

極低炭素フェライト系ステンレス鋼の特性

Properties of Ultra Low Carbon Ferritic Stainless Steels

大橋 延夫(Nobuo Ohashi) 小野 寛(Yutaka Ono) 増尾 誠(Makoto Masuo) 竹田 元彦(Motohiko Takeda) 西山 昇(Noboru Nishiyama)

要旨：

真空脱炭吹錬で極低炭素化した新鋼種リバーライトシリーズの各種鋼について、その特性や技術的基盤の一端を紹介した。10～13%Cr 鋼としては、R410L($C \leq 0.030\%$)や R410UL($C \leq 0.010\%$)が溶接性と耐酸化性に優れ、低C高SiのTi添加12%Cr 鋼の R409SR は、950℃以下の範囲で断続加熱される自動車排ガス浄化装置などに適する。16～18%Cr 鋼としては R430UL と Ti 添加 R430LT があり、溶接部の耐錆性と靱性が優れている。R430LT はまたプレス成形性や耐酸化性にも優れている。Mo 含有 17～19%Cr 鋼としては Ti 添加の R434LT-1(-2)や Nb 添加の R434LN-1(-2)が孔食、隙間腐食や応力腐食割れの恐れのある強腐食環境に適し、特に、-2 で示される 2%Mo 鋼は、Cl⁻イオンを含む水溶液中でオーステナイト系 AISI 316 鋼と同等の優れたアノード分極特性を示す。

Synopsis：

Properties and fundamental technical data are introduced on new RIVER LITE series ferritic stainless steels decarburized in a vacuum oxygen degasser. In an 11-13%Cr grade, R 410L($C \leq 0.03\%$) and R 410UL ($C \leq 0.01\%$) steels ensure good weldability and antioxidation property, and R 409SR (low C, high Si and Ti-bearing 12%Cr) steel withstands cyclic heating at elevated temperatures up to 950℃ as in an automobile exhaust gas clean-up system. In a plain 16-18%Cr grade, R 430UL and Ti-bearing R 430LT steels exhibit good antirusting and toughness properties even at weld parts. R 430LT steel also has superior press-formability and antioxidation property. In a Mo-containing 17-19%Cr grade, R 434LT-1(1%Mo) and -2(2%Mo) and Nb-bearing R 434LN-1(1%Mo) and -2(2%Mo) steels can be used in highly corrosive environments where there are possibilities of pit or crevice corrosion and stress corrosion cracking. Especially, the 2%Mo steels show as good anodic polarization characteristics as does austenitic AISI-316 steel in Cl⁻ ion-containing aqueous solutions.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

極低炭素フェライト系ステンレス鋼の特性

Properties of Ultra Low Carbon Ferritic Stainless Steels

大 橋 延 夫*

Nobuo Ohashi

小 野 寛**

Yutaka Ono

増 尾 誠**

Makoto Masuo

竹 田 元 彦***

Motohiko Takeda

西 山 昇****

Noboru Nishiyama

Synopsis:

Properties and fundamental technical data are introduced on new RIVER LITE series ferritic stainless steels decarburized in a vacuum oxygen degasser. In an 11~13%Cr grade, R 410L ($C \leq 0.03\%$) and R 410UL ($C \leq 0.01\%$) steels ensure good weldability and antioxidation property, and R 409SR (low C, high Si and Ti-bearing 12%Cr) steel withstands cyclic heating at elevated temperatures up to 950°C as in an automobile exhaust gas clean-up system. In a plain 16~18%Cr grade, R 430UL and Ti-bearing R 430LT steels exhibit good antirusting and toughness properties even at weld parts. R 430LT steel also has superior press-formability and antioxidation property. In a Mo-containing 17~19%Cr grade, R 434LT-1 (1%Mo) and -2(2%Mo) and Nb-bearing R 434LN-1(1%Mo) and -2(2%Mo) steels can be used in highly corrosive environments where there are possibilities of pit or crevice corrosion and stress corrosion cracking. Especially, the 2%Mo steels show as good anodic polarization characteristics as does austenitic AISI-316 steel in Cl^- ion-containing aqueous solutions.

1. 緒 言

日本では、JIS 規格の SUS 304(18%Cr-8%Ni: オーステナイト系)および 430(17%Cr: フェライト系)に代表されるステンレス鋼の生産量が、昭和 30 年代に広幅帯鋼による生産方式を採用して以来飛躍的な増大をみた。しかし、最近特性上あるいは価格上の要請から、従来 Ni 含有のオーステナイト鋼種が使われてきた分野にまで、一般用途向けフェ

ライト系ステンレス鋼を拡張使用する傾向が強まっている。それに伴ってフェライト系ステンレス鋼の特性について、より苛酷な要求を課せられるようになってきた。

このような傾向に対処するため、当社では早くから真空脱炭、脱ガスを主目的とする VOD 炉や ASEA-SKF 炉など一連の新しい精錬設備を導入した。そして、これを有効に利用することによって、特性上有害な C や N、そして非金属介在物を低減するための努力をしてきた。その結果、従来

* 技術研究所特殊鋼研究室室長・工博

*** 技術研究所神戸研究室主任研究員

〔昭和51年12月13日原稿受付〕

** 技術研究所特殊鋼研究室主任研究員

**** 技術研究所溶接研究室主任研究員

電子ビーム溶解などの特殊な方法でしか到達し得なかった極低レベル（たとえば C が 20~30ppm 以下）にまで低下せしめる安定操業技術確立するに至った¹⁾。

一方、このような製鋼技術の発展を製品に反映させるため、鋼の組成や各製造工程条件が製品特性に及ぼす影響を広範に研究した結果、図 1 に示すような一連の新製品を開発することができた。その中には、溶接性や耐錆性を大幅に改善した 13% Cr 鋼、それに加工性や耐酸化性を飛躍的に向上させた高 Si、12% Cr 鋼など低 Cr 級のフェライト系ステンレス鋼と、従来の SUS 430 や R 430LT^{2,3)} から発展させ、加工性、溶接性、耐食性を格段に良好ならしめた一連の中 Cr 級フェライト系ステンレス鋼が含まれている。以下、これら各種の新製品の特徴とその技術的基盤の一端を紹介する。

2. 13%Cr フェライト系ステンレス鋼

2.1 R 410L, R 410UL

表 1 に代表的な鋼の組成と機械的性質を示す。Fe-Cr に合金を約 850℃ 以上に加熱したときに出現するオーステナイト相は、図 2⁴⁾ に示すように C と N の量に強く影響され、C と N が非常に少なくなると 11~13%Cr 鋼でもオーステナイト相は実質上ほとんど出現しなくなる。従来のたとえば SUS 410 は溶接熱影響部に多量のオーステナイト相を生じ、これが冷却に際してマルテンサイト化するため延性や靱性がはなはだしく劣化する問題があった。たとえば、11%Cr 鋼の TIG 溶接部の延性は図 3 に示すように C 量に大きく依存し、C ≤ 約 0.030% では良好な延性を示すが、それ以上に

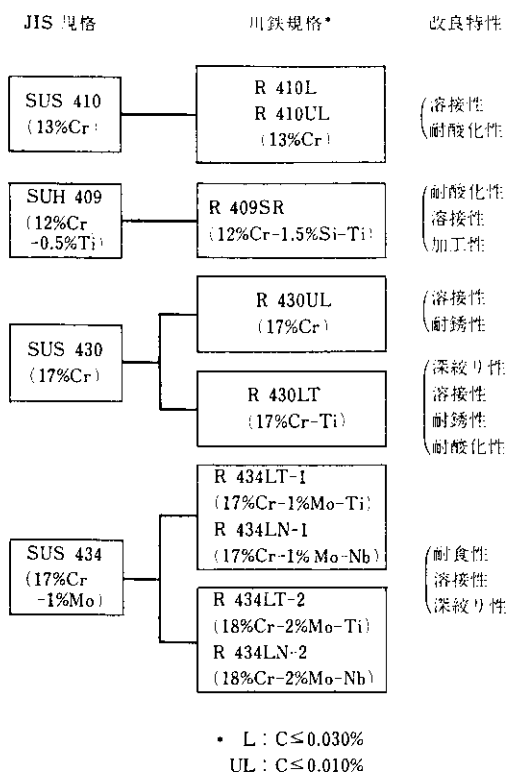


図 1 極低炭素化によるフェライト系ステンレス鋼の改良特性と新規格名

なると劣化する。また、板の引張性質は図 4 に示すように C 量が低下するほど軟質になる。さらに 11%Cr 鋼の空气中 900℃ におけるくり返し加熱冷却時の酸化量は、図 5 に示すように C 約 0.010% 以下で非常に少なくなる。これらのことを基礎として R 410L は C ≤ 0.030%、R 410UL は C ≤ 0.010% とし、対象となる用途に要求される強度や靱性、そして耐酸化性などを勘案のうえいずれか

表 1 代表的な R 410L および R 410UL の化学組成(%)と機械的性質(1.2mm 厚)

		C	Si	Mn	Cr	降 伏 点 (kg/mm ²)	引 張 強 さ (kg/mm ²)	伸 び (%)
R 410L	規 格	≤0.030	≤1.0	≤1.0	11.5~13.5	30	46	32
	代 表 例	0.019	0.42	0.52	12.2			
R 410UL	規 格	≤0.010	≤1.0	≤1.0	11.5~13.5	28	42	41
	代 表 例	0.006	0.45	0.49	12.1			

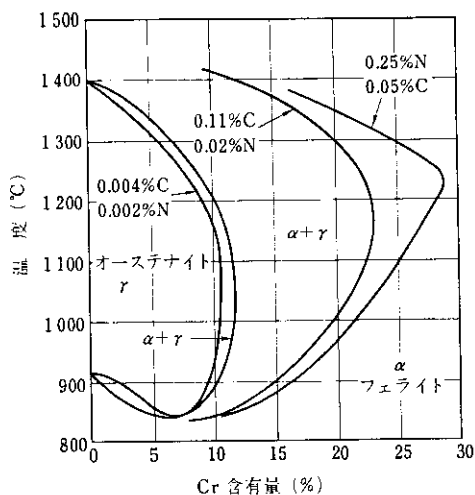


図2 Cr鋼のオーステナイト領域に及ぼすCとNの影響⁴⁾

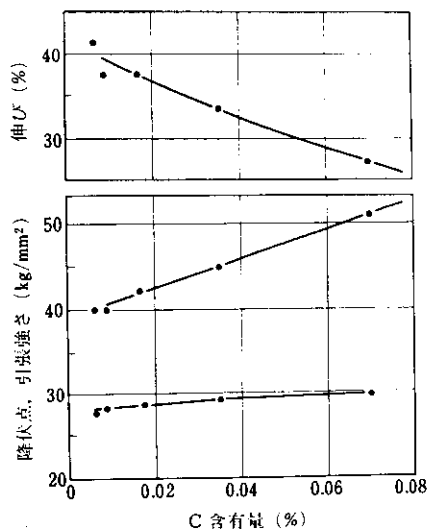


図4 11%Cr鋼(1.2mm厚)の引張性質に及ぼすCの影響

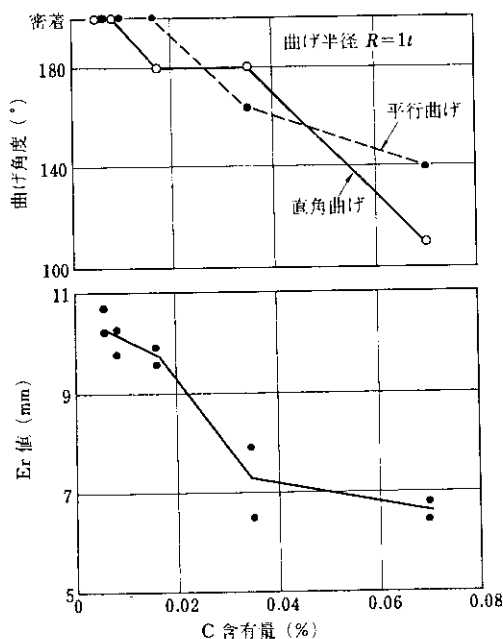


図3 11%Cr鋼(1.2mm厚)のTIG溶接部の曲げ性とエリクセン値に及ぼすCの影響(溶接速度30cm/min, 溶接電流65A, Ar流量: トーチから15l/min, 裏当て金から7l/min)

を選択できるようにした。また、これらは溶接熱影響部において腐食されやすい変態組織が生じないため、たとえば塩水噴霧試験などによる耐錆性は非常に良好である。したがって、これらの鋼は

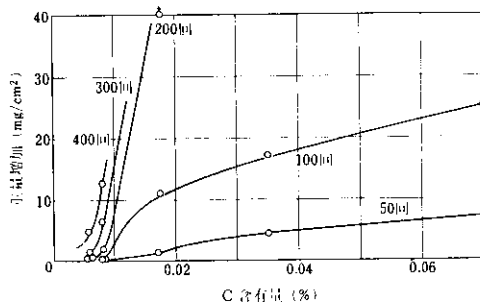


図5 11%Cr鋼を大気中900℃でくり返し酸化した際の重量増加に対するCの影響(加熱1h, 冷却5min)

自動車排気処理装置用部品、マフラー、排気管などや家庭用あるいは業務用暖房器具類の部品などに適している。

2・2 R409SR

前述したようにフェライト系ステンレス鋼は極低炭素化するだけでも耐酸化性が向上するが、自動車排気処理装置の中心となるコンバーターやリアクター自身、あるいはその周辺の高温部にさらされる部品では不十分であり、さらに特性を改善する必要がある。R409SR⁵⁾はこの目的で開発したものであり、その代表的な鋼の組成と機械的性質を表2に示す。図5に基づいてC≤0.015%とし、またSiを増量している。すなわち図6に示すよう

表2 代表的な R 409SR の化学組成(%)と機械的性質(1.2mm 厚)

	C	Si	Mn	Cr	Ti	降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	$\bar{r}$ 値	CCV (mm)	Er 値 (mm)
規格	≤0.015	1.0~2.5	≤1.0	10.0~12.0	≤0.5	30	49	35	1.3	46.7	10.4
代表例	0.010	1.50	0.57	11.7	0.25						

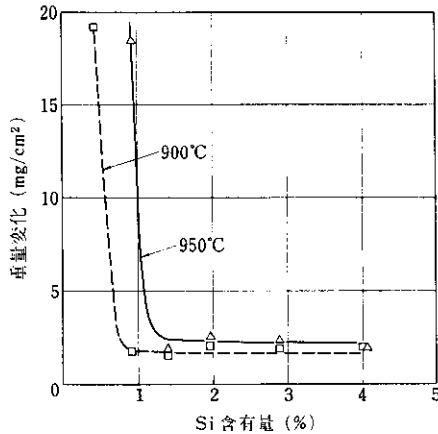


図6 0.01%C, 0.2%Ti, 11%Cr 鋼の空气中連続酸化 300h での重量増加に及ぼす Si の影響

に、極低炭素化したうえで Si を増量すると約 1 ~ 1.5% Si 以上で耐酸化性は顕著に向上し、950°C でも酸化はほとんど進行せず、とくに加熱冷却をくり返した場合、図 7 に示すようにオーステナイト系の SUS 304 よりはるかに優れている。本鋼は C が低い代りに Si が多量添加されているため適当な強度を有し、またその他に Ti を含有していて望ましい集合組織を形成しているため、深絞りや張り出し成形性にも優れている。さらに溶接も非常に行いやすく、また溶接部の延性、耐錆性、耐酸化性も十分である。このように本鋼は優れた高温性質を有し、またフェライト系鋼なので熱膨張係数も小さいから、燃焼焰や高温ガスが直接接するような

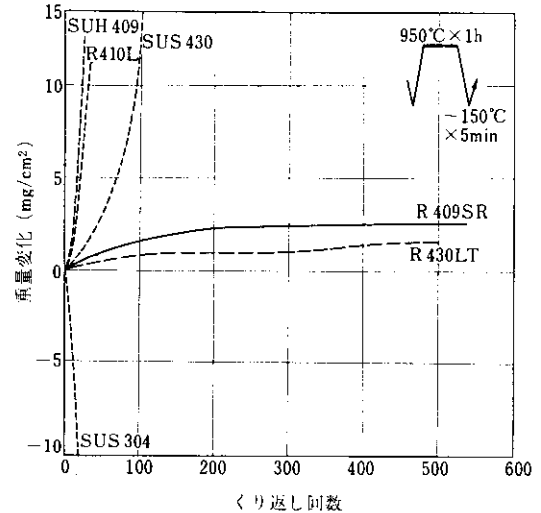


図7 大気中 950°C でのくり返し加熱による重量変化

自動車部品、あるいは石油やガストーブ類の高温部分に適している。

3. 17%Cr フェライト系ステンレス鋼

3・1 R 430UL

表 3 に代表的な鋼の組成および機械的性質を示す。低 Cr の R 410UL は弱腐食環境では良好な耐錆性を発揮するが、図 8 に示すように溶液中での耐食性は不十分である。そこで Cr を増量し、かつ極低炭素化したのがこの R 430UL であり、

表3 代表的な R 430UL の化学組成(%)と機械的性質(0.7mm 厚)

	C	Si	Mn	Cr	N	降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	CCV (mm)	Er 値 (mm)	LDR
規格	≤0.010	≤1.0	≤1.0	16.0~18.0	≤0.01	30	45	34	28	9	2.05
代表例	0.0023	0.33	0.58	16.4	0.0035						

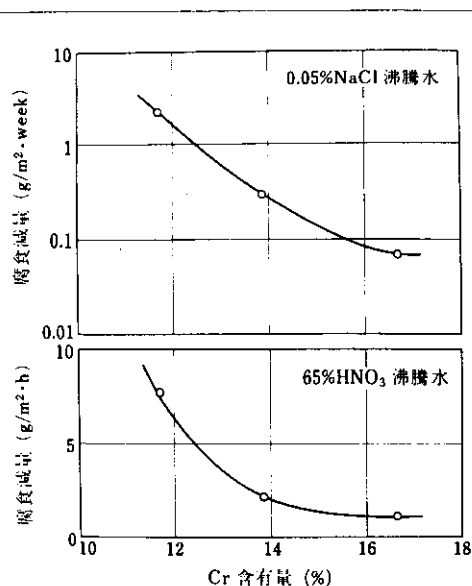


図8 耐食性に及ぼす Cr の影響 (C=0.008%)

溶接部を含めて耐食性が一段と改善されている。

写真1に示すように塩水噴霧試験による耐発錆性ももちろん優れており、また軟質で加工しやすく溶接部の靱性にも富んでいるので、溶接化粧管、自転車のハンドルやリムなど、従来軟鋼にCrメッキして使用していたものの代替に適している。

3・2 R 430LT

本鋼はすでに数年前に開発され、SUS 304 に代って温水ボイラーやタンクなどに使用されている極低炭素、Ti 添加 17% Cr 鋼である。その代表的な鋼の組成と機械的性質を表4に示す。本鋼は R 430 UL に適量の Ti を添加することにより、C をさらに TiC として完全固定化して溶接部の靱性と耐食性を向上せしめるとともに、集合組織を制御して深絞り性を高めたものである。フェライト系ステンレス鋼の深絞り性は、たとえば図9に示すように低炭素冷延鋼板と同様 $\bar{r}$ 値によって支配される

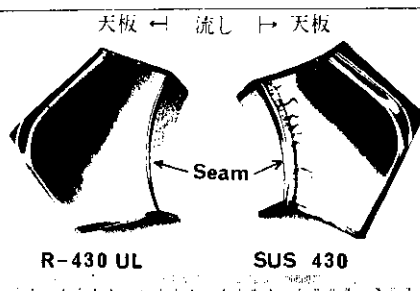
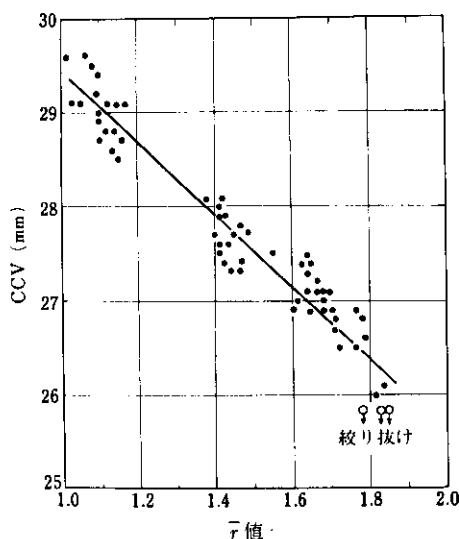


写真1 流しと天板のシーム溶接部を塩水噴霧試験したのちの外観

図9 17%Cr 鋼板 (0.7mm厚) の CCV と $\bar{r}$ 値の関係

ので、これを高めることが望ましい。 $\bar{r}$ 値は組成だけではなく製造工程条件によっても影響を受けるが、極低炭素 17%Cr 鋼に Ti を添加すると、図10に示すように Ti/(C+N)比が増加するにつれて $\bar{r}$ 値が顕著に上昇する。

また通常のフェライト系ステンレス鋼は成形の際、板の圧延方向に引張加工を受けるとリッジングと称する圧延方向に伸びたうね状のしわを生

表4 代表的な R 430LT の化学組成(%)と機械的性質(0.7mm厚)

	C	Si	Mn	Cr	Ti	降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	$\bar{r}$ 値	CCV (mm)	Er 値 (mm)
規格	≤0.030	≤0.75	≤1.0	16.0~18.0	0.1~1.0	29	47	33	1.5	27.0	9.0
代表例	0.007	0.50	0.51	16.6	0.48						

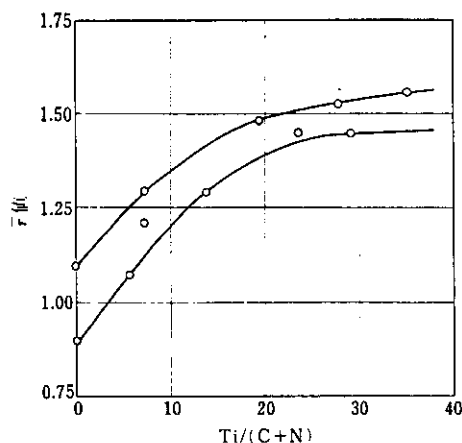


図10 0.01%C-17%Cr 鋼板 (0.8mm厚) のTi値に及ぼすTiの影響

ずる欠点があるが、Ti添加鋼ではその熱延板を従来のものより高い温度で短時間連続焼鈍することにより著しく軽減することができる(図11参照)。NbあるいはTi+Nb添加鋼も同様の効果を示すことがわかる。この効果は、熱延板に生成している圧延方向に伸展した帯状のフェライト組織が高温処理で再結晶し細粒化するためである。

つぎに溶接性の一例として表5に示すR 430LTとSUS 430をスポットおよびTIG溶接し、曲げ試験した結果を表6に、また曲げ部の断面顕微鏡組織を写真2に示す。このようにR 430LTの溶接部は延性に富んでいるが、これは高温にさらされても脆弱なマルテンサイト組織が出現しないた

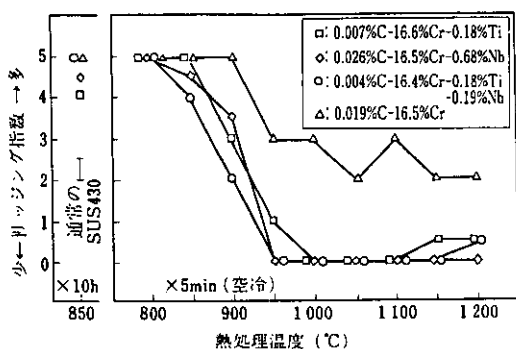


図11 リッジング発生傾向に及ぼす熱延板熱処理温度の影響 (空冷)

表5 溶接試験した17%Cr鋼(1.2mm厚)の化学組成 (%)

	C	Si	Mn	Ni	Cr	Ti
R 430LT	0.02	0.40	0.43	0.13	17.6	0.47
SUS 430	0.06	0.44	0.45	0.14	16.3	—

めである。ただ多量のTiが添加されているため、TIG溶接ではできるだけ完全にArシールドすることが望ましい。このことは4・2でも触れる。なおこれら溶接部について塩水噴霧試験をすると、SUS 430は著しく発錆するのに対して、R 430LTはほとんど発錆しない。またR 430LTは図12に示した条件で容易にシーム溶接することができる。ただしシーム溶接は水冷しながら行われるため溶接部に水素が固溶し、そのため水素脆化を起している。したがって、溶接直後では剥離強度が小

表6 溶接条件と溶接部の曲げ試験結果

方 法	溶 接 条 件							割れ発生角度 (°)	
	電 流 (A)	電 圧 (V)	加 圧 力 (kg)	時 間 (c)	速 度 (cm/min)	継 手 法	備 考	R 430LT	SUS 430
スポット	8 000	—	400	5	—	重 合 せ	電極径 5.5mmφ	G, G	G, 110
	9 300	—	"	"	—	"		G, G	G, 110
	10 500	—	"	"	—	"		G, G	100, 105
TIG	70	20	—	—	30	突 合 せ	Ar 流量 10l/min	G, G	30
	80	"	—	—	"	"		G, G	20
	90	"	—	—	"	"		G, G	15

注) G: 密着曲げを行っても割れず (スポット溶接部は $R=2t$, TIG溶接部は $R=0t$)

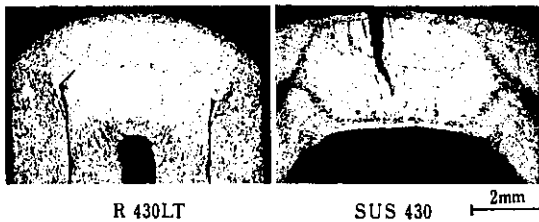


写真2 スポット溶接部の曲げ試験後の顕微鏡組織

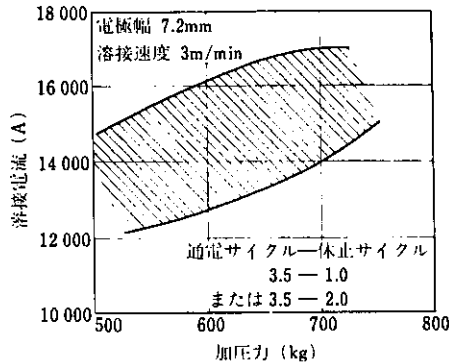


図12 R 430LT (1.2mm 厚) の敷設シーム溶接条件

さく割れを発生しやすいが、これを室温あるいはもっと高温に一定時間放置してから調べてみると、図13に示すように剥離強さが回復することがわかる。これはこの放置期間中に溶着部に固溶した水素の大部分が拡散放出されるためである。これと同じ傾向はシールドの不完全な TIG 溶接部でもみられる。

以上のように R 430LT は深絞り性に優れ、また溶接性や耐錆性も良いので、たとえば温水ボイ

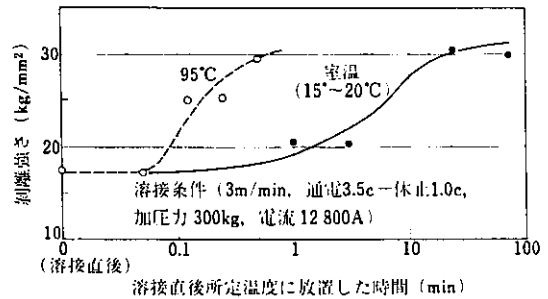


図13 R 430LT (0.4mm 厚) の剥離強さに及ぼす溶接後所定温度放置時間の影響

ラー⁶⁾、タンク、給湯管など温水関係機器類、あるいは赤錆の発生を嫌う家庭用厨房器具類などに適している。

4. 含 Mo, 18%Cr フェライト系ステンレス鋼

4.1 R 434LT-1, R 434LN-1

極低炭素 17%Cr 鋼に Mo を 1% 加え、さらに Ti を添加したものが R 434LT-1 であり、Nb を添加したものが R 434LN-1 である。これらの代表鋼の組成と機械的性質を表 7 に示す。これらの鋼は、上述してきたような単純 Cr 系鋼では耐食性に不安があるような、やや強い腐食環境あるいは弱腐食環境でも長期間の寿命を保証する必要がある機器類などに向いている。表 8 に 20°C と 80°C の 100 ppmCl⁻ 水溶液中で調べた各鋼種の孔食電位を示

表 7 R 434LT-1, R 434LN-1 の化学組成(%)と機械的性質

		C	Si	Mn	Cr	Mo	Ti	Nb	降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	μ 値
R 434LT-1	規格	≤0.030	≤1.0	≤1.0	16.0~19.0	0.75~1.25	0.1~1.0	—	31	51	34	1.5
	代表例	0.010	0.42	0.46	16.3	1.0	0.56	—				
R 434LN-1	規格	≤0.030	≤1.0	≤1.0	16.0~19.0	0.75~1.25	—	0.1~1.0	31	50	34	1.4
	代表例	0.005	0.49	0.54	16.8	1.0	—	0.40				

表8 SUS 430, R 430LT および R 434LT-1 の
100ppmCl⁻ 水溶液中での孔食電位

	孔食電位 (mV vs. SCE)	
	20°C	80°C
SUS 430	375	-60
R 430LT	830	260
R 434LT-1	1 260	290

試料表面は #1 200 研摩仕上げ

すが, Mo を添加していない R 430LT に比べて高い値となっており, 耐食性がより優れていることがわかる。なお, Ti 添加鋼と Nb 添加鋼の相違は, 主として溶接性と非金属介在物による表面欠陥の発生しやすさにあり, 溶接性については 4・2 で触れる。表面の問題としては, Ti 添加鋼の場合, 製鋼時に生成した TiN が凝集してクラスター状の介在物となりやすく, それが板表面近傍に存在していると熱間圧延時に酸化して TiO₂ となり, いわゆるストリンガー疵として表面欠陥となる。したがって, 表面欠陥を非常に厳格に嫌う用途については Nb 添加鋼の方が好ましい。この傾向については本鋼種のみでなく他の Ti あるいは Nb 添加鋼すべてに共通している。

4・2 R 434LT-2, R 434LN-2

4・1 の R 434LT (N)-1 の Cr と Mo を増量して 18%Cr-2%Mo としたもので, その代表的な鋼の組成と機械的性質を表 9 に示す。これらの鋼は強腐食環境において使用することを目的に造られたものであり, たとえば図 14 に示すように, 1 000ppmCl⁻ 温水中においてその孔食電位はオーステナイト系の

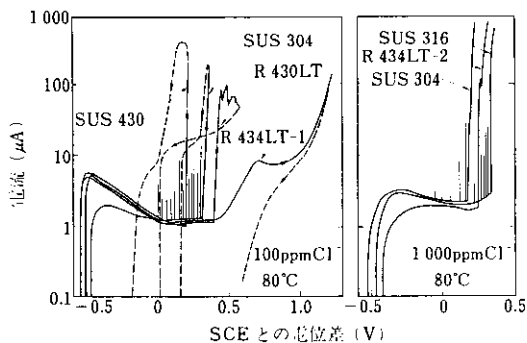


図14 各鋼種の塩素イオン水中のアノード分極曲線

SUS 304 より優れ, そして SUS 316 に匹敵している。また図 15 には 10%FeCl₃・6H₂O 液中での腐食量と 100ppmCl⁻ 温水中での孔食電位に及ぼす Cr と

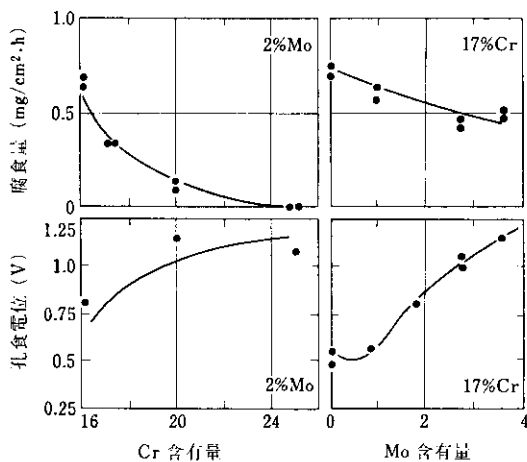


図15 10%FeCl₃・6H₂O 水(25°C)中の腐食量と 100ppmCl⁻ 水(80°C)中の孔食電位 (vs. SCE) に及ぼす Cr と Mo の影響

表9 R 434LT-2, R 434LN-2 の化学組成(%)と機械的性質

		C	Si	Mn	Cr	Mo	Ti	Nb	降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)
R 434LT-2	規格	≤0.030	≤1.0	≤1.0	17.0~20.0	1.75~2.50	0.1~1.0	—	33	53	32
	代表例	0.006	0.46	0.44	18.4	2.3	0.31	—			
R 434LN-2	規格	≤0.030	≤1.0	≤1.0	17.0~20.0	1.75~2.50	—	0.1~1.0	38	55	31
	代表例	0.004	0.46	0.36	18.8	2.4	—	0.49			

Mo含有量の影響を示しているが、17%Crに2%Moを添加することにより耐食性が著しく良くなることがわかる。本鋼はさらにTiやNbを添加することによって前述の各鋼種と同様、溶接熱影響部の粒界腐食感受性を無くしているが、たとえば図16に示すように高温にさらされたあとの粒界腐食性は、 $Ti/(C+N)$ 比を適切に高めることによって消滅させることができる。この傾向はNb添加鋼の場合も同様である。SUS 430, R 430LT, R 434LT-1, R 434LT-2, SUS 304 および SUS 316の各鋼種について、スポット溶接部の隙間腐食の進行状況を純水+100ppmCl⁻の80°C液中で23週間連続して電気化学的に調べた結果を表10⁷⁾に示す。各鋼種の差が明瞭に現れ、フェライト系鋼種ではSUS 430<R 430LT<R 434LT-1<R 434LT-2の順に耐食性が良好となっている。またSUS 430は試験の全期間を通じて腐食が進行しているのに対し、Tiを添加した他の3鋼種は、初期に腐食が起こっても時間の経過に伴ってそれが停止してしまう傾向を示し、Moを含有しているもの

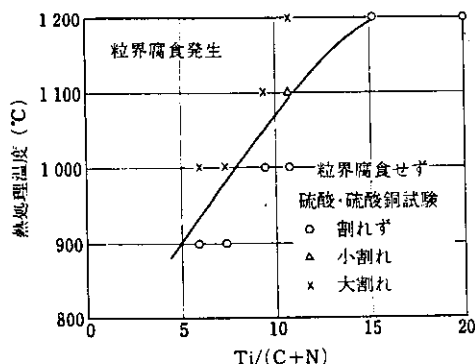


図16 0.01%C, 18%Cr-2%Mo鋼の粒界腐食鋭敏化温度に及ぼすTiの影響

ではその傾向がとくに顕著である。またオーステナイト系のSUS 304はこのような弱腐食環境下でも全試験期間を通じて腐食が進行しているが、これは調査の結果応力腐食割れによるものであることがわかった。これらの試料の試験後の断面状況を写真3に示す。R 434LT-2はSUS 316と同様にほとんど腐食を起こしていないことがよくわ

表10 スポット溶接部の隙間腐食の有無と進行状況 (純水+100ppmCl⁻, 80°C)

	試料 番号	浸 漬 時 間																							腐 食 形 態			
		時 間			週 間																							
		0.2	1	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		21	22	23
SUS 430	1	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	粒界腐食を伴 う孔食（進行 型）
	2	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
	3	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
R 430LT	1	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	○	○	○	○	○	○	○	○											孔 食 （停止型）	
	2	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	○	○	○	○	○	○												
	3	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	○	○	○	○	○	○	▲	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○
R 434LT-1	1	△	▲	▲	▲	△	○	▲	▲	○	○	○	○	○	○	○											孔 食 （停止型）	
	2	△	▲	▲	▲	▲	▲	○	○	○	○	○	○	○	○	○												
	3	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	○	○	○	○	○	○	○	○												
R 434LT-2	1	▲	▲	△	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○											隙間腐食なし	
	2	▲	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○												
	3	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○												
SUS 304	1	▲	○	△	△	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	応力腐食割れ （進行型）
	2	○	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
	3	▲	△	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
SUS 316	1	▲	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○											隙間腐食なし	
	2	▲	○	△	△	▲	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○												
	3	▲	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○												

○: 腐食を生じていない

△: 1μA未満の電流が生じている(わずかに腐食している)

▲: 1μA以上の電流が生じている(腐食が進行している)

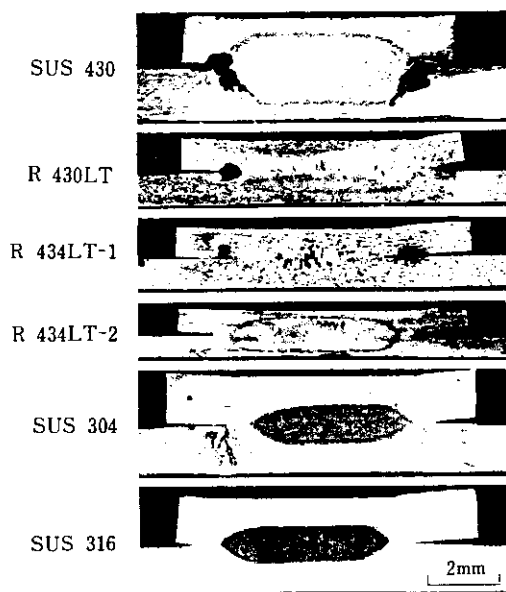


写真3 各鋼種のスポット溶接部を 100ppmCl⁻ (80°C) 水溶液中で 24 週間隙間腐食試験したのちの顕微鏡組織

かる。

つぎに溶接性の一例として板の表側のシールドガスに Ar と H₂ の混合ガスを使用し、裏側のシールドは行わずに突き合わせ、TIG 溶接したときの割れ発生状況を表 11 に示す。このように H₂ を含む雰囲気下で溶接すると、とくに Nb を含有する鋼では割れが多発する傾向があるので注意を要する。Ti 添加鋼では割れ感受性が低い、H₂ を含まない乾燥 Ar で完全シールドできれば Nb 添加鋼でも割れは生じない。この場合の溶着鋼の衝撃試験結果を図 17 に示す。Ti 添加の R 434LT-2 に比べて Nb 添加鋼の R 434LN-2 の方が靱性が良好である。したがって、完全シールドが可能な溶接であれば Nb 添加鋼が望ましく、また裏側のシールドが不完全、もしくは不可能な溶接であれば割れ感受性の低い Ti 添加鋼を選ぶことが好ましい。しかし、シールドがあまりに不完全だとやはり空気中の N₂ や O₂ と反応して TiN や TiO₂ が生じ、溶着部の欠陥となることがあるので注意を要する。なおこれらの鋼の最適シーム溶接条件を表 12 に示す。シーム溶接性も良好であるが、3・2 で述べた水素脆化はこの鋼種でも起こるので、溶接後の加工は常

表 11 H₂-Ar シールドガスをトーチから流して R 434LT-2, R 434LN-2 (1.5mm 厚) を TIG 溶接した際の割れ発生状況 (裏シールドなし)

鋼種		H ₂ ガス量 (%)			
		溶接 1m あたりの割れ発生数			
R 434LT-2	表	0	0	3	1
	裏	0	0	0	1
R 434LN-2	表	0	2	7	—
	裏	0	24	118	—

電流 120V, アーク電圧 9~10V, 溶接速度 30cm/min, 入熱量 2 500J/cm

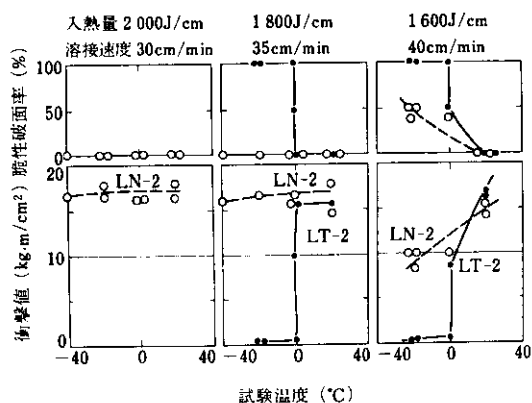


図 17 R 434LT-2, R 434LN-2 (1.5mm 厚) の TIG 溶接部の衝撃特性 (溶接条件, 電流: 120A, 電圧: 10V, シールドガス: 純 Ar をトーチから 10l/min, 裏当て金から 6l/min)

表 12 R 434LT-2, R 434LN-2 の最適シーム溶接条件

	板厚 (mm)	加圧力 (kg)	電流 (kA)	電圧 (V)	入熱量 (kJ/cm)
R 434LT-2	0.3	1 100	13~16	0.5	1.0~1.3
	0.5	900	13~17	0.65	1.3~1.8
R 434LN-2	0.3	1 100	13.5~16	0.5	1.0~1.3
	0.5	900~1 100	11.5~13	0.6	1.0~1.3

速度 3m/min, 通電 3.5c-休止 1.0c, 電極幅 7.2mm

温で少なくとも 24h 放置のうえ行うことが望ましい。

前述のように本鋼種は SUS 316 に匹敵する

耐食性を有し、かつ応力腐食割れ性もないので化学工業分野を含む強腐食環境、あるいは弱腐食環境でも恒久的な耐食性が望まれる部品や機器類に適している。

5. む す び

製鋼技術の飛躍的進歩により従来不可能とされてきた極低炭素化が可能となってきたが、それを基礎として加工性、耐錆性、耐食性、耐酸化性および溶接性に優れた一連のフェライト系ステンレス新鋼種を開発することに成功した。これらは応力腐食割れを起こしにくいという共通の性質を備えており、弱腐食環境から強腐食環境まで広い分

野にわたって選択することができる。しかし実際使用にあたっては、加工、溶接が必ずしも理想的な条件下で行われるとは限らず、また隙間や溶接部での表面汚染など腐食にとって好ましくない状況も付随するのが常であり、さらに腐食環境そのものも時間の経過に従って変化することが多い。したがって、これら鋼種を適用するに際して事前に十分な予備調査を行うとともに、できれば長期間の実物試験を行うことが望ましい。このことは従来鋼種についても共通に望まれることではあるが、とくにオーステナイト系鋼種からフェライト系鋼種に転換するような場合は、加工や溶接の条件がかなり異なったものとなるため注意が必要である。

参 考 文 献

- 1) 岩岡ほか：鉄と鋼, 63 (1977) 2, A1
- 2) 石原：ステンレス, 16 (1972) 10, 6
- 3) 石原：特殊鋼, 21 (1972) 10, 7
- 4) E. Baerlecken, W. A. Fisher and K. Lorenz : Stahl u. Eisen, 81 (1961), 768
- 5) 川崎, 佐藤, 小野, 大橋：川崎製鉄技報, 8 (1976) 4, 1
- 6) 須斉：ステンレス, 15 (1971) 4, 14
- 7) 増尾, 小野, 大橋：腐食防食協会第23回腐食防食討論会予稿集, (1976), 92