

## セリサイト金属複合膜の摩擦特性

## Friction Properties of Sericite-Metal Composite Coating

名城大・理工（学）\*伊藤 天音 名城大・理工（正）\*\*宇佐美 初彦

Amane Ito\*, Hatsuhiro Usami\*\*

\*Graduate Student, Meijo University

\*\*Meijo University

## 1. はじめに

黒鉛、二硫化モリブデン ( $\text{MoS}_2$ ) などの自己潤滑材料は層状の組織構造を有し、脆弱な界面の優先的なへき開が摩擦低減に寄与する。化粧品（ファンデーション）に利用されるセリサイト(絹雲母)は層状構造であるため自己潤滑性を発現する可能性があり、天然鉱物由来の素材であることから耐熱性も高く、高温用固体潤滑材としての応用が期待される。表面処理を施したセリサイトを油剤やグリースに配合し摩擦特性を評価した結果では、グラファイトと比較して摩擦低減と耐焼付き性が向上するだけでなく、 $\text{MoS}_2$ と比較して耐酸化性も向上することが報告されている<sup>1)</sup>。また、 $\text{MoS}_2$ とセリサイトをナノ粒子化し油剤の分散したコロイド溶液の摩擦特性も検討されている<sup>2)</sup>。

高温に適用される固体潤滑材としてセリサイトを活用するために、摺動面に配合し複合化する方法が適用できる。予めテクスチャが付与された表面凹部に固体潤滑材を圧入することで、素材の摩擦特性を大幅に改善できることが報告されており<sup>3,4)</sup>、同様な手法でセリサイトを複合化することで、その自己潤滑性を発現する可能性は高いと考えられる。

本報告では、高温用潤滑材としてのセリサイト適用可能性検討を目的として、基材をステンレス鋼 (SUS310S) とし、レーザー加工機による微細な凹凸テクスチャを付与した凹部に金属粉体とセリサイトの混合粉体を圧入することで、複合表面を形成し、その摩擦特性を評価した結果および複合層硬さと摩擦特性の関係を考察した結果を報告する。

## 2. 表面複合化手法

供試材はステンレス鋼(SUS310S)である。旋削によりディスク形状( $\phi 44/20 \times 7 \text{ mm}$ )に加工し、その一端面を試験片表面とした。表面の複合化のプロセスは以下のとおりであり、各工程の表面状態を Fig. 1 に示す。ファイバーレーザー(波長 1064nm)を Table 1 の条件で照射しテクスチャを付与した(Fig. 1A)。テクスチャはレーザーの照射痕に対応し、その直径は 20  $\mu\text{m}$ 、深さは 15  $\mu\text{m}$  程度である。テクスチャリングの目的はアンカー効果を下地に付与することで複合被膜の密着性を改善することにある。さらに、下地処理として湿式メッキ法により Sn を成膜した(Fig. 1B)。成膜後にも下地の凹凸が反映した表面になる。次に、予め銅粉末(粒径 10  $\mu\text{m}$ )とセリサイト(同 5  $\mu\text{m}$ )を遊星ミルで用い体積比 1 : 1 の割合で混合した粉体をテクスチャ面に塗布しローラーバニシングで圧入した(Fig. 1C)。この時、被膜厚さは凹部で 20  $\mu\text{m}$ 、凸部で 6  $\mu\text{m}$  であり、テクスチャの凸部にも圧着され、複合化されている。最終的には下地 Sn と Cu 間の相互拡散による組織構造変化目的として、大気中で熱処理を施した。Sn は低融点(232  $^{\circ}\text{C}$ )であり耐熱性は乏しいが、Cu とは特定の組成比で非常に硬質な化合物を形成する<sup>5)</sup>ため、下地膜に適用した。また、熱処理後は研磨によって酸化被膜を除去した。表面複合化後のディスク試験片は炭素鋼 S45C 材(硬さ 700 HV)のリング試験片と組合せ、負荷荷重 50 N、摩擦速度 0.25 m/s、室温大気中で乾燥摩擦特性を評価した。

Table 1 Laser engraving (texturing) conditions

Power	Frequency	Speed	Hatching width
9.0 W	50 kHz	2000 mm/s	0.05 mm

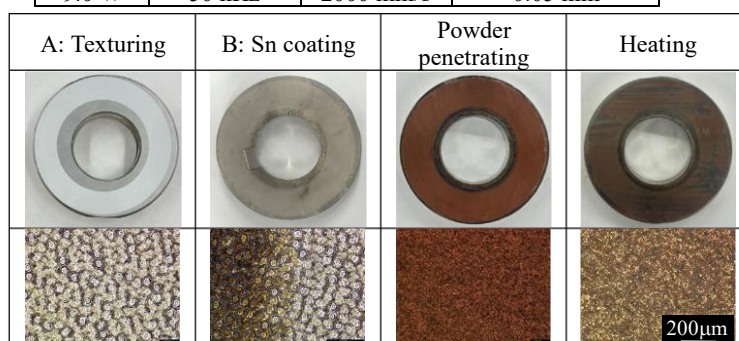


Fig. 1 History of surface modification (Overview and micro scope observation correspond to upper and lower image)

## 3. 試験結果及び考察

## 3-1 下地組成の影響

下地 Sn 膜の膜厚と摩擦係数の関係が Fig. 2 である。比較のため、Cu を成膜した後に Sn を成膜した試験片も同時に実験した。下地 Sn 膜 2  $\mu\text{m}$  の摩擦係数は摩擦距離の増加に伴い若干上昇したが、約 300 m までは安定した。しかし、それを超えると摩擦係数が急増

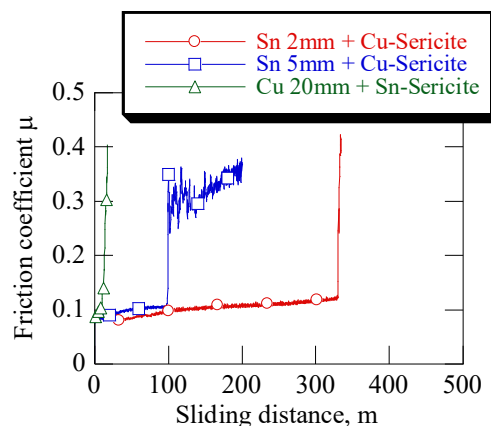


Fig. 2 Friction coefficient of various substrate surface

し実験を中断した。同 5 mm の摩擦係数は 100 m の地点で摩擦係数が急増した。下地に Cu を成膜した場合の摩擦係数は実験初期に急増した。これらの摩擦面の光学顕微鏡像が Fig. 3 である。これらは摩擦係数が急増した後の結果であり、相手材(リング)表面には移着層が形成されている。摩擦係数が早期に急増した Sn 5  $\mu\text{m}$  試験片の移着層は同 2  $\mu\text{m}$  試験片と比較すれば大きいものの、その形成領域は限定的である。しかし、成膜面の一部では基材との界面が露出しており、強固な凝着部が形成された可能性がある。また、移着層や成膜面は黒く変色している。一方、Cu 20  $\mu\text{m}$  を下地として Sn とセリサイトを成膜した場合には、相手材の凝着は僅かであった。被膜のビッカース硬さ(印加荷重 0.49 N)は、160 HV(Sn 2  $\mu\text{m}$ )、130 HV(Sn 5  $\mu\text{m}$ )、80 HV(Sn-セリサイト)であり、被膜硬さと摩擦係数が急増するまでの摩擦距離は相関している。平均的な膜厚(約 10  $\mu\text{m}$ )と押込み深さ(同 5  $\mu\text{m}$ )の比を考慮すれば硬さの測定値には下地の SUS310S の硬さ(230 HV)が影響するものの、硬質化により膜の損傷が抑制され寿命が向上するようである。

いずれの試験でも実験開始直後には摩擦係数は 0.1 以下であり、セリサイトの複合化により複合表面には自己潤滑性付与されたと判断できる。

### 3-2 熱処理条件の影響

3-1 より、Sn-Cu 系で形成される金属間化合物の硬さ(約 400 HV)に比して複合膜の硬さは低いことから、熱処理条件を変更して評価した。その結果が Fig. 4 である。ディスク摩擦面の硬さは、240 HV(400  $^{\circ}\text{C}$  2h)、100 HV(250  $^{\circ}\text{C}$  4h)、240 HV(250  $^{\circ}\text{C}$  8h)であり、処理時間を延長することで硬質化した。特に熱処理温度 250  $^{\circ}\text{C}$  の場合に顕著であるが、いずれの処理温度でも Sn は熔融状態となり Cu が液相の Sn に拡散したと考えた場合、処理時間の増加によって拡散速度が上昇し、硬質化に寄与したと推定される。摩擦係数にも硬質化の影響が確認され、熱処理時間の増加に伴い被膜の寿命は処理温度 250  $^{\circ}\text{C}$ 、400  $^{\circ}\text{C}$  共に大幅に増加している。

摩擦係数が急増し実験を停止する前に中断し摩擦面を観察した結果が Fig. 5 である。400  $^{\circ}\text{C}$  2 時間処理の試験片を摩擦距離 200 m で停止した場合には、複合面の損傷は僅かであり、相手材は変色しているものの、島状の移着層は確認されない。摩擦係数が急増し始めた後の複合表面には損傷が確認され、相手面には大きな島状の移着層が形成されている。したがって、複合表面の摩擦特性はセリサイトと共に配合した Cu の激しい移着に依存し、これを抑制することで被膜の長寿命化に期待できる。これを実現するためには複合表面の硬質化が有効であると考えられ、具体的には Sn-Cu の拡散をより進行させるような条件の選定が必要である。

## 4. まとめ

セリサイトと Cu を複合化させた表面を SUS310S 上に形成し、相手材を焼入れ S45C リングとした面接触の乾燥摩擦特性を評価した結果、複合膜の摩擦係数は 0.1 以下であり、自己潤滑性が確認された。しかし、硬さの十分でない複合膜では、相手材への移着層の形成により摩擦係数は急増し、十分な寿命は得られない。これを解決する手法として、複合膜を硬質化させることが重要であることも分かった。

## 文献

- 1) S. Hironaka and T. Hayashi: Lubricity of sericite suspended grease and oil : 石油学会誌 Sekiyu Gakkai Shi, 31, 3(1988) 221-226
- 2) Z. Li, K. Hu, Y. Xu, E. Hu and X. Hu: Dispersion and tribological properties of nano MoS<sub>2</sub>/sericite particles in di-n-butyl adipate synthesized by their own catalysis, Tribology International 174 (2022) 107760
- 3) 宇佐美初彦: テクスチャを応用した表面改質, トライボロジスト, 60, 4(2015)255-301
- 4) H. USAMI, Y. Horiba, H. Akita and S. Kobayashi : Applicability of Surface Plastic Flow Process for Modification of Tribological Properties of Titanium, MM (Modern Machinery) Science Journal, October (2014) 502-505
- 5) 島岡 三義・辻井ありさ: 各種銅合金のマイクロビッカース硬さ, 奈良工業高等専門学校 研究紀要 4 (2010) 1-6

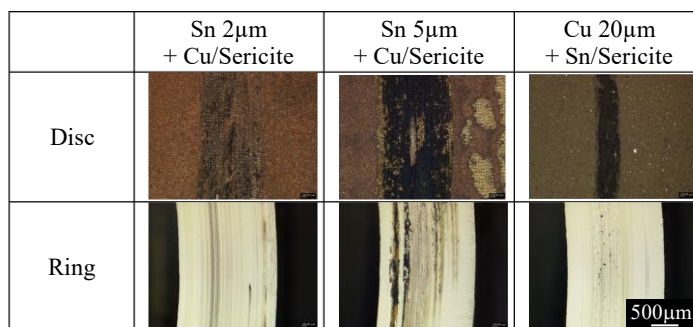


Fig. 3 Optical micro scope image of disc (upper) and ring (lower) surface after friction experiment

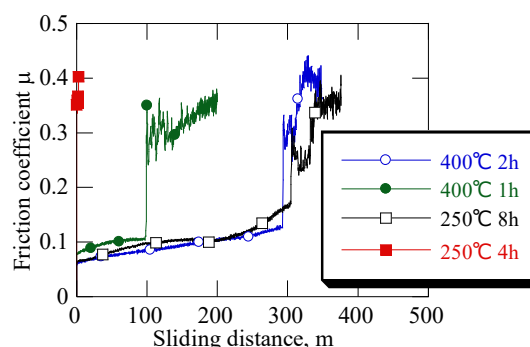


Fig. 4 Friction coefficient of heat-treated Sn 5 $\mu\text{m}$  substrate surface

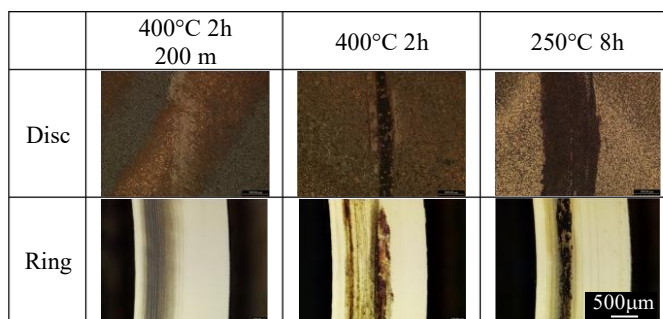


Fig. 5 Optical micro scope image of disc (upper) and ring (lower) surface before terminating friction experiment