

高圧水素環境用SUS316/316L棒鋼および鋼管

SUS316/316L bars and tubes for high-pressure hydrogen environment

1. はじめに

水素は、エネルギーとして使用する際にCO₂を排出しないためクリーンなエネルギーであること、更に様々な資源から生成可能であるため安定供給性が高いこと等から注目され、現在、水素エネルギー利用社会の実現に向けた多種多様な取り組みが国内外問わず進められている。水素エネルギーを利用したアプリケーションの中でも特に燃料電池自動車（Fuel Cell Vehicle、以下、FCV）や同自動車に水素を供給する水素ステーションは注目度が高い。2014年にはFCVの市販が開始され、それと並行して水素ステーションの建設、増設の計画が進められており、水素エネルギーの利用はここ数年で、より身近なものとなってきている。

こうした水素エネルギー利用社会構築への取り組みが進められている中、当社では水素ステーション等の高圧水素環境で使用できるステンレス鋼、SUS316/316Lの棒鋼および鋼管を開発したのでここで紹介する。

2. 高圧水素環境用ステンレス鋼に求められる特性

水素環境下で鉄鋼材料を使用する場合は、水素が鋼材中へ侵入することで本来の延性および靱性が著しく損なわれてしまう現象、水素脆化が問題となる。日本では現状、高温・高圧といった過酷な水素侵入環境になりうる水素ステーションにおいて、配管や継手等の各種部材にて使用が認められている汎用ステンレス鋼はSUS316およびSUS316Lのみ（Fe基耐熱合金も含むのであればSUH660も認定されている）である。更に、耐水素脆性の観点から特殊な仕様も設けられている。その一つがNi当量であり、

含有合金元素から下記の式¹⁾にて算出される。

Ni当量=12.6C+0.35Si+1.05Mn+Ni+0.65Cr+0.98Mo
(各合金元素は含有mass%)

この値が高いほどオーステナイト安定度が高く、耐水素脆性に有害な加工誘起マルテンサイト変態が生じ難い。このことから充填圧力70MPa水素ステーションの常用圧力82MPa以下において、図1に示す通り²⁾、Ni当量の増大に伴って使用可能な水素環境（常用温度）範囲は広くなり、Ni当量 ≥ 28.5 では-45~250℃の範囲をカバーできる。

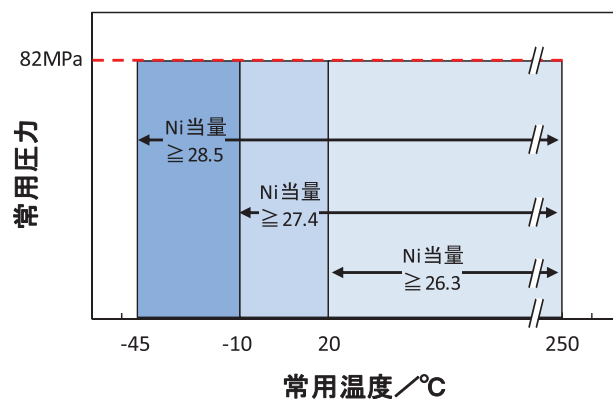


図1 常用温度・圧力範囲と必要とされるNi当量の関係²⁾

もう一つの特殊な仕様は引張特性の絞り値である。通常のJIS G4303ステンレス鋼棒で規定されている棒鋼の規格では、絞り値下限は60%であるが、高圧水素環境用の棒鋼ではそれよりも高い75%以上が求められる。

当社の高圧水素環境用SUS316/316L棒鋼および鋼管はこうした仕様に対応するように設計されている。

表1 高圧水素環境用SUS316/316Lの化学成分実績例とJIS G4303, G3459 SUS316およびSUS316Lの棒鋼・鋼管の化学成分規格

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Ni当量
SUS316/316L 実績例	0.02	0.3	1.9	0.03	0.003	13.3	17.7	2.7	29.8
SUS316(TP)	≤	≤	≤	≤	≤	10.00	16.00	2.00	—
JIS G4303, (G3459)	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	~14.00	~18.00	~3.00	—
SUS316L(TP)	≤	≤	≤	≤	≤	12.00	16.00	2.00	—
JIS G4303, (G3459)	0.030	1.00	2.00	0.045	0.030	~15.00 (16.00)	~18.00	~3.00	—

(mass%)

3. 山陽の高圧水素環境用SUS316/316L棒鋼および鋼管の特徴

3.1. 化学成分

表1にSUS316/316L化学成分の実績例をステンレス鋼棒規格JIS G4303および鋼管規格JIS G3459と比較して示す。Ni当量は28.5以上であり、水素ステーション用においては図1に示す全ての範囲に対応できるものとなっている。

3.2. ミクロ組織

図2に代表として棒鋼断面のミクロ組織写真を示す。均質・健全なオーステナイト単相組織を呈している。

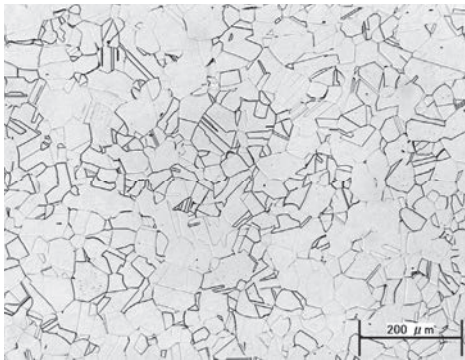


図2 SUS316/316L棒鋼断面のミクロ組織写真代表例

3.3. 機械的性質

表2に棒鋼および鋼管の常温引張試験結果例を示す。いずれも仕様を十分に満足している。

表2 SUS316/316Lの常温引張試験結果実績例

	鋼種	耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	絞り (%)
棒鋼 実績例	SUS316/316L	276	606	57	80
鋼棒規格	SUS316	≥205	≥520	≥40	≥75*
JIS G4303	SUS316L	≥175	≥480	≥40	≥75*
鋼管 実績例	SUS316/316L	373	627	55	—
鋼管規格	SUS316	≥205	≥520	≥35	—
JIS G3459	SUS316L	≥175	≥480	≥35	—

*絞り≥75%は高圧水素環境用途で規定、JIS G4303では≥60%

3.4. 耐水素脆化特性

図3に陰極水素チャージ有無でのSUS316/316Lの公称応力-公称ひずみ曲線を、表3に各種測定値をそれぞれ示す。陰極水素チャージは、0.01N硫酸+0.5g/lチオシアン酸アンモニウム溶液中に浸漬、電流密度68A/m²、30℃、24hrの条件で行って水素を侵入させている。侵入水素の影響を反映しやすくするため、引張試験はいずれもストローク速度1mm/minの低ひずみ速度法 (Slow Strain Rate Technique、SSRT) にて測定した。陰極水素チャージ有無で引張変形挙動、各種特性値ともに大きな変化は無く、水素の影響を殆ど受けていないことが分かる。なお、水素の影響は特に絞り値に顕著に現れるため、相対絞り比:RRA (水素チャージ有の絞り値と水素チャージ無の絞り値の比) が耐水素脆

性を示す一つの指標となり、RRAが1に近いほど耐水素脆性は優れているといえる。例えば、汎用オーステナイトステンレス鋼のSUS304は同試験にてRRA=0.6であったのに対し、SUS316/316LはほぼRRA=1であり、優れた耐水素脆性を有していることが分かる。

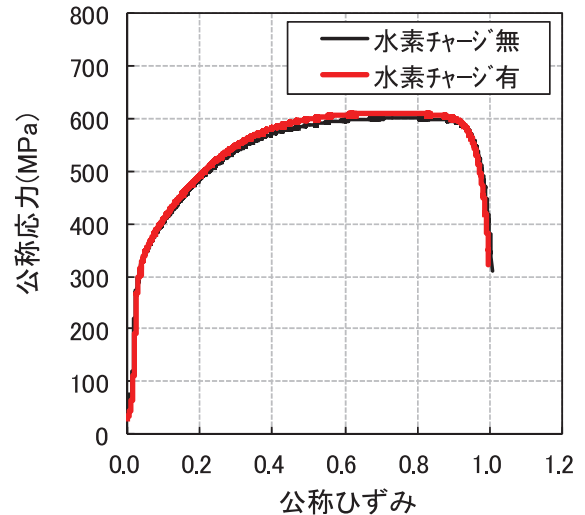


図3 SUS316/316Lの陰極水素チャージ有無での公称応力-公称ひずみ曲線

表3 SUS316/316Lの陰極水素チャージ有無での各引張特性値と各値の水素チャージ有/無比

	耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	絞り (%)
水素チャージ無	279	602	75	83
水素チャージ有	286	608	75	82
水素チャージ有/無比	1.03	1.01	1.01	0.99 [※RRA]

※RRA: 水素チャージ有の絞り値と水素チャージ無の絞り値の比

4. まとめ

当社の高圧水素環境用SUS316/316L棒鋼および鋼管は、水素ステーション等の鉄鋼材料にとって過酷な環境においても使用できる特性を有しており、現在進行している水素エネルギー利用社会の構築・推進の取り組みに貢献する材料として用いられている。

参考文献

- 1) 平山俊成, 小切間正彦: 日本金属学会誌, 34 (1970), 507-510
- 2) 一般高圧ガス保安規則の機能性基準の運用について (制定時: 平成24年12月26日付20121204商局第6号) およびコンビナート等保安規則の機能性基準の運用について (制定時: 平成24年12月26日付20121204商局第7号) より