

エンボス加工とめっき接合によるポーラス金属部材の創製

京都大学大学院 エネルギー科学研究科
准教授 袴田 昌高
(平成 29 年度 一般研究開発助成 AF-2017006)

キーワード：ポーラス金属，接合，圧縮試験

1. 研究の目的と背景

ポーラス金属の製造法は 2001 年に発表された総説¹⁾以降も種々開発されており、そのうちの一つに、金属の小要素（部材）を接合してポーラス金属とする手法がある。例えば、金属中空球や金属中空管²⁾、金属短繊維³⁾などを結合する手法があり、さらにはリサイクルを視野に入れ、金属の切削屑を小要素として接合する創製方法もある⁴⁾。これらの手法によれば、程度の差はあるものの、ポーラス金属の製造において課題である気孔性状（気孔率、孔径、気孔形状等）を制御できる。例えば厚みを均一に制御した金属中空球を必要数用意して成形すれば、発泡法等の従来法に比べて機械特性のばらつきは抑えられる。加えて、気孔性状の傾斜化や局所化なども容易である。

一方で、部材としてのポーラス金属成形に必要な接合技術は、焼結（拡散接合）、あるいは金属によるろう付けなど、加熱を必要とする従来技術が転用されている段階に留まっている。加熱は金属組織の劣化（粒成長、金属間化合物形成等）の原因になるため、室温での接合が望ましい。

著者らは近年、金属どうしをめっきにより室温接合する「めっき接合」の研究を進めている（図 1）⁵⁾。この手法ではめっきを金属部材の間に接着剤のように析出させ、接合する。この際に、被接合金属の表面に陽極酸化処理等によりポーラス構造を形成しておくことで、被接合金属とめっき材の間にアンカー効果を得ることができ、接合強度が著しく向上する（図 2）。一方、デメリットとして、広い領域のめっきの均一析出・充てんの難しいことが挙げられる。

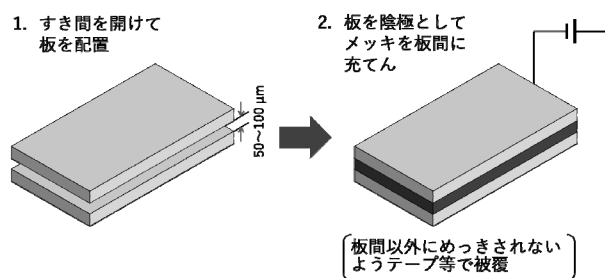


図 1 めっき接合の模式図

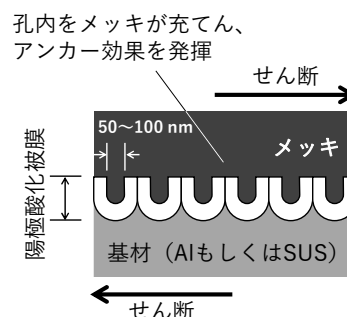


図 2 陽極酸化により形成されるポーラス構造を利用したナノアンカー効果の模式図

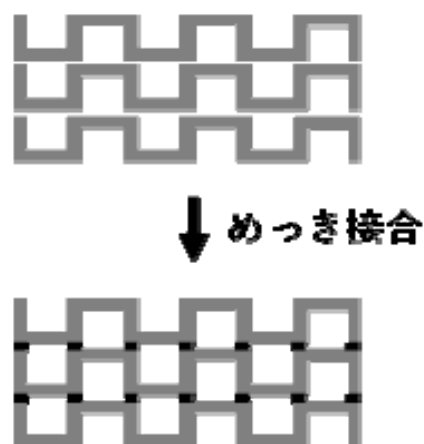


図 3 エンボス板のめっき接合によるポーラス金属創製法の模式図

以上の背景から、今回、金属エンボス板どうしをめっき接合することによってポーラス金属を作ること考えた（図 3）。この場合、めっき接合がカバーする領域は板どうしの接触点周囲のわずかな部分でよく、上述しためっき接合のデメリットは考慮しなくてもよくなることが期待される。本報告書では、被接合材として 2 枚のアルミニウムエンボス板をめっき接合で一体化し、その圧縮特性を調べた結果を報告する。

2. 実験方法

純アルミニウム製のエンボス板（図 4）を、純アルミニウム板材の冷間加工により作製した。エンボス板／めっき間のアンカー効果を目的として、これらのアルミニウム板の陽極酸化処理を行った。アルミニウムエ

ンボス板をアセトンにより脱脂洗浄したのち陽極に、また陰極には SUS316 板を用い、0.3 mol/L H_3PO_4 水溶液中で 30 V の定電圧を 1 時間印加した。蒸留水で洗浄後、陽極酸化後のアルミニウムエンボス板表面を走査電子顕微鏡（SEM）により観察し、酸化被膜の微細孔の生成を確認した。

陽極酸化後のアルミニウムエンボス板を 2 枚積層したのち、接合部以外をテフロンテープで被覆し、銅めっきに供した。なお、テフロンテープによる被覆はエンボス板どうしの位置関係の固定も兼ねている。

銅めっき条件を表 1 に示す。硫酸銅浴を用いた典型的な定電流銅めっきの条件であるが、広範囲における銅めっき充てんに有利となる添加剤のヤヌスグリーン B（JGB）の添加量を変えた。アルミニウムエンボス板を 2 枚積層したものをポーラスアルミニウムとみなし、各条件下で作製したポーラスアルミニウムを室温で一軸圧縮試験に供した。クロスヘッド速度は 0.01 mm/s

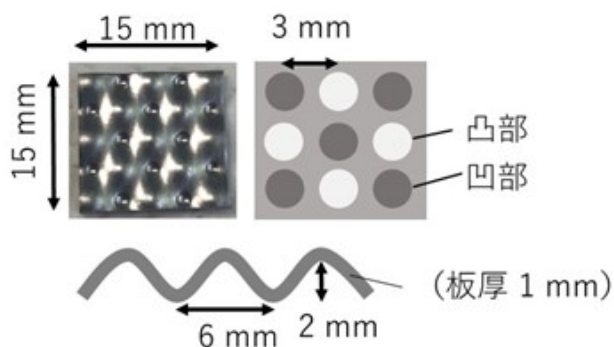


図 4 純アルミニウムエンボス板の外観写真・模式図

表 1 めっき条件

浴組成	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 220 g/L H_2SO_4 60 g/L NaCl 0.1 g/L
添加剤	ポリエチレングリコール（分子量 6000） 0.5 g/L ビス（3-スルホプロピル）ジサルファイド 10 mg/L ヤヌスグリーン B（JGB）0～20 mg/L
陽極	銅板
陰極	アルミニウムエンボス板（2 枚積層）
電流密度	1.5 A dm^{-2}
通電時間	5 時間
その他	室温、700 rpm で攪拌、電極間隔約 3 cm

とした。圧縮方向はエンボス板の板厚方向と平行とした。また、試料を切断し樹脂埋め・研磨後、光学顕微鏡を用いて接合（銅めっきの充てん）状況を観察した。

3. 実験結果および考察

3・1 純アルミニウムエンボス板の陽極酸化

陽極酸化処理後の純アルミニウムエンボス板試料表面の SEM 観察の結果を図 5 に示す。表面には孔径約 50 nm、気孔率約 30% の微細な孔が多数観察された。この多孔構造は陽極酸化処理を施したエンボス板表面全域で観察され、また、エンボス加工されていない純アルミニウム板表面に形成されるものとよく似ていた。従って、エンボス加工が純アルミニウムの陽極酸化へ及ぼす影響はほぼないといえる。

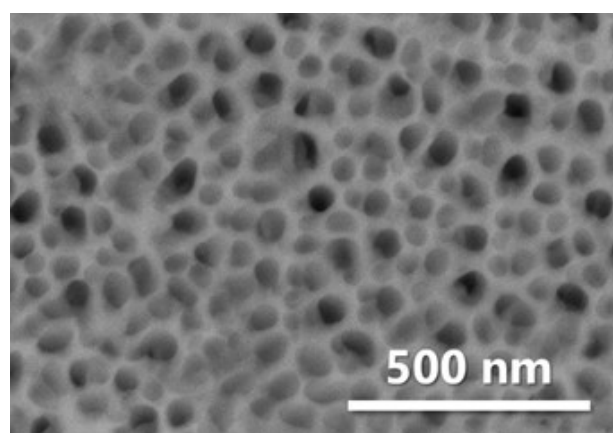


図 5 陽極酸化を行ったアルミニウムエンボス板表面の SEM 写真

3・2 接合試料外観

アルミニウムエンボス板を 2 枚積層したものをめっき接合後により接合した試料の外観写真を図 6 に示す。この図に代表されるように、いずれのめっき条件においてもエンボス板間に銅めっきが析出していた。また、

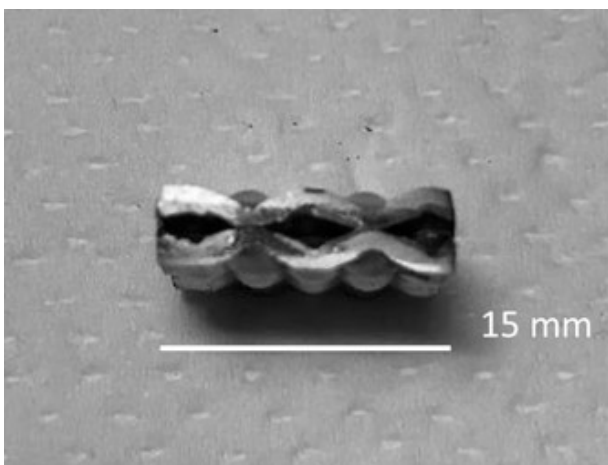


図 6 銅めっき接合後の 2 枚のアルミニウムエンボス板の外観

少なくとも接合後に手で取り扱う範囲では 2 枚の板がはがれることはなく、めっきにより良好に接合されていることが示唆された。

3・3 圧縮試験結果

試料の圧縮試験結果を図 7 に示す。変形初期に応力とひずみが比例する弾性領域、その後ほぼ一定の応力で大きな変形を示すプラトー領域（プラトー応力は約 12 MPa）、高ひずみ領域で応力が急上昇する緻密化領域が見られた。これらはポーラス金属特有のものであり、また、プラトー応力はエンボス板 1 枚を板厚方向に圧縮した際のプラトー応力と概ね一致した。なお、公称応力—公称ひずみ曲線を見る限り、JGB の添加量は圧縮特性に本質的に影響を与えなかった。

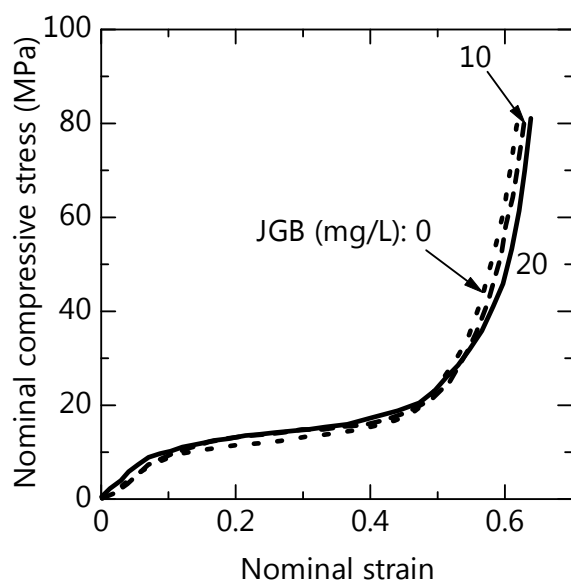


図7 アルミニウムエンボス板2枚のめっき接合によって作製したポーラスアルミニウムの室温圧縮特性

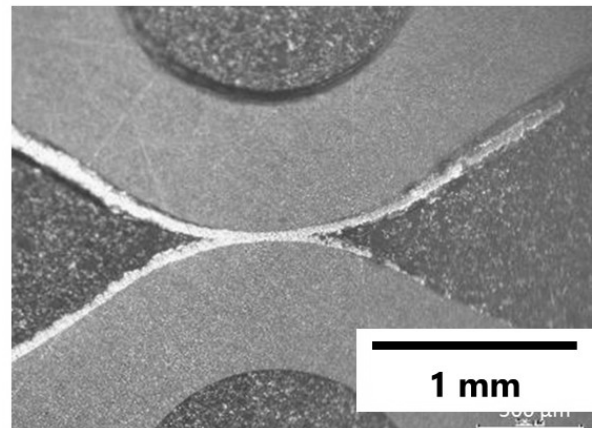
図 8 に、異なる JGB 添加量でめっき接合したエンボス板試料の接合部位の観察結果を示す。JGB の添加量が、（本研究で試した範囲では）銅めっきのエンボス板間の充てん状況に影響していないことがわかる。これは、エンボス板どうしが接合点を中心とした狭い領域で接合されるためであったと考えられる。図 7 に示した、圧縮試験結果に大きな違いが生じなかったこととも符合し、JGB の利点である広範囲での充てん率向上は、本研究で試した範囲では重要ではなかったと考えられる。このことから、めっきによる局所接合でポーラス金属として十分な機械特性を発揮していることがわかる。

4. 結言

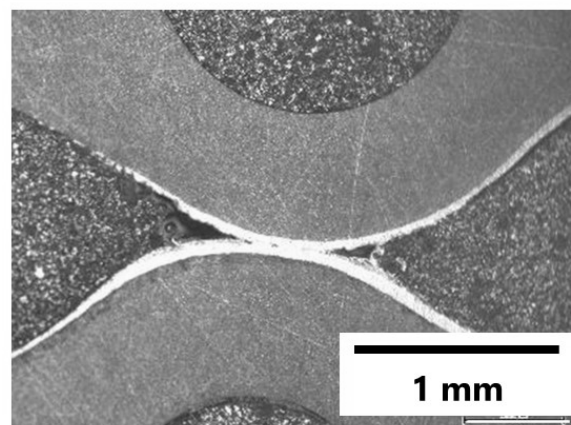
新しいポーラス金属作製法として、銅めっきによる純アルミニウムエンボス板どうしの接合を試みた。銅めっきにより 2 枚のアルミニウムエンボス板どうしを

接合した結果、ポーラス金属特有の圧縮特性を示す試料を作製できた。試料の大きさ（エンボス板の大きさおよび接合枚数）、接合時間の短縮などが今後の課題である。

(a) JGB 0



(b) JGB 10



(c) JGB 20

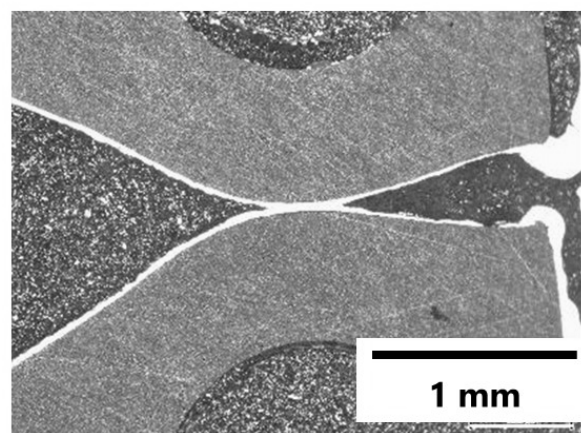


図8 異なる JGB 添加量のアルミニウムエンボス板 2 枚のめっき接合で作製したポーラスアルミニウムの断面観察結果（「JGB」の横の数値が添加量（mg/L）を示す）

謝 辞

本研究に助成いただいた公益財団法人天田財団、また共同で研究いただいた京都工芸繊維大学の飯塚高志准教授に感謝の意を表する。また、SEM 観察は京都大学大学院エネルギー科学研究科の国際先端エネルギー科学研究教育センター保有の共通機器で行われた。

参考文献

- 1) J. Banhart, Prog. Mater. Sci. **46** (2001), 559.
- 2) 吉村：素形材 **53** (2012), 24.
- 3) Y. Chino et al., Mater. Sci. Eng. A **417** (2006), 281.
- 4) Y. Chino et al., J. Mater. Res. **17** (2002), 2783.
- 5) M. Hakamada et al., Mater. Trans. **59** (2018), 324.