

## 耐硫酸露点腐食鋼S-TEN 1鋼管

## Sulfuric Acid Dew Resistant Steel S-TEN 1 Tube

岡本潤一<sup>(1)</sup>  
Junichi OKAMOTO宇佐見明<sup>(2)</sup>  
Akira USAMI三村裕幸<sup>(3)</sup>  
Hirayuki MIMURA

## 抄 録

耐硫酸露点腐食鋼S-TEN 1は、排煙処理設備(空気予熱器、煙道、煙突等)の硫黄酸化物による低温腐食対策として幅広く使用されている。また、ごみ焼却施設などで最近問題となっている排ガス低温化に伴う塩酸露点腐食に対しても、当鋼材は優れた耐食性を有している。S-TEN 1電気抵抗溶接(ERW)鋼管は、これらの耐食性を有した素材を用い、発電用ボイラ鋼管と同様の品質管理のもとで製造された、高品質でかつ経済的な鋼管である。その品質特性について概説した。

## Abstract

S-TEN 1, a corrosion resistant steel for sulfuric acid dew, has been widely used in flue gas treating equipment such as air preheaters, smoke stacks and ducts as a countermeasure for low temperature corrosion caused by sulfur oxides. The steel also shows excellent corrosion resistance to the corrosion problem at waste incinerating facilities, where hydrochloric acid dew corrosion resulting from lower-temperature waste gas, is anticipated. S-TEN 1 tube is a high-quality, economical steel tube made of the steel material having such high corrosion resistance and produced under the same quality control as that for power station boiler tubes. This paper outlines qualitative characteristics of S-TEN 1 tube.

## 1. 結 言

重油、LNG、石炭などの硫黄(S)を含む燃料を燃焼させると、硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)を生じ、その一部がSO<sub>3</sub>となる。排ガス温度が露点以下になった場合、またはガスが低温の壁面に接触した場合に、ガス中のSO<sub>3</sub>とH<sub>2</sub>Oが結合して高濃度の硫酸を形成し、鋼を腐食させる。これが硫酸露点腐食である。通常の大気腐食と異なり、普通鋼ばかりでなくステンレス鋼も激しく腐食される。

Cuを添加した耐候性鋼が、硫酸露点腐食環境においても有効であることは米国で発見されたが、更に我が国において1960年ころに、耐候性鋼をベースに硫酸露点腐食性に及ぼす合金元素の影響に関する研究が進められ、より優れた耐食鋼が開発された<sup>1)</sup>。特に、新日本製鐵が開発したS-TEN 1鋼<sup>2)</sup>は、鋼中のCu、Sbそれぞれがアノード反応を抑制すると共に、鋼材表面にCu<sub>2</sub>Sbの被膜を形成してカソード反応も抑制するため、酸露点の腐食環境に対し最も有効である。S-TEN 1鋼は厚板、薄板製品において広く活用されてきたが、1980年ころから商品範囲を鋼管にも広げてきた。

S-TEN 1鋼管は、煙突用の大口徑スパイラル鋼管での実績も多いが、発電用ボイラや清掃施設、各種加熱炉の空気予熱器において、小口径の電気抵抗溶接(ERW)鋼管が広く適用されている。この

ERW鋼管は、発電用ボイラ鋼管と同様の品質管理のもとで製造された高品質の鋼管である。また、非耐圧部用途ばかりでなく、ボイラ節炭器管などの耐圧部にも適用できるよう、新日本製鐵では、“発電用火力設備の技術基準”の適合材料として、当材料の一般使用の認可を取付け、2001年よりこれらの適用も可能とした。更に、2002年5月に、火技解釈材料“火STB380J1”として規格化されている。

本報では最近需要が拡大しつつあるERW製法によるS-TEN 1鋼管の品質特性について報告する。

## 2. S-TEN 1鋼管の品質特性

## 2.1 化学成分、機械的性質と実用試験

表1(a)にS-TEN 1鋼管の化学成分、表1(b)に機械的性質の例を示す。S-TEN 1鋼管の引張強度(TS)仕様は、TS $\geq$ 380N/mm<sup>2</sup>とし、STB340とSTB410の中間的な強度となっている。

外径45.0mm、肉厚3.2mmのS-TEN 1鋼管のへん平、展開、押し広げ、鋳出し試験結果を写真1に示す。いずれの場合もERW溶接部に亀裂の発生は全くなく、良好な加工性を有していることが分かる。

<sup>(1)</sup> 鋼管事業部 鋼管営業部 マネジャー  
千代田区大手町2-6-3 ☎100-8071 ☎03-3275-7582

<sup>(2)</sup> 鉄鋼研究所 鋼材第一研究部 主任研究員

<sup>(3)</sup> 光技術研究部 主幹研究員

表 1(a) S-TEN 1の化学成分(溶鋼分析値) (mass%)

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Sb	Ni
規格	≤0.14	≤0.55	≤0.70	≤0.025	≤0.025	0.25~0.50	≤0.15	≤0.50
例	0.096	0.19	0.35	0.009	0.006	0.26	0.096	0.18

表 1(b) S-TEN 1の機械的性質

	降伏点(N/mm <sup>2</sup> )	引張強度(N/mm <sup>2</sup> )	伸び(%)	硬度(HRB)
STB340規格	≥215	≥340	≥35	≤77
STB410規格	≥245	≥410	≥35	≤79
S-TEN 1規格	≥230	≥380	≥35	—
例	281	415	52	70

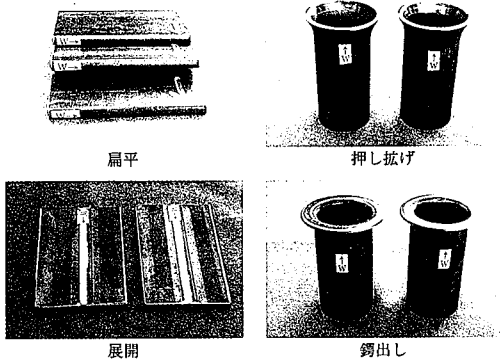


写真1 S-TEN 1鋼管の実用試験

2.2 高温強度とクリープ特性

S-TEN 1鋼管の室温から500℃までの引張試験結果を図1(a)に示す。なお、各温度におけるS-TEN 1鋼管の最小引張強度及び最小0.2%耐力を、発電用火力設備の技術基準に則って求め、図中に示している。

母材のクリープ破断強度につき、負荷応力と破断時間の関係を図1(b)に示す。400℃から550℃の温度範囲で最長約4 000時間の試験結果が得られている。

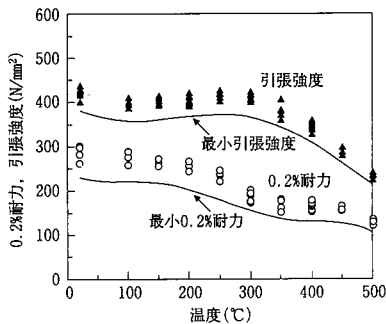


図 1(a) S-TEN 1鋼管の高温引張特性

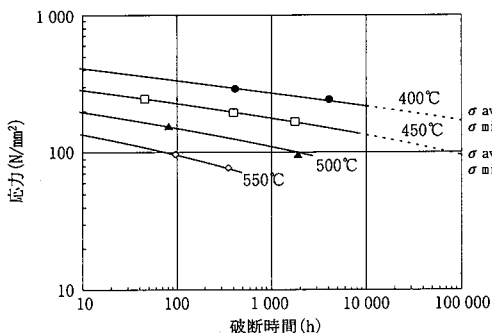


図 1(b) S-TEN 1鋼のクリープ破断強度

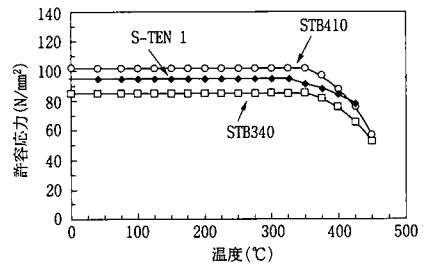


図 1(c) 各鋼種の許容引張応力の比較

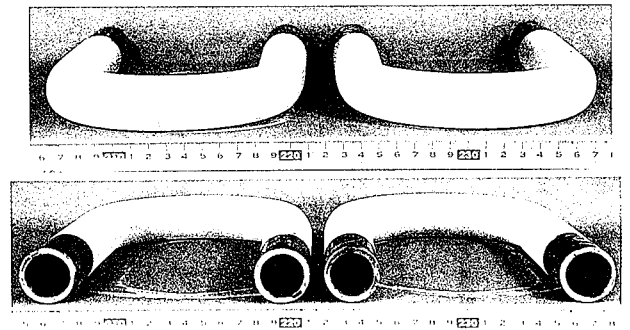


写真2 冷間曲げ試験(染色浸透探傷検査後)

ただし、当鋼材の使用範囲(425℃以下)においては、S-TEN 1鋼の許容引張応力は、クリープ破断強度ではなく高温引張強度で決定される。即ち、最高使用温度まで非クリープ温度領域である。

高温引張、クリープ破断強度の各試験結果から求めたS-TEN 1鋼管の許容引張応力(火力設備技術基準)を図1(c)に示す。最高使用温度の425℃まで、許容引張応力は室温引張強さ、高温引張強さ又は高温0.2%耐力で決まる。クリープ破断強度はこの温度範囲では十分に高く、許容引張応力の値には影響を与えない。

2.3 鋼管の加工性<sup>3)</sup>

S-TEN 1鋼は、C量を低く抑えCr等の合金元素を含まないため、同一強度レベルの普通鋼と同等の条件で溶接することができる。鋼管どうしを継手溶接し、引張試験を実施した結果、破断位置は全て母材となり、良好な溶接強度が得られている。なお、溶接部の耐食性も考慮し、溶接材料は日鐵住金溶接工業製FGC-55(耐候性鋼用)を用いている。

写真2に31.8mm径×2.9mm厚の鋼管を2.0D(65R)冷間曲げ加工した結果を示す。加工後に実施した染色浸透探傷検査においても、ひび割れ、しわの無い良好な加工が得られている。管全体を焼準熱処理しているため、ERW溶接部位置に関係なく曲げ加工性に優れている。

3. S-TEN 1鋼管の耐食性について

3.1 耐硫酸露点腐食性

硫酸露点腐食が生じる代表的な装置に、重油専焼ボイラの鋼管型空気予熱器が挙げられる<sup>4)</sup>。一般的に低温側で腐食がより厳しい。鋼管型空気予熱器リヒーターの最前列に、S-TEN 1鋼管と普通鋼管STB340-EG(60.3mm径×3.2mm厚×6 080mm長)を使用し、1年経過後に一部を抜管して腐食状況を調査した結果を表2に示す。管内面が燃焼排ガスに接し、外面は予熱空気に接する構造である。S-TEN 1鋼管の年間推定腐食量は、0.04~0.22mmと普通鋼管の同0.46~1.13mmの1/5程度であった。管内面の腐食生成物は、硫酸露点腐食特有のFeSO<sub>4</sub>・H<sub>2</sub>O、FeSO<sub>4</sub>・4H<sub>2</sub>Oが主体であり、硫酸露点腐食環境であったと考えられる。これらの結果から、S-TEN 1

表2 S-TEN 1鋼管の実管試験結果

試験場所		A電力重油専燃ボイラの鋼管型空気予熱器		
試験位置		空気予熱器リヒーター低温層最前列		
試験条件	排ガス温度	124~130℃	ガス組成	SO <sub>x</sub> 360ppm
	硫酸露点	130℃	H <sub>2</sub> O	約10%
	メタル温度	70~80℃	試験期間	4 808時間
			起動停止回数	35回
試験結果	鋼種	腐食減肉測定値 (mm/4 808h)		年間推定腐食量 (mm/y)
		最大	平均	
	S-TEN 1	0.12	0.02	0.04~0.22
	STB340	0.62	0.25	0.46~1.13

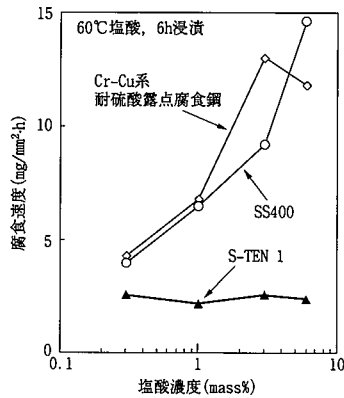


図2 S-TEN 1鋼の耐塩酸性

鋼管が耐硫酸露点腐食性に優れていることが分かる。

### 3.2 耐塩酸露点腐食性

塩酸の露点温度は硫酸より低く、72℃以下とされている。廃棄物焼却施設の排煙系統において、従来は硫酸露点腐食だけしか生じなかった装置でも、ダイオキシン対策改修工事後、排ガスの低温化にともない塩酸露点腐食が生じることがある。図2に各種鋼材の耐塩酸性を示す。Cu-Sb系のS-TEN 1鋼管は、他の耐硫酸性鋼管(高Cr-Cu系)と比較しても耐塩酸性に優れていることが分かる。

### 3.3 電縫溶接部の耐食性

一般炭素鋼管(STB340)及びS-TEN 1鋼管から、電縫部を含む1/2分割試験片を採取し、60℃-40% $H_2SO_4$ 試験液に浸漬した後の腐食状況を写真3に示す。一般炭素鋼STB340は約60%の減肉が生

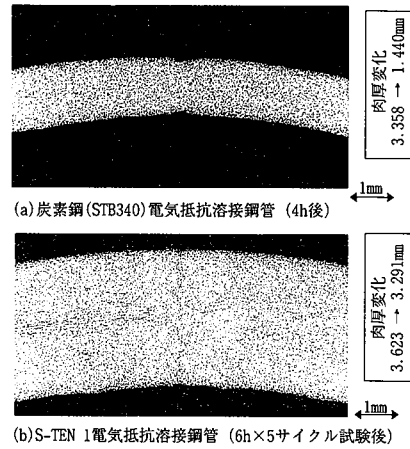


写真3 硫酸-水系の気液平衡状態(60℃-40% $H_2SO_4$ )での硫酸浸漬試験後のマクロ組織

じているが、S-TEN 1鋼管はほとんど減肉もなく、電縫溶接部の選択腐食も認められない。

## 4. 結 言

以上のように、S-TEN 1電気抵抗溶接(ERW)鋼管は、優れた機械的特性と、工作性、耐食性に優れている経済的な鋼管である。火技解釈材料“火STB380J1”として規格化されたことで、今後、耐圧部用途にも多く適用されるものと思われる。

また、極小径フィン巻きチューブ用のフィン材用途に考案された、極めて加工性の優れたS-TEN 1-EXも需要が拡大しつつある。更には、最近の耐塩化物腐食に対するニーズに応えるため、耐食性を大幅に高めた新しいS-TEN 1鋼も開発されている。

このように、環境対策に貢献する経済的な鋼材S-TEN 1は、常に進化しており、鋼管、鋼板ともに今後ますます適用範囲が広がるものと予想する。

### 参考文献

- 1) 松島:日本鉄鋼協会 鉄鋼技術の流れ. 1-7, 1995, p.139
- 2) 寺前ら:富士製鉄技報. 17,103(1968)
- 3) 溶接, 曲げ加工試験は三菱重工業(株)長崎造船所による
- 4) 飯島ら:石油学会誌. 8, 610(1965)