

鋳鉄に代わる軽量高強度複合材料の開発

金属材料科 鈴木洋光 長谷川和宏*
アドバンスコンポジット株式会社 高木義夫 北村 仁

Development of lightweight and high-strength composite to replace cast iron

SUZUKI Hiromitsu, HASEGAWA Kazuhiro, TAKAGI Yoshio and KITAMURA Hitoshi

Cast iron is mainly used for the scroll wings of air conditioner compressors. From the viewpoint of energy saving, lightweight and high-strength materials are required to replace cast iron. Therefore, we developed a lightweight and high-strength aluminum matrix composite by impregnating aluminum borate preform with aluminum alloy by high-pressure casting. In this study, we evaluated the mechanical and thermomechanical properties of the developed aluminum matrix composite. The developed composite had an increase in tensile strength of about 50% and in Young's modulus of about 70%, and decreased linear expansion rate by about 30% compared to AC4C. It was thought that tensile strength and Young's modulus could be further improved by changing the preform ceramic composition.

Keywords : aluminum matrix composite, high-pressure casting, scroll wing, aluminum borate

エアコンの圧縮機に用いられるスクロール翼には、主に鋳鉄が使用されているが、省エネの観点から軽量で高強度な材料が求められている。そこで、ホウ酸アルミニウムプリフォームに高圧鋳造法によりアルミニウム合金を含浸させ、軽量高強度なアルミニウム基複合材料を開発した。本研究では、開発されたアルミニウム基複合材料の機械的性質及び熱機械的性質の評価を行った。開発された複合材料は、母材である鋳造用アルミニウム合金のAC4Cと比較して、引張強さが約50%、ヤング率が約70%向上し、線膨張係数は約30%低減した。プリフォームのセラミックス配合を変えることで引張強さとヤング率は更なる向上が可能であると考えられる。

キーワード：アルミニウム基複合材料、高圧鋳造法、スクロール翼、ホウ酸アルミニウム

1 はじめに

家庭用や業務用エアコンの圧縮機に用いられているスクロール翼は、写真に示すような三次元で複雑な形状をしており、動作や気体の圧縮による発熱下でも安定していることが求められるため、主に鋳鉄が使用されている。しかし、鋳鉄は高強度で加工性が良いという利点がある一方、比重が7.2と重く、スクロール回転の際のエネルギー効率が悪くなる欠点がある。そのため、地球温暖化対策など省エネルギー化の観点から、軽量化が求められている。鋳鉄に代わる材料としてアルミニウム合金が挙げられるが、アルミニウム合金では、強度不足や高い線膨張係数などからスクロール翼に要求される性質を満足することはできない。



写真 スクロール翼の試作例

そこで、高圧鋳造法を中核とするアルミニウム基複合材料の開発を行う。高圧鋳造法は、アルミニウム

* 現 浜松工業技術支援センター 機械電子科

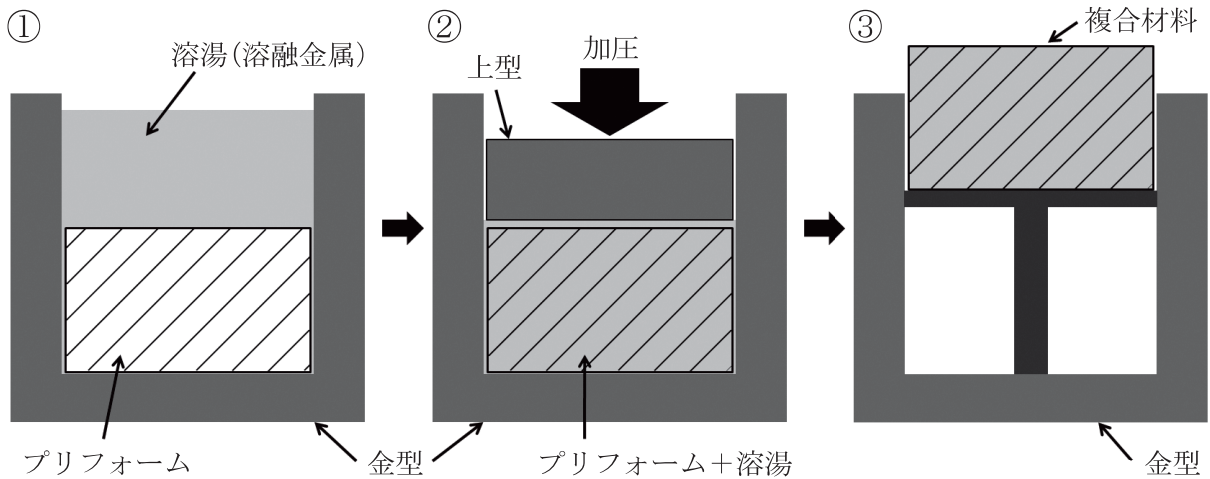


図1 高圧鋳造による複合材料の作製

- ①金型にプリフォームを設置して溶湯を注ぐ。
- ②加圧して溶湯をプリフォームに含浸させ、複合化する。
- ③凝固後に複合材料を金型から取り出す。

合金などの溶湯を金型に鋳込み、高圧下で凝固させる手法で一般に欠陥が少なく、組織の微細化や機械的性質が向上することが知られている^{1,2)}。また、図1のように金型にセラミックス等で作製したプリフォームを設置して、高圧鋳造を行うことにより、アルミニウム合金等をプリフォームに含浸させ、複合材料を作製することができる。この手法は、設備費などのコストは高くなるものの、金属溶湯と強化材の濡れ性が悪く、複合化が難しい材料同士でも複合化が可能となる³⁾。本研究では、高圧鋳造法により作製したアルミニウム基複合材料の機械的性質及び熱機械的性質の評価を行った。

2 方法

2.1 プリフォームの圧縮試験

プリフォームには、高圧鋳造を行う際に圧力が負荷される。そのため、高圧鋳造中のプリフォームの破壊が懸念されるため⁴⁾、プリフォームの圧縮試験を行った。プリフォームは、セラミックス粉末をパルス通電により焼結して作製した。圧縮試験は、直径10mm、高さ10mmの円柱形状のプリフォーム試験片を用いて、精密万能試験機オートグラフAG-25TA（株式会社島津製作所製）で行った。本研究では、プリフォームの材料として、ホウ酸アルミニウムを使用しているが、鋳造前の予熱による影響についても検討するため、焼結後に700℃まで再加熱したプリフォームについても圧縮試験を実施した。

2.2 引張試験

直径100mmの大型プリフォームを用いて、高圧鋳造により作製したアルミニウム基複合材料の機械的性質を評価するために引張試験を実施した。引張試験は、JIS13号試験片を用いて、精密万能試験機オートグラフAG-25TA（株式会社島津製作所製）で行った。試験速度は0.5mm/minとして、ひずみの計測には、ひずみゲージKFG-5-120-C1-11（株式会社共和電業製）を使用した。

2.3 線膨張係数測定

アルミニウム合金やアルミニウム基複合材料をスクロール翼等に利用する際に問題となるのが、アルミニウムの高い線膨張係数である。そこで、熱機械分析装置TMA 4000SE（株式会社 Netzsch Japan 製）を用いて、線膨張係数の計測を行った。試験片の形状は直径5mm、長さ20mmの円柱形状とした。測定条件は、昇温速度5℃/min、負荷荷重10g、測定温度は50℃～200℃で10℃ごとに平均の線膨張係数を計算した。

3 結果と考察

3.1 プリフォームの圧縮試験

プリフォームの圧縮試験結果を表1に示す。プリフォーム試験片作製のばらつきもあるが、圧縮強度は、34.1～57.3MPaであった。実際の高圧鋳造時には、溶湯は上面だけでなく周囲からも回り込み、プリフォームには静水圧が負荷されることもあり、50MPa程度の圧力であれば破壊せずに耐えられるものと考えられ

る。また、700℃の加熱したプリフォーム試験片では、圧縮強度は29.7～39.7MPaに低下している。そのため、熱影響による材料特性の変化が懸念され、注意が必要である。

表1 プリフォームの圧縮試験結果(N 数=5)

	圧縮強度(MPa)		
	最大	最小	平均
熱処理なし	57.3	34.1	45.2
700℃加熱	39.7	29.7	35.2

3.2 引張試験

作製したアルミニウム基複合材料の引張試験結果を表2に示す。鋳鉄の代替材料とするためには、引張強さ300MPa、ヤング率150GPaを目標としているが、今回作製した試験片では、ばらつきが大きいものもあるが、最大で引張強さ223MPa、ヤング率122GPaであった。目標には達していないものの、母材として使用している鋳造用アルミニウム合金のAC4Cと比較すると、引張強さで約50%、ヤング率で約70%の向上をしている。本研究では、複合材料の加工性を考慮するためにプリフォームの材料にホウ酸アルミニウムを使用しているが、セラミックスの配合を変えることによって向上させることは可能であると考えられる。

表2 引張試験結果 (N 数=4)

	最大	最小	平均
引張強さ(MPa)	223	180	210
ヤング率(GPa)	122	99	108

3.3 線膨張係数測定

線膨張係数の測定結果を図2に示す。結果は4本の試験片の測定結果とその平均値を示している。1本大きく外れている結果があるが、これは内部の空隙などの欠陥によるものと考えられる。線膨張係数については、鋳鉄の代替材料とするために $15 \times 10^{-6}/K$ 以下を目標としているが、今回作製したアルミニウム基複合材料はこれを達成していることがわかった。

5 まとめ

鋳鉄の代替材料とするために高強度軽量なアルミ

ニウム基複合材料の開発を行い、作製した複合材料の機械的、熱機械的性質の評価を行った。その結果、AC4Cと比較して引張強さは約50%、ヤング率は約70%向上し、線膨張係数については約30%低減となる $15 \times 10^{-6}/K$ 以下で目標を達成することがわかった。また、引張強さとヤング率についてもプリフォームとなるセラミックスの配合を変えることでさらに向上することが可能であると考えられる。

謝辞

本研究は経済産業省 戦略的基盤技術高度化支援事業 JPJ005698の助成を受けて行われた。また、共同体である産業技術総合研究所、大同大学に謝意を表す。

参考文献

- 1) 鈴木鎮夫：高圧下での金属の凝固．日本金属学会誌，10（7），464-470（1971）．
- 2) 石丸 博 他：アルミニウム合金鋳物の諸性質に及ぼす高圧鋳造の効果．軽金属，31（11），712-719（1981）．
- 3) 梶川義明：複合化による鋳物の高機能化と自動車部品への応用．鋳造工学，68（12），1106-1112（1996）．
- 4) 山内利夫 他：ホウ酸アルミニウムウイスカプリフォームへのアルミニウム溶湯の加圧含浸挙動．日本金属学会誌，59（5），564-570（1995）．

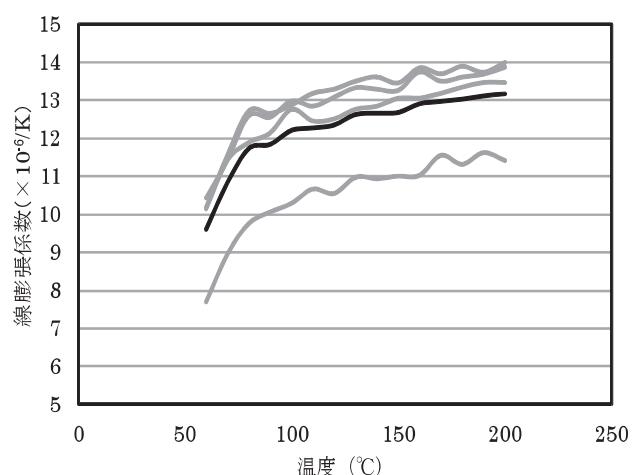


図2 線膨張係数測定結果 (N 数=4)

—：各試験片、—：平均