516 配管用鋼管の高周波ろう付圧接におけるフィレット形成効果の解析

The analysis of the fillet formation effects in the braze-pressure-welding of general steel pipes with high frequency induction heating

正 鈴村 暁男 (東京工業大学大学院)   ○ 准 稲垣 洋平 (東京工業大学大学院)

正 池庄 司敏孝 (東京工業大学大学院)   正 山崎 敬久 (東京工業大学大学院)

Akio SUZUMURA, Yohei INAGAKI, Toshitaka IKESHOJI, Takahisa YAMAZAKI,

Graduate School of Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 O-okayama, Meguro-ku, Tokyo

The Braze-Pressure-Welding with induction heating (BPW) has been developed as a new welding method for joining ordinary steel pipes. In the BPW, a brazing filler interlaid between the mating surfaces melts at the joining temperature, then it is discharged from the joining interface by the welding pressure. The base metals are pressure-welded to each other, and the fillets are formed around the joining area by the discharged filler metals. In the previous papers, it was confirmed that the fillets made only at the outer side of joint area of pipes could relax the stress concentration by finite element analysis. In this paper, it was revealed that the even small fillets made at the both sides of joint area of pipes can relax the stress concentration, and that the fillet transfers the maximum stress site from the edge of the joining interface to the touching point of the fillet and the base material.

Key Words: Braze Pressure Welding, Stress Concentration, Experimental Stress Analysis, Finite Element Method

1. はじめに

一般配管用鋼管のろう付圧接法 (BPW) とは接合界面に低融点のインサートメタルを挿入し、加熱溶融させながら被接合材を加圧し、母材同士を圧接する固相接合技術である。本接合法での接合温度は母材の融点以下でありアーク溶接等の溶融接合に比べ低く、また接合圧力も一般の圧接に比べ低い。そのため接合に伴う変形量の少ない優れた寸法精度を有した継手を得られる。溶融したインサートメタルは接合面のクリーニングメタルとして作用し、接合圧力により接合面から継手外周部へ排出される。⁽¹⁾

一般配管用鋼管は比較的大きな寸法許容差を有し継手接合部に目違いを形成しやすい性質がある。一般にこの目違い部には応力集中が生じ、その応力集中は継手強度の低下につながる。BPW で接合界面から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する。これまでの報告⁽²⁾で鋼管外側の接合目違い部に形成されたフィレットはその部分の応力集中を緩和し、継手強度を向上させることが確認された。本報告ではさらに鋼管接合部の外側に加えて内側にもフィレットが形成された場合の応力状態に対して数値解析を行ない、フィレットの成形箇所や形状による応力集中の緩和効果を検討した。

2. 数値解析方法

有限要素法によりフィレットの形成場所やフィレットの形状による目違い部での応力状態を数値的に解析した。計算対象は外径および内径の異なる 2 本の管を接続した継手で、接合部の内側と外側には目違いを形成させた。接合部の継手効率率は 1 である。目違い部付近には曲率半径の異なるフィレットを形成させた。曲率半径は 0.5, 1.25, 2.50, 4.25, 9.25mm とした。フィレットの材質は管と同質とした。物性定数を Table.1 に示す。境界条件は一端を軸方向にのみ固定し、他端に 100MPa の引張り応力を付加した。数値計算には汎用構造数値計算ソフト Patran/Abaqus を用いた。

3. 結果および考察

Fig.1 にフィレットが形成された目違い部における von Mises の等価応力分布を示す。フィレットの曲率半径 R はそれぞれ (a) 0.5mm, (b) 9.25mm である。

図中に示された値は接合部付近の最大応力であるが、曲率半径により応力集中の緩和効果に違いが見られる。

Table.2 にフィレット曲率半径と管の内、外側での最大応力を示す。また曲率半径と応力集中の緩和効果の関係を Fig.2 に示す。縦軸は応力集中係数、横軸は曲率半径であ

る。応力集中係数は管の外側接合部付近の最大応力を引張り応力で除して無次元化した値である。■印は管の内外側の目違い部にフィレットを形成した場合、●印は外側の目違いにのみフィレットを形成した場合である。

これまでの研究からフィレットを形成しない場合、接合部付近で約 300MPa の応力集中が発生することが解析的に示されている。⁽³⁾ 本解析においてはフィレットの形成によりその最大応力が 1/2 から 1/3 に小さくなっている。さらに Fig.2 から最大応力は曲率半径と反比例の関係にあり、またフィレットが管の内と外側に形成された条件の方が応力集中係数が小さくなっている。これはフィレットの形成された接合部付近の形状によるものと考えられる。

本解析では Fig.3 に示すようにフィレットにより最大応力の発生位置が接合界面から離れる傾向がみられた。

以上の解析結果からフィレットは継手強度の増加に大いに寄与するものと考えられる。

4. まとめ

BPW 継手は接合部にフィレットを形成することで、目違い部の応力集中が緩和されることが解析的に示された。接合部の応力集中はフィレットの曲率半径に反比例して軽減され、フィレットを管の外側にのみ形成した場合に比べて、内側および外側に形成することで応力集中の緩和効果は向上した。フィレットの形成により接合部の最大応力の発生位置が接合界面から遠ざかり、フィレットによる接合部の応力集中の緩和と応力発生位置の分散により BPW 継手の継手強度が増すことが示された。

参考文献

- (1) Akio SUZUMURA, Yohei INAGAKI, Toshi-Taka IKESHOJI, and Yasuhiro UENO: Braze Pressure Welding(B.P.W.)-A New Method for High Quality Pressure Welding, JSME International Journal, Series A, vol.46, 2003, 208-212
- (2) 鈴木暁男, 池庄司敏孝, 稲垣洋平, 上野泰弘: 配管用鋼管の高周波ろう付圧接におけるフィレットの形成と効果, 溶接学会全国大会講演概要, 第 71 集 (2002-9), 310-311
- (3) 鈴木暁男, 池庄司敏孝, 稲垣洋平, 持田健, 上野泰弘: 鋼管の高周波ろう付圧接部分におけるろう材の挙動と効果, 日本機械学会 第 9 回機械材料・材料加工技術講演論文集, No.01-26 (2001-11), 303-304

Table.1 Material properties of analysis object

Young's Modulus	E=211.3 (GPa)	Yield stress	$\sigma_Y=333.1$ (MPa)
Poisson's ratio	$\nu=0.293$	Rupture stress	$\sigma_R=499.7$ (MPa)

Table.2 The maxum stress due to the radius of fillet

Maximum Stress (MPa)	Radius of fillet (mm)				
	0.50	1.25	2.50	4.25	9.25
Internal	219.0	188.3	164.0	146.6	126.0
External	226.8	189.1	163.9	147.5	129.7

Fig.1 The element division used for the analysis and von Mises' equivalent stress contour plots around the step in the joint with fillet, whose radius of (a) is 0.5mm, (b) is 0.925mm

Fig.2 Relation between radius and stress concentration factor

Fig.3 Site transfer of maximum stress by fillet