

---

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)

---

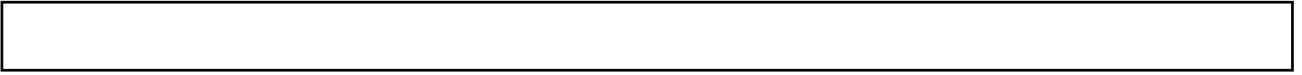
:  
MnS  
V Zn  
pH,  
Cl  
S Cu, Ni,  
REM

---

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 O<sub>2</sub> and Cl<sup>-</sup>, 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(左) 早稲田大学, 板垣正博(右) トヨタ自動車

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 Kuriyama      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。

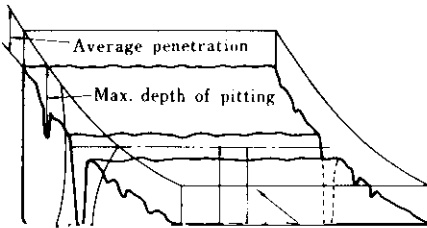
さ3×幅50×長さ100(mm)である。

### 2・2・2 実管腐食試験

SGP、80A×300mmの配管用電縫鋼管、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箇所で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<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液中で0.8V(S. C. E.)に30min保持した後、Cl<sup>-</sup>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<sup>14)</sup>。

### 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。

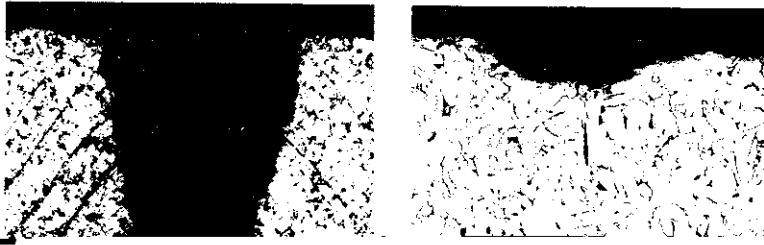


Table 2. Corrosion rate of pipe

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 O<sub>2</sub>)

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<sup>5)</sup>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。



中の不動態域(5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 0.8V<sub>sc</sub>, SCE)でけ。

(Fig. 6 参照) 雷線部に孔食が集中し、溝状にた... 種々の速度のもとで海水中の同様に腐食試験を

粗面1で表1ノ橋上オズ 鍛接鋼管の溝食速度は 食進行状を光学顕微鏡で観察1ノ結果 浮遊後

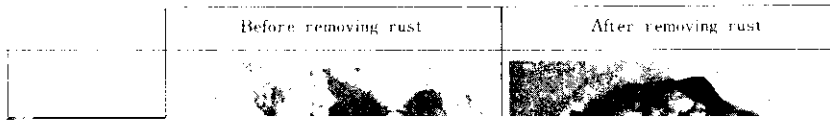
速度にほとんど影響されか

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



底に付する鈍化溝深さの分布が異なる。凹部... (受接線は凹部で、平坦部のとろろを調較した

液速... 腐食速度は上記の相重効果より... これら試験片を用いて、電縫鋼管の溝食状態が再

著しく増大する。Cl<sup>-</sup> はアルカリ性水 (pH > 12) または酸性水 (5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 0.8V vs. S.C.E.) のような不動態被膜形成環境では、衝突部の不動態被膜

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 Ca<sup>2+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 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こりもまた電縫鋼管と同様に

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縫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、電縫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

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、鋳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. <sup>19)</sup>	Nagano et al. <sup>20)</sup>
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**
-----	---------------------------	--------	--------------------	------------------------

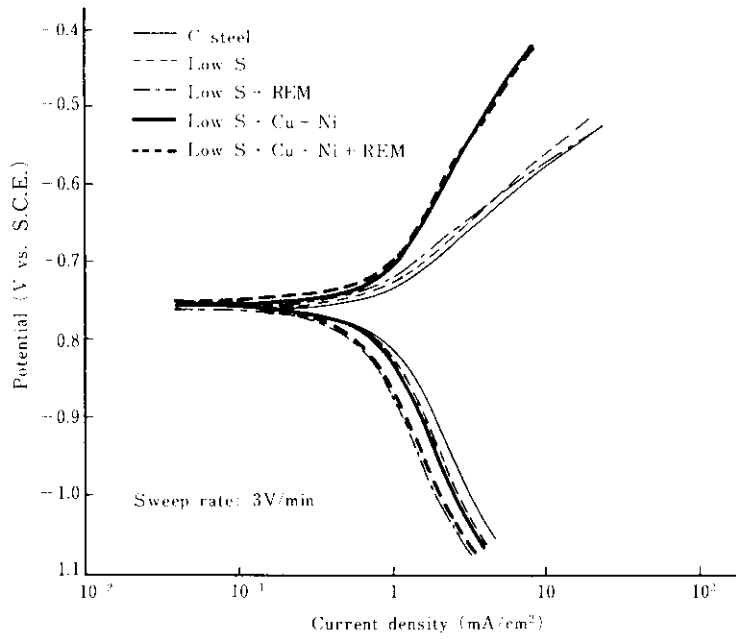


Fig. 11 Polarization curves of the welded parts 30 day of immersion in artificial sea water

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。



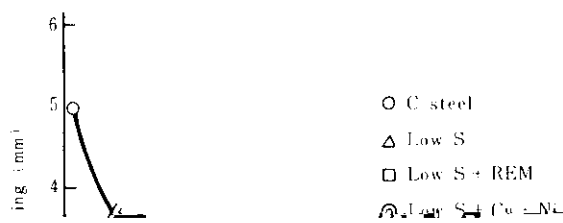




Table 9 Chemical composition and mechanical properties of ERW pipe specimens (100A)

Specimen No.	Chemical composition (%)						Mechanical properties		
	C	Mn	P	S	Si	N	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
1	0.05	0.35	0.015	0.005	0.02	0.002	355	490	22
2	0.05	0.35	0.015	0.005	0.02	0.002	355	490	22
3	0.05	0.35	0.015	0.005	0.02	0.002	355	490	22
4	0.05	0.35	0.015	0.005	0.02	0.002	355	490	22
5	0.05	0.35	0.015	0.005	0.02	0.002	355	490	22
6	0.05	0.35	0.015	0.005	0.02	0.002	355	490	22
7	0.05	0.35	0.015	0.005	0.02	0.002	355	490	22
8	0.05	0.35	0.015	0.005	0.02	0.002	355	490	22
9	0.05	0.35	0.015	0.005	0.02	0.002	355	490	22
10	0.05	0.35	0.015	0.005	0.02	0.002	355	490	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