

A4340 鋼製ブレーキディスクの現車走行の 熱影響による組織変化

森 久史*・松井 元英*・辻村 太郎*

Influence of Heat during Vehicle Run on Microstructure of A4340 Steel Brake Disc

Hisashi MORI, Motohide MATSUI and Taro TSUJIMURA

1. 緒言

新幹線電車でのブレーキディスクは、ブレーキ時にライニングとの接触摩擦による熱影響を受けることから、強度並びに破壊靱性の他に耐熱性が求められる。現在用いられている新幹線電車用のブレーキディスクは、耐熱性および高温強度に優れた A4340 鋼製である。A4340 鋼製ブレーキディスクは、熱影響に対する強度および破壊靱性の低下が少なく、試験および現車において安全性の高いディスクであるが、現車走行後のディスクしゅう動面にヒートスポットと呼ばれる熱影響を受けた状態が認められる¹⁾。一般的に鋼材が溶接時に繰返し熱影響を受けた場合には金属組織が多様化し、結晶粒や粒内組織の粗大化、不均一化および脆化相形成が生じる²⁾。このため、ヒートスポットおよびその近傍では熱影響を受けて組織変化が生じ、ディスク表面に微細な亀裂が発生するようになる。現車状態におけるブレーキディスクが受ける熱影響は、溶接熱影響部よりも複雑な加熱および冷却条件であることから、熱影響と金属組織変化との関係を特定することが難しい。しかし、今後、ブレーキディスクへのさらなる耐熱性付与およびディスク表面への微細亀裂の防止を検討するためには、ブレーキ

ディスクの熱影響に伴う組織変化の状況および組織変化メカニズムについて把握しておく必要がある。本論文では、現車走行後のブレーキディスクの断面金属組織観察と硬さ測定を行ない、現車における熱影響がブレーキディスクの金属組織変化に及ぼす影響について調べた結果を速報した。

2. 調査方法

新幹線車両で約 $200 \times 10^3 \sim 600 \times 10^3$ km 相当の走行履歴のある A4340 鋼製ブレーキディスクを調査対象とした。Fig. 1(a)にはブレーキディスクの外観を示す。調査に用いたブレーキディスクには、Fig. 1(b)に示すようにディスクのしゅう動面の表面にヒートスポットが発生しており、現車使用により熱影響を受けているものである。調査に用いたブレーキディスクの化学成分は Table 1 の通りである。本ディスクの Ms 点は Table 1 および(1)式により見積もると約 590K となり³⁾、室温以上にある。

$$\begin{aligned}
 M_s (^{\circ}\text{C}) = & 561 \times 474(\text{mass}\% \text{C}) - 33 \times (\text{mass}\% \text{Mn}) \\
 & - 17 \times (\text{mass}\% \text{Ni}) - 17 \times (\text{mass}\% \text{Cr}) \\
 & - 7.5 \times (\text{mass}\% \text{Mo}) \cdots \cdots (1)
 \end{aligned}$$

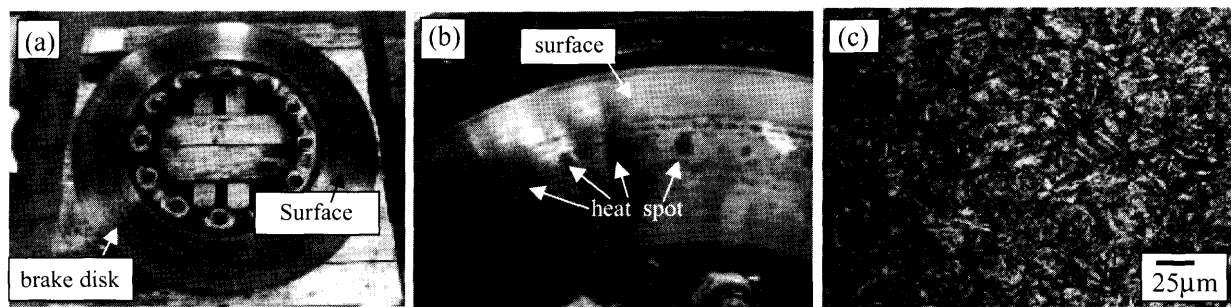


Fig. 1. View and microstructure of the sample, (a) view of brake disc, (b) surface condition of used brake disc and (c) microstructure of non-used brake disc.

平成 17 年 6 月 20 日受付 平成 17 年 8 月 19 日受理 (Received on June 20, 2005; Accepted on Aug. 19, 2005)

* (財) 鉄道総合技術研究所 (Railway Technical Research Institute, Hikari-cho 2-8-38 Kokubunji-shi Tokyo 185-8540)

Table 1. Chemical composition of steel investigated (mass%).

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
0.35	0.32	0.65	0.005	0.006	1.86	1.03	0.46

当該ディスクは高温鍛造加工後に油冷焼入れ(1153K×1h)および油冷焼戻し(903K×2h)の履歴を受けて作製されている。未使用状態でのブレーキディスクの金属組織はFig. 1(c)に示す焼戻しマルテンサイトである。

熱影響部の金属組織観察用の試験片は、ブレーキディスクから鋸引および精密切断機で切出し、仕上げ加工を行って得た。試験片の形状は長さ30mm、幅30mm、厚さ5mmの直方体であり、試験片の厚み方向がディスクの断面方向となるように作成している。金属組織観察は、試験片を研摩および腐食処理後を行って光学顕微鏡を用いて行った。また断面硬さはビッカース硬度計を用いて測定した。硬さ測定の条件は、負荷荷重が9.8Nであり、負荷時間は15sである。

3. 実験結果および考察

Fig. 2に使用履歴のあるブレーキディスクと未使用のブレーキディスクの断面観察結果を示す。未使用ブレーキディスクの表面近傍の金属組織には焼戻しマルテンサイトが認められるが、使用履歴のあるブレーキディスクの表面近傍には白色層が生成していた。白色層は、Fig. 3に示すように使用キロ数とともに厚みが増加する傾向が認められる。使用キロ数の増加はブレーキ回数を増し、ブレーキディスクが受ける熱影響度も増加すると考えられる。このことから、使用キロ数とともに白色層厚が増加することは、白色層生成が熱影響によるものであることを表していると考えられる。ブレーキディスクが受ける熱影響は、繰返し熱サイクルであり、ブレーキ時の摩擦熱による昇温と熱伝達による冷却の繰返しである⁴⁾。熱サイクルの加熱は、ブレーキ開始時の摩擦で生じ、現車試験を行って、ブレーキディスク表層および表層近傍の到達温度が約873~1073Kとなることを確かめている。これはブレーキディスク表層および表層近傍が状態図上、 $(\alpha+\theta)$ 並びに $(\alpha+\gamma)$ の2相領域に加熱された状態と等しくなる。一方、ブレーキ中およびブレーキ開放後は加熱保持および冷却された状態となり、降雨による急冷状態および空気流による空冷状態により室温にまで冷却される。このことから、ブレーキ時に、ブレーキディスクは様々な加熱冷却を受けることになり、このような温度変化過程においてブレーキディスクの表層および表層近傍には金属組織の変化が生じるようになる。したがって、使用履歴のあるブレーキディスクに認められた白色層は様々な加熱冷却を経て金属組織が変化している部分であると考えられる。Fig. 4に白色層

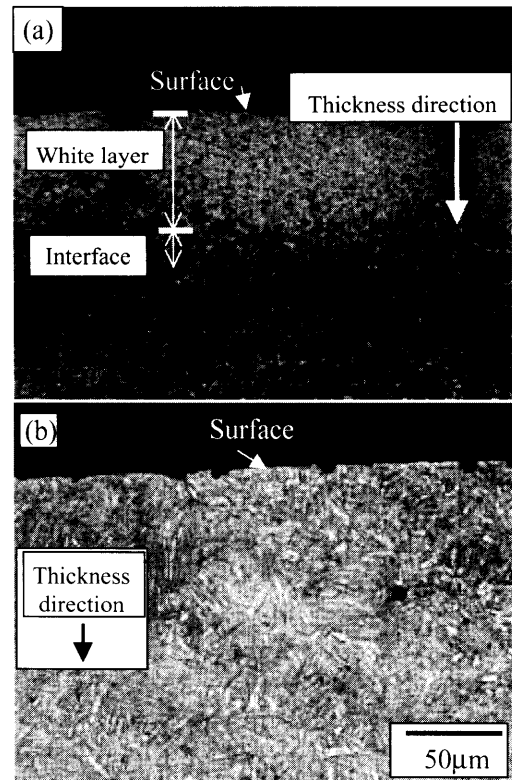


Fig. 2. Microstructure of cross section of brake disc, (a) used brake disc and (b) non-used brake disc.

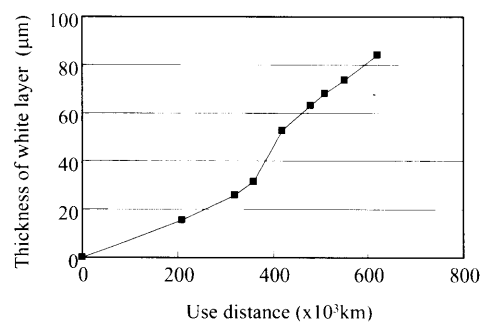


Fig. 3. Relationship between thickness of white layer and used distance.

内の金属組織を、表面から厚み方向に10μm、30μmおよび50μmの位置で観察した結果を示す。表面近傍では焼戻しマルテンサイトが微細化した状態で認められる。金属組織は界面近傍方向に従って寸法が増加し、白色層と白色層が見られない境界でも、焼戻しマルテンサイトがFig. 1に示す初期組織に比べると微細な状態であった。断面のビッカース硬度分布をFig. 5に示す。白色層が認められた、表層近傍の硬度は500~700HVまで増加し、熱影響の少ない内部の硬さにくらべると1.5~2倍程度の硬度の上昇が認められ、硬度増加が認められる位置の金属組織は微細化していた。

焼戻しマルテンサイトは2相領域において繰返し加熱後焼鈍された場合には微細化する⁵⁾。このことから、ブレーキ時にブレーキディスクの表層および表層近傍が繰返し加

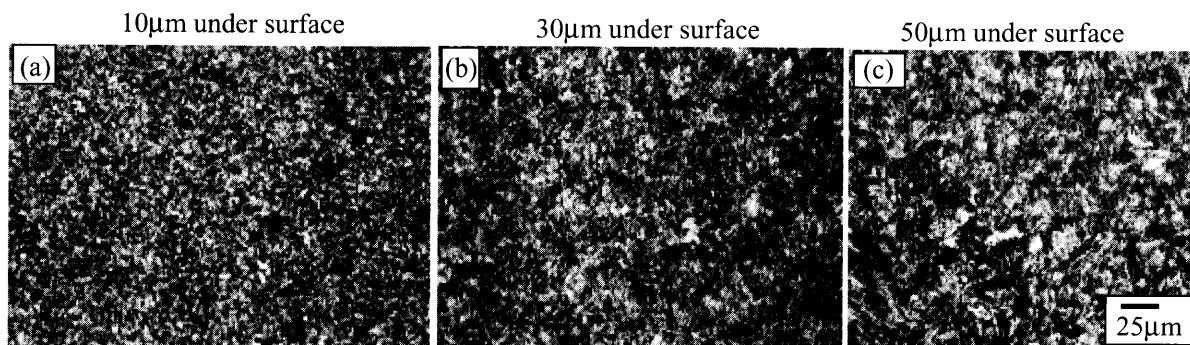


Fig. 4. Microstructure in white layer, (a) 10 μm under surface, (b) 30 μm under surface and (c) 50 μm under surface.

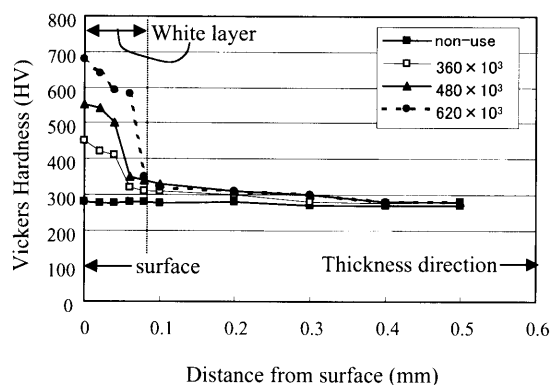


Fig. 5. Vickers hardness distribution for cross section of disc.

熱冷却を受けて組織の微細化が生じていると考えられる。転動疲労を受けた鋼材の表層においても白色層が認められることが報告されており、白色層内組織は α 鉄、焼戻しマルテンサイト、残留 γ 、非晶質層等が認められ、組織構造はナノレベルであること等が示されている^{6,7)}。ブレーキディスクの表層に生成する白色層およびその近傍組織も、硬度の増加が著しく、組織の微細化が生じていると考えられるが、転動疲労の状況とはすべり摩擦等との負荷応力状況が異なり、SEMおよびTEMによる金属組織解析を行って組織の詳細を調べる必要があるので、現在検討している

ところである。

4. 結論

ブレーキディスクへのさらなる耐熱性付与を検討するためにブレーキディスクの熱影響に伴う組織変化の状況および組織変化メカニズムについて把握しておく必要がある。本研究では現車走行後のブレーキディスクの断面金属組織観察を行ない、現車における熱影響がブレーキディスクの金属組織変化に及ぼす影響について調べた。その結果、ブレーキ時にブレーキディスク表層および表層近傍への加熱冷却の繰返しによる金属組織の動的変化が影響することで白色層化が生じ、焼戻しマルテンサイトが微細化した状態になると考えられる。

文 献

- 1) T.Higashida, M.Nakada, Y.Yamamura, F.Kusumoto, K.Hirakawa and K.Toyama: *Sumitomo Met.*, **45** (1993), 11.
- 2) T.Ozeki: *Tetsu-to-Hagané*, **90** (2004), 61.
- 3) W.Steven and A.G.Haynes: *J. Iron Steel Inst.*, **183** (1956), 379.
- 4) R.Rl.Abd: *Proc. Instn. Mech. Eng., ImehE*, **23** (1999), 221.
- 5) N.Matsumura and M.Tokizane: *Tetsu-to-Hagané*, **70** (1984), 246.
- 6) A.Muroga and H.Saka: *Tetsu-to-Hagané*, **84** (1988), 351.
- 7) H.Harada, T.Mikami, A.Yamamoto and H.Tsubakino: *Tetsu-to-Hagané*, **91** (2005), 567.