

高圧水素用ステンレス鋼配管の溶接技術の開発

1. はじめに

経済産業省は、水素・燃料電池戦略ロードマップ（2014年6月策定、2016年3月改訂）に基づき、“水素社会”の実現に向けた取組みを進めている。なかでも二酸化炭素の排出削減などの効果を狙ったFCV（燃料電池自動車）の普及拡大に向けて、2020年度までに160ヵ所の商用水素ステーションの整備を目指している。このFCVは長距離走行を実現するため、70MPa級の高圧水素タンクを搭載している。このような背景から水素を高圧力で圧縮してタンクに充填できる水素ステーションが必要になる。現在、ステーションで使用されている継手（コーン&スレッド継手）は、振動などによる水素漏洩が発生する可能性がある。そこで、継手部を全て溶接で施工することで漏洩を防ぎ、安全性・信頼性の向上を図ることができる。ただし、現在使用されているSUS316L（Ni当量 $\geq 28.5\%$ ）では、70MPa級の高圧水素環境下で用いる装置の大型化が避けられない。このような課題を解決するために新日鐵住金株式会社殿、日鉄住金ステンレス鋼管株式会社殿が開発した、耐水素脆化特性に優れ、高強度、かつ溶接性に優れた高圧水素用ステンレス鋼（以下、HRX19[®]という）を用いて当社で溶接施工法の開発を行った。以下にその結果を報告する。

2. HRX19[®]の特徴

従来使用されているSUS316Lと比較したHRX19[®]の特徴を表1に示す。HRX19[®]は、高圧水素ガス環境下での耐水素脆性、および常温から高温までの広い温度範囲での高強度を有し、溶接施工性に優れた材料である。

表1 HRX19[®]の特徴¹⁾

性能	メリット	材料仕様	SUS316L		HRX19 [®]
			溶体化熱処理	冷間加工	溶体化熱処理
耐水素脆性	低温、高温水素中で脆化リスク払拭	Ni当量 $\geq 28.5\%$	○	○	◎
高強度	薄肉設計が可能となり小型化、軽量化	TS $\geq 800\text{MPa}$	×	△	○
溶接施工	継手部の信頼性向上	溶接継手TS $\geq 800\text{MPa}$	×	×	○

3. 溶接技術の開発

3.1 溶接機

図1に開発に使用したノンフィラー自動ティグ溶接機、表2にその仕様を示す。タングステン電極と母材との隙間が均一であり、高温に耐える溶接ヘッド、かつ連続的に溶接可能な水冷式のクローズドチャンバータイプの自動ティグ溶接機である。

3.2 供試材

供試材はHRX19[®]を用いた。配管サイズは、外径12.7mm、肉厚2.7mmとした。溶接材料はYS309Moとした。表3に供試材、表4に溶接材料の化学成分、表5に供試材の引張特性を示す。

3.3 溶接条件

溶接方法は以下の2種類とした。

- ①溶接材料を使用せずに自動ティグ溶接を行う方法（以下、ノンフィラー溶接という）
- ②ノンフィラー溶接を行った後、そのうえに手動溶接で溶接材料を使用して余盛を設ける方法（以下、ノンフィラー溶接+手動溶接という）

表6および表7にそれぞれの溶接条件を示す。いずれの方法でも開先形状は図2に示すI形開先とした。

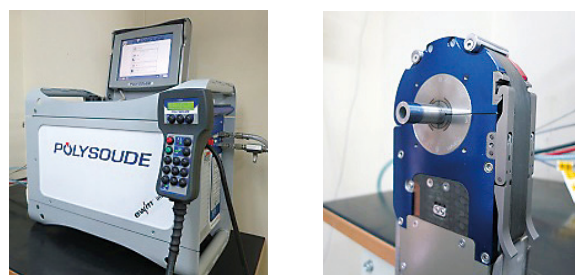


図1 ノンフィラー自動ティグ溶接機

表2 溶接機の仕様

項目	仕様
メーカー	Polysoude S.A.S
日本総代理店	独逸機械貿易㈱
電源形式	P4
ヘッド形式	MW40
適用配管サイズ	6~40mm

表3 供試材の化学成分

[mass%]

材料	サイズ	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N	V	NB
HRX19 [®]	OD12.7mm-2.7mm	0.012	0.35	5.23	0.016	0.000	13.1	22.0	2.17	0.32	0.20	0.20
	Ni equivalent=34.89 (12.6C+0.35Si+1.05Mn+Ni+0.65Cr+0.98Mo)											

表4 溶接材料の化学成分

[mass%]

材料	サイズ	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N	Cu
YS309Mo	φ 1.2mm	0.11	0.42	2.31	0.012	<0.001	13.56	23.12	2.20	-	0.03
	Ni equivalent=33.95 (12.6C+0.35Si+1.05Mn+Ni+0.65Cr+0.98Mo)										

表5 供試材の引張特性

材料	サイズ	降伏応力 [N/mm ²]	引張応力 [N/mm ²]	伸び [%]
HRX19 [®]	OD12.7mm 2.7mm	682	878	43

表6 ノンフィラー溶接

項 目	条 件
溶接方法	ノンフィラー溶接
開先形状	I 形
電流極性	直流棒マイナス
溶接電流	60A 以下
溶接姿勢	水平固定管
溶加材	なし
トーチシールド	Ar + 数%N ₂
バックシールド	100%N ₂
パス間温度	常温
入熱	≤6,000J/cm

表7 ノンフィラー溶接+手動溶接

項 目	条 件
溶接方法	ノンフィラー溶接+手動溶接（余盛）
開先形状	I 形
電流極性	直流棒マイナス
溶接電流	60A 以下
溶接姿勢	水平固定管+水平回転（手動溶接）
溶加材	YS309Mo
トーチシールド	Ar + 数%N ₂
バックシールド	100%N ₂
パス間温度	常温
入熱	≤6,000J/cm

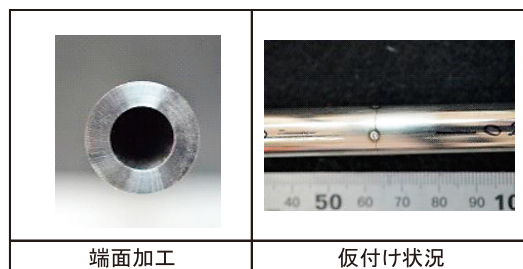


図2 開先状況

HRX19[®]の溶接施工で最も重要なのは、溶接継手部の引張強度800MPa以上を満足しなければならないことであり、溶接入熱（J/cm）の管理が重要視される。また、溶接継手部の高強度を狙う目的で、トーチシールドにはアルゴンガスにN₂を数%、バックシールドには純N₂を用いた。

水素ステーションの高圧水素環境下で使用する溶接継手は高い安全性と信頼性が要求される。当社は半導体製造用の高純度ガス配管の溶接に取り組んできたことから、溶接部内面（裏なみ）の平滑性および溶接スケールの付着しない酸化フリーの要求を満足するノンフィラー溶接の技術を担保しており、HRX19[®]の溶接においてもこの技術を導入した。薄肉管の溶接では管内部のシールドガスにより管壁に負荷される圧力のコントロールが重要であるため、溶接を行う前に図3に示すような溶接箇所継手を挿入して配管ごとの内圧の基準値を差圧計で確認する内圧コントロールを行った。

3.4 溶接継手部の評価

溶接継手部の機械的性質の評価は、高圧ガス保安法で溶接施工法の確認試験方法として適用されるJIS B 8285「圧力容器の溶接施工方法の確認試験」に則って行った。

3.5 結果

3.5.1 溶接部の外観および断面マクロ

図4、図5にノンフィラー溶接の外観写真および断面マクロ写真を示す。表面ビード幅（L）は、図4に示すように

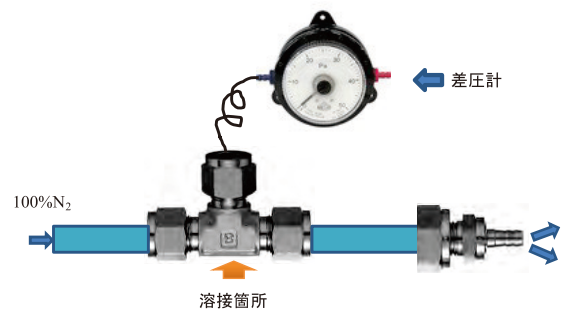


図3 内圧コントロール

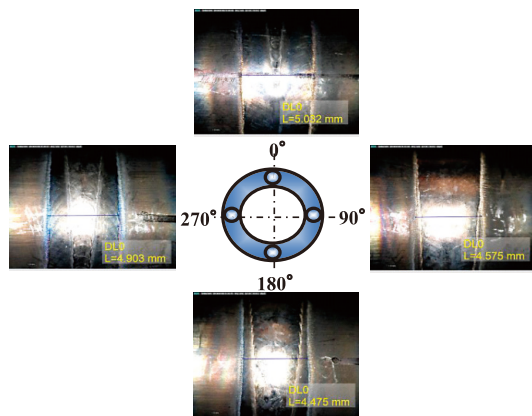


図4 溶接部の外観写真

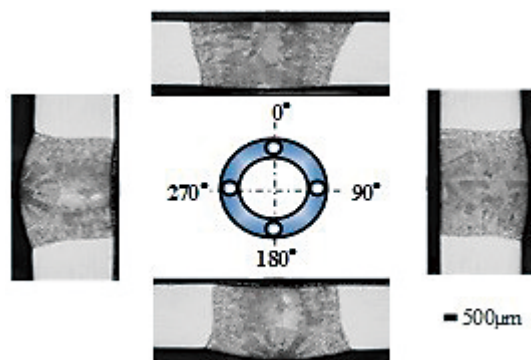


図5 断面マクロ写真

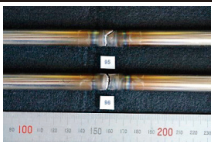
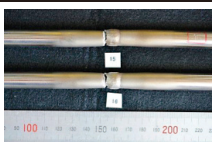
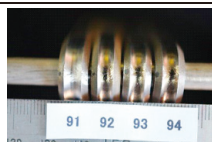
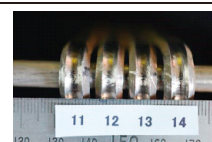
ノンフィラー溶接	ノンフィラー+手動溶接
	
引張試験	引張試験
	
裏曲げ試験	裏曲げ試験

図6 機械試験の結果

全体的に5mm程度であった。また、図5に示すように表面ビードの高さが母材表面以上であることを施工法上の管理基準として定めた。

3.5.2 機械的性質

図6に機械試験の結果を示す。ノンフィラー溶接による溶接継手の引張試験では、溶接金属部で破断した。また、ノンフィラー溶接+手動溶接による溶接継手の引張試験では、熱影響部で破断した。いずれの溶接方法でも溶接継手の引張強さは規格値の800MPa以上を満足した。また、曲げ試験については、裏曲げ試験を行い、全て無欠陥で合格した。

4. おわりに

今回、HRX19[®]の溶接施工法の開発を行い、高圧ガス保安協会殿の委託検査を受け、5件の溶接施工方法の確認試験記録（PQR）が承認された。今後、水素ステーションの配管工事のニーズに繋がってきたい。

篠原 誠（技術本部 企画開発部）

小出 鷹史（技術本部 企画開発部）

参考文献

- 1) 浄徳佳奈, 中村潤, 小薄孝裕, 大村朋彦, 平田弘征: 高圧水素用高強度ステンレス鋼HRX19[®]の溶接性, 新日鉄住金技報第409号, pp.40-46 (2017)