

オーステナイト系ステンレス鋼の多層溶接部における 溶接直後急冷による残留応力改善技術の開発

Development of Residual Stress Improvement Technology for Multi-Layer Welded Joint
of Austenitic Stainless Steel Using Rapid Cooling During Welding

(株) 日立製作所 材料研究所 柳田 信義 Nobuyoshi YANAGIDA
(株) 日立製作所 日立事業所 小出 宏夫 Hiroo KOIDE

To reduce tensile residual stress in a welded region, we developed a new welding method that applies a water-shower behind the welding torch. To verify the effects of the method, specimens welded with or without water shower cooling were manufactured. Residual stresses of the specimens were experimentally measured. It was found that tensile residual stresses were generated on the surface of the welds and those were reduced in the case that the water-shower was applied. These measurement results agree well with the FEM analyses. It can therefore be concluded that the water-shower cooling during welding is appropriate for reducing tensile residual stress in austenitic stainless steel welding.

Keywords: Multi-Layer Welded Joint, Residual stress, Finite Element Method, Stress Corrosion Cracking

1. 緒言

オーステナイト系ステンレス鋼の溶接部では、引張残留応力、材料の鋭敏化および腐食環境が重畳して応力腐食割れが発生することがある。オーステナイト系ステンレス鋼溶接部の健全性を確保するために、応力腐食割れの発生を抑制することは重要である。著者らは、残留応力を改善して応力腐食割れの発生を抑制するという観点から、溶接直後に高温状態の溶接部表面を急冷し、溶接部表面の引張残留応力を低減する方法について検討してきた。これまでに、ビードオンプレートを対象とした解析および実験より、引張残留応力を効率良く低減するための最適施工条件を求め、その妥当性を確認した[1],[2]。ところで、実機の溶接は、ビードオンプレートではなく多層溶接が用いられる場合がほとんどである。それゆえ、応力腐食割れ発生の抑制を目的とした、開発手法の実機への適用においては、ビードオンプレートで検討した方法および最適施工条件が、実機が多層溶接でも効果があることを確認しておく必要がある。そこで、本研究では、開発手法の多層溶接に対する有効性について検討した。

2. 検討条件

本研究で取扱う溶接方法は、Fig. 1 に示すように、最

連絡先: 柳田信義、〒317-8511 茨城県日立市幸町
3-1-1、(株)日立製作所 材料研究所、電話: 0294-
52-5111、e-mail: noyanagi@gm.hrl.hitachi.co.jp

終層の施工の際に、トーチからの入熱により溶けた溶接金属が凝固した直後にその表面を水冷却し、溶接部表面に圧縮残留応力を付与するものである。

本研究では、オーステナイト系ステンレス鋼の平板にV型溝を設け、それに積層する場合について検討した。Table 1 に検討した施工条件を示す。最終パスにおいて、周囲の空気冷却される場合(Case A)および水冷却の場合(Case B)を検討の対象とし、残留応力を有限要素法により解析した。また、検証実験として試験体を製作し、ひずみゲージ法により残留応力を測定して、解析結果の妥当性を確認した。

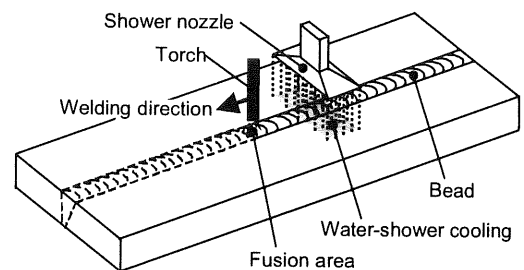


Fig. 1 Schematic of the developed welding method

Table 1 Heat input and cooling conditions

	1st~11th pass		12th pass	
	Heat input (kJ/cm)	Cooling	Heat input (kJ/cm)	Cooling
Case A	12	Ambient	20	Ambient
Case B	12	Ambient	20	Shower

3. 残留応力解析

有限要素法を用いて温度および残留応力を解析した。解析では、試験体形状の対称性を考慮して 1/2 の領域をモデル化した。Fig. 2 に最終パス施工中の温度分布を等高線図で示す。Case A では、入熱領域が通過した後表面は 200°C 以上になった。一方、Case B では表面付近は急冷され、入熱領域の後方の溶接部表面の温度は 100°C 以下になった。Fig. 3 に解析により得られた溶接線平行方向の残留応力を等高線図で示す。Case A では、溶接部は 200 MPa 以上の引張応力になった。一方、Case B では、溶接部表面では、絶対値が 100 MPa 以上の圧縮応力になった。以上の結果から、溶接部表面の残留応力は、最終パスにおける水冷却により、圧縮応力に改善できることが確認できた。

4. 検証実験

解析結果の妥当性を検証することを目的として、Table 1 に示す二つの条件の試験体をそれぞれ製作して、ひずみゲージ法による残留応力の測定を行った。

Fig. 4 に溶接部表面における溶接線平行方向応力の解析結果と実験結果の比較を示す。解析結果と実験結果は良好に一致した。実験結果は、解析結果と同様に、周囲の空気冷却される Case A では溶接部とその近傍の残留応力は引張応力になった。一方、最終パスで水冷却を行う Case B では圧縮応力になり、急冷により引張残留応力が低減できることが確認できた。

5. 結言

溶接中のトーチ後方を急冷する溶接方法を多層溶接の最終パスに適用することにより、溶接部表面に圧縮残留応力を付与できることを確認した。本方法の適用により、オーステナイト系ステンレス鋼溶接部における応力腐食割れ発生の抑制が期待できる。

参考文献

- [1] 柳田信義、ほか 2 名、“SUS316L ステンレス鋼の溶接残留応力に及ぼす溶接後表面急冷の影響”、日本機械学会 関東支部第 7 期総会講演会 講演論文集、東京、2001、pp.383-384.
- [2] 柳田信義、ほか 3 名、“水急冷による引張残留応力低減溶接方法の施工条件の最適化”、日本機械学会 関東支部第 9 期総会講演会 講演論文集、横浜、2003、pp.459-460.

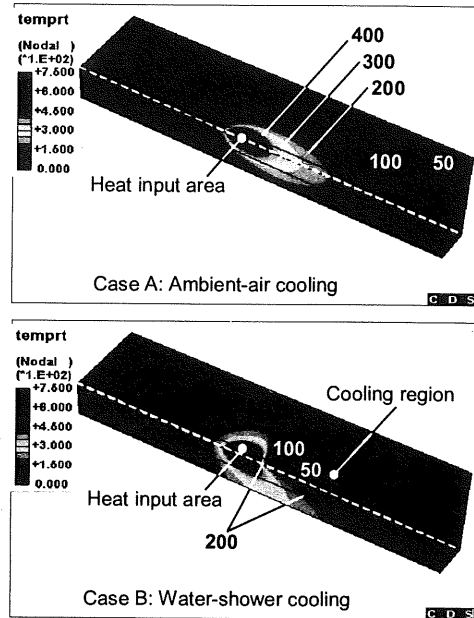


Fig. 2 Contour line of temperature at the final pass

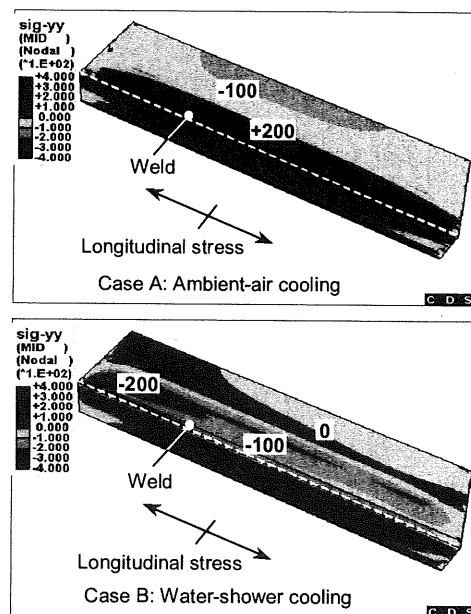


Fig. 3 Contour line of longitudinal stress

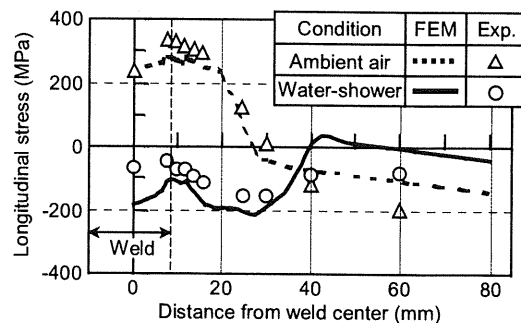


Fig. 4 Comparison between analytical and experimental data