



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116242510 A

(43) 申请公布日 2023. 06. 09

(21) 申请号 202211648742.6

G06F 30/17 (2020.01)

(22) 申请日 2022.12.21

G06F 30/23 (2020.01)

(71) 申请人 天津大学

G06F 111/10 (2020.01)

地址 300350 天津市津南区海河教育园雅
观路135号天津大学北洋园校区

G06F 113/26 (2020.01)

G06F 113/24 (2020.01)

G06F 119/14 (2020.01)

(72) 发明人 秦旭达 康家宝 李皓 李士鹏
刘海涛 赵庆

(74) 专利代理机构 天津市北洋有限责任专利代
理事务所 12201

专利代理师 李素兰

(51) Int. Cl.

G01L 1/16 (2006.01)

G01L 1/18 (2006.01)

G01L 1/24 (2006.01)

G16C 60/00 (2019.01)

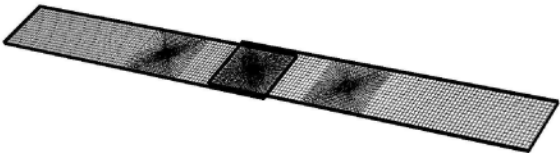
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

针对复合材料层合板连接结构服役过程的
健康监测方法

(57) 摘要

本发明公开了针对复合材料层合板连接结构服役过程的健康监测方法,包括如下步骤:获取复合材料连接结构简化模型在受载过程中内部应力应变分布情况,确定传感器嵌入位置;在复合材料的层合板预浸料铺设过程中将传感器固定于嵌入位置,整体固化成型,制备成具备对内部损伤进行实时采集(监测)的功能性复合材料;对复合材料进行加工并连接装配;采集系统与传感器电性连接,接收传感器的信号,通过信号分析,实现对连接结构全生命周期的实时监测。采用本发明方法能够实时监测、识别复合材料连接结构的损伤萌生、发展及结构失效。



1. 针对复合材料层合板连接结构服役过程的健康监测方法, 其特征在于包括以下步骤:

S1: 选用仿真软件, 利用数值分析方法建立复合材料层合板连接结构在服役过程中的有限元模型, 获取复合材料层合板连接结构的内部应力应变分布云图, 将应力应变分布云图中应力应变变化明显且均匀的区域作为绝缘后传感器的嵌入位置;

S2: 在连接有信号传输线的传感器上下表面分别均匀涂抹绝缘胶, 然后将绝缘胶固化在传感器上下表面形成绝缘后的传感器;

S3: 在采用预浸料叠置层铺复合材料层合板的过程中将绝缘后的传感器固定于步骤S1中仿真得到的嵌入位置且所述的传感器位于预浸料叠置层的中间层之间, 然后将预浸料固化形成装配有传感器的复合材料层合板, 所述的装配有传感器的复合材料层合板的尺寸与步骤S1中有限元模型中的复合材料层合板连接结构中复合材料层合板的尺寸一致; 所述的传感器涂抹有绝缘胶的上下表面为与预浸料接触面;

S4: 将两个复合材料层合板进行加工并装配为连接结构, 连接结构与步骤S1中有限元模型的尺寸一致, 所述的两个复合材料层合板中至少一个复合材料层合板采用步骤S3中嵌有传感器的复合材料层合板;

S5: 将所述传感器与信号采集系统连接, 所述的信号采集系统用于接收传感器输出的材料内部应变情况, 观察采集到的电压信号, 当电压信号发生突变时, 表明复合材料连接结构内部出现损伤。

2. 根据权利要求1所述的针对复合材料层合板连接结构服役过程的健康监测方法, 其特征在于: 所述传感器采用压电陶瓷传感器, 所述压电陶瓷传感器包括压电陶瓷片和两根信号传输线, 两根所述信号传输线的一端分别通过固定胶固定于压电陶瓷片上下两面, 两根所述信号传输线的另一端与信号采集系统连接。

3. 根据权利要求2所述的针对复合材料层合板连接结构服役过程的健康监测方法, 其特征在于: 所述固定胶为弹性体型压敏胶或树脂型压敏胶。

4. 根据权利要求3所述的针对复合材料层合板连接结构服役过程的健康监测方法, 其特征在于: 所述复合材料为碳纤维复合材料或玻璃纤维复合材料。

5. 根据权利要求1-4之一所述的针对复合材料层合板连接结构服役过程的健康监测方法, 其特征在于: 所述嵌入位置的两条边界线距离用于连接复合材料层合板连接结构的连接件的中心轴线分别为20mm和40mm。

针对复合材料层合板连接结构服役过程的健康监测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及复合材料连接结构,尤其涉及一种复合材料的连接结构服役过程监测的方法。

背景技术

[0002] 由于纤维增强聚合物复合材料具有优异的机械性能,其在航空、航天、航海、汽车和其他领域的使用正在迅速增加。在复合材料零部件的组装过程中,必须解决高质量的连接要求。在常用的纤维增强聚合物复合材料连接技术中,机械紧固连接是最广泛用于关键的承重结构。由于大多数复合材料结构的故障发生在紧固连接处,因此准确了解连接区域内的损伤萌生和发展情况,以决定何时停止使用进行维修或更换,是非常重要的。同时,因为大多数损坏总是发生在连接结构内部,而直接观察或检查连接结构接头处的状态是非常困难的。为了解决上述问题,对复合材料连接结构的服役状态进行结构健康监测,对提高结构安全性、降低结构维护费用以及延长结构使用寿命都有着重要意义。中国专利201710443291.5公开了一种利用压电陶瓷传感器对复合材料层合板单板的服役过程中进行健康监测方法,但其关于压电陶瓷传感器的应用仅限于单个层合板之中,而未推广至整个连接结构之中。当前常用的针对复合材料连接结构的健康监测方法中,多数都需要机器在一段时间内停止使用,从而导致较高的时间延误,增加维护成本,且外部粘贴传感器的模式,传感器为保证自身敏感性对外部环境的要求较为苛刻。因此有必要提出一种简单易行的方式来对复合材料层合板连接结构服役过程进行健康监测。

发明内容

[0003] 本发明的目的在于提供一种复合材料的连接结构服役过程监测的方法,能够实时监测、识别复合材料连接结构的损伤萌生、发展及结构失效。

[0004] 为达此目的,本发明采用以下技术方案:

[0005] 本发明的针对复合材料层合板连接结构服役过程的健康监测方法,包括以下步骤:

[0006] S1:选用仿真软件,利用数值分析方法建立复合材料层合板连接结构在服役过程中的有限元模型,获取复合材料层合板连接结构的内部应力应变分布云图,将应力应变分布云图中应力应变变化明显且均匀的区域作为绝缘后传感器的嵌入位置;

[0007] S2:在连接有信号传输线的传感器上下表面分别均匀涂抹绝缘胶,然后将绝缘胶固化在传感器上下表面形成绝缘后的传感器;

[0008] S3:在采用预浸料叠置层铺复合材料层合板的过程中将绝缘后的传感器固定于步骤S1中仿真得到的嵌入位置且所述的传感器位于预浸料叠置层的中间层之间,然后将预浸料固化形成装配有传感器的复合材料层合板,所述的装配有传感器的复合材料层合板的尺寸与步骤S1中有限元模型中的复合材料层合板连接结构中复合材料层合板的尺寸一致;所述的传感器涂抹有绝缘胶的上下表面为与预浸料接触面;

[0009] S4:将两个复合材料层合板进行加工并装配为连接结构,连接结构与步骤S1中有限元模型的尺寸一致,所述的两个复合材料层合板中至少一个复合材料层合板采用步骤S3中嵌有传感器的复合材料层合板;

[0010] S5:将所述传感器与信号采集系统连接,所述的信号采集系统用于接收传感器输出的材料内部应变情况,观察采集到的电压信号,当电压信号发生突变时,表明复合材料连接结构内部出现损伤。

[0011] 本发明的有益效果:

[0012] 1.铺设位置优化:将传感器嵌入复合材料内部,将普通复合材料优化成为可以对损伤实现监测、反馈的智能材料,同时避免了外置传感器受环境因素影响导致的监测精度低、监测效果差等缺陷。对材料的尺寸没有影响,并且经过实验验证,嵌入传感器后的复合材料层合板在拉伸及弯曲过程中力学性能并没有降低。

[0013] 2.铺设过程中传感器处理方法优化:利用双层胶体对传感器进行处理,分别实现了信号传输线的固定以及传感器的电绝缘,避免了采用焊线的方法连接数据传输线时,导致传感器不平整最终在复合材料层合板制备过程中被压碎。

[0014] 3.操作简单:在可嵌入复合材料内部的绝缘传感器制备过程中不需要额外模具以及其余设备,并与复合材料板材制备工艺适配。不需其他传感器,实现对连接结构服役过程中的健康监测,在不需停机检查的前提下,对复合材料层合板内部损伤的萌生。

附图说明

[0015] 图1是有限元软件中螺栓连接结构仿真模型;

[0016] 图2是绝缘处理后压电陶瓷传感器的侧视图;

[0017] 图3是绝缘处理后压电陶瓷传感器的主视图;

[0018] 图4是传感器在复合材料板中相对位置;

[0019] 图5是单搭接螺栓连接结构示意图。

具体实施方式

[0020] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步的详细说明。可以理解的是,此处所描述的具体实施例仅仅用于解释本发明,而非对本发明的限定。另外还需要说明的是,为了便于描述,附图中仅示出了与本发明相关的部分而非全部结构。

[0021] 在本发明的描述中,除非另有明确的规定和限定,术语“相连”、“连接”、“固定”应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或成一体;可以是机械连接,也可以是电连接;可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,可以是两个元件内部的连通或两个元件的相互作用关系。对于本领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0022] 在本发明中,除非另有明确的规定和限定,第一特征在第二特征之“上”或之“下”可以包括第一和第二特征直接接触,也可以包括第一和第二特征不是直接接触而是通过它们之间的另外的特征接触。而且,第一特征在第二特征“之上”、“上方”和“上面”包括第一特征在第二特征正上方和斜上方,或仅仅表示第一特征水平高度高于第二特征。第一特征在第二特征“之下”、“下方”和“下面”包括第一特征在第二特征正下方和斜下方,或仅仅表示

第一特征水平高度小于第二特征。

[0023] 在本实施例的描述中,术语“上”、“下”、“右”、等方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述和简化操作,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。此外,术语“第一”、“第二”仅仅用于在描述上加以区分,并没有特殊的含义。

[0024] 本发明提供的复合材料的连接结构服役过程监测的方法,将传感器嵌入材料内部,能够实时监测、识别复合材料连接结构的损伤萌生、发展及结构失效。下面以具体实施例来阐述本发明方法。

[0025] 本发明的针对复合材料层合板连接结构服役过程的健康监测方法,包括以下步骤:

[0026] S1:选用仿真软件,利用数值分析方法建立复合材料层合板连接结构在服役过程中的有限元模型,获取复合材料层合板连接结构的内部应力应变分布云图,将应力应变分布云图中应力应变变化明显且均匀的区域作为绝缘后传感器1的嵌入位置。

[0027] 优选,所述复合材料层合板连接结构中复合材料层合板的料为碳纤维复合材料或玻璃纤维复合材料。

[0028] 优选,所述嵌入位置的两条边界线距离用于连接复合材料层合板连接结构的连接件8的中心轴线分别为20mm和40mm。该位置应力应变分布均匀,可以在保护传感器完整性的基础上,实现对连接结构应力应变变化的采集。

[0029] 本步骤中,选用ABAQUS软件作为仿真软件,利用数值分析方法建立复合材料螺栓连接结构在服役过程中的有限元模型,有限元仿真方法应用广泛,可以得到材料内部应力应变分布云图,利于判断传感器在材料内部受力情况。在其他实施例中,有限元模型可以通过常见的商用有限元软件进行建立。复合材料连接结构可以包括各种形式的螺栓连接、铆接、胶螺混合连接等。

[0030] S2:在连接有信号传输线4的传感器1上下表面分别均匀涂抹绝缘胶3,然后将绝缘胶3固化在传感器1上下表面形成绝缘后的传感器;

[0031] 本步骤中,待安装在复合材料层合板7内部传感器1可以为压电陶瓷传感器,利用压电陶瓷体积小、压电效应灵敏等优点,可以较好地起到监测效果。在其他实施例中,传感器还可以选择压电纤维膜传感器或光栅式传感器。

[0032] S3:在采用预浸料叠置层铺复合材料层合板7的过程中将绝缘后的传感器1固定于步骤S1中仿真得到的嵌入位置且所述的传感器位于预浸料叠置层的中间层之间,然后将预浸料固化形成装配有传感器的复合材料层合板7,所述的装配有传感器的复合材料层合板7的尺寸与步骤S1中有限元模型中的复合材料层合板连接结构中复合材料层合板的尺寸一致;所述的传感器1涂抹有绝缘胶3的上下表面为与预浸料接触面。

[0033] 在复合材料层合板固化完成后,该层合板已经与传感器共同构成了对损伤具有识别、反馈功能的智能材料。

[0034] S4:将两个复合材料层合板进行加工并装配为连接结构,连接结构与步骤S1中有限元模型的尺寸一致,所述的两个复合材料层合板中至少一个复合材料层合板7采用步骤S3中嵌有传感器的复合材料层合板。

[0035] S5:将所述传感器1与信号采集系统连接,所述的信号采集系统用于接收传感器1

输出的材料内部应变情况,观察采集到的电压信号,当电压信号发生突变时,表明复合材料连接结构内部出现损伤。

[0036] 实施例1

[0037] 本实施例中,复合材料预浸料选择为T700级碳纤维单向预浸料,其具有尺寸稳定性好,高比强、高比模等优点。

[0038] S1:本步骤中,选用ABAQUS软件作为仿真软件,损伤模型选择为渐进损伤模型,渐进损伤模型为复合材料仿真分析中常用模型,利于分析材料损伤的演变。在其它实施例中,可以选择树脂基复合材料中的增强纤维材料,包括碳纤维、玻璃纤维等,以及相应的损伤模型。

[0039] 本实施例中,选用单个复合材料层合板7尺寸为 $189\text{mm} \times 36\text{mm} \times 2.5\text{mm}$,连接件8为 $\Phi 6\text{mm}$ 尺寸螺栓,装配后的仿真模型如图1所示,相关尺寸依照ASTM-D5961标准。该模型提供了两个具有精细网格的区域,对于预计嵌入PZT压电陶瓷的位置进行了网格的细分,以此来判断不同层间的相同位置所受应力及应变的情况。在其他实施例中,螺栓连接结构模型尺寸可根据分析目标不同而改变。

[0040] 本实施例中,仿真模型关于实验过程中的运动参数设置可以参照相应试验标准,本模型在拉伸试验中,采用ASTM-D5961规范作为标准,在弯曲实验中参照ASTM-D7264标准。仿真结果在ABAQUS后处理阶段可以得到,观察服役过程中不同铺层的碳纤维应力应变分布云图,选择应变分布均匀且明显的位置作为传感器的嵌入位置。

[0041] 本实施例中,确定在复合材料层合板7的中间层嵌入传感器1,可以保证传感器1在不受损伤的情况下,对连接结构损伤的产生有较高的敏感性。同时,依据嵌入复合材料层合板7内部的压电陶瓷传感器信号激发的方式,选择了合适的传感器与连接件8的横向距离,即位于两复合材料层合板7搭接区域内且远离连接位置。作为优选,所述搭接区域在本模型中被确定为距离连接孔20-40mm处。

[0042] 可以理解的是,在其他实施例中,还可以通过试验的方法确定传感器的嵌入位置。

[0043] S2:在连接有信号传输线4的传感器1上下表面分别均匀涂抹绝缘胶3,然后采用高温固化在

[0044] 传感器1上下表面;

[0045] 本步骤中,复合材料层合板内部传感器为压电陶瓷传感器,压电陶瓷圆片直径为7mm,厚度为0.2mm。利用固定胶2将信号传输线4固定在压电陶瓷圆片两端,构成闭合回路,成为简易采集装置,其结构如图2所示。利用绝缘胶3均匀涂抹在该采集装置两侧,为其表面绝缘,以适应碳纤维复合材料内部的弱导电性,经过高温固化后,获得可以嵌入复合材料内部的绝缘后传感器1,其结构如图3所示。优选地,固定胶2为树脂型压敏胶,树脂型压敏胶成本低廉,获取容易,且高温条件下依然有效,能较好地起到固定信号传输线的作用,在其他实施例中,还可以使用相同或相近性质弹性体型压敏胶。绝缘胶3采用高温树脂胶中的一种,高温树脂胶在经过高温后会固化,在对传感器进行绝缘的同时可以保护传感器不产生脆性损伤。示例性地,绝缘胶为j133双组分环氧结构胶,绝缘胶均匀涂抹在简易采集装置两侧后,在保温箱中由室温开始,以 $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速度升温至 80°C ,并保温180min,使胶体固化完成绝缘处理。可以理解的是,传感器经绝缘处理后,应保证其表面光滑,内部压电陶瓷圆片无裂纹,信号传输线未断裂。

[0046] S3:在采用预浸料叠置层铺所述复合材料层合板7的过程中将绝缘后的传感器1固定于所述传感器嵌入位置且所述的传感器位于预浸料叠置层的中间层之间,然后将预浸料固化形成装配有传感器1的复合材料层合板7,所述的装配有传感器的复合材料层合板7的尺寸与有限元模型中的复合材料层合板的尺寸一致;所述的传感器1涂抹有绝缘胶3的上下表面为与预浸料接触面。

[0047] 本实施例中,复合材料层合板的制备过程为:

[0048] 首先,复合材料层合板的铺设过程选择广泛用于航空领域的树脂基碳纤维复合材料的标准正交层压顺序,其尺寸与仿真模拟模型一致。最终复合材料层合板中包括20个单层厚度为0.125mm的T700级碳纤维单向预浸料,以 0° 纤维方向预浸料5和 90° 纤维方向预浸料6交替铺设,在中间层(10层和11层)之间埋有传感器1,所述的传感器为压电陶瓷传感器,其结构如图4所示。传感器的信号传输线引出方向应与该层预浸料的纤维方向相同,传感器铺设完成后应保证其内部无裂纹,以及信号传输线的绝缘皮没有发生脱落。

[0049] 然后,选择热压罐成型法作为纤维增强热固性复合材料制备方法,热压罐固化压力、温度等参数均匀可调控,成型工艺稳定可靠,是常用的复合材料制备方法。样品在热压罐中固化阶段,选取用于制备厚度为2.5mm的热固性复合材料的标准模具。样品制备过程中,热压罐内温度首先从室温加热到 125°C ,速度为 $1.5^{\circ}\text{C}/\text{分钟}$,保持时间为2.5小时,最后以 $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速度降温。在整个循环过程中,施加3bar的压力,平均真空度为98KPa。样品放入热压罐中时应保证信号传输线与板材平整放置,不产生交叠。样品固化过程中,应利用塑料薄膜对裸露在板材外部的信号传输线进行包裹,防止树脂受热流动与信号传输线产生粘连,对传输线造成损伤。

[0050] S4:将两个复合材料层合板进行加工并装配为连接结构,连接结构与步骤S1中有限元模型的尺寸一致,所述的两个复合材料层合板中至少一个复合材料层合板7采用步骤S3中嵌有传感器的复合材料层合板。

[0051] 本实施例中,以单搭接螺栓连接结构为例:

[0052] 首先,利用数控机床对复合材料层合板7进行铣边以及制孔。利用数控机床对样品进行加工的过程中,应保证样品不产生剧烈震动。通过数控机床对样品未引出数据传输线的三边进行加工,保证单个复合材料层合板的板尺寸为 $189\text{mm}\times 36\text{mm}\times 2.5\text{mm}$ 。在距复合材料层合板窄边18mm的位置利用数控机床制作一个直径为6mm的通孔,以保证被嵌入的PZT传感器在距离通孔为20-40mm的位置,在制孔过程中应避免复合材料层合板在传感器陷入位置出现分层损伤。然后,将两块复合材料层合板7利用连接件8,如:12.9级高强内六角螺栓串联为一个单搭接螺栓连接结构,最终结构如图5所示。

[0053] S5:将所述传感器1与信号采集系统连接,所述的信号采集系统用于接收传感器1输出的材料内部应变情况,观察采集到的电压信号,当电压信号发生突变时,代表着复合材料连接结构内部出现损伤。

[0054] 本实施例中,将传感器1与采集卡、信号放大器、计算机串联,利用LABVIEW软件采集传感器产生的电信号,在拉伸实验中通过观察电压信号幅值变化判断连接结构损伤情况,当电压幅值发生突变时代表着连接结构内部出现损伤。

[0055] 通过上述实施方式可以看出,本实施例提供的复合材料连接结构服役过程监测方法,通过将传感器嵌入复合材料,制备成具备对内部损伤进行实时采集(监测)的功能性复

合材料,达到对服役过程中连接结构损伤萌生及发展过程实时监测的效果。

[0056] 显然,本发明的上述实施例仅仅是为了清楚说明本发明所作的举例,而并非是对本发明的实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说,能够进行各种明显的变化、重新调整和替代而不会脱离本发明的保护范围。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明权利要求的保护范围之内。

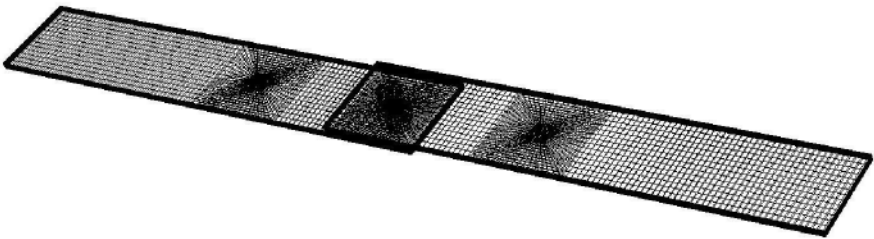


图1

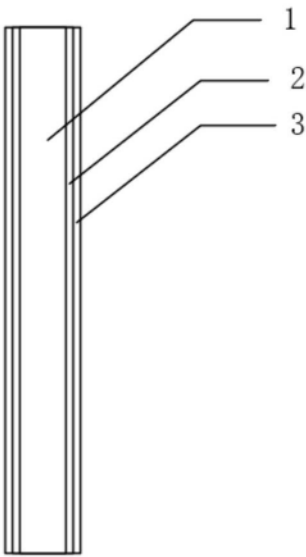


图2



图3

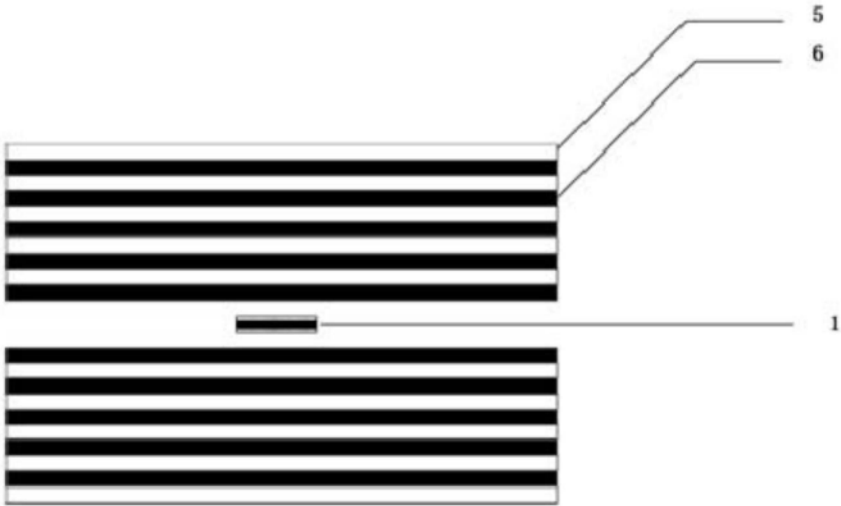


图4

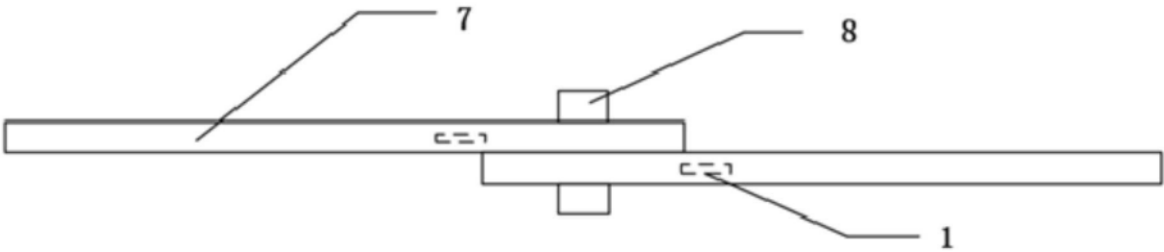


图5