
温水用オーステナイト系ステンレス鋼 R315CX の開発

Development of Austenitic Stainless Steel "RIVER LITE 315CX" for Hot Water Use

宇城 工(Takumi Ujio) 曾根 雄二(Yuji Sone) 吉岡 啓一(Keiichi Yoshioka) 木下
昇(Noboru Kinoshita) 肥野 真行(Masayuki Hino) 松崎 実(Minoru Matsuzaki)

要旨：

温水環境における耐 SCC 性、耐孔食性および耐隙間腐食性に優れたオーステナイト系ステンレス鋼の開発を目的とし、Cu 含有オーステナイト系ステンレス鋼の耐食性に及ぼす成分元素の影響について調査した。Cu の多量添加および Mo の低減が耐 SCC 性に有効であること、また Mn 含有量の低減と Si および Ni 添加量の増加は耐 SCC 性を低下させずに耐孔食性および耐隙間腐食性を向上させることを明らかにし、温水用オーステナイト系ステンレス鋼 R315CX (19Cr-12 Ni-2.8 Cu-0.5 Mo-1.8 Si-0.2Mn) を開発した。本開発鋼は温水環境において SUS316 より格段に優れた耐 SCC 性を示すとともに、耐孔食性および耐隙間腐食性においても同等以上の特性を具備しており、給湯機缶体および温水配管等の用途に適している。

Synopsis：

In order to develop an austenitic stainless steel with excellent resistance to stress corrosion, pitting corrosion and crevice corrosion in hot water environment, the effects of alloying elements on the corrosion resistance of Cu-bearing austenitic stainless steels were investigated. Addition of Cu and a decrease in Mo content improve the stress corrosion resistance. Reduction in Mn content and increases in Si and Ni contents are effective in improving the resistance to pitting and crevice corrosion without degradation of the stress corrosion resistance. On the basis of the multiple regression analysis of the experimental results, a new austenitic stainless steel "R315CX" (19Cr-12Ni-2.8Cu-0.5Mo-1.8Si-0.2Mn) has been developed. R315CX has excellent stress corrosion resistance markedly superior to that of SUS316 in hot water environment, and also has good pitting and crevice corrosion resistance. The newly developed steel is suitable for use in hot water apparatus.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

Development of Austenitic Stainless Steel “RIVER LITE 315CX” for Hot Water Use



宇城 工
Takumi Ujio

鉄鋼研究所 薄板研究
部ステンレス鋼研究室
主任研究員(掛長)



曾根 雄二
Yuji Sone

鉄鋼研究所 薄板研究
部ステンレス鋼研究室
主任研究員(課長)・工
博



吉岡 啓一
Keiichi Yoshioka

鉄鋼研究所 薄板研究
部ステンレス鋼研究室
室長(課長)・工博



木下 昇
Noboru Kinoshita

鉄鋼技術本部 ステン
レス技術部 主査(部
長)



肥野 真行
Masayuki Hino

阪神製造所 ステン
レス部生産技術室 主査
(課長補)



松崎 実
Minoru Matsuzaki

千葉製鉄所 管理部ス
テンレス・特殊鋼管理
室 主査(掛長)

1 緒 言

石油焚給湯機、電気温水器、ソーラーパネル等の温水環境下で使用されるステンレス鋼としては、応力腐食割れ(SCC)を生じにくく、また耐食性にも比較的優れたフェライト系鋼種(例えば SUS 444)が主に使用されてきた。しかし、最近の給湯機の小形化のう勢に伴ってステンレス鋼体の構造がより複雑になり、そのため溶接箇所が増え、また燃焼面における材料加熱温度が高くなるなど材料に課せられる腐食環境が以前に比べて過酷化してきている。その結果、SUS 444 等のフェライト系ステンレス鋼では例えば気液界面部分や溶接により形成される隙間部に対して十分な耐食性を保証できない状況が生じ始めている。このため、従来に増して耐孔食性および耐隙間腐食性に優れ、しかも応力腐食割れを生じず、かつ溶接性と加工性も良好な温水用ステンレス鋼が求められている。

ここでは、このようなニーズに対応して開発した温水中での耐

要旨

温水環境における耐 SCC 性、耐孔食性および耐隙間腐食性に優れたオーステナイト系ステンレス鋼の開発を目的とし、Cu 含有オーステナイト系ステンレス鋼の耐食性に及ぼす成分元素の影響について調査した。Cu の多量添加および Mo の低減が耐 SCC 性に有効であること、また Mn 含有量の低減と Si および Ni 添加量の増加は耐 SCC 性を低下させずに耐孔食性および耐隙間腐食性を向上させることを明らかにし、温水用オーステナイト系ステンレス鋼 R 315 CX (19 Cr-12 Ni-2.8 Cu-0.5 Mo-1.8 Si-0.2 Mn) を開発した。本開発鋼は温水環境において SUS 316 より格段に優れた耐 SCC 性を示すとともに、耐孔食性および耐隙間腐食性においても同等以上の特性を具備しており、給湯機缶体および温水配管等の用途に適している。

Synopsis:

In order to develop an austenitic stainless steel with excellent resistance to stress corrosion, pitting corrosion and crevice corrosion in hot water environment, the effects of alloying elements on the corrosion resistance of Cu-bearing austenitic stainless steels were investigated. Addition of Cu and a decrease in Mo content improve the stress corrosion resistance. Reduction in Mn content and increases in Si and Ni contents are effective in improving the resistance to pitting and crevice corrosion without degradation of the stress corrosion resistance. On the basis of the multiple regression analysis of the experimental results, a new austenitic stainless steel “R315CX” (19 Cr-12Ni-2.8Cu-0.5Mo-1.8Si-0.2Mn) has been developed. R315CX has excellent stress corrosion resistance markedly superior to that of SUS316 in hot water environment, and also has good pitting and crevice corrosion resistance. The newly developed steel is suitable for use in hot water apparatus.

SCC 性、耐孔食性および耐隙間腐食性に優れたオーステナイト系ステンレス鋼 R 315 CX の開発経緯とその特性について報告する。

2 化学成分の検討

2.1 開発方針

SUS 316 に代表されるオーステナイト系ステンレス鋼は溶接性と加工性に優れ、かつ耐孔食性および耐隙間腐食性にも優れているが、応力腐食割れを生じやすいことが最大の欠点である。しかし、温水環境におけるオーステナイト系ステンレス鋼の耐 SCC 性が Cu 添加により改善されることは増尾らにより報告されており、当社ではその知見に基づき耐 SCC 性に優れたオーステナイト系ステン

* 平成 2 年 12 月 3 日原稿受付

Table 1 Chemical composition of steels

(wt. %)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	N
Base steel	0.02	0.5	1.5	0.02	0.0015	20	12	2.0	—	0.02
Experimental range		0.5	0.2	0.005		18	8	0	0	0.02
		2.5	1.5	0.035		22	18	3.0	1.0	0.20

レス鋼 R 304 Cu (18% Cr-9% Ni-2% Cu) を既に開発している²⁾。
 R 304 Cu は優れた耐 SCC 性を有しているが、先に述べたように温
 水用途での腐食環境の過酷化に伴い耐孔食性および耐隙間腐食性
 の一層の向上が必要となる。これらの特性の改善には Mo の添加が有
 効であるが³⁾、多量の添加は耐 SCC 性を逆に低下させる。このよ
 うに耐 SCC 性と耐孔食性および耐隙間腐食性は一般に相反する傾向
 にあり、一方を向上させると他方が低下するという場合が多い^{4,5)}。
 したがって、本開発においてもこの二律背反を解決し得る成分系を
 見いだすことが最大のポイントとなる。

そこで、SCC 感受性が極めて小さく、かつ SUS 316 と同等以上
 の優れた耐孔食性および耐隙間腐食性を有するオーステナイト系ス
 テンレス鋼の開発を目的として、Cu 含有オーステナイト系ステン
 レス鋼の特性に及ぼす各種合金元素の影響を調査した。

2.2 供試材および実験方法

真空高周波炉溶製の 50 kg 鋼塊を実験室的に熱延・冷延を行い、さ
 らに焼鈍・酸洗した板厚 2.0 mm、0.8 mm 厚の冷延焼鈍板を供試材
 として使用した。Table 1 に示すように、供試材の化学組成は 20%
 Cr-12% Ni-2% Cu を基本組成とし、Si, Mn, P, Cr, Ni, Cu, Mo お
 よび N の含有量を変化させた。

耐 SCC 性は、温水環境での SCC と同様の割れ形態を呈する 27.5
 ~32.5% の低濃度 MgCl₂ 試験 (U ベンド試験片) およびスポット溶
 接試験片の温水浸漬試験 (200 ppm Cl⁻ および 1 000 ppm Cl⁻, 80°C,
 3 箇月間) により評価した。平板および TIG 溶接部の耐孔食性は、
 塩化第二鉄試験 (JIS G 0578) および温水中での孔食電位測定 (200
 ppm Cl⁻, 80°C, JIS G 0577) により評価した。TIG 溶接として、電
 流 30~50 A、電圧 12~15 V、速度 35 cm/min およびトーチシール
 ド Ar 3 l/min の条件でなめ付け溶接を行った。耐隙間腐食性は、
 3.5% NaCl+0.1% H₂O₂ (30°C) 水溶液中での隙間腐食減量および
 温水中での隙間腐食発生電位 (1 000 ppm Cl⁻, 80°C、電位走査速度
 2 mV/min) を測定することにより評価した。なお、隙間腐食試験片
 は、いずれも TFE 製のボルト、ナットおよびワッシャーを用いて
 隙間部を形成し、試験に供した。

2.3 実験結果

2.3.1 耐応力腐食割れ性

低濃度 MgCl₂ 試験での耐 SCC 性に及ぼす合金元素の影響を
 Fig. 1 および 2 に示す。Cu の含有量が多くなるほど耐 SCC 性は
 向上する。一方、Mo の添加は 0.5% 付近で耐 SCC 性が最も向上
 し、それ以上添加すると逆に耐 SCC 性が低下した。Si の添加は
 MgCl₂ 濃度が高い場合には有効であるが、低濃度環境では効果があ
 まり見られなかった。Mn の影響についてはデータのばらつきが大
 きいものの、平均的に見ればその添加量を低減することにより耐
 SCC 性が向上する傾向が認められる。その他の元素の影響として、
 P は耐 SCC 性を若干低下させ、Ni は N 含有量が少ない成分系の場
 合に向上させた。

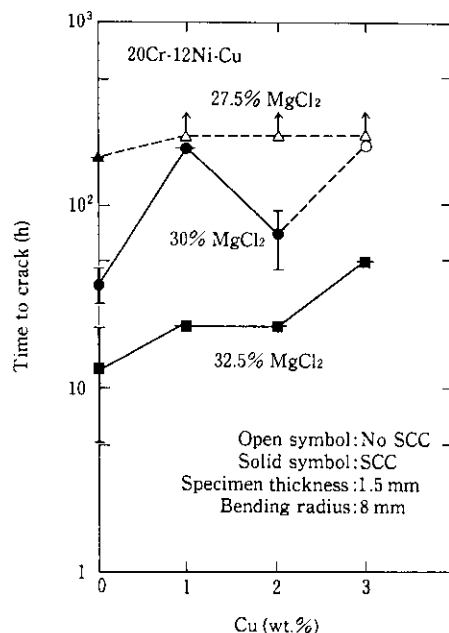


Fig. 1 Effect of Cu content on the susceptibility to stress corrosion cracking in boiling MgCl₂ solution by U bend method

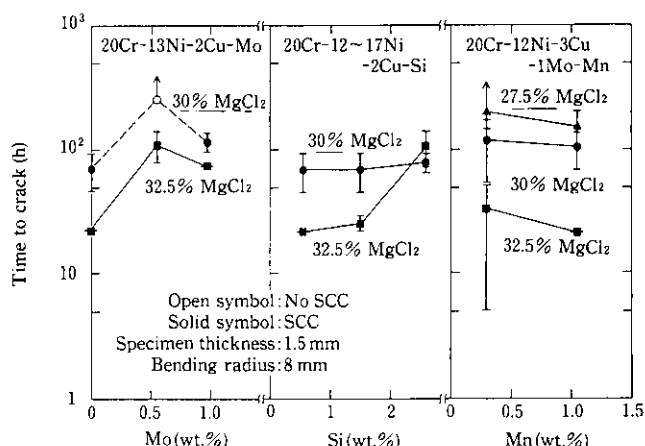


Fig. 2 Effects of Mo, Si and Mn contents on the susceptibility to stress corrosion cracking in boiling MgCl₂ solution by U bend method

2.3.2 耐孔食性

耐孔食性に及ぼす Mo, Si および Mn の影響を Fig. 3 に示す。
 Mo および Si 含有量が多くなるほど耐孔食性は向上する。また、
 Mn の低減も耐孔食性に有効である。その他の元素として、Cr と
 Ni の増量も耐孔食性向上に有効であった。また、Cu 含有量の増加

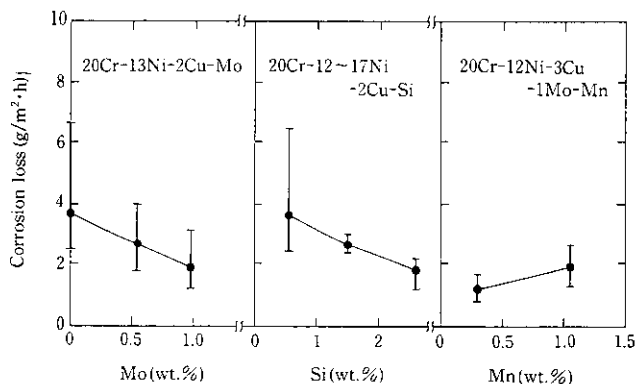


Fig. 3 Effects of Mo, Si and Mn contents on pitting corrosion resistance in (6%FeCl₃+1/20N HCl) solution at 35°C for 24 h

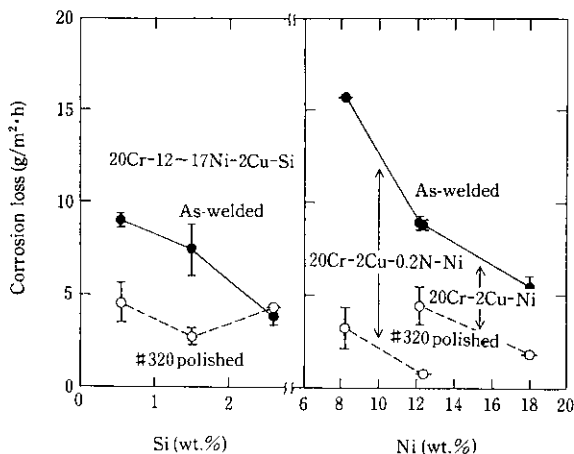


Fig. 4 Effects of Si and Ni contents on pitting corrosion resistance of TIG weldments in (6%FeCl₃+1/20N HCl) solution at 35°C for 24 h

は塩化第二鉄試験における耐孔食性に影響を与えなかった。

TIG 溶接部の耐孔食性に及ぼす Si および Ni の影響を Fig. 4 に示す。溶接時のテンパーカラーが付着したままの as-welded の場合と、テンパーカラーを除去した #320 研磨仕上げの場合とは合金元素の効果が異なる。Ni の増量は as-welded および #320 仕上げの双方の場合の耐孔食性向上に有効である。Si は as-welded の場合のみ耐孔食性の改善効果が認められる。その他の元素として、Cr, N および P は as-welded の耐孔食性に有害であった。

2.3.3 耐隙間腐食性

耐隙間腐食性に及ぼす Cu と Cr の影響を Fig. 5 に示す。Cu および Cr の増量は耐隙間腐食性に極めて有効であり、他に Ni の増量、Mn の低減も若干有効であった。一方、N は耐隙間腐食性に有害であった。

2.3.4 温水浸漬試験結果

温水浸漬試験後のスポット溶接試験片のナゲット部をドリルでくり抜き隙間部を開いた状態の外観を Photo 1 に示す。いずれの試験片においても気液界面および気相部の隙間での発錆が激しい。Cu 無添加材に比べて 1% Cu 添加材では耐錆性がやや改善されるが、さらに添加量を増やした 2% および 3% Cu 添加材では逆に耐錆性が低下する。このように Cu を単独添加すると耐錆性が低下する場合があることは既に知られている^{6,7)}。これに対して Cu 添加材に Mo を複合添加すると、耐錆性が顕著に改善される。Mo は耐錆性

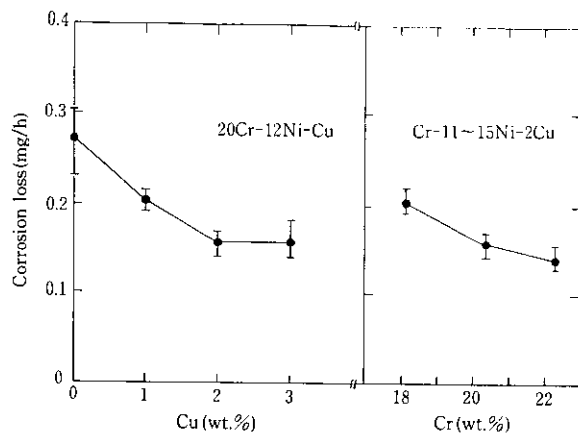


Fig. 5 Effects of Cu and Cr contents on crevice corrosion loss in (3.5%NaCl+0.1% H_2O_2) solution at 30°C for 48 h (The specimens were fastened by TFE bolt, nut and washer.)

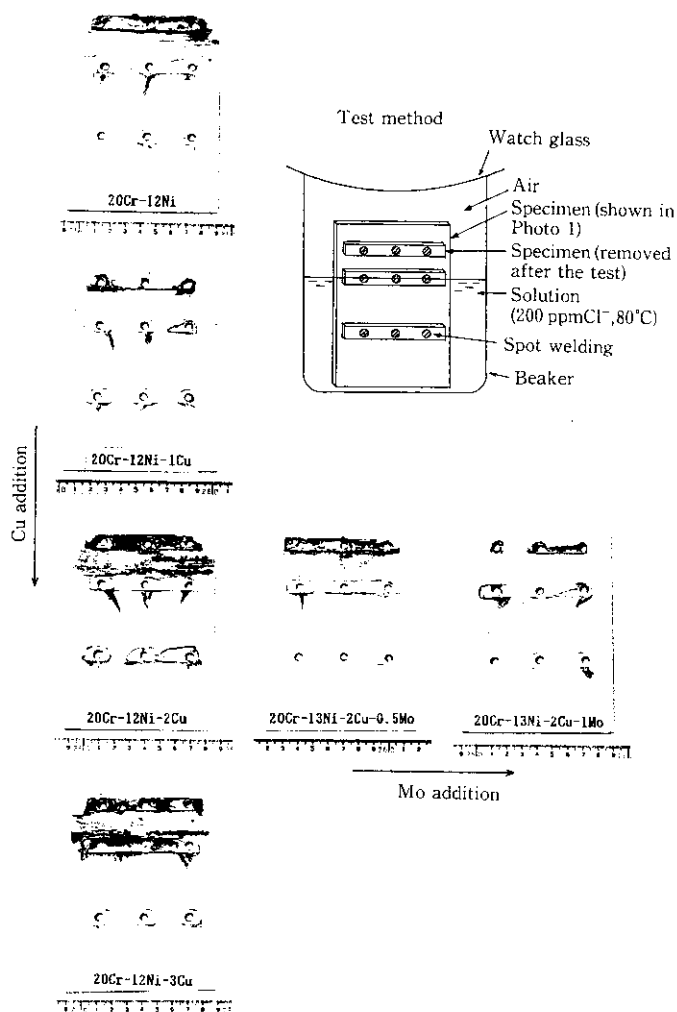


Photo 1 Appearance of the inner surface of spot weldments immersed for three months in hot water (200 ppmCl⁻, 80°C)

改善に極めて有効であるが、前述のごとく多量の Mo 添加は耐 SCC 性に対して有害である。ナゲット部の断面ミクロ組織を Photo 2 に示すが、温水浸漬試験のような温和な腐食環境では 0.5% Mo 添

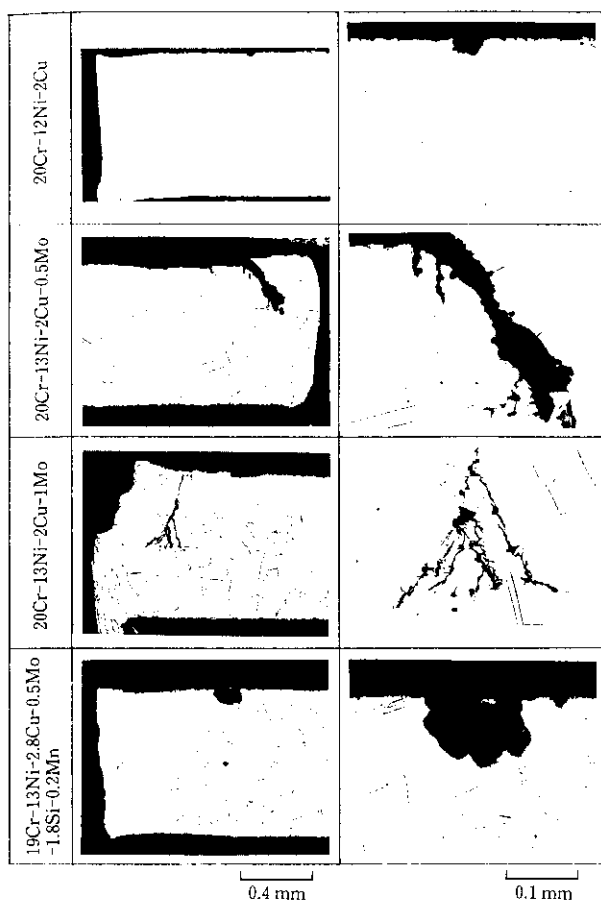


Photo 2 The cross-sectional micrographs of spot weldments immersed for three months in hot water (200 ppmCl⁻, 80°C)

加材でも耐 SCC 性が若干低下し、食孔の底部から小さい割れが生じる。また、1.0% Mo 添加材では表層部より典型的な SCC が発生する。本試験のような比較的温和な腐食環境では孔食や隙間腐食を起点として SCC が発生することが知られており^{8,9)}、したがって Mo の最適添加量は孔食および隙間腐食に対する抑制作用と SCC に対する促進作用の兼ね合いで決まることになると考えられる。温水環境では Mo の SCC 促進作用が強くなるため、0.5% Mo 添加材でも若干の SCC 感受性を示すが、この程度の SCC 感受性であれば、耐 SCC 性に有効な他の元素との複合添加により改善が可能である。Photo 2 に示すように、SCC 性向上に有効な Cu および Si の増量と Mn の低減を行った 19 Cr-13 Ni-2.8 Cu-0.5 Mo-1.8 Si-0.2 Mn 鋼では、孔食を生じてもそこから割れが発生することはない。

2.4 Cu の耐食性向上機構

前節で述べたように、Cu の添加は耐 SCC 性と耐隙間腐食性を改善するが、耐孔食性への影響はほとんど認められなかった。一方、温水浸漬試験において 1% Cu の添加は耐腐性を向上させたが、2% 以上の添加は耐腐性を逆に低下させた。このように耐食性に及ぼす Cu 添加の効果は腐食条件によって異なってくる。ここでは Cu 添加の影響が腐食条件によって変化する機構について検討する。以前、著者らは塩化物環境におけるステンレス鋼の腐食挙動に及ぼす Cu 添加の影響について検討し⁹⁾、その結果 Cu は腐食しているアノード部に金属 Cu として析出することにより、活性溶解を抑制して耐食性を向上させることを明らかにした。1% Cu を含む供試材を 1% H₂SO₄+0.033% NaCl 溶液中に浸漬した後、EPMA により試験片

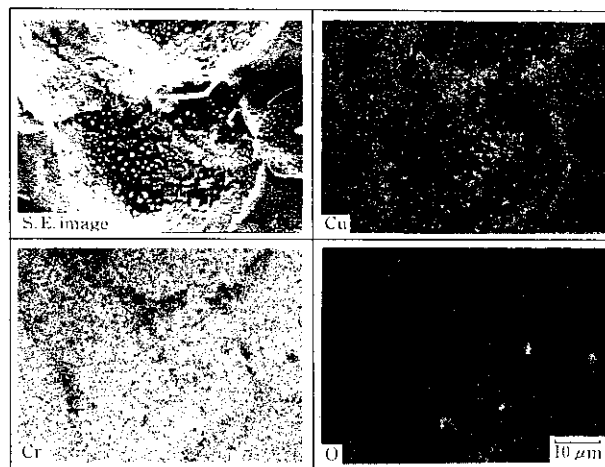


Photo 3 Characteristic X-ray images of the surface of 20%Cr-12%Ni-1%Cu steel immersed in (1% H₂SO₄+0.033% NaCl) solution at 80°C for 24 h

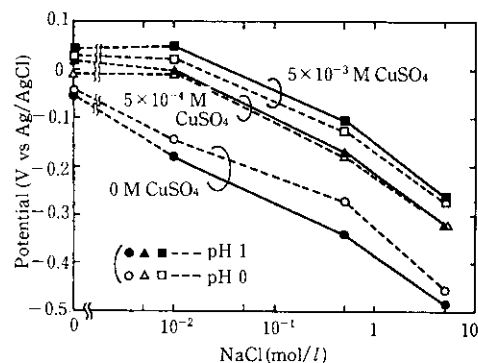


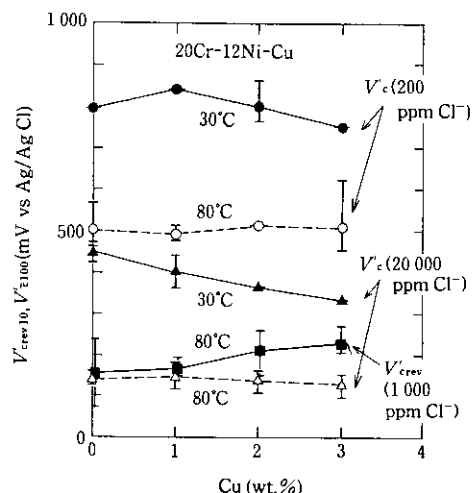
Fig. 6 Effect of Cl⁻ and Cu²⁺ addition on the dissolution potential of copper in sulfuric acid solution

表面を分析した結果を Photo 3 に示す。表面には金属 Cu が析出しており、そのため活性溶解が抑制される。しかし、Cu は Cl⁻ を含む溶液中では可溶性錯イオンを形成するため⁹⁾、溶液中の Cl⁻ 濃度が高くなると Cu が安定に存在する電位領域が小さくなる。Cu がイオンとなって溶出する電位を、純金属 Cu の分極測定においてアノード電流が検出される電位として求めた。Fig. 6 に示すように、NaCl が 5 mol/l まで濃化すると Cu の安定電位は -0.5 V vs Ag/AgCl 近くまで低下する。しかし、溶液中に Cu イオンが存在すると安定電位は上昇する。したがって、温水環境のように Cl⁻ 濃度が低い場合や、隙間腐食部のように Cu イオンが濃縮しやすい場合には Cu が安定に存在しやすくなり、その結果 Cu は耐食性向上に有効に作用すると考えられる。

しかし、Cu が析出せずに溶出した場合は Cu²⁺ の状態で存在するため¹⁰⁾、外部カソード面において Cu²⁺+e⁻→Cu⁺ のカソード反応が生じる。外部カソード面に溶出した Cu²⁺ 濃度が高くなると Cu²⁺ によるカソード反応により腐食が逆に促進される結果となる。結局、Cu は、析出 Cu が安定に存在するような卑な腐食電位域および Cl⁻ 濃度の低い腐食環境ならば耐食性に有効となり、イオンとして溶出する貴な腐食電位域および Cl⁻ 濃度の高い腐食環境ならば耐食性に有害になると考えられる。また、Cu を過剰に添加すると、析出しきれずに溶出した Cu イオンによるカソード反応促進作用が、アノード反応抑制作用より優勢となるために、耐食性に有害となる場合が生じてくる。Fig. 7 に孔食電位および隙間腐食電位に及

Table 2 Summary of effect of alloy elements on corrosion resistance

		Effective element	Detrimental element
Stress corrosion resistance		Cu, (0.5%Mo), (Si, Ni)	1%Mo, N, P, Mn
Pitting corrosion resistance		Mo, Si, Cr, Ni	Mn
Crevice corrosion resistance		Cu, Cr, Ni	Mn, N
Pitting corrosion resistance of TIG weldment	as-welded	Si, Ni	N, P, Cr
	#320 polished	Mo, Ni	Mn
Corrosion resistance in hot water		Mo, 1%Cu, P	N, 2~3%Cu

Fig. 7 Effect of Cu content on pitting potential V'_{C100} and crevice corrosion potential V'_{crev10}

ばす Cu の影響を示す。貴な電位および Cl^- 濃度が高い場合には Cu は有害となり、卑な電位および Cl^- 濃度が低い場合には Cu は有効となり、上記の検討の妥当性を支持するものと考えられる。

温水環境における SCC は孔食および隙間腐食を起点にして生じることから、Cu は耐 SCC 性についても有効に働くと考えられる。特に給湯機での SCC はほとんどの場合溶接隙間部から発生するため、Cu は隙間部に析出して隙間腐食を抑制または再不動態化することにより SCC の発生を防止すると考えられる。一方、SCC の成長を Cu が抑制する機構については、曾根らが Cu のカソード反応促進作用により腐食形態が割れから孔食型に変化することを報告しているが¹¹⁾、完全な機構解明にはさらに詳細な研究が必要と考えられる。

2.5 成分設計

合金元素の各種耐食性への影響をまとめた結果を Table 2 に示

す。耐 SCC 性を向上させるためには Cu を多量に添加し、Mo を 0.5% 以下に低減する必要があり、また耐 SCC 性を劣化させずに耐孔食性および耐隙間腐食性を改善するためには Si および Ni の増量と Mn の低減を行えばよいことがわかった。Cr も耐 SCC 性を劣化させずに母材の耐孔食性および耐隙間腐食性を改善するが、溶接部の as-welded における耐孔食性を低下させるため、Cr の増量には限界がある。また一方、Cu および Si の添加量は熱間圧延等の製造性の点から限界があり、Ni の添加量もコスト上の制約を受ける。

以上の点を考慮し、本試験データを重回帰分析した結果より、検討範囲内において最も耐 SCC 性が良好で、かつ耐孔食性および耐隙間腐食性は SUS 316 と同等以上の特性を有した温水用オーステナイト系ステンレス鋼として、19 Cr-12 Ni-2.8 Cu-0.5 Mo-1.8 Si-0.2 Mn 鋼 (River lite 315 CX) を開発した。

3 開発鋼の特性

開発鋼 R 315 CX と各種従来鋼の化学成分を Table 3 に示す。R 315 CX の化学成分の特徴は、耐 SCC 性向上のために Cu を 3% 近くまで添加し、Mo は 0.5% に低減していること、また Mo 低減に伴う耐孔食性および耐隙間腐食性の低下を Si, Ni および Cr の増量と Mn の低減により補っている点である。また、R 315 CX は製造性を改善するために耐食性に影響を与えない範囲で微量の特殊元素を添加している。

つぎに、本開発鋼 R 315 CX と従来鋼の耐 SCC 性および耐孔食性を Fig. 8 および 9 に示す。R 315 CX はいずれにおいても SUS 316 以上の耐食性を示し、特に溶接部の耐孔食性に優れており、SUS 444 および SUS 304 に比べても格段に優れた耐食性を示す。さらに、温水環境での耐 SCC 性を評価するために、辻川ら¹²⁾が用いた方法と類似の加速試験方法を用いて耐 SCC 性を調べた結果を Fig. 10 に示す。試験方法の概略を Fig. 10 に示すが、スポット溶接した供試材を温水中に浸漬してポテンショスタットにより強制的に隙間腐食を生じさせ、その時に SCC が発生するか否かを判定す

Table 3 Chemical composition of steels

(wt. %)

Steel	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	N	Other element
R 315CX	0.013	1.85	0.20	0.027	0.002	19.3	12.6	2.64	0.55	0.028	Special minor element
SUS 316	0.072	0.53	1.43	0.024	0.007	17.4	11.0	0.30	2.13	0.026	
SUS 304	0.064	0.41	1.26	0.036	0.003	18.3	8.5	0.05	0.04	0.047	
SUS 444	0.003	0.17	0.28	0.031	0.005	18.1	0.3	0.02	1.82	0.005	Nb/0.27

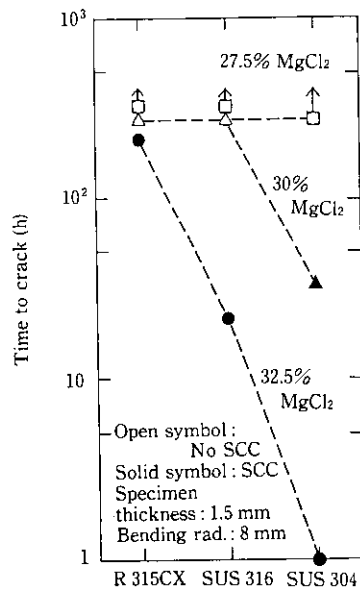


Fig. 8 Comparison of stress corrosion resistance between the newly developed stainless steel, R 315CX, and conventional ones in boiling $MgCl_2$ solution by U bend method

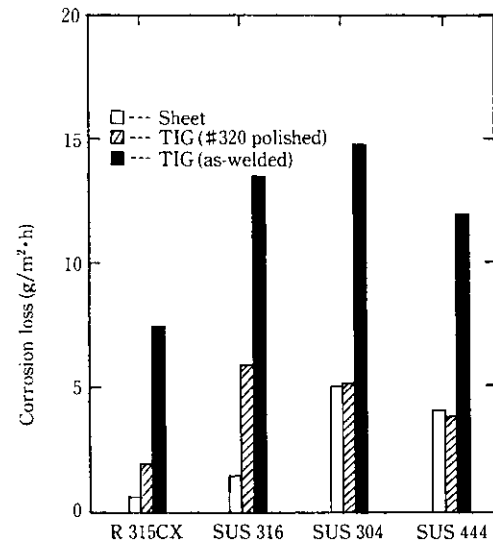


Fig. 9 Comparison of pitting corrosion resistance between the newly developed stainless steel, R 315CX, and conventional ones in (6% $FeCl_3$ + 1/20N HCl) solution at 35°C for 24 h

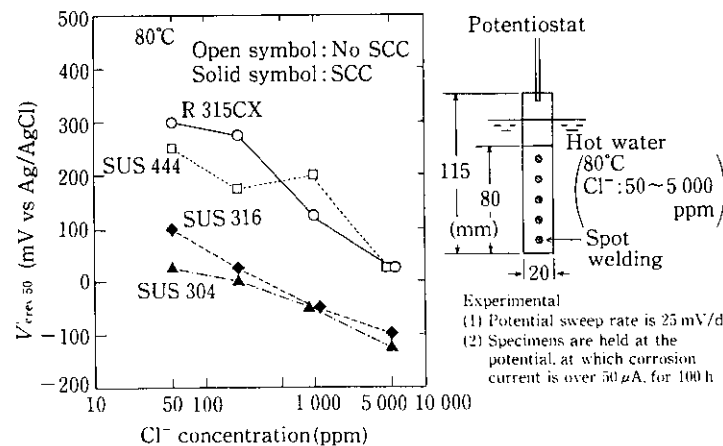


Fig. 10 Stress corrosion and crevice corrosion resistance of the newly developed stainless steel and conventional ones

る方法である。本試験方法は従来用いられていた長期温水浸漬試験と比較して、腐食が発生した時に割れとなるか、否かという SCC 発生傾向を温水中の臨界 Cl^- 濃度によって定量的にかつ迅速に評価できるという利点を持っている¹³⁾。SUS 316 および SUS 304 では温水中の Cl^- 濃度が 50 ppm でも SCC が発生するのに対し、R 315CX では Cl^- 濃度が 5 000 ppm になっても SCC が発生せず、格段に優れた耐 SCC 性を示す。また、隙間腐食発生電位も、R 315CX は SUS 316 よりそれぞれの Cl^- 濃度において約 200 mV 優れている。SUS 444 は、いったん隙間腐食が発生しても再不動態化傾向が強いために一時的に腐食電流が減少し、その結果隙間腐食発生電位としては高い値となるが¹⁴⁾、隙間部の腐食量は R 315CX、SUS 316 および SUS 304 よりかなり大きい。

R 315CX の機械的性質を従来鋼と比較して Table 4 に示す。R 315CX は SUS 316 および SUS 304 とほぼ同等の特性を示し、溶接部の加工性も良好である。

Table 4 Mechanical properties of the newly developed stainless steel and conventional ones (0.8 mmf)

	R 315CX	SUS 316	SUS 304	SUS 444
0.2% PS (N/mm ²)	288	300	265	376
TS (N/mm ²)	572	626	618	523
El (%)	46.8	48.1	54.0	25.1
n-value	0.354	0.407	0.470	0.184
Hardness (HV)	144	151	156	176
Erichsen (mm)	11.1	11.7	12.7	8.9
LDR*1	2.05	2.10	2.05	2.05
TIG welded specimen*2				
0.2% PS (N/mm ²)	289	289	294	353
TS (N/mm ²)	588	618	711	510
El (%)	42	43	44.5	23
n-value	0.351	0.388	0.443	0.176

*1 Graphite grease lubrication

*2 Longitudinal to welding line

4 結 言

温水環境において耐 SCC 性と耐孔食性および耐隙間腐食性に優れたオーステナイト系ステンレス鋼を開発するために、Cu 含有オーステナイト系ステンレス鋼の耐食性に及ぼす Si, Mn, P, Cr, Ni, Cu, Mo および N の影響を調査し、以下の結果を得た。

- (1) Cu 添加は温和な腐食環境における耐 SCC 性の改善に有効であり、その添加量の増加にしたがって耐 SCC 性は向上する。Mo は過剰に添加すると耐 SCC 性を逆に低下させるため、0.5 %以下に低減する必要がある。
- (2) Si と Ni の増量および Mn の低減により耐 SCC 性を低下させることなく耐孔食性と耐隙間腐食性が改善される。
- (3) 塩化物環境においても、Cu はアノード部に金属 Cu として

析出することにより、活性溶解を抑制して耐食性を向上させる。析出 Cu の存在電位域は溶液中の Cl⁻ 濃度増加とともに低下し、Cu イオン濃度増加とともに上昇するため、温水のような低 Cl⁻ 濃度環境における耐隙間腐食性に対して Cu 添加は特に有効である。このような腐食抑制機構により Cu は温水環境における SCC の発生を抑制すると考えられる。

以上の結果に基づき、温水用オーステナイト系ステンレス鋼 R 315 CX (19 Cr-12 Ni-2.8 Cu-0.5 Mo-1.8 Si-0.2 Mn) を開発した。R 315 CX は温水環境において SUS 316 より格段に優れた耐 SCC 性を示し、耐孔食性および耐隙間腐食性も同等以上である。また、加工性と溶接性も SUS 316 に比べて遜色はない。本開発鋼の給湯機缶体、温水配管等への適用が今後期待される。

終わりに本鋼種の開発に際し、多大な御協力を頂いた三洋電機株式会社に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 増尾 誠, 曾根雄二, 小野 寛: 鉄と鋼, **69** (1983) 7, 837
- 2) 曾根雄二, 倉橋速生, 和田佳代子, 中井揚一: 川崎製鉄技報, **16** (1982) 2, 116
- 3) 小野山征生: 防食技術, **30** (1981) 2, 119
- 4) 渡辺治幾, 前北果彦: 鉄と鋼, **67** (1981) 5, S421
- 5) 足立俊郎, 藤井 敦, 吉井紹泰: 鉄と鋼, **73** (1987) 13, S1390
- 6) 宇城 工, 石川正明, 蓮野貞夫, 成谷 哲, 鈴木重治: 第33回腐食防食討論会, (1986), B-214
- 7) 中山佳則, 滝沢貴久男, 志水康彦, 古賀弘司: 第34回腐食防食討論会, (1987), A-201
- 8) 小若正倫, 工藤勉夫: 鉄と鋼, **62** (1976) 3, 390
- 9) 伊藤伍郎: 「腐食科学と防食技術」, (1981), 259, [コロナ社]
- 10) 過 家駒, 瀬尾眞浩, 佐藤美貴, G. Hultquist, C. Leygraf, 佐藤教男: 防食技術, **35** (1986) 5, 283
- 11) 曾根雄二, 和田佳代子, 倉橋速生, 中井揚一: 第30回腐食防食討論会, (1983), B-201
- 12) 辻川茂男: NiDI 講演会資料, (1988) 6月, 1
- 13) 宇城 工, 曾根雄二, 橋本 修, 小平隆志, 中山佳則, 植木 裕: 材料とプロセス, **2** (1989) 6, 2007
- 14) 吉井紹泰, 西川光昭, 林 公爾: 腐食防食 '88 講演集, (1988), C-105