

水素社会実現に向けた、高品質かつ合理的な高圧水素溶接

一体構造部品製造技術の研究開発（第2報）

宮川和幸・佐野正明・阿部治・石田正文・深澤郷平・早川亮・古屋雅章
新藤淳*¹・中村博*¹・榎本光司*¹・込山匡*¹・船木 C 祐二郎*¹・瀬尾祝之*¹・庄司友幸*¹

Research and Development on Manufacturing Technology for High Quality and Reasonable Welded Monolithic Parts for High Pressure Hydrogen for the Realization of Hydrogen Society (2nd Report)

Wako MIYAGAWA, Masaaki SANNO, Osamu ABE, Masafumi ISHIDA, Kyohei FUKASAWA, Ryo HAYAKAWA, Masaaki FURUYA, Atsushi SHINDO*¹, Hiroshi NAKAMURA*¹, Koji ENOMOTO*¹, Tadashi KOMIYAMA*¹, Yujiro Cristiano FUNAKI*¹, Noriyuki SEO*¹ and Tomoyuki SHOJI*¹

要 約

水素ステーションの普及には高品質かつ低価格な配管締結法が求められている。本研究開発では、高圧水素配管用自動溶接装置を開発し、溶接構造を採用した部品のサブモジュール化を進める。これにより、信頼性を低下させることなく水素ステーションの設置費用を低減可能とし、水素社会を実現するためのインフラ整備を加速することを目的とした。本年度は、Ni 当量が 28.5 以上の SUS316 で高圧水素配管用溶接を行う際、複数層溶接においてスケール除去の有無が溶接部に及ぼす影響について調査した。その結果、溶接金属部の硬度変化に差異が生じたが、組織を観察した限りでは大きな相違は見られなかった。また、社会情勢の変化等により材料の入手性も変化してきたことを受けて、溶接対象とする鋼種の見直しを行った。その結果、材料費を考慮しても小型・軽量化が可能となる HRX19[®]の優位性が明らかとなったため、今後は本材料を用いて溶接条件の検討ならびにサブモジュールの製作を行っていくこととした。

1. 緒 言

燃料電池自動車の普及には水素ステーションのさらなる設置が必要であることは明らかであるが、現行の水素ステーションが有する問題点として、

- ①設置費用が高額（4～6 億円）
- ②継手の信頼性が低く、点検に要する時間が長大であることによる稼働率の低下等が挙げられる。

設置費用が高額化している原因の一つとして、配管結合に要する部品（継手）が高額（10 万程度）であることも一因である。一カ所の水素ステーションに機械式継手が 500 個以上使用される例もあり、コスト低減に関する要望は大きい。また、水素の圧力が 70 MPa 以上となっており、高品質かつ低価格な配管締結法が求められている。本研究開発では、高圧水素配管用自動溶接装置を開発し、溶接構造を採用した部品のサ

ブモジュール化を進める。これにより、信頼性を低下させることなく水素ステーションの設置費用を低減可能とし、水素社会を実現するためのインフラ整備を加速することを目指す。

2. 技術動向および研究の内容

2-1 スケール除去と溶接品質との関連

昨年度は肉厚 5 mm の SUS316L を用いて突き合わせ溶接を行い、裏波の形状に着目した。自動溶接装置が完成するまでの期間は手でトーチを保持して溶接を行った。この際、1 層目の溶接が終了した後にスケール除去を行い、2 層目の溶接を実施していた。しかし、自動溶接装置による溶接では、1 層終了時のスケール除去は手溶接時と比較して作業が繁雑になるため、作業効率の低下を招く。また、自動溶接装置を用いて溶接する場合、多層溶接が必要となる場合も出てくると思われるが、1 層ごとに 1 パスで溶接する加工法よりも、複数

*¹ 藤精機株式会社

層を1パスで溶接する加工法を採用することが多いと思われる。そこで、2層の溶接において、1層目終了後にスケール除去を行った場合と行わない場合について比較を行った。使用した材料は高Ni当量材のSUS316であり、溶加材はYS308およびYS309Moの2種類を用いた。SUS316のNi当量値は28.5である。溶接終了後に溶接部を切断し、エメリー紙およびバフを用いて仕上げた後、10%シュウ酸を用いて電解研磨した。その後、組織観察を行うとともに母材部、熱影響部、1層目、2層目についてマイクロビッカース硬度測定を行った。使用した機器はMVK-G3500AT（アカシ株式会社製）である。測定荷重は0.245 N（25 g）とした。

2-2 高圧力配管に使用する材料に関する検討

本研究開発において、昨年度はNi当量材ではない一般材のSUS316（L）材を用いた。当時から水素関連製品におけるNi当量材の優位性は承知していたが、価格が一般材の10倍以上である上、納期も3ヶ月程度を要する状況であり、溶接試験片に用いることができなかった。その後、入手性はやや改善されたが、コスト面についてはさほど変化はなかった。水素ステーションに使用可能な鋼種については制限があり、一般高圧ガス保安規則関係例示基準に示された材料を使用することとなっている。しかしながら、海外において設置されている水素ステーションと比較して厳しい基準であり、緩和が求められている。

2015年に新日鐵住金（現日本製鉄）が高圧水素用ステンレス鋼HRX19[®]を発表した。これはNi当量32以上のオーステナイト系ステンレス鋼であり、優れた耐水素脆性を有している。また、HRX19[®]は優れた溶接性を有しており、近年注目されている材料である。本年度はSUS316Ni当量材とHRX19[®]を比較し、今後の使用材料に関する検討を行った。

2-3 HRX19[®]を用いたサブモジュールの試作

本年度は少量ではあるが入手することができたため、溶接部の健全性の検討およびサブモジュールの試作を行った。使用したHRX19[®]は外径12.7 mm、肉厚3.1 mmである。本材料を用いて、昨年度開発した高品質自動溶接装置HAWSを用いて突き合わせ溶接を行った。溶接した試験片については、X線CTを用いて内部欠陥の有無を測定した。X線CTによる測定は、昨年と同様に研究開発法人 産業技術総合研究所 計量標準総合センター工学計測標準研究部門 幾何標準研究グループと協力して行った。使用した装置は、X Dimensus300S（株式会社島津製作所製）である。測定条件を表1に示す。

また、HRX19[®]を用いてサブモジュールの試作を行った。サブモジュールの形状については、複数の水素ステ

ーションを見学した際に観察した配管形状を参考とし、HAWSの仕様およびアドバイザーからの助言を参考に決定した。

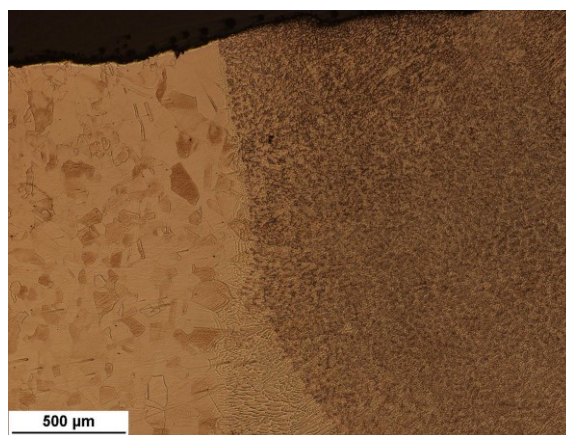
表1 測定時装置パラメータ設定

管電圧	225 kV
管電流	250 μ A
露光時間	1.6 s
メタルフィルタ	Cu
ビュー数	600
ボクセルサイズ	19.9 μ m
スライス数	550 または 500

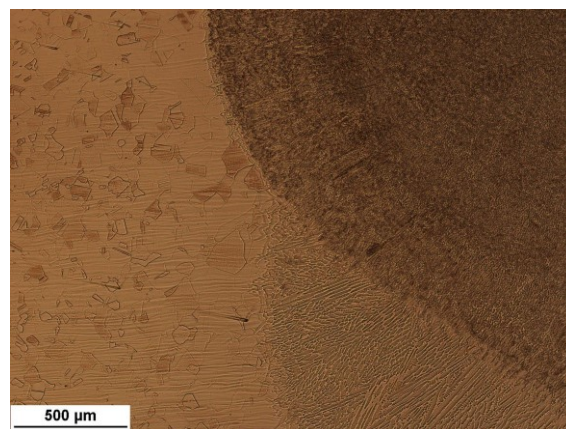
3. 結果および考察

3-1 スケール除去の有無による溶接部の品質

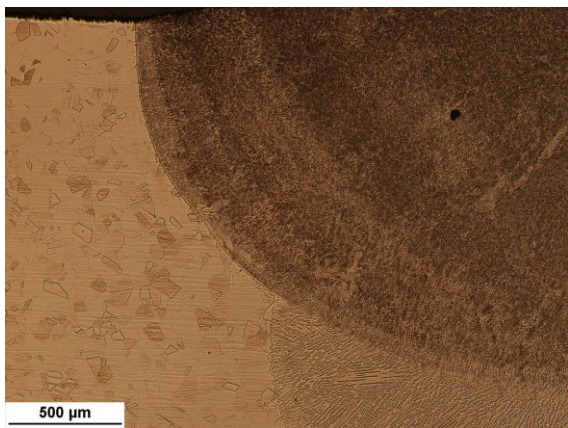
図2に(a)YS308、スケール除去あり、(b)YS308、スケール除去なし、(c)YS309Mo、スケール除去ありの3種類の溶接部組織を示す。母材は全てNi当量28.5のSUS316である。また、母材部、熱影響部、1層目、2層目についてマイクロビッカース硬度を測定した結果を図2に示す。



(a) YS308, スケール除去あり



(b) YS308, スケール除去なし



(c) YS309Mo, スケール除去あり

図1 溶接部 (母材, 1層目, 2層目)

組織写真を見る限りでは、熱影響部の結晶粒はやや粗大化し、1層目、2層目は铸造組織となっており、通常の溶接部に見られる形態である。また、結晶粒の大きさや金属組織の形状、析出物などに関して際だった差異は見当たらない。

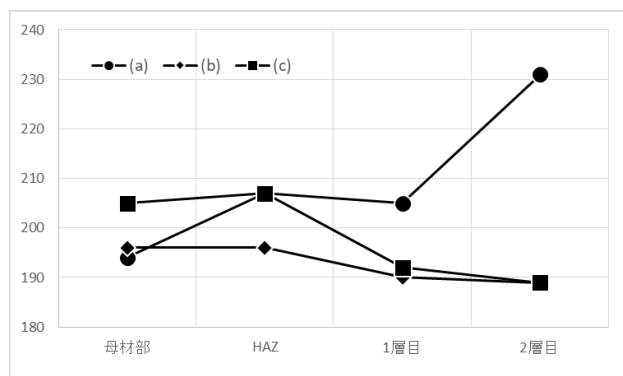


図2 硬度測定結果

硬度測定の結果、(b)、(c)は母材部と比較すると HAZ において硬度はやや上昇し、溶接金属部ではやや低下するという傾向を示している。それに対して、(a)は1層目までは同様な傾向を示しているが、2層目において硬度が 20 程度上昇するという、やや異なった傾向を示した。

オーステナイト系ステンレス鋼の場合、溶接部部品を継続的に使用する際、考慮すべきものとして応力腐食割れ等の腐食による強度低下が挙げられる。発生には、材料、引張応力および塩化物イオンの存在の 3 条件を満たすことが必要となるが、本研究開発において目指す用途（水素ステーション等）においては、塩化物イオン雰囲気は考えにくく、腐食による急激な強度低下は考えにくい。従って、まずは接合強度が重要となる。(a)と(b)、(b)と(c)を比較した場合、スケール除去を行わなかった結果(b)が(a)、(c)と異なる傾向を示して

いるとは考えにくい。

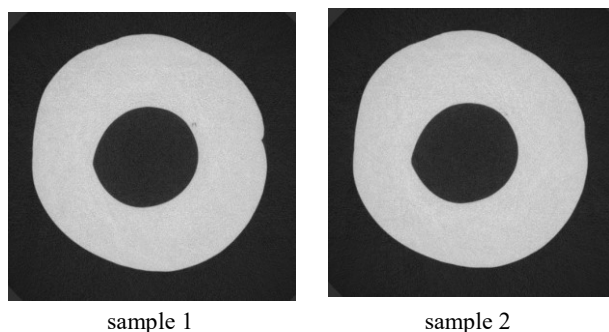
ステンレス鋼は溶接時の熱影響によって溶接スケールを生成し褐色から紫色を呈するが、この部分の耐食性、特に塩化物水溶液中での孔食や隙間腐食などの局部腐食に対する耐食性が劣化することが知られている^リ。しかし、スケールが最表面に存在し、Cr 欠乏層から耐食性が低下する、という状態とは異なっていること、自動溶接機多層溶接を行う場合、各層終了後にスケール除去のため研磨工程を入れる、というのは作業効率の低下を招くこと、等を総合的に考慮すると、多層溶接を自動機で行う場合、途中のスケール除去はさほど重要ではないと考えられる。

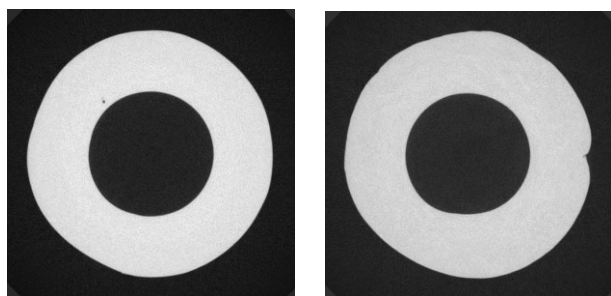
3-2 今後の使用材料に関する検討結果

2-2 で述べたとおり、近年 HRX19[®]に関する注目度が高まってきている。従来、水素ステーションにおける配管の締結にはコーンアンドスレッド継手が用いられてきた。しかしながら、振動や熱応力により締結能力が低下する傾向があり、また、増し締めの際に他端が緩みやすいため施工に熟練が必要であるといわれている。このような状況から、溶接施工による代替が強く要望されており、高压配管用材料においても優れた溶接性が求められてきている。また、HRX19[®]は従来使用されていた SUS316 (L) と比較して 1.5 倍の硬度を有することから、同等強度の配管を 40%薄肉化することが可能となる。また、生産にあたり使用材料のコストは重要であり、試算すると厚肉の SUS316Ni 当量材を購入するよりも、薄肉の HRX19[®]を購入することで、溶接時間の縮小による低コスト化も期待できることが明らかとなった。その後、ある程度入手性も改善されてきたことから、今後の展開を考慮して本研究開発においては、HRX19[®]を用いて溶接配管の作成を行っていくこととした。また、併せて、他の水素配管用素材についても情報収集を継続していくこととした。

3-3 サブモジュールの作成結果

HRX19[®]を用いて突合せ溶接を行い、X 線 CT を用いて内部欠陥の調査を行った。X 線 CT による測定結果の一部を図 3 に示す。





sample 3

sample 4

図3 X線CTによる測定結果の一部

試料にもよるが、内部に微小な欠陥が存在するものや溶接終端部に外径側にくぼみを有する試料等も見受けられた。これらの結果から、溶接条件を選定し、立体配管サブモジュールの試作を行った。試作品を図4に示す。



図4 試作したサブモジュール

試作品の大きさは約400×400×400 mmである。これにより、HRX19[®]を用いた作成に係るノウハウの蓄積を行うことができた。今後はより大型の立体配管モジュールの試作を行う予定である。

5. 結 言

高圧水素配管用自動溶接装置を開発し、溶接構造を採用した部品のサブモジュール化を進めることを目的として、本年度は以下の項目について調査、検討を行った。

- 1 自動溶接装置を用いて多層溶接を行う場合、1層目終了後のスケール除去は行わなくても溶接部に及ぼす影響は大きくないと思われる。
- 2 今後の使用材料に関して、SUS316Ni 当量材とHRX19[®]について比較した。その結果、今後はHRX19[®]を用いて溶接配管の作成を行っていくこととした。
- 3 HRX19[®]を用いて、400×400×400程度の立体配管モジュールを試作した。

本研究は経済産業省の戦略的基盤技術高度化支援事業に採択されて実施したものである。

※HRX19[®]は日本製鉄の商標である。

謝辞

X線CTでの計測にあたり、ご指導いただいた研究開発法人 産業技術総合研究所 計量標準総合センター 工学計測標準研究部門 幾何標準研究グループ 阿部誠グループ長に感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 東茂樹, 幸英昭, 村山順一郎, 工藤赳夫: ステンレス鋼の耐食性に及ぼす溶接スケールの影響, 防食技術, Vol.39, pp.603 (1990)