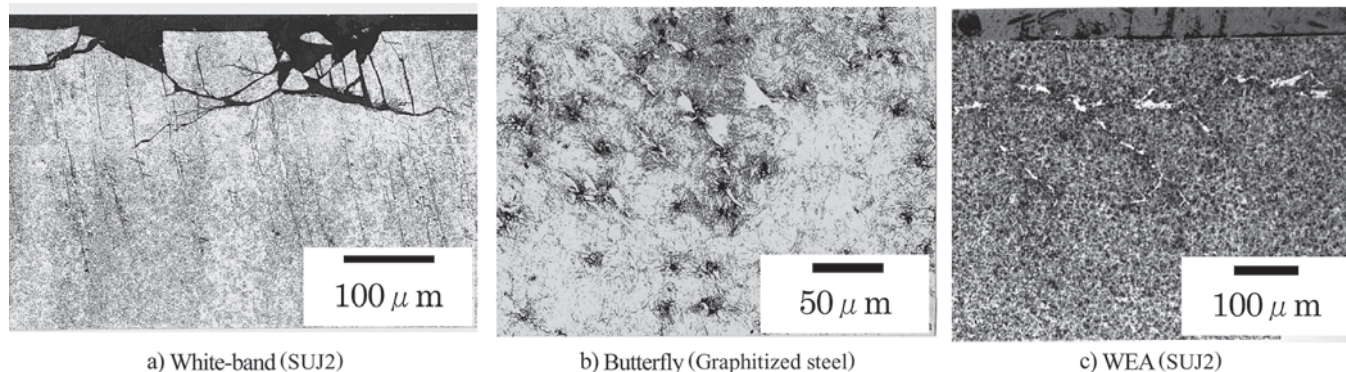
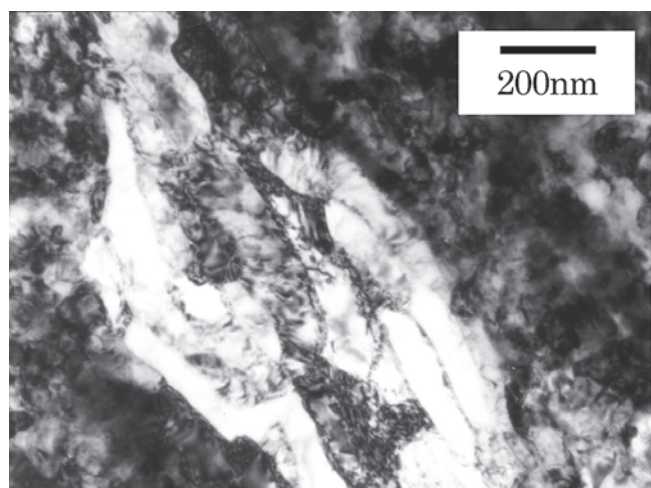
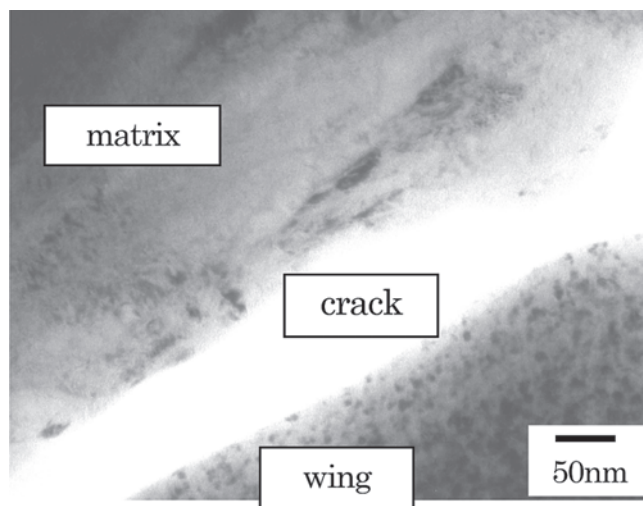


【ミニ特集】超強加工により形成する組織写真集-17 現場で生じる超強加工により形成する組織

超強加工の視点でとらえた転がり疲れによる白色型組織変化

White Type Microstructural Alteration from the View Point of Sever Plastic Deformation

山陽特殊製鋼(株) 研究・開発センター 軸受・構造用鋼グループ グループ長 平岡 和彦

Fig.1 Optical micrographs of White type microstructural alterations in Rolling Contact Fatigue¹⁾Fig.2 Transmission electron micrograph of White-band (BFI) ¹⁾Fig.3 Transmission electron micrograph of Butterfly (BFI) ⁴⁾

1. はじめに

内部起点型の転がり疲れに特徴的な白色型組織変化が伴うことはよく知られている。それらについての学術的な興味は深いのが、転がり疲れ自体がトライボロジー要因の関与する複雑な現象であることから、白色型組織変化の生成機構や疲労過程における作用については明確な説明がなされてこなかった。一方、従来研究における組織観察結果には、転がり疲れの本質的な機構を示唆しているであろう現象が見出される。白色型組織変化が、光学顕微鏡で識別されるマクロ的形態において Fig.1¹⁾ に示すようにホワイトバンド、バタフライ、WEA (White Etching Area) 等と称される3タイプを示し、さらに各々の白色部が共通して10nmからサブミクロンレベルの超微細結晶粒(もしくは転位セル)により構成されているという知見である¹⁾。鉄鋼材料におけるサブミクロン以下への結晶粒微細化は、超強加工によるものが一般的であり²⁾、転がり疲れにも局所的に等価な現象が起きていることが示唆されている³⁾。ここでは転がり疲れによる3タイプの白色型組織変化が超強加工に準じた現象であることを示し、この見方によって得られる転がり疲れの機構に関する新たな理解について説明する。

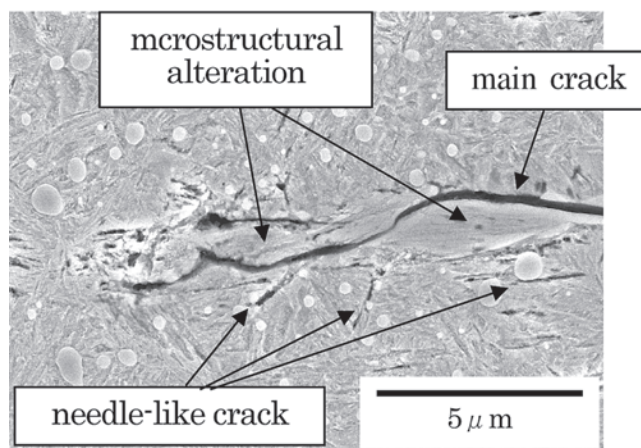
2. ホワイトバンド

ホワイトバンドは Fig.1 a) に示すように軌道直下の広範囲に直線的な

帯状を呈している。Fig.2¹⁾ に組織変化部の TEM 明視野像を示すが、バンドに対応すると見られる写真中央付近には、内部に転位が抜けて白く観察される100～200nm程度のユニットが観察されている。ユニットはバンド長手方向に若干伸長しており、ユニット境界が不明瞭さを呈していることから転位セル状態であるとみられる。これらの観察結果は加工組織としての性質を色濃く示しており、バンド内に局在化した転位運動のあったことを示している。ホワイトバンドは概ね最大接触面圧で3GPa以上の高面圧や373K以上の高温潤滑環境において現出することから、軌道直下の広範囲な降伏を、局所的な変形帯の形成により担ったものという解釈ができる。なおこのタイプにおける最終的な離は、ホワイトバンドと非組織変化部との境界に生じたき裂により起きている¹⁾。

3. バタフライ

Fig.1 b) は黒鉛を起点としたバタフライ観察の例であり、明らかに介在物への応力集中に起因している。筆者らの研究結果^{4,5)}に基づけば、バタフライ形成は介在物への応力集中→介在物周縁への一次的な塑性ひずみ蓄積→初期き裂生成→き裂に沿った羽部(白色部)形成なる過程を辿っている。Fig.3⁴⁾ は羽部近傍の TEM 明視野像であるが、10nmレベルのナノ結晶化が起きていることがわかる。ここで羽部はき裂生成

Fig.4 Secondary electron micrograph of WEA¹⁰⁾

に直接関与していない二次的な現象であると解釈されるが、一般的に観察が困難である介在物からの初期き裂の性状(長さ、角度、生成時期)について、羽部が白色を呈することによって明示する役目を果しているといえる。

4. WEA

WEAはFig.1 c) に示すように、介在物のような物理的な起点を伴わずに不規則な形態を呈する特徴がある。昨今の研究⁶⁻⁸⁾では水素の関与があることが濃厚であるとされており、白色部はバタフライと同じく10nmレベルにナノ結晶された状態であることも知られている⁹⁾。Fig.4¹⁰⁾は水素チャージした試験片を用いた転がり疲れ試験によってWEAを再現してSEM観察した結果である。数μmの針状き裂が散在しており、その内部にそれらが連結したと見られる主き裂が存在し、その主き裂のキンク部内側に白色部が形成されていることがわかる。筆者らの負荷サイクルを追った疲労過程の観察結果¹⁰⁾からWEAは、水素起因による一次的な塑性ひずみの局在化→その部分への初期き裂(針状き裂)形成→主き裂形成→キンク部への白色部形成なる過程を辿っていると推定される。この推定機構においてWEAを伴う早期はく離の直接的な原因は、水素起因により局在化した塑性ひずみの蓄積に伴って生じる軌道直下随所への針状を呈する初期き裂の生成であるとみられる。それらが至近距離同士の連結により主き裂を形成することによって早期のはく離を招いているものと考えられる。したがって光学顕微鏡レベルで確認される主き裂に沿った白色部の生成はこのタイプの疲労の発現を示す現象であって、直接的なはく離の原因ではないとも解釈される。

5. おわりに

詳細な機構の説明が困難であるとされてきた内部起点型転がり疲れに

ついて、固有の現象として観察される白色型組織変化に超強加工現象としての見方を付与することによって新たな理解が得られている。内部起点型転がり疲れの機構として本質的な部分は、ここに説明した特徴的な塑性ひずみの局在化過程と、それによって引起される初期き裂生成の在り方によって説明が可能である。3タイプの白色型組織変化の観察結果はそれらを明確に示しているものといえる。

参考文献

- 1) 平岡和彦：CAMP-ISIJ, 20 (2007), 424.
- 2) 辻伸泰：鉄と鋼, 88 (2002), 359.
- 3) 梅本実：Sanyo Technical Report, 11 (2004), 13.
- 4) 平岡和彦, 長尾実佐樹, 椿野晴繁, 山本厚之：トライボロジスト, 51 (2006), 744.
- 5) 平岡和彦：Sanyo Technical Report, 15 (2008), 43.
- 6) 宇山英幸, 飛鷹秀幸, 藤田慎治, 山田紘樹, 三田村宣晶：トライボロジー会議予稿集 佐賀2007-9, (2007), 53.
- 7) 原田久：トライボロジー会議予稿集 佐賀2007-9, (2007), 55.
- 8) 川村隆之, 三上英信：トライボロジー会議予稿集 佐賀2007-9, (2007), 57.
- 9) M.Shibata, M.Gotoh, T.Mikami：Proceedings of the Japan International Tribology Conference Yokohama, (1995), 1351.
- 10) 平岡和彦, 藤松威史, 常陰典正, 山本厚之：トライボロジスト, 52 (2007), 888.

(2008年10月2日受付)