

軟窒化，浸硫窒化，酸窒化鋼材の焼付き改善メカニズムの解明
Mechanism clarification of seizure improvement
in nitrocarburizing, sulphonitriding, and oxynitriding materials

名大（正）佐々木 俊輔 名大（正）梅原 徳次 名大（正）野老山 貴行 東京理科大（正）張 鋭璽
大同特殊鋼（非）玉井 智也 大同特殊鋼（非）山崎 歩見
Shunsuke Sasaki*, Noritsugu Umehara*, Takayuki Tokoroyama*, Ruixi Zhang**, Tomoya Tamai***, Ayumi Yamazaki***
*Nagoya University, ** Institute of Science Tokyo, *** Daido Steel Co.,Ltd.

1. 緒言

カーボンニュートラル社会の到来へと向けて，モータを搭載した電気自動車が社会の大勢を占めるものと考えられている．今後の電気自動車は航続距離の向上が求められており，モータと減速機からなる「E-アクスル」の小型・軽量化を行うために，モータの高回転化が必要となっている．しかしながら，モータの高回転化により，減速機歯車では焼付き発生が懸念されており，焼付き回避策が課題となっている．そこで耐焼付き材料を歯車に適応し，表面保護層による金属接触を抑制することで歯車の焼付きを回避することが考えられている．具体的には，鋼の変態点以下で鋼材に炭素と窒素を拡散させ，鋼材表面に鉄窒化物層を形成する軟窒化处理，その軟窒化处理にさらに硫化水素ガスによる硫化を行い，硫化鉄層を形成させる浸硫窒化处理，水蒸気酸化を行い，酸化鉄層を形成させる酸窒化处理の3種類の表面処理が考えられている．岡本らは CrMo 鋼に浸硫窒化处理を施した鋼材に対して摩擦試験を行い，耐焼付き性を評価したところ，浸硫窒化鋼材はタフトライド処理材と比べて耐焼付き性に優れていることが明らかとなった⁽¹⁾．また竹内は酸窒化处理を施した鋼に対して摩擦試験を行い，耐焼付き性を評価したところ，化合物層が相手材料との間に凝着や焼付きに起因して生ずる金属移着現象を抑制し，耐焼付き性を向上させていると示唆している⁽²⁾．

従来研究より，浸硫窒化及び酸窒化鋼材は耐焼付き性に優れていることが報告されているが，軟窒化，浸硫窒化及び酸窒化鋼材における耐焼付き性の優劣，それら表面処理鋼材において耐焼付き性に違いが表れる原因は未だ解明されていない．そこで本研究では耐焼付き性に富む表面処理材料の焼付き改善メカニズムを明らかにし，更なる耐焼付き表面処理材料の設計指針を得ることを目的とする．電気自動車における高温高面圧の摩擦環境を模擬した摩擦試験を行い，摩擦による発生熱量の算出及びナノインデンタを用いた材料表面から深さ方向への硬さ測定から各窒化处理の耐焼付き性の評価を行った．

2. 実験方法

2.1 試験片及び試験装置

本研究では 母材 CrMo 鋼に軟窒化，浸硫窒化，酸窒化处理を施したローラ，比較材として現在の減速機歯車に用いられている浸炭鋼材 (JIS SCr420H) のローラを試験片として使用した．相手材としては SUJ2 ディスクを使用した．各試験片の諸特性を Table. 1 に示す．潤滑油は Automatic Transmission Fluid (以下 ATF と表記)を用いた．

摩擦特性の評価を行うため Fig. 1 に示す赤外線加熱型ローラオンディスク摩擦試験機を用いた．ローラホルダーはスイングアーム先端に固定されており，摩擦ステージが回転することによりローラとディスクの間に摩擦力が生じる．この摩擦力はスイングアームを介してひずみゲージ式ロードセルにより測定される．また，赤外線ランプを用いて温度上昇を行っており，熱電対がディスクの中央に接触する形で位置しているため，しゅう動中における摩擦係数とディスク中央の表面温度を測定することが可能である

Table 1 Specimen Properties

	Specimen roller			Comparison material	Mating material
	Nitrocarburizing roller	Sulphonitriding roller	Oxynitriding roller	Carburizing steel roller	SUJ2 disk
Base	CrMo steel				
Vickers hardness HV	877	668	584	821	819
Surface roughness R_a , nm	234	168	193	125	4
Layer Thickness, mm	15	10	18		

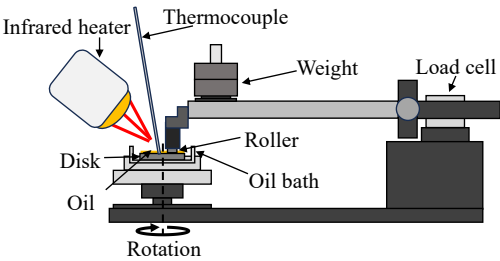


Fig. 1 The schematic of Friction test equipment

2.2 耐焼付き性の評価手法

本研究では式(1)から算出される単位時間単位面積当たりの摩擦による発生熱量を用いて，耐焼付き性を評価した．

$$Q = \mu PV \tag{1}$$

Q: 単位時間単位面積当たりの摩擦による発生熱量

μ : 摩擦係数

P: 見かけの接触面圧

V: すべり速度

試験時間 1,2,4,8,16,32,60 分の計 7 点において、レーザ顕微鏡を用いた摩耗痕の観察を行った。レーザ顕微鏡で測定した摩耗痕幅から摩耗量及び接触面圧を算出した。

3. 実験結果及び考察

しゅう動距離に対する摩擦係数を Fig. 2 に示す。各試験片における摩擦係数の平均は、軟窒化鋼材:0.11, 浸硫窒化鋼材:0.10, 酸窒化鋼材:0.12, 浸炭鋼材:0.11 となり浸硫窒化鋼材が最も摩擦係数が小さいことが明らかになった。しゅう動距離に対する摩耗進行曲線を Fig. 3 に示す。浸硫窒化鋼材が他試験片鋼材と比較して 2 倍程度の摩耗量であることが明らかになった。また、ナノインデンタを用いて、材料表面からの深さ方向に及ぼす硬さ分布を計測した結果を Fig. 4 に示す。摩擦試験における摩耗深さはいずれも $1\mu\text{m}$ 未満であることから、主に最表面の硬さが摩耗量に影響していると考えられる。Fig. 4 より、浸硫窒化鋼材は他試験片と比較して、最表面の硬さが小さいことから、初期摩耗しやすく、接触面圧が低下しやすくなることが考えられる。しゅう動距離に対する摩擦による発生熱量変化を Fig. 5 に示す。結果として、浸硫窒化鋼材の摩擦による発生熱量が比較材である浸炭鋼材の 0.73 倍と最も小さいことが明らかとなった。浸硫窒化鋼材は他試験片鋼材と比較して、摩擦係数及び接触面圧が最も小さいため、摩擦による発生熱量が最も小さくなったと考える。特に摩擦係数に対して接触面圧における違いの方が大きいので、摩擦による発生熱量は接触面圧が支配的であると考えられる。以上の結果より、浸硫窒化鋼材が最も耐焼付き性に優れることが示唆された。

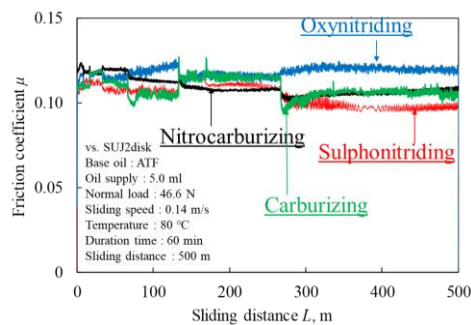


Fig. 2 Friction coefficient for each specimen

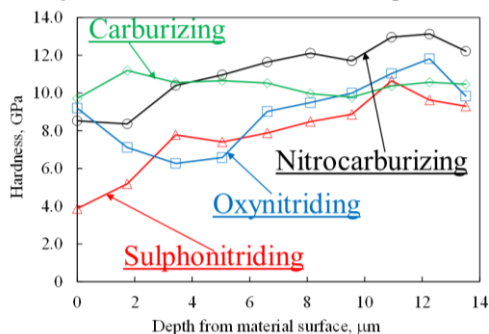


Fig. 4 Hardness distribution along the depth direction from the material surface

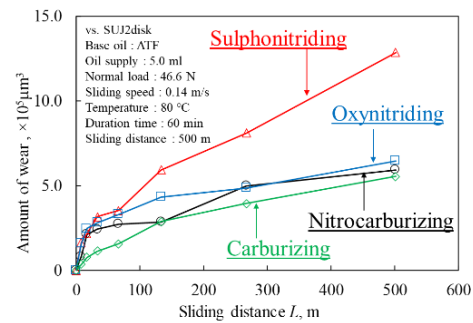


Fig. 3 Amount of wear for each specimen

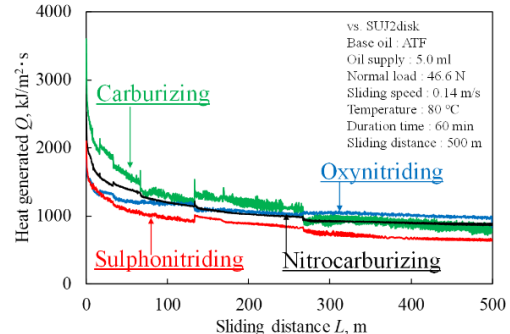


Fig. 5 Heat generated by friction for each specimen

4. 結言

本研究では、耐焼付き性に富む表面処理鋼材料の焼付き改善メカニズムを明らかにし、更なる耐焼付き表面処理鋼材料の設計指針を得ることを目的として、軟窒化、浸硫窒化、酸窒化鋼材及び浸炭鋼材ローラと SUJ2 ディスクを用いてローラオンディスク摩擦試験を行い、摩擦による発生熱量の視点から各表面処理鋼材の耐焼付き性の評価を行った。以下に得られた主な結果を示す。

- 1) ATF 潤滑下において、浸硫窒化鋼材の摩擦による発生熱量が比較材である浸炭鋼材の 0.73 倍と最も小さいことが明らかとなり、浸硫窒化鋼材が最も耐焼付き性に優れていることが示唆された。
- 2) 浸硫窒化鋼材において、摩擦による発生熱量が最も小さくなった主な理由として、浸硫窒化鋼材は他の表面処理鋼材と比べて最表面硬さが小さく、その影響で初期摩耗しやすくなり、接触面圧が低下しやすくなったことが明らかとなった。

5. 参考文献

- 1) 岡本康治, 荳野兵衛, 松田昭三, 喜多清, 「浸硫窒化処理した Cr-Mo 鋼の摩耗・焼付き特性について」, 技術論文 1, 7.3 機械的性質, 熱処理 20 巻 3 号, 昭和 55 年 4 月, pp.706-712.
- 2) 竹内栄一, 「酸窒化処理を施した鋼の耐焼付き性」, 技術解説 5, 6.3 機械的性質, 熱処理 22 巻 3 号, 昭和 57 年 6 月, pp.675-676
- 3) 木村他「トライボロジー概論」1982 年, 養賢堂, pp.227-228.