

(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 2 月 7 日 (07.02.2019)



(10) 国际公布号
WO 2019/024469 A1

- (51) 国际专利分类号:
B23P 15/00 (2006.01) **B23K 20/02** (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2018/073995
- (22) 国际申请日: 2018 年 1 月 24 日 (24.01.2018)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201710652704.0 2017 年 8 月 2 日 (02.08.2017) CN
- (71) 申请人: 华中科技大学(HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国湖北省武汉市洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。
- (72) 发明人: 张海鸥(ZHANG, Haiou); 中国湖北省武汉市洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。谢龙龙(XIE, Longlong); 中国湖北省武汉市洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。王桂兰(WANG, Guilan); 中国湖北省武汉市洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。张华昱(ZHANG, Huayu); 中国湖北省武汉市洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。
- (74) 代理人: 华中科技大学专利中心 (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND

TECHNOLOGY PATENT AGENCY CENTER); 中国湖北省武汉市洪山区珞喻路 1037 号华中科技大学东一楼 340 室, Hubei 430074 (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, 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))。

(54) Title: ADDITIVE MACHINING FORMATION METHOD SUITABLE FOR COMPLICATED PARTS AND MOLDS

(54) 发明名称: 一种适用于复杂零件和模具的增材加工成形方法

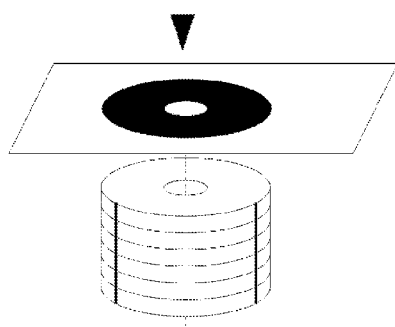


图 1 (c)

(57) Abstract: An additive machining formation method suitable for complicated parts and molds. The method comprises the following steps: building CAD geometric models of parts or molds; extracting an STL model, and dividing the STL model into multiple layers according to a preset layering thickness; respectively extracting inner and outer profile points of the multiple layers to form inner and outer profile trajectories; generating, based on the inner and outer profile trajectories, numerical control instructions corresponding to the machining of each of the layers; selecting plates, the thicknesses of which are layering thicknesses, and taking same as machining objects of each of the layers; cutting each layer of plate by means of a cutting device according to the numerical control instructions corresponding to the machining of each of the layers; stacking and accumulating each of the layers in sequence to obtain primary blanks or primary blank blocks; during stacking and accumulation, carrying out precise positioning once every time one layer is accumulated; and then, carrying out vacuum dispersion connection with regard to the primary blanks, or first carrying out vacuum dispersion connection, then accumulation and finally vacuum dispersion connection with regard to the primary blank blocks. The method involves high forming efficiency, high forming precision, low material costs and good forming stability.

(57) 摘要：一种适用于复杂零件和模具的增材加工成形方法，包括如下步骤：建立零件或模具的CAD几何模型，提取STL模型，以预设分层厚度将STL模型划分为多个层；分别提取多个层的内外轮廓点以形成内外轮廓轨迹，基于内外轮廓轨迹生成与各层加工对应的数控指令；选用厚度为各分层厚度的板料作为各层的加工对象，通过切割装置按照与各层加工对应的数控指令对各层板料进行切割；将各层按照排列次序进行叠层堆积获得初坯或初坯块，叠层堆积时每堆积一层进行一次精准定位，之后将初坯进行真空扩散连接或将初坯块先进行真空扩散连接再堆叠最后再进行真空扩散连接。该方法成型效率高、成型精度高、材料成本低、成型稳定性好。

一种适用于复杂零件和模具的增材加工成形方法

[技术领域]

本发明属于增材成形技术领域，更具体地，涉及一种适用于复杂零件和模具的增材加工成形方法。

[背景技术]

增材制造(Additive Manufacturing, A M, 亦称 3D 打印、快速原型制造)技术,起源于 20 世纪 80 年代末,由于其原理的独特之处和工艺上的优势,已从初试时功能验证的塑料、石蜡、纸等非金属原型快速成形技术,到直接或间接制备各种模具的快速制造技术,再到目前的金属零件或模具的快速制造技术, A M 技术取得了快速的发展和实际的应用。现有的金属增材制造方法,主要有基于高能束以熔化粉末、丝材的熔融增材成形方法和基于其它能量的固态增材成形方法。

熔融增材成形方法,主要包括激光快速成型技术,如选区激光熔融(Selective Laser Melting, SLM)、直接金属激光烧结(Direct Metal Laser Sintering, DMLS)和激光近形制造(Laser Engineering NetShaping, LENS);电子束快速成型技术,如电子束熔融(Electron Beam Melting, EBM)和电子束实体自由成形(Electron Beam Freeform Fabrication, EBFF);等离子熔积快速成型技术,如等离子熔积直接制造(Plasma Powder Deposition Manufacturing, PPDM);电弧熔积快速成型技术,如电弧制造技术(Arc Rapid Prototyping Manufacturing, ARPM)。不同的熔融增材方法各有优劣,如激光快速成型技术,由于全部材料都要经过固-液-固相变过程,导致体积变化大,残余应力和变形大且需要大功率激光器设备,成本较高,熔积效率低;电子束快速成型技术,由于电子束对粉末的冲击大,不利于成形,而且成形过程须在真空室内进行,对硬件的要求高,运

行成本高；激光束、等离子束、电弧成形的零件无支撑，复杂度受限；此外，由于制造精度不高且有弧光辐射，因此，限制了其工业化应用范围。固态增材成形方法，主要有德国 Fabrisonic 公司开发的“超声波增材制造（UAM）”方法，该方法利用超声波的振动能量使两个需连接表面摩擦，形成分子间融合的增材制造工艺，具有变形小、精度高等优势，但其仍然存在以下问题：当制备的零件需达到高精度的要求时，其除了需要超声波成形装置外，还需要设置三轴数控铣床以在超声波增材成形之后对零件进行机械加工，如此增加了设备重量、制造周期和成本，目前该方法只能用于低熔点金属的增材成形。

现有的金属叠层实体制造快速成形方法，其先以大于零件最大尺寸的板料整体铺出而后利用激光切割系统剔除大部分废料，材料利用率低，且大面积铺料会使电极与板料的接触面积大而致使电阻焊合电流功率密度较小，可焊合厚度很小、质量不高。而申请公布号 CN103350321A，公布日 2013 年 10 月 16 日的专利文献公开了一种基于轮廓特征的金属零件增材制造方法，该方法虽然采用了分层的思想对金属零件的模型进行分层切片处理，但其依然存在以下问题：该方法通过控制指令控制板料的送料轨迹，板料分层送进，机械的完成零件各层的叠加焊合，其只能对板料的送料路径进行控制，而无法对各层板料的内外轮廓进行精确加工，加工精度低，零件成形质量差，因而并不适用于具有复杂内外轮廓的零件的成形。CN104827155A 公开了一种适用于复杂零件的固熔复合增材成形方法，该方法采用分层方式逐层加工各层，并通过焊料实现各层的粘合，然后加热实现固熔复合熔接成形以完成复杂零件的增材成形，其具有成型效率高、材料利用率高的优点，但是进一步研究表明，其仍然存在以下缺点：一是通过焊料实现零件每两层之间连接，粘合可靠性不高，最终得到的零件粘合工艺稳定性不好；二是通过焊料实现各层的粘合，参杂钎料等材料，使得零件整体的机械性能下降，强度、韧性降低，微小裂纹、气孔等缺陷增加；

三是每两层板料之间单独粘合时要通过一定装置加入焊料，整个工艺过程繁琐，对装置机构要求比较复杂；四是整个过程处于离线情况下，通过各种切割设备将各层板材按轮廓切割好后堆积成形之后进行固熔复合，并没有实现自动化；五是整个过程没有分块处理，只是分层堆叠，对于某些各部分材料多样化的复杂零件不适用。

[发明内容]

针对现有技术的上述缺点和/或改进需求，本发明提供了一种适用于复杂零件和模具的增材加工成形方法，其中根据复杂零件或模具自身的内外轮廓特征，采用分层的方式逐层完成板料的内外轮廓的精确加工，并尤其能够对精确加工后的各层依次执行叠层堆积，然后逐层定位，最后以整体扩散连接的方式完成各层板料的扩散连接，相应的能够实现具有复杂内外轮廓的零件和模具的加工成型，并可克服现有成型工艺制备的整体零件工艺稳定性差、机械性能下降、工艺过程繁琐的缺陷，具有成型精度高、成型效率高、材料成本低、成型强度高、成型工艺稳定性好等优点。

为实现上述目的，本发明提出了一种适用于复杂零件和模具的增材加工成形方法，其包括如下步骤：

(1) 建模与分层：建立待加工成形零件或模具的 CAD 几何模型，并提取零件或模具的 STL 模型，以预设的分层厚度将所述 STL 模型划分为多个层；

(2) 提取分层轮廓：分别提取所述多个层的内外轮廓点以形成内外轮廓轨迹，然后基于所述内外轮廓轨迹生成与各层加工相对应的数控指令；

(3) 逐层加工：选用厚度为各分层厚度的板料作为各层的加工对象，通过切割装置按照步骤(2)生成的与各层加工相对应的数控指令，分别对各个独立加工对象的各层板料进行切割处理，从而完成具有内外轮廓的各层的独立加工；

(4) 叠层堆积与定位：将分层加工出来的各层按照其排列次序进行叠

层堆积，以获得具有待加工成形零件或模具内外轮廓的初坯，或者将分层加工出来的各层按照其排列次序以分块的形式进行叠层堆积，以获得具有待加工成形零件或模具内外轮廓的多个初坯块，在上述叠层堆积过程中每堆积一层进行一次精准定位；

(5) 整体扩散连接：将已精准定位的初坯以整体的形式进行整体真空扩散连接，或将已精准定位的多个初坯块先分别进行真空扩散连接再逐块堆叠进行整体真空扩散连接，以此方式，完成复杂零件或模具的增材加工成形。

作为进一步优选地，所述步骤(4)中每堆积一层沿着该层的上表面进行一次整体电阻焊或超声波焊，以使其与上一层之间实现预结合。

作为进一步优选地，所述初坯中各层的材料相同或不同；每个所述初坯块中各层的材料相同或不同，各个初坯块所用的材料相同或不同。

作为进一步优选地，所述各层的分层厚度相同或不同。

作为进一步优选地，所述真空扩散连接具体为在真空环境下以高温高压的方式使各层板料间进行分子扩散，达到整体连接的效果。

作为进一步优选地，所述高温为材料熔点的 0.4-0.9 倍，所述高压为 0.2MPa-100MPa。

作为进一步优选地，对经真空扩散的初坯块或最终成形获得的复杂零件或模具采用激光铣削、机械铣削、研磨或抛光方式进行精整加工直至达到其尺寸精度和表面精度的要求。

总体而言，通过本发明所构思的以上技术方案与现有技术相比，主要具备以下的技术优点：

1. 本发明首先基于零件或模具的复杂内外轮廓以分层的思想独立加工制备各个层，并使各层相互叠层堆积然后将其逐层定位最终完成整体定位后以整体的方式进行扩散连接，以本发明整体处理的方式制备的复杂零件和模具相对于采用现有方式制备的零件及模具而言，零件及模具整体的工

艺稳定性得到很大提高，制备的零件及模具机械性能更稳定，没有参杂其他材料，强度、韧性好，微小裂纹、气孔等缺陷少，可克服由焊料导致零件及模具机械性能和工艺稳定性差以及由板料间单独加焊料处理导致工艺工程繁琐等问题。

2. 本发明特别是对于不同材料或复杂形状的零件或模具，将整个零件或模具分成数块，以逐块堆积的形式进行扩散连接成形，完成复合材料或梯度材料、或具有复杂内腔的零件及模具的整体增材成形。

3. 本发明在整体扩散连接之前，将获得的准确定位的每两层之间进行电阻焊或超声波焊直接连接预处理，使各层之间预结合以获得具有一定工艺稳定性的坯。

4. 本发明方法基于离散/堆积成形及分层成形原理，根据零件或模具的形状复杂度和精度的要求以及轮廓特征，实现各层板料轮廓的精确加工，逐层的完成零件或模具各层的内外轮廓的精细加工，分层完成零件或模具的叠加堆积和扩散连接成形，具有成形精度高、成型效率高、适用性广、材料成本低的优点。

5. 本发明不仅适用于在计算机控制下在线逐层堆积成形后真空扩散成形，而且也可用于在离线情况下，通过各种切割设备将各层板材按轮廓切割好后堆积成形之后真空扩散成形。

6. 本发明为接近于固体成形，成形过程中零件或模具不需要进行支撑，可实现各种具有复杂形状的零件及模具的成形，本发明直接叠层堆积再整体扩散连接的方式成形复杂零件及模具，具有变形小、成形性稳定、无弧光辐射污染、劳动条件好等优点。

7. 本发明工艺过程简单，直接堆叠成型，并逐层进行准确定位，最终完成整体定位，再进行整体扩散来连接，少了每两层单独加焊料所需时间，提高工作效率，同时简单简易，极大节约成本；本发明接近于固体成形，再逐层定位至整体定位零件或模具，可克服空间微重力、高真空、易失稳

的复杂环境，可用于空间再轨制造相应零件或模具。

[附图说明]

图 1 (a) -图 1 (f) 是采用本发明的方法成形中间具有复杂中空形状金属零件的过程示意图；

图 2 (a) -图 2 (g) 是采用本发明的方法成形中间具有复杂中空形状金属模具的过程示意图；

图 3 (a) -图 3 (b) 是采用现有方法制备的中间具有复杂中空形状的金属零件的缺陷示意图。

[具体实施方式]

为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。此外，下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

本发明考虑到复杂形状零件或模具内部的结构难以进行机械加工，且对零件及模具工艺稳定性要求很高，通过对已经加工出来的各层按照其排列次序逐层堆叠并进行精确定位，然后对堆叠好的并已定位的初坯进行整体真空扩散处理，即逐层堆叠的过程中实现逐层定位，然后将精准定位后的整个零件或模具以整体的方式进行真空扩散整体连接，使得各层板料间通过分子扩散达到零件或模具整体连接的效果，连接稳定性很高，可完全扩散熔合，可制备强度韧性好，微小裂纹气孔等缺陷少的具有复杂内外轮廓的零件及模具。本发明中各层板料之间直接接触，不用添加其他粘合材料，通过扩散处理使得各层间相互分子扩散，使整个零件各层之间稳定连接，达到整体扩散连接的效果。

本发明实施例提供一种适用于复杂零件和模具的增材加工成形方法，其包括如下步骤：

(1) 建模与分层：建立待加工成形零件或模具的 CAD 几何模型，并基于 CAD 几何模型提取零件或模具的 STL 模型，以预设的分层厚度将 STL 模型划分为多个层，每层的分层厚度可以相同或不同，其由零件或模具的加工工艺要求决定，操作人员可以根据需要进行合理的选择与划分；

(2) 提取分层轮廓：分别提取多个层的内外轮廓点以形成内外轮廓轨迹，然后基于内外轮廓轨迹生成与各层加工相对应的数控指令；

(3) 逐层加工与叠层堆积：选用厚度为各分层厚度的板料作为各层的加工对象，通过切割装置按照步骤 (2) 生成的与各层加工相对应的数控指令，分别对各个作为独立加工对象的各层板料进行切割处理，从而完成具有内外轮廓的各层的独立加工，各层选用的板料相同或不同；

(4) 叠层堆积与定位：

将分层加工出来的各层按照其排列次序进行叠层堆积，以获得具有待加工成形零件或模具内外轮廓的初坯，在叠层堆积过程中每堆积一层进行一次精准定位，即将所有层按照其顺序依次堆叠且依次定位，最后完成所有层的堆叠并定位，以获得具有待加工成形零件或模具内外轮廓的初坯，该初坯即为所需制备的零件或模具；

或者对于具有复杂内腔且后续难以加工的零件或模具而言，则以分块的形式进行叠层堆积，同样在叠层堆积过程中每堆积一层进行一次精准定位，即将零件或模具分成多块并按块进行堆积，多块组合而成的零件即为所需制备的零件或模具，例如将零件分成上下两块，将下面一块中的各层按照其排列次序依次进行叠层堆积并依次进行定位以形成该零件的下部分，将上面一块中的各层按照其排列次序依次进行叠层堆积并依次进行定位以形成该零件的上部分，以此完成两块具有待加工成形零件内外轮廓的初坯块的堆积与定位；

(5) 整体扩散连接：

将已精准定位的初坯以整体的形式进行整体真空扩散连接，以此方式，

完成复杂零件或模具的增材加工成形；

或者对于具有复杂内腔且后续难以加工的零件而言，将已精准定位的多个初坯块先分块进行真空扩散连接再逐块堆叠进行整体真空扩散连接，即将已精准定位的多个初坯块各自先分别进行真空扩散连接，然后将各个块按顺序彼此堆叠再进行整体真空扩散连接，以此方式，完成复杂零件或模具的增材加工成形，由于零件或模具复杂内腔后续难以加工，在各个初坯块各自完成真空扩散连接后，可对复杂内腔块先进行加工处理，例如激光铣削、机械铣削、研磨或抛光，然后再堆叠并进行整体真空扩散连接

为了进一步提高整体扩散焊的工艺稳定性和适用性，所述步骤（4）中每堆积一层沿着该层的上表面进行一次整体电阻焊或超声波焊，即焊头将当前层的整个上表面扫掠一遍，以使当前层的下表面与上一层的上表面之间完全贴合，从而实现两层之间的预结合。

对于精准定位的方式其可以采用现有技术中任何一种可实现精准定位的装置或方法进行定位，本发明不做限定均在保护范围之内，例如可采用具有多个定位杆的定位装置进行定位：（1.1）首先利用多个定位杆对已堆叠的当前层进行定位，该多个定位杆分布在当前层板料的外部，并与板料的外表面贴合；（1.2）然后在当前层上堆叠下一层，堆叠好后使多个定位杆上升对已堆叠的所有层进行定位，此时定位杆与已堆叠的所有层的外表面贴合，以此保证所有已堆叠的板料均实现精准定位，使得已堆叠的各层板料之间不发生相对位移；（1.3）重复步骤（1.2）直至完成所有层的堆积，并使得堆积后获得的初坯整体得到准确定位。即将第一层堆叠到定位装置上，然后用定位杆 1 进行定位；再在已经定位的第一层上堆叠第二层，然后定位杆上升对已经堆叠的第一层和第二层进行定位；继续在已经定位的第二层上堆叠第三层，然后定位杆上升对已经堆叠的第一层、第二层和第三层进行定位，如此循环堆叠与定位，直至最后一层堆叠完毕，并使定位杆上升对已经堆叠的所有层实现定位，如此在所有层堆叠完成的同时，实现初坯

的整体定位，便于后续的整体扩散连接，保证各层之间的相对位置，进而保证整个零件的整体精度。上述内容只是对定位方式的一种示例性说明，不构成对本发明的限定。

具体的，所述真空扩散连接具体为在真空环境下通过高温高压方式使已整体准确定位的坯料以整体的形式进行板料间的分子扩散，达到零件整体连接的效果。具体的，高温指温度为材料熔点的 0.4-0.9 倍，高压为 0.2MPa-100MPa。

此外，可采用激光铣削、机械铣削、研磨或抛光方式对最终成形获得的复杂零件或模具进行精整加工直至达到其尺寸精度和表面精度的要求。

以下为本发明的实施例：

实施例 1

本实施例以中间具有复杂形状两端不封闭的金属零件为例，对本发明的方法进行进一步的阐述，其包括如下步骤：

(1) 参见图 1 (a)，根据目标零件的三维形状和尺寸建立零件 CAD 几何模型，提取零件的 STL 模型，根据零件实际的成形形状和尺寸选择分层厚度，在实际操作过程中，该分层厚度可以根据实际需要进行选择，根据零件的形状和复杂程度，每层的分层厚度可以相同或不同，材料可以相同或不同，其由零件的加工工艺要求决定，操作人员可以根据需要进行合理的选择与划分，本实施例中，选择各层的分层厚度均为 1.5mm；参见图 1

(b) 根据 STL 模型以及分层厚度，由分层切片软件以 1.5mm 为单位将 STL 模型分为多个厚度均为 1.5mm 的层，各层选用的材料由零件工艺要求决定，本实施例中的各层选用同一种板料；

(2) 提取各层的 STL 模型的内外轮廓点，然后基于这些内外轮廓点生成对应内外轮廓轨迹，由计算机根据这些轮廓轨迹生成与各层加工相对应的数控指令；

(3) 选用厚度为 1.5mm 的相同的成形板料作为各层的加工对象，采用

切割装置按照步骤（2）生成的与当前层加工相对应的数控指令，沿当前层的轮廓轨迹分别对当前层进行切割处理，由此实现对当前层的内外轮廓的加工，同时利用定位装置中的多个定位杆对当前层进行多点定位，从而实现当前层的精确定位和修整处理，具体参见图 1（c）；

（4）重复步骤（3），即切割完成第二层，并将第二层堆叠到已经定位的第一层上，然后定位杆上升对已经堆叠好的两层进行定位，或将每两层间进行电阻焊或超声波焊直接连接预处理，具体参见图 1（d），依次循环直至完成整个零件的准确整体堆叠定位或预处理，获得具有一定工艺稳定性初坯，具体参见图 1（e）；

（5）如图 1（f）所示将通过步骤（4）获得的精准定位好的整个零件进行真空扩散复合，完成整个零件中各层板料间的分子扩散成形，得到所需的满足条件的目标零件。

在上述整体扩散连接后，若外轮廓有部分因定位装置留下来的毛刺，可在同工位上逐段的进行机械加工，以进一步提高零件的精度。

实施例 2

本实施例以中间具有复杂形状两端封闭的金属模具为例，对本发明的方法进行进一步的阐述，其包括如下步骤：

（1）参见图 2（a）-（b），根据目标模具的三维形状和尺寸建立模具 CAD 几何模型，提取模具的 STL 模型，根据模具实际的成形形状和尺寸选择分层厚度，在实际操作过程中，该分层厚度可以根据实际需要进行选择，根据模具的形状和复杂程度，每层的分层厚度可以相同或不同，材料可以相同或不同，其由模具的加工工艺要求决定，操作人员可以根据需要进行合理的选择与划分，如图 2（c）所示，本实施例先进行分块再进行分层，将模具分成上下两块，其中上面一块各层的厚度为 1.5mm，下面一块各层的厚度为 2.0mm，由分层切片软件以 1.5mm、2.0mm 为单位将 STL 模型分为多个层，各层选用的材料由模具工艺要求决定，本实施例中的上面一块

各层选用一种板料如铝合金，下面一块各层选用另一种板料如紫铜；

(2) 提取各层的 STL 模型的内外轮廓点，然后基于这些内外轮廓点生成对应内外轮廓轨迹，由计算机根据这些轮廓轨迹生成与各层加工相对应的数控指令；

(3) 选用厚度为 1.5mm 的铝合金材质的成形板料作为各层的加工对象，采用切割装置按照步骤 (2) 生成的与当前层加工相对应的数控指令，沿当前层的轮廓轨迹分别对当前层进行切割处理，由此实现对当前层的内外轮廓的加工，同时利用定位装置中的多个定位杆对当前层进行多点定位，从而实现当前层的精确定位和修整处理；

(4) 重复步骤 (3)，即切割完成第二层，并将第二层堆叠到已经定位的第一层上，然后定位杆上升对已经堆叠好的两层进行定位，或将每两层间进行电阻焊或超声波焊直接连接预处理，依次循环直至完成上面一块初坯块的准确整体堆叠定位或预处理，获得具有一定工艺稳定性初坯块一，具体参见图 2 (d)；

(5) 选用厚度为 2.0mm 的紫铜材质的成形板料作为各层的加工对象，采用切割装置按照步骤 (2) 生成的与当前层加工相对应的数控指令，沿当前层的轮廓轨迹分别对当前层进行切割处理，由此实现对当前层的内外轮廓的加工，同时利用定位装置中的多个定位杆对当前层进行多点定位，从而实现当前层的精确定位和修整处理；

(6) 重复步骤 (5)，即切割完成第二层，并将第二层堆叠到已经定位的第一层上，然后定位杆上升对已经堆叠好的两层进行定位，或将每两层间进行电阻焊或超声波焊直接连接预处理，依次循环直至完成下面一块初坯块准确整体堆叠定位或预处理，获得具有一定工艺稳定性的初坯块二，具体参见图 2 (e)；

(7) 将通过步骤 (4) 和步骤 (6) 获得的精准定位好的两个初坯块分别进行真空扩散复合使得每个初坯块中各层板料间进行分子扩散实现连

接，真空扩散后的两个初坯块如图 2 (f) - (g) 所示，然后将真空扩散后的两个初坯块内腔进行精加工，再使两个初坯块彼此堆叠最后进行整体真空扩散，使两个初坯块之间的板料进行分子扩散，得到所需的满足条件的目标模具，整体真空扩散的温度等于熔点较低材料的 0.4-0.9 倍，压力在 0.2-100MPa 之间。

在上述整体扩散连接后，若外轮廓有部分因定位装置留下来的毛刺，可在同工位上逐段的进行机械加工，以进一步提高模具的精度。

对比实施例 3：

采用每两层之间添加焊料的方式成形中间具有复杂形状且内外轮廓形貌精度要求较高的金属零件，该方法成型零件时会出现如下问题：1) 如图 3 (a) 所示，电阻焊对材料进行连接，零件整体工艺稳定性和完整性不好，会出现局部不融合情况；2) 如图 3 (b) 所示，通过焊料（图 3 (b) 中的 A）实现各层的粘合，使得零件整体的机械性能下降，包括强度韧性降低，出现微小裂纹、气孔等缺陷（图 3 (b) 中的 B）；3) 每层板料之间单独粘合时要加入焊料，整个工艺过程繁琐。

本领域的技术人员容易理解，以上所述仅为本发明的较佳实施例而已，并不用以限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

权 利 要 求

1. 一种适用于复杂零件和模具的增材加工成形方法，其特征在于，包括如下步骤：

(1) 建模与分层：建立待加工成形零件或模具的 CAD 几何模型，并提取零件或模具的 STL 模型，以预设的分层厚度将所述 STL 模型划分为多个层；

(2) 提取分层轮廓：分别提取所述多个层的内外轮廓点以形成内外轮廓轨迹，然后基于所述内外轮廓轨迹生成与各层加工相对应的数控指令；

(3) 逐层加工：选用厚度为各分层厚度的板料作为各层的加工对象，通过切割装置按照步骤 (2) 生成的与各层加工相对应的数控指令，分别对各个独立加工对象的各层板料进行切割处理，从而完成具有内外轮廓的各层的独立加工；

(4) 叠层堆积与定位：将分层加工出来的各层按照其排列次序进行叠层堆积，以获得具有待加工成形零件或模具内外轮廓的初坯，或者将分层加工出来的各层按照其排列次序以分块的形式进行叠层堆积，以获得具有待加工成形零件或模具内外轮廓的多个初坯块，在上述叠层堆积过程中每堆积一层进行一次精准定位；

(5) 整体扩散连接：将已精准定位的初坯以整体的形式进行整体真空扩散连接，或将已精准定位的多个初坯块先分别进行真空扩散连接再逐块堆叠进行整体真空扩散连接，以此方式，完成复杂零件或模具的增材加工成形。

2、如权利要求 1 所述的适用于复杂零件和模具的增材加工成形方法，其特征在于，所述步骤 (4) 中每堆积一层可沿着该层的上表面进行一次整体电阻焊或超声波焊，以使其与上一层之间实现预结合。

3、如权利要求 1 所述的一种适用于复杂零件和模具的增材加工成形方

法，其特征在于，所述初坯中各层的材料相同或不同；每个所述初坯块中各层的材料相同或不同，各个初坯块所用的材料相同或不同。

4、如权利要求 1 所述的一种适用于复杂零件和模具的增材加工成形方法，其特征在于，所述各层的分层厚度相同或不同。

5、如权利要求 1-4 任一项所述的适用于复杂零件和模具的增材加工成形方法，其特征在于，所述真空扩散连接具体为在真空环境下以高温高压的方式使各层板料间进行分子扩散，达到整体连接的效果。

6、如权利要求 5 所述的适用于复杂零件和模具的增材加工成形方法，其特征在于，所述高温为材料熔点的 0.4-0.9 倍，所述高压为 0.2MPa-100MPa。

7、如权利要求 1-6 任一项所述的适用于复杂零件和模具的增材加工成形方法，其特征在于，对经真空扩散的初坯块或最终成形获得的复杂零件或模具采用激光铣削、机械铣削、研磨或抛光方式进行精整加工直至达到其尺寸精度和表面精度的要求。

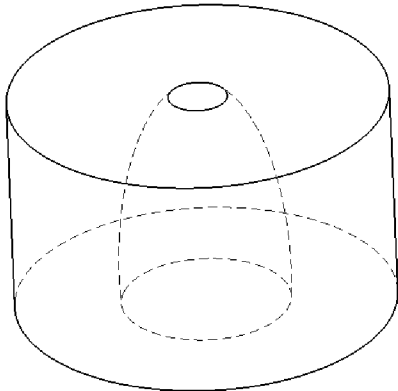


图 1 (a)

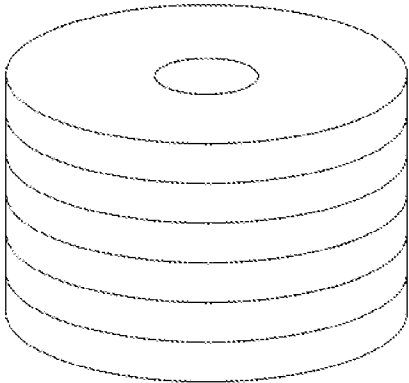


图 1 (b)

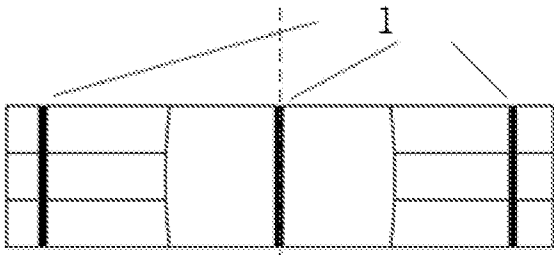


图 1 (c)

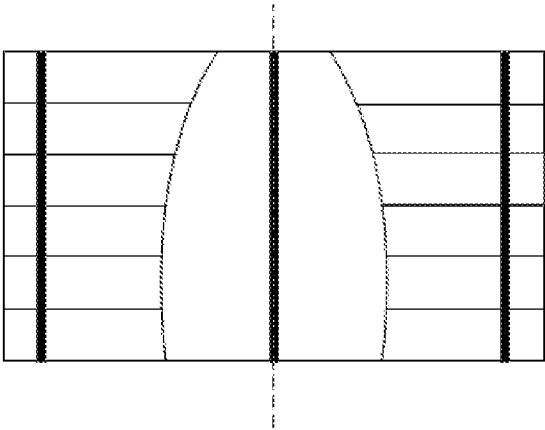


图 1 (d)

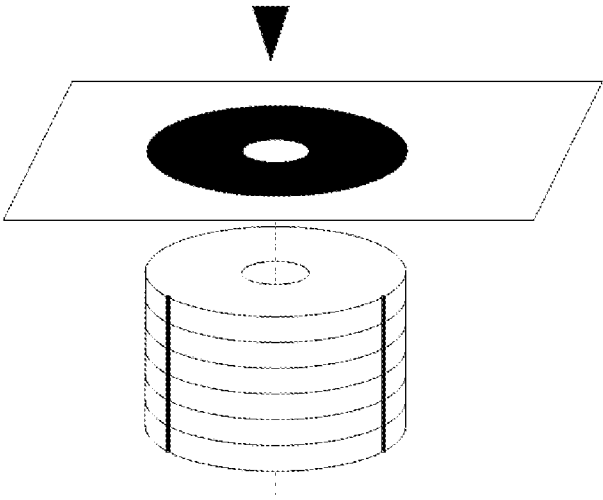


图 1 (e)

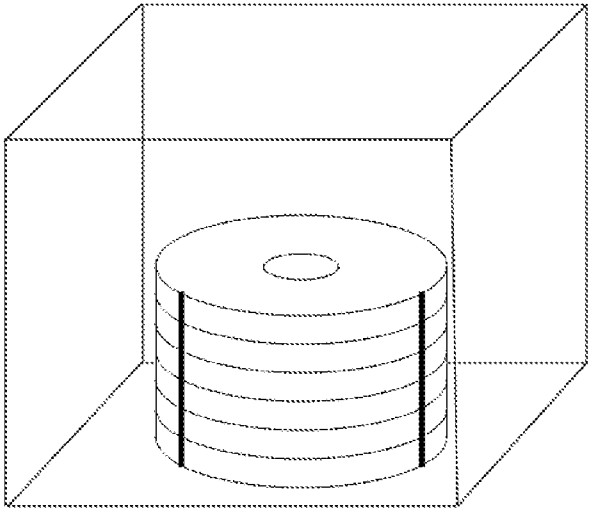


图 1 (f)

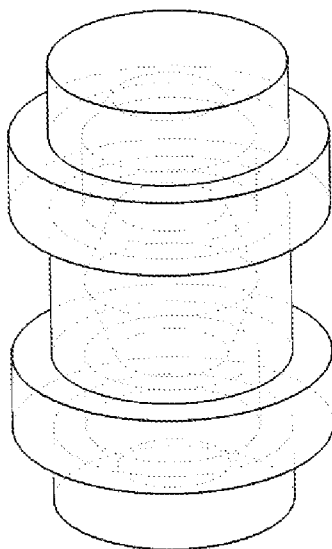


图 2 (a)

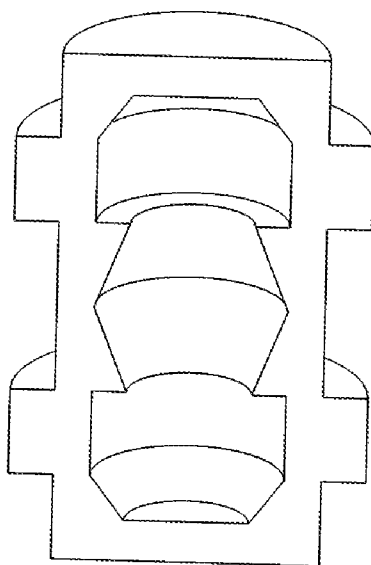


图 2 (b)

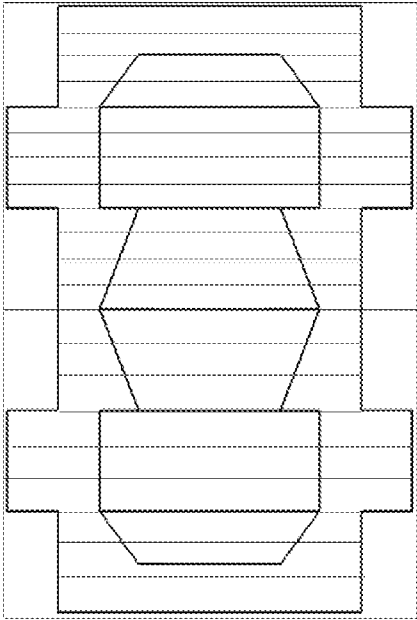


图 2 (c)

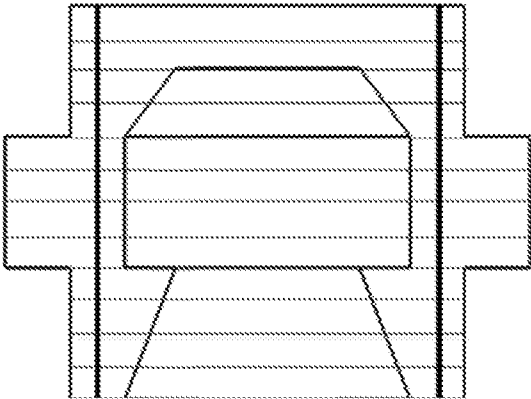


图 2 (d)

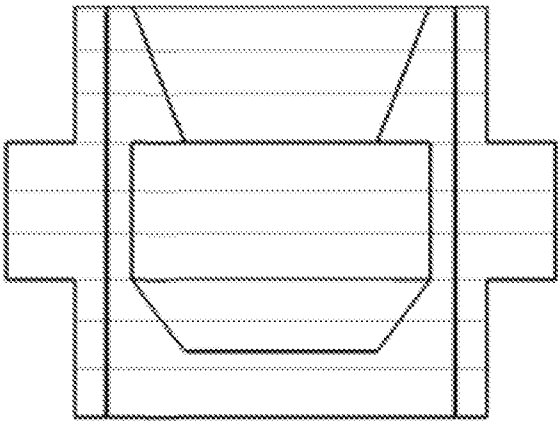


图 2 (e)

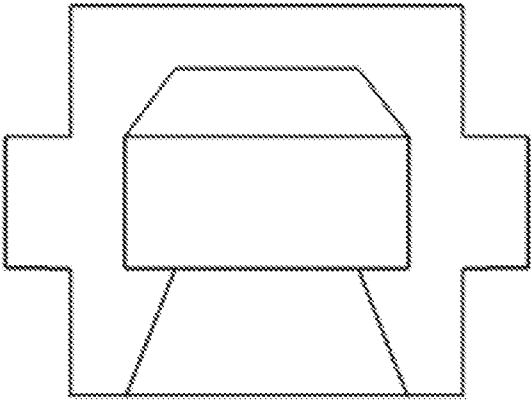


图 2 (f)

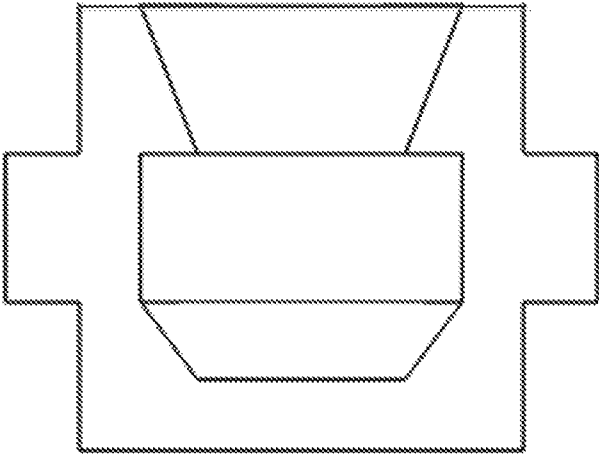


图 2 (g)

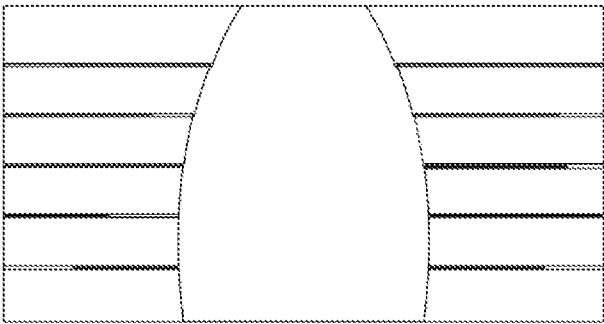


图 3 (a)

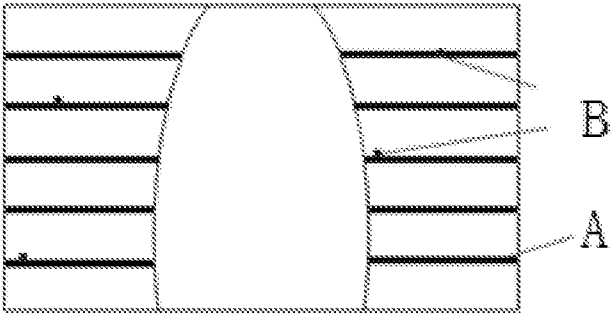


图 3 (b)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2018/073995

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B23P 15/00 (2006.01) i; B23K 20/02 (2006.01) 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)

B23P 15/+, B23K 20/+, B22F

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)

CNABS; VEN; CNTXT; DWPI; SIPOABS; CNKI: 叠层, 逐层, 增材, 真空扩散, 分层, 扩散焊, 加工, 制造, 切割, 板材, stacking, lamination, layered, overlap, additive, manufacturing, material, increase, vacuum, milling, diffusion, welding, sheet, cut

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 107457404 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY), 12 December 2017 (12.12.2017), claims 1-7	1-7
Y	CN 104827155 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY), 12 August 2015 (12.08.2015), claims 1-4, and description, paragraph 37	1-7
Y	CN 105290739 A (AVIC BEIJING AERONAUTICAL MANUFACTURING TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE), 03 February 2016 (03.02.2016), description, paragraphs 54-64	1-7
Y	CN 105252145 A (SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY), 20 January 2016 (20.01.2016), description, paragraphs 41-47	1-7
Y	CN 103350321 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY), 16 October 2013 (16.10.2013), description, paragraphs 23-36	1-7
Y	CN 103506806 A (XI'AN AIRCRAFT DESIGN & RESEARCH INSTITUTE OF AVIC), 15 January 2014 (15.01.2014), claims 1-2	1-7

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“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
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“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
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“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
“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)	“&” document member of the same patent family
“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	

Date of the actual completion of the international search 11 April 2018	Date of mailing of the international search report 28 April 2018
Name and mailing address of the ISA 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 CHEN, Wen Telephone No. (86-10) 86-010-62085365

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2018/073995

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2017114104 A1 (BEIJING HK-PRECISIONS CO., LTD.), 06 July 2017 (06.07.2017), claims 1-9	1-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2018/073995

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 107457404 A	12 December 2017	None	
CN 104827155 A	12 August 2015	CN 104827155 B	18 January 2017
CN 105290739 A	03 February 2016	None	
CN 105252145 A	20 January 2016	CN 105252145 B	20 October 2017
CN 103350321 A	16 October 2013	CN 103350321 B	29 July 2015
CN 103506806 A	15 January 2014	None	
WO 2017114104 A1	06 July 2017	CN 107249813 A	13 October 2017
		CN 105773072 A	20 July 2016

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/073995

A. 主题的分类

B23P 15/00(2006.01)i; B23K 20/02(2006.01)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)

B23P15/+; B23K20/+; B22F

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))

CNABS;VEN;CNTXT;DWPI;SIPOABS;CNKI: 叠层, 逐层, 增材, 真空扩散, 分层, 扩散焊, 加工, 制造, 切割, 板材, stacking, lamination, layered, overlap, additive, manufacturing, material, increase, vacuum, milling, diffusion, welding, sheet, cut

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
PX	CN 107457404 A (华中科技大学) 2017年 12月 12日 (2017 - 12 - 12) 权利要求1-7	1-7
Y	CN 104827155 A (华中科技大学) 2015年 8月 12日 (2015 - 08 - 12) 权利要求1-4, 说明书第37段	1-7
Y	CN 105290739 A (中国航空工业集团公司北京航空制造工程研究所) 2016年 2月 3日 (2016 - 02 - 03) 说明书第54-64段	1-7
Y	CN 105252145 A (华南理工大学) 2016年 1月 20日 (2016 - 01 - 20) 说明书第41-47段	1-7
Y	CN 103350321 A (华中科技大学) 2013年 10月 16日 (2013 - 10 - 16) 说明书第23-36段	1-7
Y	CN 103506806 A (中国航空工业集团公司西安飞机设计研究所) 2014年 1月 15日 (2014 - 01 - 15) 权利要求1-2	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

2018年 4月 11日

国际检索报告邮寄日期

2018年 4月 28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

受权官员

陈炫

电话号码 (86-10)86-010-62085365

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/073995

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	WO 2017114104 A1 (BEIJING HK-PRECISIONS CO LTD) 2017年 7月 6日 (2017 - 07 - 06) 权利要求1-9	1-7

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/073995

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	107457404	A	2017年 12月 12日	无			
CN	104827155	A	2015年 8月 12日	CN	104827155	B	2017年 1月 18日
CN	105290739	A	2016年 2月 3日	无			
CN	105252145	A	2016年 1月 20日	CN	105252145	B	2017年 10月 20日
CN	103350321	A	2013年 10月 16日	CN	103350321	B	2015年 7月 29日
CN	103506806	A	2014年 1月 15日	无			
WO	2017114104	A1	2017年 7月 6日	CN	107249813	A	2017年 10月 13日
				CN	105773072	A	2016年 7月 20日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)