

プロセス機器のメンテナンス技術

当社は石油精製や石油化学プラント内にあるプロセス機器のメンテナンスサービス（検査、補修、取替など）を顧客へ提供している。高品質な補修サービスの提供に加え、補修の工期短縮や低コスト化、補修によるプロセス機器の延命化などが求められる。

これら顧客ニーズに応じたメンテナンスメニューを拡大するため、大型プロセス機器の内面を自動補修する手法とテンパービード法を用いて溶接後熱処理（Post Weld Heat Treatment、以下、PWHT）を省略する手法を確立させたので、その概要を紹介する。

キーワード

自動補修装置、肉盛溶接、PWHT省略



現地用自動補修装置の外観

■ 大型プロセス機器の内面自動補修手法

石油精製プラントで用いられている効率的に重質油の処理を行うコークドラムは、加熱と冷却を繰り返すことで厳しい熱負荷を受けるため、機器の内面に溶接線に沿った割れが発生する事例が報告されている¹⁾。割れの補修方法として、現状はガウジングでの割れの除去とガウジング溝に対する肉盛溶接が手動で行われており、施工に時間がかかっていて作業者の負担も大きい。

そこで、補修の工期短縮や低コスト化、作業者負担の低減を目的に、現地で使用できる自動補修装置を開発した。補修対象の機器内面にフレキシブルなレールを固定し、そのレール上を走行する台車に各種のトーチを取り付けることで自動ガウジングおよび溶接施工を行う。開発した装置は簡便な構成のため設置時間が短く、さらに作業者の負担を軽減するティーチングプレイバック機能や溶接条件および溶接施工距離を自動的に記録する設備稼働データの収集機能を備えている。

自動補修装置の性能を検証するため、**図1**に示す実機と同じ寸法のモックアップ試験体に対して自動ガウジングおよび肉盛溶接を実施した。ガウジングにより成形された溝および肉盛溶接部のビード外観を**図2**および**図3**にそれぞれ示す。ガウジングにより成形された溝は後工程の肉盛溶接が施工しやすい平滑な形状にできた。さらに、ガウジング溝の上に施工した肉盛溶接部も平滑で良好なビード外観が得られた。開発した補修装置を用いることで、従来の手動による補修方法と比べてガウジングの速度は約1.5倍、溶接速度は約1.9倍に向上した。

大型プロセス機器内面の損傷形態として全面が減肉する場合もある。全面減肉に対する補修方法として、耐食性の高い板材を減肉部に張り付ける当て板補修や全面に対する肉盛溶接が行われている。

そこで、広い範囲への肉盛溶接を効率化するために、自動補修装置の仕様を施工範囲が広いものに改造した。具体的には、溶接トーチを支えるアーム長さを2 mに延長し、レールの配置換え回数を減らすことで補修の工期短縮や低コスト化を図った。

広範囲に対応した自動肉盛溶接装置を**図4**に示す。アー

ムを長くした際に支点に大きなモーメントがかかり溶接トーチが不安定になるためサポート機構を追加した。これにより溶接トーチ先端のブレを5 mm以下に低減でき、平滑で良好な溶接ビード外観が得られた。また、溶接施工効率を向上するために溶接トーチを2台同時に用いるツイントーチ施工の検証も行い、こちらも良好な溶接ビード外観が得られた。



図1 モックアップ試験体外観

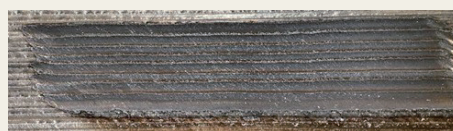


図2 自動補修装置で施工したガウジング溝外観



図3 自動補修装置で施工した肉盛溶接金属外観

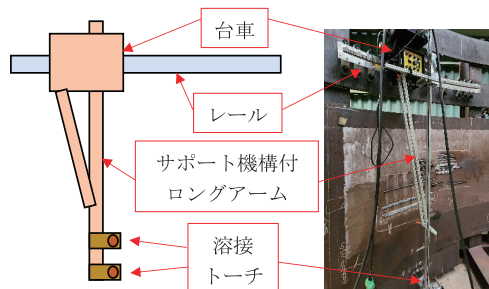


図4 広範囲に対応した自動肉盛溶接装置

手動での肉盛溶接施工で32日かかる補修工事を想定すると、改造前の自動補修装置では24日、アーム長さの延長およびツイントーチへ改造した仕様では16日で施工でき、手動と比較して工期を約50%短縮できる見込みである。

■ テンパービード法を用いたPWHT省略手法

コークドラムの内面を補修するにあたって、海外では、テンパービード法を適用し、肉盛溶接部のPWHTを省略することで補修工期を短縮している事例がある¹⁾。テンパービード法とは、肉盛溶接により硬化や靱性低下が生じ割れやすくなった母材溶接熱影響部の機械的性質を次層以降の溶接による熱影響で改質する施工方法である。コークドラムの母材は溶接の熱影響により硬化しやすい1-1/4Cr-1/2Mo鋼であることが多く、テンパービード法の施工条件もシビアな精度が要求される。そこで適切な施工条件を検討するため、実機の継手を模擬した試験体に対してテンパービード法による溶接試験を実施した。

コークドラムに発生する溶接線に沿った割れの報告事例では機器の内面に貼られたステンレス製ライニング板の継手に発生している¹⁾。具体的な割れの補修手順としてはライニング継手の溶接金属をガウジングで除去した後、平滑に成形した母材面に対してNi基合金での肉盛溶接となっている。そのため溶接試験においてもその手順を模擬し、板厚40 mmの1-1/4Cr-1/2Mo鋼板に対してNi基合金ワイヤを用いて肉盛溶接した。溶接姿勢は実機と同じ横向きとした。溶接施工手順として、母材に対する1層目と、その上に1層目の熱影響部の改質を目的とした2層目の溶接を行った。

溶接条件について、1層目の溶接が母材に与える熱影響を少なくするために低入熱の溶接方法を採用した。また、2層目を溶接する際に1層目の溶接熱影響部を適切な温度に上昇させて改質するために、溶接入熱や溶込深さ、溶込形状を制御した。

溶接後の試験体の評価方法として、母材の熱影響部に対して硬さ試験およびシャルピー衝撃試験を実施した。硬さ試験は熱影響部に対して格子状に1 mmピッチでビッカース硬さを測定した。荷重は10 kgfとした。衝撃試験はノッチが熱影響部に位置するようにシャルピー試験片を採取した。試験温度は-18℃とした。硬さ試験位置およびシャルピー試験片の採取位置を図5に示す。

硬さ試験結果を図6に示す。硬さの測定値を色分けした断面マクロ写真と硬さ分布のグラフを併記している。コークドラム補修に関する技術資料内¹⁾に規定されている硬さターゲットである300 HV以下を満足した。また、衝撃試験の結果、シャルピー試験片3本の吸収エネルギーはそれぞれ352 J、355 J、349 J at -18℃であり、新設機器と同等以上の十分な靱性を有していた。以上より、PWHTなしでも十分な機械的性質を確保できる施工手順を確立した。

工期が59日かかるコークドラム補修工事を想定すると、テンパービード法の適用によりPWHTを省略して49日間で施工でき、工期を17%短縮できる見込みである。

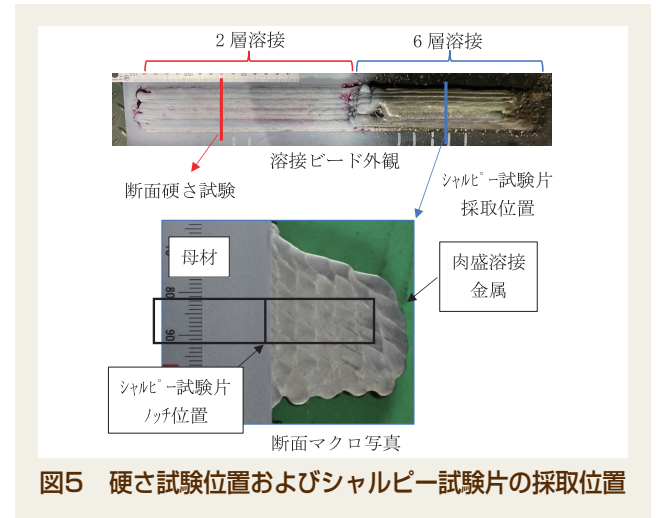


図5 硬さ試験位置およびシャルピー試験片の採取位置

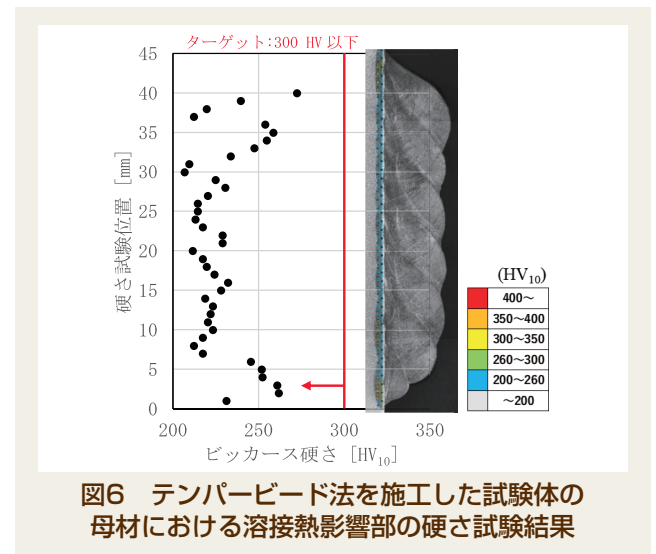


図6 テンパービード法を施工した試験体の母材における溶接熱影響部の硬さ試験結果

■ おわりに

顧客ニーズに対応したプロセス機器のメンテナンスサービスを提供するため、高能率な自動補修装置やPWHT省略手法を開発した。今後もメンテナンスサービスのメニューを拡大しプラントの安定稼働に貢献していきたい。

SDGsに貢献する技術

石油、天然ガス等の化石燃料資源を扱うプラントに対して適切な保全計画を基にメンテナンスを行うことでエネルギー資源の無駄を抑制し、持続可能なインフラや産業を目指すSDGs目標の「9. 産業と技術革新の基盤を作ろう」に貢献する。

参考文献

- 1) API Technical Report 934J, Inspection, Assessment and Repair of Coke Drums and Peripheral Components in Delayed Coking Units, 2021.

【問い合わせ先】

日立造船株式会社 脱炭素化事業本部
プロセス機器ビジネスユニット 技術部
アフターサービスグループ
Tel : 0968-78-2178
E-mail : hitzgiho001@hitachizosen.co.jp