(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109367056 A
(43)申请公布日 2019.02.22

(21)申请号 201811498240.3

(22)申请日 2018.12.07

(71)申请人 中南大学
地址 410083 湖南省长沙市麓山南路932号

(72)发明人 湛利华 陈效平 黄明辉 刘桂铭 杨晓波 关成龙 贺佳阳 戴光明 常腾飞

(74)专利代理机构 长沙欧诺专利代理事务所（普通合伙）43234
代理人 欧颖 张文君

(51)Int.Cl.
B29C 70/34(2006.01)
B29C 70/54(2006.01)
B29C 35/02(2006.01)
B29C 35/08(2006.01)

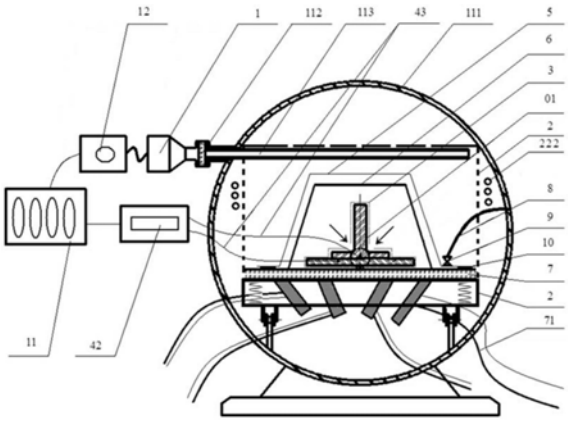
权利要求书2页 说明书7页 附图1页

(54)发明名称

一种树脂基碳纤维复合材料的自动控制加热固化装置

(57)摘要

本发明提供一种树脂基碳纤维复合材料的自动控制加热固化装置，包括保温箱、电热件、振动台、微波发生器、微波腔、微波局部屏蔽件、微波功率控制模块、控制系统和抽真空部件，电热件和微波腔均设置在保温箱内，且电热件设置在微波腔以外，振动台设置在微波腔内；振动台上用于放置复合材料，微波发生器和电热件均用于为所述复合材料供热，微波局部屏蔽件位于微波腔内；振动台为能向所述复合材料提供5000Hz以下振动频率的振动以及能提供2g以上振动加速度的振动的振动台；设置在微波腔外的控制系统通过自动控制微波功率控制模块而自动调节微波发生器的启闭和/或功率大小。本发明所述装置可以使得复合材料在大气压下固化得到性能优良的制件。



CN 109367056 A

1.一种树脂基碳纤维复合材料的自动控制加热固化装置,包括保温箱(111)、电热件(222)、振动台(7)、微波发生器(1)、微波腔(2)、微波局部屏蔽件(3)、微波功率控制模块(12)、控制系统(11)和抽真空部件,所述电热件(222)和微波腔(2)均设置在保温箱(111)内,且所述电热件(222)设置在微波腔(2)以外,所述振动台(7)设置在微波腔(2)内,所述微波腔上含有一个或多个由金属蜂窝板构成的通风窗或通风墙,用于在屏蔽微波的同时可使得微波腔内外侧气流畅通;振动台上用于放置复合材料(01),所述微波发生器向微波腔内发送微波用于为所述复合材料供热,所述电热件(222)也用于为所述复合材料供热,所述微波局部屏蔽件位于微波腔内且用于覆盖在复合材料的外表面,所述微波局部屏蔽件(3)由屏蔽微波区和透过微波区组成,所述透过微波区包含一条或多条缝隙使得微波腔内的微波能从缝隙处进入复合材料中而被其吸收;所述抽真空部件包括真空袋(5)和真空管(8),且用于将复合材料固化过程中产生的气体及时抽出;所述振动台为能向所述复合材料提供5000Hz以下振动频率的振动以及能提供2g以上振动加速度的振动的振动台;设置在微波腔外的控制系统(11)通过自动控制微波功率控制模块(12)而自动调节微波发生器(1)的启闭和/或功率大小。

2.根据权利要求1所述的装置,其特征在于,所述复合材料为T800碳纤维增强环氧树脂预浸料,所述振动台为能向所述复合材料提供2000Hz以下振动频率的振动以及能提供3g以上振动加速度的振动的振动台。

3.根据权利要求1或2所述的装置,其特征在于,所述振动台为能向所述复合材料提供10Hz以上振动频率的振动以及能提供50g以下振动加速度的振动的振动台,优选所述振动台为能向所述复合材料提供20Hz以上振动频率的振动以及能提供30g以下振动加速度的振动的振动台。

4.根据权利要求1～3中任意一项所述的装置,其特征在于,所述振动台为能向所述复合材料提供30～1000Hz中至少部分振动频率的振动以及能提供5～20g中至少部分振动加速度的振动的振动台。

5.根据权利要求1～4中任意一项所述的装置,其特征在于,所述控制系统(11)还与所述电热件(222)电连接控制用于自动调节电热件的启闭和/或升温速率。

6.根据权利要求1～5中任意一项所述的装置,其特征在于,所述振动台(7)下方连接有多个振动锤,且每个振动锤均与振动用液压油管或气管(71)连接以共同用于为振动台和设置在振动台上的复合材料提供加速度竖直方向的随机不间断的振动,优选所述振动锤均匀分布在振动台下方。

7.根据权利要求1～6中任意一项所述的装置,其特征在于,所述装置还包括测温部件,且所述测温部件包含测温头、数据采集仪(42)和测温传输线(43),所述测温头设置在微波局部屏蔽件内侧的复合材料中,所述测温传输线一端与测温头连接,另一端引出至所述微波腔外侧与所述数据采集仪连接,所述数据采集仪用于及时显示所述测温头测得的温度,且数据采集仪将采集的数据传输至控制系统(11),控制系统通过自动控制微波功率控制模块而自动调节微波发生器的启闭和/或功率大小。

8.根据权利要求1～7中任意一项所述的装置,其特征在于,所述透过微波区的面积占整个微波局部屏蔽件面积的30％以下,优选在15％以下,更优选在5％以下;所述缝隙的长宽比为≥2:1,优选≥5:1,更优选≥10:1;所述缝隙的长度为≥20mm,优选≥40mm,更优选≥

80mm，且缝隙的宽度为1～30mm。

9.根据权利要求1～8中任意一项所述的装置，其特征在于，所述微波发生器的功率可调节，优选其功率线性可调，微波发生器位于微波腔顶部，所述微波发生器包括透波耐温板(112)和裂缝天线(113)。

10.根据权利要求1～9中任意一项所述的装置，其特征在于，所述真空袋设置在微波局部屏蔽件的外侧，且在所述真空袋和微波局部屏蔽件之间还设置有透气毡(6)用于抽真空时气体的导流，所述抽真空部件还包括快接接头(9)和密封胶带(10)。

一种树脂基碳纤维复合材料的自动控制加热固化装置

技术领域

[0001] 本发明属于复合材料固化成型领域，具体涉及一种树脂基碳纤维复合材料的自动控制加热固化装置。

背景技术

[0002] 目前航空航天用高性能树脂基复合材料成型主要使用热压罐工艺，因为其固化时一般都需要比较高的温度和固化压力来消除固化过程中树脂基体所产生的气泡，例如T800碳纤维增强环氧树脂预浸料在180℃和0.6MPa的条件下固化，以避免固化后的制件内部疏松多孔和力学性能差。

[0003] 传统热压罐固化工艺中，由于复合材料制件的几何尺寸、材料体系以及固化工艺参数的差异均会不同程度的引起制件内部温度和固化度的不均匀分布，导致制件产生复杂的内应力，严重影响复合材料制件的形性协同制造，尤其是对于固化厚截面制件，制件内部存在较大的温度梯度，因此产生的复杂的内应力会使制件产生分层和基体开裂等缺陷，甚至使制件在成型期间就遭到损坏。

[0004] 因微波具有选择性加热、加热速度快、加热均匀、穿透性强、热惯性小等优点，将微波技术应用于复合材料固化领域，能显著减少固化时间，降低生产成本，获得优异的制品性能，具有巨大的发展潜力。如本申请的发明人在先取得的专利权CN201610025303、CN201610027791、CN201610027866、CN201610030557以及CN201710214268等都是采用微波结合热压罐的工艺对复合材料进行热压固化。以使得热压固化的复合材料制件在固化过程中能够获得精准所需的温度场。

[0005] 但是上述复合材料固化过程中都还离不开热压罐的使用。而热压罐成型工艺存在热压罐设备本身价格昂贵，生产效率低、能耗高、设备制造和运行成本高、对成型模具要求高等一些缺点。另外，热压罐中的高压操作结合微波使用时，还存在一定的安全隐患。这已经成为制约复合材料广泛应用的一个瓶颈，低成本的非热压罐成型技术在这种背景下诞生。

[0006] 非热压罐成型技术是一种低成本复合材料制造技术，其与热压罐成型工艺的主要区别是成型时不需要施加外压，抛弃造价昂贵的热压罐，仅仅采用烘箱与抽真空系统，因此复合材料固化的生产成本低廉。这在设备成型和模具成本方面都优于热压罐成型工艺。但是，获得与热压罐成型工艺相同质量的复合材料固化制件，是非热压罐成型技术的主要目标。

[0007] 然而，由于成型压力低，非热压罐成型的复合材料制件孔隙率较高。一般热压罐成型航空航天主承力结构件的孔隙率应低于1％，次承力结构件的孔隙率应低于2％，而传统的复合材料预浸料若采用非热压罐成型技术固化，其制件孔隙率可以高达5％～10％。孔隙是影响复合材料性能的重要因素，因此降低固化得到的复合材料制件的孔隙率并使其达到热压罐固化的复合材料制件的孔隙率水平，已成为非热压罐成型技术研究的首要任务。

[0008] 也就是说，随着树脂材料固化工艺的不断发展，一些受力不大的非承力构件，人们

已经开始用热压罐外固化工艺来制作。但是对于航空航天用的如T800碳纤维增强环氧树脂预浸料等复合材料，仅仅靠抽真空的固化压力远远不够，因固化压力不够，固化后制件内部就会产生空隙等缺陷，进而大大降低制件的力学性能。所以，对于航空航天用的先进树脂基碳纤维增强复合材料，使用目前已有的热压罐外固化技术还不能达到要求。

[0009] 因此，为了节约成本和提高安全系数，在不使用热压罐对复合材料进行高压固化时，如果能使得航空航天用的高性能复合材料的孔隙率也能实现类似在热压罐中热压固化的效果，这是本领域技术人员需要解决的问题。因此，本领域技术人员需要开发相应的用于高性能树脂基碳纤维增强复合材料制件固化的装置和方法。

发明内容

[0010] 本发明提供一种树脂基碳纤维复合材料的自动控制加热固化装置，包括保温箱、电热件、振动台、微波发生器、微波腔、微波局部屏蔽件、微波功率控制模块、控制系统和抽真空部件，所述电热件和微波腔均设置在保温箱内，且所述电热件设置在微波腔以外，所述振动台设置在微波腔内，所述微波腔上含有一个或多个由金属蜂窝板构成的通风窗或通风墙，用于在屏蔽微波的同时可使得微波腔内外侧气流畅通；振动台上用于放置复合材料，所述微波发生器向微波腔内发送微波用于为所述复合材料供热，所述电热件也用于为所述复合材料供热，所述微波局部屏蔽件位于微波腔内且用于覆盖在复合材料的外表面，所述微波局部屏蔽件由屏蔽微波区和透过微波区组成，所述透过微波区包含一条或多条缝隙使得微波腔内的微波能从缝隙处进入复合材料中而被其吸收；所述抽真空部件包括真空袋和真空管，且用于将复合材料固化过程中产生的气体及时抽出；所述振动台为能向所述复合材料提供5000Hz以下振动频率的振动以及能提供2g以上振动加速度的振动的振动台；设置在微波腔外的控制系统通过自动控制微波功率控制模块而自动调节微波发生器的启闭和/或功率大小。

[0011] 在一种具体的实施方式中，所述振动台为能向所述复合材料提供2000Hz以下振动频率的振动以及能提供3g以上振动加速度的振动的振动台。

[0012] 在一种具体的实施方式中，所述振动台为能向所述复合材料提供10Hz以上振动频率的振动以及能提供50g以下振动加速度的振动的振动台，优选所述振动台为能向所述复合材料提供20Hz以上振动频率的振动以及能提供30g以下振动加速度的振动的振动台。

[0013] 在一种具体的实施方式中，所述振动台为能向所述复合材料提供30～1000Hz中至少部分振动频率的振动以及能提供5～20g中至少部分振动加速度的振动的振动台。

[0014] 在一种具体的实施方式中，所述控制系统(11)还与所述电热件(222)电连接控制用于自动调节电热件的启闭和/或升温速率。

[0015] 在一种具体的实施方式中，所述振动台(7)下方连接有多个振动锤，且每个振动锤均与振动用液压油管或气管(71)连接以共同用于为振动台和设置在振动台上的复合材料提供加速度竖直方向的随机不间断的振动，优选所述振动锤均匀分布在振动台下方。

[0016] 在一种具体的实施方式中，所述装置还包括测温部件，且所述测温部件包含测温头、数据采集仪(42)和测温传输线(43)，所述测温头设置在微波局部屏蔽件内侧的复合材料中，所述测温传输线一端与测温头连接，另一端引出至所述微波腔外侧与所述数据采集仪连接，所述数据采集仪用于及时显示所述测温头测得的温度，且数据采集仪将采集的数

据传输至控制系统(11)，控制系统通过自动控制微波功率控制模块而自动调节微波发生器的启闭和/或功率大小。

[0017] 在一种具体的实施方式中，所述透过微波区的面积占整个微波局部屏蔽件面积的30％以下，优选在15％以下，更优选在5％以下；所述缝隙的长宽比为≥2:1，优选≥5:1，更优选≥10:1；所述缝隙的长度为≥20mm，优选≥40mm，更优选≥80mm，且缝隙的宽度为1～30mm。

[0018] 在一种具体的实施方式中，所述微波发生器的功率可调节，优选其功率线性可调，微波发生器位于微波腔顶部，所述微波发生器包括透波耐温板(112)和裂缝天线(113)。

[0019] 在一种具体的实施方式中，所述真空袋设置在微波局部屏蔽件的外侧，且在所述真空袋和微波局部屏蔽件之间还设置有透气毡(6)用于抽真空时气体的导流，所述抽真空部件还包括快接接头(9)和密封胶带(10)。

[0020] 使用本发明提供的装置和方法，至少能带来如下有益效果：

[0021] 1)本发明提供一种电热能场、微波能场和竖直方向的振动加速度场等多场耦合的复合能场，使得加热固化复合材料时其内部的温度场和固化度均匀。

[0022] 2)本发明提供的装置中采用电热件作为主要加热源对复合材料进行整体加热，而使用微波定点或定向加热辅助提供能量，使得复合材料的加热固化能真正做到各处均匀一致。本发明能实现复合材料制件的内部温度均匀分布和制件的内外固化同步，从而大大减少固化后的制件发生分层、变形、开裂、残余应力等各种缺陷的概率，使制件因为内部温度不均匀而导致的报废率得到大幅降低，提高了产品的生产质量和生产效益。

[0023] 3)本发明真正实现厚的复合材料和变厚度大型复合材料的温度场均匀，内外同步固化，有助于解决大型复合材料主承力制件形性协同制造难题。本发明可用于生产质量要求苛刻的航空航天制件，对提高航空航天制件的生产质量有着重要的实际意义。

[0024] 4)在一种具体的实施例中，本发明结合计算机自动控制技术，使用本发明提供的装置可以对复合材料进行自动控制的复合能场固化。

[0025] 总的来说，本发明所述固化装置和固化方法可以使得复合材料预浸料在大气压下固化得到性能优良的制件。

附图说明

[0026] 图1是本发明所述装置的结构示意图。

[0027] 其中，1、微波发生器，2、微波腔，3、微波局部屏蔽件，42、数据采集仪，43、测温传输线，5、真空袋，6、透气毡，7、振动台，71、振动用液压油管或气管，8、真空管，9、快接接头，10、密封胶带，11、控制系统，12、微波功率控制模块，111、保温箱，222、电热件，112、透波耐温板，113、裂缝天线，01、复合材料。

具体实施方式

[0028] 以下对本发明的实施例进行详细说明，但是本发明可以根据权利要求限定和覆盖的多种不同方式实施。

[0029] 本领域技术人员知晓地：振动台又称振动激励器或振动发生器。它是一种利用电动、电液压、压电或其他原理获得机械振动的装置。以较小的台面实现较高的加速度和较高

的工作频率。振动试验主要分为正弦振动和随机振动。振动台适用于汽车零部件、电子元器件、组件、医药、食品、家具、礼品、陶瓷、包装等行业实验室及生产线上对样品进行相关振动试验。如环境接收试验，品质鉴定试验，可靠性鉴定试验，耐久试验，振动模拟分析，材料特性试验，疲劳试验，振动防止改善等。模拟产品在制造、组装、运输及使用过程中所遭受的振动环境，以评定其结构的耐振性、可靠性和完好性。

[0030] 也就是说，目前振动台的用途多限于人为加速地测试产品的寿命。

[0031] 而本发明中利用振动台产生的竖直方向的随机振动，将其用于树脂基碳纤维复合材料的固化过程中，使得复合材料预浸料固化成合格的复合材料制件。本发明中的固化原理参照了混凝土振捣原理。具体的，用混凝土拌合机拌和好的混凝土浇筑构件时，须排除其中气泡，进行捣固，使混凝土密实结合，消除混凝土的蜂窝麻面等现象，以提高其强度，保证混凝土构件的质量。上述对混凝土消除气泡、进行捣固的过程即为混凝土振捣。低频式的振动频率为25～50HZ;中频式为83～133HZ;高频式为167HZ以上。

[0032] 本发明与混凝土振捣不同的是，首先本发明的振动频率不限于混凝土振捣的频率，其次，混凝土振捣属于冷固化，而本发明属于热固化过程;另外，本发明中是利用2g以上振动加速度的垂直向下的振动，而混凝土振捣中振动加速度方向一般是无序的。

[0033] 参照混凝土在初凝前1～4h左右进行的二次振捣，本发明后续也可以相应试验二次振动对复合材料热固化的效果。

[0034] 本发明中的振动台可以使用现在已成熟的技术，如商购获取的“加速寿命测试仪”，该振动台本身专用于产品寿命的加速破坏测试，而本发明中将这样的振动台用于代替热压罐中的高压而使得碳纤维树脂复合材料的固化效果更优。

[0035] 此外，重力加速度g的方向总是竖直向下的，本发明中所述振动台能提供2g以上的振动加速度，即固化过程中振动台提供的振动加速度为2g以上，$g=9.8m/s^2$，优选固化时振动加速度为2～50g，更优选5～30g。也即本发明中振动台提供的振动加速度方向同样是竖直方向。

[0036] 实施例1

[0037] 使用本发明所述装置固化T800复合材料，

[0038] 先电加热和振动台对复合材料做振动处理，温度由室温以1.5℃/min升温至80℃，之后保温30min，振动频率为10-2000Hz的随机振动，振动加速度为10g，$g=9.8m/s^2$，振动处理过程中对复合材料抽真空处理，复合材料所处环境压力为大气压。

[0039] 该复合材料在80℃保温30min的振动处理后，停止振动，直接由80℃升温到180℃进行热固化，电加热和微波加热复合热场对复合材料做升温固化处理，复合材料的复合热场升温速率为3～5℃/min，此阶段对复合材料继续抽真空处理，复合材料所处环境压力仍为大气压。升温至180℃后保温150min，随炉冷却后得到复合材料制件。因此，在抽真空条件下，以及环境大气压下，复合材料受到的压力为0.1-0.2Mpa。

[0040] 所得复合材料制件的孔隙率为0.32～0.43％，所得复合材料制件的层间剪切强度为94.65～98.96Mpa。

[0041] 本发明装置中，例如所述振动台的振动环境为:三轴六自由度超高斯随机振动，其最大加速度为75g，其振动频率为10～5000Hz，其工作的温度范围为-100℃～+200℃。振动平台利用外部空压机作为动力源，持续利用气锤为振动台提供稳定振源，振动过程中振动

从振动台在竖直方向上传递至复合材料。

[0042] 实施例2

[0043] 使用本发明所述装置固化T800复合材料，

[0044] 先电加热和振动台对复合材料做振动处理，温度由室温以1.5℃/min升温至135℃，之后保温30min，振动频率为10-2000Hz的随机振动，振动加速度为15g，振动处理过程中对复合材料抽真空处理，复合材料所处环境压力为大气压。

[0045] 该复合材料在135℃保温20min的振动处理后，停止振动，直接由135℃升温到180℃进行热固化，电加热和微波加热复合热场对复合材料做升温固化处理，复合材料的复合热场升温速率为3～5℃/min，此阶段对复合材料继续抽真空处理，复合材料所处环境压力仍为大气压。升温至180℃后保温150min，随炉冷却后得到复合材料制件。

[0046] 所得复合材料制件的孔隙率为0.23～0.28％，所得复合材料制件的层间剪切强度为105.32～107.95Mpa。

[0047] 实施例3

[0048] 使用本发明所述装置固化T800复合材料，

[0049] 先电加热和微波加热复合热场对复合材料做升温固化处理，振动台同时对复合材料做振动处理，温度由室温以3～5℃/min升温至180℃，之后保温10min，振动频率为10-2000Hz的随机振动，振动加速度为10g，振动处理过程中对复合材料抽真空处理，复合材料所处环境压力为大气压。

[0050] 该复合材料在180℃保温10min的振动处理后，停止振动，继续180℃保温150min，电加热和微波加热复合热场对复合材料保温固化，此阶段对复合材料继续抽真空处理，复合材料所处环境压力仍为大气压。保温结束后，随炉冷却后得到复合材料制件。

[0051] 所得复合材料制件的孔隙率为0.16～0.22％，所得复合材料制件的层间剪切强度为109.74～116.33Mpa。

[0052] 对比例1

[0053] 本对比例为单独使用热压罐对T800复合材料进行高温高压整体固化，固化压力为0.6MPa，热压罐中电加热使得复合材料温度由室温以1.5℃/min升温至180℃，且升温至180℃后保温150min，随炉冷却后得到复合材料制件，整个固化过程中对复合材料进行抽真空处理。

[0054] 所得复合材料制件的孔隙率为0.36％，所得复合材料制件的层间剪切强度为98.15Mpa。

[0055] 对比例2

[0056] 本对比例为单独使用微波对T800复合材料进行高温整体固化，固化压力为环境压力，即大气压，微波加热使得复合材料温度由室温以3～5℃/min升温至180℃，且升温至180℃后保温150min，随炉冷却后得到复合材料制件，整个固化过程中对复合材料进行抽真空处理。

[0057] 所得复合材料制件的孔隙率为1.45～1.56％，所得复合材料制件的层间剪切强度为74.63～76.97Mpa。

[0058] 由本发明实施例1～3以及对比例1和2的比较结果可知，本发明所述装置固化后得到的复合材料制件的性能完全可以跟热压罐固化这种标准固化流程相媲美。甚至在本发明

优化振动时长、振动终点温度、振动频率和振动加速度之后，本发明提供的装置和方法中的复合材料固化效果还能显著优于热压罐固化。这使得本发明在解决“希望不再使用昂贵和不够安全的热压罐设备进行复合材料固化”问题的同时，还得到了意料之外的复合材料固化效果，固化后的制件产品性能甚至优于热压罐固化这种标准程序。

[0059] 综上所述，本发明至少具备如下特点：

[0060] 1、本发明在抽真空和不外加压力的情况下制备得到性能优异的复合材料制件，降低了复合材料固化成型压力，且固化速度得到了一定程度的加快，节约了设备成本和固化成本，实现了复合材料制件安全、均匀、高效、节能地成型固化。

[0061] 2、本发明还可通过优化振动时长、振动终点温度、振动频率和振动加速度之后，使得复合材料制件的性能更优于热压罐固化这种标准程序制得的复合材料制件。分析原因，可能是复合材料例如在0.6MPa的高压条件固化时，虽然压力可以有效压实复合材料的预浸料铺层，从而提高制件的质量，但压力都是从复合材料的表面逐步向里传递，其表里受压不同，因而固化所得制件的孔隙率相对较高且孔隙分布不均。而在本发明中向下的振动加速度下，复合材料各处受到均匀一致的振动加速度，它同样可以有效压实复合材料的预浸料铺层，从而提高制件的质量，且固化所得制件的孔隙率可以更低且孔隙分布更为均匀。

[0062] 3、本发明中将复合加热装置和振动装置一体化设置，使得复合材料制件在振动和加热处理后无需冷却即可继续升温或保温进行热固化，固化所得的复合材料制件的产品性能更好。

[0063] 4、在一种具体的实施方式中，本发明中，将复合材料制件中不需要特别加热或者固化的区域用微波屏蔽材料进行覆盖，对需要特别加热或者固化的区域则不覆盖微波屏蔽材料，留一条或多条缝隙，使得所述微波局部屏蔽件由屏蔽微波区和透过微波区组成。微波发生器产生微波进入并均匀分散在微波腔中，对复合材料制件没有贴微波屏蔽材料的区域(透过微波区)内部进行加热或者固化。复合材料制件上贴了微波屏蔽材料的区域(屏蔽微波区)由于微波不能进入其中，所以这些区域吸收不到微波能量，而只能接收来自电热件222的整体加热。因此，通过微波定点加热和电热件整体加热的方式可使得本发明的复合材料制件在固化过程中各处温度均匀。因此，本发明提供的复合能场加热使得微波可以针对复合材料制件的局部进行特别加热和固化，在将某种具体形状、材质和尺寸的复合材料工件的加热参数研究清楚后，结合使用电热件对工件进行整体加热，可使得加热固化过程整体均匀可控，从而得到高性能的制件产品。或者本发明中在复合材料加热固化前先在其外表面的部分面积处设置一层强吸波材料，增强复合材料上部分位置的微波能量吸收。同样可以起到微波定点加热和电热件整体加热的效果。

[0064] 此外，本发明是在系列专利或专利申请CN201610025303、CN201610027791、CN201610027866、CN201610030557以及CN201710214268的基础上所做的改进和创新，若本发明中有存在描述不够细致之处，可参照这些专利或专利申请实施。也就是说，本发明还引入包含这些专利或专利申请的内容。

[0065] 所述保温箱的形状可以是立方体和圆柱体等任意造型。现有技术中用于固化T800预浸料的热压罐需耐压，罐壁厚实。而本发明中的保温箱只需提供一个大气压或者略高于大气压的压力，所以其造价低得多。优选本发明中在微波腔以外的保温箱中设置有用于热气对流的风扇。所述振动台使用三根以上的螺旋弹簧连接在所述微波腔的底板上，优选至

少在振动台的台面下方四角位置各设置有一根弹簧用于支撑振动台。

[0066] 以上内容是结合具体的优选实施方式对本发明作的进一步详细说明，不能认定本发明的具体实施只局限于这些说明。对于本发明所属技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干简单推演和替换，都应当视为属于本发明的保护范围。

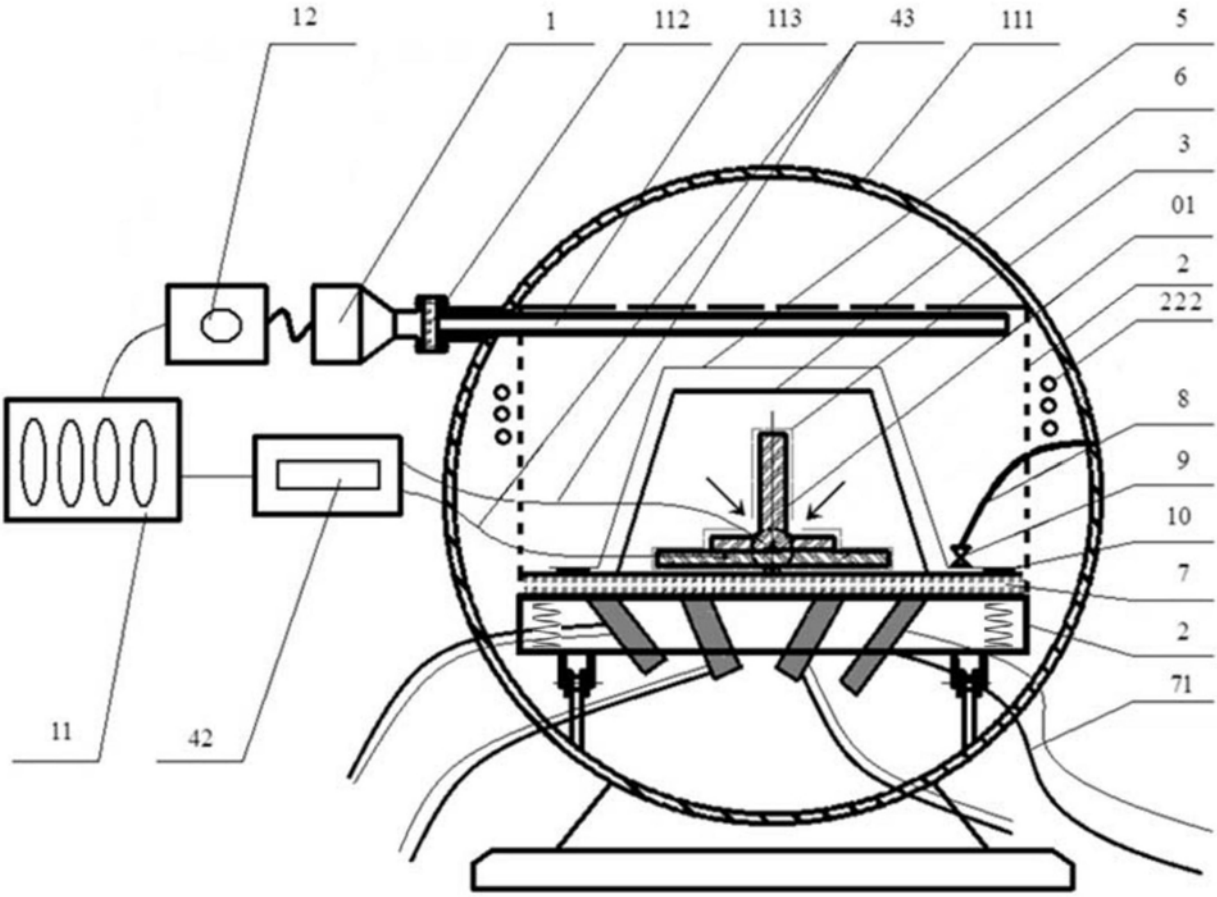


图1