

**溶接管理技術者の体験紹介****ステンレスクラッド鋼製圧力容器  
異材継手の品質確保**三井化学株式会社  
前 田 亨

化学プラント向けステンレスクラッド鋼製圧力容器（反応器）を、2012年に海外ベンダーで製作した。

その際、溶接管理技術者として、ノズルと胴及び鏡の異材溶接継手の品質確保に特に留意したので以下に、その内容を報告する。

**1. 圧力容器の概要**

製作した圧力容器の仕様を以下に示す。

- ・形状 縦型円筒
- ・適用規格 ASME SEC.VIII DIV.1
- ・設計圧力／温度 4.5MPa／200℃
- ・寸法 内径 5,000mm／T.L.長 5,000mm
- ・材質及び板厚 SA516 Gr.70（炭素鋼）：97mm／ 304LSS（特殊低炭素仕様\*）：4mm  
（胴、鏡） 爆着クラッド
- ・鏡板形状 2:1 半楕円（上下鏡板共）
- ・付属品 攪拌機、外部コイル等

\* 当圧力容器は胴、鏡が厚肉であるため PWHT を実施する必要があるが、その際の鋭敏化を防ぐため低炭素品を使用した。

**2. 圧力容器製作に当たっての課題**

当初、溶接線削減の目的で製造可能寸法が大きい圧延クラッド材の使用を予定していたが、納期上の事由により爆着材を採用することとなった。

また、この反応器のノズルは当初、SA105（炭素鋼）鍛造品とし胴、鏡への取付け後、内面に309L及び308Lワイヤを使用した肉盛溶接を行う予定であった。しかし、これも主に納期上の事由によりステンレス鋼製一体鍛造ノズルを使用することとなった。

このノズルを使用すると取付部（図1の“B”）は炭素鋼とステンレス鋼の異材溶接継手となる。

過去に他社で設備の試運転中に、当該箇所異材溶接継手に生じた割れを起点として容器が破裂した事例も有るため、この異材溶接部の品質確保（＝割れの防止）が最も重要な課題と判断した。

なお、使用条件（圧力と温度の絶対値及び変動）が厳しいため、所謂ストリップ（ルーズ）ライニングの採用は見送った。

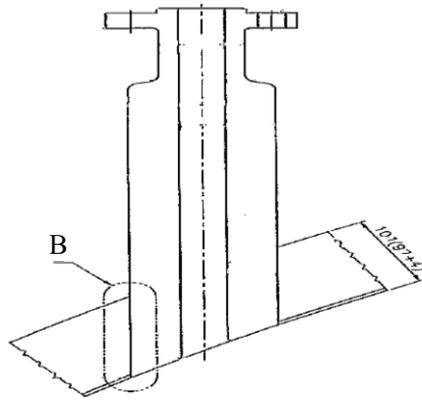


図1 ノズル取付部

### 3. 異材溶接部における割れの防止対策

さて圧力容器の製作時、今回の様な異材溶接部に高い確率で割れが発生することが、経験的に知られており、今回の反応器の様な厚肉の胴・鏡へのノズル取り付け部では特に問題となる。

そもそも、なぜ割れが発生するのか？

関係者及び有識者からの情報や意見交換を基に、この割れは主に次の3つの要因が複合して発生した水素割れと判断した。

- 1) 溶接金属中に生成される拡散性水素
- 2) 異材溶接金属に生成される、硬く脆いマルテンサイト相
- 3) 拘束により発生する溶接残留応力

図2にシェフラーの状態図を示す。溶加材 309L（ステンレス鋼）が母材 SA516 Gr.70（炭素鋼）により大きく希釈されると、Ni 当量及び Cr 当量が共に低下し、図から溶接金属の結晶構造がマルテンサイト相に変化することが分かる。

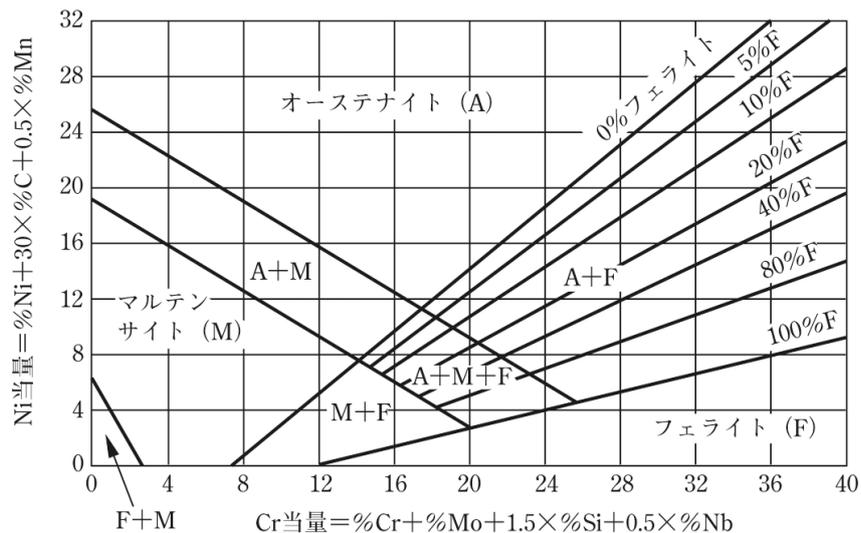


図2 シェフラーの状態図

以上の三つの要因の相乗効果により、異材溶接境界部のマルテンサイト相で拡散性水素と高い残留応力によって、割れが引き起こされたと推定した。

この対策として、関係者で協議のうえ次の基本方針で、製作に臨むこととした。

- 1) 異材溶接境界部のマルテンサイト相の生成を極力、抑える溶接方法を採用する。
- 2) 拡散性水素の生成を極力、抑える溶接方法・条件を採用する。
- 3) 生成した拡散性水素を溶接金属から放出させる操作を実施する。
- 4) 適宜、NDT（非破壊検査）を実施し割れの有無を確認する。
- 5) 万一、NDT で割れを発見できなかった場合でも、反応器が致命的な破壊に至らない様に溶接部が、十分なじん性を持つ溶接方法を採用する。

#### 4. ノズルと胴及び鏡の異材溶接

上記方針に従い今回、採用したのが次の製作手順である。

- ① 胴・鏡（炭素鋼）部の開先加工（一次加工） ⇒
  - ② 開先部にバタリング（TIG/309L ワイヤー） ⇒
  - ③ バタリング部の脱水素処理 ⇒
  - ④ 開先加工（仕上加工） ⇒
  - ⑤ 開先検査（寸法及びPT検査） ⇒
  - ⑥ ノズル（ステンレス鋼製一体鍛造品）の仮付け ⇒
  - ⑦ ルートパス溶接（TIG/308L ワイヤー） ⇒
  - ⑧ 溶接部のPT検査 ⇒
  - ⑨ 最終層迄の溶接（MIG/308L ワイヤー） ⇒
  - ⑩ 溶接部のPT、RT及びUT検査※
- ※ 適用可能な継手にはRTとUTの両方を適用

手順⑨でMAGではなく、コスト的に不利なMIG（シールドガス：Ar）を敢えて採用したのは、溶接部の、じん性及び強度上の優位性を評価したためである。

なお適宜、PMI（発光分光法及び蛍光X線法を併用）を実施し、母材及びワイヤーの材質、不純物（特に炭素）量、溶接部の希釈率の確認を行なった。また管理面では、海外ベンダーでの製作であることを考慮し、材料検査～製作～検査の期間、製作の指導・確認のための製作指導員、検査のための検査員各1名を常駐させたほか、弊社社員も1回/月以上、ベンダー工場に立ち入り、確実に指定した手順で反応器の製作を実施するように指導した。

ノズルと胴及び鏡の異材溶接部の概要を図3に示す。



図3 製作中の圧力容器

## 5. まとめ

過去に前述の対策を取らず、炭素鋼の胴や鏡に 304L 等のステンレス鋼製ノズルを取り付けた複数の事例では、数%のノズルに NDT で割れが発見され、当該ノズルを補修している。

今回の製作では、過去の事例より NDT の適用を増やしたものの、本製作方法を採用した 52 個のノズルに全く割れは発見されず、他の理由で補修を要したノズルも皆無であった。

このことから、前述の割れの発生原因の推定は正しく、今回、採用した製作方法は有効だったと、判断している。

### <略歴>

#### 前田 亨（まえだ とおる） 溶接管理技術者特別級

- 
- 1987年 九州工業大学 工学部 機械工学科 卒業
  - 1989年 九州大学 工学研究科 機械工学専攻 修了
  - 1989年 三井石油化学工業株式会社（現 三井化学株式会社） 入社  
千葉工場 配属
  - 2013年 ウレタン事業本部 JS プロジェクト エンジニアリングマネージャー
  - 2015年 エンジニアリング部 3BF プロジェクト プロジェクトマネージャー  
現在に至る