

材料の低温環境における引張変形挙動

Deformation behavior of structural materials at cryogenic temperatures

土屋佳則¹⁾ 小野嘉則¹⁾ 長村光造²⁾ 鈴木裕士³⁾

Yoshinori TSUCHIYA, Yoshinori ONO, Kozo OSAMURA, Hiroshi SUZUKI

¹⁾ 物材機構、²⁾ 応用科学研、³⁾ 原子力機構

低温環境で使用されるステンレス鋼や Ni 基超合金は高い強度、靱性が求められる。これらの合金は多相であったり、低温で応力誘起変態を起こすものがある。本課題では低温での材料の残留応力状態を評価する上で必要な低温での相分離と機械的性質を中性子回折により観察する。

キーワード：構造材料、応力誘起変態、極低温応力下中性子回折測定

1. 目的

液体水素タンクやロケット燃料ポンプなど、極低温の環境では経験的にオーステナイト(γ)系ステンレス鋼や Ni 基超合金が用いられる。これらの材料は高い強度、靱性を持ち、さらに長寿命であることが要求される。これらの材料は析出強化として組織的に第 2 相を析出させたり、低温で応力誘起変態を示し第 2 相が出現するなど、低温での利用のためには相間の応力状態を知る必要がある。これまで代表的な SUS304 などの γ ステンレス鋼の低温での機械特性評価として弾性定数の温度依存性を求めた例があるが[1]、低温の応力誘起変態との関係を直接評価した例は無く、弾性定数と応力誘起変態による第 2 相、第 3 相出現の関係は確認されていない。また、低温で変形させたあとの第 2 相の確認は室温でなければ出来ず[2]、変態後の温度による組織変化も不明であることからその場観察を実施することが課題であった。近年、JRR-3 に極低温での応力下中性子回折が可能となる設備が整備され、低温での応力誘起変態のその場観察が可能となっている[3]。この施設を利用して、本課題では SUS304 鋼について、極低温引張応力下で中性子回折により低温での応力による相変態のその場観察を試みることを目的とする。

2. 方法

SUS304L 鋼に引張応力を加え、応力誘起変態により母相(γ 相)中にイプシロンマルテンサイト(ϵ)相が出現することを中性子回折により観察する。平行部直径 3mm、平行部長さ 31mm の SUS304L 引張試験片を作製し、中性子回折試験料とした。中性子回折測定は残留応力測定用中性子回折装置 RESA/T2-1 により実施し、極低温での応力負荷のために、中性子回折用極低温応力負荷装置を併用した。応力は 10K で徐々に負荷し、回折ピークの強度により応力や温度と ϵ 相出現の相関を調べた。



図 1 SUS304L 鋼引張試験片

3. 研究成果

本課題では RESA/T2-1 を用いて主に ϵ (002)、 γ (111)、 γ (311)の回折を測定した。中性子線波長は 1.6 Å 前後に設定した。図 1 に応力負荷後の中性子回折スペクトルを示す。応力負荷前は γ 相単相であったものが、応力負荷により新たに ϵ 相が出現した。このスペクトルから、低温での応力負荷により SUS304L 鋼は少なくとも 2 相組織になることが確認された。 ϵ 相が出現したあと除荷し、いくつかの温度で中性子回折測定を実施し ϵ 相のピーク強度の温度依存性に関する情報を得た。

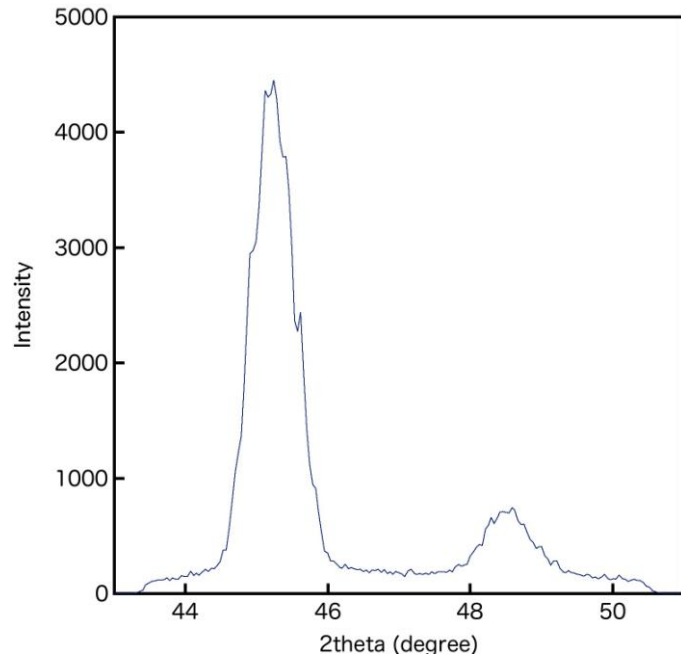


図 1 応力負荷後の SUS304L 鋼中性子回折スペクトル

4. 結論・考察

本研究では SUS304L 鋼の低温での応力誘起変態を引張応力下その場中性子回折により観察し、 ϵ 相の出現を確認した。これまでの応力誘起変態に関する報告では、低温で負荷した試料を室温まで昇温して各相の存在を評価しているが、本研究の結果は同合金に関して相分率の評価に対して温度変化を考慮することが重要であることを示唆している。

5. 引用(参照)文献等

- [1] H. M. Ledbetter, J. Appl. Phys., 52 (1981), 1587-1589.
- [2] T. Ogata, T. Yuri, Y. Ono, J. Cryo. Soc. Jpn., 42 (2007), 10-17.
- [3] Y. Tsuchiya, H. Suzuki, T. Umeno, S. Machiya, K. Osamura, Meas. Sci. Technol. Vol. 21 (2010) 025904.