

## 1. Introduction

多くの構造物を支えている鉄鋼材料は腐食環境に曝されることで、水素脆化して破壊することがある。構造用鉄鋼材料の脆化は安全性に直結するため、その予測や予防、メカニズム解明は産業的にも社会的にも極めて重要である。近年では、水素インフラを支えるため、耐水素材料の設計も求められる。構造用鉄鋼材料にはオーステナイト系ステンレス鋼や低合金 TRIP 鋼などの相変態を生ずる材料の適用が期待されている。しかし、水素添加された構造用鉄鋼材料が相変態すると、相変態した組織の界面で割れが発生し、水素脆化が顕著となることが報告[1-2]されている。また、構造用鉄鋼材料は水素添加されると相変態が促進されることが知られており、さらに、放射光 X 線回折によって、構造用鉄鋼材料は水素添加すると、水素添加していない場合には生成しない結晶相が新たに生成する[3]ことが明らかとなっているため、相変態は水素脆化メカニズム解明、および優れた耐水素脆化特性を有する新材料開発に重要な因子となっている。

本課題では、低合金 TRIP 鋼を引張その場中性子回折することによって、結晶構造に由来する水素脆化メカニズム解明を目指す。水素添加後の構造用鉄鋼材料の相変態挙動、および結晶相ごとの応力分布などを明らかにすることにより、構造用鉄鋼材料の水素脆化メカニズム解明が期待される。

[1] M. Koyama et al., Metallur. Mater. Trans. A, Vol. 47 (2016), pp 2656-2673

[2] A. Laureyset al., Materials Characterization, Vol. 112 (2016), 169-179

[3] M. Hatano et al., Philosophical Magazine Letters, Vol. 96 (2016), 220-227

## 2. Experiment

供試材には低合金 TRIP 鋼(0.2C-1.5Si-1.5Mn-1.0Cr-0.2Mo-Fe, mass%) を用いた。マルテンサイト変態開始温度  $M_s$  は  $420^{\circ}\text{C}$  である。オーステナイト域で  $900^{\circ}\text{C} \times 1200$  秒の焼鈍後、 $375^{\circ}\text{C} \times 1000$  秒の等温変態処理を行い、母相の  $\alpha$  相 (BCC)中に残留オーステナイト  $\gamma$  相 (FCC)を分散させた。中性子回折用の引張試験片は、 $\phi 8\text{mm}$  の丸棒から作製し、中性子が照射される平行部は  $\phi 4\text{mm} \times 30\text{mm}$  の形状にした。この引張試験片に、3% NaCl + 3g/L  $\text{NH}_4\text{SCN}$  の水溶液中で、電流密度  $1\text{A}/\text{m}^2 \times 96$  時間の条件で水素添加材を準備した。水素添加材は中性子回折測定の直前まで、液体窒素温度で冷凍保存した。

中性子回折測定は J-PARC MLF の BL20 iMATERIA で実施した。陽子ビームの出力は  $500\text{kW}$  であった。ビームライン専用の引張試験機を用いて、 $0.1\text{mm}/\text{分}$ の変形速度で試験片を引張りながら室温で中性子回折測定を測定した。中性子回折は、引張試験中において、120 秒間隔で時間積算した多バンクデータを用いた。集合組織の影響を含むプロファイルフィットが可能な解析ソフト MAUD を使用して、 $\alpha\text{-Fe}$  と  $\gamma\text{-Fe}$  の 2 相の相分率と残留応力を求めた。

## 3. Results

中性子回折実験中に得られた引張試験と中性子回折より得られた  $\alpha\text{-Fe}$  相の応力の結果を図 1 に示す。水素無添加材が 3500 秒程で破断したのに対し、水素添加材は 2400 秒程で破断した。鋼材への水素添加による水素脆化の特徴が観察された。引張試験の応力と中性子回折の応力を比較すると、水素無添加材では最大引張強さ付近まで 2 つの値はおおよそ一致していた。一方で、水素添加材では、降伏応力(実

験時間 800 秒) 付近まで一致し、それ以後は中性子回折の応力はわずかに小さかった。図 2 に  $\gamma$  相の相分率を示す。ひずみ付与していない初期値の  $\gamma$  相分率にやや水素添加有無で違いがみられているが、ひずみ誘起で変態する  $\gamma$ -Fe 相の相分率の変化量についてはほとんど同じ傾向であった。

#### 4. Conclusion

水素添加した TRIP 鋼を用いて、引張その場中性子回折測定を試みた。応力挙動に水素添加による影響が示唆される結果が得られた。今後、さらに水素添加による相変態の影響を考察するために、転位性状や集合組織を解析する予定である。また、ひずみ付与中の相分率や  $\gamma$ -Fe 相の応力の解析精度は不十分であり、積算時間を増やして時間分解能を下げ、計数を上げることなどの検討も試す予定である。

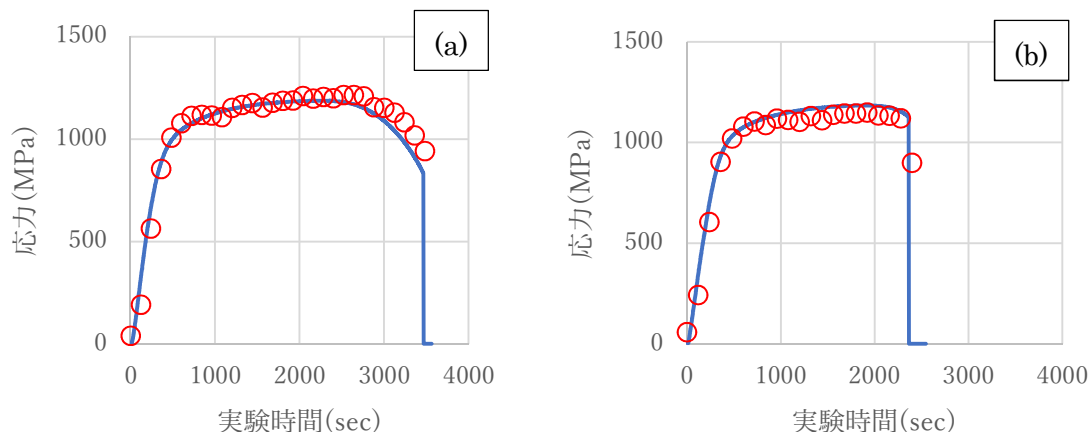


図 1 応力と実験時間の関係図。(a)水素無添加材、(b)水素添加材。実線が引張試験結果、赤丸が中性子回折より得られた応力結果。

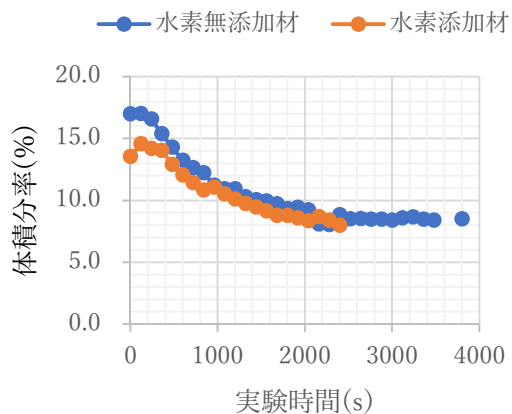


図 2 引張試験中の  $\gamma$  相の相分率の時間変化