

18-8 ステンレス鋼を用いたボールガイドの耐久特性について

石井友之¹ 江川庸夫²

Endurance Property of Ball Guide System made from 18-8 stainless steel

Tomoyuki ISHII¹, Tsuneo EGAWA²

LM guide system is widely used in numerical control device. The application of this device will be expanded to the severe environment. That means, anti-corrosive type guide is expected. 18-8 stainless steel as a rail material is examined and the possibility of improvement for endurance property is confirmed. For the comparison SCM415 with case hardening and SKS3 steels are endurance tested. The roller burnishing treatment is applied for hardening of groove surface. The defects on the groove surface are observed by SEM and the theory by Hertz is discussed.

キーワード：LMガイド、ローラー・バニッシング、トライボロジー、表面硬化、転がり疲れ

Keywords : LM guide, roller burnishing, tribology, surface treatment, rolling fatigue

1. はじめに

ボールベアリングはボールの回転によって、軸受けの摩擦抵抗を軽減しようとするものである。直動システムはこの原理を、レール上を走るガイドブロックへと応用発展させたものであり⁽¹⁾、多くの産業分野で実用化されているが、その耐久性に関する挙動は不明な点があり、多くの研究がなされている^{(2)~(9)}。また、このシステムは今後多方面への応用が考えられる。例えば、チタンを使った軽量化への取り組みや18-8ステンレス鋼を使ったより過酷な腐食環境下への対応も考えられている⁽¹⁰⁾。これらの新しい応用に対応する材料は、焼き入れ硬化層が期待できない材料であり、そこでは加工硬化が基本的な強化因子として重要になると考えられる。そこで、本報告では、一般的に使用されている、浸炭焼き入れされた SCM415 に加えて、焼き入れ硬化された SKS3 材および18-8ステンレス鋼 (SUS304) の通常の冷間圧延材がどのような挙動を示すかも検討してみた。同時に18-8ステンレス鋼は加工処理により硬化することが知られているため、ローラー・バニッシング法を用いた加工硬化処理が耐久特性にどのような効果を持つかについても検討を加えた。

2. 実験装置および試験材加工方法

2.1 耐久試験機について

図1に耐久試験機の外観を示す。試験片には上部に設置された締め付け用ボルトにより負荷荷重が掛けられてい

る。この試験機の特徴としては、負荷荷重および試験片駆動力をロードセルにより測定し、常時パソコンに記録していることである。



図1 耐久試験機の外観

試験片はR溝付で、R溝を半径3.09mmで仕上げ、ボールは半径3mmを使用した。SCM415、SKS3、SUS304のいずれの試験片も研削により溝加工した。SCM415は浸炭焼き入れ、SKS3は水焼入れを施し、SUS304は冷間圧延した試験

1 明星大学理工学部総合理工学部機械工学系 教授 機械材料

2 明星大学理工学部総合理工学部機械工学系 教授 機械加工

片を用意した。今回の耐久実験では、上下共に同じ材料の試験片を使用した。試験機は有限ストローク法で、ボールを挟んだ試験片をサーボモーターで駆動制御し1ストロークを80mmと設定した。SUS304材は最初から大きな負荷を掛けると、溝が塑性変形することにより、ボールが回転しなくなるため、負荷を徐々に増加する方式を採用した。

試験片は左右の溝に配置された6個または8個のボールに支えられる。ボールはリテーナーにより保持される事で一定の間隔を保つ事が出来る。その様子を図2に示した。

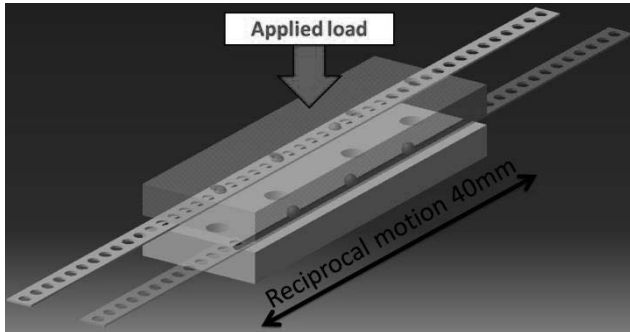


図2 試験片の形状と配置された6個のボール

2.1 ローラー・バニッシング処理について

図3に試験片にバニッシング処理を施すために、バニッシング・ローラーをフライス盤に装着した外観を示す。回転するバニッシング・ローラーは試験片溝に押し当てられ、その結果溝表面が加工硬化することとなる。また、フライス盤の切込み量を調整することにより表面の加工硬化量を変化させることができる。



図3 フライス盤に装着されたバニッシング・ローラー

図4にこのバニッシング・ローラーの拡大図を示す。ローラーの外周は溝の半径と同じ形状に仕上げられており、溝のバニッシング加工後の表面は平滑かつ光沢を有している(図4右上)。一方、図4右下に比較のために示された加工前の溝は研削条痕が観察される。このことにより、バニッシング加工は表面の硬化ばかりでなく、表面の平滑化にも寄与していることが分かる。また、加工処理をした

試験片や試験後の破損した試験片を往復運動方向と垂直に切断し、断面をマイクロ・ビッカース硬さ試験機や光学顕微鏡、SEMなどを用いて観察した。



図4 バニッシング・ローラーの拡大図(左)および加工後の溝形状(右上)および加工前の溝形状(右下)

3. 実験結果および考察

3.1 バニッシング加工による硬さ変化

図5にバニッシング加工した溝の硬さを示す。バニッシング加工した試験片を溝と直角方向にファインカッターで切断し、周囲を樹脂で埋め込んだ後にマイクロ・ビッカース硬さを測定した。

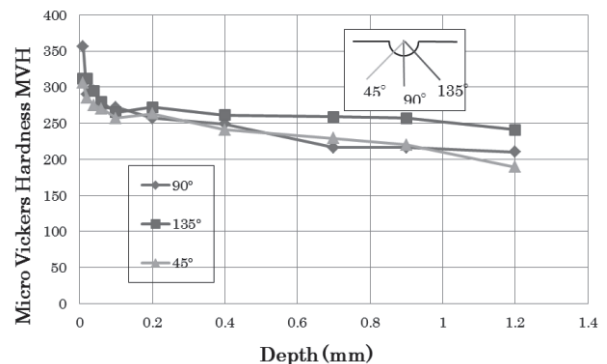


図5 ローラー・バニッシング処理後の溝底部のマイクロ・ビッカース硬さ分布

ここで負荷荷重は5gであり、表面近傍を観察するために低めの値である。溝表面近傍の硬さを、図中に示す45°、90°、135°の方向に測定した結果、方向による差異は比較的少なく、約0.1~0.2mmの範囲で硬化が観察されている。一部硬い所では350の値を越えるものも見られ、母相の冷間加工材の200~250と比較して顕著な硬さの増加が観察される。また、この加工層の厚さはフライス盤の切り込み設定により、調節可能である。

3.1 転がり耐久試験結果

図6に本転がり耐久試験中の試験ブロックの転がり摩擦係数と走行距離の関係を示す。ここでは駆動力が溝の表面

性状によって変化する様子を示している。最大転がり摩擦係数は反転時に計測される大きな係数で、平均転がり摩擦係数は転がり続けている間の平均的な係数である。今回の実験では転がり摩擦係数が試験中に徐々に減少してゆく傾向にあることが観察された。

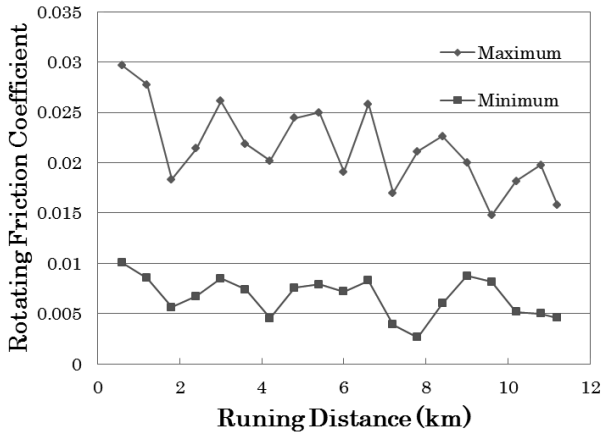


図 6 耐久試験中の転がり摩擦係数と転がり走行距離の関係

図 7 に SUS304 鋼材において観察された溝形状の試験前と試験後の様子を示した。SUS304 材は焼入れ材と異なり、柔らかく塑性変形するため溝が深くなっていることが観察される。

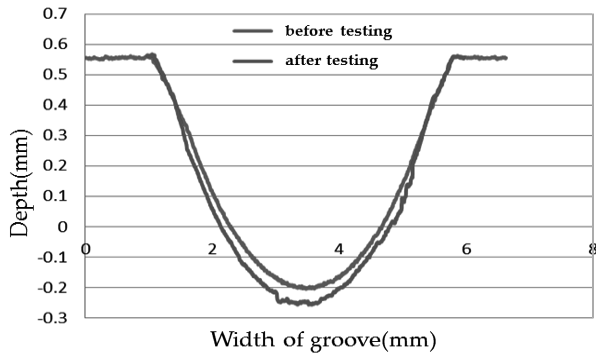


図 7 試験後に測定した溝の断面形状 (SUS304 冷間圧延材)

図 8 に今回行った耐久試験の各材料の結果を示す。縦軸は負荷荷重であり、ボール 1 個に掛かる荷重で表している。横軸は試験片が損傷・破損するまで走行した距離を示している。ここで、SCM415 材は通常のボールベアリングや直動ガイドで使用されている材料であり、浸炭焼き入れにより十分硬化されていることもあり、高い耐久性を示している。一方汎用の工具鋼に属する SKS3 はややそれより低めである。SUS304 は×で示されるように、かなり負荷荷重が低めになっている。しかし、この SUS304 をバニッシング加工すると▲で示されるようになりかなり耐久性が向上している。これは、表面が加工硬化をして、より大きな負荷に耐えられるようになったものと思われる。

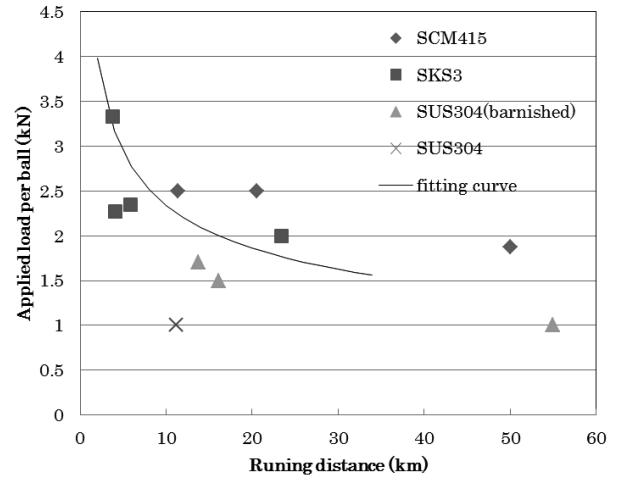
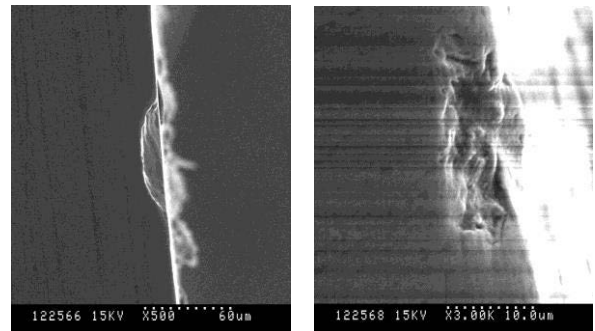


図 8 各種材質の異なるレール材の転がり疲れ寿命

3-1 損傷試験片の顕微鏡観察

従来の研究においては、表層下の剥離前段階の亀裂組織に関するデータは少ないようである。今回、試験片の断面をファインカッターで切断し、表層化の損傷、亀裂の有無等を SEM 等で観察した結果が図 8 である。溝底面に観察された損傷の SEM 像の多くが表面とつながっている。これらの傷が、レール材の破損形態として知られている、フレーキング、ピッチング、スポーリングなどの損傷へと変化してゆくものと思われる。一方内部から発生したと思われる



a) SUS304 ×500 b) SKS3 ×3k
図 9 溝底部に形成したフレーキングの SEM 像

亀裂。すなわち、Hertz の最大応力による亀裂発生⁽¹¹⁾と明確に判断できる亀裂は見つからなかった。ただ、これが手法として妥当と考えられるので今後も検討を続けたいと考えている。

4. まとめ

転動ガイドシステムにおけるレール材として 3 種の鋼材について、転がり耐久試験を行った。18-8 ステンレス鋼は SCM415 や SKS3 より耐久特性は低いが、ローラー・バニッシング処理を施すことにより、顕著に転がり疲れ特性が改善することが示された。このことは、耐食ガイドシステム

への応用が見込まれると考えられる。

4. おわりに

本実験の遂行にあたり、卒業研究として協力してくれた明星大学学生諸君と実験全般に協力いただいた、THK株式会社の方々に感謝いたします。

参考文献

- (1) 寺町彰博：「リニアシステム事始め」，日刊工業新聞社
- (2) 清水、高橋：トライボロジスト、54(3) (2009) pp. 173-179
- (3) 内海、岡本：潤滑、5 (1960) pp. 291
- (4) 石井友之、橋本貴史、森山毅、滝義夫、道岡英一、白井武樹：明星大学理工学部研究紀要、41 (2005) pp. 83
- (5) T. Ishii, D. Tanaka, T. Moriyama, E. Hosaka, Y. Taki, H. Michioka and T. Shirai: Res.Bul.Meisei Univ. Fac.Sci.Eng.38 (2002) pp. 53-56
- (6) 石井友之、森山毅、保坂英二、滝義夫、道岡英一、白井武樹：明星大学理工学部研究紀要、40 (2004) pp. 61
- (7) 石井友之、三浦徹也、新部純三、滝義夫、道岡英一、白井武樹：明星大学理工学部研究紀要、36 (2000) pp. 49
- (8) T. Shirai, H. Michioka, Y. Taki, H. Takamatsu, Y. Hirano: Production machining and machine tool division conference of JSME: (2000) 2000-11-20 pp. 65-66
- (9) H. Suzuki, Y. Shimizu, T. Ishii : Proceedings of 2nd ICDE2010. (2010) pp. 247-252
- (10) THK 総合カタログ(2002)
- (11) H. Hertz : Gesammelte Werke, Bd, 1 (1895), pp. 155.