

レーザー照射と転造加工による鋳鉄の黒鉛被膜形成促進

Enhancement of graphite film formation of cast iron using laser irradiation and deep rolling

名城大・理工（学）*松井 大知 名城大・理工（正）宇佐美 初彦

Taichi Matsui*, Hatsuhiko 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、摺動部材として広く実用化されている材料である。その低摩擦な特性は黒鉛の被膜が摺動面に形成されることで、相手面との凝着を抑制することに由来する。このため、摩擦によって形成された黒鉛被膜を維持することで、摩擦特性が安定化する。

鋳鉄における黒鉛被膜の維持には素地の摩耗による黒鉛の供給が必要である。換言すれば鋳鉄の低摩擦は摩耗によるものであり、摺動面の長寿命化の観点では摩耗を抑制しつつ黒鉛被膜を維持する表面改質技術の適用²⁾が望まれる。

摩耗を抑制する手法の1つとして表面の硬質化が挙げられ、特に鋳鉄には熱処理³⁾が適用可能である。しかし、レーザー照射は熱の供給による偏析黒鉛の消失を引き起こす⁴⁾ことから摩擦低減効果が得られない可能性が高い。また、効率よく黒鉛被膜を形成する手法として、表層の黒鉛をエッチングにより露出させることで研削面に比して摩擦特性が改善される⁵⁾、表層の腐食層の残存による摩擦摩耗への影響が懸念される。

そこで、本報告ではフェライト素地の球状黒鉛鋳鉄（FCD450）において高い摩擦摩耗特性を付与することを目的とし、デフォーカス処理を行った状態でのレーザー照射による改質面の表面特性を検討した。摩擦試験は高炭素クロム軸受鋼（SUJ2）を相手材とした面接触試験で実施し、照射面の状態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に同様の手法を適用し、被膜の形成挙動との関係について考察した。

2. 試験方法

2.1 レーザー照射

供試材は球状黒鉛鋳鉄（FCD450）である。光学顕微鏡像は Fig.1(a)のとおりであり、炭素含有量は2.8%、球状化促進剤として Mg や Si が添加されている。黒鉛の大きさは10 μm 程度であり、供試材を旋削により $\phi 44/20, t7 \text{ mm}$ のディスク形状に加工し、その一端面を研磨仕上げ（0.1 μmRa ）し、表面改質処理を適用した。

レーザー照射はファイバーレーザー加工機を使用し、照射条件は出力15 W、スピード500 mm/s、周波数30 kHzとした。Figure 1(b)はレーザーを照射した面であり、表面の硬質化が確認された一方で引張残留応力や表層の黒鉛の消失が確認された。Figure 2(a)はレーザーの焦点をずらして（デフォーカス）照射した場合の照射面の光学顕微鏡像であるが、偏析黒鉛の露出割合が照射前に比して増加しており、き裂や偏析黒鉛の消失も確認されなかった。また、デフォーカス距離を変化させた照射表面の残留応力及び硬さが Fig.2(b)であり、焦点を合わせた場合に比して焦点距離の増加・減少に伴う引張残留応力と硬さは低減したが、未処理の表面よりは硬質化した。

2.2 ローラーバニシング加工

黒鉛被膜形成促進を目的として、SKD11（硬さ850 HV、直径37 mm、先端曲率4 mm）のローラーでローラーバニシング処理を行い、黒鉛を突出させた。Figure 3はローラーバニシング処理後の表面の光学顕微鏡像と黒鉛の突出高さの3D画像であり、接触面圧の増加に伴い試料表面にき裂が確認されつつ黒鉛の突出量は増加した。

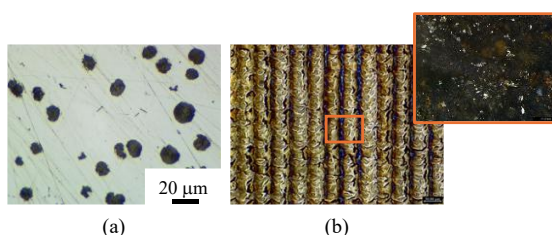


Fig. 1 Optical microscope image of polished FCD450 surface (left) and laser irradiated area (right)

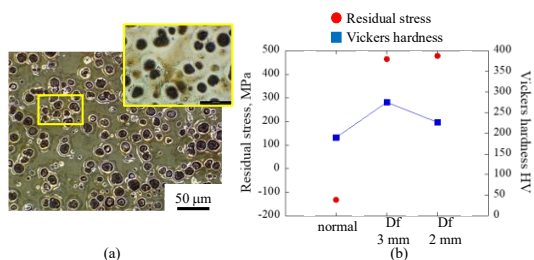


Fig. 2 Optical microscope image of the defocused laser-irradiated surface and residual stress and hardness of the surface

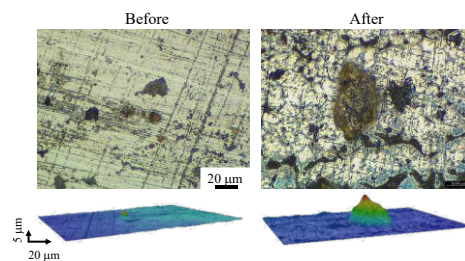


Fig. 3 Graphite protrusion before and after roller burnishing

3. 摩擦試験結果

3.1 レーザー照射（デフォーカス）による摩擦特性

摩擦特性は SUJ2 リング（硬さ 800 HV）を相手材として乾燥条件下で評価を行った。試験条件は 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の光学顕微鏡像が Fig.4 であるが、未処理面の場合では試験開始初期から摩擦係数が変動しながらも 0.15~0.20 程度の値をとりながら摺動し、300 m 程度で摩擦係数が急増した。一方で、レーザー照射を行った場合ではデフォーカス距離が 2 mm と 3 mm の試験にて摩擦係数が 0.1 を下回り安定した値をとったが、摺動距離 400 m 程度で急増した。また、摺動面にはどの条件においても黒鉛被膜の形成と金属光沢部が確認された。このことから、表面の黒鉛の露出の増加によって素地の摩耗による被膜の維持が可能になり、摩擦係数低減効果が得られることが示唆された。

3.2 黒鉛の突出による摩擦特性

Figure 5 はローラーバニシング加工による黒鉛突出を行った場合での摩擦試験結果と摺動面の光学顕微鏡像である。試験開始初期の摩擦係数は、接触面圧の増加に伴って減少する傾向が確認された。摺動面の光学顕微鏡像を見ると、低面圧の場合は摩耗面に金属光沢が多く確認されたのに対し、高面圧の場合は黒鉛が多く見られた。これにより、表層の黒鉛を突出させることで摺動面全体に被膜を形成するのに十分な量の黒鉛を供給し、更なる摩擦低減効果が確認された。また、レーザーとの複合処理をすることで 0.1 程度の摩擦係数で摩耗が発生することなく摺動距離が 1000 m まで到達した。

Figure 6 はそれぞれの加工を行った場合の摺動面の拡大像である。デフォーカス処理をした場合は、摺動距離 100 m で傷が確認されたが、試験終了時には黒鉛被膜を形成していることが確認された。一方で、ローラーバニシングと複合処理をした場合では摺動距離 100 m 時で黒鉛が引き延ばされた様子が確認され、特に複合処理をした場合では試験終了時にも被膜が維持された。ここから、レーザーにより露出させた黒鉛をローラーバニシングでさらに突出させることで黒鉛被膜の維持が実現したと考えられる。

4. まとめ

球状黒鉛铸铁 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及び表層の黒鉛の割合の増加を確認し、相手材を SUJ2 リングとした乾燥摩擦試験で摩擦係数低減効果を得た。さらに、ローラーバニシング加工により黒鉛を突出させることで、被膜形成に十分な黒鉛を接触面に供給することで摩擦係数の低減を確認し、レーザーとの複合処理をすることで、さらなる摩擦低減効果が示唆された。

文献

- 1) 杉下・藤吉・和出：摩擦摩耗特性におよぼす铸铁黒鉛の影響，トライボロジスト，24，1(1979)47-53.
- 2) Lorella Ceschini, Giampaolo Campana & Nunziante Pagano & Valerio Angelini：Effect of laser surface treatment on the dry sliding behaviour of the ENGJS400-12 ductile cast iron，Tribology International，104，(2016)342-351.
- 3) 久田秀夫：レーザー焼入れ技術，実務表面技術，29，4(1982)170-176.
- 4) A.R.Riahi and A.T.Alpas：Wear map for grey cast iron, Wear, 255,1-6(2003), 401-409.
- 5) 杉下・藤吉：摩擦摩耗特性に及ぼす铸铁黒鉛への影響-潤滑油材供給の効果-，トライボロジスト，12，24(1979)814.

Table 1 Test conditions

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

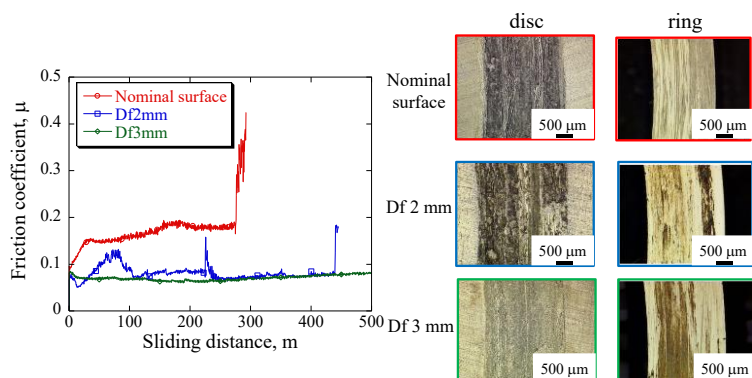


Fig. 4 Friction coefficient(left) and worn surface microscope image (right)

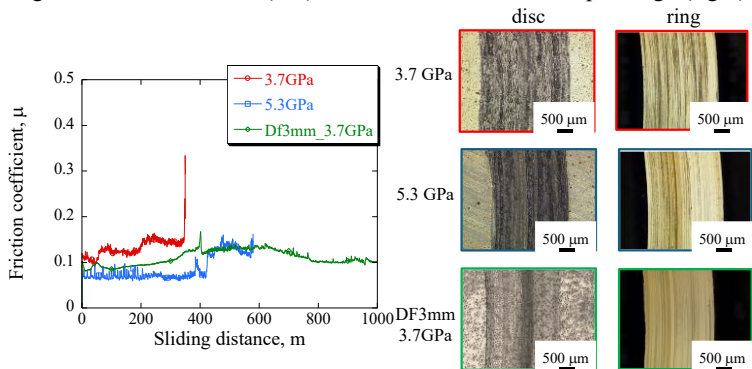


Fig. 5 Friction coefficient(left) and worn surface microscope image(right) of roller burnished specimen

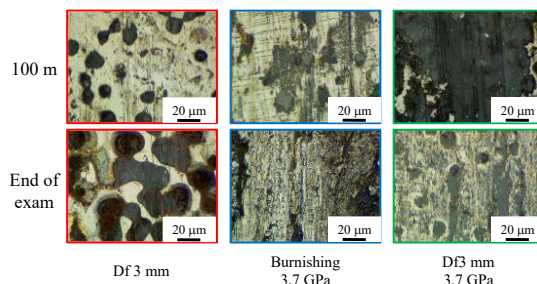


Fig. 6 Enlarged microscope image of sliding surface