



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105382409 A

(43) 申请公布日 2016. 03. 09

(21) 申请号 201510993564. 4

(22) 申请日 2015. 12. 25

(71) 申请人 中国航空工业集团公司北京航空制  
造工程研究所

地址 100024 北京市朝阳区八里桥北东军庄  
1号

(72) 发明人 曹子文

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限  
公司 11127

代理人 赵燕力

(51) Int. Cl.

B23K 26/00(2014. 01)

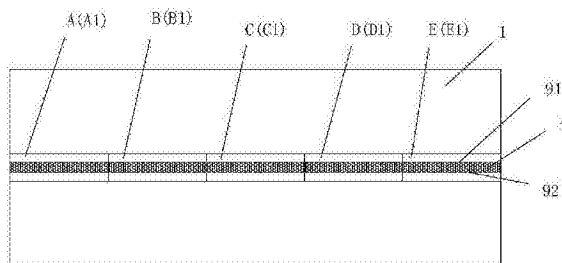
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

薄板焊接结构的激光冲击强化方法

(57) 摘要

本发明为一种薄板焊接结构的激光冲击强化方法,将薄板焊接结构的焊接接头沿焊缝长度方向从焊缝一端至焊缝另一端等分为若干强化区域,先对第一个强化区域的正反面依次强化,然后依次完成剩余强化区域的正反面强化,直至完成整条焊缝区域强化;每个强化区域上的光斑行进路径构成相应的强化线,各强化线呈垂直于焊缝方向,扫描完成一条强化线后光斑向焊缝长度方向偏移形成下一条强化线,直至完成该强化区域的激光冲击强化;每个强化区域上形成有多条垂直于焊缝且相互搭接的强化线。本发明是针对大尺寸薄板焊接结构的焊接接头采用的分区强化方式,能够减小了焊接结构变形,弱化因变形导致的先强化表面残余压应力衰减程度。



1. 一种薄板焊接结构的激光冲击强化方法,将薄板焊接结构的焊接接头沿焊缝长度方向从焊缝一端至焊缝另一端等分为若干强化区域,先对第一个强化区域的正反面依次强化,然后依次完成剩余强化区域的正反面强化,直至完成整条焊缝区域强化;每个强化区域上的光斑行进路径构成相应的强化线,各强化线呈垂直于焊缝方向,扫描完成一条强化线后光斑向焊缝长度方向偏移形成下一条强化线,直至完成该强化区域的激光冲击强化;每个强化区域上形成有多条垂直于焊缝且相互搭接的强化线。

2. 如权利要求 1 所述的薄板焊接结构的激光冲击强化方法,其特征在于:该激光冲击强化方法包括以下步骤:

步骤一:对焊接接头表面分区;

根据焊缝长度,将薄板焊接结构沿焊缝长度方向等分为若干强化区域,且焊接接头正、反面的强化区域一一对应;

步骤二:分区内强化光斑行进路径设置;

移动工件运动系统或者移动激光束,使激光光斑在各强化区域完成固定的行进路径,形成相互搭接的光斑强化线,使光斑在各强化区域内实现 100% 的覆盖率;

步骤三:第一个强化区域正面激光冲击强化;

完成吸收层、约束层准备工作后,控制工件运动系统或激光束,使第一个强化区域正面处于加工区域内,将纳秒脉冲激光束聚焦后辐照在强化表面,按照上述步骤二的光斑行进路径完成第一个强化区域正面激光冲击强化;

步骤四:第一个强化区域反面激光冲击强化;

控制工件运动系统或激光束,使第一个强化区域反面处于加工区域内,按照上述步骤二的光斑行进路径完成第一个强化区域反面激光冲击强化;

步骤五:重复上述步骤三和步骤四,按顺序依次完成剩余强化区域的正、反面激光冲击强化。

3. 如权利要求 2 所述的薄板焊接结构的激光冲击强化方法,其特征在于:在上述步骤一中,所述各强化区域的宽度包括焊缝宽度和两焊缝熔合线外侧至少各 3mm 的距离范围。

4. 如权利要求 3 所述的薄板焊接结构的激光冲击强化方法,其特征在于:在上述步骤二中,激光光斑在各强化区域内沿垂直焊缝方向行进,完成第一条强化线,然后令行进路径沿焊缝长度方向偏移,完成第二条强化线;依次完成各强化区域内焊接接头表面强化。

5. 如权利要求 2 所述的薄板焊接结构的激光冲击强化方法,其特征在于:在上述步骤三中,吸收层、约束层准备工作包括在该强化区域的表面粘贴铝箔胶带,并在铝箔胶带之上形成水膜。

6. 如权利要求 5 所述的薄板焊接结构的激光冲击强化方法,其特征在于:所述铝箔胶带厚度为 100 微米;水膜厚度为 1mm。

7. 如权利要求 1 所述的薄板焊接结构的激光冲击强化方法,其特征在于:光斑为圆形光斑,光斑直径为 4mm;相邻光斑之间的距离为 2mm;每个光斑的脉冲能量为 20J,脉冲宽度为 15ns。

## 薄板焊接结构的激光冲击强化方法

### 技术领域

[0001] 本发明是关于一种激光加工技术,尤其涉及一种用于大尺寸薄板熔焊焊接结构的抗疲劳表面强化的激光冲击强化方法。

### 背景技术

[0002] 以激光焊接为代表的先进连接技术是轻量化整体化先进制造的关键技术。飞机蒙皮尺寸大、外形复杂,几乎不可能一次成形,采用激光焊接将分块成形的蒙皮连接成为一体,不仅整体性能大幅度提升,而且减重效果非常显著。

[0003] 焊接接头往往是焊接结构的疲劳薄弱环节。焊缝内部残余拉应力、咬边、飞溅等是影响激光焊接接头疲劳性能的主要因素。焊接结构承受外力载荷时,残余拉应力与外载荷叠加导致焊缝局部实际应力增大,咬边、飞溅等由于应力集中效应也导致局部应力增大,最终在这些局部应力较大区域产生疲劳裂纹源。

[0004] 激光冲击强化技术应用于薄板激光焊接结构,其疲劳寿命得到显著提升。产生薄板激光焊接结构疲劳性能提高的主要原因是激光冲击强化在焊接接头表层引入残余压应力,从而延缓裂纹萌生和裂纹扩展速率。薄板激光焊接接头激光冲击强化采用先强化一面再强化另一面的双面激光冲击强化,其中每一面的激光冲击强化的过程如下:在焊接接头表面粘贴厚度约  $100\ \mu\text{m}$  的铝箔胶带,并在铝箔胶带之上喷水,形成  $1\sim 2\text{mm}$  均匀厚度的水膜,然后激光纳秒脉冲激光聚焦后导引至强化位置,在铝箔胶带和水膜之间形成等离子爆炸冲击波,使焊接接头表面产生一个塑性凹坑。移动工件或激光束,使加工位置沿焊缝中心从一端扫描至另一端,然后偏移(移动)扫描路径,形成多排平行于焊缝且相互搭接的多排强化区域。

[0005] 现有的薄板焊接结构的激光冲击强化技术虽然能够显著提高其疲劳寿命,但仍存在技术不足。现有技术是将激光光斑沿焊缝中心从焊缝一端扫描至焊缝另一端形成一排强化区,然后偏移(移动)扫描路径,形成多排平行于焊缝且相互搭接的多排强化区域;由此会使强化区塑性应变引起强化表面积变大,强化区向上突起,导致焊接结构变形。另外,薄板焊接结构的后强化表面产生的变形对先强化面的残余应力影响较大,先强化面残余压应力幅值降低,尤其垂直于焊缝方向的残余压应力降低最严重。

[0006] 由此,本发明人凭借多年从事相关行业的经验与实践,提出一种薄板焊接结构的激光冲击强化方法,以克服现有技术的缺陷。

### 发明内容

[0007] 本发明的目的在于提供一种薄板焊接结构的激光冲击强化方法,采用分区域强化和调整光斑行进路径的方式,减小激光冲击强化过程中焊接结构的变形量,同时弱化因变形导致的先强化表面残余压应力衰减程度。

[0008] 本发明的目的是这样实现的,一种薄板焊接结构的激光冲击强化方法,将薄板焊接结构的焊接接头沿焊缝长度方向从焊缝一端至焊缝另一端等分为若干强化区域,先对第

一个强化区域的正反面依次强化,然后依次完成剩余强化区域的正反面强化,直至完成整条焊缝区域强化;每个强化区域上的光斑行进路径构成相应的强化线,各强化线呈垂直于焊缝方向,扫描完成一条强化线后光斑向焊缝长度方向偏移形成下一条强化线,直至完成该强化区域的激光冲击强化;每个强化区域上形成有多条垂直于焊缝且相互搭接的强化线。

[0009] 在本发明的一较佳实施方式中,该激光冲击强化方法包括以下步骤:

[0010] 步骤一:对焊接接头表面分区;

[0011] 根据焊缝长度,将薄板焊接结构沿焊缝长度方向等分为若干强化区域,且焊接接头正、反面的强化区域一一对应;

[0012] 步骤二:分区内强化光斑行进路径设置;

[0013] 移动工件运动系统或者移动激光束,使激光光斑在各强化区域完成固定的行进路径,形成相互搭接的光斑强化线,使光斑在各强化区域内实现 100% 的覆盖率;

[0014] 步骤三:第一个强化区域正面激光冲击强化;

[0015] 完成吸收层、约束层准备工作后,控制工件运动系统或激光束,使第一个强化区域正面处于加工区域内,将纳秒脉冲激光束聚焦后辐照在强化表面,按照上述步骤二的光斑行进路径完成第一个强化区域正面激光冲击强化;

[0016] 步骤四:第一个强化区域反面激光冲击强化;

[0017] 控制工件运动系统或激光束,使第一个强化区域反面处于加工区域内,按照上述步骤二的光斑行进路径完成第一个强化区域反面激光冲击强化;

[0018] 步骤五:重复上述步骤三和步骤四,按顺序依次完成剩余强化区域的正、反面激光冲击强化。

[0019] 在本发明的一较佳实施方式中,所述各强化区域的宽度包括焊缝宽度和两焊缝熔合线外侧至少各 3mm 的距离范围。

[0020] 在本发明的一较佳实施方式中,激光光斑在各强化区域内沿垂直焊缝方向行进,完成第一条强化线,然后令行进路径沿焊缝长度方向偏移,完成第二条强化线;依次完成各强化区域内焊接接头表面强化。

[0021] 在本发明的一较佳实施方式中,吸收层、约束层准备工作包括在该强化区域的表面粘贴铝箔胶带,并在铝箔胶带之上形成水膜。

[0022] 在本发明的一较佳实施方式中,所述铝箔胶带厚度为 100 微米;水膜厚度为 1mm。

[0023] 在本发明的一较佳实施方式中,光斑为圆形光斑,光斑直径为 4mm;相邻光斑之间的距离为 2mm;每个光斑的脉冲能量为 20J,脉冲宽度为 15ns。

[0024] 由上所述,本发明薄板焊接结构的激光冲击强化方法,针对大尺寸薄板焊接结构的焊接接头实施分区强化,减小了结构变形,弱化了因变形导致的先强化表面残余压应力衰减程度。

## 附图说明

[0025] 以下附图仅旨在于对本发明做示意性说明和解释,并不限定本发明的范围。其中:

[0026] 图 1A:为本发明中薄板焊接结构的正面示意图;

[0027] 图 1B :为本发明中薄板焊接结构的反面示意图 ;

[0028] 图 2A ~图 2C :为本发明中薄板焊接结构的第一个强化区域正面激光冲击强化流程示意图。

### 具体实施方式

[0029] 为了对本发明的技术特征、目的和效果有更加清楚的理解,现对照附图说明本发明的具体实施方式。

[0030] 本发明提出一种薄板焊接结构的激光冲击强化方法,将薄板焊接结构的焊接接头沿焊缝长度方向从焊缝一端至焊缝另一端等分为若干强化区域,先对第一个强化区域的正反面依次强化,然后依次完成剩余强化区域的正反面强化,直至完成整条焊缝区域强化;每个强化区域上的光斑行进路径构成相应的强化线,各强化线呈垂直于焊缝方向,扫描完成一条强化线后光斑向焊缝长度方向偏移形成下一条强化线,直至完成该强化区域的激光冲击强化;每个强化区域上形成有多条垂直于焊缝且相互搭接的强化线;

[0031] 本发明采用分区域强化和调整光斑行进路径的方式,各分区内采用垂直于焊缝方向的光斑扫描方式,使每个激光光斑产生的塑形变形的顺序发生改变,从而导致垂直和平行焊缝方向的累积塑形应变发生改变,有效减小因垂直焊缝方向的试板变形而使该方向的残余压应力提高。由此,减小激光冲击强化过程中焊接结构的变形量,同时弱化因变形导致的先强化表面残余压应力衰减程度。

[0032] 如图 1A、图 1B 所示,在本发明的一具体实施例中,待强化的薄板焊接结构为 TC4 钛合金激光焊接试板 1,试板 1 的尺寸为长 500mm、宽 200mm、厚度 2mm,其中焊缝 9 位于试板 1 中间,焊缝 9 的长度 500mm、焊缝 9 的宽度 2 ~ 3mm(两焊接熔合线 91、92 之间的距离)。焊后试板 1 进行热处理,消除焊接平板的变形。

[0033] 如图 1A、图 1B 所示,该激光冲击强化方法包括以下步骤:

[0034] 步骤一:对焊接接头表面分区;

[0035] 根据焊缝 9 长度,将薄板焊接结构沿焊缝 9 的长度方向等分为若干强化区域,在本实施例中分为 A、B、C、D、E 五个区域,焊接接头正面的强化区域为 A1、B1、C1、D1、E1(如图 1A 所示),焊接接头反面的强化区域为 A2、B2、C2、D2、E2(如图 1B 所示),焊接接头正、反面的强化区域一一对应;所述各强化区域的宽度包括焊缝宽度和两焊缝熔合线外侧至少各 3mm 的距离范围;在本实施例中,各强化区域的宽度设定为 15mm;由此,各强化区域的面积分别为 100mm×15mm。

[0036] 步骤二:分区内强化光斑行进路径设置;

[0037] 移动工件运动系统或者移动激光束,使激光光斑在各强化区域完成固定的行进路径,形成相互搭接的光斑强化线,使光斑在各强化区域内实现 100% 以上的覆盖率;

[0038] 在本实施例中,激光光斑在各强化区域内沿垂直焊缝 9 方向行进(如图 2A、图 2B、图 2C 所示,光斑行进路径 8 与焊缝 9 垂直),完成第一条(第一排)强化线,然后令行进路径沿焊缝 9 长度方向偏移(如图 2B 中所示,向图中右侧方向偏移 2mm),完成第二条(第二排)强化线(第二条强化线与第一条强化线形成相互搭接状态);依次完成各强化区域内焊接接头表面强化;

[0039] 在本实施例中,激光光束的加工位置不变,由机械手带动激光焊接试板 1 按上述

要求移动,完成激光光斑行进动作。

[0040] 步骤三:第一个强化区域正面激光冲击强化;

[0041] 如图 2A、图 2B、图 2C 所示,在强化区域 A1 的表面粘贴厚度 100 微米左右的铝箔胶带,并在铝箔胶带之上形成厚度约 1mm 的水膜,完成吸收层、约束层准备工作后,由机械手带动激光焊接试板 1 按规定要求移动,使第一个强化区域正面 A1 处于加工区域内,将纳秒脉冲激光束聚焦后辐照在强化表面,如图 2A、图 2B、图 2C 所示,按照步骤二中设定的光斑行进路径完成第一个强化区域正面 A1 激光冲击强化;强化后,去除铝箔胶带,清理并吹干激光焊接试板 1。

[0042] 在本实施例中,光斑 2 为圆形光斑,光斑直径为 4mm;相邻光斑之间的距离为 2mm;每个光斑的脉冲能量为 20J,脉冲宽度为 15ns。

[0043] 步骤四:第一个强化区域反面激光冲击强化;

[0044] 使第一个强化区域反面 A2 处于加工区域内(图中未示出),在强化区域 A2 的表面粘贴厚度 100 微米左右的铝箔胶带,并在铝箔胶带之上形成厚度约 1mm 的水膜,完成吸收层、约束层准备工作后,由机械手带动激光焊接试板 1 按规定要求移动,将纳秒脉冲激光束聚焦后辐照在强化表面;强化后,去除铝箔胶带,清理并吹干激光焊接试板 1。

[0045] 步骤五:重复上述步骤三和步骤四,按顺序依次完成强化区域 B、C、D、E 的正、反面激光冲击强化。

[0046] 本发明采用分区域强化和调整光斑行进路径的方式,各分区内采用垂直于焊缝方向的光斑扫描方式,使每个激光光斑产生的塑形变形的顺序发生改变,从而导致垂直和平行焊缝方向的累积塑形应变发生改变,有效减小因垂直焊缝方向的试板变形而使该方向的残余压应力提高。由此,减小激光冲击强化过程中焊接结构的变形量,同时弱化因变形导致的先强化表面残余压应力衰减程度。

[0047] 以上所述仅为本发明示意性的具体实施方式,并非用以限定本发明的范围。任何本领域的技术人员,在不脱离本发明的构思和原则的前提下所作出的等同变化与修改,均应属于本发明保护的范围。

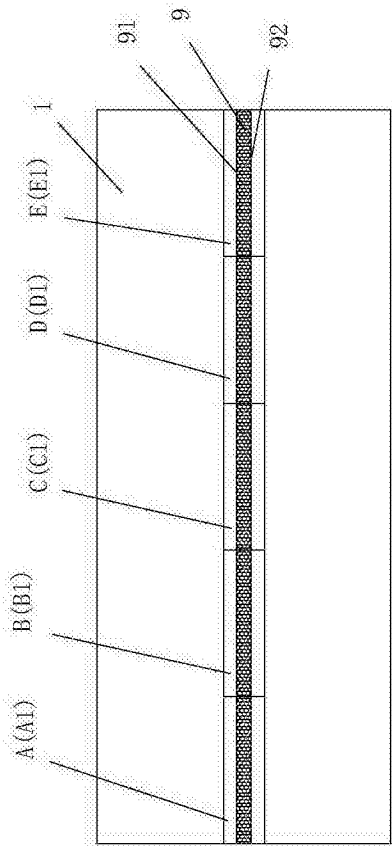


图 1A

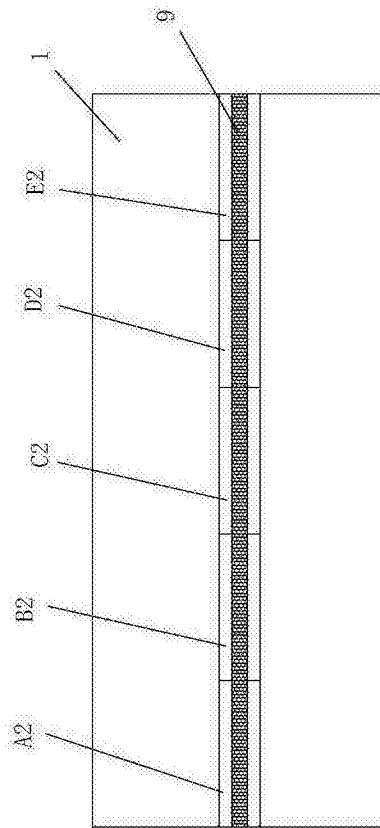


图 1B

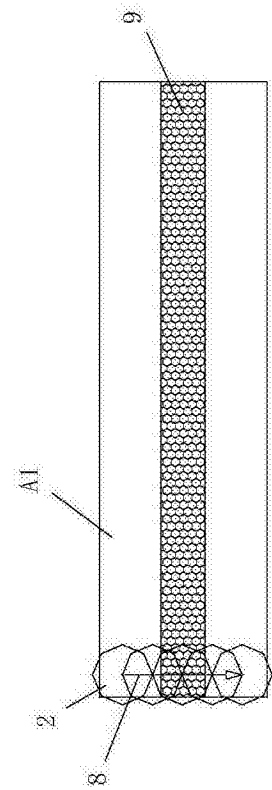


图 2A

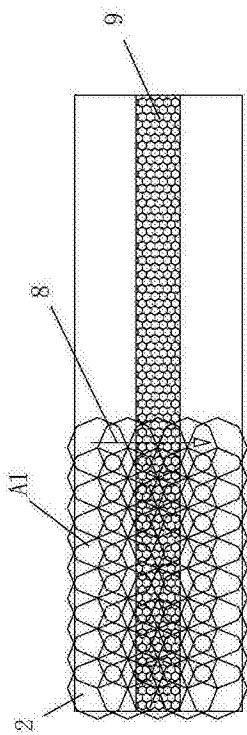


图 2B

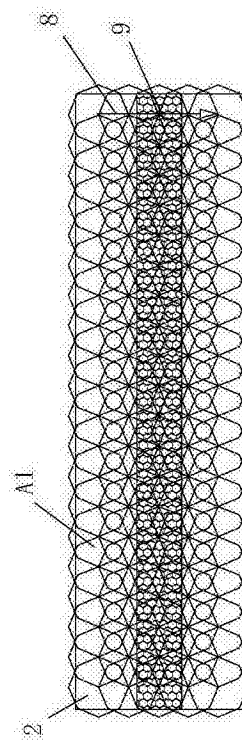


图 2C