

アトムプローブを用いた鉄鋼中のトラップ水素と粒界偏析ボロンの直接観察

高橋 淳、川上和人、小林由起子、石川恭平：新日鐵住金（株）

鉄鋼材料の高強度化に伴い、多くの鋼種において水素脆化が問題となってきた。水素脆化は、表面から侵入した水素が鋼中の欠陥や歪に集積し、空孔性欠陥を発生したり転位の動きを助長したり粒界結合を弱めるなどして破壊を引き起こす。TiC、VC、NbC等の微細な炭化物による析出強化によって鋼材強度を上昇させ、同時に析出物に水素をトラップさせることによって、水素脆化を改善する試みが提案されている。しかし、水素脆化機構を理解しその対策を行うためには、鋼中の水素挙動の理解、すなわち水素存在状態の詳しい観察が必要となる。トラップエネルギーは水素脱離測定（TDS）よりおよそ把握できるが、析出物のどこに水素がトラップされているかについては未だ予測の域を出ていない。これは、ナノサイズのスケールで水素存在位置を直接観察できる解析法がなかったことに由来する。我々は、鋼材解析において原子間隔レベルの分解能を有する3次元アトムプローブ法（3DAP）に注目し、水素可視化の可能性を追求してきた。水素の存在状態の予測計算を基に、装置内で針試料に重水素ガスチャージを行い直後に急速冷却を可能とする設備開発と、測定技術等の工夫によって、初めて鋼材中の微細析出物の水素トラップサイトの直接観察に成功した[1,2]。

図1は、TiC析出鋼の3DAP測定結果を示す。ここではTiと重水素Dの原子位置のみを示した。Tiが局在化している部分がTiC板状析出物に相当する。この領域から一辺10nmの立方体ボックスを切り出し、(001)板状析出物を板面に対し平行及び垂直方向から観察した結果を示す。チャージした重水素は、主に板状析出物の(001)板面上に分布していた。板状TiCのエッジ部分（非整合界面）、また板面から少し離れた整合歪領域においては重水素原子は見られなかった。また、特に小さなTiCの周りにも重水素は観察されなかった。以上の観察結果及びTiCサイズ依存性より、板状TiCの水素トラップ位置はTiC板面との界面であり、Misfit転位芯またはTiC表面のC-Vacancyサイトがその起源と考えられた[1]。

さらに本報告では、変態前の旧オーステナイト（ γ ）粒界のB偏析についても報告する。 γ 粒界の元素偏析は鋼の焼入性に影響する重要な要因でありながら、定量観察が難しかったことから、特性との関係において未解明な部分が多かった。マルテンサイト変態前の旧 γ 粒界を含む針試料の作製技術を開発し、B及びMoの偏析挙動と焼入性に及ぼす影響を明らかにした[3]。

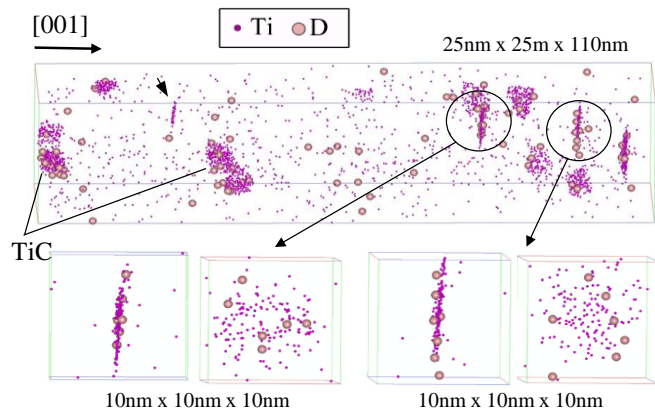


図1. 重水素チャージした針試料の3D元素マップ [1].

参考文献

- [1] J. Takahashi, K. Kawakami, Y. Kobayashi, T. Tarui; Scripta Mater., **63**, 261 (2010).
- [2] J. Takahashi, K. Kawakami, T. Tarui; Scripta Mater., **67**, 213 (2012).
- [3] J. Takahashi, K. Ishikawa, K. Kawakami, M. Fujioka, N. Kubota; Acta Mater., **133**, 41(2017).

関連 web

<http://www.nssmc.com/index.html>