研 究

Al₂O₃ 粒子強化アルミニウム複合材料の機械的特性に及ぼすアルミ合金組成の影響

津戸 宏之, 吉田 秀人, 下嶋 浩正

日本セメント(株), 〒135-8410 江東区清澄 1-2-23.

Effect of Al alloy composition on Mechanical Properties of Al₂O₃ particles reinforced aluminum composite

Hiroyuki Tsudo, Hideto Yoshida and Hiromasa Shimojima

Nihon Cement Co., Ltd., 1-3-5 Kiyosumi Koto-ku, Tokyo 135-8410

Received June 12, 1998

SYNOPSIS

The chemical composition of an Al alloy will influence the properties of Al alloy matrix composites. In this paper, Al₂O₃ particles / Al alloy metal matrix composites were made by high pressure infiltration, and the influence of Al alloy chemical composition, especially Si content, on the mechanical properties (strength and toughness) of the Al alloy matrix composites was studied. The Si content of the Al alloy was changed, and other elements were added to examine their influence on the mechanical properties. The results obtained were as follows: when Cu and Ni were added to the Al alloy, the bending strength of the composites was improved at high temperature. Increasing the alumina volume fraction also improved the bending strength. However increasing the Si content decreased the fracture toughness. The possibility of improving heat-resistance of Al₂O₃ particles reinforced Al composite was found.

KEY WORDS

Al alloy matrix composite, strength, fracture toughness, alloy composition, alumina

1 緒 言

金属基複合材料は、軽量、高剛性、高熱伝導率という優れた特徴を有している。特にアルミニウム合金に強化材としてセラミックスを複合化したアルミニウム合金基複合材料は、その比重が3程度であり、また通常のアルミニウム合金より耐熱性があることから航空、運輸、自動車などの部品としての応用が期待されている¹⁾。しかしながら、強化材としてSiCウイスカなどが用いられ高価である²⁾。また、製品形状への加工の困難さ、及び複合材料の耐熱性がやや不十分であることが普及の壁となっている。

アルミニウム合金基複合材料の作製法として、マトリックスとなるアルミニウム合金粉末と、強化材となるセラミックスを混合、成形し焼結する、いわゆる粉末冶金法が良く用いられる³⁾。この方法では、アルミニウム合金とセラミックスの割合を広い範囲で設定でき、耐熱性が必要な用途についてはアルミニウム合金の組成を自由に選択することができる。しかしながら、その焼結には通常ホットプレス (HP) が使用され、そのため作製形状が限定されてしまう。

アルミニウム合金基複合材料の作製法として、強化材であるセラミックスでプリフォームを作製し、その隙間にマトリックスであるアルミニウム合金を溶融、自発的に浸透させる、いわゆる自発浸透法が用いられることもあり、TiとAlの発熱反応などを利用することにより、溶融したアルミニウム合金をセラミックスプリフォームの隙間に浸透する方法などが報告されている⁴⁾。この方法では、製品形状のプリフォームを作製、アルミニウム合金を浸透させることにより製品形状に近いアルミニウム合金基複合材料を作製することができる。しかしながら、合金、プリフォームなどに自発浸透に必要な元素を添加することが不可欠であり、アルミニウム合金の組成の選択に制約を受ける。

また、強化材であるセラミックスでプリフォームを作製し、マトリックスであるアルミニウム合金を溶融し、圧力を加えることによりプリフォームの隙間に浸透させる、いわゆる高圧含浸法でアルミニウム合金基複合材料が作製されている⁵⁾。この方法によれば製品形状の鋳造型を用いることにより、製品形状のアルミニウム合金基複合材料を作製でき、かつマトリックス

であるアルミニウム合金の組成にかかわらず含浸、複合化することができる。しかしながら、この方法で作製した複合材料の特性、特に耐熱性とマトリックスであるアルミニウム合金の組成の関係についてはあまり調べられていない。

そこで、本研究では高圧含浸法によりアルミニウム合金基複合材料を作製し、アルミニウム合金の組成と特性、特に熱的特性が複合材料特性へ与える影響について調べることを目的とした。また原料として安価な Al₂O₃ 粉末を用いてプリフォームを作製し、そのプリフォームの充填率が複合材料特性へ与える影響についてもあわせて調べた。

2 試料および実験方法

プリフォーム用の原料として Al₂O₃ 粉末を用いた。各原料の特性を Table 1 に示す。原料は平均粒径が 45 μ m の粉末 (住友化学製 A-21, 以下 Type A と記す) 及び平均粒径が 90 μ m の粉末 (Alcoa 製 A-10, 以下 Type B と記す) を用いた。

Type A, Type B それぞれの原料 Al₂O₃ 粉末 200g にバインダーとしてポリビニルブチラール (積水化学製 BL-1) 及びポリカルボシラン (信越化学製) を添加、トルエン-IPA 溶媒中で 72ks 混合した。なお、媒体としては ϕ 15mm の樹脂ボールを用いた。得られた混合物スラリーを乾燥しプリフォーム成形用粉末とした。得られた粉末を 2MPa $\times$ 60s の条件でプレスし、100 $\times$ 50 $\times$ 20mm のタイル形状のプリフォームとした。

得られたプリフォームを空气中、723K で 10.8ks 加熱することによりポリビニルブチラールを除去し、寸法と重量を測定してプリフォームの充填率を算出した。また、加熱後のプリフォームから ϕ 50 $\times$ 20mm の円板形状を削り出し、含浸用プリフォームとした。得られたプリフォームを高圧含浸装置を用いてアルミニウム合金を含浸、複合化させた。使用したアルミニウム合金を Table 2 に示す。

合金は安価で流通量の多い鋳造用の JIS 合金を中心に選定したが、鋳造用アルミニウム合金の特性に影響を与えるといわれる Si の添加量に着目し、Si 添加量の多い合金として Si 添加

量 15% の合金 (Type D) も使用しその影響も併せて調べた。

アルミニウム合金と Al₂O₃ プリフォームの複合化に用いた高圧含浸装置を Fig.1 に示す。Al₂O₃ プリフォームは溶融アルミニウムが含浸し易いように 1073K に加熱した。鋳造用金型は溶融アルミニウムの流動性が落ちないように 723K に加熱し、金型内に Al₂O₃ プリフォームを置いた。Table 2 に示したアルミニウム合金は黒鉛坩堝に入れ 1073K に加熱溶融し、Al₂O₃ プリフォームを置いた鋳造用金型に注入後、金型の押し棒で 50MPa の圧力で加圧、溶融アルミニウムを Al₂O₃ プリフォーム間隙に含浸、複合化させた。

得られたアルミニウム合金基複合材料を研削加工、3 $\times$ 4 $\times$ 40mm の JIS 試験片とし曲げ強度を測定した。曲げ強度測定は室温の他に 573, 673, 773K で行った。また、試験片を鏡面研磨し光学顕微鏡、及び走査電子顕微鏡 (SEM) により組織観察を行った。

3 結果および考察

723K で加熱した後のプリフォーム充填率を Table 3 に示す。Al₂O₃ 粉末として平均粒径 45 μ m のものを使用すると、プリフォームの充填率は 42vol% であり、90 μ m の粉末の場合は 34vol% であった。これは、粉末の粒径が大きい方が粒子間の間隙が大きくなるため充填率が低くなったと思われる。

作製したアルミニウム合金基複合材料の機械的特性を Table 4

Fig.1 Apparatus for high pressure infiltration casting.

Table 1 Properties of Al₂O₃ powders.

Type	Powder material	Mean particle size (μ m)
A	Al ₂ O ₃	45
B	Al ₂ O ₃	90

Table 2 Properties of Al alloys.

Type	Alloy composition	JIS grade
A	Al95%-Mg5%	AC7A
B	Al90%-Si9%-Mg0.5% -Mn0.5%	AC4A
C	Al85%-Si12%-Mg1% -Cu1%-Ni1%	AC8A
D	Al80%-Si15%-Mg5%	—

Table 3 Volume fraction of Al₂O₃ preforms.

Type	Mean particle size (μ m)	Volume fraction (vol%)
A	45	42
B	90	34

に示す。また、充填率42vol%のプリフォームを用いて作製したアルミニウム合金基複合材料の曲げ強度をFig.2に、充填率34vol%の場合をFig.3にそれぞれ示す。室温での曲げ強度、及び高温での曲げ強度は充填率42vol%の試料の方が充填率34vol%の試料より高くなり、強化材である Al_2O_3 の効果は常温、高温いずれにおいても発揮されることが分かる。また、高温での強度はSiを添加した alloy B 及び alloy C を用いた試料

Table 4 Mechanical properties of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$ composites.

Volume fraction	(vol%)	42			34			
Alloy	type	A	B	C	A	B	C	D
Bending strength (MPa)	R.T.	489	453	444	425	298	390	326
	573K	375	373	334	347	248	330	333
	673K	196	289	226	173	174	226	192
	773K	121	155	154	73	88	117	107
Fracture toughness ($\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$)		7.7	6.9	6.7	9.9	6.9	6.5	6.3
Young modulus (GPa)		153	153	156	138	129	136	135

Fig.2 Bending strength of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$ composites (a) 42vol%-alloy A. (b) 42vol%-alloy B. (c) 42vol%-alloy C.

Fig.3 Bending strength of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$ composites (a) 34vol%-alloy A. (b) 34vol%-alloy B. (c) 34vol%-alloy C.

が高くなった。alloy CにはCu, Niが添加されており、これらの添加元素はアルミニウム合金の高温強度を向上するといわれている⁹⁾ことから、この合金を用いた複合材料の高温強度が向上したのはこのアルミニウム合金の耐熱性の差によると推定される。

充填率34vol%、及び42vol%のプリフォームを用いて作製した試料の破壊靱性値をFig.4に示す。破壊靱性値はマトリックスであるアルミニウム合金中のSi添加量に影響を受けている。アルミニウム合金中にSiが添加されていない場合は、充填率が低い方が破壊靱性値が高くなっており、より金属的な物性に近くなることが分かる。しかしながら、アルミニウム合金中のSi添加量が多くなるほど破壊靱性値は低下する傾向が見られ、9.0mass%を超えるとプリフォーム充填率が変わってもほぼ同程度の値となり、複合材料の靱性がマトリックスであるアルミニウム合金の組成に大きく影響を受けている様子が伺える。

破壊靱性の高かったSi無添加のアルミニウム合金を用いた試料(34vol%-alloy A)のSEM観察の結果をFig.5に示す。複合材料中の Al_2O_3 粒子の隙間にアルミニウム金属が浸透しており、言い換えればアルミニウム合金中に Al_2O_3 粒子が散在した組織となっている。このため、アルミニウム合金の物性が複

Fig.4 Fracture toughness of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$ composites (a) 34vol%. (b) 42vol%.

Fig.5 SEM images of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$ composites (34vol%-alloy A).

(a)

(b)

50 μ m

Fig.6 Optical microscope images of Al-alloys (a) alloy A. (b) alloy D.

合材料の物性に大きく影響したと思われる。

また、Si 無添加のアルミニウム合金 (alloy A) の組織の光学顕微鏡写真を Fig.6(a) に、Si 15% 添加のアルミニウム合金 (alloy D) の組織の光学顕微鏡写真を Fig.6(b) 示す。Si を添加したアルミニウム合金には Si 結晶が析出した組織が観察され、これがマトリックスであるアルミニウム合金の物性、特に破壊靱性の低下に影響したと考えられる。

4 ま と め

アルミニウム合金基複合材料の特性に与えるアルミニウム合金の組成の影響について調べた。アルミニウム合金の組成は曲げ強度に影響を与え、Si 無添加のアルミニウム合金をマトリックスとして使用すると高温での強度低下が大きい。また、Cu を添加したアルミニウム合金の使用により複合材料の耐熱性が向上した。

アルミニウム合金中の Si 添加量は複合材料の破壊靱性に影響を与え、Si 添加量が多いと Al₂O₃ プリフォームの充填率にかか

わらず同程度の値となった。

文 献

- 1) 菅沼克昭: "アルミニウム合金基複合材料の界面構造とその制御", 粉体および粉末冶金, 41(1994)1352-1360.
- 2) 森本啓之: "ウィスカ及び粒子強化アルミニウム複合材料の成形と特性", 軽金属学会研究部会報告書, 25(1991)95-105.
- 3) 唐木道雄: "粉末冶金法 B...", 地域技術シンポジウム予稿集 1991~1993, (1994)82-91.
- 4) 長隆郎, 小橋 真, 毛利 猛: "自発的浸透現象を利用した...", 日本金属学会春季大会講演概要, (1995)87.
- 5) 小松原健夫, 岡島政三, 小保方芳信, 星野 博: "繊維強化アルミニウム合金...", SANYO TECHNICAL REVIEW, 20 (1988)107-113.
- 6) 高橋恒夫: 新版非鉄金属材料選択のポイント, 日本規格協会, (1992)87.