

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月 18日現在

機関番号：13401

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21760110

研究課題名（和文） 硬質相含有アルミニウム合金の低摩擦・耐摩耗表面創製法の開発

研究課題名（英文） Development of low friction and wear resistance surface manufacturing method of hard particles reinforced aluminum alloy

研究代表者

宮島 敏郎 (MIYAJIMA TOSHIRO)

福井大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：60397239

研究成果の概要（和文）：

平均粒径 1.2 μm のアルミナ粒子と純水を混合したスラリーを圧縮空気によって高速で噴射させるウェットブラスト法を用いて、高 Si 含有 Al 合金の表面微細加工を試みた。高 Si 含有 Al 合金の Al と Si の材料特性の違いと、加工条件（投射回数、投射角度）を制御することで、表面に数百 nm～数 μm までの突出部やくぼみを創製する加工方法を構築し、その表面が低摩擦性を有することを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

The surface of high silicon aluminum alloy (high Si-Al Alloy) was machined by wet blast technique. The slurry, that is pure water contained with alumina particles with 1.2 μm in diameter by a concentration of 3 mass% is jetted on the high Si-Al alloy specimen. The impingement angle of the slurry was set from 45 to 90 degrees. As a result, the processed surface of high Si-Al alloy was classified into two types of topography. One is the surface with convex areas of Si, and the other is the surface with dimples of Si.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学，設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：トライボロジー，表面創製，摩擦，摩耗，アルミニウム，ウェットブラスト，Al

1. 研究開始当初の背景

近年、さらなる耐摩耗性・摩擦特性向上の要求に対応するため、アルミニウム基複合材料や高シリコンアルミニウム合金などの硬質相含有アルミニウム合金の開発が急速に行われている。研究代表者は、これまでの科研費助成研究等により、アルミニウム基複合材料の摩耗メカニズムや潤滑下における摩

擦特性について研究し、硬質相による耐摩耗性向上メカニズム、硬質相の突出しによる摩擦低減効果を解明してきた。一方で、硬質相含有アルミニウム合金の硬質相の最適な突出方法や、摩擦過程（硬質相の突出量変化・破壊・脱離）については明確になっておらず、それらの解明が急務であることもわかった。

2. 研究の目的

本研究では、ウェットブラスト法を用いて、高シリコン含有アルミニウム合金（以下、高Si含有Al合金と表記）の表面微細加工を試みた。ウェットブラスト法の原理図を図1に示す。ウェットブラスト法とは固体粒子と液体が混合されたスラリーを圧縮空気の力によって対象物に吹き付けることで、固体粒子の衝突により除去加工を行う方法である。スラリーに用いられている固体粒子は平均粒径が数 μm から数百 μm と幅広い。一般的に、平均粒径が大きいほど投射量当たりの除去量は多くなるが、高Si含有Al合金中のSiが数 μm から数十 μm で分布していることを考慮すると、微小な固体粒子を用いた方が、表面微細加工には望ましいと考えられる。そこで、平均粒径1.2 μm の微小粒子を使用し、AlとSiの材料特性の違いから、SiをAlより突出及びくぼませる表面微細加工を試みた。本研究では、Siの突出高さ及びくぼみ深さと加工条件の関係を明確にし、高Si含有Al合金の表面微細加工技術の構築を目的とする。

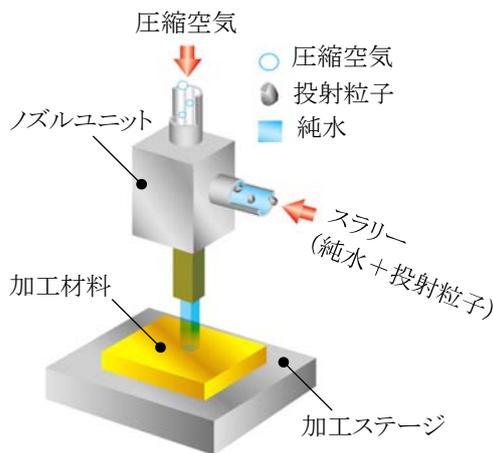


図1 ウェットブラスト加工の原理図

3. 研究の方法

(1) 加工装置

図2のウェットブラスト加工装置を用いて加工を行った。スラリーは、攪拌機付きのポットに入れられ30秒間攪拌された後、パソコン制御された投射空気弁とスラリー弁の開放により投射される。スラリーの投射速度はスラリー加速空気圧力 P_{air} とスラリー圧力 P_{slu} によって変化する。 P_{slu} は試験機の構成上 P_{air} の90%に設定した。ノズルの断面は1mm \times 1mmの正方形である。被加工材料は可動ステージに固定され、一方向に往復移動される。これにより、被加工材料にはノズル幅とほぼ同等の幅を有する直線状の加工面が創製できる。本試験では、高Si含有Al合金中のAlとSiの材料特性（延性・脆性）の違いによって加工に大きく影響する投射角度 α を45 $^{\circ}$ ~90 $^{\circ}$ に設定し、被加工材料を載せた

ステージはAからB、BからAと1mm/sで左右に移動した。このとき、AからB、およびBからAのステージの移動を投射回数1回とし、最大20回被加工材料に投射を行った。また、ノズル端から被加工材料までの距離を5mmに設定した。スラリーは平均粒径1.2 μm の不定形アルミナ粒子を純水に濃度 $c=3\text{ mass}\%$ で含有させたものである。

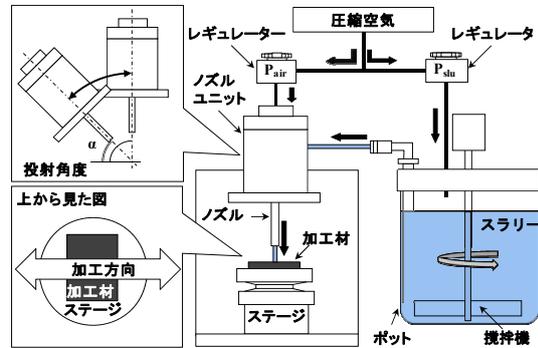


図2 加工試験装置の概要

(2) 被加工材料

被加工材料には粒径4~10 μm のSi粒子が多くみられる高Si含有Al合金を用いた。厚さ2mmの板状に形成された被加工材料をエメリー紙#2000で最終研磨し、試験に用いた。表面粗さは $Ra=0.08\mu\text{m}$ である。

4. 研究成果

(1) スラリー投射圧力と加工形状の関係

粒子の投射圧力は衝突（運動）エネルギーを決めるものである。通常、圧縮気体の投射圧力を調節することにより粒子の投射速度を制御する。加工条件を表1に示す。スラリー投射圧力 P_{air} を0.1MPaから0.3MPaに制御し加工を行い、スラリー投射圧力と加工表面の関係を調査した。また投射角度 α を、加工特性に大きな影響を与えられらる45 $^{\circ}$ 及び90 $^{\circ}$ の2パターンに分け加工を行った。

表1 加工条件（投射圧力の影響）

圧縮空気圧力 P_{air} , MPa	0.1, 0.2, 0.3
スラリー供給圧力 P_{slu} , MPa	90% $\times P_{\text{air}}$
ステージの送り速度, mm/s	1
加工繰り返し数	1, 3, 5, 10, 20
ノズル先端と加工材料との距離, mm	5
投射角度, deg	45, 90

$P_{\text{air}}=0.1\text{ MPa}$ では断面形状に変化はみられなかったが、 $P_{\text{air}}=0.2, 0.3\text{ MPa}$ では投射回数の増加に伴い除去量が多くなった。投射圧力と除去深さの関係を図3に示す。投射回数20回するとき $\alpha=45^{\circ}$ で加工を行った場合、除去

深さは $P_{\text{air}}=0.2 \text{ MPa}$ で約 $3.75 \mu\text{m}$, $P_{\text{air}}=0.3 \text{ MPa}$ で約 $10.6 \mu\text{m}$ となり 0.2 MPa と 0.3 MPa で約 3 倍差が生じた. 一方, $\alpha=90^\circ$ で加工を行った場合, 投射回数 20 回での除去深さは $P_{\text{air}}=0.2 \text{ MPa}$ で約 $3.15 \mu\text{m}$, $P_{\text{air}}=0.3 \text{ MPa}$ で約 $6.3 \mu\text{m}$ となり, 0.2 MPa と 0.3 MPa で約 2 倍差が生じた. また, $\alpha=45^\circ$ と $\alpha=90^\circ$ で比較すると, 同じスラリー投射圧力ではどちらも除去深さは $\alpha=45^\circ$ で加工した方が高くなり, 投射回数 20 回で $P_{\text{air}}=0.2 \text{ MPa}$ では約 1.2 倍, $P_{\text{air}}=0.3 \text{ MPa}$ では約 1.7 倍の差が生じた.

以上の結果から, スラリー投射圧力の増加に伴い粒子の衝突エネルギーが増すため投射角度が 45° 及び 90° どちらの場合でも除去量は大きくなったと考えられる. 本試験では, 表面に微細凹凸を創製することを目的としているため, 加工が可能で, 除去深さが深くない $P_{\text{air}}=0.2 \text{ MPa}$ で加工を行うことにした.

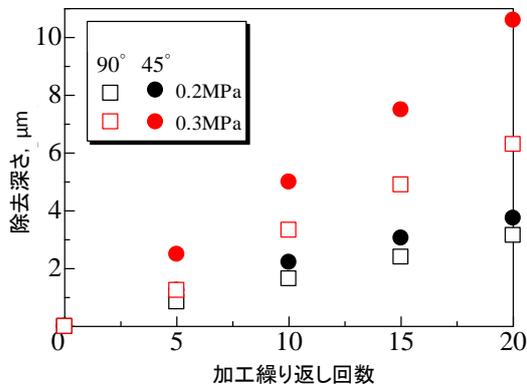


図3 投射角度 45° 90° における各投射圧力の加工繰り返し回数と除去深さの関係

(2) 投射回数と Si の突出高さ及びくぼみ深さの関係

投射回数による表面の微細凹凸加工の変化を連続的に観察するために, 表 2 に示す加工条件で加工を行い, レーザ顕微鏡で同一箇所を観察した. 一例として, 加工前と投射回数 10, 20 回目の投射角度 45° , 90° のレーザ顕微鏡画像及び断面曲線を図 4 に示す. 投射角度 90° で加工を行った場合, Si は投射回数を重ねるごとに Al より多く除去され, 投射回数 20 回では大きくくぼみが形成された. 投射角度 60° で加工を行った場合, 投射回数を増すごとに Al の方が多く除去され, Si は Al より突出した.

そこで Al からの Si の突出高さ及びくぼみ深さをレーザ顕微鏡で得られた断面曲線から測定し定量化した. 被加工材料は未加工の状態でも, 研磨の影響によりわずかに Si が突出する. 本研究では, 未加工での突出高さ, 加工後の突出高さ及びくぼみ深さを求め, 加工後の突出高さ及びくぼみ深さから, 未加工での突出高さを引いたものを投射後の突出高さ及びくぼみ深さとした. その結果を図 5 に示す. 投射角度 90° での Si の突出高さは直線的に減少する. 投射角度 75° では投射回数 5 回以降で Si の突出高さはゆるやかに減少する. 投射角度 60° 及び 45° では Si の突出高さは加工繰り返し数と共にゆるやかに増加する.

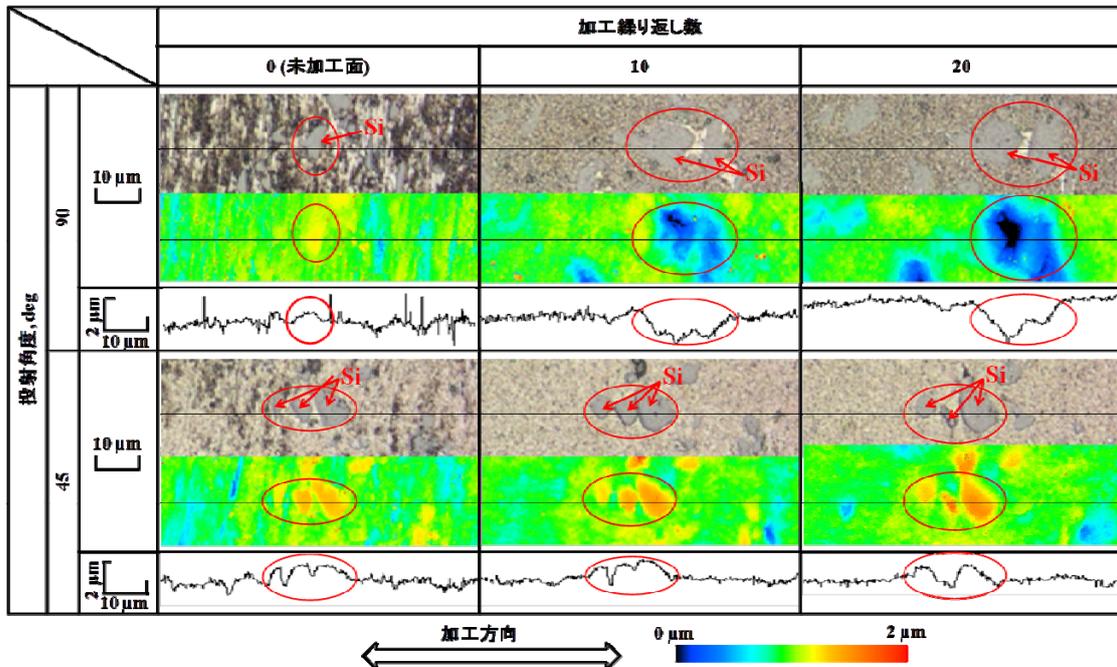


図4 加工前と投射回数 10, 20 回目の投射角度 45° , 90° のレーザ顕微鏡画像及び断面曲線

表2 加工条件 (Si の突出高さ及びくぼみ深さ)

圧縮空気圧力 P_{air} , MPa	0.2
スラリー供給圧力 P_{slu} , MPa	$90\% \times P_{air}$
ステージの送り速度, mm/s	1
加工繰り返し数	1, 3, 5, 10, 20
ノズル先端と加工材料との距離, mm	5
投射角度, deg	45, 60, 75, 90

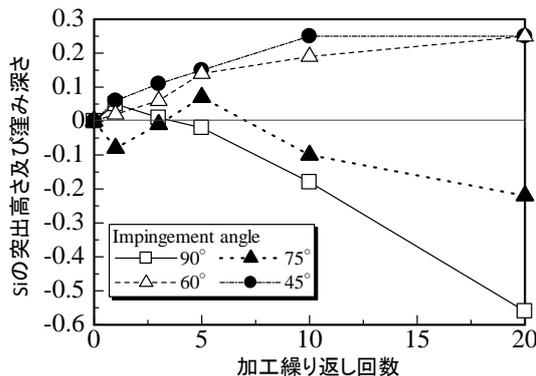


図5 加工繰り返し数とSiの突出高さ及びくぼみ深さの関係

エロージョンの摩耗機構は、塑性変形の繰り返し作用による離脱と、切削作用による離脱の主に2種類ある。今回使用した粒子の形状は不定形であるため、粒子が被加工材料に対して斜めに衝突した場合、被加工材料に押し込まれた粒子の先端部分が引っかき力として作用する力が大きくなる。その結果、投射角度が小さくなると、切削作用による離脱の割合は増加していき、反対に塑性変形の繰り返し作用による離脱は減少していくことが推測される。

また、延性材料は脆性材料に比べて切削作用による脱離が多くなる。そのため、延性材料であるAlと、脆性材料であるSiが表面に存在している高Si含有Al合金において、AlはSiに比べて切削作用による脱離が多くなると考えられる。

以上のことから、投射角度が大きい90°及び75°では、切削作用が小さくなるためSiの除去量がAlの除去量を上回り、Siがくぼんだ表面の加工ができたと考えられる。一方、投射角度60°及び45°では、切削作用が大きくなるために、Alの除去量がSiの除去量を上回り、Siが突出した表面の加工ができたと考えられる。

(3) 研究成果のまとめ

- ① 平均粒径約1.2 μmの不定形アルミナ粒子を用い、投射角度を90°及び75°で加工を行うとSiを選択的に除去した表面が、60°及び45°で加工を行うとAlを除去しSiを突出させた表面が形成できる。
- ② Siの突出高さ及びSi除去によるくぼみ深さは投射回数による制御が可能である。

(4) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

本手法で表面創製を行う試みは初めてである。今後、微小砥粒を用いたウェットブラスト加工技術を応用した発展が期待できる。

(5) 今後の展望

今回の表面創製技術をベースとし、種々の複合材料に適用することで、材料の特性に合わせた低摩擦・耐摩耗表面創製への展開が期待される。さらには、本ウェットブラスト加工技術を応用し、トライボロジー以外への表面創製技術(機能付加)へ貢献する。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

(1) F. Ito, T. Miyajima, T. Honda, Y. Iwai, Surface Processing of High Si-Al Alloy Using Wet Blast, 2010 International Symposium on Advanced Mechanical Engineering and Power Engineering (ISAME2010), 査読無, 2010, A1-1, p1-4

[学会発表] (計2件)

(1) F. Ito, T. Miyajima, T. Honda, Y. Iwai, Surface Processing of High Si-Al Alloy Using Wet Blast, 2010 International Symposium on Advanced Mechanical Engineering and Power Engineering (ISAME2010), 2010年11月12日, 福井市

(2) 伊藤文彦, 宮島敏郎, 岩井善郎, ウェットブラスト法による高Si含有Al合金の表面微細加工, 2011年度精密工学会秋季大会学術講演会, 2011年9月20日, 金沢市

[その他]

ホームページ等

<http://mech.u-fukui.ac.jp/~trib/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮島 敏郎 (MIYAJIMA TOSHIRO)

福井大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号: 60397239