

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2023 年 8 月 31 日 (31.08.2023)



(10) 国际公布号
WO 2023/159477 A1

- (51) 国际专利分类号:
B22F 10/50 (2021.01) *B33Y 10/00* (2015.01)
C23C 24/10 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2022/077959
- (22) 国际申请日: 2022 年 2 月 25 日 (25.02.2022)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202210161475.3 2022年2月22日 (22.02.2022) CN
- (71) 申请人: 江苏大学 (JIANGSU UNIVERSITY) [CN/
CN]; 中国江苏省镇江市京口区学府路
301号, Jiangsu 212013 (CN)。

- (72) 发明人: 鲁金忠 (LU, Jinzhong); 中国江苏省镇江市
京口区学府路301号, Jiangsu 212013 (CN)。 徐祥
(XU, Xiang); 中国江苏省镇江市京口区学府路301
号, Jiangsu 212013 (CN)。 罗开玉 (LUO, Kaiyu);
中国江苏省镇江市京口区学府路301号, Jiangsu
212013 (CN)。 杜家龙 (DU, Jialong); 中国江苏
省镇江市京口区学府路301号, Jiangsu 212013
(CN)。 卜星宇 (BU, Xingyu); 中国江苏省镇江市
京口区学府路301号, Jiangsu 212013 (CN)。
- (74) 代理人: 南京智造力知识产权代理有限公司 (NANJING DOYES INTELLECTUAL PROPERTY
CO., LTD.); 中国江苏省南京市江宁区芝兰路
18号4幢1202室, Jiangsu 211100 (CN)。
- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家
保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,

(54) Title: ECCENTRIC ULTRA-HIGH-SPEED LASER COMPOSITE MANUFACTURING METHOD FOR REVOLVING BODY COMPONENT

(54) 发明名称: 一种回转体构件偏心超高速激光复合制造方法

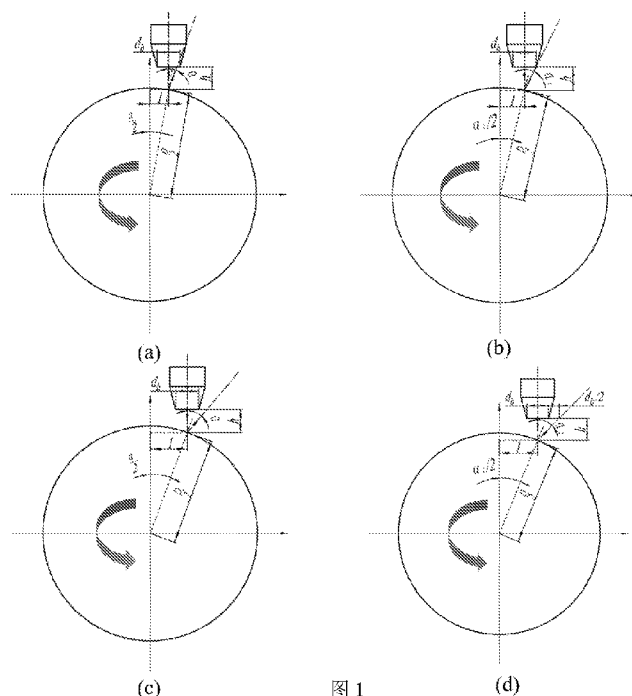


图 1

(57) Abstract: The present invention relates to an eccentric ultra-high-speed laser composite manufacturing method for a revolving body component. A positioning method employing a ultra-high-speed laser deposition processing head with a certain eccentric distance can not only effectively reduce the damage to the processing head by reflected light and extend the service life of the processing head, but also change the conventional molten pool morphology of ultra-high-speed laser deposition. That is, a "falling" morphology caused by high-speed motion and gravity is changed to a "climbing" morphology, so as to increase the time of full contact between the molten pool

BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

and the surface of the revolving body component and form good bonding performance. Moreover, an ultra-high-speed laser deposition composite technique is used to perform ultra-high-speed secondary melting treatment on the surface. Not only can the surface quality and the overall compactness of the deposition layer can be effectively improved, but also the microstructure of the deposition layer can be homogenized, thereby significantly improving the comprehensive performance of the repaired or enhanced deposition layer.

(57) 摘要: 本发明涉及一种回转体构件偏心超高速激光复合制造方法。通过一定偏心距离的超高速激光沉积加工头的定位方法, 不仅能够有效地减少反射光对加工头的损伤, 延长其使用寿命, 而且也能够改变超高速激光沉积的常规熔池形态, 即由高速运动和重力引起的"下坠"形态转变为"爬升"形态, 在超高速激光沉积加工过程中提高熔池与回转体构件表面充分接触的时间, 形成良好的结合性能; 其次, 采用超高速激光沉积复合超高速激光表面二次熔融处理, 不仅可以有效地改善沉积层的表面质量和整体致密性, 还可以促进沉积层组织的均匀化, 显著提高修复或者强化沉积层的综合性能。

一种回转体构件偏心超高速激光复合制造方法

技术领域

本发明涉及到超高速激光沉积复合超高速激光表面二次熔融技术，属于超高速动能驱使条件下的极端增材制造领域，特指一种回转体构件偏心超高速激光复合制造方法。

背景技术

高速激光熔覆技术是通过同步送粉方式，利用高能密度的束流使添加材料与高速率运动的基体材料表面同时熔化，并快速凝固后形成稀释率极低，与基体呈现冶金结合的熔覆层，极大提高熔覆速率，显著改善基体材料表面的耐磨、耐蚀、耐热、抗氧化等工艺特性的工艺方法。特别适合在轴类零件进行修复再制造，也能在平面和复杂曲面上进行加工，在工程机械、航空航天行业、冶金领域具有广泛的应用前景，成为可替代传统电镀技术的一种绿色再制造工艺。

回转类零件例如煤矿行业中液压支架、冶金行业的轧辊以及海洋平台管道和立柱等，对外表面有耐磨耐蚀等性能要求，是表面制造行业中的一个主要应用领域。但是在目前超高速激光沉积加工过程中仍然存在几个问题：首先，在较长长度和较大直径的回转体构件表面进行长时间的超高速激光沉积制造过程中，由于激光长时间的反射作用，极大缩短了其核心部件（主要是激光加工头）的使用寿命；其次，表面形成的熔池将随着高速旋转的基材离开回转体构件的顶部，并且受到重力的影响，在极短的凝固时间内来不及与基材充分结合；此外，在大型工程回转体构件大面积超高速激光沉积制造过程中还不可避免的出现熔覆层裂纹、气孔等制造缺陷以及涂层表面出现半熔化和未熔化颗粒附着等问题，使得表面粗糙度较大，由此增加了后续二次加工的工作量，严重增加企业的生产成本。

发明内容

针对上述问题，本发明的目的在于能够解决超高速激光沉积加工核心部件损耗，加工过程中熔池与基材作用时间短以及在大型工程回转体构件大面积制造的质量问题，提供一种回转体构件偏心超高速激光复合制造方法，在超高速激光沉积过程中不仅能够保护核心部件，提高熔池与基材作用时间，同时采用超高速激光复合制造方法能够进一步提高沉积层的致密性和综合性能。

所述方法包括以下步骤：

步骤一、对待加工回转体构件进行预处理，然后装夹到超高速激光沉积加工机床上面；

步骤二、根据待加工回转体构件的直径与超高速激光沉积加工头的出光口直径，利用机械手调整和控制超高速激光沉积加工头出光口与回转体构件的相对偏心位置；

步骤三、开启超高速激光沉积加工系统和超高速激光沉积加工专用送粉系统，根据回转体构件的修复或者表面强化的要求，选择合适的超高速激光沉积加工用的工艺参数和专用粉末，调整激光光斑焦平面与粉末汇聚焦平面重合，根据熔池在回转体构件表面的稀释率，采取正离焦的方式位于待加工回转体构件的正上方一定距离内；

步骤四、在超高速激光沉积加工系统的数控操作面板上面编辑加工程序，进行超高速激光沉积加工，在回转体构件的表面制备一层符合厚度要求的沉积层，在第一道沉积层加工完毕后，超高速激光沉积加工头自动返回步骤四的初始位置；

步骤五、以加工好的沉积层表面为基准，在竖直方向上调整超高速激光沉积加工头出光口与加工好的沉积层表面的相对位置；

步骤六、再次开启超高速激光沉积加工系统，不打开超高速激光沉积加工专用送粉系统，选择合适的工艺参数对加工好的沉积层进行超高速激光表面二次熔融处理；

步骤七、根据工程实际应用的回转体构件表面修复或者强化层的整体厚度需求，重复步骤四、五和六，在回转体构件表面进行优异性能的沉积层制备。

优选的，所述步骤一中，超高速激光沉积加工机床为五轴联动的数控机床，X轴的最大工作行程为 5000 mm，移动速度为 0-10000 mm/min；Y轴的最大工作行程为 350 mm，移动速度为 0-10000 mm/min，Z轴的最大工作行程为 600 mm，主轴伺服转速 0-300 r/min，三爪卡盘直径为 $\Phi 640$ mm。

优选的，所述步骤一中，对待加工回转体构件的预处理包括两种形式：对于具有一定损伤深度的表面修复要求的回转体构件，先进行粗车加工外圆面直至去除整个损伤部位；对于表面强化的回转体构件，直接将表面打磨光滑，并用酒精清洗干净后吹干。

优选的，所述步骤二中，超高速激光沉积加工头出光口与回转体构件的相对偏心位置，即为超高速激光沉积加工头的中垂线与待加工回转体构件的中垂线的

距离 l (附图 1(a)所示)。其中超高速激光沉积加工头出光口的直径为 d_h 、超高速激光沉积加工头出光口中心与待加工回转体构件高度为 h 、待加工回转体构件的直径为 D 以及激光束的入射方向与反射方向的夹角为 α , 定义: $\alpha_1 = \arctan \frac{d_h}{2h}$ (附图 1(b));

$\alpha_2 = 2 \arctan \frac{d_h}{2h}$ (附图 1(d))。因此, l 调节范围遵循 $\alpha_1 < \alpha \leq \alpha_2$ (附图 1(c)), 则设置超高速激光沉积加工头出光口与回转体构件的相对偏心位置的调节区间为 $l \in \left(\frac{D}{2} \sin \left(\arctan \frac{d_h}{2h} \right), \frac{D}{2} \sin \left(2 \arctan \frac{d_h}{2h} \right) \right]$ 。

优选的, 所述步骤三中, 超高速激光沉积加工用的工艺参数包括激光功率为 2000 W-10000 W, 激光光斑直径为 1.5-3 mm, 激光扫描线速度为 333-2000 mm/s, 沉积层搭接率为 70-85%, 保护气流量为 5-20 L/min; 所述的超高速激光沉积加工专用送粉系统主要包括双筒同步送粉器、搅拌系统、加温系统、大气体流量调节装置和防静电管路, 其中单筒送粉器的容量可达 5 L, 送粉速率为 2-150 g/min, 送粉精度为 ± 2 g/min, 可以实现 300-600 目粉末的长距离输送; 超高速激光沉积过程中熔池在回转体构件表面的稀释率一般 $< 8\%$, 因此, 激光光斑焦平面与粉末汇聚焦平面的重合面位于待加工回转体构件偏心位置正上方 3-10 mm 的距离内。

优选的, 所述步骤五中, 超高速激光沉积加工头出光口与加工好的沉积层表面的相对位置, 基于沉积层的厚度 d 与超高速激光表面二次熔融处理后沉积层厚度变化 Δd 进行调整 (附图 2 所示), 即超高速激光沉积加工头在步骤四的基础上竖直向上抬升的距离为 $d - \Delta d$ 。

优选的, 所述步骤六中, 超高速激光表面二次熔融处理涉及到的工艺参数主要包括激光功率和扫描速度, 基于沉积层的能量吸收值进行调控, 即

$Q = \eta \frac{12P}{\pi d^2} \times e^{-\frac{12L^2}{d^2}}$, 其中 Q 为沉积层吸收的有效激光能量, P 为激光功率, η 为沉积层材料对激光束的吸收率, d 为激光光斑直径, L 为超高速激光表面二次熔融在沉积层表面形成的熔池有效长度; η 可以表示为: $\eta = \frac{2}{\sqrt{30}} \times \sqrt{\frac{R_{dz}}{\lambda}}$, 其中 R_{dz} 为

沉积层的电阻率, λ 为激光波长; L 可以表示为 $\sqrt{\frac{d_o^2}{4} + (vt)^2}$ 其中, d_o 为激光光束

在沉积层表面的实际直径， v 为激光扫描速度， t 为熔池凝固时间。

本发明提供一种回转体构件偏心超高速激光复合制造方法，通过一定偏心距离的超高速激光沉积加工头的定位方法，不仅能够有效地减少反射光对加工头的损伤，延长其使用寿命，而且也能够改变超高速激光沉积的常规熔池形态，即由高速运动和重力引起的“下坠”形态转变为“爬升”形态，在超高速激光沉积加工过程中提高熔池与回转体构件表面充分接触的时间，形成良好的结合性能。其次，采用超高速激光沉积复合超高速激光表面二次熔融处理，不仅可以有效地改善沉积层的表面质量和整体致密性，还可以促进沉积层组织的均匀化，显著提高修复或者强化沉积层的综合性能。

附图说明

图 1 为本发明超高速激光加工头出光口与回转体构件相对偏心位置 l 调节范围示意图。(a) 为激光光束反射的干涉位置，(b) 为最小偏心位置，(c) 为有效偏心位置，(d) 为最大偏心位置。

图 2 为本发明所述一种回转体构件偏心超高速激光复合制造方法制备的沉积层厚度变化示意图，其中 1 为回转体构件，2 为步骤四中得到超高速激光沉积层，3 为步骤六中得到的超高速激光表面二次熔融层。

图 3 为应用本发明所述一种回转体构件偏心超高速激光复合制造方法制备的单层和多层不锈钢沉积层截面示意图。(a) 单层超高速激光沉积层，(b) 单层超高速激光复合沉积层，(c) 多层超高速激光复合沉积层。

图 4 为本发明实施例中一种煤矿机械中的 27SiMn 液压活塞杆偏心超高速激光复合制造图。(a) 为基材安装及设备调试，(b) 为加工过程。

表 1 为不同偏心条件下制备的超高速激光沉积层拉伸性能测试结果。

具体实施方式

为了更清楚地说明本发明所述的技术方案，下面结合实例及附图对本发明具体实施作进一步详述，但本发明不仅限于实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

以一种煤矿机械中的 27SiMn 液压活塞杆为基材，在表面制备强化沉积层为例（附图 4 所示）。基材的直径为 102 mm，长度为 2 m，超高速激光沉积用的粉末为专用的 17Cr4Ni2MoSi 铁基不锈钢粉末，粉末粒度为 25-53 μm ，化学成分为：

0.12%C, 17.25%Cr, 1.73%Mo, 4.39%Ni, 0.41%Mn, 1.00%Si, 余量为 Fe。具体制造步骤为:

步骤一、对待强化的液压活塞杆表面采用 600#砂纸进行打磨去除表面氧化皮等杂质,然后用酒精清洗干净后吹干并装夹到超高速激光沉积加工机床上,采用三爪卡盘进行夹紧固定(附图 3(a)所示),采用径向动平衡仪对液压活塞杆进行调平,在 200 rpm 旋转的情况下的径向跳动误差小于 5 μm ;

步骤二、利用机械手调节并确定超高速激光沉积加工头出光口与液压活塞杆的相对位置 l 。在本实施例中,超高速激光沉积加工头出光口的直径 d_h 为 8 mm,超高速激光沉积加工头出光口中心与液压立柱杆的高度 h 为 18 mm,则 $\alpha_1=12.53^\circ$, $\alpha_2=25.06^\circ$,因此 l 调节范围遵循 $12.53^\circ < \alpha \leq 25.06^\circ$,得到超高速激光沉积加工头出光口与液压活塞杆的相对偏心位置的调节区间为 $l \in (11.06, 21.60 \text{ mm}]$,本实施例中确定三组 l 的值分别为 12、16 和 20 mm;

步骤三、打开超高速激光沉积系统,设置激光光斑直径为 2 mm,激光功率为 3800 W,扫描速度为 1333 mm/s,沉积层搭接率为 75%,保护气流量为 6.5 L/min;将 17Cr4Ni2MoSi 铁基粉末进行 100 $^\circ\text{C}$ 下 2 小时烘干处理,然后装入送粉系统的双筒中,调节双筒的送粉速率均为 15 g/min,同时开启双筒送粉;为了保证熔池在回转体构件表面的稀释率小于 5%,调整激光光斑焦平面与粉末汇聚焦平面重合,重合的焦平面位于液压活塞杆偏心位置正上方 6 mm 处;

步骤四、在超高速激光沉积加工系统的数控操作面板上面根据液压活塞杆的尺寸和步骤三中的加工参数编辑加工程序,启动激光器和超高速激光沉积加工机床,在液压活塞表面制备一层厚度约为 126 μm 的沉积层(附图 3(a)所示),在第一道沉积层加工完毕后,超高速激光沉积加工头自动返回步骤四的初始位置;

步骤五、以加工好的沉积层表面为基准,在竖直方向上面调整超高速激光沉积加工头出光口与加工好的沉积层表面的相对位置,根据在同等激光功率和扫描速度的工艺参数条件下重复多次的复合加工试验结果,超高速激光表面二次熔融处理后,超高速激光沉积层的厚度下降 9-12 μm ,因此在步骤四的基础上,超高速激光加工头竖直向上抬升 114-117 μm ;

步骤六、基于已有的研究基础,铁基不锈钢对激光束的吸收率约为 0.35,则 Q 可以表示为 $128.56P \times e^{-115.34L^2}$,进一步测得激光光束在沉积层表面的实际直径为 3.6 mm,但是超高速激光沉积的扫描速度可达 1000 mm/s 以上,因此 L 可以

近似表示为 vt ， Q 可以进一步表示为： $128.56P \times e^{-vt}$ ，即沉积层吸收的有效激光能量与激光功率成正比例关系，与扫描速度成反比关系。在本实施例中，步骤四制备的单层超高速激光沉积层内部无明显的裂纹和较大的孔洞出现，而是在表面附着大量的未熔或者半熔化的粉末颗粒，因此设置的超高速激光表面二次熔融处理的工艺参数主要作用在超高速激光沉积层的近表面区域即可。因此，在超高速激光沉积加工专用送粉系统关闭情况下，打开超高速激光沉积系统，设置激光功率为 2850 W，扫描速度为 1333 mm/s，其他工艺参数保持不变，对步骤四加工好的沉积层进行超高速激光表面二次熔融处理，得到单层复合制造沉积层（附图 3(b)所示）。

步骤七、根据工程实际应用的回转体构件表面强化层的整体厚度需求，重复步骤四、五和六，在回转体构件表面进行优异性能的沉积层制备。

本实施例一共制备三层复合制造沉积层（附图 3(c)所示），整个沉积层无明显的气孔、裂纹等缺陷出现。

附图 3 为沉积层横截面显微图，其中超高速激光复合沉积层的表面粗糙度降 60%，致密性可达 99.8%。表 1 显示了本发明提供的技术方法制备的沉积层与无偏心条件下制备的沉积层的力学性能的测试对比结果，表明本发明提供的技术方法能够将超高速激光沉积层的层间结合强度提升 22%左右。此外，在无偏心条件的情况下，超高速激光沉积加工头在连续工作 1 h 后，由于反射光的干涉影响，需要进行空冷和用钢刷清除出光口处附着的熔融粉末，不仅极大的降低生产效率，而且缩短了设备的使用寿命。因此，应用本发明提供的技术方案不仅能够有效地减少反射光对加工头的损伤，延长其使用寿命，还能够明显消除超高速激光沉积层表面熔融粉末颗粒附着和内部裂纹、气孔等缺陷问题。

表 1

偏心距离 l/mm	极限抗拉强度/MPa	延伸率/%
0	861 ± 11	1.25 ± 0.14
12	1017 ± 14	1.48 ± 0.13
16	1048 ± 12	1.55 ± 0.29
20	1033 ± 14	1.56 ± 0.27

需要说明的是，对于本领域技术人员而言，显然本发明不限于上述示范性实

施例的细节，而且在不背离本发明的精神或基本特征的情况下，能够以其他的具体形式实现本发明。因此，无论从哪一点来看，均应将实施例看作是示范性的，而且是非限制性的，本发明的范围由所附权利要求而不是上述说明限定，因此旨在将落在权利要求的等同要件的含义和范围内的所有变化囊括在本发明内，不应将权利要求中的任何附图标记视为限制所涉及的权利要求。

权利要求书

1.一种回转体构件偏心超高速激光复合制造方法，其特征在于，包括以下步骤：

步骤一：对待加工回转体构件进行预处理，然后装夹到超高速激光沉积加工机床上面；

步骤二：根据待加工回转体构件的直径与超高速激光沉积加工头的出光口直径，利用机械手调整和控制超高速激光沉积加工头出光口与回转体构件的相对偏心位置；

步骤三：开启超高速激光沉积加工系统和超高速激光沉积加工专用送粉系统，根据回转体构件的修复或者表面强化的要求，选择合适的超高速激光沉积加工用的工艺参数和专用粉末，调整激光光斑焦平面与粉末汇聚焦平面重合，根据熔池在回转体构件表面的稀释率，采取正离焦的方式位于待加工回转体构件的正上方一定距离内；

步骤四：在超高速激光沉积加工系统的数控操作面板上面编辑加工程序，进行超高速激光沉积加工，在回转体构件的表面制备一层符合厚度要求的沉积层，在第一道沉积层加工完毕后，超高速激光沉积加工头自动返回步骤四的初始位置；

步骤五：以加工好的沉积层表面为基准，在竖直方向上调整超高速激光沉积加工头出光口与加工好的沉积层表面的相对位置；

步骤六：再次开启超高速激光沉积加工系统，不打开超高速激光沉积加工专用送粉系统，选择合适的工艺参数对加工好的沉积层进行超高速激光表面二次熔融处理；

步骤七：根据工程实际应用的回转体构件表面修复或者强化层的整体厚度需求，重复步骤四、五和六，在回转体构件表面进行优异性能的沉积层制备。

2.根据权利1要求所述的一种回转体构件偏心超高速激光复合制造方法，其特征在于：步骤一中，所述超高速激光沉积加工机床为五轴联动的数控机床，X轴的最大工作行程为5000 mm，移动速度为0-10000 mm/min；Y轴的最大工作行程为350 mm，移动速度为0-10000 mm/min，Z轴的最大工作行程为600 mm，主轴伺服转速0-300 r/min，三爪卡盘直径为 $\Phi 640$ mm。。

3.根据权利1要求所述的一种回转体构件偏心超高速激光复合制造方法，其特征在于：步骤一中，对待加工回转体构件的预处理包括两种形式：对于具有一

定损伤深度的表面修复要求的回转体构件, 先进行粗车加工外圆面直至去除整个损伤部位; 对于表面强化的回转体构件, 直接将表面打磨光滑, 并用酒精清洗干净后吹干。

4. 根据权利 1 要求所述的一种回转体构件偏心超高速激光复合制造方法, 其特征在于: 步骤二中, 超高速激光沉积加工头出光口与回转体构件的相对偏心位置, 即为超高速激光沉积加工头的中垂线与待加工回转体构件的中垂线的距离 l ; 其中超高速激光沉积加工头出光口的直径为 d_h 、超高速激光沉积加工头出光口中心与待加工回转体构件高度为 h 、待加工回转体构件的直径为 D 以及激光束的入射方向与反射方向的夹角为 α , 定义: $\alpha_1 = \arctan \frac{d_h}{2h}$; $\alpha_2 = 2 \arctan \frac{d_h}{2h}$; l 调节范围遵循 $\alpha_1 < \alpha \leq \alpha_2$, 则设置超高速激光沉积加工头出光口与回转体构件的相对偏

心位置的调节区间为 $l \in (\frac{D}{2} \sin(\arctan \frac{d_h}{2h}), \frac{D}{2} \sin(2 \arctan \frac{d_h}{2h})]$ 。

5. 根据权利 1 要求所述的一种回转体构件偏心超高速激光复合制造方法, 其特征在于: 步骤三中, 超高速激光沉积加工用的工艺参数包括激光功率为 2000 W-10000 W, 激光光斑直径为 1.5-3 mm, 激光扫描线速度为 333-2000 mm/s, 沉积层搭接率为 70-85%, 保护气流量为 5-20 L/min; 所述的超高速激光沉积加工专用送粉系统主要包括双筒同步送粉器、搅拌系统、加温系统、大气体流量调节装置和防静电管路, 其中单筒送粉器的容量可达 5 L, 送粉速率为 2-150 g/min, 送粉精度为 ± 2 g/min, 可以实现 300-600 目粉末的长距离输送; 激光光斑焦平面与粉末汇聚焦平面的重合面位于待加工回转体构件偏心位置正上方 3-10 mm 的距离内。

6. 根据权利 1 要求所述的一种回转体构件偏心超高速激光复合制造方法, 其特征在于: 步骤五中, 所述超高速激光沉积加工头出光口与加工好的沉积层表面的相对位置, 基于沉积层的厚度 d 与超高速激光表面二次熔融处理后沉积层厚度变化 Δd 进行调整, 即超高速激光沉积加工头在步骤四的基础上竖直向上抬升的距离为 $d - \Delta d$ 。

7. 根据权利 1 要求所述的一种回转体构件偏心超高速激光复合制造方法, 其特征在于: 步骤六中, 超高速激光表面二次熔融处理涉及到的工艺参数主要包括

激光功率和扫描速度，基于沉积层的能量吸收值进行调控，即 $Q = \eta \frac{12P}{\pi d^2} \times e^{-\frac{12L^2}{d^2}}$ ，

其中 Q 为沉积层吸收的有效激光能量， P 为激光功率， η 为沉积层材料对激光束的吸收率， d 为激光光斑直径， L 为超高速激光表面二次熔融在沉积层表面形成的熔池有效长度； η 可以表示为：

$\eta = \frac{2}{\sqrt{30}} \times \sqrt{\frac{R_{dz}}{\lambda}}$ ，其中 R_{dz} 为沉积层的电阻率，

λ 为激光波长； L 可以表示为 $\sqrt{\frac{d_o^2}{4} + (vt)^2}$ 其中， d_o 为激光光束在沉积层表面的实际直径， v 为激光扫描速度， t 为熔池凝固时间。

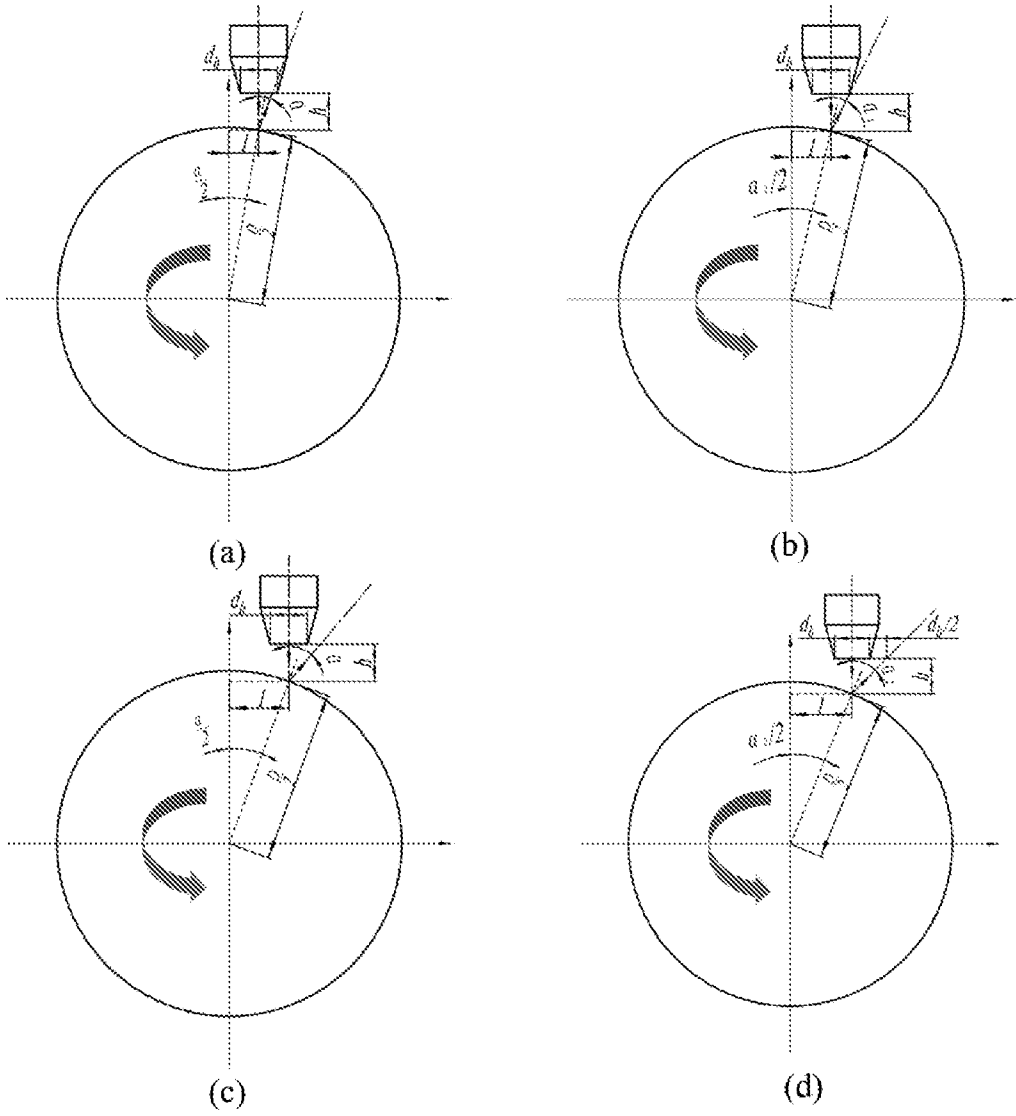


图 1

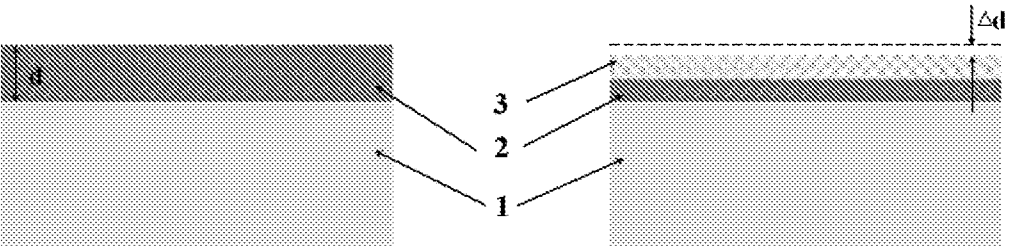


图 2

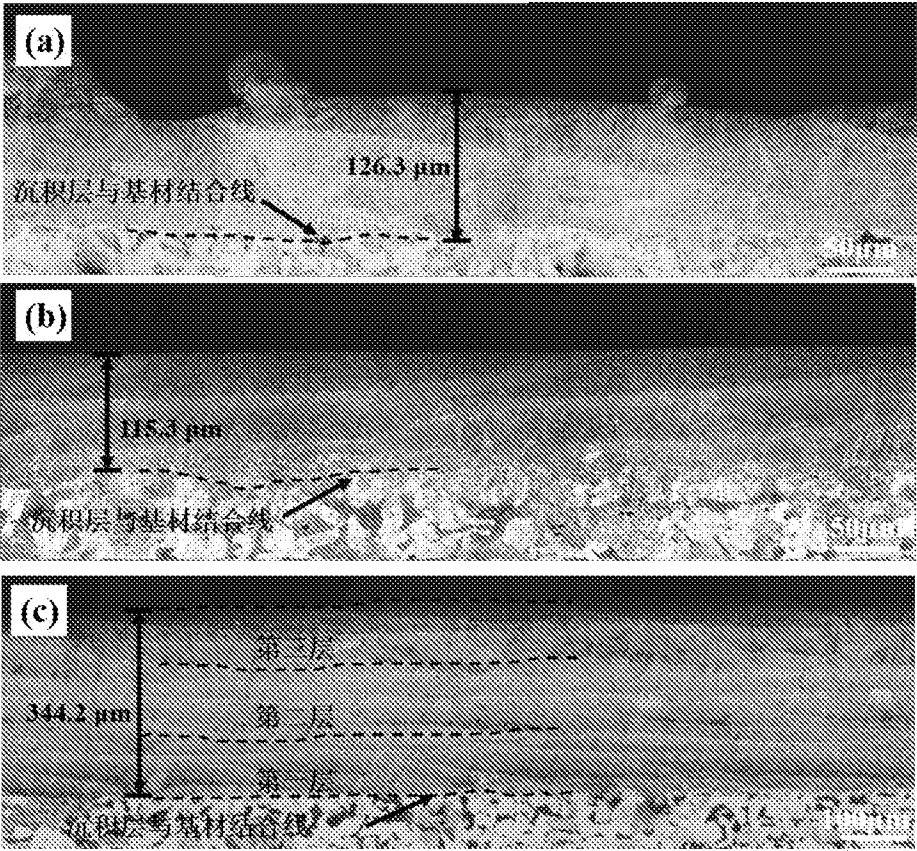


图 3

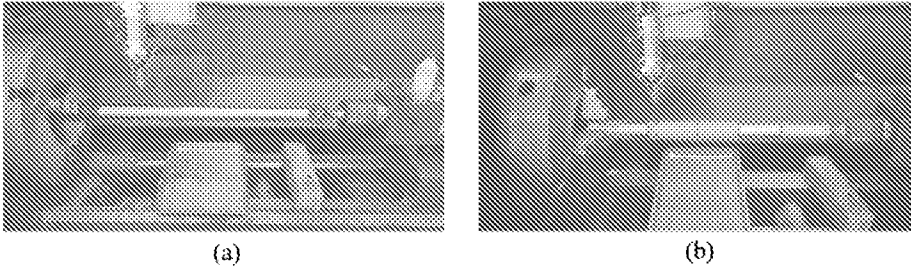


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/077959

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B22F 10/50(2021.01)i; C23C 24/10(2006.01)i; B33Y 10/00(2015.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B22F; C23C; B33Y; B23K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, EPODOC, WPI: 超高速, 激光, 熔覆, 涂层, 偏转, 偏心, 偏置, 倾斜, 倾角, 损伤, 寿命, 反射, 焊接, 头, 轴, 回转体, 旋转, high+, speed+, ultra+, laser, clad+, coat+, deflect+, adjust+, inclin+, reflect+, head, weld+, life, rotary, rotat+, axis

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 111501038 A (JIANGSU UNIVERSITY) 07 August 2020 (2020-08-07) description, paragraphs 2-33, and figures 1-2	1-7
Y	CN 113957436 A (LEISU (BEIJING) INTELLIGENT TECHNOLOGY CO., LTD.) 21 January 2022 (2022-01-21) description, paragraphs 4-47, and figures 1-3	1-7
Y	CN 111218684 A (JIANGSU UNIVERSITY) 02 June 2020 (2020-06-02) description, paragraphs 4-32, and figures 1-3	1-7
Y	CN 101468393 A (SHENYANG UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS (SUAA)) 01 July 2009 (2009-07-01) description, pages 1-7, and figures 1-7	1-7
A	US 5179260 A (SIEMENS AG.) 12 January 1993 (1993-01-12) entire document	1-7
A	CN 108220952 A (BEIJING JIKE GUOCHUANG LIGHTWEIGHT SCIENCE RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.) 29 June 2018 (2018-06-29) entire document	1-7



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

26 October 2022

Date of mailing of the international search report

24 November 2022

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088, China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/077959**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 108103498 A (BEIJING JIKE GUOCHUANG LIGHTWEIGHT SCIENCE RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.) 01 June 2018 (2018-06-01) entire document	1-7
A	CN 102179517 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 14 September 2011 (2011-09-14) entire document	1-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2022/077959

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	111501038	A	07 August 2020	None			
CN	113957436	A	21 January 2022	None			
CN	111218684	A	02 June 2020	CN	111218684	B	15 February 2022
CN	101468393	A	01 July 2009	CN	101468393	B	01 June 2011
US	5179260	A	12 January 1993	BR	9106768	A	29 June 1993
				JP	H05508808	A	09 December 1993
				DE	4115562	A1	20 February 1992
				EP	0543830	A1	02 June 1993
				ES	2051598	T3	16 June 1994
				WO	9203248	A1	05 March 1992
				DE	59101399	D1	19 May 1994
				EP	0543830	B1	13 April 1994
				WO	9203249	A1	05 March 1992
CN	108220952	A	29 June 2018	None			
CN	108103498	A	01 June 2018	None			
CN	102179517	A	14 September 2011	None			

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2022/077959

A. 主题的分类

B22F 10/50(2021.01)i; C23C 24/10(2006.01)i; B33Y 10/00(2015.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

B22F; C23C; B33Y; B23K

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNPAT, CNKI, EPDOC, WPI: 超高速, 激光, 熔覆, 涂层, 偏转, 偏心, 偏置, 倾斜, 倾角, 损伤, 寿命, 反射, 焊接, 头, 轴, 回转体, 旋转, high+, speed+, ultra+, laser, clad+, coat+, deflect+, adjust+, inclin+, reflect+, head, weld+, life, rotary, rotat+, axis

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
Y	CN 111501038 A (江苏大学) 2020年8月7日 (2020 - 08 - 07) 说明书第2-33段, 图1-2	1-7
Y	CN 113957436 A (镭速北京智能科技有限公司) 2022年1月21日 (2022 - 01 - 21) 说明书第4-47段, 图1-3	1-7
Y	CN 111218684 A (江苏大学) 2020年6月2日 (2020 - 06 - 02) 说明书第4-32段, 图1-3	1-7
Y	CN 101468393 A (沈阳航空工业学院) 2009年7月1日 (2009 - 07 - 01) 说明书第1-7页, 图1-7	1-7
A	US 5179260 A (SIEMENS AG.) 1993年1月12日 (1993 - 01 - 12) 全文	1-7
A	CN 108220952 A (北京机科国创轻量化科学研究院有限公司) 2018年6月29日 (2018 - 06 - 29) 全文	1-7
A	CN 108103498 A (北京机科国创轻量化科学研究院有限公司) 2018年6月1日 (2018 - 06 - 01) 全文	1-7

☒ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2022年10月26日

国际检索报告邮寄日期

2022年11月24日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局(ISA/CN)

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

受权官员

张艺

电话号码 86-10-53961168

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 102179517 A (华中科技大学) 2011年9月14日 (2011 - 09 - 14) 全文	1-7

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2022/077959

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	111501038	A	2020年8月7日	无	
CN	113957436	A	2022年1月21日	无	
CN	111218684	A	2020年6月2日	CN	111218684 B 2022年2月15日
CN	101468393	A	2009年7月1日	CN	101468393 B 2011年6月1日
US	5179260	A	1993年1月12日	BR	9106768 A 1993年6月29日
				JP	H05508808 A 1993年12月9日
				DE	4115562 A1 1992年2月20日
				EP	0543830 A1 1993年6月2日
				ES	2051598 T3 1994年6月16日
				WO	9203248 A1 1992年3月5日
				DE	59101399 D1 1994年5月19日
				EP	0543830 B1 1994年4月13日
				WO	9203249 A1 1992年3月5日
CN	108220952	A	2018年6月29日	无	
CN	108103498	A	2018年6月1日	无	
CN	102179517	A	2011年9月14日	无	