

薄肉低炭素ステンレス鋼鋼管の熱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 Thin Wall Low Carbon Stainless Steel Tubes as the Condition of Hot Bending

新日本製鉄(株)鉄鋼研究所

小川洋之*

日揮(株)

伝宝幸三・中田潮雄・高岸正章
佐藤健二・笹野 林

1. 緒言

ステンレス鋼管は種々のプラントで使用されているが、使用形態に対応して曲げ加工されることが多い。その際、使用環境において使用性能を損なわない加工方法・条件を設定することが必要である。

本報では、硝酸環境において使用する配管用低炭素ステンレス鋼鋼管を熱間で曲げ加工する、新たに確立された加工技術⁽¹⁾を用いて薄肉低炭素ステンレス鋼鋼管を曲げ加工し、硝酸環境における耐食性を評価した結果を報告する。硝酸環境において、ステンレス鋼に発生する腐食形態は粒界腐食であり、既に多くの報告があるが、最近の研究結果では環境中に高イオン価の金属イオン（例えば、 Cr^{6+} ）が存在すると環境の腐食性が増加することが報告されている⁽²⁾ので、本報では、金属イオンの存在しない環境と存在する環境で評価試験を行った。

2. 供試材

SUS304系およびSUS316系の薄肉低炭素ステンレス鋼鋼管を供試材とした。試験管の化学成分と形状をTable 1および2に示した。ステンレス鋼鋼管を熱間曲げ加工することによって、耐食性に影響する加工因子は、加工量、加工条件、雰囲気ガス、および加工後の表面仕上げ状態と考えられる。供試材に対するこれらの加工因子を、Table 3, 4, および5に示した。また、試験管から試験片を採取した位置および試験片形状をFig. 1に示した。試験片は、エメリー紙（#400）研磨仕上げの表面仕上げを行って試験に供した。また、曲げ加工まゝ、酸洗・不働態化処理との比較も行った。

Table 1 Chemical compositions of the tested pipes(mass%)

Steel	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
SUS304L	0.021	0.43	1.08	0.031	0.006	10.02	18.50	—
SUS316L	0.021	0.57	1.04	0.024	0.001	12.47	17.45	2.07
R-SUS304ULC	0.013	0.44	0.85	0.025	0.007	9.78	18.43	—
R-SUS316ULC	0.010	0.50	1.06	0.026	0.001	12.77	16.77	2.15

Table 2 Sizes of the tested pipes

Size number	Outer diameter	Wall thickness
50A Sch 10S	60.5mm	2.8mm
125A Sch 10S	139.8mm	2.8mm

Table 3 Deformation of the tested pipes

Size	Angles for bending	Radius for bending
50A Sch 10S	90°, 180°	3DR, 5DR
125A Sch 10S		5DR

DR : Outer Diameter of the bended pipe

平成5年3月8日受付 (Received on Mar. 8, 1993)

* Hiroyuki Ogawa (Steel Research Laboratories, Nippon Steel Corp., 20-1 Shintomi Futtsu 299-12)

Table 4 Bending conditions for the tested pipes

Bending Condition	Pipe Size	Gas	Oxygen concentration at the initial stage of pipe—bending (ppm)	
● Bending Speed: 5mm/s	50A	Ar	86	
		Ar+H ₂	6.2×10 ⁻¹⁶	
		N ₂	59	
● Bending Temperature: >1283°K	125A	air	—	
● Cooling Method: Water Spraying		Ar	90	
		Ar+H ₂	1.0×10 ⁻¹⁶	
		N ₂	99	
		air	—	

3. 腐食試験条件

腐食試験はTable 6に示した2環境で行った。
試験条件1は金属イオンの存在しない硝酸環境、
試験条件2は高イオン価金属イオンの存在する高腐食性硝酸環境である。

4. 試験結果

曲げ加工後の供試管の光学顕微鏡組織をPhoto. 1に示した。加工されていない部分 (Base Pipe)と曲げ外面部 (T, Fig. 1に示すT部に対する) の間には差異が認められず、熱間曲げ加工によって組織は影響されないことがわかった。この結果は、Table 4に示すように、曲げ加工温度が供試管の溶体化焼鈍温度域で行われているので、加工後、直ちに再結晶するためであると考えられる。
試験片の採取位置によって曲げ加工による加工量は異なる。Fig. 1に示す試験片採取位置は、T, N, Cがそれぞれ引張り加工、中立点、および圧縮加工される部位にあり、各位置から採取した試験片の腐食試験結果をFig. 2に示した。

Table 6 Conditions for the corrosion test

Test Condition (1) The test condition specified in JIS G 0573 Test solution : 65mass% HNO ₃ Test duration : 172.8Ksec Numbers of test repeating : 5
Test Condition (2) Test solution : 5×10^{-3} Kg Cr ⁶⁺ /3N HNO ₃ , 10^{-3} m ³ Test duration : 86.4Ksec Numbers of test repeating : 4

Table 5 Chemistries of gases

Gas	Chemistry
Ar	Ar : 99.99Vol%
Ar+H ₂	Ar:90Vol%, H ₂ :10Vol%
N ₂	N ₂ : 99.99Vol%

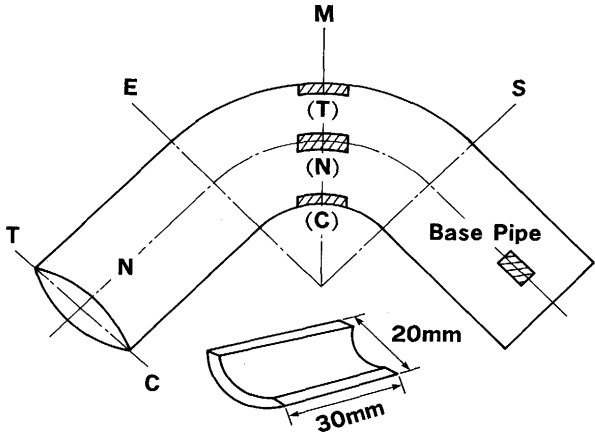


Fig.1 Sampling positions of spedimens on a tested pipe and specimen geometry

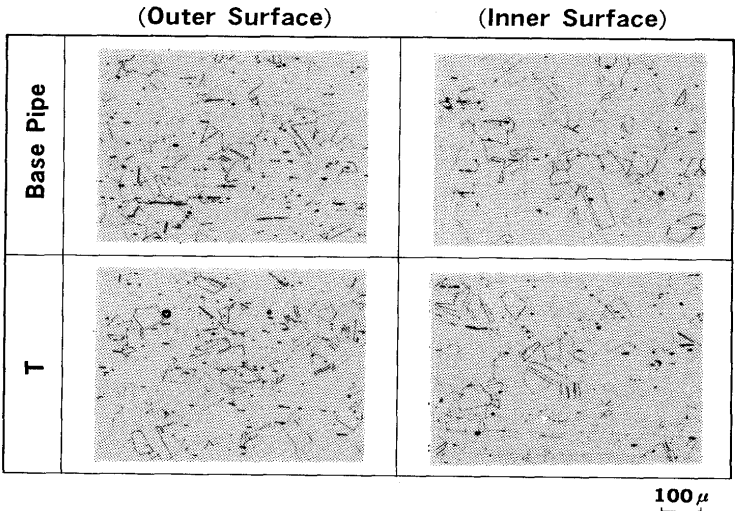


Photo.1 Microstructures of the bended pipes
Tested pipe : SUS304L
50A Sch 10S/5DR/90°

腐食量は採取位置に影響されず、従って、加工様式による耐食性への影響の差異は無いと考えられる。

熱間で曲げ加工を行う場合、曲げ加工時の雰囲気中に存在する O_2 量に対応して酸化皮膜が形成される。また、加工後に表面仕上げ加工を加えることによって、鋼管の表面状態は変化する。

形成される酸化皮膜の耐食性におよぼす影響を調べるためにTable 4に示した O_2 量の異なる雰囲気中で曲げ加工を行った試験管に、更に、先に述べた3種類の表面仕上げを行って腐食試験を行った。

試験結果をFig. 3および4に示した。Fig. 3は試験条件1、Fig. 4は試験条件2の腐食環境の試験結果である。

両腐食条件下において、曲げ加工時の雰囲気の影響、表面仕上げの効果は認められなかった。

曲げ加工量は曲げ半径と曲げ角度によって決定される。

このため、Table 3に示した曲げ加工条件で熱間加工した管の評価試験を行った結果をFig. 5に示した。Fig. 5はSUS 304L、曲げ半径：5DR、試験条件1の試験結果であるが、Table 1およびTable 3に示したいずれの鋼種、曲げ加工条件においてもFig. 5の試験結果と同様に、曲げ加工による耐食性の劣化は認められなかった。

以上に述べた耐食性評価結果はFig. 6に示すように、Table 1に示した全ての供試材について得られている。

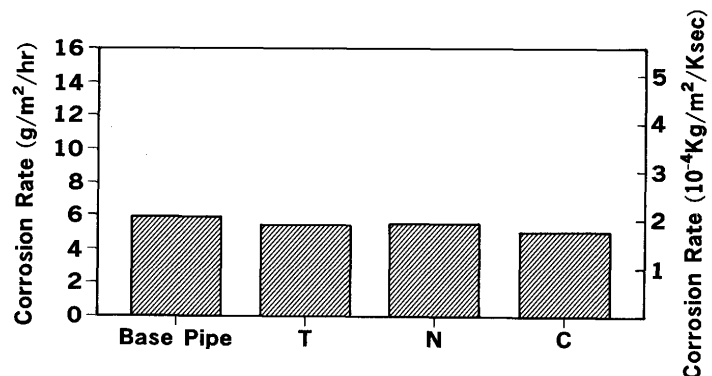


Fig. 2 Relationship between corrosion rates and sampling positions of specimens on a tested pipe

Test condition : 2

Test pipe : R-SUS304ULC

50A Sch 10S/5DR/90°

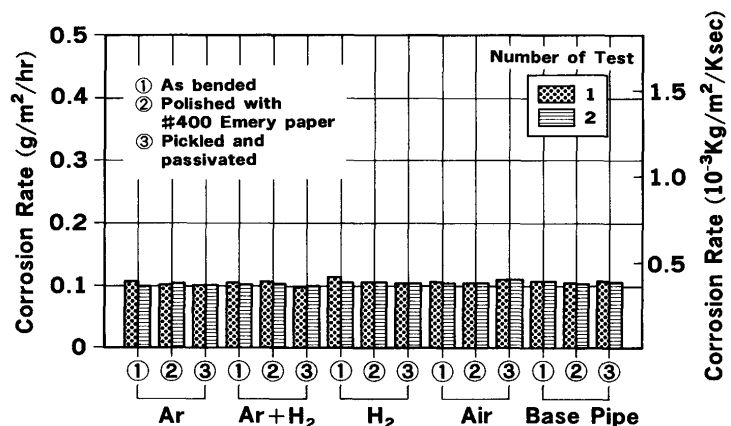


Fig. 3 Effect of environmental conditions in the bending process on corrosion rates of the tested pipes

Test condition : 1

Tested pipe : SUS304L

50A Sch 10S/5DR/90°

5. 結言

薄肉低炭素ステンレス鋼鋼管に熱間曲げ加工法を適用して、曲げ加工を行った試験管の耐食性を、使用環境に硝酸環境を想定し、曲げ加工を受けない鋼管を基準として評価した。熱間加工において耐食性に影響すると想定される加工条件として加工量、加工条件、雰囲気ガス、および加工後の表面仕上げの影響を評価した。曲げ加工した試験管の耐食性評価試験を行った。その結果、供試材とした4鋼種において耐食性の劣化は全く認められず、硝酸環境で使用される薄肉低炭素ステンレス鋼鋼管に熱間曲げ加工法を適用して配管加工を行うことが可能であると結論される。

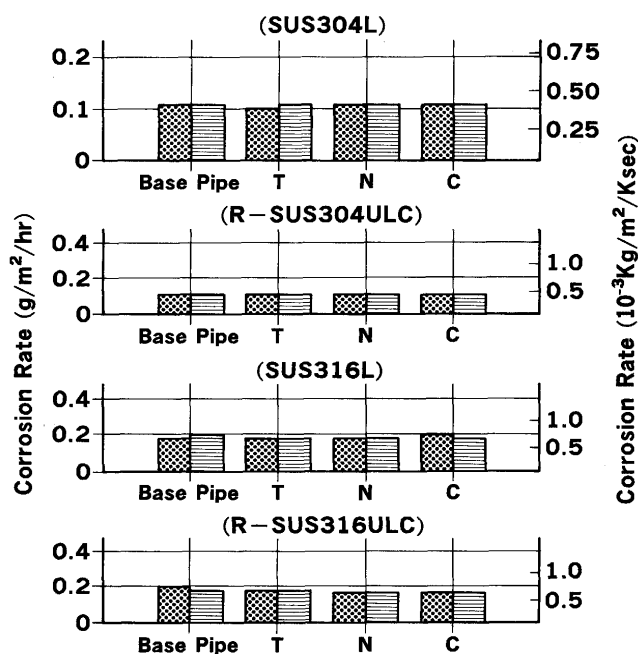


Fig.6 Relationship between grades of material and corrosion rates of the tested pipes
Test condition : 1
Size of the tested pipes :
50A Sch 10S/5DR/90°

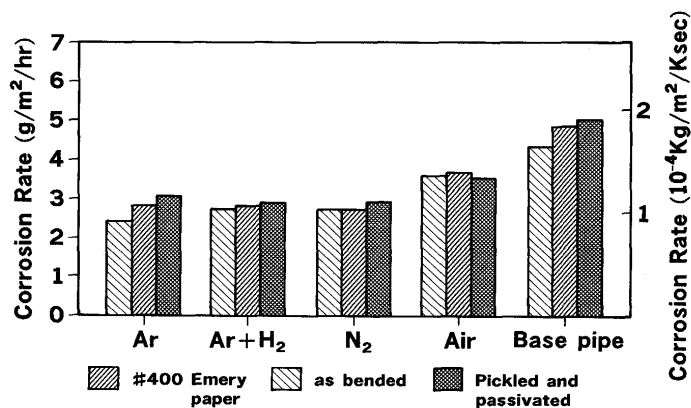


Fig.4 Effect of the surface conditions on corrosion rates of the tested pipe
Test condition : 2
Tested pipe : SUS304L
50A Sch 10S/5DR/90°

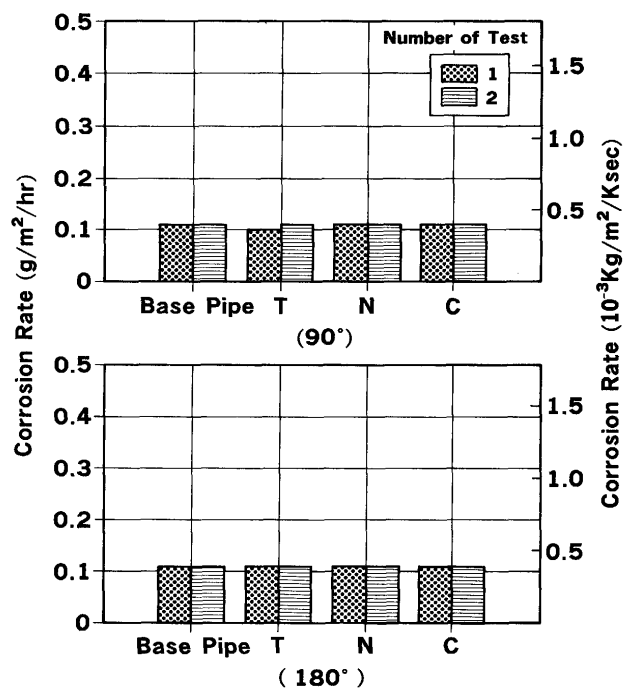


Fig.5 Effect of bending angle on corrosion rates of the tested pipe
Test condition : 1
Tested pipe : SUS304L
50A Sch 10S/5DR

引用文献

- (1) 直井 久、他 : to be published.
- (2) 梶村治彦、森川治巳、長野博夫 :
防食技術、36(1987), p636.