
Effects of Various Factors, Mechanisms and Preventive Methods of Grooving Corrosion
of ERW and CBW Carbon Steel Pipes

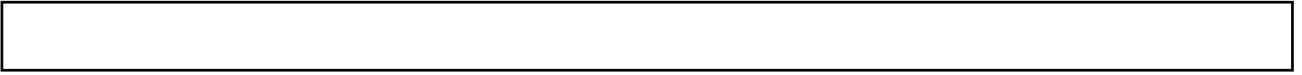
(Takao Kurusu) (Tadakazu Kyuno) (Shun-ichi
Harada) (Takeo Doi)

:
MnS
V Zn
pH,
Cl
S Cu, Ni,
REM

Synopsis :

The effects of heat treatments and alloying elements on grooving corrosion resistance have been studied using commercial ERW pipe and simulated ERW specimens prepared by upset, flush-butt or electron beam welding, and putting them to microscopic observations, electrochemical and corrosion tests. Grooving corrosion initiates at MnS inclusions in the weld and grows into a deep V-shape in ERW pipe. The growth is influenced by pH, dissolved O₂ and Cl(-), flow velocity and temperature of the solution. Zinc coating and the unremoved weld bead delay, but do not prevent, perforation. On the other hand, grooving corrosion in CBW pipe grows only into a small, shallow U-shape, and scarcely depends on material and environmental factors. A good simulation of grooving corrosion at the weld of ERW pipe can be obtained by using flush-butt welded specimens to conclude that reduced sulfur content, added Ni, Cu and /or REM, and heat treatments, when performed either singly or in proper combination, give excellent grooving corrosion resistance to ERW pipes. On the basis of these results, grooving corrosion resistant ERW pipes have been manufactured, with good test results obtained in mechanical and corrosion resistant properties.

(c)JFE Steel Corporation, 2003



三枝直子, 栗栖孝雄, 久野忠一, 土居武雄

Effects of Various Factors, Mechanisms and Preventive Methods
of Grooving Corrosion of ERW and CBW Carbon Steel Pipes

栗栖孝雄* 久野忠一**
Takeo Kusuda Tadakeo Kuno

原田俊一*** 土居武雄****
Shun-ichi Harada Takeo Doi

とを第一の目的とした。

とを第二の目的とした。

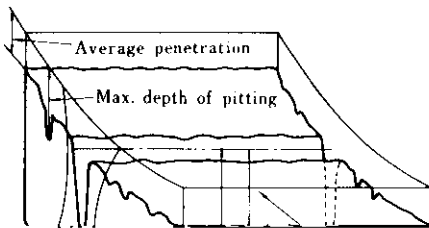
さ3×幅50×長さ100(mm)である。

2・2・2 実管腐食試験

SGP、80A×300mmの配管用電鍍鋼管、鍛接鋼管および継目無鋼管の短管を溶接したものを製鉄所の3箇所の冷却水配管にフランジ取付し、1および2年間の通水腐食試験を行った。

2・2・3 溝食深さ測定方法

母材部の平均腐食深さおよび最大孔食深さをダイヤルゲージにより求め、溝食深さはラバーペースト印象剤により溝食部のレプリカをとり、10箇所測定し、平均値および最大値(Fig.1参照)を求めた。



査速度で陽分極あるいは陰分極して、分極挙動を求めた。

2・3・3 孔食電流

試験鋼管の銜合部近傍から採取した試験片(10×10mm)を樹脂に埋込み、エメリー研磨(#1200)して5% H_2SO_4 溶液中で0.8V(S. C. E.)に30min保持した後、 Cl^- 源としてNaClを200ppm添加し、不動態皮膜の破壊にともなうアノード電流の増加を測定し、銜合部の孔食発生傾向を求めた¹⁴⁾。

2・4 ミクロ観察

母材部および銜合部の組織、メタルフロー、非金属介在物を光学顕微鏡、あるいは電子顕微鏡で観察し、また非金属介在物についてはX線マイクロアナライザー(島津製作所、EMX SM、分解能100Å)で同定し、QUANTMET 720(Cambridge Instruments社製)で清浄度をあらかじめ測定した。この試験片を静止暴気人工海水中に浸漬し、溝食の起点および進行状況を光学顕微鏡で逐次観察した。

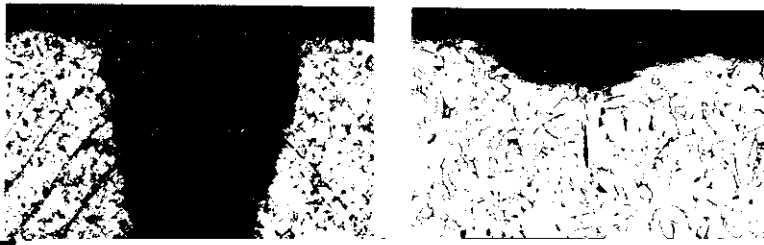


Table 2. Corrosion rate of pipe

Pipe	Average corrosion rate (mm/year)	Pitting corrosion rate (mm/year)	Grooving corrosion rate (mm/year)	Selective corrosion rate in the weld (mm/year)
ERW pipe	0.17	0.39	0.53	0.22

Table 4 Effect of shape of weld seam on grooving corrosion rate of ERW and CBW C steel pipes in artificial sea water (50°C, 25m/min, 15ppm O₂)

Pipe	Shape of welding seam	Grooving corrosion rate (mm/year)
------	-----------------------	-----------------------------------

よる影響は小さい。諸石らの溝食事例の解析⁵⁾では、電縫鋼管の溝食速度は 地下水 < 上水 < 工業用水 < プライン < 海水 の順に増大するが、淡水環境の結果が筆者らと異なっている。

2-2-2-11

中の不動態域(5% H₂SO₄, 0.8V_{sc}, SCE)では、

(Fig. 6 参照) 雷線部に孔食が集中し、溝状の孔食が、種々の深度のより海水中の同様に出現する。

粗面1で表1ノ橋上オズ 鍛接鋼管の溝食速度は 倉庫内状況を光学顕微鏡で観察1ノ結果 浮遊後

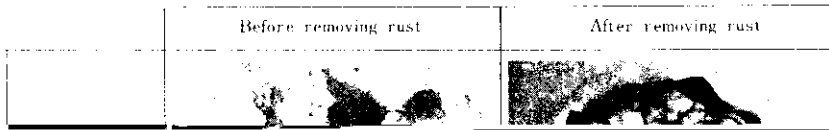
速度にほとんど影響されな

約5~15minで Mn S系 (Mn Ca) S系非金属介

4 浮食の機構

在物の単独のもの、またはこれらと(Mn, Si, Al)O

まり、母材部のものより数倍早く溶解し、介在物
周囲にさびを沈析する (Photo. 2参照)、浮遊さび



値に對する硫黄濃度係数の値が大きい。但し、溶接部は電極方向で、長さの異なる溝を調製した

液速—溶存酸素量を上記の相重効果より、これら試験片を用いて、電鍍鋼管の溝食状態が再

著しく増大する。Cl⁻ はアルカリ性水 (pH > 12) または酸性水 (5% H₂SO₄, 0.8V vs. S.C.E.) のような不動態被膜形成環境では衝合部の不動態被膜

現されるかどうか回転浸漬腐食試験で調べた。その結果を Photo. 3 に示す。上記 3 種類の溶接法のうちフラッシュバット溶接試験片では溶接部の

を局部的に破壊し深い溝食を生じさせる因子である。その他 Ca²⁺, NH₄⁺, SO₄²⁻, CO₃²⁻ などの化学成分, 比抵抗, 全酸度, Langelier 指数などもまた溝食速度に影響をおよぼす因子と考えられ, これらの効果を調べることは今後溝食対策をたてるうえに重要である。

4・2 鍛接鋼管の溝食の機構

鍛接鋼管の溝食の起占もまた電鍍鋼管と同様に

メタルフロー, したがって非金属介在物の集積, 急熱急冷の熱履歴 (熱影響部の幅が狭い), 不均一組織の状態なども電鍍鋼管のものと比較的よく似ており, 溶接部の腐食形態は鋭い V 字形をして, 電鍍鋼管の溝食をよく再現している。これに対しアブセット溶接試験片では, 溶接部におけるメタルフローの鋭い立上りおよび幅の狭い熱影響部を確認する溶接条件の設定が難しく, 底が丸く浅い溝食状態を呈し, フラッシュバット溶接試験片より

衝合部の硫化物系非金属介在物近傍であり, この

も電鍍鋼管の溝食状況の再現性はよくない。また

介在物近傍の溶解した鉄はさびを形成し, 介在物

エレクトロンビーム溶接試験片では熱影響部は幅

びアセット溶接試験片では回転浸漬腐食試験結

Table 8 Effects of alloying elements on grooving

験片ではあまり一致しない。

5・2 電縫鋼管の耐溝食性におよぼす合金元素、熱処理、鑄造方法および鋼塊位置の影響

5・2・1 合金元素

合金元素により耐溝食性を向上させる方法と

Effect	Present work	Kato et al. ¹⁹⁾	Nagano et al. ²⁰⁾
Very beneficial	Cu, Ni, REM, As, Sb, Sn or Bi co existing with low S	Sb, Ti, Cr or Ce co existing with Cu	Ni, Nb, Sb, Y, Cu, Al
Beneficial	Cu, Ni, Cr (>0.5%) P (0.1%)	Cu, Zr	Ti, Zr, Mo

Table 7 Effects of alloying elements on grooving corrosion resistance of flush-butt

welded specimens

No.	Chemical composition* (%)	Others	Depth of grooving*	Potential difference**
-----	---------------------------	--------	--------------------	------------------------

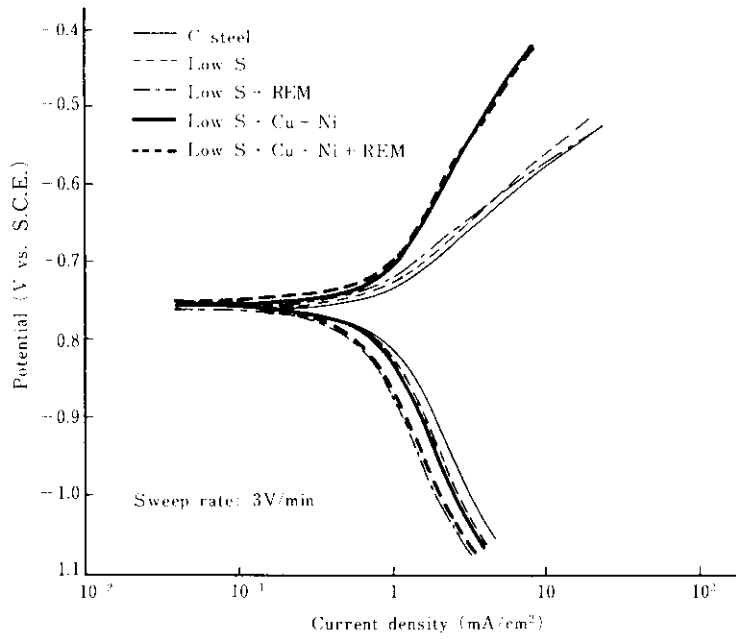


Fig. 11 Polarization curves of the welded parts 30 day of immersion in artificial sea water

るものと考えられ、地鉄への固溶あるいは MnS
との関係を明らかにする必要がある。

(mm) 50

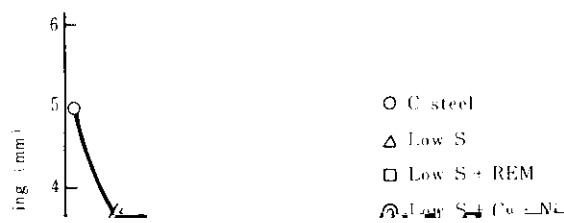


Table 9 Chemical composition and mechanical properties of ERW pipe specimens (100A)

Specimen No.	Chemical composition (%)						Mechanical properties		
	C	Mn	P	S	Si	N	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
1	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
2	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
3	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
4	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
5	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
6	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
7	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
8	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
9	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
10	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
11	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
12	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
13	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
14	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
15	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
16	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
17	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
18	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
19	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
20	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
21	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
22	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
23	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
24	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
25	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
26	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
27	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
28	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
29	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
30	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
31	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
32	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
33	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
34	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
35	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
36	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
37	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
38	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
39	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
40	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
41	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
42	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
43	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
44	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
45	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
46	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
47	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
48	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
49	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22
50	0.05	0.15	0.005	0.002	0.02	0.0015	355	455	22

食活性になり、この介在物近傍が起点となり、孔 + Cu+Ni+REM材(シーム・アノール)電縫鋼管