孔質アルミニウムの作製方法は、650℃に保持した電気炉内に黒鉛坩堝を用いてアルミニウム合金を投入し完全に溶解する。その後、炉内で溶湯温度を 590℃まで下げ、半凝固状態にした後、発泡剤を 3%添加し、10sec 攪拌し、溶湯を 60sec 保持した後、φ60×30mm の鉄製金型へ注湯した。

表 1 使用したアルミニウム合金の化学組成 (mass%)

Si	Mg	Cu	Ni	Fe	Al
16.5	1.17	0.90	0.95	0.15	Bal.

3. 実験結果および考察

鋳造後の断面写真を図 1 に示す。なお、比較用に 650℃でアルミニウム合金を完全に溶解し、溶湯温度を低下させずに発泡剤を 3%添加 10sec 攪拌し、溶湯を 60sec 保持した後、鉄製金型へ注湯したものの断面写真を図 2 に示す。図 2 から、半凝固状態にしない場合、気孔の数が少なく、また気孔が上部のみに分散していることが分かる。これは発泡時や溶湯保持時および注湯時に気泡が合一して気泡の数が減少するとともに、気泡が溶湯上部に浮上することで不均一な状態になったものと考えられる。

一方、半凝固域において発泡させて鋳造したものは、僅かに粗大な気孔も有するがほぼ 1-3mm の気孔が全体に

分散していることが分かる。これらのことから、増粘剤を用いることなく金属多孔質体を作製できることが分かった。なお、この多孔質アルミニウム合金の気孔率は、多孔質体の嵩比重(ρ_p)、アルミニウム合金の比重($\rho_{al}^{3)}=2.7$)および発泡剤の比重($\rho_f=3.9$)と発泡剤の添加量(C)を用いて次式から求め、25%であることが分かった。多孔質体の嵩比重は見かけの体積および重量から算出した。

$$\text{気孔率} = 1 - \rho_p / \{ \rho_{al} \times (1 - C) + \rho_f \times C \}$$

固液共存状態では一般的に見かけの粘度が増加し、その粘度は次式によって表される⁴⁾。

$$\eta_s = \eta_0 \left\{ 1 + k / \left(1 / f_s - 1 / f_{sc} \right) \right\}$$

ここで、 η_s ：半凝固状態の粘度、 η_0 ：液体状態の粘度、 k ：固相の形状係数、 f_s ：固相率、 f_{sc} ：流動限界固相率である。このことから、アルミニウム溶湯が半凝固状態になり、固相が析出し、その体積率が増加することにより粘度が高くなり、気孔の合一や浮揚を防止し、金属多孔質体を作製できることが分かった。



図1 半凝固アルミニウム合金を用いた多孔質金属材料の断面写真

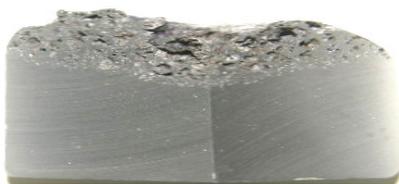


図2 半凝固させることなく铸造したアルミニウム合金多孔質金属材料の断面写真

また、多孔質体の期待される用途の一つに、乗用車のバンパーなどの輸送用機械における衝撃エネルギー吸収材がある。これは、多孔体を構成する気孔(セル)における、セル壁の弾性変形と塑性変形などによるセル壁の崩壊とにより、圧縮ひずみが増加しても一定の応力を保つプラトー領域があるためである⁵⁾。そこで、作製した多孔質アルミニウムを島津製作所製万能引張圧縮試験機(UDH-200A)により圧縮試験した結果を図3に示す。試験片は図1の中心部付近より15mm×15mm×20mmの試験片を切出し、別途気孔率を算出した後、試験を行った。

なお、応力は次式によって求めた。

$$\text{応力} = \text{試験力} / \{ \text{試験体の面積} \times (1 - \text{気孔率}) \}$$

また、比較としてインゴットから同様の形状に試験片を切出して試験を行った緻密体の結果も合わせて記載する。

緻密体は圧縮弾性率を示す急激な応力増加を示した後、圧壊した。一方、多孔質体では、0-6%の低ひずみ領域で発泡体の圧縮弾性率を示す急激な応力増加が見られるが、その後塑性変形によるセル壁の崩壊が進むため応力の増減を繰り返しながら、0.05MPa程度の一定の応力を保つプラトー領域が歪50%程度まで続く。その後、急激な応力増加を示し圧壊した。

このことより、半凝固状態のアルミニウム合金を発泡させることで作製した多孔質体においても、多孔質材料特有の圧縮変形挙動におけるプラトー領域を持つことが分かった。

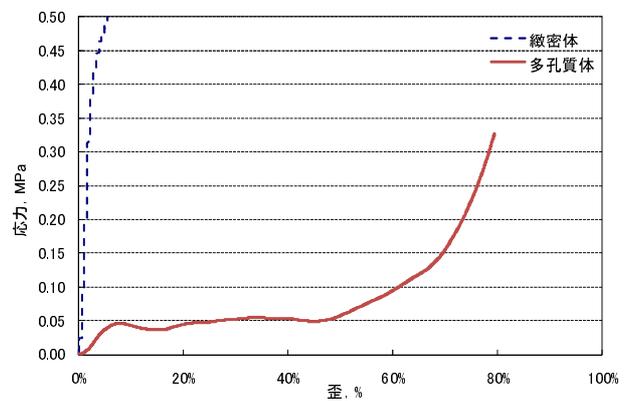


図3 多孔質アルミニウム材料の圧縮試験結果

4. 結 言

固液共存域での増粘機構を利用することで、増粘剤を用いることなく金属多孔質体を作製することができた。また、この多孔質アルミニウム合金の圧縮試験を行い、多孔質体特有のプラトー領域を確認することができた。

今後は、気孔径の均一性やプラトー応力の向上が課題と考える。

文 献

- 1) (財)素形材センター：ポーラス金属の利用技術の可能性に関する調査研究報告書(要旨)，(2006)。
- 2) 三好鉄二，西誠治：金属，74，10-14 (2004)
- 3) 軽金属協会編：アルミニウムハンドブック，朝倉書店，1963，p. 49。
- 4) 森信幸：日本金属学会誌，48(9)，936-944 (1984)。
- 5) L. J. Gibson, M. F. Ashby：セル構造体—多孔質材料の活用のために—，内田老鶴圃，1993，p. 272。