

新商品紹介

SUS403広幅焼入れ鋼帯の諸特性

松 林 弘 泰* 河 合 智 也** 河 村 航*** 溝 口 太 一 朗****

Characteristics of Quenched Wide Strip Stainless Steel, SUS403

Hiroyasu Matsubayashi, Tomoya Kawai, Wataru Kawamura, Taichirou Mizoguchi

1. 緒 言

高強度ステンレス鋼板は、スチールベルト、メタルガスケット、ばね材、構造用材料など強度や耐久性、耐食性が求められる用途を中心に幅広く使用されている。

当社は、ユーザーにおける品質安定性、歩留り向上にメリットのある各種高強度ステンレス広幅鋼帯の製品ラインナップを拡充してきた。一例を挙げるとオーステナイト系ステンレス鋼ではSUS301, SUS304, NSSHT2000¹⁾の調質圧延材、フェライト-マルテンサイト複合組織ステンレス鋼ではNSS431DP-2²⁾、析出硬化型ステンレス鋼ではNSSHT1770などがある。

近年、コスト競争力向上を目的にユーザーでの工程省略可能な省資源型汎用高強度材料のニーズが高まっている。汎用高強度ステンレス鋼としては、JIS登録されている焼入れタイプのSUS403, SUS410, SUS420J2などが広く用いられているが、ユーザー工程で部品形状および幅狭鋼帯に加工された後に焼入れ焼戻しが施されるため、ユーザーでの工程負荷増やコスト増、熱処理設備運転に伴う廃油や燃焼排ガス等環境負荷増の課題があった。

そこで、ユーザーでの焼入れ焼戻し工程が省略可能で、かつ省資源型でありながらSUS301H, SUS304Hと同等以上の強度と加工性を有するマルテンサイト系ステンレス鋼のSUS403広幅焼入れ鋼帯を開発したので、諸特性と特長を紹介する。

2. SUS403広幅焼入れ鋼帯の諸特性

2.1 化学成分および金属組織

表1にSUS403広幅焼入れ鋼帯の化学成分例を示す。

表1 SUS403焼入れ鋼帯の化学成分例(mass%)

Table 1 Example of Chemical composition of quenched SUS403 (mass%)

	C	Si	Mn	Ni	Cr	N	Fe
SUS403	0.11	0.4	0.3	0.2	12.2	0.016	Bal.
SUS301(比較)	0.11	0.7	1.1	7.4	17.4	0.016	Bal.
SUS304(比較)	0.07	0.5	0.8	8.1	18.2	0.019	Bal.

本鋼は、オーステナイト系ステンレス鋼のように調質圧延で強度を高める材料ではなく、焼入れ(熱処理)によって強度が高められる材料である。そのため、0.12%C-12.5%Crをベースに目標とする焼入れ組織、および強度レベルとなるよう成分調整を行う。その後、一般的なステンレス鋼の製造工程を経て、製品板厚とした冷間圧延材を素材に連続焼鈍ラインにてオーステナイト域に加熱後急冷して焼入れることでマルテンサイト組織を得る。図1にEBSDによる本鋼のIPFマップ例を示す。高強度を得るためには焼入れ後のマルテンサイト量は、より多い方が望ましいため、本鋼は100%マルテンサイト

*ステンレス・高合金研究所 材料第一研究チーム サブリーダー

**周南製鋼所 冷延整精部 冷延技術チーム (現 ステンレス・高合金研究所 材料プロセス研究チーム)

***周南製鋼所 冷延整精部 冷延技術チーム (現 周南製鋼所 ステンレス品質技術部 一貫品質管理チーム サブリーダー)

****ステンレス・高合金研究所 材料第一研究チーム チームリーダー

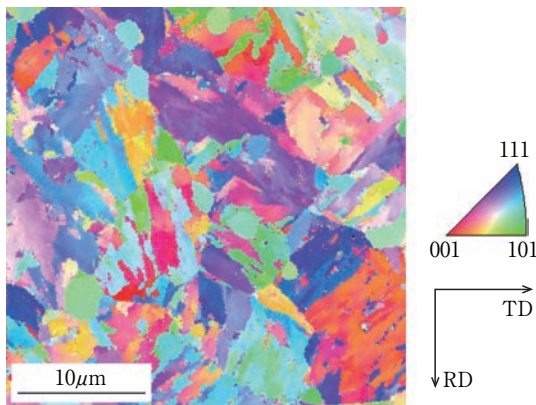


図1 SUS403焼入れ鋼帯のIPF(bcc相)マップ

Fig. 1 Inverse Pole Figure map of quenched SUS403.

組織となる温度にて焼入れを行っている。

2.2 物理的性質

表2にSUS403広幅焼入れ鋼帯の物理的性質を示す。本鋼はマルテンサイト系ステンレス鋼であり、基本的に物理的性質はフェライト系ステンレス鋼のSUS430と同等で、オーステナイト系ステンレス鋼のSUS301、SUS304の調質圧延材に比べると、熱伝導率が大きく、熱膨張係数は小さい性質を有する。

表2 SUS403焼入れ鋼帯の物理的性質

Table 2 Physical properties of quenched SUS403

	SUS403	SUS430	SUS301	SUS304
仕上げ	焼入れ	焼鈍	H	H
密度(g/cm ³)	7.68	7.70	7.89	7.88
弾性係数(GPa)	204	201	217	209
比熱(J/(g·K))	0.45	0.46	0.49	0.47
線膨張係数(10 ⁻⁶ /K) 20~100℃	10.7	10.4	16.7	16.3
熱伝導率(W/m·K)	23.2	26.2	14.3	13.9
比電気抵抗(μΩ·m)	0.63	0.60	0.74	0.75
磁性	強磁性	強磁性	強磁性	強磁性

2.3 引張特性

図2にSUS403広幅焼入れ鋼帯の焼入れ硬さに及ぼすC+N量の影響を示す。従来から焼入れマルテンサイト相の硬さは、固溶炭素、窒素の量に大きく依存することは知られているが、本鋼についてもC+N量を適切に調整することで、種々の強度レベルを得ることができる。

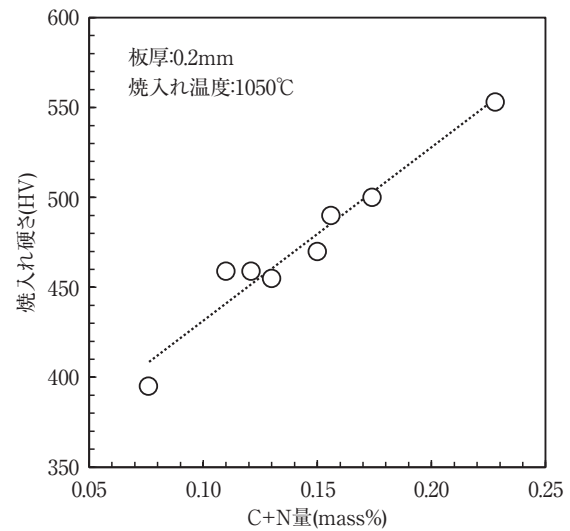


図2 SUS403焼入れ鋼帯の硬さに及ぼすC+Nの影響

Fig. 2 Effect of total contents of carbon and nitrogen on hardness of quenched SUS403.

表3にC+N量を制御して強度レベルを変化させたSUS403広幅焼入れ鋼帯の引張特性例を示す。なお、比較としてSUS301、SUS304のH仕上げ材のデータも付した。引張試験はJIS Z2241に準拠し、引張方向が圧延方向と平行(L方向)、および引張方向が圧延方向に対して90°方向(T方向)に採取したJIS13B号試験片を用いて、引張速度5m/min、室温にて行った。また、ばね限界値は引張試験において公称応力-ひずみ曲線の直線関係から外れて永久ひずみを生じる極小ひずみをばね限界値相当とし、本報では0.01%耐力にて評価した。

表3 SUS403の機械的性質例(板厚:0.2mm)

Table 3 Examples of Tensile properties of quenched SUS403

鋼種	仕上げ	サンプル No.	C+N (%)	HV (I)	試験方向	0.01%耐力 (N/mm ²)	0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)
SUS403	焼入れ	a	0.179	506	L	931	1366	1619	7.2
					T	877	1261	1623	6.5
		b	0.169	496	L	875	1293	1476	6.4
					T	859	1210	1499	6.9
		c	0.125	455	L	915	1226	1400	7.6
					T	740	1150	1416	7.6
		d	0.082	411	L	762	1042	1219	9.0
					T	674	968	1241	8.1
SUS301	H	e	—	443	L	896	1487	1523	1.4
					T	851	1336	1532	5.4
SUS304	H	f	—	384	L	—	1114	1226	5.7
					T	—	1066	1281	8.7

ビッカース硬さ400HV1~510HV1の各強度レベルとした本鋼の引張特性は、0.01%耐力740~931N/mm²、0.2%耐力970~1370N/mm²、引張強さ1200~1620N/mm²、伸び6.5~9.0%である。SUS403広幅焼入れ鋼帯はSUS301、SUS304のH仕上げ材と比較して同等以上の引張特性を有しており、強度-延性バランスの良い材料である。

図3にSUS403広幅焼入れ鋼帯のコイル幅方向での引張特性例を示す。コイル幅方向の特性のばらつきは小さく、同一コイル内において安定した引張特性が得られている。

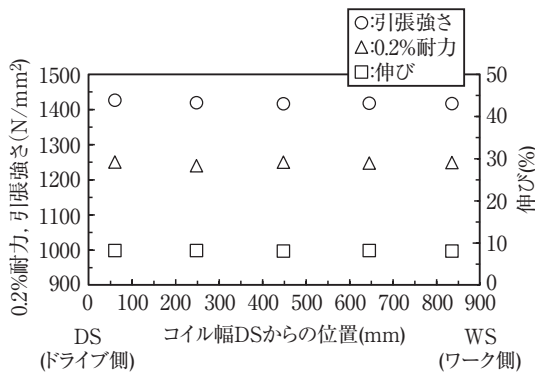


図3 SUS403焼入れ鋼帯のコイル幅方向の引張特性
Fig. 3 Tensile properties of quenched SUS403 in coil width direction.

2.4 曲げ特性

表4にSUS403広幅焼入れ鋼帯の90°V曲げ試験による曲げ特性をSUS301Hと比較して示す。曲げ試験はJIS Z2248に準拠し、Vブロック法にて曲げ稜線が圧延方向に対して90°方向(L方向)、および平行方向(T方向)に曲げを施した。硬さレベルが496HV以下ではL方向、T方向ともにR/t = 1.0で表面割れは認められない。しかしながら、硬さレベルが500HV以上に高まると、R/tはL方向1.0、T方向2.0で表面割れが認められ曲げ加工性が低下、とくにT方向曲げに劣る傾向が認められる。そのため、硬さ500HV以上の焼入れ鋼帯を用いて加工を行う際には、曲げRならびに曲げ方向について留意が必要である。

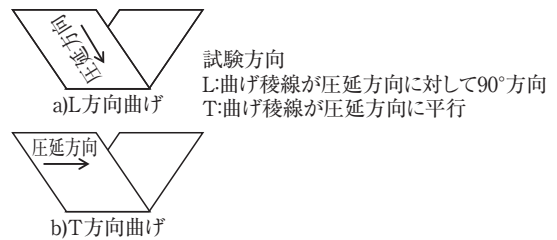
2.5 疲労特性

図4に両振り曲げ疲労試験方法を示す。試験片に圧縮エアーを共振周波数でパルスブローすることにより、試験治具Rによって曲げ応力を発生させて行う共振両振り曲げ疲労試験にて評価を行なった。試験片は曲げ稜線が圧延方向に対して90°方向(L方向)となるよう採取し、

表4 SUS403焼入れ鋼帯の曲げ試験結果 (板厚0.2mm)
Table 4 Results of bending test of quenched SUS403 (thickness 0.2mm)

鋼種	硬さ	試験方向	90° V曲げ(R/t)			
			1.0	2.0	3.0	4.0
SUS403	506HV	L	×	○	○	○
		T	×	×	○	○
	496HV	L	○	○	—	—
		T	○	○	—	—
	455HV	L	○	○	—	—
		T	○	○	—	—
	411HV	L	○	○	—	—
		T	○	○	—	—
SUS301H	443HV	L	○	○	—	—
		T	○	○	—	—

判定：割れの有無 (有：×，無：○)



付図 曲げ試験方向

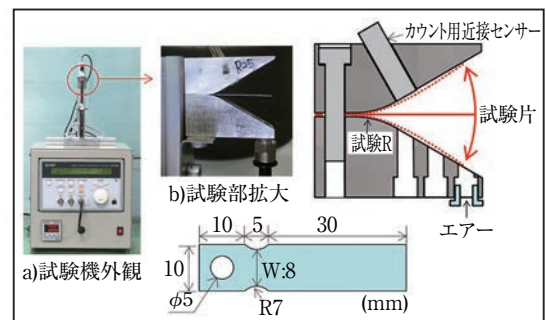


図4 両振り曲げ疲労試験方法
Fig. 4 Reversed Bending Fatigue test method.

試験速度150Hz、板厚0.2mm、室温にて行った。

図5にSUS403広幅焼入れ鋼帯の両振り曲げ試験による疲労特性を示す。SUS301H規格範囲と同程度の機械的性質を有するSUS403焼入れ材(サンプルb)(サンプルc)の繰返し回数10⁷回を基準にした疲労限は約475N/mm²でSUS301Hと比べて同等である。

2.6 形状

一般的にマルテンサイト系鋼種の焼入れ過程では、冷却による収縮とマルテンサイト変態による膨張が起こる

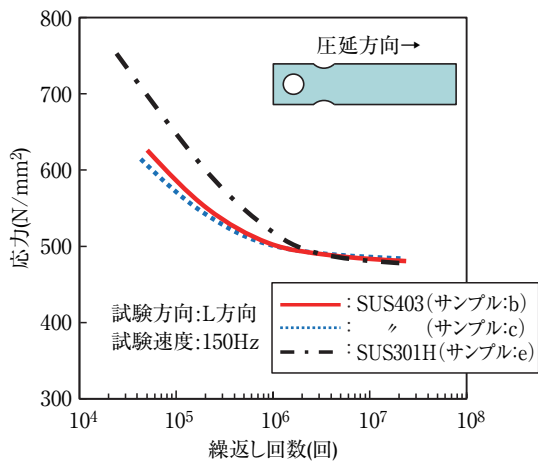


図5 SUS403焼入れ鋼帯の両振り曲げ疲労特性
Fig. 5 Reversed Bending Fatigue Characteristics of quenched SUS 403.

ため、冷却条件によっては形状悪化を生じ、広幅で安定した形状を得ることは難しい。図6にSUS403広幅焼入れ鋼帯の形状におよぼす冷却条件の影響を示す。本鋼の焼入れは連続焼鈍ラインにて実施されるが、冷却条件を適切に制御することで、良好な焼入れ形状が得られる。さらに、適切な条件でテンションレベラーを通板することによりコイル全長全幅で、より安定した形状が得られる。

製造条件A(冷却過大条件)



製造条件B(適正冷却条件)



図6 SUS403焼入れ鋼帯の形状におよぼす冷却条件の影響
Fig. 6 Effect of cooling conditions on shape of quenched SUS 403.

図7にSUS403広幅焼入れ鋼帯の三次元形状測定結果例を示す。板厚0.2mm、コイル幅900mm、長さ1000mmの切板を採取し、定盤上にて測定ピッチ10mmでコイル幅方向と圧延方向の山高さを計測して三次元形状を評価した。コイル幅の両エッジから100mm幅内で最も高い数値を板幅エッジ部の最大山高さ、それ以外の最も高い

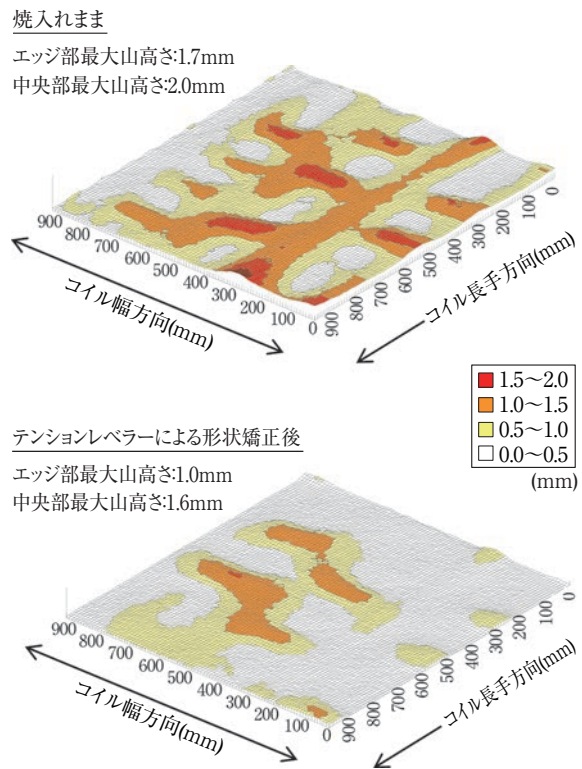


図7 SUS403広幅焼入れ鋼帯の三次元形状測定結果
Fig. 7 Three-dimensional shape measurement result of quenched SUS 403.

数値を板幅中央部の最大山高さとした。

焼入れままでは、エッジ部の最大山高さ1.7mm、中央部の最大山高さ2.0mmであるが、テンションレベラー通板による形状矯正後はエッジ部の最大山高さ1.0mm、中央部の最大山高さ1.6mmの良好な形状が得られている。

2.7 時効処理特性

図8にSUS403広幅焼入れ鋼帯の時効処理温度と硬さの関係を示す。時効処理温度200~500℃では1min、1h時効ともに時効温度による硬さの変化は小さいが、500℃を越えると硬さは大きく低下する。したがって、使用環境の温度が500℃を超える用途では、硬さに対する注意が必要である。

2.8 耐食性

図9にSUS403焼入れ鋼帯の塩水噴霧試験後の外観をSUS301Hと比較して示す。塩水噴霧試験はJIS Z2371に準拠して行い、暴露時間を24h、48hとした。SUS403焼入れ鋼帯はオーステナイト系ステンレス鋼と比べて、耐食性に有効なCrやNiなどの合金元素を低減した省資源型鋼種であり、SUS301Hより耐発錆性は劣る。そのため、塩化物の付着や堆積量が多いなど厳しい腐食環境で

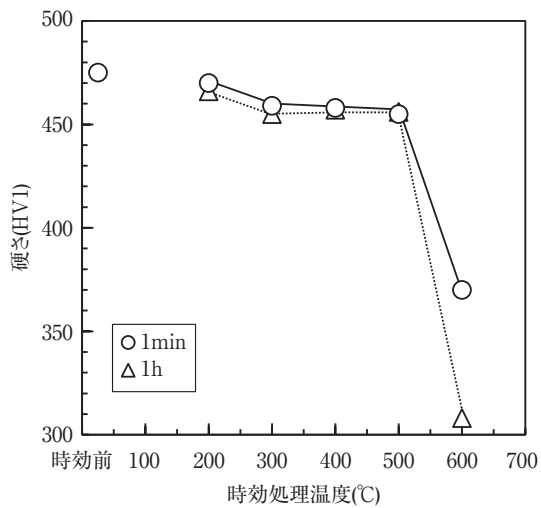


図8 時効処理温度と硬さの関係(均熱1min,1h)
Fig. 8 Relationship between Hardness and Aging temperature..

参考文献

- 1) 富村宏紀, 宮楠克久, 広津貞雄: 日新製鋼技報, No.76 (1997), p.33
- 2) 藤本廣, 井川孝, 宮楠克久: 日新製鋼技報, No.74 (1996), p.77

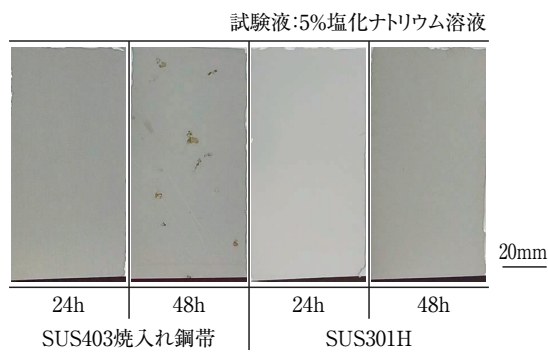


図9 塩水噴霧試験後の外観(24h, 48h)
Fig. 9 appearance of quenched SUS403 after Salt spray test (24hr, 48hr).

は、早期に発錆し外観や機能を損なう恐れがある。したがって、機器に内蔵される部品や鋼帯表面にコーティングが施されるなど、腐食因子に触れにくい、もしくは直接触れない用途に適している。

3. 結 言

汎用高強度鋼としてユーザーでの焼入れ焼戻しが省略可能なマルテンサイト系ステンレス鋼SUS403広幅焼入れ鋼帯を開発した。本鋼は高強度が必要とされるメタルガスケット、ぜんまいばね、各種建築金物などに好適であり、今後、多くの用途分野において幅広く使用されることが期待される。