

DEVELOPMENT OF MACHINE TOOL FOR SEAMLESS CAVITY OF SUPER CONDUCTIVITY(2nd Report)

Kenji Ueno^{1, A)}, Hitoshi Inoue^{A)}, Yuichi Watanabe^{A)}, Yuichi Fujiyoshi^{B)},
Akira Takahashi^{B)}, Kenji Saito^{A)}, Yoshisato Funahashi^{A)}, Yasuo Higashi^{A)},

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

^{B)} Shimizu Co.

335-5 Yodo Saimechyo, Fushimi-ku, Kyoto, 613-0915

Abstract

A manufacturing method of a superconducting cavity for ILC (international linear collider) presses a board of Nb and most parts are welded by electron beam. This method is established in technology by electron beam welding. However as for this EBW, it takes long time in a working hour of a process, it is not high productivity and around the equator (it is the cavity's maximum diameter region) there is a bead in finished cavity so there are a lot of processing this bead surface is smooth. In addition, that there is not it is expected from a bead running in a right angle direction in a direction of an electric field at equator.

If seamless cavity is enabled from such a point of view, we can plan to improve. Furthermore, we can expect not only a cavity performance gain but also improvement in a cost if we can use Nb/Cu clad pipe. In such a purpose, we carried out the machine tool development for seamless cavity of super conductivity. In this paper we report on the size accuracy and the surface roughness of the model cavity of copper material.

超伝導空洞のシームレス化に関する装置開発(第2報)

1. はじめに

ILC (国際リニアコライダー) 用超伝導空洞の製造方法は、Nbの板材をプレス加工し、それぞれの部品を電子ビーム (以後EBWという) により接合して完成する方式が、技術上確立されている。しかしながらこのEBWは工程の作業時間が長時間であること、よって生産性が必ずしも高いといえないこと、および完成した空洞の赤道部 (空洞最大直径部のこと) にEBWのビードが残り、このビードを滑らかに加工することなど工程上の課題は少なくない。また基本的に高電界が発生する赤道部に電界の方向に直角方向にビードが走っていることは、空洞の性能上から存在しないことが望まれる¹⁾。

このような観点から、空洞のシームレス化が可能になれば、いくつかの改善が図れる。さらにコスト高であるNb素材の使用量を削減するため、Nb材と銅材のクラッドパイプ材をシームレス化で使用する事が可能になれば、空洞性能の向上だけでなく、コスト上の改善も期待できる。筆者らはこのような目的で、超伝導空洞のシームレス化に必要な装置開発を実施しており、既に3セルまでのモデル形状のシームレス空洞の製作可能な装置開発を行い、銅パイプを用いて可能であることを実証し報告した²⁾。継続研究開発として、装置については9セルのシ-

ームレス空洞のため、ネッキング工程の9セル化に成功したこと、また、銅パイプによる3セル空洞のネッキング、液圧成形の形状、これらの加工条件、アイリス部のクラックの有無の精査、および表面粗さの状況等基礎的状況について報告する。

2. シームレス化の効果

空洞の製造コスト比較について、参考資料を基に説明する³⁾。図1には単空洞の製造コストから9セル空洞コストを算出したデータを示す。現状のEBW方式は、EBWコストと材料コストが大きな比率と額を占め、現状のEBW方式で空洞を製造するには、その費用が、予想以上に高額となることが懸念される。ILCの場合、空洞は約17,000本必要であり、このマスプロダクション方式からその費用を算出しても40%程度低減できるが、この高額な費用は、まだ現状コストの60%の額である。EBWの工程削減が可能であれば、コスト上の効果があることは明らかである。もし、Nb/Cuのクラッド材を用い、シームレス化が可能であれば、現状方法に比べて約70%のコスト低減が見込める。結果として現状の30%程度のコストで製造することが期待できる。

¹ E-mail: kenji.ueno@kek.jp

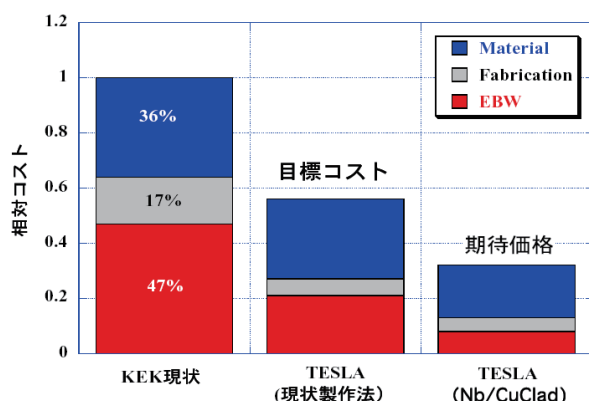


図1 空洞製造方法によるコスト比較³⁾

3. シームレス化装置開発

3.1 装置開発経過

空洞のシームレス化を実施するには、絞り工程（ネッキング工程）とその後のアニール処理、続いて液圧成形工程が必須である。まず、絞り工程は加工要領が似ている仕様である旋盤を使用して開発した²⁾。初期段階として3セル空洞モデル仕様として開発した。旋盤は大日金属工業製DLC-SHB型（ベッド長2910mm）のものである。工具台、ワーク取付け部に改造を実施し、曲率半径10mmの直径165mm、幅20mmのローラを、素材（銅パイプ）にドライ条件で押し付ける手法で絞り加工を行う方式としている。銅パイプの絞り加工する際に、先に加工済みの絞り部に形状変形を与えないようなパイプクランプの方式の開発が必要であった。図2にこのクランプ方式例を示す。工具の移動は2軸NCを採用し、薄肉パイプ加工のため、繰返し性のある方式としている。

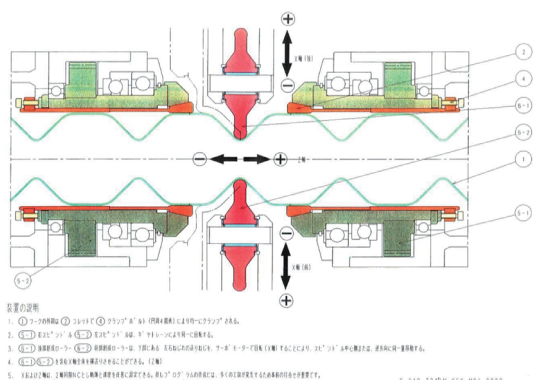


図2 ネッキング加工の原理
工具の2軸送りは、NC化している

液圧成形機は、図3に示す原理図を基に3セル空洞用の装置を開発した²⁾。まず、空洞内部に15MPaの内圧を与えながら軸方向に外部圧力70tを付加し、金型のスキマがゼロになるまで加圧する。軸方向に移動量変化がゼロになったことを確認し、その後、内圧をさらに付加する方式としている。

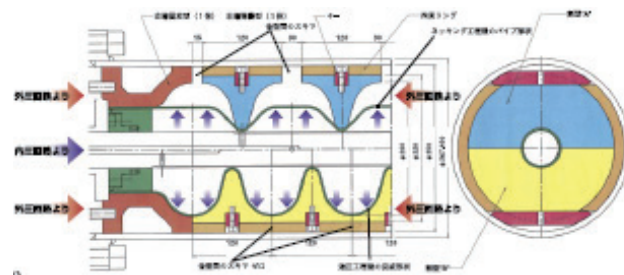


図3 液圧成形の原理、概念図
上側が絞り加工後のパイプ形状、
下側が液圧成形後のパイプ形状

3.2 ネッキング装置9セル化改造

ネッキング加工機は、3セル仕様機からさらに9セル仕様機に改造した。図4に本機の外観を示す。実証試験として、直径130mm、厚み3.1mm、リン脱酸銅、最大応力点265MPaの銅パイプ材を使用し、素材長2000mmから10溝加工を行った。加工条件は、主軸200rpm、送り速度90mm/minである。1溝当り11mm素材が延びるが、この変形分は、クランプ部で吸収できる。加工時間は、37分/溝である。



図4 9セル絞り加工が可能な
ネッキング加工機の概観

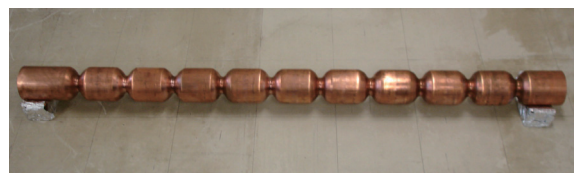


図5 9セルのネッキングパイプ

4. 形状評価

3項で述べた開発加工機を用いて3セルのモデル空洞を製作し、以下の項目を調査した。

- ① 肉厚分布
- ② 形状精度
- ③ アイリス部のクラックの有無

である。対象材料が、銅材であるがNbパイプの場合を想定しても、参考にはなると判断した。図6に、成形空洞モデルを放電加工機により軸断面で切断した側の写真を示す。その断面部の肉厚寸法を計測しグラフ化したデータが、図7である。肉厚寸法は、加工前が3.1mmである。肉厚分布は、1.3mmから2.5mmに変化しているが、最少肉厚が1.3mmであることは、本方式がシームレス化に適用できると考える。



図6 液圧成形後の3セル空洞、軸方向断面形状

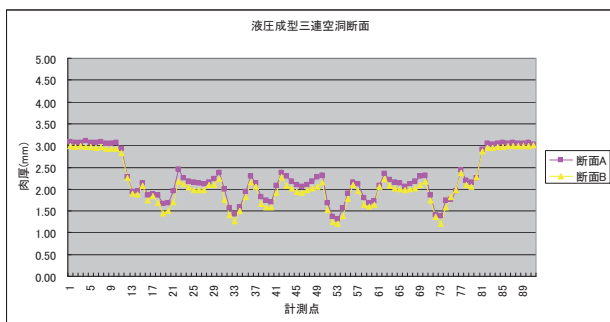


図7 3セル空洞の肉厚寸法変化状態

三次元測定器により形状精度0.5mmを得た(図8)。さらに真円度の計測も実施し±0.05の結果を確認した。

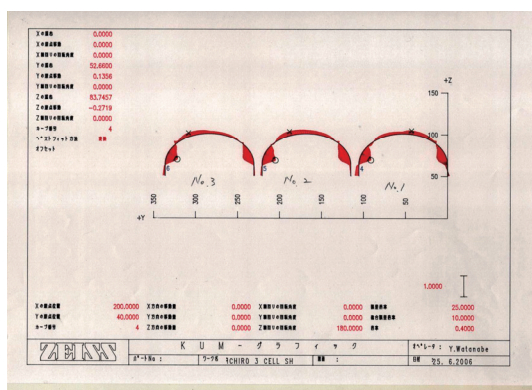


図8 三次元測定器による形状計測結果

本方式での注目点は、アイリス部にクラックが生じないことであり、変形量大きいアイリス部の状態を精査した。図9のようにアイリス部の部分を切り出し断面の状態を観察した。図10は、内部面粗さの状態を示す。本図の場合、0.153mmの粗さであることが判明した。調査した空洞の他のアイリス部内部面粗さは、0.2mmから0.23mmであった。また、ク

ラックは認められなかった。

アイリス部の断面観察 <sample-2>

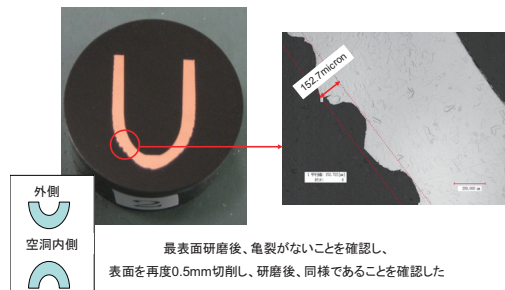


図9 空洞内面のクラック調査、面粗さ調査

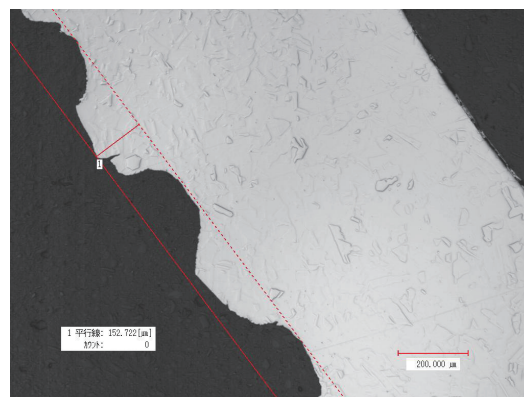


図10 図9右側の内部面粗さ部の拡大写真
赤い破線間距離は、0.153mmである

5. まとめ

ILCの超伝導空洞のシームレス化の装置開発を実施している。開発研究対象工程は、ネッキング工程と、液圧成形工程である。ネッキング工程（ネッキングマシン）は、9セル加工可能な仕様機を開発した。液圧成形機は、3セルが加工可能である。

液圧成形機の銅材による3セルの成形性は±0.05mmの形状精度で形状が確保できた。アイリス部には、目立つクラックが生じていない。内面の粗さは、0.2mm～0.23mm程度のしわのようであり、後工程のバレル研磨で取りきれると判断している。

今後は、Nb材のパイプによる3セルシームレス空洞を完成し、超伝導環境下での基礎試験を行なう計画である。

参考文献

- [1] 齊藤健治 “ニオブ・銅クラッド材を用いたシームレス超伝導高周波加速空洞の開発” 文部科学省科学研究費補助金成果報告書 平成14年7月
- [2] 上野健治 他 “Development of Machine Tool for Seamless Cavity of Super Conductivity” 日本加速器学会 平成18年8月
- [3] 藤野武夫 “ニオブ・銅クラッドシームレス超伝導高周波加速空洞の研究” 博士論文総研大 平成15年3月