

平成 24 年度 財団法人 溶接工学会 第 23 回セミナー

「溶接補修の最前線」

主催 (財)溶接接合工学会

共催 (一社)日本溶接協会化学機械溶接研究委員会

(財)国民工業振興会

後援 (一社)溶接学会

(一社)日本高圧力技術協会

開会挨拶 東京大学 名誉教授

野本敏治氏



野本敏治東大名誉教授



南二三吉阪大大学院教授

司会 大阪大学大学院工学研究科 教授

南二三吉氏

講演

1.はじめに

大阪大学大学院工学研究科 教授

南二三吉氏

溶接構造物の溶接補修規格としては、WES3004:2001(压力容器用構造材料の欠陥の補修基準)が発行されているが、どちらかというとな製作時の欠陥補修であり、供用中の溶接補修を行う方法が求められていた。一般社団法人日本溶接協会化学機械溶接研究委員会では、圧力設備分野の調査研究を基に、「プラント圧力設備の溶接補修指針」を 2009 年に刊行、その後、規格化の要望を受けて供用中の压力容器を対象とした日本溶接協会規格 WES7700「圧力設備の溶接補修」が発行された。本規格は供用中の圧力設備を対象とした溶接補修規格群で、第 1 部~第 4 部からなり、「第 1 部 一般」、「第 2 部 きず除去と肉盛補修」、「第 3 部 窓形溶接補修」、「第 4 部 外面当て板溶接補修」で構成されており、現行法規の規定にとられない技術的観点から実務で使えるよう溶接補修手順が規格化されているのが特徴である。



今回のセミナーでは、構造物の国内外の溶接補修規格、各種材料の補修溶接、補修部の検査、各分野の補修溶接について情報交換をしたい。

2.溶接補修の一般指針（圧力容器の溶接補修技術） 山本技術士事務所 山本栄一氏

国内の石油・化学プラントや電力・ガスプラントは、運転開始後30~40年以上の長期間経過しており、安全運転の観点から溶接補修技術等の設備維持管理が重要である。溶接補修の目的は、圧力施設が供用中に発生した腐食減肉や割れなどの損傷を検出した場合に圧力設備を供用できる状態に復旧する手段である。維持基準は、検査、供用適正評価、補修から構成される。



一般社団法人日本溶接協会化学機械溶接研究委員会では、プラント圧力設備溶接補修指針(WES-CP-0902-2009)及び圧力設備の溶接補修(WES7700-2012)を作成している。溶接補修指針は、供用中の劣化損傷を受けた圧力容器の溶接補修を対象とするため、溶接補修施工法だけでなく、圧力設備診断との関係で作成された。劣化損傷の検出、原因究明、供用適性評価を経て、溶接補修が必要とされた場合の溶接補修の可否判断、溶接補修検討・施工、試験・検査などが体系化されている。WES7700-2012は、溶接補修指針をベースにグループ規格として作成された。講演では、WES7700-2012の構成、溶接補修指針との関連等について詳細に解説された。

3.溶接補修の国内外の規格・基準動向 ロイド・レジスター・ジャパン 平井征夫氏

プラント圧力設備の保安全管理技術が重要になっており、検査・評価・補修を三本柱とした供用適正評価(FFS評価)を合理的に行う維持規格化がすすめられているが、溶接補修についてはやや遅れているのが現状である。国内法規について高圧ガス保安法、電気事業法、ガス事業法、労働安全衛生法、消防法などの圧力設備に関する法令における溶接補修規定の現状を説明された。日本の圧力容器関連法規は、いずれもASME規格をベースとしており、細目については所管官庁により異なっている。いずれの法規でも、軽微な変更以外は届出と許可が必要であるが、どの程度までの補修が軽微な変更にあたるかについては監督官庁により異なっている。溶接補修は、法律上は「軽微な変更」に相当するが、その取り扱いは法律毎に異なっている。労働安全衛生法が最も保守的なもので、工事前に作業者の安全上「ボイラー変更届を30日前に提出」が必要とされ、また、肉盛溶接が強度部材として認められていない問題点があり、その代わりに窓型、当て板補修を推奨されている。消防法関連では肉盛溶接が認められていない。高圧ガス保安法では当て板溶接補修法が認められていない。電気事業法では火力発電については溶接補修に問題点がない。これらの事実は、供用中の圧力設備に対する溶接補修の一般認識がいまだに共有化されていないことを示していると考えられる。



更に、溶接補修規格として、ASME PCC-2 最新版の溶接補修規格14件を紹介し、4件が取り入れられているWES7700規格との比較を行っている。ASMEのCr-Mo鋼耐圧容器の溶接補修については日本で案を作り来年度規格に取り入れられると考えている。

4.炭素鋼の溶接補修

新興ブランテック(株)材料溶接部

志賀啓介氏

国内の石油精製・石油化学プラント設備には多くの炭素鋼製圧力容器や配管が使用されており、引張強さが 370MPa から 490Mpa 級の炭素鋼が多い。講演では、石油精製・石油化学装置で使用される炭素鋼の種類、溶接時の低温割れ防止方法、溶接時に発生した割れ事例を紹介された。



圧力容器には、炭素量 0.3%以下の低炭素鋼が使用され、引張強さにより、軟鋼、高張力鋼、低温用アルミキルド鋼が使用される。

炭素鋼の溶接補修は、局部的に実施されることが多いため、拘束が厳しく、急熱急冷をうけやすいので低温割れを発生しやすい。低温割れは、拡散性水素量、硬化組織、溶接引張応力の3因子が影響する。低温割れの防止には、これらの3因子を検討することで防止が可能であり、現地での溶接補修時の溶着法、拡散性水素の減少方法、拘束度の軽減方法について解説された。

また、炭素鋼の溶接補修で遭遇した事例と、溶接補修時の注意事項として、1)フランジ溶接部の低温割れ(炭素当量規定による材料発注)、2)差し込みボス溶接の留意事項(差込部の間隙の確保)、3)溶接後熱処理の不備による不具合(PWHT 未処理部のアミン応力腐食割れ)等について解説された。

5.Cr-Mo 鋼、クラッド鋼の溶接補修

(株)日本製鋼所室蘭研究所 茅野 林造氏

石油・化学プラントなどの高温高圧水素環境ではステンレス鋼クラッド鋼、厚肉 Cr-Mo 鋼製圧力容器や熱交換器が使用されることが多い。これらの機器においてはクリープ損傷、焼戻脆化、高温高圧水素浸食、水素脆化などの様々な経年劣化損傷が問題になり、材料・設計・製作面での対策がなされており、このような経年劣化機器に対する溶接補修技術の重要性が高まっている。



Cr-Mo 鋼では合金元素の添加により溶接金属、溶接熱影響部が著しく硬化し低温割れの原因となりやすい。割れ防止には溶接時の予熱、溶接後熱処理が必要となる。溶接時の低温割れに対する予熱効果、溶接後熱処理による材料特性変化及び再熱割れ、溶接補修要領が詳細に解説された。

クラッド鋼は、低合金鋼母材とステンレス鋼合わせ材のため溶接補修に際しては適正な溶接材料の選択と溶接施工管理が重要である。クラッド鋼部のカットバック付開先作成要領、適用材料の選択例、クラッド鋼部の標準的溶接補修要領が説明された。

代表的な Cr-Mo 鋼、クラッド鋼製機器として石油精製用圧力容器のノズル取付け部の溶接補修事例、ボトムノズルフランジの取替補修事例、座屈を防止するために 270T の物体を吊り下げて実施したボトムヘッド部のエロージョンによる欠陥部の溶接補修事例等が紹介された。

6. ステンレス鋼、異材継手の溶接補修

(株)タセト 技術部

岡崎司氏

ステンレス鋼は優れた耐食性と強度を備えた材料であるが、圧力設備は厳しい環境で使用されるため、各種の劣化損傷が発生する。溶接補修においては、損傷に再発防止の観点からの検討が必要である。講演では、ステンレス鋼の種類と特性、溶接性、溶接金属の特性について詳細に解説された。



オーステナイトステンレス鋼と炭素鋼、低合金鋼との異材継手の溶接補修に際して留意すべき問題について詳細に説明された。異材継手補修に際して溶接材料の選定については、Ni と Cr を高めた 309 系溶接材料を使用することで、数%のフェライトを含む健全な溶接金属を得ることができる。また、溶接後熱処理を要求される場合や使用温度が 315 を超える場合には高 Ni 合金溶接材料の使用を推奨された。

溶接補修時の留意点について、損傷原因の究明と溶接補修の是非の判断、溶接性と損傷再発防止の観点からの溶接材料の選定、可能な限り欠陥部・損傷部の除去、割れの発生、及び耐食性劣化防止のため、開先の清浄度の維持し、溶接金属への不純物の混入を避ける等溶接施工に際しての留意点について詳細に解説された。

7. 補修溶接部の非破壊検査

一般社団法人日本非破壊検査協会

ポニー工業株式会社

横野泰和氏

非破壊試験は、溶接構造物の製作時の品質保証及び保守メンテナンス時の設備診断において重要な役割を担っている。補修溶接部に対する非破壊検査の役割は、補修前では補修の原因となったきず・損傷の位置及び範囲を確認することであり、補修中ではきず・損傷が除去されたことの確認であり、補修後では補修溶接後の傷の有無の確認である。



これらの非破壊試験として、外観試験を基本として、表面の傷や損傷に対して磁粉探傷試験、浸透探傷試験、内部のきずや損傷に対して放射線探傷試験、超音波探傷試験について原理等を詳細に解説された。

補修溶接部に対する非破壊試験の適用については、深さ方向の情報を得るには、超音波探傷試験が適しており、送受 2 個の探触子を固定した操作治具を溶接線方向に移動させて溶接部の縦断面画像が得られる TOFD (Time of Flight Diffraction) 法が、基本的にひずみの端部を画像化する方法であり、傷の深さ方向の広がりを推定するのに適している。また、探触子の操作を電子的に行うフェーズドアレイ UT 法も工業的に使用され始めている。

ガウジングなどで傷や損傷を除去した後の残存を確認する方法としては目視試験、磁気探傷試験、浸透探傷試験で確認できる。溶接補修後の非破壊試験では、検出すべき傷を考慮して最適な方法と条件を選んで複数の検査を併用することが推奨される。この場合、余盛があれば検査方法が限定されるので、余盛を削除した上で検査を実施すべきである。

8.プラント機器の経年劣化と溶接補修

日揮株式会社 木曾朋顕氏

石油精製や化学などのプラント圧力設備では、運転開始から長期間経過している設備が多く、安全操業や機能維持の点から設備保全が重要である。特に、高温・高圧設備や腐食性流体を取り扱う設備では、時間経過により材質劣化、腐食減肉、割れなどの損傷が発生する場合があります。溶接補修により供用できる状態まで復旧しなければならないことが多い。統計上でも維持管理不良による事故例が多く、劣化損傷としては高温劣化損傷、環境による脆化及び割れ、疲労損傷がある。時間依存型の損傷は対応可能であるが、非時間依存型では予め十分な対応をしておく必要がある。これらの設備の溶接補修では、設備のタイプ、構成、材料、損傷形態が多岐にわたるため、状況に応じた溶接補修方法を選択する必要がある。また、劣化損傷した材料を溶接補修する場合、新規製作とは異なり、損傷の再発防止や、溶接補修時及び熱処理時の安全に関して十分な検討が必要である。



事件事例として、細かい割れが広範囲に発生する水素浸食、クリープ脆化、475 脆化、シグマ脆化、浸炭、硫化物応力割れ等の各種事例について原因、対策等について詳細に説明された。設備管理に於いて溶接補修は重要な要素技術で、再発防止、安全性、経済性などの観点から検討が必要である。

9.エネルギー供給と原子力発電設備の補修溶接技術

一般社団法人日本原子力技術協会

亀山雅司氏

日本の1次エネルギー供給は、2030年に向けた政策の中で、自然エネルギーを可能な限り増大させる政策が示されているものの、全体的には火力発電が主力であり、原子力発電の増減(約0~10%)は、今後の火力発電の増減を意味しており、エネルギー問題の本質は変わっていない。



原子力発電設備は、タンク、配管、ポンプからなり、建設中及び運転中の設備維持共に溶接技術が多用されており、いわば巨大な溶接構造物である。特に、放射線環境の設備維持(補修)も溶接で行われるため、溶接は要の技術である。使用材料は、放射線のない箇所やタービン回りでは炭素鋼を中心にステンレス鋼が使用され、原子炉エリアでは低合金鋼やステンレス鋼を中心に高Ni合金らが使用されている。

原子力発電設備の溶接の特徴は、次のとおりである。

- 1)放射線量により、溶接作業が制限を受ける。
- 2)重要構造物は板厚が厚く、現地でのヒーター加熱等による予熱・後熱処理が困難な場合がある。
- 3)重要構造物の多くが、許認可や技術基準適合が必要な規制対象物である。

今後の展望として、現地補修用の熱処理制限等に対応した溶接技術の開発ニーズが今後も継続し、類似の溶接技術は、補修のみならず、構造補強等にもニーズが広がる可能性を予測している。

10.鋼道路橋の溶接補修

株式会社ワイ・シー・イー

岩崎雅紀氏

日本では老朽化橋梁の増加に伴う道路劣化に対処するため、2000年代に入って橋梁の定期点検周期をそれまでの10年から5年に短縮するとともに、著しい損傷を発見したときは調査・診断を経て、補修・補強されるようになった。このような道路橋の補修の維持管理実態のうち、鋼道路橋の補修溶接技術について最近の20年間の研究・検討の事例と課題を紹介された。道路橋の場合、道路を通行止めにして補修、改築することができないこと、すなわち、死活荷重が作用した既設道路橋に対して供用下で補修溶接を行うことが他の構造物と異なる所である。



講演では、1990年代までの補修溶接例、2000年代での補修溶接の不具合と課題、更に最近の補修例等について、豊富な写真を使用して説明された。現地溶接補修に対して品質管理の困難さを指摘され、現地溶接補修が採用された例が少なくなり、支圧型高力ボルトや高力ボルトを用いた当て板補強が現在に至るまで主流となっている。

2010年代に入った現在においても補修溶接を使用しない補修が主流ではあるが、疲労損傷が多様化し、補修コストの削減が求められるようになり、補修溶接を期待する考えが出現しており、今後、道路橋においても、補修溶接が広まることを期待したい。

11.薄板構造物の溶接補修-自動車車体の溶接補修-

一般社団法人 軽金属溶接協会 榎本正敏氏

薄板構造物特にアルミニウム合金を用いた薄板構造物としては、高速鉄道車両や自動車の車体部品が挙げられる。自動車の車体部品に使用されるアルミニウム合金薄板の加熱による変形矯正及び溶接補修について講演され、次の結果を得ていることが報告された。



- 1)パネル材の補修に使用されるプロパンガスバーナーによる加熱により冷却時の変形、硬さを調査した結果、250 程度の加熱では、室温冷却時に変形は残るものの、硬さ変化は生じなかった。実際の補修は、変形部位を加熱しながら、周囲を冷却しつつ塑性変形をくわえるので、少なくとも250 以下の加熱では大きな機械的性質の低下は生じないものと考えられる。
- 2)重ね隅肉溶接継手によって、溶接補修をシュミレートした実験をおこない、ワイヤの狙い位置が上板の上端部で適切であること、A4043 材より A5356 材の方がビード外観が美麗であること、上板と下板のギャップは0.5mm 以下にすべきこと、重ね隅肉溶接では、溶接後175~200 で30分程度の後熱処理ではせん断引張強さは低下しないことが確認されている。



講演会風景

懇親会



開会挨拶
(井上愛知産業(株)社長)



乾杯
(馬場産報出版(株)社長)



中締め挨拶
(南阪大大学院教授)



司会
(吉武専務理事)



南阪大大学院教授の中締め挨拶

以上