

貧潤滑下における FCD 鋳鉄と銅合金との摩擦過程の可視化による 窒化処理の有無の影響評価

Evaluate the Effect of Nitriding Treatment by Visualization of the Wear Process
Between FCD Cast Iron and Copper Alloy Under Poor Lubrication

富山県立大・工（学）*山本 美空 富山県立大・工（正）宮島 敏郎

コマツ（正）大滝 悟嗣 コマツ（非）佐藤 正彦 コマツ（非）井関 利幸

Miku Yamamoto*, Toshiro Miyajima*, Satoshi Otaki**, Masahiko Satou**, Toshiyuki Iseki**

*Toyama Prefectural University, **Komatsu Ltd.

1. 緒言

近年，建設機械の油圧モータの高効率化およびダウンサイジング化に伴い，しゅう動部にかかる負荷が大きくなっており¹⁾，しゅう動部での焼付きの発生が問題となっている．様々な研究者により，焼付き過程を観察する研究²⁾や，しゅう動条件や鋳鉄表面の組織の影響を調査する研究が進められている．著者らも，FCD 鋳鉄（以下，鋳鉄）と銅合金の摩擦・摩耗試験や in-situ 観察³⁾，油流れと摩耗粉の挙動を観察する研究⁴⁾を進めている．

本研究では，窒化処理を施していない鋳鉄試験片と，窒化処理を施した鋳鉄試験片（以下，未窒化試験片と，窒化試験片）に対して，銅合金を相手材とする摩擦・摩耗試験を行った．摩擦表面の in-situ 観察，試験後の鋳鉄のレーザー顕微鏡と，走査型電子顕微鏡（SEM）観察およびエネルギー分散型 X 線分析（EDS），試験前後の銅合金表面の触針式粗さ測定器での断面形状測定の結果を総合し，貧潤滑下における鋳鉄と銅合金との摩擦・摩耗挙動に及ぼす鋳鉄表面の窒化処理の影響を明らかにする．

2. 供試材料

試験片には，大きさ 15 mm×5 mm，厚さ 7 mm の鋳鉄^{3,4)}を用いた．相手材には，直径 134 mm，厚さ 6 mm の銅合金円板³⁾を用いた．銅合金円板には，直径 10 mm の観察穴を設け，その観察穴にガラス円板を挿入して接着することで鋳鉄表面の in-situ 観察窓とした．ガラス円板の厚さは，銅合金の摩耗を考慮して，穴の深さよりも薄くした．

3. 試験装置および試験方法

試験機には，本研究室で構築した一方向回転型摩擦状態可視化装置³⁾を使用した．本試験機では，鋳鉄試験片と銅合金円板を接触させてステージを回転させることにより，鋳鉄と銅合金との間で摩擦を発生させる．本試験では，ステージの回転速度を 120 min⁻¹，しゅう動痕中心直径を 80 mm，鋳鉄支持部とおもりを合わせた垂直荷重を約 203 N とし，250 回転プログラムを繰り返す試験を行った．摩擦面温度を実機に近づけるため，鋳鉄支持部のシーブヒーターは 110 °C に加熱した．潤滑状態は，銅合金円板鋳鉄軌道上に 2 μL の油圧モータ作動油を滴下し，鋳鉄支持部自重のみで 1 回転させて伸ばした状態とした．また，焼付きやすくするために，試験開始前と 2000 回転後，および 10000 回転後に，摩耗粉を模擬した銅合金粉を銅合金の円板上に散布した．

試験中は，6 軸力覚センサを用いて鋳鉄支持部にかかる垂直荷重と摩擦力を計測した．また，決まった回転位置でのトリガー信号により静止画を取り込み，in-situ 観察した．その際，鋳鉄表面を 150 倍，銅合金表面を 60 倍で撮影した．

4. 試験結果および考察

4.1 摩擦係数の推移

摩擦係数の推移を Fig. 1 に示す．未窒化試験片の摩擦係数（黒線）は，試験開始から約 0.15 となり，20000 回転の試験終了時まで安定した推移となった．一方，窒化試験片の摩擦係数（赤線）は，試験開始から 12500 回転までは，約 0.17 となり，未窒化試験片同様に安定した推移がみられた．しかし，その後，摩擦係数が急激に上昇し，0.2 から 0.6 で大きく変動しながら推移した．このような摩擦係数の大きな変動箇所では，焼付きが生じたと考えられる．

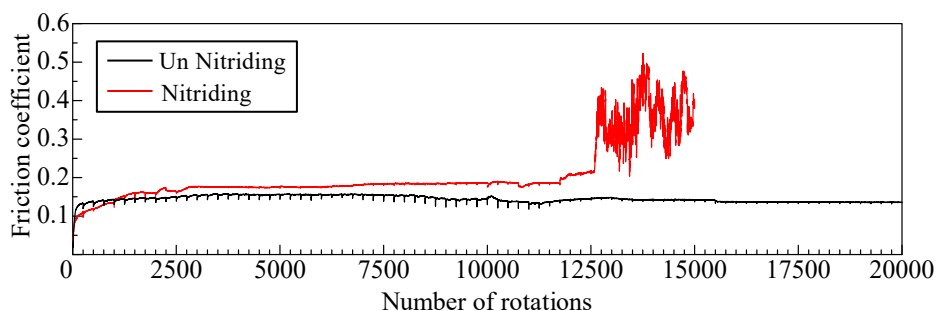


Fig. 1 Variation of the friction coefficient as a function of number of rotations

4.2 鋳鉄表面の in-situ 観察結果

鋳鉄試験片の in-situ 観察結果を Fig. 2 に示す。未窒化試験片と窒化試験片ともに徐々に黒色化することがわかった。窒化試験片では摩耗粉の増加や銅合金の移着がみられ、4.1 節で示した摩擦係数の急激な上昇と相関がみられた。窒化試験片の 13635 回転から 13636 回転では黒鉛周りに破碎がみられ、破碎により露出した新生面に銅合金が移着した。

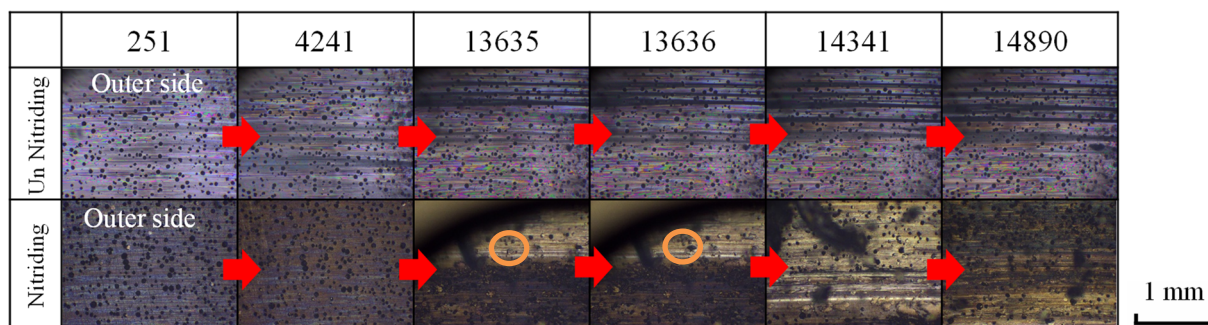


Fig. 2 In-situ images of the worn surface of cast iron

4.3 鋳鉄表面の SEM 観察・EDS 分析結果

焼付き形態を明らかにするため、試験終了後の鋳鉄表面状態をより詳細に SEM 観察と EDS 分析を行った。Figure 3 に、各試験片の銅合金の埋没箇所における、2 次電子像と反射電子像の合成 SEM 画像および EDS マッピング画像を示す。未窒化試験片では、黒色部において銅合金の埋没がみられたが、鉄部の破碎はみられなかった。一方、窒化試験片では、黒鉛周りのフェライト組織に破碎がみられ、浅い窪みを形成していた。

以上の結果から、窒化試験片では、黒鉛周りで鉄由来の破砕片による摩耗が生じ、焼付きが促進したと考えられる。

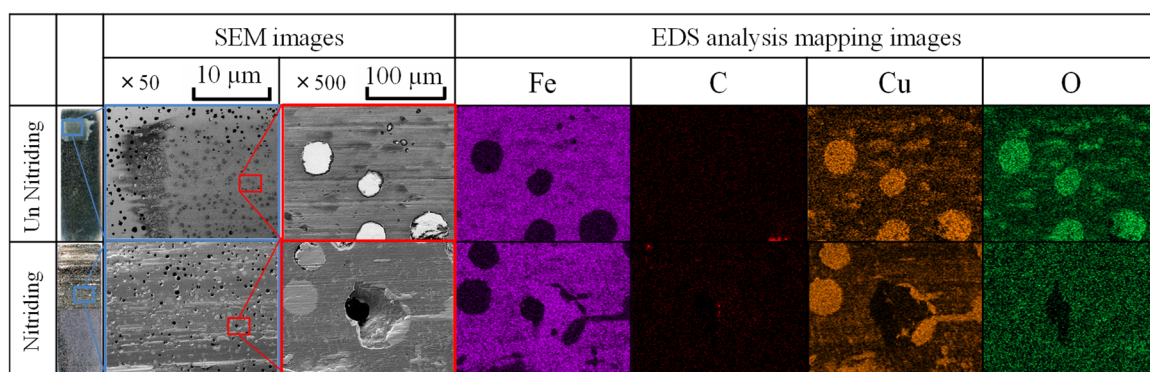


Fig. 3 SEM images and EDS analysis mapping images of the worn surface of cast iron

5. まとめ

本試験では、未窒化試験片と窒化試験片を用い、貧潤滑下において摩耗粉に見立てた銅合金粉を摩擦軌道上に混入させることで、実機に近い過酷なしゅう動環境を模擬した実験を行った。その結果、焼付きが生じると、摩擦係数が増加し、鋳鉄表面への銅合金の移着と黒鉛部への銅合金の埋没や脱離が繰り返し生じることを明らかにした。また、窒化試験片では、窒化処理によって黒鉛周りに分布するフェライト組織が脆化して破碎することで、摩耗粉の増加や新生面への凝着により焼付きの促進につながることがわかった。さらに、フェライト組織の破碎により形成された新生面の窪み部に銅合金が凝着していることを明らかにした。

6. 結言

- (1) 焼付きが生じると摩擦係数が増加し、鋳鉄表面において、銅合金の移着と黒鉛部への銅合金の埋没や脱離が繰り返し発生することを明らかにした。
- (2) 鋳鉄に窒化処理を施すことにより、黒鉛周りに分布するフェライト組織が脆化し、破碎が生じることがわかった。
- (3) フェライト組織が破碎することで、局所摩耗による摩耗粉の増加や新生面への銅合金の凝着が生じることを明らかにした。

文献

- 1) 坂間：油圧技術の動向と展望，カヤバ株式会社 論説，KYB 技報，第 56 号，2018-4 (2018) 2-5.
- 2) 八木：各種その場観察方法による焼付き過程の理解，トライボロジスト，vol.64，no.5 (2019) 294-301.
- 3) 山本・宮島・大滝・井関・佐藤：貧潤滑下における FCD 鋳鉄と銅合金との摩擦・挙動観察，日本トライボロジー会議 2024 秋 名護，(2024)，B31.
- 4) 山本・宮島・大滝・井関・佐藤：貧潤滑往復摺動下における FCD 鋳鉄表面の油・空気・銅合金粉の挙動観察，日本トライボロジー会議 2024 秋 名護，(2024)，B32.