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 E B W 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 E B W 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用す る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

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1500 Kg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3 基礎実験装置 押し付けローラ方式 工具部分 拡大



図4 ローラの転写性がいいくびれ形状、 但しコーナー部にばりが発生した 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 130 φ×3t×500 L



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。この考え方 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い 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 E B W 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