

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-254244

(P2005-254244A)

(43) 公開日 平成17年9月22日(2005.9.22)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
B 2 3 K 20/00	B 2 3 K 20/00 3 1 0 L	2 G 0 8 5
B 2 3 K 20/14	B 2 3 K 20/14	4 E 0 6 7
H 0 1 J 37/04	H 0 1 J 37/04 Z	5 C 0 3 0
H 0 5 H 9/00	H 0 5 H 9/00 Z	
// B 2 3 K 103:12	B 2 3 K 103:12	

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2004-65011 (P2004-65011)
 (22) 出願日 平成16年3月9日(2004.3.9)

(71) 出願人 504151365
 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構
 茨城県つくば市大穂1番地1
 (74) 代理人 100074077
 弁理士 久保田 藤郎
 (71) 出願人 598101262
 諏訪熟工業株式会社
 長野県諏訪市大字中洲4750番地11
 (74) 代理人 100074077
 弁理士 久保田 藤郎
 (74) 代理人 100086221
 弁理士 矢野 裕也
 (72) 発明者 上野 健治
 茨城県つくば市並木3丁目7-1-611
 最終頁に続く

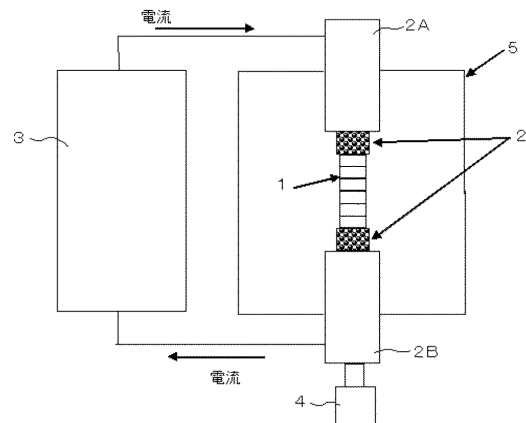
(54) 【発明の名称】 電子・陽電子コライダーの加速管の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 高価なインサート材を用いることなく生産性よく、しかも強固かつ高精度に電子・陽電子コライダーの加速管を製造する方法を提供すること。

【解決手段】 複数のリング状セルを積層し、接合させて電子・陽電子コライダーの加速管を製造するにあたり、パルス通電接合法を用い、真空又は不活性ガス雰囲気中で、該セルの両端部に接する電極として弾性を有するものを用い、第1段階で200 以上650 以下の温度と1MP a以上20MP a以下の加圧力にて、第2段階で700 以上1000 以下の温度と0.01MPa以上0.9MPa以下の加圧力にて、それぞれパルス通電接合を行い、第3段階で800 以上1000 以下の温度で0.5~3時間熱処理することを特徴とする該加速管の製造方法。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数のリング状セルを積層し、接合させて電子・陽電子コライダの加速管を製造するにあたり、接合法としてパルス通電接合法を用い、真空又は不活性ガス雰囲気中において、前記リング状セルの両端部に接する電極として弾性力を有するものを用い、かつ、第 1 段階で 200 以上 650 以下の温度と 1 MPa 以上 20 MPa 以下の加圧力にてパルス通電による接合を行い、次いで、第 2 段階で 700 以上 1000 以下の温度と 0.01 MPa 以上 0.9 MPa 以下の加圧力にてパルス通電による接合を行い、さらに、第 3 段階で 800 以上 1000 以下の温度で 0.5 ~ 3 時間熱処理する、ことを特徴とする、電子・陽電子コライダの加速管の製造方法。

10

【請求項 2】

前記電極の材質としてカーボンを用い、かつ、前記電極の平面積と、これに接するリング状セルとの平面積との比が、1 : 1 ~ 10 : 1 の範囲である電極を用いる、請求項 1 記載の製造方法。

【請求項 3】

第 2 段階での処理後及び / 又は第 3 段階での熱処理後、複数のリング状セル及び / 又は電極に不活性ガスを吹き付けてなる、請求項 1 又は 2 記載の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、複数のリング状セルから、生産性よく、しかも強固かつ高精度に電子・陽電子コライダ（衝突器）の加速管を製造する方法に関する。

20

【背景技術】

【0002】

一般に電子・陽電子コライダの加速管は、複数のリング状銅製セルを積層し、これらを接合することにより製造されている。

電子・陽電子コライダの加速管を製造するにあたっては、複数のリング状銅製セルの間に強固、かつ、高精度な接合が要求されることから、これまでは複数のリング状銅製セルの各接合面間に、インサート材として、金や銀などの金属を挿入し、拡散接合させることにより製造されていた（例えば、特許文献 1、2 参照）。

30

【0003】

しかしながら、インサート材として用いる金や銀などの金属は非常に高価であるばかりか、複数のリング状銅製セルの各接合面間の全てに、極薄いインサート材を配置しなければならず、大変手間がかかり、生産性に劣るものであった。

【0004】

【特許文献 1】特開平 6 - 15462 号公報

【0005】

【特許文献 2】特開平 10 - 340799 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0006】

本発明は、このような従来の問題点を解消し、複数のリング状セルから、高価なインサート材を用いることなく生産性よく、しかも強固、かつ、高精度に電子・陽電子コライダの加速管を製造する方法を提供することを目的とするものである。

【0007】

本発明者は、上記目的を達成すべく鋭意検討を重ねた。

その結果、本発明者は、接合法としてパルス通電接合法を用い、かつ、リング状セルの両端部に接する電極として弾性力を有するものを用い、さらに接合を特定の条件で行うことにより、目的を達成しうることを見出し、かかる知見に基づいて本発明を完成するに至った。

50

【課題を解決するための手段】

【0008】

即ち、請求項1に係る本発明は、複数のリング状セルを積層し、接合させて電子・陽電子コライダの加速管を製造するにあたり、接合法としてパルス通電接合法を用い、真空又は不活性ガス雰囲気中において、前記リング状セルの両端部に接する電極として弾性力を有するものを用い、かつ、第1段階で200以上650以下の温度と1MPa以上20MPa以下の加圧力にてパルス通電による接合を行い、次いで、第2段階で700以上1000以下の温度と0.01MPa以上0.9MPa以下の加圧力にてパルス通電による接合を行い、さらに、第3段階で800以上1000以下の温度で0.5～3時間熱処理する、ことを特徴とする、電子・陽電子コライダの加速管の製造方法を提供するものである。

10

【0009】

次に、請求項2に係る本発明は、前記電極の材質としてカーボンを用い、かつ、前記電極の平面積と、これに接するリング状セルとの平面積との比が、1:1～10:1の範囲である電極を用いる、請求項1記載の製造方法を提供するものである。

【0010】

さらに、請求項3に係る本発明は、第2段階での処理後及び/又は第3段階での熱処理後、複数のリング状セル及び/又は電極に不活性ガスを吹き付けてなる、請求項1又は2記載の製造方法を提供するものである。

【発明の効果】

20

【0011】

本発明によれば、金や銀などの非常に高価なインサート材を用いる必要がなく、複数のリング状セルのみでダイレクトに接合することができる。このため、大幅なコストダウンが可能となる。

しかも、このため、複数のリング状セルの各接合面間の全てに、極薄いインサート材を配置するという手間が省け、生産性に優れる。

さらに、本発明によれば、複数のリング状セルを強固、かつ、高精度に接合することができ、高精度な加速管を得ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

30

以下、本発明の実施の形態を示す。

請求項1に係る本発明は、電子・陽電子コライダの加速管の製造方法に関し、複数のリング状セルを積層し、接合させて電子・陽電子コライダの加速管を製造するにあたり、接合法としてパルス通電接合法を用い、真空又は不活性ガス雰囲気中において、前記リング状セルの両端部に接する電極として弾性力を有するものを用い、かつ、第1段階で200以上650以下の温度と1MPa以上20MPa以下の加圧力にてパルス通電による接合を行い、次いで、第2段階で700以上1000以下の温度と0.01MPa以上0.9MPa以下の加圧力にてパルス通電による接合を行い、さらに、第3段階で800以上1000以下の温度で0.5～3時間熱処理する、ことを特徴とするものである。

40

【0013】

請求項1に係る発明においては、複数のリング状セルを積層し、接合させて電子・陽電子コライダの加速管を製造する。

電子・陽電子コライダの加速管は、完成後は長さ20～30kmにも及ぶため、一度にそのような極めて長尺なものを作製することはできない。そこで、例えば20段、或いは60段など、リング状セルを中心軸方向に(その中央部の貫通孔が連通するように)所定段数重ね接合したものを基本単位として作製し、これを順次つなげて行くことにより、目的とする電子・陽電子コライダの加速管を製造している。なお、本発明における接合は、基本的に真空又は不活性ガス雰囲気中において行われるため、そのような極めて長い加速管を製造する場合、真空又は不活性ガス雰囲気を維持しつつ一定の長さだけ接合し、

50

少しずつ移動して接合しうるようにしておくことが必要となる。

【0014】

リング状セルは、通常、銅製であるが、これに限定されるものではない。このリング状セルは、1例を挙げれば、直径61mm、厚さ8.74mmの円板の中央部に直径20mmの空洞（貫通孔）を有するものであるが、これに限定されるものではない。リング状セルとしては一般に用いられているものを使用することができる。

【0015】

このリング状セルとしては、極めて高精度の寸法加工が施されたものを用いることが好ましい。また、このリング状セルの両面又は片面は、予め洗浄し、汚れや付着物などを取り除いておくことが望ましい。具体的には例えば、超音波等を用い、イソプロパノールなどのアルコール系等の有機溶剤を用いてリング状セルの両面又は片面を洗浄しておくことが望ましい。或いは、リング状セルの両面又は片面に、スパッタ、洗浄液等による清浄化を施し、接合界面の異物、酸化膜、不動態被膜等を除去して接合を行っても良い。さらには、リング状セルの両面又は片面に、アルゴン雰囲気下でのプラズマ処理もしくは大気圧下でのプラズマ照射処理による界面改質を施しておいても良い。このようなアルゴン雰囲気下でのプラズマ処理による界面改質を施すことにより、界面の酸化被膜等を除去し、接合を容易ならしめることができる。

10

【0016】

さらに、このリング状セルとしては、空洞部の内面や接合面の両面又は片面に鏡面乃至平滑化処理を施されたものが好ましい。空洞部の内面や接合面の両面又は片面に鏡面乃至平滑化処理を施す方法としては、研磨、パフ仕上げ等公知の方法が挙げられる。この処理により空洞部の内面や接合面の表面粗度を0.5μm以下の鏡面乃至平滑面に仕上げることが望ましい。

20

【0017】

請求項1に係る発明においては、このような複数のリング状セルを積層し、接合させて電子・陽電子コライダの加速管を製造するにあたり、接合法としてパルス通電接合法を用いる。パルス通電接合法は、基本的にはパルス通電による自己発熱を利用した接合法である。このパルス通電接合法に用いるパルス通電接合機としては、本発明の方法で特色とする「弾性力を有する電極」以外は、基本的には一般に用いられているパルス通電接合機をそのまま用いることができる。

30

図1は、そのようなパルス通電接合機に複数のリング状セルをセッティングした状態を示す概念図である。

図1において、符号1はリング状セルを示し、符号2は電極を示している。また、符号3は、パルス電流発生機を示し、符号4は、電極を加圧するための加圧手段（例えば、エアシリンダーや油圧シリンダー）を示している。

なお、図1において、符号2Aは上ラム電極を示し、符号2Bは下ラム電極を示している。但し、これら上下のラム電極は、それぞれ上下の電極2と一体となったものでも良い。また、符号5は真空チャンバーを示している。

【0018】

後述するように、請求項1に係る発明においては、このパルス通電接合を特定の条件下で行う必要がある。

40

なお、リング状セル1を中心軸方向に複数重ねて積層し、接合するにあたっては、接合後にあたかも1本の部材からなるものであるかのようなものが要求され、高度の直線性が必要である。そのため、Vブロックなどを用いて正確な位置決めを行うことが好ましい。

図2は、Vブロックを用いて正確な位置決めを行ったリング状セル1を20段重ねて積層した状態を示す説明図である。符号8はカーボンシートである。

【0019】

請求項1に係る発明においては、このような複数のリング状セル1を積層し、接合させて電子・陽電子コライダの加速管を製造するにあたり、前記リング状セルの両端部に接する電極2として弾性力を有するものを用いる。

50

ここで電極 2 としては、弾性力を有するもの、かつ、通電可能なものであれば、その構造や材質は特に限定されず、カーボン材でも、モリブデン材でも良いが、好ましくはカーボン材である。

【0020】

請求項 2 に記載したように、電極 2 の材質としてはカーボンを用い、かつ、電極 2 の平面積と、これに接するリング状セルとの平面積との比が、 $1 : 1 \sim 10 : 1$ の範囲である電極 2 を用いることが望ましい。

カーボンは、耐熱性が高く、しかも素材自体にも若干の弾力性があることから、電極 2 の材質として好適である。

また、電極 2 の平面積と、これに接するリング状セルとの平面積との比を、 $1 : 1 \sim 10 : 1$ の範囲とすることにより、リング状セルの異常過熱を回避することができ、接合時のリング状セルの温度ムラを回避することができる。

【0021】

請求項 1 に係る発明においては、弾性力を有する電極 2 を用いることが必要である。

弾性力を有する電極 2 としては、例えば、つまきバネのようなバネを用いたものが挙げられる。バネ材としては、ステンレス製でも良いが、カーボン製が好ましい。なお、1 回限りの使用の場合には、カーボンシートを積み重ねることによっても弾性力を有する電極 2 とすることができる。

以下、「弾性力を有する電極」を単に「弾性電極」と称することがある。また、「弾性力を有するカーボン製の電極」は単に「弾性カーボン電極」と称することがある。

【0022】

通常、このようなバネの上下にカーボンブロックの平板を配置したものを弾性力を有する電極 2 として用いる。図 3 は、電極 2 として、そのようなバネ 6 の上下にカーボンブロックの平板 7 を配置したものを示す断面説明図である。

また、バネ 6 単独の他に、バネ 6 の周囲に、カーボンチップ又はカーボンファイバー 9 を充填したものを示す断面説明図である。

【0023】

さらには、バネ 6 を用いずに、カーボンチップ又はカーボンファイバー 9 をカーボンブロックの平板 7 の間に充填したものを示す断面説明図である。カーボンチップ又はカーボンファイバー 9 は、塊となると弾性を有し、接合時のパルス電流の通り道となるので、接合するリング状セル 1 へパルス電流をより効率的に供給することができる。

また、カーボンチップ又はカーボンファイバー 9 は、パルス電流で発熱することから、接合するリング状セル 1 への熱供給が可能となる。

【0024】

通常、カーボンブロックの平板 7、バネ 6、カーボンチップ又はカーボンファイバー 9 の外周は、厚さ 0.2 mm 程度のカーボンシートで巻かれ包まれている。

上下のカーボンブロックの平板 7 のうち、一方のカーボンブロックの平板 7 を SUS 製の針金で縛るなどして固定し、他方のカーボンブロックの平板 7 は自由に上下動できるようにしておく、ことが好ましい。

【0025】

本発明において、リング状セル 1 の両端部に接する電極 2 として弾性力を有するものを用いる理由は次のとおりである。

即ち、パルス通電接合中に、接合材料であるリング状セル 1 が昇温し、ある一定温度以上になると降伏応力が減衰する。

例えば、本発明の第 1 段階では、 200 以上 650 以下の温度と、比較的低温であるが、第 2 段階になると、 700 以上 1000 以下の温度と、かなり高温で行う。

10

20

30

40

50

このような高い温度となると、接合材料であるリング状セル1が軟化し、降伏応力が減衰する。接合材料であるリング状セル1が軟化すると、加圧力が分散し、横への変形が起こる。横に膨らむ変形が起こるということは、圧力が横方向に分散し、接合方向にかからず、加圧力の応答性が悪くなり、良い結果が得られないことになる。従って、接合材料であるリング状セル1が昇温し、降伏応力が減衰するのに伴い、加圧力をそれ以下の範囲で徐々に下げることが望ましい。つまり、降伏応力と加圧力の最も適切な応答性のある接合加圧力に調節することが良い。

しかも、パルス通電時における加熱によりリング状セル1が発熱し、膨張することから、加熱膨張による加圧力の上昇をも考慮しなければならない。

このため、第1段階と比べて、第2段階では、加圧力を下げている。これにより、接合力の低下を防ぎ、加圧力の調節を行わない場合と比べて、接合力を増大させることができる。

10

しかしながら、接合材料であるリング状セル1の加熱による膨張分を適宜測定し、或いは降伏応力の減衰を適宜測定し、これに合わせて加圧力を逐一弱めるようなことは実際上困難である。

そこで本発明では、弾性力を有する電極2を用いることにより、パルス通電時における加熱膨張による加圧力の上昇を適宜抑えることができる。この結果、寸法精度が良好な製品に仕上げることができる。

【0026】

即ち、本発明の第2段階などでは、自己発熱によりリング状セル1がかなり高温となり膨張することから、膨張した分だけ加圧力を弱めることが必要となる。

20

この場合、通常は弾性力のない電極であると、加熱による膨張分を適宜測定し、これに合わせて加圧力を逐一弱める必要がある。

しかしながら、このような弾性力を有する電極（弾性カーボン電極）2を用いると、加熱による膨張分を吸収し、パルス通電時における加熱膨張による加圧力のいわば必然的に起こる上昇をある程度自動的に抑えることができる。また、リング状セル1にかかる偏圧を防ぎ、より寸法精度の高い仕上がりとすることができる。

通常はカーボン電極を使用すると、リング状セル1の各部位の寸法にバラツキが発生し、精度を確保することができないが、このような弾性カーボン電極2を使用することにより、リング状セル1の各部位の寸法の偏差をなくし、寸法精度の良い仕上がりとすることができる。

30

【0027】

請求項1に係る発明においては、上述したように、複数のリング状セル1を積層し、接合させて電子・陽電子コライダの加速管を製造するにあたり、接合法としてパルス通電接合法を用い、かつ、このパルス通電接合を特定の条件下で行う必要がある。

即ち、請求項1に係る発明においては、第1段階で200 以上650 以下の温度と1 MP a以上20 MP a以下の加圧力にてパルス通電による接合を行い、次いで、第2段階で700 以上1000 以下の温度と0.01 MP a以上0.9 MP a以下の加圧力にてパルス通電による接合を行い、さらに、第3段階で800 以上1000 以下の温度で0.5～3時間熱処理することが必要である。

40

【0028】

請求項1に係る発明においては、第1段階で200 以上650 以下の温度とMP a以上20 MP a以下の加圧力にてパルス通電による接合を行う。簡単に言えば、この第1段階では、高荷重、低温でパルス通電による接合を行う。この第1段階は、いわば仮接合ということもできる。この第1段階により精度を確保する。

ここで第1段階での温度が200 未満であると、リング状セル1の接合が不十分となる。一方、650 を超えると、加圧力でリング状セル1の変形が起こり、精度を確保することができない。

また、第1段階での加圧力が1 MP a未満であると、リング状セル1の密着性が不十分で、続く第2段階での接合時にリング状セルの異常発熱を惹き起こす。一方、20 MP a

50

を超えると、リング状セル1のつぶれが大きくなり、寸法精度の確保が困難となる。

この第1段階での接合における温度と圧力の保持時間は、少なくとも15分以上必要である。

【0029】

次に、請求項1に係る発明においては、第2段階で、より温度を上げ、より加圧力を下げ、パルス通電による接合を行う。簡単に言えば、この第2段階では、低荷重、高温でパルス通電による接合を行う。この第2段階は、いわば本接合ということもできる。この第2段階により、強固な接合を確保する。

【0030】

具体的には、第2段階で700以上1000以下の温度と0.01MPa以上0.9MPa以下の加圧力にてパルス通電による接合を行う。

ここで第2段階での温度が700未満であると、リング状セル1の接合が不十分となり、真空漏れの危険性が発生する。一方、1000を超えると、過熱でリング状セル1の変形・縮みが発生し、精度を確保することができない。

また、第2段階での加圧力が0.01MPa未満であると、加圧力が低過ぎて電極2とリング状セル1との間に隙間ができ、プラズマが発生し、異常な高熱でリング状セル1の表面を溶かしてしまうおそれがある。一方、0.9MPaを超えると、リング状セル1の変形がみられる。

さらに、この第2段階を行わない場合には、接合するリング状セル1に亀裂が発生し、接合が不十分となってしまう。

【0031】

この第2段階では、リング状セル1の熱の発散を防止し、温度ムラを防ぐために、リング状セル1外周に反射板10を設置することが好ましい。図6は、反射板10の1態様を示す説明図である。図6では1重の反射板を示したが、これに限定されるものではなく、2重以上の多重の反射板であってもよい。反射板の材質などとしては特に制限はないが、通常はSUSなどで肉薄(例えば0.1mm厚)のものが用いられる。

【0032】

以上の第1段階と第2段階では、パルス通電による接合を行うが、次の第3段階では、パルス通電を止め、所定の熱処理を行う。

なお、パルス通電の条件等については後述する。

【0033】

さらに、請求項1に係る発明においては、第3段階で800以上1000以下の温度で0.5~3時間熱処理する。この第3段階は、いわば相互拡散接合処理ということもでき、接合をより完全ならしめるためのものである。

ここで第3段階での温度が800未満であると、拡散が不十分で接合強度が確保されない危険性がある。一方、1000を超えると、リング状セルが部分的に軟化し、変形を生じる。

この第3段階は、接合をより完全ならしめるためのものであり、もはやパルス通電も加圧も行わない。

この第3段階における温度の保持時間が0.5時間未満であると、接合が不十分の箇所が存在し、ねじり試験等でリング状セルが分離してしまう。一方、3時間を超えると、リング状セルの長さ方向の寸法が縮み、所望の指定寸法を満足できなくなる。

【0034】

請求項1に係る本発明においては、上記した3段階の工程を連続して行ってもよいし、また、各段階でリング状セル1を別の炉などの装置に入れ直して(不連続的に)工程を進めてもよい。さらには、第1段階と第2段階とを同一の装置で行った後、第3段階のみを別の装置で行ってもよい。

【0035】

以下、パルス通電の条件等について述べる。

請求項1に係る本発明の第1段階と第2段階においては、複数のリング状セル1を積層

し、積層された面を密着させるように所定の圧力で加圧しつつ、接合すべき複数のリング状セル 1 のみに通電させる。

【0036】

即ち、所定の圧力で加圧した状態で、一对の電極をあて、接合すべき複数のリング状セル 1 のみに通電させる。

図 1 では、電極方向と接合界面加圧方向とが同じものを示しているが、電極方向と接合界面加圧方向とは、異なっても良いし、同じであっても良い。

接合部材であるリング状セル 1 と接する電極 2 の形状は、接合部材であるリング状セル 1 の形状に合わせ、円盤状でも、通電可能なローラー状でも良いし、さらには彫り込んだものであっても良い。

10

【0037】

ここで「のみに通電させる。」とは、接合すべき複数のリング状セル以外に通電するようなものを使用しないということであり、換言すると放電プラズマ焼結法で一般に用いられている、接合部材を取り囲むようなカーボン型を使用しないということである。

電極間に接合部材以外の接合部材を取り囲む通電可能なカーボン型を使用しないことによって、通電可能なカーボン型を使用することによる電流密度の低下を防ぎ、また、接合部材側帯部の直接温度制御を可能にして効率の良い接合をし、併せて、これまでカーボン型の中で円盤又は円柱状のみしかできなかった接合部材の形状的制約を排除し、任意な形状の接合が可能となり、飛躍的に接合範囲を拡大した。

【0038】

20

このとき、突き合わせられた接合面近傍を外部から強制的に加熱しながら通電させることができる。これにより長尺の部材などを短時間に効率良く接合することができる。

このような外部から強制的に加熱する手段としては特に制限はないが、ニクロム線等の直接加熱方式、或いは、マイクロ波誘導加熱、ミリ波誘導加熱、サブミリ波誘導加熱などの誘導加熱方式が最も好ましい。この他に高周波加熱等が挙げられ、これらの 1 種を単独で、或いは 2 種以上を組み合わせて用いることができる。

外部から強制的に加熱する際の加熱時間は、一般的には 60 分以下とすれば良い。

【0039】

パルス電流としては通常直流が用いられ、請求項 1 に係る本発明においては、デューティ比、つまりパルスの ON と OFF の比 ($ON / (ON + OFF)$) が 86 ~ 99.9%、好ましくは 90 ~ 99.9% のパルス電流を流すことが好ましい。

30

このようなパルスの ON 時間の比率の高いパルス電流を流し、自己発熱により全体を緩やかに昇温させて、なるべく部材全体を均一に昇温させることが好ましい。

【0040】

また、パルス電流としては、100 ~ 50000 A、好ましくは 300 ~ 30000 A の範囲のものが用いられ、電圧は 100 V 以下である。

電流密度に換算すると、パルス電流としては、 $50 A / cm^2$ ~ $500 A / cm^2$ 、好ましくは $80 A / cm^2$ ~ $150 A / cm^2$ の電流供給が可能なものが用いられ、電圧は 100 V 以下である。

【0041】

40

上記したように、請求項 1 に係る本発明では、第 1 段階で 200 以上 650 以下の温度とパルス 1 MPa 以上 20 MPa 以下の加圧力にてパルス通電による接合を行い、次いで第 2 段階で 700 以上 1000 以下の温度と 0.01 MPa 以上 0.9 MPa 以下の加圧力にてパルス通電による接合を行い、さらに、第 3 段階で 800 以上 1000 以下の温度で 0.5 ~ 3 時間熱処理する。

ここで第 1 段階と第 2 段階は、いずれもパルス通電によるものであって、自己発熱により温度を上げ所定温度としているが、第 3 段階はパルス通電によるものではないことから、外部加熱により温度を上げ所定温度とする必要がある。

【0042】

前記したように、請求項 1 に係る本発明では、第 1 段階でいわば仮接合を行い、次に第

50

2段階でいわば本接合を行う。

この第2段階における本接合では、上記したように接合部材を取り囲むカーボン型を使用せず、接合部材であるリング状セル1のみに通電させることにより、電流密度を上げ、接合界面間にパルス電流を流すことによって、いわば通電衝撃による液相での接合界面の原子間微小溶融が行われる。

第2段階では、上記したようなパルス電流を流し、必要に応じて外部から強制的に加熱しながら通電させ、接合部材である銅製のリング状セル1の溶融点(1083)の65%以上、90%未満まで自己発熱により温度を上昇させる。より具体的には、前記したように700以上1000以下の温度まで自己発熱により温度を上昇させる。この温度帯域に達したときの温度(ピーク温度)を、0.5~60分間程度保持することにより、パルス電流の通電衝撃による接合界面の液相での原子間微小溶融をさせ、第2段階での接合を行う。このような液相状態での原子間微小溶融は、これまで全く行われていない。なお、この際には真空雰囲気としておくことが望ましいが、窒素ガス、アルゴンガス等の不活性ガス雰囲気下において行っても良い。

10

【0043】

請求項1に係る本発明においては、このようにして第2段階において通電衝撃による接合界面の液相での原子間微小溶融をさせた後に、第3段階において所定の条件で熱処理する。この第3段階での熱処理により、相互拡散されることから、この第3段階における熱処理を「相互拡散接合処理」ということもできる。このような相互拡散接合処理を行うことにより、完全にかつ短時間で接合することができる。1回の相互拡散接合処理では完全に接合しない場合も考えられることから、1回だけでなく、それ以上の複数回にわたる相互拡散接合処理を行ってもよい。

20

これまでは焼結後にいわゆる焼き戻し処理などを行うことにより、固相状態で接合することは行われてきたが、これと第3段階で行う相互拡散接合処理とは全く異なる。第3段階で行う、パルス通電における相互拡散接合処理はこれまで他に見られない。

【0044】

このような第3段階における相互拡散接合処理は、接合部材である銅製のリング状セル1の溶融点(1083)の70%以上、90%未満で行うことができる。より具体的には、前記したように800以上1000以下の温度で行う。この温度は、前記第2段階における原子間微小溶融時の温度と同程度、或いはこれより若干高い温度である。前記したように、この第3段階はパルス通電によるものではないことから、外部加熱により温度を上げる必要がある。

30

【0045】

なお、本発明でいう「温度」とは、あくまで接合面近傍表面、つまり接合面側帯表面を、例えば赤外線パイロスコープ、放射温度計、熱電対等を用いて測ったときの温度を指している。接合界面の温度は、実際には測定できないのが現状である。接合界面は、実際には極めて微小範囲であり、極めて短時間に溶融点以上の温度を繰り返し、微小局部においては材料成分の高温高圧蒸気状態を繰り返して塑性流動を促していると推測される。

【0046】

この第3段階における相互拡散接合処理を行う際には、パルス電流は流さない。また、加圧は特に必要ないが、前段階からの加圧をそのまま引き続いて行っても良い。この第3段階における相互拡散接合処理を行う際には、800以上1000以下の温度に達したときの温度(ピーク温度)を0.5~3時間、好ましくは1.0~1.5時間保持することが望ましい。これにより極めて強固かつ短時間で接合することができる。

40

【0047】

請求項1に係る本発明では、上記したように第2段階において通電衝撃による接合界面の液相での原子間微小溶融をさせた後に、引き続き第3段階にて所定条件にて熱処理する相互拡散接合処理を行うこと、つまり一旦液相状態として原子間微小溶融をさせた後に、相互拡散接合処理すること、が必要である。

このような液相状態とした後の相互拡散接合処理は、あくまでパルス通電における液相

50

状態とした後の相互拡散接合処理を指しており、従来公知の液相拡散接合とは異なっている。従来公知の液相拡散接合は、接合面間に低融点部材をインサートして行う場合に生ずる現象を指しており、明らかにここでいう液相状態とした後の相互拡散接合処理とは異なっているが、そのような液相状態での拡散がパルス通電においても生ずることが分かった。なお、この「液相状態とした後の相互拡散接合処理」は、溶融させて液相状態とした後に相互拡散させる点で、溶融させてはならず固相状態で拡散させる「固相拡散」とは明確に異なる。

【0048】

このような第2段階において液相状態とした後の第3段階における熱処理（相互拡散接合処理）によれば、ねじり試験等において、母材と同等の特性を有するものと認められるほどの強固な接合が得られ、接合すべきリング状セル1を極めて強固かつ確実に短時間で、しかも低コストで接合することができる。

10

【0049】

なお、請求項3に記載したように、第2段階での処理後及び/又は第3段階での熱処理後、複数のリング状セル及び/又は電極に不活性ガスを吹き付けることが好ましい。

即ち、第2段階のパルス電流通電後の冷却時に、及び/又は、第3段階での熱処理後、複数のリング状セル及び/又は電極に不活性ガスを吹き付けることが好ましい。

これにより冷却を速め、例えば第2段階のパルス電流通電後の冷却時に、複数のリング状セル及び/又は電極に不活性ガスを吹き付けた場合には、速やかに第3段階に移行でき、生産性を高めることができる。

20

ここで不活性ガスとしては、例えば窒素ガス、アルゴンガスなどを挙げることができるが、なかでもアルゴンガスは製品の仕上がりに光沢を付与できることから特に好ましい。

【0050】

本発明は以上の如きものである。このようにして本発明によれば、複数のリング状セルから、金や銀などの高価なインサート材を用いることなく生産性よく、しかも強固、かつ、高精度に電子・陽電子コライダーの加速管を製造することができる。なお、接合完成後、口ウ付け等の所望の公知各種熱処理を施すこともできる。

【実施例】

【0051】

次に、本発明を実施例により詳しく説明するが、本発明はこれらによって何ら制限されるものではない。

30

【0052】

実施例1

(1) 接合

接合するリング状セル1として、表面粗度が $0.5\mu\text{m}$ 以下であり、直径 61mm 、厚さ 8.74mm の円板の中央部に直径 20mm の空洞を有する銅製のもの20枚を用いた。

このリング状セル1をまず超音波を用い、イソプロパノールで洗浄した。

次いで、このリング状セル1を20枚、図1、図2に示すようにパルス通電接合機に、Vブロックを用い正確に積み上げて配置した。電極2としては、上側電極として、図4に示すような、バネ6の周囲に、カーボンチップ9を充填し、さらにその上下にカーボンブロックの平板7（直径 100mm ×厚さ 93mm ）を配置した構造を有する弾性カーボン電極を用いた。また、下側電極として、図5に示すような、バネ6を用いずに、カーボンチップ9をカーボンブロックの平板7（直径 100mm ×厚さ 67mm ）の間に充填した構造を有する弾性カーボン電極を用いた。

40

その後、 2MPa の加圧力にてパルス通電（ 2000A ）による第1段階の接合を行った。通電面積が約 26cm^2 であることから、電流密度は約 $80\text{A}/\text{cm}^2$ であり、パルス比は $98:2$ とした。このとき温度は最大 300 まで上昇した。

なお、上記温度までの昇温時間は30分間であり、上記温度での保持時間は60分間とした。また、寸法測定を行うため、90分間かけて放冷した。

50

以上の操作の間、雰囲気は10 Pa以下の真空に保った。

【0053】

次に、0.04 MPaの加圧力にてパルス通電(2800 A)による第2段階の接合を行った。このとき電流密度は約 110 A/cm^2 であり、パルス比は10:1とした。このとき温度は最大800の温度まで上昇した。

なお、上記温度までの昇温時間は60分間であり、上記温度での保持時間は3分間とした。また、120分間かけて放冷した。

以上の操作の間、雰囲気は10 Pa以下の真空に保った。

即ち、真空炉において、接合面を密着させるように0.04 MPaの圧力で加圧した状態で、接合すべきリング状セル1の両端に一对の電極をあて、接合すべきリング状セル1のみに通電させることにより電流密度を上げ、接合界面間にパルス比が10:1のパルス電流を流すことによって、通電衝撃による接合界面の液相での原子間微小溶融をさせた。このときの接合部温度(接合側帯部表面温度)は800であり、保持時間は~3分間であり、ピーク電流は 110 A/cm^2 であった。

なお、この第2段階では、リング状セル1の周囲に反射板10を1重に巻き付け覆った。

第2段階終了後、リング状セル1の表面に付着したカーボンを、真鍮ワイヤ、ディスクグラインダ、粘着テープ、イソプロパノールを用いて剥離・除去した。

【0054】

しかる後、パルス通電を止め、外部加熱により850の温度において第3段階の熱処理を行った。

なお、上記温度までの昇温時間は60分間であり、上記温度での保持時間は110分間とした。また、30分間かけて放冷した。

以上の操作の間、雰囲気は5 Pa以下の真空に保った。

即ち、第2段階における液相での原子間微小溶融させた後の20段のリング状セル1について、この20段のリング状セル1を850の温度で110分間保持することにより、相互拡散接合処理した。

【0055】

このようにして、厚さ約175 mmのリング状セル接合物からなる加速管を製造した。

【0056】

(2)ねじり破壊試験

このようにして得られた厚さ約175 mmのリング状セル接合物からなる加速管より切り出した試験片について、接合面をねじるようにレンチを用いて、180°と360°の2種のねじり破壊試験を行った。図7は、リング状セル接合物からなる加速管より切り出した試験片について、180°ねじり破壊試験を行った後における状態を示す写真像図である。図8は、リング状セル接合物からなる加速管より切り出した試験片について、360°ねじり破壊試験を行った後における状態を示す写真像図である。

その結果、図7、図8に示すように、レンチで両接合片が大変形してねじれても接合部から剥離破断しなかった。

【0057】

(3)寸法変化の測定結果

次に、このようにして得られた厚さ約175 mmのリング状セル接合物からなる加速管について、図9に示す4箇所(A , B , C , D)における寸法変化を調べた。結果を図10に示す。

図10によれば、本発明の方法のように弾性カーボン電極を用いることにより、著しく寸法変化が小さく(偏差がほとんどなく)、寸法精度の高い仕上がりとすることができることが分かる。

【0058】

比較例1

実施例1において、第2段階の接合を行わなかったこと以外は、実施例1(1)と同様

10

20

30

40

50

にして接合し、次に、実施例 1 (2) と同様にしてねじり破壊試験を行った。結果を図 1 1 に示す。

図 1 1 によれば、得られた厚さ約 1 7 5 m m のリング状セル接合物からなる加速管に亀裂が入ってしまい、接合が不十分であったことが分かる。

【 0 0 5 9 】

比較例 2

実施例 1 において、弾性カーボン電極の代わりに、通常のカーボン電極を用い、かつ、第 2 段階の処理を 4 回に分けて行ったこと以外は、実施例 1 (1) と同様にして接合し、次に、実施例 1 (3) と同様にして寸法変化を測定した。結果を図 1 2 に示す。

図 1 2 によれば、通常のカーボン電極を用いると、各部位の寸法にバラツキが生じ、精度を確保できないことが分かる。 10

【産業上の利用可能性】

【 0 0 6 0 】

請求項 1 に係る本発明の方法によれば、金や銀などの非常に高価なインサート材を用いる必要がなく、複数のリング状セルのみでダイレクトに接合することができ、しかも、このため、複数のリング状セルの各接合面間の全てに、極薄いインサート材を配置するという手間が省け、生産性に優れる。

さらに、請求項 1 に係る本発明によれば、複数のリング状セルを強固かつ高精度に接合することができ、高精度な加速管を得ることができる。

従って、本発明は、加速管の製造に極めて有効に利用することができる。 20

【図面の簡単な説明】

【 0 0 6 1 】

【図 1】パルス通電接合機に複数のリング状セルをセッティングした状態を示す概念図である。

【図 2】V ブロックを用いて正確な位置決めを行ったリング状セル 1 を 2 0 段重ねて積層した状態を示す説明図である。

【図 3】電極 2 として、パネ 5 の上下にカーボンブロックの平板 7 を配置しものを示す断面説明図である。

【図 4】電極 2 として、パネ 6 の周囲に、カーボンチップ又はカーボンファイバー 9 を充填し、さらにその上下にカーボンブロックの平板 7 を配置したものを示す断面説明図である。 30

【図 5】電極 2 として、パネ 6 を用いずに、カーボンチップ又はカーボンファイバー 9 をカーボンブロックの平板 7 の間に充填したものを示す断面説明図である。

【図 6】反射板 1 0 の 1 態様を示す説明図である。

【図 7】実施例 1 において、リング状セル接合物からなる加速管より切り出した試験片について、1 8 0 ° ねじり破壊試験を行った後における状態を示す写真像図である。

【図 8】実施例 1 において、リング状セル接合物からなる加速管より切り出した試験片について、3 6 0 ° ねじり破壊試験を行った後における状態を示す写真像図である。

【図 9】実施例 1 における各部位の寸法変化の測定部位 (A , B , C , D) を示す説明図である。 40

【図 1 0】実施例 1 における各部位の寸法変化の測定結果を示すグラフである。

【図 1 1】比較例 1 におけるねじり破壊試験を行った後における厚さ約 1 7 5 m m のリング状セル接合物からなる加速管の写真像図である。

【図 1 2】比較例 2 における各部位の寸法変化の測定結果を示すグラフである。

【符号の説明】

【 0 0 6 2 】

1 リング状セル

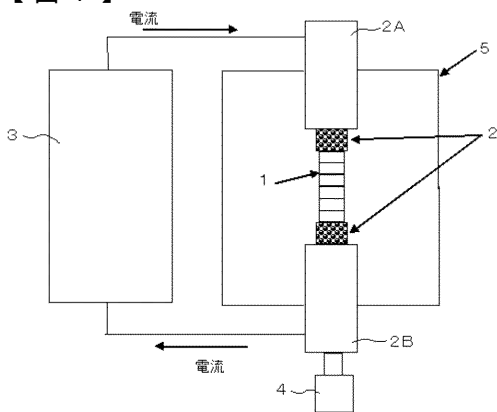
2 電極

2 A 上ラム電極

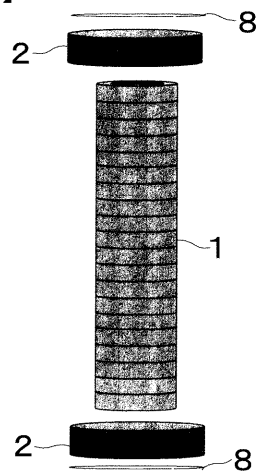
2 B 下ラム電極

- 3 パルス電流発生機
- 4 加圧手段
- 5 真空チャンバー
- 6 バネ
- 7 カーボンブロックの平板
- 8 カーボンシート
- 9 カーボンチップ又はカーボンファイバー
- 10 反射板

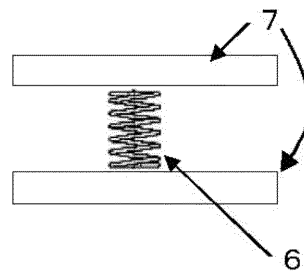
【図1】



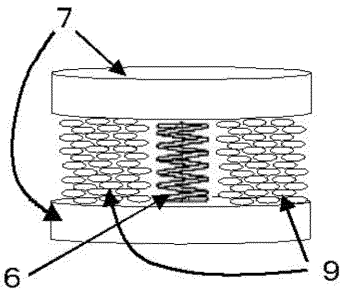
【図2】



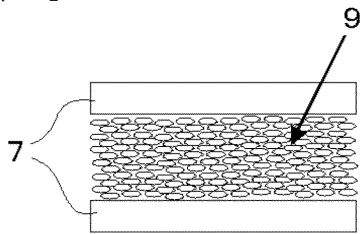
【図3】



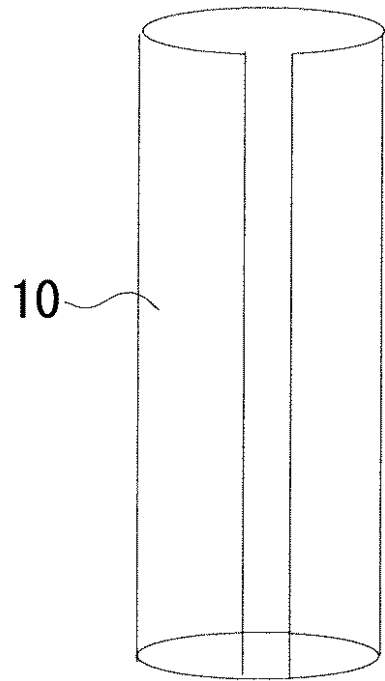
【 図 4 】



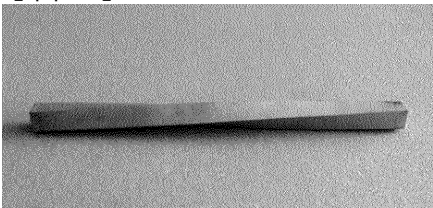
【 図 5 】



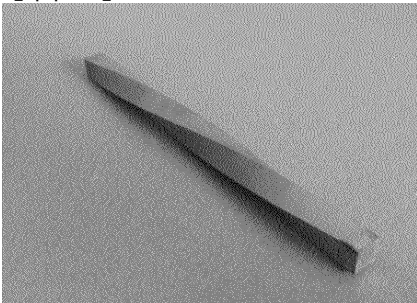
【 図 6 】



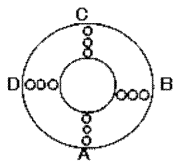
【 図 7 】



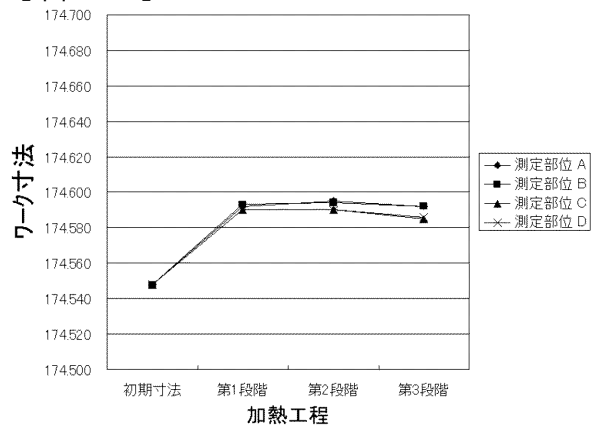
【 図 8 】



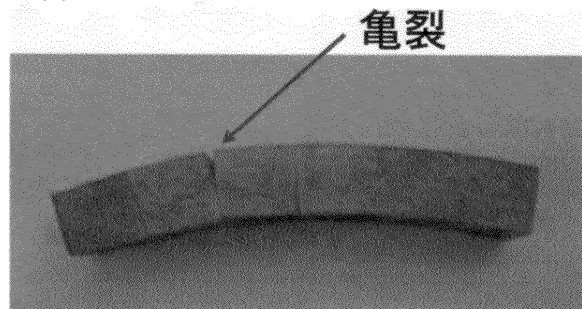
【 図 9 】



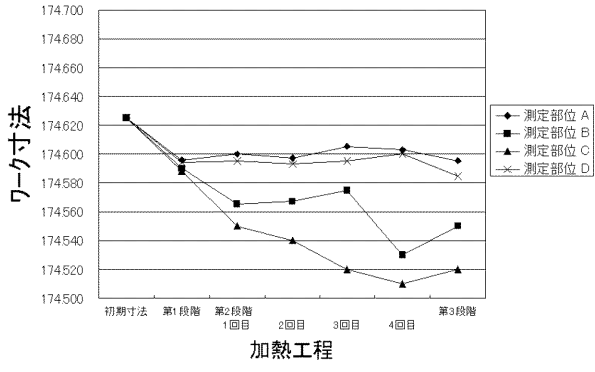
【 図 10 】



【 図 11 】



【 図 1 2 】



フロントページの続き

(72)発明者 舟橋 義聖

茨城県つくば市要 8 4 - 1 3 0

(72)発明者 人見 宣輝

宮城県仙台市泉区中央 4 - 2 6 - 1 0

(72)発明者 宮坂 好人

長野県茅野市宮川 4 8 2 2 - 7

(72)発明者 唐沢 均

長野県諏訪郡下諏訪町東赤砂 4 4 2 9 - 3 1

(72)発明者 藤森 隆幸

長野県諏訪市中洲 3 5 0 3 - 3

(72)発明者 石川 政幸

長野県伊那市東春近 7 3 0 0 - 6 3

Fターム(参考) 2G085 AA03 EA01 EA04

4E067 AA07 BA00 BM00 DB01 DB03 DC06 DD01 EB00

5C030 BB09