



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 111761827 A

(43) 申请公布日 2020.10.13

(21) 申请号 202010517164.7

(22) 申请日 2020.06.09

(71) 申请人 武汉理工大学

地址 430070 湖北省武汉市洪山区珞狮路  
122号

(72) 发明人 陈一哲 黄开 华林 王辉

(74) 专利代理机构 湖北武汉永嘉专利代理有限  
公司 42102

代理人 唐万荣

(51) Int. Cl.

B29C 65/48 (2006.01)

权利要求书1页 说明书5页

(54) 发明名称

一种碳纤维增强树脂基复合材料连接工艺  
方法

(57) 摘要

本发明公开了一种碳纤维增强树脂基复合材料连接工艺方法,使用紫外脉冲激光束扫描碳纤维增强树脂基复合材料粘接面,去除表面树脂层并暴露碳纤维层,并进行清洗、晾干处理;对粘接面涂胶并进行粘接;通过超声振动工具头对粘接面的垂直方向施加频率为15KHz~25KHz的超声波振动,振动前通过超声振动工具头施加1MPa~5MPa预压力,结束保持压力15~30min;将胶接件在40℃~80℃加热固化1~20h。本发明首次将超声振动辅助胶接与激光表面处理和使用碳纳米管对胶粘剂改性结合起来,有效解决了实际工程中碳纤维胶粘连接产生的胶粘质量不好、胶粘质量不均、胶粘前表面处理使碳纤维丝断裂的问题。

1. 一种碳纤维增强树脂基复合材料连接工艺方法,其特征在于包括以下步骤:

1) 使用紫外脉冲激光束扫描碳纤维增强树脂基复合材料粘接面,去除表面树脂层并暴露碳纤维层,并进行清洗、晾干处理;

2) 将激光处理过的碳纤维增强树脂基复合材料固定后对粘接面涂胶并进行粘接;所用粘接剂制备方法如下:将碳纳米管与乙酸乙酯混合超声振动分散45min~90min,加入环氧树脂组分继续超声振动分散45min~90min后去除乙酸乙酯,加入环氧树脂固化剂并混合均匀;

3) 通过超声振动工具头对粘接面的垂直方向施加频率为15KHz~25KHz的超声波振动,振动前通过超声振动工具头施加1MPa~5MPa预压力,超声波振动结束保持压力15min~30min;

4) 将胶接件在40°C~80°C加热固化1~20h。

2. 如权利要求1所述碳纤维增强树脂基复合材料连接工艺方法,其特征在于步骤1所用紫外脉冲激光为波长为193nm~355nm的紫外激光,光子能量为3.49eV~6.44eV,平均功率为15w~200w,重复频率为1MH~2MHz,光斑直径为1.3mm~1.5mm,扫描速度为50mm/s~1500mm/s。

3. 如权利要求1所述碳纤维增强树脂基复合材料连接工艺方法,其特征在于步骤1所述紫外脉冲激光束扫描方向与所述碳纤维增强树脂基复合材料最外层纤维方向呈45°。

4. 如权利要求1所述碳纤维增强树脂基复合材料连接工艺方法,其特征在于步骤2所述粘接剂制备过程中,每隔15min停止超声振动分散并搅拌5min,温度保持在25°C~35°C;碳纳米管在粘接剂中的质量百分数为0.2%~1%。

5. 如权利要求1所述碳纤维增强树脂基复合材料连接工艺方法,其特征在于步骤2中胶层厚度在0.7mm~0.8mm之间。

6. 如权利要求1所述碳纤维增强树脂基复合材料连接工艺方法,其特征在于步骤3中超声波振动幅值为10μm~100μm,振幅百分比为50%~100%。

## 一种碳纤维增强树脂基复合材料连接工艺方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于材料技术领域,具体涉及一种碳纤维增强树脂基复合材料连接工艺方法。

### 背景技术

[0002] 随着汽车工业的大力发展,节能、环保被越来越多的考虑到汽车生产制造过程中,研究表明,汽车减重1%,油耗降低0.7%,汽车整备质量每降低100kg,百公里燃油消耗量可降低0.3~0.6L,同时废气排放也相应减少。

[0003] 碳纤维增强树脂基复合材料由于其强度高、密度小、热稳定性能好、可制备性能好,近年来在多个工程领域内得到了广泛应用,成为新材料的研究重点。与传统的复合材料机械连接(螺栓连接、铆接)方式相比,胶连接借助胶接剂将零件连接,无对复合材料的损伤、无开孔应力集中,具有承载能力强、应力分布均匀、防止电化学腐蚀等优点。因此,胶连接比机械连接更广泛地应用于碳纤维先进复合材料的连接设计中,成为实现汽车轻量化的关键技术之一。但是胶接质量不高和胶接强度分布不均的问题一直没有得到较好的解决。

[0004] 超声振动辅助胶接技术成为近年来广泛关注的研究方向,与传统的胶粘工艺相比,超声振动在液相中产生的空化效应具有诱导填缝和界面增润作用能显著提高胶接质量,改善胶接强度分布不均的问题。

[0005] 目前提高碳纤维增强树脂基复合材料粘接强度的方法主要是通过改进粘接表面处理工艺,比如打磨、喷砂、喷丸、偶联等,改善粘接剂的组分配比,以及改变粘接剂固化工艺等。但是在胶粘过程中人为因素影响很大,打磨不均、涂胶不均匀等工艺因素会使样件粘接强度差异性较大,喷砂、喷丸、偶联等工序繁杂增加成本,同时难以施加均匀的成型压力使粘接剂能充分润湿待粘接表面,这些因素都使获得稳定可靠的高粘合强度的粘接试样成为难题。

### 发明内容

[0006] 本发明目的在于提供一种碳纤维增强树脂基复合材料连接工艺方法,旨在提高碳纤维增强树脂基复合材料粘接面表面质量,提高粘接剂与粘接面的接触面积,进而提高超声振动辅助胶接强度和質量。

[0007] 为达到上述目的,采用技术方案如下:

[0008] 一种碳纤维增强树脂基复合材料连接工艺方法,包括以下步骤:

[0009] 1) 使用紫外脉冲激光束扫描碳纤维增强树脂基复合材料粘接面,去除表面树脂层并暴露碳纤维层,并进行清洗、晾干处理;

[0010] 2) 将激光处理过的碳纤维增强树脂基复合材料固定后对粘接面涂胶并进行粘接;所用粘接剂制备方法如下:将碳纳米管与乙酸乙酯混合超声振动分散45min~90min,加入环氧树脂组分继续超声振动分散45min~90min后去除乙酸乙酯,加入环氧树脂固化剂并混合均匀;

[0011] 3) 通过超声振动工具头对粘接面的垂直方向施加频率为15KHz~25KHz的超声波振动,振动前通过超声振动工具头施加1MPa~5MPa预压力,超声波振动结束保持压力15min~30min;

[0012] 4) 将胶接件在40℃~80℃加热固化1~20h。

[0013] 按上述方案,步骤1所用紫外脉冲激光为波长为193nm~355nm的紫外激光,光子能量为3.49eV~6.44eV,平均功率为15w~200w,重复频率为1MH~2MHz,光斑直径为1.3mm~1.5mm,扫描速度为50mm/s~1500mm/s。

[0014] 按上述方案,步骤1所述紫外脉冲激光束扫描方向与所述碳纤维增强树脂基复合材料最外层纤维方向呈45°。

[0015] 按上述方案,步骤2所述粘接剂制备过程中,每隔15min停止超声振动分散并搅拌5min,温度保持在25℃~35℃;碳纳米管在粘接剂中的质量百分数为0.2%~1%。

[0016] 按上述方案,步骤2中胶层厚度在0.7mm~0.8mm之间。

[0017] 按上述方案,步骤2中超声波振动幅值为10μm~100μm,振幅百分比为50%~100%。

[0018] 本发明的有益效果在于:

[0019] 本发明的一种碳纤维增强树脂基复合材料连接工艺方法首次将超声振动辅助胶接与激光表面处理和使用碳纳米管对粘接剂改性结合起来,有效解决了实际工程中碳纤维胶连接产生的胶粘质量不好、胶粘质量不均、胶粘前表面处理使碳纤维丝断裂的问题。

[0020] 本发明精度高,表面质量稳定,通过超声振动使碳纤维丝的空间排布产生变化,同时碳纤维丝在超声振动的作用下也会产生一定程度的振动,使碳纳米管在碳纤维丝间隙聚集形成交联网状的机械栓锁结构,从而使粘接剂能更好的碳纤维丝粘合;另外,通过超声振动还改变了胶层流场方向,使碳纳米管产生取向排布,碳纳米管表面的游离基团与环氧树脂粘接剂分子之间形成共价键,增强粘接剂性能,提高粘接强度提高胶接强度。

[0021] 该方法适合自动化、工业化生产。

## 具体实施方式

[0022] 以下实施例进一步阐释本发明的技术方案,但不作为对本发明保护范围的限制。

[0023] 本发明所述碳纤维增强树脂基复合材料连接工艺流程如下:

[0024] 步骤S100,将碳纤维增强树脂基复合材料表面进行清洁处理,通过皮秒激光处理清洁过的碳纤维增强树脂基复合材料胶接区域以除去表面树脂并暴露内层碳纤维层。

[0025] 步骤S200,采用溶液混合法向粘接剂中添加一定质量分数的碳纳米管。

[0026] 步骤S300,碳纤维增强树脂基复合材料放入定位夹具中,进行粘接表面涂胶处理。

[0027] 步骤S400,通过超声振动工具头对碳纤维增强树脂基复合材料施加一定频率的超声波振动。

[0028] 步骤S500,停止超声波振动,上升超声振动工具头,将胶接件放入烘箱中加热固化。

[0029] 实施例1

[0030] 步骤一:使用紫外脉冲激光束扫描碳纤维增强树脂基复合材料粘接面,去除表面树脂层并暴露碳纤维层,并进行清洗、晾干处理。相关激光参数为:波长355nm,光子能量为

3.49eV,平均功率30W,重复频率1MHz,光斑直径1.3mm,扫描速度1500mm/s,扫描方向与所述碳纤维增强树脂基复合材料最外层纤维方向呈45°。

[0031] 步骤二:将占粘接剂质量0.2wt%碳纳米管与乙酸乙酯混合超声振动分散45min,加入环氧树脂组分继续超声振动分散45min后放入真空干燥箱去除乙酸乙酯,加入环氧树脂固化剂并混合均匀。

[0032] 步骤三:将碳纤维增强树脂基复合材料放入定位夹具中,进行粘接表面涂胶处理,胶层厚度为0.7mm。

[0033] 步骤四:通过超声振动工具头对碳纤维增强树脂基复合材料施加一定频率的超声波振动。其中,超声频率为15KHz,幅值为10 $\mu$ m,振幅百分比为70%,振动前通过超声振动工具头向碳纤维增强树脂基复合材料施加1MPa的预压力,振动结束后保持压力15min。

[0034] 步骤五:停止超声波振动,上升超声振动工具头,将胶接件放入烘箱中,在40℃下加热固化20h。

[0035] 根据ASTM D5868-01,对单搭接试样进行拉伸实验,得到试样剪切强度为12.08MPa。

[0036] 实施例2

[0037] 步骤一:使用紫外脉冲激光束扫描碳纤维增强树脂基复合材料粘接面,去除表面树脂层并暴露碳纤维层,并进行清洗、晾干处理。相关激光参数为:波长193nm,光子能量为6.44eV,平均功率15W,重复频率1.2MHz,光斑直径1.5mm,扫描速度800mm/s,扫描方向与所述碳纤维增强树脂基复合材料最外层纤维方向呈45°。

[0038] 步骤二:将占粘接剂质量0.5wt%碳纳米管与乙酸乙酯混合超声振动分散60min,加入环氧树脂组分继续超声振动分散60min后放入真空干燥箱去除乙酸乙酯,加入环氧树脂固化剂并混合均匀。

[0039] 步骤三:将碳纤维增强树脂基复合材料放入定位夹具中,进行粘接表面涂胶处理,胶层厚度为0.7mm。

[0040] 步骤四:通过超声振动工具头对碳纤维增强树脂基复合材料施加一定频率的超声波振动。其中,超声频率为15KHz,幅值为32 $\mu$ m,振幅百分比为70%,振动前通过超声振动工具头向碳纤维增强树脂基复合材料施加1MPa的预压力,振动结束后保持压力15min。

[0041] 步骤五:停止超声波振动,上升超声振动工具头,将胶接件放入烘箱中,在40℃下加热固化20h。

[0042] 根据ASTM D5868-01,对单搭接试样进行拉伸实验,得到试样剪切强度为8.93MPa。

[0043] 实施例3

[0044] 步骤一:使用紫外脉冲激光束扫描碳纤维增强树脂基复合材料粘接面,去除表面树脂层并暴露碳纤维层,并进行清洗、晾干处理。相关激光参数为:波长355nm,光子能量为3.49eV,平均功率30W,重复频率1MHz,光斑直径1.5mm,扫描速度50mm/s,扫描方向与所述碳纤维增强树脂基复合材料最外层纤维方向呈45°。

[0045] 步骤二:将占粘接剂质量0.75wt%碳纳米管与乙酸乙酯混合超声振动分散75min,加入环氧树脂组分继续超声振动分散75min后放入真空干燥箱去除乙酸乙酯,加入环氧树脂固化剂并混合均匀。

[0046] 步骤三:将碳纤维增强树脂基复合材料放入定位夹具中,进行粘接表面涂胶处理,

胶层厚度为0.76mm。

[0047] 步骤四:通过超声振动工具头对碳纤维增强树脂基复合材料施加一定频率的超声波振动。其中,超声频率为15KHz,幅值为24 $\mu$ m,振幅百分比为70%,振动前通过超声振动工具头向碳纤维增强树脂基复合材料施加5MPa的预压力,振动结束后保持压力15min。

[0048] 步骤五:停止超声波振动,上升超声振动工具头,将胶接件放入烘箱中,在80℃下加热固化3h。

[0049] 根据ASTM D5868-01,对单搭接试样进行拉伸实验,得到试样剪切强度为24.48MPa。

[0050] 实施例4

[0051] 步骤一:使用紫外脉冲激光束扫描碳纤维增强树脂基复合材料粘接面,去除表面树脂层并暴露碳纤维层,并进行清洗、晾干处理。相关激光参数为:波长355nm,光子能量为3.49ev,平均功率200w,重复频率2MHz,光斑直径1.5mm,扫描速度300mm/s,扫描方向与所述碳纤维增强树脂基复合材料最外层纤维方向呈45°。

[0052] 步骤二:将占粘接剂质量0.75wt%碳纳米管与乙酸乙酯混合超声振动分散60min,加入环氧树脂组分继续超声振动分散75min后放入真空干燥箱去除乙酸乙酯,加入环氧树脂固化剂并混合均匀。

[0053] 步骤三:将碳纤维增强树脂基复合材料放入定位夹具中,进行粘接表面涂胶处理,胶层厚度为0.8mm。

[0054] 步骤四:通过超声振动工具头对碳纤维增强树脂基复合材料施加一定频率的超声波振动。其中,超声频率为20KHz,幅值为20 $\mu$ m,振幅百分比为50%,振动前通过超声振动工具头向碳纤维增强树脂基复合材料施加3MPa的预压力,振动结束后保持压力20min。

[0055] 步骤五:停止超声波振动,上升超声振动工具头,将胶接件放入烘箱中,在80℃下加热固化1h。

[0056] 根据ASTM D5868-01,对单搭接试样进行拉伸实验,得到试样剪切强度为22.58MPa。

[0057] 实施例5

[0058] 步骤一:使用紫外脉冲激光束扫描碳纤维增强树脂基复合材料粘接面,去除表面树脂层并暴露碳纤维层,并进行清洗、晾干处理。相关激光参数为:波长248nm,光子能量为4.96ev,平均功率100w,重复频率1.6MHz,光斑直径1.4mm,扫描速度200mm/s,扫描方向与所述碳纤维增强树脂基复合材料最外层纤维方向呈45°。

[0059] 步骤二:将占粘接剂质量1wt%碳纳米管与乙酸乙酯混合超声振动分散90min,加入环氧树脂组分继续超声振动分散90min后放入真空干燥箱去除乙酸乙酯,加入环氧树脂固化剂并混合均匀。

[0060] 步骤三:将碳纤维增强树脂基复合材料放入定位夹具中,进行粘接表面涂胶处理,胶层厚度为0.8mm。

[0061] 步骤四:通过超声振动工具头对碳纤维增强树脂基复合材料施加一定频率的超声波振动。其中,超声频率为25KHz,幅值为100 $\mu$ m,振幅百分比为100%,振动前通过超声振动工具头向碳纤维增强树脂基复合材料施加5MPa的预压力,振动结束后保持压力15min。

[0062] 步骤五:停止超声波振动,上升超声振动工具头,将胶接件放入烘箱中,在60℃下

加热固化8h。

[0063] 根据ASTM D5868-01,对单搭接试样进行拉伸实验,得到试样剪切强度为16.34MPa。

[0064] 根据上述实施例结果可知,实施例三的单搭接接头剪切强度最大,为24.48MPa,以下结合针对实施例三的对比例,进一步说明本工艺方法对粘接强度的促进作用。

[0065] 对比例1

[0066] 相对于实施例三,对比例1未添加碳纳米管,步骤一、三、四、五与实施例中的相应步骤完全相同,根据ASTM D5868-01,对单搭接试样进行拉伸实验,得到试样剪切强度为5.38MPa。添加一定质量分数的碳纳米管使剪切强度提高约350%。

[0067] 对比例2

[0068] 相对于实施例三,对比例二未对粘接面进行激光扫描处理,步骤二、三、四、五与实施例中的相应步骤完全相同,根据ASTM D5868-01,对单搭接试样进行拉伸实验,得到试样剪切强度为7.01MPa。对粘接面进行激光扫描处理使剪切强度提高约250%。

[0069] 对比例3

[0070] 相对于实施例三,对比例二未对待粘接试样进行超声振动处理,步骤一、二、三、五与实施例中的相应步骤完全相同,根据ASTM D5868-01,对单搭接试样进行拉伸实验,得到试样剪切强度为17.75MPa。对待粘接试样进行超声振动处理使剪切强度提高约38%。

[0071] 以上所述实例仅为本发明的一种实施方式,在不脱离本发明构思的前提下,还可做出若干改进和优化,这些都属于本发明的保护范围。因此,本发明专利的保护范围应以所附权利要求为准。