

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2020 年 3 月 26 日 (26.03.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/056793 A1

(51) 国际专利分类号:
B29C 35/08 (2006.01) **B29C 70/54** (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2018/108724

(22) 国际申请日: 2018 年 9 月 29 日 (29.09.2018)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201811078980.1 2018 年 9 月 17 日 (17.09.2018) CN

(71) 申请人: 南京航空航天大学 (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) [CN/CN]; 中国江苏省南京市秦淮区御道街 29 号, Jiangsu 210016 (CN)。

(72) 发明人: 李迎光 (LI, Yingguang); 中国江苏省南京市秦淮区御道街 29 号, Jiangsu 210016 (CN)。
周靖 (ZHOU, Jing); 中国江苏省南京市秦淮区御道街 29 号, Jiangsu 210016 (CN)。 徐鄂严

(XU, Eyan); 中国江苏省南京市秦淮区御道街 29 号, Jiangsu 210016 (CN)。

(74) 代理人: 南京天华专利代理有限责任公司 (NANJING TIANHUA PATENT AGENT CO., LTD.); 中国江苏省南京市鼓楼区山西路 67 号世贸中心大厦 A1 座 23 层, Jiangsu 210009 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,

(54) Title: MICROWAVE CURING METHOD FOR MULTIDIRECTIONAL PAVED CARBON FIBER REINFORCED RESIN-BASE COMPOSITE MATERIAL

(54) 发明名称: 多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料微波固化方法

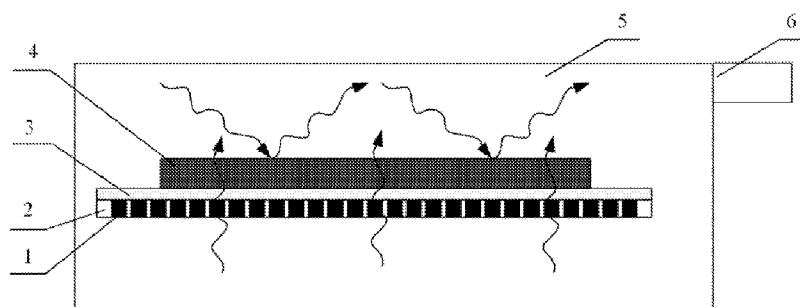


图 1

(57) Abstract: Disclosed is a microwave curing method for a multidirectional paved carbon fiber reinforced resin-base composite material. The method comprises placing array three-dimensional metal units on the surface of the multidirectional paved carbon fiber reinforced resin-base composite material or within a certain range from the surface, and putting same into a microwave heating furnace for microwave heating curing. The method can achieve the effective microwave heating of a multidirectional paved carbon fiber reinforced resin-base composite material, and the heating effect is significant, which can fully meet the requirements of industrial production, and truly realize high-quality, short-period and low-cost microwave curing molding of the multidirectional paved carbon fiber reinforced resin-base composite material.

(57) 摘要: 一种多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料微波固化方法, 在多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料表面或距离表面一定范围内放置阵列三维金属单元, 并将其置于微波加热炉中进行微波加热固化。可以实现对多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料的有效微波加热, 且加热效果显著, 完全可以满足工业生产要求, 从真正意义上实现了多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料的高质量、短周期、低成本微波固化成型。

NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布：

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料微波固化方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种复合材料加热成型技术，尤其是一种复合材料微波加热固化技术，具体地说是一种多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料的微波加热固化方法。

背景技术

[0002] 先进复合材料具有比强度和比模量高、抗疲劳性能好、耐腐蚀性能好和整体成型性好等优异特性，被广泛应用于航空航天等领域。目前，复合材料主要采用热压罐进行加热、加压固化成型。热压罐通过电阻丝加热空气，并在风机作用下将热空气吹拂到复合材料和模具表面，进行传导加热。上述加热原理使热压罐固化工艺从本质上存在复合材料厚度方向温度梯度大、固化时间长、能耗高等问题。针对上述问题，发明人前期提出的复合材料微波固化工艺（201210167316.0）采用电磁波内外同时均匀加热固化复合材料，具有复合材料厚度方向温度梯度小、固化时间短、能耗低等一系列优点。

[0003] 然而，通过大量研究，发明人发现直接将多向铺层的碳纤维增强树脂基复合材料放置在微波腔体内会产生微波屏蔽效应，无法被微波加热。不幸的是，目前航空航天领域应用的复合材料几乎均为多向铺层的碳纤维增强树脂基复合材料（约占复合材料总量的 95%）。上述问题严重制约了复合材料微波固化技术的发展与应用。为解决上述问题，本发明人前期提出了一种复合材料微波间接加热模具及固化方法（201810325089.7），采用微波间接加热模具的吸波型面吸收微波，将微波能转化为热能用于加热固化复合材料零件。此外，发明人意外发现，在多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料表面粘贴金属胶带（二维材料）可以使胶带附近约 2mm 的材料在微波作用下产生微弱的间隙状加热条纹。因此，本发明人进一步申请了在复合材料表面放置二维金属栅的微波加热方法（201710895983.3），但由于二维金属栅与微波（频率一般为 2.45GHz）间无法形成有效谐振，上述方法产生的加热效果极其有限，而且间隙状的加热条纹使材料表面的温度分布极不均匀。

[0004] 一直以来，整个电磁领域都认为将三维金属结构（尤其是多个三维金属结构）放置于微波谐振腔体中会发生放电打火现象、产生大量微波反射、损坏微波源等严重后果。然而，经过大量理论研究、仿真分析和实验探索后，发明人发现通过合理设计三维金属单元的几何结构和尺寸，不仅可以避免三维金属结构在微波谐振腔体内产生放电打火、发生大量反射、损坏微波源等现象，而且可以将原来不能加热多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料的微波谐振模式（多为 TEM 模）转换为能对该类材料进行有效加热的全新微波谐振模式（多为 TM

模)。此外,通过多个阵列三维金属单元间产生的良好微波谐振效应,可以以极高的效率将原来不能加热多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料的微波谐振模式(多为 TEM 模)转换为能对该类材料进行有效加热的全新微波谐振模式(多为 TM 模)。这样,微波能量就以转换后的微波谐振模式(多为 TM 模)源源不断的被多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料吸收。本发明产生的加热效果完全可以满足工业生产要求,从真正意义上实现了多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料的高质量、短周期、低成本微波固化成型。

发明内容

[0005] 本发明的目的是针对多向铺层的碳纤维增强树脂基复合材料在微波谐振腔体内会产生微波屏蔽效应而无法被微波加热,以及二维金属栅加热效果极差的问题,发明一种采用阵列三维金属单元将原来不能加热多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料的微波谐振模式(多为 TEM 模)转换为能对该类材料进行有效加热的全新微波谐振模式(多为 TM 模)的微波加热方法。

[0006] 本发明的技术方案是:

一种多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料微波固化方法,其特征在于:在多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料表面或距离表面一定范围内放置阵列三维金属单元,并将其置于微波加热炉中进行微波加热固化。

[0007] 所述的三维金属单元为具有一定厚度的方环等结构,并采用导电性良好的金属材料制成,如铜、铝等。

[0008] 采用具有一定刚性的耐高温透波材料制作用于固定三维金属单元的基板,维持阵列三维金属单元间的相对位置;基板的外形与待固化的多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料的外形保持一致。

[0009] 所述的具有一定刚性的耐高温透波材料为聚四氟乙烯、玻璃纤维增强树脂基复合材料等。

[0010] 通过以下方式提高多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料靠近阵列三维金属单元一面的表面质量:

(a) 采用与多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料基板一致的材料填充三维金属单元的中空部分,保证多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料与阵列三维金属单元整体结构(包括基板、阵列三维金属单元、填充材料)之间的接触面平整光滑;

(b) 在多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料与三维金属单元之间增加一层较薄的光滑型面;该型面与基板紧密接触,其材料与基板保持一致;

(c) 将上述型面与基板制作作为一个整体，其下表面设置一系列盲孔，用于放置阵列三维金属单元，而其上表面具有良好的表面质量，用于放置多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料。

[0011] 光滑型面的厚度小于 10mm，且光滑型面厚度越小加热效果越好。

[0012] 当多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料厚度小于等于 5mm 时，可仅在多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料下方放置阵列三维金属单元；当多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料厚度大于 5mm 时，在多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料的上下位置均放置阵列三维金属单元。

[0013] 采用电磁模型对阵列三维金属单元的结构参数进行优化设计，如三维金属单元的几何参数和单元间距等；

所述电磁模型包括微波谐振腔体（四周壁面设置为理想电导体，横截面边长不小于 100mm），激励端口 A、B，采用基板固定的阵列三维金属单元，以及多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料；从激励端口 A 发出的微波依次入射到阵列三维金属单元和多向铺层的碳纤维增强树脂基复合材料上；多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料与微波谐振腔体的四周壁面接触良好；上述模型的输入参数主要包括：微波频率，多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料的介电常数、电导率、磁导率、密度和厚度，以及三维金属单元的几何参数和单元间距等；其中，微波频率与多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料的介电常数、电导率、磁导率、密度和厚度根据实际参数赋值；同时，为三维金属单元的几何参数和单元间距设定取值范围（一般大于零且小于微波波长）；

上述模型的输出参数包括：激励端口 A 处的反射率和激励端口 B 处的透射率。

[0014] 上述模型的计算过程为：以多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料的吸收率（吸收率 = 1 - 反射率 - 透射率）为优化目标，以设定的取值范围为边界条件，通过大量计算搜索三维金属单元几何参数和单元间距的最优解，使多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料的吸收率达到最大值（或吸收率大于等于 10%）。

[0015] 本发明的有益效果：

本发明可以实现对多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料的有效微波加热，且加热效果显著，完全可以满足工业生产要求，从真正意义上实现了多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料的高质量、短周期、低成本微波固化成型。

附图说明

[0016] 图 1 是本发明的多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料微波加热装置示意图。

[0017] 图 2 是本发明采用基板固定的阵列三维金属方环的示意图（三视投影图）。

[0018] 图 3 是本发明采用自带型面基板固定的阵列三维金属方环示意图。

[0019] 图 4 是本发明的多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料薄壁件微波加热装置布置图。

[0020] 图 5 是本发明的大厚度多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料微波加热装置布置图。

[0021] 图 6 是本发明的电磁模型示意图。

[0022] 图 7 是本发明的阵列三维金属方环结构参数示意图。

[0023] 图中：1 三维金属单元，2 基板，3 型面，4 复合材料，5 微波谐振腔体，6 磁控管，7 自带型面基板，8 密封胶带，9 脱模布，10 真空袋，11 透气毡，12 有孔隔离膜，13 无孔隔离膜，14 真空接头。

具体实施方式

[0024] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步的说明。

[0025] 如图 1-7 所示。

[0026] 一种多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料微波固化方法，其关键是在多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料 4 表面或距离表面一定范围内放置阵列三维金属单元 1，并将其置于微波谐振腔体 5 中进行微波加热固化，且多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料 4 与三维金属单元 1 间的距离越近，多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料 4 的吸波性能越强，加热效果越显著，其原理图如图 1 所示。

[0027] 所述的三维金属单元 1 的一种结构如图 2 所示，该三维金属单元 1 为具有一定厚度的方环（也可为长方形环、菱形环、圆环、多边形环、边缘开口方环、多环嵌套等）结构，并采用导电性良好的金属材料制成，如铜、铝等。同时，采用具有一定刚性的耐高温透波材料（如聚四氟乙烯、玻璃纤维增强树脂基复合材料等）制作用于固定三维金属单元的基板 2，维持阵列三维金属单元间的相对位置，也就是说可先制作一个带栅格的基板，再将一个一个小的三维金属单元 1 放入栅格中，基板上的栅格边起到给三维金属单元 1 定位的作用，基板 2 的外形与待固化的多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料 4 的外形保持一致。

[0028] 具体实施时，为了提高固化成型后的复合板材的表面质量，可通过以下三种方式来提高多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料 4 靠阵列三维金属单元 1 一面的表面质量：

（a）采用与基板 2 一致的材料填充三维金属单元 1 的中空部分，保证多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料 4 与阵列三维金属单元整体结构（包括基板 2、阵列三维金属单元 1、填充材料）之间的接触面平整光滑；

（b）如图 1 所示，在多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料 4 与三维金属单元 1 之间增加一层较薄（如厚度小于 5mm，型面 3 的厚度越小，加热效果越好）的光滑型面 3；该型面 3 与

基板 2 紧密接触，其材料与基板 2 保持一致；

(c) 如图 3 所示，将型面 3 与基板 2 制作为一个整体 7，其下表面设置一系列盲孔，用于放置阵列三维金属单元 1，而其上表面具有良好的表面质量，用于放置多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料 4。

[0029] 当多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料 4 较薄（如厚度小于等于 5mm）时，可仅在多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料 4 下方放置阵列三维金属单元 1，如图 4 所示；当多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料 4 较厚（如厚度大于 5mm）时，在多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料 4 的上下位置均放置阵列三维金属单元 1，如图 5 所示。

[0030] 采用电磁模型（如图 6 所示）对阵列三维金属单元 1 的结构参数进行优化设计，如三维金属单元 1 的几何参数和单元间距等（如图 7 所示）；

所述电磁模型包括微波谐振腔体 5（四周壁面设置为理想电导体，横截面边长不小于 100mm），激励端口 A、B，采用基板 2 固定的阵列三维金属单元 1，以及多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料 4；从激励端口 A 发出的微波依次入射到阵列三维金属单元 1 和多向铺层的碳纤维增强树脂基复合材料 4 上；多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料 4 与微波谐振腔体 5 的四周壁面接触良好；

上述模型的输入参数主要包括：微波频率，多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料的介电常数、电导率、磁导率、密度和厚度，以及三维金属单元的几何参数和单元间距等；其中，微波频率与多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料 4 的介电常数、电导率、磁导率、密度和厚度根据实际参数赋值；同时，为三维金属单元 1 的几何参数和单元间距设定取值范围（一般大于零且小于微波波长）；

上述模型的输出参数包括：激励端口 A 处的反射率和激励端口 B 处的透射率。

[0031] 上述模型的计算过程为：以多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料 4 的吸收率（吸收率=1-反射率-透射率）为优化目标，以设定的取值范围为边界条件，通过大量计算搜索三维金属单元 1 几何参数和单元间距的最优解，使多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料 4 的吸收率达到最大值（或吸收率大于等于 10%）。

[0032] 实例一。

[0033] 采用微波固化多向铺层碳纤维增强环氧树脂基复合材料薄壁板 4，其尺寸为 200（长）×200（宽）×2（高）mm³，铺层顺序为[0/90]₁₀。

[0034] 首先，通过电磁仿真软件 HFSS 建立方环模型（如图 6）。模型中微波谐振腔体 5 四周壁面设置为理想电导体边界条件，边长为 200mm；微波谐振腔体 5 两端设置为激励端口

A 和 B。复合材料 4 与微波谐振腔体 5 四周壁面接触良好。复合材料 4 的厚度为 2mm，密度为 1820kg/m^3 ，其各向异性的相对介电常数为 (61, 28, 28)，相对磁导率为 (1, 1, 1)，电导率为 (13900, 0.01, 0.01)。设置方环 1 厚度 h 的取值范围为 1~20mm，计算步长为 2mm，方环 1 宽度 m 的取值范围为 1~9mm，计算步长为 1mm，方环 1 间隙 j 的取值范围为 1~8mm，计算步长为 1mm，方环 1 的外边长 l 的取值范围为 1~29mm，计算步长为 2mm。通过大量交叉计算，当方环 1 厚度 h 为 18mm，方环 1 宽度 m 为 5mm，方环 1 间隙 j 为 3mm，方环 1 外边长 l 为 23mm 时，多向铺层碳纤维增强环氧树脂基复合材料层合板的微波吸收率达到最大值 24%。

[0035] 其次，根据上述参数，采用 H59 黄铜制作三维铜环 1，采用聚四氟乙烯板制作基板 2，基板 2 尺寸为 300（长） $\times$ 300（宽） $\times$ 18（高） mm^3 。将阵列三维铜环 1 放入基板 2 后，在基板 2 上方放置一层尺寸为 300（长） $\times$ 300（宽） $\times$ 1（高） mm^3 的聚四氟乙烯型面 3。聚四氟乙烯基板 2 和聚四氟乙烯型面 3 通过粘结剂紧密结合。

[0036] 然后，在聚四氟乙烯型面 3 上依次放置脱模布 9、多向铺层碳纤维增强环氧树脂基复合材料薄壁件 4、脱模布 9、无孔隔离膜 13、有孔隔离膜 12、透气毡 11、真空袋 10、真空接头 14、密封胶带 8 等辅助材料。

[0037] 最后，将封装好的多向铺层碳纤维增强环氧树脂基复合材料 4 置于微波谐振腔体 5 内，按照设定的工艺曲线进行抽真空和微波加热固化。固化完成后，获得满足使用要求的多向铺层碳纤维增强环氧树脂基复合材料薄壁件 4。

[0038] 实例二。

[0039] 采用微波固化多向铺层碳纤维增强环氧树脂基复合材料薄壁板 4，其尺寸为 200（长） $\times$ 200（宽） $\times$ 2（高） mm^3 ，铺层顺序为 $[0/90]_{10}$ 。

[0040] 本实施例除将基板 2 和型面 3 制作为一个整体（即自带型面基板 7）外，其他均与实例一相同。

[0041] 实例三。

[0042] 采用微波固化大厚度多向铺层碳纤维增强环氧树脂基复合材料层合板 4，其尺寸为 200（长） $\times$ 200（宽） $\times$ 10（高） mm^3 ，铺层顺序为 $[0/+45/-45/90]_{25}$ 。

[0043] 首先，通过电磁仿真软件 HFSS 建立方环模型（如图 6）。模型中微波谐振腔体 5 四周壁面设置为理想电导体边界条件，边长为 200mm；微波谐振腔体 5 两端设置为激励端口 A 和 B。复合材料 4 与微波谐振腔体 5 四周壁面接触良好。复合材料 4 的厚度为 10mm，密度为 1820kg/m^3 ，其各向异性的相对介电常数为 (61, 28, 28)，相对磁导率为 (1, 1, 1)，

电导率为 (13900, 0.01, 0.01)。设置方环 1 厚度 h 的取值范围为 1~24mm, 计算步长为 2mm, 方环 1 宽度 m 的取值范围为 1~11mm, 计算步长为 1mm, 方环 1 间隙 j 的取值范围为 1~7mm, 计算步长为 1mm, 方环 1 的外边长 l 的取值范围为 1~46mm, 计算步长为 3mm。通过大量交叉计算, 当方环 1 厚度 h 为 16mm, 方环 1 宽度 m 为 4mm, 方环 1 间隙 j 为 4mm, 方环 1 外边长 l 为 22mm 时, 多向铺层碳纤维增强环氧树脂基复合材料层合板的微波吸收率达到最大值 14.9%。

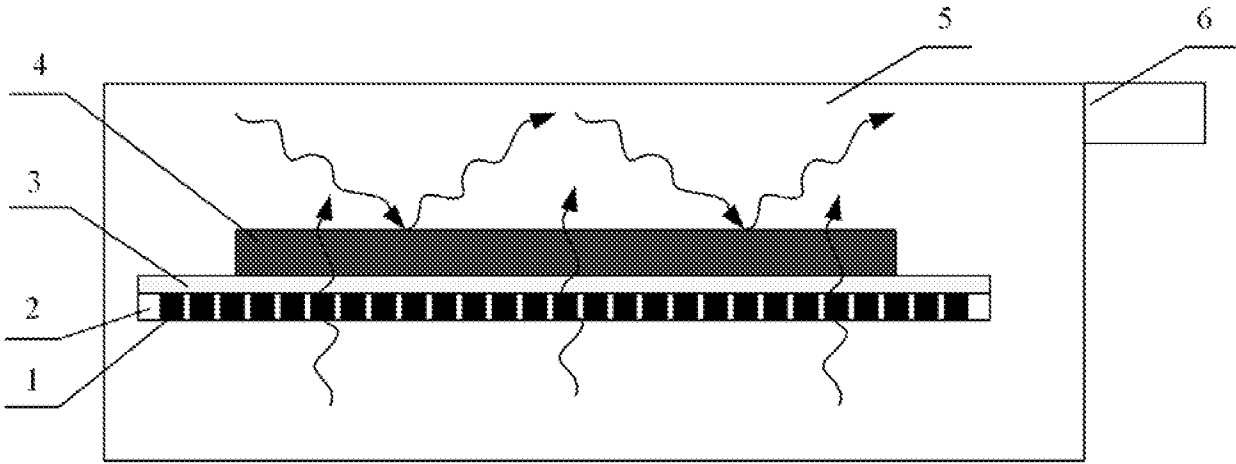
[0044] 其次, 根据上述参数, 采用 H59 黄铜制作三维铜方环 1, 采用聚四氟乙烯板制作基板 2, 基板 2 尺寸为 300 (长) $\times$ 300 (宽) $\times$ 16 (高) mm³。将阵列三维铜环 1 放入基板 2 后, 采用聚四氟乙烯块填充三维铜环的中空部分; 该聚四氟乙烯块的尺寸为 14 (长) $\times$ 14 (宽) $\times$ 16 (高) mm³。

[0045] 然后, 在聚四氟乙烯基板 2 固定的三维铜方环 1 上表面依次放置脱模布 9、大厚度多向铺层碳纤维增强环氧树脂基复合材料层合板 4、脱模布 9、无孔隔离膜 13、有孔隔离膜 12、基板 2 与阵列三维铜方环 1、透气毡 11、真空袋 10、真空接头 14、密封胶带 8 等辅助材料。

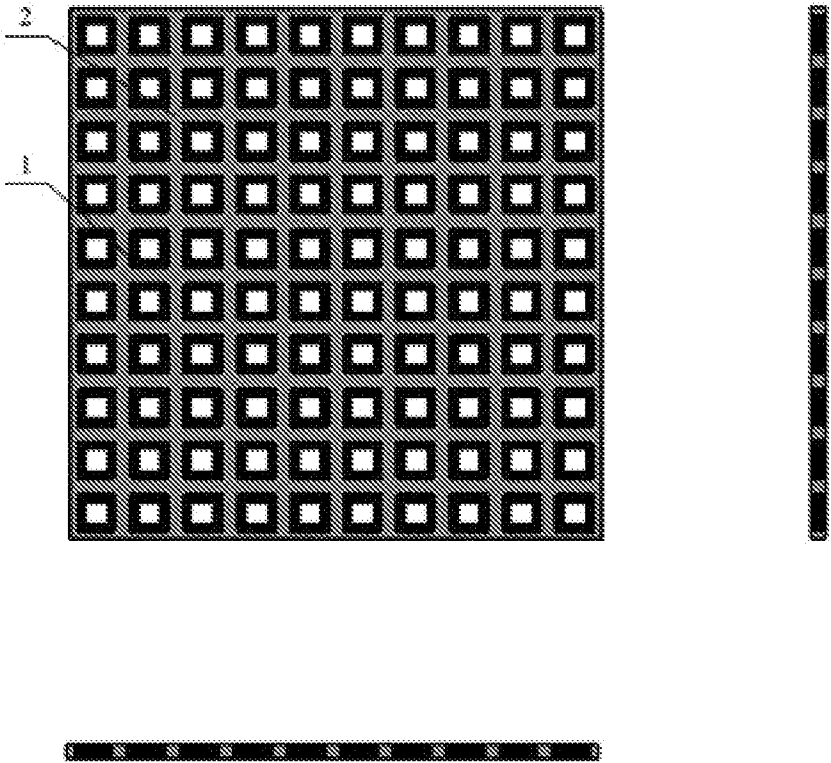
[0046] 最后, 将封装好的大厚度多向铺层碳纤维增强环氧树脂基复合材料层合板 4 置于微波谐振腔体 5 内, 按照设定的工艺曲线进行抽真空和微波加热固化。固化完成后, 获得满足使用要求的大厚度多向铺层碳纤维增强环氧树脂基复合材料层合板 4。

[0047] 本发明未涉及部分均与现有技术相同或可采用现有技术加以实现。

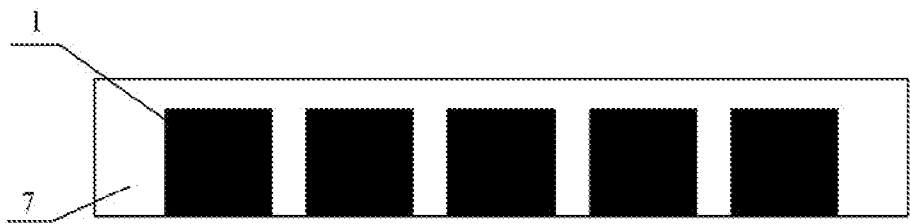
1. 一种多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料微波固化方法，其特征在于：在多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料表面或距离表面一定范围内放置阵列三维金属单元，并将其置于微波加热炉中进行微波加热固化。
2. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于：所述的三维金属单元为具有一定厚度的方环等结构，并采用导电性良好的金属材料制成，如铜、铝等。
3. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于：采用具有一定刚性的耐高温透波材料制作用于固定三维金属单元的基板，维持阵列三维金属单元间的相对位置；基板的外形与待固化的多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料的外形保持一致。
4. 根据权利要求 3 所述的方法，其特征在于：所述的具有一定刚性的耐高温透波材料为聚四氟乙烯、玻璃纤维增强树脂基复合材料等。
5. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于：通过以下方式提高多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料靠近阵列三维金属单元一面的表面质量：
 - (a) 采用与多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料基板一致的材料填充三维金属单元的中空部分，保证多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料与阵列三维金属单元整体结构（包括基板、阵列三维金属单元、填充材料）之间的接触面平整光滑；
 - (b) 在多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料与阵列三维金属单元之间增加一层较薄的光滑型面；该型面与基板紧密接触，其材料与基板保持一致；
 - (c) 将上述型面与基板制作为一个整体，其下表面设置一系列盲孔，用于放置阵列三维金属单元，而其上表面具有良好的表面质量，用于放置多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料。
6. 根据权利要求 5 所述的方法，其特征在于光滑型面的厚度一般小于 10mm，且光滑型面厚度越小加热效果越好。
7. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于：当多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料厚度小于等于 5mm 时，可仅在多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料下方放置阵列三维金属单元；当多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料厚度大于 5mm 时，在多向铺层碳纤维增强树脂基复合材料的上下位置均放置阵列三维金属单元。



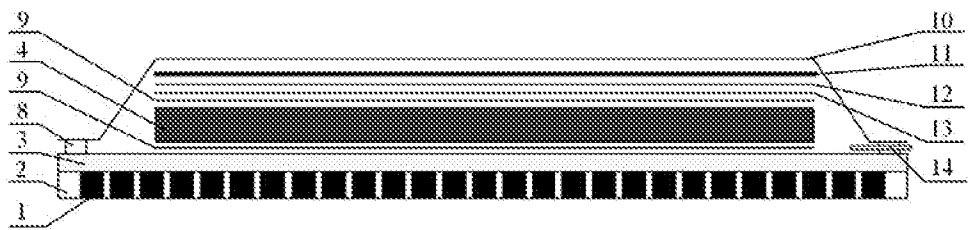
【图号】 图 1



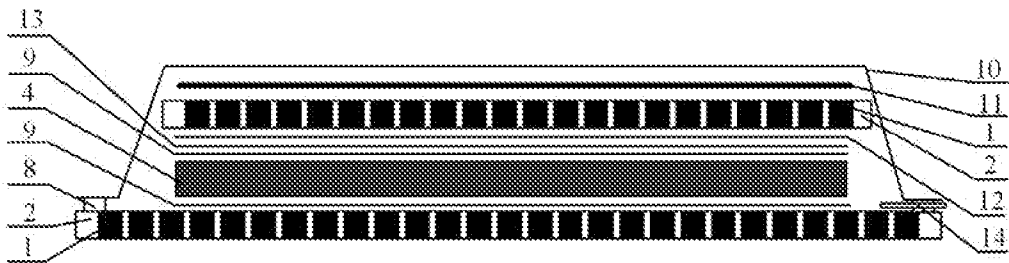
【图号】 图 2



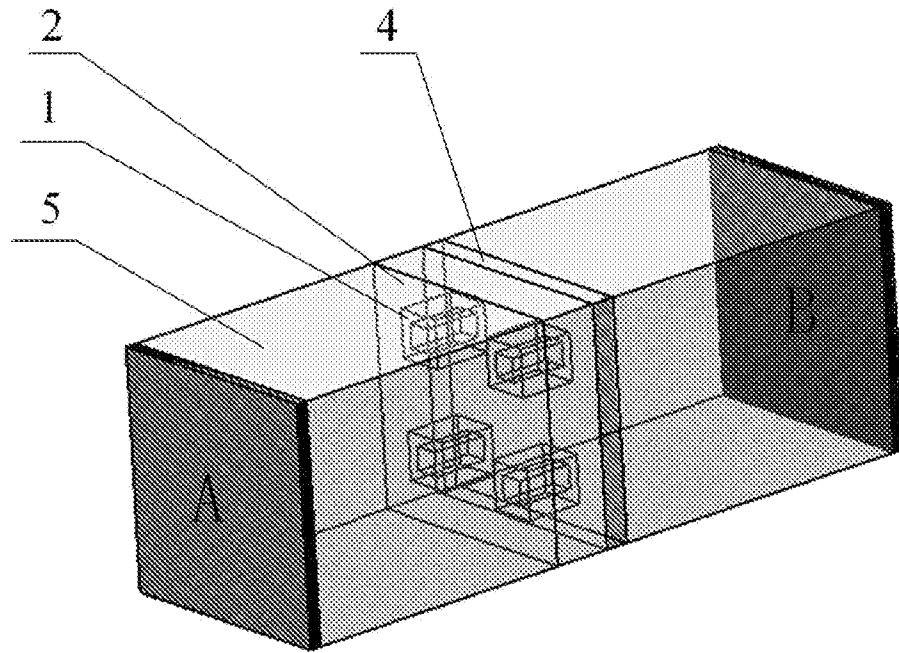
【图号】 图 3



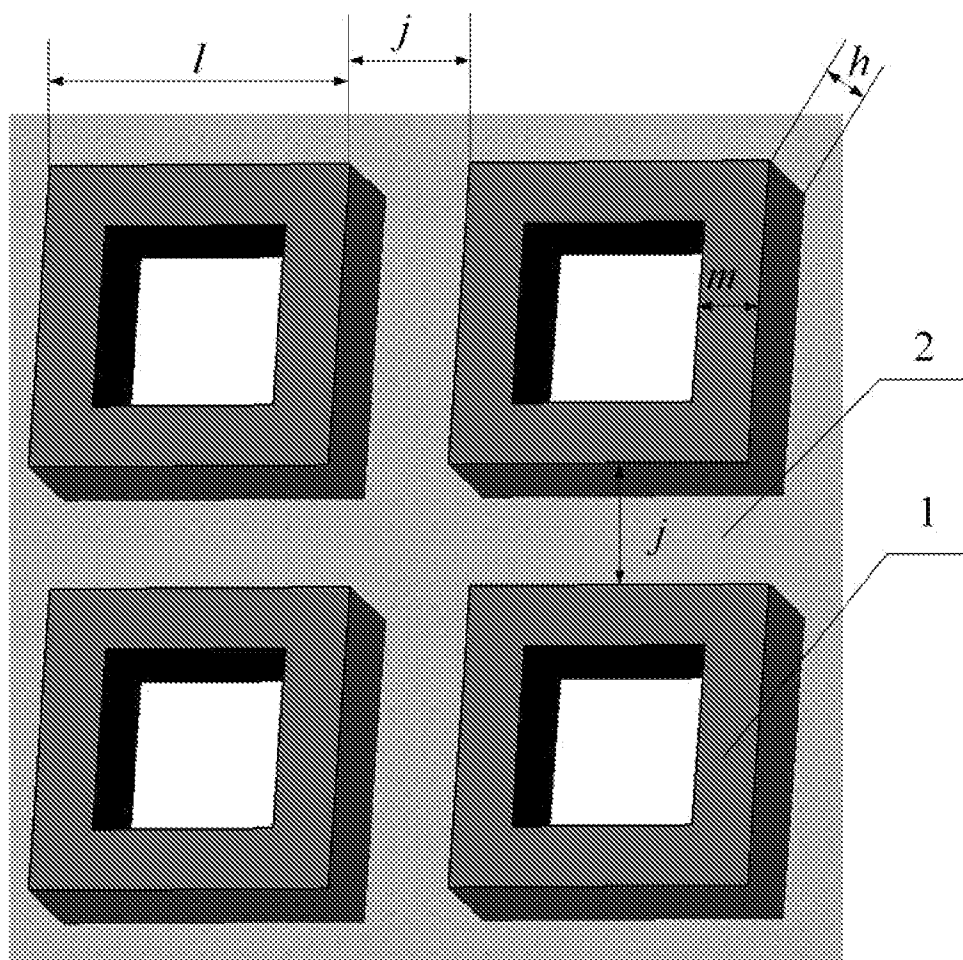
【图号】 图 4



【图号】 图 5



【图号】 图 6



【图号】 图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/108724

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B29C 35/08(2006.01)i; B29C 70/54(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B29C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

VEN, DWPL, CNKI: 碳纤维, 树脂, 微波, 固化, 金属, 三维, 格栅, 层, carbon, fiber, resin, plastic, microwave, solidify, metal, three-dimensional, gridiron, layer

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 107718394 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 23 February 2018 (2018-02-23) description, paragraphs [0007]-[0009] and [0014], and figure 1	1-7
A	CN 107901306 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 13 April 2018 (2018-04-13) entire document	1-7
A	CN 107662303 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 06 February 2018 (2018-02-06) entire document	1-7
A	WO 2014025360 A1 (EMPIRE TECHNOLOGY DEV LLC ET AL.) 13 February 2014 (2014-02-13) entire document	1-7

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

25 March 2019

Date of mailing of the international search report

09 April 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

State Intellectual Property Office of the P. R. China
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2018/108724

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	107718394	A	23 February 2018	None			
CN	107901306	A	13 April 2018	None			
CN	107662303	A	06 February 2018	None			
WO	2014025360	A1	13 February 2014	US	2014194645	A1	10 July 2014
				US	2016279834	A1	29 September 2016
				US	9821493	B2	21 November 2017
				US	9394646	B2	19 July 2016

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/108724

A. 主题的分类 B29C 35/08(2006.01)i; B29C 70/54(2006.01)i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类																	
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) B29C 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) VEN, DWPI, CNKI: 碳纤维, 树脂, 微波, 固化, 金属, 三维, 格栅, 层, carbon, fiber, resin, plastic, microwave, solidify, metal, three-dimensional, gridiron, layer																	
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>CN 107718394 A (南京航空航天大学) 2018年 2月 23日 (2018 - 02 - 23) 说明书第[0007]-[0009]和[0014]段, 图1</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 107901306 A (南京航空航天大学) 2018年 4月 13日 (2018 - 04 - 13) 全文</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 107662303 A (南京航空航天大学) 2018年 2月 6日 (2018 - 02 - 06) 全文</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2014025360 A1 (EMPIRE TECHNOLOGY DEV LLC等) 2014年 2月 13日 (2014 - 02 - 13) 全文</td> <td>1-7</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	X	CN 107718394 A (南京航空航天大学) 2018年 2月 23日 (2018 - 02 - 23) 说明书第[0007]-[0009]和[0014]段, 图1	1-7	A	CN 107901306 A (南京航空航天大学) 2018年 4月 13日 (2018 - 04 - 13) 全文	1-7	A	CN 107662303 A (南京航空航天大学) 2018年 2月 6日 (2018 - 02 - 06) 全文	1-7	A	WO 2014025360 A1 (EMPIRE TECHNOLOGY DEV LLC等) 2014年 2月 13日 (2014 - 02 - 13) 全文	1-7
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求															
X	CN 107718394 A (南京航空航天大学) 2018年 2月 23日 (2018 - 02 - 23) 说明书第[0007]-[0009]和[0014]段, 图1	1-7															
A	CN 107901306 A (南京航空航天大学) 2018年 4月 13日 (2018 - 04 - 13) 全文	1-7															
A	CN 107662303 A (南京航空航天大学) 2018年 2月 6日 (2018 - 02 - 06) 全文	1-7															
A	WO 2014025360 A1 (EMPIRE TECHNOLOGY DEV LLC等) 2014年 2月 13日 (2014 - 02 - 13) 全文	1-7															
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																	
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																	
国际检索实际完成的日期 2019年 3月 25日		国际检索报告邮寄日期 2019年 4月 9日															
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		授权官员 靳艳英 电话号码 62084975															

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/108724

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	107718394	A	2018年 2月 23日	无			
CN	107901306	A	2018年 4月 13日	无			
CN	107662303	A	2018年 2月 6日	无			
WO	2014025360	A1	2014年 2月 13日	US	2014194645	A1	2014年 7月 10日
				US	2016279834	A1	2016年 9月 29日
				US	9821493	B2	2017年 11月 21日
				US	9394646	B2	2016年 7月 19日