

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4540381号
(P4540381)

(45) 発行日 平成22年9月8日 (2010.9.8)

(24) 登録日 平成22年7月2日 (2010.7.2)

(51) Int.Cl.

F I

G 2 1 B 1/11 (2006.01)

G 2 1 B 1/00

D

G 2 1 B 1/17 (2006.01)

G 2 1 B 1/00

C

請求項の数 15 (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2004-110035 (P2004-110035)
 (22) 出願日 平成16年4月2日 (2004.4.2)
 (65) 公開番号 特開2004-309485 (P2004-309485A)
 (43) 公開日 平成16年11月4日 (2004.11.4)
 審査請求日 平成19年3月27日 (2007.3.27)
 (31) 優先権主張番号 GM228/2003
 (32) 優先日 平成15年4月2日 (2003.4.2)
 (33) 優先権主張国 オーストリア (AT)

(73) 特許権者 390040486
 ブランゼー エスエー
 オーストリア国 6600 ロイッテ
 (74) 代理人 100075166
 弁理士 山口 巖
 (72) 発明者 ベルトラム シェトラー
 オーストリア国 6600 ロイッテ エ
 ーレンベルクシュトラーセ 43
 (72) 発明者 トーマス グランツァー
 ドイツ連邦共和国 87490 ハルデン
 ヴァング ゲオルク グッゲンモスーシュ
 トラーセ 1
 (72) 発明者 トーマス フーバー
 オーストリア国 6600 レヒアシャウ
 ヴェングラーシュトラーセ 8アー
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 核融合炉のための複合構造部材およびその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

核融合炉のための耐熱性の複合構造部材 (1) であって、この複合構造部材 (1) は、少なくとも、核融合プラズマと直接対面する炉壁部材であってタングステンまたはタングステン含有量が 90 重量 % より高いタングステン合金からなるプラズマ対向部材 (2) と、前記プラズマ対向部材に隣接しプラズマの熱を外部に伝達するための構成部材であって熱伝導率が 250 W/mK より高くかつ平均結晶粒径が $100 \mu\text{m}$ より大きい銅または銅合金からなる熱放散用部材 (4) と、前記プラズマ対向部材 (2) と前記熱放散用部材 (4) との間に存在し、 1800 を超える融点を有する周期律表の第 IV^b 族および第 V^b 族の元素である高融点金属と銅との複合金属からなる中間部材 (3) とからなり、

前記中間部材 (3) は、 0.1 mm より大かつ 4 mm より小の厚さを有し、銅と高融点金属との濃度分布が一樣であって、銅成分が $10 \sim 40$ 容積 %、残部が高融点金属であることを特徴とする、核融合炉のための耐熱性の複合構造部材。

【請求項 2】

室温における強度が 300 MPa より大である金属材料からなるヒートシンク部材 (5) が、前記熱放散用部材 (4) に接合されていることを特徴とする請求項 1 記載の複合構造部材。

【請求項 3】

前記ヒートシンク部材 (5) が Cu-Cr-Zr 合金からなることを特徴とする請求項 2 記載の複合構造部材。

【請求項 4】

前記ヒートシンク部材(5)がオーステナイト鋼からなることを特徴とする請求項 2 記載の複合構造部材。

【請求項 5】

前記中間部材(3)が粉末冶金プロセスを用いて製造された高融点金属と銅との複合金属からなることを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれか 1 項に記載の複合構造部材。

【請求項 6】

前記高融点金属が、タングステンであることを特徴とする請求項 5 記載の複合構造部材。

【請求項 7】

前記高融点金属が、モリブデンであることを特徴とする請求項 5 記載の複合構造部材。

【請求項 8】

前記プラズマ対向部材(2)がタングステンまたはタングステン合金材料から成る 1 個又は複数個のブロックで構成したものであることを特徴とする請求項 1 ないし 7 のいずれか 1 項に記載の複合構造部材。

【請求項 9】

前記複合構造部材(1)がフラットタイルであることを特徴とする請求項 1 ないし 8 のいずれか 1 項に記載の複合構造部材。

【請求項 10】

前記複合構造部材(1)がモノブロックであることを特徴とする請求項 1 ないし 8 のいずれか 1 項に記載の複合構造部材。

【請求項 11】

タングステンまたはタングステン合金からなる 1 個または複数個の前記プラズマ対向部材(2)を、不活性ガス雰囲気下で、1 個または複数個の板状の前記中間部材(3)と接合し、この中間部材(3)に前記熱放散用部材(4)を接合し、これらの接合した部材を機械加工した後に、溶接、ろう付け、拡散接合法により、300MPaを超える強度を示す前記ヒートシンク部材(5)と形状的にぴったりと接合することを特徴とする請求項 9 記載の耐熱性の複合構造部材(1)を製造するための方法。

【請求項 12】

貫通孔を有するタングステンまたはタングステン合金からなる 1 個または複数個の前記プラズマ対向部材(2)を、不活性ガス雰囲気下で、1 個または複数個の管状の前記中間部材(3)と接合し、この中間部材(3)に前記熱放散用部材(4)を接合し、これらの接合した部材を機械加工した後に、溶接、ろう付け、拡散接合法により、300MPaを超える強度を示す前記ヒートシンク部材(5)と形状的にぴったりと接合することを特徴とする請求項 10 記載の耐熱性の複合構造部材(1)を製造するための方法。

【請求項 13】

銅または銅合金からなる厚さ 0.005 ~ 0.5mm の箔/シート(6)を、前記プラズマ対向部材(2)と、前記中間部材(3)との間に装入することを特徴とする請求項 11 または 12 記載の製造方法。

【請求項 14】

鉄系金属元素または合金、好ましくはニッケルからなる層を、前記プラズマ対向部材(2)と前記中間部材(3)との接合表面に施すことを特徴とする請求項 11 または 12 記載の製造方法。

【請求項 15】

鉄系金属元素または合金、好ましくはニッケルからなる層を、前記箔/シート(6)と前記プラズマ対向部材(2)との接合表面と、前記箔/シート(6)と前記中間部材(3)との接合表面との少なくとも一方の接合表面に施すことを特徴とする請求項 13 記載の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

20

30

40

50

【0001】

本発明は、少なくとも、タングステンまたはタングステン含有量が90重量%より高いタングステン合金からなるプラズマ対向領域と、熱伝導率が250W/mKより高く、平均結晶粒径が100μmより大きい銅または銅合金からなる熱放散領域と、高融点金属と銅との複合金属からなる中間に存在する領域とからなる、核融合炉のための高度に耐熱性の複合構造部材に関する。

【背景技術】

【0002】

核融合炉の定常的な運転では、最高10MW/m²もの電力潮流が第一壁構造部材の表面領域にかかるものと予期される。この第一壁構造部材はPFC(plasma facing components = プラズマ対向構造部材)とも呼ばれる。プラズマ崩壊に際しては、露出箇所では、ほんの数ミリ秒の間に約20GJが放出される可能性がある。最大のエネルギー密度となる領域、たとえばダイバータ、バッフルおよびリミッタ領域において使用するために特別に設計されるPFCの開発は、核融合研究の結果を技術的に実用化する際のキーとなる要素である。

【0003】

PFC構造部材に適用できる材料としての要件は多種多様で、それぞれの要件の間で矛盾があることも多い。高熱伝導率、高融点、低蒸気圧、良好な耐熱衝撃性および加工適合性などの物理的および機械的性質に加えて、核融合において使用するとすると、特殊な性能も要求され、そのようなものの例を挙げれば、大量の中性子照射下でも放射化および核種変換が低いこと、トリチウムの連続吸収が低いこと、プラズマイオンおよび中性子粒子によるエロージョンが少ないこと、アーク放電およびホットスポットのような局所的な作用によるスパッタ速度およびエロージョンが低いこと、さらには、特性放射によるコプラズマの冷却が低いことなどがある。

【0004】

負荷条件に応じて、PFCとして好適な材料には、ベリリウム、炭素繊維強化炭素(CFC)およびタングステンがある。タングステンは、比較的プラズマ温度が低く、粒子密度が高いことが多い第一壁に使用するには特に適している。タングステンは、たとえば高い熱伝導率(室温で165W/mK)などのように、非常に良好な熱的性質を有している。さらに、高融点、低トリチウム吸収能、低真空ガス速度および低スパッタ速度などの面から、タングステンはPFCに使用するために特に優れている。エネルギー密度の極めて高い領域から効果的に熱を除去する目的で、PFCは積極的に冷却しなければならない。これは、冷却媒体で貫流される銅構造部材を採用することによって達成することが可能で、それをヒートシンクとしてタングステン構造部材と組み合わせる。十分に高い機械的安定性と剛性を得るためには、銅ヒートシンクを、高度に剛性の高い金属構造材料と結合させるのが有利である。オーステナイト鋼および粒子強化銅合金、たとえば時効硬化Cr-Zr合金化銅合金(Cu-Cr-Zr)またはODS(oxide-dispersion-strengthened = 酸化物分散強化)銅材料(たとえば、Cu-Al₂O₃、Cu-ZrO₂、Cu-Y₂O₃、Cu-希土類酸化物)などは、この種の補強要素としては好ましいものである。高エネルギー密度領域において使用されるPFCの設計には、2種類のものが考えられる。いわゆるフラットタイルにおいては、個々の材料の間の移行領域は近似的に平面状に形成される。モノブロック構造部材の場合には、冷却媒体で貫流される、たとえば時効硬化銅合金またはODS銅でできている管によって十分な構造的安定性と剛性が与えられている。外側に向かっては、フラットタイルの場合と同様な配置でその他の材料を配列する。タングステンセグメントは、冷却管を取り巻く立方体の形状をとっているが、そこでは、柔軟性がある延性のある材料、好ましくは低酸素含量の純銅(OFHC銅)からなる緩衝層が、冷却管とタングステンセグメントとの間に配置される。

【0005】

たとえばフラットタイルまたはモノブロック構造部材のような、核融合炉のための複合

10

20

30

40

50

部材を製造する際に生じる特別な難点は、タングステンと銅とが非常に異なった熱膨張挙動を示すことである。すなわち室温におけるタングステンの熱膨張率が $4.5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ であるのに対して、銅のそれは $16.6 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ である。

【0006】

タングステンを銅に接合させるのに推奨される技術としては、ろう付け、拡散溶接、バックキャストリングがある。拡散溶接は、特許文献1に記載されているようにして、熱間静水圧加圧法(hot isostatic pressing = HIP)を使用して実施することができる。上記のプロセスは、約700~1300の温度範囲内で実施される。冷却時に、タングステンと銅の熱膨張率の差があるために、結合部の近傍に応力が集中することになる。しかしながら、PFCの使用に際しても、それらが周期的な熱負荷にさらされると、応力がさらに加わる。これらの応力が、タングステンと銅の界面におけるひび割れや分離の原因となる可能性がある。そのことによって熱放散を妨げられ、その結果複合構造部材が溶融する危険性がもたらされる。積極的に冷却している銅ヒートシンクに形状的にぴったりと接合させたプラズマ対向タングステンセグメントからなる、界面領域で低い接合応力を示すような複合構造部材を実現させる目的の、積極的な開発計画が開始されていて、そのいくつかはすでに実施されている。

10

【0007】

個々では辺や直径が数ミリメートルの小さな立方体または棒状物の集成物としてのタングステンセグメントを設計することによって、応力をかなり減少させることが可能となったが、この場合はその立方体や棒状物は銅セグメントの中を貫通させる。この形式のセグメンテーションによって、接合プロセスおよび周期的な運転からくる熱応力は、減少する。しかしながら、この設計は、タングステンと銅との界面における疲労クラックの危険性を増大させている。

20

【0008】

タングステンと銅セグメントの間に段階をつけた中間層を組み込むことによって、界面における張力を減らそうとする試みが多数なされてきた。たとえば、特許文献2には、タングステンと銅とのFGM(functionally graded material = 機能的に段階をつけた材料)を製造するための方法が記載されているが、そこでは、たとえば熱プラズマスプレー法によって製造した多孔度に段階をつけたタングステンセグメントに銅を溶浸させている。

30

【0009】

さらに特許文献3には、熱プラズマスプレー法を使用してタングステンと銅セグメントの間に段階をつけた中間層を得る製造プロセスが記載されている。特許文献2に記載されているプロセスとは対照的に、銅相も熱プラズマスプレー法によって分離されており、ここでは添加された特殊な粉末ブレンドが、対応するタングステンと銅の比率を含んでいる。タングステンとFGMの間にある薄い金属膜が接合を促進している。

【0010】

特許文献3にはさらに、タングステンと銅ヒートシンクの間に、銅とタングステンのブレンドからなる層をろう付けまたは拡散接合によって装入する試みも記載されている。しかしながら、熱膨張率における差が大きすぎ、この文献には、それ以上詳しい説明はされていない。

40

【0011】

特許文献2および特許文献3の両方に記載されている製造プロセスは、熱誘導クラックに対する顕著に高い抵抗性を示す積層部材を製造するものであると考えられる。

【0012】

【特許文献1】欧州特許第1025938号明細書

【特許文献2】米国特許第5126106号明細書

【特許文献3】米国特許第5988488号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

50

【0013】

しかしながら、これらの特許に記載されたプロセスの欠点は、そのプロセスが複雑で、その結果、記載された方法で製造された部材が、非常に高価となることである。それに加えて、プロセス技術上の制約から、上記の技術が適用できるのは、フラットタイル構造だけに限られる。一般的に言って、形状的な理由から、それらの技術によってモノブロック形状を製造することは不可能である。

【0014】

本発明の課題は、少なくとも一部はタングステンまたはタングステン合金と銅または銅合金とからなり、特に熱疲労に関して十分な効力を有して、コスト面で経済的に製造することが可能であり、モノブロック形状とするのにも適した、核融合炉のための複合構造部材を製造することにある。

【課題を解決するための手段】

【0015】

この課題を解決するために、この発明によれば、核融合炉のための耐熱性の複合構造部材(1)であって、この複合構造部材(1)は、少なくとも、核融合プラズマと直接対面する炉壁部材であってタングステンまたはタングステン含有量が90重量%より高いタングステン合金からなるプラズマ対向部材(2)と、前記プラズマ対向部材に隣接しプラズマの熱を外部に伝達するための構成部材であって熱伝導率が250W/mKより高くかつ平均結晶粒径が100μmより大きい銅または銅合金からなる熱放散用部材(4)と、前記プラズマ対向部材(2)と前記熱放散用部材(4)との間に存在し、1800を超える融点を有する周期律表の第IV^b族および第V^b族の元素である高融点金属と銅との複合金属からなる中間部材(3)とからなり、前記中間部材(3)は、0.1mmより大かつ4mmより小の厚さを有し、銅と高融点金属との濃度分布が一様であって、銅成分が10~40容積%、残部が高融点金属であることを特徴とする。

【0016】

高融点金属と銅との構造部材は、多くの産業用途で使用されており、例を挙げれば、エレクトロニクスパッケージにおけるヒートシンクまたはヒートスプレッダーなどである。高融点金属とは、1800を超える融点を有する周期律表の第IV^b族および第V^b族の元素で、特に金属のNb、Ta、Cr、MoおよびWである。

【0017】

核融合炉のためのタングステンと銅との複合構造部材における応力は、FGMを使用する以外には減少させることはできないという、広く一般に言われている考え方に反して、驚くべきことには実験で明らかになったのは、高融点金属と銅との材料からなる中間相で、巨視的に一様な銅と高融点金属との濃度分布を有するものもまた有効に使用できるということである。巨視的に一様な濃度分布とは、濃度における微視的な差とは関わりなく、高融点金属と銅との複合金属の厚み全体を通しての濃度分布と定義する。濃度における微視的な差は、高融点金属と銅との複合材料中に常に現れるが、その理由は高融点金属と銅とはまったく溶け合わないか、あるいは互いにほんのわずかしが溶け合わないからである。したがって、互いに隣り合った銅と高融点金属相の領域は、5~50μmの間の大きさにある。

【0018】

境界領域における応力の効果的な削減は、高融点金属と銅との複合金属からなる層の厚みが少なくとも0.1mmの場合にのみ、達成できる。より薄い層では、十分な応力の削減はできない。それに対して厚みが4mm以上もあると、分離抵抗性および熱的に誘導される疲労クラックに対する抵抗性の点では複合部分の効力を損なうことはないが、高融点金属と銅との複合金属の熱伝導率が低いために熱放散が低下してしまい、その結果複合部分の機能に関する信頼性が確保できなくなってしまう。

【0019】

効力を充分とするためのさらなる前提条件として、高融点金属と銅との複合材料中での銅の成分が10~40容積%でなければならない。銅の成分がこれより高いあるいは低い

10

20

30

40

50

のいずれの場合も、プロセスの信頼性を十分に確保することはできない。さらに、この高融点金属と銅との複合金属は、高融点金属相が近似的に連続の骨格を形成するように製造しなければならない。

【0020】

この要件を満たすためには、多孔質な高融点金属体を銅で溶浸させるような、粉末冶金プロセスを使用して、高融点金属と銅との複合材料を製造する。多孔質な高融点金属体は、加圧成形しただけのものであっても、焼結したものであってもよい。近似的に連続の骨格を有する高融点金属と銅との複合材料はまた、粉末混合物または複合金属粉末を加圧し、焼結することによって製造できる。このようにして製造されるW - CuおよびMo - Cu複合材料のほかに、圧延または押出し成形したMo - Cu複合材料が特に有利であることがわかった。さらに、銅または銅合金セグメントは、熱的に誘導される応力を十分に減少させることができない。 「熱伝導率が250 W / mKより大」という選択基準を設けるならば、合金元素の含有量が少なくしたがつて降伏強さの弱い銅材料だけが使用できる。さらにその銅または銅合金セグメントは、効果的な応力削減を達成するためには、その平均粒子径が100 μmより大きくななければならない。OFHC (oxygen-free-high-conductive = 無酸素高導電性) 銅を使用した銅または銅合金セグメントを、溶融によって高融点金属と銅との複合金属に接合させると、極めて有利となることが判った。このプロセスを使用すれば、銅 / 銅合金セグメント中の平均粒子径を常に100 μmよりも大きくすることができる。同じプロセス相の間にタングステン / タングステン合金セグメントを高融点金属と銅との複合金属セグメントに銅相を溶融させることによって接合させることもできる。タングステンと高融点金属と銅の複合金属との間に厚みが0.005 ~ 0.5 mmの銅箔または銅シートを装入すると有利となることが判った。タングステンと銅との間の濡れを向上させるためには、タングステンと銅の両方に可溶であるかまたはこれら2種の材料と反応するような金属元素または合金を、たとえばタングステンセグメントをコーティングすることによって、装入することもまた有利となる。この目的には、鉄族金属の元素または合金、たとえばニッケルが適している。

【0021】

プラズマ対向セグメントのために好適なタングステン材料の例を挙げると、単結晶タングステン、純タングステン、APS (aluminum-potassium-silicate doped = アルミニウム - カリウム - シリケートでドーブした) タングステン、UHP (ultra-high-purity = 超高純度) タングステン、ナノクリスタリタングステン、アモルファスタングステン、ODS (oxide-dispersion-strengthened = 酸化物分散強化) タングステン、W - Re、ODS - W - Re、および炭化物 - 、窒化物 - またはホウ化物 - 析出硬化タングステン合金であって好ましくは炭化物、窒化物またはホウ化物濃度が0.05 ~ 1容積%の間のもの、などがある。タングステン / タングステン合金構造部材のセグメンテーションが有利である。タングステン構造部材のクラック生長速度は、変形と平行な方向の方がそれとは垂直な方向よりは著しく高いので、部品が高いレベルの応力を受ける場合には、変形の方がプラズマ対向表面と垂直になるようにタングステン部材を作ることが望ましい。

【0022】

十分な構造安定性と剛性を得るためには、300 MPaよりも高い強度を有する金属材料からなる構造部材を、銅セグメントに接合させる。特に好適な金属材料としては、時効硬化Cu - Cr - Zr、およびODS - Cu材料、さらにはオーステナイト鋼などが挙げられる。最も好適な接合方法の選択は、対にする材料のタイプによって変わってくる。銅と銅、または銅と鋼の組合せでは、硬ろう付け法、または拡散接合法、たとえば熱間静水圧加圧法を使用するのが最適な接合法である。銅と鋼の組合せでは、高エネルギー電子ビーム溶接法のような、溶融溶接プロセスもまた適している。

【発明を実施するための最良の形態】

【0023】

フラットタイルまたはモノブロック部材としての複合構造部材の製造を、以下の実施例

10

20

30

40

50

によって説明する。図 1 ~ 5 は、単に説明として示すだけのものである。

【実施例 1】

【0024】

核融合炉のためのダイバータプレート 1 を、フラットタイルとして製造した（図 1 参照）。第 1 の工程で、 $20 \times 40 \times 6.5$ mm の大きさのタングステンタイル 2 を直径 60 mm のタングステン棒状物から切り出した。このタイルは、タイルの高さ（6.5 mm）方向が棒状物の軸と平行になるように、棒状物から切り出した。このようにすれば、粒子は、後の主熱流方向に配列される。次いで厚み 2 mm、幅 20 mm、長さ 40 mm の中間タイル 3 を、タングステンと銅との複合金属で銅含有量が 15 重量%のもの（T750 と呼ぶ）からなるプレートから切り出した。

10

【0025】

適当なキャスティング装置中で、タングステンタイル 2、厚み 0.10 mm の OFHC 銅箔 6、T750 中間タイル 3、および $20 \times 40 \times 10$ mm の大きさの OFHC - 銅ブロック 4 を積み重ねた。次いでこのスタックを、OFHC 銅を使用して、不活性ガス炉中で水素雰囲気下、温度 1250 でバックキャストした。その温度を 30 分間保つと、熔融した銅とこの構造のすべての固い構造部材との濡れが保証される。

【0026】

バックキャスト装置からバックキャストしたスタックを取り出した後、そのスタックのすべての側面に加工を行った。このプロセスでは、バックキャストした銅を厚みが 2 mm 残るまでに切削加工した（図 3 参照）。望ましくない銅の析出物を除去するために、すべての側面のその他の表面にも加工を行った。

20

【0027】

続いて行われた超音波試験および平行試料の接合部分の金属組織学的カット面から、温度が銅の融点以下に低下した冷却相の間に、スタック全体に堅牢な材料同士の接合が形成されていたことが判明した。

【0028】

特許文献 1 に記載された HIP 法を使用して、上記のバックキャスト装置で製造された複合タイルを、Cu - Cr - Zr ヒートシンク 5 に接合した。このヒートシンクに冷却構造 7 を HIP ユニットより取り出してから機械加工した。構造部材の配列順を図式的に図 2 に示した。

30

【実施例 2】

【0029】

同様のプロセスで図 4 に示すモノブロックの形態のダイバータプレート 1 を製造した。

【0030】

このため長さ 10 mm、直径 15.2 mm の孔を、 $30 \times 20 \times 10$ mm の大きさのタングステンブロック 2 の中央に貫通させた。外径 15 mm、壁厚 d 1 mm、長さ 10 mm のリング 3 を、銅含有量 20 重量%のタングステンと銅との複合金属材料（T800 と呼ぶ）からなるプレートから切り出した。

【0031】

厚み 0.1 mm の OFHC 銅箔、T800 から作ったリング 3、および直径 13 mm で長さ 15 mm の OFHC 銅の棒状物を、図 2 に示した材料の配列順に従って、タングステンブロックの貫通孔の中に装入した。次いでこの貫通させたタイルを、不活性ガス炉中に水素雰囲気下温度 1250 で 30 分間かけて、OFHC 銅を用いてバックキャストした。バックキャストしたモノブロックを取り出してから、そのバックキャストした銅の中に、タングステンブロックの貫通孔と同心の直径 12 mm の貫通孔を穿孔した。この加工工程の後に、この複合ブロックは、貫通孔中に厚み 0.50 mm の OFHC 銅層 4 を有する（図 5 参照）。このようにして製造した構造部材を、HIP プロセスで外径 12 mm とした Cu - Cr - Zr 管 5 に接合した。この管に冷却構造 7 を、HIP ユニットから取り出してから機械加工した。それに続けて超音波試験と金属組織学的分析をしたところ、このような方法で製造した複合体の接合部の品質が極めて良好であることが判った。

40

50

【図面の簡単な説明】

【 0 0 3 2 】

【図 1】実施例 1 に記載のフラットタイルとして製造したダイバータ構造部材を示す斜視図。

【図 2】実施例 1 および 2 に記載の材料の配列順の断面図。

【図 3】実施例 1 に記載したバックキャストینگに続けて機械加工した中間製品の斜視図。

【図 4】実施例 2 に記載したモノブロックとして製造したダイバータ構造部材を示す斜視図。

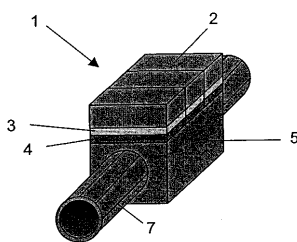
【図 5】実施例 2 に記載したモノブロックとして製造したダイバータ構造部材で Cu - Cr - Zr 管を接合する前の斜視図。

【符号の説明】

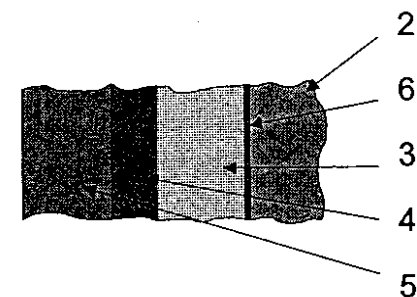
【 0 0 3 3 】

- 1 : 複合構造部材
- 2 : プラズマ対向領域
- 3 : 中間領域
- 4 : 熱放散領域
- 5 : 構造部材
- 6 : 箔 / シート

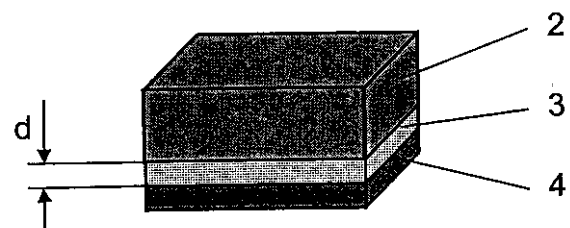
【図 1】



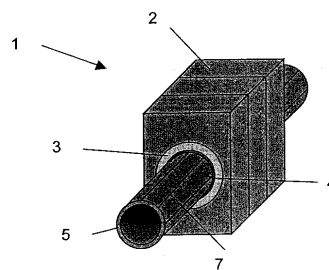
【図 2】



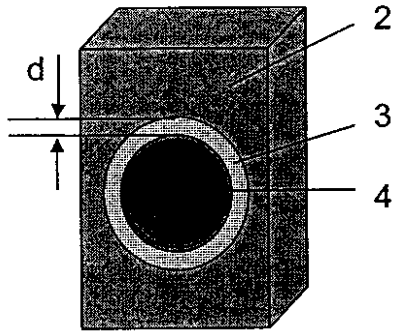
【図 3】



【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

- (72)発明者 カールハインツ シャイバー
オーストリア国 6600 ブライテンヴァング オスターピクル 2
- (72)発明者 ディートマール シェトレ
オーストリア国 6600 ロイツェ エーレンベルクシュトラーセ 42
- (72)発明者 ハンスーディーター フリードレ
オーストリア国 6651 ヘーゼルゲール ゲートシャウ 156
- (72)発明者 トーマス フリードリッヒ
ドイツ連邦共和国 87642 ハルブレッヒ ハーフェンフェルトヴェーク 12
- (72)発明者 アントン ツァバーニヒ
オーストリア国 6600 ロイツェ ドクトルインジェニールパウル - シュヴァルツコップフ
シュトラーセ 31

審査官 藤本 加代子

- (56)参考文献 特開平05-256968(JP,A)
特開平01-312015(JP,A)
J.Chapa,I.Reimanis,Modeling of thermal stresses in a graded Cu/W joint,Journal of Nuclear Materials,Elsevier Science B.V.,2002年 3月11日,303,131-136
G.Vieider et.al.,European development of prototypes for ITER high heat flux components ,Fusion Engineering and Design,Elsevier Science B.V.,2000年,49-50,135-143

- (58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)
G21B 1/11
G21B 1/17
JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamII)
プラズマ・核融合学会 学会誌