高成形性耐食ステンレス鋼 NAR 160

清水 敏治¹⁾ 小林 末子夫²⁾ 鋸屋 正喜³⁾
小池 正夫¹⁾ 岩瀬 圭伍²⁾

1. 開発の目的

自動車外装用モール材には、図1に示すような部位に主に SUS 434 (17Cr1Mo) が用いられて来たが、加工性、耐食性の不足ならびに、Mo の価格変動に伴うコスト不安定のため、これらに代わる低価格高性能ステンレス鋼の出現が待たれていたため、これに応える新ステンレス鋼、NAR 160 (430L-Nb-Cu) を開発した^{(1)~(3)}。

図1 自動車モール材使用部位。

当開発の最大の長は、安定化元素として Nb の選択である。Nb は Ti, Zr に比べ後述するように、リジグ (プレス成形時のシワ疵) の点では劣ると考えられていたが⁽⁴⁾、熱延条件によってはかえってリジグがすぐれることを見出し、表面疵問題も同時に解決すべくこれを選んだ。

2. 合金設計と性能改善試験

(1) 表面疵の改善⁽²⁾

従来の高純度フェライト系ステンレス鋼板には、耐食性の上から安定化元素 (Ti, Nb, Zr) の添加が必須条件とされていたが、そのために表面疵が生ずれば、外装用としては使用出来ない。表面疵は Ti あるいは Zr の介在物 (炭・窒化物あるいは酸化物) に起因するものであり、連続鋳造技術を採用した場合 Ti や Zr を合金すると地疵は避けられないと考え、従来高成形用 (薄板) としてはあまり用いられていない Nb を安定化元素として採用することにした。

(2) 成形性の改善⁽²⁾

(i) 従来鋼 (SUS 434) には強加工部にリジグの発生が多く、顕著な場合は研磨が必要とされていた。熱延条件を検討した結果、図2に示す通り Nb 鋼 (NAR 160) のリ

ジグは、熱延終止温度の影響が極めて大きく、低温熱延 ($T_r \leq 780^\circ\text{C}$) と高温短時間焼鈍 ($950 \sim 1000^\circ\text{C}$) との組み合わせにより著しい改善効果が見出された。リジグ性の改善は、低温熱延時に蓄積された歪と、適正焼鈍条件により熱延板の再結晶が促進され、リジグの原因である粗大フェライト粒が微細化されたためであることを明らかにした^{(5) (6)}。図3に熱延板のマイクロ組織を示すが、低温熱延されたものは焼鈍により再結晶粒が細粒化していることがわかる。

図2 耐リジグ性に及ぼす熱延終止温度、焼鈍温度の影響^{(2) (5)}。

(a) 低温熱延 (700°C) (b) 高温熱延 (840°C)

再結晶 (細粒化) 100μm 未再結晶 (粗粒化)

図3 熱延板結晶粒度に及ぼす熱延終止温度の影響 (焼鈍温度 900°C)⁽⁵⁾。

(ii) 成形性 (深絞り性) も、図4に示す通り低温熱延により同時に改善されることがわかった。集合組織の改善によるものであり、フェライト系ステンレスとしては最高の超深絞り用鋼板が得られた。NAR 160 の $\phi 33$ 平底円筒絞り成形における限界深さを、SUS 430 と比較して図5に示した。

(iii) Cu を 0.3~0.6% 添加することにより、 r 値は更に改善されることが見出された⁽⁷⁾。

(3) 耐食性の改善⁽¹⁾

耐食性改善のための成分決定と、モール使用環境での耐食性評価を行なった結果は次の通りである。

(i) 粒界カーバイドの析出を抑制するため、C, N を低減し ($C+N \leq 0.035\%$)、安定化元素として Nb を用いることを基本とした。

(ii) 孔食電位からみた Nb の適正添加量は図6に示す通り、15 (C+N) % 以上、30 (C+N) % 以下がよい。多量添加すると金属間化合物 ($\text{Fe}_3\text{Nb}_3\text{C}$) の析出により劣化する。

(iii) Nb 鋼の特徴として、Ti 鋼に比べ発錆起点となる

* 日本ステンレス株式会社

1) 直江津製造所所長代理 2) 直江津研究所次長

3) 直江津研究所主任研究員

** 住友金属工業株式会社

1) 中央技術研究所副主任研究員 2) 第2製品技術部主任研究員
Ferritic Stainless Steel with Excellent Drawability and Corrosion Resistance, NAR160; T. Shimizu*, M. Kobayashi*, M. Ogaya*, M. Koike**, K. Iwase** (*Nippon Stainless Steel Co. Ltd., **Sumitomo Metal Industries Ltd.)

1983年1月31日受理

図4 CCV 絞り率に及ぼす熱延終止温度の影響⁽²⁾.

図5 NAR 160 の深絞り性⁽²⁾.
(φ33 平底円筒絞り成形)

図6 孔食電位に及ぼす Nb (%)、Nb/(C+N) の影響.

MnS が多いため、発錆起点を減すためには極低 S 化 ($S \leq 0.002\%$) が必要条件であることを見出した。図 7 に示す乾湿くり返し発錆試験で極低 S 化の効果が顕著に認められる。

(iv) Nb 添加により Cr 鋼は低 pH での不動態化が強化される⁽⁸⁾。

(v) Cu を 0.36% 以上添加することによる耐食性改善効果も、図 8 に示す沸騰塩酸試験の結果わかった。

(4) 成分の決定

上記の基礎実験から、表面性状にすぐれ、耐リジング性、成形性、耐食性のいずれも良好な低価格“NAR 160”の成分を表 1 の通り決定した。

(5) 製造技術の確立⁽⁹⁾

Nb 鋼の特徴として、ヘゲ疵が少なく、スラブ手入の省略が可能なことを見出し、ホットチャージ熱延により、高純度フェライト系ステンレスに発生する冷却時のスラブ割れを回避することが出来た。また、熱延では熱延終止温度を下げるための圧延技術を確立した。

3. NAR 160 の諸性質

80 トン電気炉 (AOD 精錬) で溶製された CC スラブを、ホットチャージ法で熱延 (低温熱延) し、0.4 mm 厚まで冷延された製品薄板の諸性質を次に示す。

(1) 加工性⁽²⁾

NAR 160 の機械的性質を表 2、プレス成形性を表 3 に示す。SUS 430、434 に比べ軟質で、伸び、 $\bar{r}$ 値、CCV、Er、 λ (穴拡がり率) はいずれもすぐれている。リジングも良好である。プレス成形性も、LDR または角筒絞り成形では SUS 304 と同等あるいはそれ以上の値を示した。張出し成形主体のダブルシンク成形は SUS 304 にはおよばないが、SUS 430、434 よりは良好であった。

φ450 角筒絞り成形品の一例を、SUS 430 と比較して図 9 に示した。また、自動車モールにロール成形された材料の強加工部の外観を図 10 に示すが、リジングは従来鋼 SUS 434 に比べ著しく改善されている。

(2) 耐 錆 性

光輝焼鈍後、モール成形された NAR 160 を、海岸地帯で曝露試験した結果を発錆状況のレイティングナンバーで評価すると図 11 の通りである。NAR 160 は SUS 430、434 よりすぐれ、SUS 304 に

近い耐錆性能を有している。

(3) 耐 酸 化 性

静止大気中での連続酸化試験結果を図 12 に示す。NAR 160 は 1000°C でもすぐれた耐酸化性を示した。耐熱用材料としても有効である。

4. 実用例と実績

NAR 160 は自動車外装用 (モール、ワイパー) の新鋼

図7 乾湿くり返し試験の発錆点数に及ぼす S (ppm) の影響⁽¹⁾.

図8 沸騰塩酸試験の腐食速度に及ぼす Cu (%), pH の影響.

表 1 NAR 160 の化学成分 (%).

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Nb	N
目標	0.01	0.6	0.5	0.02	0.001	0.4	17	0.6	0.015
効果	耐食性	ベース	ベース	ベース	耐食性	成形性 耐食性	ベース	表面性状リジング 成形性・耐食性	

表 2 NAR 160 の機械的性質 (0.5 mm).

供試鋼板	製 造 条 件		加 工 性								リジング グレード (20% 至)
	熱延終止温度 (°C)	焼鈍温度 (°C)	YP (kg/mm²)	TS (kg/mm²)	El (%)	$\bar{r}$	$\bar{n}$	CCV (36°)	Er (mm)	λ (%)	
NAR 160 *	780°C	950°C	34.9	53.2	30.3	1.96	0.18	27.7	9.65	89.3	B
SUS 430 *	880°C	830°C	40.2	58.6	26.8	1.12	0.16	28.8	9.49	45.0	B'
SUS 434 *	880°C	830°C	36.6	55.1	29.4	1.45	0.17	28.2	9.19	60.3	B'
SUS 304	880°C	1100°C	35.5	73.2	63.5	1.08	0.44	27.3	12.10	50.0	—

(※ : 2 回冷延材)

種として使用され始めてからすでに3年経過しており、ユーザーの好評を博している。また深絞り用あるいは高耐食用の特長を生かし、給湯機外装、コンベクションオープン、ダクト、フロガマ、ボールなど家電、厨房用機器に広く使用されている。低コストで性能の優れた製品であり、“第3のステンレス”として業界で注目され他用途へも拡販の可能性が大きい。

住友金属工業(株)で溶製・熱延を行ない、日本ステンレス(株)で2~0.4mmの薄板に冷延され製品化されている。現在年間約3000トンの生産を行なっている。

表3 NAR 160 のプレス成形性.

供試銅板	LDR (限界絞り比) (ボンチ歪 = 33)							角筒絞り成形性 (450×450)						ダブルシンク張出し成形性					
	LDR (D/d)							成形深さ (mm)						成形深さ (mm)					
	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4		50	60	70	80	90	100	10	15	20	25	30	
NAR 160																			
SUS 430																			
SUS 434																			
SUS 304																			
潤滑条件	(A) ジョソソソックス 700 (B) 潤滑処理鋼板 (S コート)							{ ボンチ側 — ビニール シート ダイス側 — ジョソソソックス 700 (プランクサイズ 450×450) しわ押え力 20トン }						ジョソソソックス 700

図9 NAR 160 の角筒絞り成形性. (プランク: 450×450)

図10 NAR 160 の自動車モール成形品 (強加工部) 外観
(A) NAR 160 リジグ良好
(B) SUS 434 リジグ発生 図11 光輝焼鈍材の大气曝露試験結果.
(海岸地帯, 夏期)

図12 静止大気中連続酸化試験結果 (200 時間加熱).

5. 特 許

登録 1030898 (成立) ほか国内特許 (特開昭 56-123327, 56-146857, 57-210955) および米国 (成立) ほか 5 カ国に海外特許を出願中である。

文 献

- (1) 諸石大司, 樽谷芳男, 小林未子夫, 砂山幸夫: 鉄と鋼, **66** (1980), S1166.
- (2) 林 豊, 小池正夫, 鎮守辰雄, 松井孝次, 鋸屋正喜: 鉄と鋼, **66** (1980), S1167.
- (3) 斎藤喜一, 青木正紘, 近藤 久, 池田了康: 鉄と鋼, **66** (1980), S1168.
- (4) 植木正憲, 門 智: 鉄と鋼, **67** (1981), 1702.
- (5) 間瀬俊朗, 小池正夫, 鋸屋正喜: 鉄と鋼, **68** (1982), S615.
- (6) 間瀬俊朗, 小池正夫: 鉄と鋼, **68** (1982), S1365.
- (7) 清水敏治, 鋸屋正喜, 横山賢治: 日本ステンレス技報, No.12 (1976), 81.
- (8) Y. Tarutani, N. Usuki, T. Kudo, N. Fujino and T. Moroishi: 162nd Meeting of the Electrochemical Society, Detroit, (1982).
- (9) 水野富行, 南村八十八, 小林経明, 吾妻正敏, 田中勇次, 鎮守辰雄: 鉄と鋼, **67** (1981), S1339.