
ステンレス鋼研究 10 年の歩み

Recent Activities in Research of Stainless Steels

佐藤 進(Susumu Satoh) 宇城 工(Takumi Ujiri) 石井 和秀(Kazuhide Ishii)

要旨：

ステンレス鋼研究部門では千葉製鉄所に導入した最新鋭設備を駆使して、ステンレス鋼の成長分野である自動車排気系材料、建築内外装材料、電機向け材料に適する新製品の開発を行った。自動車用ステンレス鋼として、耐熱疲労特性、耐高温酸化性および凝縮水腐食機構を研究し、それぞれの特性に優れたエキゾーストマニホールド用（R429EX：15Cr-0.9Si-0.45Nb）、メタル担体用（R20-5USR：20Cr-5Al-La-Zr）およびマフラー用（R436LT：18Cr-1.2Mo-Ti, R432LTM：18Cr-0.5Mo-Ti）フェライト系ステンレス鋼を開発した。また建材用ステンレス鋼として、大気環境における発錆機構を研究することにより、耐候性に優れた高純度フェライト系ステンレス鋼（R30-2：30Cr-2Mo, R24-2：24Cr-2Mo, R445MT：22Cr-1.5Mo, RSX-1：18Cr-1.5Mo）を開発した。さらにリジング発生機構を研究することにより、加工性に優れたフェライト系ステンレス鋼（R430UD：17Cr, RSX-1）を開発した。

Synopsis：

The demand and requirements for advanced properties of stainless steels for automotive exhaust systems, buildings, and electric products are increasing. High performance ferritic stainless steels for automotive exhaust manifolds (R429EX: 15Cr-0.9Si-0.45Nb), catalytic converters (R20-5USR: 20Cr-5Al-La-Zr), and mufflers (R436LT: 18Cr-1.2Mo-Ti, R432LTM: 18Cr-0.5Mo-Ti) were developed on the basis of the studies of thermal fatigue, high temperature oxidation, and condensate corrosion. High purity ferritic stainless steels (R30-2: 30Cr-2Mo, R24-2: 24Cr-2Mo, R445MT: 22Cr-1.5Mo, RSX-1: 18Cr-1.5Mo) for buildings were also developed on the basis of the study of atmospheric corrosion. Investigations into ridging mechanism led to the improvement of the formability of ferritic stainless steels (R430UD: 17Cr, RSX-1). Kawasaki Steel produces these excellent ferritic stainless steels by using newly installed production facilities in Chiba Works.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

Recent Activities in Research of Stainless Steels



佐藤 進
Susumu Satoh

技術研究所 ステンレス鋼研究部門長・工博



宇城 工
Takumi Ujio

技術研究所 ステンレス鋼研究部門 主任研究員(課長)



石井 和秀
Kazuhide Ishii

技術研究所 ステンレス鋼研究部門 主任研究員(課長)

要旨

ステンレス鋼研究部門では千葉製鉄所に導入した最新鋭設備を駆使して、ステンレス鋼の成長分野である自動車排気系材料、建築内外装材料、電機向け材料に適する新製品の開発を行った。自動車用ステンレス鋼として、耐熱疲労特性、耐高温酸化性および凝縮水腐食機構を研究し、それぞれの特性に優れたエキゾーストマニホールド用(R429EX: 15Cr-0.9Si-0.45Nb)、メタル担体用(R20-5USR: 20Cr-5Al-La-Zr) およびマフラー用(R436LT: 18Cr-1.2Mo-Ti, R432LTM: 18Cr-0.5Mo-Ti) フェライト系ステンレス鋼を開発した。また建材用ステンレス鋼として、大気環境における発錆機構を研究することにより、耐候性に優れた高純度フェライト系ステンレス鋼(R30-2: 30Cr-2Mo, R24-2: 24Cr-2Mo, R445MT: 22Cr-1.5Mo, RSX-1: 18Cr-1.5Mo)を開発した。さらにリジング発生機構を研究することにより、加工性に優れたフェライト系ステンレス鋼(R430UD: 17Cr, RSX-1)を開発した。

Synopsis:

The demand and requirements for advanced properties of stainless steels for automotive exhaust systems, buildings, and electric products are increasing. High performance ferritic stainless steels for automotive exhaust manifolds (R429EX: 15Cr-0.9Si-0.45Nb), catalytic converters (R20-5USR: 20Cr-5Al-La-Zr), and mufflers (R436LT: 18Cr-1.2Mo-Ti, R432LTM: 18Cr-0.5Mo-Ti) were developed on the basis of the studies of thermal fatigue, high temperature oxidation, and condensate corrosion. High purity ferritic stainless steels (R30-2: 30Cr-2Mo, R24-2: 24Cr-2Mo, R445MT: 22Cr-1.5Mo, RSX-1: 18Cr-1.5Mo) for buildings were also developed on the basis of the study of atmospheric corrosion. Investigations into ridging mechanism led to the improvement of the formability of ferritic stainless steels (R430UD: 17Cr, RSX-1). Kawasaki Steel produces these excellent ferritic stainless steels by using newly installed production facilities in Chiba Works.

1 緒 言

さびにくい鋼材としてステンレス鋼が登場したのは 1910 年ごろであるが、世界および日本においてその生産量が急増したのは 1960 年以降である。ステンレス鋼は近年でも 4% を超える年率で生産量が増加している。ステンレス鋼の安定成長を支えたものとして、製造技術においては製鋼、熱間圧延、冷間圧延焼鈍技術などの進歩によるところが大きい。当社では 1980 年代からステンレス鋼の千葉製鉄所での一貫製造をめざして最新鋭設備を導入し、1995 年までに第 4 製鋼工場、第 3 熱間圧延工場、冷間圧延焼鈍工場を建設、稼働させた。

第 4 製鋼工場においては、Cr 鉱石を用いる溶融還元法、大容量(180t)の高純度鋼の精錬が可能な SS-VOD 法 (strongly stirred-vacuum oxygen decarburization method) などを開発して、高品質なステンレス鋼を安価に溶製する技術を確立した^{1,2)}。第 3 熱間圧延

工場においては、普通鋼より硬質なステンレス鋼の高能力ミルによる広幅圧延技術、世界初のシートバー接合による連続熱間圧延技術が開発された³⁾。また、冷間圧延以降では、新クラスターミルおよび新焼鈍酸洗設備による高速冷延焼鈍技術、タンデムミルおよび普通鋼兼用の連続焼鈍酸洗設備による高生産性製造技術を確立した⁴⁾。

ステンレス鋼の用途において、この 10 年間で大きく成長し今後も期待される分野として、自動車排気系材料、建築内外装材料、および家電を含む電機向け材料がある。これらはステンレス鋼の持つ耐久性が、市場における長寿命化、メンテナンスフリー化というニーズの高まりに適合したことによる。ステンレス鋼研究部門では上述した最新鋭設備を駆使して、これらの成長分野のニーズに適する新製品を開発してきた。本報告では、これら新製品の特徴について概説する。

2 自動車用ステンレス鋼の開発

自動車排気規制の強化、エンジンの高性能化、保証期間の延長などに対応するために、自動車排気系部品へのステンレス鋼の採用が

* 平成10年12月24日原稿受付

Table 1 Chemical compositions of stainless steels for automotive exhaust system

Steels								(mass%)
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ti	Nb	Others
R429EX	0.01	0.9	0.4	14.8	—	—	0.45	Al/5.8 La/0.08 Zr/0.03
R20-5USR	0.01	0.2	0.1	20.1	—	—	—	
R436LT	0.01	0.1	0.2	17.8	1.2	0.3	—	
R432LTM	0.01	0.1	0.2	17.5	0.5	0.3	—	
SUH409L	0.01	0.3	0.3	11.2	—	0.3	—	Cu/0.5
SUS436J1L	0.01	0.3	0.3	17.5	0.5	—	0.38	
SUS430J1L	0.01	0.5	0.2	19.3	—	—	0.45	
R434LN2	0.005	0.3	0.2	19.0	1.9	—	0.25	

増加している。排気系では部位により求められる特性が大きく異なるため用途に応じた研究開発を行った結果、エキゾーストマニホールド用として耐熱疲労特性と加工性に優れる R429EX を、メタル担体用として耐高温酸化性に優れる R20-5USR を、そしてマフラー用として耐食性に優れた R436LT および R432LTM を開発した。これら開発鋼の代表組成を Table 1 に示す。

2.1 エキゾーストマニホールド用ステンレス鋼

エキゾーストマニホールドは、エンジンの各燃焼室から排出された高温の排気を集合させてフロントパイプに導く部品である。周囲の部品に拘束された状態で高温に加熱されるため、その素材には耐熱疲労特性や耐酸化性が求められ、使用温度が低い場合には SUH409L (11Cr-0.3Ti) が、比較的高い場合には Nb, Mo あるいは Cu が添加された SUS436J1L (17.5Cr-0.4Nb-0.5Mo) や SUS430J1L (19Cr-0.4Nb-0.5Cu) が従来用いられていた。しかし、最近のエンジンの高性能化により、さらに高い使用温度に耐え得る材料が求められていた。また、エキゾーストマニホールドの形状もますます複雑化しているため加工性の向上も同時に求められていた。そこで Cr, Mo, Cu, Si などの合金元素の影響を調査し、加工性と耐酸化性の両立の検討を行った。また、同時に従来検討されていなかった上限温度が 800°C 以上になる条件での耐熱疲労特性に影響する因子の検討も行い、疲労寿命におよぼす高温強度と延性の影響が拘束率によって異なってくることを明らかにした⁹⁾。以上の検討の結果、SUS436J1L, SUS430J1L と同等以上の熱疲労特性を有し、より優れた加工性を有する R429EX (15Cr-0.9Si-0.45Nb) を開発した。

Fig. 1 に SUH409L, SUS436J1L, R429EX および R434LN2 (19Cr-2Mo-0.3Nb) の熱疲労試験の破損繰り返し数 (Nf) と拘束率 (η) の関係を示す。拘束率が高い条件 ($\eta = 0.8$) では、熱歪みは弾性歪みの数倍に達するため、塑性変形能の大きい高延性材料が有利となり SUH409L が最も優れた耐熱疲労特性を示すが、実環境に近い $\eta = 0.3$ 以下の低拘束率になると、熱歪み量は弾性歪み量に近くなるた

め、弾性歪み量の大きい Nb 添加した高強度材 (R429EX, SUS436J1L, R434LN2) の Nf 値が著しく向上し、SUH409L のそれよりも優れるようになる。R429EX は、SUS436J1L 並みの強度を有し、より延性に優れるためいずれの拘束率でも SUS436J1L 以上の耐熱疲労特性を示す。また R434LN2 は、2%Mo 添加による固溶強化の結果、0.3 以下の拘束率ではさらに優れた特性を示す。

これらの鋼種はエキゾーストマニホールドのみならず、フロントパイプ、コンバーターシェルのような高温での熱疲労特性と耐酸化性が要求される部品にも適している。

2.2 メタルハニカム用ステンレス鋼

ガソリンエンジンを搭載している自動車には、排気を浄化するためにハニカム状担体に貴金属触媒を担持させた触媒コンバーターが搭載されている。この担体には主にコーディエライト製セラミックスが用いられてきたが、近年は排気規制の強化に対応するためにステンレス鋼箔を組み立てたメタル担体の使用が増加している。これは、メタル担体では壁厚が薄く排気抵抗が小さいことや、熱容量が小さいためエンジン始動時に昇温されやすく触媒反応の立ち上がり特性が良いことなどの利点があるためである。

担体は高温の排気と触媒反応で加熱されて 900°C 以上になるため、耐酸化性に優れた 20Cr-5Al ステンレス鋼箔が担体材料として用いられている。20Cr-5Al 鋼は、酸化されると表面に Al_2O_3 皮膜が生成し、これが保護皮膜となり優れた耐酸化性を示す。箔では、表面積に対する体積の割合が小さく酸化による Al の枯渇が問題になるため、酸化速度の低減が重要である。そこで、従来は主に酸化皮膜の密着性改善の点から検討されていた希土類元素等の各種元素について、それらの酸化速度への影響を詳細に調べ、La が酸化速度低減に有効であること¹⁰⁾、さらに、La に加えて Zr を複合添加すると酸化速度がさらに低減することを明らかにし¹¹⁾、R20-5USR (20Cr-5Al-La-Zr) を開発した。Fig. 2 に、0.03%、0.10%La および 0.12%

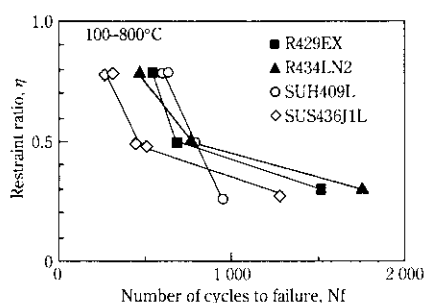


Fig. 1 Relation between restraint ratio and number of cycles to failure in thermal fatigue test

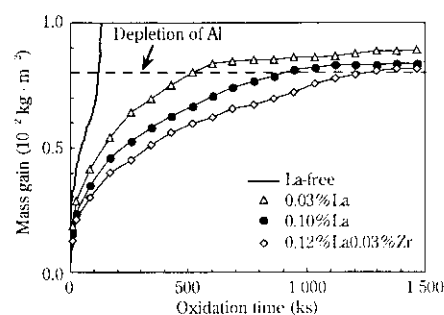


Fig. 2 Oxidation behavior of 50 μ m thick foil samples without addition of La and with addition of La, La-Zr to 20Cr-5Al steels at 1373 K in air

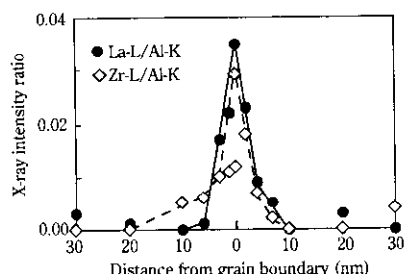


Fig. 3 X ray intensity ratios of La-L, Zr-L to Al-K in EDX spectrum across grain boundaries in Al_2O_3 layer formed on foils containing 0.12%La-0.03%Zr after oxidation at 1473 K for 72 ks

La-0.03%Zr 箔の 1373 K における酸化増量の経時変化を示す。La 添加量の増加にしたがい酸化速度が低下し、La と Zr の複合添加によりさらに酸化速度が低下することがわかる。 Al_2O_3 皮膜は、酸素イオンが皮膜の粒界を拡散して皮膜/鋼界面に到達しそこで新たな Al_2O_3 が生成することにより成長する。La と Zr の添加はこの酸素の拡散を抑制して、酸化速度を低減すると考えられる。Fig. 3 に 0.12%La-0.03%Zr 箔に生成した Al_2O_3 皮膜の粒界を TEM-EDX で分析した結果を示す。粒界に La と Zr が濃化しており、これが酸素の粒界拡散を抑制すると推定される⁹⁾。

R20-5USR はその優れた耐酸化性が評価され、国内外で触媒担体に広く使用されている。

2.3 マフラー用ステンレス鋼

マフラーは、内部では排気が結露した凝縮水による腐食が生じ、外部では道路に撒かれた融雪塩や海塩粒子による腐食が生じるため高い耐食性（耐湿食性）が求められる。

特に内部腐食に関しては、排気浄化触媒に三元触媒が用いられるようになってから、アンモニウムイオンおよび塩素イオンを含んだ腐食性の高い凝縮水が生成されるようになり、それまで使用されていた Al めっき鋼では孔あきが多発した。そのため SUH409L や SUS410L (13Cr) が使用されるようになったが、近年の自動車部品の保証期間の延長にともないより耐食性に優れた鋼種が必要とされた。

当社では凝縮水腐食機構の解明に取り組み、それが (1) 排気温度の上昇にともなう凝縮水の蒸発、濃縮により、Cl イオンの濃化および pH の低下が起こり、腐食性が非常に高くなること、(2) 排気温度の上昇により表面が酸化し耐食性が劣化すること、(3) 排気に含まれるすすがカソード反応を促進すること、(4) Al めっき鋼の場合、Al めっき表面の酸化層と地鉄界面にある合金層により Al の犠牲防食効果が遮断されることの 4 点により腐食が促進されることを明らかにした。このような凝縮水腐食は従来の塩水噴霧・乾燥・湿潤といったサイクル腐食試験では再現されないことから、凝縮水腐食を再現する試験方法を検討し、Fig. 4、Table 2 に示す dip & dry 式試験を開発した⁹⁾。この試験は、実車の凝縮水分析値に基づいた合成液と活性炭を含む試験溶液中に、予備酸化熱処理を施した試験片を浸漬し、これを凝縮水滞留時のマフラー温度である 80°C に保持することによって、凝縮水の濃縮・蒸発過程での腐食を再現し、耐食性を評価するものである。

Fig. 5 にマフラー用ステンレス鋼の模擬凝縮水腐食試験結果を示す。マフラーの孔あきにつながる最大浸食深さは $\text{Cr} (\%) + 3.3 \times \text{Mo} (\%)$ に比例して小さくなり、Cr と Mo が耐凝縮水腐食性の向上に有効であることがわかる。最大浸食深さは比較的ばらつきやすい値であるため、その値から単純に孔あきまでの寿命を推定することは危険である。そこで最大浸食深さデータに極値統計解析の手法を適用し材料の寿命を推定した結果、SUH409L の寿命は Al めっき鋼

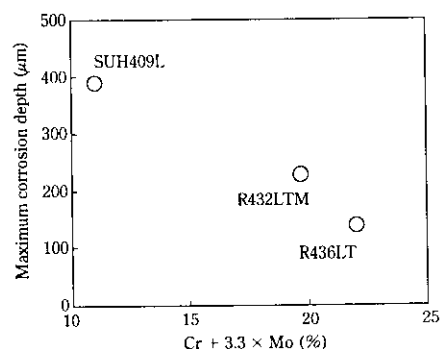


Fig. 5 Effect of Cr and Mo contents on the maximum corrosion depth in the synthetic condensate corrosion test

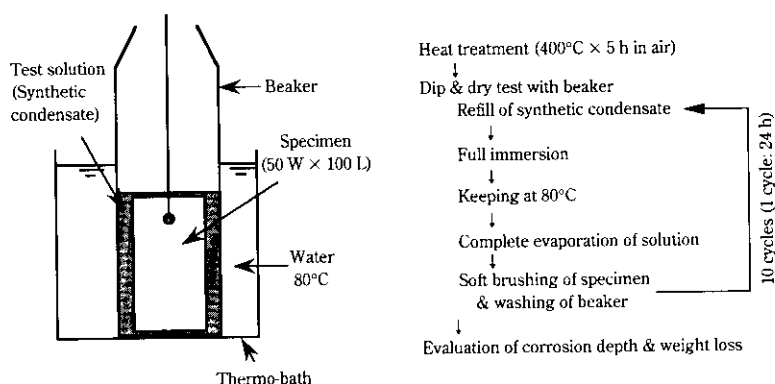


Fig. 4 Method of a condensate corrosion test

Table 2 Chemical composition of a synthetic condensate

Cl	SO_3^{2-}	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	NO_2^-	NO_3^-	CH_3COO^-	HCHO	COOH	NH_4^+	Activated carb.
250	1 250	1 250	2 000	100	20	400	250	100	2 500	50 g/ℓ

の寿命の 3.3 倍, R436LT (18Cr-1.2Mo-0.3Ti) の寿命は SUH409L の寿命の 1.7 倍となることを明らかにした¹⁰⁾。

これらの知見から高耐食性マフラー材として 18%Cr に Mo を添加した R436LT, R432LTM (17Cr-0.5Mo-0.3Ti) を開発した。これらの鋼種は、高生産性、低コストの普通鋼生産設備（タンデムミル冷間圧延、普通鋼連続焼鈍ラインでの焼鈍酸洗）を活用して製造され、マフラー用材料として広く使用されている。

3 建材用ステンレス鋼の開発

ステンレス鋼市場において近年大きく成長した分野は建材用途である。もともとステンレス鋼は化粧板などの外装材として使用されていたが、その優れた意匠性、耐食性から最近ではビルの内・外装材、さらには屋根材として採用されている。内装材として使用する場合は SUS304 程度の耐食性があれば十分であるが、外装材、屋根材の場合はより優れた耐食性が要求される。

当社では千葉製鉄所、知多製造所、伊賀上野、潮岬、鹿児島、沖縄と全国 6 ヶ所に暴露試験地を設け、工業地帯、田園地帯、火山灰地帯、海浜地帯など各環境におけるステンレス鋼の耐候性を広範囲に研究することによって、発錆機構や合金成分・環境などの影響、また最適な素材選定方法を明らかにした。

3.1 ステンレス鋼の耐候性に及ぼす影響因子と素材選定

種々のステンレス鋼を暴露試験した結果を Fig. 6 に示す。フェライト系鋼種でもオーステナイト系鋼種でも pitting index (PI = Cr + 3.3 × Mo; フェライト系, PI = Cr + 3.3 × Mo + 16 × N; オーステナイト系) の増加にしたがって発錆面積率が減少し、耐候性は向上する。しかし、同じ PI でもフェライト系鋼種はオーステナイト系鋼種や二相系鋼種より優れた耐候性を示す。その原因として、フェライト系鋼種は高純度安定化鋼種であるため発錆起点となる介在物が少ないこと^{11,12)}、および、大気暴露のように腐食環境が繰り返し変化する条件では、フェライト系鋼種に Mo 添加した場合発生した孔食が再不動態化しやすいことが挙げられる¹³⁾。

Fig. 7 に沖縄と伊賀上野で暴露試験を行った結果を示す。発錆程度はステンレス協会が選定した標準写真との比較により決定するレーティング No. (S.A.R.N.) を用いて評価した。S.A.R.N. が 6 以上であれば発錆はしみ状の痕跡程度であり、建材用途としては外観上十分な耐食性である。4 以下は赤錆が発生しているレベルとなる。外観だけではなく、孔あきという機能面からも、S.A.R.N. が 6 以上で

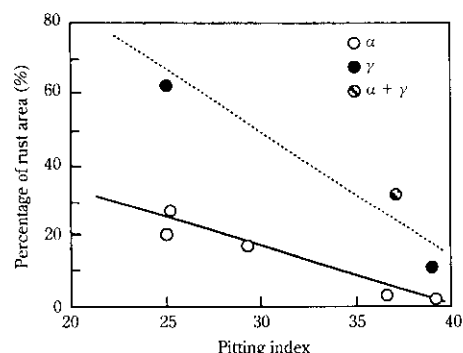


Fig. 6 Relation between rust area and pitting index of ferritic, austenitic, and dual phase stainless steels after 3y exposure at a coastal area (Pitting index = Cr + 3.3 × Mo; ferritic stainless steels, pitting index = Cr + 3.3 × Mo + 16 × N; austenitic stainless steels)

あれば、孔食深さは 100 μm 以下であり、雨漏りなどの問題は生じない¹⁴⁾。

ステンレス鋼の耐候性はほぼ PI 値によって整理することが可能であり¹⁵⁾、使用される環境によって S.A.R.N. が 6 以上となる PI 値が決まる。Fig. 7 の結果からわかるように田園地帯である伊賀上野では PI 値 18 の SUS304 クラスでも使用可能であるが、沖縄では PI 値 30 以上が必要である。地域ごとにこのような関係を調査すれば適切な建材用ステンレス鋼の選定が可能となる。

各地域の腐食性は、第一義的には飛来海塩粒子量で整理することができるが、ステンレス鋼の耐候性には地域環境だけではなく建築物での部位も影響し、その中でも軒部の発錆が非常に厳しいとされている。模擬建築物により各部位での発錆挙動を調査した結果、軒部では付着海塩粒子量が多くなることに加えて、発錆が促進される相対湿度 50% 付近となっている時間が長いことが影響していることを明らかにした¹⁶⁾。模擬建築物軒部での暴露結果を Photo 1 に示すが、R30-2 (SUS447J1: 30Cr-2Mo 鋼) では海岸近くの軒部においてもほとんど発錆は生じない。

3.2 川崎製鉄の建材用ステンレス鋼

当社の建材用ステンレス鋼を Table 3 に示す。R30-2 を筆頭に、環境・用途に合わせて各種の建材用高純度フェライト系ステンレス鋼が開発されている。内陸部の内外装材であれば、SUS304 以上の耐候性を示す RSX-1 が最適であり、海浜地域であれば R445MT, R24-2 が適している。さらに、海岸地帯の軒部にも適用する場合は

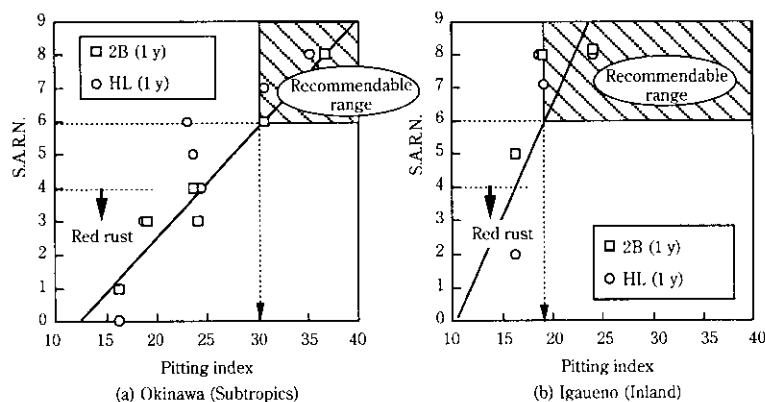


Fig. 7 Relation between pitting index and rusting evaluation of S.A.R.N. after 1y exposure in various environment

Table 3 Chemical compositions of the stainless steels for architectural materials

(mass%)

Steels	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Others	P.I.*	Application
R30-2	0.003	0.2	0.1	30.0	0.2	2.0	Nb	36.6	Kansai International Airport
R24-2	0.004	0.2	0.1	24.0	0.2	2.0		30.6	Niigata Airport
R445MT	0.004	0.1	0.15	22.0	0.2	1.5	Ti, Nb	27.0	Makuhari Messe
RSX-1	0.004	0.1	0.15	18.0	0.1	1.5	Ti	23.0	Osaka City Dome
SUS304	0.05	0.5	1.0	18.2	8.5	—		18.7	
SUS316	0.06	0.5	1.3	16.5	10.5	2.0		23.6	

*P.I. = Cr + 3.3 × Mo; Ferritic stainless steels, P.I. = Cr + 3.3 × Mo + 16 × N; Austenitic stainless steels

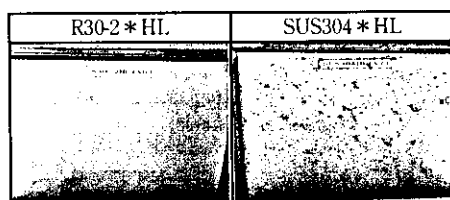


Photo 1 Appearances of the eaves of R30-2 and SUS304 after 1y exposure at a coastal area

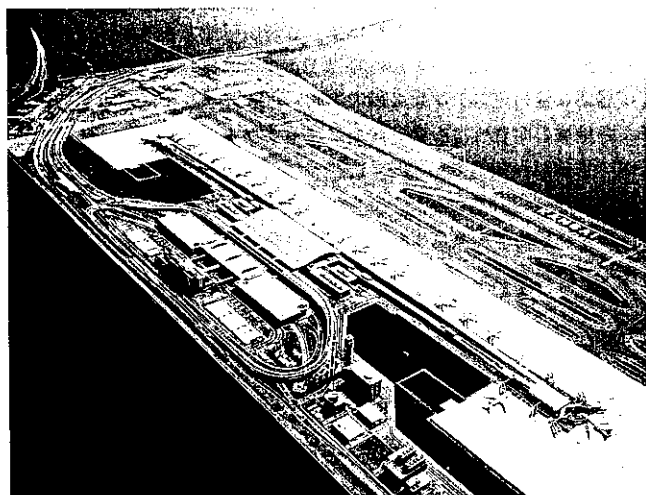


Photo 2 Passenger terminal building of Kansai International Airport

R30-2 が優れた耐候性を示す。

また、フェライト系の建材用ステンレス鋼は耐食性以外にも、熱

膨張係数が小さく長尺の溶接が可能で、屋根などに施工した場合オイルキャンと呼ばれるべこつきの発生が少ないなどの利点も持っている¹⁷⁾。

以上の研究開発に基づき、R30-2 が開発されて、関西新空港ターミナルビルの屋根材に採用された (Photo 2)。面積 9 万 m² にもおよぶこのステンレス屋根において、R30-2 は優れた耐候性とステンレス鋼独特の意匠性を示している。

4 フェライト系ステンレス鋼のリジング特性の向上

SUS430 で代表されるフェライト系ステンレス鋼はプレス加工に際してリジングと呼ばれる圧延方向に伸展した凹凸が発生し、その後の製品研磨工程での負荷の増大を招く。

リジングは、ステンレス鋼板内に圧延方向に伸びた方位の近い結晶粒群 (コロニー) が存在するため、各コロニー間の塑性変形挙動に差が生じる結果発生すると考えられている^{18~23)}。

当社では、世界最新鋭の千葉製鉄所第 3 熱間圧延工場を活用し、熱間圧延条件を適正化することによりこれらコロニーを破壊し、リジング発生をきわめて少ない R430UD (成分は SUS430 と同一) を開発した。Fig. 8 に SUS430 と R430UD (ともに板厚 0.7 mm の製品板の 1/4 面) の結晶方位分布を EBSD 法 (electron back scattering diffraction) により測定した結果を示す。SUS430 には圧延方向に伸展した $\langle 110 \rangle$, $\langle 111 \rangle$, $\langle 100 \rangle$ //ND 方位コロニーが存在する。一方、R430UD には明瞭なコロニーは存在せず、しかも $\langle 111 \rangle$ //ND 方位が多く存在する。

さらに、SUS304 と同等の耐食性を有し、かつ優れたリジング特性を有するフェライト系ステンレス鋼として RSX-1 を開発した。一般に Cr および Mo 量が同一の場合、フェライト系ステンレス鋼の耐食性は、C, N 量の影響を受け極低 C, N 化するほど耐食性は向上する。RSX-1 は極低 C, N 化のための SS-VOD 技術と R430UD

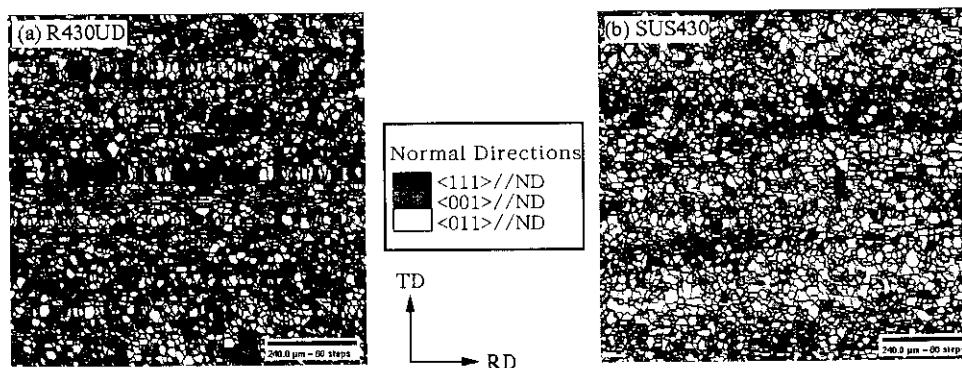


Fig. 8 Texture maps for normal direction, tolerance angle = 15°, of the 1/4 thickness ND plane of samples (a) R430UD, (b) SUS430

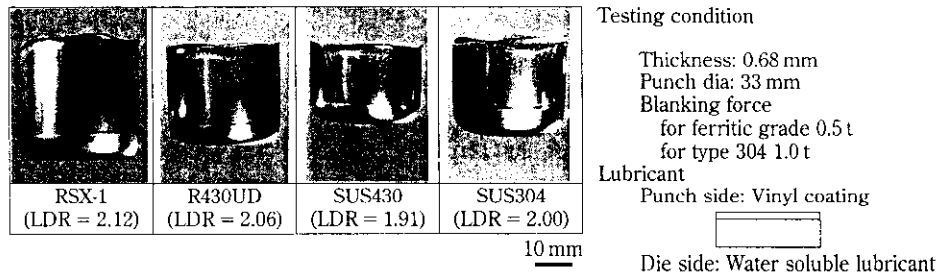


Photo 3 Appearances of ridging and drawn cup-height of RSX-1, R430UD, SUS430 and SUS304 after Olsen cup test

で用いられたリジング特性向上のための熱間圧延技術を組み合わせることにより開発された。Photo 3 に R430UD, RSX-1, SUS430 および SUS304 の円筒絞り試験後の外観を示す。R430UD, RSX-1 はいずれも SUS304 以上の深絞り性を有している。また、リジング特性は従来の SUS430 に比べて格段に優れている。

以上のように当社では最新の製鋼-熱間圧延技術の組み合わせによりリジング特性に優れた多くの高加工性フェライト系ステンレス鋼を製品化している。

5 結 言

千葉製鉄所に導入したステンレスの最新鋭設備を駆使した新製品として、以下のフェライト系ステンレス鋼を開発した。

(1) 自動車用フェライト系ステンレス鋼

エキゾーストマニホールド用として、耐熱疲労特性と加工性を両立させる成分設計を行い R429EX (15Cr-0.9Si-0.45Nb) を開発した。またメタル抱体用として、La と Zr を複合添加すると酸化速度が低減することを見だし、耐高温酸化性に優れる

R20-5USR (20Cr-5Al-La-Zr) を開発した。さらに、マフラー用として凝縮水腐食機構を明らかにすることにより、耐食性に優れた R436LT (18Cr-1.2Mo-Ti) および R432LTM (18Cr-0.5Mo-Ti) を開発した。

(2) 建材用フェライト系ステンレス鋼

ステンレス鋼の大気環境における発錆機構を研究することにより、フェライト系ステンレス鋼はオーステナイト系鋼種より優れた耐候性を示すこと、さらに、耐候性に及ぼす材料因子、環境因子の影響を明らかにし、耐候性に優れた建材用高純度フェライト系ステンレス鋼 R30-2 (30Cr-2Mo), R24-2 (24Cr-2Mo), R445MT (22Cr-1.5Mo), RSX-1 (18Cr-1.5Mo) を開発した。

(3) 高加工性フェライト系ステンレス鋼

リジングの成因と考えられるフェライト系ステンレス鋼板中のコロニーを EBSD 法により特定した。コロニーを破壊する熱間圧延条件を実験的に検討し、その結果を千葉製鉄所第 3 熱間圧延工場において適用することにより、リジング特性に優れた高加工性フェライト系ステンレス R430UD (17Cr) および RSX-1 (18Cr-1.5Mo) を開発した。

参 考 文 献

- 鍋島裕樹, 小倉 滋, 山田純夫: 川崎製鉄技報, **28**(1996)4, 206-212
- 岸本康夫, 田岡敬造, 竹内秀次: 川崎製鉄技報, **28**(1996)4, 213-218
- 二階堂英幸, 磯山 茂, 野村信彰, 林 寛治, 森本和夫, 坂本秀夫: 川崎製鉄技報, **28**(1996)4, 224-230
- 小林 真, 川崎龍夫, 三原康雄, 佐藤廣武, 高田正和, 柳島章也: 川崎製鉄技報, **20**(1988)1, 20-26
- 宮崎 淳, 多田品哉, 佐藤 進: 材料とプロセス, **7**(1994)6, 1683
- 石井和秀, 川崎龍夫: 日本金属学会誌, **56**(1992)7, 854-862
- 清水 寛, 河野雅昭, 吉岡啓一: 川崎製鉄技報, **25**(1993)2, 119-123
- 石井和秀, 河野雅昭, 佐藤 進: 川崎製鉄技報, **30**(1998)2, 104-108
- T. Ujio, M. Kitazawa, and F. Togashi: *Materials Performance*, **33**(1994)12, 49-53
- 宇城 工, 北沢 真, 佐藤 進: 材料, **45**(1996)11, 1192-1197
- 宇城 工, 矢沢好弘, 柳原美佐子, 藤沢光幸, 佐藤 進: 第 42 回腐食防食討論会予稿集, (1995), C-102
- 藤沢光幸, 石川 伸, 加藤 康, 宇城 工, 佐藤 進: 鉄と鋼, **83**(1997)1, 66-71
- 矢沢好弘, 宇城 工, 佐藤 進, 熊沢慎太郎, 小林 真, 白石昌司: 材料とプロセス, **9**(1996), 1329
- 「建材用ステンレス鋼の耐候性」, 川崎製鉄(株)技術研究所編技術資料
- 矢沢好弘, 宇城 工, 佐藤 進, 吉岡啓一: 材料と環境, **44**(1995)12, 654-660
- 柳原美佐子, 宇城 工, 矢沢好弘, 佐藤 進: 材料と環境, **46**(1997)9, 572-579
- 佐藤 進: 科学と工業, **68**(1994), 551
- H. C. Chao: *Trans. Am. Soc. Met.*, **60**(1967), 37
- H. Takechi, H. Kato, T. Sunami, and T. Kayama: *Trans. Jpn. Inst. Met.*, **8**(1967), 233
- R. N. Wright: *Metall. Trans.*, **3**(1972), 83
- K. Bethke, M. Hoscher, and K. Luke: *Mater. Sci. Forum*, 157-162 (1994), 1137
- 藤倉政司: 電気製鋼, **40**(1969), 147
- 原勢二郎, 太田国照, 清水 亮, 竹下哲朗: 鉄と鋼, **76**(1990), 118