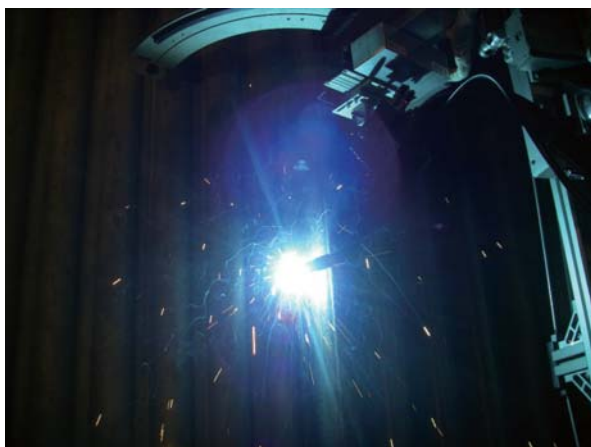


ボイラ水管肉盛溶接による長寿命化

Technology to Extend the Life of Boiler Tubes by Overlay Welding



基 吉 夫 Yoshio Motoi ①
 遠 山 一 廣 Kazuhiro Toyama ①
 中 谷 光 良 Mitsuyoshi Nakatani ②

あ ら ま し

当社は、ごみ焼却用ボイラ水管の腐食・減肉防止対策として、ボイラ水管肉盛溶接技術の開発を進めてきた。近年のごみ焼却ボイラは高温・高圧化の傾向にあり、過酷な腐食環境にあるため、長寿命化およびメンテナンス期間の短縮を目的として肉盛溶接施工法に取り組んだ。

燃焼室伝熱管および接触伝熱管群を対象として、低希釈の溶接方法を採用し直接オーステナイト系ステンレス鋼を溶接可能な肉盛溶接装置を開発した。さらに必要な範囲だけを施工することで、工期の短縮を図っている。

本技術開発の結果、従来のNi基合金と遜色がない耐食性を有するボイラ水管肉盛溶接が可能となった。本稿はボイラ水管肉盛溶接技術の開発成果について報告する。

Abstract

We have developed technologies to prevent water tubes in boilers from being eaten away by corrosion during waste incineration. Our welding technology has promoted the development of water tube boiler cladding using an overlay welding machine to deal with the harsh and corrosive environment in high-temperature and high-pressure waste incineration. Our approach extends the life of water tubes in boilers and reduces maintenance time.

The machine we developed can weld austenitic stainless steel directly onto boiler heat exchanger tubes in the combustion chamber and it can be used for contact heat exchanger tubes as well because the welds have a low dilution rate. In addition, the construction time has been reduced by welding only in the areas where corrosion prevention is needed. This system is able to supply water tube boilers with a corrosion resistance that compares favorably with conventional Ni-based alloys.

This paper reports on the development of overlay welding of water tubes in boilers.

1. 緒 言

当社は、都市ごみ焼却施設の建設からアフターサービスおよび施設運営までの総合環境事業を展開している。1965年に我が国初の全連続式ごみ発電焼却施設を大阪市西淀工場に納入以来、国内に188施設の納入実績となっている。

この間、ごみ焼却用ボイラの蒸気条件は2MPaの飽和蒸気から、現在は都市ごみ焼却施設での高効率発電を主眼においた過熱蒸気条件として4MPa×400℃が主流となってきている。

一方、ごみ焼却用ボイラの整備については、経済産業省の規制緩和が進み、隔年整備と自主点検整備の組み合わせとなり、施設側の自主管理に移行してきている。

この様な背景から、都市ごみ焼却用ボイラの耐久性向上による長寿命化ならびにメンテナンス期間の短縮化が求められている。

本報では、ごみ焼却用ボイラの耐久性向上技術として開発した「ごみ焼却用ボイラ水管肉盛溶接技術」について紹介する。

2. ごみ焼却用ボイラの概要

2.1 概要 図1に、当社ストーカ式都市ごみ焼

① Hitz日立造船(株) エンジニアリング本部 ソリューション設計部

② Hitz日立造船(株) 事業・製品開発本部 博士(工学), 大阪大学接合科学研究所 特任准教授

却施設の概略図を示す。ストーカ式都市ごみ焼却施設の燃焼装置は、機能別に乾燥火格子、燃焼火格子、後燃焼火格子により構成される。ごみクレーンにより投入されたごみは、給じん装置により炉内に供給される。炉内に供給されたごみは、乾燥火格子上で解きほぐされ、十分乾燥させた後に燃焼火格子へと送られる。燃焼火格子上で可燃分が燃焼し、後段の後燃焼火格子上で固定炭素残留分の燃焼を完結させて灰出し設備へと移送される。ごみ焼却用ボイラは、ストーカ上部に設置され高温のごみ燃焼排ガスを所定の温度まで冷却させる目的のものである。

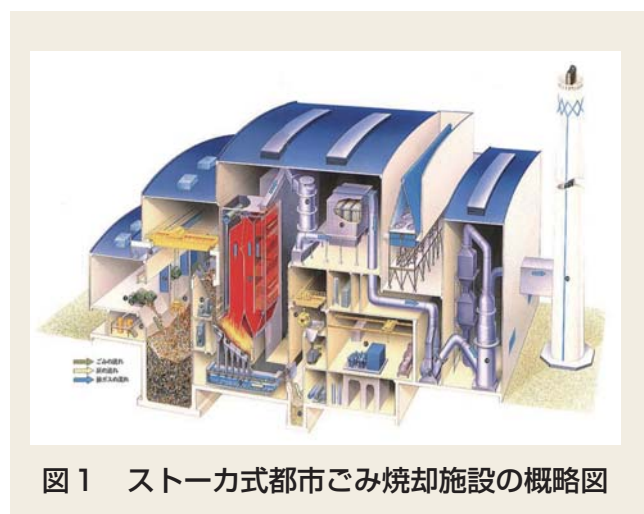


図1 ストーカ式都市ごみ焼却施設の概略図

2.2 整備状況 当社のごみ焼却用ボイラ関係でのメンテナンス量をまとめると、図2のようになる。部位別の整備割合として燃焼室伝熱管と接触伝熱管群部で8割を超えており、その対策が必要であることが分かる。ボイラ圧力部の整備状況として、燃焼室伝熱管については高温腐食対応、接触伝熱管群部についてはスートブロワによるエロージョン・コロージョン対応が主なものとなる。なお、圧力部の整備状況の内、突発的な整備割合が約30%程度見られることから整備費用の平準化も大きな課題となっている。

以上のことから、ごみ焼却用ボイラ水管の耐久性が向上すれば、ボイラメンテナンス費用の軽減およびメンテナンス施工期間の短縮が図れることになる。さらに、施設運営に係わるL.C.C. (ライフサイクルコスト) 低減が可能となることから、減肉対策技術の確立が望まれていた。

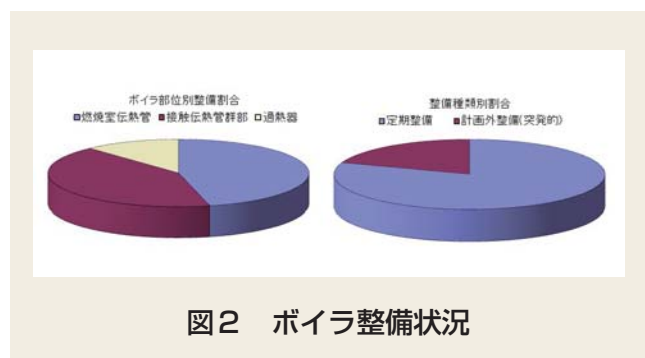


図2 ボイラ整備状況

2.3 減肉状況

(1) **燃焼室伝熱管** 燃焼室伝熱管の腐食は、図3中で丸印に示す部位で主に発生している。この部分は、排ガス温度が900℃以上の高温域にあることに加え、ごみ燃焼特有の塩化水素や硫黄酸化物を含む排ガスによって、高温腐食が大幅に増加する。

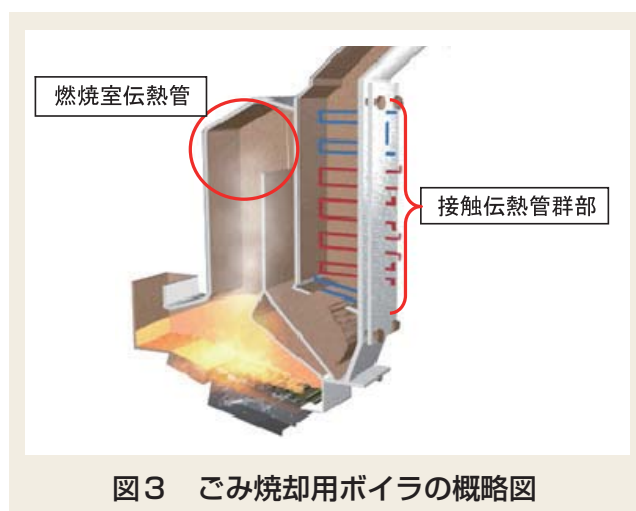


図3 ごみ焼却用ボイラの概略図

近年の都市ごみ焼却施設では、高効率ごみ発電の推進による低空気比運転によって燃焼室内が高温化傾向にある。またボイラ高温・高圧化により伝熱管表面温度は上昇傾向となっている。このため燃焼室伝熱管の腐食環境は更に厳しくなる傾向にある。

(2) **接触伝熱管群部** ごみ焼却用ボイラでは、ごみの燃焼により多量の飛灰が発生し接触伝熱管群部へ付着成長するため、スートブロワにより定期的に灰の除去を行う必要がある。

当社のごみ焼却用ボイラでは、主として図4に示す蒸気式のスートブロワを採用している。この装置作動時の問題点として、ドレンカットが挙げられる。ドレンカットとは、腐食環境部においてスートブロワ蒸気に同伴する水や燃焼ガス中に多量に含まれる飛灰によって、引き起こされるエロージョン・コロージョンを指す。



図4 スートブロワ噴霧テスト状況

2.4 現状の対策

(1) 燃烧室伝熱管 燃烧室伝熱管に対しては、高温における耐食性能を向上させるために、現在までに幾つかの対策が試みられた。

初期には、伝熱管表面に熱吸収量の調整および水管減肉防止を目的に、不定形耐火材を施工した。この方法は、ごみ低位発熱量の上昇にともなう減肉の防止対策として幅広く採用された。しかし、本工法の問題点として、熱吸収量が低下することに起因して、高温腐食域が下流側へ移行していく欠点があった。

昭和60年代からは、耐食金属の溶射が採用され始めた。溶射は、前述の耐火材に比べ伝熱管表面に耐食性金属を薄く緻密に付着させるため、熱吸収量には変化が起こらない。しかしながら、溶射皮膜中に非常に小さな気孔が存在するために長期運転後に、ガス浸透により溶射皮膜が剥離する問題があった。この気孔はフュージング処理により減ずることができるが、この処理では熱を加えるため伝熱管が大きく歪むことから多くは採用されなかった。

(2) 接触伝熱管群部 接触伝熱管群部のドレンカット対策として、これまで多用されてきたのが、図5に示すようなステンレス管で伝熱管を挟み込む構造としたものである。この場合、伝熱管とステンレス管が完全に密着しないため、すきまが断熱層となりステンレス管がガス温度まで上昇してしまう。このため、ステンレス管に高温腐食が発生し、耐用年数が短いという問題があった。

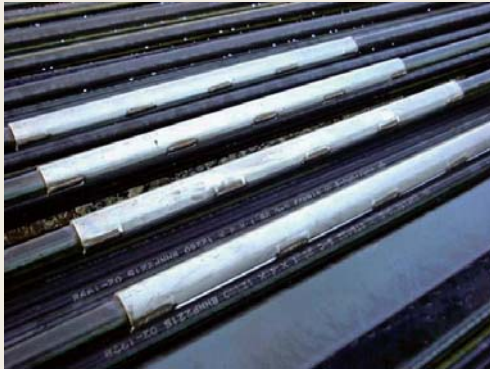


図5 二分割ステンレス管によるドレンカット対策



図6 肉盛溶接によるドレンカット対策

そこで、ステンレス管を用いた二重管の欠点を補うため図6に示す接触伝熱管を肉盛溶接する対策を実施した。この結果、接触伝熱管に要求される性能（耐摩耗性・高温耐食性）を満足した。当初の肉盛溶接の材質は、Ni基ベースで高価であるため、より普及するには材料コストの低減が課題であった。

3. 水管肉盛溶接技術の開発

3.1 肉盛材料の選定 接触伝熱管群部への肉盛溶接材料として、Ni-Cr-Mo系もしくはNi基合金を採用した。しかし、耐食性能は優秀であるが、非常に高価であったため、ごみ焼却用ボイラの保護に適用し普及するにはコスト削減の要望があった。そこで、燃烧室伝熱管および接触伝熱管群部の肉盛溶接材料として、オーステナイト系ステンレス鋼が適用可能かを検討した。

(1) 高温耐食試験 高温耐食試験は、ごみ焼却用ボイラの実機灰を使用し、実環境を想定したガス雰囲気中で温度350℃試験時間100時間の条件で実施した。

図7のテスト結果から分かるように、オーステナイト系ステンレス鋼でも年間減肉量が0.03mm/年以下で十分な耐食性があることが確認された。

したがって、オーステナイト系ステンレス鋼に変更しても、ごみ焼却用ボイラ蒸発管の環境では、十分な耐食性を有していると判断できる。

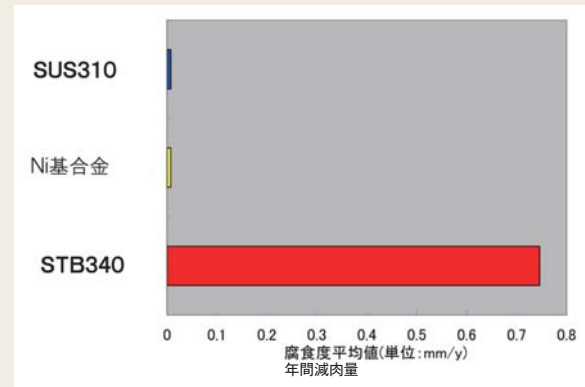


図7 高温腐食試験

(2) 硬さ試験 耐摩耗性の確認を行うために、溶接部横断面のビッカース硬さ試験を実施した。その結果、使用環境での硬さについては材料間で大きな差は無く、20～30%の範囲内におさまっていた。

3.2 低希釈溶接施工法の開発 肉盛溶接では、溶着金属が母材に溶込むため、溶接金属の元素成分は溶込んだ母材により希釈され、もとの元素成分よりも組成比率が低下する。この低下する度合いを希釈率で表現している。通常、希釈率は、MIG溶接で10～30%程度、プラズマアーク溶接で10～15%程度希釈である⁽¹⁾。希釈率を低くできれば、溶接材料の成分のままの状態を保つことが可能となる。特にCr成

分を高くでき耐食性の向上が期待できる。また、完全オーステナイト凝固するSUS310材でも希釈率を低くすることで、凝固割れを防止することができると考えられる。

そこで、ワイヤ送給を制御するデジタルMIG溶接電源を採用した。ワイヤを溶融させるだけの溶接条件を選定することで、**図8**のように希釈率をほぼゼロで肉盛溶接を行なうことが出来た。



図8 肉盛溶接断面

3.3 自動溶接装置の開発

(1) 燃焼室伝熱管 **図7**に示す高温腐食試験結果からNi-Cr-Mo系材料と低級材であるオーステナイト系ステンレス鋼で耐食性において差が無いことが分かったので、この2鋼種ともに施工可能な溶接技術を開発した。Ni-Cr-Mo系材料に比べて材料の粘性が高く、電気抵抗値が低いオーステナイト系ステンレス鋼では、溶接電流・電圧の条件はNi-Cr-Mo系材料の場合と同じとしたが溶接速度は遅くなった。

さらに、施工速度を上げるため、溶接順序、パス割を見直した施工条件を確立するとともに、現地および工場で肉盛溶接施工可能な自動溶接装置を開発した。具体的には、水管1本を全自動で仕上げるようにしたため、狙い位置を1パス毎に変更するので、装置の移動距離が短くなった。この結果、トータルの施工時間が短縮できた。

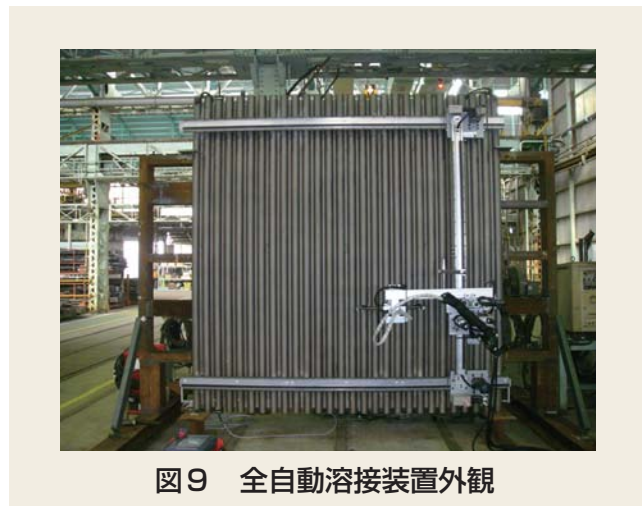


図9 全自動溶接装置外観

肉盛溶接によるボイラへの応力状態を確認するため、小パネルを用いた実験および解析を実施した。肉盛溶接時のパネル温度履歴ならびに歪量を測定するとともに、FEMによる熱弾塑性解析を行った。この結果から、実工事ではボイラに損傷を及ぼさない施工範囲を決定している。

さらに、近畿地区のごみ焼却用ボイラにおいて、開発した自動肉盛溶接装置の適用試験を実施した。本肉盛溶接装置は、新規ボイラ製作および既設ボイラにも適用可能な構造としている。現地での適用試験の結果、新規に製造するボイラ製作工場とほぼ同等の速さと品質で施工できた。肉盛溶接施工後、浸透深傷試験にて表面欠陥を確認した結果、欠陥なく施工できていることを確認した。



図10 現地施工後の肉盛外観

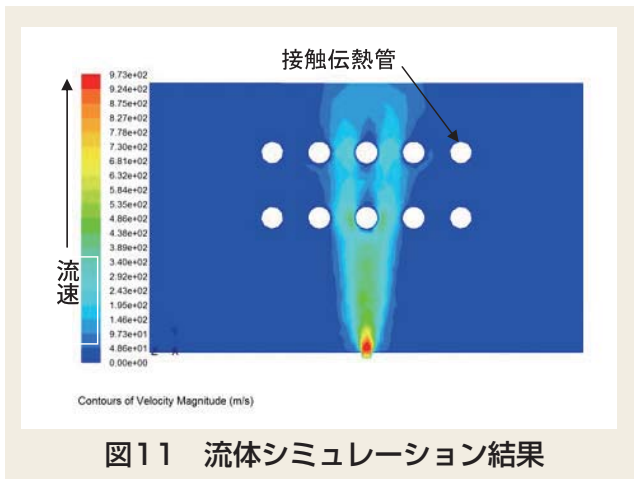
(2) 接触伝熱管群部 接触伝熱管には、当初Ni-Cr-Mo系材料を全周肉盛溶接した肉盛管を適用した。本開発では、蒸気の影響を受ける範囲を詳細に調査するとともに、シミュレーションによりプロテクトが必要な範囲を検討した。

図11に流体シミュレーション結果の一例を示す。図から分かるように、伝熱管の下半分における流速が高くなっている。この結果は実際にエロージョンにより減肉が大きい範囲（衝突角が低い伝熱管下半分）と一致している。また、一般に衝突角が低いとエロージョン速度が高くなると言われている⁽²⁾。

そこで、プロテクトが必要な範囲を下側180°以上の範囲とした。さらに、専用の溶接装置を開発し、パス割、施工条件を工夫することで、生産性を向上させている。

部分肉盛溶接の品質確認として、「浸透深傷試験」「マクロ・ミクロ組織観察」「拡管・扁平・曲げ試験」「硬さ試験」を実施し、全周溶接の肉盛管と性能的に遜色が無いことを確認した。

現在、近畿地区のごみ焼却用ボイラの接触伝熱管群部に取り付け、長期の耐用を確認中である。プロテクター設置状況を、**図12**に示す。



4. 結 言

ごみ焼却施設での高効率発電を目的として高温・高圧化の傾向にあり、過酷な環境にあるごみ焼却用ボイラの長寿命化、メンテナンス期間短縮を目指して、肉盛溶接施工法を開発した。

得られた成果を以下に示す。

- ① 燃焼室伝熱管および接触伝熱管群を対象とした肉盛溶接装置を開発した。
- ② 低希釈の溶接方法を採用し、直接オーステナイト系ステンレス鋼を肉盛溶接施工可能となった。
- ③ 肉盛施工範囲を最小限にする方法を開発し、工期の短縮、コストダウンを図った。

本開発成果は、今後建設されるごみ焼却用ボイラや既設ボイラの長寿命化に寄与していくものと考えている。

ごみ焼却用ボイラを取り巻く環境は、ここ数年で大きく変化してきている。CO₂削減のため発電主体の高温・高圧化対応、基幹的改良による施設延命化とボイラ伝熱管の新たな防食技術が要望されている。ごみ焼却ボイラの耐用向上とL.C.C.低減に対して、今回の開発は十分な成果が得られたと判断する。

最後に、本開発を行うに当たり多大なご協力をいただきました(株)アイメックス ボイラ統括部の皆様にご礼を申し上げます。

参考文献

- (1) 溶接・接合便覧, 溶接学会(丸善) 2003, p656
- (2) 清水一道, 野口徹:エロージョン磨耗における衝突粒子の諸因子の影響, 日本機械学会論文集(A編) 2003, 69巻683号

【文責者連絡先】

Hitz日立造船(株) エンジニアリング本部
ソリューション設計部
基 吉夫
Tel : 06-6569-0108 Fax : 06-6569-0218
e-mail : motoi@hitachizosen.co.jp

Hitachi Zosen Corporation
Engineering Headquarters
Environmental Solutions Design &
Engineering Department
Yoshio Motoi
Tel : +81-6-6569-0108 Fax : +81-6-6569-0218
e-mail : motoi@hitachizosen.co.jp



基 吉 夫



遠 山 一 廣



中 谷 光 良