

レーザー照射による球状黒鉛鋳鉄の表面改質

Surface modification of ductile cast iron using laser radiation

名城大・理工（学）*松井 大知 名城大・理工（正）宇佐美 初彦

Taichi Matsui*, Hatsuhiro Usami*

*Meijo University

1. はじめに

鋳鉄は振動減衰や摩擦摩耗特性に優れることから、機械構造部品として広範囲に応用される材料の一つである。鋳鉄の低摩擦特性は表面に露出した黒鉛が被膜化し素地の凝着成長を抑制することに由来するが、黒鉛被膜維持のためには素地の摩耗を伴う。一方、耐摩耗性向上のためには、摩耗を抑制しつつ効果的に黒鉛皮膜が維持されるように素地の特性を改質することが有効である。

一般に表面の硬質化は耐摩耗性向上¹⁾に寄与するので、鋳鉄においても熱処理が適用される。鋳鉄は共析点以上の炭素を含有しており、マルテンサイト化に由来する組織変化は容易に発現する反面、偏析する黒鉛層が応力集中源となり、これらの相乗効果により脆化するため、鋼に比して繊細な熱条件の設定が要求とされる。

ところで、レーザー照射は熱処理にも適用されており、連続波照射は焼入²⁾にも適用されている。一方、短パルス照射でも局所的に高温場が形成できるので組織変化が誘発され、誘導加熱や電気炉あるいは火炎といった他の熱源とは加熱時間と冷却速度が大幅に異なる。特に鋳鉄への熱処理では、パルスレーザー照射により素地への炭素の不要な拡散を抑制しつつ硬質化できる可能性は高い。

本報告では、単パルスレーザー照射を球状黒鉛鋳鉄に適用し、硬質化させた改質面の表面特性を検討した。摩擦試験は焼入鋼を相手材とした面接触試験で実施し、照射面硬さと摩擦特性の関係を評価した。さらに、ローラーバニシング加工により黒鉛を突出させた表面³⁾にも同様な手法を適用し、被膜の形成挙動と下地硬さとの関係も考察した。

2. 試験方法

2.1 レーザー熱処理方法

供試材は球状黒鉛鋳鉄 FCD450 である。光学顕微鏡像は Figure 1(a)のとおりであり、炭素含有量は 2.8%、接種材（球状化促進剤）としてマグネシウム Mg が添加されている。黒鉛の大きさは 15~20 μm である。供試材は旋削により $\phi 44/20, \text{t}8$ mm のディスク形状に加工し、その一端面を研磨仕上げし (0.1 μmRa)、表面改質処理を適用した。

熱処理には YAG レーザー（波長 1064nm）を照射した。照射条件は、レーザー出力 1.0 kW、スポット径 2.0 mm とした。投射部境界は 5 μm ほど隆起するが、黒鉛層の大きさに変化はない。Fig.1(b)はレーザーを照射した面であり、同図(b)のように白色部が最も硬く 815 DHT、周囲の隆起部付近は 230 DHT（投射部内側／外側）、程度である。また、投射部にはデンドライドが形成されており、照射により表面が局所的に溶融し急冷した痕跡を示す。Figure 2 は照射時間と硬さとの関係と、照射面の光学顕微鏡画像である。硬さは照射中央部および内側境界部では照射時間の増加に伴い増加するが、境界部外側ではほとんど変化はない。また、照射時間の増加と共に表面の黒色変化部は増大しており、表面が硬質化する。投射部周囲の凸部除去のために研磨仕上げ (0.1 μmRa) を施した。

2.2 レーザーとローラーバニシングの複合処理

黒鉛被膜形成促進を目的として、試験表面に予め SKD11（硬さ 850HV、直径 37mm 先端曲率 4mm）のローラでローラーバニシング処理し、黒鉛を突出させた後にレーザー処理を施した。Figure 3 はレーザー処理前後の試験片表面の

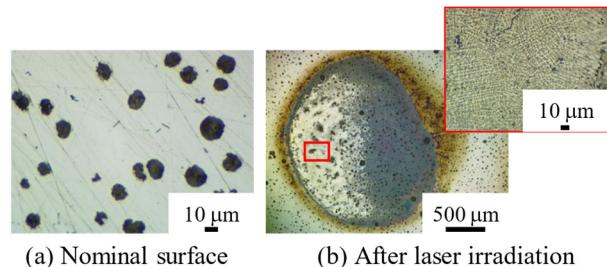


Fig. 1 Optical microscope image of polished FCD450 surface (left) and laser irradiated area (Expanded image corresponds to the white area.)

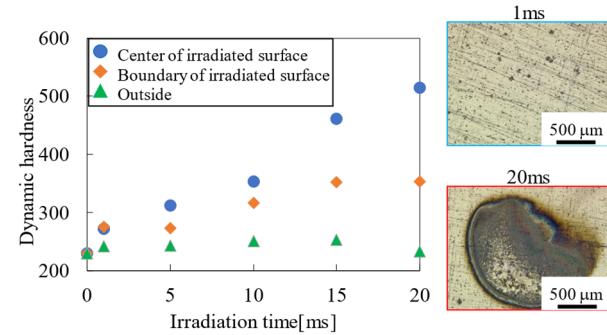


Fig. 2 Surface hardness (left) and microscope image of irradiated area (right)

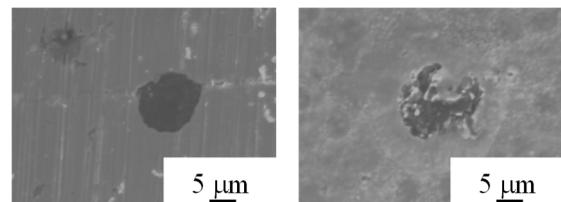


Fig. 3 SEM image of extruded graphite nodule (left) and after laser radiated (right)

SEM像である。大気中で処理したが、突出した黒鉛はレーザー処理により部分的に消失した。また、黒鉛周囲の下地硬さは熱処理によって増加しているが、マルテンサイト変態に伴う体積膨張に由来する黒鉛突出量の増加は確認できなかった。

3. 摩擦摩耗特性

3.1 レーザー熱処理による摩擦摩耗特性

摩擦摩耗特性は SUJ2 リング（硬さ 800HV）を相手材として乾燥条件で評価した。実験条件は Table 1 のとおりである。摩擦係数の経時変化及び試験後の摩耗面画像が Figure 4(a)であるが、未処理面（レーザー処理無）の摩擦係数は実験開始直後から変動を伴いながら上昇し、摩擦距離 120 m で急増した。摩擦係数急増までの摩擦距離は増加する傾向を得た。摩耗面画像から、いずれの条件でも黒鉛被膜の形成はほとんどない。表面形状変化から算出した比摩耗量は $2.5 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ （未処理面） $3.5 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ （20 msec 処理面）であり、硬さと耐摩耗性の相関が確認された。

3.2 複合処理による摩擦摩耗特性

Figure 5 は摩擦係数の経時変化及び摩耗面の画像である。未処理面の摩擦係数は実験初期から 0.03 程度と非常に低く安定しているが、摩擦距離 350 m 付近で急増した。10 msec 照射面の摩擦係数は 0.03 程度であった。比摩耗量も $6.8 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ と低い。0 msec, 10 msec 照射面では黒鉛被膜の形成が確認できるが、20 msec 照射面では局所的に形成され、相手面は赤褐色に変色している。比摩耗量も $6.3 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ であった。黒鉛突出の効果は小さい。これは照射により黒鉛が損傷したことによる被膜形成阻害の可能性が示唆される。

したがって、予め黒鉛を突出させた後に黒鉛層が損傷しない条件でレーザー処理を適用することで、被膜形成を促進され下地と相手材間の固体接触を回避でき、球状黒鉛鉄の摩擦摩耗特性を低減安定化できることを確認した。

4. まとめ

球状黒鉛鉄 FCD450 への単パルスレーザー加熱処理による表面改質を検討した結果、照射時間の増加に伴い素地の硬さは増加し、相手材を SUJ2 リングとした乾燥摩擦試験で耐摩耗性の向上を確認した。さらに、ローラーバニシング処理により黒鉛を突出させた表面に同様な処理を適用した結果、処理条件を適正化することで、相手材との凝着成長を抑制できる黒鉛被膜が保持されることもわかった。

文献

- 1) 山田俊宏：球状黒鉛鉄の摩耗特性に及ぼす硬さの影響、*鑄物*、48,7(1976)429-434.
- 2) 久田秀夫：レーザー焼入れ技術、*実務表面技術*、29,4(1982)170-176.
- 3) 新美・宇佐美：ローラーバニシングにおける残留応力付与機構、日本機械学会 2016 年年次大会予稿集、S1150203

Table 1 Test conditions

Load, N	50
Sliding speed, m/s	0.5
Testing environment	Lab air (20.3 °C/29 %)

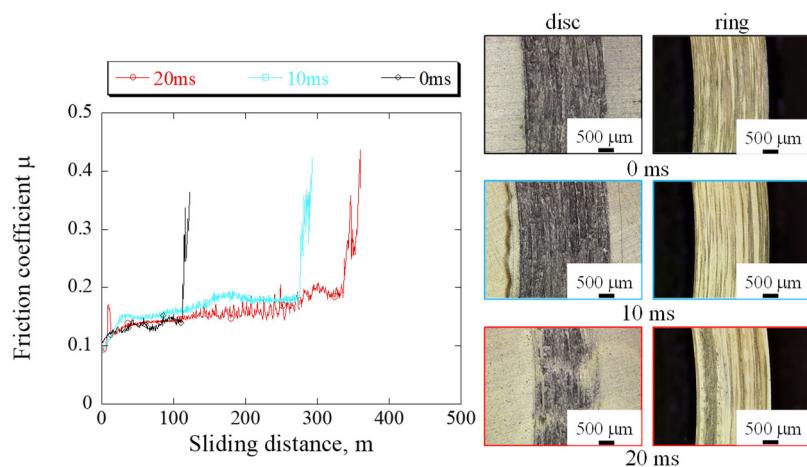


Fig. 4 Friction coefficient(left) and worn surface microscope image (right)

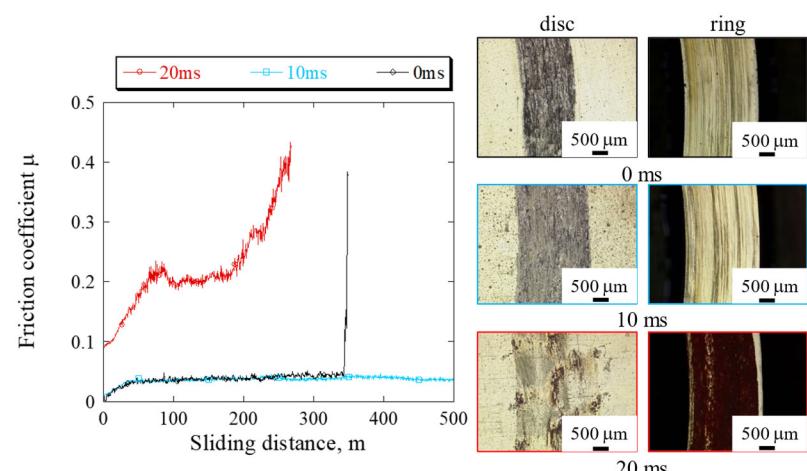


Fig. 5 Friction coefficient(left) and worn surface microscope image(right) of roller burnished specimen