

浸炭焼入れした SCM420 鋼の転がりすべり接触による表層の組織変化（第 1 報）

Microstructural Changes in Surface Layer of Carburized SCM420 Steel on Rolling-sliding Contact (Part 1)

(株) ジェイテクト (正) *織田 悠暉 (正) 金谷 康平 (正) 佐田 隆

Yuki Oda, Kohei Kanetani, Takashi Sada

JTEKT Corporation

1. はじめに

自動車の燃費向上を目的とした機械部品の小型・高効率化により、転がり接触を伴う部品の使用環境が過酷化（負荷増大、貧潤滑化等）しており、転がり接触部の表面損傷の発生リスクが増加している。これらの部品の信頼性を向上させるためには使用される鉄鋼材料の高強度化が必要である。その方策の一つとして、残留オーステナイト (γ) を調整する組織制御が検討されており、転がり接触下の寿命向上に対して残留 γ が寄与することが報告されている¹⁾。一方、転がりすべり接触下の寿命への影響が調査された研究は少なく、詳細は明らかになっていない。そこで、本研究は、転がりすべり接触下の表面損傷に対する残留 γ の影響を解明することを目的とした。そのためには、まず、転がりすべり接触における接触部の組織変化挙動を詳細に理解する必要がある。本報では、浸炭焼入れ焼戻した SCM420 の二円筒転動疲労試験を実施し、転がりすべり接触に伴う組織変化挙動を明らかにした結果を報告する。

2. 実験方法

2.1 二円筒転動疲労試験

供試材は JIS-SCM420 鋼を用いた。棒鋼から試験片形状に機械加工し、ガス浸炭焼入れ焼戻しを施した後、表面粗さが $Rz1.6\mu m$ となるように仕上げ加工し、試験部外径 26mm の小ローラ試験片とした。熱処理性状は、表面硬さ 724HV、有効硬化層深さ 0.82mm、表面炭素濃度 0.72mass%、表面残留 γ 量 14.7vol.% である。また、小ローラ試験片の接触相手となる大ローラ試験片は、棒鋼から試験片形状に機械加工し、小ローラ試験片と同ロットでガス浸炭焼入れ焼戻しした後、試験部外径 130mm、クラウニング曲率半径 150mm、表面粗さ $Rz1.6\mu m$ で仕上げ加工し作製した。

試験は、(株) ニッコークリエート製の RPT-201 型試験機を用いて実施した。試験条件は、最大ヘルツ面圧 2000～3500MPa、小ローラ回転速度 2000rpm、すべり率 40%、油種 ATF、油温 80℃、給油量 2L/min とした。試験機の負荷アームに取付けた加速度センサによって表面損傷の発生を検出し、そのときの繰り返し数を寿命とした。また、繰り返し数が 1×10^7 回に到達した時点で試験を打ち切った。なお、すべり率 S_r は小ローラの周速 V_s 、大ローラの周速 V_L を用いて、 $S_r = (V_s - V_L)/V_s \times 100$ [%] で定義した。

2.2 組織変化調査

ミクロ組織観察とビッカース硬さ測定によって、転がりすべり接触に伴う組織変化挙動を調査した。転がりすべり接触では、接触面から深さ $10\mu m$ 程度の最表層で顕著な組織変化が発生する。そこで、接触面に垂直な断面（垂直断面）での調査に加えて、治具を用いて接触面を 10° 傾けて研磨することで作製した断面（斜め断面）も調査した。これにより深さ方向の組織を 5.9 倍に拡大でき、表層の調査を容易にした。ミクロ組織は、断面をナイタールで腐食して現出させ、光学顕微鏡を用いて観察した。ビッカース硬さは、垂直断面は荷重 300gf、斜め断面は荷重 50gf で測定し、接触面からの深さ方向の分布を取得した。斜め断面の測定では、同一深さにつき 5 点取得した平均値をその深さのビッカース硬さとした。

3. 実験結果

3.1 二円筒転動疲労試験結果

Figure 1 に二円筒転動疲労試験の結果を示す。面圧が低いほど長寿命となった。Figure 2 に、代表として、2500MPa および 3000MPa の試験で生じた表面損傷の外観を示す。転がり方向は写真の上から下方向である。損傷の外観は面圧によって異なり、3000MPa と 3500MPa では典型的なピッチングが生じた一方、2500MPa では微小なはく離が転動部全周に確認された。

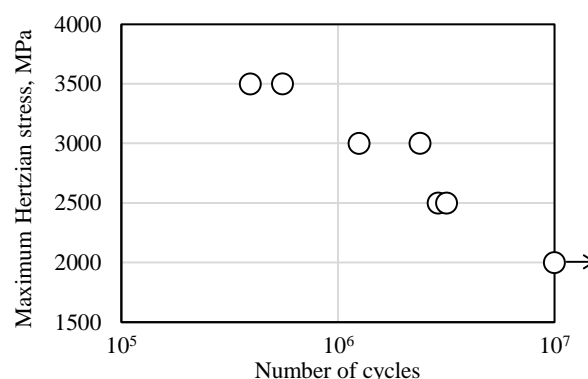


Fig. 1 Result of two roller type rolling contact fatigue test

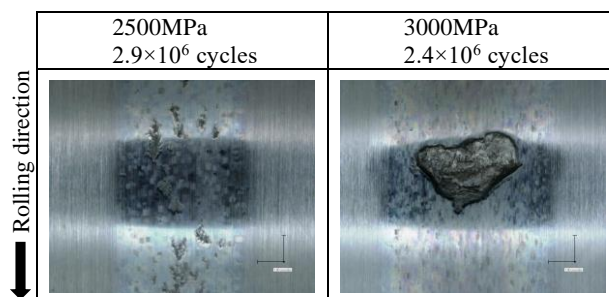


Fig. 2 Typical damages appearing on the small roller

3.2 転がりすべり接触によるマイクロ組織変化

Figure 3 に、試験前と 3500MPa での試験後の垂直断面のマイクロ組織を示す。転がり方向は写真の右から左方向である。試験後は、接触面から深さ 10 μm 程度の表層に白色および黒色組織の生成が確認された。

この領域を詳細に調査するため、組織を拡大することができる斜め断面を観察した。Figure 4 に斜め断面のマイクロ組織を示す。なお、斜め断面は写真の縦方向（深さ方向）のみ組織を拡大しているため、縦方向と横方向ではスケールが異なる。ナイタールで腐食されにくい白色組織が接触面から深さ 5 μm 程度の表層に確認され、その直下にナイタールで腐食されやすい黒色組織が存在していることがわかる。また、試験を実施した 4 水準の面圧（2000MPa、2500MPa、3000MPa、3500MPa、）の中では、3500MPa での試験による組織変化が最も大きく、面圧が低くなるほど組織変化は小さくなる傾向が確認された。ここで、転がりすべり接触により生成される疲労組織を電子線後方散乱回折法（EBSD：Electron Backscatter Diffraction）で解析した研究によって、転がりすべり接触による強加工で最表層に微細結晶粒層、さらにその直下にすべりに伴う発熱で軟化した層が生成されることが明らかにされている²⁾。したがって、Fig. 4 のマイクロ組織で確認された白色組織は微細結晶粒層であり、黒色組織は発熱により軟化した層であると推定される。

3.3 転がりすべり接触による硬さ変化

Figure 5 に、試験前と 3500MPa での試験後の垂直断面の硬さ分布を示す。試験後は、接触面から深さ 300 μm までの範囲で軟化が確認された。転がりすべり接触による軟化は従来から知られる現象であり、すべりによる発熱が主な要因と推定される。以上の結果から、深さ数百 μm に及ぶ範囲で軟化することがわかったが、転がりすべり接触において特徴的な疲労組織が生成される表層は、複雑な硬さ分布を示すことが予想される。

そこで、斜め断面で硬さ分布を測定した結果を Fig. 6 に示す。なお、グラフの横軸の深さはビッカース硬さ測定時の深さを 5.9 で除することで、接触面からの法線方向の深さに換算している。試験前は最表層の深さ 3.5 μm のみ比較的高硬さであり、試験片作製時の仕上げ加工によって加工硬化が生じたと考えられる。試験後は、50 μm より浅い領域においても Fig. 5 の深さ数百 μm の範囲と同様に軟化しているが、深さ 3.5 μm のみ硬さの低下量が小さいことがわかる。Figure 4 より、深さ 3.5 μm は微細結晶粒層に相当するため、微細結晶粒層は周囲の組織よりも硬質であると推測される。

4. おわりに

浸炭焼入れ焼戻した SCM420 の転がりすべり接触に伴う表層の組織変化挙動を調査した。その結果、面圧が 3500MPa の場合、接触面から深さ 10 μm 程度の範囲に 2 層の疲労組織が見られた。また、従来から知られるように、すべりに伴う発熱によって表面が軟化していることが確認された。さらに、表層数 μm の範囲では、微細結晶粒層であると考える硬質な組織が生成することを明らかにした。

次報では、本報で確認した強度特性や組織変化挙動に残留 γ が及ぼす影響について報告する予定である。

文献

- 1) 金谷康平・三上 剛・潮田浩作：鉄と鋼，105，5 (2019) 550
- 2) 橋本和弥・淵上太一・鍵 恵介・梅澤 修：鉄と鋼，108，1 (2022) 76

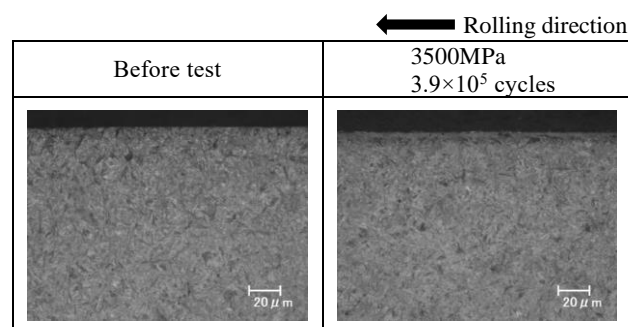


Fig. 3 Microstructures of vertical cross section on the surface of specimens

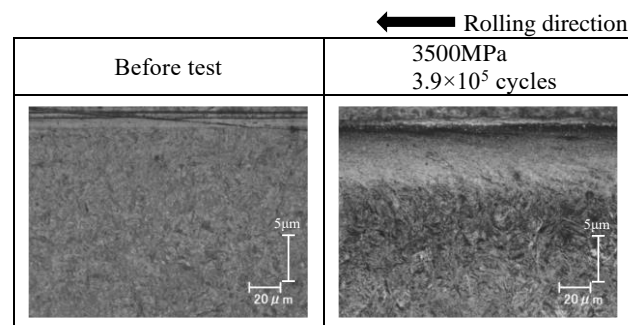


Fig. 4 Microstructures of cross section (10-degree away from contact surface) on the surface of specimens

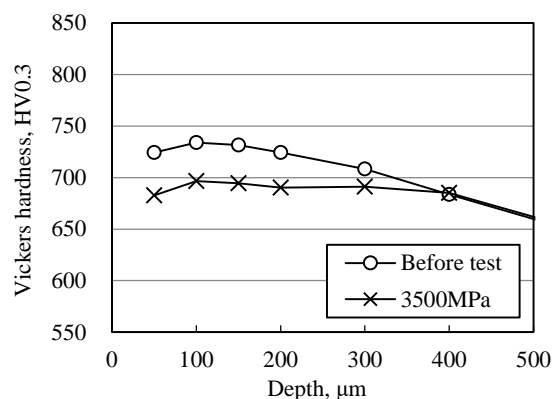


Fig. 5 Vickers hardness of vertical cross section on the surface of specimens as a function of depth from surface

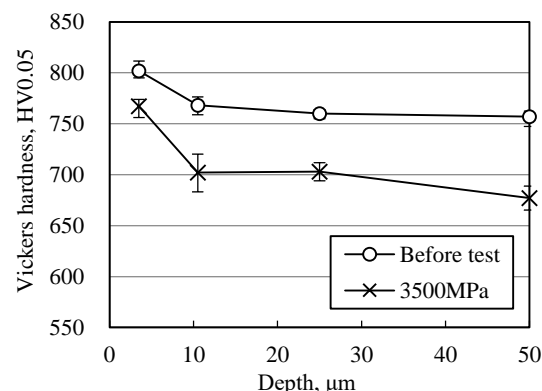


Fig. 6 Vickers hardness of cross section (10-degree away from contact surface) on the surface of specimens as a function of depth from surface