

残留  $\gamma$  制御を通じた Ni 鋼の液化水素貯槽用材料としての適合性

Applicability Study for Ni steel for Liquefied Hydrogen Storage Tank Materials by Controlling Residual  $\gamma$

学籍番号 03-210902 長谷川 優  
指導教員 川端 友弥

(2023 年 2 月 2 日提出)

Keywords: Ni 鋼, 極低温, TRIP 鋼, 破壊靱性, ミクロ組織

### 1. 序論

カーボンニュートラル実現にむけた取り組みが官民間わがず行われているなかで、2017 年日本政府は世界初の水素に関する国家戦略を策定した。

水素社会実現に向けてのインフラ整備の中で、水素貯蔵に関してはタンクの大型化が必要不可欠である。大型水素貯蔵タンクの候補材としては現在 SUS316L といったオーステナイト系ステンレスが有力となっている。ただ Ni の高騰など影響も踏まえ、価格の低い Ni 鋼の使用可否も議論されている。

本研究の目的は、大型液化水素貯蔵タンクへの Ni 鋼の適用可否を検討することである。LNG タンクなどの極低温貯蔵の鋼材として実績のある 9%Ni 鋼に関して、その低温破壊靱性に関与する因子を微細組織観察などにより調査することにした。

### 2. 実験

本研究では、すでに二度の焼き入れ焼き戻し工程を踏んだ 9%Ni 鋼に対して、Table1 にある通り 5 種類の異なる熱処理を行った試験片に対してそれぞれ極低温 (液体窒素下) での引張試験・圧縮試験による予歪み付与と、3 面シャルピー衝撃試験を行い破壊靱性や、極低温での微細構造 (主に  $\gamma$  相) の変化を観察した。Table2 に衝撃試験の結果を示す。

### 3. 解析

実験によって予歪みを加えた試験片の微細構造がどう変化したかを XRD 回析と EBSD 観察によって解析した。

#### 3.1 XRD 回析

予歪みを加えない状態の試験片を回析した結果が Table3 の通りである。この結果より  $\gamma$  量が一定量ある C,D,E に関してより観察することにした。

歪みを加えたときの  $\gamma$  量の推移は Fig.4 の通りであり、靱性値の低い D では歪みに対して多くの  $\gamma$  が減少している。すなわち D は  $\gamma$  が不安定であることがわかる。

#### 3.2 EBSD 解析

それぞれの試験片の微細構造を調査するため、EBSD による観察を行った。粒界角  $3^\circ$  ごとにそれぞれの粒界長さの割合を計測したところ、どの Mark であっても  $42\sim 45^\circ$  の粒界角の割合が減少しているためこの角度にもっとも力が集中することが考えられる。そしてこの角度帯に分布する  $\gamma$  が減少していた。このことから応力を集中的に受けたであろう、この角度 ( $39\sim 45^\circ$ ) に分布していた  $\gamma$  が最初に変態していることが分かる。また  $\gamma$  の分布だけでは応力が集中しているか不確かなため、ひずみを測定した KAM map と比較したところ、KAM の値の高い大きな歪みが生じている場所のほとんどが粒界角度  $39^\circ\sim 45^\circ$  の分布と一致する。したがって  $45^\circ$  付近の粒界割合の減少はこの部分に応力が集中していることが原因であり、それによりこの粒界に分布する  $\gamma$  は変態していると分かる。

#### 3.3 まとめ

微細組織解析したデータの関係性を考察し以下の結果が得られた。

オーステナイトの安定性が破壊靱性値に大きな影響を与える。(Fig.5)

オーステナイト安定性は  $\gamma$  相中の炭素濃度が重要な因子となる。(Fig.6)

Table1 Heat treatment condition

Mark	Heat Treatment
A	As
B	820WQ-550T(空冷)
C	820WQ-600T(空冷)
D	820WQ-650T(空冷)
E	820WQ-670WQ-600T(空冷)

Table2 Three-slit Charpy impact test results

Mark	Absorbed energy(J)
A	15.90
B	22.43
C	28.77
D	10.96
E	34.25

Table3 amount of retained austenite

Mark	Amount of $\gamma$ (%)
A	0.23
B	0.45
C	6.02
D	8.16
E	19.62

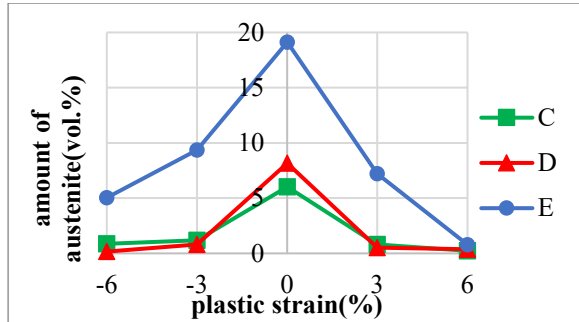


Fig.4 Change in austenite content with distortion

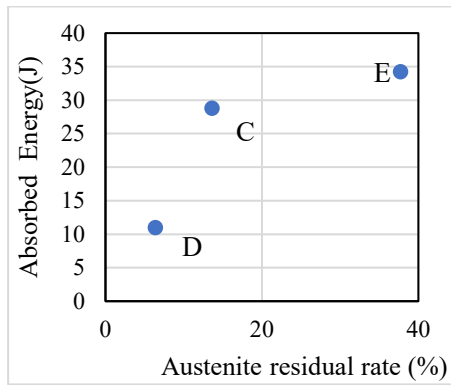


Fig.5 Relationship between austenite residual rate and absorbed energy

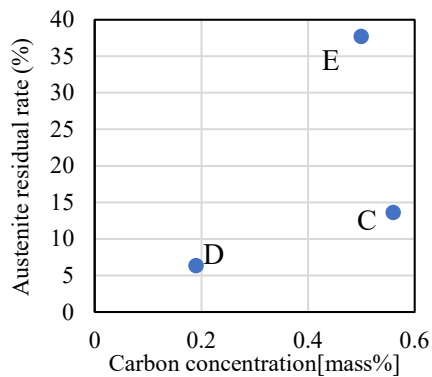


Fig.6 Relationship between Austenite stability and Carbon concentration

### 3. 9%Ni 鋼簡易モデル

Fig.4 にある通り 9%Ni は引張圧縮で変態量に大きな差はない。これはオーステナイト系ステンレスとは異なる特徴である。そこで9%Ni 鋼とオーステナイト系ステンレスの簡易モデルを提案する。Fig.7(a),(b)のようなモデルは、それぞれマルテンサイトとオーステナイトが孤立して存在していると想定した。変態の際の膨張方向、変態す

る体積量を仮定してそれぞれ計算し、どちらのモデルでも変態前後の歪みエネルギーを比べ変態後のエネルギーの方が低い場合は変態が起こると仮定した。Fig.8(a),(b)にそれぞれ変態量とその変態に必要な歪み量の関係性を示した。この結果はこれまでの先行研究[1]と非常に似ていることからこのモデルは適切であると考えられる。

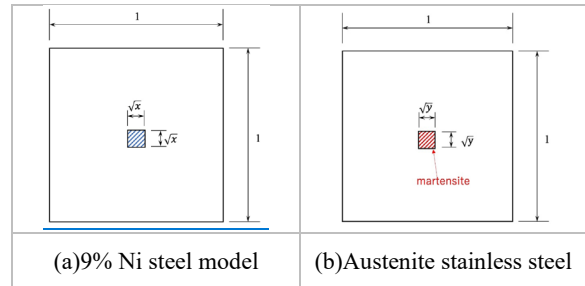


Fig.7 Simplify diagram of each steel

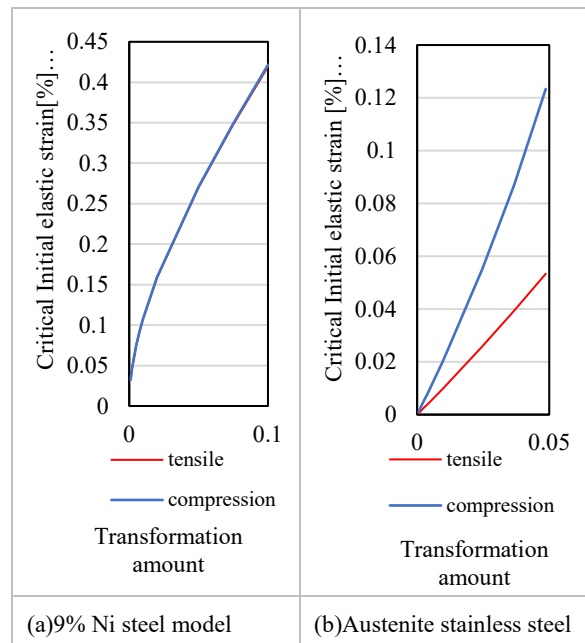


Fig.8 Comparison of Transformations in Tension and Compression with each steel

### 4. まとめ

9%Ni 鋼の使用可否に関しては変態の簡単なモデル化だけでなく水素脆化など様々な因子を考慮する必要があり、本研究をその第一歩としていきたい。

### 参考文献

[1]諸星璃月:卒業論文,東京大学(2022年)