

陽電子源用フラックスコンцентрレーターヘッドの組立て

○牛谷 唯人^{A)}、榎本 嘉範^{B)}、森川 祐^{B)}、高富 俊和^{A)}、保住 弥紹^{A)}

^{A)} 高エネルギー加速器研究機構 共通基盤研究施設 機械工学センター

^{B)} 高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設 応用超伝導加速器イノベーションセンター

1. はじめに

高エネルギーコライダー実験では、より高い luminosity を得るために、大電流化が進められている。フラックスコンцентрレーター (Flux Concentrator, FC) は生成した陽電子を効率よく捕獲することが目的のデバイスである。FC の組立は 20 点以上の部品を TIG 溶接によってリークなく溶接を行う必要がある。仮組状態では自立安定性が低い構造であるため、溶接時の変形や位置ずれを防止する目的で、事前の溶接手順の検討および専用ジグの設計が不可欠であった。FC ヘッドの中心部には、スパイラル状に巻かれた銅パイプが挿入される構造となっており、密閉性を確保するため、銅パイプと SUS パイプの 2 か所の接合部において銀ロウ付けを行う必要がある。予備品がなく再製作が困難であること、また銀ロウ付けの作業経験が十分でないことから、本作業に先立ち模擬部材を用いた練習およびリーク試験による検証を実施した。

2. 溶接手順の検討

フラックスコンцентрレーターヘッド (以下 FC ヘッド) は 20 点以上の部品で構成されており、すべての接合部においてリークの無い溶接品質が要求される。そのため、組立てに先立ち、3D モデルを用いて溶接手順の検討を行った。各部品の溶接順序や作業姿勢、トーチの進入方向を事前に確認することで、干渉や作業困難箇所の洗い出しを行った。

2.1 狭小部における溶接可否の検証

FC ヘッドには、溶接作業空間が狭い箇所が 3 か所存在する。内訳は、フィードスルー内側の溶接部が 2 か所、隙間 7mm のパイプ溶接部が 1 か所である。これらの箇所については、溶接トーチが物理的に届くかどうかの事前確認が必要であった。

センターが保有する中で最も小型の溶接トーチ先端部品と実際の部品を並べて確認を行った結果、いずれの箇所においても溶接が可能であることを確認した。

3. 溶接作業用ジグの設計および製作

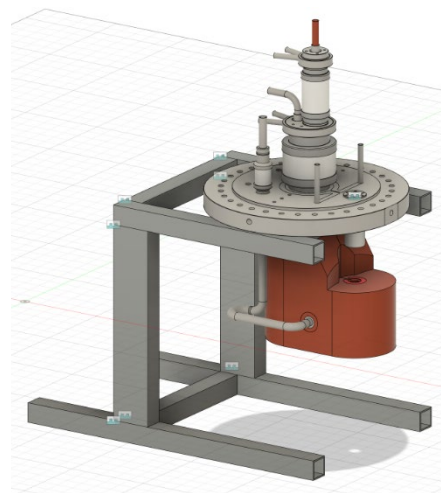


図 1 ジグの設計

FC ヘッドは重量が約 39kg あり、安定した状態で溶接を行うためには専用ジグが必要である。このため、溶接作業用ジグの設計および製作を行った(図 1)。

ジグは SS400 製の 30×30mm 角パイプを用い、溶接構造により製作した。ジグの製作完了後には錆防止を目的とした塗装を施した。本ジグにより、FC ヘッドを安定して保持した状態で溶接作業を行うことが可能となった。

4. 銀ロウ付け作業の実施

FC ヘッドの中心部には、スパイラル状に巻かれた銅パイプが挿入される構造となっており、密閉性を確保するため、銅パイプと SUS パイプの 2 か所の接合部において銀ロウ付けを行う必要がある。

銀ロウ付けの作業経験が多くないことから、本作業に先立ち、SUS 製のボルトおよびナットを用いて練習を行った。その後、SUS パイプと銅パイプを用いた実践的な練習を行い、リーク試験による確認も行った。

十分な手順確認と練習を行ったうえで、本番作業を実施した。銀ロウ付け部以外の周辺構造に湿らせたウエスを巻き付けることで放熱を促し、局所的な温度上昇によるロウ付け部以外の溶融や部材変形を防止した。リーク試験を行ったところ、リークレートは $5.8 \times 10^{-11} \text{ Pa m}^3/\text{s}$ であり問題が無いことを確認した。

5. フィードスルーTIG 溶接時のリーク発生と対策

中央部のフィードスルーに対して TIG 溶接を行った後、リークが発生した。補修溶接を試みたがリークは改善せず、最終的に溶接部に穴が開いた。この対策として、問題箇所をリューターにより切除し、延長パイプを新たに製作した上で再度溶接を行った。

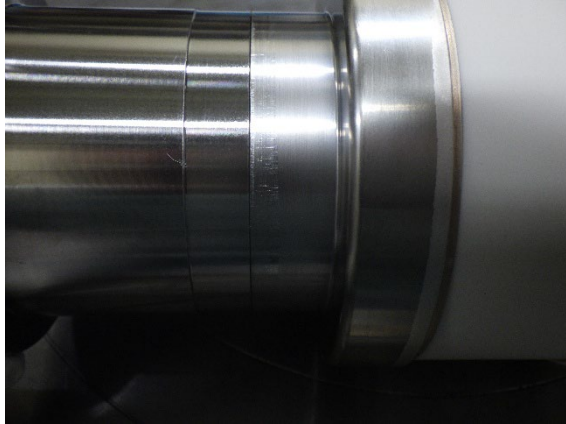


図 2 フィードスルー外観

原因調査の結果、フィードスルー表面をワイヤーブラシで研磨した際、外観が SUS と同様に見えたことから、材質の誤認が生じていた可能性が考えられた。フィードスルーはセラミックと SUS を銀ロウ付けした構造であり、表面に銀ロウ成分が残存していた可能性がある(図 2)。そのため、再溶接に際してはワイヤーブラシによる十分な研磨と洗浄を行った後に溶接を実施した結果、リークレートは $3.8 \times 10^{-10} \text{ Pa m}^3/\text{s}$ であり問題が無いことを確認した。

6. 最終組立ておよび真空試験結果

上記の対応後、残りの TIG 溶接箇所についてはすべてリーク無く溶接を完了し、FC ヘッドを納品した(図 3)。

しかし納品後、回転ターゲットに組み込んだ状態で真空試験を実施したが、その結果リークが確認された。溶接時の写真を確認したところ、フランジ内部に傷状の痕跡が認められた。3D モデルを用いて構造を確認した結果、該当箇所はネジ穴と段穴の壁との距離が 0.47mm と極めて近い構造であることが判明した。

この対策として、該当するネジ穴の奥に接着剤を注入する方法を採用することとし、併せてリーク試験用チェンバーを製作した。リーク試験用チェンバーを用いて再度リーク試験を実施した結果、リークが無いことを確認した。



図 3 溶接後の FC ヘッド

7. まとめ

その後、FC ヘッドは回転ターゲットと合わせて組み込みと真空試験まで完了した。今年度中に電源の製作が行われ、2027 年度にテストを行う予定となっている。

参考文献

[1] Y. Enomoto et al., "Development of a flux concentrator for positron source", Proceedings of the 21th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, 21, pp.502 - 506 (2024)