

DEVELOPMENT OF MACHINE TOOL FOR SEAMLESS CAVITY OF SUPER CONDUCTIVITY

Kenji Ueno^{1, A)}, Kenji Saito^{A)}, Hitoshi Inoue^{A)}, Yasuo Higashi^{A)}, Kazuhiro Enami^{A)}, Yoshisato Funahashi^{A)},
Yuichi Watanabe^{A)}, Masami Shimizu^{B)}, Yuichi Fujiyoshi^{B)}, Tooru Yamauchi^{B)}, Akira Takahashi^{B)}

^{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.

超伝導空洞のシームレス化に関する装置開発

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。

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うことが可能になれば、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。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た。この開発経過等について報告する。

2. シームレス化のための必要工程

空洞のシームレス化については、素材がパイプ形状であることを前提に検討した。素材がパイプ形状

であるので、まず、適当な位置にくびれを付加する工程 (絞り工程という)、を行ない、加工硬化を除去する目的から、アニール作業を行う。その後、パイプ内部に高圧液を送り込み、バルジ加工を実施 (液圧成形工程という) する。パイプから絞り加工を実施する場合、くびれ部1個は比較的簡単に加工できるが、2個目のくびれ加工時、加工済み形状に影響を与える。

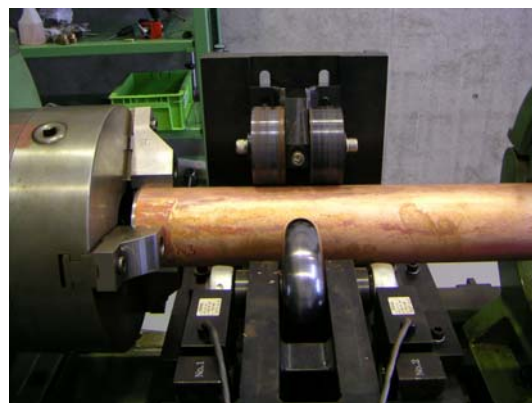
図1はパイプから絞り加工を実施した素材である。同図には、くびれ部1個、および2個の部分が加工できている。本工程の課題は、くびれ1個の場合は、簡便なパイプ固定方法で実施できるが、2個以上のくびれを与える場合、加工済みのくびれが、隣のくびれ加工中に影響を受けて変形することの防止である。この点に関しては、種々検討した。

ILC用空洞は9セル空洞を対象とするので、本研究の課題は、2個以上のくびれを与える場合、加工済みのくびれが、隣のくびれ加工中に影響を受けて変形することを解決することであった。また、絞り工程後の液圧成形工程に関しては、金型形状に合致する成形手法を確立することであった。本研究においては、中間、最終の2工程とし、この工程間にアニールを実施し液圧成形工程の安定化を図った。

¹ E-mail: kenji.ueno@kek.jp



図1 パイプ材から絞り工程後の素材

図3 基礎実験装置 押し付けローラ方式
工具部分 拡大

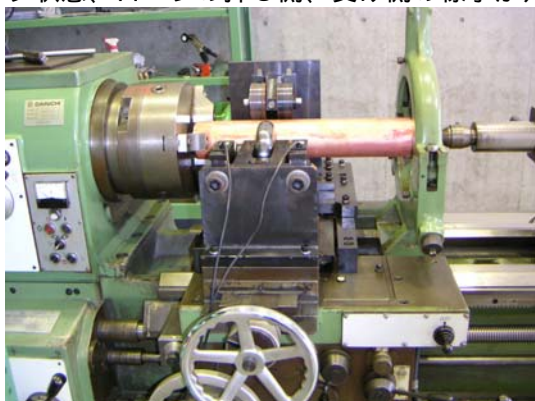
3. 絞り加工機(基礎実験および本機開発)

3.1 基礎実験

絞り加工工程の基礎実験は、最終的に完成機を設計するための、諸条件の数値を入手するために実施した。

すなわち、押し付け力の大きさの評価、半径方向のみの押し付けにより絞りが可能であるかの可否判断、および加工後に隣の溝の変形への影響等についてである。

実験には、加工要領が最も近い仕様である旋盤を使用した。旋盤は大日金属工業製DLC-SHB型(ベッド長2910mm)のものである。主として工具台の部分に改造を実施し、曲率半径20mmの直径100mm、幅40mmのローラを、銅パイプにドライ条件で押し付ける手法で実験した。銅パイプは、厚み3.1mm、リン脱酸銅 最大応力点265MPaの素材を使用した。実施主目的は単純な半径送り(ラジアル送り)のみの押し付け試験である。押し付け力はロードセルにより計測し1500Kgの値が最大値であることを確認した。素材の回転速度は、種々実験し 200min^{-1} が本装置の最適条件であると判断して以降の実験にも採用した。図2、3に試験装置の状態を示す。図3から素材のクランプ状態、ローラの押し側、受け側の様子が判る。

図2 基礎実験装置 押し付けローラ方式
旋盤の工具台を改造した装置図4 ローラの転写性がいいくびれ形状、
但しコーナー部にバリが発生した
パイプ厚み3.1mm、アイリス部厚み2.0
mmであり、アイリス部の厚みのばらつきは、2.0から2.3mmの範囲であった。

基礎実験の結果から判明したことは、

転写性は合格するが、図4のように丸み部とパイプ径部の角部にバリ(肉厚大化)が発生する。このバリは後工程液圧加工でも改善できる可能性が低いと判断された。

同様に隣接するくびれ加工時に、加工済みくびれの形状が変化する。正しい形状が維持できない。

絞り比率(直径比)は、1/2まで可能である。この結果、アイリス部(空洞の最少径部の大きさ)に対し、直径2倍のパイプ素材を準備できることが判明した。

3.2 本機開発

基礎実験を踏まえて、単軸送りでは、連続した絞り部を目的とするシームレス化には、限界があることから、2軸送りを採用することとした。

2軸送りは、NC化している。半径方向送り(ラジアル送り、X軸送り)、パイプ軸方向送り(タンジェンシャル送り、Z軸送り)の2軸をNCで駆動

した。押し付けローラは、2軸NCで運動できることから平面内であるが、自由な押し込み曲面が得られる。従って、本方式により、基礎実験で発生した角部のバリは、その発生を抑えることができた。図5に絞り加工機の外観を示す。

くびれ部の厚み精度について調査した。結果を図6に示す。計測はマイクロメータにて、0.2mmの範囲内で再現性のあることが確認できた。NCの送り速度は、60m/分、所要時間として1くびれ部当り1時間を要している。

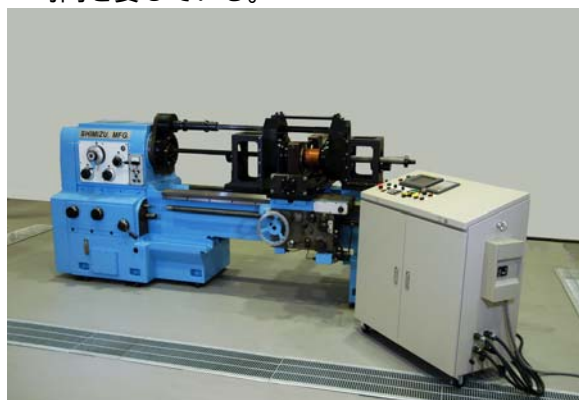


図5 絞り加工機の外観

材料：JIS H3300 C1220T 130φ×3t×500L

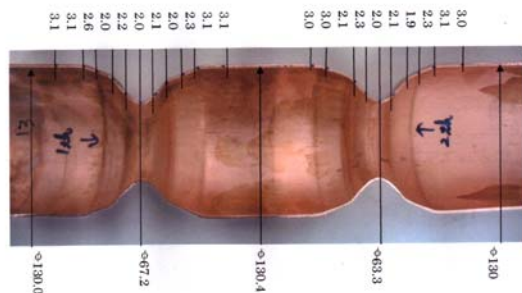


図6 絞り加工後のパイプの厚みの変化

4. 液圧成形機

絞り加工後、アニール（500℃、1時間）を実施した。その後、パイプ内部に15MPaの液圧を注入し、外部からはパイプ長が短縮される分、15MPa（70トン）で押し込む方式を採用した。この考えに基づき、図7に新規に開発した液圧成形機を示す。本機は、パイプ内高圧液制御系と、外部からパイプ長を短縮する油圧系の2系統を有している。

現在実験中の金型は、最終工程の3セルモデル例であるが、図8にその成形結果を示す。本工程は、今後種々の改善条件を開発しながら最終形状の安定化に向けて実験を進める。併せて、準備時間の短縮

のための改善も図る計画である。

最終液圧成形後の空洞の真円度は、0.1mm以内であり、プリチューニングなどの後工程作業により見通しを与えている。今後は、総合的にみて完成度の高い空洞を成形する目的で取り組む計画である。

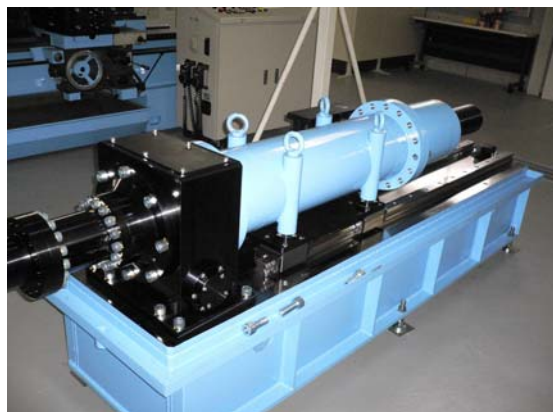


図7 液圧成形機



図8 3セル絞り加工後 左から絞り加工後液圧（中間、最終）成形後の空洞モデル 右端のモデルが完成状態

5. まとめ

現在EBWで製造している9セル空洞のシームレス化（EBW工程レス）の研究を行なった。

パイプ素材の絞り加工には、1軸送り方式の基礎実験を踏まえ、2軸送りで押し付けローラをNCで制御した専用加工機械を開発した。本装置により所期の位置、形状が得られた。同時に液圧成形機を新たに開発した。これらの装置によりシームレス化の実験を行ない、3セル空洞モデルを製作できた。

本装置は、今後関連要素研究を行い、最終的には9セル加工が可能な装置改造を実施する計画である。

参考文献

- [1] 斉藤健治 “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