

スズ薄膜の摩擦摩耗特性に及ぼす熱処理とテクスチャリングの複合効果

Combined effects of heat treatment and surface texturing on tribological properties of Sn coating

名城大・理工（学）*稲田 航己 名城大・理工（正）宇佐美 初彦

Koki Inada*, Hatsuhiro Usami

*Meijo University

1. はじめに

スズ (Sn) は典型的な軟質金属であり自動車エンジン用軸受のオーバーレイ素材として実用化されている材料である。また、青銅の主たる構成元素でもあり各種すべり軸受の合金成分としても応用されている。固体潤滑剤含有樹脂被膜が実用化される以前には、ピストンスカート部の摩擦低減用被膜にも適用されていたようである。

異種材のコーティングに関しては、界面の密着性が摩擦摩耗特性に大きく影響する。セラミックスや樹脂被膜の場合、下地との十分な化学的結合が期待できないので、表面形状を制御し機械的結合（アンカー効果）を発現させることで密着強度向上が図られてきた。しかし、下地表面の凹凸は成膜面にも影響するので、その形状は制約を受け十分な密着強度が得られないのが実情である。

金属被膜では、成膜後の熱処理によって膜と下地間の相互拡散により密着強度は向上するものの、化合物層や固溶体形成が促進され界面の脆化や膜表面の組織変化を誘発することに注意が必要である。また、Snのような軟質膜の場合、凝着部成長に伴う摩擦の増大が懸念されるが、形状が制御された表面上に成膜することで、表面の力学的応答を不均質化でき凝着成長の抑制が期待できる。

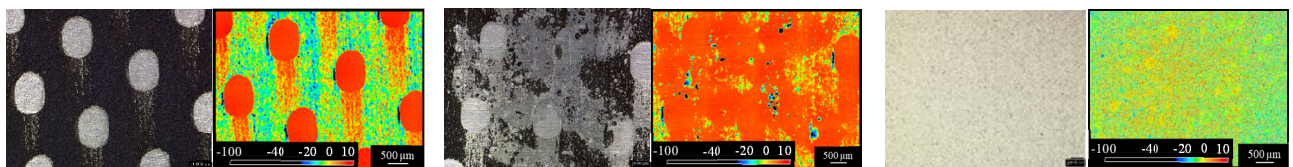
本報告ではアルミニウム合金鋳物 AC8A 上に成膜された Sn 膜¹⁾の摩擦特性に関して、下地形状（テクスチャ）²⁾によるアンカー効果と熱処理の複合化による改質特性を実験的に評価した。改質面の微小硬さ分布も測定し摩擦摩耗特性との関係を考察した結果を報告する。

2. 表面改質

供試材はアルミニウム合金 AC8A であり、旋削によりディスク形状（φ44/20t7mm）に加工した後に一端面を研磨し試験表面とした。テクスチャ形状はファイバーレーザー（波長 1064 nm）彫刻機を用いて付与し、その形状は直径 0.75 mm 高さ 30 μm の円柱が面積率 12 % で配置された形状である。Sn 粒子を凹部に圧入した後にレーザー溶接機を使用し、Table 1 の条件で熱処理を施した。また成膜には、スズ (Sn) は粉体投射法（Powder Deposition Process, 以下 PDP）を用いた。Sn の粒子径は約 10 μm であり、0.6 MPa のガス圧で投射した。成膜厚さは約 2 μm である。Figure 1 はテクスチャ付与後と圧入後および成膜後の光学顕微鏡像である。AC8A の主成分である Al および Si と Sn 間では固溶体が形成されるものの、金属間化合物は形成されないので大幅な硬質化は生じない。

Table 1 Laser processing conditions

Laser engraving (texturing)				Laser cladding (welding)			
Power	Frequency	Speed	Hatching width	Power	Irradiation time	Spot diameter	Wave
15 W	60 kHz	400 mm/s	0.002 mm	1.0 kW	20 ms	2.0 mm	SLO+



After Textured

After Welding

After PDP

Fig. 1 Confocal microscope image of treated surface

3.1 テクスチャの効果

相手材を炭素鋼 S45C リング、潤滑油剤に自動車用エンジン油（粘度指数 0W-8、添加剤未配合）を使用して摩擦特性を評価した。試験条件は負荷荷重 200 N、試験速度 0.5 m/s であり、雰囲気は室温大気中である。摩擦係数の経時変化と実験後の摩擦面の光学顕微鏡像が Fig. 2 である。未処理面（AC8A 平坦面）の摩擦係数は実験開始直後には低く安

定しているものの、途中から上昇に転じ、実験終了直前には 0.15 程度に達する。一方、凸テクスチャ面の摩擦特性は実験開始直後には未処理面よりも若干高いが、摩擦距離の増加に伴い徐々に低下し最終的には 0.03 程度にまで低下する。実験後の平坦面の摩擦面変色が激しい。早川ら³⁾の結果によると AC8A の摩擦には偏析する硬質な Si 微粒子の影響が指摘されている。凸構造を付与することで、相手材への移着が抑制され、ディスク側突起の変色は抑制されていることから摩擦係数の低減安定化は摩擦粉の排出促進に起因する凝着部の成長抑制の影響と考えられる。

3.2 被膜の効果

未処理面に Sn を成膜した場合の結果が Fig. 3 である。成膜により摩擦係数は実験初期から緩やかに低下し、最終的には 0.01 程度まで低減する。また、熱処理の影響は僅かであった。実験後の摩擦面より相手材への移着は僅かであり、条痕も確認されない。ディスク側摩擦面には数本の条件が形成されるのみであり熱処理の影響も見られなかった。以上のように、Sn 被膜は AC8A の摩擦低減に有効な手段といえる。

3.3 Sn 圧入の効果

テクスチャ凹部に Sn を圧入し複合化した結果が Fig. 4 である。Sn 圧入後に研磨処理を適用し、凸部は AC8A が露出した表面構造である。複合化した後のレーザー加熱時間も変えた表面を作製した。加熱時間の増加に伴い Sn 層の硬さはダイナミック硬さで 10~30 DHT 程度まで上昇した。複合化により摩擦係数は実験初期から低下するが照射時間の増加に伴いその傾向は顕著であることから、熱処理の適用により複合表面でも摩擦低減の効果が得られた。

3.4 凸テクスチャと Sn 被膜の相乗効果

複合表面上にさらに PDP で Sn を成膜した結果が Fig. 5 である。成膜面や複合面と比較して摩擦係数の低下は少ないものの、突起の周囲では Sn の移着が形成されている。突起部は直下が AC8A であり Sn 層に比して剛性や硬さが高いことから、凝着成長を抑制し摩擦低減に寄与する可能性が高い。

4. まとめ

表面形状の異なる AC8A 表面上に Sn を成膜した表面の潤滑摩擦特性を評価した。その結果、Sn の成膜は摩擦低減に有効であり、凸構造テクスチャ上に適用してもその効果は発現する。さらに熱処理を加え Sn 層を硬質化することで摩擦抑制効果も発現することを確認した。

文献

- 1) 杉下 潤二：微粒子衝突によって改質された金属表面の摩擦摩耗特性，表面技術，52, 2 (2001) 177
- 2) 佐々木 信也：表面テクスチャによるトライボロジー特性の向上，表面技術，65, 12(2008)568
- 3) 早川 昇吾 他：Al-Si 系合金表層における偏析 Si 粒子の除去とその摩擦摩耗特性，トライボロジスト，64, 2 (2019) 107

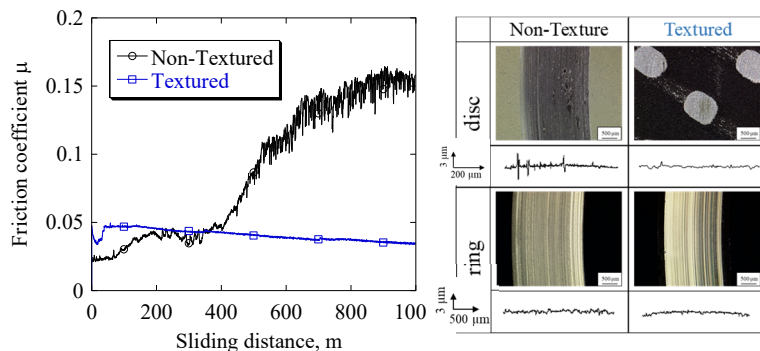


Fig. 2 Friction coefficient (left) and worn surface image and profile (right)

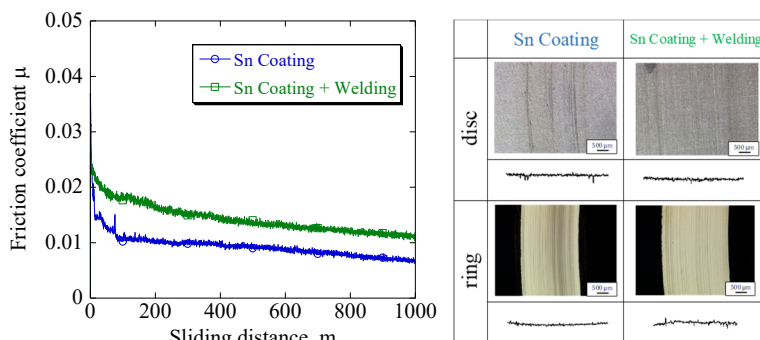


Fig. 3 Friction coefficient (left) and worn surface image and profile (right)

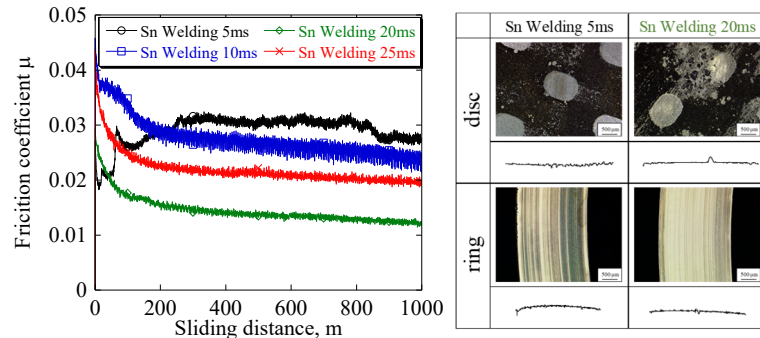


Fig. 4 Friction coefficient (left) and worn surface image and profile (right)

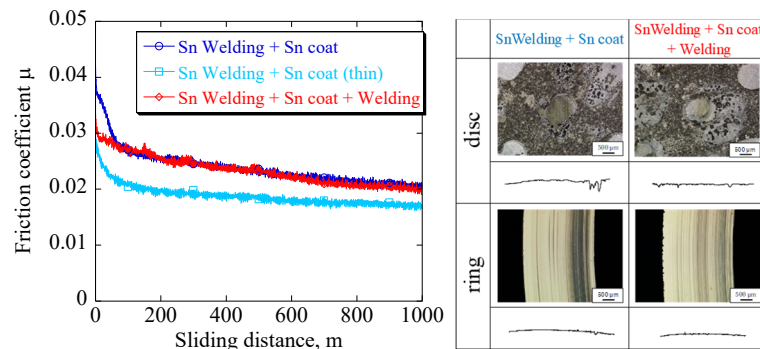


Fig. 5 Friction coefficient (left) and worn surface image and profile (right)