

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 27 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2012

課題番号：23760668

研究課題名（和文）一方向性ポーラス金属の量産化手法の確立

研究課題名（英文）Consideration of Mass Production Technique of Lotus-Type Porous metal

研究代表者

井手 拓哉（IDE TAKUYA）

大阪大学・産業科学研究所・助教

研究者番号：40507183

研究成果の概要（和文）：

HV自動車のインバーター素子を半分程度まで小型化するためには、既存のヒートシンクの数倍すぐれた冷却能を有するヒートシンクの開発が必要である。このような次世代ヒートシンクの最有力候補として円柱状の気孔が一方向に配列したロータス型ポーラス金属（以降ロータス金属と表記）が挙げられる。しかしながら、ロータス金属を作製するためには高圧の水素雰囲気下で金属を溶解必要があるため実用化が困難である。そこで、本研究課題ではロータス金属ヒートシンクの実用化に向けて、安全かつ安価なロータス金属の作製法を確立する。具体的にはガス化合物熱分解法を用いてガス化合物の添加量、添加間隔および熔融金属の保持量を変化させてロータス銅を作製した。さらに作製時に水素センサを用いて熔融金属中の水素濃度をin-situで測定し、その制御方法を検討した。

熔融銅の保持量およびガス化合物の添加間隔を減少させた際に均一な気孔形態を有するロータス銅が作製できた。また、ガス化合物の添加量の影響については、ガス化合物の添加量を増加させると同様に均一な気孔形態を有するロータス銅が作製できた。それらのいずれの条件についても水素センサで熔融金属の水素濃度が高く保たれるのが確認された。しかしながら、大量のTiH₂の添加および不十分な熔融金属の保持量においては、Tiの濃化のために連続的な一方向凝固が困難であった。ガス化合物の熱分解に伴う水素濃度の変化については、水素センサを用いたin-situの測定により理解することができた。また、その添加条件に伴う水素濃度の変化については、ガス化合物の熱分析の結果と小澤法を用いたガス化合物の熱分解反応の予測により理解、最適化することができた。

研究成果の概要（英文）：

Porous metals with directional pores aligned in one direction, called as lotus or gasar metals, exhibit superior mechanical and thermal properties compared with other porous metals with spherical pore. Therefore, lotus metals are expected to be used as heat sinks, impact energy absorber, etc. Thus, extensive studies have been carried out to develop new fabrication techniques and improve their properties.

Recently, we developed a safer and cheaper fabrication technique for the lotus metals. Lotus metals are

fabricated by utilizing a hydrogen solubility gap during solidification. So far, a fabrication technique using high pressure hydrogen has been investigated. However, there were two experimental difficulties. One is the need for a high pressure chamber which is expensive. Another is the use of hydrogen gas, which is flammable and explosive. In order to overcome these problems, a novel technique which uses gas-forming compounds as a gas source is developed. This method is called as the thermal decomposition method (TDM); gas atoms can dissolve in the melt through the thermal decomposition of the compound containing a gas element. In the present study, lotus copper is fabricated through the thermal decomposition method combined with a continuous casting technique.

The copper was melted in a graphite crucible by induction heating. The copper melt dropped downward into a tundish, in which pellets of titanium hydride were supplied at a constant time interval in order to maintain the dissolving hydrogen constant. Then to solidify the melt continuously, a graphite dummy bar pulled molten copper through a cooling mold at a constant transfer velocity.

Porous copper with directional pore aligned in one direction was fabricated with the solidification velocity 80mm/minute and with addition of a pellet in argon atmosphere of 0.1MPa. Lotus-type porous copper can be fabricated through thermal decomposition method by continuous casting technique.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：材料工学

科研費の分科・細目：構造・機能材料

キーワード：ポーラス金属、ロータス型ポーラス金属、連続鋳造

1. 研究開始当初の背景

HV 自動車のインバーター素子を半分程度まで小型化するためには、既存のヒートシンクの数倍すぐれた冷却能を有するヒートシンクの開発が必要である。このような次世代ヒートシンクの最有力候補として円柱状の気孔が一方向に配列したロータス型ポーラス金属（以降、ロータス金属と表記）が挙げられる。しかしながら、ロータス金属を作製するためには高圧の水素雰囲気下で金属を溶解必要があるため実用化が困難である。

2. 研究の目的

本研究ではロータス金属ヒートシンクの実用化に向けて、安全かつ安価なロータス銅の作製法を確立する。具体的には大気圧下の連続鋳造でロータス金属を作製し、気孔率・気孔径を任意に制御する手法を開発することを目的とした。

3. 研究の方法

水素ガス法用の連続鋳造装置にガス化合物熱分解法を適用するために、内るつぼ、内るつぼへの熔融金属の連続供給装置、およびガス化合物の添加装置を新たに設置した。

0.1 MPaのアルゴンガス雰囲気下で外るつぼに純銅を設置し、高周波加熱にて溶解した。溶解後、外るつぼに押し込み棒を押し込み、溶融銅を内るつぼにオーバーフローさせ、引出量と同量の銅を内るつぼに供給し、内るつぼ内の溶融銅の保持量を一定に保った。連続鋳造の引出速度はいずれの条件においても70 mm/minで一定とした。本研究では、溶融金属の保持量、ガス化合物の添加量および添加間隔を変化させてロータス銅鋳塊を作製した。ガス化合物の添加量および添加間隔を0.1 g および 15 秒で一定としつつ、溶融金属の保持量を72、144、および216 gに変化させた。溶融金属の保持量およびガス化合物の添加間隔をそれぞれ72 g および 15 秒で一定としつつ、ガス化合物の添加量を0.05 g、0.10 g、0.20 g、および0.40 gに変化させた。また、溶融金属の保持量およびガス化合物添加量をそれぞれ72 g および 0.1 g で一定としつつ、添加間隔を10 秒、15 秒、および20 秒に変化させた。

ガス化合物には水素化チタン(以後、TiH₂と表記)を用いた。計量したTiH₂をゼラチンカプセル内に封入して溶融金属に添加した。

ワイヤーカット放電加工機(Sodik社製、AQ325L)を用いて、一方向凝固させた銅鋳塊を引出方向に対して垂直および平行に切り出し、画像解析ソフト(三谷商事社製、WinROOF)により解析し、気孔率および平均気孔径を決定した。

4. 研究成果

図1に溶融金属の保持量を変化させて作製したロータス銅の引出方向に対して垂直および平行断面を示す。ガス化合物の添加量は0.1 g、添加間隔は10 秒である。いずれの条件においても気孔が形成する。溶融金属の保持量を144 gとして作製した鋳塊においては、

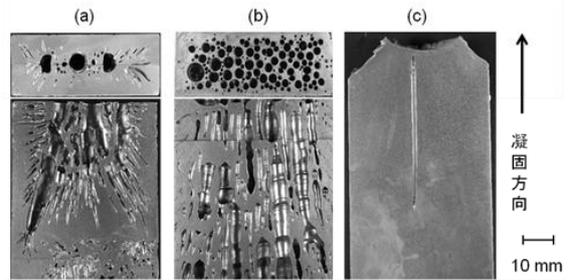


図1 ガス化合物の添加量および添加間隔を0.1 g および 10 秒として、溶融金属の保持量を(a) 72 g、(b) 144 g および(c) 216 gに変化させて一方向凝固させた銅鋳塊の引出方向に平行および垂直断面。

比較的均質な気孔を有し、気孔の成長方向が凝固方向と一致する。一方、保持量を72 gとして作製した鋳塊においては、気孔が鋳塊の中央部に向かって斜めに成長し、気孔形態も不均一である。保持量を216 gとして作製した鋳塊においては、一方向性の気孔が数本確認される。72、144 および 216 gに保持量を変化させ作製した鋳塊の気孔率はそれぞれ22.0、41.5、0.2%である。また、平均気孔径はそれぞれ1433、1426 および 1500 μmである。作製した3つの鋳塊の気孔形態を比較して、溶融金属の保持量が144 gのときに、最も均質な気孔形態を有するロータス銅が作製された。本条件では、水素濃度の測定においても時間に対する水素濃度の変化が最も小さい。

図2にガス化合物の添加量を変化させて作製したロータス銅の引出方向に対して垂直および平行断面を示す。溶融金属の保持量は144 gとし、ガス化合物の添加間隔は(a)~(d)が15 秒、および(e)~(h)が10 秒である。ガス化合物の添加量の増加に伴い、15 秒の添加間隔において、その添加量が0.05 gでは気孔が形成されず、0.10 gにおいて最も均質な気孔形態を有するロータス銅が作製される。一方、10 秒の添加間隔においては、その添加量が

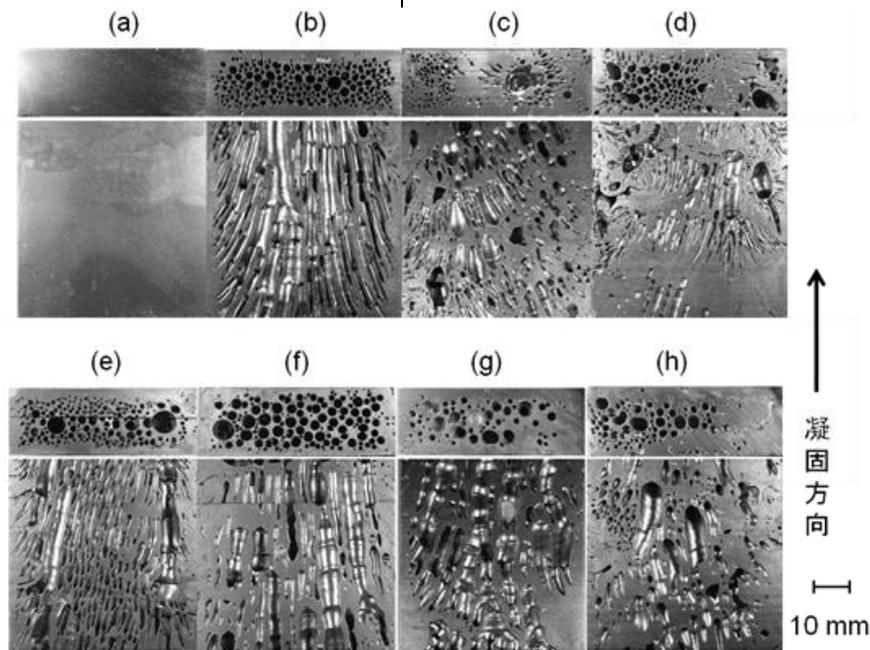


図2 ガス化合物の添加間隔を(a)~(d)15秒および(e)~(h)10秒とし、添加量を (a)0.05 g、(b)0.10 g、(c)0.20 g、(d)0.40 g、(e)0.05 g、(f)0.10 g、(g)0.15 g、および(h)0.2 g に変化させて一方向凝固させた銅鑄塊の引出方向に平行および垂直な断面。

0.05 および 0.10 g において比較的均質な気孔形態を有するロータス銅が作製された。ガス化合物の添加間隔が 10 秒および 15 秒において、それぞれ 0.20 および 0.15 g 以上のガス化合物を添加すると気孔形態は不均一となる。ガス化合物の添加間隔が 10 秒においてその添加量が 0.05、0.10、0.20 および 0.40 g における平均気孔径はそれぞれ 0、1221、822 および 1413 μm である。一方、気孔率についてはそれぞれ 0、40、24 および 36% である。ガス化合物の添加間隔を 10 秒として作製した鑄塊については、その添加量が 0.05、0.10、0.15 および 0.20 g における平均気孔径はそれぞれ 1055、1425、1351 および 921 μm である。気孔率についてはそれぞれ 33、42、22 および 22% である。

また、同様にガス化合物の添加量を変化させた実験については、10 および 15 秒の添加間隔で作製した試料について、比較的均質な気孔形態を有するロータス銅が作製される。

ガス化合物の添加間隔が 15 秒以上に増加すると、気孔が不均質に成長した。

本研究では、ガス化合物の添加量および添加間隔および熔融金属の保持量を変化させ、ガス化合物熱分解法を用いてロータス銅を作製した。ガス化合物熱分解法を適用した連続鑄造法においてもロータス銅が作製できることが明らかとなった。また、熔融金属の水素濃度を一定に保つことで均質なロータス金属が作製できることが示唆された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① T. Ide, Y. Iio, and H. Nakajima, Fabrication of Porous Aluminum with Directional Pores through Continuous Casting Technique, *Metall. Mater. Trans. A*, 査読有, 43A, 2012, 5140–5152.
- ② H. Nakajima, T. Ide, Fabrication of porous aluminum and copper with unidirectional pores through thermal

decomposition method、Proceedings of Cellular Materials (CELLMAT2012)、査読有、Vol.1、2012、pp.1-4.

〔学会発表〕（計4件）

- ① 井手 拓哉、森田 昌吾、中嶋英雄、ガス化合物熱分解法により作製したロータス型ポーラス銅の気孔形成機構の検討、日本金属学会、2013年03月29日、東京都、東京理科大学
- ② H. Nakajima, T. Ide, Fabrication of porous aluminum and copper with unidirectional pores through thermal decomposition method、International Conference on Cellular Materials -CELLMAT2012、2012年11月07日、Dresden, Germany (招待講演).
- ③ 宋 榮煥、井手 拓哉、中嶋英雄、ガス化合物熱分解法を用いた連続鋳造によって作製されたロータス型ポーラス銅の気孔分布に及ぼすガス化合物の添加方法の影響、日本金属学会、2012年09月18日、愛媛県、愛媛大学
- ④ 森田 昌吾、井手 拓哉、中嶋英雄、ガス化合物熱分解法を適用した連続鋳造法によるロータス型ポーラス銅の気孔形態制御、日本金属学会、2012年09月18日、愛媛県、愛媛大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井手 拓哉 (IDE TAKUYA)
大阪大学・産業科学研究所・助教
研究者番号：40507183

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし