

薄肉低炭素ステンレス鋼鋼管の冷間曲げ加工後の硝酸環境における耐食性

Corrosion Resistance in Nitric Acid Environments
of Cold Bent Thin Wall Tubular of Low Carbon Stainless Steel住友金属工業(株)鋼管製造所
鋼管技術部
日揮(株)岡本 弘*・古堅宗勝
池永慶章
佐藤健二・笹野 林・五十嵐幹夫

1. 緒言

各種寸法、材質の配管を必要とするプラントの建設において、従来の溶接施工を必要とするエルボ継手に比較して、曲げ加工した管を使用することは施工費の低減、工期の短縮に有効である。しかし低炭素オーステナイト系ステンレス鋼管の冷間曲げ加工部の耐食性についての報告は少ないため、冷間曲げ管のプラント配管への適用は今後の課題として残されていた。今回、薄肉鋼管を小さい曲げ半径で加工する技術を確立し、その冷間曲げ加工部の硝酸環境での耐食性について調査した。本報では、その耐食性能について直管部と比較して報告する。

2. 実験方法

(1) 供試材と曲げ加工方法

供試材の化学成分を Table.1 に示す。SUS304LTP, SUS316LTP, R-SUS304ULC, R-SUS316ULC の 4 材質について (8A, 25A 40A, 50A) x Sch 20S, 及び 40AxSch10S の薄肉配管を使用した。曲げ方法は、管の冷間曲げ加工では最も多く使われ

Table 1 Chemical Compositions of material (mass%)

GRADE	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
SUS304LTP	0.020	0.44	1.72	0.024	0.002	9.70	18.60	0.14
SUS316LTP	0.020	0.32	1.52	0.021	0.001	14.10	17.20	2.44
R-SUS304ULC	0.015	0.51	1.49	0.022	0.001	10.30	18.55	0.10
R-SUS316ULC	0.015	0.47	1.76	0.024	0.001	14.35	17.30	2.30

ている再現性のあるロータリードロベンディング法を採用した。対象とした寸法の中で 40AxSch10S, 及び (40A, 50A)x Sch20S の 3DR 曲げには心金曲げ法を適用し、他の曲げ条件については通常の空曲げ法を採用した。

(2) 腐食試験方法

曲げ部の外周 (T) 側、中立 (N) 側、内周 (C) 側及び直管部から採取した 20mm 巾×30mm 長さの弧状試験片を用いて JIS G0573「ステンレス鋼の 65% 硝酸腐食試験方法」を実施した。

8AxSch20S については、小口径であるため曲げ部と直管部から長さ 20mm の管状試験片を採取した。各条件の試験片 N 数は 2 個とし、試験片表面は 400 番エメリー研磨状態とした。また代表的な曲げ条件である 40A x Sch20S の 5DR 及び 3DR 曲げ加工部について試験後の腐食形態を管内面側について観察した。さらに上記の代表的な曲げ条件について、表面の脱粒が生じる加速腐食試験として沸騰 3N 硝酸に 5g/l Cr⁶⁺ 添加溶液を使用した。試験時間は 24 時間の 4 周期として各回経過毎に試験液を更新し、腐食減量を測定した。

3. 実験結果

(1) 65%硝酸試験

代表的管寸法の40A x Sch20SのSUS304LTP について、5DRと3DR曲げ加工まま条件における平均腐食速度を直管部と比較して Fig.1に示す。冷間曲げ加工部の腐食速度は直管部と同様に小さく、また加工歪が大きい3DR曲げ材でも腐食速度の増加は認められなかった。同様に実施した SUS316LTPの腐食速度を Fig.2に示した。また腐食試験後の縦断面ミクロ観察結果を Photo.1に示すが、厳しい冷間曲げ加工条件の3DR曲げ管についてもすべり線に沿った腐食や局部腐食等の異常は認められない。管寸法の影響を比較するため、各材質の5DR曲げ及び3DR曲げの場合について、曲げ加工部の代表としてT側の腐食速度を Fig.3と Fig.4に示す。但し8Aについては曲げ加工部全体の腐食速度である。いずれの材質および冷間曲げ加工半径についても曲げ加工部の耐硝酸性に及ぼす管寸法の影響は顕著に認められなかった。

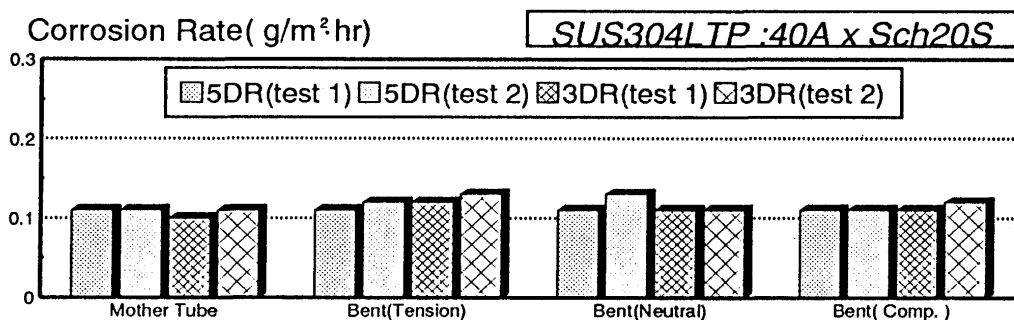


Fig.1 Corrosion Rate in 65% HNO_3 (JIS G0573) test of Cold bent tubular : SUS304LTP

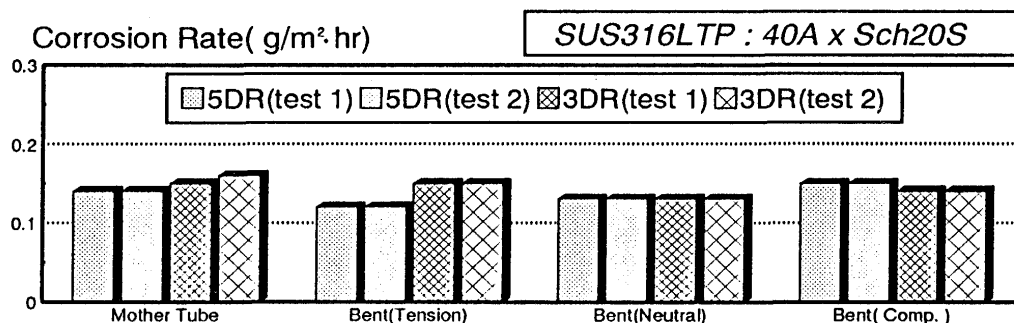
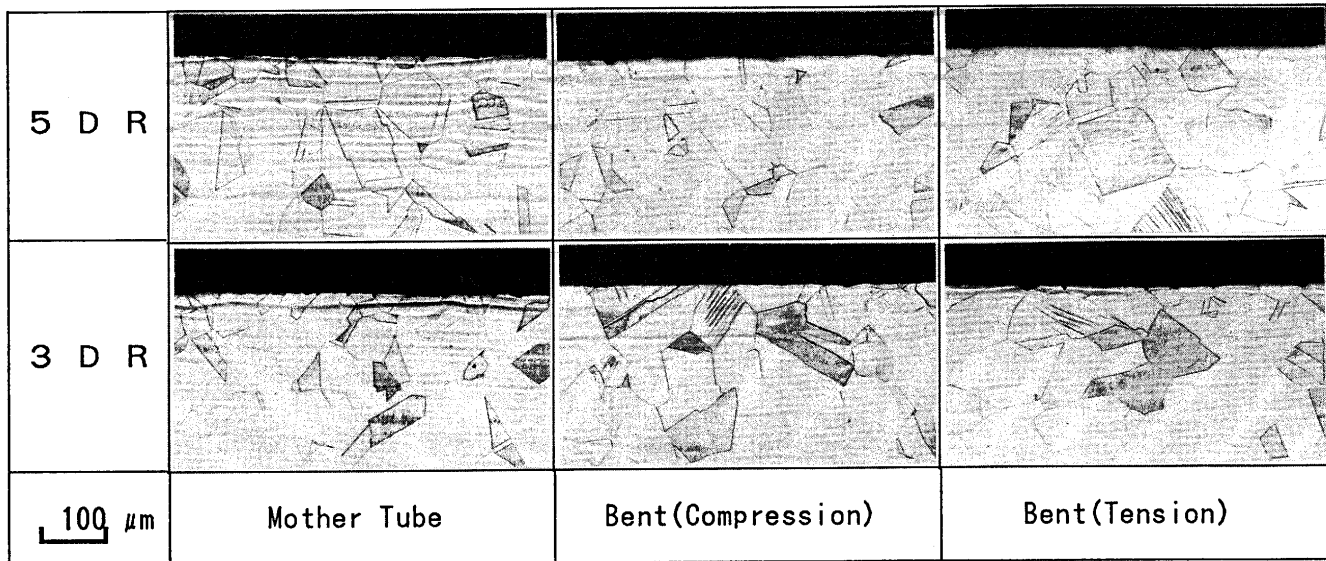
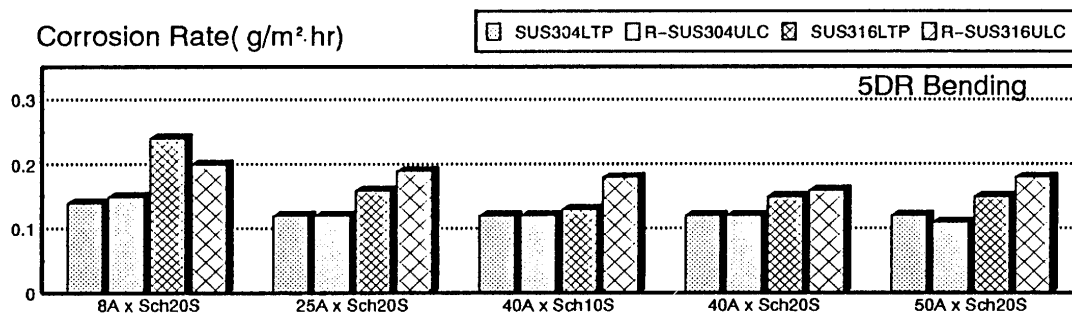
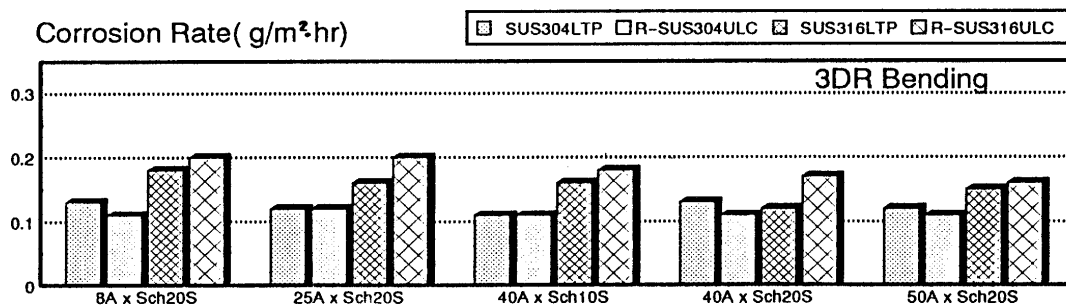


Fig.2 Corrosion Rate in 65% HNO_3 (JIS G0573) test of Cold bent tubular : SUS316LTP

Photo.1 Microscopic examination of the cold bent SUS316LTP after 65% HNO_3 test

曲げ加工部及び直管部に共通して SUS304LTPの腐食速度は SUS316LTPに比較して若干小さい傾向が認められた。硝酸環境中での耐食性にはCrの添加が有効であることが知られているが、Cr量が約 1%高い304L系の腐食速度が若干小さくなる傾向を呈すると考えられる。上記の傾向は、低炭素グレードのR-SUS304ULCとR-SUS316ULCについても認められたが、いずれの材質についても冷間曲げ加工部の腐食速度は十分小さい。

Fig.3 Effect of Cold bent tube size on Corrosion Rate in 65% HNO_3 test :5DR BendingFig.4 Effect of Cold bent tube size on Corrosion Rate in 65% HNO_3 test :3DR Bending

(2) 5g/lCr⁶⁺ 添加-沸騰3N硝酸溶液(加速腐食試験)

65%硝酸試験における曲げ加工部の腐食速度は十分小さく、また直管部との差も認められなかった。そのため、短時間で試験片表面が脱粒する加速試験条件としてCr⁶⁺を添加し腐食電位が高い状態で冷間曲げ加工部の耐食性を評価した。SUS304LTP及びSUS316LTPの40A x Sch 20Sについて曲げ加工部の腐食速度を直管部と比較してFig.5, Fig.6に示す。表面から2~3結晶粒の脱粒が生じる非常に厳しい腐食条件下でも冷間歪による耐食性の変化は認められず、直管部と同等の腐食速度を呈した。5DR曲げと3DR曲げを比較した場合も腐食速度の差は認められないため、いずれの条件の曲げ加工においても冷間加工歪による耐食性の劣下傾向は認められない。ここで、脱粒により腐食速度が極端に増加する環境では、結晶粒が小さい材料の方が、脱粒が容易に生じるため腐食速度が大きくなることが知られている。¹⁾ 従ってSUS304LTPの結晶粒はSUS316LTPに比較して若干小さいため、Cr量が1%低いSUS316LTPと同程度の腐食速度を示すと考えられる。

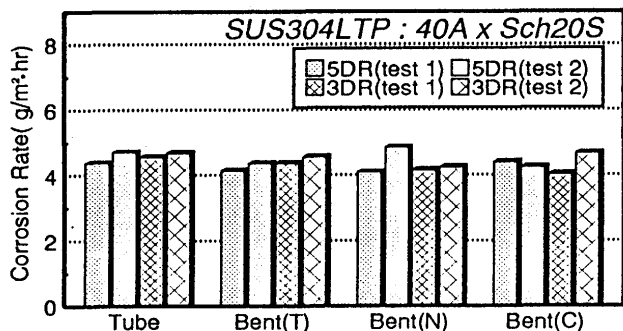


Fig.5 Corrosion Rate in 3N-HNO₃ + Cr⁶⁺ test of Cold bent tubular (SUS304LTP : 40A x Sch20S)

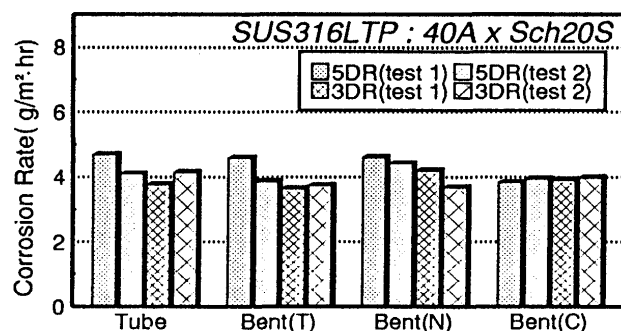


Fig.6 Corrosion Rate in 3N-HNO₃ + Cr⁶⁺ test of Cold bent tubular (SUS316LTP : 40A x Sch20S)

4. 結言

低炭素オーステナイト系ステンレス鋼の配管において、本研究の冷間曲げ加工による曲げ管の硝酸環境中の耐食性は、鋭敏化熱処理がない場合には直管部と同等の性能を示した。また鋭敏化状態では腐食速度が直管部より増加傾向を示したが、腐食形態は通常の粒界腐食であった。本研究は、東北電力㈱、北海道電力㈱、東京電力㈱、中部電力㈱、北陸電力㈱、関西電力㈱、四国電力㈱、中国電力㈱、九州電力㈱、日本原子力発電㈱の10電力会社および日本原燃サービス㈱により電力共通研究として行なわれた委託研究の成果の一部である。