

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101804714 B

(45) 授权公告日 2011. 12. 07

(21) 申请号 201010121182. X

B32B 27/06 (2006. 01)

(22) 申请日 2010. 03. 10

B32B 27/18 (2006. 01)

(73) 专利权人 中国人民解放军国防科学技术大学

B32B 1/00 (2006. 01)

地址 410073 湖南省长沙市德雅路 109 号中国人民解放军国防科学技术大学航空与材料工程学院材料工程与应用化学系

B29C 70/48 (2006. 01)

B29C 70/54 (2006. 01)

审查员 熊燕兵

(72) 发明人 肖加余 曾竟成 刘钧 江大志 杜刚 邢素丽 王春齐 杨孚标 彭超义 尹昌平 鞠苏

(74) 专利代理机构 湖南兆弘专利事务所 43008 代理人 赵洪 杨斌

(51) Int. Cl.

B32B 27/04 (2006. 01)

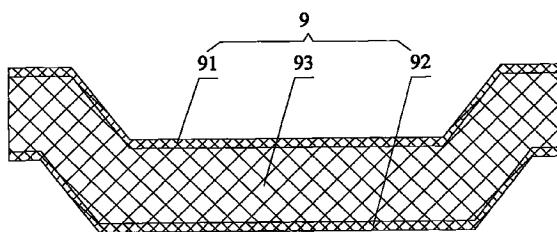
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 3 页

(54) 发明名称

具有表面功能层的复合材料构件的 RTM 制备方法

(57) 摘要

本发明属于多层结构的复合材料构件及其制备方法技术领域,具体公开了一种具有表面功能层的复合材料构件的 RTM 制备方法,该复合材料构件包括上、下表层和中间芯层;上、下表层均为第一复合材料体系,其是以环氧树脂、酚醛树脂等为基体,中间芯层为第二复合材料体系,其是以不饱和聚酯树脂为基体,各体系均是以碳纤维或玻璃纤维的纤维布为增强体。该 RTM 制备方法是先采用树脂膜熔渗工艺在一树脂传递模塑工艺成型用模具表面制备增强树脂膜,然后用覆盖有该增强树脂膜的成型用模具并通过树脂传递模塑工艺制备得到复合材料构件。本发明的 RTM 工艺结合了 RFI 和 RTM 工艺的双重优点,制得的复合材料构件表面质量更好、整体性更好、综合性能优异。



1. 一种具有表面功能层的复合材料构件的 RTM 制备方法,其特征在于:所述 RTM 制备方法是先采用树脂膜熔渗工艺在一树脂传递模塑工艺成型用模具表面制备增强树脂膜,然后用覆盖有该增强树脂膜的所述成型用模具并通过树脂传递模塑工艺制备得到具有表面功能层的复合材料构件;

所述制备方法具体包括以下步骤:

(1) 制备增强树脂膜:将裁剪好的增强材料铺覆在所述成型用模具表面,该成型用模具包括阳模和阴模,然后用预先配制的第一树脂体系均匀浸涂在所述增强材料表面,并对所述的第一树脂体系进行预固化,分别得到上、下表层增强树脂膜;所述预固化时的温度控制在  $30^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ , 预固化的时间为  $1 \sim 6 \text{ h}$ ;

(2) 制备复合材料构件:将另行制备的增强材料预成型体铺覆到所述上表层或下表层增强树脂膜表面,然后将所述阳模和阴模进行合模,同时在合模后的模具上连接好树脂传递模塑工艺用的注胶系统和抽真空系统,然后对合模后的模腔进行抽真空处理并进行第二树脂体系的注入,抽真空处理时,使所述模腔的真空度达到  $0.085\text{MPa}$  以上,直至第二树脂体系充填完毕;最后解除所述注胶系统和抽真空系统并进行共固化处理,所述共固化处理时的固化制度为先在  $30^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$  下保温  $2 \sim 4 \text{ h}$ ,然后在  $60^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$  下保温  $2 \sim 4 \text{ h}$ ,脱模、修整后得到具有表面功能层的复合材料构件;

所述第一树脂体系为环氧树脂、酚醛树脂、乙烯基树脂或不饱和聚酯树脂;所述第二树脂体系为不饱和聚酯树脂;所述增强材料为碳纤维或玻璃纤维的无纬布、平纹布、斜纹布或缎纹布。

## 具有表面功能层的复合材料构件的 RTM 制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种复合材料构件及其制备方法,尤其涉及一种多层结构的复合材料构件及其制备方法。

### 背景技术

[0002] 低压液体模塑技术(Liquid Composite Molding,简称 LCM)是广泛应用于大尺寸复合材料构件制备的成型工艺,其是指将液态聚合物注入铺有纤维预成型体的闭合模腔中,或加热熔化预先放入模腔内的树脂膜,液态聚合物在流动充模的同时完成树脂/纤维的浸润并经固化成型成为制品的一类制备技术。树脂传递模塑(Resin Transfer Molding,以下简称 RTM)、树脂膜熔渗(Resin Film Infusion,以下简称 RFI)是最常见的先进 LCM 工艺技术。LCM 工艺技术可一步浸渍成型带有夹芯、加筋、预埋件的大型构件,可按结构要求铺放纤维,具有高性能、低成本的制造优势,是现今复合材料低成本制造技术的主要发展方向。

[0003] RFI 工艺原理如图 1 所示,RFI 工艺是将预催化(已经添加了固化剂和其他助剂)的树脂预先制成树脂膜 81,将该树脂膜 81 安放在 RFI 模具 8 的底部,其上覆盖纤维增强体 82,用真空袋 83 将 RFI 模具 8 封装形成模腔 84,通过加热、抽真空使树脂膜 81 熔化后形成的液态树脂在真空负压作用下,向上浸渗纤维增强体 82 后,并填满整个纤维增强体 82 所在空间,达到树脂均匀分布,最后按照相应的固化制度进行固化,得到所需的复合材料构件。RFI 工艺的一个关键因素就是树脂膜,其中一个最基本的要求就是树脂膜在室温下能任意弯曲而不破碎,并且不粘手。由于现有的树脂膜中无增强相,膜的强度和刚度较差,工艺操作性不佳。

[0004] RTM 工艺是一种采用刚性闭合模具制造复合材料的技术,工艺原理如图 2 所示。RTM 工艺是在阴模 1 和阳模 2 组成的模具型腔中预先放置增强材料预成型体 7,合模夹紧后,在一定的温度和压力下将经静态混合器混合均匀的树脂体系经注胶系统 3 的注胶口 31 注入到模具型腔中,通过抽真空系统 4 进行抽真空,使树脂体系浸渍增强材料预成型体 7(多余的树脂从出胶口 41 抽出),最后经固化、脱模得到制品。RTM 工艺因其具有制品尺寸精度高、厚度均匀、孔隙率低、挥发份少等优点,已成为先进复合材料低成本制造技术的主要发展方向之一。但是传统的 RTM 工艺只是将纤维增强体放于模腔内,后将树脂注射进模腔,浸渍纤维增强体后再加热固化成型,同一次成型工艺一般只用到一种树脂基体,未赋予制品表层特殊功能。

### 发明内容

[0005] 本发明要解决的技术问题是克服现有技术的不足,提供一种表面质量更好、整体性更好、综合性能优异的具有表面功能层的复合材料构件,还提供一种操作性更好、适合大型构件成型、且结合有 RFI 工艺和 RTM 工艺双重优点的该复合材料构件的 RTM 制备方法。

[0006] 为解决上述技术问题,本发明提出的技术方案为一种具有表面功能层的复合材料

构件,所述复合材料构件包括上表层、下表层和中间芯层;所述上表层、下表层均为第一复合材料体系,所述中间芯层为第二复合材料体系;所述第一复合材料体系是以环氧树脂、酚醛树脂、乙烯基树脂或不饱和聚酯树脂为基体,所述第二复合材料体系是以不饱和聚酯树脂为基体,所述第一复合材料体系和第二复合材料体系均是以碳纤维或玻璃纤维的无纬布、平纹布、斜纹布或缎纹布为增强体。

[0007] 上述的具有表面功能层的复合材料构件中,所述第一复合材料体系中还优选含有阻燃剂、抗静电剂或吸波剂(损耗介质)等功能性添加剂;其中,所述阻燃剂的含量一般不超过第一复合材料体系中基体质量的10%,优选为1%~10%,所述抗静电剂的含量一般不超过第一复合材料体系中基体质量的20%,优选为2%~20%,所述吸波剂的含量一般不超过第一复合材料体系中基体质量的20%,优选为2%~20%;所述第二复合材料体系中还含有阻聚剂,所述阻聚剂的含量一般不超过第二复合材料体系中基体质量的5%,优选为0.5%~5%。

[0008] 上述的具有表面功能层的复合材料构件中,所述上表层、下表层和中间芯层的厚度比例优选控制在1:(1~2):(4~20)。

[0009] 作为一个总的技术构思,本发明还提供一种具有表面功能层的复合材料构件的RTM制备方法,所述RTM制备方法是先采用RFI工艺在一RTM工艺成型用模具表面制备增强树脂膜,然后用覆盖有该增强树脂膜的所述成型用模具并通过RTM工艺制备得到具有表面功能层的复合材料构件。该制备方法是对传统RTM工艺和传统RFI工艺的综合改进,其中利用RFI工艺制备的增强树脂膜最后生成成为复合材料构件(即制成品)的上、下表层,而RTM工艺则主要用于成型复合材料构件的中间芯层,同时经过RTM工艺中的固化步骤后能够使上、下表层和中间芯层成型为一整体。

[0010] 优选的,上述的RTM制备方法具体可包括以下步骤:

[0011] (1) 制备增强树脂膜:将裁剪好的增强材料铺覆在所述成型用模具表面,该成型用模具包括阳模和阴模,然后用预先配制的第一树脂体系均匀浸涂在所述增强材料表面,并对所述的第一树脂体系进行预固化,分别得到上、下表层增强树脂膜;

[0012] (2) 制备复合材料构件:将另行制备的增强材料预成型体铺覆到所述上表层或下表层增强树脂膜表面,然后将所述阳模和阴模进行合模,同时在合模后的模具上连接好树脂传递模塑工艺用的注胶系统和抽真空系统,然后对合模后的模腔进行抽真空处理并进行第二树脂体系的注入,直至第二树脂体系充填完毕;最后解除所述注胶系统和抽真空系统并进行共固化处理,脱模、修整后得到具有表面功能层的复合材料构件;

[0013] 所述第一树脂体系为环氧树脂、酚醛树脂、乙烯基树脂或不饱和聚酯树脂;所述第二树脂体系为不饱和聚酯树脂;所述增强材料为碳纤维或玻璃纤维的无纬布、平纹布、斜纹布或缎纹布。

[0014] 上述的制备方法中,所述预固化时的温度优选控制在30℃~60℃,预固化的时间优选为1~6h;所述抽真空处理时,使所述模腔的真空度优选达到0.085MPa以上(理想值为0.1MPa);所述共固化处理时的固化制度优选为先在30℃~60℃下保温2~4h,然后在60℃~150℃下保温2~4h。

[0015] 上述的制备方法中,所述预固化的制度确定是依据具体实践中实际选定的第一树脂体系的固化特性而定,该优选的预固化制度能让所述第一树脂体系适当硬化,同时又不

使第一树脂体系固化完全。

[0016] 上述的制备方法中,所述共固化处理就是使所述上、下表层增强树脂膜和第二树脂体系进行共固化、共粘结,以形成一整体;其中共固化制度的确定同样是依据所述第一树脂体系和第二树脂体系的固化特性而定,具体来说就是两种树脂体系的共固化制度。

[0017] 与现有技术相比,本发明的优点在于:本发明通过对传统 RFI 和 RTM 工艺进行改进,同时结合 RFI 工艺 Z 向浸渍路程短和 RTM 工艺面内浸渍速度快的优点,无需预制大量大面积的 RFI 树脂膜。鉴于传统 RFI 树脂膜的工艺操作性差的问题,本发明对传统的 RFI 树脂膜进行了改进,在 RFI 树脂膜中引入了增强相得到本发明的 RFI 增强树脂膜(简称增强树脂膜),该增强相是由多层纤维布铺敷而成。相比于传统的 RTM 工艺,由于本发明的制备方法中在 RTM 工艺用模具表面制备了增强树脂膜,这使得本发明的复合材料构件制品具有更好的表面质量;且预置在该模具表面的增强树脂膜由于是预固化的,这样还增加了该模具的刚度,利于增大 RTM 工艺的注射压力,以便于制备大尺寸的复合材料构件;而且由于增强树脂膜的第一树脂体系是预固化的,可以与其后注入模腔中的第二树脂体系进行共固化共粘接,因此制备的复合材料构件成品的整体性好。另外,由于本发明复合材料构件在表面层、中间芯层中所用材料体系的差异性,使得本发明可以赋予表面层某些特殊功能(例如添加阻燃剂使外表层具有阻燃效果)。

#### 附图说明

[0018] 图 1 为传统 RFI 工艺的工艺原理图;

[0019] 图 2 为传统 RTM 工艺的工艺原理图;

[0020] 图 3 为本发明实施例 1 中制备下表层增强树脂膜的工艺状态图;

[0021] 图 4 为本发明实施例 1 中铺覆增强材料预成型体的工艺状态图;

[0022] 图 5 为本发明实施例 1 中真空注胶时的工艺状态图;

[0023] 图 6 为本发明实施例 1 中制备得到的复合材料构件结构示意图。

[0024] 图例说明:

- |                    |            |
|--------------------|------------|
| [0025] 1、阴模        | 2、阳模       |
| [0026] 3、注胶系统      | 31、注胶口     |
| [0027] 4、抽真空系统     | 41、出胶口     |
| [0028] 5、下表层增强树脂膜  | 51、树脂胶液    |
| [0029] 52、表层纤维预成型体 | 53、刮胶板     |
| [0030] 6、上表层增强树脂膜  | 7、增强材料预成型体 |
| [0031] 8、RFI 模具    | 81、树脂膜     |
| [0032] 82、纤维增强体    | 83、真空袋     |
| [0033] 84、模腔       | 9、复合材料构件   |
| [0034] 91、上表层      | 92、下表层     |
| [0035] 93、中间芯层     |            |

#### 具体实施方式

[0036] 实施例 1:

[0037] 制备景区游览车车顶

[0038] 采用本发明的制备方法制备一种用作景区游览车车顶的复合材料构件,具体包括以下步骤:

[0039] 1. 准备模具

[0040] 按照预先设计好的景区游览车车顶的结构尺寸制备如图 5 所示的阳模 2 和阴模 1。

[0041] 2. RFI 工艺制备增强树脂膜

[0042] 2.1 裁剪铺覆增强材料:裁剪用于制备增强树脂膜的增强材料,该增强材料为无碱玻璃纤维 02 平纹布(购自江苏丹阳中亚玻璃纤维有限公司)制作,按照阴模 1 的形状和尺寸裁剪四层无碱玻璃纤维 02 平纹布,然后如图 3 所示依次叠加铺覆在阴模 1 表面得到表层纤维预成型体 52;

[0043] 2.2 浸涂第一树脂体系:准备一定量的 191# 基体树脂(该树脂为一种不饱和聚酯树脂,购自美国亚什兰有限公司),按照基体树脂质量的 1% 加入固化剂过氧化甲乙酮(购自广东巴陵石化公司试剂厂),考虑到景区游览车对安全性能(阻燃效果)要求非常高,需重点考虑树脂体系的阻燃性,因此在前述 191# 基体树脂中加入质量 4% 的滑石粉作为阻燃剂;将基体树脂、固化剂和阻燃剂均匀混合后,得到树脂胶液 51(即第一树脂体系),将其浸涂在铺覆好的表层纤维预成型体 52 表面(如图 3 所示),并用刮胶板 53 将树脂胶液 51 在表层纤维预成型体 52 表面均匀抹平,使树脂胶液 51 充分浸渍增强材料;

[0044] 2.3 预固化:按照 30℃ 的固化温度、2h 的固化时间进行树脂胶液 51 的预固化操作,得到下表层增强树脂膜 5;

[0045] 按照上述步骤 2.1 ~ 2.3 的操作,在阳模 2 表面制备上表层增强树脂膜 6。

[0046] 3. RTM 工艺制备复合材料构件

[0047] 3.1 裁剪铺覆增强材料预成型体:裁剪用于制备中间芯层复合材料的增强材料预成型体 7,所用增强材料为无碱玻璃纤维 04 平纹布(购自江苏丹阳中亚玻璃纤维有限公司),按照阴模 1 的形状裁剪十层无碱玻璃纤维 04 平纹布,然后如图 4 所示依次叠加铺覆在覆盖有下表层增强树脂膜 5 的阴模 1 表面;

[0048] 3.2 合模:将阳模 2 和阴模 1 合模形成模腔,并检查模腔的气密性;

[0049] 3.3 真空注胶:准备 Palatal1777-G-4 不饱和聚酯(购自金陵帝斯曼公司)、过氧化甲乙酮(购自广东巴陵石化公司试剂厂)和 F-2 阻聚剂(购自韩国 CRAY VALLEY 公司),准备 RTM 工艺用注胶系统 3 和抽真空系统 4,按图 5 所示的结构将注胶系统 3 连接到模具上设置的注胶口 31 处,将抽真空系统 4 连接到模具上设置的出胶口 41 处,调节注胶系统 3 中的计量设备,使得注胶过程中 Palatal1777-G-4 不饱和聚酯、过氧化甲乙酮和 F-2 阻聚剂的质量比为 100 : 1 : 2,混合均匀后得到第二种树脂胶液(即第二树脂体系);开启抽真空系统 4 对模腔进行抽真空处理,并保持模腔真空度为 0.09MPa 以上;然后开启注胶系统 3,将本步骤中配制的第二种树脂胶液注射到模腔中,当出胶口 41 处有第二种树脂胶液溢出时,停止注射;关闭抽真空系统 4,停止抽真空;

[0050] 3.4 共固化处理:将抽真空系统 4 和注胶系统 3 分别从模具中解除,然后按照 30℃ 的固化温度先固化 2h,再按照 60℃ 的固化温度固化 2h 后,完成共固化处理操作;

[0051] 3.5 后处理:脱模,修整,清理,得到景区游览车车顶成品。

[0052] 本实施例制备的景区游览车车顶成品为一如图 6 所示的复合材料构件 9, 包括上表层 91、下表层 92 和中间芯层 93; 上表层 91、下表层 92 均为第一复合材料体系, 中间芯层 93 为第二复合材料体系; 第一复合材料体系是以 191# 不饱和聚酯树脂为基体, 以无碱玻璃纤维 02 平纹布 (四层) 为增强体, 第一复合材料体系中还含有阻燃剂, 阻燃剂质量为第一复合材料体系中基体树脂质量的 4%; 第二复合材料体系是以 Palatal1777-G-4 不饱和聚酯树脂为基体, 以无碱玻璃纤维 04 平纹布 (十层) 为增强体, 第二复合材料体系中还含有 F-2 阻聚剂, F-2 阻聚剂质量为第二复合材料体系中基体树脂质量的 2%。该复合材料构件 9 中上表层 91、下表层 92 和中间芯层 93 的厚度比例为 1 : 1 : 5。

[0053] 实施例 2 :

[0054] 制备大型玻璃钢复合材料船体壳体

[0055] 采用本发明的制备方法制备一种用作船体壳体的大型玻璃钢复合材料构件, 具体包括以下步骤:

[0056] 1. 准备模具

[0057] 按照预先设计好的船体壳体的结构尺寸制备阳模和阴模。

[0058] 2. RFI 工艺制备增强树脂膜

[0059] 2.1 裁剪铺覆增强材料: 裁剪用于制备增强树脂膜的增强材料, 该增强材料为中碱玻璃纤维 02 平纹布 (购自江苏丹阳中亚玻璃纤维有限公司), 按照阴模的形状和尺寸裁剪四层中碱玻璃纤维 02 平纹布, 然后依次叠加铺覆在阴模表面;

[0060] 2.2 浸涂第一树脂体系: 准备一定量的 992 乙烯基树脂作为基体树脂 (购自美国亚什兰有限公司), 将基体树脂均匀混合后, 得到树脂胶液, 将其浸涂在铺覆好的增强材料表面, 并用刮胶板将树脂胶液在增强材料表面均匀抹平, 使树脂胶液充分浸渍增强材料;

[0061] 2.3 预固化: 按照 30℃ 的固化温度、2h 的固化时间进行树脂胶液的预固化操作, 得到下表层增强树脂膜;

[0062] 2.4 制备上表层增强树脂膜: 同样按照步骤 2.1 的操作在阳模表面裁剪铺覆增强材料, 然后准备一定量的 191# 基体树脂 (一种不饱和聚酯树脂, 购自美国亚什兰有限公司), 按照该 191# 基体树脂质量的 1% 加入固化剂过氧化甲乙酮 (购自广东巴陵石化公司试剂厂), 按该 191# 基体树脂质量的 6% 加入滑石粉作为阻燃剂; 将基体树脂、固化剂和阻燃剂均匀混合后, 得到树脂胶液 (与步骤 2.2 中的树脂胶液一起均属于第一树脂体系), 将其浸涂在铺覆好的增强材料表面, 并用刮胶板将树脂胶液在增强材料表面均匀抹平, 使树脂胶液充分浸渍增强材料; 按照 30℃ 的固化温度、2h 的固化时间进行树脂胶液的预固化操作, 得到上表层增强树脂膜。

[0063] 3. RTM 工艺制备复合材料构件

[0064] 3.1 裁剪铺覆增强材料预成型体: 裁剪用于制备中间芯层复合材料的增强材料预成型体, 所用增强材料为无碱玻璃纤维 04 平纹布 (购自江苏丹阳中亚玻璃纤维有限公司), 按照阴模的形状裁剪十五层无碱玻璃纤维 04 平纹布, 然后依次叠加铺覆在覆盖有下表层增强树脂膜的阴模表面;

[0065] 3.2 合模: 将阳模和阴模合模形成模腔, 并检查模腔的气密性;

[0066] 3.3 真空注胶: 准备 196 不饱和聚酯 (购自温州市中侨树脂化工实业公司)、过氧化甲乙酮 (购自广东巴陵石化公司试剂厂) 和 F-2 阻聚剂 (购自韩国 CRAY VALLEY 公司),

准备 RTM 工艺用注胶系统和抽真空系统,将注胶系统连接到模具上设置的注胶口处,将抽真空系统连接到模具上设置的出胶口处,调节注胶系统中的计量设备,使得注胶过程中 196 不饱和聚酯、过氧化甲乙酮和 F-2 阻聚剂的质量比为 100 : 1 : 1.5,混合均匀后得到树脂胶液(即第二树脂体系);开启抽真空系统对模腔进行抽真空处理,并保持模腔真空度为 0.09MPa 以上;同时开启注胶系统,将本步骤中配制的树脂胶液注射到模腔中,当出胶口处有树脂胶液溢出时,停止注射;关闭抽真空系统,停止抽真空;

[0067] 3.4 共固化处理:将抽真空系统和注胶系统分别从模具中解除,然后按照 40℃ 的固化温度先固化 2h,再按照 60℃ 的固化温度固化 2h 后,完成共固化处理操作;

[0068] 3.5 后处理:脱模,修整,清理,得到玻璃钢复合材料船体壳体成品。

[0069] 本实施例制备的玻璃钢复合材料船体壳体成品为一夹芯式复合材料构件,包括上表层、下表层和中间芯层;上表层、下表层均为第一复合材料体系,中间芯层为第二复合材料体系;下表层的第一复合材料体系是以 992 乙烯基树脂为基体,以中碱玻璃纤维 02 平纹布(四层)为增强体;上表层的第一复合材料体系是以 191# 不饱和聚酯树脂为基体,以无碱玻璃纤维 02 平纹布(四层)为增强体,上表层中还含有阻燃剂,阻燃剂质量为第一复合材料体系中基体树脂质量的 6%;第二复合材料体系是以 196 不饱和聚酯为基体,以无碱玻璃纤维 04 平纹布(十五层)为增强体,第二复合材料体系中还含有 F-2 阻聚剂, F-2 阻聚剂质量为第二复合材料体系中基体树脂质量的 1.5%。该复合材料构件中上表层、下表层和中间芯层的厚度比例为 1 : 1 : 7。

[0070] 本发明的产品和工艺完全适合于大型风力机复合材料叶片壳体、大型船舶壳体、列车复合材料箱体等各种类型的大型复合材料构件的整体成型。在具体应用中需要调整的主要是模具、增强材料和树脂体系。本发明制备的复合材料构件整体性好,可广泛应用于诸如大型风力发电机叶片、大型船舶壳体、轨道交通车辆箱体等大型复合材料构件的高效率、高质量成型,与本发明构思无实质性差异的各种工艺方案均在本发明权利要求的保护范围内。



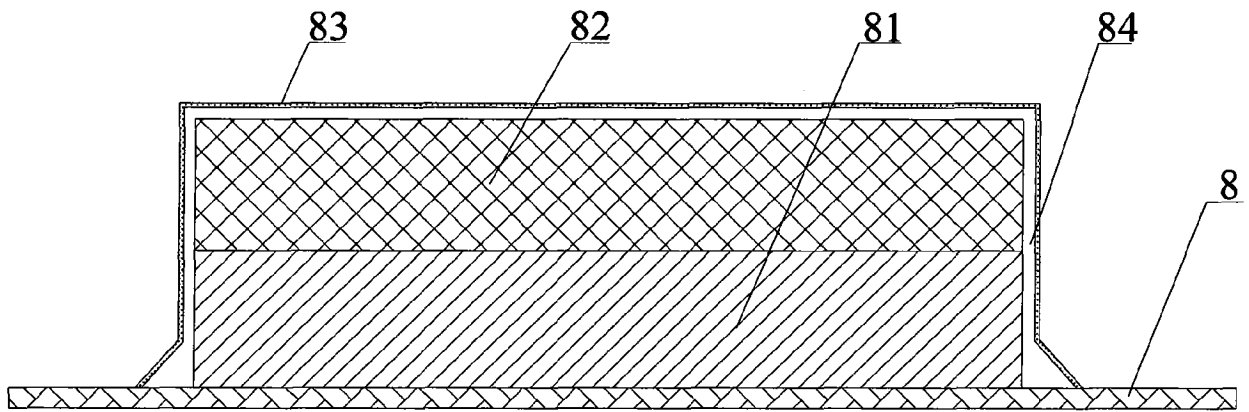


图 1

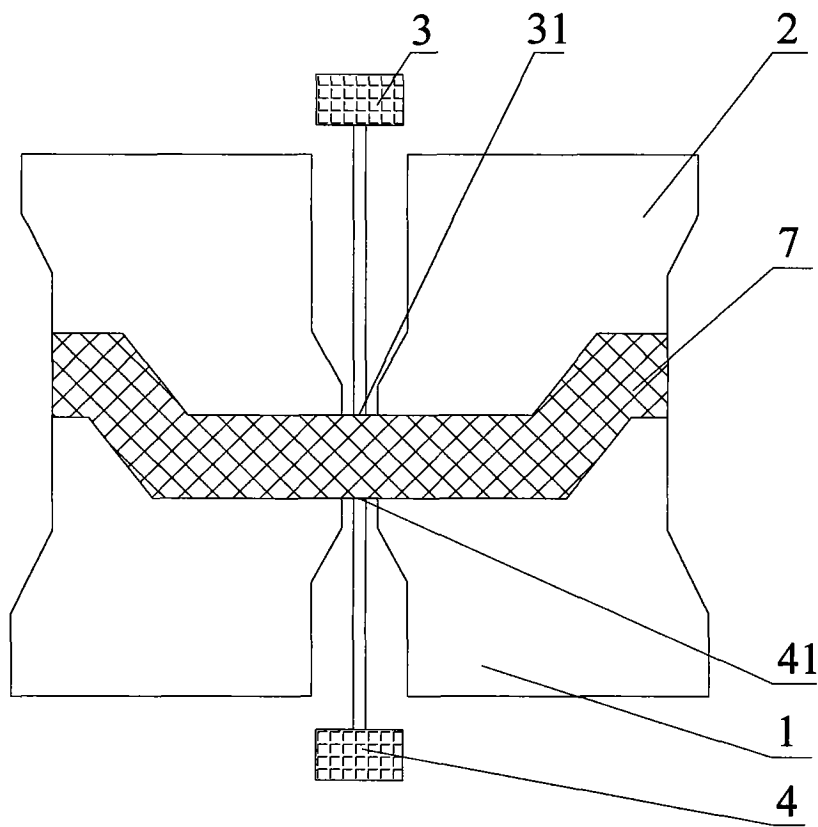


图 2

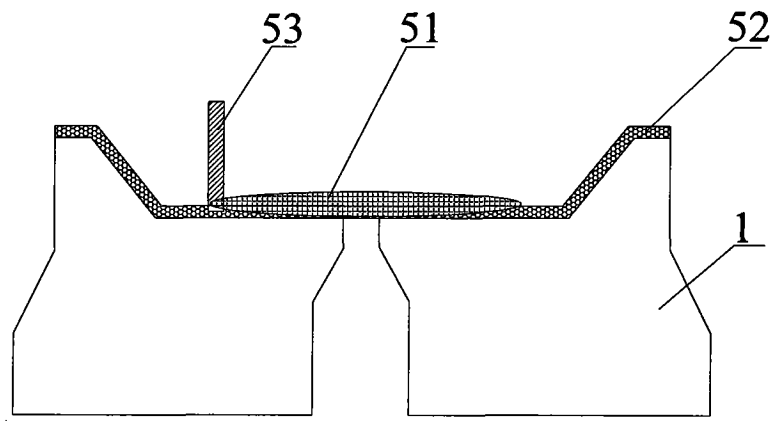


图 3

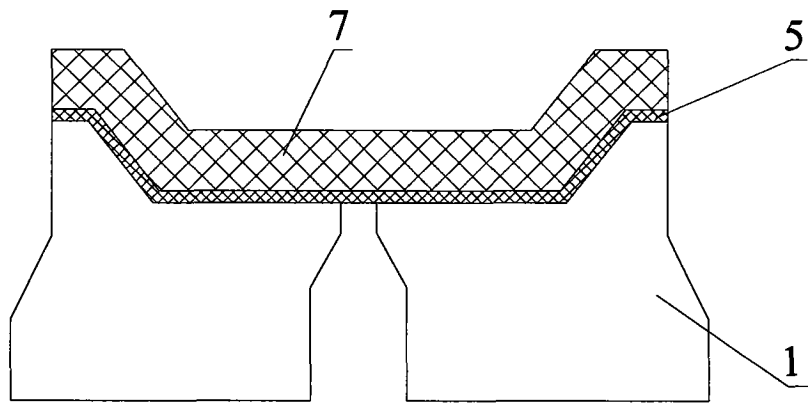


图 4

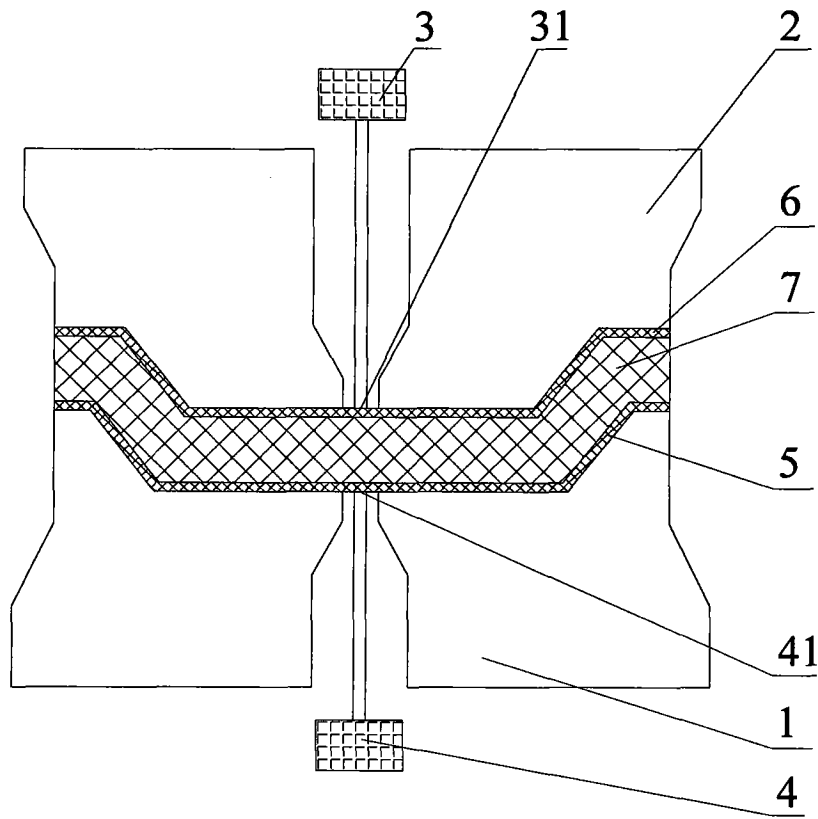


图 5

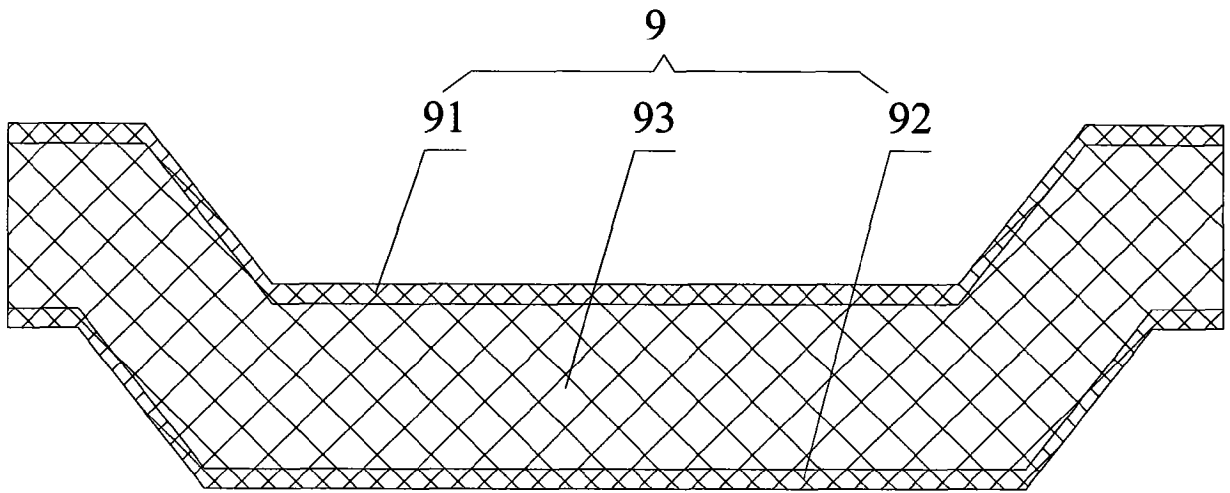


图 6