福井大学リポジトリ
UNIVERSITY OF FUKUI REPOSITORY

研修科目:銀ろう付けの技術の修得

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2013-03-19 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 古屋, 岳, 印牧, 知廣, 幸川, 光雄, 川崎, 孝俊 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10098/7327

研修題目：銀ろう付け技術の習得

古屋 岳，印牧知廣，幸川光雄，川崎孝俊 (第一技術室)

1. はじめに

銀ろう付けはその高い強度や密閉性およびステンレスと銅などの異種金属の接合が容易なため，多くの真空・高圧部品の接合に用いられており，福井大学においても様々な実験装置等に使用されている。例えば超低温実験施設に用いられている高圧配管の接合のほとんどが銀ろう付けによる接合である。そのため施設の保守管理の面からも銀ろう付け技術は必要不可欠である。一方で，福井大学において銀ろう付け技術を有する技術職員の数は限られており，その技術継承は重要な課題である。本研修では基本的なろう付け技術習得を行うとともに，今後の技術継承の際に参考となるよう銀ろう付けの状態の可視化や接合部品の評価方法について検証を行った。

2. 研修内容

2-1 母材の種類に沿った銀ろう棒の選定
2-2 同一材の銀ろう付けによる接合
2-3 異種材料の銀ろう付けによる接合
2-4 顕微鏡写真による銀ろう付けの評価
2-5 銀ろうの溶融状態の可視化に向けた高速度カメラによる撮影
2-6 IR カメラによる母材の温度分布の撮影
2-7 ヘリウムリークディテクターを用いた接合部品の気密試験

3. 研修

3.1 銀ろう付け

本研修には工学部科学技術育成センター内の溶接場をお借りした。母材と継ぎ手の加熱には銀ろう付けに一般的に使用されるアセチレンと酸素の混合バーナーを用いた。母材の酸化膜除去及び酸化防止用のフラックスは石福金属製#27（使用温度 650-950℃）のオールラウンドタイプである。福井大学で一般的に使用されている銀ろう棒は IS-435F (使用温度 745-845℃，適用金属は銅および鉄系金属一般)である。しかし，母材の種類により銀ろうのなじみやすさは異なるため，母材によって銀ろうを選択することが望ましい。表 1 に銀ろう棒の種類と適合金属使用温度の一例を示す。本研修では従来の銀ろうに加え，実験装置によく用いられるステンレス鋼の接合に適していた銀ろう IS-450E を用いたステンレス鋼の銀ろう付けを行った。

表１　銀ろうの種類による特性の一例

品名	ろう付温度(℃)	推奨フラックス	母材（適用金属）
IS-435B	850～950	＃27＃30	工具鋼
IS-435F	745～845	＃6#27	銅、鉄系合金一般
IS-443	715～815	＃6＃27	ダイヤモンド工具，超硬合金
IS-450E	705～800	＃27	ステンレス鋼，Ni 基合金
IS-456	650～760	＃6＃27	銅、鉄系合金一般

また，同一母材で複数個所をろう付けする際には後の加熱により先に行ったろう付け個所が溶融し，気孔等が発生する危険性がある。このような場合，溶融温度の異なる複数の銀ろうを使用し，溶融温度の高いものから低いものへと種類を変えていく手法が一般的である。融点の低い銀ろうとして IS-456 についてもろう付け研修を行った。

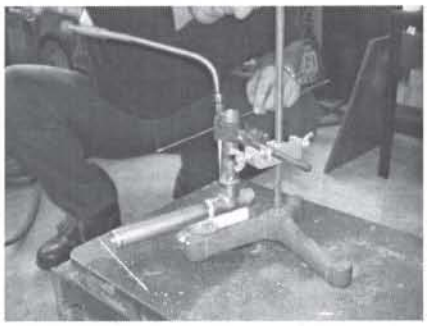

図１　同一材の銀ろう付け

研修の初期段階として加熱が容易である薄肉の銅パイプと銅継ぎ手のろう付けを行った。研修の様子を図１に示す。図中の母材はϕ30 mm 肉厚 1 mm の銅パイプと厚さ 1 mm の継ぎ手のろう付けの様子である。研修の後期段階では肉厚の異なる銅パイプと銅フランジの接合を行うとともに，銅パイプと異種金属である真鍮やステンレスフランジについてそれぞれの母材になじみやすい銀ろう棒による接合を行った。本研修で銀ろう付けを行った部品を図２に示す。

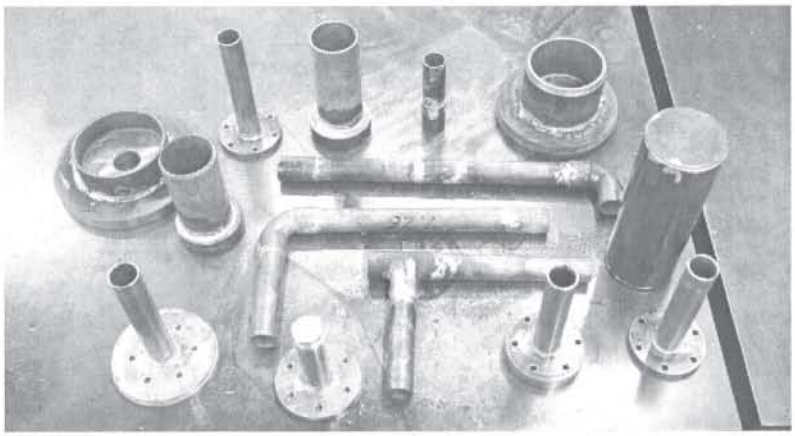

図２　銀ろう付けを行った部品

3.2 顕微鏡写真による銀ろう付けの評価

銅パイプと銅継ぎ手の接合についてろう付け断面の顕微鏡撮影を行い，ろうのまわり具合を確認した。撮影したろう付け断面写真を図３に示す。写真の左図では銅パイプと継ぎ手の間に空間が見られ，ろうのまわりが十分でないことが確認できる。右図では銀ろうは十分に回っているが，

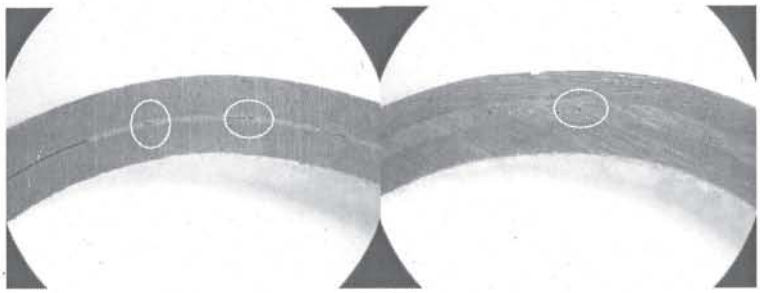

図３　ろう付け断面の顕微鏡写真

細かい気孔が確認された。この原因としてはろう付けを始める温度が十分でなく，複数回にわたってろう付けを行ったことや，加熱むらが原因であると考えられる。

3.3 高速度カメラによるろう付け過程の撮影

理想的な銀ろうの溶融および母材への広がりの様子を把握し可視化することは本研修のみならず，今後の銀ろう付け技術の習得に有用であると考え，溶融状況の高速度カメラを用い撮影を試みた。撮影には高速度カメラ FASTCAM-MAX 120KC（フレームレート： 60～120,000 fps, 解像度： 1024×1024～128×16, 濃度表現： 30 bit, 電子シャッター： 1/コマ数～1/250,000 秒）を使用した。図 4 に使用した高速度カメラの写真を示す。銀ろうの溶融状況の撮影においては今回使用したカメラはオーバースペックであったが，加熱した母材へ銀ろう棒を接地した際の理想的な銀ろうの溶け方や広がり方を撮影する事ができた。また，銀ろう付けに習熟したものとそうでない者のろう付けの様子を比較した結果，2 つの銀ろうの溶け方には有意な差が認められた。

図 4　高速度カメラ FASTCAM-MAX-120KC

3.4 IR カメラによる母材の温度分布の撮影

加熱による母材の温度変化および母材の肉厚，素材による温度上昇の違いを確認するため IR カメラ（サーモグラフィー）による温度測定を行った。本研修では AVio 社製 TVS-700 を使用した。TVS-700 は測定波長 8～14 μm, 最高温度分解能 0.5℃, 測定範囲-20～500 ℃である。今回使用した IR カメラの測定可能温度は最大 500 ℃(500 ℃以上では測定精度が低下)であるため銀ろうの融点には届かないものの，母材の加熱状況把握および加熱むらの抑制には IR カメラによる温度監視が有用だと考えられる。測定例としてステンレスフランジと銅パイプのろう付けにおける IR 画像を図 5 に示す。また，代表的な測定温度として図中の A-E 点の温度を示した。測定の結果，リアルタイムで母材および継ぎ手の温度上昇を把握することが可能であることを確認した。銀ろう付けでは接合箇所の最適温度の把握は経験によってなされてきた。しかし，技術習得の初期段階では過熱による加熱箇所の温度上昇を把握することが難しい。IR カメラなどを用いた温度変化の測定は視覚的に温度を把握できることから，研修初期段階において温度上昇を把握する手法としては有効である。

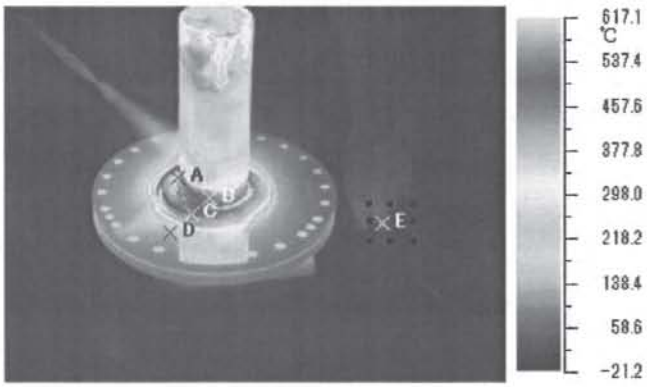

図 5 母材の温度分布

A: 613 ℃, B: 550 ℃, C: 284 ℃, D 110 ℃:, E: 28 ℃

3.5 ヘリウムリークディテクターを用いた接合部品の気密評価

銀ろう付け部品は高真空や高圧配管などに使用されることが少なくない。そのため，製作したろう付け部品の機密性が保たれていることを客観的に評価しておくことは重要である。本研修では銀ろう付けを行った各部品についてヘリウムリークディテクターを用いた気密試験を行った。

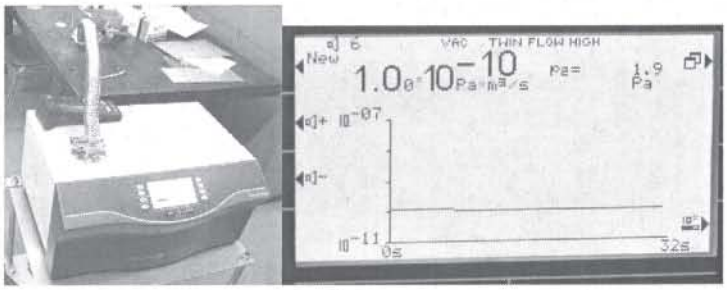

図6　ヘリウムリークディテクター

ヘリウムリークディテクターはターボ分子ポンプと質量分析器からなっており，ポンプにより真空テスト部品を高真空にする。その後，外部からヘリウムガスを吹きかける。仮に，ピンホールなどの気孔が存在する場合，ピンホールから真空領域にヘリウムガスが侵入する。進入したヘリウムガスは質量分析器により検出され，リーク箇所の特定がなされる。本研修で用いたヘリウムリークディテクターと測定画面の写真を図 6　に示す。本研修で機密テストを行った部品の写接合個所および裏面の写真を図 7 に示す。左から銅-銅，銅-真鍮，銅-ステンレス鋼の銀ろう付けである。測定の結果，すべてのろう付け個所において気密性が保たれていた。本研修では母材に対し最適な銀ろうを選択したことにより，母材とろうのなじみが良く，未熟な銀ろう付けでも気密性が保たれたと考えられる。

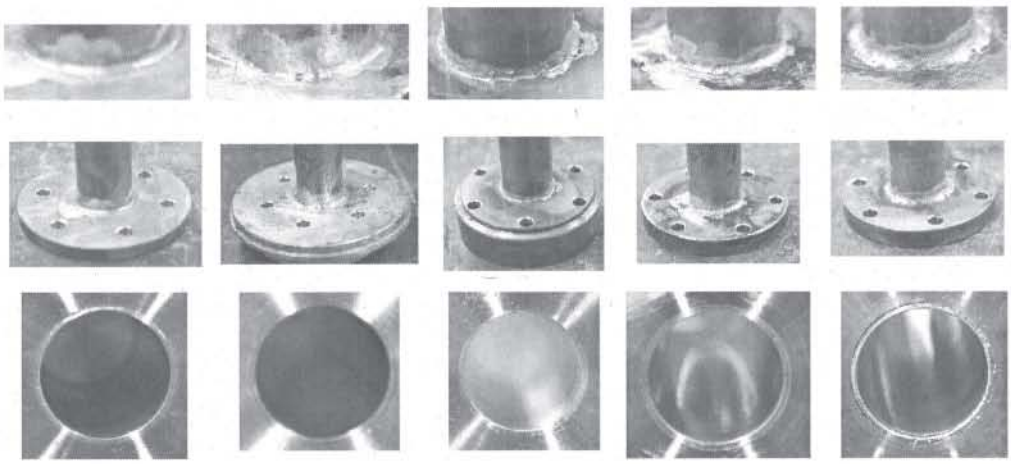

図7　真空テスト部品

4.　まとめ

本研修では同一肉厚同材料から異種材料のろう付けを行うと共に，ろう付けの継承に有効だと考えられるろう付けの可視化や IR カメラによる母材の温度測定, 作製した部品の検査に必要な真空テストを行った。これらの導入により銀ろう付けの精度向上が期待できる。また，ろう付けには安定したムラのない炎を使用し、継手部を直接加熱せず周辺から継ぎ手中心部へ向け、継手面に熱をためるような感じで加熱する。フラックスが透明な液状になったらろう材を継手口にあて、間隙に流し込む。肉厚・形状が異なる継手は、容量の大きい方から加熱する。熱膨張率の異なる場合は、膨張率の小さい方を多く加熱する等を考慮し，ろう付を行うことが精度の向上に繋がると考える。