

低炭素マルテンサイト系ステンレス鋼溶接熱影響部の Cr 欠乏層の定量解析

仲道 治郎 NAKAMICHI Haruhiko JFE スチール スチール研究所 分析・物性研究部 主任研究員(副課長)・工博
 野呂 寿人 NORO Hirotaka JFE スチール スチール研究所 分析・物性研究部 主任研究員(副部長)・P.D.
 宮田由紀夫 MIYATA Yuki JFE スチール スチール研究所 鋼管・鋳物研究部 主任研究員(課長)

要旨

低炭素マルテンサイト系ステンレス鋼の溶接熱影響部 (HAZ) で見つかった新しいタイプの粒界応力腐食割れ (IGSCC) の要因を明らかにするため, この鋼のナノ構造を解析した。亀裂は炭化物が列状に形成された旧オーステナイト粒界に沿って伝播していることが明らかになった。HAZ 粒界の Cr 欠乏層を STEM-EDX (Scanning Transmission Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray) 分析で調査し, この分析結果から Cr 欠乏層の形態を明らかにした。特定の環境下では幅 10~15 nm の Cr 欠乏層によってマルテンサイト系ステンレス鋼の HAZ に IGSCC が発生すると結論した。

Abstract

Low-carbon martensitic stainless steel (SUS304) intergranular stress corrosion cracking (IGSCC) was investigated in the heat-affected zone (HAZ) of a welded joint. The crack propagation was observed along the grain boundary of the old austenite phase. The Cr-depleted layer at the grain boundary was analyzed by scanning transmission electron microscopy with energy-dispersive X-ray (STEM-EDX) analysis. From the analysis results, the morphology of the Cr-depleted layer was clarified. It was concluded that IGSCC occurs in the HAZ of low-carbon martensitic stainless steel under specific conditions, where the width of the Cr-depleted layer is about 10–15 nm.

1. はじめに

低炭素マルテンサイト系ステンレス鋼は, 1990 年代後半からラインパイプに使用されており, 工業的にも高い信頼を得ている^{1,2)}。腐食環境にあるステンレス鋼では, 材料の組成や熱履歴に起因して, 使用中に亀裂が発生することがある。そのような亀裂の一つである粒界応力腐食割れ (IGSCC) については, これまで数多くの研究がなされており, その発生要因の一つが, 粒界での Cr 炭化物形成にともなう Cr 欠乏層であることが分かっている³⁾。多くの研究例がある SUS304 に代表されるオーステナイト系ステンレス鋼では, 炭素濃度を下げることによってこの IGSCC を防止できることも分

かっている⁴⁾。

低炭素マルテンサイト系ステンレス鋼では, SUS304 であれば溶接熱影響部 (HAZ) で IGSCC が生じない約 0.01 wt% という極めて低い炭素濃度に抑えられている。

そのため, 長い間, 本材料では IGSCC が発生しないと考えられてきたが, 近年, 本材料でも HAZ で IGSCC の発生が認められるようになってきた⁵⁾。この新しいタイプの IGSCC は特定の応力腐食試験条件の下でも観察されている^{6,7)}。この IGSCC の発生要因を明らかにすることは, 本材料を安全に使用する上で大変重要である。

低炭素マルテンサイト系ステンレス鋼の粒界上に Cr が欠乏した点を検出した例がこれまでに数件報告されている^{7,8)}。しかし, これらの報告では, Cr 欠乏層の幅や Cr 濃度の低下といった形態がほとんど明らかにされていない。マルテンサイト系ステンレス鋼では, Cr 炭化物の溶解度積が小さく, Cr の拡散係数が大きいことから, オーステナイト系ステンレス鋼よりも Cr 欠乏層の幅が小さく, その評価

2007 年 4 月 24 日受付
 論文提出中
 Na a, H; Sa, K; M, a, Y; K, a, K; Ma a, a, K. Q a, a, a, a, C, FE-TEM.

的に示したものである。ここで、 $I_{Cr}(x)$ は点 x での入射電子の強度分布を表している。

EDX 分析した点 x での測定 Cr 濃度 ($C_{Cr}(x)$) は、以下の式のように電子ビーム

