



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110238612 A

(43)申请公布日 2019.09.17

(21)申请号 201910477638.7

(22)申请日 2019.06.03

(71)申请人 中国兵器科学研究院宁波分院
地址 315103 浙江省宁波市高新区凌云路
199号

(72)发明人 马良超 吕学能 马冰 陈东高
王大锋 石磊 张迎迎 戴宇
张龙

(74)专利代理机构 宁波诚源专利事务所有限公
司 33102
代理人 袁忠卫

(51)Int.Cl.

B23P 15/00(2006.01)

B23K 15/00(2006.01)

B23K 15/06(2006.01)

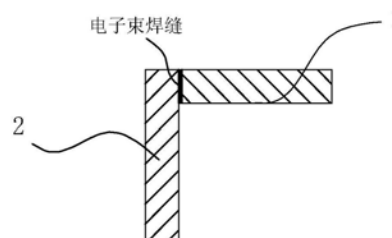
权利要求书1页 说明书7页 附图1页

(54)发明名称

一种焊接钛合金型材及其制备方法

(57)摘要

本发明涉及一种焊接钛合金型材的制备方法,包括以下步骤(a)材料准备;(b)装配及点焊;(c)电子束拼焊;(d)热处理矫形;(e)再加工;本发明还涉及一种采用该方法制备的焊接钛合金型材,该种钛合金型材的横截面为“L”型、“V”型或“U”型。该种制备方法能提高成形精度、质量及可靠性、降低制造成本、提高材料利用率。



1. 一种焊接钛合金型材的制备方法,其特征在于包括以下步骤:

(a) 材料准备:按照钛合金型材结构设计要求对钛合金板材进行切割下料,并对加工后的钛合金板材焊接面进行去氧化皮处理;

(b) 装配及点焊:将所述钛合金板材进行装夹,采用激光焊或TIG焊点焊固定;

(c) 电子束拼焊:将点焊固定好的钛合金型材在真空条件下,根据钛合金型材的焊接厚度设置电子束焊接工艺参数,进行电子束焊接;

(d) 热处理矫形:待电子束焊接的所述钛合金型材冷却后,将所述钛合金型材进行热处理矫形;

(e) 再加工:根据零件最终尺寸要求,对所述钛合金型材进行机械加工或者不进行机械加工。

2. 根据权利要求1所述的焊接钛合金型材的制备方法,其特征在于:所述步骤(a)的切割下料采用水切割或电火花线切割。

3. 根据权利要求1所述的焊接钛合金型材的制备方法,其特征在于:所述步骤(a)的所述去氧化皮处理为采用机械加工对钛合金型材焊接面进行镗、铣加工或采用激光清洗方法进行去氧化皮处理。

4. 根据权利要求1所述的焊接钛合金型材的制备方法,其特征在于:所述步骤(b)和步骤(c)的所述钛合金板材的对应的焊接面之间的装配间隙 $D_{La} \leq 0.2\text{mm}$ 。

5. 根据权利要求1所述的焊接钛合金型材的制备方法,其特征在于:所述步骤(c)的所述电子束焊接工艺参数:真空度 $1 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-3}\text{Pa}$ 、加速电压 $60 \sim 100\text{kV}$,焊接电流 $18 \sim 100\text{mA}$,焊接速度 $300 \sim 800\text{mm/min}$ 。

6. 根据权利要求1所述的焊接钛合金型材的制备方法,其特征在于:所述步骤(d)的热处理矫形的:加热温度 $T_m = 500 \sim 600^\circ\text{C}$ 、升温时间 $t_{升} = 1.5 \sim 2.0\text{h}$ 、保温时间 $t_m = 2.0 \sim 2.5\text{h}$,冷却至 200°C 以下出炉。

7. 根据权利要求1所述的焊接钛合金型材的制备方法,其特征在于:所述钛合金型材为TC4钛合金。

8. 使用如权利要求1至7所述的制备方法制成的焊接钛合金型材,其特征在于:所述钛合金型材的横截面为“L”型、“V”型或“U”型,其中“L”型和“V”型型材由两块所述钛合金板材拼焊而成,“U”型型材由三块所述钛合金板材拼焊而成。

9. 根据权利要求8所述的焊接钛合金型材,其特征在于:所述钛合金板材尺寸为:厚 $5\text{mm} \sim 30\text{mm}$,宽 $20\text{mm} \sim 500\text{mm}$,长 $200\text{mm} \sim 2000\text{mm}$ 。

10. 根据权利要求8所述的焊接钛合金型材,其特征在于:所述“L”型的钛合金型材为对称结构或非对称结构;所述“V”型的钛合金型材为对称结构;所述“U”型的的钛合金型材为对称结构。

一种焊接钛合金型材及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及金属加工技术领域,具体涉及一种焊接钛合金型材及其制备方法。

背景技术

[0002] 钛合金型材是指具有一定几何形状和结构功能的半成品钛合金构件,既可以单独使用也可以进一步加工成其他零部件,对于海洋工程、舰船、航空航天、兵器装备、石油化工等领域钛合金结构的设计制造意义重大。

[0003] 目前,钛合金型材相对成熟的制造工艺主要为挤压和锻造两种,例如公开号为CN109013734A的中国发明《钛合金薄壁型材的挤压制备方法》即公开了一种挤压制备方法;公开号为CN109079072A的中国发明《大型TC4合金环件组织均匀性锻造方法》即公开了一种采用锻造制备环件的方法。

[0004] 钛合金挤压型材存在的问题:(1)钛合金挤压型材对挤压温度、挤压速度、润滑条件或模具结构要求高,挤压成型时钛合金极易与模具的粘结,导致型材表面出现沟槽等缺陷;(2)热挤压时的温度不均匀性,使得型材表层产生较大的附加拉应力,型材表面易形成裂纹,同时型材截面畸变和扭曲变形严重,后续矫直困难;(3)挤压钛合金时热效应显著,不合适的挤压工艺对组织和性能的控制有不利影响。钛合金锻造型材存在的问题:(1)为了保证尺寸精度,钛合金锻造后的坯料预留有大幅余量,后续机械加工去除量大,材料利用率低;(2)钛合金锻件包含了锻造和机械加工两个工序,制造周期长、成本高;(3)后续机械加工破坏了锻造工艺形成的织构和流线,导致钛合金构件服役性能降低。因此,需要一种能提高成形精度、质量及可靠性、降低制造成本、提高材料利用率的钛合金型材以及制备方法。

发明内容

[0005] 本发明所要解决的第一个技术问题是针对现有技术的现状提供一种能提高成形精度、质量及可靠性、降低制造成本、提高材料利用率的钛合金型材的焊接制备方法。

[0006] 本发明所要解决的第二个技术问题是针对现有技术的现状提供一种采用上述方法制备的焊接钛合金型材。

[0007] 本发明解决上述技术问题所采用的技术方案为:该种钛合金型材的制备方法,包括以下步骤:

[0008] (a) 材料准备:按照钛合金型材结构设计要求对钛合金板材进行切割下料,并对加工后的钛合金板材焊接面进行去氧化皮处理;

[0009] (b) 装配及点焊:将所述钛合金板材进行装夹,采用激光焊或TIG焊点焊固定;

[0010] (c) 电子束拼焊:将点焊固定好的钛合金型材在真空条件下,根据钛合金型材的焊接厚度设置电子束焊接工艺参数,进行电子束焊接;

[0011] (d) 热处理矫形:待电子束焊接的所述钛合金型材冷却后,将所述钛合金型材进行热处理矫形;

[0012] (e) 再加工:根据零件最终尺寸要求,对所述钛合金型材进行机械加工或者不进行

机械加工。

[0013] 优选的,所述步骤(a)的切割下料采用水切割或电火花线切割。

[0014] 优选的,所述步骤(a)的所述去氧化皮处理为采用机械加工对钛合金型材焊接面进行镗、铣加工或采用激光清洗方法进行去氧化皮处理。

[0015] 优选的,所述步骤(b)和步骤(c)的所述钛合金板材的对应的焊接面之间的装配间隙 $D_{La} \leq 0.2\text{mm}$ 。

[0016] 优选的,所述步骤(c)的所述电子束焊接工艺参数:真空度 $1 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-3}\text{Pa}$ 、加速电压 $60 \sim 100\text{kV}$,焊接电流 $18 \sim 100\text{mA}$,焊接速度 $300 \sim 800\text{mm/min}$ 。针对 $20 \sim 30\text{mm}$ 厚度的型材优选焊接电流 $80 \sim 100\text{mA}$,针对 $10 \sim 20\text{mm}$ 厚度的型材优选焊接电流 $60 \sim 80\text{mA}$,针对 $5 \sim 10\text{mm}$ 厚度的型材优选焊接电流 $18 \sim 60\text{mA}$ 。在焊接速度一定条件下,焊接型材的板厚与焊接电流呈正线性相关关系。

[0017] 优选的,所述步骤(d)的热处理矫形的:加热温度 $T_m = 500 \sim 600^\circ\text{C}$ 、升温时间 $t_{升} = 1.5 \sim 2.0\text{h}$ 、保温时间 $t_m = 2.0 \sim 2.5\text{h}$,冷却至 200°C 以下出炉。本发明的热处理可以采用真空热处理或涂覆高温防氧化涂料+常规电阻炉的方法进行。

[0018] 优选的,所述钛合金型材为TC4钛合金,主要组分为Ti-6Al-4V,属于 $(\alpha+\beta)$ 型钛合金,该型钛合金材料密度低、比强度高,具有较好的成熟性、耐腐蚀性、工艺性能和综合力学性能等。

[0019] 使用上述的制备方法制成的钛合金型材,所述钛合金型材的横截面为“L”型、“V”型或“U”型,其中“L”型和“V”型型材由两块所述钛合金板材拼焊而成,“U”型型材由三块所述钛合金板材拼焊而成。

[0020] 优选的,所述钛合金板材尺寸为:厚 $5\text{mm} \sim 30\text{mm}$,宽 $20\text{mm} \sim 500\text{mm}$,长 $200\text{mm} \sim 2000\text{mm}$ 。

[0021] 优选的,所述“L”型的钛合金型材为对称结构或非对称结构;所述“V”型的钛合金型材为对称结构;所述“U”型的的钛合金型材为对称结构。

[0022] 与现有技术相比,本发明的优点在于:本发明的钛合金焊接型材采用钛合金板材拼焊而成,与钛合金挤压型材相比,成形精度更高,而且可以通过热处理矫形实现零件矫直,可以较好满足后续结构件装配尺寸精度要求;相比于钛合金锻造型材,本发明钛合金焊接型材后续无需加工或只需少量加工即可获得最终尺寸零件,材料利用率高,成本降低;本发明钛合金焊接型材所采用的真空电子束焊接方法,焊接过程是在真空环境下完成的,有效的避免了高温时钛合金与空气接触而发生氧化脆化的问题,可以获得与母材力学性能相当的焊接接头,焊接质量好,构件可靠性高。

附图说明

[0023] 图1为本发明的实施例1的“L”型钛合金型材的横截面结构示意图;

[0024] 图2为本发明的实施例2的“V”型钛合金型材的横截面结构示意图;

[0025] 图3为本发明的实施例3的“U”型钛合金型材的横截面结构示意图。

具体实施方式

[0026] 下面结合附图和实施例,对本发明的具体实施方式作进一步详细描述。

[0027] 如图1、2、3所示,本发明的该种钛合金型材,包含横截面为“L”型、“V”型和“U”型三种结构形式,其中“L”型型材由第一钛合金板材1、第二钛合金板材2采用电子束焊接拼焊而成,“V”型型材由第三钛合金板材3、第四钛合金板材4采用电子束焊接拼焊而成,“U”型型材由第五钛合金板材5、第六钛合金板材6、第七钛合金板材7采用电子束焊接拼焊而成。

[0028] 下面结合实施例对本发明作进一步详细描述。

[0029] 实施例1:

[0030] 本实施的钛合金板材为TC4钛合金。

[0031] 如图1所示,厚5mm,宽20mm,长200mm的第一钛合金板材1及厚5mm,宽50mm,长200mm的第二钛合金板材2组成的非对称型“L”型型材,本实施例的两块钛合金板材的厚度选择相同。步骤1:材料准备:按照“L”型钛合金型材结构设计要求,采用线切割进行切割下料得到第一钛合金板材1、第二钛合金板材2,其中第二钛合金板材2的宽度大于第一钛合金板材1,采用激光清洗对第一钛合金板材1、第二钛合金板材2的焊接面进行去氧化皮处理;步骤2:装配及点焊:将第一钛合金板材1、第二钛合金板材2在柔性工装平台上进行装夹,保证“L”型钛合金板材的焊接面之间的装配间隙 $D_{La} \leq 0.2\text{mm}$,采用激光焊点焊固定;步骤3:电子束拼焊:将点焊固定好的“L”型钛合金型材装夹在真空电子束焊接设备焊接工作台上,关闭真空室,抽真空至真空度不低于 $1 \times 10^{-2}\text{Pa}$,设置电子束焊接工艺参数为加速电压60kV,焊接电流18mA,焊接速度300mm/min,进行电子束焊接;步骤4:热处理矫形:待电子束焊接的“L”型钛合金型材冷却后,将“L”型钛合金型材用工装装夹固定,采用真空热处理的方式对钛合金型材进行热处理矫形,热处理工艺参数为加热温度 $T_m = 500^\circ\text{C}$ 、升温时间 $t_{\text{升}} = 1.5\text{h}$ 、保温时间 $t_m = 2.0\text{h}$,冷却至 200°C 以下出炉;步骤5:再加工:对于有加工要求的,根据零件最终尺寸要求进行机械加工,得到最终尺寸零件;对于无再加工要求的,热处理矫形完成后,即得到最终尺寸零件。

[0032] 采用本实施例焊接工艺参数焊接的5mmTC4钛合金的焊接接头的力学性能如表1所示,焊接接头的抗拉强度与母材相当,断后伸长率比母材略低,焊接接头的力学性能可满足结构设计强度要求。与常用的TIG焊相比,TIG焊接速度为 $80 \sim 120\text{mm}/\text{min}$,本实施例焊接速度为 $300\text{mm}/\text{min}$,焊接效率可提高 $2.5 \sim 3.75$ 倍。与激光焊相比,采用激光焊时需要对焊缝正面及背面进行保护以焊缝氧化,本实施例电子束焊接工艺是在真空环境下进行焊接的,无需对焊缝采取额外的保护措施。本实施例最终获得的钛合金焊接型材的焊后最大变形量为 0.4mm ,无需后续热处理较形即可满足后续结构件装配精度要求,表2为实施例1钛合金焊接型材变形尺寸的测量结果。

[0033] 表1:5mmTC4钛合金电子束焊接接头性能试验结果

名称	编号	抗拉强度 Rm (MPa)	规定塑性延伸强度 Rp _{0.2} (MPa)	断后伸长率 A (%)
[0034] 母材	1	1001	853	13.0
	2	1006	850	13.0
	3	1002	860	11.5
焊接接头	1	1001	917	9.5
	2	1002	918	8.0
	3	1003	918	9.5

[0035] 表2:实施例1的钛合金焊接型材变形尺寸测量结果

[0036]

序号	名称	零部件尺寸/mm	热处理前焊接变形 尺寸/mm	热处理后变形尺寸/mm
1	L型	5×20/50×200	0.25	-
2	L型	5×20/50×200	0.40	-
3	L型	5×20/50×200	0.20	-

[0037] 实施例2

[0038] 本实施的钛合金板材为TC4钛合金。

[0039] 如图2所示,厚15mm,宽200mm,长1200mm的第三钛合金板材3及厚15mm,宽200mm,长1200mm的第四钛合金板材4组成的对称结构的“V”型型材,本实施例的两块钛合金板材的厚度选择相同。步骤1:材料准备:按照“V”型钛合金型材结构设计要求,采用水切割对原料钛合金板材进行切割下料,获得第三钛合金板材3、第四钛合金板材4,采用铣削加工方法对第三钛合金板材3、第四钛合金板材4的焊接面进行去氧化皮处理;步骤2:装配及点焊:将第三钛合金板材3、第四钛合金板材4在柔性工装平台上进行装夹,保证“V”型钛合金板材的焊接面之间的装配间隙 $D_{La} \leq 0.2\text{mm}$,采用TIG焊点焊固定;步骤3:电子束拼焊:将点焊固定好的“V”型钛合金型材装夹在真空电子束焊接设备焊接工作台上,关闭真空室,抽真空至真空度不低于 $1 \times 10^{-2}\text{Pa}$,设置电子束焊接工艺参数为加速电压80kV,焊接电流40mA,焊接速度500mm/min,进行电子束焊接;步骤4:热处理矫形:待电子束焊接的“V”型钛合金型材冷却后,将“V”型钛合金型材用工装装夹固定,采用真空热处理的方式对钛合金型材进行热处理矫形,热处理工艺参数为加热温度 $T_m = 550^\circ\text{C}$ 、升温时间 $t_{升} = 1.5\text{h}$ 、保温时间 $t_m = 2.0\text{h}$,冷却至 200°C 以下出炉;步骤5:再加工:对于有加工要求的,根据零件最终尺寸要求进行机械加工,得到最终尺寸零件;对于无再加工要求的,热处理矫形完成后,即得到最终尺寸零件。

[0040] 采用本实施例焊接工艺参数焊接的15mmTC4钛合金的焊接接头的力学性能如表3所示,焊接接头的抗拉强度与母材相当,断后伸长率比母材略低,焊接接头的力学性能可满足

足结构设计强度要求。与常用的TIG焊相比，TIG焊接速度为80~120mm/min，本实施例焊接速度为500mm/min，单道焊缝焊接效率可提高4.17~6.25倍。激光焊接设备激光器的激光功率与可焊透的钛合金板材的厚度呈正线性关系，例如激光器为6KW可焊透钛合金板厚为6~8mm，由于受激光器激光功率的限制，钛合金焊接型材板厚在10mm以上时便无法采用激光焊接成形(要求100%焊透)，本实施例电子束焊接工艺焊接钛合金的最大深宽比为50:1，一次可焊透钛合金的厚度为30mm，与TIG焊开坡口、多层多道焊相比，焊接效率大大提高。本实施例最终获得的钛合金焊接型材的最大变形量为2.0mm，表4为实施例2钛合金焊接型材变形尺寸的测量结果。

[0041] 表3:15mmTC4钛合金电子束焊接接头性能试验结果

名称	编号	抗拉强度 Rm (MPa)	规定塑性延伸强度 Rp _{0.2} (MPa)	断后伸长率 A (%)
母材	1	1020	883	10.0
	2	1004	875	11.1
	3	1012	860	10.7
焊接 接头	1	1004	910	9.5
	2	999	910	10.0
	3	1002	908	9.5

[0044] 表4:实施例2的钛合金焊接型材变形尺寸测量结果

[0045]

序号	名称	零部件尺寸/mm	热处理前焊接变形 尺寸/mm	热处理后变形尺寸/mm
1	V型	15×200×1200	7.0	2.0
2	V型	15×200×1200	6.8	1.7
3	V型	15×200×1200	6.5	1.7

[0046] 实施例3

[0047] 本实施的钛合金板材为TC4钛合金。

[0048] 如图3所示，该种钛合金型材包括一块底板以及相对的两块侧板，两块侧板分别为厚25mm，宽400mm，长2000mm的第五钛合金板材5、厚25mm，宽400mm，长2000mm的第六钛合金板材6；底板为厚30mm，宽500mm，长2000mm的第七钛合金板材7组成的对称型“U”型型材，本实施例的两块侧板的厚度选择相同，底板与侧板的厚度不同；除此之外两块侧板和底板的厚度均相同也可行。步骤1：材料准备：按照“U”型钛合金型材结构设计要求，采用水切割对原料钛合金板材进行切割下料，获得第五钛合金板材5、第六钛合金板材6、第七钛合金板材7，采用铣削加工方法对第五钛合金板材5、第六钛合金板材6、第七钛合金板材7的焊接面进

行去氧化皮处理以及表面平整处理；步骤2：装配及点焊：将第五钛合金板材5、第六钛合金板材6、第七钛合金板材7在柔性工装平台上进行装夹，保证“U”型钛合金型材的对应的两个焊接面之间的装配间隙 $D_{La} \leq 0.2\text{mm}$ ，采用TIG焊点焊固定；步骤3：电子束拼焊：将点焊固定好的“U”型钛合金型材装夹在真空电子束焊接设备焊接工作台上，关闭真空室，抽真空至真空度不低于 $1 \times 10^{-2}\text{Pa}$ ，设置电子束焊接工艺参数为加速电压100kV，焊接电流100mA，焊接速度800mm/min，进行电子束焊接；步骤4：热处理矫形：待电子束焊接的“U”型钛合金型材冷却后，将“U”型钛合金型材用工装装夹固定，采用涂覆高温防氧化涂料+常规井式炉热处理的方式对钛合金型材进行热处理矫形，热处理工艺参数为加热温度 $T_m = 600^\circ\text{C}$ 、升温时间 $t_{升} = 2.0\text{h}$ 、保温时间 $t_m = 2.5\text{h}$ ，冷却至 200°C 以下出炉；步骤5：再加工：对于有加工要求的，根据零件最终尺寸要求进行机械加工，得到最终尺寸零件；对于无再加工要求的，热处理矫形完成后，即得到最终尺寸零件。

[0049] 采用本实施例焊接工艺参数焊接的30mmTC4钛合金的焊接接头的力学性能如表5所示，焊接接头的抗拉强度与母材相当，断后伸长率比母材略低，焊接接头的力学性能可满足结构设计强度要求。与常用的TIG焊相比，TIG焊接速度为80~120mm/min，本实施例焊接速度为800mm/min，单道焊缝焊接效率可提高6.67~10倍。本实施例电子束焊接工艺焊接钛合金的最大深宽比为50:1，一次可焊透钛合金的厚度为30mm，与TIG焊开坡口、多层多道焊相比，焊接效率大大提高。本实施例最终获得的钛合金焊接型材的最大变形量为2.0mm，表6为实施例3钛合金焊接型材变形尺寸的测量结果。

[0050] 表5:30mmTC4钛合金电子束焊接接头性能试验结果

名称	编号	抗拉强度 R_m (MPa)	规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$ (MPa)	断后伸长率 A (%)
母材	1	998	873	12.0
	2	1010	862	10.5
	3	1002	864	10.5
焊接 接头	1	998	915	9.5
	2	997	902	8.5
	3	999	910	9.0

[0052] 表6:实施例3的钛合金焊接型材变形尺寸测量结果

[0053]

序号	名称	零部件尺寸/mm	热处理前焊接变形 尺寸/mm	热处理后变形尺 寸/mm
1	U型	25/30×400/500×2000	15.0	2.0
2	U型	25/30×400/500×2000	12.8	1.8
3	U型	25/30×400/500×2000	12.0	1.5

[0054] 高温防氧化涂料为含水溶性硼硅酸盐玻璃珐琅的MP100型涂料,适用温度为850~1200℃。

[0055] 本发明方案所公开的技术手段不仅限于上述实施方式所公开的技术手段,还包括由以上技术特征任意组合所组成的技术方案。应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也视为本发明的保护范围。

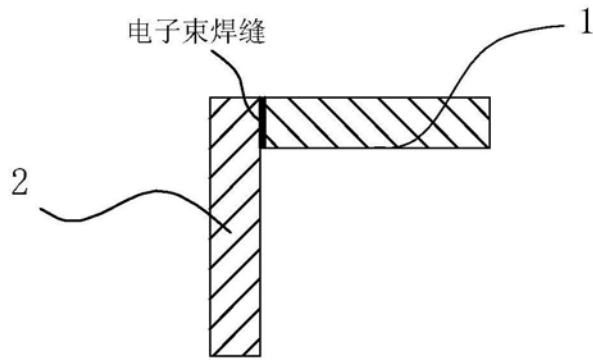


图1

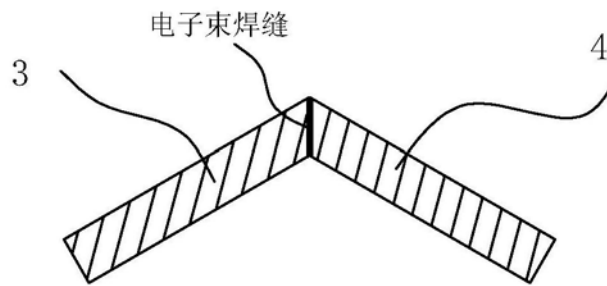


图2

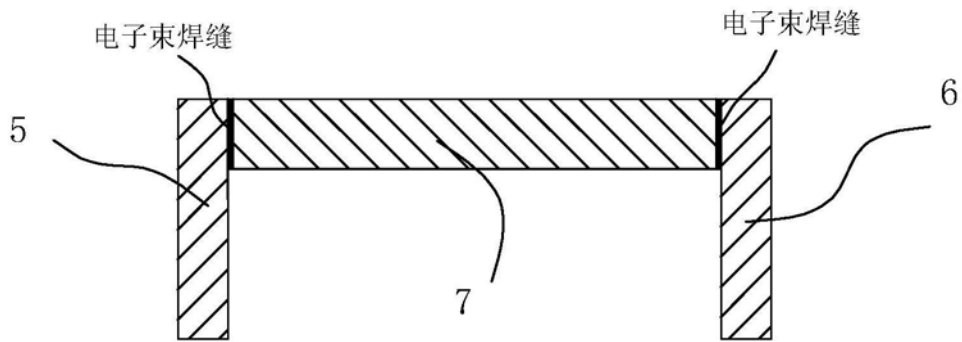


图3