
耐凝縮水腐食性に優れた自動車マフラー用R436LTフェライト系ステンレス鋼
High Corrosion Resistant R436LT Ferritic Stainless Steel for Automotive Muffler Use

北澤 真(Makoto Kitazawa) 宇城 工(Takumi Ujio) 吉岡 啓一(Keiichi Yoshioka)

要旨：

フェライト系ステンレス鋼の耐マフラー凝縮水腐食性に及ぼす鋼中のCr, Mo, Ni, Si濃度の影響について、dip and dry型の腐食促進試験および電気化学的測定を用いて調べた。この結果、(1) Cr含有量の増加あるいはMo添加は最大浸食深さを減少する。(2) NiとSiの腐食挙動に対する影響は認められない。(3) 溶接部の耐粒界腐食性が改善されるためには $Ti / (C + N) > 10$ の範囲のTi添加が必要であることがわかった。この知見をもとにマフラー用材料としてR436LT (17.5Cr-1.2Mo-Ti)を開発した。本鋼は、SUH409Lの2倍以上の優れた耐凝縮水腐食性を有し、かつ加工性も良好である。

Synopsis：

The effects of Cr, Mo, Ni and Si contents on the corrosion behavior of ferritic stainless steels in the condensate of the automotive muffler have been studied by using the dip-and-dry type accelerated corrosion test and the electrochemical measurement. The results are as follows: (1) The addition of Cr or Mo reduces the maximum depth of corrosion pits, (2) the effect of Ni or Si on the corrosion behavior was not detected, and (3) the addition of Ti more than 10 times the sum of C and N improves resistance against intergranular corrosion on the weld. According to these experimental results, R436LT (17.5Cr-1.2Mo-Ti) has been developed as the material for a muffler of an automobile. The corrosion resistance of R436LT is more than twice that of 409L.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

耐凝縮水腐食性に優れた自動車マフラー用 R436LTフェライト系ステンレス鋼^{*1}

川崎製鉄技報
25 (1993) 2, 124-130

High Corrosion Resistant R436LT Ferritic Stainless Steel for Automotive Muffler Use



北澤 真

Makoto Kitazawa
鉄鋼研究所 薄板研究
部ステンレス鋼研究室



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(課長補)



吉岡 啓一

Keiichi Yoshioka
鉄鋼研究所 鋼材研究
部鋼管研究室長(部長
補)・工博^{*2}

要旨

フェライト系ステンレス鋼の耐マフラー凝縮水腐食性に及ぼす鋼中のCr、Mo、Ni、Si濃度の影響について、dip and dry型の腐食促進試験および電気化学的測定を用いて調べた。この結果、(1)Cr含有量の増加あるいはMo添加は最大浸食深さを減少する、(2)NiとSiの腐食挙動に対する影響は認められない、(3)溶接部の耐粒界腐食性が改善されるためにはTi/C+N>10の範囲のTi添加が必要であることがわかった。この知見をもとにマフラー用材料としてR436LT(17.5Cr-1.2Mo-Ti)を開発した。本鋼は、SUH409Lの2倍以上の優れた耐凝縮水腐食性を有し、かつ加工性も良好である。

Synopsis:

The effects of Cr, Mo, Ni and Si contents on the corrosion behavior of ferritic stainless steels in the condensate of the automotive muffler have been studied by using the dip-and-dry type accelerated corrosion test and the electrochemical measurement. The results are as follows: (1) The addition of Cr or Mo reduces the maximum depth of corrosion pits, (2) the effect of Ni or Si on the corrosion behavior was not detected, and (3) the addition of Ti more than 10 times the sum of C and N improves resistance against intergranular corrosion on the weld.

According to these experimental results, R436LT (17.5Cr-1.2Mo-Ti) has been developed as the material for a muffler of an automobile. The corrosion resistance of R436LT is more than twice that of 409L.

1 緒 言

近年、自動車マフラー用材料として耐食性に優れたステンレス鋼が求められるようになってきている。これはマフラーを取り巻く環境に以下のような変化が生じたためである。

まず、マフラー内部の腐食環境の変化として：

- (1) 排ガス規制対応のため三元触媒^{*3}が導入されたことからマフラー内に生成する凝縮水組成が変化し¹⁾、腐食性が増大した。
- (2) FF横置きエンジンの車が増加した。このレイアウトでは排気管が長くなり、マフラー温度が低下する。そのため凝縮水の生成が促進され、腐食事例が増えた。
- (3) 自動車の使用が主婦層に広がり、買い物等の近距離運転に使用される頻度が増し、そのため凝縮水が蒸発し切らずマフラー内に残存することが多くなり²⁾、マフラー内の腐食が促進された。

次に、マフラー外部の腐食環境の変化として：

- (4) 北米等の寒冷地における融雪塩、海岸地域における海塩粒子による外部腐食への対応が必要とされるようになった³⁾。

そして、市場の変化として：

- (5) マフラーに対する意識が消耗品から耐久品へと変化し、排気系部品に対する保証期間が従来⁴⁾の1年、2万kmから3年、6万kmに延長された。

この結果、マフラー用材料として従来使用されていたAlめっき鋼では耐凝縮水腐食性が不十分となり⁵⁾、低Crステンレス鋼(SUH409, SUS410)が用いられるようになった。しかし、低Crステンレス鋼の耐食性もまだ十分とはいえず、より耐凝縮水腐食性に優れた鋼種が要求されるようになった。

しかし、排気凝縮水環境におけるステンレス鋼の耐食性に及ぼす合金元素の影響に関する報告は少ない⁶⁾。そこで、著者らはマフラー凝縮水での耐食性に優れたフェライト系ステンレス鋼の開発を目的とし、凝縮水腐食試験法⁷⁾と電気化学的方法を用いて、フェライト

^{*1} 平成5年2月2日原稿受付

^{*2} 前鉄鋼研究所薄板研究部ステンレス鋼研究室長

^{*3} 三元触媒とは、自動車排気ガス中の有害3成分—HC(炭化水素のこと、CO同様燃料の不完全燃焼より生じる)、CO、NO_xを同時に浄化する触媒である。この触媒によって、有害なHC、CO、NO_xはそれぞれ酸化と還

元を受け、無害なH₂O、CO₂、N₂に転換される。しかし、実際にはこれらの転換作用が完全に行われるわけではなく、浄化しきれなかったHC、CO、NO_xに加えてNH₃等が生成する。NH₃は生成する凝縮水のpHを上昇させ、排ガス中のCl、CO₂、SO₂、NO_x等をトラップすることによって凝縮水中のイオン濃度を増大させ、その腐食性を増すものと考えられる。

系ステンレス鋼の耐凝縮水腐食性に及ぼす合金元素(Cr, Mo, Ni, Si)の影響について検討した。また、自動車マフラーでは部品の接合のためにスポット溶接, TIG 溶接, MIG 溶接が用いられており、これらの溶接部での粒界腐食感受性の低減も検討する必要がある。そこで、耐粒界腐食性に及ぼす Ti の影響についても検討した。

これらの検討結果に基づき、高耐食性マフラー材料用として R 436 LT ステンレス鋼を開発した。以下にこれらの概要について報告する。

2 実車マフラーの凝縮水腐食

実車マフラーでは、エンジンの始動に伴い、冷えたマフラー内に NH_4^+ , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , Cl^- 等を含む凝縮水が生成し、マフラーの温度の上昇と共に凝縮水が蒸発してイオンの濃縮と pH の低下がおこることが知られている⁷⁾。生成する凝縮水の組成はエンジンや触媒等の組合せ、運転モードによって変化するが、三元触媒を用いた車の場合、pH 8~9 の弱アルカリ性の凝縮水が生成することが JASO (日本自動車技術会) の詳細な調査で⁸⁾報告されている。

実車マフラーの温度測定結果によると、マフラー内部腐食が多く発生する近距離走行時の温度は 70℃ 付近であり⁹⁾、40 km/h の定速走行では、凝縮水は約 80℃ 以下で乾燥、濃縮する⁹⁾ことから、マフラー凝縮水腐食の環境温度は約 60~80℃ と考えられる。また、実車マフラーの温度は排気温の上昇に伴い上昇し、最高温度は 400℃ 以上にも達するため¹⁰⁾、マフラー表面には酸化によるテンパーカラーが生成し、それが耐食性に影響を及ぼしていると考えられる。また実車マフラー内では未燃焼の炭素であるすすが滞留し、腐食に影響を及ぼすことも報告されている¹¹⁾。

これらのことから、凝縮水腐食は、エンジン始動時にマフラー内に生成した凝縮水がマフラー温度の上昇に伴い蒸発、濃縮し、イオンの濃縮と pH の低下が生じることにより起こるものと考えられる。またさらに、マフラー表面に生じたテンパーカラーおよびマフラー内部に滞留した未燃焼の炭素が腐食挙動に影響を及ぼしているものと考えられる。

3 試験方法

3.1 供試材

供試材の化学組成範囲を Table 1 に示す。すなわち、17~19 Cr-Ti を基本成分とし、Cr, Mo, Ni, Si の添加量を変化させた。これらは小型高周波真空溶解炉にて溶製し、熱間圧延、冷間圧延により 1.0 mm 厚の冷延焼鈍板として実験に供した。また、比較材として商用工程で製造された Al めっき鋼 (めっき量 80 g/m²)、および SUH 409 L を用いた。試験片は 1.0 mm×50 mm W×100 mm L の寸法で、800 番ペーパー研磨 (Al めっき鋼は受入れまま)、脱脂を施した後、テンパーカラーを模擬するためにあらかじめ酸化処理 (大気中、400℃×5 時間炉) を行い、試験に供した。

3.2 凝縮水腐食試験方法

3.2.1 試験方法の検討

2 章で述べた知見に基づいて、著者らは実車マフラー内部に生じる凝縮水腐食を実験的に再現し得る試験方法をまず検討した⁹⁾。前述のようにマフラー内部腐食は凝縮水の蒸発濃縮過程で生じるので、本試験ではピーカーを用いた dip and dry 試験方法を採用することにした。試験方法の概要を Fig. 1 に示す。合成凝縮水としては、自動車技術会により調査された 20 km/h 定速走行時のマフラー内滞留凝縮水の分析値 (ガソリン中硫黄含有量約 300 ppm)⁹⁾を参考にし、腐食を促進するため塩素イオンおよび亜硫酸イオンを除いたその他のイオン濃度を 5 倍に濃縮し、腐食性が高い塩素イオンと亜硫酸イオンについては 25 倍に濃縮したものを用いた。実験に用いた合成凝縮水の組成を Table 2 に示す。また、実車マフラー内では未燃焼炭素であるすすが付着していることを考慮し、粉末状活性炭素 (試薬 活性炭素 (粉末)、関東化学製) を添加した。試験液温度は実車マフラー温度の実測値より、凝縮水が蒸発・濃縮する温度である 80℃ とし、試験時間として 1 サイクル 24 時間の濃縮乾燥を 10 サイクル繰り返し、腐食減量および最大浸食深さを測定した。

凝縮水腐食試験 10 サイクル後の SUH 409 L、および SUH 409 L 製実車同収マフラーに発生した孔食の断面ミクロ写真を Photo 1 に示す。いずれも腐食形態はピット状腐食であり、両者はよく一致し、また凝縮水腐食試験後の腐食生成物中には実車マフラーのそれと同様に S と Cl が濃縮していた⁹⁾。これより、本凝縮水腐食試験は実車マフラー凝縮水腐食をよく再現していると考えられる。

3.2.2 試験結果の解析方法

マフラーの外壁に貫通孔が生じるとその消音機能が失われるため、マフラー材の耐食性は発生した孔食の最大浸食深さによって評価される。しかし、最大浸食深さのデータは表面欠陥等の影響を受けやすくばらつきが大きいため、その評価には誤差が生じる。そこ

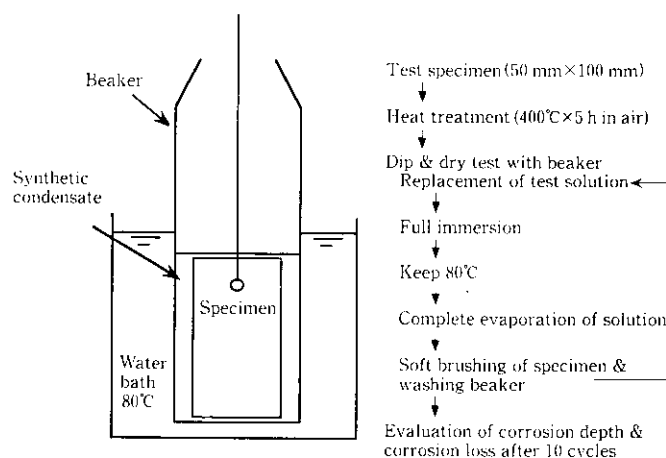


Fig. 1 Method of the synthetic condensate corrosion test

Table 1 Chemical compositions of steels used

(mass %)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Ti	N	Ti/C+N
0.006	0.1	0.2	0.02	0.003	11	0.1	0	0.2	0.002	7
}	}	}	}	}	}	}	}	}	}	}
0.013	1.0	0.4	0.03	0.005	22	0.4	2	0.3	0.01	38

Table 2 Chemical composition of the synthetic exhaust gas condensate

(ppm)

	Cl ⁻	SO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	CH ₃ COO ⁻	HCHO	COOH ⁻	NH ₄ ⁺	Active carbon
Dip and dry test	250	1 250	1 250	2 000	100	20	400	250	100	2 500	50g/l
Pitting potential measurement	500	2 500	2 500	4 000	200	40	800	500	200	5 000	—
Polarization curve measurement	500	12 500	48 000	4 000	200	40	800	500	200	1 600	—

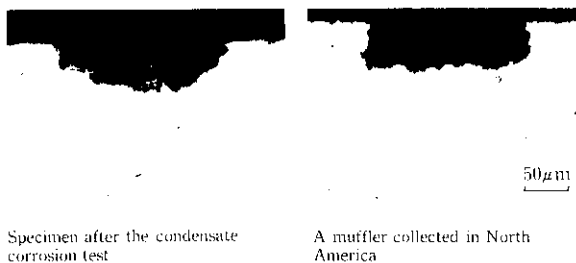


Photo 1 Cross-sectional micrographs of type 409 stainless steel

で、得られたデータを確率的に取扱った方がより信頼性の高い結果が得られるものと考え、極値統計解析を用いて最大浸食深さを評価した。すなわち、腐食サンプル表面を小区画に分割し各区画内の最大浸食深さを測定した時、そのデータがGumbel分布(2重指数分布)に従う¹²⁾ことを利用するものである。Gumbel分布においては、 x を最大浸食深さとした時、孔食頻度の確率密度関数 $f(x)$ 、および分布関数 $F(x)$ は次式で表現される。

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[- \left(\frac{x-\lambda}{\alpha} \right) - \exp \left\{ - \left(\frac{x-\lambda}{\alpha} \right) \right\} \right] \cdots (1)$$

$$F(x) = \exp \left[- \exp \left\{ - \left(\frac{x-\lambda}{\alpha} \right) \right\} \right] \cdots \cdots \cdots (2)$$

この分布のパラメータである α (尺度パラメータ)、 λ (位置のパラメータ)は、それぞれ分布の広がりおよび最も頻度の高い x (最大浸食深さ)の値を示している。なお、極値統計を用いて寿命予測を行う場合にはこれらの値が重要であるが、本報では特にこれらの値について検討は行っていない。本報では、プロットに当たっては市販のコンピュータプログラムEVAN(丸善株式会社発行)を利用した。また、累積確率は平均ランク法により求めた。

極値統計解析には、試験片(50 mm×100 mm)を小区画(10 mm×100 mm)に分割して測定したデータを用いた。浸食深さの測定には先端に極細の鋼製探針を取りつけたデジタル式ダイヤルゲージ(商品名 デジマチックインジケータ、ミットヨ(株)製)を用いた。

3.3 電気化学的測定

孔食の発生挙動を調べるため、JIS G 0577(ステンレス鋼の孔食電位測定方法)に準拠して合成凝縮水中における孔食電位 V_{c10} を測定した。試験片は#800研磨した後、酸化処理(400℃×5時間、大気中)したものを用いた。試験液は、合成凝縮水濃縮乾燥時で孔食が発生することを勘案し濃度を2倍に濃縮したもの(pH 8.5)を用いた。なお、活性炭は加えていない。試験温度は凝縮水腐食試験条件に合わせて80℃とした。また、孔食の成長挙動を調べるために、JIS G 0579(ステンレス鋼のアノード分極曲線測定方法)に準拠し

で合成凝縮水中のアノード分極挙動を測定し、活性態ピーク電流密度(i_{crit})の変化を調べた。試料は#800研磨仕上げとした。試験液は、孔食内部環境をシミュレートするために、孔食電位測定に用いた液組成に硫酸でpHを下げた液(pH 2.0)を用いた。その液組成をTable 2に示す。また測定温度は実車マフラー温度の範囲内とし、60℃および80℃とした。

3.4 粒界腐食試験

一般に粒界腐食の原因は溶接時の熱履歴によって粒界にCr炭素化合物が析出し、その周囲においてCr濃度が低下するためであり、Crより炭素化合物形成能の高いTi、Nb等の添加によるC、Nの安定化がしばしば行われている¹³⁾。そこで、本成分系における適正なTi/(C+N)値を調査した。

供試材として、Table 1に示すようにTi/(C+N)値を7~38の範囲に変化させた17.5Cr-1.2Mo鋼の1.0 mm厚板を用い、それらを突合せMIG溶接(電流120 A、電圧15 V、速度600 mm/min、ワイヤの種類Y309、ワイヤ径1.2 mmφ、被覆ガス表Ar+5%O₂ 20 l/min、裏なし)を行った。それらを脱脂後鋭敏化熱処理(500℃×10 h)を行い、JIS G 0575(ステンレス鋼の硫酸・硫酸銅腐食試験方法)に準拠したStrauss試験に供した。

4 実験結果および考察

4.1 耐凝縮水腐食性に及ぼす合金元素の影響

4.1.1 Crの影響

凝縮水腐食試験における最大浸食深さ、腐食減量に及ぼすCrの影響をFig. 2に示す。最大浸食深さはCr含有量が増加するにしたがい減少し、11%Cr鋼では約0.4 mmであるが22%Cr鋼では半減する。また、腐食減量も同様にCr含有量の増加にしたがい減少す

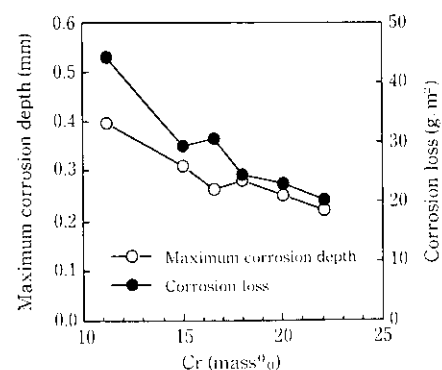


Fig. 2 Effect of Cr content on maximum corrosion depth and corrosion loss in the synthetic condensate corrosion test

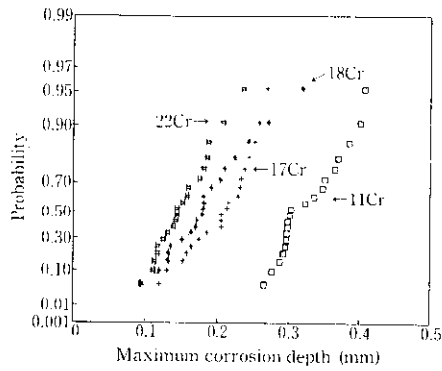


Fig. 3 Doubly exponential probability plots of the maximum corrosion depth of Fe-Cr steels after the synthetic condensate corrosion test

る。

腐食形態はCr含有量の大小によらずピット状であって、Cr含有量の増加に伴って、食孔深さおよび径が共に減少していた。次にCr含有量を変化させた鋼の最大浸食深さについてのGumbelプロットをFig. 3に示す。横軸は最大浸食深さ、縦軸はデータ数の累積分布を示し、各々の点は試験片上の一区画に生じた最大浸食深さを示している。Cr添加量によらず最大浸食深さ分布は極値統計に従う。最大浸食深さ分布はCr増量につれて深さの小さい方向へと変化している。

合成凝縮水中の孔食電位の測定結果をFig. 4に示すが、13Crと17Crでは孔食電位はほとんど変化しておらず、孔食の発生挙動はあまり変化していない。次に、合成凝縮水中のアノード分極挙動の測定結果をFig. 5に示す。孔食内の溶解速度に対応すると考えられ

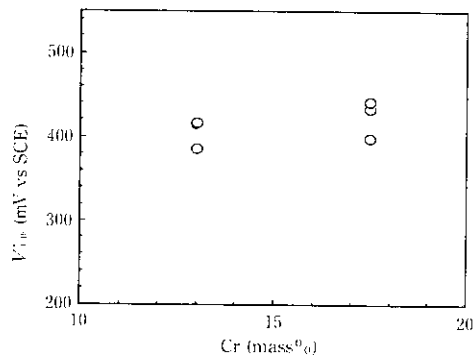


Fig. 4 Effect of Cr content on pitting potential V_{p10} in the synthetic exhaust gas condensate

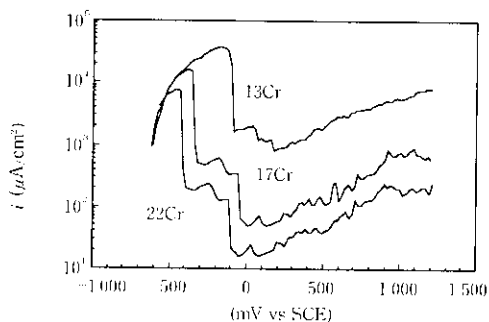


Fig. 5 Polarization curves of Fe-Cr-Ti in the synthetic exhaust gas condensate

る活性態ピーク電流密度 (i_{crit}) はCrの増量に伴い低下しており、Crの増量により孔食の成長が抑制されていることが推察される。

以上の結果から、Crの増量は凝縮水中の孔食の発生挙動にはさほど影響を与えないが、孔食の成長を抑制し耐食性を向上させるものと考えられる。

4.1.2 Moの影響

凝縮水腐食試験における最大浸食深さに及ぼすMoの影響をFig. 6に示す。最大浸食深さは、1%のMo添加によって顕著に減少する。2%のMo添加鋼では1%Mo添加鋼とほぼ同じ最大浸食深さを示し、浸食深さが飽和する傾向が見られる。一方、腐食減量はMo添加量の増加に伴い減少する。また、腐食形態はMo添加量によらず、いずれもピット状である。

Fig. 7にMo添加量を変化させた17Cr鋼の最大浸食深さのGumbelプロットを示す。Mo添加量によらず最大浸食深さ分布は極値統計に従っている。最大浸食深さ分布は1%Moの添加により深さの小さい側へ移動するが、1%Mo鋼と2%Mo鋼ではほぼ同様な分布を示すことがわかる。

合成凝縮水中の孔食電位の測定結果をFig. 8に示す。Mo添加により孔食電位は上昇する傾向を示し、特に1%以上の添加でその効果は大きくなる。次に、合成凝縮水中のアノード分極挙動の測定結果をFig. 9および10に示す。Moの添加により活性態ピーク電流密度は低下しており、孔食の成長が抑制されるものと考えられる。また、その抑制の効果は微量添加時に大きく、1%以上のMo添加ではその効果は飽和する傾向を示す。

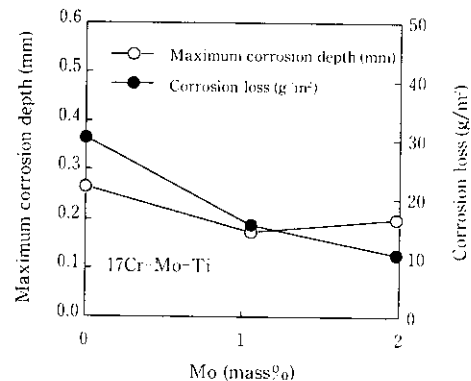


Fig. 6 Effect of Mo content on maximum corrosion depth and corrosion loss in the synthetic condensate corrosion test

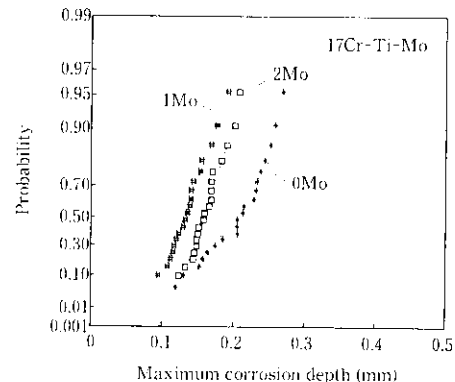


Fig. 7 Doubly exponential probability plots of the maximum corrosion depth of 17Cr-Mo-Ti steels after the synthetic condensate corrosion test

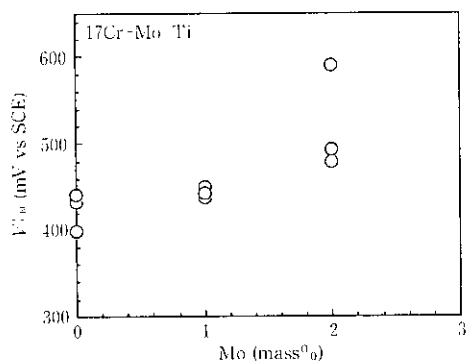


Fig. 8 Effect of Mo content on pitting potential V_{pit} in the synthetic exhaust gas condensate

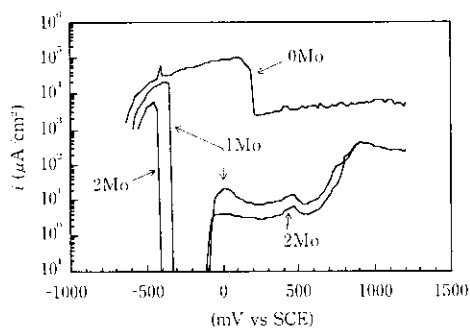


Fig. 9 Polarization curves of 17Cr-(0~2) Mo-Ti in the synthetic exhaust gas condensate

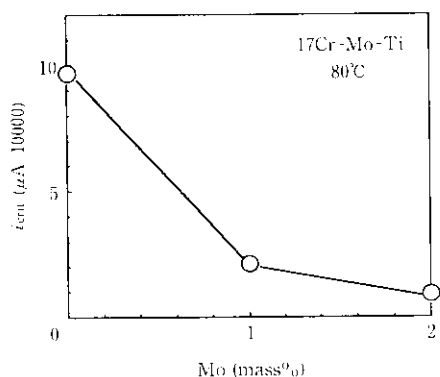


Fig. 10 Effect of Mo content on i_{crit} in the synthetic exhaust gas condensate

以上の結果から、Moの増量は凝縮水中の孔食の発生および成長を抑制し耐食性を向上させるものと考えられる。

4.1.3 Ni濃度の影響

フェライト系ステンレス鋼ではNiの添加は一般的に耐食性を向上させることが知られている。そこで、耐凝縮水腐食性に及ぼす微量Niの影響を調査した。凝縮水腐食試験における最大浸食深さに及ぼす0.1~0.4%Niの影響をFig. 11に示す。また、Fig. 12にNi添加量を変化させた19%Cr鋼の最大浸食深さのGumbelプロットを示すが、耐凝縮水腐食性に対して微量Ni添加の影響はほとんど見られない。

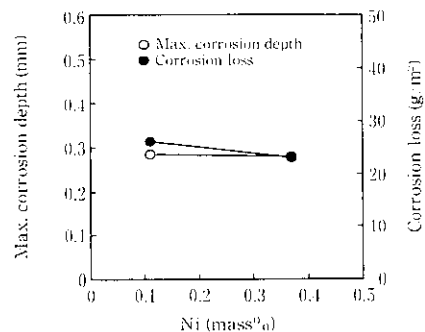


Fig. 11 Effect of Ni content on the maximum corrosion depth and corrosion loss in the synthetic condensate corrosion test

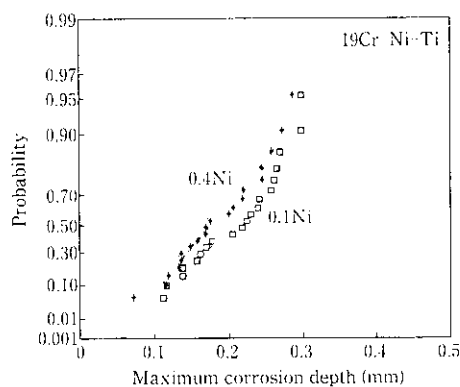


Fig. 12 Doubly exponential probability plots of the maximum corrosion depth of 19Cr-Ni-Ti steels after the synthetic condensate corrosion test

4.1.4 Si濃度の影響

前述のように、実車マフラー温度は排気温の上昇に伴い上昇し、最高温度は400℃以上にも達し、テンパーカラーが生成することが報告されている。また、ステンレス鋼の溶接部でも、溶接時に生成するスケールによりそこでの孔食電位が著しく低下することが報告されている¹⁴⁾。Siは、一般に酸化皮膜の組成・構造を変化させやすい元素であるため、耐凝縮水腐食性に及ぼすSi添加の影響を調査した。

凝縮水腐食試験における最大浸食深さ、腐食減量に及ぼすSiの影響をFig. 13に示す。最大浸食深さはSi含有量の増加によりほとんど変化しない。また腐食減量はSi含有量の増加によってむしろ増加する傾向を示している。Fig. 14にSi添加量を変化させた18%Cr鋼の最大浸食深さのGumbelプロットを示すが、最大浸食深さ分布はほとんど変化していない。

このことから、0.1~1.0%の範囲の添加量では耐凝縮水腐食性に対しSiの影響はないといえる。

4.2 粒界腐食感受性

マフラーはスポット溶接、TIG溶接など各種の溶接を用いて組み立てられている。そのため、マフラー材には溶接部における耐粒界腐食性が必要とされる。凝縮水腐食試験では孔食が発生して結果が不明瞭になるので、粒界の腐食促進試験として一般に用いられているStrauss試験を用い、1.2%のMoを添加した17.5%Cr鋼の溶接部の耐粒界腐食性に及ぼすTiの影響を調査した。結果をFig. 15に示す。Ti/(C+N)が10以下では粒界腐食が生じるが、10以上では

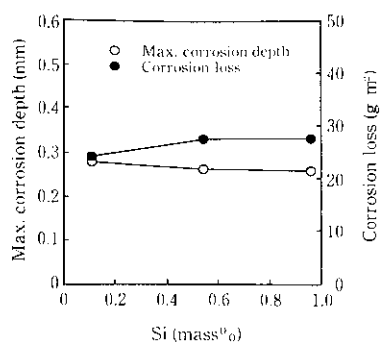


Fig. 13 Effect of Si content on the maximum corrosion depth and corrosion loss in the synthetic condensate corrosion test

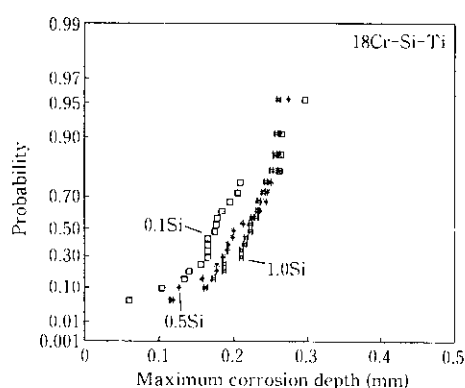


Fig. 14 Doubly exponential probability plots of the maximum corrosion depth of 18Cr-Si-Ti steels after the synthetic condensate corrosion test

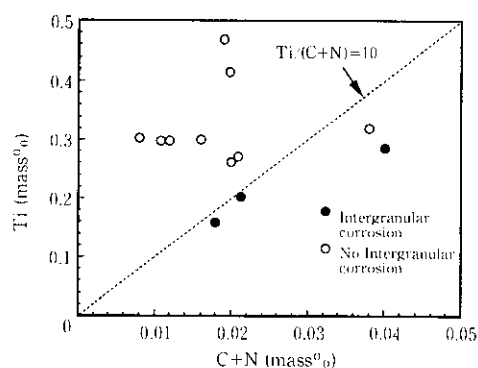


Fig. 15 Effects of $Ti/(C+N)$ on the intergranular corrosion sensitivity of R436LT

粒界腐食は生じなくなる。これは、C、NがTiによって固定されるためと考えられる。ただし、多量の添加は固溶強化により機械的強度の増大をもたらすため、0.7%が上限と考えられる。

5 開発鋼 R 436 LT ステンレス鋼の特性

以上の結果より自動車マフラー用ステンレス鋼 R 436 LT を開発した。Table 3 に化学組成範囲の規格および目標値を示す。17.5Cr フェライト系ステンレス鋼をベースとして、1.2%のMoを添加することにより凝縮水腐食に対する耐食性を高めたものである。加えて鋼中のCおよびNを固定するため、 $Ti/(C+N) > 10$ のTiを添加し、溶接部における粒界腐食を防止している。

5.1 R 436 LT の耐食性

R 436 LT, Alめっき鋼(めっき厚 80 g/m^2)、および SUH 409 鋼 (11%Cr-0.2%Ti) の凝縮水腐食試験結果を Photo 2 と Fig. 16 に示す。Alめっき鋼, SUH 409 L に比べて R 436 LT の耐凝縮水腐

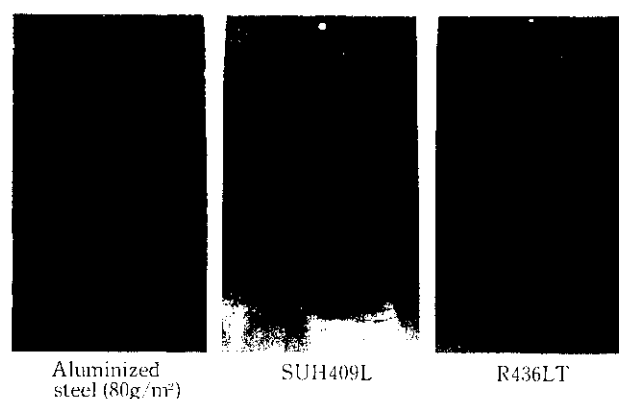


Photo 2 Appearances of specimens after the synthetic condensate corrosion test

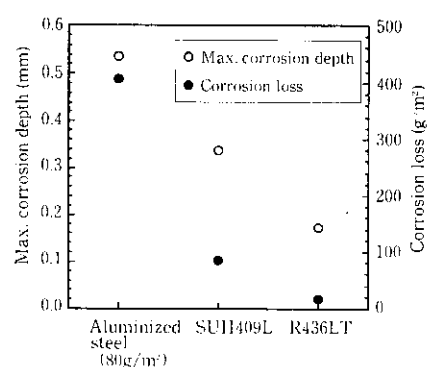


Fig. 16 Corrosion behavior of aluminized steel, SUH409L, and R436LT in synthetic condensate corrosion test

Table 3 Chemical composition of R436LT

(mass %)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Ti	N
Specification	≤ 0.020	≤ 0.25	≤ 0.40	≤ 0.040	≤ 0.015	≤ 0.60	17.00 ~19.00	1.00 ~1.50	11(C+N) ~0.70	≤ 0.015
Typical	0.009	0.05	0.24	0.037	0.003	0.14	17.60	1.20	0.30	0.010

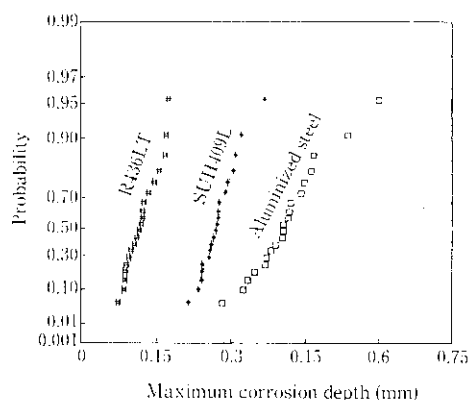


Fig. 17 Doubly exponential probability plots of the maximum corrosion depth after the synthetic condensate corrosion test

食性は優れており、最大浸食深さの観点からは、Alめっき鋼の約3倍、SUH409Lの約2倍の耐食性を示している。次に、これらの鋼の最大浸食深さのGumbelプロットをFig. 17に示す。図から明らかなように、最大浸食深さ分布はAlめっき鋼、SUH409L、R436LTの順に浅い方向へ移動しており、これからもR436LTの耐凝縮水腐食性が優れていることがわかる。

また、3.4で述べた方法でR436LTの耐粒界腐食性をStrauss試験により調査した結果、R436LTに粒界腐食はまったく生じなかった。このように、R436LTは耐凝縮水腐食性および耐粒界腐食性に著しく優れていることが明らかになった。

5.2 R436LTの機械的特性

R436LTの機械的性質をTable 4に示す。R436LTは降伏強度が約265 N/mm²と軟質であり、また伸びも35%と優れた値を示す。また、深絞り性、伸びフランジ性の指標であるランクフォード値は1.4である。このことからプレス成形性にも優れている。

Table 4 Mechanical properties of R436LT

YS (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	El (%)	$\bar{r}$	n
265	466	35	1.4	0.25

6 結言

フェライト系ステンレス鋼の自動車マフラー凝縮水腐食性に及ぼすCr、Mo、NiおよびSi含有量の影響について調査するとともに、溶接部の粒界腐食感受性に及ぼすTi/(C+N)の影響を調べ、以下の結論を得た。

- (1) Cr、Mo、Ni、Siの内、耐凝縮水腐食性に対して改善効果の大きい添加元素はCrとMoである。Niの効果は小さく、Siの影響は認められない。
- (2) Cr添加は、11~22%の範囲で、添加量に比例して最大浸食深さを減少させる。電気化学的測定より、Crは凝縮水中での孔食の成長を抑制するものと考えられる。
- (3) Mo添加は、最大浸食深さを顕著に低減する。この場合、1%添加で十分な効果がある。電気化学測定より、Moは凝縮水中での孔食の発生および成長を抑制すると考えられる。
- (4) 1.2%Moを添加した17.5%Cr鋼の耐粒界腐食性に及ぼすTiの影響をStrauss試験を用いて調査した結果、Ti/(C+N) > 10の範囲のTiを添加することによって粒界腐食が防止されることがわかった。
- (5) 以上の知見をもとにマフラー材として開発したR436LT(17.5Cr-1.2Mo-Ti鋼)の耐食性は、川鉄式凝縮水腐食試験による評価では、最大浸食深さはAlめっき鋼(目付け量80 g/m²)の約3分の1、SUH409Lの約2分の1以下であった。

R436LTは耐凝縮水腐食性および加工性に優れており、現在、自動車会社数社に採用されている。

参考文献

- 1) 河合豊彦、佐々木恵三、丹羽啓之：「自動車技術」40(1986)10、1256-1262
- 2) 山村英俊、田原広光、山本祥三：(社)自動車技術会学術講演会前刷集872、(1987)、651
- 3) 石川秀雄：「ユーザーから見た鉄鋼材料への要求」、日本鉄鋼協会主催鉄鋼工学セミナーテキスト、(1989)、1
- 4) 森原博之：「自動車排気系部材に浸透するステンレス」、日経ニューマテリアル、(1990)3月26日号、83
- 5) 佐藤栄次、松橋一亮、武藤一泉、伊藤一徹、安保秀雄：(社)自動車技術会学術講演会前刷集901、(1990)、225
- 6) 宇城一工、北澤真、富原房夫、吉岡啓一：「材料とプロセス」4(1991)6、1835
- 7) 足立俊郎、吉井紹泰、藤田昇平、篠田研一：「鉄と鋼」71(1985)5、

S670

- 8) 自動車技術会部品腐食試験法分科会：「標準化調査報告書」、1991年4月
- 9) 増打憲一、山吉和雄、若林耕二、福本博光、坪本敏江、前北榮彦：「新製鋼技術」No.51(1984)、102
- 10) 佐藤栄次、伊藤一徹、安保秀雄：「材料とプロセス」4(1991)6、1827
- 11) 長野博夫：「防食技術」26(1977)12、731
- 12) 腐食防食協会編：「装置材料の寿命予測入門 極値統計の腐食への適用」、(1984)、114、[丸善社]
- 13) 足立俊郎、前北榮彦：「新製鋼技術」No.39(1978)、61
- 14) 東茂樹、幸英昭、村山順一郎、上藤武夫：「防食技術」39(1990)11、603