

溶接管理技術者の体験紹介

化学会社における溶接管理技術者の役割 (加熱炉輻射管の経年劣化問題の検討事例から得た教訓と課題)

旭化成株式会社
栗原 朋之

1. 化学会社における溶接管理技術

私は化学メーカーの材料技術者として、自社の生産設備の設計、製作、運転、保全にわたり、設備材料の問題に取り組む技術スタッフである。

具体的な業務として、自社の生産設備で損傷が発生した場合の損傷部の現場観察、サンプリング解析といった調査を行い、運転情報などを踏まえ、損傷原因を究明し、再発防止策を提案することがある。また、故障の未然防止のため、設備の設計や製作・施工管理について、改善提案を行うことや、検査計画の提案を実施することもある。

化学会社は生産設備のユーザーであり、最適な仕様で設備を導入し、それを維持管理することが重要である。具体的に設備を設計・製作、施工するわけではない。従って、設備メーカーや施工メーカーの材料技術者と我々で技術領域がやや異なる。

化学工場における最重要課題は、設備の安全・安定運転である。その一方、腐食・劣化損傷の生じやすい、過酷な条件で使用される設備も多く、さらには高経年化した設備もみられる。このような設備の安全・性能を長期的に確保するためには、設備の腐食・劣化損傷に関する専門技術が重要である。化学設備の材料は炭素鋼、ステンレス鋼だけではなく、ニッケル基合金や銅合金、チタン、ジルコニウム等もあり、対象とする領域は広い。特に腐食・劣化損傷が顕在化するのには、溶接部であることが多く、溶接部の品質、および安全性を管理する技術者として、溶接管理技術者の重要性は高い。私が溶接管理技術者資格を取得するきっかけとなったのは、上記の状況から、溶接設計、管理に関する知識を備える必要があったことと、設備メーカーや施工メーカーと改善提案を議論する上でも、このような知識を有する技術者であることを明確にしたかったことがある。

以降では、専門技術者の検討業務の具体的な事例として、社内のプラントの加熱炉の輻射管溶接部で発生した劣化・損傷の取り組み事例¹⁾について紹介する。

2. 加熱炉の輻射管溶接部の劣化・損傷事例

化学工場の加熱炉は名前の通り、化学プロセス流体を加熱する設備であり、生産プロセス上、最も重要な設備の一つである。その中でも、**図1**に示すような輻射管は、火炎にさらされ、高温（今回の場合、1100℃以上）といった過酷な条件で使用される重点管理部材であり、この部位での劣化損傷が問題となった。

問題となった輻射管は、耐熱合金（今回の場合、25Cr-35Ni-Nb 合金, HP-Nb）製の遠心力铸造管である。これらは铸造管メーカーで定尺管を铸造し、溶接接合されたものが納品され、現地で組立施工される。本設備の輻射管は海外メーカー製で、電子ビーム溶接により接合されたものであった。なお、国内メーカーの遠心力铸造管の接合は、ティグ溶接が一般的とのことである。当該溶接部の WPS (溶

接施工要領書) は完成図書に記載されていたものの、プラントオーナーである、弊社の認識はほとんどなかった。

加熱炉の輻射管は高温耐久部材であるため、想定寿命到達前に余寿命評価を行い、補修、更新等を計画することが一般的な管理法である。本設備においても、稼働 8 年経過時点の定修 (Shut Down Maintenance) で輻射管のサンプリング調査を行い、余寿命評価のための詳細調査を開始したところ、輻射管の溶接接合部に管内面からの割れ (損傷) が検出された。

このような損傷は想定外であり、社内での経験、知見も全くなかった。その中で、原因究明と対策のための検討が必要であった。具体的には、“損傷がなぜ、どのようにして起こるのか” を突き止めること、“どうすれば防止、抑制できるか” を明らかにすることである。化学工場においては、稼働開始から次回定期修理 (1~4 年後) までの間、損傷トラブルが発生することはもちろんのこと、装置を停止させて補修といったことも許容されないことが多いため、損傷現象を把握した上での確実な対策が必要不可欠となる。

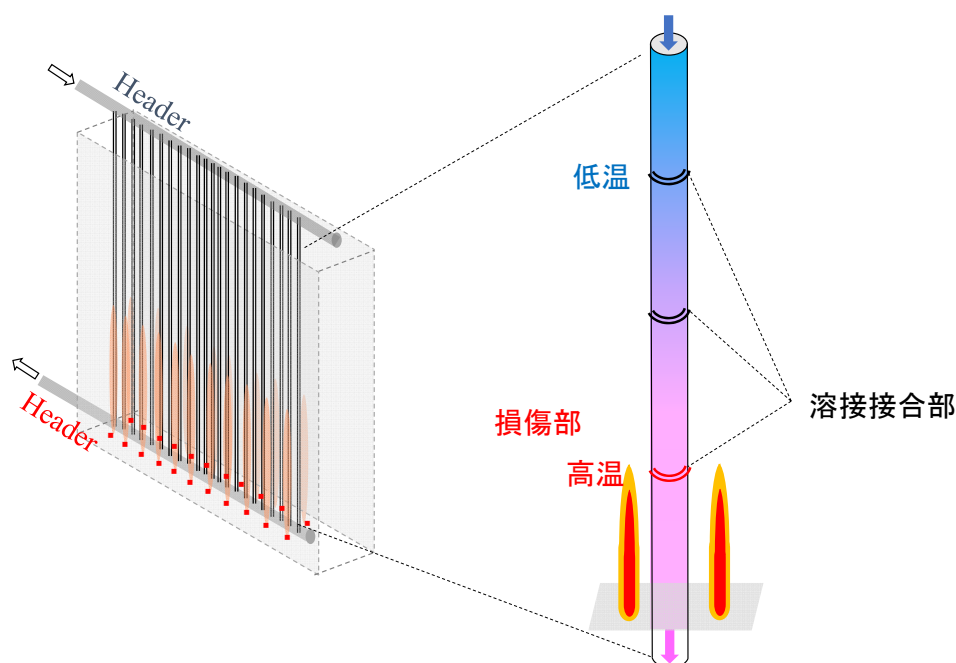


図 1 加熱炉と輻射管の構造例

3. 損傷の状況

この損傷のメカニズムを把握するために、サンプルの解析調査を行った。その結果、以下のような特徴がみられた。

(1) 溶接部

電子ビーム溶接の溶接部は溶接金属が小さく、ビード幅が狭い。また、溶接金属の凝固が規則的で、管厚のほぼ半分を占める、内面側の溶接金属は、柱状晶が正面衝突型凝固を呈している。(図 2)

(2) 金属組織

高温、長時間の使用に伴う金属組織変化として、粗大化した析出物がみられる。特に溶接金属では、上述の溶接金属内面側の凝固最終部 (凝固衝突部) に沿って規則的に析出物が形成されている。

(3) 割れ

析出部の界面に沿った微細割れ (マイクロクラック) が認められる。特に析出物が規則的にみられる凝固最終部では、これらの微細割れが連結し、マクロ割れが形成されている。(図 3)

(4) 損傷発生部の特徴

輻射管 1 本あたり 3 か所の溶接線が存在するが、上記の損傷が顕在化しているのは、火炎に近く、金属表面温度の高い溶接部である。

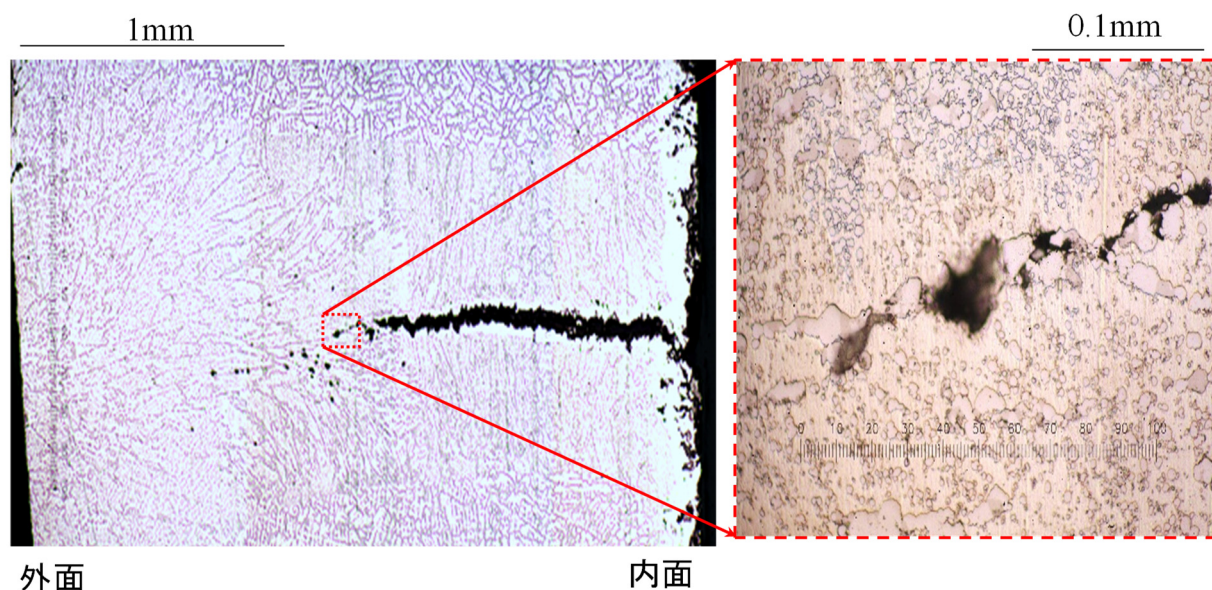


図 2 割れ部断面の金属顕微鏡像

図 3 割れ部断面の金属顕微鏡像
(図 2：点線枠の拡大)

4. 外部調査

損傷の特徴については明らかとなったが、社内で有している知見だけでは、メカニズムや原因の特定までには至らず、社外も含めた調査を行った。

- (1) 本設備の輻射管メーカーへの問い合わせの結果、今回のような損傷に関する知見はないとの回答であった。ただし、電子ビーム溶接接合ではなく、ティグ溶接接合を指定するユーザーも存在するとの情報が得られ、特定のユーザーでは電子ビーム溶接材で不具合があった可能性がある。
- (2) 世界の石油、化学メーカーの材料技術者間での会員制ネットワーク²⁾があり、WEB 上での情報交換が行われている。その中で本件に関わる事例について問い合わせを行った結果、電子ビーム溶接された遠心力铸造管の溶接部における同種の形態の損傷事例が 3 件得られた。ただし、損傷メカニズム解明と原因究明に至るまでの十分な情報は得られなかった。
- (3) 輻射管材料の時効（析出物）の形成メカニズムや劣化現象、電子ビーム溶接に関する様々な情報は文献等で公表されているが、今回の損傷に直接合致するような情報は得られなかった。しかしながら、耐熱铸造合金の析出物や特性³⁾、クリープ損傷現象、電子ビーム溶接の溶接金属の凝固メカニズムや性質⁴⁾といった損傷メカニズムを推測する上での有力な手がかりは得られた。

5. 損傷メカニズムの推定

上記の情報それぞれから、本損傷を説明できるわけではなかった。得られた情報から総合的にみて、想定される損傷メカニズムや原因を以下のように結論づけた(図 4)。

- ・耐熱合金（鋳造材）は高温長時間の使用に伴い、析出物が成長する。これは温度が高い部位ほど顕著となる。
- ・電子ビーム溶接における溶接金属の溶融→凝固過程から、内面側の最終凝固部が正面衝突型となるという特徴がある。耐熱合金においては、上述の内面側最終凝固部に低融点化合物が多く存在することが知られ、設備運転中に（高温状態で）この低融点化合物を起点として、析出物が生成、成長したものと推測される。
- ・成長・粗大化した析出物の界面を起点とし、微細割れ→マクロ的な割れへと進展したクリープ損傷が顕在化したと考えられる。これが内面側溶接金属の最終凝固部における、析出物の成長と規則性によって加速された。

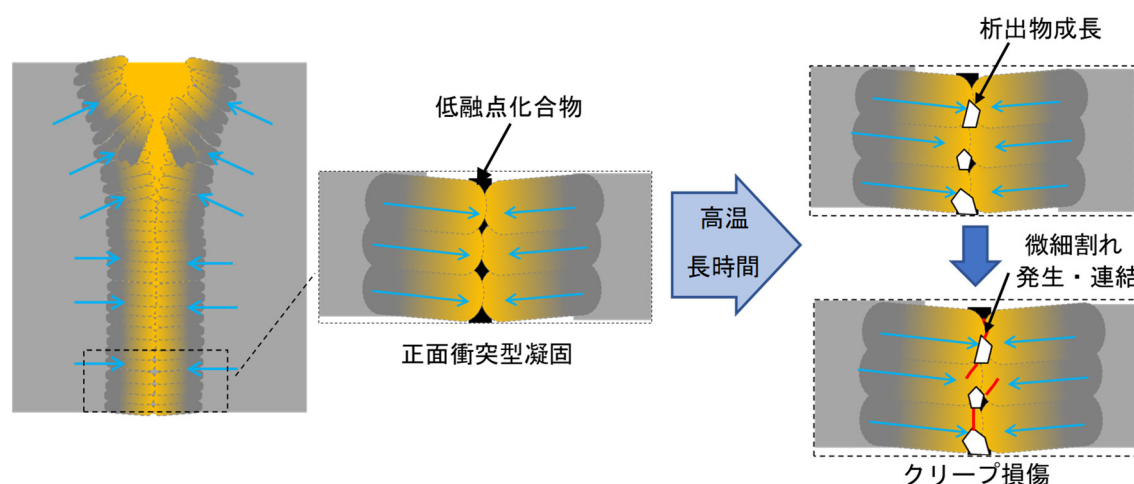


図4 推定メカニズム

6. 対応策

上記のような損傷メカニズムから輻射管の更新することを決定したが、上記のような損傷原因から、更新する輻射管の溶接をティグ溶接かつ多層で溶接する仕様とし、内面側の最終凝固部が正面衝突型とならない対応をとった。このため、新たな WPQT（溶接施工確認試験）を検討し、輻射管メーカーにて WPS（溶接施工要領書）を発行した。

7. 本事例からの教訓

本事例の場合、損傷検出時点までは想定外の現象であったため、原因究明や対応に追われる結果となった。知見が全く無く、自身の知識も十分ではない中、限られた時間の中で、解析や文献等を調査することで情報をかき集めて重大な判断しなければならず、不安やプレッシャーも大きい。また、推定を裏付けるための追加調査やデータも採取していかなければならず、かなり長期にわたる検討であった。

ただし、振り返ってみると、今回の損傷問題に関連する情報は存在したわけであり、損傷の可能性を推測し、設計、もしくはメンテナンスに配慮できたかも知れない。

しかし、その一方では、設備オーナー側が、設計、製作（建設）段階で、設備主要部位すべてに対し、抜けなく網羅的に損傷の可能性を確認することはマンパワーや時間の上での問題もある。また、すべてに目を通したとしても、本当にそれを問題として認識し、設計に反映すべきレベルと判断できたかについても疑問が残り、これらは確認する技術者の技量によるところも多い。

8. 今後の課題

以上のような教訓を踏まえると、今後の課題の一つとして、これまでの知見（成功事例、失敗（トラブル）事例といった、事例ベース）を今後の設計、施工、検査、補修へ十分に活かせるような仕組み（技術情報のプラットフォーム）づくりが必要ではないかと考える。これには、まず、”(1)技術情報を整理するデータベースの構築”と、”(2)データを設計に反映すべきかどうかを評価・判定し、反映方法を具体化するシステム”のようなものが必要ではないかと考える。

- ・前者の“(1)技術情報を整理するデータベース”については、例えば日本溶接協会の接合・溶接技術 Q&A1000 が挙げられる。これは、これまでの溶接技術に関する知見が整備されており、私もWEB版をキーワード検索やカテゴリ検索しながら、活用することは多い。
- ・後者の”(2)データを設計に反映すべきかどうかを評価・判定し、反映方法を具体化するシステム”については、これまで高度な専門技術を有する者に委ねられてきたことであり、これをシステムとして実現するには、様々な課題があると思われる。ただし近年、データ活用技術（AI やデータロボット技術）等が急速に進歩しており、当然、専門技術者の知識、視点を取り入れることが必要ではあるが、将来的には実現可能ではないかと思われる。

溶接管理技術者である私は、今後溶接に関わる専門技術力を一層高めるとともに、社内の設備に関わる方々への基本的な知識の習得、教育の場を設け、社内の技術力を高めるとともに、さらにはこのようなシステムを活用することで、溶接品質管理に関わるトラブルの未然防止に繋がっていきたいと思う。一方では、学協会を通じて社内外の溶接管理技術者とのコミュニケーションを深め、上記のような、技術データの構築やシステムの構築に関わる活動に対し、積極的に参画していきたいと考えている。

9. おわりに

これまで、社内では経験や知見のない、加熱炉輻射管の溶接部の想定外の損傷が顕在化し、検討に取り組んだ結果、以下が得られた。

- ・解析調査、および社外ネットワークを含めた情報調査の結果から、本損傷がある温度以上の高温使用条件下における、耐熱合金の電子ビーム溶接部で生じたクリープ損傷と結論づけた。
- ・本検討事例の教訓として、この問題は、高温設計時における材料や溶接方法の選定段階で対応すべきものと考えられる。具体的には、設計段階での確認の抜け、劣化・損傷に関する知見、事例の反映が不十分であったことに起因するものと考えた。
- ・上記の事例からの課題として、これまでの知見（事例等）を十分活用し、今後の設計や施工、検査に反映できるような技術情報のプラットフォームづくりが重要と感じた。

参考文献

- 1) 栗原朋之, 村上健二”材料と環境 2016 講演集”, b-308
- 2) Materials Technology Institute TAC forum <https://www.mti-global.org>
- 3) 西本和俊, 才田一幸, 乾正弘, 高橋誠,”溶接学会論文集”, vol.18, p.449-458, (2000)
- 4) 入江宏定, 塚本進,”溶接学会論文集”, vol.6, p.473-479, (1988)

栗原 朋之（くりはら ともゆき）

溶接管理技術者特別級

<略歴>

2000年3月 東京工業大学 工学部 卒業

2000年4月 旭化成工業株式会社 入社 生産技術本部 生産技術センター 配属

(所属名称変更) 旭化成株式会社 生産技術本部 材料・メンテナンス技術開発部

2010年3月 WE 特別級 取得

現在に至る