

レーザーアニールされた Sn 膜の摩擦特性

Friction properties of laser annealed Sn coating

名城大・理工（正）*大野 智寛 名城大（正）宇佐美 初彦

Tomohiro Ono*, Hatsuhiro Usami**

*Students of Meijo University, **Meijo University

1. はじめに

スズ (Sn) は軟質、低融点な金属であり、硬質平滑面上に成膜することで摩擦低減効果を発現する材料の一つである。また、銀 (Ag) や硫黄 (S) との化合物は自己潤滑性¹⁾を発現し、銅 (Cu) やニッケル (Ni) との化合物は非常に硬質であり硬質化に寄与する。一方、亜鉛 (Zn) とは溶解限度の非常に小さい共晶合金を形成するのみであり、化合物形成に伴う大幅な硬質化は発現しない。上記の化合物や固溶体の形成は拡散に律速されるので、温度のみならず加熱時間にも影響を受ける。レーザーのように瞬時に局所加熱できる熱源を適用することで、組織構造を制御できる可能性は高い。既にレーザー加熱は鋼の焼入れや焼結にも適用されており、短時間の局所的な照射により組織構造を不均質化できる。一方、Sn の沸点は 2600°C と非常に高く蒸発には高出力の熱源が必要となるが、低融点（約 230°C）故に比較的低出力でも溶融するので、カーベンダルボイド²⁾のような界面での拡散速度の差異に起因する空孔生成も抑制され、膜の密着性の改善にも寄与する可能性は高い。本報告では、電気化学的手法で成膜された Sn 薄膜の摩擦特性に及ぼすレーザー照射処理（レーザーアニール）の効果について検討した。レーザー処理条件と主として界面の硬さ変化を測定し、摩擦摩耗特性との関係を考察した。

2. Sn 成膜と熱処理

鋳塊より旋削で $\phi 44 \times \phi 20\text{mm} \times t6\text{-}8\text{mm}$ の寸法に加工した炭素鋼 S45C をディスク試験片として使用した。その一端面に塩化第二鉄を電解液とした電気化学的手法（湿式鍍金）で Sn を 2 μm 成膜した後に、ファイバーレーザー（波長 1064 nm）を照射した。なお、ディスク成膜面は鏡面処理 ($\leq 0.02 \mu\text{mRa}$) とした。レーザー照射（レーザーアニール）の主たる目的は Sn の溶融による膜界面の密着性向上であるが、熱影響は下地にも及ぶので組織変化の可能性は高い。レーザー照射処理後の Sn 膜の光学顕微鏡像と表面あらさが Fig. 1 である。照射条件は周波数 60KHz, 走査速度 10000mm/sec, 出力は 3, 4.5, 10 W とした。図示のごとく、レーザー照射前の Sn 膜表面の粗さは 0.2 μmRa であるが、レーザー照射によって直径 30 から 40 μm 程度のディンプルが形成され、その大きさは出力の増加に伴い拡大する。また、表面あらさも増加する。

表面のビックアース硬さ（印加荷重 0.49 N）は 280 HV (S45C 表面), 240HV (未処理 Sn 膜) であった。圧痕の大きさは 15 μm 程度であるので、Sn 膜の硬さは下地の影響を大きく受ける。レーザー照射面は 310/220HV (=中央部/端部, 出力 3 W), 410/220 HV (同 4.5 W), 410/280 HV (同 10 W) であり、照射部中央は非常に硬質化している。

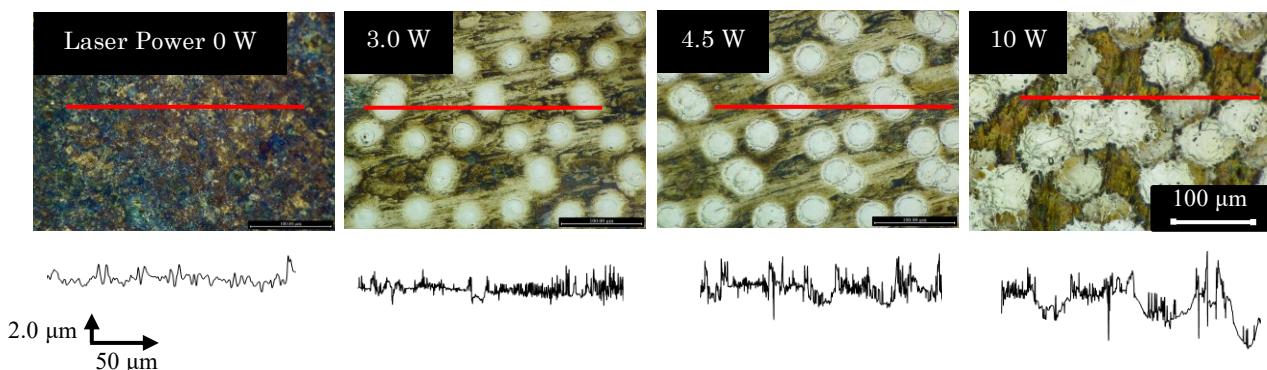


Fig. 1 Optical microscope image and surface profile of Sn coating surface

3. 実験結果と考察

3.1 レーザーアニールの影響

摩擦特性は、相手材を S45C 烧入材としたリングオンディスク方式で評価した。リング表面の算術平均粗さは 0.01 μm 以下である。試験条件は負荷荷重 300 N, 摩擦速度 0.25 m/s であり、潤滑油剤には添加剤未配合の自動車用エンジン油（粘度指数 : 0W-8）を 0.2 mL 供給した。なお、雰囲気は室温大気中である。摩擦特性が Fig. 2 である。下地の S45C の摩擦係数は、実験開始直後から急増し、摩擦距離 0.5 m で実験を中断した。Sn 膜の摩擦特性はレーザー処理しない場合 (0 W), 実験初期には不安定であるが、摩擦距離 150m 以降では脈動がなく 0.02 程度で低く安定している。レーザー処理面の摩擦係数は出力の増加に伴い増加し変動も激しくなる。特に 10 W の出力で処理した場合、摩擦距離 350m

付近で摩擦係数が急増し実験を中断した。

実験後の摩擦面の光学顕微鏡像と表面あらさが Fig. 3 である。リング摩擦面は変色しているが、これは相手材である Sn 被膜の移着層と推定される。Sn 膜面も同様な変色部しているが摩耗深さは小さく、レーザー出力に対する差異は確認できなかった。以上のように、Sn 膜にレーザー処理すると摩擦係数が増加する傾向が確認された。

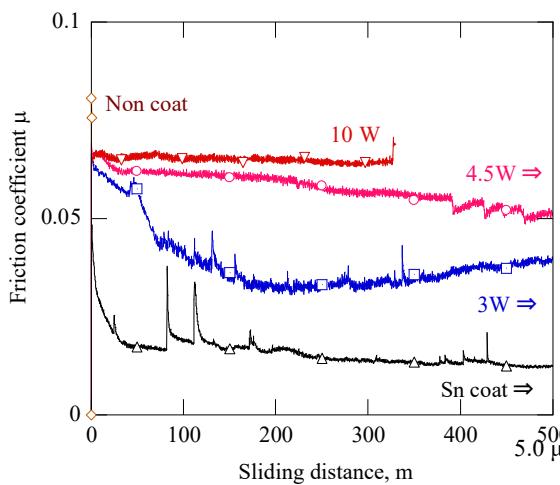


Fig. 2 Friction coefficient of laser coating surface treated with laser radiation

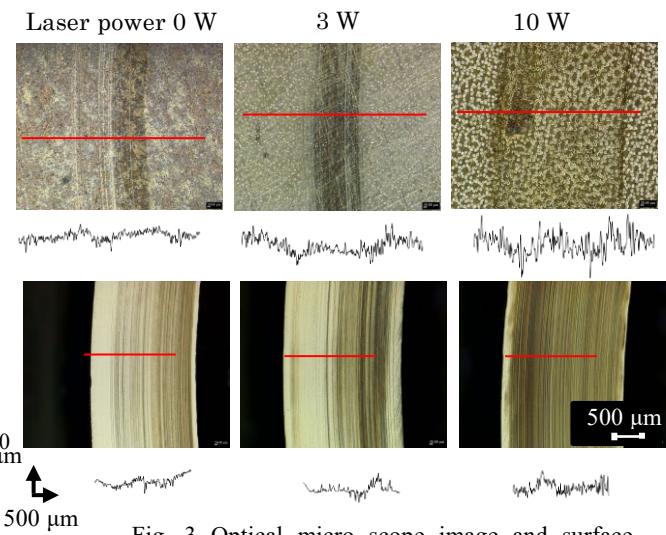


Fig. 3 Optical micro scope image and surface profile after friction experiment

3.2 追加成膜の効果

レーザー処理部を断面観察した結果、照射部の Sn の膜厚が低減し、境界部では増加していることが確認された。照射部を研磨し、凸部を平坦化した後に再度 Sn を成膜した（追加成膜）。この追加成膜によってレーザー照射部の硬さは 220HV 程度と境界部と同等な硬さとなった。追加成膜面の摩擦特性が Fig. 4 である。レーザー出力 4.5 W の摩擦特性は不安定で脈動を伴うが、最終的には 0.025 程度であり、追加成膜によって 1/2 程度に低減している。同 3 W 処理面の摩擦係数は 0.01 以下であり、実験終了直前の値で比較すると 1/4 以下、レーザー処理しない表面よりも低い。出力 3 W の摩擦面の光学顕微鏡像が Fig. 5 である。リング摩擦面に形成される移着層も縮減しており、Sn 膜の損傷も抑制されている。Sn 膜の拡大像では照射痕がみられ、その損傷は非常に小さい。以上から、Sn 膜を適切な条件でレーザー処理することで膜厚変化を抑制し下地を硬質化することで、摩擦係数を低減安定化できることが明らかとなった。

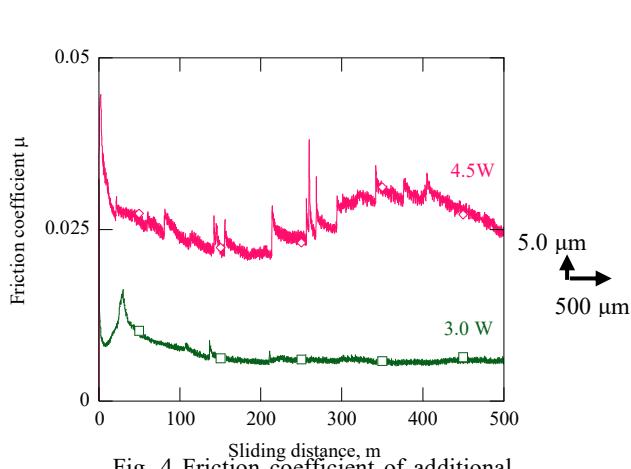


Fig. 4 Friction coefficient of additional coating laser radiated surface

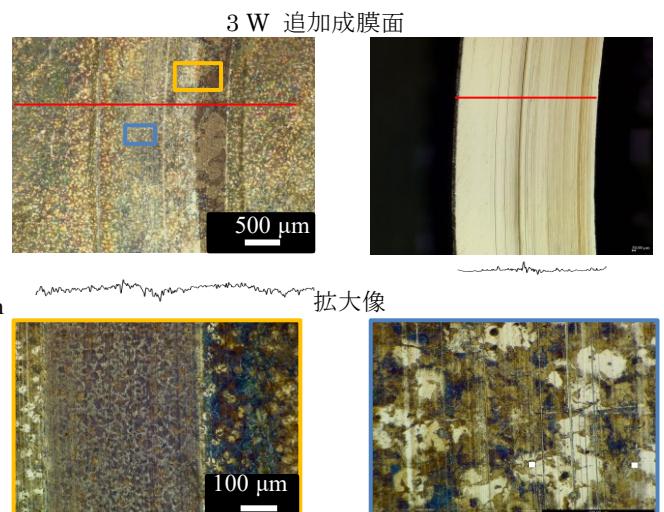


Fig. 5 Optical micro scope image and surface profile of additional coating Sn surface after friction experiment (lower images correspond to expanded image.)

4. まとめ

炭素鋼 S45C 焼鈍材上に電気化学的手法により Sn を成膜しレーザー処理した表面の焼入れ炭素鋼に対する摩擦特性を評価した結果、レーザー処理の適性化と膜厚の均質化により摩擦特性を低減安定化できることがわかった。一方、過剰なレーザー処理は膜厚を不均質化させ、摩擦特性を悪化させることも明らかとなった。

文献

- 1) 神谷・富川・後藤・本多：高周波スパッタリングにより作製した Ag-Sn 合金膜の摩擦特性、トライボロジスト、

- 45, 2, (2000), 162.
- 2) 高温はんだと Cu 板の接合部におけるカーゲンダルボイドの生成, エレクトロニクス実装学会誌, 9, 4, (2006), 272.