137 ステンレス鋼管ろう付圧接部の組織と強度および耐食性

Microstructure, Strength and Corrosion Resistance of Braze Pressure Welded Joint of Stainless Steel Pipe.

正 鈴木暁男 (東工大) ○学 吉居和哉 (東工大)
正 池庄司敏孝 (東工大) 正 山崎敬久 (東工大)

Akio Suzumura, Kazuya Yoshii, Toshi-Taka Ikeshoji, Takahisa Yamazaki,
Tokyo Institute of Technology, 12-1, O-okayama 2-Chome, Meguro-Ku, Tokyo

The braze pressure welding (BPW) of the austenitic stainless pipe is conducted under the various joining condition with various filler metal; two Fe-based filler metals, four Ni-based filler metals and their mixture are used. With CR3B Fe-based filler metal, the metallographic observation and the elemental analysis reveal the formation of sound joint. This joint has the enough tensile strength demanded for the commercial standard. The distribution of Cr around the joint interface is not uniform, which might lower the corrosion resistance. The mixture of filler metals forms the residual layer in the joint interface which weakens the joint. The higher joining pressure and the uniformity of the temperature distribution around the joint interface contribute to the formation of sound joint. The usage of Fe-based filler metal with richer Cr and Mo as minor element and the higher joining pressure is considered to provide the better condition.

Key Words : Braze Pressure Welding, solid state joining, filler metal, tensile strength, stress relaxing

1. はじめに

建築現場におけるガスや、給湯等の配管の接合に用いられる接合法として、アーク溶接やフランジ接合がある。アーク溶接においては近年、自動化がすすんでいる一方で、作業性の求められる建築現場など自動化が困難な場合は、現在でも溶接工による手溶接が必要とされている。しかし、溶接工の熟練度によって継手性能にばらつきが生じやすいにもかかわらず、熟練工の高齢化や若者の現場離れが進み溶接工の数が絶対的に不足している。

フランジ接合においても、フランジは別材料、別加工のためコスト高や作業性の低下を招いたり、配管設置場所に比較的大きな空間を必要とする、すき間腐食が発生しやすいなどの問題を抱えている。これらの問題を解決する新しい接合法としてろう付け圧接法 (BPW) ⁽¹⁾⁽²⁾が開発された。本報告では、配管用ステンレス鋼管への BPW 適用性を検討した。

2. BPW の概念

BPW の接合機構を Fig.1 に示す。高温になり溶融したインサートメタルが接合部の酸化膜を分解、除去し、同時に軸方向加圧により接合部から排出され、清浄な接合面同士が接触するため小さな加圧で固相接合が進行する。排出されたインサートメタルは目違い部にフィレットを形成し、応力集中を緩和する。加熱は接合条件をプログラム化し高周波誘導加熱を用いる。酸化防止はフラックスシート (セラミックシートにろう付用フラックスを塗布させたもの) を用いる。BPW は高精度、短時間、低コストなどのほか、作業による品質のばらつきを小さく出来る利点を持つ。 ⁽¹⁾⁽²⁾

3. 研究目的

従来、配管用鋼管としては塩ビライニング鋼管が用いられてきたが、リサイクルが困難なことから環境問題の対応としてリサイクル可能なステンレス鋼管の需要が高まっている。そこで本研究では様々な組成のインサートメタルを用いてステンレス鋼管の BPW を行い、接合部の特性を明らかにし、実用化への指針を示す。

4. 供試材及び実験手順

接合母材は、小径ステンレス鋼管 SUS304 (外径: ϕ 13.8mm、肉厚: 2.0mm)、大径ステンレス鋼管 SUS304 (外径: ϕ 139.8mm、肉厚: 2.0mm) である。母材の接合面を研磨し、バインダを用いてインサートメタルを挿入する。酸化防止はフラックスシートを用いる。使用したインサートメタルを Table1 にまとめる。IM①は BNi-2 に Ni 粉末を、IM②は Cr-3B に Cr 粉末を、IM③は BNi-5 と Cr-3B を混ぜ合わせ

Fig.1 Illustration of the General Idea of BPW⁽¹⁾⁽²⁾

Table 1 Chemical composition of interlayer metals for BPW joining (mass%)

	Interlayer	B	Si	C	P	Cr	Mo	Ni	Fe	Solidus	Liquidus
Ni based filler	NiC51	-	-	-	10	25	-	Bal.	-	880	950
	IM①	1.7	2.6	-	-	4	-	Bal.	1.7	-	1200
	BNi-2	2.75-3.50	4.0-5.0	<0.06	<0.02	6.0-8.0	-	Bal.	2.5-3.5	970	1000
	BNi-5	<0.03	10	<0.10	<0.02	18-19.5	-	Bal.	-	1080	1135
Fe based filler	CR3B	3.11	1.25	0.09	0.013	13.08	0.99	0.15	Bal.	1203	1219
	IM②	2.86	1.15	0.08	0.012	20	0.9	0.14	Bal.	-	1200
Mixed filler	IM③	1.57	5.63	0.1	0.017	16	0.5	35.5	40.6	-	<1200

たものである。組織観察、SEM、EPMA 等を用いて評価した。

5. 実験結果及び考察

5-1 小径ステンレス鋼管を用いた接合

接合条件は接合温度:1300℃、昇温時間:60s、保持時間:15s、加圧力:15MPa とした。最も良好な接合が行われた Fe 基の CR3B を用いて接合した試験片の断面組織、線分析、点分析結果を Fig.2 に示す。接合界面の成分はほぼ母材と変わらず元素の偏析もみられないことから、接合は等温凝固もしくは、圧接によって行われ、クラックの起こる可能性の少ない良好な接合部であると言える。フィレット部の成分をみると、Cr 含有量が母材より低く、またバインダ成分の C と結合し Cr 炭化物として残留している可能性もあり、フィレット部の耐

Fig.2 Joint welded with Cr-3B

食性は母材より劣ると考えられる。

Ni 基ろう材を用いた接合では、インサートメタル中の P が母材へ拡散し、接合部付近の母材融点が下がり、接合温度において溶融し、フィレット部へ押し出されていた。接合界面には Fe、Cr、Ni が存在し、一部の Cr は Ni に固溶した状態で残っていたため、接合部は単純な母材同士での固相接合では無いと見られる。Cr が接合界面に残留したこと、Cr 炭化物を形成している可能性があることからフィレット部の耐食性は低下していると考えられる。

IM③を用いた接合では、接合界面に、Ni、Si の偏析が見られた。これはインサートメタルが接合部に残留したためである。二種類のろう材を混ぜ合わせても、成分に偏りが出てしまい、均一な組成とはならず、部分的に機械的特性の違った継手が出来てしまう可能性があることが分かった。

IM①及びIM②のように金属粉末との混合ろう材を用いた接合では、接合界面にインサートメタルが大量に残留した。これは相互拡散がおきずに、融点が接合温度より高い金属粉末が、溶融することなく接合界面に残ったためと見られる。このような場合、継手強度は一般にろう層厚さに依存するため、固相接合が行われた場合より劣る。

5-2 大径ステンレス鋼管を用いた接合

実用ステンレス鋼管を用いて、様々な実験条件で接合を行った。各試験片の接合条件を Table2、組織写真を Fig.3 に示す。なお、表中の A,B,C は A: 温度計測部、B: 低温度部、C: ろう材多部、a,b は a: 通常フラックス量、b: フラックス增量である。

Fig.3 において、Ni 基の BNi-2 を用いた②を見るとインサートメタルが接合界面に残留しているのに対し、Fe 基の Cr-3B を用いた⑥はインサートメタルが押し出されており、接合界面では固相接合が行われている。CR3B の場合融点が高く接合温度も高くなるため、インサートメタルと母材の溶解により、接合部の均質化が進んでいる。

①と②を比較し加圧力による影響を調べると、加圧力の高い①のほうが接合界面の残留ろうの、ろう層厚さが薄いことが分かる。接合界面にインサートメタルが残留してしまった場合、継手強度はろう層厚さが薄いほど強くなる。拡張現象を考えると、加圧にも限界があるが、できるだけ大きな加圧で接合を行うことで、継手強度が高くなることが分かった。

②と⑤の比較からフラックス量による影響を調べた結果では、両者の接合性の違いは分からなかった。しかしながら、フラックス量を多くすることによって、接合部にフラックスが満たされやすくなり、フィレットの形成を促進すると考えられる。

②と③を比較し温度による影響を調べた結果では、③の方がろう層厚さが厚いことが分かる。これは温度むらにより、温度の低い場所ではインサートメタルが溶融しなかったた

Table 2 Joining condition

Specimen	Observed Area	Joining Temperature (°C)	Heating Time (s)	Holding Time (s)	Joining Pressure (MPa)	Interlayer Metals	Flux Sheet		
①	A	1100	120	120	10	BNi-2	a		
②					6				
③	B								
④	C								
⑤		1250				Cr-3B	b		
⑥	A						a

Fig.3 Joint of specimen ①~⑥

めとみられる。

②と④を比較しインサートメタル量による影響を調べたが接合性の違いを見出すことは出来なかった。しかしながら、インサートメタルが不足している場所では、目違い部にフィレットを形成できずに、応力集中につながってしまう可能性があると考えられる。

6. 結論

[1]母材とほぼ同量の Cr、Ni を含有し、Mo を少量含み、B,Si の含有量を出来るだけ減らし、高融点にした Fe 基ろう材を用いることで、最も良好な接合が行えると考えられる。

[2]大径ステンレス鋼管を用いた場合、接合温度のむらにより、部分的にインサートメタルが溶解しないこと、接合圧力によって、残留インサートメタルのろう層厚さが変わることが明らかになった。接合界面の温度むらを無くすために、コイルの構造改善、コイルと管との隙間を広げる、発振電源を大きくするなどの必要があると考えられる。

参考文献

(1)Akio Suzumura, Toshi-Taka Ikeshoji, Yohei Inagaki, and Yasuhiro Ueno

Braze Pressure Welding (BPW) -A New Method for High Quality Pressure Welding JSME International Journal 46 3 208-212 2003

(2)Yohei INAGAKI, Akio SUZUMURA, Toshi-Taka IKESHOJI, and Takahisa YAMAZAKI

Cleaning effect of interlayer metal on the joining surface during Braze

Pressure Welding, JSME Intl. J. Series A 48 4 413-419 2005