特 集 号

研究論文

粉末押出法による Al_2O_3 粒子分散型2618アルミニウム合金 基複合材料の諸特性*

藤田 達生**・清田 文夫**・松村 信之**
井上 誠***・小島 陽****

Characteristics of Al_2O_3 -particle dispersed 2618 alloy composites prepared by powder extrusion*

Tatsuo FUJITA**, Fumio KIYOTA**, Nobuyuki MATSUMURA**
Makoto INOUE*** and Yo KOJIMA****

Al_2O_3 -particle dispersed 2618 alloy composites were prepared by powder extrusion for sliding members use and their mechanical properties and wear characteristics were investigated. The composites show better wear characteristics and higher ductility than Al-Si alloys which are known as the most popular materials for sliding members.

Keywords: composite, aluminum powder, powder extrusion, 2618 alloy, wear

(Received June 6, 1988)

1. 緒 言

過共晶 Al-Si 合金は、硬度が高く比較的粒径の大きい初晶 Si がアルミニウム基地中に分散しているために良好な摺動特性を示す。同時に晶出している共晶 Si も、一部摺動特性を担ってはいるが、数 μm 以下と微細であるために、初晶 Si の効果に比較すると非常にわずかである。逆に、材料の延性、靱性の面から見ると、かえってない方が好ましいと言える。すなわち、初晶 Si のみが晶出したような組織をもつ材料を作ることができれば、優れた摺動特性と優れた延性、靱性を併せ持った材料を得ることができることになる。これはまさに粒子分散型複合材料であり、粉末冶金の手法を用いることにより比較的容易に実現することができる。

これまで、著者等は急冷凝固粉末を用いた過共晶 Al-Si-X 系合金あるいはこれにセラミックス粉末を添加した複合材料についての機械的特性および摺動特性につい

て調査し、鋳造法による従来材料よりも多くの優れた特性を持つことを示した^{1)~3)}。しかし、一方では高合金組成となるために延性、靱性の面で不十分となる場合があることも事実である。

ここでは延性、靱性に優れた摺動用材料を得るために、2618合金相当組成のアトマイズ粉末に硬質相として Al_2O_3 粉末を添加し、これを熱間押出加工して得た粒子分散型複合材料について機械的特性、摺動特性を調査した。その結果について報告する。

2. 実験方法

2.1 供試材の製造方法

本研究ではある程度の室温および高温強度と延性を持たせるために、基地合金として2618合金相当組成のアルミニウム合金を選んだ。所定組成に調整したアルミニウム合金溶湯を空気アトマイズ法により粉末とした。使用した空気アトマイズ粉末の主な元素の化学分析値

* 軽金属学会第74回春期大会（昭和63年5月）にて一部発表。

** (株)リケン（柏崎市）。Riken Corp. (Kashiwazaki-shi, Niigata)。

*** 長岡技術科学大学大学院（長岡市）。Graduate School of The Technological University of Nagaoka (Nagaoka-shi, Niigata)。

**** 長岡技術科学大学（長岡市）。The Technological University of Nagaoka (Nagaoka-shi, Niigata)。

(wt%) は (Cu : 2.2, Mg : 1.6, Fe : 1.2, Ni : 1.1) であった。この粉末に、砥粒として市販されている WA グレードの Al_2O_3 粉末 (平均粒径 3, 5, 10 μm) を 2.5~10 vol% 添加・混合し、前報¹⁾と同様の方法により押出材とした。得られた材料を、T6 処理 (溶体化処理 : 500°C × 2 時間 → 水冷, 時効硬化処理 : 175°C × 10 時間 → 空冷) あるいは O 処理 (300°C × 10 時間 → 炉冷) を施し機械加工の後に試験に供した。

2.2 引張試験

インストロン型万能試験機を用いて、室温および 150°C での引張試験を実施した。試験片形状は JIS-14 号試験片に準じ、平行部の直径 6 mm, 長さ 50 mm とし、ひずみ速度 $0.33 \times 10^{-3} \text{ sec}^{-1}$ で試験を実施し、ひずみの測定には差動トランスを用いた。また、150°C での試験には、あらかじめ 150°C × 100 hr の熱履歴を与えたものを使用した。

2.3 摩耗試験

ピン・ドラム式摩耗試験機²⁾により耐摩耗性の評価を実施した。ピンを複合材料とし、ドラム材質は FC25 および SCM420 (浸炭焼入) とした。ピンおよびドラムの摺動面は研削加工により $R_z 1 \mu\text{m}$ となるように仕上げた。さらに、FC25 ドラムについては、 $R_z 4 \mu\text{m}$ に仕上げたものについても試験を実施した。また、試験はパラフィン系冷凍機油による油潤滑条件下で、荷重 15 kgf, 摺動速度 1 m/s, 摺動距離 150 km の条件で実施した。

3. 結果および考察

3.1 供試材の組織

Fig. 1 に押出材の組織を示す。(a), (b), (c) は、それぞれ平均粒径 5 μm の Al_2O_3 粒子を 2.5, 5, 10 vol% 分散させた複合材料の光学顕微鏡組織である。平均粒径 5 μm の粒子であれば、10 vol% 程度までは粒子が凝集することなく、比較的均一に分散していることがわかる。同様に、(d), (e) はそれぞれ平均粒径 3 および 10 μm の Al_2O_3 粒子を 5 vol% 分散させた複合材料の光学顕微鏡組織である。

3.2 複合材料の機械的特性

Fig. 2 に平均粒径 5 μm の Al_2O_3 粒子を分散させた複合材料の、 Al_2O_3 添加量と引張強さの関係を示す。O 処理材の場合、基地強度が低いために添加した Al_2O_3 粒子による分散強化の効果で、添加量と共にわずかながら強度が向上する傾向を示す。一方、T6 材の場合は、基地強度がもともと高いため添加した Al_2O_3 粒子の切欠きとしての効果の方が大きく現れ、添加量が増加するに従い強度が低下する傾向を示す。Fig. 3 には同様に Al_2O_3 添加量と破断伸びの関係を示す。伸びの場合も T6 材、O 材共に添加量が増加するに従い低下する傾向を示す。

Fig. 4 に 5 vol% の Al_2O_3 粒子を分散させた複合材料の、 Al_2O_3 粒径と引張強さの関係を示す。O 処理材の場合、基地強度が低いために添加した Al_2O_3 粒子による分

Fig. 1 Optical micrographs of specimens.

- (a) A2618 + 2.5 vol% Al_2O_3 -powder (5 μm)
- (b) A2618 + 5 vol% Al_2O_3 -powder (5 μm)
- (c) A2618 + 10 vol% Al_2O_3 -powder (5 μm)
- (d) A2618 + 5 vol% Al_2O_3 -powder (3 μm)
- (f) A2618 + 5 vol% Al_2O_3 -powder (10 μm)

Fig. 2 Effect of Al_2O_3 content on the ultimate tensile strength at the average size of $5\mu\text{m}$.

Fig. 3 Effect of Al_2O_3 content on the elongation at the average size of $5\mu\text{m}$.

Fig. 4 Effect of Al_2O_3 particle size on the ultimate tensile strength at 5 vol%.

Fig. 5 Effect of Al_2O_3 particle size on the elongation at 5 vol%.

Fig. 6 Effect of Al_2O_3 particle size and content on Charpy impact value. (T6, V-notched sample)

散強化の効果と切欠きとしての効果がほぼ同程度に現れるため、平均粒径が3および $5\mu\text{m}$ のものはわずかに強度が向上し、 $10\mu\text{m}$ のものは基地の強度と同程度であった。一方、T6材の場合は、基地強度がもともと高いため添加した Al_2O_3 粒子の切欠きとしての効果の方が大きく現れ、また、粒径の大きいものほど切欠きとしての効果が大きいため、平均粒径が大きくなるほど強度が低下する傾向を示す。Fig. 5には同様に Al_2O_3 粒径と破断伸びの関係を示す。伸びの場合はT6材、O材共に平均粒径が大きくなるに従いわずかではあるが低下する傾向を示す。

Fig. 6 に JIS-5 号試験片 (V ノッチ付き試験片) を用いた T6 材のシャルピー衝撃値を示す。添加した Al_2O_3 粒子の平均粒径が大きくなるほど、また添加量が多くなるほど衝撃値が低下し、平均粒径 3 および $5\ \mu\text{m}$ のものでは 5 vol% の添加で、平均粒径 $10\ \mu\text{m}$ のものでは 2.5 vol% の添加で基地合金の半分まで低下している。

今回試験した材料は粒子分散型複合材料であり、添加している Al_2O_3 粒子も平均粒径が $3\sim 10\ \mu\text{m}$ と比較的大きいため分散強化には有効でなく、かえって機械的特性を損なう結果となった。それでも従来の鋳造法による過共晶 Al-Si 系合金に比較すれば、強度は同程度であり、伸び、衝撃値は十分大きな値である。

3.3 複合材料の摺動特性

Fig. 7 に FC25 ドラムを相手としたときのビン側複合材料の Al_2O_3 添加量と摩耗痕幅の関係を示す。基地合金に比較すると、2.5 vol% の Al_2O_3 粒子の添加でも大幅に耐摩耗性が向上していることがわかる。さらに、添加量が増えるに従い、わずかではあるが耐摩耗性が向上している。また、ドラム側摺動面の表面あらさが $\text{Rz}\ 4\ \mu\text{m}$ と大きくなると、 $\text{Rz}\ 1\ \mu\text{m}$ の時に比較して摩耗痕幅が大きくなり、 Al_2O_3 添加量の差による摩耗痕幅の変化も大きくなる。

Fig. 8 に Al_2O_3 粒径と摩耗痕幅の関係を示す。 Al_2O_3 粒径が大きくなるほど摩耗痕幅は小さくなり、耐摩耗性が向上することがわかる。また、ドラム側摺動面の表面あらさが $\text{Rz}\ 4\ \mu\text{m}$ と大きくなると、 $\text{Rz}\ 1\ \mu\text{m}$ の時に比較して摩耗痕幅は大きくなるが、 Al_2O_3 粒径の差による摩耗痕幅の変化は $\text{Rz}\ 1\ \mu\text{m}$ のときと同程度である。

Fig. 9 および Fig. 10 には、摺動面表面あらさを $\text{Rz}\ 1\ \mu\text{m}$ に仕上げた SCM420 (浸炭焼入) ドラムを相手と

した時の、 Al_2O_3 添加量および Al_2O_3 粒径と摩耗痕幅の関係を示す。添加量および平均粒径と摩耗痕幅の関係は、FC25 ドラムを相手としたときとまったく同様の傾向を示すが、FC25 ドラムを相手としたときよりは摩耗痕幅はわずかに大きくなっている。

摺動面表面あらさが $\text{Rz}\ 1\ \mu\text{m}$ の FC25 ドラムの場合、ドラム側摩耗量 (摩耗高さ) は、試験後のドラム側摺動面の摺動方向直角断面を表面あらさ計によって 5,000 倍に拡大して測定したチャートから読み取ることができないほどわずかであった。一方、Fig. 11 に示すように、FC25 ドラムでも摺動面表面あらさを $\text{Rz}\ 4\ \mu\text{m}$ に仕

Fig. 8 Effect of Al_2O_3 particle size on the width of wear.

Fig. 7 Effect of Al_2O_3 content on the width of wear.

Fig. 9 Effect of Al_2O_3 content on the width of wear. (Drum: $\text{Rz}\ 1\ \mu\text{m}$)

Fig. 10 Effect of Al_2O_3 particle size on the width of wear. (Drum: $\text{Rz } 1 \mu\text{m}$)

Fig. 11 Line profiles of drum after wear test.

上げた場合や SCM420 (浸炭焼入) ドラムの場合には、摩耗高さとして数 μm 以下ではあるが摩耗が観察される。このドラム側摩耗量は 2.5~10 vol% の範囲では Al_2O_3 添加量による差はほとんど認められなかったが、 Al_2O_3 粒径の影響は大きく、 Al_2O_3 粒径が 3 および 5 μm のときよりは 10 μm のときに摩耗量が多くなっている。

相手ドラムが SCM420 (浸炭焼入) のときよりも FC25 のときの方が、ドラムもピン側複合材料自身も摩

耗量が少ない結果となった。これは、一般にいわれているように、FC25 には柔らかい黒鉛が晶出しており、この黒鉛が自己潤滑性をもち、さらに黒鉛が脱落したあとの空隙が油溜まりとして働くためである。さらに、確認してはいないが、脱落した Al_2O_3 粒子が黒鉛部分に埋収されアブレーション粒子としての働きが抑制されることによるものと推定される。

いずれにしても、摺動面表面あらさを $\text{Rz } 1 \mu\text{m}$ に仕上げた FC25 ドラムを相手としたときの過共晶 Al-Si 金型 casting 材ピンの摩耗痕幅は約 0.7 mm⁴⁾ であるので、特に基地合金を Al-Si 系合金としなくても、粒子分散型複合材料は優れた耐摩耗性を有していることがわかる。

4. 結 言

2618 合金相当組成のアトマイズ粉末に平均粒径の異なる Al_2O_3 粉末を添加、混合し、これを熱間押出加工することにより製造した粒子分散型複合材料について、機械的特性、摺動特性について調査した結果、次のようなことがわかった。

(1) 平均粒径が 3~10 μm と比較的大きな粒子が分散した複合材料であるため、分散強化の効果よりは内部切欠きとしての効果の方が大きく、基地合金よりも強度、靱性が劣る。それでも casting 法による過共晶 Al-Si 合金よりは十分高い延性、靱性を示す。

(2) 基地合金に Si を含まない 2618 相当組成合金を選んでも、比較的大きな硬質相を含む粒子分散型複合材料とすることで、良好な耐摩耗性が得られる。

(3) 平均粒径が 3~10 μm の Al_2O_3 粒子を分散させた場合、複合材料自身の摩耗には平均粒径よりも添加量の影響の方が大きく、ドラム側の摩耗には添加量よりも平均粒径の影響の方が大きい。

参 考 文 献

- 1) 藤田, 清田, 平野, 小島: 軽金属, 37 (1987), 677.
- 2) 平野, 藤田: 軽金属, 37 (1987), 670.
- 3) 藤田, 清田, 平野: 軽金属学会第 72 回春期大会講演概要集 (1987), p. 95.
- 4) ㈱リケン技術資料.