



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108527677 A

(43)申请公布日 2018.09.14

(21)申请号 201710121128.7

(22)申请日 2017.03.02

(71)申请人 航天特种材料及工艺技术研究所
地址 100074 北京市丰台区云岗北里40号
1-8

(72)发明人 宋寒 苏力军 李文静 刘云龙
曹杰 李晶

(74)专利代理机构 北京五洲洋和知识产权代理
事务所(普通合伙) 11387
代理人 刘春成

(51)Int.Cl.

B28D 1/22(2006.01)

B28D 7/04(2006.01)

F16L 59/02(2006.01)

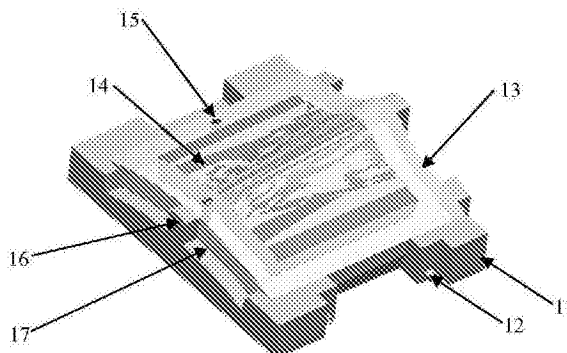
权利要求书1页 说明书7页 附图1页

(54)发明名称

一种耐高温隔热夹层材料的多构件坯体的
数控加工方法

(57)摘要

本发明提供了一种耐高温隔热夹层材料的多构件坯体的数控加工方法,所述方法包括如下步骤:(1)将构件材料坯体置于加工工装;(2)利用定位特征对构件材料坯体进行定位;(3)将定位好的构件材料坯体固定;(4)对构件材料坯体进行边缘切割加工,得到边缘切割加工构件;(5)通过分割加工将所述边缘切割加工构件进一步切割成多个上述多层构件;其中,所述构件材料坯体具有异质层结构。本发明方法快捷,能够大幅度提高构件加工精度、加工效率和质量稳定性。



1. 一种耐高温隔热夹层材料的多构件坯体的数控加工方法,其特征在于,所述方法包括如下步骤:

- (1) 将构件材料坯体置于加工工装;
- (2) 利用定位特征对构件材料坯体进行定位;
- (3) 将定位好的构件材料坯体固定;
- (4) 对构件材料坯体进行边缘切割加工,得到边缘切割加工构件;
- (5) 通过分割加工将所述边缘切割加工构件进一步切割成多个所述多层构件;

其中,所述构件材料坯体具有异质层结构并包括多个夹层构件,并且所述边缘切割加工和/或所述分割加工通过数控加工方式进行。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于:

所述异质层结构为具有至少3层的异质层结构;

更优选的是,所述异质层结构由上面板层、芯层和下面板层构成,并且相对于面板层和芯层彼此而言,芯层材料为半柔性材料,上面板层材料和/或下面板层材料为脆性材料。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述边缘切割加工的误差为不大于0.2%。

4. 根据权利要求至4中任一项1所述的方法,其特征在于:

所述加工工装为随形加工工装;

更优选的是,所述固定通过真空负压吸附来实现。

5. 根据权利要求1至4中任一项所述的方法,其特征在于:所述定位特征包括位于所述加工工装上的具有与夹层材料构件匹配贴合的型面定位特征和/或定位基准特征;和/或位于构件材料坯体上的与定位基准特征位置对准的定位件;

优选的是,所述定位件包括耐高温性不低于坯体制备温度的陶瓷柱,和/或所述型面定位特征包括具有与夹层材料构件匹配贴合的周边配合型面定位特征。

6. 根据权利要求1至4中任一项所述的方法,其特征在于,所述夹层材料构件具有平坦表面和/或非平坦异型表面。

7. 根据权利要求1至4中任一项所述的方法,其特征在于:

所述夹层材料构件具有耐高温性能、隔热性能和承载性能;

优选的是,所述夹层材料构件的使用温度上限为1000~1200℃;室温导热系数 $\leq 0.05\text{W/m}\cdot\text{K}$;抗压强度 $>1\text{MPa}$;和/或应变性能 $>2000\mu\epsilon$;

更优选的是,所述夹层材料构件用于通过拼接形成超高声速飞行器的舱体外部的热防护结构。

8. 根据权利要求1至4中任一项所述的方法,其特征在于,所述分割加工的误差为不大于0.2%。

9. 根据权利要求1至4中任一项所述的方法,其特征在于,所述数控加工方式通过随形模胎和三维理论模型进行。

10. 根据权利要求1至4中任一项所述的方法,其特征在于,所述异质层结构中的外部两层与至少一个内部芯层具有硬度异质性和/或脆性异质性;

优选的是,所述异质层结构为具有上层、芯层和下层的三层夹心异质层结构。

一种耐高温隔热夹层材料的多构件坯体的数控加工方法

技术领域

[0001] 本发明涉及隔热材料技术领域,具体地说,本发明涉及一种耐高温隔热夹层材料构件的加工方法。

背景技术

[0002] 超高声速飞行器在大气层中长时高速巡航的过程中,飞行器要承受严酷的气、热载荷作用。为了保证飞行器外形结构完整,内部的元器件正常工作,需要兼具耐温隔热和承载功能的热防护系统来保护飞行器避免在气动加热环境中烧毁和过热。

[0003] 热防护系统由于需要兼具耐温、隔热和承载等多种功能,因此一般都采用具有夹层结构的耐高温隔热构件,即耐高温隔热夹层材料构件。目前,耐高温隔热夹层材料构件的研究主要集中在材料本身以及夹层结构中的各层一体化制备技术上。

[0004] 例如,CN201320526457.7公开了一种耐高温一体化刚性隔热构件,所述耐高温一体化刚性隔热构件包括:刚性纤维隔热层;渗透至所述刚性纤维隔热层中的气凝胶渗透层;在所述刚性纤维隔热层的至少一侧上的纤维织物面板增强层,其中通过缝合纤维线将所述刚性纤维隔热层和所述纤维织物面板增强层缝制在一起,但是该专利没有公开到最后的边缘切割加工方法。

[0005] 然而,耐高温隔热夹层材料构件一般装配在飞行器舱体外部,在使用时需要将多个构件拼接在一起,因此对于单个构件的内外型面及四周轮廓精度的要求是非常高的。另一方面,构件由于由夹层构成,制造时不仅涉及各层的制备工序,还涉及将各层一体化的工序,一体化后得到的坯体的边缘部分的性能或者外形轮廓经常无法满足使用要求,因此需要将坯体边缘进行进一步的加工。

[0006] 如上所述,目前的研究主要集中在各层材料性能上以及在将各层一体化的技术上,很少研究用于提高耐高温隔热夹层结构的外形轮廓精度的加工技术。如果采用现有的加工方式,如车床或铣床等方式,存在定位精度低,自动化程度不高,加工后构件边缘状态不佳,影响构件生产制备的进度,甚至部分具有特异形状的构件无法加工等问题。

[0007] 因此,非常需要一种用于保障和改善耐高温隔热夹层材料构件的外形和精度、提高加工效率的加工方法。这种夹层材料构件的加工方法特点或难点在于如何利用高精度的定位基准以保证加工精度,以及如何确保加工不同性质材料集成为一体的夹层材料结构以保证其夹层材料构件的边缘状态满足使用要求。

发明内容

[0008] 为了解决一个或多个上述问题,本发明提供了一种夹层结构尤其是例如耐高温隔热材料夹层材料构件的加工方法。

[0009] 具体地说,本发明通过如下技术方案来实现:

[0010] 1、一种耐高温隔热夹层材料的多构件坯体的数控加工方法,所述方法包括如下步骤:

- [0011] (1) 将构件材料坯体置于加工工装；
- [0012] (2) 利用定位特征对构件材料坯体进行定位；
- [0013] (3) 将定位好的构件材料坯体固定；
- [0014] (4) 对构件材料坯体进行边缘切割加工,得到边缘切割加工构件；
- [0015] (5) 通过分割加工将所述边缘切割加工构件进一步切割成多个所述多层构件；
- [0016] 其中,所述构件材料坯体具有异质层结构并包括多个夹层构件,并且所述边缘切割加工和/或所述分割加工通过数控加工方式进行。
- [0017] 2、根据技术方案1所述的方法,所述异质层结构为具有至少3层的异质层结构;更优选的是,所述异质层结构由上面板层、芯层和下面板层构成,并且相对于面板层和芯层彼此而言,芯层材料为半柔性材料,上面板层材料和/或下面板层材料为脆性材料。
- [0018] 3、根据技术方案1或2所述的方法,所述边缘切割加工的误差为不大于0.2%。
- [0019] 4、根据技术方案1至3中任一项所述的方法,所述加工工装为随形加工工装;更优选的是,所述固定通过真空负压吸附来实现。
- [0020] 5、根据技术方案1至4中任一项所述的方法,所述定位特征包括位于所述加工工装上的具有与夹层材料构件匹配贴合的型面定位特征和/或定位基准特征;和/或位于构件材料坯体上的与定位基准特征位置对准的定位件;优选的是,所述定位件包括耐高温性不低于坯体制备温度的陶瓷柱,和/或所述型面定位特征包括具有与夹层材料构件匹配贴合的周边配合型面定位特征。
- [0021] 6、根据技术方案1至5中任一项所述的方法,所述夹层材料构件具有平坦表面和/或非平坦异型表面。
- [0022] 7、根据技术方案1至6中任一项所述的方法,所述夹层材料构件具有耐高温性能、隔热性能和承载性能;优选的是,所述夹层材料构件的使用温度上限为1000~1200℃;室温导热系数 $\leq 0.05\text{W/m}\cdot\text{K}$;抗压强度 $> 1\text{MPa}$;和/或应变性能 $> 2000\mu\epsilon$;更优选的是,所述夹层材料构件用于通过拼接形成超高声速飞行器的舱体外部的热防护结构。
- [0023] 8、根据技术方案1至7中任一项所述的方法,所述分割加工的误差为不大于0.2%。
- [0024] 9、根据技术方案1至8中任一项所述的方法,所述数控加工方式通过随形模胎和三维理论模型进行。
- [0025] 10、根据技术方案1至9中任一项所述的方法,所述异质层结构中的外部两层与至少一个内部芯层具有硬度异质性和/或脆性异质性;优选的是,所述异质层结构为具有上层、芯层和下层的三层夹心异质层结构。
- [0026] 本发明方法具有如下优点:
- [0027] (1) 本方法加工得到的夹层结构例如耐高温隔热夹层材料构件的内外型面及四周轮廓精度较高,减少构件无法满足使用要求造成的损失。尤其是在一些实施方式中,本发明利用型面定位特征和定位基准特征,如周边配合型面定位特征和/或定位基准特征如定位面、定位孔、定位销、定位钉或定位柱,和/或引入在材料制备过程中不会产生变化的定位件如耐高温致密陶瓷柱,可以保证定位的精度。
- [0028] (2) 在一些实施方式中,本发明采用数控机床进行加工,利用型面贴合定位特征和/或定位基准特征(如定位面、定位孔、定位销、定位钉或定位柱)、随型模胎和三维理论模型加工,利用夹具和/或真空负压吸附固定,并通过加工工装进行加工,去除多余部分材料,

能达到误差 $\gt 0.2\%$ 的高精度。

[0029] (3) 本方法加工效率较高,能够大幅度缩短构件制备周期,节约时间成本。数控加工自动化程度高,节约时间,而且精度高、废品率低,能够减少浪费,节约成本。

[0030] (4) 本方法简单、操作简便、对环境污染小;

[0031] (5) 本方法可以用于加工各种形状规格的构件,例如平板构件或者异型构件,尤其适合各种型面复杂的异型构件。

附图说明

[0032] 图1示出了利用随形加工工装加工构件材料坯体的图示。

[0033] 图2示出了单个坯体材料包括多个(图中为4个)夹层材料构件的图示。

[0034] 图3为实施例1所切割的材料的切面的照片。

[0035] 图4为现有技术中所采用的切割加工的切割面的照片。

[0036] 图中:11:随型加工工装;12:随形调节螺母;13:坯体;14:构件;15:定位件;16:定位桩;17:型面定位特征。

具体实施方式

[0037] 本发明提供了一种耐高温隔热夹层材料的多构件坯体的数控加工方法,下面结合实施例对本发明作进一步说明。这些实施方式只是就本发明的优选实施方式进行举例说明,本发明的保护范围不应解释为仅限于这些实施方式。

[0038] 如上所述,本发明提供了一种耐高温隔热夹层材料的多构件坯体的数控加工方法,所述方法包括如下步骤:

[0039] (1) 将构件材料坯体置于加工工装;

[0040] (2) 利用定位特征对构件材料坯体进行定位;

[0041] (3) 将定位好的构件材料坯体固定;

[0042] (4) 对构件材料坯体进行边缘切割加工,得到边缘切割加工构件;

[0043] (5) 通过分割加工将所述边缘切割加工构件进一步切割成多个所述多层构件;

[0044] 其中,所述构件材料坯体具有异质层结构并包括多个夹层构件,并且所述边缘切割加工和/或所述分割加工通过数控加工方式进行。

[0045] 异质层结构

[0046] 在一些实施方式中,所述异质层结构为具有至少2层的异质层结构,更优选为具有至少3层的异质层结构,例如可以为3至5层(例如3层、4层或5层)的异质层结构,或者可以具有更夹层的异质层结构。

[0047] 在所述异质层结构中,外部两层与至少一个内部芯层优选具有硬度异质性(硬度不一样)。在另一些实施方式中,外部两层与至少一个内部芯层优选具有脆性异质性(脆性或者韧性不一样);在更优选的一些实施方式中,外部两层与至少一个内部芯层具有硬度异质性和脆性异质性。外部两层的硬度和/或脆性可以相同也可以不同。

[0048] 在一些优选的实施方式中,所述异质层结构具有3层。例如,所述异质层结构为具有上层、芯层和下层的三层夹心异质层结构。

[0049] 在一些实施方式,所述异质层结构由上面板层、芯层和下面板层构成,并且相对于

面板层和芯层彼此而言,芯层材料为半柔性材料,上面板层材料和/或下面板层材料为脆性材料。更优选的是,相对于芯层而言,上面板层材料和下面板层材料均为脆性材料。但是,上面板层和下面板层的材料可以相同也可以不同。

[0050] 在一个更具体的实施方式中,所述夹层材料构件为典型的三层夹层结构构件,用于超高音速飞行器的舱体外部的热防护。该三层夹层结构的上面板层和下面板层由耐高温陶瓷纤维组成,一般是由三维编织结构的纤维预制体与耐高温溶胶前驱体复合得到,刚度较大,具有较好的耐高温和抗高速气流冲刷性能;中间的芯层为耐高温气凝胶,一般是由柔性耐高温纤维预制体与气凝胶溶胶前驱体复合得到,具有一定的柔性和较好的隔热性能。具有这种结构的坯体由于边缘位置的性能与中间部分的性能差异较大,很难一步到位地加以制备,并且各层都包含增强纤维但是柔性又有明显差异,在进行边缘切割加工时尤其困难。

[0051] 构件

[0052] 构件是通过加工材料构件坯体来得到。更具体地说,在本发明中,所述边缘切割加工构件包括多个夹层材料构件,即用于经过边缘切割加工得到边缘切割加工构件的坯体为多构件坯体。例如,所述边缘切割加工构件可以具有至少2个、至少3个或者至少4个夹层材料构件。例如可以具有2、3、4、5、6、7、8、9、10、15或者20个或者甚至更多个夹层材料构件。

[0053] 在一些实施方式中,所述夹层材料构件具有平坦表面。在另一些实施方式中,所述夹层材料构件具有非平坦异型表面。

[0054] 在一些优选的实施方式中,所述夹层材料构件具有耐高温性能、隔热性能和/或承载性能,优选具有耐高温性能、隔热性能和承载性能。在一些实施方式中,所述夹层材料构件的使用温度上限为1000~1200℃;室温导热系数 $\leq 0.05\text{W/m}\cdot\text{K}$;抗压强度 $> 1\text{MPa}$;和/或应变性能 $> 2000\mu\epsilon$ 。

[0055] 在一些更优选的实施方式中,所述夹层材料构件用于通过拼接形成超高声速飞行器的舱体外部的热防护结构。

[0056] 如前所述,超高声速飞行器需要兼具耐温隔热和承载功能的热防护结构来避免在气动加热环境中烧毁和过热,这样的结构(下文简称耐高温隔热夹层结构)通常具有至少三层的结构,所述三层一般包括外部两层和至少一个内部芯层。芯层一般由具有耐高温性且隔热的相对柔性例如半柔性的材料制成。外部两层的材质可以相同也可以不同,通常由具有较高脆性和硬度的材料制成以提供承载功能。例如耐高温隔热夹层结构可以具有类似三明治式的三层结构。

[0057] 由于是夹层结构,制造时不仅涉及各层的制备工序,还涉及将各层一体化的工序。因为夹层结构存在各层材料性质不均一的问题,因此在制备、加工上均与均质材料构件明显不同,在制备方面需要考虑变形匹配的问题,而这对产品最终型面精度是有影响的。这种夹层结构在加工上主要是芯层材料和上下面板材料性能区别较大,芯层材料为半柔性材料,面板材料为脆性材料,而加工时基本上为一次性同时加工。因此,这种夹层结构在一体化后得到的坯体的边缘部分的性能或者外形轮廓经常无法满足使用要求,需要对边缘进行进一步的加工。如果采用传统加工方式,如车床、铣床等方式,存在定位精度低和加工后构件边缘状态不佳(如图4所示)的问题。另一方面,用于装配在超高音速飞行器的舱体外部的这种构件在使用时需要将多个构件拼接在一起,因此对于单个夹层隔热构件的内外型面及

四周轮廓精度的要求是非常高的。因此,对于这样的构件的加工,需要进行高精度地加工。因为各层的异质性和因拼接所要求的型面和边缘轮廓的高精度以及用途决定的高性能要求,所以这类构件的加工精度和难度被显著地提高了。

[0058] 在一些优选的实施方式中,所述坯体具有定位件。在所述夹层材料构件为耐高温隔热夹层结构的情况下,所述定位件例如可以为耐高温性不低于坯体制备温度的陶瓷柱,如耐高温致密陶瓷柱,其用于在加工工装上进行精确定位,从而确保加工的精确度。

[0059] 加工工装

[0060] 本领域技术人员都知道的是,工装就是工艺装备的简称,加工工装就是用于加工的工艺装备。在本发明中,加工工装主要用于对待加工的构件材料坯体或者经过边缘切割加工的边缘切割加工构件进行定位、固定并切割或者分割。在一些实施方式中,所述加工工装可以为随形加工工装

[0061] 本领域技术人员理解的是,随形加工工装具有与相关构件匹配贴合的型面,可以只包含一侧型面;用于确定构件相对位置的定位基准特征,如定位面、定位孔、定位销、定位柱、定位桩或定位钉等;以及其自身包括的可以对加工工具进行定位的加工工具定位特征,该加工工具定位特征例如可以为基准型面,例如图1中任意一个包含三个相互垂直面的尖角。

[0062] 所述随形加工工装可以具有用于定位的各种定位特征,例如点定位特征(例如定位桩)、线定位特征(例如随形工装边缘)或者型面定位特征(例如周边配合型面定位特征),以提高定位的精确度。

[0063] 所述随形加工工装可以包括用于固定坯体或构件的夹具,还可以替代性地具有或者进一步具有真空负压装置,由于例如工装型面与构件型面紧密贴合,因此可以通过负压提供装置来提供真空负压,从而利用真空负压吸附对待加工的坯体或构件进行固定或者进一步的固定。

[0064] 加工方式

[0065] 本发明可以采用数控机床通过数控加工方式进行加工,例如所述边缘切割加工或者分割加工都可以通过数控加工方式进行,从而提高自动化程度和构件规格的一致性。在一些实施方式中,所述数控加工方式通过随形模胎和三维理论模型进行。具体地说,首先,可以利用构件与随形模胎相匹配的定位基准和型面将构件精确地贴合固定在模胎上,此时可以将二者视为一体;然后再利用模胎自身包含的定位基准面,在数控机床上进行定位找正,一般是确定坐标原点,此坐标原点与三维理论模型(构件与模胎贴合后的状态)的坐标相匹配后,就可以进行加工了。在成本允许并且加工数量较高并且要求特别高的精度的情况下,优选采用数控加工方式。采用本发明的方法,边缘切割加工或分割加工的精度误差可以达到不大于0.2%。

[0066] 在一些特别优选的实施方式中,可以采用加工工装上的定位特征尤其是型面定位特征(大面积对准并且保护坯体表面在加工过程中不被损伤到)和坯体上的定位件进行定位,并且借助夹具和真空负压吸附进行固定,可以显著地提高加工精度。于是,在一些实施方式中,所述边缘切割加工和/或分割加工的误差为不大于0.4%,例如不大于0.4、0.3、0.2或0.1%,优选不大于0.05%,从而充分满足作为用于拼接形成超高音速飞行器的外舱的热防护结构的耐高温隔热夹层结构的高要求。

[0067] 下面将结合附图对本发明进行进一步的说明。

[0068] 图1示出了利用随形加工工装加工构件材料坯体的图示。如图1所示,坯体13被放置于随形加工工装11上,借助于定位件15、定位桩16和与型面定位特征17进行定位,在通过随性调节螺母12进行随形调节并固定,然后利用刀具进行边缘切割加工,得到构件14。在一些实施方式中,还可以可选地利用真空负压装置(未示出)进行进一步的固定再进行切割或分割操作。

[0069] 图2示出了单个坯体材料包括多个(图中为4个)夹层材料构件的图示。如图2所示,单个坯体23包括4个(可以少于或者多于4个)构件24,其中4个构件的形状和尺寸可以相同或者不同,但是优选至少有两个构件的至少一个边缘对齐,如此可以提高边缘加工的效率。而且,单个坯体制备多个构件的主要优势在于生产效率的提高,可以大幅度节约坯体制备的时间,另外由于坯体一次制备,可以一定程度上提高构件性能的均一性(即,产品质量的稳定性)。

[0070] 实施例

[0071] 下文通过实施例对本发明进行进一步的说明,但是这些实施例仅限用于说明目的,本发明的保护范围不限于这些实施例。

[0072] 实施例1

[0073] 利用数控机床通过数控加工方式对具有上面板层、下面板层和芯层这三层结构的多构件材料(包括4个夹层结构)进行加工,各层材料图表1所示,其中上面板层和下面板层由三维编织结构的纤维预制体与耐高温溶胶前驱体(二氧化硅)复合得到;中间的芯层由柔性耐高温纤维预制体与气凝胶溶胶前驱体(二氧化硅)复合得到。如图1所示,首先将包括4个夹层材料构件的构件材料坯体置于随形加工工装;然后利用定位特征对构件材料坯体进行定位;调节随形调节螺母,将定位好的构件材料坯体固定;对构件材料坯体进行边缘切割加工,从而得到边缘经过切割加工的边缘切割加工构件,接着对该边缘切割加工构件分割成四个最终所要得到的构件(参见图1和2)。加工精度误差和耐高温性参见下表1。切割加工的切面照片参见图3。

[0074] 实施例2

[0075] 利用数控机床通过数控加工方式对具有上面板层、下面板层和芯层这三层结构的多构件材料(包括4个夹层结构)进行加工,各层材料图表1所示,其中上面板层和下面板层由三维编织结构的纤维预制体与耐高温溶胶前驱体(氧化铝)复合得到;中间的芯层由柔性耐高温纤维预制体与气凝胶溶胶前驱体(氧化铝)复合得到。如图1所示,首先将包括4个夹层材料构件的构件材料坯体置于随形加工工装;然后利用定位特征对构件材料坯体进行定位;调节随形调节螺母,将定位好的构件材料坯体固定;对构件材料坯体进行边缘切割加工,从而得到边缘经过切割加工的边缘切割加工构件,接着将该边缘切割加工构件分割成四个最终所要得到的构件,从而将边缘经过切割加工的边缘切割加工构件分割成四个最终所要得到的构件(参见图1和2)。加工精度误差、耐高温性和应变性参见下表1。

[0076] 比较例1

[0077] 使用常规切割加工方式对与实施例2所采用的构件材料坯体进行加工,具体地说,根据所要得到的夹层结构的尺寸,从坯体中测量并画出所要得到的构件的边缘轮廓,然后通过手工铣床沿着所画出的轮廓线进行切割加工。加工精度误差参见下表1。

[0078] 表1各实施例中坯体材料及加工精度误差

[0079]

实施例	上面板层	下面板层	芯层	边缘精度 误差(%)	耐温 (°C)
实施例 1	二氧化硅纤维 编织体复合耐 高温溶胶	二氧化硅纤维 编织体复合耐 高温溶胶	二氧化硅纤维 预制体复合气 凝胶	0.18	1000
实施例 2	氧化铝纤维编 织体复合耐高 温溶胶	氧化铝纤维编 织体复合耐高 温溶胶	莫来石纤维预 制体预制体复 合气凝胶	0.17	-
比较例 1	氧化铝纤维编 织体复合耐高 温溶胶	氧化铝纤维编 织体复合耐高 温溶胶	莫来石纤维预 制体预制体复 合气凝胶	1.23	-

[0080] “-”表示没有测量。

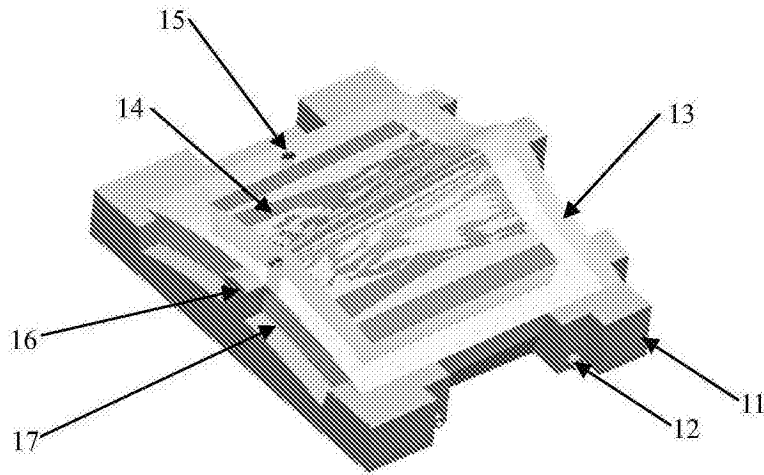


图1

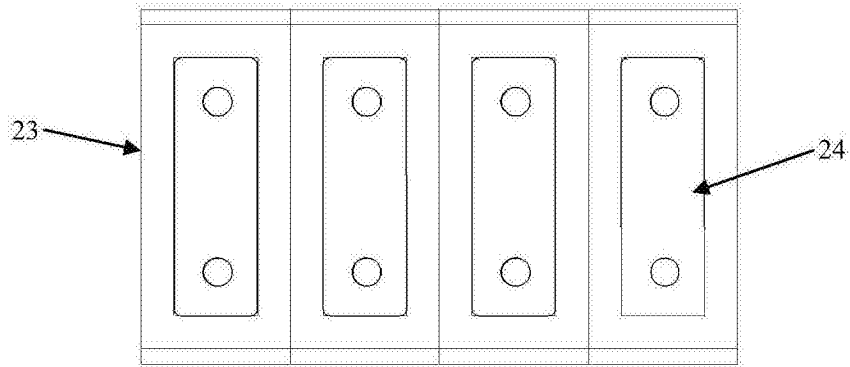


图2

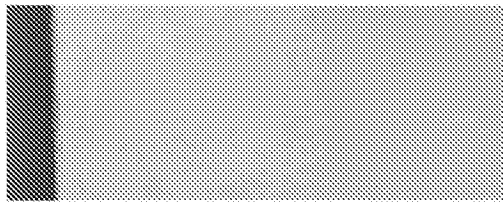


图3

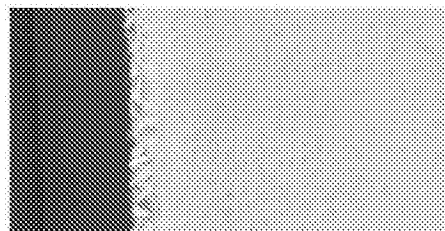


图4