
自動車排ガス規制強化に適合する高性能ステンレス鋼

Advanced Stainless Steels for Stricter Regulations of Automotive Exhaust Gas

宮崎 淳 (Atsushi Miyazaki) 平澤 淳一郎 (Junichiro Hirasawa) 佐藤 進
(Susumu Satoh)

要旨：

近年の自動車排ガス規制強化にともなって、ステンレス鋼の使用環境はますます苛酷になっている。自動車排ガス部材は、使用部位によって必要特性が大きく異なる。それぞれの部位に適したステンレス鋼を、千葉製鉄所に導入した最新鋭設備を駆使して開発した。エキゾーストマニフォールドに代表される高温環境用として、耐熱疲労特性、耐高温疲労特性、耐酸化性および成形性に優れた R429EX (15Cr-0.9Si-0.45Nb) を、マフラーに代表される湿潤環境用として、耐凝縮水腐食性に優れた R436LT (18Cr-1.2Mo-Ti) および R432LTM (18Cr-0.5Mo-Ti) を開発した。

Synopsis :

The demands for advanced properties of stainless steels in automotive exhaust systems are increasing to meet the requirements for lighter weight and stricter regulations for exhaust gas. However, the properties of steel materials used for automotive exhaust systems differ depending on parts, where the materials are to be used. Under the circumstance, advanced stainless steels suitable for each of the parts were developed by Kawasaki Steel by making full use of the latest production facilities in Chiba Works. That is, a stainless steel (R429EX: 15Cr-0.9Si-0.45Nb), having properties excellent in thermal fatigue resistance, resistance to high-temperature fatigue, oxidation resistance and formability, suitable for parts used in high temperature environment, like exhaust manifolds, for example, and stainless steels (R436LT: 18Cr-1.2Mo-Ti and R432LTM: 18Cr-0.5Mo-Ti), having condensate corrosion resistance, appropriate for use in humid environment, like parts, such as, mufflers, have been developed.

本文は次のページから閲覧できます。

Advanced Stainless Steels for Stricter Regulations of Automotive Exhaust Gas



宮崎 淳

Atsushi Miyazaki

技術研究所 ステンレス鋼研究部門 主任研究員(課長補)



平澤 淳一郎

Junichiro Hirasawa

技術研究所 ステンレス鋼研究部門 主任研究員(主席掛長)



佐藤 進

Susumu Satoh

技術研究所 ステンレス鋼研究部門長・工博研究員

要旨

近年の自動車排ガス規制強化にともなう、ステンレス鋼の使用環境はますます苛酷になっている。自動車排ガス部材は、使用部位によって必要特性が大きく異なる。それぞれの部位に適したステンレス鋼を、千葉製鉄所に導入した最新鋭設備を駆使して開発した。エキゾーストマニフォールドに代表される高温環境用として、耐熱疲労特性、耐高温疲労特性、耐酸化性および成形性に優れた R429EX (15Cr-0.9Si-0.45Nb) を、マフラーに代表される湿潤環境用として、耐凝縮水腐食性に優れた R436LT (18Cr-1.2Mo-Ti) および R432LTM (18Cr-0.5Mo-Ti) を開発した。

Synopsis:

The demands for advanced properties of stainless steels in automotive exhaust systems are increasing to meet the requirements for lighter weight and stricter regulations for exhaust gas. However, the properties of steel materials used for automotive exhaust systems differ depending on parts, where the materials are to be used. Under the circumstance, advanced stainless steels suitable for each of the parts were developed by Kawasaki Steel by making full use of the latest production facilities in Chiba Works. That is, a stainless steel (R429EX: 15Cr-0.9Si-0.45Nb), having properties excellent in thermal fatigue resistance, resistance to high-temperature fatigue, oxidation resistance and formability, suitable for parts used in high temperature environment, like exhaust manifolds, for example, and stainless steels (R436LT: 18Cr-1.2Mo-Ti and R432LTM: 18Cr-0.5Mo-Ti), having condensate corrosion resistance, appropriate for use in humid environment, like parts, such as, mufflers, have been developed.

1 緒言

近年、地球環境問題が注目され、燃費改善と自動車の排ガス浄化率の向上が強く求められている。特に、最近の排ガス規制強化に対応するには、エンジン始動直後の排ガス浄化特性(コールドスタート)向上が重要になってきている。これは、エンジン始動直後には、触媒コンバーターの温度が低く、排ガス浄化反応が生じにくいからである。これらの対策として、排ガス温度の上昇およびエキゾーストマニフォールドの薄肉化(低熱容量化、軽量化)が精力的に検討されている。これらは、エンジン始動後早期に触媒を高温化させ、排ガス浄化率を向上させるとともに軽量化によって燃費も改善できる有効な手法の一つと考えられている。このような排ガス温度の上昇および薄肉化は、材料への熱負荷を過酷化させるため、エキゾーストマニフォールドには特に高い耐熱性を有する材料が求められるようになってきている。

一方、排ガス規制強化に対応して、触媒コンバーターには3元触媒の搭載が主流となり、マフラー内部には、腐食性の高い凝縮水が

生成するようになってきた。また、保証期間の延長にも対応するため、マフラー内の凝縮水腐食環境での耐食性に優れた材料が求められるようになってきている。

このような状況の中、川崎製鉄では、自動車排気系の各部位に適した材料開発を行い、エキゾーストマニフォールド用として、耐熱疲労特性、高温疲労特性、耐酸化性および成形性に優れた R429EX を、また、マフラー用として耐凝縮水腐食性に優れた R436LT および R432LTM を開発した^{1,2)}。これら開発鋼および排ガス用既存鋼の代表組成を Table 1 に示す。ここでは、開発鋼の主要な特性および特性向上の考え方について報告する。

2 エキゾーストマニフォールド用ステンレス鋼

2.1 エキゾーストマニフォールド用ステンレス鋼への要求特性

エキゾーストマニフォールドは、エンジンの各シリンダーから排出された高温の排ガスを集合させてフロントパイプへ導く部品である。ここでは、本部材の使用環境と要求特性について簡単に述べる。エキゾーストマニフォールドは、高温の排ガスにさらされるため、

*平成11年12月10日原稿受付

Table 1 Examples of chemical compositions

Standard designation		(mass%)						
Kawasaki Steel standard	JIS	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ti	Nb
R409L	SUH409L	0.01	0.3	0.3	11.2	—	0.3	—
R429EX	—	0.01	0.9	0.4	14.8	—	—	0.45
R430LNM	SUS436J1L	0.01	0.3	0.3	17.5	0.5	—	0.38
R436LT	SUS436L	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	—
R434LN2	SUS444	0.01	0.3	0.2	19.0	1.9	—	0.35

Table 2 Chemical compositions of specimens

Material	(mass%)					
	C	Si	Cr	Nb	Ti	Mo
R409L	0.010	0.31	11.0	—	0.25	—
R429EX	0.009	0.85	14.8	0.48	—	—
R430LNM	0.011	0.27	17.5	0.37	—	0.55
R434LN2	0.006	0.25	19.0	0.35	—	1.93

優れた耐酸化性が要求される。また、高温に加熱された状態で、エンジンからの振動あるいは路面からの振動などによって、応力が付加されるため、優れた高温疲労特性も要求されている。さらに、空間が制約されているエンジンスペースに設置され、周囲の部品から拘束されているため、エンジンの始動停止による加熱冷却時に自由な熱膨張または収縮が制限される場合があり、優れた熱疲労特性も重要な要求特性のひとつである。後述するように、熱疲労寿命は、周囲の部品からの拘束の程度（拘束率）に大きく依存するため、その拘束率を低減するような設計が指向されるとともに、限られたエンジンスペースでエキゾーストマニフォールドを設置できるように、過酷な加工も施される場合も多く、加工性も重要な要求特性のひとつである。

このような観点から、従来使用されてきた Type409 (11Cr-Ti) よりも耐熱性の優れたステンレス鋼が開発され^{1,3,4)}、実用化にいたっている。このような耐熱ステンレス鋼の耐酸化性および高温疲労特性については、比較的多くの報告⁵⁻⁹⁾ がなされているため、ここでは、当社の代表的な排ガス部品用フェライト系ステンレス鋼 (R409L, R430LNM, R429EX および R434LN2) の熱疲労特性について述べるとともに、開発鋼 (R429EX) の熱疲労特性向上機構について検討した。

2.2 供試鋼

供試鋼の化学組成を Table 2 に示す。高温強度試験片は、商用工程で作製した 1.5 mm 厚の冷間圧延焼鈍板から採取した。また、熱疲労試験片は、50 kg 小型鋼塊を鍛造して 30 mm 厚にした後、熱処理を行なった。R409L は 880°C で 5 min, R429EX および R430LNM は 950°C で 5 min, R434LN2 は 980°C で 5 min の熱処理を行ない結晶粒を粒度 No. 7 (JIS G 0552 による) 程度に調整したものから採取した。

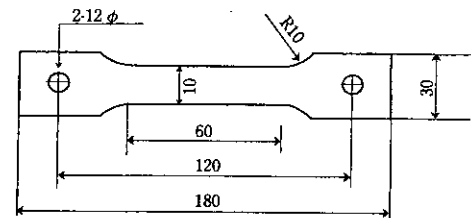
2.3 評価方法

2.3.1 高温引張試験

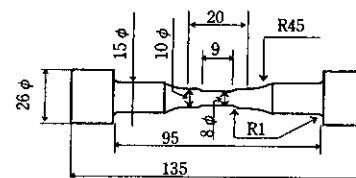
試験片形状を Fig. 1 (a) に示す。JIS G0567 に準拠し、設定温度で 15 min 保持し、0.2% 耐力 (PS) までは 0.33%/min、その後破断まで 8.3%/min の引張速度で試験した。

2.3.2 熱疲労特性

試験片形状を Fig. 1 (b) に、また試験条件を Fig. 2 に示す。フェ



(a) Specimen for tensile test at elevated temperatures



(b) Specimen for thermal fatigue test

Fig. 1 Dimensions of specimens

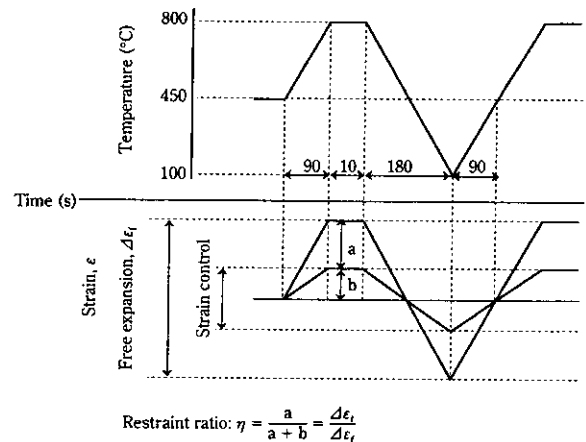


Fig. 2 Condition of thermal fatigue test (1 cycle = 370 s)

ライト系ステンレス鋼は比較的軟質であるため、本試験条件のような高温では、ひずみ検出用の石英棒からの圧力により、熱疲労試験途中で試験片の変形・クラックが発生しやすい。そこで、ひずみ計が接触する部分の断面積を増し、その部分からの変形・破損を防いだ。熱疲労試験条件は、Fig. 2 に示したように初サイクルの昇温で、上下限温度の中間温度まで荷重制御によって荷重が付加されないよう自由熱膨張させ、その時点を基準とし、ひずみ制御に移行する。その時の制御は、上設定温度で圧縮が、下設定温度で引張荷重が付加されるよう油圧サーボシステムによって、見かけのひずみ ($\Delta \epsilon_c$) を制御した。すなわち、ひずみ制御に移行してからは、Fig. 2 に示したように自由熱膨張収縮の一定割合（拘束率： η ）分だけ、熱膨

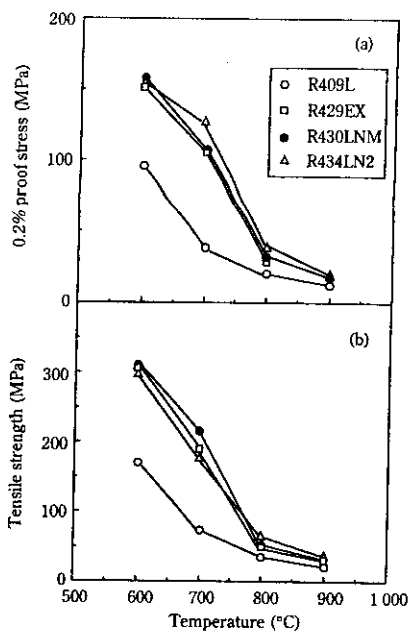


Fig. 3 Strength at elevated temperatures: (a) 0.2% proof stress, (b) Tensile strength

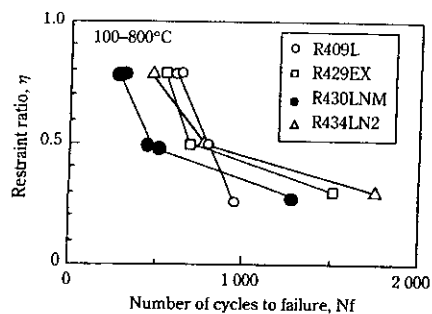


Fig. 4 Relation between restraint ratio and number of cycles to failure in thermal fatigue test

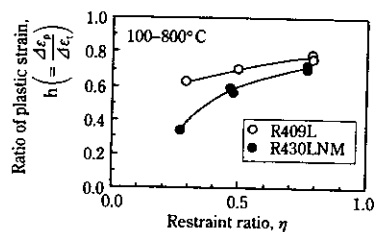


Fig. 5 Relation between ratio of plastic strain and restraint ratio in thermal fatigue test

張, 収縮が抑制されている。

$$\text{拘束率} : \eta = \Delta\epsilon_f / \Delta\epsilon_t \dots\dots\dots (1)$$

$$\Delta\epsilon_t = \Delta\epsilon_f - \Delta\epsilon_c \dots\dots\dots (2)$$

$\Delta\epsilon_t$: 試験に先だつて同じ試験機で測定した自由熱膨張収縮によるひずみ量

$\Delta\epsilon_c$: 石英棒間で制御している見かけのひずみ量

昇温速度は約 4°C/s とし, 上設定温度での保持時間は 10 s とした。また破損までの繰り返し数として, 荷重-ひずみヒステリシスループが安定する 5 サイクル目で発生する最大引張荷重の 70% まで最大引張荷重が低下した時点でのサイクル数を採用した。また 5 サイクル時のヒステリシス曲線から塑性ひずみ量を求めた。ひずみ検出のための標点間距離は 15 mm とした。

2.4 高温強度および熱疲労特性

2.4.1 高温強度

Fig. 3 に高温引張試験により測定した 600°C から 900°C の高温耐力と引張強度を示す。600°C では, R409L < R429EX ≒ R434LN2 ≒ R430LNM の順に後者ほど高強度となっている。また, 800°C では, R409L < R429EX ≒ R430LNM < R434LN2 の順に後者ほど高強度となっている。

2.4.2 熱疲労特性

(1) 熱疲労寿命と拘束率の関係

Fig. 4 に 100-800°C の熱疲労寿命と拘束率の関係を示す。拘束率が 0.8 のように高い場合, R430LNM < R434LN2 < R429EX < R409L の順に後者ほど優れた寿命を示した。一方, 拘束率が 0.3 程度まで低下すると, R429EX, R430LNM および R434LN2 は, 寿命が著しく向上しているが, R409L の場合, 寿命の向上はわずかであり, R409L < R430LNM < R429EX < R434LN2 の順で, 後者ほど優れた寿命を示した。このように拘束率により, 各鋼種での優劣が異なるので, 寿命評価には注意を要すると考えられる。

(2) 熱疲労寿命律速因子について

熱疲労寿命に大きく影響する因子は, 強度および延性といわれている¹⁰⁻¹²⁾。また, Forrest ら¹³⁾ は, 塑性ひずみ比 ($h = \Delta\epsilon_p / \Delta\epsilon_c$) の概念を提案し, この値が 0.5 を超えた場合, 寿命は延性律速であり, 0.5 以下の場合は強度律速になるとしている。今回測定した熱疲労試験に関して, Fig. 4 に示したように, 熱疲労寿命の優劣は拘束率によって変化しているため, 拘束率によって寿命を決定する主因子が変化している可能性が考えられる。そこで, 特に, 寿命の逆転が明確であった R409L と R430LNM について, 塑性ひずみ比を比較した。Fig. 5 に拘束率と塑性ひずみ比 (h) の関係を示す。拘束率が 0.5 以上では, 両鋼ともに, 塑性ひずみ比は 0.5 以上であり, 寿命は延性律速と考えられる。一方, 拘束率が 0.3 にまで低下すると, R409L の塑性ひずみ比は, 0.6 程度まで低下し, R430LNM のそれは, 0.3 程度まで低下している。このように, いずれの鋼も拘束率が低下するにつれ, 塑性ひずみ比が低下している。これは, 拘束率の低下につれ, 寿命は, 延性律速から強度律速に変化していくことを意味しているものと考えられる。そこで, 熱疲労寿命におよぼす延性と強度の影響について検討した。

(3) 熱疲労寿命と延性の関係

一般に, 熱疲労特性は, 塑性ひずみ量と寿命の両対数軸上で整理される。これは, Manson¹⁰⁾ と Coffin¹¹⁾ によって, 提案された (3) 式が成立する場合が多いからである。

$$N = (C / \Delta\epsilon_p)^{1/\alpha} \dots\dots\dots (3)$$

$$C = (1/2) \ln \{1 / (1 - \phi)\} \dots\dots\dots (4)$$

ϕ : 絞り

材料の寿命は, 塑性ひずみ量 ($\Delta\epsilon_p$), 延性の項 (C) と α によって決定される。

Fig. 6 に今回測定した R409L と R430LNM の $\Delta\epsilon_p$ と寿命の関係を両対数軸上に示す。ほぼ平行な直線関係が得られ (1) 式

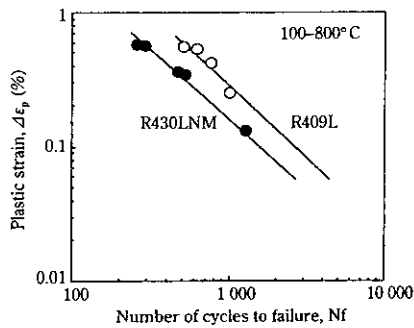


Fig. 6 Relation between plastic strain and number of cycles to failure in thermal fatigue test

Table 3 Comparison between parameters of Manson-Coffin relation and results of tensile test

Material	Results of thermal fatigue test $\Delta\epsilon_p N^a = C$		Results of tensile test at 100°C	
	α	C	ϕ	$C = 1/2 \ln 1/(1-\phi)$
R409L	1.0	1.6	0.9	1.2
R430LNM	0.9	0.9	0.8	0.8

が成立していることがわかる。そこで、両鋼の α , C を直線から求めた。結果を Table 3 に示す。また、(3) 式の延性の項、 C は、素材の絞り量に依存することも知られている^{10,11)}。絞り量は温度によって大きく変化するが、熱サイクル中の下限温度が最も大きな引張ひずみを受けるため、その時の絞り特性が寿命に大きく影響すると考えられる。そこで下限温度 (100°C) での絞り量を熱疲労試験片を用いて高温引張試験により測定した。Table 3 にその絞り量とその値から見積もられた延性の項、 C を熱疲労試験から得られた延性項、 C と比較して示してある。100°C の絞り値から得られた R409L の延性項 C は、R430LNM のそれに比較して、1.5 倍程度大きい。R409L および R430LNM の高温引張試験から得られた延性項、 C は、熱疲労試験から得た延性項、 C の値にほぼ一致し、以上の議論の妥当性を示している。一方、 α は両鋼とも同程度の値であり、R409L の延性項、 C が R430LNM のそれに比較して 1.8 倍程度大きいため、延性律速の条件、すなわち高拘束率条件では Fig. 5 に示したように、塑性ひずみ量、 $\Delta\epsilon_p$ は、両鋼で大きく違わないため、(3) 式に従って、延性項、 C が大きい R409L の方が熱疲労特性に有利であると考えられる。

(4) 熱疲労寿命と強度の関係

Fig. 5 に示したように、低拘束率になるにつれて塑性ひずみ比が 0.5 以下となり、寿命律速因子は主として強度に移行すると考えられる。とくに、塑性ひずみ比が 0 に、すなわち塑性ひずみ量、 $\Delta\epsilon_p$ が 0 に近づくにつれ、(3) 式から寿命が $(1/\Delta\epsilon_p)^{1/\alpha}$ にしたがって著しく向上することが期待される。また、(3) 式中パラメーター $\Delta\epsilon_p$ は、強度に影響されることが知られている^{14,15)}。R409L と R430LNM のいずれの鋼も、拘束率の低下によって、塑性ひずみ比 (塑性ひずみ量) は低下する。その際、両鋼の強度の違いによって、その低下挙動が異なるものと考えられる。すなわち、塑性ひずみ比の低下挙動は、R409L に比較して強度の高い R430LNM は Fig. 5 に示したようにより高い拘束率から低下していくため、拘束率が 0.5 以下になると R430LNM の寿命は (1) 式にしたがって著しく向上し、Fig. 4

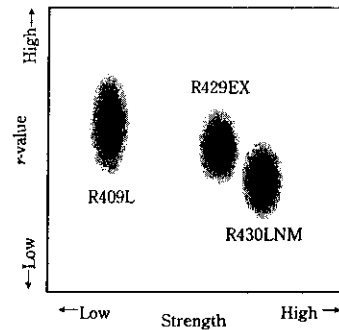


Fig. 7 r -value and strength at room temperature of stainless steels for exhaust manifold

に示したように熱疲労寿命の優劣の逆転が生じたものと考えられる。

2.5 R429EX と R430LNM の熱疲労特性の比較

2.4 節では、R409L と R430LNM 熱疲労寿命の比較と検討を行い、高拘束率条件では延性が、低拘束率条件では強度が熱疲労寿命に大きく影響することを示した。また、今回行ったすべての拘束率条件において、開発鋼である R429EX は、18Cr 系のステンレス鋼である R430LNM よりも優れた熱疲労寿命を示した (Fig. 4)。この理由は以下のように考えられる。両鋼ともに Nb 添加のフェライト系ステンレス鋼であり、(3) 式の α は同程度である点に加え、強度も同程度であるため、塑性ひずみ量、 $\Delta\epsilon_p$ も同程度である。一方、R429EX は、より低合金鋼であるため、より高い延性を有し¹⁾、延性の項、 C がより大きい。そのため、(3) 式にしたがって、熱疲労特性は有利になると考えられる。

2.6 成形性と耐熱疲労特性を考慮した自動車排ガス用部品への適用

エキゾーストマニフォールドに代表される高温環境の自動車排ガス用部品は、熱サイクルに対し低拘束率を前提に設計されている¹⁶⁾ため、2.4 節および 2.5 節の結果から、同一の低拘束率条件では、R429EX、R430LNM および R434LN2 は R409L よりも優れた熱疲労特性を示すことが期待できる。一方、高耐熱性を指向し、高合金化するほど、成形性が低下し、所定の形状、すなわち低拘束率形状に成形できない場合も多い。したがって、熱疲労特性向上の観点からも優れた成形性を有することが重要であるのはいうまでもない。特に近年では、排ガス温度の上昇にともない触媒コンバーター外筒材の温度も上昇傾向にあり、本部材でも R409L よりも耐熱性に優れた素材のニーズが拡大しつつある。外筒は、通常プレス加工によって製造されるため、優れた r 値が必要になる場合も多い。

このような背景も考慮し、当社では、比較的低 Cr であることを特徴とする R429EX に関して、最新鋭の製鋼技術と熱間圧延技術によって、特に r 値を向上させた成分とプロセスを採用している。Fig. 7 に当社の排ガス用材料の室温での強度と r 値の概念図を示す。R429EX は、従来鋼である R409L に比較的近い成形性を有することが期待される。

以上述べたことをまとめると、エキゾーストマニフォールド、触媒コンバーター外筒材などの高温環境用ステンレス鋼の鋼種選定の考え方として、熱疲労特性および高温疲労特性⁹⁾に着目すると、R409L では特性不足の場合、Nb あるいは Mo 添加によって高強度化した R429EX、R430LNM および R434LN2 が選択可能であるが、

Table 4 Chemical composition of synthetic condensate (ppm)

Cl ⁻	SO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	CH ₃ COO ⁻	HCHO	COOH ⁻	NH ₄ ⁺	Activated carbon
250	1 250	1 250	2 000	100	20	400	250	100	2 500	50 g/ℓ

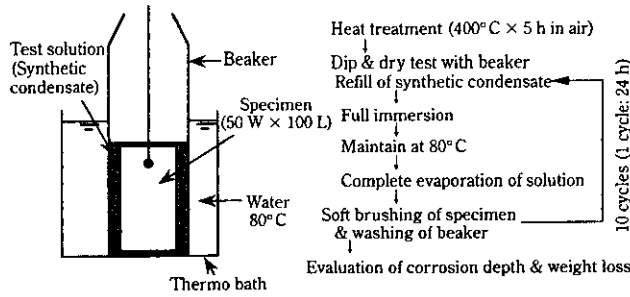


Fig. 8 Method of condensate corrosion test

特に成形性の観点から R429EX が推奨され、また、その採用が拡大されつつある。一方、R430LNM は、耐酸化性重視の場合に適当であり、さらに優れた熱疲労特性、高温疲労特性が必要となる場合は、2%Mo 添加によって、より高強度化した R434LN2 が推奨される。

3 マフラー用ステンレス鋼に要求される特性と開発材の特性

マフラー材料には、加工性と溶接性が必要であるほか、腐食で生じる穴あきによる音および排気ガスの漏れが問題となるため、高い耐食性が求められる。

特にマフラー内部の腐食に関しては、排気ガス浄化触媒に三元触媒が用いられるようになってから、NH₄⁺ および Cl⁻ を含んだ腐食性の高い凝縮水（排気ガスの結露水）が生成されるようになり、Alめっき鋼では穴あきが多発した。そのため SUH409L (11%Cr-0.3%Ti) や SUS410L (13%Cr) が使用されるようになった。近年では、自動車部品の保証期間の延長にともない、耐食性により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) 凝縮水の蒸発、濃縮により、Cl⁻ の濃化および pH の低下が起り、腐食性が非常に高くなること²⁾、(2) 表面が酸化されて耐食性が劣化すること、(3) 排気ガス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¹⁰⁾。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. 8 と Table 4 に示す Dip & Dry 式試験を開発した¹⁰⁾。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. 9 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。マフラーの穴あきにつながる最大浸食深さは Cr (%) + 3.3 × 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、その値から単純に穴あきまでの寿命を推定すること

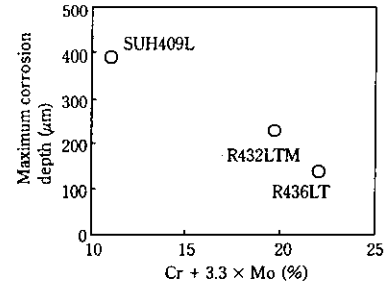


Fig. 9 Effect of Cr and Mo contents on the maximum corrosion depth in the synthetic condensate corrosion test

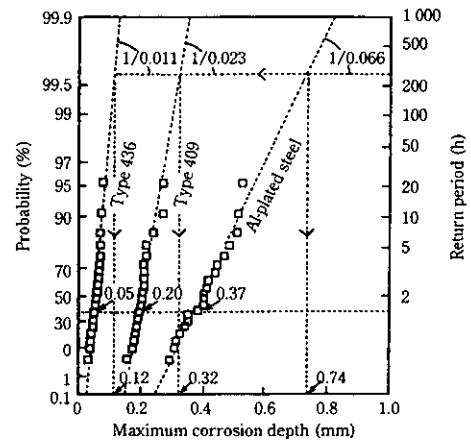


Fig. 10 Doubly exponential probability plots of the maximum corrosion depth of the steels after 10 cycles of condensate corrosion test

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用い、材料の寿命を推定した¹⁰⁾。Fig. 10 にマフラー用ステンレス鋼の最大浸食深さデータに Gumbel 確率プロットを適用した結果を示す。いずれのデータにおいても良好な直線関係が得られ、二重指数分布で整理されることがわかる。この試験を実際マフラーに適用した場合の最大浸食深さの推定値は、試験片との表面積の差の補正により、Alめっき鋼、SUH409L、R436LT でそれぞれ 0.74、0.12 mm となった。試験サイクル数を変えてこの解析を行い、マフラーに生じる推定最大浸食深さの試験時間による変化をプロットしたものを Fig. 11 に示す。マフラーの中で通常最も板厚の薄いシェル (0.6 mm 厚) に貫通穴が生じる時間は、Alめっき鋼、SUH409L、R436LT でそれぞれ 250 h、830 h、1370 h であり、SUH409L は Alめっき鋼の 3.3 倍、R436LT (18%Cr-1.2%Mo-0.3%Ti) は SUH409L の 1.7 倍の寿命を持つと推定された。

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 (18%Cr-0.5%Mo-0.3%Ti) 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。

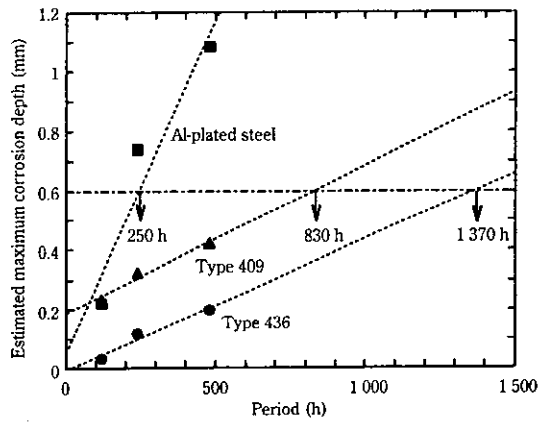


Fig. 11 Relation between estimated maximum corrosion depth and period of the condensate corrosion test

4 結 言

近年の自動車排ガス規制強化にともなう、ステンレス鋼の使用環境はますます苛酷なものになっている。エキゾーストマニフォールドに代表される高温環境用として、耐熱疲労特性、耐高温疲労特性、耐酸化性および成形性に優れた R429EX (15Cr-0.9Si-0.45Nb) を、またマフラーに代表される湿潤環境用として、耐凝縮水腐食性に優れた R436LT (18Cr-1.2Mo-Ti) および R432LTM (18Cr-0.5Mo-Ti) を開発した。本報では特にこれら開発鋼の代表的な特性および特性向上機構について述べた。

今後とも世界各国において排ガス規制が強化されていく趨勢にある。これらの規制強化に適合する高性能ステンレス鋼の採用が一層拡大し、環境浄化に貢献していくものと期待される。

参 考 文 献

- 1) 宮崎 淳, 郡司牧男, 吉岡啓一: 川崎製鉄技報, 25(1993)2, 34
- 2) T. Ujio, M. Kitazawa, and F. Togashi: Materials Performance, 33(1994)12, 49-53
- 3) 奥 学: 日新製鋼技報, 74(1996), 26
- 4) 藤田展弘, 大村圭一, 佐藤栄次, 山本章夫: 新日鉄技報, (1996)361, 20
- 5) 小野 寛, 佐藤伸二, 川崎龍夫, 岡 裕, 大橋延夫: 川崎製鉄技報, 7(1975)2, 21
- 6) 門 智, 山崎たけ友, 坂本 徹, 半沢 貢, 山中幹雄, 小川忠雄, 吉田耕太郎: 製鉄研究, (1977)292, 63
- 7) 中村定幸, 宮楠克久, 植松美博: 材料とプロセス, 4(1991)6, 1788
- 8) 宮崎 淳, 石井和秀, 佐藤 進: 川崎製鉄技報, 30(1998)2, 31
- 9) 宮崎 淳, 多田昌哉, 佐藤 進: 材料とプロセス, 7(1994)6, 1683
- 10) S. S. Manson: NACE Technical Note 2933, (1953)
- 11) L. F. Coffin: Proc. 4th Sagamore Conf., (1957), 219
- 12) 平 修二編: 「熱応力と熱疲労」, (1974), 103, [日刊工業新聞社]
- 13) P. G. Forrest and K. B. Armstrong: Joint Int. Conf. on Creep, London, (1963)
- 14) 平川賢爾, 時政勝行: 鉄と鋼, 4(1977), S255
- 15) 奥 学, 中村定幸, 平松直人, 植松美博: 日新製鋼技報, 66(1992), 37
- 16) 中田 真, 石井和夫, 榎本 勝, 小西泰則, 高橋伸一: HONDA R&D Technical Review, 11(1999)2, 57
- 17) 宇城 工, 北沢 真, 佐藤 進: 材料, 45(1996)11, 1192-1197
- 18) 宇城 工, 北沢 真, 富樫 勇夫, 吉岡啓一: 自動車技術会学術講演会前刷集 921(1992), 165-168