高耐食性・高加工性フェライト系ステンレス鋼 “River Lite SX-1”の開発

矢沢 好弘^{*1)} 宇城 工^{*1)} 佐藤 進^{*2)}
小林 真^{*3)} 大和 康二^{*4)}

1. 緒 言

ステンレス鋼はその美しい表面光沢と優れた耐食性を有するため、建築物内外装材や厨房器具、電気機器、自動車材料、化学プラント部材などの用途に幅広く使用されている⁽¹⁾。

特にオーステナイト系ステンレス鋼の SUS304(18Cr-8Ni) 鋼については、加工性、耐食性、溶接性さらには製造性といった各種特性のバランスが良いため、市販されているステンレス鋼の中で最も用途と消費量が多い⁽²⁾。

従来汎用フェライト系ステンレス鋼である SUS430 鋼の用途が、SUS304 鋼に比べ限定されていた理由として(1)耐食性に劣る、(2)延性に乏しくプレス成形性に劣る、(3)加工時にリジングと呼ばれる筋模様が発生する、(4)溶接性に劣る、といった点が指摘されていた。

一方、フェライト系ステンレス鋼はオーステナイト系ステンレス鋼に比べいくつかの優れた特性を有する。例えば、応力腐食割れ(SCC)を生じないこと、Ni を含まないため同等の耐食性を確保するために必要な原料費が安いこと、同じ Cr, Mo 含有量で比較した場合フェライト系はオーステナイト系に比べ大気環境において優れた耐錆性を示すこと⁽³⁾⁽⁴⁾、熱膨張率がオーステナイト系の 2/3 程度であるため長尺の溶接構造物で熱歪が生じにくいといったことがあげられる。今までに、このようなフェライト系ステンレス鋼の長所を生かすべく、応力腐食割れ感受性が問題になる用途や海岸環境に代表される厳しい腐食環境において十分な耐食性・耐候性を有する材料として SUS444, SUS447J1 などのフェライト

系ステンレス鋼が開発され実用化されている⁽⁵⁾。しかしながら、このような高純度高合金フェライト系ステンレス鋼は加工性が SUS304 より劣り、特にリジングの発生が顕著である。またコストもかなり高い。そのため、未だ成形性、リジング特性、耐食性さらにコストのバランスが SUS304 に匹敵する汎用フェライト系ステンレス鋼は開発されていなかった。

そこで当社では新設した製鋼工場の高純度化技術を利用した成分の適正化と新熱延工場の設備能力を生かした熱延条件の適正化、さらに焼鈍・冷延などの製造条件の適正化により SUS304 代替汎用フェライト系ステンレス鋼の開発を総合的に検討し、River Lite SX-1(RSX-1)を開発・量産するに至った。

本鋼種は従来 SUS304 が使用されていた分野、例えば建築物内外装材、厨房器具、電気機器など広範囲な用途に適用が可能である。

2. 開発の経緯

(1) 化学成分の適正化

これまでに当社が蓄積してきたステンレス鋼の高純度精錬技術を集大成した製鋼工場を千葉製鉄所に新設したが、その本格的稼働に伴い C+N が 100 ppm 以下の高純度フェライト系ステンレス鋼の安定量産化が容易となった。

従来からフェライト系ステンレス鋼の特性改善には高純度化が極めて有効な手段であることが知られている⁽⁵⁾。特にフェライト系ステンレス鋼の欠点とされている成形性や耐孔食性の改善には、(C+N)の低減、Nb, Ti などの C, N 安定化元素の適量添加が有効である。そこで新製鋼設備による高純度化技術の利用を前提に加工性、リジング特性の改善、さらには耐食性が SUS304 以上になる鋼の合金設計を行った。

まず、基本となる耐食性については高純度化が耐食性、特に耐錆性に極めて有効であるとの研究結果⁽⁶⁾に基づき、中性環境における耐食性が SUS304 と同等以上になるように最適な Cr, Mo 量を設定した。一方、高純度化は機械的性質に

* 川崎製鉄株式会社

鉄鋼開発・生産本部技術研究所ステンレス鋼研究室：1)主任研究員 2)室長

鉄鋼開発・生産本部千葉製鉄所ステンレス管理室：3)主査

鉄鋼企画・営業本部ステンレス技術部：4)部長

Development of New Ferritic Stainless Steel, River Lite SX-1, Bearing High Corrosion Resistance and Excellent Drawability; Yoshihiro Yazawa, Takumi Ujio, Susumu Satoh, Makoto Kobayashi, Koji Yamato(Kawasaki Steel Corporation)

1996年1月31日受理

図1 r 値と耐リジグ性に及ぼす C, N の影響
(18Cr-1.5Mo-Ti 鋼: 板厚 0.7 mm).

表1 RSX-1 の代表化学組成.

(mass%)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Ti	N
規格値	≤0.010	≤1.0	≤1.0	≤0.040	≤0.030	16.0~19.0	≤0.30	1.25~1.50	添加	≤0.015
代表値	0.003	0.06	0.15	0.032	0.005	17.8	0.08	1.45	添加	0.007

おける r 値を改善するものの、リジグ特性を低下させる傾向にある。そこで、高純度材料の研究において C と N の影響を分離した実験を行った結果、Ti 添加フェライト系ステンレス鋼の場合 C を極力低減し、N を適量残留させることにより、 r 値や耐食性を損なわず r 値やリジグ特性を向上させ得ることがわかった(図1)。そこで RSX-1 においては最適の C, N バランスとしている。また、安定化元素として Ti を採用することで従来よく用いられていた Nb 系に比べ再結晶温度を低温とし、普通鋼ラインの兼用も可能となるように合金成分の設計を行い、低コスト化を実現した。

その他元素の最適値を種々検討した結果、耐食性、加工性、リジグ特性に優れしかもコスト的にもバランスのとれた成分系として表1に示す化学組成を決定した。

(2) 製造条件の適正化

RSX-1 の開発における製造上のポイントはフェライト系ステンレス鋼の欠点であるリジグ特性と加工性の改善である。

リジグとは、ステンレス鋼の薄鋼板を加工する際に発生するしわであり、このしわは製品の美観を損ねるのみならず、加工後の研磨負荷を増やすなどの欠点があり、フェライト系ステンレス鋼の大きな改善課題とされている。図2にプレス品に見られたリジグの外観を示す。リジグについては松尾⁽⁷⁾武智⁽⁸⁾をはじめ多くの研究者⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾により軽減方法やメカニズムの研究がなされ報告されているが未だ市販フェライト系ステンレス鋼のリジグ特性は十分とはいえない。本開発鋼は成分の適正化の他に製造条件の適正化からフェライト系ステンレス鋼のリジグ発生を極限まで低減するとともに高 r 値化も実現した。その技術開発の基礎となったものは、高純度フェライト系ステンレス鋼の熱間圧延においては静的再結晶が容易に生じることを見出し、そのプロセス

図2 プレス加工品のリジグ(SUS430).

の利用により、リジグの主因と考えられている鑄造組織に起因した同一結晶方位の集合体が分断破壊されることを明らかにしたことにある。実際の製造工程においては、新熱延工場で従来以上の強圧下と低温熱延を行い、加えて熱延板焼鈍・冷延・仕上げ焼鈍条件の各製造条件の適正化により、RSX-1 の r 値とリジグ特性を同時に格段に改善することに成功した。

3. 開発鋼の特性

以上の基礎検討結果を基に工程生産された開発鋼 RSX-1 の特性を以下に示す。

(1) 機械的性質

表2に0.7 mm 厚の RSX-1 の機械的性質を SUS304, SUS430 と比較して示す。RSX-1 は SUS304 に比べ伸びが低いものの、 r 値、CCV, LDR は SUS304 や SUS430 より優れている。

図3に円筒絞り結果を示すが、深絞り性は SUS304 以上である。また、リジグ特性についても RSX-1 は SUS304

表2 RSX-1 の機械的性質.

(板厚 0.7 mm)

	0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	硬さ Hv(1 kg)	r 値	n 値
RSX-1	328	492	33	160	1.50	0.23
SUS304	265	660	58	160	1.00	0.48
SUS430	310	510	29	160	0.80	0.21

図3 同筒絞り試験後の外観.

に近く、SUS430 に比べ格段に改善されている。さらに、エリクセン値、 Δr も SUS430 に比べ優れている。

(2) 耐食性

耐候性試験として#800研磨仕上げした材料について海岸地域における3ヶ月間の大気暴露試験(JISZ2381)を、また耐食性促進試験として塩乾湿複合サイクル腐食試験、孔食電位測定(JISG0577)，を行った。いずれの試験においてもSUS304, SUS430 を比較材として用いた。

図4に沖縄県具志川町における3カ月の大気暴露試験結果をまた、図5に塩乾湿複合サイクル試験結果を示す。いずれの試験結果からも中性環境における耐錆性はSUS304 より格段に優れていことが明らかである。また、孔食電位(3.5%NaCl 30℃)はSUS304 の300(mV vs. SCE)に対してRSX-1 は320(mV vs. SCE)である。

図4 沖縄県具志川町における3カ月の大気暴露試験後の外観。

図5 塩乾湿複合サイクル試験後の外観。

表3 物理的性質。

鋼種	熱膨張係数 ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) (20~100℃)	熱伝導率 (cal/(cm·s·℃)) (20℃)	ヤング率 (10^4 N/mm^2) (20℃)	密度 (g/cm ³) (20℃)	比熱 (cal/g·℃) (0~100℃)	電気抵抗 ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$)
RSX-1	10.3	0.059	21.2	7.70	0.11	62
SUS304	17.3	0.039	19.3	7.93	0.12	72
SUS430	10.6	0.063	20.0	7.70	0.11	60

図6 RSX-1の使用例(電子ジャマー内筒)。

(3) 物理的性質

表3にRSX-1の物理的性質をSUS304, SUS430と比較して示す。RSX-1はオーステナイト系ステンレス鋼のSUS304に比べ熱膨張係数が2/3程度、熱伝導率が1.5倍であることが特徴である。

4. 新製品の実績および工業所有権

本鋼の開発により、従来SUS304が用いられていた耐食性およびプレス成形性が必要な用途、さらには従来のフェライト系ステンレス鋼ではリジング特性に問題があった用途への適用も可能となった。今までに、電子ジャマー(図6)、建材用途、家電部品、産業機器の部品として使用されている。

現在、外国特許13件および国内特許を18件出願中である。

文 献

- (1) 諸石大司：第151・152回西山記念技術講座，日本鉄鋼協会編，(1994)，1。
- (2) ステンレス協会：ステンレス鋼板用途別受注統計年報，平成5年度。
- (3) 矢沢好弘，宇城 工，佐藤 進，吉岡啓一：材料と環境，44(1995)，654。
- (4) Y. Yazawa, T. Ujiro, S. Satoh, K. Yamato, Y. Oka and H. Kaito: PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL CONFERENCE ON 9TH ASIA PACIFIC CORROSION CONTROL CONFERENCE (9TH APCCC), KAOSHING TAIWAN, (1995), p. 375-380。
- (5) 吉岡啓一，鈴木重治，木下 昇，平野忠男，広瀬洋一，黒沢正男：川崎製鉄技報，17(1985)，3, 240。
- (6) 宇城 工，矢沢好弘，栃原美佐子，藤沢光幸，佐藤 進：第42回腐食防食討論会，B-302, p. 301。
- (7) 松尾宗次：日本金属学会会報，19(1980)，192。
- (8) 武智 弘，加藤 弘，角南達也，中川 正：日本金属学会誌，31(1967)，717。
- (9) 大橋延夫：日本金属学会誌，31(1967)，519。
- (10) 原勢二郎，太田国照，清水 亮，竹下哲郎：鉄と鋼，76(1991) No. 9, 118。