(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 113638325 A
(43)申请公布日 2021.11.12

(21)申请号 202110903422.X

(22)申请日 2021.08.06

(71)申请人 广西大学
地址 530004 广西壮族自治区南宁市西乡塘区大学东路100号

(72)发明人 柯璐 姚剑伦 陈正 冯峥 李传习 朱夫瑞 李友林 李静

(74)专利代理机构 西安赛嘉知识产权代理事务所(普通合伙) 61275
代理人 王伟超

(51)Int.Cl.
E01D 22/00(2006.01)

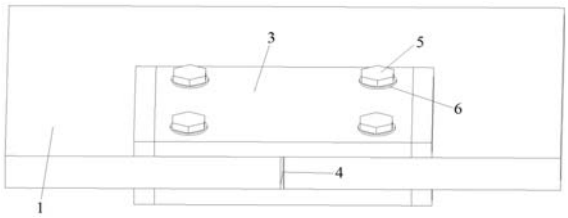
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

一种钢结构疲劳裂纹加固结构及其加固方法

(57)摘要

本发明公开了一种钢结构疲劳裂纹加固结构,包括钻设于被加固钢结构裂纹前端的冷扩止裂孔以及固定于被加固钢结构两侧的两个形状记忆合金补强板。本发明还提供了一种钢结构疲劳裂纹加固方法,具体按照以下步骤实施:在被加固钢结构上的裂纹延伸处开设止裂孔;于室温下采用冷扩专用设备对止裂孔进行扩充,得到冷扩止裂孔;于室温下对两个形状记忆合金补强板分别进行预拉使之产生塑性变形;采用螺栓将预拉后的形状记忆合金补强板分别固定于被加固钢结构板件两侧,确保覆盖冷扩止裂孔和裂纹;对已固定的形状记忆合金补强板进行加热,使其产生塑性收缩变形;让加固后的结构于室温下自然冷却,清理表面,之后进行表面涂装。



CN 113638325 A

1.一种钢结构疲劳裂纹加固结构，其特征在于，包括钻设于被加固钢结构裂纹前端的冷扩止裂孔以及固定于被加固钢结构两侧的两个形状记忆合金补强板。

2.根据权利要求1所述的钢结构疲劳裂纹加固结构，其特征在于，所述钻设于被加固钢结构裂纹前端的冷扩止裂孔是采用冷扩专用设备对止裂孔于室温下进行冷扩获得。所述冷扩专用设备主要包括一根直径比止裂孔孔径稍大的钢棒，通过机械装置强力作用将上述钢棒从止裂孔内穿过，从而实现对止裂孔的冷扩。

3.根据权利要求1所述的钢结构疲劳裂纹加固结构，其特征在于，所述两个形状记忆合金补强板分别固定于被加固钢结构的两侧，具体为：将两个形状记忆合金补强板先在室温下进行预张拉使之产生塑性变形，然后解除张拉力；之后采用螺栓将两个形状记忆合金补强板固定于被加固钢结构的两侧，确保将冷扩止裂孔和裂纹覆盖；然后采用加热装置对两个形状记忆合金补强板进行热激励使之内部产生塑性收缩变形；最后，让加固后结构于室温下自然冷却。

4.一种钢结构疲劳裂纹加固方法，根据权利要求1所述的钢结构疲劳裂纹加固结构实现，其特征在于，具体按照以下步骤实施：

步骤1，在被加固钢结构上的裂纹延伸处钻设止裂孔；

步骤2，于室温下采用冷扩专用设备对止裂孔进行扩充，得到冷扩止裂孔；

步骤3，于室温下对两个形状记忆合金补强板分别进行预拉使之产生塑性变形；

步骤4，采用螺栓将预拉后的形状记忆合金补强板分别固定于被加固钢结构板件两侧，确保覆盖冷扩止裂孔和裂纹；

步骤5，对步骤4已固定的形状记忆合金补强板进行加热，使其产生塑性收缩变形；

步骤6，让加固后的结构于室温下自然冷却，清理表面，之后进行表面涂装。

5.根据权利要求4所述的钢结构疲劳裂纹加固方法，其特征在于，当形状记忆合金补强板存在应力松弛时，可以对形状记忆合金补强板进行二次热激励，即重复步骤5。

一种钢结构疲劳裂纹加固结构及其加固方法

技术领域

[0001] 本发明属于桥梁工程技术领域，具体涉及一种钢结构疲劳裂纹加固结构，还涉及一种钢结构疲劳裂纹加固方法。

背景技术

[0002] 钢结构具有自重小、可装配化快速施工、安全储备大等优点，因此广泛应用于基础设施。疲劳与断裂被认为是钢结构发生破坏的最重要原因之一。据不完全统计，80％～90％的钢结构破坏与疲劳断裂有关；例如英国Severn桥通车五年后出现大量疲劳裂纹，虎门大桥通车两年就发现大量疲劳裂纹。同样，江阴大桥和塘沽海河大桥通车六年陆续发现大量疲劳裂纹。钢结构裂纹检测困难，发现时通常裂纹已处于中高速扩展阶段，容易引起结构使用性能快速降低甚至导致结构坍塌。可以看出，桥梁钢结构疲劳开裂现象普遍且危害较大。

[0003] 常用的钢结构止裂修复方法包括止裂孔法、裂纹填充法、优化构造设计法、栓接/焊接钢板补强法、粘钢补强法、以及粘贴CFRP补强法等。其中，止裂孔法施工简单，但在某些情况(如扭转引起的疲劳裂纹)下并不有效，裂纹可能穿过止裂孔继续发展。裂纹填充法对填充材料的性能及施工工艺要求很高，填充物的填充深度对裂纹控制效果的影响较大。优化构造设计法有助于降低几何间断性，减缓应力集中，但可能降低结构的刚度和极限承载能力；若采用热切割来优化构造还可能引入不利残余应力，并且高温会导致材料硬化，韧性降低，一旦设计不当甚至可能造成疲劳抗力降低。钢板补强法可以极大地提高构造局部刚度，但施工相对复杂，自重增加较大，若采用栓接或者铆接，钻孔会对结构造成新的损伤，若采用焊接则可能引入不利残余应力和引起材料硬化，这些连接方法都会引入新的潜在疲劳易损点。粘钢补强法避免了上述栓接和焊接的不利影响，但是钢板刚度过大，端部极容易剥离，也不适用于复杂构型结构的加固。粘贴CFRP补强法的缺点在于CFRP界面存在剥离风险，此外，若施加预应力，其施工工序也较繁琐。综上所述，传统钢结构疲劳裂纹修复与加固技术在止裂效果、施工工艺等方面存在不足。因此，亟需研发一种施工简便、止裂效果更佳的钢结构疲劳裂纹修复结构与方法，以有效抑制疲劳裂纹扩展，大幅延长钢结构桥梁服役寿命，从而节省基础设施维修养护费用。

发明内容

[0004] 为解决上述问题，本发明公开了一种钢结构疲劳裂纹加固结构，用以有效抑制疲劳裂纹扩展，大幅提高钢结构的疲劳寿命。

[0005] 为了达到上述目的，本发明公开的一种钢结构疲劳裂纹加固结构是：一种钢结构疲劳裂纹加固结构，包括钻设于被加固钢结构裂纹前端的冷扩止裂孔以及固定于被加固钢结构两侧的两个形状记忆合金补强板。

[0006] 本发明公开的一种钢结构疲劳裂纹加固结构，还具有以下特点：

[0007] 作为本发明公开的一种钢结构疲劳裂纹加固结构，所述钻设于被加固钢结构裂纹前端的冷扩止裂孔是采用冷扩专用设备对止裂孔于室温下进行冷扩获得。所述冷扩专用设

备主要包括一根直径比止裂孔孔径稍大的钢棒，通过机械装置强力作用将上述钢棒从止裂孔内穿过，从而实现对止裂孔的冷扩。

[0008] 作为本发明公开的一种钢结构疲劳裂纹加固结构，所述两个形状记忆合金补强板分别固定于被加固钢结构的两侧，具体为：将两个形状记忆合金补强板先在室温下进行预张拉使之产生塑性变形，然后解除张拉力；之后采用螺栓与垫片将两个形状记忆合金补强板固定于被加固钢结构的两侧，确保将冷扩止裂孔和裂纹覆盖；然后采用加热装置对两个形状记忆合金补强板进行热激励使之内部产生塑性收缩变形；最后，让加固后结构于室温下自然冷却。

[0009] 本发明还提供了一种钢结构疲劳裂纹加固方法，具体按照以下步骤实施：

[0010] 步骤1，在被加固钢结构上的裂纹延伸处钻设止裂孔；

[0011] 步骤2，于室温下采用冷扩专用设备对止裂孔进行扩充，得到冷扩止裂孔；

[0012] 步骤3，于室温下对两个形状记忆合金补强板分别进行预拉使之产生塑性变形；

[0013] 步骤4，采用螺栓将预拉后的形状记忆合金补强板分别固定于被加固钢结构板件两侧，确保覆盖冷扩止裂孔和裂纹；

[0014] 步骤5，对步骤4已固定的形状记忆合金补强板进行加热，使其产生塑性收缩变形；

[0015] 步骤6，让步骤5加固后的结构于室温下自然冷却，清理表面，之后进行表面涂装。

[0016] 本发明的技术方案，还具有一下特点：

[0017] 作为本发明的一种优选的技术方案，当形状记忆合金补强板存在应力松弛时，可以对形状记忆合金补强板进行二次热激励，即重复步骤5。

[0018] 与现有技术相比，本发明具有以下优点：(1)本发明的一种钢结构疲劳裂纹加固结构及其加固方法，通过对存在疲劳裂纹的钢结构构件或区域进行加固，可显著改善裂纹尖端应力状态，有效抑制疲劳裂纹扩展；(2)本发明的一种钢结构疲劳裂纹加固结构及其加固方法，只是对被加固钢结构实施钻孔，没有热切割，对原结构造成新的损伤非常小，外贴形状记忆合金补强板也不会在周边产生明显的应力集中，从而避免引入新的疲劳风险源；(3)本发明的一种钢结构疲劳裂纹加固结构及其加固方法，构造简单轻质，不会使原结构产生过大的自重增加；(4)本发明的一种钢结构疲劳裂纹加固结构及其加固方法，无需针对不同的裂纹长度与不同的裂纹走向逐一制定个性化加固方案，通用性良好，给加固设计与施工带来极大的方便，因此也节约了成本；(5)本发明的一种钢结构疲劳裂纹加固结构及其加固方法，通过对形状记忆合金补强板进行二次热激励，可补偿形状记忆合金补强板内的预应力损失，提高加固效果。

附图说明

[0019] 此处所说明的附图用来提供对本发明的进一步解释，构成本发明的一部分，本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明，并不构成对本发明的不当限定。在附图中：

[0020] 图1为本发明的一种钢结构疲劳裂纹加固结构的安装示意图；

[0021] 图2为本发明的一种钢结构疲劳裂纹加固结构去除形状记忆合金补强板后的示意图。

[0022] 图3为加热装置对形状记忆合金补强板进行热激励工作的示意图。

[0023] 图中：1.被加固钢结构，2.冷扩止裂孔，3.形状记忆合金补强板，4.裂纹，5.螺栓，

6.垫片,7.加热装置。

具体实施方式

[0024] 以下将结合实施例来说明本发明的实施方式,借此对本发明如何应用技术手段来解决技术问题并达成技术功效的实现过程进行详细介绍。

[0025] 如图1-3所示,本发明的一种基于冷扩止裂孔与形状记忆合金补强板的钢结构疲劳裂纹加固结构,包括冷扩止裂孔2、形状记忆合金补强板3、螺栓5以及加热装置7。

[0026] 一个冷扩止裂孔2,冷扩止裂孔2钻设于被加固钢结构1裂纹4前端一定位置处;冷扩止裂孔2采用冷扩专用设备对止裂孔于室温下进行冷扩获得。

[0027] 进一步地,所述止裂孔2的位置:止裂孔2的圆心位于距裂纹尖端的0.5t处,t为被加固钢结构1的厚度。所述止裂孔2的直径:止裂孔2的直径取决于被加固钢结构1的厚度和裂纹4的长度;设止裂孔的直径为d,若裂纹4长度为40mm-80mm,d取10mm;若裂纹4长度为80mm-120mm,d取14mm;若裂纹4长度为120mm-150mm,d取18mm。

[0028] 进一步地,所述冷扩专用设备主要包括一根直径比止裂孔孔径稍大的钢棒,通过机械装置强力作用将上述钢棒从止裂孔内穿过,从而实现对止裂孔的冷扩。

[0029] 采用所述冷扩止裂孔2的优点:钻设止裂孔可降低裂纹4尖端的应力水平,抑制裂纹4的扩展,从而延长被加固钢结构的疲劳寿命。对止裂孔进行冷扩后,孔周产生残余压应力,降低孔周的平均应力幅,减少裂纹4尖端拉应力;因此,可进一步抑制裂纹4的扩展,进一步延长被加固钢结构1的疲劳寿命。

[0030] 两个形状记忆合金补强板3,两个形状记忆合金补强板3先于室温下进行预张拉使之产生塑性变形,然后解除张拉力;将两个形状记忆合金补强板3分别紧贴在被加固钢结构1两侧,确保将冷扩止裂孔2和裂纹4覆盖,之后采用螺栓5与垫片6将两个形状记忆合金补强板3分别固定于被加固钢结构1的两侧;然后,采用加热装置7对两个形状记忆合金补强板3进行热激励,使其恢复至预张拉前的初始状态,此时被加固钢结构1的裂纹4两端面产生预压力。最后,除去加热装置7,让形状记忆合金补强板3自然冷却至室温,最后进行涂装。

[0031] 当形状记忆合金补强板3存在应力松弛时,可使用加热装置7对形状记忆合金补强板3进行二次热激励,可实现预应力损失的二次补偿,提高加固效果。

[0032] 使用形状记忆合金补强板3的优点:采用加热装置7对形状记忆合金补强板3进行热激励时,使形状记忆合金补强板3内部产生预拉应力,作用于被加固钢结构1使裂纹4两端面产生预压力,从而使裂纹4闭合,抑制裂纹4的扩展,大幅延长结构疲劳寿命。因此采用形状记忆合金补强板3的加固效果更好。

[0033] 在上述操作中需要注意的是:

[0034] a)钻设止裂孔时应缓慢钻设,保证孔周边应力分布均匀,此外,注意钻孔偏心角度应控制在-15°～30°(偏心角度是止裂孔圆心相对于裂纹4扩展方向的偏离角度)。据实桥测试评价,止裂孔会使裂纹尖端的应力峰值下降,但是孔位偏离将会导致应力峰值提高。因此,若孔位偏离,止裂效果降低。

[0035] b)应距裂纹4较远且距形状记忆合金补强板3边缘较远位置处四周钻设螺栓孔,避免引入新的疲劳风险源。

[0036] c)对疲劳裂纹4附近开裂区域进行表面处理时,处理的区域面积应略大于形状记

忆合金补强板3的面积。判定存在疲劳开裂区域可通过本领域技术人员的公知常识和工程经验进行判定，或者通过结构分析与计算得到，以上均是解决钢结构疲劳问题的常用手段。

[0037] d)若裂纹4位于钢板边缘，形状记忆合金补强板3的一侧应与被加固钢结构1的开裂边缘对齐，以便于形状记忆合金补强板3对裂纹4扩展起到较好抑制作用。

[0038] 两个加热装置7，加热装置7上的加热带分别固定于两个形状记忆合金补强板3的外侧，并将两个形状记忆合金补强板3的外侧覆盖。

[0039] 进一步地，两个加热装置7上的加热带分别固定于两个形状记忆合金补强板3的两侧，具体为：对形状记忆合金补强板3进行加热时，加热装置7上的加热带应覆盖在形状记忆合金补强板3的外侧，接通电源再打开温度调节器，调节至所需的温度，由于加热带主要由电热材料和绝缘材料组成，加热带会放出热量，从而对形状记忆合金补强板3进行加热。加热装置7具有以下特点(1)具有柔软性，能够在特殊的场合以及恶劣环境下使用。(2)通过电能转化为热能对形状记忆合金补强板进行加热，并具有一定的保温功效。(3)能够通过温度调节器，调节到所需的温度，操作简单便捷。

[0040] 上述说明示出并描述了本发明的若干优选实施例，但如前所述，应当理解发明并非局限于本文所披露的形式，不应看作是对其他实施例的排除，而可用于各种其他组合、修改和环境，并能够在本文所述发明构想范围内，通过上述教导或相关领域的技术或知识进行改动。而本领域人员所进行的改动和变化不脱离发明的精神和范围，则都应在发明所附权利要求的保护范围内。

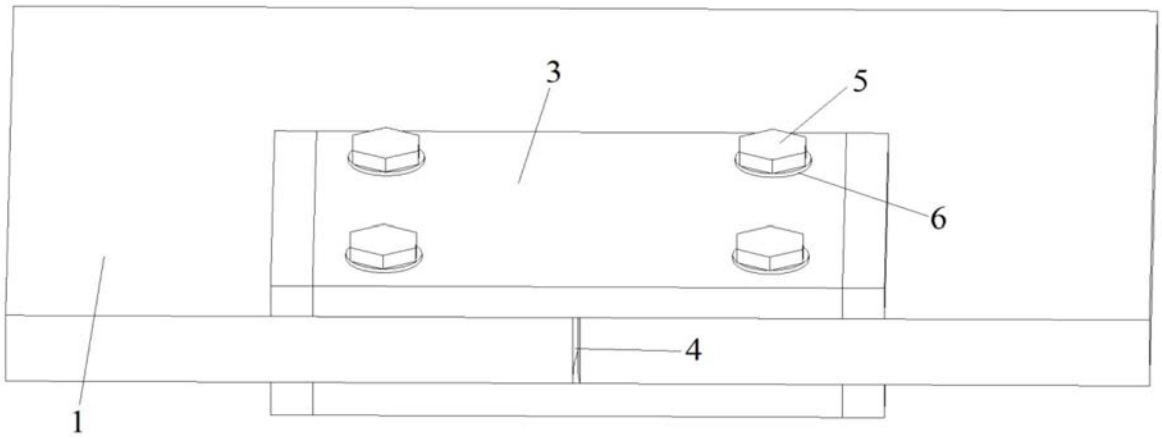


图1

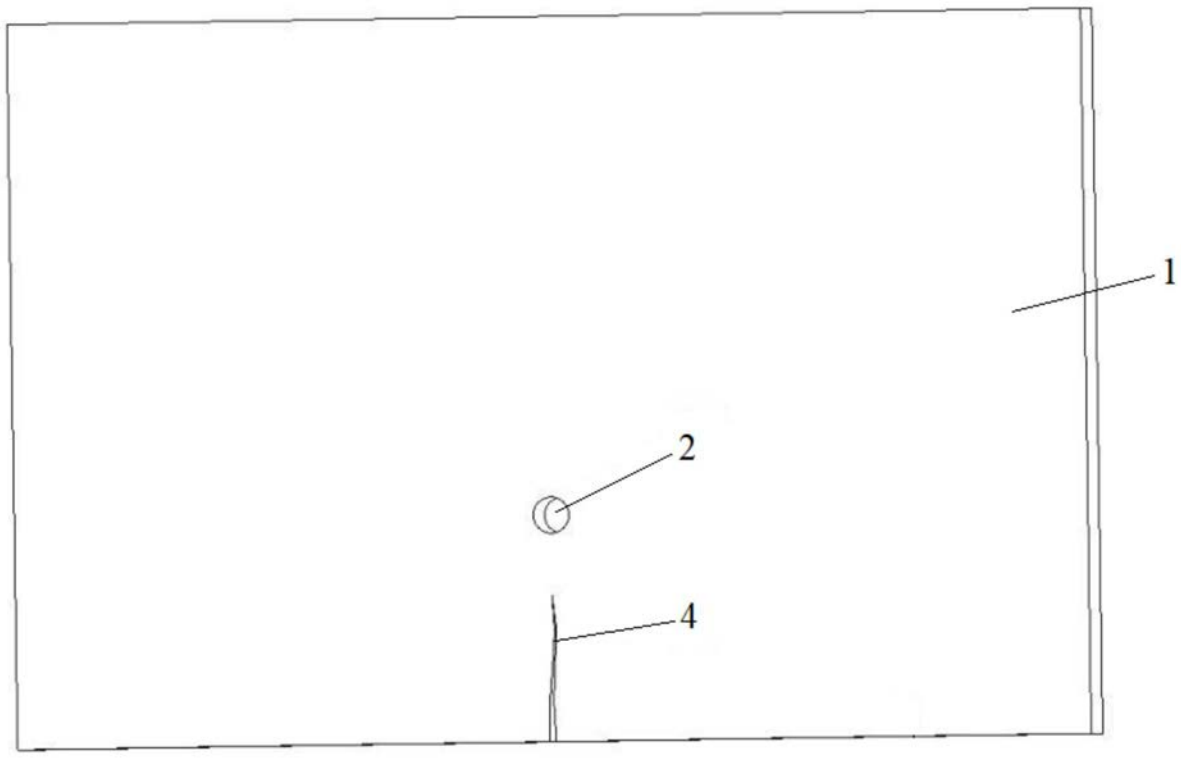


图2

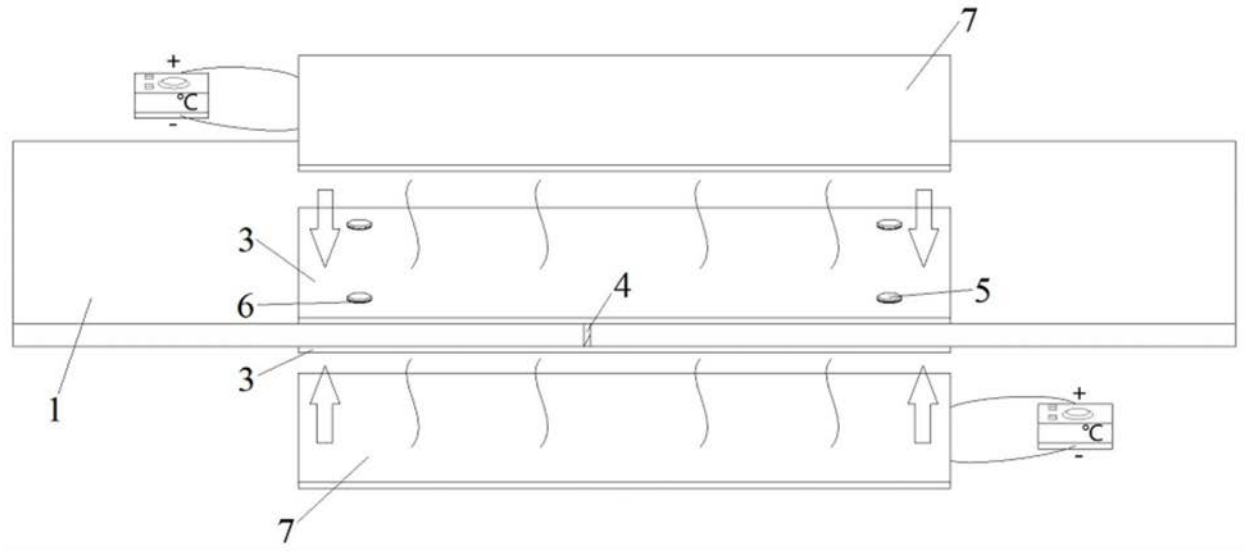


图3