



ロータス形状ポーラス金属の創製

— ポーラス材料学の構築をめざして —

中 嶋 英 雄*

Fabrication of Lotus-Structured Porous Metals — Toward Construction of Porous Materials Science —

Key Words : Porous Metals, Lotus-Structure, Foamed Metals,
Cell-Structure, Sintered Materials

1. はじめに

木材、骨、葉や茎などの天然材料からハニカム・フォーム、食品のような人工材料に至るまで我々の身の周りには実に多くの多孔質材料が存在する。図1に示したように、我々の最も身近な大腿骨、脛骨、椎骨などは、その外殻は緻密骨、中心部は多孔

質の海綿骨から構成されている。椎骨と椎骨の間の関節や長い骨の両端のような部位ではこの構造をとることにより骨の重量を最小にし、荷重支持面積を大きく(従って関節にかかる応力を小さく)することができる。この海綿骨が存在することで最小限必要な機械的性質を維持しながら、重量が軽減されている。このような生体材料1つをとっていてもたいへん頭脳的な先端材料設計がなされている。我々のような金属材料や無機材料を扱っている研究者も自然界、特に生体材料に学ぶべきところが大きいと考えられる。

ところで、工業用バルク素材のほとんどすべては、粉末冶金焼結法や溶解・鋳造法によって製造されている。それ際に生成される多孔質は、その後の成形加工、圧延プロセスにおいてクラックの発生源になるなどの理由によってそれぞれの材料の機械的性質をはじめとする機能的性質を著しく損なわせる有害なものとして扱われてきた。それらの製造プロセスにおいて、充填率の高い、高密度の材料を製造することが高性能製品には不可欠の条件であった。もし機械的強度に優れた多孔質材料ができれば、軽量化構造材料、輸送機器材料等として、また、多孔性、巨大表面を利用したフィルター、電極材料などへの広範な種々の用途が開けてくることになる。このように、既存の金属材料をポーラス化という高機能化をすることによって付加価値の非常に高い多孔性金属材料としてのポーラス金属合金に注目し開発して行くことは、まさに時代の要請に適合したものと言えよう。

従来、金属中に鋳造むらとしてできる気泡や空隙は強度を低下させる欠陥とされていた。しかし、我々は気泡(ポア)を繊維のように一方向に揃えることによって軽量な、しかも、ポア成長方向に強いポーラ

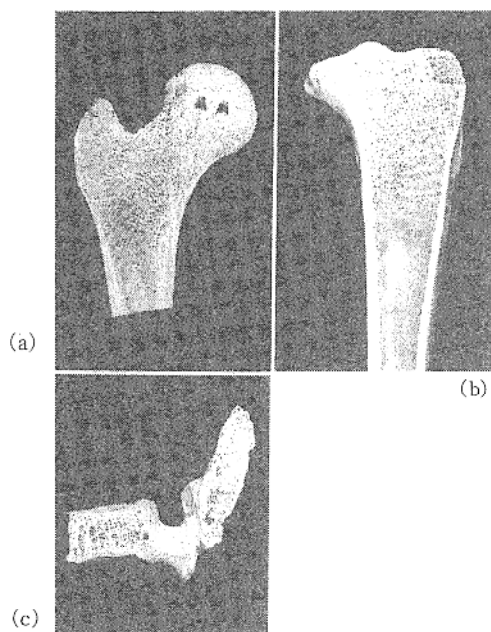


図1 (a)大腿骨頭、(b)脛骨、(c)椎骨の断面組織



* Hideo NAKAJIMA
1949年2月15日生
1977年東北大学大学院工学研究科金属材料工学専攻博士課程修了
現在、大阪大学産業科学研究所
(高次制御材料科学研究部門)、教授、
工学博士、材料物性
TEL 06-6879-8435
FAX 06-6875-8439
E-Mail hideo.nakajima@sanken.
osaka-u.ac.jp

ス金属を作製することが可能であることを見いだした。我々はこれまで欠陥扱いされてきた気泡を縦方向に連結させレンコン状の金属を創製することに成功した。これは従来の鑄造欠陥を逆転の発想のもとに新素材の開発つなげていこうと考えたものである。我々はこのようなポーラスメタルの創製、物性研究から開発研究に至るまでの広範な研究を行っている。

2. ロータス形状ポーラスメタルの作製法

このポーラスメタルの作製原理は、熔融状態からの一方向凝固時における過飽和ガス原子の析出に伴って気泡を金属内に一方向に生成させるものである。すなわち、熔融金属におけるガス原子の溶解度が大きく、その固体金属中での固溶度が小さい場合、凝固時に過飽和ガス原子が析出して気泡を形成することを利用している。しかも、一方向凝固を行わせることで気泡(ポア)に方向性をもたせることができる。この結果、ロータス(レンコン)形状ポーラスメタルを創製することができた。

図2のように、ハース(鑄型)に水冷部を設けて流し込んだ熔融金属を下方から、あるいは、側面から

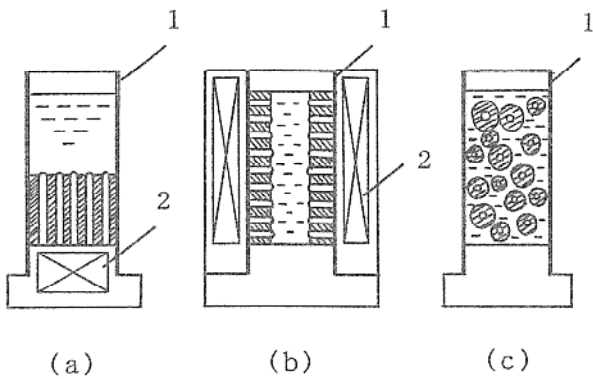


図2 一方向凝固法。1：鑄型，2：冷却部。
(a) 冷却部が底面に設置された鑄型
(b) 冷却部が円筒側面に設置された鑄型
(c) 局所的な冷却部が設置されない鑄型

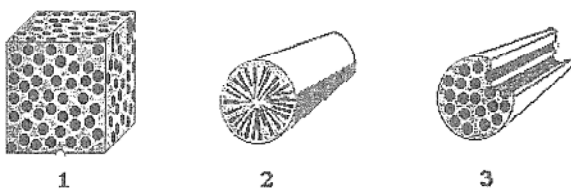


図3 ロータス形状ポーラスメタルのポア形態
(1) ランダムな球状ポアをもつポーラスメタル
(2) 放射状ポアをもつポーラスメタル
(3) 一方向性多芯状ポアをもつポーラスメタル

一方向凝固させるとポアの成長方向はそれぞれ下から上へ向かう一方向性多芯状構造に、あるいは、円周から中心に向かって放射状構造になることが実験的に明らかにされた。このようなポアの形態制御によって図3のようなさまざまなポーラス金属を作製することができる。このように、本製造方法によるロータス形状ポーラスメタルは方向、ポアサイズ、ポロシティを自由に制御できることや、強度の極端な劣化を生じないことなど発泡金属、焼結金属などとは全く異なり際だった特徴を有している。これらのポア形態制御のためのパラメーターとしては、熔融温度、凝固冷却速度、水素(酸素)ガス圧力、不活性ガスとの混合体積比・圧力などが挙げられる。

実際に、ポーラス化できる金属系は、水素雰囲気では、鉄、ニッケル、アルミニウム、銅、マグネシウム、コバルト、タングステン、マンガン、クロム、ベリリウム、チタンとそれらの合金であり、酸素雰囲気では、銀、金とその合金である。

図4には一方向性多芯状のポアをもつポーラス銅の横断面および縦断面の光学顕微鏡による観察写真を示した。縦断面観察写真から明らかなように、成長方向(凝固界面の移動方向)にポアはポアサイズにもよるが、20mmから80mm程度にまで成長している。これを利用すれば、板厚20~30mmの孔の貫通したポーラス金属板や、パイプ、ドラム型形状を作製することができる。

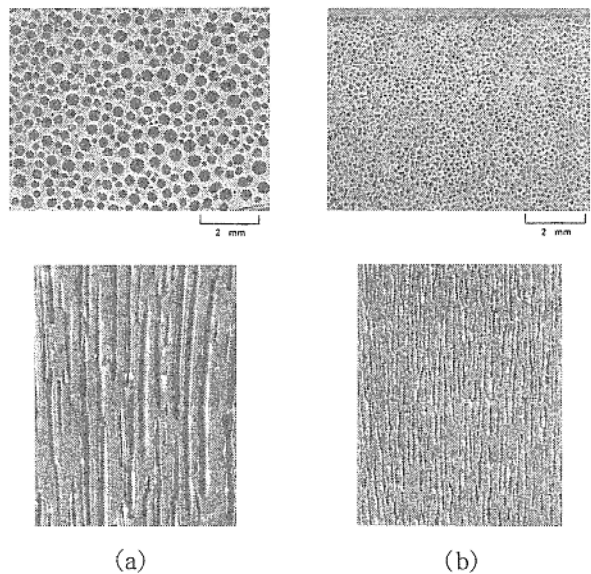


図4 一方向性多芯状のポアをもつポーラス銅の(写真上)横断面および(写真下)縦断面の光学顕微鏡観察写真
(a) 圧力：4気圧，ポロシティ：44.9%
(b) 圧力：8気圧，ポロシティ：36.6%

3. ポアの一方方向成長機構

図5にはポアの成長過程の代表的な2つの様式を示した。図5(a)は、水の沸騰やソーダ水の過飽和現象に見られる場合のガスの核生成、成長プロセスであり、バブルの表面積が大きくなると界面エネルギーが大きすぎてバブルは分離してしまう。一方、固液界面の移動速度、つまり、凝固速度とポアの成長速度が同じ速度である場合は図5(b)に示したように、液体に接した表面積は一定、すなわち、界面エネルギーは一定であるために、ポアの粗大化や分離は起こらず、一定の直径に保たれた長いポアが形成される。しかしながら、実際には、固液界面の平坦性の不完全さ、不純物介在物の存在、温度勾配の

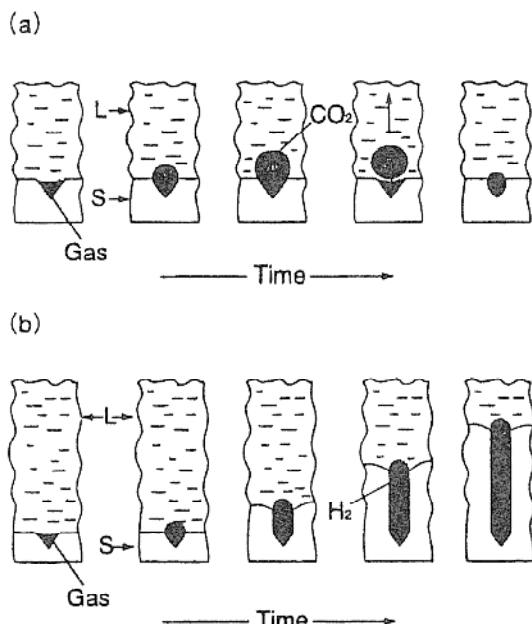


図5 ポアの成長過程、(a)沸騰、ソーダ水の過飽和現象でのポアの核生成と成長、(b)一方方向凝固液面におけるポアの核生成と成長

不均一性、液体の対流などによってポアの分裂や癒着などの現象がしばしば起こる。このような欠陥を避けるためには、凝固過程における温度勾配の制御、液体対流の抑制、不純物の制御などをきめ細かに行わなければならない。

4. 今後の展開に向けて

我々のグループで作製したロータス形状ポーラスメタルの特徴をまとめてみると、

- (1) ポアサイズの直径は $1\mu\text{m}$ から 10mm 程度である。
- (2) ポアの方向を自由に制御できる。
- (3) ポロシティは最大80%程度である。
- (4) ノンポーラス金属材料に比べて表面積は数百～数千倍大きい。
- (5) 機械的加工性、成形性、切削性に優れる。
- (6) 減衰能が大きい。
- (7) 電気伝導性に優れる。
- (8) 熱伝導性に優れる。

などが挙げられる。現在、これらのポーラスメタルの機械的性質、疲労試験、内部摩擦、弾性的性質をはじめ、相変態に関係した基礎的研究を系統的に行っている。今後、電磁氣的性質をはじめとする機能的性質に関する研究も始める予定である。これらの研究成果を集大成することによって、新しい学問研究領域「ポーラス材料学」の構築をめざしていきたいという夢を抱いている。

また、上述の特徴を生かして、電池電極材料、生体医療材料、フィルター、流体軸受け、熱交換器、軽量化各種機械部品などへの応用をめざした開発研究も企業との連携の下に進められつつある。ロータス形状ポーラスメタルは材料科学と応用の両面で21世紀に向けた大いなる新展開が期待できる素材であると考えている。

