

冷やしばめを用いたコリメータ冷却部品の製作

○保住 弥紹 ^{A)}、森川 祐 ^{B)}、榎本 嘉範 ^{B)}、牛谷 唯人 ^{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 応用超伝導加速器イノベーションセンター

1. はじめに

加速器のビーム発生源近傍へ設置するコリメータ冷却部品の製作・組み立てに冷やしばめを用いた。これは、真空雰囲気中への冷却水漏洩を確実に防止しつつ効率の良い冷却を行う為の構造として採用したもので、本件ではその製作過程における冷やしばめの作業内容詳細と結果を報告する。

2. 冷却部品の形状

冷却部品の材質は無酸素銅で、水冷配管が接続されるジャケット部（外側）と、流路を加工した円筒（内側）の2部品で構成される（図1）。冷やしばめを行う円筒部は直径125 mmで、完成時の全体サイズは直径150 mm、長さ150 mm、取付け用フランジが張り出した形となる。また、ジャケット部と流路部を冷やしばめで組み合わせた後には、円筒上下の縁部分を電子ビーム溶接にて接合し、水路の配管部分以外を完全に封じた。

さらに、水冷部品の中央には直径100 mm、長さ150 mm、内径60 mmの円筒形をしたタングステン製のコリメータが入り、こちらも冷やしばめで挿入する形を取り、同種材と異種材による2段階の冷やしばめ構造となっている（図2）。

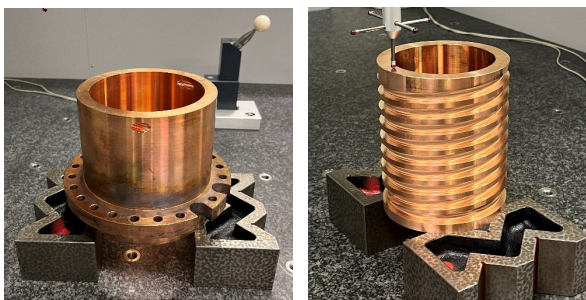


図1 冷却部品（左：ジャケット部 右：流路部）

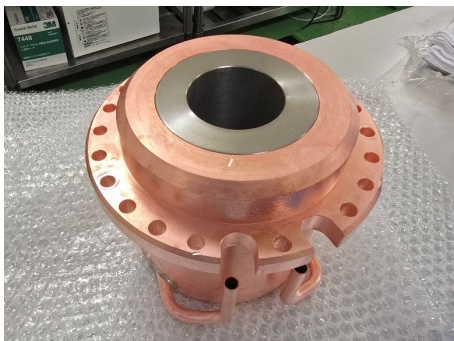


図2 冷却部品（完成品）

3. 冷やしばめの作業条件

冷やしばめを行うにあたり設定した温度条件としては、内側部を液体窒素によりおよそ-196℃まで冷却、外側部をヒーターにより230℃前後まで加熱することで温度差を十分に取り、挿入時における隙間が約0.9 mmとなるように準備をした。

また、常温状態では約60 μmの締まりばめとなるように各々の内径と外径を切削仕上げしている。これは接触する内面の応力が約6 MPaとなる設計で、冷やしばめを用いることで接触面全域に圧力が掛かり冷却部品としての熱伝導性能が十分に得られることが分かっている。

4. 冷やしばめ1回目

残念ながら1回目の冷やしばめは挿入途中で止まってしまい、失敗となった（図3）。

これは、円筒挿入時の角度が想定よりも大きく傾く形状であったことが原因であり、流路を加工した円筒の形状に起因するものであった。



図3 冷やしばめ1回目

冷やしばめ部分の直径は125 mm、長さ150 mm、冷却・加温による隙間0.9 mmから、単純円筒形状同士を組み合わせた場合に2部品のなす傾き角度は約0.34度となり、スムーズに挿入出来る予定であった。しかしながら、冷却側の円筒部品には流路が加工しており、実際の傾きは流路溝開始位置の高さ10 mm位置で約5.1度、流路溝幅を考慮した高さ15 mmでも約3.4度の傾きが発生する可能性があり、この傾き量では挿入初期段階でジャケット部が流路溝の段

に乗ってしまう状態であった。

失敗により中途半端に組み合わされた 2 部品は同種材での冷やしばめであることから取り外しが困難かと思われたが、流路溝の始まり側に乗ったことで挿入量自体は短く、油圧プレスによる取外しが可能であった（図 4）。多少の傷は付いてしまったが、この失敗を元に次項の改善策を施した。



図 4 油圧プレスによる取外し

5. 冷やしばめ 2 回目

挿入時の傾きを抑制するには円筒の長さ方向を延長することが最も簡単と思われる。冷却・加温による隙間を少なくすることで傾きを抑制することも可能ではあるが、この場合、挿入時の接触による熱伝導が増してしまい、締めりばめが効き始めるまでの時間が短くなり、根本的に作業性が悪くなってしまう。したがって、まずは傾きの抑制に必要な治具の長さを検討した。

治具の長さで傾きの制限量は反比例の関係にあり、治具長が 20 mm で約 2.5 度、30 mm で約 1.7 度と、わずかな長さでも治具として有効であることが分かったが、3 章の作業条件に記載した外側部の加熱に関しては、ヒーターによる局所的な加熱であることから厳密な温度管理はできておらず、安全を見て治具長 50 mm、傾き制限量約 1.0 度となる値を採用した。これは、温度差によるはめあい間隔が 2 mm（銅の融点を超えるので実際には不可能な値）に達した場合においても傾き制限量が約 2.3 度に収まり、1 回目の失敗で発生した可能性のある 3.4 度の傾きを確実に下回ることから、十分な安全性を確保できているといえる。

実際にこの治具を使用することで、冷やしばめがスムーズに成功した。（図 5）

ジャケット部と流路部は水冷配管の都合で回転方向の位相も目視レベルで合わせる必要があったが、挿入後から 10 秒程度は調節出来る時間的余裕があり、位相調整も問題無くできた。

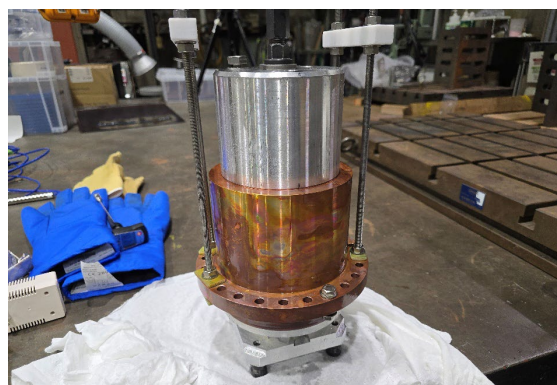


図 5 成功した冷やしばめ（上部はアルミ製治具）

6. コリメータ部の冷やしばめ

2 段階目として、2 章に記載したタングステン製コリメータの冷やしばめを行った。こちらはタングステン側を冷却するため、線膨張係数の違いにより同じ温度条件下においてもはめあい間隔が約 0.5 mm と少なくなり、挿入時の接触による熱伝導量増加が危惧される。2 回目の冷やしばめで作業性の向上は明確となっていることから、同様の治具を用意して冷やしばめに臨んだ。

結果としては 2 回目と同様に、スムーズかつ快適に冷やしばめが成功した（図 6）。



図 6 コリメータの冷やしばめ

7. まとめ

本件では、冷やしばめにおける治具の重要性が明確となった。計 3 回の結果を比較すると、挿入作業に要した時間が 1 回目は 5～6 秒、2 回目と 3 回目 が 2～3 秒と、明らかに作業性が良くなっており治具による改善効果が得られている。

冷やしばめにおける治具は材料挿入時の角度誤差を減らすために有効であり、同種材料での冷やしばめ等、失敗の許されない作業を安全かつ確実に行うためには必須とも言える。

今後もより多くの実績を重ね、部品サイズによる違いや、材質による違い等、より安全に冷やしばめを行うための知見を蓄えていきたい。