

液圧バルジによるシームレスLバンド空洞の製作

井上均^{A)}、藤野武夫^{A)}、上野健治^{A)} 斎藤健治^{B)}

^{A)}高エネルギー加速器研究機構 技術部

^{B)}高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設

1、はじめに

近年、大型化かつ高性能化と経済性の両面を兼ね備えた超伝導加速空洞として、厚肉銅の内面に薄肉のニオブを接合したクラッド管を液圧バルジ法で一体成型することによって、高価なニオブ材の減量と電子ビーム溶接の作業量を軽減した空洞の製作を行っている。従来の方法では、深絞りしたニオブのハーフセルを電子ビーム溶接で接合して組上げる製法を用いれば溶接欠陥の懸念や材料費や製作費が高額になる点で実現が困難になる。本開発は将来の大規模な超伝導加速空洞に備えた製作法を確立する事を目的としている。

2、クラッド管の製作

クラッド管の接合法には圧延、爆着、拡散、鑄込み等がある。今まで、爆着とHIP (Hot Isostatic Pressing) の2つの方法で製作した。

(1) 爆着法

爆着法は鋼材を母材にし、合わせ材にステンレス、ニッケル板等を用いたクラッド鋼板は工業的には一般的である。そしてニオブ板と銅板についても問題無く接合できる。しかし、長い管の接合には一般的でなく、特に薄いニオブ管と銅のクラッド管の製作は工業的に例がない。爆着法とは火薬の爆発力を用い、瞬間(爆発速度 6700m/sec ~ 8300m/sec)なので、金属に熱が伝わる余裕がなく冷間圧接になる。爆着は大気中で行われたにも拘らず、ニオブのRRRはほとんど変化が無かった。これは接合時間が一瞬で終わるため温度が伝わる時間が無かったと思われる。爆着で大事な事は2つの金属間に一様に狭い空間が設ける事である。パイプの変形の為、一様な空間が確保出来なかったので部分的に接合が出来てない所があった。またキズ、圧痕が有りあまりいい結果は出なかった。

(2) HIP 法

ニオブと銅のHIP処理の条件は2000気圧、800℃のアルゴンガスの雰囲気中で2時間保持した。この条件で接合面に垂直に引張り力を与えて界面の接合力を測定した結果、銅母材の引張り強度以上の接合力を得ている。内側のニオブはアルゴンガス雰囲気中で加熱する際に酸素等を吸って材料劣化する為、銅で挟み込み(3層構造)管の両端部を電子ビームで溶接し真空封じを行った。ニオブ材を銅で包む事で超伝導線材の線引き加工の様に銅に追従して引き伸ばされるので伸管性が良くなる。このHIP条件でニオブ材をアルゴンガス雰囲気中で直接加熱するとRRRの劣化が半分程度なる。銅で包むとRRRの劣化が2割程度なる。このような結果からHIP処理に際してニオブを銅で保護する事は重要である事が判る。

3、バルジ加工

バルジ加工とは素材管の内側に圧力を加えて膨出成型する作業で、古くからゴムや液体を利用してパイプのバルジ加工が行われていた。この方法では膨らんだ所の肉厚が減少する。「素材管の軸方向に力を加えつつ成型する方法」を取入れる事によって、膨出率の大きい複雑異形断面のバルジ加工が容易になった。これは

管内に内圧を作用させると共に素材管を軸方向に加圧（押し込み）するために膨出による材料の不足を補い、肉厚の減少や破損を防ぎ膨出率の大きい加工を可能にする。加工の難しさとして、素材管の圧縮力（押し込み量）の関係は少ないと膨出部は薄肉となり亀裂破損し、多すぎると管は途中で座屈を生ずる。Lバンド空洞ではパイプ部（85mm）と空洞の赤道部（210mm）の比が大きすぎて1回では成型出来ないために3工程で行っている。1工程目では外径138mm、肉厚3.3mmのクラッド管を回転成型機でパイプ両端部を85mmに絞る。クラッド管は引抜き管の為、加工硬化しているので、ここでアニールを行う。2工程目では空洞部は1回で成型するには伸び率が大き過ぎるために中間成型を行う。前回までは中間金型（赤道部178mm）を用いなかった為に、肉薄と思われる場所が膨らみ過ぎて芯円にならなかつたり、バーストしたりしていた。その改善策として現在、中間金型を製作している。この方法だと肉薄と思われる所は型で拘束され、膨らみ過ぎを防止と芯円になる様に期待している。中間成型の後、再度アニールして3工程目の最終金型になる。