

耐塩酸性を向上させた耐硫酸性鋼：新S-TEN1

New S-TEN1 : an Innovative Acid Resistant Low Alloy Steel

宇佐見 明^{*(1)} 奥 島 基 裕^{*(2)} 坂 本 俊 治^{*(3)} 西 村 哲^{*(4)}
 Akira USAMI Motohiro OKUSHIMA Shunji SAKAMOTO Satoshi NISHIMURA
 楠 隆^{*(5)} 児 嶋 一 浩^{*(6)}
 Takashi KUSUNOKI Kazuhiro KOJIMA

抄 録

塩酸に対する耐食性を飛躍的に向上させた耐硫酸性低合金鋼：新S-TEN1を開発した。従来S-TEN1の優れた特性(耐硫酸性、機械的特性、加工性、入手性、経済性)を維持しながら、低合金鋼では世界最高レベルの耐塩酸性を工業製品レベルで実現した。最適化された合金組成が、塩化物イオンを含む酸環境下での地鉄のアノード溶解反応速度を著しく抑制することで、新S-TEN1の優れた耐塩酸性を発現している。新しい溶接材料も鋼板と同時に開発、商品化し、塩酸・硫酸環境での溶接金属の選択腐食の懸念を解消した。プロセス中で塩酸や硫酸が生じる、ごみ焼却施設や様々な再資源化プラントの排煙処理設備などの耐食構造部材への適用が進んでいる。同時に、溶融亜鉛めっき工場の塩酸洗槽など、酸を貯蔵・運搬する装置への適用も広がりつつある。

Abstract

New S-TEN1, a corrosion resistant low alloy steel (CRLS) was developed. Based on the conventional S-TEN1, a classic and standard CRLS for sulfuric acid dew corrosion, its corrosion resistance against acid containing chlorides such as hydrochloric acid was drastically improved by Nippon Steel's novel alloy-design technology. As an economical countermeasure against acid dew corrosion, New S-TEN1 is being widely used for plants such as power stations, waste incinerators, industrial refuse furnaces, and various so-called eco-plants, in which hydrochloric acid dew corrosion as well as sulfuric acid dew corrosion is anticipated. New welding materials for New S-TEN1 were also developed, which show equivalent corrosion resistance and solve selective corrosion of welded metal.

1. はじめに

ボイラプラントの排煙系統において、排ガス中水分や排ガスと接する材料の表面温度との関連で、高温排ガス中に含まれるガス状の酸性物質(SO_x , HCl等)が結露し、材料を腐食させる現象を酸露点腐食(acid dew corrosion)という。酸露点腐食が問題となるのは、たとえば、重油専焼ボイラーや化学プラント加熱炉の排煙処理装置や熱回収部分である。具体的には、エコノマイザー、空気予熱器、集塵器(電気集塵機、パプフィルター)、煙道、煙突内筒などである^{1,2)}。後述するように、最近ではごみ焼却施設などでも、 SO_x , HClによる酸露点腐食が生じている³⁾。

酸露点腐食環境は、燃焼物によっておおよその分類ができる。表1に燃焼物(燃料)を焚くプラントの腐食性ガス成分レベル、主な凝結酸、露点域を示す³⁻⁵⁾。重油や石炭焚きボイラーでは硫酸露点腐食が生じる。LNG焚きではSやClをほとんど含まないため、いわゆる水腐食が生じる⁵⁾。ごみ焼却施設や再資源化プラントでは、硫

酸および塩酸露点腐食が生じる³⁾。

新日本製鐵では時代のニーズに応じて、各種燃料焚きプラント向けの耐食鋼材を先駆けて開発、商品化してきた。1960年代以降の高度経済成長期では、重油専焼ボイラーの硫酸露点腐食対策として、鉄鋼各社で耐硫酸性鋼の開発が進み、新日本製鐵ではCOR-TEN鋼をベースに耐硫酸露点腐食鋼S-TEN1を開発、商品化した⁶⁻⁷⁾。1990年代には、火力発電所のLNGへの燃料転換に伴った水腐食が新たに問題となり、ガス焚きエアヒータエレメント用耐食冷延鋼板⁸⁾や、コンパインドサイクル発電用耐食厚板WELACC5⁹⁾を開発、商品化している。

近年、持続可能な社会、循環型社会の実現に向けて、環境負荷低減、資源生産性向上が強く志向されている。再資源化の対象物質が急速に多様になっている。対象物質には焼却灰や廃タイヤなど、塩化物イオンを含む場合が多い。さらに最近の環境保全技術が急速に進歩したことを背景として、ごみ焼却施設や様々な再資源化プラントの排煙処理設備では塩酸雰囲気による設備の腐食事例が増えてい

*⁽¹⁾ 鉄鋼研究所 鋼材第一研究部 耐食鋼材グループ 主任研究員
千葉県富津市新富20-1 〒293-8511 TEL:0439-80-3099

*⁽²⁾ 名古屋製鐵所 厚板工場 厚板管理グループ マネジャー

*⁽³⁾ 八幡技術研究部 薄板グループ 主任研究員 工博

*⁽⁴⁾ 八幡製鐵所 薄板部 薄板管理グループ マネジャー

*⁽⁵⁾ 東海鋼材工業株式会社 橋梁事業部 取締役事業部長

*⁽⁶⁾ 鉄鋼研究所 接合研究センター 主任研究員

表1 燃焼物別にみた排煙処理装置で生じる各種の酸露点腐食
Types of acid dew corrosion

	Heavy oil fired power plants	Coal fired power plants	LNG fired power plants	Refuse incinerators and industrial refuse furnaces
Level of corrosive components in exhaust gas				
SO _x	100-2,000ppm	100-2,000ppm	-	20-150ppm ^{*3)}
HCl	<1ppm	not available	-	300-1,500ppm ^{*3)}
H ₂ O	5-10%	5-10%	10-20%	10-50%
Acid condensation				
H ₂ SO ₄	+++ ^{*1)}	+++	-	++
HCl	- ^{*1)}	-	-	+++
H ₂ O	-	-	+++	(++)
Cl ⁻ level in ashes / corr. products	-	Low	Low-high ^{*2)}	Extremely high
Typical ranges of dew points	100-150 (sulfuric acid)	100-150 (sulfuric acid)	50-60 (water)	Sulfuric acid : 100-150 Hydrochloric acid : 50-80
Facilities necessary for protection against acid dew corr.	Air preheaters Ducts, stacks	Air preheaters Ducts, GGH	Air preheaters Ducts, stacks	Rapid coolers Bug-filters Ducts, stacks

*1) +++ : dominant and aggressive, - : negligible

*2) At air-preheaters, high chlorides from air-born salt were detected.

*3) Waste incineration plant.

Corrosion conditions after WFGD processes are not listed above.

る。

2002年10月、ごみ焼却施設や各種リサイクル・再資源化施設の排煙処理設備で生じる塩酸腐食対策として、新日本製鐵は新S-TEN1を開発した。従来材に代えて開発鋼をS-TEN1として販売している。販売初年で100社以上の需要家に5 000 t以上の需要があり、環境装置以外にも新しい特性を活かした用途がさらに拡がりつつある。本稿では、新S-TEN1の品質特性およびその特長について解説する。

2. 排煙処理装置の酸露点腐食

2.1 重油・石炭焚きボイラの場合(硫酸露点腐食)

火力発電所やごみ焼却プラントの排煙処理設備(煙道、空気予熱、煙突など)では、排ガス中の腐食性ガス成分の結露による露点腐食が生じる。重油・石炭焚きボイラーでは、燃料中のSが硫酸化物(SO_x)となり、ダクト内面の鋼板温度が酸露点(酸が結露する温度)を下回ると鋼板表面で硫酸凝結がおこる。凝結現象自身は排ガスから鋼板表面への熱と物質の流れの問題である。凝結反応の駆動力は排ガスと鋼板表面との間の温度差と濃度差である。一般に排ガス中にSO₃が1 ppmでも含まれると、硫酸露点は100 を超える。従って、実際の排煙処理設備で硫酸露点腐食を回避することは難しいので、S-TEN1等の耐硫酸性鋼が広く使われている。

2.2 ごみ焼却施設や再資源化プラントの場合(硫酸露点腐食、塩酸露点腐食)

図1に、ごみ焼却施設排煙系統で生じる硫酸/塩酸露点腐食の発生の説明図を示す。ごみ焼却施設の排ガス中には、SO_x(50~1000ppm)、HCl(100~数1 000ppm)および比較的多い水分(30~50%)が含まれている。排煙処理設備の鋼板表面温度が硫酸露点や塩酸露点より十分低い場合、硫酸や塩酸が生成する。

図1に示した排ガス条件のごみ焼却施設煙突内筒でダイオキシン対策改修工事後2年で、煙突内筒(S-TEN2鋼製)で激しい塩酸露点腐食が生じた。工事に伴い、排ガス温度が180 から130 に低温化し、煙突内筒の一部で激しい腐食(2年で板厚6 mmが貫通)が認められた。腐食が激しかったのは、構造上放熱しやすい水平支持板溶接部や環境測定プローブ挿入用ノズル周りであった。一方、その周囲は換算で約0.1mm/yの腐食速度でS-TEN2鋼は耐食的であった。

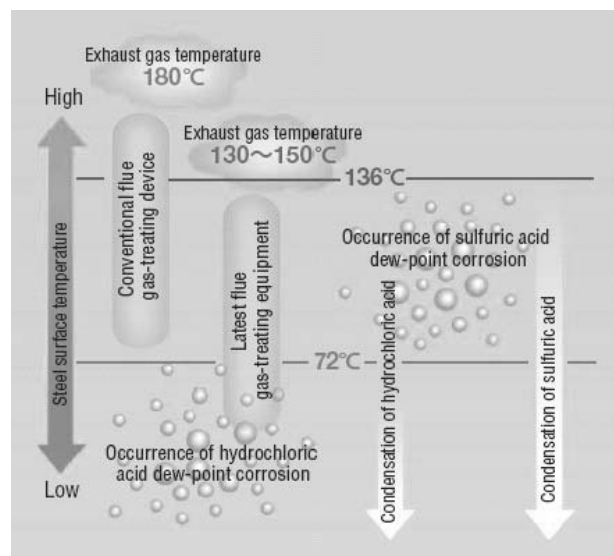


図1 ごみ焼却施設排煙系統で生じる硫酸/塩酸露点腐食の発生説明図
(排ガス成分 SO₃: 6ppm, HCl: 300ppm, H₂O: 30%のケース)
Schematic diagram of acid dew corrosion mechanisms (Flue gas: SO₃: 6ppm, HCl: 300ppm, H₂O: 30%)

図1に示すように、改修工事前は硫酸露点腐食だけ生じていたが、改修後は設備上鋼板温度が低温になる部分で、硫酸露点腐食に塩酸露点腐食が重畳して発生したものである。

内筒から試料を切り出し、腐食生成物が附着した状態の断面ミクロ組織を写真1に示す。腐食生成物層中には多量の可溶性の金属塩化物塩(CaCl₂等)を含み、地鉄/界面のpHは1.8の強酸性を示した¹⁰⁾。この結果は、塩酸が直接凝結しなくても、鋼板表面に附着した金属塩化物塩によって、地鉄界面の局所雰囲気は塩酸雰囲気になることを示している。このように、ごみ焼却施設など、燃焼物が塩化ビニルなどの塩化物(Cl)を含有する場合、排煙設備で生じる露点腐食は、硫酸露点腐食と塩酸露点腐食とを併発することが特徴といえる。

硫酸、塩酸による酸露点腐食が生じる環境では、従来の耐硫酸性鋼は硫酸露点腐食環境では総じて0.1~0.2mm/y程度の腐食速度で満足する耐食性を示すものの、塩酸露点腐食環境の場合、上記のように1~2 mm/yに達することもある課題があった。耐食性に優れたオーステナイト系ステンレス鋼の場合、高い塩化物イオン濃

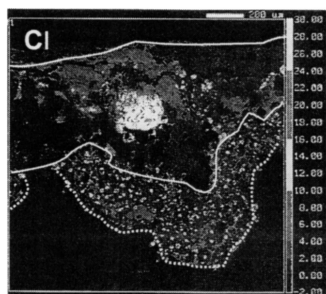
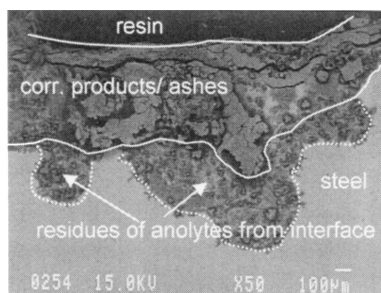


写真1 煙突内筒材断面のSEM像,CI分布像
SE-image of the corroded inner cylinder and distribution of chlorides

度、酸性雰囲気、温度も50～150 の条件では、すきま腐食や応力腐食割れの懸念が残るため適用の際には十分な注意が必要であることや、ダクトやケーシング用材料としては材料費、施工費が高くなる等の課題があった。それゆえ、耐硫酸露点腐食性ととも耐塩酸露点腐食性に優れた低合金耐食鋼の開発が強く待たれていた。

3. 新S-TEN1鋼板の品質特性

3.1 規格と製造可能寸法および特長

表2に、従来のS-TEN1と新S-TEN1の化学成分の代表例を示す。新S-TEN1は、従来S-TEN1鋼のCu-Sb系をベースとして、優れた耐塩酸性および耐硫酸性を両立させるために、耐食元素の複合微量添加技術を新たに採用するとともに、成分の最適化を図った。

表3に新S-TEN1の規格(品種, 化学成分および機械的性質)を示す。新S-TEN1の特長は以下の通りである。

1. 耐塩酸性を従来材から大幅に向上させた。
2. 耐硫酸性も従来材と同等以上を確保した。
3. 溶接材料も同時に開発し、溶接継手の耐塩酸性、耐硫酸性も母材並に大幅に改善した。
4. 従来材並みの優れた機械的特性、溶接性を確保した。
5. 従来材並みの幅広い鋼種を揃えた。
6. 店売り在庫品など従来材並みの容易な入手性を確保した。

本報では、鋼板および溶接継手の品質特性を中心に述べる。鋼管の品質特性は別の報告を参照されたい¹⁾。

3.2 物理的性質

表4に新S-TEN1の物理的性質を示す。比熱、熱伝導率、熱膨張係数は、SS400と同等レベルであり、SS400として装置を設計して差し支えない。

3.3 化学成分、ミクロ組織および機械的性質

写真2に新S-TEN1厚鋼板の代表的なミクロ組織を示す。表5に、常温での引張試験および曲げ試験結果を示す。靱性の規定は設けていないが、プラント向け溶接構造用低合金鋼として十分な靱性を有している。

表2 新S-TEN1の化学成分例
Chemical compositions of New S-TEN1 (mass%)

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Sb
Conventional S-TEN1	0.10	0.27	0.42	0.019	0.005	0.31	0.10
New S-TEN1	0.02	0.27	0.95	0.011	0.011	0.29	0.10

Other micro-elements may contain for purposes

表3 新S-TEN1の規格
Specifications of New S-TEN1

(1) Size range

Steel type	Thickness/size
Cold-rolled sheets	0.6mm or more to 2.3mm or under
Hot-rolled sheets and plates	1.6mm or more to 20mm or under
Electric resistance welded pipe and tubes	Wall thickness :1.8mm or more to 10.5mm or under
	Outside diameter :19mm or more to 114.3mm or under

(2) Chemical compositions (mass%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Sb
≤0.14	≤0.55	≤1.60	≤0.025	≤0.025	0.25/0.50	≤0.15

(3) Mechanical properties(sheets and plates)

Tension test			
Yield strength (N/mm ²)	Tensile strength (N/mm ²)	Elongation (%)	Test piece (JIS)
≥235	≥400	≥23	No.5

表4 新S-TEN1の物理的性質
Physical properties of New S-TEN1

Temp. ()	Youngs modulus (GPa)	Specific heat (J/kg · K)	Heat conductivity (W/m · K)	Coefficient of thermal expansion 20 T (× 10 ⁻⁶ /)
25	207.4	0.450	44.2	-
100	203.7	-	-	12.8
200	198.3	0.491	45.5	13.2
300	192.0	-	-	13.6
400	184.0	0.532	36.8	14.0

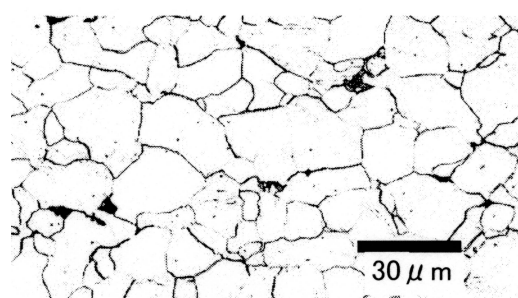


写真2 新S-TEN1の代表的な金属組織
Typical microstructure of New S-TEN1

表5 新S-TEN1の常温引張・曲げ試験結果
Results of tension test and bending test

Thickness (mm)	Tension test			Test piece	Bending test R=1.5t (t : thickness)
	Yield point (N/mm ²)	Tensile strength (N/mm ²)	Elongation (%)		
2.3	300	436	37		-
6	320	432	42	JIS	-
12	384	446	42	No.5	-
16	417	458	43		Good

4. 新S-TEN1鋼板の耐食性

4.1 硫酸露点腐食下での耐食性

供試材の化学成分を表6に示す。硫酸 - 水系の気液平衡条件下における新S-TEN1の腐食速度を図2に示す。従来のS-TEN1と同等以上の耐硫酸露点腐食性が示唆される。図2で最大値を示す試験条件(70, 50%硫酸)における各種鋼材の腐食試験結果を図3に示す。このような条件では、ステンレス鋼(SUS304やSUS316L)でも著しい腐食を生じるが、従来のS-TEN1および新S-TEN1は優れた耐食性を示している。また、石炭焼き火力発電所コングルトーム型空気予熱器低温端部ラジアルシールに取り付けたクーポン材の暴露試験結果を表7に示す。実験室試験および実際の硫酸露点腐食環境下で、新S-TEN1は従来材と同等以上の耐食性を示す。

4.2 塩酸腐食環境下での耐食性

図4に80における各種鉄鋼材料の10.5%および1%塩酸中浸漬試験結果を示す。新S-TEN1は従来のS-TEN1と比較すると特に1%塩酸中での耐塩酸性が大幅に向上していることがわかる。新S-TEN1とSUS系を比較すると、高温、高濃度ほど新S-TEN1がより優れていることがわかる。

前述したように、ごみ焼却施設などでは硫酸と塩酸または硫酸と金属塩化物塩による露点腐食が生じる。そこで、希硫酸(0.3N: 1.5mass%)中での腐食速度に及ぼすNaCl添加量の影響を調査した結果を図5に示す。希硫酸条件で塩化物イオンはいずれの鋼材に対しても腐食速度を抑制する作用を示す。新S-TEN1は、純粋な塩酸雰囲気だけでなく、“塩化物イオンを含む希硫酸環境”でも優れた耐食性を示すことがわかる。オーステナイト系ステンレス鋼は、塩化物イオンを含む腐食環境では応力腐食割れ(SCC)が懸念されるが、新S-TEN1は低合金フェライト系で全面腐食の形態を示す材料であり、SCCの心配がないこともプラント用鋼材として大きな特長の一つである。

表6 供試材の化学成分
Chemical compositions of test coupons

	(mass%)									
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Sb	Ti	
Carbon steel (JIS SS400)	0.15	0.14	0.70	0.010	0.010	-	-	-	-	-
Conventional S-TEN1	0.10	0.27	0.42	0.019	0.005	0.31	-	0.10	-	-
New S-TEN1	0.02	0.27	0.95	0.011	0.011	0.29	-	0.10	-	-

図6にコークス工場の集塵器ダクトでの暴露試験結果を示す。コークス原料となる石炭は、飛散防止のため海岸ヤードにて海水が散布されている。従って、この石炭の燃焼排ガス中にはSO_xに加えてHClや金属塩化物塩を相当量含む飛灰を含有するため、塩化物イオンを含む硫酸または塩酸環境と推定される。図6に示すように、新S-TEN1は、SS400や従来材と比較して塩化物イオンを含む硫酸・塩酸露点腐食環境で優れた耐食性を示すことが実証されている。

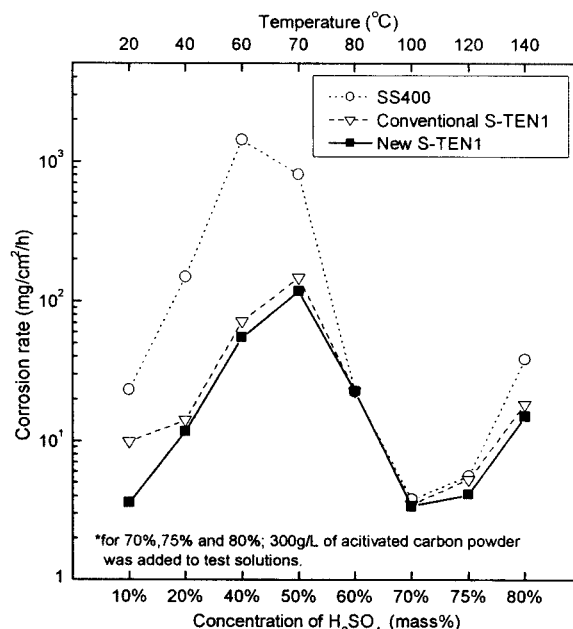


図2 新S-TEN1のSO₃-水系気液平衡条件下での腐食試験結果
Immersion test results under the SO₃-10%H₂O equilibrium state of sulfuric acid

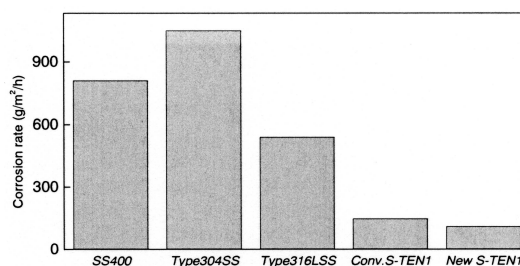


図3 各種材料の硫酸浸漬試験結果
Immersion test results under 50%H₂SO₄ at 70°C

表7 新S-TEN1の実機暴露試験結果
Results of field test in sulfuric acid dew point corrosion

Test location		Ljungstrom type air preheater at coal-fired power plant			
Coupon attachment		Radial seal at cold-end side			
Conditions	Flue gas temperature	130	Flue gas composition	SO _x	455ppm(dry)
	Inlet air temperature	30		H ₂ O	5vol%
	Dewpoint (estimate)	128		O ₂	3.6vol%
	Coupon temperature	not available		CO ₂	15.5vol%
Test duration		5 months (3.6kh)			
Results	Grade	Corrosion rate		Corrosion resistance	
	Conventional S-TEN1	0.12 mm/y		good	
	New S-TEN1	0.11 mm.y		good	

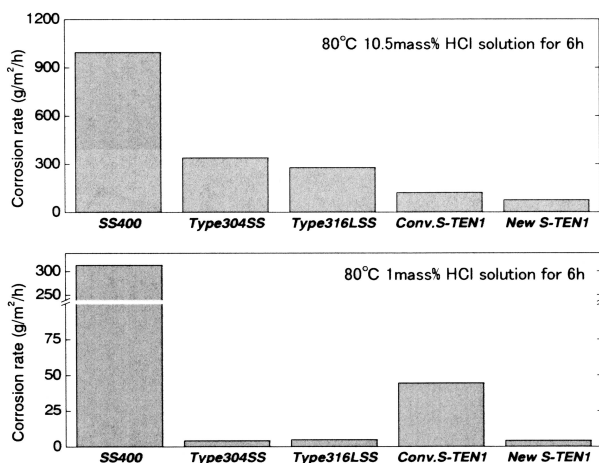


図4 各種鉄鋼材料の塩酸浸漬試験結果
Immersion test results under HCl solutions at 80 °C

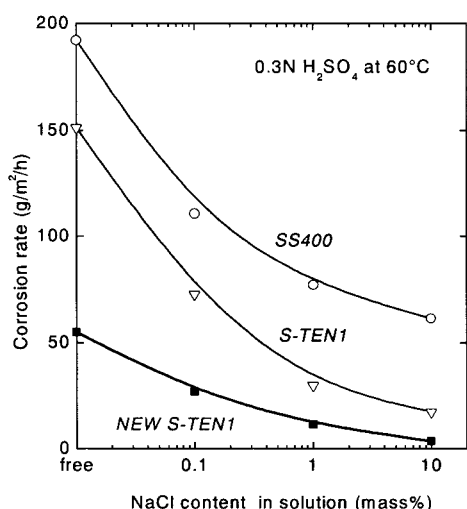


図5 新S-TEN1の希硫酸中腐食速度に及ぼすNaClの影響
Effect of chlorides on corrosion rate of New S-TEN1 in dilute H₂SO₄ solution

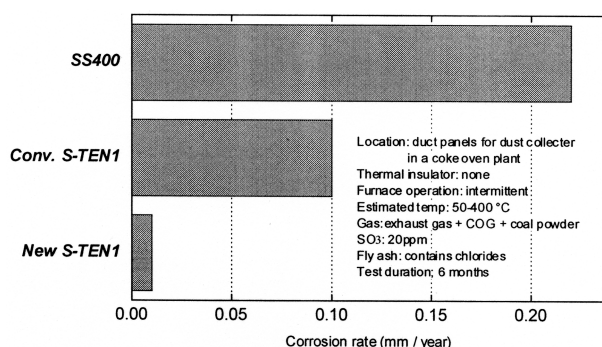


図6 塩化物イオンを含む硫酸露点腐食が生じるダクトパネルでの板厚減少量
Corrosion loss in thickness of duct panels at coke oven gas, where sulfuric acid dew corrosion involving chloride-containing ashes

5. 新S-TEN1の溶接材料

5.1 溶接材料¹²⁾

構造物全体として優れた耐久性、信頼性を得るためには鋼材だけでなく、溶接継手部の耐食性も十分に確保する必要がある。これまで、S-TEN1をはじめとした耐硫酸性鋼の溶接金属は母材に比較し

て、特に厳しい塩酸、硫酸の全浸漬環境において耐食性が劣っていた。そこで、“溶接継手の耐食性はイーブンマッチが理想”のコンセプトを出発点に、溶接金属の耐食性を鋼材(新S-TEN1)と同等以上まで高めた新しい溶接材料を日鐵住金溶接工業(株)と共同開発した。現在、被覆アーク溶接棒(製品名:ST-16M)とフラックス入りワイヤ(シームレスタイプ,製品名:SF-1ST)を日鐵住金溶接工業(株)が市販している。

表8に溶接材料の機械的特性(JIS Z 3111に準拠)を示す。表9に溶接金属の成分例を示す通り、新S-TEN1母材とほぼ同じ合金組成としている点が特徴である。新開発の溶接材料は、機械的特性、ビード外観、曲げ加工性共に良好である。なお、溶接施工性も従来材と同等以上を確保している。

5.2 溶接継手の耐食性

表9に示す各種溶接材料と鋼板を表10の溶接条件で表11の溶接継手を製作し、新開発溶接材料による溶接継手の耐食性を比較評価した。

(1) 耐硫酸性、耐塩酸性

40, 20%硫酸および80, 10.5%塩酸中浸漬試験後、試験片断面を写真3, 4に示す。新開発フラックス入りワイヤのSF-1STによる溶接継手は、硫酸、塩酸条件下で、従来溶接材料の継手(FC-1ST)で認められた溶接金属の選択腐食が解消されていることがわかる。

表8 溶接金属の機械的性質
Mechanical properties of welding materials

Welding material	Tension test			Charpy impact test
	Yield point (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Absorbed energy (J)
ST-16M	471	568	31	165 at 0
SF-1ST	581	640	27	71 at 0

表9 溶接金属の化学成分
Chemical compositions of welded metals with New S-TEN1 (mass%)

Welding material	C	Si	Mn	P	S	Cu	Sb
ST-16M	0.04	0.62	0.50	0.009	0.004	0.42	0.08
SF-1ST	0.05	0.60	1.41	0.012	0.013	0.39	0.10

表10 溶接条件
Welding conditions

Welding material	Diameter (mm)	Current (A)	Voltage (V)	Speed (mm/min)	Heat input (kJ/mm)	Shielding gas
SMAW	4.0	170	24	140	1.7	-
FCAW	1.2	280	30	300	1.7	CO ₂

表11 供試した溶接継手
Welding joints tested

Welding method	Welding material	Base metal	Remarks
Shield metal arc welding (SMAW)	ST-16M	New S-TEN1	New
	ST-16	Conv. S-TEN1	-
	S-16	Mild steel (JIS SS400)	-
Flux cored arc welding (FCAW)	SF-1ST	New S-TEN1	New
	FC-1ST	Conv. S-TEN1	-
	SF-1	Mild steel (JIS SS400)	-

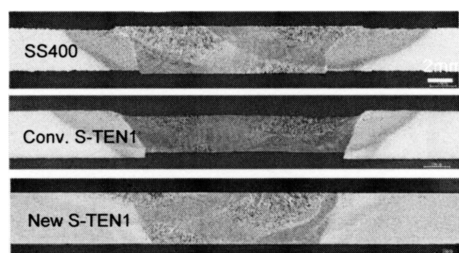


写真3 溶接継手部の塩酸腐食試験後の断面マクロ組織
Cross-section of welded joints after HCl immersion tests

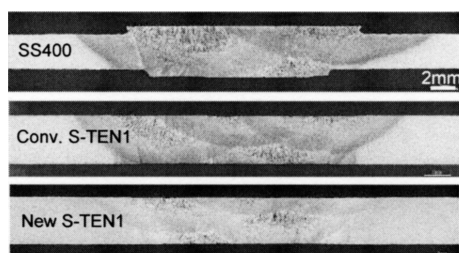


写真4 溶接継手部の硫酸腐食試験後の断面マクロ組織
Cross-section of welded joints after 20% H₂SO₄ immersion

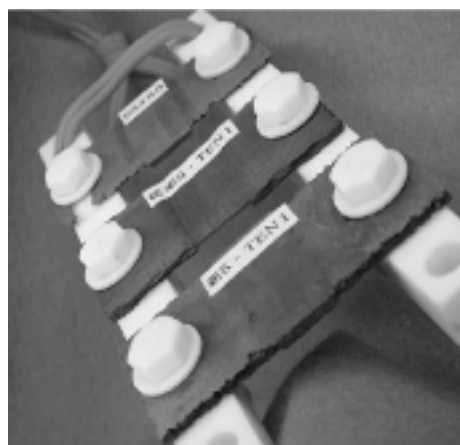


写真5 塩酸酸洗槽に4カ月浸漬された継手試験片の外観
Appearance of welded joints after 4 months immersion test in a HCl pickling pot

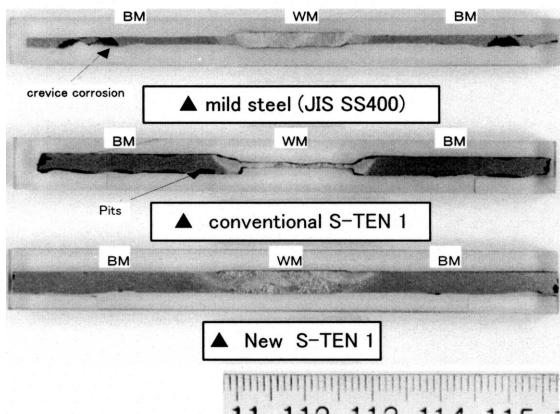


写真6 塩酸酸洗槽に4カ月浸漬された継手試験片の断面
Cross-section of welded joints after 4 months immersion test in HCl pickling pot

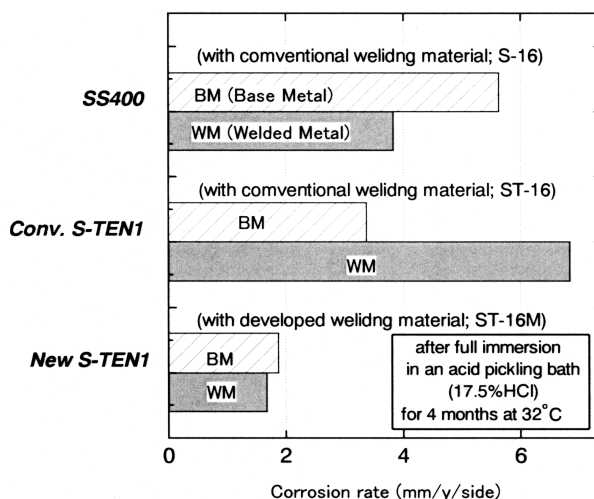


図7 溶接継手試験片の塩酸酸洗槽中浸漬試験結果
Corrosion loss in thickness of welded joints in acid pickling bath

(2) 溶融亜鉛めっき工場塩酸酸洗槽での耐食性

塩酸酸洗槽はゴムライニングした鋼製やFRP製が主であったが、最近では、経済性や維持管理の容易さからS-TEN1鋼製の裸使用が増えている。表10の溶接条件で作製した溶接継手を溶融亜鉛めっき工場の塩酸酸洗槽のヒーター加温部上で浸漬試験を実施した。試験片外観を写真5に示し、それらの断面を写真6に示す。また、溶接継手の板厚減少量を図7に示す。新S-TEN1と新開発溶接材料のST-16Mを組み合わせれば、従来の溶接継手で生じる溶接金属の選択腐食の問題はほぼ解消できることが確認されている。

6. 新S-TEN1の耐塩酸性発現機構

塩酸や硫酸などの非酸化性酸中では、一般に低合金鋼は活性溶解（不動態皮膜や保護性のさび層などの保護性皮膜をつくらずに溶解）する。図8に、1N塩酸中での交流インピーダンス応答を示す。いずれも明瞭な半円形を示し、活性溶解による放電反応律速であることがわかる。半円の直径は腐食反応抵抗に相当するが、新S-TEN1の半円はSS400よりも5倍以上大きいことから、新S-TEN1は活性溶解中での腐食反応速度が低いことがわかる。

図9に塩酸中の分極曲線の一例を示す。新S-TEN1ではアノード反応、カソード反応ともに抑制されていることがわかる。これまでの研究によれば、アノード活性溶解速度の抑制効果が特に強いこと

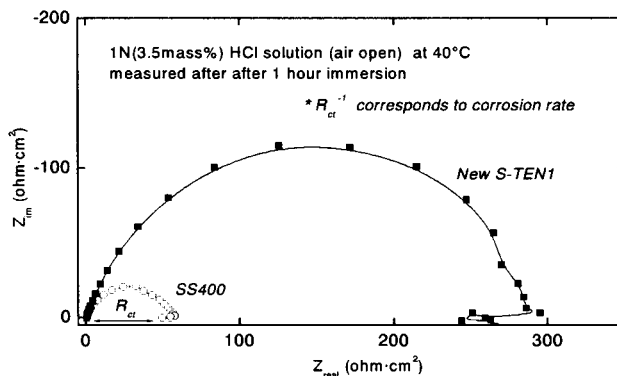


図8 新S-TEN1の1N塩酸中での交流インピーダンス応答
Cole-Cole plots of New S-TEN1 in 1N HCl solution by EIS

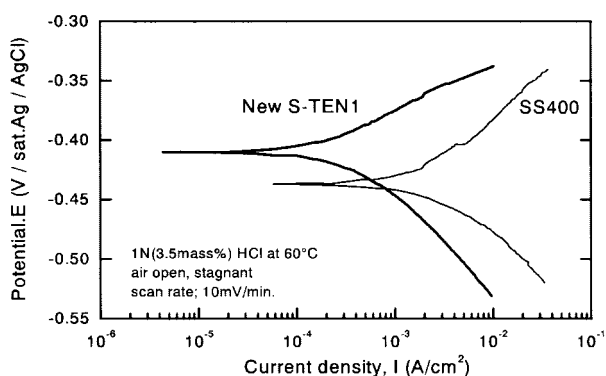


図9 塩酸中の新S-TEN1の分極曲線
Polarization curves of New S-TEN1 in HCl solution

がわかっている。ステンレス鋼や耐候性鋼では緻密な鉄さび(酸化皮膜)で優れた耐食性を発現させているのに対して、新S-TEN1では、酸化皮膜による防食作用ではなく、微量合金組成を使って地鉄の溶解反応を直接制御、抑制することで、優れた耐塩酸性を発現していると考えてよい。

7. 主な用途、まとめ

新S-TEN1は、塩化物イオンを含む酸に強い新たな特長を有するため、有望な用途範囲は従来の耐硫酸性鋼(硫酸だけの環境に強い)と比較すると一段と広がった。塩化物イオンを含む酸が発生する排煙処理設備や、硫酸や塩酸を貯蔵、輸送する機器などへの応用が進んでいる。特に再資源化・リサイクル分野での排煙処理設備では塩酸、塩化物による腐食事例が多く、さまざまな分野、プラントで適用が進みつつある。新S-TEN1は、省合金ながらも優れた耐塩酸性を有し、使い勝手、入手性はSS400並というユニークな耐食鋼であり、その優れた特性を活かした用途の広がりが期待されている。

参考文献

- 1) Moskovitz, P. D.: Ind. Eng. Chem. (51), 1305(1959)
- 2) Holmes, D. R.: Dewpoint Corrosion. England, Ellis Horwood Ltd. 1985
- 3) 志垣政信: 絵とき廃棄物の焼却技術 東京, オーム社, 1995 p. 56 p. 73
- 4) 新井紀男監修: 燃焼生成物の発生と抑制技術 (株)テクノシステム, 1997
- 5) 手塚英志 野口正, 宇佐見明: 火力原子力発電 (49), 991(1998)
- 6) 小若正倫: 金属の腐食損傷と防食技術 新版, 東京, アグネ承風社, 1995 p. 1375
- 7) 寺前章 門智, 乙黒靖男, 轟理一: 富士製鉄技報 (17), 103(1968)
- 8) 宇佐見明 野口正, 手塚英志, 西村哲, 楠隆: 新日鉄技報 (377), 9(2002)
- 9) 宇佐見明 ほか: 新日鉄技報 (365), 90(1997)
- 10) A. Usami, A., Saito, T.: 13th APCCC, Osaka, Japan, Paper No.G-13, 2003
- 11) 岡本潤一, 宇佐見明, 添野明雄, 三村裕幸, 石塚哲夫: 新日鉄技報 (380), 21(2004)
- 12) 児嶋一浩, 宇佐見明: 配管技術 46(4), 41(2004)