

# 高速フレーム溶射法による Al-30Si 合金への MoS<sub>2</sub> 添加混合粉末による皮膜の機械的性質改善の試み

Improve the Mechanical Characteristics of Al-Si alloy coatings with Addition of MoS<sub>2</sub> powder Produced by High Velocity Air-Fuel spraying.

信州大学 (院) ○間仁田 和樹, 鈴木雄翔, 信州大学 榊 和彦

Manita Kazushige (Graduate School, Shinshu Univ.), Suzuki Yuto (Graduate School, Shinshu Univ.), Sakaki Kazuhiko (Shinshu Univ.)

## 1. 緒言

Al-Si 系合金は熱膨張率が低く、鋳造性や耐摩耗性に優れるため、鋳造ピストンなどの摺動部品として用いられているが、機械の高性能化、高効率化の要求に伴い、摩擦・摩耗特性の向上が求められている。本研究の先行研究では<sup>1)</sup>、硬質粒子の添加による Al-Si 合金皮膜の耐摩耗性向上を目的とし、皮膜内の添加セラミックス含有率の向上と、それに伴う耐摩耗性の向上のため、粉体処理装置を用いて粉末供給が可能な流動性を持つ Al-30Si/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 複合粉末を造粒し、成膜した。得られた皮膜は、単純混合によるものと比較して Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> の含有率が増加し、セラミックス添加のない Al-30Si 合金皮膜より最大で約 58 % (78 HV) 硬く、約 41 % の摩耗率の減少がみられ、耐摩耗性が向上した。しかし、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 粒子添加量を増やすことでそれらの偏在が生じた複合皮膜では、硬度と耐摩耗性の改善がみられなかった。

一方で、セラミックス以外の添加物を用いることが検討され、二硫化モリブデン(以下、MoS<sub>2</sub>)は優れた耐摩耗性や潤滑性から、固体潤滑剤として摺動部品の低摩耗化や潤滑性の改善などに用いられている。そして、摺動面へ MoS<sub>2</sub> 粉末を投射したピストンでは、摺動抵抗の低減により、未処理のものよりもエンジンフリクションを 4 % 以上低減させたことが報告されている<sup>2)</sup>。

そこで本報では、Al-30Si 合金粉末に粒径の異なる 2 種類の MoS<sub>2</sub> 造粒粉末を添加した混合粉末を成膜し、マトリックス粒子径と MoS<sub>2</sub> 粉末の添加量が皮膜の機械的性質に及ぼす影響を評価するため、複合皮膜の組織観察、硬度、摩耗率および摩擦係数の測定を行った。

## 2. 実験方法

マトリックス粉末として、粒径の異なる 2 種の Al-30Si 合金粉末 (東洋アルミニウム株, 21-00090G, 平均粒径 80.0 μm, および同社, 21-0016G, 平均粒径 21.6 μm) を用いた。添加物には、試作した MoS<sub>2</sub> 造粒粉末 (フジミインコーポレーテッド, 平均粒径 18.5 μm) を使用した。混合粉末は、各マトリックス粉末への MoS<sub>2</sub> 粉末の添加量が 0, 6.25, 12.5 vol% となるよう単純混合した。以降、マトリックス粒径  $D$  と MoS<sub>2</sub> 粉末の体積割合  $V$  で表記し、粉末時は Powder  $D(V)$ 、皮膜時は Coating  $D(V)$  と示す。

皮膜は、HVAF 溶射ガン (Kermetico, Inc, AK-07 HVAF Spray Gun) を用いて、空気投入圧力 0.52 MPa, プロパン投入圧力 0.45 MPa, 溶射距離 200 mm, トラバース速度 26 mm/s で基材 (SS400 鋼板, ブラスト処理により粗面化) に成膜した。皮膜の表面・断面の組織観察には SEM および EDS を用いた。また MoS<sub>2</sub> 粒子の含有率と脱硫状況の確認のため、各皮膜表面・断面の EDS 分析結果に Image J を用いて画像処理を施し解析した。皮膜の表面と断面の硬度試験には微小硬度計を用いた。摩耗率および摩擦係数は、表面性試験機 (新東科学株式会社, HEIDON Type : 14FW) を用いて相手材にステンレス鋼球 (直径 6 mm) を使用し、荷重 1 N, 摺動距離 1000 m の条件で行った。摺動速度は測定の都合上、摩耗率は 0.1, 摩擦係数は 0.01 m/s でそれぞれ試験した。なお、摩耗率は摩耗量を摺動距離で除して求めた。併せて、粉末と皮膜を X 線回折による結晶構造解析も行った。

## 3. 実験結果と考察

図 1 に Coating 80(6.25), 21.6(6.25) の断面 SEM 像および硫黄(S)マッピング像と断面の S 検出面積割合を示す。図 1 の SEM 像より、どちらも皮膜内に気孔は確認されず、緻密な皮膜が得られた。そして、白色で帯状に分布している組織は、EDS 分析結果より MoS<sub>2</sub> 粒子であり、基材との衝突で大きく扁平し、Al-30Si 粒子の間に存在している。そして、どちらも S 検出面積割合が混合粉末の MoS<sub>2</sub> 粉末添加割合 6.25 vol% からほとんど減少していないことから、HVAF 溶射による MoS<sub>2</sub> 粒子の分解はわずかであったと考える。

図2に Al-30Si/MoS<sub>2</sub> 複合皮膜の断面硬度測定結果を示す. 比較のため, Al-30Si 合金バルク材と Al-30Si/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 複合皮膜<sup>1)</sup>の硬さも併記する. 図2より, 全ての皮膜においてバルク材より硬くなった. Coating 80(6.25)および80(12.5)では, MoS<sub>2</sub> 添加により, 無添加の Coating 80(0)と比べてそれぞれ44 HV, 40 HV 軟らかくなっている. 一方で, 小粒径の Coating 21.6 (6.25), 21.6(12.5)では Coating 21.6(0)よりも硬くなった. 特に, Coating 21.6(12.5)は Al-30Si/MoS<sub>2</sub> 複合皮膜の中で最も硬く(161 HV), Al-30Si/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 複合皮膜と同程度の硬度となった. 図示しないが, 各皮膜の圧痕の EDS 分析結果より, マトリックス粒子の大きい皮膜 (Coating 80) では, 圧痕内に MoS<sub>2</sub> 粒子が存在しているため, 約 29 HV<sup>3)</sup>の軟らかい MoS<sub>2</sub> 粒子が押し込まれることで硬度が下がったと考える. 一方, マトリックス粒子の小さく硬い皮膜(Coating 21.6)でも圧痕内に MoS<sub>2</sub> 粒子が存在しており, 今後より詳細な評価が必要である.

図3に各溶射皮膜の摩耗率を示す. 比較のため, Al-30Si バルク材および Al-30Si/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 複合皮膜<sup>1)</sup>の結果も併記する. MoS<sub>2</sub> 粉末の添加量が少ない Coating 80(6.25)と Coating 21.6(6.25) の摩耗率は, 無添加の皮膜より低くなった. 一方で, 添加量が多い Coating 80(12.5), Coating 21.6(12.5)の摩耗率は, 無添加の皮膜より高くなり, 耐摩耗性は向上しなかった. したがって, MoS<sub>2</sub> 粉末添加量 6.25 vol%以下の少量添加の際において, より耐摩耗性に優れた条件がある可能性がある. 図示はしないが, 摩擦係数は MoS<sub>2</sub> 粉末の添加量が多いほど減少した.

#### 4. 結 言

- (1) 全ての混合粉末において, MoS<sub>2</sub> 粒子の分解が少ない複合皮膜を成膜することができた.
- (2) Al-30Si(平均粒径 21.6μm)/MoS<sub>2</sub> 複合皮膜は, MoS<sub>2</sub> 添加量が増えるほど硬くなった.
- (3) 耐摩耗性は, MoS<sub>2</sub> 少量添加の際に向上した.
- (4) 摩擦係数は, MoS<sub>2</sub> 多量添加の際に減少した.

#### 謝 辞

HVAF 装置を譲渡いただいた(株)ニューメタルス エンド ケミカルス コーポレーションと Al-30Si 合金粉末をご提供いただいた東洋アルミニウム(株)に感謝いたします. 本研究の一部は競輪の補助を受けて実施しました.

#### 文 献

- 1) 梅垣真理, 間仁田和樹ほか, 日本溶射学会第116回全国公演大会講演論文集, 202(2022), pp.31-32.
- 2) 萩原秀実, 内燃機関用ピストンスカート部への固体潤滑剤付与技術とその効果, HONDA R&D Technical Review, 14-1, (2002), pp.85-92.
- 3) 社団法人日本トライボロジー学会固体潤滑研究会, 固体潤滑ハンドブック, (2010), p.15.

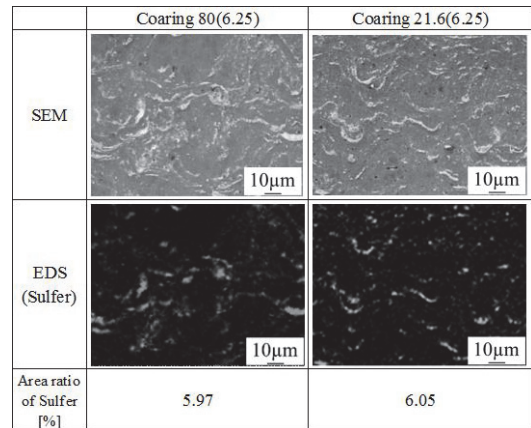


Fig.1 Cross section of SEM and EDS sulfur mapping image and area rate of sulfur detected in cross section of Al-30Si / MoS<sub>2</sub> coatings.

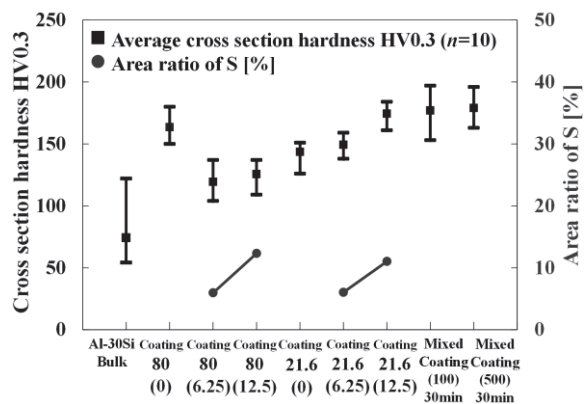


Fig.2 Cross section hardness of Al-30Si bulk and Al-30Si, Al-30Si/MoS<sub>2</sub>, Al-30Si/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> coatings by HVAF (n=10).

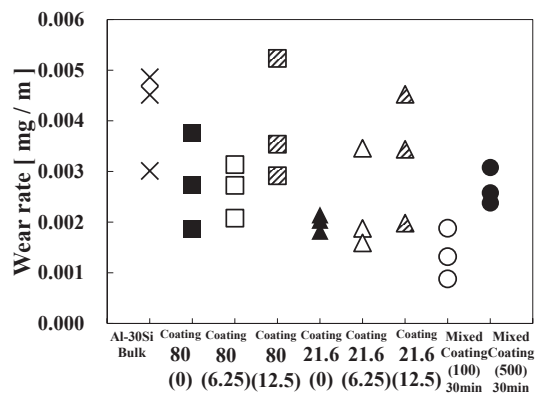


Fig.3 Wear rate of Al-30Si bulk and Al-30Si, Al-30Si/MoS<sub>2</sub>, and Al-30Si/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> coatings by HVAF (n=3).