

〈技術レポート〉

MMC用プリフォーム

浜松研究所 MD部門 セラミックス繊維分野

和田迫 三 志
岩 田 耕 治
小 林 強

アルミナ短繊維と低熱膨張セラミックスであるコーディエライト粒子から構成されるプリフォームを用い、高強度かつ等方的に著しく低い熱膨張係数を示すMMCを開発した。

1. はじめに

MMC (Metal Matrix Composites : 金属基複合材料) は、マトリックスとなる金属をセラミックスで強化した複合材料である。マトリックス金属としては、アルミニウム合金・マグネシウム合金などの軽合金を使用する例が多く、セラミックスとの複合化によりその軽量性を維持しながらも各種機械特性を飛躍的に向上させることが可能である。そして、これらの特長を利用した自動車・産業機械・航空宇宙向けの部品開発が各所で盛んに行われており、弊社でも、セラミックス強化材の種類・配合・体積分率・形状などをコントロールすることにより、各種用途に応じたMMC用プリフォームを提供してきた。

弊社のプリフォームは、アルミナ短繊維「ルビール」やアルミナシリカ短繊維「ファインフレックス」をベースとした繊維質プリフォームが主流であった。この特長としては、図1に示すように吸引脱水面に平行な方向に2次元ランダムな繊維配向性を有し、MMCの材料特性もこれを反映して、異方性を示すものとなっていた。近年、この異方性を制御したプリフォーム、即ち、等方的な材料特性を有するMMCの要求が高くなっている。本稿においては、高強度で、かつ等方的に著しく低い熱膨張係数を示すMMCの開発を行ったので、その概要について述べる。

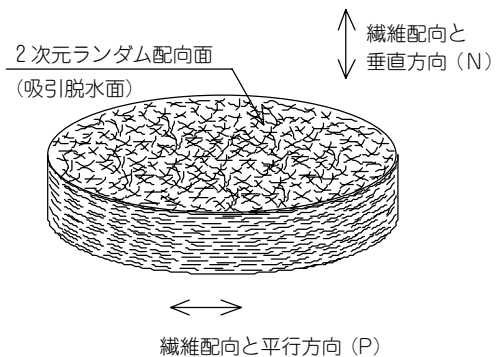


図1 プリフォームの繊維配向性概略図

2. 実験

2.1 プリフォームの作成

プリフォームの構成材料としては、複合則を考慮して可能な限り低熱膨張性のセラミックス原料を用いた。表1に主要セラミックスの熱膨張係数を示す。この中で、シリカガラス・スポジューメン・コーディエライトが候補として考えられるが、ここでは汎用性の高いコーディエライトを実験に用いた。

プリフォームの成形は、図2に示すような製造フローに従って行った。表2に本検討に用いたプリフォームの構成を示した。攪拌容器内でアルミナ短繊維 (繊維径: $3\mu\text{m}$, 化学組成: $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2=95/5$), コーディエライト粒子 (粒子径: $3\sim 40\mu\text{m}$, 化学組成: $2\text{MgO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 5\text{SiO}_2$), そして

主にSiO₂系バインダを混合し、吸引脱水成形の後、乾燥、焼成（1473K）した。プリフォームのVf値（体積分率）は、MMCの加工性、プリフォームの成形性を考慮した上で、可能な限り高く設定することとし、ここでは総Vf値を40%とした。

2.2 MMCの作成

MMCの製造方法としては、セラミックス強化材で構成されたプリフォームの気孔に熔融した金属を圧入する高圧鑄造法が一般的である。本検討でも高圧鑄造法を採用し、テストピースの作成を行った。

プリフォームを予熱（1073K）後、金型にセットし、次いでアルミニウム合金（AC8A）の溶湯（1023K）を注ぎ、プランジャーにより70MPaで加圧した。これを金型内で凝固させた後、脱型してMMCを得た。MMCは熱処理（T6：溶体化783K，7h→水冷→時効硬化処理443K，10h）を施した後、テストピースへの切り出しを行った。

2.3 試験方法

MMCのテストピースの切り出しは、繊維配向に垂直な方向（以下、N方向）と繊維配向に平行な方向（以下、P方向）の2方向について行った。

物性の測定は、熱機械的分析（TMA：Thermomechanical Analysis）による熱膨張率の測定をN方向とP方向について行った。また、室温での引張強度の測定をP方向について行った。

3. 結果と考察

表3に各MMCの熱膨張係数と室温における引張強度の測定結果を示す。これをもとに図3にプリフォーム中のコーディエライト粒子のVf値とN，P各方向の熱膨張係数の関係を示した。図4に、熱膨張係数の異方性をN，P各方向の比（N/P比）として表した。プリフォームがアルミナ短繊維のみでは（表2，No.1配合：プリフォーム中のコーディエライト粒子のVf値が0%の場合）、

表1 主要セラミックスの平均熱膨張係数(ファインセラミックス辞典/技報堂出版より引用)

| 原料名および化学組成 | | 熱膨張係数(×10 ⁻⁶ /K) |
|------------|--|-----------------------------|
| アルミナ | Al ₂ O ₃ | 8.1 [298 ~ 1073K] |
| ムライト | 3Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂ | 5.0 [298 ~ 1073K] |
| コーディエライト | 2MgO · 2Al ₂ O ₃ · 5SiO ₂ | 1.5 [298 ~ 1073K] |
| スポジュメン | Li ₂ O · Al ₂ O ₃ · 4SiO ₂ | 1.3 [303 ~ 1073K] |
| シリカガラス | SiO ₂ | 0.5 [273 ~ 573K] |
| 炭化珪素 | SiC | 4.2 [700K] |
| 窒化珪素 | Si ₃ N ₄ | 3.4 [298 ~ 1273K] |

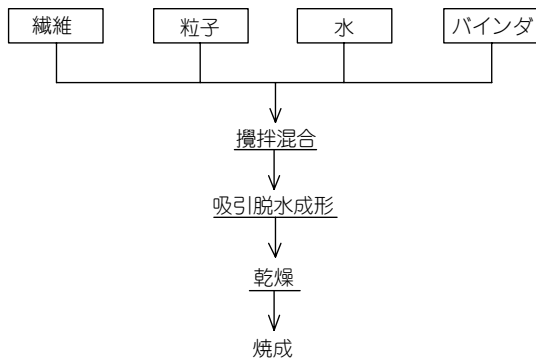


図2 プリフォームの製造フロー

表2 プリフォームの構成材料比率の一覧

| No. | 強化材のVf値(%) | | 強化材の粒子比率(%) |
|-----|------------|------------|-------------|
| | アルミナ短繊維 | コーディエライト粒子 | |
| 1 | 40 | 0 | 0 |
| 2 | 28 | 12 | 30 |
| 3 | 24 | 16 | 40 |
| 4 | 20 | 20 | 50 |
| 5 | 13 | 27 | 67.5 |
| 6 | 10 | 30 | 75 |
| 7 | 4 | 36 | 90 |
| 8 | 2 | 38 | 95 |

表3 MMCの熱膨張係数と室温における引張強度の測定結果

| No. | 強化材の粒子比率 (%) | RT ~ 673K 平均熱膨張係数 (x10 ⁻⁶ /K) | | | 引張り強度 (MPa) |
|-----|--------------|--|------|------|-------------|
| | | N方向 | P方向 | N/P比 | |
| 1 | 0 | 7.8 | 14.4 | 0.54 | 256 |
| 2 | 30 | 8.7 | 11.9 | 0.73 | 265 |
| 3 | 40 | 9.3 | 12.5 | 0.75 | 267 |
| 4 | 50 | 9.7 | 12.5 | 0.78 | 275 |
| 5 | 67.5 | 10.7 | 11.5 | 0.92 | 281 |
| 6 | 75 | 10.0 | 11.0 | 0.91 | 255 |
| 7 | 90 | 10.6 | 10.5 | 1.01 | 204 |
| 8 | 95 | 9.9 | 9.8 | 1.01 | 185 |

熱膨張係数の異方性が著しく大きいものに対して、コーディエライト粒子の比率が高くなるにつれて小さくなる（すなわち、N/P比が1.0に近づく）ことがわかった。これは、プリフォームの異方性を支配する繊維配向がコーディエライト粒子を添加するにつれて弱くなることを示している。

引張強度は、図5に示すようにコーディエライト粒子のVf値が70%近傍まで緩やかに上昇し、80%を越えると急激に低下することがわかった。これは、コーディエライト粒子のVf値が80%を越えると、 casting不良（アルミ合金の浸透不良やプリフォームの変形）を起こしやすくなり、引張強

度が低下したものと思われる。

これらの結果より、コーディエライト粒子のVf値が75%のMMC（表2, No.6配合）が熱膨張に関して等方性と強度を兼ね備えた優れた材料であることがわかった。

また、このMMC（プロット○）の熱膨張係数に関する温度依存性を調べた結果、図6に示すように、マトリックスであるAC8A（プロット◎）や繊維のみで強化したMMC（プロット●）と比較して、極めて小さな熱膨張係数（ $1.0 \times 10^{-6}/K$ ）を等方的に有するとともに温度依存性も小さいことがわかった。

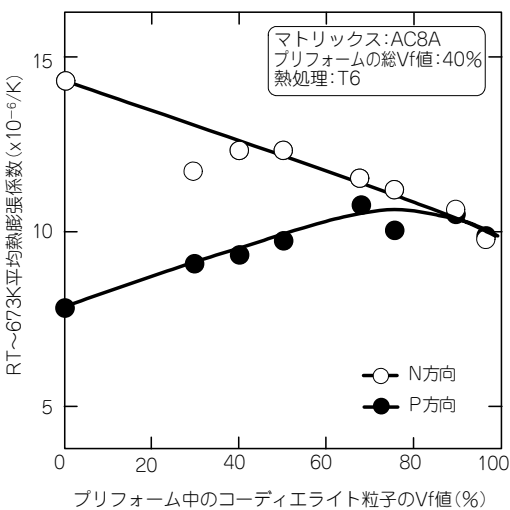


図3 プリフォーム中のコーディエライト粒子のVf値と熱膨張係数の関係

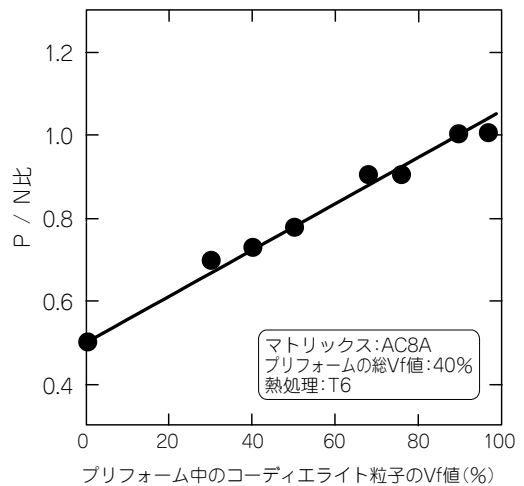


図4 プリフォーム中のコーディエライト粒子のVf値と熱膨張係数の異方性 (P/N比) の関係

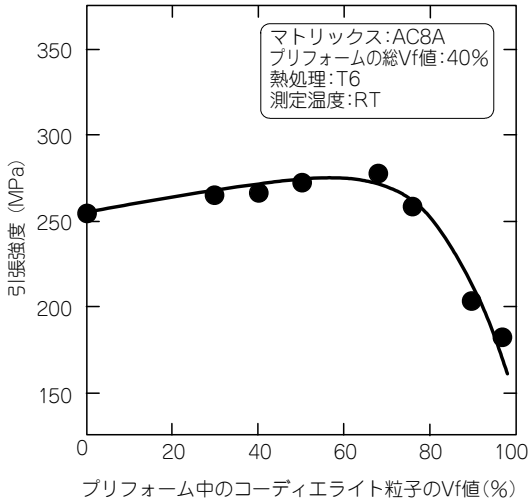


図5 プリフォーム中のコーディエライト粒子の Vf値と MMCの引張強度の関係

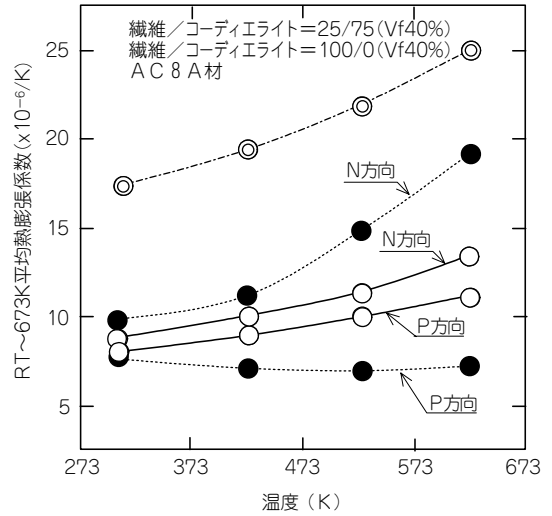


図6 各種MMCの熱膨張係数に関する温度依存性

4. まとめ

アルミナ短繊維とコーディエライト粒子を用いて強化したAC8Aについて熱膨張係数と引張強度を測定した結果、以下の結論を得た。

- (1) プリフォーム中のコーディエライト粒子の Vf値が高くなるにつれてMMCの異方性が小さくなる (N/P = 1.0に近づく) ことがわかった。
- (2) プリフォーム中のコーディエライト粒子の Vf値が75%のMMCは、熱膨張に関する等方性と強度を兼ね備えたものであり、温度依存性も小さいことがわかった。

5. おわりに

弊社では、セラミックス強化材の種類・配合・体積分率・形状などをコントロールすることにより、各種用途に応じたMMC用プリフォームを提供している。本開発品は、熱膨張係数の異方性を制御し、等方的な材料特性を有するMMCとなっているので、アルミニウムの軽量性を生かしながら熱安定性が必要な部品等への用途が期待される。例えば半導体製造装置や液晶製造装置などの構造部材としての利用や、熱膨張係数にギャップ

を有する材料を接合する際の緩衝層としての利用などが考えられる。

今後ともユーザーの皆様のご意見・ご要望をもとに、金属とセラミックスの長所を兼ね備えた新しいMMC部品の開発に取り組む所存である。

筆者紹介



和田 迫 三志

浜松研究所
MD部門 セラミックス繊維分野
チームリーダー



岩田 耕治

浜松研究所
MD部門 セラミックス繊維分野



小林 強

浜松研究所
MD部門 セラミックス繊維分野