

# 転がり疲労により発生する組織変化についての新しい知見

木下 齋\*・平岡 和彦\*・小林 一博\*

The Study of Microstructural Changes During Rolling Contact Fatigue  
Hitoshi Kinoshita, Kazuhiko Hiraoka and Kazuhiro Kobayashi

## 1. はじめに

軸受は重要な機械要素部品としてさまざまな産業機械において使用されており、軸受はその使用状態（使用環境）によって破損形態が異なることが知られている<sup>1)</sup>。大別すると、グリース密封型軸受などクリーンな潤滑下で使用される場合には、負荷応力によって発生するせん断応力が表面から少し内部に入った位置にピークを持つため、非金属介在物を起点とした内部起点型の破損が起こるといわれている。また、潤滑中に金属粉などの異物が混入する場合や、潤滑不足により金属接触が起こるような場合は、表面に形成される圧痕やクラックを起点とした表面起点型の破損が起こることが知られている。

それぞれの破損形態に対して、材料、熱処理等での改善によって軸受の長寿命化が図られている。例えば、内部起点型の破損に対しては、起点となりうる非金属介在物を極めて低減した高纯净度鋼によって寿命が延長することが知られている<sup>2)</sup>。

しかし、近年では上記の破損形態のほかに電装補機用軸受において、転動面直下に特異な組織変化が発生し短寿命で破損した事例が報告されている<sup>3,4,5)</sup>。この組織変化（以下白色組織とする）は、転動方向に対して方向性を持たず、組織変化内部は塑性流動を伴い、残留炭化物が消失している（Fig. 1）。最近の研究<sup>5,6)</sup>では、白色組織部をTEMで観察することによって、結晶粒がnmサイズまで微細化された組織であることが明らかにされている。

この組織変化の発生機構については幾つかの説<sup>3,4,5)</sup>が報告されているが未だ統一された見解はなく、またこのように転動疲労下において接触面直下にnmサイズの微細な組織変化が発生する過程については知られていない。

また、非金属介在物を起点とし局所的な疲労現象として観察されるButterflyも、組織変化内部は白色組織と同様にnmサイズの微細組織であることが知られており<sup>7,8,9)</sup>、白

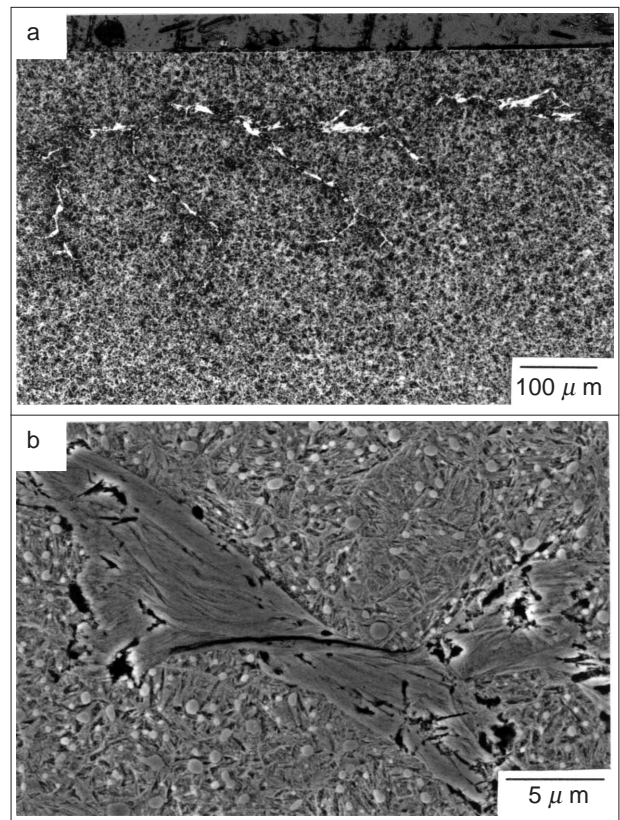


Fig. 1. White Structure in bearing (SUJ2).  
a) Optical micrograph b) SEM image

色組織とButterflyは形態は異なるが、組織変化内部が微細組織であるという共通点がある。

このような転動疲労によって転動面直下にnmサイズの微細組織が形成される事例は、他部品においても観察されることがあり、この組織変化を起点に早期に破損し問題となることがある。このような破損形態を示す軸受の長寿命化を図る場合、破損起点となる組織変化を抑制することが重要であり、その発生過程を知ることは対策を立てる上で極めて重要である。

\* 技術研究所 軸受・構造用鋼グループ

今回は微細組織の発生過程を知ることを目的として行った実験について、簡単にその内容を報告する。

## 2. 実験

前述した電装補機用軸受の白色組織の発生機構は幾つかの説が唱えられているが、スラスト型転動疲労試験のような簡単な試験機で再現するのは困難なので、今回はButterflyの発生過程を詳細に観察した。

実験にはスラスト型転動疲労寿命試験において転動面直下に多数のButterflyを容易に生成させることができる黒鉛含有鋼（以下黒鉛鋼）を用い、黒鉛を起点に発生したButterflyの観察を行った。

黒鉛鋼は、焼入焼戻し後には（マルテンサイト+黒鉛）の2相組織であり、およそ $5\mu\text{m}$ 程度の黒鉛が残留している（Fig. 2）。

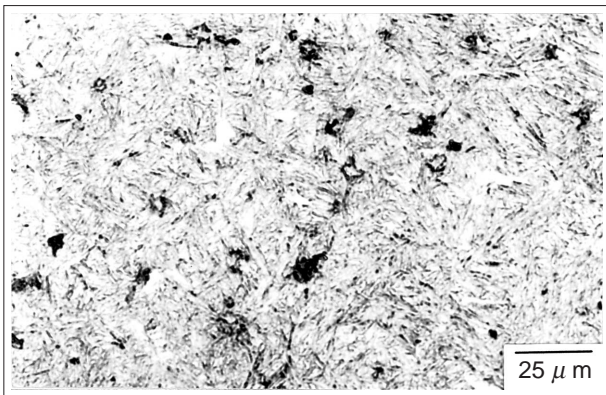


Fig. 2. Microstructure of graphitized steel (quenched and tempered).

転動疲労寿命試験後の試験片（ $P_{\text{max}}=5292\text{MPa}$ ，応力繰り返し数 $3.5 \times 10^6$ 回）の転動面直下の組織観察例をFig. 3に示す。転動面直下には、黒鉛を起点に発生したButterflyが多数観察された。通常、Butterflyは起点介在物（Body）と、組織変化部（Wing）に分けることができる。今回観察されたButterflyのBody部は黒鉛であり、その大きさに関わらず

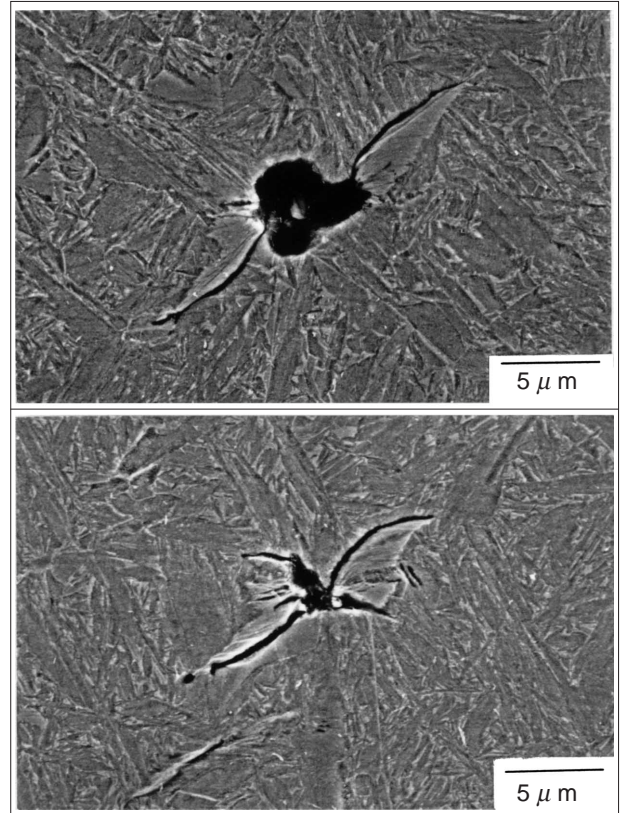


Fig. 4. SEM images of Butterfly occurred at graphite.

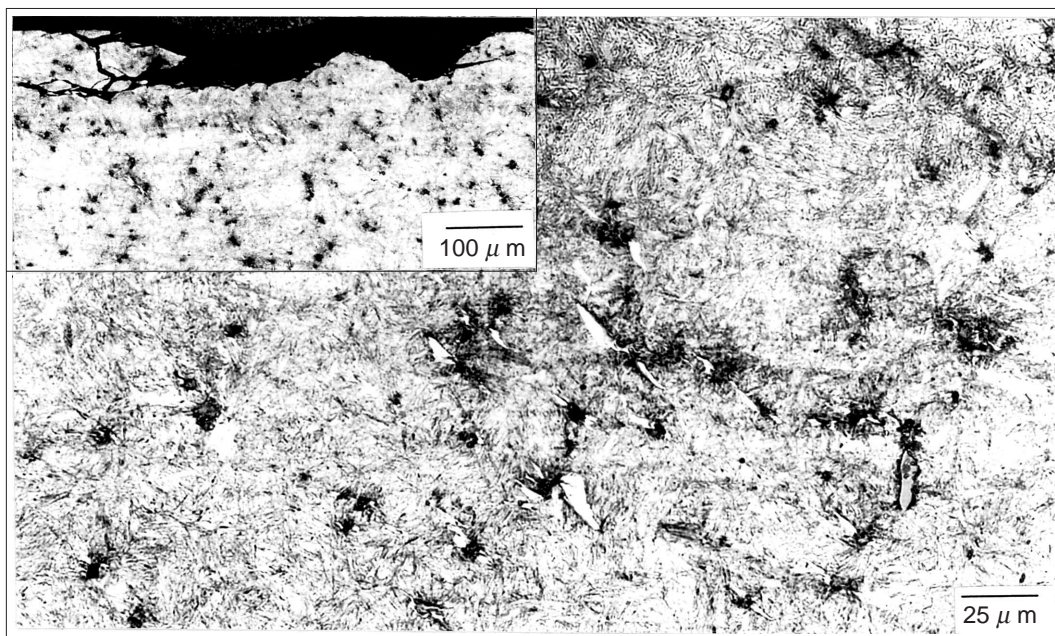


Fig. 3. Microstructure under the track after RCF test.

Butterflyが発生していた。なかには1~2 μmの黒鉛からの発生も認められた (Fig. 4)。またWing部には組織変化部のほかにクラックが観察された。

また、同試験片において黒鉛を起点に転動方向に対しておよそ45°方向に発生した組織変化を伴わないクラックも観察された (Fig. 5)。

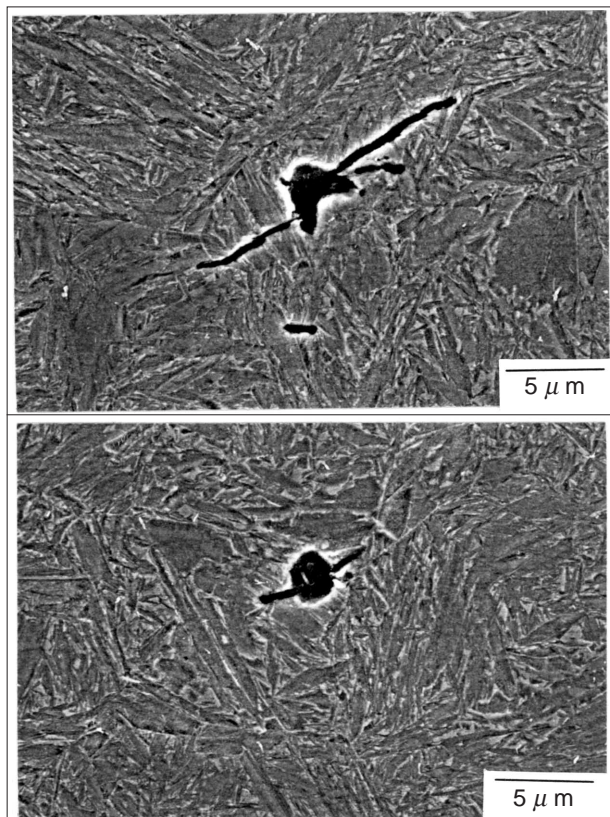


Fig. 5. SEM images of crack occurred at graphite.

### 3. 考察

上記の結果よりButterflyはまず黒鉛を起点にクラックが発生し、クラックに沿って組織変化が生成したと推定することができる。

すなわち、応力集中源となる黒鉛を起点としてまずクラックが発生し、クラック近傍の微小領域において塑性変形

が繰り返され、組織の微細化が進行したものと考えられる。電装補機用軸受に見られたような白色組織の発生過程は、現在のところ明らかにされていないが、突如、微細組織がマトリックス中に発生するとは考えられない。この場合も、まずクラックが発生しこのクラックに沿って組織変化が発生すると考えられる。

また、今回の実験ではわずか数 μmの黒鉛を起点としてButterflyが発生していた。これは数 μmの非金属介在物でも応力集中源となることを示しており、電装補機用軸受のように特殊な使用環境においては、このような極めて小さい介在物も疲労破壊起点となる可能性があるといえる。

### 4. おわりに

今回は転動疲労により生ずる微細組織の発生過程を確認するために行った実験について紹介した。組織変化を起点として早期破損する部品においては、組織変化を抑制することが寿命延長のために重要である。現在は材料面での組織変化抑制対策について研究を進めており、その内容については次の機会に報告する。

### 文 献

- 1) 平岡和彦：特殊鋼，49 (2000) 1-44.
- 2) 奈良井弘，阿部 力，古村恭三郎，西森 博，小林一博，坪田一一：材料とプロセス，5 (1992) 1959.
- 3) K. Maeda, K. Tamada, H. Nakajima and N. Tsushima : Proc. Japan Int. Trib. Conf. Nagoya, (1990) 791.
- 4) 村上保夫，武村浩道，中 道治，小川隆司，桃野達信，岩本 彰，石原 滋：NSK Technical Journal, No. 656 (1993) 1.
- 5) 柴田正道，後藤将夫，小熊規泰，三上 剛：KOYO Engineering Journal, No. 150 (1996) 16.
- 6) 沖田 滋，武村浩道，村上保夫：材料とプロセス，12 (1999) 351.
- 7) P. C. Becker : Metals Technology, 6 (1981) 234.
- 8) R. Österlund, O. Vingsbo, L. Vincent and P. Guiraldenq : Scan. J. Met., 11 (1982) 23.
- 9) 井口 誠，坪田一一：材料とプロセス，10 (1997) 545.