

# 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 2 報)

## Microstructural Changes in Surface Layer of Carburized SCM420 Steel on Rolling-sliding Contact (Part 2)

(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、転がり軸受や歯車等の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 ( $\gamma$ ) 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  $\gamma$  が寄与することが報告されている<sup>1)</sup>。一方、転がりすべり接触下の寿命への残留  $\gamma$  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  $\gamma$  の影響を解明することを目的とした。前報<sup>2)</sup>にて、浸炭焼入れ焼戻しした SCM420 の二円筒転動疲労試験を実施した結果、最表層における疲労組織の生成と軟化が確認された。そこで本報では、浸炭条件の調整により残留  $\gamma$  量を高めた SCM420 で同様の試験を実施し、転がりすべり接触に伴う組織変化挙動に及ぼす残留  $\gamma$  の影響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。前報<sup>2)</sup>で使用した標準的な浸炭焼入れを施した試験片 (LRA と呼称) の熱処理性状 (表面硬さ 724HV, 表面炭素濃度 0.72mass%, 残留  $\gamma$  量 14.7vol.%) に対して、本報では残留  $\gamma$  を増量する目的で熱処理条件を調整し、表面硬さ 699HV, 表面炭素濃度 1.03mass%, 残留  $\gamma$  量 36.7vol.% の試験片 (HRA と呼称) とした。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、JIS-SCM420 の棒鋼から試験片形状に機械加工し、LRA 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 に仕上げ加工し作製した。試験には、(株) ニッコークリエート製の RPT-201 型試験機を用いた。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°C, 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  $1 \times 10^7$  回に到達した時点で試験を打ち切った。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、ビッカース硬さ測定および残留  $\gamma$  量測定によって、転がりすべり接触に伴う組織変化挙動を調査した。本研究の二円筒転動疲労試験では、接触面から深さ 0.01mm 程度の最表層で顕著な組織変化が発生する<sup>2)</sup>。そこで、ミクロ組織およびビッカース硬さは、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) において調査した。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、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。なお、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。残留  $\gamma$  量は、X 線回折法 (XRD : X-Ray Diffraction) を用いて、試験前品の接触面相当位置および試験後品の接触面から、深さ 0.01mm の位置で測定した。

### 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。低面圧条件 (2000MPa, 2500MPa) では残留  $\gamma$  量に関係なく両試験片で同等の寿命となった一方、高面圧条件 (3000MPa, 3500MPa) では HRA の方が長寿命となった。Figure 2 に、代表として、2500MPa, 3000MPa の試験で生じた表面損傷の外観を示す。両試験片とも損傷の外観は同様の傾向であり、3000MPa 以上の面圧では典型的なピッチング、2500MPa 以下の面圧では微小な離が転動部全周に確認された。

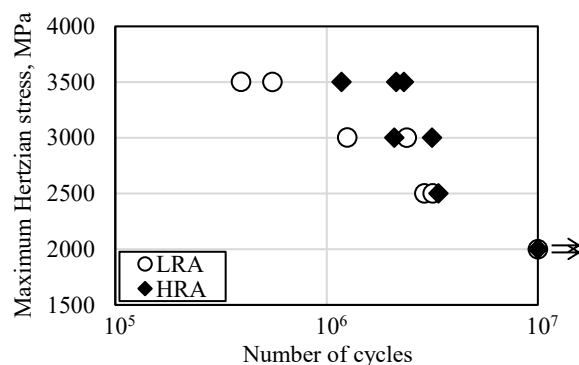


Fig. 1 Results of two roller type rolling contact fatigue test

### 3.2 残留 $\gamma$ がマイクロ組織変化に及ぼす影響

転がりすべり接触において顕著な組織変化が発生する最表層の組織を斜め断面で観察した。Figure 3 に、代表として 3500MPa での損傷発生時点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。両試験片とも最表層にナイトールで腐食されにくい白色組織が見られ、その直下に腐食されやすい黒色組織が存在するが、HRA における深さ方向の組織変化範囲は、LRA よりも小さいことがわかる。ここで、先行研究によって、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<sup>3)</sup>。したがって、Fig. 3 の白色および黒色組織も同様に転がりすべり接触による疲労組織と考えられるため、残留  $\gamma$  にはこれら疲労組織の生成を抑制する効果があると推定される。これは、残留  $\gamma$  の加工誘起変態の発現が寄与した結果であると考えられるが、Fig. 1 より、3000MPa、3500MPa において HRA が長寿命であったことから、ここまでの結果を用いて考察すると、高面圧条件にてその発現が顕著であったと推測される。

### 3.3 転がりすべり接触による残留 $\gamma$ の加工誘起変態

残留  $\gamma$  の加工誘起変態の発現状況を確認するため、表面直下の組織変化挙動を調査した。Figure 4 に、試験面圧と接触面から深さ 0.01mm 位置における損傷発生時点の残留  $\gamma$  量の関係を示す。両試験片とも転がりすべり接触によって残留  $\gamma$  が減少したが、減少量は HRA の方が大きかった。続いて、Fig. 5 に、試験面圧と接触面から深さ 0.01mm 位置における損傷発生時点のビッカース硬さの関係を示す。LRA は面圧が高いほど転がりすべり接触によって硬さが低下する傾向が見られた。一方、HRA はいずれの面圧でも試験前より硬さが上昇した。面圧が高いほど硬さ上昇量が小さくなる傾向が見られるものの、初期の残留  $\gamma$  量によって組織変化挙動の大きな違いが確認された。すなわち、HRA では面圧に関係なく加工誘起変態が顕著に発現しており、発熱による軟化を上回る硬さ上昇が生じたと考えられる。前節までの考察では、高面圧条件においてのみ加工誘起変態が発現することで HRA が長寿命化したと予想していたが、結果として、長寿命化していない 2500MPa においても顕著な加工誘起変態が確認された。以上のことから、残留  $\gamma$  が多いほど高面圧条件において長寿命化する要因は加工誘起変態以外にも存在すると考えられる。

## 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に及ぼす残留  $\gamma$  の影響を調査した。その結果、残留  $\gamma$  が多いほど高面圧条件での疲労寿命が向上することを確認した。また、残留  $\gamma$  が多い試験片は、転がりすべり接触によって加工誘起変態が顕著に発現したことで、発熱による軟化を上回る硬さ上昇が生じたと考えられる。次報では、残留  $\gamma$  が多いほど高面圧条件においてのみ疲労寿命の向上が確認された要因の考察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) 織田悠暉・金谷康平・佐田 隆：トライボロジー会議予稿集（東京 2024-5）F6.
- 3) 橋本和弥・淵上太一・鍵 恵介・梅澤 修：鉄と鋼，108，1 (2022) 76.

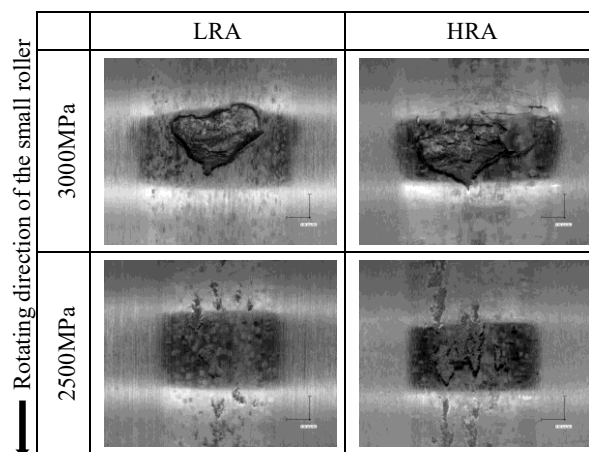


Fig. 2 Typical damages appearing on the small roller

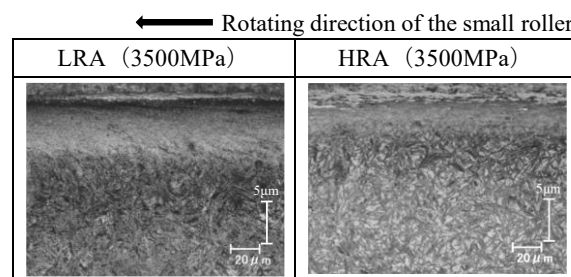


Fig. 3 Microstructures of cross section (10-degree away from contact surface) on the surface layer of specimens immediately after the damages appeared

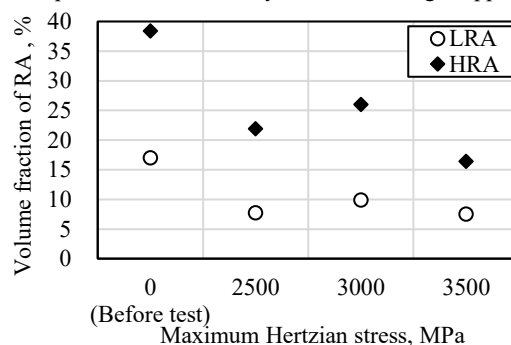


Fig. 4 Relationship between maximum Hertzian stress and volume fraction of retained austenite (RA) at 0.01mm depth from contact surface immediately after the damages appeared

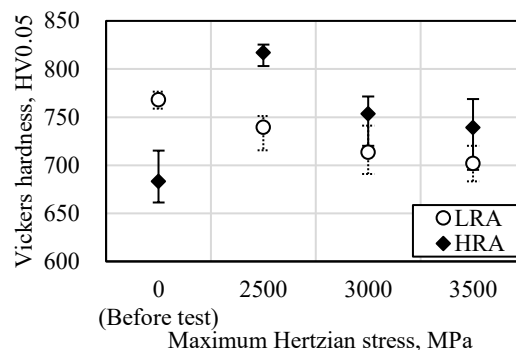


Fig. 5 Relationship between maximum Hertzian stress and Vickers hardness at 0.01mm depth from contact surface immediately after the damages appeared