

高強度マルテンサイト鋼におけるセメンタイト粒子の定量評価

Quantitative evaluation of cementite particle in high-strength martensitic steels

土田 紀之¹⁾ 廣井 孝介²⁾ 大場 洋次郎²⁾

Noriyuki TSUCHIDA Kosuke HIROI Yojiro OBA

¹⁾兵庫県立大学 ²⁾原子力機構

(概要)

本研究では、JRR-3/SANS-J-II を利用した中性子小角散乱実験により、様々な熱処理と予ひずみ条件で作製したマルテンサイト鋼におけるセメンタイト粒子の定量解析を試みた。小角散乱実験で得られた散乱プロフィールの測定結果を比較したところ、測定結果に大きな違いは見られなかった。それぞれの測定結果を用いて、析出物（セメンタイト）の形状を球と仮定して体積率を計算したところ、いずれも約2%という結果が得られた。今回のマルテンサイト鋼に関しては、セメンタイト体積率が小さいことから、機械的特性への影響はわずかであると推察される。

キーワード：マルテンサイト鋼，セメンタイト，中性子小角散乱

1. 目的

構造用鉄鋼材料の高強度・高延性化は、構造物軽量化のための高強度化や、社会インフラの老朽化問題など、材料開発における重要かつ基本的な課題として多くの研究が展開されている。高強度鋼板開発の一手段として、マルテンサイト鋼の力学特性向上とそのメカニズム解明が必要である。我々は、焼入れ・焼もどしと予ひずみの組合せによる、高強度マルテンサイト鋼の延性向上について研究を行い、熱処理と予ひずみ加工の組合せにより、高強度でありながら伸びが向上することを示した。これは焼もどしと引張変形中のセメンタイトの析出挙動が関係していると推察されるが、その詳細は明らかではない。この点を解明するためには、マルテンサイト中のセメンタイトの定量評価が必要であると考えた。

本研究では、中性子小角散乱実験により、様々な熱処理と予ひずみ条件で作製したマルテンサイト鋼におけるセメンタイト粒子の定量解析を試みた。セメンタイト粒子はナノオーダーの大きさであり、体積率も数%とわずかであるため、SEM や TEM を用いた組織観察のみからの解明は難しい。中性子小角散乱実験は本課題において重要な実験手段であり、得られたデータはメカニズム解明に重要な役割を果たすことが期待できる。また、我々は、本実験と並行して J-PARC BL-19/TAKUMI を利用した引張変形中のその場中性子回折実験も行った。本実験では、マルテンサイト組織中の bcc 相とセメンタイト相の変形挙動を相ひずみや格子ひずみの観点から解析を行う。これらの実験結果を組合せることで、組織と構成相の変形挙動の観点より、高強度マルテンサイト鋼の延性向上メカニズムについて議論することが可能となると期待できる。

2. 方法

本研究では、0.4%C 鋼より作製したマルテンサイト鋼を用いた。①1273 K、1.8 ks 保持後、焼入れた試料（焼入れまま: AQ）、②1273 K で焼入れ後、473 K で焼もどした試料（焼もどし: QT）、③1273 K で焼入れ後、0.5%の予ひずみを加えた後、473 K で焼もどした試料（ストレイン・テンパリング: ST）、の3種類を準備し、296 から 573 K の異なる変形温度で引張試験を行い、機械的特性の変化を整理した。これらのうち、①から③の熱処理後のサンプルと、それぞれを 523 K で 7.2 ks 保持後水冷したサンプルの、計 6 種類を用いて中性子小角散乱実験を行った。小角散乱実験は、日本原子力研究開発機構 3 号炉（JRR-3）の中性子小角散乱装置（SANS-J-II）を使用した。中性子の照射領域は 10 mmφ であり、試料厚さは 1mm とした。測定時間は各検出機位置で 7.2 ks とした。

3. 結果及び考察

図 1 に、小角散乱実験で得られた散乱プロファイルの測定結果を示す。熱処理条件の違う 3 種類のサンプル、または、温度が 296, 523 K の結果で比較しても、測定結果に大きな違いは見られなかった。それぞれの測定結果を用いて、析出物（セメンタイト）の形状を球と仮定して体積率を計算したところ、いずれも約 2% という結果が得られた。つまり、今回のサンプルと変形温度では、セメンタイト体積率が小さいことから、機械的特性への影響もわずかであると推察される。我々は、3 種類のサンプルを用いて、J-PARC, BL-19/TAKUMI にて引張変形中のその場中性子回折実験を行った。ここでも、セメンタイト相のピークは確認できたが、その強度解析まで行うことはできなかった。これは、セメンタイト相のピークが小さかったために、強度の定量化は困難であったためと考えられる。

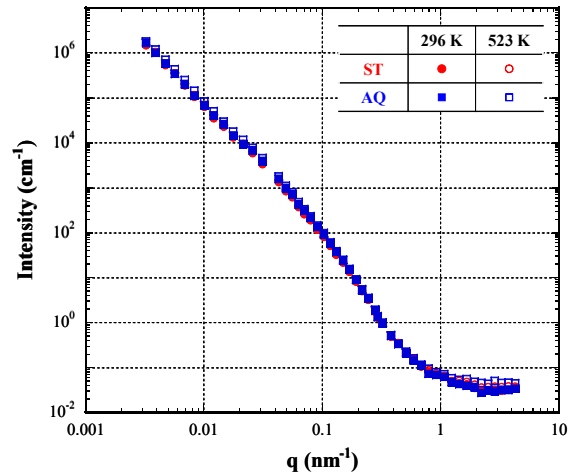


図 1 ST, AQ 材の小角散乱プロファイル。

以上のことから、今回の中性子小角散乱実験より、AQ, QT, ST の 3 種類のマルテンサイト鋼の変形挙動は、母相である bcc 相の変形挙動の観点から議論を行うことが好ましいことがわかった。一方で、マルテンサイト鋼におけるセメンタイト相の定量化については、不明な点が残されている。これらについてさらに検討を進めるためには、より高い焼もどし温度での熱処理を行うなど、セメンタイト相の影響が顕著に現れる条件でサンプルを準備する必要がある。より系統的なデータを得ることによって、目的となるセメンタイト粒子の定量化と機械的特性への影響について検討を行うことを計画している。

4. 引用(参照)文献等

- ・ Y. Su, S. Morooka, M. Ohnuma, J. Suzuki and Y. Tomota: *Metall. Mat. Trans. A*, **46** (2015), 1731.
<https://doi.org/10.1007/s11661-014-2737-8>
- ・ K. Ikeda, M. Ojima, Y. Tomota and J. Suzuki: *Tetsu-to-Hagane*, **96** (2010), 70. (in Japanese)
<https://doi.org/10.2355/tetsutohagane.96.70>