

【ミニ特集】超強加工により形成する組織写真集-14 現場で生じる超強加工により形成する組織

合金元素分布に基づくレール白色層の成因解明

Consideration of the Origin of White Etching Layer on Rail Surface Based on the Distribution of Alloying Elements

新日本製鐵(株) 技術開発本部 先端技術研究所 主任研究員 高橋 淳、川上 和人 八幡技術研究部 主任研究員 上田 正治

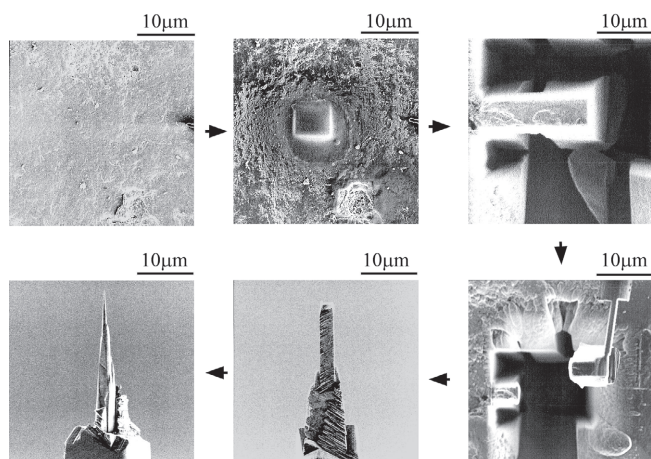


Fig.1 Needle specimen preparation process by FIB

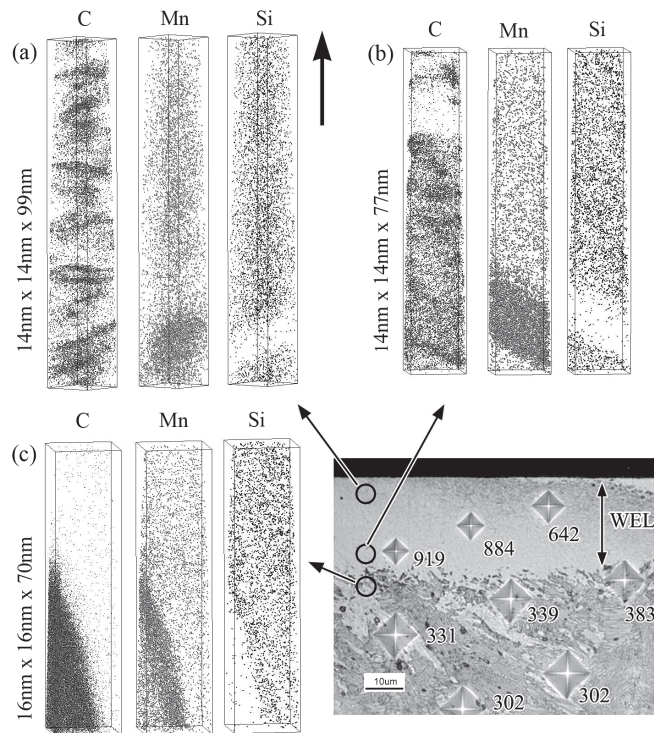


Fig.2 3D elemental maps : (a) topmost surface, (b) bottom in WEL and (c) below the interface

レールころがり表面に発生する白色層 (White Etching Layer) は硬質の薄層であるため、レール表面損傷の発生源と考えられており、組織形態や生成機構の解明が求められている。組織形態としては、マルテンサイトとする説^{1,3)} やナノフェライトまたはその途段階とする説^{2,3)} などがあり、その生成機構として、車輪とレールとの摩擦熱によってオーステナイト化し冷却中に変態したとの説や、繰り返しの強歪印加によって組織変化したとする説などが提案されているが、統一見解には達していない。白色層が複数の組織から形成されていることも報告されており³⁾、白色層の表面から界面に至る組織全体の生成挙動を説明する必要がある。そこで、白色層の深さ方向の合金元素分布の変化をナノスケールで捉え、白色層の成因を考察する手掛かりとした⁴⁾。

試料は、在来線から採取された白色層を有するレール (1984 年製造 JIS60k 級、累積通過 1 億 5000 万トン) であり、主成分は Fe-0.70C-0.23Si-0.93Mn (mass%) であった。本試料の白色層は軌道方向に伸びた最大厚み 30 μm の薄層であるため、Fig.1 に示した Lift-out 法を駆使した FIB 技術を用いて、白色層の最表面から界面下に至る複数の深さ位置の針試料を作製し、3 次元アトムプローブ (3DAP) 測定を行った⁴⁾。Fig.2 に、マイクロビッカース圧痕 (数値は硬度 HV) を含む白色層断面のエッチング組織写真と、白色層内上部、下部、界面直下部の 3D 元素マップを示す図中太矢印は表面方向。白色層は元材のパールライトに対し、不連続に高い硬度を示していた。白色層内でも硬度は場所によって異なり、上部 (最表面) よりも下部の方が高い硬度を示した^{3,4)}。白色層の界面直下では明確なラメラセメンタイトが存在し、パールライトであることが示された。白色層内の C 分布は元のパールライトと全く異なり、ラメラセメンタイトは存在せず、C は固溶に加え偏析、析出を示していた⁴⁾。一方、Mn 及び Si の分布は、元のパールライトのラメラセメンタイト

位置に対応した Mn 濃化層、Si 欠乏層を残存していた。これらの分布とラメラ幅から、元材のパールライトラメラ間隔に対しラメラの微細化はそれほど進んでいないこと、意外にも白色層付近の加工量は小さいことが示された。Mn 濃化層の矩形濃度分布が拡散により変化したとし温度上昇を見積もると、白色層内上部では 1200°C 以上、下部でも 1000°C 以上の高温になったことが推測され、摩擦熱の計算結果と一致した⁴⁾。ブレーキ時などに発生した車輪とレールとの摩擦熱によって、非常に短時間にオーステナイト化温度まで上昇し、冷却中にマルテンサイト変態したものと考えられる。到達温度は接触表面から離れると大きく低下することから、白色層が表面の薄層であることと明瞭な界面を有することが説明できる。このような白色層は一定の条件が満たされた低い頻度で生じたものと考えられ、白色層内上部の硬度の低下は、白色層生成後の列車の通過によって焼き戻されたためと理解される⁴⁾。3DAP による白色層の組織解析は、マルテンサイト組織説を支持するものであった。

参考文献

- 1) W. Österle, H. Rooch, A. Pyzalla and L. Wang : Mater. Sci. Eng. A 303 (2001) 150.
- 2) W. Lojkowski, M. Djahanbakhsh, G. Bürkle, S. Gierlotka, W. Zielinski and H.-J. Fecht : Mater. Sci. Eng. A 303 (2001) 197.
- 3) H.W. Zhang, S. Ohsaki, S. Mitao, M. Ohnuma and K. Hono : Mater. Sci. Eng. A 421 (2006) 191.
- 4) J. Takahashi, K. Kawakami and M. Ueda : to be submitted to Mater. Sci. Eng. A.

(2008 年 9 月 30 日受付)