

(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
2019 年 6 月 27 日 (27.06.2019)



(10) 国际公布号
WO 2019/119853 A1

(51) 国际专利分类号:
B29C 64/10 (2017.01) **B33Y 10/00** (2015.01)
B23K 26/00 (2014.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2018/102601

(22) 国际申请日: 2018 年 8 月 28 日 (28.08.2018)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201711384816.9 2017 年 12 月 20 日 (20.12.2017) CN

(71) 申请人: 广东工业大学 (GUANGDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国广东省广州市番禺区广州大学城外环西路 100 号周盈如, Guangdong 510006 (CN)。

(72) 发明人: 张永康(ZHANG, Yongkang); 中国广东省广州市番禺区广州大学城外环西路 100 号周盈如, Guangdong 510006 (CN)。于秋云(YU, Qiuyun); 中国广东省广州市番禺区广州大学城外环西路 100 号周盈如, Guangdong 510006 (CN)。杨青

天(YANG, Qingtian); 中国广东省广州市番禺区广州大学城外环西路 100 号周盈如, Guangdong 510006 (CN)。杨丰槐(YANG, Fenghuai); 中国广东省广州市番禺区广州大学城外环西路 100 号周盈如, Guangdong 510006 (CN)。杨智帆(YANG, Zhifan); 中国广东省广州市番禺区广州大学城外环西路 100 号周盈如, Guangdong 510006 (CN)。

(74) 代理人: 深圳市尔逊专利代理事务所 (普通合伙) (SHENZHEN ELSON PATENT AGENT FIRM); 中国广东省深圳市宝安区福永街道锦灏大厦 513 周盈如, Guangdong 518000 (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, 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, 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,

(54) Title: LASER IMPACT FORGING AND LASER CUTTING COMBINED ADDITIVE MANUFACTURING DEVICE AND METHOD

(54) 发明名称: 一种激光冲击锻打与激光切割复合增材制造装置及方法

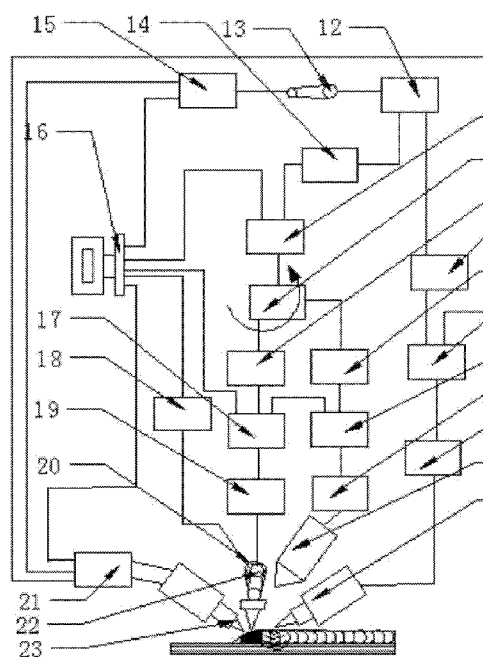


图 1

(57) Abstract: Provided are a laser impact forging and laser cutting combined additive manufacturing device and method. The device divides an output beam of a laser (13) into two laser beams by means of a beam splitter system to form two different light guide systems, wherein a first light guide system (14) is further divided into a third laser beam and a fourth laser beam that are respectively used for laser 3D printing and laser cutting, and the second laser beam is used for laser impact forging. A third-dimensional model is built according to individualized design requirements of parts; hierarchy slicing processing is performed to acquire slice profile information; hierarchy profiles of laser cutting parts and such internal complicated structures as cavities, pipes and cold distribution pipes are determined; 3D printing of the Nth layer of slices is performed by using the third laser beam; meanwhile, the second laser beam carries out synchronous laser impact forging in an optimal temperature zone; and when each layer of slices or the thicknesses of the slice layers meet requirements, the fourth laser beam works, so that the size precision and the surface quality are guaranteed, 3D printing with high rigidity, high precision and high efficiency is realized, and meanwhile, the advantages of high machining efficiency, high quality and long service life are achieved.

SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, 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, 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))。

(57) 摘要: 一种激光冲击锻打与激光切割复合增材制造装置及方法, 装置通过将激光器(13)的输出光束通过分光镜系统分成两激光束, 构成两个不同的导光系统, 第一导光系统(14)又分为第三激光束和第四激光束, 分别用于激光3D打印与激光切割, 第二激光束用于激光冲击锻打。根据零部件个性化设计要求, 建立三维模型, 分层切片处理获取切片轮廓信息, 确定激光切割零件分层轮廓及腔室、管道、冷配管等内部复杂结构, 第三激光束3D打印第N层切片, 同时第二激光束在最佳温度区同步激光冲击锻打, 每一层切片或切片层厚度达到要求时第四激光束工作, 保证了尺寸精度和表面质量, 实现高刚度、高精度和高效率的3D打印, 同时具有加工效率高、质量好、寿命长的优点。

说明书

发明名称：一种激光冲击锻打与激光切割复合增材制造装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及增材制造技术领域，尤其涉及一种激光冲击锻打与激光切割复合增材制造装置及方法。

背景技术

[0002] 3D打印技术可以快速加工出传统方法难以制造的零件，对于复杂零部件而言具有极大的优势。但是目前3D打印机的实际使用仍属于快速成型范畴，据统计，3D打印生产的产品中，80%依旧是产品原型，仅有20%是最终产品。目前存在的主要问题是打印效率和加工精度之间的矛盾，要获得高精度的打印质量，需要切片较薄，这导致打印效率很低。而提高打印效率，则打印精度和表面光洁度较差，还需要进行后续的表面处理。另外，具有复杂结构的3D打印物品的内腔在打印完毕后难于做进一步处理，其表面质量难于保证，目前这些存在的缺陷严重限制了3D打印的实际应用。

[0003] 中国专利CN104493492A激光选区熔化与铣削复合加工设备及加工方法，立铣铣削加工装置置于密封成型室内侧，设备采用光路传输系统，成型范围分为四工位，系统协同工作，每一光路单元熔化一个工位内的金属粉末。本设备扫描若干层金属粉末后，转为铣削，高速精密切削零件的分层轮廓和内部孔洞，并切去成型面凸起部分，提高下一次激光成型的铺粉的质量。其存在如下问题：(1)沿着固定导轨移动的铣削成型范围有限，难以加工大尺寸复杂金属零部件。(2)SLM成型件的最终表面会有很多凹凸不平的条纹状，表面粗糙度一般为Ra15-50um,光斑越大，成型精度越差，很难保证大尺寸零件的高效率、高精度同步进行。(3)大尺寸复杂曲面零件需要二次加工，仍需要换刀机构更换增材制造模块与减材制造模块。(4)铣刀铣削大尺寸复杂金属零部件塑性变形小，很难消除熔敷层内部的空洞、缩松、微裂纹等内部缺陷。

[0004] 因此，现有技术需要进一步改进和完善。

发明概述

技术问题

[0005] 本发明的目的在于克服现有技术的不足，提供一种加工效率高、质量好的激光冲击锻打与激光切割复合增材制造装置。

问题的解决方案

技术解决方案

[0006] 本发明的另一目的在于克服现有技术的不足，提供一种基于上述装置的制造方法。

[0007] 本发明的目的通过下述技术方案实现：

[0008] 一种激光冲击锻打与激光切割复合增材制造装置，包括用于产生及控制激光光束的激光发生系统、激光冲击锻打系统、3D打印系统、激光切割系统、用于监测零件内部结构性能、表面性能和形状尺寸的在线监测系统、以及将数据反馈给各激光束功率调节装置的实时跟踪反馈系统。所述激光发生系统分别与激光冲击锻打系统、3D打印系统、激光切割系统和实时跟踪反馈系统连接；所述在线监测系统与实时跟踪反馈系统连接。

[0009] 具体的，所述激光发生系统包括计算机、激光器、激光器功率调节装置、将激光束分成第一激光束和第二激光束的分光镜、用于控制第一激光束的第一导光系统、第一功率调节装置、以及将第一激光束分成第三激光束和第四激光束的可调分束器；所述计算机、激光器功率调节装置、激光器、分光镜依次连接；所述第一功率调节装置的一端与第一导光系统连接，另一端与可调分束器连接。

[0010] 具体的，所述激光冲击锻打系统包括用于控制第二激光束的第二导光系统、激光冲击锻打功率调节装置、激光冲击锻打激光头、以及激光冲击锻打控制系统；所述第二导光系统、激光冲击锻打功率调节装置、激光冲击锻打控制系统和激光冲击锻打激光头依次连接，所述第二导光系统与分光镜连接。

[0011] 具体的，所述激光切割系统包括用于控制第四激光束的第四导光系统、激光切割功率调节装置、激光切割激光头、以及激光切割控制系统；所述第四导光系统、激光切割功率调节装置、激光切割控制系统、激光切割激光头依次连接，所述第四导光系统与可调分束器连接。

- [0012] 具体的,所述3D打印系统包括用于控制第三激光束的第三导光系统、3D打印功率调节装置、3D打印头、送粉系统、光粉同轴传送的送粉头、以及3D打印控制系统;所述第三导光系统、3D打印功率调节装置、3D打印控制系统、3D打印头依次连接;所述送粉头安装在3D打印头上,并通过送粉系统与计算机连接;所述第三导光系统与分速器连接。
- [0013] 具体的,所述实时跟踪反馈系统分别与计算机、激光功率调节装置、第一功率调节装置、激光冲击锻打功率调节装置、激光切割功率调节装置、3D打印功率调节装置连接。
- [0014] 作为本发明的优选方案,所述激光切割激光头与3D打印头相邻且并列设置,所述可调分束器分别控制激光切割激光头和3D打印头同时工作或单独工作。具体的,激光器同时向激光切割激光头、3D打印头和冲击锻打激光头供能,激光切割激光头与3D打印头相邻且并列布置。激光器的激光发射端连接分光镜,分一束激光为第一激光束和第二激光束,第一导光系统又经可调分束器,将第一激光束分为第三激光束和第四激光束,分别用于3D打印和激光切割。可调分束器能使激光切割激光头和3D打印头同时或单独工作,实现了激光切割和激光3D打印的功能一体化,不仅各路激光功率可调,还减少激光器的数量,降低了设备的成本,提高了设备的紧凑性。
- [0015] 作为本发明的优选方案,所述激光冲击锻打系统设置在与激光切割激光头和3D打印头同一侧或与其相对的一侧,且激光冲击锻打系统可在工作台上自由移动。具体的,所述第二导光系统、激光冲击锻打功率调节装置、激光冲击锻打控制系统和激光冲击锻打激光头能自由移动于工作台两侧,即保持激光器不动,将整个激光冲击锻打系统移动于零件两侧或同侧工作。3D打印系统和激光冲击锻打系统同侧分布,与在线监测系统三者同步耦合作用,激光冲击锻打使熔覆层晶粒细化,消除了熔敷层的气孔等内部缺陷和热应力,显著提高了金属零件的内部质量和机械力学综合性能,并有效控制宏观变形与开裂问题。3D打印系统和激光冲击锻打系统呈中心线对称分布在叶片两侧相应部位,在线监测系统与3D打印系统相隔一定距离分布,也可独立旋转至激光冲击锻打侧,实现三者的同步作用,叠加冲击波抵消内部应力,消除了气孔等内部缺陷,显著提高了金属

零件的内部质量和机械力学综合性能，并大大提高效率。通过误差分析选择最优的工作方案，利于加快加工效率。

[0016] 作为本发明的优选方案，所述激光切割系统可作用于一层或多层切片层。本发明设计激光切割系统对切片层厚度没有要求。可根据个性化设计要求，针对不同功能要求，不同结构，不同区域，不同工艺过程等，确定激光切割的最佳层数。对有腔室、管道、冷配管等内部设置的复杂结构激光切割一层切片层，根据个性化设计模型，精确控型，无需后处理等工艺过程，对每一层切片的同步作用，可消除内部残余应力、气孔、裂纹等内部缺陷，消除了多层切片叠加后的应力叠加等缺陷。激光切割非个性化区域的多层切片层时，可严格形状尺寸等宏观变形；可降低切片层间的作用力和内部缺陷；可避免后处理等二次加工，保证加工质量，提高效率。

[0017] 本发明的另一目的通过下述技术方案实现：

[0018] 一种激光冲击锻打与激光切割复合增材制造方法，该制造方法包括如下具体步骤：

[0019] 步骤S1：原始数据输入：根据个性化设计要求设计待成形件的三维模型，分层切片处理，确定适合激光切割的最佳层数，计算3D打印主要工艺参数，并进行参数优化，估算激光冲击锻打主要工艺参数，并进行参数优化，确定激光冲击锻打最佳温度区；将相关数据传输到计算机中作为原始数据，并作为激光冲击锻打与激光切割复合增材制造工艺相关参数的调节控制标准；

[0020] 步骤S2：误差分析：激光3D打印成形第1层切片，同时在最佳温度区同步激光冲击锻打，到达第N层切片时，激光切割零件分层轮廓及内部复杂结构；在线监测系统监测零件内部结构性能、表面性能和形状尺寸是否达到理想要求，对比分析步骤1原始数据，确定相关工艺参数是否设置正确，进行误差分析，自动补偿工艺参数，确定最终最佳工艺参数设置；

[0021] 步骤S3：同侧自动补偿同步冲击锻打与3D打印成形第N层切片：3D打印系统和激光冲击锻打系统安置在工作台同一侧，根据待成形零件内部设置腔室、管道、冷配管的个性化设计要求，3D打印系统打印成形第N层切片，同时实时在线监测成形切片层内部结构性能、表面性能和形状尺寸，实时反馈系统将数据参数

先后反馈给3D打印系统和激光冲击锻打系统，自动补偿相关工艺参数；与此同时第二激光束控制系统控制激光冲击锻打系统同步工作，实现3D打印—检测和反馈—激光冲击锻打的同步耦合作用；

[0022] 步骤S4：同侧实现3D打印—检测和反馈—激光冲击锻打的同步耦合作用后进行数据采集和误差分析：在线监测系统采集待成形件内部结构性能、表面性能和形状尺寸参数和激光器的四激光束参数，计算机记录保存数据后，反馈给3D打印功率调节装置和激光冲击锻打功率调节装置，并进行误差分析；分析计算最佳同侧成形切片厚度 N ，确定两侧成形切片厚度是否达到要求；

[0023] 步骤S5：若同侧实现3D打印—检测和反馈—激光冲击锻打的同步耦合作用达到相关要求，误差在允许的误差范围内，则激光切割系统工作，根据个性化设计要求，激光切割待成形件腔室、管道、冷配管的内部设置；否则进入步骤S6；

[0024] 步骤S6：两侧自动补偿同步冲击锻打与3D打印成形第 $N+1$ 层切片：3D打印系统和激光冲击锻打系统分布两侧，根据待成形零件内部设置的个性化设计要求，3D打印系统打印成形第 $N+1$ 层切片，同时实时在线监测成形切片层内部结构性能、表面性能和形状尺寸，实时反馈系统将数据参数先后反馈给3D打印系统和激光冲击锻打系统，自动补偿相关工艺参数；与此同时激光冲击锻打系统同步工作，实现3D打印—检测和反馈—激光冲击锻打的同步耦合作用；

[0025] 步骤S7：两侧实现3D打印—检测和反馈—激光冲击锻打的同步耦合作用后进行数据采集和误差分析：在线监测系统采集待成形件内部结构性能、表面性能和形状尺寸参数和激光器的四激光束参数，计算机记录保存数据后，反馈给3D打印功率调节装置和激光冲击锻打功率调节装置，并进行误差分析；分析计算最佳两侧成形切片厚度 $N^{\wedge}$ ，确定两侧成形切片厚度是否达到要求；

[0026] 步骤S8：若两侧实现3D打印—检测和反馈—激光冲击锻打的同步耦合作用达到相关要求，误差在允许的误差范围内，则激光切割系统工作，根据个性化设计要求，激光切割待成形件腔室、管道、冷配管的内部设置；否则进入步骤S9；

[0027] 步骤S9：对比分析同侧自动补偿3D打印系统和激光冲击锻打系统同步耦合作

用的相关数据以及两侧自动补偿3D打印系统和激光冲击锻打系统同步耦合作用的相关数据，选择其中效果最佳的工作方案；

[0028] 步骤S10：按照最佳工作方案不断重复加工，直至成形件内部结构性能、表面性能和形状尺寸相关参数接近理想要求且误差在允许的误差范围内为止。

[0029] 作为本发明的优选方案，所述N的取值为8至10层。

[0030] 作为本发明的优选方案，所述N[^]的取值为8至10层。

发明的有益效果

有益效果

[0031] 与现有技术相比，本发明还具有以下优点：激光冲击锻打导光系统能自由移动于工件两侧，使3D打印系统和激光冲击锻打导光系统分布于工件同侧或两侧，3D打印系统增材制造第N层切片，同时在最佳温度区同步激光冲击锻打，根据个性化零部件的三维模型，激光切割分层轮廓及腔室、管道、冷配管等内部复杂结构，在线监测系统监测工件表面性能和形状尺寸，实时跟踪反馈系统将在线监测系统监测到的数据反馈给激光束功率调节装置，自动补偿相关参数，消除3D打印成形和同步冲击锻打的协同影响，提高工件表面精度的同时，也很大程度上提高了加工效率。另外，通过计算机和各模块配合，通过采集到的数据分析误差，选择最优的工作方案，使工件不断地被优化直至达到工件加工要求。

对附图的简要说明

附图说明

[0032] 图1为本发明实施例3D打印系统和激光冲击锻打导光系统位于工作合同侧时的结构示意图；

[0033] [0033]图2为本发明实施例3D打印系统和激光冲击锻打导光系统位于工作台两侧时的结构示意图；

[0034] 图3为本发明实施例的工作原理图。

[0035] 上述附图中的标号说明：

[0036] 1-激光冲击锻打激光头，2-激光切割激光头，3-激光冲击锻打控制系统，4-激光奇哥控制系统，5-激光切割功率调节装置，6-激光冲击锻打功率调节装置，7-第四导光系统，8-第二导光系统，9-第三导光系统，10-可调分束器，11-第一功

率调节装置, 12-分光镜, 13-激光器, 14-第一导光系统, 15-激光器功率调节装置, 16-计算机, 17-3D打印功率调节装置, 18-送粉系统, 19-3D打印控制系统, 20-送粉头, 21-实时跟踪反馈系统, 22-3D打印头, 23-在线监测系统。

发明实施例

本发明的实施方式

[0037] 为使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚、明确, 以下参照附图并举实施例对本发明作进一步说明。

[0038] 实施例1:

[0039] 如图1、图2和图3所示, 本发明公开了一种激光冲击锻打与激光切割复合增材制造装置及方法, 其中, 所述制造装置主要包括控制第二导光系统8、激光冲击锻打功率调节装置6和激光冲击锻打激光头1的激光冲击锻打控制系统3; 控制第四激光束导光系统7、激光切割功率调节装置5和激光切割的激光头2的激光切割控制系统4; 控制第三激光束导光系统9、3D打印功率调节装置17和3D打印头22的3D打印控制系统19; 送粉系统18; 光粉同轴传送的送粉头20; 监测零件内部结构性能、表面性能和形状尺寸的在线监测系统23; 将在线监测系统23监测到的数据反馈给各激光束功率调节装置的实时跟踪反馈系统21; 控制激光器13的功率调节装置15; 分光镜12; 第一导光系统14; 第一激光束功率调节装置11; 将第一激光束分成第三激光束和第四激光束的可调分束器10; 实时跟踪反馈系统21、送粉系统18、3D打印功率调节装置17、第一激光束功率调节装置11和功率调节装置15均与计算机16连接, 由计算机16控制。

[0040] 激光冲击锻打导光系统2能自由移动于工作台两侧, 使3D打印系统3和激光冲击锻打系统2同侧进行同步工作: 在线监测系统23与3D打印系统3和激光冲击锻打系统2之间的相隔距离, 由3D打印和冲击锻打相应温度场的交融分析得出, 实现三者的同步作用。3D打印系统3和激光冲击锻打系统2可分布在叶片两侧相应部位同步工作: 3D打印系统3和激光冲击锻打2系统呈中心线对称分布, 在线监测系统与3D打印系统相隔一定距离分布, 也可独立旋转至激光冲击锻打侧, 实现三者的同步作用。通过误差分析选择最优的工作方案, 利于加快加工效率。

[0041] 上述的3D打印系统3、激光冲击锻打系统2和激光切割系统4根据加工工艺过程

中的不同要求，激光器的激光束导光系统可以选择不同的参数。利用在线监测系统23同步检测成形件，通过实时跟踪反馈系统21，将零件内部结构性能、表面性能和形状尺寸等信息和参数调整传递给各激光束功率调节装置，分别调节控制各激光束的相关参数，自动补偿后重复多次加工。

[0042] 如图3所示，本发明公开了一种激光冲击锻打与激光切割复合增材制造方法，该方法具体的工作步骤如下：

[0043] (1)原始数据输入：

[0044] 根据个性化设计要求，例如：成形零件内部设置腔室、管道、冷配管等，设计待成形件的三维模型，分层切片处理，确定适合激光切割的最佳层数，计算3D打印主要工艺参数，并进行参数优化；估算激光冲击锻打主要工艺参数，并进行参数优化，确定激光冲击锻打最佳温度区。将相关数据传输到计算机中作为原始数据，并作为激光冲击锻打与激光切割复合增材制造工艺相关参数的调节控制标准。

[0045] (2)误差分析：

[0046] 激光3D打印成形第1层切片，同时在最佳温度区同步激光冲击锻打，到达第N层切片(N一般为8-10层数)时，激光切割零件分层轮廓及内部复杂结构。在线监测系统23监测零件内部结构性能、表面性能和形状尺寸是否达到理想要求，对比分析步骤1原始数据，确定相关工艺参数是否设置正确，进行误差分析，自动补偿工艺参数，确定最终最佳工艺参数设置。

[0047] (3)同侧自动补偿同步冲击锻打与3D打印成形第N层切片：

[0048] 3D打印系统3和激光冲击锻打系统2安置在工作台同一侧，根据待成形零件内部设置腔室、管道、冷配管等个性化设计要求，3D打印系统打印成形第N层切片，同时实时在线监测成形切片层内部结构性能、表面性能和形状尺寸等，实时反馈系统21将数据参数先后反馈给3D打印系统3和激光冲击锻打系统2，自动补偿相关工艺参数。与此同时第二激光束控制系统控制激光冲击锻打系统同步工作，实现3D打印—检测和反馈—激光冲击锻打的同步耦合作用。

[0049] (4)同侧实现3D打印—检测和反馈—激光冲击锻打的同步耦合作用后进行数据采集和误差分析：

- [0050] 在线监测系统23采集待成形件内部结构性能、表面性能和形状尺寸等参数和激光器的四激光束参数，计算机记录保存数据后，反馈给第三激光束功率调节装置和第二激光束功率调节装置，并进行误差分析。分析计算最佳同侧成形切片厚度 N (N 一般为8-10层数)，确定两侧成形切片厚度是否达到要求。
- [0051] (5)若同侧实现3D打印—检测和反馈—激光冲击锻打的同步耦合作用达到相关要求，误差在允许的误差范围内，则激光切割系统4工作，根据个性化设计要求，激光切割待成形件腔室、管道、冷配管等内部设置。否则进入步骤(6)。
- [0052] (6)两侧自动补偿同步冲击锻打与3D打印成形第 $N+1$ 层切片；
- [0053] 3D打印系统和激光冲击锻打系统分布两侧，根据待成形零件内部设置腔室、管道、冷配管等个性化设计要求，3D打印系统打印成形第 $N+1$ 层切片，同时实时在线监测成形切片层内部结构性能、表面性能和形状尺寸等，实时反馈系统将数据参数先后反馈给3D打印系统3和激光冲击锻打系统2，自动补偿相关工艺参数。与此同时第二激光束控制系统控制激光冲击锻打系统2同步工作，实现3D打印—检测和反馈—激光冲击锻打的同步耦合作用。
- [0054] (7)两侧实现3D打印—检测和反馈—激光冲击锻打的同步耦合作用后进行数据采集和误差分析：
- [0055] 在线监测系统采集待成形件内部结构性能、表面性能和形状尺寸等参数和激光器的四激光束参数，计算机记录保存数据后，反馈给第三激光束功率调节装置和第二激光束功率调节装置，并进行误差分析。分析计算最佳两侧成形切片厚度 N^* (N^* 一般为8-10层数)，确定两侧成形切片厚度是否达到要求。
- [0056] (8)若两侧实现3D打印—检测和反馈—激光冲击锻打的同步耦合作用达到相关要求，误差在允许的误差范围内，则激光切割系统工作，根据个性化设计要求，激光切割待成形件腔室、管道、冷配管等内部设置。否则进入步骤(9)。
- [0057] (9)对比分析同侧自动补偿3D打印系统和激光冲击锻打系统同步耦合作用的相关数据以及两侧自动补偿3D打印系统和激光冲击锻打系统同步耦合作用的相关数据，选择其中效果最佳的工作方案。
- [0058] (10)按照最佳工作方案不断重复加工，直至成形件内部结构性能、表面性能和形状尺寸等相关参数接近理想要求且误差在允许的误差范围内为止。

[0059] 本方案中，激光冲击锻打导光系统2能自由移动于工件两侧，使3D打印系统3和激光冲击锻打导光系统2分布于工件同侧或两侧，3D打印系统增材制造第N层切片，同时在最佳温度区同步激光冲击锻打，根据个性化零部件的三维模型，激光切割分层轮廓及腔室、管道、冷配管等内部复杂结构，在线监测系统23监测工件表面性能和形状尺寸，实时跟踪反馈系统21将在线监测系统监测到的数据反馈给激光束功率调节装置，自动补偿相关参数，消除3D打印成形和同步冲击锻打的协同影响，提高工件表面精度的同时，也很大程度上提高了加工效率。另外，通过计算机16和各模块配合，通过采集到的数据分析误差，选择最优的工作方案，使工件不断地被优化直至达到加工要求择最优的工作方案，使成型件不断地被优化直至达到加工要求。

[0060] 上述实施例为本发明较佳的实施方式，但本发明的实施方式并不受上述实施例的限制，其他的任何未背离本发明的精神实质与原理下所作的改变、修饰、替代、组合、简化，均应为等效的置换方式，都包含在本发明的保护范围之内。

权利要求书

[权利要求 1]

一种激光冲击锻打与激光切割复合增材制造装置，其特征在于，包括用于产生及控制激光光束的激光发生系统、激光冲击锻打系统、3D打印系统、激光切割系统、用于监测零件内部结构性能、表面性能和形状尺寸的在线监测系统、以及将数据反馈给各激光束功率调节装置的实时跟踪反馈系统；所述激光发生系统分别与激光冲击锻打系统、3D打印系统、激光切割系统和实时跟踪反馈系统连接；所述在线监测系统与实时跟踪反馈系统连接；

所述激光发生系统包括计算机、激光器、激光器功率调节装置、将激光束分成第一激光束和第二激光束的分光镜、用于控制第一激光束的第一导光系统、第一功率调节装置、以及将第一激光束分成第三激光束和第四激光束的可调分束器；所述计算机、激光器功率调节装置、激光器、分光镜依次连接；所述第一功率调节装置的一端与第一导光系统连接，另一端与可调分束器连接；所述激光冲击锻打系统包括用于控制第二激光束的第二导光系统、激光冲击锻打功率调节装置、激光冲击锻打激光头、以及激光冲击锻打控制系统；所述第二导光系统、激光冲击锻打功率调节装置、激光冲击锻打控制系统和激光冲击锻打激光头依次连接，所述第二导光系统与分光镜连接；所述激光切割系统包括用于控制第四激光束的第四导光系统、激光切割功率调节装置、激光切割激光头、以及激光切割控制系统；所述第四导光系统、激光切割功率调节装置、激光切割控制系统、激光切割激光头依次连接，所述第四导光系统与可调分束器连接；所述3D打印系统包括用于控制第三激光束的第三导光系统、3D打印功率调节装置、3D打印头、送粉系统、光粉同轴传送的送粉头、以及3D打印控制系统；所述第三导光系统、3D打印功率调节装置、3D打印控制系统、3D打印头依次连接；所述送粉头安装在3D打印头上，并通过送粉系统与计算机连接；所述第三导光系统与分束器连接；所述实时跟踪反馈系统分别与计算机、激光功率调节装置、第一功率调节装置、激光冲击

锻打功率调节装置、激光切割功率调节装置、3D打印功率调节装置连接。

[权利要求 2] 根据权利要求1所述的激光冲击锻打与激光切割复合增材制造装置，其特征在于，所述激光切割激光头与3D打印头相邻且并列设置，所述可调分束器分别控制激光切割激光头和3D打印头同时工作或单独工作。

[权利要求 3] 根据权利要求2所述的激光冲击锻打与激光切割复合增材制造装置，其特征在于，所述激光冲击锻打系统设置在与激光切割激光头和3D打印头同一侧或与其相对的一侧，且激光冲击锻打系统可在工作台上自由移动。

[权利要求 4] 根据权利要求1所述的激光冲击锻打与激光切割复合增材制造装置，其特征在于，所述激光切割系统可作用于一层或多层切片层。

[权利要求 5] 一种激光冲击锻打与激光切割复合增材制造方法，其特征在于，包括如下步骤：

步骤S1：原始数据输入：根据个性化设计要求设计待成形件的三维模型，分层切片处理，确定适合激光切割的最佳层数，计算3D打印主要工艺参数，并进行参数优化，估算激光冲击锻打主要工艺参数，并进行参数优化，确定激光冲击锻打最佳温度区；将相关数据传输到计算机中作为原始数据，并作为激光冲击锻打与激光切割复合增材制造工艺相关参数的调节控制标准；

步骤S2：误差分析：激光3D打印成形第1层切片，同时在最佳温度区同步激光冲击锻打，到达第N层切片时，激光切割零件分层轮廓及内部复杂结构；在线监测系统监测零件内部结构性能、表面性能和形状尺寸是否达到理想要求，对比分析步骤1原始数据，确定相关工艺参数是否设置正确，进行误差分析，自动补偿工艺参数，确定最终最佳工艺参数设置；

步骤S3：同侧自动补偿同步冲击锻打与3D打印成形第N层切片：3D打印系统和激光冲击锻打系统安置在工作台同一侧，根据待成形零件

内部设置腔室、管道、冷配管的个性化设计要求，3D打印系统打印成形第N层切片，同时实时在线监测成形切片层内部结构性能、表面性能和形状尺寸，实时反馈系统将数据参数先后反馈给3D打印系统和激光冲击锻打系统，自动补偿相关工艺参数；与此同时第二激光束控制系统控制激光冲击锻打系统同步工作，实现3D打印—检测和反馈—激光冲击锻打的同步耦合作用；

步骤S4：同侧实现3D打印—检测和反馈—激光冲击锻打的同步耦合作用后进行数据采集和误差分析：在线监测系统采集待成形件内部结构性能、表面性能和形状尺寸参数和激光器的四激光束参数，计算机记录保存数据后，反馈给3D打印功率调节装置和激光冲击锻打功率调节装置，并进行误差分析；分析计算最佳同侧成形切片厚度N，确定两侧成形切片厚度是否达到要求；

步骤S5：若同侧实现3D打印—检测和反馈—激光冲击锻打的同步耦合作用达到相关要求，误差在允许的误差范围内，则激光切割系统工作，根据个性化设计要求，激光切割待成形件腔室、管道、冷配管的内部设置；否则进入步骤S6；

步骤S6：两侧自动补偿同步冲击锻打与3D打印成形第N+1层切片：3D打印系统和激光冲击锻打系统分布两侧，根据待成形零件内部设置的个性化设计要求，3D打印系统打印成形第N+1层切片，同时实时在线监测成形切片层内部结构性能、表面性能和形状尺寸，实时反馈系统将数据参数先后反馈给3D打印系统和激光冲击锻打系统，自动补偿相关工艺参数；与此同时激光冲击锻打系统同步工作，实现3D打印—检测和反馈—激光冲击锻打的同步耦合作用；

步骤S7：两侧实现3D打印—检测和反馈—激光冲击锻打的同步耦合作用后进行数据采集和误差分析：在线监测系统采集待成形件内部结构性能、表面性能和形状尺寸参数和激光器的四激光束参数，计算机记录保存数据后，反馈给3D打印功率调节装置和激光冲击锻打功率调节装置，并进行误差分析；分析计算最佳两侧成形切片厚度N[^]，

确定两侧成形切片厚度是否达到要求；

步骤S8：若两侧实现3D打印—检测和反馈—激光冲击锻打的同步耦合作用达到相关要求，误差在允许的误差范围内，则激光切割系统工作，根据个性化设计要求，激光切割待成形件腔室、管道、冷配管的内部设置；否则进入步骤S9；

步骤S9：对比分析同侧自动补偿3D打印系统和激光冲击锻打系统同步耦合作用的相关数据以及两侧自动补偿3D打印系统和激光冲击锻打系统同步耦合作用的相关数据，选择其中效果最佳的工作方案；

步骤S10：按照最佳工作方案不断重复加工，直至成形件内部结构性能、表面性能和形状尺寸相关参数接近理想要求且误差在允许的误差范围内为止。

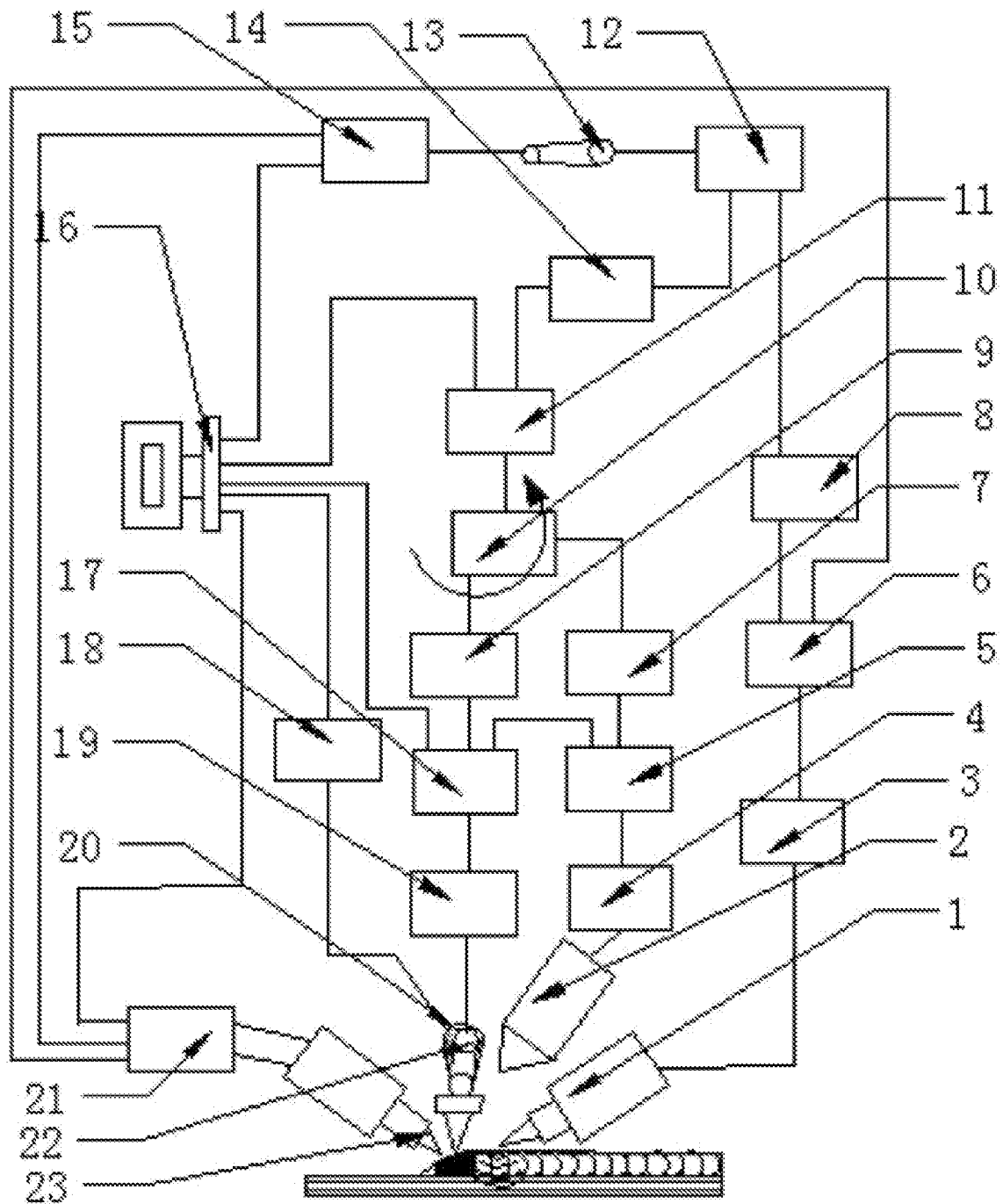


图 1

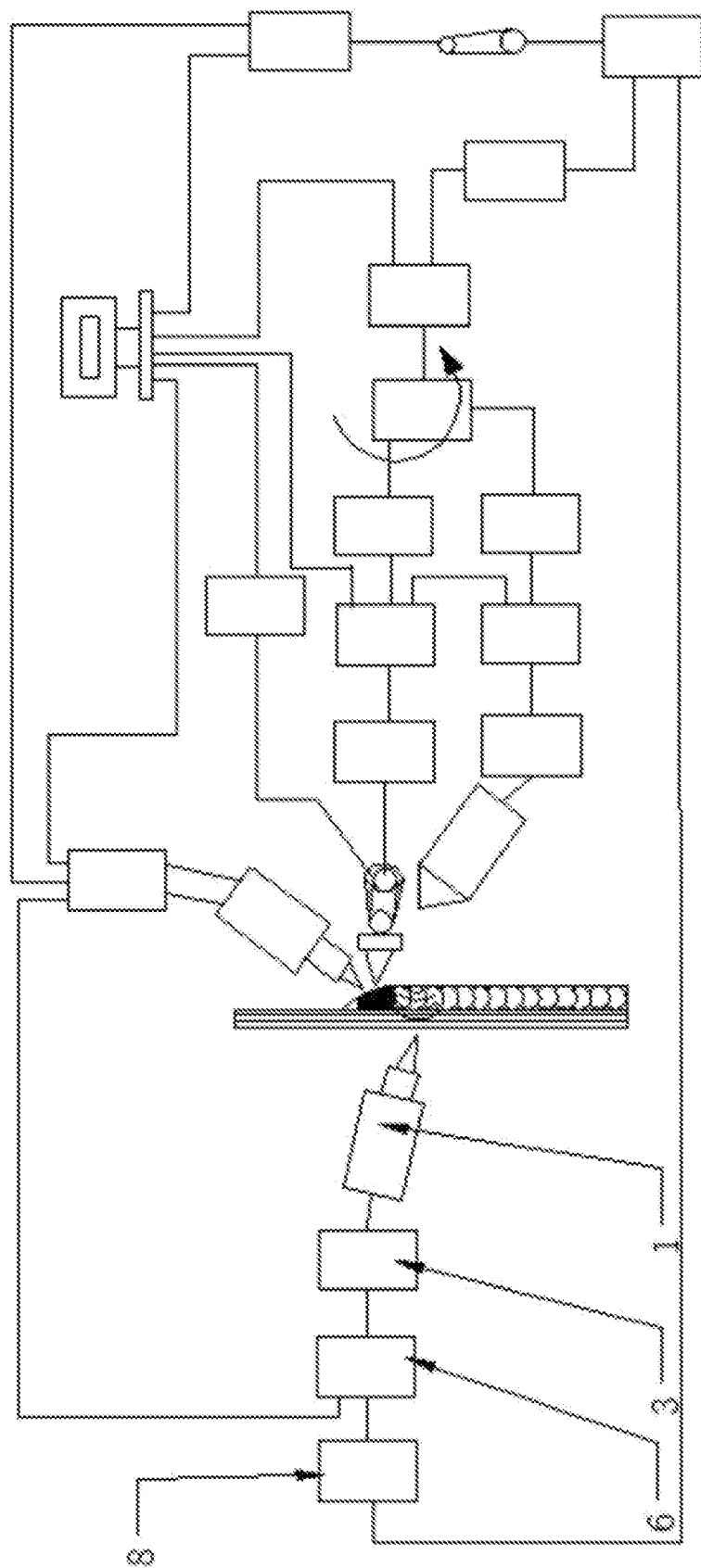


图 2

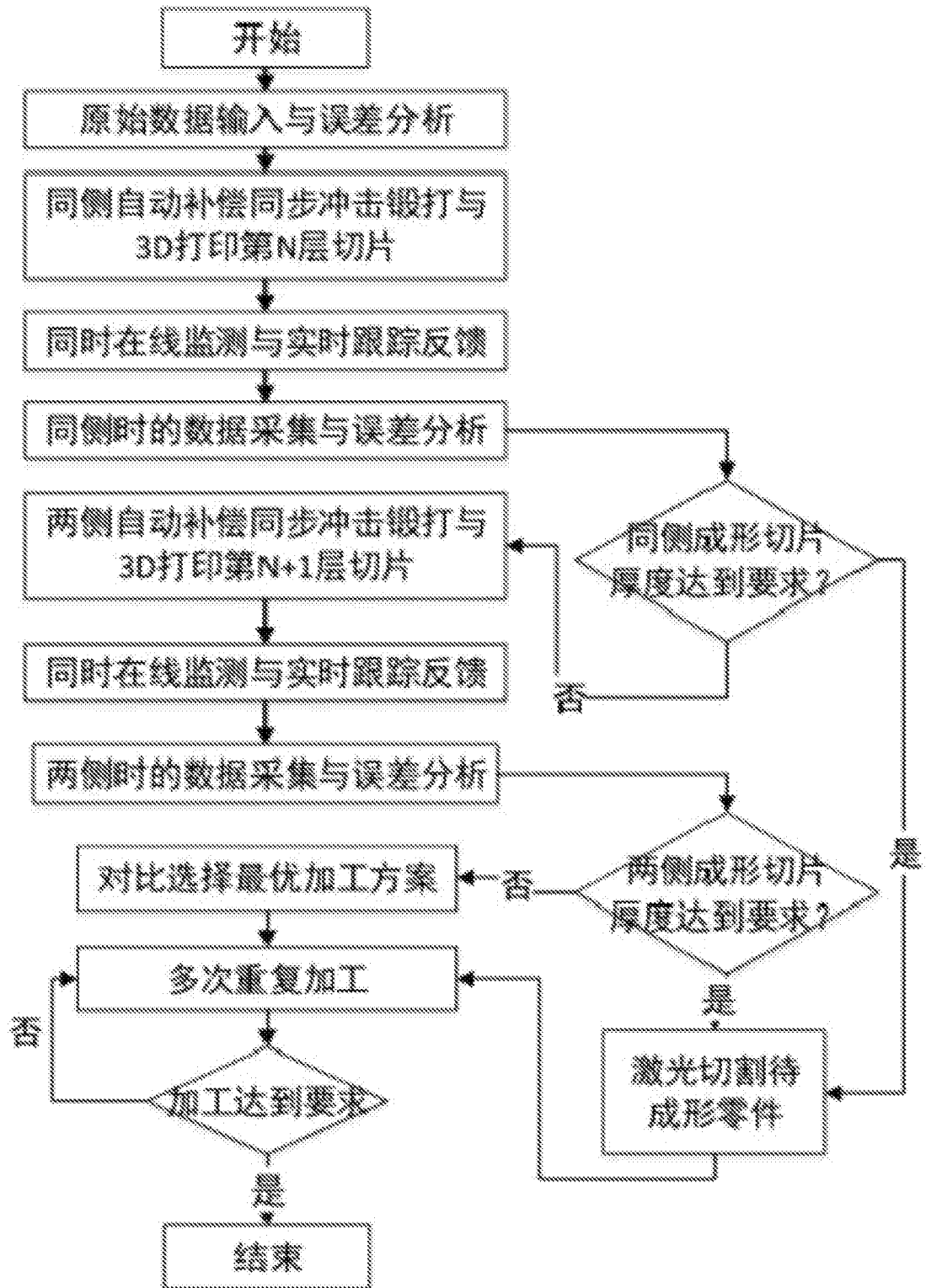


图3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/102601

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B29C 64/10(2017.01)i; B23K 26/00(2014.01)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)

B29C; B23K; B33Y

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)

CNKI/CNPAT/WPI/EPODOC: 冲击, 锻打, 激光, 跟踪, 切割, 监测, 检测, 反馈, 广东工业大学, 张永康, 3D, 三维, 导光, 分光, 层, forg+, impact+, laser, powder, layer+, monitor+, observ+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 108248011 A (GUANGDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 06 July 2018 (2018-07-06) claims	1-5
X	CN 107138857 A (GUANGDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 08 September 2017 (2017-09-08) description, paragraphs 35-59	5
A	CN 106735221 A (GUANGDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 31 May 2017 (2017-05-31) description, paragraphs 30-52	1-5
A	CN 106825574 A (GUANGDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 13 June 2017 (2017-06-13) entire document	1-5
A	JP 6200599 B1 (TECHNOLOGY RES ASSOC FUTURE ADDITIVE MFG.) 20 September 2017 (2017-09-20) entire document	1-5
A	US 2017341365 A1 (MICHELIN & CIE ET AL.) 30 November 2017 (2017-11-30) entire document	1-5

☐ 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

07 November 2018

Date of mailing of the international search report

30 November 2018

Name and mailing address of the ISA/CN

State Intellectual Property Office of the P. R. China
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2018/102601

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	108248011	A	06 July 2018	None			
CN	107138857	A	08 September 2017	None			
CN	106735221	A	31 May 2017	None			
CN	106825574	A	13 June 2017	None			
JP	6200599	B1	20 September 2017	EP	3243635	A1	15 November 2017
				EP	3243635	A4	18 April 2018
				WO	2017163431	A1	28 September 2017
				US	2018141159	A1	24 May 2018
				JP	WO2017163431	A1	05 April 2018
				JP	2018012336		25 January 2018
US	2017341365	A1	30 November 2017	FR	3014338	B1	18 December 2015
				WO	2015082677	A1	11 June 2015
				JP	2017508063	A	23 March 2017
				CN	105793018	A	20 July 2016
				FR	3014338	A1	12 June 2015
				EP	3077179	A1	12 October 2016

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/102601

A. 主题的分类 B29C 64/10(2017.01)i; B23K 26/00(2014.01)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) B29C; B23K; B33Y 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)) CNKI/CNPAT/WPI/EPDOC: 冲击, 锻打, 激光, 跟踪, 切割, 监测, 检测, 反馈, 广东工业大学, 张永康, 3D, 三维, 导光, 分光, 层, forg+, impact+, laser, powder, layer+, monitor+, observ+																							
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 108248011 A (广东工业大学) 2018年 7月 6日 (2018 - 07 - 06) 权利要求书</td> <td>1-5</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>CN 107138857 A (广东工业大学) 2017年 9月 8日 (2017 - 09 - 08) 说明书第35-59段</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 106735221 A (广东工业大学) 2017年 5月 31日 (2017 - 05 - 31) 说明书第30-52段</td> <td>1-5</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 106825574 A (广东工业大学) 2017年 6月 13日 (2017 - 06 - 13) 全文</td> <td>1-5</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 6200599 B1 (TECHNOLOGY RES ASSOC FUTURE ADDITIVE MFG.) 2017年 9月 20日 (2017 - 09 - 20) 全文</td> <td>1-5</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2017341365 A1 (MICHELIN & CIE等) 2017年 11月 30日 (2017 - 11 - 30) 全文</td> <td>1-5</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 108248011 A (广东工业大学) 2018年 7月 6日 (2018 - 07 - 06) 权利要求书	1-5	X	CN 107138857 A (广东工业大学) 2017年 9月 8日 (2017 - 09 - 08) 说明书第35-59段	5	A	CN 106735221 A (广东工业大学) 2017年 5月 31日 (2017 - 05 - 31) 说明书第30-52段	1-5	A	CN 106825574 A (广东工业大学) 2017年 6月 13日 (2017 - 06 - 13) 全文	1-5	A	JP 6200599 B1 (TECHNOLOGY RES ASSOC FUTURE ADDITIVE MFG.) 2017年 9月 20日 (2017 - 09 - 20) 全文	1-5	A	US 2017341365 A1 (MICHELIN & CIE等) 2017年 11月 30日 (2017 - 11 - 30) 全文	1-5
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																					
PX	CN 108248011 A (广东工业大学) 2018年 7月 6日 (2018 - 07 - 06) 权利要求书	1-5																					
X	CN 107138857 A (广东工业大学) 2017年 9月 8日 (2017 - 09 - 08) 说明书第35-59段	5																					
A	CN 106735221 A (广东工业大学) 2017年 5月 31日 (2017 - 05 - 31) 说明书第30-52段	1-5																					
A	CN 106825574 A (广东工业大学) 2017年 6月 13日 (2017 - 06 - 13) 全文	1-5																					
A	JP 6200599 B1 (TECHNOLOGY RES ASSOC FUTURE ADDITIVE MFG.) 2017年 9月 20日 (2017 - 09 - 20) 全文	1-5																					
A	US 2017341365 A1 (MICHELIN & CIE等) 2017年 11月 30日 (2017 - 11 - 30) 全文	1-5																					
☐ 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 2018年 11月 7日		国际检索报告邮寄日期 2018年 11月 30日																					
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局(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		授权官员 王艳霞 电话号码 86-10-53960931																					

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/102601

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	108248011	A	2018年 7月 6日	无			
CN	107138857	A	2017年 9月 8日	无			
CN	106735221	A	2017年 5月 31日	无			
CN	106825574	A	2017年 6月 13日	无			
JP	6200599	B1	2017年 9月 20日	EP	3243635	A1	2017年 11月 15日
				EP	3243635	A4	2018年 4月 18日
				WO	2017163431	A1	2017年 9月 28日
				US	2018141159	A1	2018年 5月 24日
				JP	WO2017163431	A1	2018年 4月 5日
				JP	2018012336		2018年 1月 25日
US	2017341365	A1	2017年 11月 30日	FR	3014338	B1	2015年 12月 18日
				WO	2015082677	A1	2015年 6月 11日
				JP	2017508063	A	2017年 3月 23日
				CN	105793018	A	2016年 7月 20日
				FR	3014338	A1	2015年 6月 12日
				EP	3077179	A1	2016年 10月 12日