

二相系ステンレス鋼 SUS329J4L

1. はじめに

二相系(オーステナイト・フェライト系)ステンレス鋼はオーステナイト相とフェライト相からなるステンレス鋼であり、優れた強度と耐食性、特に塩化物環境下での耐食性、すき間腐食性を有していることから、化学プラントや海水機器等の幅広い用途で使用されている。また二相系ステンレス鋼は、例えばSUS304のようなオーステナイト系ステンレス鋼よりNi含有量が低く、昨年までのNi価格高騰の影響を受けにくいため、強度および耐食性が優れる二相系ステンレス鋼の注目度が高まり、需要の拡大が顕著である。

表1にJIS G 4303 ステンレス棒鋼およびJIS G 3459 配管用ステンレス鋼管等に規定されるSUS329J1、SUS329J3LおよびSUS329J4Lの化学成分、表2に機械的性質を示す。中でもSUS329J4LはCr、MoおよびN添加量が多く、耐孔食性を評価、推定するために用いられる耐孔食性指数：PRE (Pitting Resistance Equivalent) が他に比べ高く設定されている。図1には、SUS329J4Lの強度とPREから見た位置付けを示す。SUS329J4Lは二相系ステンレス鋼のJIS規格鋼種で、最も優れた耐孔食性を有している。その鋼種特性の概要を以下に紹介する。

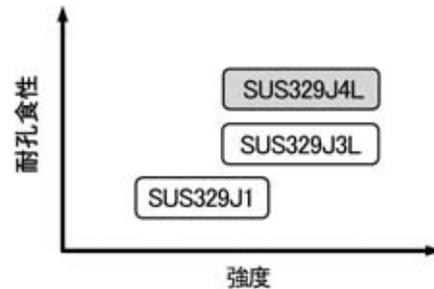


図1 二相系ステンレス鋼の位置付け

2. SUS329J4Lの特性

2.1 ミクロ組織

固溶化熱処理状態の代表的なミクロ組織を図2に示す。

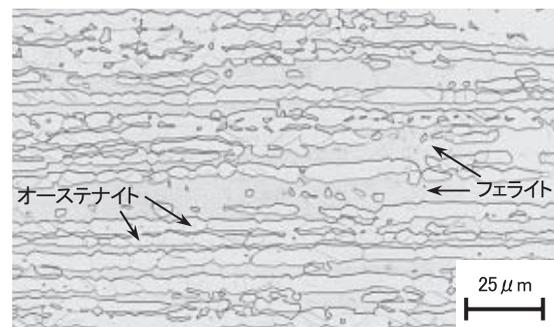


図2 SUS329J4L のミクロ組織

表1 二相系ステンレス鋼の化学成分 (mass%、PRE は例)

鋼種	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N	PRE*
SUS329J1	≤0.08	≤1.00	≤1.50	≤0.040	≤0.030	3.00~6.00	23.00~28.00	1.00~3.00	—	33
SUS329J3L	≤0.030	≤1.00	≤ 2.00 (1.50)	≤0.040	≤0.030	4.50~6.50	21.00~24.00	2.50~3.50	0.08~0.20	35
SUS329J4L	≤0.030	≤1.00	≤1.50	≤0.040	≤0.030	5.50~7.50	24.00~26.00	2.50~3.50	0.08~0.30	37

* PRE = Cr[%] + 3.3Mo[%] + 16N[%] (JIS規格にはPREは規定されていない。)

JIS G 4303, ()内は JIS G 3459

* 必要によって上記表以外に、Cu, W 又は N のうち一つ又は複数の元素を含有してもよい(JIS)。

表2 機械的性質

鋼種	引張特性				硬さ HRC
	0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	
SUS329J1	≥390	≥590	≥18	≥40 (—)	≤29
SUS329J3L	≥450	≥620	≥18	≥40 (—)	≤32 (—)
SUS329J4L	≥450	≥620	≥18	≥40 (—)	≤32 (—)

JIS G 4303, ()内は JIS G 3459

2.2 フェライト量

二相系ステンレス鋼のおよそのフェライト量を表3に示す。組織を構成するオーステナイト相とフェライト相それぞれの相におけるCr、Ni、Mo、N等の主要な合金元素の含有量が微妙に異なり、(二相系ステンレス鋼が持つ)特性を最大限に引き出すためには、フェライト量の管理が重要な要素となる。当社の二相系ステンレス鋼は全てフェライト量を50%以上に設定しており、SUS329J4Lでは約60%のフェライト量を有している。

表3 フェライト量

鋼種	フェライト量(%)
SUS329J1	55
SUS329J3L	57
SUS329J4L	60

2.3 物理的性質

表4にSUS329J4Lの物理的性質を示す。比較鋼としてオーステナイト系ステンレス鋼SUS304と、フェライト系ステンレス鋼SUS430を同表に示すが、SUS329J4Lの密度、ヤング率、熱膨張係数および熱伝導率はSUS304とSUS430の中間に位置している。熱膨張係数がオーステナイト系ステンレス鋼に比べ小さいことは溶接等の歪を小さくする利点がある。

2.4 機械的性質

表5にSUS329J1、SUS329J3LおよびSUS329J4L鋼管の代表的な機械的性質、および図3にSUS329J4L鋼管のへん平、押広げ試験結果を示す。いずれも良好な機械的性質を示している。

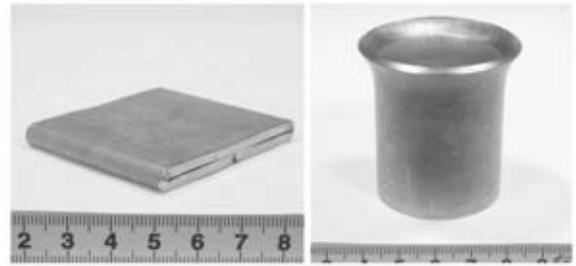


図3 へん平、押広げ試験結果

2.5 耐孔食性

1) 6%塩化第二鉄腐食試験

SUS329J1、SUS329J3LおよびSUS329J4Lについて、6%塩化第二鉄の代表的な浸漬試験結果を表6に示す。比較鋼としてオーステナイト系ステンレス鋼SUS316を同表に示すが、二相系ステンレス鋼は優れた耐孔食性を示している。

2) 孔食電位

SUS329J1およびSUS329J4Lの孔食電位測定結果を図4に示す。比較鋼としてオーステナイト系ステンレス鋼SUS316を同図に示すが、二相系ステンレス鋼の孔食電位は優れた結果を示している。

孔食電位をPREで整理した結果を図5に示すが、PREの増加に伴い孔食電位は向上する。

3) 臨界孔食発生温度 (CPT)

SUS329J4Lの臨界孔食発生温度:CPT(Critical Pitting Temperature)を測定した結果を図6に示す。45℃以下の試験温度では孔食は認められないが、47℃で僅かに孔食が発生する。これよりCPTは45℃となる。

表4 物理的性質

鋼種	相	磁性 室温	密度 g/cm ³ 20°C	ヤング率 N/mm ² 20°C	比熱 kJ/kg·K ~100°C	熱膨張係数 10 ⁻⁶ /K ~100°C	熱伝導率 W/m·K 100°C	電気比抵抗 μΩ·cm 20°C
SUS329J4L	α+γ	有	7.80	1.96 × 10 ⁵	0.47	13.0	20.9	79
SUS304	γ	無	7.93	1.93 × 10 ⁵	0.50	17.3	16.3	72
SUS430	α	有	7.70	2.00 × 10 ⁵	0.46	10.4	23.9	60

表5 鋼管の機械的性質

鋼種	規格/代表値	寸法 mm	引張特性			硬さ HRC	へん平性	押広げ性
			0.2%耐力 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び %		高さ mm	最大外径 mm
SUS329J1	JIS G 3459	—	≥390	≥590	≥18	≤29*	≤16.10	≥1.14D*
	代表値	φ31.8×2.0WT	608	814	29	25	良好	良好
SUS329J3L/J4L	JIS G 3459	—	≥450	≥620	≥18	≤29*	≤19.48/≤20.12	≥1.14D*
SUS329J3L	代表値	φ33.4×2.8WT	632	818	38	22	良好	良好
SUS329J4L	代表値	φ38.1×2.6WT	668	826	38	23	良好	良好

* 硬さ、押広げ試験: JIS G 3463に規定

表6 耐孔食性

鋼種	腐食度 (g/m ² ·h)		PRE
	試験温度	試験温度	
	50°C	65°C	
SUS329J1	1.16	23.79	33
SUS329J3L	—	9.37	35
SUS329J4L	0	7.46	37
SUS316	16.60	67.51	24

JIS G 0578. 浸漬時間:24hr

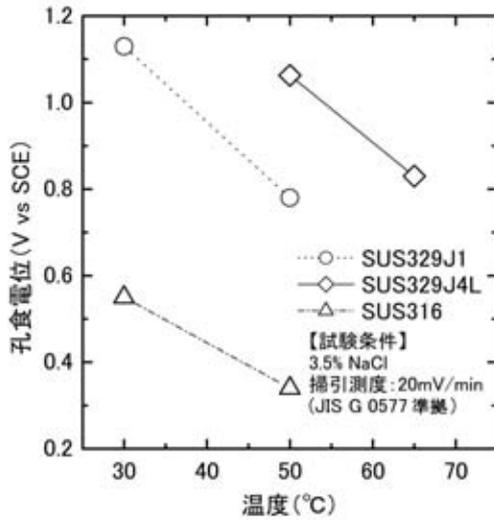


図4 試験温度と孔食電位の関係

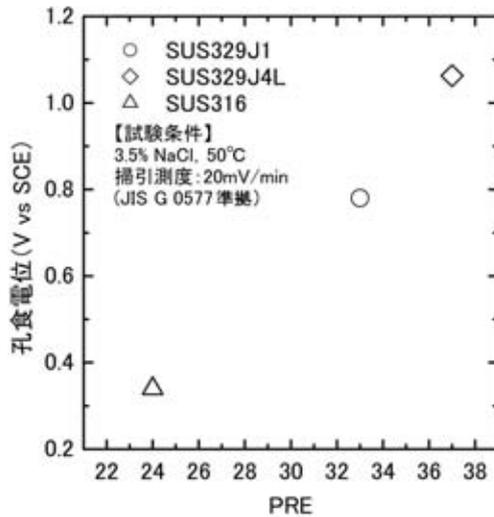


図5 各鋼種のPREと孔食電位の関係

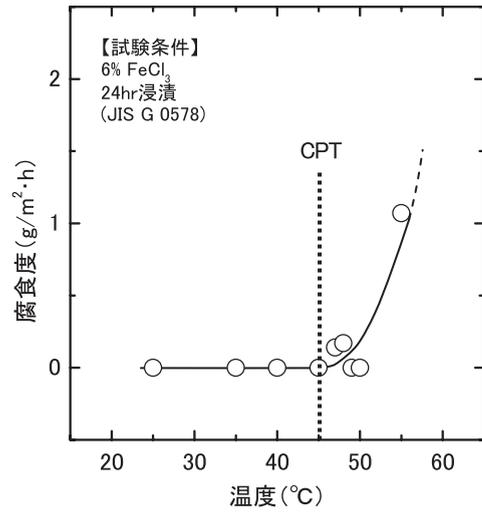


図6 臨界孔食発生温度:CPT

3. 製造可能範囲

表7 二相系ステンレス鋼の製造可能範囲

形状	仕上区分	SUS329J1	SUS329J3L,J4L
棒鋼	ピーリング品	外径 16~500(mm)	外径 16~400(mm)
	熱間仕上品	要相談	
継目無鋼管	冷間仕上品	外径 19~114(mm) 肉厚 1.5~16(mm)	

4. まとめ

二相系ステンレス鋼は高強度、高耐食性を併せ持ち、特に耐孔食性についてはオーステナイト系鋼種よりも大変優れている。

これらの優れた特性を活かして、二相系ステンレス鋼は化学プラント配管、海水機器用部品、海水淡水環境で使用されるポンプ、バルブ、遠心分離機、水門等に用いられている。特に、高Cr.Mo.N含有型のSUS329J4Lは、より高強度、高耐食であることから前途の用途に加えて高塩化物環境、油井、ガス井などの厳しい腐食性環境用の耐食材料としても使用されており、今後益々の需要増が期待されている。