

高性能12% Cr フェライトステンレス鋼“NAR-409M1”

High Performance 12% Chromium Ferritic Stainless Steel “NAR-409M1”

樽谷芳男/Yoshio Tarutani・総合技術研究所 ステンレス・チタン研究部 主任研究員

宮原光雄/Mitsuo Miyahara・総合技術研究所 機械システム研究部 副主任研究員

橋詰寿伸/Toshinobu Hashizume・総合技術研究所 ステンレス・チタン研究部

樋口賢次/Kenji Higuchi・鋼管事業部 鋼管技術部 担当課長

要 約

SUS409Lと比較して、高温強度、耐粒界腐食性に優れたフェライトステンレス鋼“NAR-409M1”を開発した。本開発鋼は、SUS409L並の常温機械特性を有しながら、上級鋼種であるSUS430J1Lと同等の高温特性、耐粒界腐食性をもつ経済的なフェライトステンレス鋼である。自動車排気マニホールドやフロント、センターパイプをはじめ、高性能の汎用12% Cr 鋼として幅広い分野への適用が期待される。

Synopsis

High performance 12% chromium ferritic stainless steel was developed. NAR-409M1 contains both niobium and titanium as stabilizing elements. Niobium addition to the ferritic stainless steel containing titanium improves high temperature strength and fatigue properties at elevated temperature. Thermal fatigue properties of NAR-409M1 are superior to those of SUS409L. Performance of intergranular corrosion resistance at the weldment of NAR-409M1 is improved. NAR-409M1 has been used for parts of the exhaust system of automobiles in Japan. This new ferritic stainless steel will be applied to the general use as a high performance ferritic stainless steel.

1. 緒 言

自動車排気系へのステンレス鋼の適用は、排気マニホールド、フロントパイプ、触媒担体、フレキシブルパイプ、センターパイプ、マフラーとほとんどすべての部位に拡大している^{1),2)}。

自動車用フェライトステンレス鋼としては、SUS409LやNb含有のSUS430J1L、Mo含有のSUS436L等が規格化されており、環境に応じた鋼種が選定、適用できるようになった。これら鋼種の中で、SUS409Lは低コストで加工性が良好なため汎用性に優れるが、550°C以上での強度低下が顕著であり、高温で長時間保持されるような環境での強度不足が懸念される。また、溶接熱影響部の耐食性劣化も他の上級鋼種に比べ大きく、これらの欠点を克服できる安価な汎用フェライトステンレス鋼の開発要望が強かった。

SUS409Lを基本成分として、高温強度の改善効果が大きいNbを適量添加することにより、加工性を減ずることなく、高温強度、熱疲労特性ならびに溶接熱影響部での耐粒界腐食性劣化を著しく改善した“NAR-409M1”を製品

化したので、開発鋼の概要とその諸特性を紹介する。

2. 合金設計の考え方

本鋼の開発においては、550~700°Cでの高温強度、900°C以下での熱疲労特性および溶接熱影響部の耐食性を、12% Cr 鋼として限界まで改善することを目指した。

鋼の高温強度を改善する元素としては、置換型固溶元素であるMo、Co等の添加が有効であるが、これらはいずれも高価な元素であり、鋼の価格を上昇させる。本鋼においては、Nbの固溶効果を活用することとし、Nb、Ti複合添加により高温強度を改善した。本鋼では、常温での加工性も考慮しつつ、高温強度が確保できるよう添加量を0.35~0.45%とした。

一方、溶接熱影響部の耐食性劣化は、結晶粒界に析出するCr炭化物が原因であることはよく知られている。本鋼では、鋼中Cを0.015%以下としたうえ、安定化元素であるNb、Tiを適正量添加することで、非常に良好な耐粒界腐食性を確保した。また、鋼中Sを0.002%以下に極低化するとともに、鋼中O量も低めとしている。

3. NAR-409M1の諸特性

3-1 化学成分および金属組織

NAR-409M1の化学組成一例を第1表に、冷延焼鈍板の金属組織を写真1に示す。本鋼は高温域も含めてフェライト組織である。

第1表 NAR-409M1の化学組成一例

Table 1 Chemical compositions of NAR-409M1

(mass%)							
C	Si	Mn	S	Cr	Nb	Ti	N
0.013	0.39	0.26	0.001	11.8	0.41	0.16	0.007

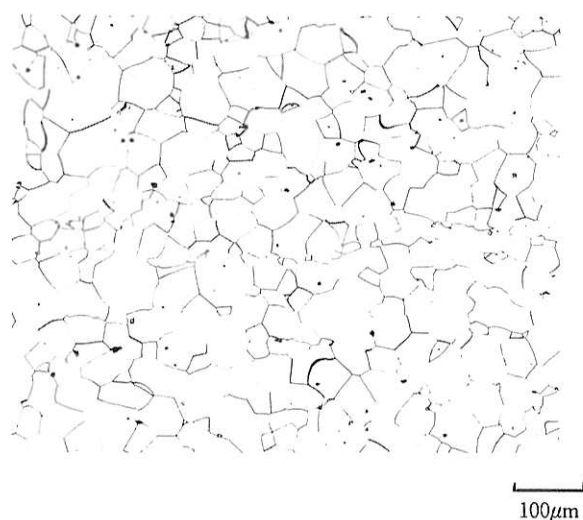


写真1 NAR-409M1のミクロ組織

Photo 1 Microstructure of NAR-409M1

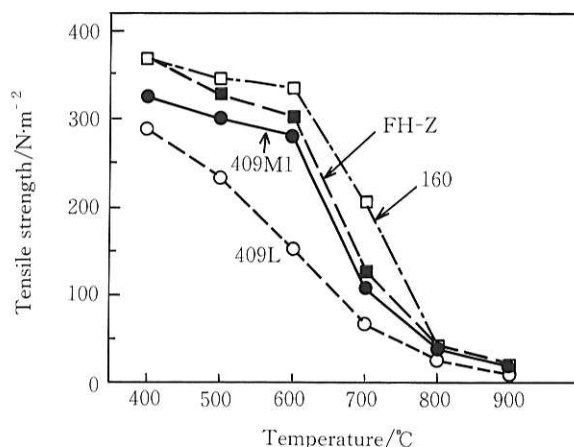
3-2 機械的性質

常温での機械的性質の一例を第2表に、高温引張強度を第1図、第2図に示す。SUS409Lと同等の良好な常温機械特性を有しながら、NAR-160(16.5Cr-Nb・Cu, SUS430 J1L相当)、NAR-FHZ³⁾(13Cr1Si-Nb)とほぼ同等の高温強度を有している。

第2表 NAR-409M1の機械的性質一例

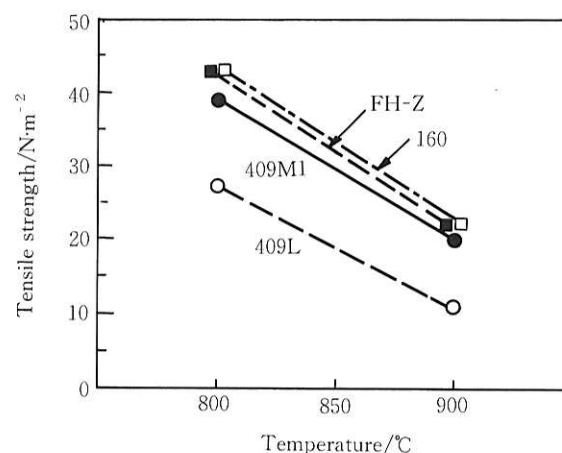
Table 2 Mechanical properties of NAR-409M1

	0.2%Y.S. (N/mm ²)	T.S. (N/mm ²)	El. (%)
NAR-409M1	222	420	36.3
SUS409L	222	410	37.6
NAR-FH-Z	311	492	33.9
NAR-160	338	486	31.0



第1図 高温引張強度の温度依存性(400~900°C)

Fig.1 Tensile strength at elevated temperature

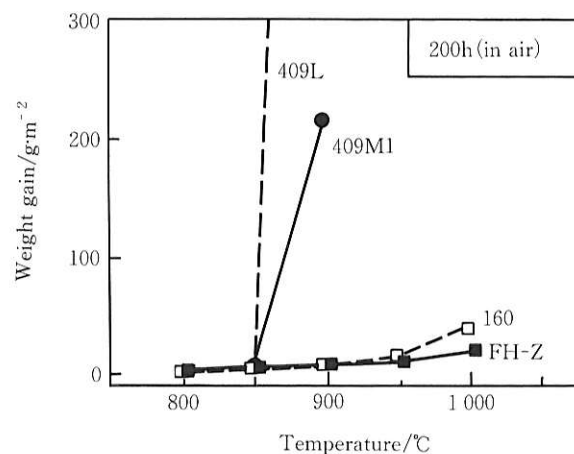


第2図 高温引張強度の温度依存性(800~900°C)

Fig.2 Tensile strength at elevated temperature

3-3 耐酸化性

連続酸化特性を第3図に示す。NAR-409M1はSUS409Lとほぼ同等の酸化特性を示す。ただし、NAR-160やSi添加により耐酸化性を改善したNAR-FHZと比較すると、耐酸化限界性能は劣る。

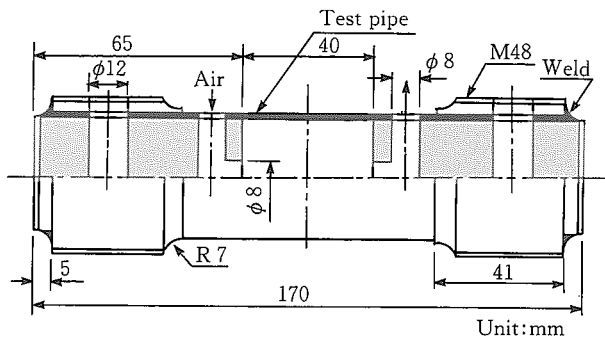


第3図 高温酸化特性

Fig.3 Isothermal oxidation properties

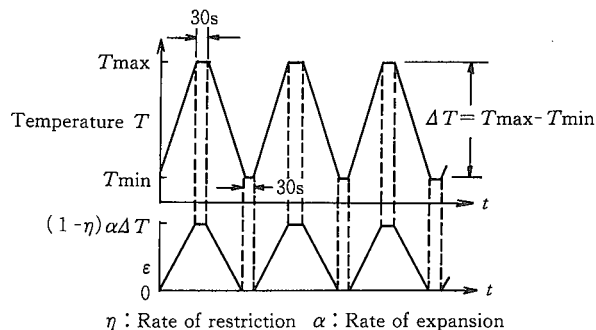
3-4 熱疲労特性

熱疲労試験は、第4図に示す試験片を用いて、コンピュータ制御の電気油圧サーボ型疲労試験装置を用いて行った。加熱には高周波誘導加熱装置を用い、冷却は空気を吹き付けて行った。温度および負荷歪み波形を第5図に示す。最高加熱温度 T_{max} は700～1000℃とし、最低温度 T_{min} は200℃とした。試験材には、外径38.1～42.7mm、板厚1.5～2mmのTIG溶接管を用いている。完全拘束条件（拘束率 $\eta=1.0$ ）、50%拘束条件（拘束率 $\eta=0.5$ ）の結果を第6図、第7図に示す。NAR-409M1の熱疲労寿命は、NAR160、NAR-FHZと同等であり、SUS409Lより優れている。



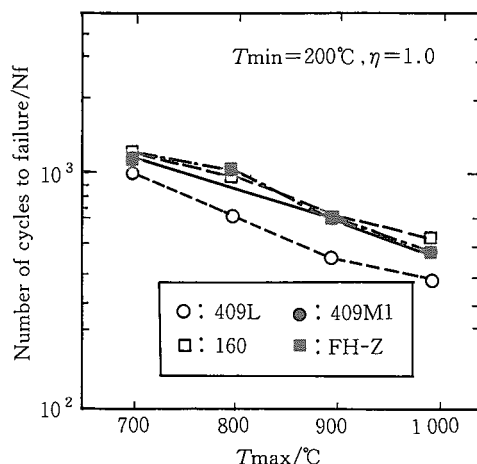
第4図 熱疲労試験片形状

Fig.4 Appearance of thermal fatigue test specimen



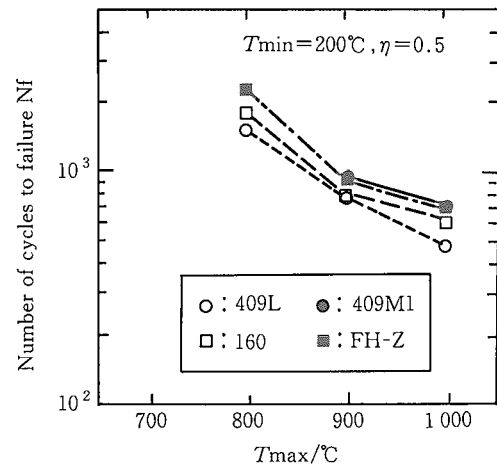
第5図 熱疲労試験時の温度及びひずみ波形

Fig.5 Temperature and stress curves of thermal fatigue test



第6図 熱疲労寿命に及ぼす最高温度の影響(完全拘束)

Fig.6 Effects of maximum temperature on cycles to failure at thermal fatigue test($\eta=1.0$)

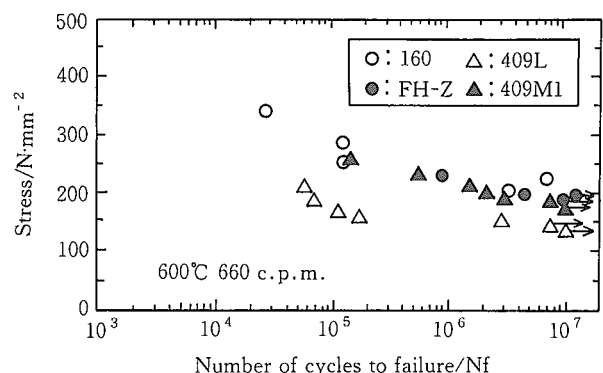


第7図 熱疲労寿命に及ぼす最高温度の影響(50%拘束)

Fig.7 Effects of maximum temperature on cycles to failure at thermal fatigue test($\eta=0.5$)

3-5 高サイクル疲労特性

高サイクル疲労試験は、両振り変位を制御し、曲げ繰返し周波数を660c.p.mとして試験を行った。600℃環境における試験結果を第8図に示す。NAR-409M1の疲労限は約200kg f/mm²とSUS409Lより高く、NAR160、FHZと同等の疲労特性を示している。



第8図 600℃における高サイクル疲労特性

Fig.8 Properties of high cycle fatigue test at 600°C

3-6 溶接熱影響部の耐粒界腐食性

耐粒界腐食性評価には、ストラウス試験（JIS G 0575）がよく用いられるが、SUS409系の12% Cr鋼では全面腐食を引き起こすため、改良型ストラウス試験を用いている。試験溶液の硫酸-硫酸銅水溶液はJIS条件と同一とし、浸漬条件を60℃、4時間とした。試験材には2mmの冷延鋼板にMAG溶接（フィラー/Y309）およびTIGなめを施して供試した。試験結果を第3表に示す。溶接方法によらず、NAR-409M1の粒界腐食発生はなく、熱影響部はSUS409Lと比較して良好な耐食性を示す。

製品・技術紹介

第 3 表 改良ストラウス試験結果
Table 3 Results of modified strauss test

	NAR-409M1	SUS409L	NAR-160	NAR-FH-Z
MAG welds	○	△	○	○
TIG welds	○	×	○	○

○：No crack, △：crack (<1mm), ×：crack (>1mm)

4. 結 言

NAR -409M1の 諸 特 性 を SUS409L, NAR -160 (SUS430J1L相当) および NAR-FHZ (13Cr1Si-Nb) と比較しながら紹介した. 本開発鋼は, SUS409L並の常温機械特性を有しながら, 上級鋼種の NAR-160, NAR-FHZ と同等の高温特性, 耐粒界腐食性を有する経済的なフェライトステンレス鋼である.

自動車排気系部材としては, 排ガス温度850℃以下の排気マニホールドやフロント, センターパイプ等に好適である. また, 高性能の汎用12% Cr フェライトステンレス鋼として家電分野, 機器外装等に広く適用可能であり, 今後の適用拡大が期待される.

問合せ先
総合技術研究所
ステンレス・チタン研究部 主任研究員
☎06-489-5754 樽谷

参考文献

1) 石川秀雄：材料とプロセス, 4 (1991), p.1760

2) 樽谷芳男, 宮原光男, 橋詰寿伸, 樋口賢次, 富士川尚男：住友金属, 41-2 (1989), p.89

3) 樽谷芳男, 樋口賢次, 松田隆明, 宮原光雄, 平出信彦：住友金属, 47-4 (1995), p.76