

川崎製鉄技報
KAWASAKI STEEL GIHO
Vol.17 (1985) No.3

当社ステンレスの製造プロセスと製品特性

Manufacturing Process and Properties of Stainless Steels Developed by Kawasaki Steel

小野 寛(Yutaka Ono) 垣内 博之(Hiroyuki Kaito)

要旨：

当社のステンレス鋼の量産は昭和 36 年の広幅ゼンジミル設置を転機としているが、既存の SUS430 や 304 などの鋼種を改良し、特性の上で一步前進した新鋼種の開発は昭和 46 年の VOD 設備の導入およびその後の SS-VOD 法の開発による極低炭素・窒素鋼の製造により開花した。その開発方針の基調となったものはフェライト系ステンレス鋼の極低炭素・窒素化による耐食性と加工性の改良であり、その手始めは昭和 47 年に発表された SUS430 鋼の欠点をすべての点で改良した R430LT 鋼である。その後、スーパーフェライトに至るまで種々の鋼が開発された。またオーステナイトステンレス鋼の分野では、フェライト系とは異った種々の面からの改良がすすめられている。

Synopsis：

At present in Kawasaki Steel Corp., commercial grade stainless steels such as type 430 or 304 are produced by the K-BOP-CC-tandem hot rolling mill-senzimir cold rolling mill or tandem cold rolling mill processes. We developed an SS-VOD process in 1977, and various new ferritic stainless steels, such as ultra low carbon and nitrogen high chromium ferritic stainless steels, are produced by this process. They are extremely improved in wet and dry corrosion resistance, weldability, and press formability. Various kinds of austenitic stainless steels have also been developed by other techniques of alloy design concerned with stability of austenitic phase or alloy elements. These austenitic stainless steels are exceedingly improved in press formability, oxidation resistance, cryogenic properties, and spring properties.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

小野 寛^{*2} 垣内 博之^{*3}

Manufacturing Process and Properties of Stainless Steels Developed by Kawasaki Steel

Yutaka Ono, Hiroyuki Kaito

要旨

当社のステンレス鋼の量産は昭和36年の広幅ゼンジミアミルの設置を転機としているが、既存の SUS 430 や 304 などの鋼種を改良し、特性の上で一歩前進した新鋼種の開発は昭和46年の VOD 設備の導入およびその後の SS-VOD 法の開発による極低炭素・窒素鋼の製造により開花した。その開発方針の基調となったものはフェライト系ステンレス鋼の極低炭素・窒素化による耐食性と加工性の改良であり、その手始めは昭和47年に発表された SUS 430 鋼の欠点をすべての点で改良した R 430 LT 鋼である。その後、スーパーフェライトに至るまで種々の鋼が開発された。またオーステナイト系ステンレス鋼の分野では、フェライト系とは異った種々の面からの改良がすすめられている。

Synopsis:

At present in Kawasaki Steel Corp., commercial grade stainless steels such as type 430 or 304 are produced by the K-BOP-CC-tandem hot rolling mill-sendzimir cold rolling mill or tandem cold rolling mill processes. We developed an SS-VOD process in 1977, and various new ferritic stainless steels, such as ultra low carbon and nitrogen high chromium ferritic stainless steels, are produced by this process. They are extremely improved in wet and dry corrosion resistance, weldability, and press formability. Various kinds of austenitic stainless steels have also been developed by other techniques of alloy design concerned with stability of austenitic phase or alloy elements. These austenitic stainless steels are exceedingly improved in press formability, oxidation resistance, cryogenic properties, and spring properties.

1 はじめに

当社がステンレス鋼の量産に移ったのは昭和36年の広幅ゼンジミアミルの設置が一つの転機となっているが、既存の SUS 430, SUS 304 などの鋼種を改良し、特性の上で一歩前進した新鋼種の開発は昭和46年の VOD 設備 (ELO-VAC 炉) の導入に始まり、その後の SS-VOD 法の開発によって一挙に花開いた感がある。当時は、Ni の省資源が基調となり、フェライト系のステンレスをできる限りオーステナイト系ステンレス鋼の優れた性質に近似させることが安価でより高級なステンレス鋼を得る道と考えられ、その手段とし、主として SS-VOD 法による極低炭素・窒素化が使われてきた。今回ステンレス鋼特集号が発刊されるに当たり、開発鋼種を中心に、ステンレス鋼の製造プロセスと製品特性の概要を述べる。

2 製造プロセス

2.1 製鋼工程

ステンレス鋼の形状別製造工程図を Fig. 1 に示す。当社のステンレス鋼は高炉メーカーとしての特色を最大限に生かして製造されている。とくに、製鋼工程では、従来電気炉ではスクラップが主原料であったものが、転炉を使用するようになってから溶銑を主原料

にすることができるようになり、大いなる変革をみた。フェライト系およびマルテンサイト系ステンレス鋼の場合、世界最初の複合吹錬用転炉である K-BOP¹⁾ (普通鋼兼用上下吹き転炉) に溶銑とフェロクロムを装入し精錬する。またオーステナイト系ステンレス鋼は UHP 電気炉によりあらかじめスクラップとフェロクロム、フェロニッケルを溶解し、この溶鋼を前述の K-BOP に装入して精錬する。次いで両者とも、RH 真空脱ガス設備にて脱ガスし連続 casting^{2),3)} によってスラブを作る。以上は既存の量産鋼種の当社における一般の製鋼法であるが、後述の製品特性の項で述べるように極低炭・窒素の高級フェライト系ステンレス鋼を溶製するためには K-BOP による精錬では不足であり代りに VOD 設備を当社独自で改良した SS-VOD 設備⁴⁾ による脱炭・脱窒が必要となる。現在、この設備を使用した場合の到達炭素および窒素量は 30% Cr ステンレス鋼でそれぞれ 20 および 50 ppm に及んでいる。

2.2 圧延工程

圧延工程については鋼板と鋼帯を中心に述べるが、熱延工程までは千葉製鉄所で一貫して行っている。熱間圧延はホットタンデムミルで行っているが、製品の板厚偏差を小さくするためにワークロールシフトによるクラウン制御⁵⁾ を行うと同時に冷延工程での能率を上げるために大単重、薄肉化に力点を置いている。ホットコイルの焼鈍酸洗は廃酸回収設備⁶⁾ を有する KM-AP ライン (ホット、コールドいずれも通板可能なマルチタイプで 5 フィート幅、8 mm 厚中

*1 昭和60年4月30日原稿受付

*2 本社鉄鋼技術本部電磁ステンレス技術部主査 (部長補)

*3 千葉製鉄所管理部ステンレス管理室主査 (課長)

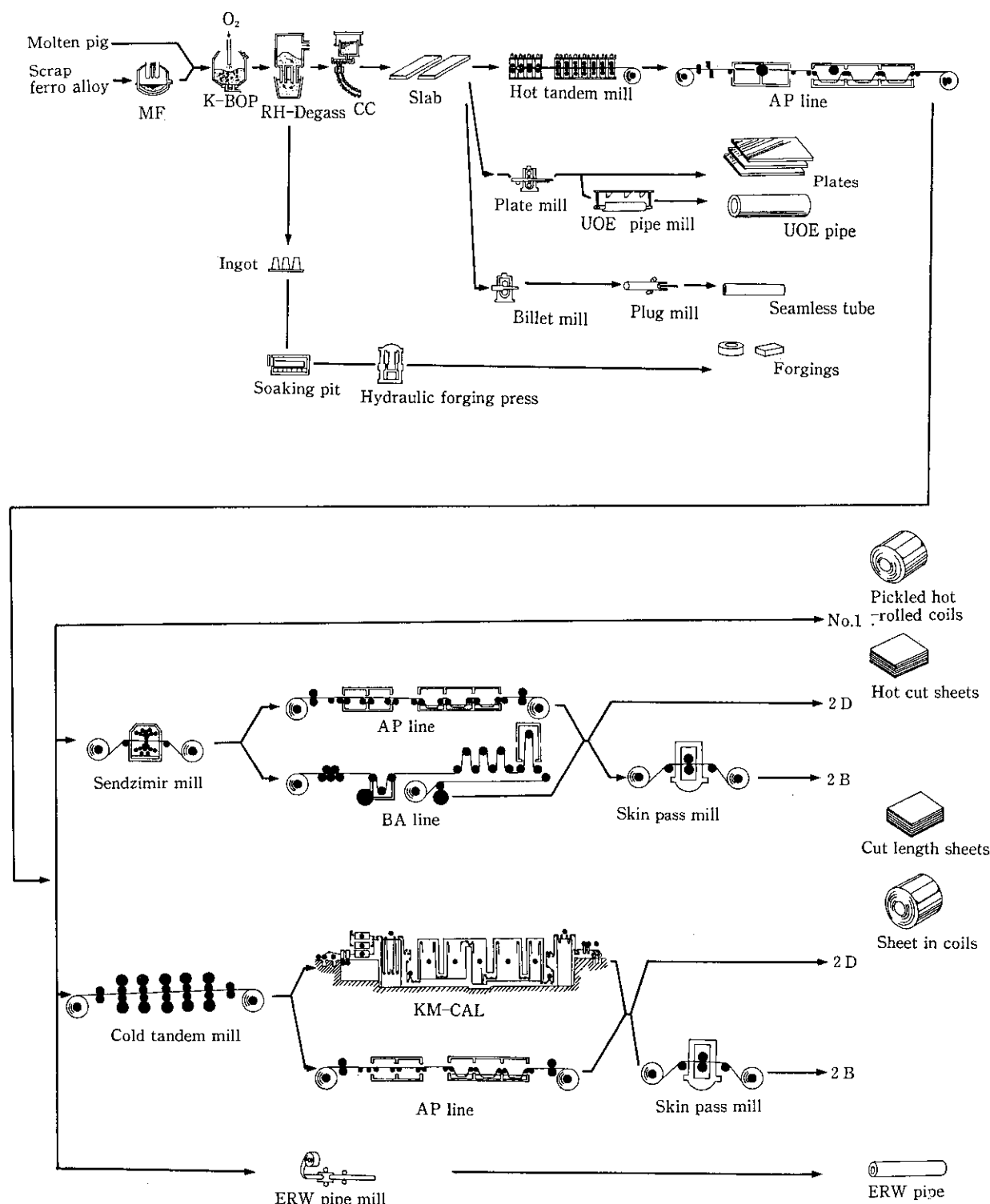


Fig. 1 Manufacturing process of stainless steels in Kawasaki Steel

板まで通板可能)にて仕上げる。また千葉製鉄所では連铸スラブを使用して厚板圧延機によるステンレス鋼厚板、さらにこの厚板を使った大径鋼管を製造している。このほか、铸込法による厚板クラッド鋼の製造ならびに薄板クラッド鋼の素材となるクラッド鋼帯の製造も行っている。知多製造所において製造している継目無ステンレス鋼管⁷⁾および水島製鉄所で製造されるステンレス鍛鋼品⁸⁾の素材も、千葉製鉄所から供給されている。

冷間圧延工程は主として阪神製造所で行っており、広幅ゼンミアミルを中心とするライン構成である。ステンレス鋼の品質はその

特性もさることながら、表面肌の美しさや良好な平坦度など、外観に負うところが大きく、これらの要求に応ずべく(ハイテンションスキンパスミル⁹⁾や自動精整ライン¹⁰⁾の設置を行い、高度な技術を駆使した生産を行っている。さらに、バフ研摩、フローコーター、保護膜貼布および塗装設備などを有しヘアライン、クリヤ塗装あるいは塗装カーステンレス鋼など多様化する用途に応じている。

以上は、従来から一般に行われてきたステンレス鋼の製造工程であるが、近年、千葉製鉄所において普通鋼と同じライン、すなわ

Table 1 List of stainless steels developed by Kawasaki Steel Corp.

(%)

	Referred designation of JIS	Designation of developed steels	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	others	Improved properties
Ferritic	SUS 410	R 410 L	≤0.030	≤1.00	≤1.00	11.50 } 13.50	—	—	—	—	Weldability, oxidation resistance
	SUH 409	R 409 SR	≤0.015	1.00~2.50	≤1.00	10.00 } 12.00	—	—	—	Ti≤0.50	
	SUS 430	R 430 LT(N)	≤0.030	≤0.75	≤1.00	16.00 } 18.00	—	—	—	Ti(Nb) 0.10~1.0	Drawability, Weldability, corrosion & oxidation resistance
		R 430 CuN	≤0.030	≤1.00	≤1.00	17.50 } 19.50	—	—	0.40 } 0.70	N≤0.030 Nb≥10(C+N)	Drawability, corrosion resistance
		R 430 LNM	≤0.030	≤1.00	≤1.00	16.0 } 19.0	—	0.40~0.80	—	N≤0.030 Nb 0.20~0.70	Corrosion resistance
		ALT-15	≤0.015	≤0.50	≤0.50	14.50 } 15.50	—	—	—	Al 2.8~3.6 Ti 0.10~1.00 REM 0.1~0.6	Oxidation resistance
		ALT-18	≤0.012	≤0.09	0.25~0.50	17.50 } 18.50	—	—	—	Al 2.8~3.6	
	SUS 434	R 434 LT-1, LN-1	≤0.020	≤1.00	≤1.00	16.00 } 19.00	—	0.75~1.25	—	Ti(Nb) 10(C+N)~0.80	Corrosion resistance, weldability, workability
		R 434 LT-2, LN-2	≤0.020	≤1.00	≤1.00	17.50 } 19.50	—	1.75~2.25	—	Ti(Nb) 15(C+N)~0.80	
		SHOMAC RIVER 26-1* ¹⁾	≤0.010	≤0.40	≤0.40	25.00 } 27.50	—	0.75~1.50	—	N≤0.015	Corrosion resistance
		SHOMAC RIVER 26-4* ¹⁾	≤0.010	≤0.40	≤0.40	25.00 } 27.50	—	3.75~4.50	—	N≤0.015	
		SHOMAC 30-2* ¹⁾	≤0.010	≤0.40	≤0.40	28.50 } 32.00	—	1.50~2.50	—	N≤0.015	
Martensitic	SUS 410	R 410 DH	≤0.020	≤0.50	1.00~2.50	10.75 } 13.50	—	—	≤1.00	—	Weldability
		R 410 DB	≤0.090	≤0.50	1.00~2.50	10.00 } 14.50	—	—	—	C+N: 0.04~0.10	Wear & corrosion resistance, easy heat treatment
		HCS 16* ²⁾	0.25~0.40	<1.00	<1.00	15.00 } 17.00	—	—	—	—	Corrosion resistance
Austenitic	SUS 304	R 304 UD	≤0.15	≤1.00	≤2.00	13.00 } 15.00	6.00~8.00	≤1.00	1.00 } 3.00	—	Drawability
		R 304 MN* ³⁾	0.034	0.15	8.6	15.5	2.5	—	2.5	—	
		R 301 L	≤0.03	≤1.00	≤2.00	16.00 } 18.00	6.00~8.00	—	—	—	Corrosion resistance
		R 301 R* ^{3,4)}	0.12	0.90	1.03	16.30	6.25	—	—	—	Spring properties
	SUS 301	R 304 Cu	≤0.080	≤1.00	≤2.00	18.00 } 20.00	8.00~10.50	—	1.0 } 2.0	—	Stress corrosion resistance
		R 304 CuL	≤0.030	≤1.00	≤2.00	18.00 } 20.00	9.00~13.00	—	1.0 } 2.0	—	
	SUS 316	R 316 LNX* ³⁾	0.024	0.52	1.00	17.38	11.98	—	—	N 0.15 V 1.00	Cryogenic properties
		RXM 15	≤0.080	3.00~5.00	2.00	17.00 } 23.00	11.50 } 15.00	—	—	REM 0.05~0.20	Oxidation resistance

- Notes *¹ Developed in co-operation with Showa Denko K.K.
*² Developed in co-operation with Honda R & D Co., Ltd.
*³ Typical chemical contents
*⁴ Developed in co-operation with Nippon Kinzoku Co., Ltd.

ち、冷間圧延をゼンジミアミルの代わりにコールドタンデムミルによって高能率の圧延を行い、KM-CAL（マルチタイプ連続焼鈍ライン）あるいは従来の AP ラインにて仕上げる製造工程が一部限定された用途については採用されている。

このように当社のステンレス鋼は一貫製鉄所の利点を最大限に生かし、幅広い用途に適応して作られている。

3 製品特性

3.1 フェライト系ステンレス鋼

フェライト系ステンレス鋼の基本鋼種は SUS 430 である。これは SUS 304 鋼より安価な材料として耐久消費材に長年親しまれてきた鋼種であり、当社においては量産鋼種として SUS 304 などオーステナイトステンレス鋼とともに生産実績多く、品質的にも十分安定している。しかし、C 量が多いため高温でオーステナイト相を生じ、冷却に際してマルテンサイト化するため、溶接熱影響部が脆化したりあるいは粒界腐食を生ずるといった難点がある。これを改良するためには C 量（N 量）を低減すればよいのであるが、従来の電気炉製鋼の技術ではたかだか 0.02% 程度までしか脱炭し得なかった。この問題を画期的に解決せしめたのが近年急速に発達した炉外精錬法であり、その中でもっとも優れた技術として当社の SS-VOD 法⁴⁾が開発され、このプロセスに乗って次々に新しい製品が生れたのである（Table 1）。

フェライト系での低炭素化は SUS 430 のみならず SUS 410 のよ

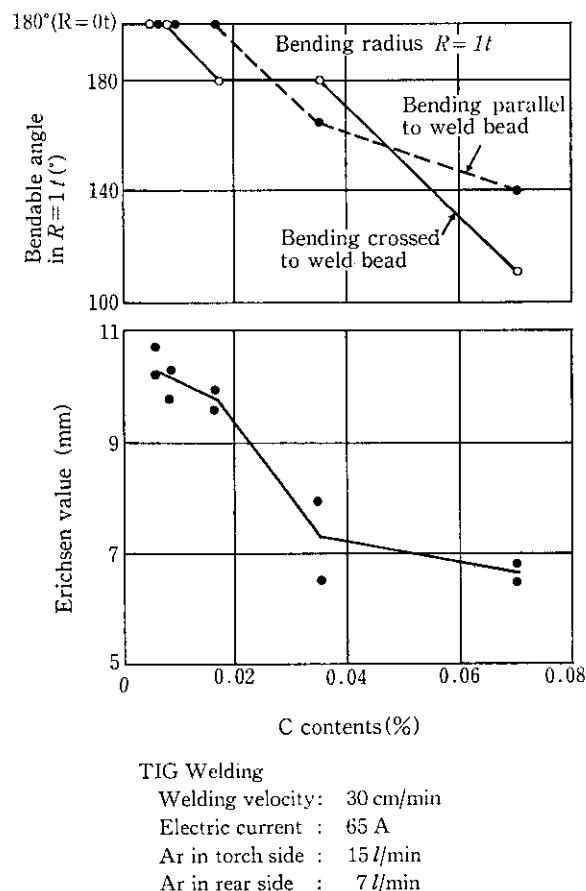


Fig. 2 Effect of C contents on bendability of TIG weldment and Erichsen value in 12% Cr stainless steels (1.2 mm thickness)

うなマルテンサイト系ステンレス鋼をもフェライト系に変え、当然のことながらいずれも溶接性は大幅に改良されたが、それに加えて耐酸化性、耐錆性およびプレス成形性などの改良に発展した。

Fig. 2¹¹⁾ は 12% Cr 鋼 (SUS 410 系) TIG の溶接部の曲げ性とエリクセン値におよぼす C 量の影響を示したものであり、Table 2¹²⁾ は従来の C を 0.06% 含む 17% Cr 鋼 (SUS 430) と C 量を 0.015% まで低減し、なおかつ Ti を添加してこの C を TiC として安定化した 17% Cr 鋼 (R 430 LT) の溶接部の曲げ試験結果を示す。

また、Fig. 3¹³⁾ は 900°C で大気中くり返し酸化した場合のスケールによる酸化増量と C 量との関係を示したものであるが、C 量が減少するに従って酸化増量は急激に低下している。このような実績と前述した溶接性の改良をもとに開発された安価な 12% Cr ステンレス鋼が R 410 L, R 410 UL であり、現在自動車排ガスパイプなど耐熱用途に使用されている。

次に耐熱用途としては、従来から米国の自動車メーカーで排ガス系に使用されていた耐熱鋼 AISI 409 を低炭素化し、さらに耐酸化性の面からスケール中の SiO₂ の富化を計るため Si を添加した R 409 SR がある¹³⁾。現用鋼で 900°C までの耐酸化性をもっとも優れたものとなっている (Fig. 4 参照)。用途には石油ストーブ燃焼筒などがある。

以上は主として 12% Cr ステンレス鋼について C 量低減の効果を述べたわけであるが、今から 10 年位前、自動車排ガス 51 年度規制が施行された頃、排ガス浄化装置とくにサーマルリアクターを対象として、1000°C 以上の使用にも耐える材料の開発が行われた。その結果生れたのが ALT-15 および ALT-18 である¹³⁾。これらの材料はそれぞれ低 C の 15% Cr および 17% Cr 鋼に良好な耐酸化性を与えるために、Al を添加し Al₂O₃ に富むスケールを生成させ、かつ REM を添加することによって鋼表面でのスケールの密着性を確保した材料である。自動車の排ガス浄化システムがサーマルリアクター方式から早期にコンバーター方式に移行したため、その面では目の目をみなかったが、現在は石油ストーブの燃焼筒や放熱器にその用途を思惑している。

同じ 17% Cr ステンレス鋼で主として耐錆性の改善を目的に開発されたのが R 430 LT (N), R 430 CuN および R 430 LNM である。R 430 LT^{14), 15)} は当社のフェライト系開発鋼でもっとも歴史が古く、SUS 430 の C を低減し、Ti を添加することによって固溶 C を TiC として固定し、溶接時における Cr 炭化物の粒界への析出を防止して粒界腐食感受性を無にするとともに、深絞り性、溶接性

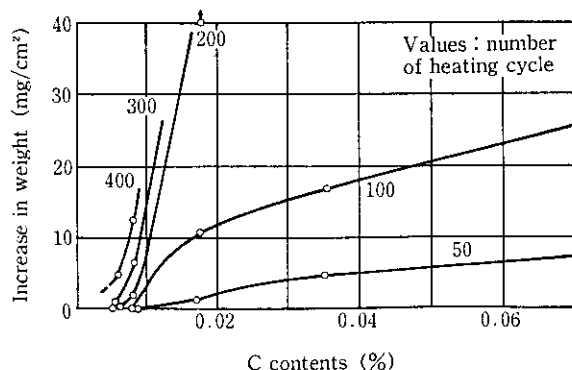


Fig. 3 Effect of C content on weight change of 12% Cr steel in cyclic heating in air at 900°C (1 h heating, 5 min cooling)

Table 2 Welding conditions and bending test results

Welding method	Welding condition							Max. angle of bending* (°)	
	Current (A)	Voltage (V)	Electrode force (kg)	Duration (cycle)	Velocity (cm/min)	Welding joint	Remarks	R 430 LT	SUS 430
Spot weld	8 000	—	400	5	—	lap	electrode dia. 5.5 mmφ	180	110, 180
	9 300	—	400	5	—	lap		180	110, 180
	10 500	—	400	5	—	lap		180	100, 105
TIG	70	20	—	—	30	butt	Ar flow 10 l/min	180	30
	80	20	—	—	30	butt		180	20
	90	20	—	—	30	butt		180	15

* R=2t for spot weldment and R=0t for TIG weldment with 1.2 mm thick stainless steel sheets

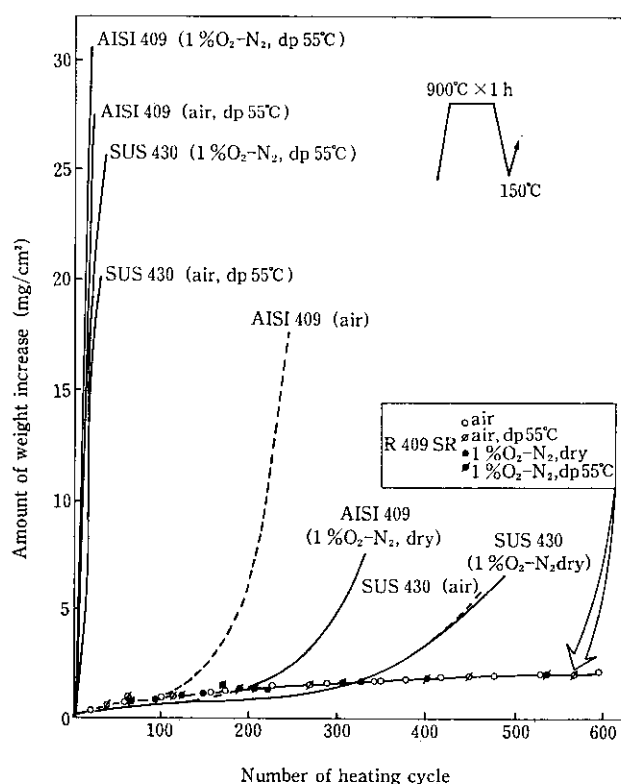


Fig. 4 Oxidation resistance in wet atmosphere

Table 3 Corrosion resistance of R 430 CuN^{a)}

Designation	CASS test ^{b)}	Salt spray test ^{c)}	SO ₂ test ^{d)}	Pitting potential ^{e)} (mV vs. SCE)	10% FeCl ₃ test ^{f)}
R 430 CuN	9.6	10~9.8	9.4	222	13.18
SUS 430	9.4	9.8	8.2	122	26.55
SUS 434	9.5	10~9.8	9.4	153	—
SUS 304	9.8	10~9.8	10	336	12.04

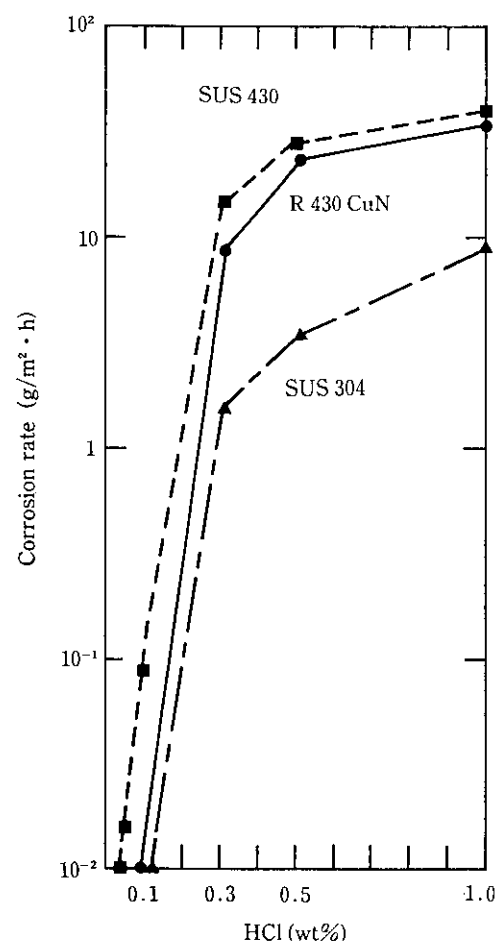
Notes ^{a)} Bright annealed sheet of 0.4 mm thick^{b)} JIS D 0201 (49°C, 16 h spray + 8 h rest, 3 cycle)^{c)} JIS Z 2371 (5% NaCl, 35°C, 500 h)^{d)} DIN 50018 SFW 2.0 S (40°C, 8 h)^{b, c, d)} corrosion resistance is estimated by rating number^{e)} #600 polish, JIS G 0577 (3.5% NaCl, 30°C)^{f)} JIS G 0578 (35°C, 48 h), corrosion resistance is estimated by corrosion rate (g/m²·hr)

Fig. 5 Corrosion resistance in boiled dilute HCl solution

をも改良したもので、SUS 304 鋼に近い耐錆性を有する。R 430 LN は Ti の代わりに Nb を添加した材料で主として自転車のリム材など耐錆性、溶接性の必要な部材に使用されている。

R 430 CuN は、装飾性の面で BA 仕上り品を使用しなければならないような用途に対して、高価な Mo を添加せずに、開発されたものである。従来の SUS 430 の C および N を低減し残留 C、N を Nb により安定化し、Cr を 2% 高め、さらに Cu を 0.5% 含有させることによって SUS 430 は勿論のこと SUS 434 (17% Cr-1% Mo) よりも良好な、場合によっては SUS 304 に匹敵する耐錆性を有している。また溶接性、成形性についても、SUS 430 や 434 に比し、一段と優れたものをもっている。Table 3 および Fig. 5, 6

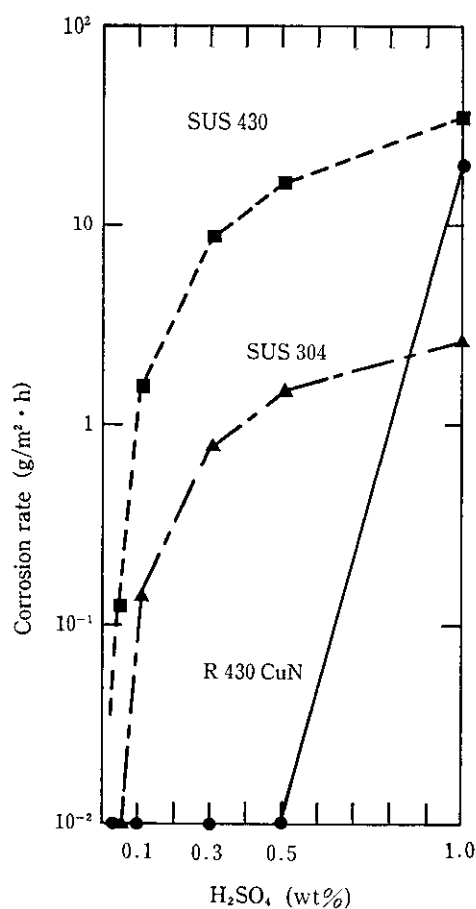


Fig. 6 Corrosion resistance in boiled dilute H_2SO_4 solution

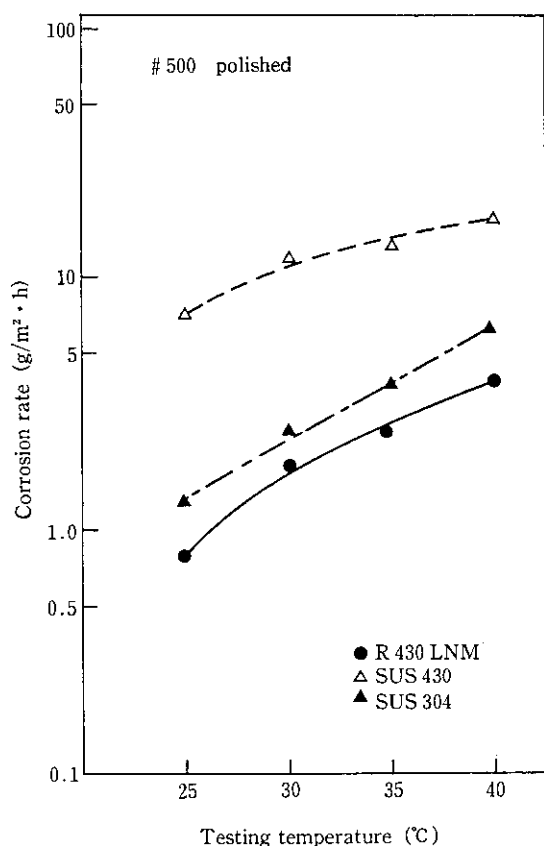


Fig. 7 Corrosion resistance in 10% $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ solution for 4 h

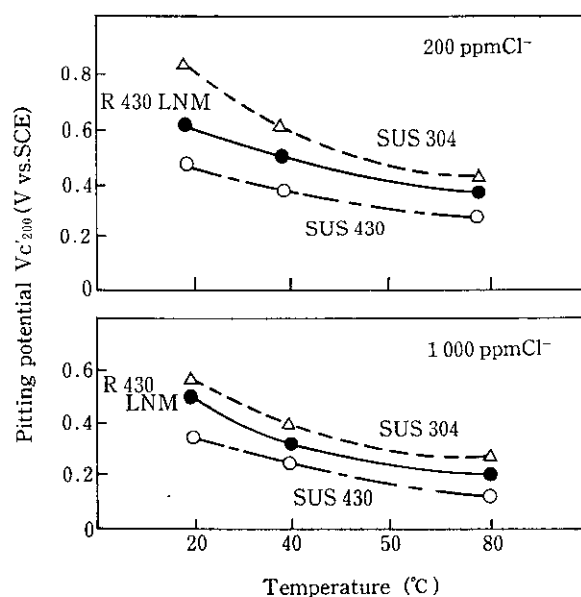


Fig. 8 Pitting potential in 200 ppm & 1000 ppm Cl^- aqueous solution

に本鋼種の本命とする耐銹性、耐食性について、従来鋼との比較を示した。本鋼については自動車モール材、厨房機器、家電部品、建築用部材、ショーケース部品などの内外装材に販路を拡げつつある。

R 430 LNM は次に述べる R 434 LN-1 が 18% Cr 鋼に 1% Mo を、R 434 LN-2 が 18% Cr 鋼に 2% Mo を添加しているに対し、最少の 0.5% の Mo を添加した低 C、Nb 添加鋼である。耐孔食性と耐隙間腐食性は SUS 304 とほぼ同等である。**Fig. 7, 8** に本鋼種の耐孔食性を従来鋼と比較した。用途としては、温水ボイラー（犠牲陽極使用）やその外板など耐食性、耐銹性を必要とする部品に、安価であることも手伝って伸びつつある。

R 434 LT-1 および **R 434 LN-1⁽¹⁾** は、SUS 434 を極低 C 化しこれに残留 C を安定化するため Ti もしくは Nb を添加したもので、いずれもほぼ SUS 304 なみの耐食性を示しており、SUS 434 に比し溶接性と加工性も改善されている。また、**R 434 LT-2** および **R 434 LN-2⁽²⁾** は、基本的にはクライマックスモリブデン社の開発によるものであるが、当社が SS-VOD の技術によって早期に量産に成功したものである。その耐食性は **Fig. 9** に示すように SUS 316 に匹敵し、温水環境たとえば太陽熱温水器、電気ポット内筒、温水ボイラーなどの用途に多くの実績がある。ちなみにスポット溶接で作った隙間腐食試験片の 100 ppm Cl^- 80°C 温水中 23 週間の浸漬試験を行った結果では、SUS 430 では粒界腐食をとまう進行型の孔食、R 430 LT、R 434 LN-1 では停止型の孔食、SUS 304 では進行型の応力腐食割れが生じたのに対し、R 434 LN-2 と SUS 316 では隙間腐食は生じないという結果がある^{16,17)}。

より高級なフェライトステンレス鋼として高 Cr-Mo ステンレス鋼があるが、当社は前述のように SS-VOD 法なる優れた脱炭技術を確立し、この分野にも昭和電工株式会社と共同して進出した。すなわち昭和電工株式会社で工業化された **SHOMAC 30-2** (30% Cr-2% Mo 鋼) を量産化するとともに **SHOMAC RIVER 26-1** (26% Cr-1Mo 鋼) および **26-4** (26% Cr-4Mo 鋼) —いずれも極低 C、Nb 安定化—を相次いで開発し、化学プラントをはじめ他の高耐食性を必要とする分野で着々と実績をあげている^{18,19)}。

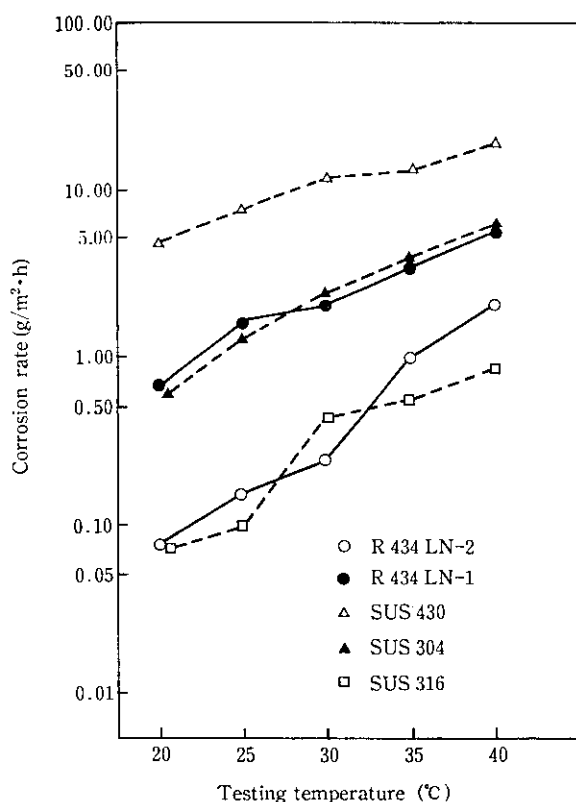


Fig. 9 Pitting corrosion resistance in 10% $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ solution for 4 h

Table 4 Corrosion resistance in inorganic acids¹⁸⁾

Steel	(g/m ² ·h)			
	65% HNO_3 B.P.	5% H_2SO_4 B.P.	0.5% HCl B.P.	1% HCl B.P.
SHOMAC RIVER 26-1	0.104	0.28	0.05	53.8
SHOMAC 30-2	0.005	0.20	0.044	0.55
SUS 316L	0.028	4.98	9.42	16.2
SUS 304L	0.144	183.0	7.11	12.2

3.2 マルテンサイト系ステンレス鋼

マルテンサイト系ステンレス鋼は、従来 SUS 410 や SUS 420 J₁, J₂ に代表されるごとく、高い C 量を含む熱処理調質によって刃物、工具など主として硬さを必要とする用途に使用されてきた。しかし、近年、超高張力鋼であるマルエージング鋼のマトリックス組織である低 C マルテンサイトの特性を、一つには溶接継手のじん性改良に利用した R 410 DH²⁰⁾、他には耐錆性、熱処理効率の改良に利用した R 410 DB²¹⁾ が開発された。

構造用鋼は一般に良好な加工性と十分に強度が要求される。R 410 DH は溶接継手部にじん性を与えるため C 量を低減し、そのため、不安定となった高温におけるオーステナイト相を Mn と Cu を富化することによって補い、十分マルテンサイト変態させるように設計された溶接構造用ステンレス鋼である。ちなみに Fig. 10 に本鋼の 2 mm の板を TIG なめ付け溶接した場合の溶接部の硬度変化を示す。溶着金属はマルテンサイト組織、そして熱影響部はマルテンサイトとフェライトの 2 相混合組織であり、母材よりも

Table 5 Corrosion resistance in organic acids¹⁸⁾

Steel	(g/m ² ·h)		
	80% CH_3COOH B.P.	50% HCOOH B.P.	10% $(\text{COOH})_2$ B.P.
SHOMAC RIVER 26-1	0.00	0.09	0.34
SHOMAC 30-2	0.00	0.07	0.14
SUS 316 L	0.19	0.45	0.86
SUS 304 L	0.29	0.46	—

Table 6 Corrosion resistance in alkaline solution¹⁸⁾

Steel	(g/m ² ·hr)	
	30% NaOH + 10% NaCl + 0.05% NaClO_3 , 90°C*	50% NaOH + 5% NaCl + 0.05% NaClO_3 , B.P.**
SHOMAC RIVER 26-1	0.016	0.13
SHOMAC 30-2	0.007	0.019
SUS 316L	0.13	3.2
SUS 304L	0.095	—
Nickel	—	0.023

Notes * Corrosive environment of 2nd evaporator in actual caustic soda manufacturing process

** Corrosive environment of 1st evaporator in the same process

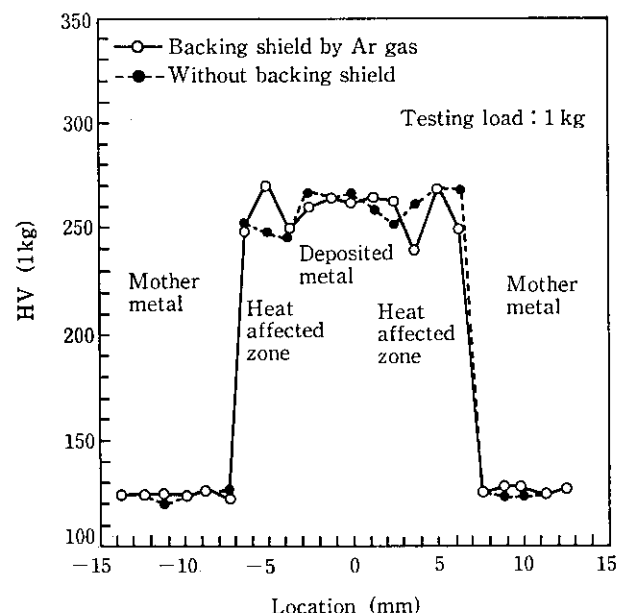


Fig. 10 Vickers hardness of TIG weldment of 2.0 mm thick R 410 DH

微細な組織を呈する。このような組織に対応して、溶着金属および熱影響部の硬度は約 HV 260 と高く、シャルピー衝撃値も -20°C で $15 \sim 20 \text{ kgf} \cdot \text{m}/\text{cm}^2$ であり、母材と同等以上の値を示す。本鋼種は現在主としてコンテナ骨材として使用されている。

また HCS 16 は本田技研工業株式会社と共同で開発した 16Cr 鋼で、AISI 420 J₂ とともに、長年、2 輪車のディスクブレーキとして使われてきた。これら従来の材料は、ディスクブレーキとして適当な硬さを得るために、ブレーキメーカーで焼入、焼戻の 2 段階の熱処理が行われてきた。また C 量が多いためどうしても焼戻の際 Cr

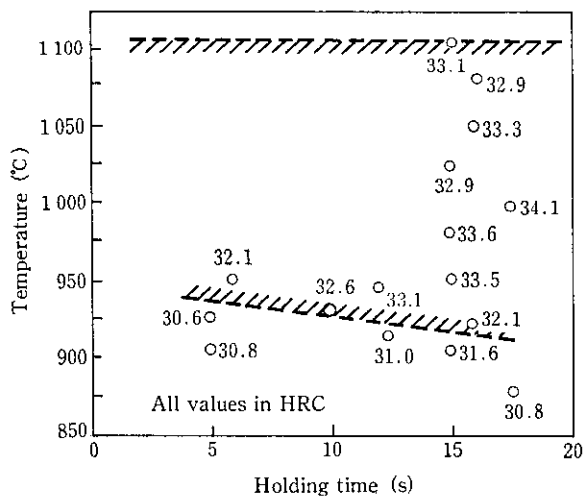


Fig. 11 Relation between quenching conditions and hardness of R 410 DB (cooling rate 30°C/s)

炭化物の析出がおこり耐蝕性にも問題があった。これらの点を改善するために、SUS 410 の C+N 量を 0.04~0.07% に低減し Mn を富化して焼入性を与え、ブレーキ製造工程で焼入処理のみで所望の硬さを与えるよう設計したのが R 410 DB である。ディスクブレーキの焼入は一般に高周波加熱で行われているが、本鋼種は、Fig. 11 に示すとおり、加熱温度と保持時間の広い範囲でほぼ一定の焼入硬度を示し、安定した熱処理工程をとることができる。現在、一般のディスクブレーキはこの材料に代わりつつある。

3.3 オーステナイト系ステンレス鋼

オーステナイト系ステンレス鋼のもっとも一般的な鋼種は SUS 304 であり、当社でも製造量が一番多い。SUS 304 は建材、産業機械、厨房、浴槽など多くの分野で使用されており、良好な耐食性および加工性を示しているが、基本的に 60~70°C 以上での環境では溶接部など引張応力の存在する場所に応力腐食割れ²²⁾が生ずる欠点がある。この欠点を軽減するために SUS 304 に Cu を添加しこれを改良したものが **R 304 Cu** あるいは **R 304 CuL** である²³⁾。本鋼は 1000 ppm Cl⁻ もしくは 21000 ppm Cl⁻ 80°C、温水に 8 箇月間スポット溶接試験片を気液界面浸漬した試験において応力腐食割れを生じないことが証明されており (SUS 304, SUS 316 は割れる)、満水型の貯湯タンクを試作しての 2 年間の実機テストの結果も満足し得るものであった。

また以前、浴槽の一体絞りの可能性が問われたことがあり、プレス成形性の向上を目標に開発したのが **R 304 UD** である^{24,25)}。現在、種々の事情から浴槽の一体絞りは行われていないが、本鋼はダブルシンクの深い方に使用されている。プレス成形性をエリクセン値で評価した場合 0.7 mmφ 2B 仕上で 14.1 mm (SUS 304 は約 12.5 mm)、コンカルカップ値で 26.5 mm (SUS 304 は 27.4 mm) である。

R 304 MN は、SUS 304 の Ni を節約し Mn および Cu を富化してコストダウンを図ったもので、SUS 304 より深絞り性、張出性に優れている。N 添加によって高硬度も保証し得るのでバネ材への適用も期待できる。

次に SUS 301 からの展開であるが、これには国鉄の 205 系 (山手線) のようなステンレス車両にハード材として使用されている **R 301 L** と、自動車用バネ材として使用されている **R 301 R** がある。前者は従来の米国の地下鉄などステンレス車が使用していた

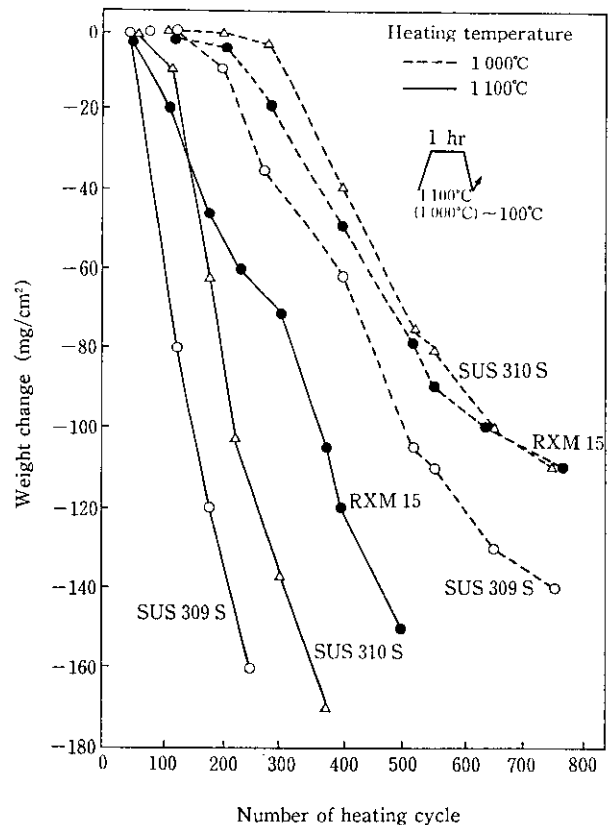


Fig. 12 Weight change in cyclic heating of stainless steels in air

AISI 201 L に代わって使われるようになったもので、溶接構造における耐蝕性を確保し、ハード材としての機能を十分生かせる材料である。後者は、日本金属株式会社との共同開発によるもので、SUS 301 の Si を高め、加工誘起マルテンサイト変態の面から成分バランスを考慮して加工硬化性を大にし、特殊な精錬法によって非金属介在物の形状、種類、寸法を制御し、さらに冷間圧延工程によって疲労耐久性を最大限に向上させたものである。

SUS 316 については核融合、加速器、超電導発電、電力貯蔵など超電導利用技術関連の極低温特性を改良した **R 316 LNX** がある。これは、SUS 316 に V と N を添加することによって超電導磁石コア材としての原研規準を満足するとともに、Nb₃Sn など超電導材料を析出処理によって作る場合の 700°C 50 h の熱処理を行っても極低温での脆化のない優れた特性を有する²⁶⁾。

RXM 15 は自動車排気浄化装置 (サーマルリアクター) 用材料として、R 409 SR よりも高温での耐酸化性と強度の高い材料として開発したもので、SUS XM 15 J₁ はあとで類似鋼種として JIS 規格化されたものである。本鋼は、SUS 309 に Si を添加し、SiO₂ の皮膜を地鉄とスケールの界面に作ることによって酸化を防止するとともに、さらに REM を添加して地鉄にスケールを密着させ、その剝離を防止し、保護膜として機能させることを狙ったものである。Fig. 12 に耐酸化性について従来鋼との比較を示す。

4 おわりに

当社におけるステンレス鋼製造プロセスの概要ならびに当社が開発した新製品を中心に、その製品特性を紹介した。

今後、ステンレス鋼はその耐食性、耐熱性、表面の美しさなどの特性を生かして、使用される分野はますます拡大していくであろう

が、それにつれて価格、品質、特性に対する要求は一層厳しくなってくるものと考えられる。当社としても、安価な原料の使用、普通鋼製造設備の共用化などの新しい製造プロセスの開発を進めると共

に、需要家各位の多様な要求に応じた新製品の開発に一層の努力を重ねていく所存である。

参考文献

- 1) 田岡啓造, 野村 寛, 駒村宏一, 江本寛治, 数士文夫, 藤井徹也: 川崎製鉄技報, 17 (1985) 3, 202-210
- 2) 小倉 滋, 川原田昭, 北岡英就, 松崎 実, 大坪 宏, 川崎龍夫: 川崎製鉄技報, 17 (1985) 3, 211-216
- 3) 中戸 参, 野崎 努, 垣生泰弘, 小倉 滋, 森下 仁, 駒村宏一: 川崎製鉄技報, 17 (1985) 3, 217-224
- 4) 岩岡昭二, 大谷尚史, 垣内博之, 江島彬夫, 小口征男, 矢野修也: 鉄と鋼, 63 (1977) 2, A-1
- 5) 田野村忠郎, 菱沼 至, 足立明夫, 竹谷昭彦, 広瀬勇次, 三宅祐史: 川崎製鉄技報, 17 (1985) 3, 225-230
- 6) 渡辺敏夫, 星野 實, 内野和博, 中里嘉夫: 川崎製鉄技報, 17 (1985) 3, 331-339
- 7) 河手崇男, 片桐忠夫, 増田敏一, 高田 庸, 栗栖孝雄, 大坪 宏: 川崎製鉄技報, 17 (1985) 3, 291-298
- 8) 片岡義弘, 松崎明博, 谷 豪文, 朝生一夫, 狩野征明, 狩野俊之: 川崎製鉄技報, 17 (1985) 3, 282-290
- 9) 神谷昭彦, 山本準一, 佐長修一, 塊原 浩: 川崎製鉄技報, 15 (1983) 3, 43
- 10) 分田 実, 神谷昭彦, 前山公夫, 椎葉末信, 香西伸時, 西山正一: 川崎製鉄技報, 17 (1985) 3, 231-239
- 11) 大橋延夫, 小野 寛, 増尾 誠, 竹田元彦, 西山 昇: 川崎製鉄技報, 9 (1977) 1・2, 83
- 12) 川崎龍夫, 佐藤信二, 小野 寛, 大橋延夫: 川崎製鉄技報, 8 (1976), 4, 1
- 13) 小野 寛, 佐藤信二, 川崎龍夫, 岡 裕, 大橋延夫: 川崎製鉄技報, 7 (1975) 1, 21
- 14) 木下 昇: 特殊鋼, 21 (1977) 10, 7
- 15) 小野 寛: 金属材料, 17 (1977) 6, 18
- 16) 増尾 誠, 小野 寛, 大橋延夫: 防食技術, 26 (1977) 10, 573
- 17) 増尾 誠, 小野 寛, 大橋延夫: 防食技術, 29 (1980) 1, 3
- 18) 吉村亮一, 広瀬洋一: 溶接学会誌, 50 (1981) 3, 257
- 19) 谷川登志子, 増尾 誠, 小野 寛: 川崎製鉄技報, 12 (1980) 2, 73
- 20) 吉岡啓一, 木下 昇, 小野 寛, 小林 真, 長谷川隆一, 良本義信: 川崎製鉄技報, 12 (1980) 2, 159
- 21) 吉岡啓一, 鈴木重治, 石田文良, 堀内雅義: 川崎製鉄技報, 15 (1983) 4, 26
- 22) 増尾 誠, 小野 寛: 川崎製鉄技報, 12 (1980) 2, 82
- 23) 曾根雄二, 倉橋速生, 和田佳代子, 中井揚一: 川崎製鉄技報, 16 (1984) 2, 116
- 24) 大橋延夫, 小野 寛, 野原清彦, 宮脇哲夫, 渡辺健二: 川崎製鉄技報, 9 (1977) 3・4, 33
- 25) 野原清彦, 小野 寛, 大橋延夫: 鉄と鋼, 63 (1977) 5, 772
- 26) 野原清彦: Symposium on New Developments in Stainless Steel Technology, Sept. (1984), Detroit