

LNG焚きボイラー煙突用耐食厚板(WELACC5)

Corrosion Resistance Steel Plate (WELACC5) for LNG Fired Smokestacks

伊藤 実 ⁽¹⁾ Minoru ITOU	宇佐見 明 ⁽²⁾ Akira USAMI	田辺 康児 ⁽³⁾ Kouji TANABE	都築 岳史 ⁽⁴⁾ Takeshi TUZUKI
富田 幸男 ⁽⁵⁾ Yukio TOMITA	江原 隆一郎 ⁽⁶⁾ Ryuichiro EBARA	近藤 浩 ⁽⁷⁾ Hiroshi KONDO	松本 益男 ⁽⁸⁾ Masuo MATSUMOTO
上野 静二 ⁽⁹⁾ Seiji UENO	加藤 武彦 ⁽¹⁰⁾ Takehiko KATO		

抄 録

従来の重油や石炭焚きに比べ環境にやさしいLNG焚きボイラーの煙突の長期間メンテナンスフリーを可能とした耐食厚板WELACC5を開発した。本開発鋼は5%Crの添加による腐食抑制とCu, Niの複合添加による耐さび飛散性向上とを特徴としている。LNG焚きボイラーの煙突環境における開発鋼の腐食速度は0.0007mm/yで、普通鋼に比較し著しく小さい。機械的性質、加工性、溶接性及び溶接継手性能ともに普通鋼と同等であり、煙突用厚板として十分な性能を有することを工場試作材の各種性能評価で確認した。

Abstract

WELACC5, a new corrosion resistance steel for LNG fired smokestack, which can be used in a funnel environment of LNG-firing boiler with bare treatment and which is maintenance free over long periods of time has been developed. The developed steel has high corrosion resistance because it contains 5% of Cr and resists the spreading of rust because of the combined effect of Cu and Ni. The corrosion rate of the developed steel in the LNG funnel environment is 0.0007mm/y, remarkably small compared with ordinary steel. The mechanical properties, workability, weldability and weld-joint properties of the developed steel are the same as those of ordinary steel. Therefore, it is confirmed that WELACC5 easily performs as the steel plate for LNG fired smokestacks.

1. 緒 言

環境汚染問題の克服は人類が21世紀を快適に過ごすための重要課題の一つである。電力会社においても燃料の多様化施策に加え、このような環境問題に対応するために従来の重油や石炭焚きの代わりとして、排ガスにSO_x, NO_xをほとんど含まないLNG(液化天然ガス)等のガス焚きの火力発電設備の建設が進められている。

重油や石炭焚きの場合燃料中にSが含まれており、燃焼中にSO₂やSO₃が生成する。煙道や煙突においてボイラーの起動及び停止状態では、壁面温度が低いために燃焼ガス中のSO₃が水分と反応して硫酸が生じ、硫酸腐食が起こる。一方、LNG焚きの場合では、Sをほとんど含まないため硫酸露点腐食は生じないが、ガス中に含まれる水分のため結露による水腐食が生じる。筒身をこれらの腐食から保護するために、内面には無機系、有機系及び金属系のライニングが施されている。しかし、吹付けキャストブルライニングでは表面劣化による飛散、脱落が生じる。また、ブロックライニングでは腐

食、熱影響によるスポーリング飛散が生じる。これは筒身煙突周辺に環境汚染にもつながる。

このため劣化に応じて6、7年毎のメンテナンスが必要となり、相当な費用と補修を要し、更にプラントの操業停止による多大の損失を被ることにもなる¹⁾。また、耐硫酸鋼のような耐食鋼では、起動、停止の頻度が高いか、あるいは長期間停止の場合には錆片が飛散することがあり、これも環境汚染につながる²⁾。

このことからLNG焚きボイラーの煙突(以下LNG煙突)用材料としてライニングが不要で、かつ錆片の飛散がほとんどない新耐食鋼が強く求められていた。そこで新日本製鐵では、LNG煙突環境において低腐食速度で、密着性の優れたさび層を形成する低合金鋼を開発すれば経済性と環境面の両方を満足できると考え、三菱重工業、東京電力の協力を得て、LNG煙突の腐食環境でライニングを省略でき、長期間メンテナンスフリーが可能で、ステンレス鋼またはステンレスクラッド鋼より経済性に優れたLNG煙突用新耐食厚

*⁽¹⁾ 鉄鋼研究所 鋼材第二研究部 研究員
千葉県富津市新富20-1 ☎293-8511 ☎(0439)80-2862

*⁽²⁾ 鉄鋼研究所 鋼材第二研究部 主任研究員

*⁽³⁾ (株)日鉄テクノリサーチ 研究開発部 技術主管

*⁽⁴⁾ 名古屋製鉄所 厚板工場 マネージャー

*⁽⁵⁾ 鉄鋼研究所 鋼材第二研究部 主幹研究員 工博

*⁽⁶⁾ 香川大学 工学部材料創造工学科 教授

*⁽⁷⁾ 三菱重工業(株) 広島製作所 鉄構技術部 次長

*⁽⁸⁾ 東京電力(株) 建設部 電源建築グループマネージャー 部長

*⁽⁹⁾ 東京電力(株) 常陸那珂火力建設所 煙突建築グループマネージャー 課長

*⁽¹⁰⁾ 東電設計(株) 品質保証部 部特命事項担当職 部長

板(WELL Anti-Corrosion steel containing Cr 5% with WEL-dability for advanced Combined Cycle以下WELACC5)を開発した。

本報では、WELACC5の開発経緯及び各種性能についてその概要を報告する。開発の進め方としては、まず実機煙突の腐食環境調査に基づき、合金の設計及びシミュレーション腐食試験法の開発を行った。そしてこれら試験により鋼材の耐食性やさびの性状に及ぼす合金組成の影響を明らかにし適正基本成分系を導出した。また実機曝露試験により性能を確認した。更に開発鋼を工場試作し、製造性及び各種利用加工特性について確性した。

2. LNG煙突の腐食環境

LNG焚きボイラーの煙突入口における排ガス温度は、定常運転時で373~383K、異常時で408K程度である。排ガスの代表的な組成は、 H_2O : 6~10vol%, CO_2 : 3vol%, O_2 : 14vol%, N_2 : 73~77vol%といわれている。LNG焚きの場合石油、石炭焚きの場合と異なり燃料中にSを含まないために硫酸凝結を生じず、燃焼排ガス中の水蒸気の結露に起因した腐食、いわゆる水腐食となる。煙突内面の温度は、DSS(Daily Start and Stop)運転等による起動・停止時に水露点以下となり、凝縮水になっていると考えられる。

一例についてLNG煙突内面付着物の水溶性イオン及びドレインの化学分析を行った結果、ともに硫酸イオンを主体としてpH3.6~4.4の弱酸性であった。また NH_4^+ 、 Cl^- が認められた。 NH_4^+ はおそらく脱硝装置からのものと思われる。 Cl^- が検出される理由としては排ガス中の極微量成分あるいは空気中の海塩粒子などが考えられるが、詳細は不明である。その他の腐食因子として、燃焼中の硫黄化合物(メルカプタン)、不完全燃焼時に生じるホルムアルデヒド、ギ酸、 NO_2 などが考えられるが、本腐食調査例では検出されなかった。

これらの調査から、LNG煙突の腐食環境は燃焼排ガス成分や付着物を溶解した弱酸性凝縮水による腐食で、他の一般的な腐食環境の中では大気腐食環境に比較的近いといえよう。

3. 合金設計の考え方

腐食環境調査の結果、LNG煙突環境では排ガス中の CO_2 が溶解した水溶液による乾湿繰り返し腐食が支配的であると予想されたことから、まず、 CO_2 腐食での耐食性向上元素としてよく知られているCrを主要合金元素として選定した。また、最終的な腐食形態が局部腐食とはならず全面腐食となるように3~9%Crに絞った。更に耐さび飛散性の観点からさびの密着性向上を期待してCu, Ni, Moの添加を検討することにした。

4. シミュレーション腐食試験による基本成分系の研究

4.1 供試材

供試材は上述の考えを基に表1に示す化学組成の低合金鋼とした。100kg真空溶解で溶製、1150°C加熱で60mm厚さに粗圧延したものを、3分割後、更に1150°Cに再加熱し、熱間圧延により板厚6mmに仕上げた。なお、腐食試験には市販のSM400B(板厚6mm)、SUS304、SUS316L(板厚3mm)も比較鋼(表1)として供した。

試験片は、乾湿繰り返し CO_2 ガス腐食試験には幅15mm、長さ

表1 実験室小型溶解鋼の化学組成(mass%)

鋼種	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
3Cr	0.030	0.21	0.48	0.006	0.001	—	—	3.03	—
5Cr	0.032	0.19	0.50	0.001	0.001	—	—	5.04	—
7Cr	0.030	0.20	0.49	0.005	0.001	—	—	6.97	—
9Cr	0.028	0.21	0.49	0.005	0.001	—	—	8.56	—
3Cr-0.5Mo	0.030	0.20	0.49	0.001	0.001	—	—	2.99	0.52
5Cr-0.5Mo	0.030	0.20	0.50	0.005	0.001	—	—	5.11	0.52
5Cr-1.5Ni	0.030	0.20	0.49	0.001	0.001	—	1.48	4.93	—
5Cr-0.3Cu-0.3Ni	0.029	0.20	0.51	0.001	0.001	0.34	0.30	5.02	—
SM400B	0.120	0.19	0.85	0.013	0.009	0.01	0.02	—	—
SUS 304	0.060	0.48	0.86	0.028	0.007	—	8.65	18.26	—
SUS 316L	0.020	0.48	0.85	0.026	0.001	—	12.21	17.35	2.18

30mm、厚さ3mmを用い(板厚6mmの供試材は板厚中央から採取し、板厚3mmの供試材は板厚のままを用いた)、間欠浸漬腐食試験及び模擬付着灰中浸漬試験には20mm×120mm×3mm厚を用いた(板厚6mmの供試材は板厚中央から採取し、板厚3mmの供試材は板厚のままを用いた)。表面は湿式#600番まで研磨した。

4.2 腐食試験法

4.2.1 考え方

耐食性の検討に際して、LNG煙突の腐食過程を、(a)起動、停止時と(b)定常運転時との二つの過程に分けた。過程(a)はボイラーの起動、停止に伴う乾燥、湿潤の繰り返し腐食過程となり、過程(b)は運転条件などで温度が比較的低い場合、付着物と鋼板表面との間に少量の水分が存在した条件での腐食過程となり得る。過程(a)については、乾湿繰り返し CO_2 ガス腐食試験及び間欠浸漬腐食試験を実施した。また過程(b)については模擬付着灰中浸漬試験を実施した³⁾。以下にこれらのシミュレーション試験方法について説明する。

4.2.2 乾湿繰り返し CO_2 ガス腐食試験

図1(a)に示す乾湿繰り返しガス腐食試験装置を用い、実機煙突の稼働条件を考慮して328Kから373Kまでの温度範囲で昇温、保持、冷却を組み合わせたパターン(図1(b))を1サイクル(計5.5h)とし、最長1000h(約181サイクル)まで実施した。

4.2.3 間欠浸漬腐食試験

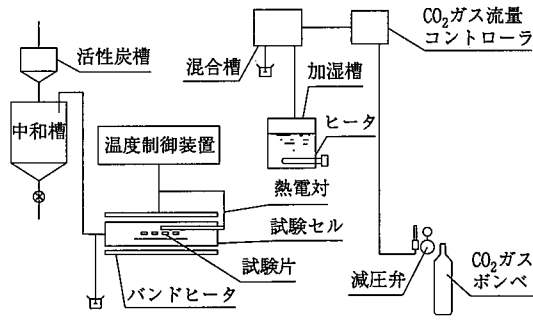
付着灰及びドレインの分析結果に基づき所定の組成に調節したシミュレーション水溶液への浸漬、引き上げ、乾燥を行った。シミュレーション水溶液には、 $(NH_4)_2SO_4$ 、 Na_2SO_4 、NaClを各々440ppm、140ppm、40ppm溶解した蒸留水を希硫酸でpH4.0に調節したものをを用いた。浸漬2min、乾燥58minを1サイクル(計1h)とし、最長236h(236サイクル)まで実施した。

4.2.4 模擬付着灰中浸漬試験

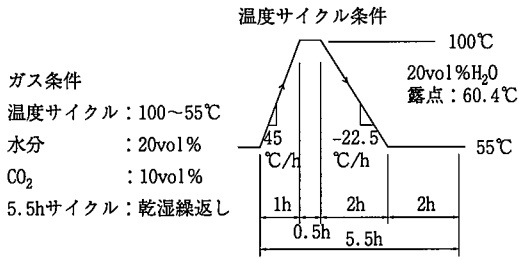
$(NH_4)_2SO_4$: 0.8g当量、 Na_2SO_4 : 0.2g当量、NaCl : 0.002g当量、水分量 : 40mass%からなる模擬付着灰中に板状試験片を十分埋没させ、353K、相対湿度70%の恒温恒湿環境に1か月間保持した。なお、水分の蒸発、凝結に伴う模擬付着灰の大きな比重変化は認められず、模擬付着灰中の水分は試験期間内ではほぼ一定であると考えられる。

4.2.5 さび性状の調査方法

煙突内筒に低合金鋼を無被覆で使用する場合、腐食生成物の特性としては、生成量が少ないこと、密着性が良いこと、鋼板表面に均



(a) 試験装置



(b) 試験条件

図1 乾湿繰返しCO₂ガス腐食試験方法の概要

一に生成することが望ましい。

そこで、腐食試験片後の試験片のさび性状について調査し、さび性状に及ぼす合金組成の影響を検討した。供試材は、間欠浸漬腐食試験236サイクル後の試験片を用い、(1)付着さび重量測定による錆の生成量の評価、(2)テープ剥離試験によるさびの密着性の評価(さびた試験片表面に粘着テープを貼り、はがした後にテープに付着した錆を“剥離さび”、はがれずに試験片表面に固着していた錆を“密着さび”と定義して各々の重量を測定し、密着性を評価)、(3)さびた鋼板表面の実体顕微鏡観察による比較的剥離しやすいさびの生成状況の評価、(4)さび層、地鉄断面観察によるさび層生成の均一性の評価、(5)さび粒子のTEM観察によるさび層構成粒子の緻密さの評価、(6)さび層、地鉄断面のEPMA元素分析を行った。

4.3 実験結果及び考察

4.3.1 腐食速度に及ぼす化学成分の影響

図2に乾湿繰返しCO₂ガス腐食試験における鋼の腐食速度に及ぼすCr添加量の影響を示す。この結果から、Cr添加が耐食性向上に極めて有効であることは明らかである。しかも5%のCr添加で耐食性を効果的に確保できることが分かる。またSUS304、SUS316L

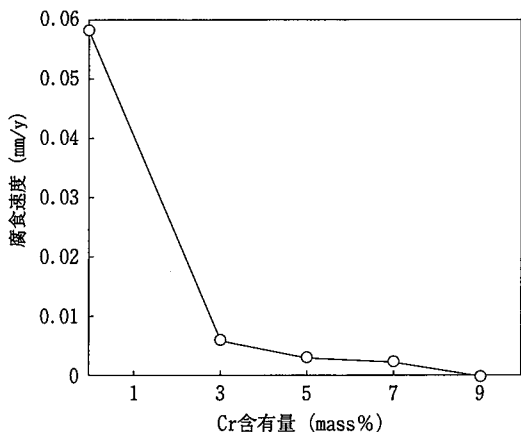


図2 腐食速度に及ぼすCr含有量の影響 (乾湿繰返しCO₂ガス腐食試験248h)

はいずれの試験条件でも腐食減量はほとんど認められなかった。これらの結果と同様に間欠浸漬腐食試験及び模擬付着灰中浸漬試験でも5%のCr添加で耐食性が向上する結果が得られた。

図3に乾湿繰返しCO₂ガス腐食試験における各種供試鋼の腐食速度の比較を示す。5%Cr鋼へのNi、Moの単独添加及びCu、Niの複合添加によって腐食速度が2割ほど低減した。間欠浸漬腐食試験及び模擬付着灰中浸漬試験では、Ni、Moの単独添加及びCu、Niの複合添加で有意な腐食速度の低減は認められず、5%Cr単独添加鋼(5Cr鋼)とほとんど同等であった。

以上の結果から、5Cr鋼へのNi、Moの単独添加及びCu、Niの複合添加は腐食条件によっては耐食性を改善する作用があり、耐食性を阻害することはないと結論された。

4.3.2 さびの性状

図4にさび量(剥離さびの重量と密着さびの重量との和)に及ぼすCr量の影響を示す。さび総量はCr添加量によって支配的に決まり、腐食減量と良い対応を示した。さびた鋼板表面の実体顕微鏡観察では、SM400B鋼では粗大、粒状、剥離性の浮き錆が表面を被覆し、Cr添加量の増加に従って粒状、剥離性の浮き錆の生成が抑制さ

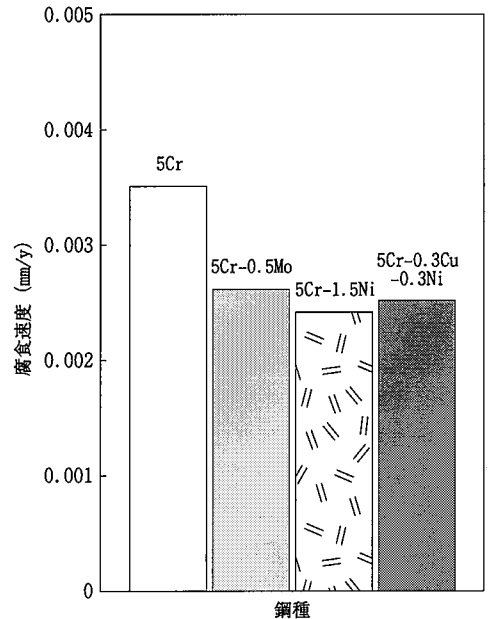


図3 5Cr鋼の腐食速度に及ぼす合金元素の影響 (乾湿繰返しCO₂ガス腐食試験1000h)

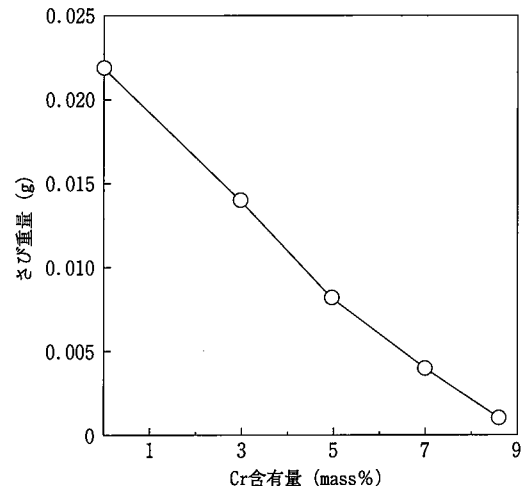


図4 さび量に及ぼすCr含有量の影響(間欠浸漬腐食試験236h)

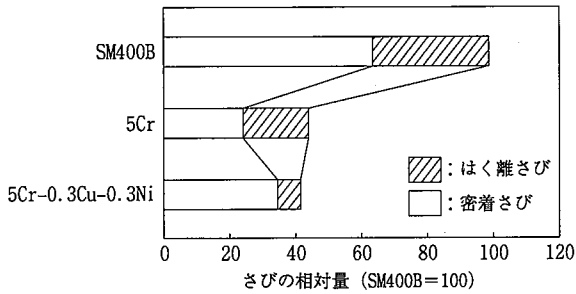


図5 さび量に及ぼす合金元素の影響(間欠浸漬腐食試験236h)

ることが判明した。更に5Cr鋼で、Cu、Ni、Moを種々添加した試験片では5Cr単独添加鋼よりも更に粒状剥離性の浮きさびが減少していた。

図5にSM400B、5Cr鋼及び5Cr-0.3Cu-0.3Ni鋼のさび密着性評価結果を示す。5Cr鋼と5Cr-0.3Cu-0.3Ni鋼とを比較するとさび総量は同程度であるが、Cu-Ni複合添加では密着性さびの割合が増加し、剥離さびが減少する傾向となった。また、5Cr-0.3Cu-0.3Ni鋼で認められたさびの密着性向上と同様の傾向が5Cr-1.5Ni及び5Cr-0.5Mo鋼でも認められた。

地鉄、さび層断面の光学顕微鏡観察³⁾では、SM400Bではさび層の厚さが不均一で局所的に100 μ m以上あり、粒状の剥離さびが認められた。さび層の厚さは3%以上のCr添加鋼では10~30 μ mと薄く均一であった。Cu、Ni、Moを各々微量添加した5Cr鋼ではCr単独添加鋼に比較してさび層の厚さが更に均一となり、密着性が良好なさびの形成が確認された。

さび粒子のTEM観察³⁾では、生成したさびは鉄オキシ水酸化物のコロイド凝縮体からなり、針状・結晶化が進んだ粗大粒子と微細な粒子で構成されていた。SM400Bでは1 μ m以上の粗大粒子が多いが、5Cr鋼では粗大粒子の生成が減少していた。5Cr-0.3Cu-0.3Ni鋼では5Cr鋼に比較して更に粗大で針状の粒子の生成が抑制されていた。この傾向は5Cr-0.5Mo鋼でも認められた。

さび層、地鉄断面のEPMA観察³⁾によれば、5Cr鋼ではさび層中にCrが母材濃度以上に一様に濃縮し、Cu-Ni、Ni、Moを各々添加した5Cr鋼ではCrの濃縮ほど高い濃度ではないが、Cu、Ni、Moがさび中に含まれていた。

以上の結果から、Cr添加鋼は腐食速度を抑制することでさび生成量を低減し、Ni、Moの単独添加及びCu-Niの複合添加はCu、Ni、MoがFe及びCrとともにさび中に溶解し、さび粒子の成長過程において個々のさび粒子の粗大化、結晶化を抑制することによりさびの密着性、均一性を向上させ、剥離さびを減少させるものと推定された。

4.4 基本成分系の決定

耐食性に及ぼすCrの影響を調査した結果から、5%Cr添加を基本とし、耐食性の更なる向上とさびの密着性向上を図る上で経済性も考慮し、5Cr-0.3Cu-0.3Ni系がLNG煙突用鋼として目的にかなった新耐食鋼として最適と判断した。

5. 開発鋼の特性評価

5.1 工場試作条件

上記、実験室検討により確立した5Cr-0.3Cu-0.3Ni新耐食鋼を工場試作した。表2に試作鋼の化学組成を示す。工場試作では、転炉出鋼、二次精錬、鋳造、スラブ精整、再加熱、厚板圧延、熱処理の

表2 工場試作したWELACC5の化学組成(mass%)

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	T-Al	
仕様値	最小値	—	—	0.30	—	—	0.15	0.15	4.00	—
	最大値	0.09	0.50	0.60	0.030	0.50	0.50	6.00	—	—
レール成分	0.03	0.20	0.50	0.006	0.004	0.28	0.34	4.89	0.033	

表3 WELACC5母材の引張試験結果

板厚(mm)	試験片種類	試験数	試験方向	0.1%耐力(MPa)	降伏点又は耐力*(MPa)	引張強さ(MPa)	伸び(%)
4.5	JIS 5号	3	圧延	330	336	478	37
			直角	328	337	480	37
			方向	328	340	482	38
12	JIS 1A号	3	圧延	307	311	463	28
			直角	310	311	463	29
			方向	311	315	464	26
21	JIS 1A号	3	圧延	285	297	475	29
			直角	294	303	478	26
			方向	297	325	484	23
30	JIS 1A号	3	圧延	247	262	459	32
			直角	248	268	462	32
			方向	249	268	461	32

*0.2%耐力

プロセスにより、板厚4.5、12、21、30mmの厚板を試作し、各種特性評価を行った。

5.2 母材特性

表3に母材の引張試験結果を示す。各板厚ともに400MPa級の溶接構造材料鋼として十分な強度を示している。また、実機煙突の製造を想定し、板厚12mmの鋼板を用い、3000tプレスによる端曲げ(曲げ加重150t、回数9回)及びベンディングロールによる本体曲げ試験(曲げ変位10~20mm、10回)を実施した。その結果、いずれの試験でも曲げR及び直線度ともに良好であった。曲げ精度、トータル曲げ時間ともに普通鋼及びステンレスクラッド鋼と同等で問題はなかった。また切断性についてもプラズマ切断及びガス切断について試験した結果、120mA、直切り、切断速度1600mm/minの条件で良好なプラズマ切断性が確認された。更に、ガス切断も十分に可能であることが分かった。

5.3 溶接性

まず、本開発鋼の板厚範囲を4.5~30mmとし、溶接部の強度がSM400Aと同等で、かつ予熱、後熱なしで低温割れのないことを前提として溶接材料を検討し、オーステナイト系のSUS309を選定した。

オーステナイト系溶接材料を使用する場合、異材溶接となるので、溶接金属での高温割れおよびマルテンサイトによる脆化、割れが懸念される。この点に関しては新耐食鋼の組成及び溶接材料の組成を基にシェフラーの状態図などで検討した結果、被覆アーク溶接(SMAW)、フラックス入りワイヤアーク溶接(FCAW)の場合、希釈率が30%未満であることからマルテンサイトが生成することはなく、従って低温割れの可能性は小さく、更に δ フェライトが数%生成するので高温割れの懸念も小さいものと推定された。溶接条件を表4に示す。

溶接割れ感受性については、斜めy型拘束溶接割れ試験を行い、新耐食鋼とオーステナイト系溶接材料の組み合わせで予熱なしでも割れは発生せず、溶接性に問題はないことが分かった。また、継手

表4 WELACC5の溶接条件

溶接方法	溶接材料	電流(A)	電圧(V)	速度(cm/min)	入熱(kJ/cm)	層数	シールドガス	層間温度(K)
SMAW	309type 3.2mmφ	100	24	200	7.2	15	—	≤423
FCAW	309type 1.2mmφ	220	28	300	12.3	6	80%Ar +20%CO ₂	≤423

SMAW：被覆アーク溶接
FCAW：フラックス入りワイヤアーク溶接

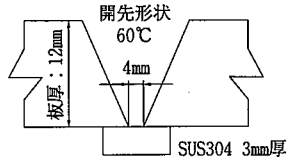


表5 WELACC5溶接継手の引張試験結果

板厚	溶接方法	試験片の種類	試験片の数	引張強さ(MPa)	破断位置
12mm	SMAW	JIS No.1 GL=30	2	499 494	母材
		JIS No.1A GL=68	2	480 484	母材
	FCAW	JIS No.1 GL=30	2	508 503	母材
		JIS No.1A GL=68	2	483 485	母材

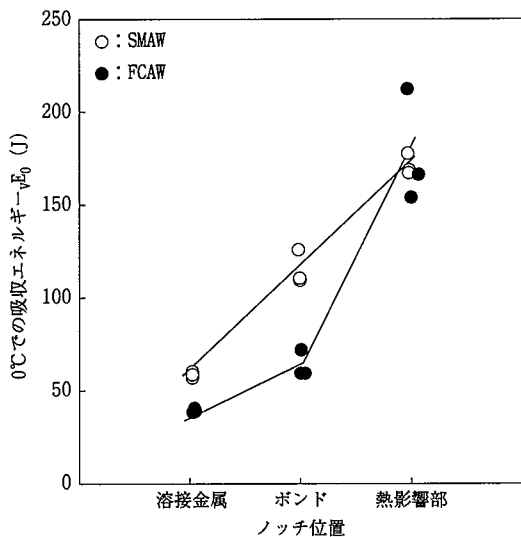


図6 WELACC5溶接継手の2mmVノッチシャルピー衝撃試験結果

特性に関しても、引張、靱性、曲げ性ともSM400Bと同等以上であることが確認された。引張試験結果を表5に、2mmVノッチシャルピー衝撃試験結果を図6に示す。

6. 実機曝露試験

LNG焚き実機煙突のダクト部に新耐食鋼を5760h曝露した結果を図7に示す。5Cr-0.3Cu-0.3Ni系の新耐食鋼の腐食速度は0.0007mm/yでSM400Bの1/3程度であり、実機煙突環境中でも優れた耐食性を示すことが確認された。新耐食鋼の試験片表面には茶褐色の腐食生成物がわずかに生成していた。腐食生成物のX線回折を行った結果、 $(NH_4)_3H(SO_3)_2$ 、 $(NH_4)_2SO_4$ が同定された。こ

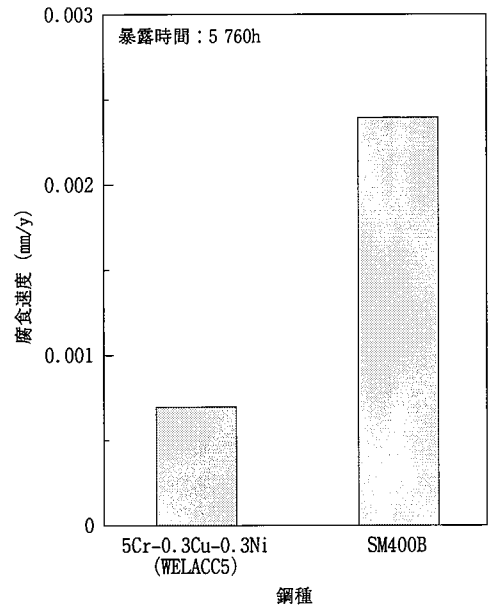


図7 実機LNG焚き煙突環境におけるWELACC5の曝露試験結果

これらの化合物は付着物で、LNG焚き実機煙突付着物からも同定されている。また、溶接継手の試験片も同じ場所で曝露試験を行っている。8640h経過後の試験片を評価した結果、溶接部、溶接熱影響部及び母材で局部腐食が生じていないことが確認された。

さびの飛散性については現時点では全く問題はなかった。但し、曝露期間が5760hと短くさびがほとんど生成していなかったため新耐食鋼の耐さび飛散性については、より長期の曝露試験結果に基づいた評価が必要であると考えられる。

7. 結言

長期間のメンテナンスフリーを可能とするLNG煙突用新耐食厚板WELACC5を開発した。WELACC5は、煙突環境での耐食性向上のためにCrを5%添加し、耐食性の一層の向上及びさびの密着性向上(耐さび飛散性)のために更にCu、Niを微量複合添加し、機械的性質及び溶接性をSM400B並に確保すべく成分、製造プロセスを調整した厚板である。

実機LNG煙突環境中の曝露試験結果によれば、WELACC5の腐食速度は0.0007mm/yと小さく、耐食性及び耐さび飛散性共に良好である。また、機械的性質はSM400B並であり、溶接継手性能に関しても、オーステナイト系溶接材料を使用することにより溶接施工性、耐割れ性、溶接継手強度・靱性及び耐食性のいずれも予熱なしで全く問題がない。更に、煙突製作、加工工程でも各種特性を評価し、実用上十分な加工性を有していることが確認された。

WELACC5は1997年度より実機煙突に約3300tが適用され、新たに約1600tの適用が予定されている。経済性のほか環境面からも優れていることから、今後もLNG焚きボイラー煙突用に更に多くの適用が期待される。

参考文献

- 1) 阿部倫夫：火力原子力発電。46, 600(1995)
- 2) 腐食防食協会：第19回技術セミナー資料。1999
- 3) 宇佐見明 ほか：新日鉄技報。(365), 37(1997)