④ ボイラ製作における最新溶接技術*

鴨 和 彦**

The Latest Welding Technique for Boiler Manufacturing*

by Kazuhiko KAMO**

キーワード：ボイラ，火力発電プラント，自動溶接，溶接ロボット，センサ

1. 概 要

我が国の電力需要は平成 19 年度まで約 2.0%の需要の伸びが想定されており，発電設備に対する設備投資も確実に延びるものと予想される。その中で電力事業を取り巻く環境も変化しつつあり，その中でも大きな問題の1つが地球環境問題であり，もう一つが規制緩和である。

前者は CO₂排出量を削減すべく，原子力等を含めたエネルギー源の配分を再考させるとともに，発電量の約 60%を占める火力発電プラントに対して更なる発電効率の向上を求められている¹⁾。また，ゴミも一種の資源であり，サーマルリサイクルのために積極的に発電に活用するとともに，ダイオキシンの排出量を抑制しようとする動きが出ている。

後者は IPP 制度により電力価格に競争原理を導入した。これにより，新規発電設備の建設費や既設発電設備の維持費のより一層の低減が求められるようになっていく。また，国内に門戸を開くだけでなく，国外製品に対する非関税障害を取り除きグローバル化するため，発電設備の設計・製造・検査に関する規格に ASME Code (American Society of Mechanical Engineer) を国内規格に大幅に取り入れようとする動きにあり，「発電用火力発電設備に関する技術基準」の平成 9 年 6 月の技術基準の解釈に ASME 規格材料の内約 180 種の材料が新たに使用可能となっている²⁾。

2. 製品 の 動 向

石油危機以来，新たな火力発電プラントには可採埋蔵

量が天然ガスの 3 倍以上ある石炭を燃料とした石炭炊きプラントの導入が積極的に進められている。このため，石炭火力発電プラントにおける CO₂排出量をより少なくするために，効率向上に対する様々な技術開発が進められている。従来のコンベンショナルな石炭火力発電プラントでは，図 1 に示すように発電効率向上のために蒸気条件のますますの高温，高圧化 (USC: Ultra Super Critical Steam Condition) が進められている³⁾。しかし，蒸気条件の高温高圧化による高能率化は高温高強度材料の面で限界があり，経済性を保ちつつ発電効率を更に向上させるためには，蒸気タービンによる発電方式に加え，他の発電方式を組合わせた複合発電方式として，加圧流動床複合発電プラント (PFBC: Pressurized Fluidizer Bed Combustion) が商品化されるとともに，石炭ガス化複合発電技術の開発が進められている⁴⁾。

サーマルリサイクルとしてごみ発電を推進するにあたり，ごみ発電プラントを増やすと共に現状の 8-15%か

図 1 火力プラントの蒸気条件の変遷

*原稿受付 平成 11 年 9 月 8 日

**正 員 三菱重工業(株) Member, Mitsubishi Heavy Industries, LTD.

ら20～30%に発電効率を向上させるために高温高压化、ガスタービンとの併用などの改良がなされている。また、小規模自治体の廃棄物を予め形成・固形化し、一箇所に集約して大規模発電を行わせることでダイオキシンの排出量を減らすことが可能な RDF (Refuse Derived Fuel) 発電システムが実用化に入ろうとしている⁵⁾。

3. 材料・溶接材料の動向

火力発電プラントに使用される材料に対する要求は大きく分類すれば以下の3項目に大別できる。

- ① USC化に対応した高温材料
- ② 材料費低減が可能な薄肉高強度材料
- ③ ゴミ炊き等の高温塩素腐食性の優れた材料

第1項の高温化対応材料に関して、ボイラのタービン側に近い高温蒸気にさらされる配管及び管寄せには Mod. 9Cr 鋼 (ASME SA213T91 火 STBA28 9Cr-1Mo V-Nb) が用いられてきた。しかし、この材料では USC 蒸気温度でのクリープ強度が不足するため、USC プラントで用いる場合は極端な厚肉材が必要であった。そこで、同じ 9Cr 系もしくは 12Cr 系の合金元素である Mo の一部を W に置き換えた高温材料が開発され、すでに実プラントに採用されている⁶⁾。

第2項の件に関しては、高温蒸気にさらされない部材ではあるが従来よりも強度を高め、薄肉化を可能にすることで材料費低減を目指した材料である。石炭火力発電プラントの汽水分離器や分離タンクにおいても材料の高強度化の動きがあり、従来用いられてきたマンガンモリブデンニッケル鋼である SBV2 の合金成分を見直した SBV2-Mod.が開発され、すでに実プラントに採用されている⁷⁾。

第3項の件に関する材料に対する最大の課題は、過熱器管における腐食損傷の防止である。この腐食に対する耐性を向上させるには材料の高 Cr+Ni が有効であり、通常の火力発電プラントで過熱器管に使われる SUS347 に比べて Cr, Ni 量の高い SUS310 や場合によっては Ni 基合金が用いられる⁸⁾。

材料が高温化や高強度化されると同時に母材と同等の性能を有した溶接材料も開発されてきている。例えば、9Cr や 12Cr 等の高 Cr 材に対し、自動溶接の主溶接工法である GMAW 用溶接材料では硬いスラグの発生が溶接作業性を妨げているため、シールドガス及びワイヤ成分の改善が続けられている⁹⁾。

4. 溶接工法の動向

火力発電プラントが高温・高压化し、かつ複合発電形式や燃料に廃棄物を使うという多様化傾向が製品と材料に認められるほどには、プラントを製造する際に用いる溶接工法にはドラスチックな変更は認められていない。しかし、建設費の低減要求や、アジアや東欧の人件費の安い国のメーカーとのコスト競争を維持し、溶接士の高齢

化と若手溶接士の不足に伴う生産性の低下を防ぐためにも、溶接の自動化や無監視化が推進されている。この項では火力発電プラントを構成する機器における最新の溶接工法を紹介する。

(1) 火炉壁及び熱交換器

ボイラの燃焼する容器は火炉壁と呼ばれ、内面に冷却用の水を流すために小口径のチューブ材とチューブ間を接合するフィン材で構成されている。また、火炉壁の内部には低温側から節炭器管、過熱器管及び再熱器管と呼ばれる小口径のチューブ材で構成される熱交換器が配置されている。これら熱交換器は、同一形状のブロックが数多くあるため、早くから溶接作業の自動化が積極的に進められた箇所でもある。

過熱器管を構成するチューブ材は長尺が必要であり、また過熱器管の途中で蒸気温度が上昇した場合 Cr-Mo 系の材料からステンレス鋼に材質をグレードアップする場合もあり、必ず数本をつないで用いる。この周溶接に対し、チューブ材を回転させて安定した溶接品質が得やすい下向き姿勢の GTAW 法が用いられる場合が多い。また、溶接線の数も多いことから、図2に示すようにチューブ材の搬入搬出をロボット化し、開先ならいによるアーク狙い位置の自動調整、溶接条件のマイコン制御及びタングステン電極の自動交換機能を付加した自動溶接装置で完全な無人溶接を実施している事例がある¹⁰⁾。

また、チューブ材とフィン材を交互に並べてパネル化された火炉壁管には数多くの付着金物を取り付けられる。従来、金物の取り付け位置がさまざまであるために溶接の自動化が遅れていた分野であった。しかし、図3に示すように CAD データを活用したオフラインティーチング溶接ロボットを採用することで、金物位置を接触センサで確認し、予熱と1～2層のすみ肉溶接の自動化を行うシステムが実用化されている¹¹⁾。

(2) 管寄せ・配管

管寄せ及び配管を回転させ、安定した溶接品質が得やすい下向き姿勢の周継手は、早くから SAW, GMAW もしくは狭開先 GMAW により自動溶接が採用されてきた。しかし、GMAW では安定した初層ビードを得

図2 下向き直管無人溶接装置

図3 火炉壁付着金物ロボット溶接装置

図4 揺動オシレート式 GTAW 溶接装置

にくく、初層は GTAW で施工する、かつ GMAW では溶接線の周長に対し溶接速度が早い無入化・無監視化しにくいという短所があった。これらの短所をカバーするためにホットワイヤを用いた狭開先 GTAW による無監視溶接システムが増加している。図4にタングステン電極を斜めに取り付けたトーチ軸をモータで往復回転(揺動)させるオシレート方式を用いた溶接システムを示す。この溶接システムは、ホットワイヤで高溶着量化を図った場合でも開先側壁での融合不良を防ぎ、かつオシレートの両端でのアーク電圧を検知することで開先ならい制御ができる。この溶接システムを管寄せの周溶接に適用し、2箇所同時の無監視溶接が実施されている¹²⁾。また、図5に示すように、溶接トーチ周辺に視覚センサとワイヤ加熱電流検出器を配置し、開先位置、ワイヤ左

図5 周継手用マルチヘッド狭開先 GTA 溶接システム

右位置及びワイヤ上下位置を検出し制御する機能を付加した狭開先 GTAW 溶接装置が、5電極を同時に溶接施工する溶接システムに適用されている¹³⁾。

一方工場溶接の一部及び現地では配管を回転できない場合があり、下向き姿勢ではなく全姿勢溶接で施工する必要がある。この溶接に対し、図6のように通電チップに斜めに明けた穴からワイヤを突き出し、反復回転させるオシレート方式による GMAW が開発されている。

反復回転する動きを下向き、立向き上進、上向き及び水平姿勢にそれぞれ最適化することで、融合不良のない溶接施工が可能となっている¹⁴⁾。また、GMAW では溶接作業性に問題が残っている 9Cr 系鋼等の配管の全姿勢溶接を対象に図7に示すように溶接トーチの両側から溶接ワイヤを添加し、スイッチング方式のワイヤ加熱電流を付加して高能率化を図った狭開先 GTAW が開発され、現在ではその他低合金鋼を含めた配管周溶接の全姿勢及び水平溶接に適用されている¹⁵⁾。

(3) ドラム・気水分離器

屈曲ワイヤ式狭開先 GMAW に対し、図8に示すような視覚センサを用いて開先ならい制御及び開先幅変動に対応した溶接条件制御技術が開発され、ドラムの鏡の周溶接を2箇所同時に無監視で施工している¹⁶⁾。

5. ま と め

火力発電プラントにおける発電方式は、社会の影響を

図6 反復回転オシレート式全姿勢狭開先 GMA 溶接法

(a) 工場内全姿勢溶接
(主蒸気管：9Cr 鋼，φ410mm)

(b) 現地横向き溶接
(主給水管：炭素鋼，φ450mm)

図7 HS TIG 溶接法による配管全姿勢溶接

受け多様化しつつある。一方それを支える溶接技術は、高能率化及び無監視・無人溶接技術が従来より継続して開発が押し進められている。特に後者の技術は研究段階から出て実用化に到るシステムも見られるようになり、溶接士の脱技能化を進めていく上で大きな役割を果たすと思われる。

参 考 文 献

- 1) 佐川：これからの電力産業の動向，配管技術，Vol. 40, No. 11 (1998)，1-5
- 2) 小泉：発電用火力設備に関する外国規格の取り入れ，配管技術，Vol. 40, No. 14 (1998)，1-4
- 3) 村松：超々臨界圧発電プラントの技術開発，配管技術，Vol. 40, No. 11 (1998)，86-97
- 4) 徳田，橋本，藤岡，金子：石炭の高度利用発電技術の進展，三菱重工技報，Vol. 35, No. 6 (1998)，378-379
- 5) 中川，小杉，斉藤，原：高能率ごみ発電プラントの開発，石川島播磨技報，Vol. 38, No. 6 (1998)，353-356
- 6) 梶谷，安藤，木原：超高压高温ボイラ及び加熱流動層ボイラの材料選定と実用化，石川島播磨技報，Vol. 38 No. 3 (1998)，147-153
- 7) 馬木，山本：ボイラ及び压力容器用 SBV62 鋼板の開発と実用化，石川島播磨技報，Vol. 38, No. 3 (1998)，166-171
- 8) 山本，名取，山崎，大塚ほか：ごみ発電用 30Cr-40Ni-1Mo (HR11N) 高腐食鋼管の開発，住友金属，Vol. 47 (1995)，No. 7，63-70
- 9) 川口，月元，河野：高 Cr 鋼への MAG 溶接適用に関する研究，本会講演概要 63 (1998)，318-319
- 10) 笠原：下向き直管自動 TIG の無人溶接，実務展望，No. 121 (1988)，14-20
- 11) 河野，田淵：最新のボイラー溶接の自動化，ボイラ展望，Vol. 260 (1993)，17-21
- 12) 齋藤，今永，羽田，荒谷，蛭田ほか：揺動 TIG 溶接法による

図8 視覚センサを用いたドラム周継手への狭開先 GMA 溶接法

- 13) 全姿勢狭開先溶接法の開発，本会講演概要，60 (1998)，30-31
- 14) 鴨，若山，藤田：周継手用マルチヘッド狭開先 TIG 溶接システムの開発，溶接法委員会資料，SW-2333-94 (1999)
- 15) 波多野，飯島，馬淵，釜口，河野：全姿勢対応狭開先 MAG 溶接法の開発，三菱重工技報，Vol. 32, No. 6 (1995)，379-382
- 16) 田桑，近藤，光畑：全姿勢狭開先 HSTig 溶接装置の開発とボイラ主配管への適用，溶接法委員会資料，SW-2333-94 (1994)
- 17) 藤田，名倉，泉並，森井：狭開先自動 MAG 溶の無監視化技術と実用化，三菱重工技報，Vol. 34, No. 6 (1997)，430-433