

[P 30–27]

HYDRO-BULGE FORMING OF L-BAND COPPER SINGLE-CELL CAVITIES

FUJINO Takeo, INOUE Hitoshi, SAITO Kenji, NOGUCHI Shuichi, ONO Masaki,
KAKO Eiji, SHISHIDO Toshio, *KUBOTA Akira and **KOIDE Shigeyuki

National Laboratory for High Energy Physics (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305 Japan

*Advanced Technology Consulting Corporation Ltd.

1-10-1, Senkawa-chyo, Chyofu-shi, Tokyo-to, 182, Japan.

**Ltd. Corporation San-Planing

210, Fukuizumi, Minami ashigara-shi, Kanagawa-ken, 250-01, Japan.

ABSTRACT

The hydro-bulge forming of L-band copper single-cell cavity has been tried to fabricate seamless cavities. The forming material is seamless copper tubes with 85 mm diameter and 4 mm thick. If this manufacturing method could be successfully developed, it will bring many benefits to superconducting rf cavities as fabrication cost reduction, use of Nb/Cu clad cavities and so on. In this paper, we present a result of the feasibility study of this method for multi-cell cavities.

液圧バルジ成型法によるL-バンド単セル銅空洞の試作

1. はじめに

超伝導リニアコライダーの実現には、空洞の高性能化のみならず、製作費の大幅なコストダウン化が重要な鍵となる。現在採用されているニオブ超伝導空洞の製作方法は、深絞りでハーフセルを成型した後、それらを一個々電子ビーム溶接で接続している。このため工程数が多くなり、作業時間や製作費の増大を招いている。この問題を解決するために、シームレス管を液圧バルジ成型法で一体成型して、単セルの空洞を製作する方法を試みた。

液圧バルジ成型は油圧で銅管の内部を加圧するとともに、管を管軸方向に圧縮することに

より、深絞りのな成型機構になるので比較的肉厚の減少が小さい。もしこれが多連空洞の成型に適用できれば、時間的にも経済的にも他の製法よりも良さそうである。しかし実際には、空洞の加工は形状的な形作りだけでなく、加速空洞の性能に関わる内面状態の問題も含むから、バルジ成型による表面の肌の状態やバルジ材による表層への化学的な影響等、多くの検討を加え、総合的に加工法の良否を判断しなければならない。

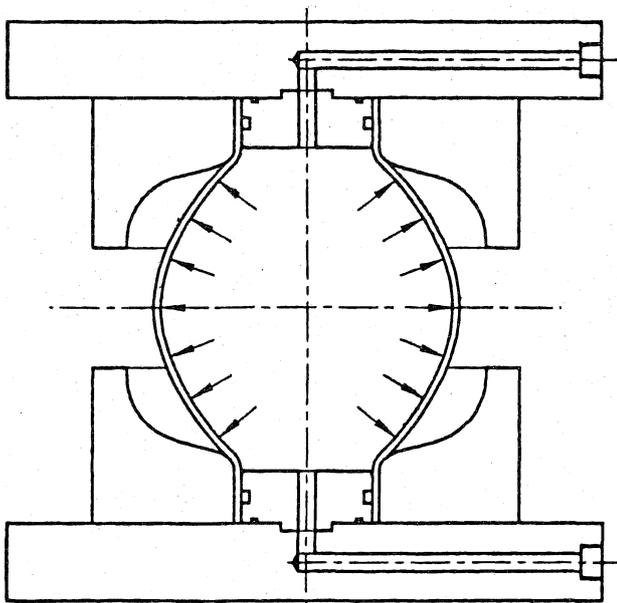
ここに、液圧バルジ成型法による多連空洞の製作の可能性について報告する。

2. 成型実験

被成型材料としてニオブ材に比較的近い抗張力を有する銅材のシームレス管を使用した。このものの形状寸法は外径 $\phi 85\text{ mm}$ ×肉厚 4 mm である。また管の成型には、最高 210 気圧の油圧のバルジ圧を発生する能力を持つ、推力 63 トンの油圧プレスを用いた。

プレスの上下のテーブルにそれぞれ半セル分の金型を取り付け、この間に長さの異なる被成型管を、プレスの推力方向に管軸方向を一致させて組み込んだ。この状態で、バルジ圧、管の圧縮量やプレスの下降速度、プレスの推力等を変化させて成型した。バルジ圧とプレス推力は圧力センサーで、また管の圧縮量はプレス下降位置センサーで計測し、それぞれをペンプロッターで出力した。

この成型方法は、ハーフセルに分割した金型を予め離れた位置に置くことで、素管時のアイリス間距離を成型時の体積分に見合った量だけ長く設定しておくことができるので、成型時の管の圧縮により、予め長くした素管の体積分が径方向の膨らみによる体積の増し分に充当される。従って、成型前後の各部の肉厚の変化は小さい。



(図1) .Principle of the hydro-bulge forming.

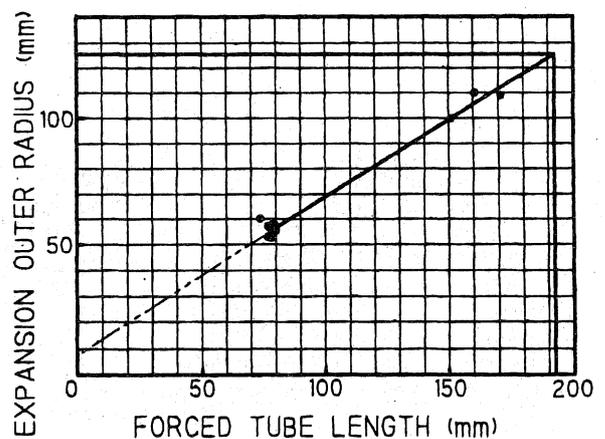
成型は素管径の 65% 増の約 140 mm 直径の中間金型と完成金型を用いて二段成型を行った。一次成型と二次成型の間で熱処理（真空炉において、 500°C で 1 時間アニール）を実施した。

液圧バルジ実験に用いた治具の概念図を（図1）に示す。

3. 結果と考察

直径 $\phi 85\text{ mm}$ 、肉厚 4 mm の銅管において、 65 気圧付近のバルジ圧から径方向の膨らみを生じた。そして径方向の増加量はバルジ圧にほぼ直線的な関係にあった。またこの時のように管を拘束しない状態では、径の増加とともに管長の減少が見られた。

素管を軸方向に圧縮しつつ、管内を加圧した成型実験の結果を（図2）に示す。横軸に素管の圧縮量を、また縦軸に直径の増加量を mm で表した。このグラフ中、下方にプロットしたものは 65% の金型で一次成型したもので、上方に位置するものは、一次成型品を熱処理した後に、完成型を用いて二次成型した結果である。このグラフから、管長の減少量と径の増加量は直線的な比例関係にあることがわかった。



(図2) .Relationship between the forced tube length and the expansion in the maximum outer radius.

成型条件が適切ならば、液圧バルジ成型法は一回の成型で65%まで径を膨らませることが可能であった。しかしバルジ圧と管軸方向の圧縮量や圧縮速度のバランスが不適当な場合はバックリングを生じた。

このように一回の成型で比較的大きな膨らみが得られるのは、素管を圧縮することで、膨らんで大きくなった周長方向の伸び量を軸方向の縮み量で補い、極端な肉厚の減少を防ぐことと、半セルの型と型の間隔を狭めることで、アイリス部の素管の拘束点間の接近移動により、空洞曲線長さ相当の素管の直線部が管壁を径方向に押し出させるように折りたたむことが原因している。

このことは、素管の外径部の軸方向と周方向に10mm間隔で刻んだケガキ線の成型後の間隔の変化とケガキ本数の不変性、および内外の直径を測定することからわかる。一例を示すと、10mm×10mmの升目の成型後の変化は軸方向が7mmに縮み、そして外径φ85mm内径φ76.75mmの素管が外径φ138.4mm内径φ131.1mmに变化した。即ち、成型前後の管の断面積にそれぞれ10mmおよび7mmを積算し、各々の体積を算出すると、これらの値はほぼ等しい。



(図3). Nearly full shaped structure by hydro-bulge forming (two step included annealing).

更にこのグラフから、最終形状に膨らませる時の素管時の管の全長が推定できる。例えば、両端に長さ135mmのビームパイプを持つ単セルの空洞を成型するための素管長は、セル部の115.6mmと2倍のビームパイプ長270mm、更に管の圧縮量192.4の総和578mmである。

(図3)に液圧バルジ成型品の写真を示す。

4. 結語

液圧バルジ成型法はアイリス部分で管を拘束せず、管軸にそって管を押し込むことがで、肉厚の減少を抑えて、比較的大きな径の増加が得られるので空洞の製作に利用できる。

現在、単セル空洞を製品化させるとともに、複数セル用の成型治具を考慮している。更に、銅管の内壁に薄肉のニオブ管を爆着した、シームレスCu/Nbクラッド管の試作を計画している。この管を材料にして爆発成型法で空洞を製作すれば、全体がニオブ材から成る空洞よりも一層経済的である。

謝辞

この実験に際して、プレスを操作して下さったり、成型法に関する議論をして頂いた、株式会社幸伸技研の塩川清二氏、鈴木哲司氏および久保田千秋氏に感謝いたします。