

(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
2022 年 5 月 12 日 (12.05.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/095652 A1

- (51) 国际专利分类号:
B23P 25/00 (2006.01) **B23K 26/346** (2014.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2021/122295
- (22) 国际申请日: 2021 年 9 月 30 日 (30.09.2021)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202011232396.4 2020 年 11 月 6 日 (06.11.2020) CN
- (71) 申请人: 广东工业大学 (GUANGDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国广东省广州市东风东路 729 号庄雅红, Guangdong 510000 (CN)。 汇专科技集团股份有限公司 (HUIZHUAN TECHNOLOGY GROUP CO., LTD.) [CN/CN]; 中国广东省广州市高新技术产业

开发区科学城南云二路 8 号品尧电子产业园门机大楼 (C 座) 首、2 层庄雅红, Guangdong 510000 (CN)。 科益展智能装备有限公司广州分公司 (KEYIZHAN INTELLIGENT EQUIPMENT CO., LTD. GUANGZHOU BRANCH) [CN/CN]; 中国广东省广州市黄埔区南云二路 6 号自编 2 栋 201 室庄雅红, Guangdong 510000 (CN)。

- (72) 发明人: 王成勇 (WANG, Chengyong); 中国广东省广州市东风东路 729 号庄雅红, Guangdong 510000 (CN)。 李伟秋 (LI, Weiqiu); 中国广东省广州市东风东路 729 号庄雅红, Guangdong 510000 (CN)。 颜炳姜 (YAN, Bingjiang); 中国广东省广州市东风东路 729 号庄雅红, Guangdong 510000 (CN)。 陈守峰 (CHEN, Shoufeng); 中国广东省广州市东风东路 729 号庄雅红, Guangdong 510000 (CN)。 郑李娟 (ZHENG, Lijuan); 中国广东省广州市东风

(54) Title: ULTRASONIC LASER AND MECHANICAL COMPOSITE PROCESSING METHOD, ULTRASONIC VIBRATION FIXTURE, MACHINE TOOL, AND LASER

(54) 发明名称: 一种超声激光机械复合加工方法、超声波振动夹具、机床及激光器

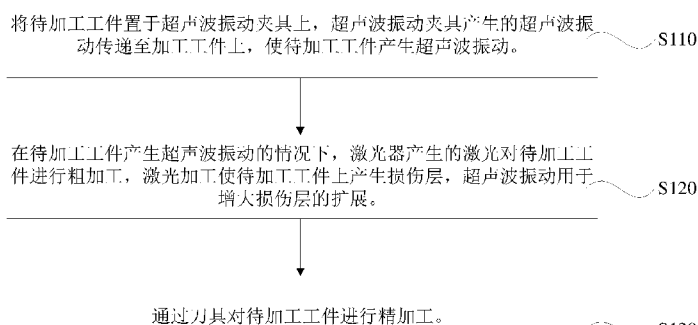


图 1

- S110 Place workpiece to be processed on ultrasonic vibration fixture, ultrasonic vibrations produced by ultrasonic vibration fixture being transmitted to workpiece to be processed, causing ultrasonic vibrations to be produced in workpiece to be processed
- S120 While ultrasonic vibrations are being produced in workpiece to be processed, laser light generated by laser performs coarse processing on workpiece to be processed, and laser light processing causes damage layer to be produced on workpiece to be processed. Ultrasonic vibrations are used to increase expansion of damage layer
- S130 Perform fine processing on workpiece to be processed by means of cutter

(57) Abstract: An ultrasonic laser and mechanical composite processing method. While ultrasonic vibrations are being produced in a workpiece to be processed, laser light generated by a laser performs coarse processing on the workpiece to be processed, and the laser light processing causes a damage layer having cracks to be produced on the workpiece to be processed. Ultrasonic vibrations are used to increase the expansion of the damage layer, and then fine processing is performed on the workpiece to be processed by means of a

东路729号庄雅红, Guangdong 510000 (CN)。 杜策之(DU, Cezhi); 中国广东省广州市东风东路729号庄雅红, Guangdong 510000 (CN)。 胡小月(HU, Xiaoyue); 中国广东省广州市东风东路729号庄雅红, Guangdong 510000 (CN)。

(74) 代理人: 广州市时代知识产权代理事务所(普通合伙)(GUANGZHOU SHIDAI INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY (GENERAL PARTNERSHIP)); 中国广东省广州市天河区能源路4号602室庄雅红, Guangdong 510000 (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, IT, 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, 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))。

cutter. The ultrasonic vibration helps molten droplets to fall off after the laser light ablates the workpiece to be processed, increasing contact between the laser light and the workpiece to be processed. The action of the laser light ablation causes a damage layer having microcracks to be produced on the workpiece to be processed, and under the action of the ultrasonic vibrations, after the microcracks are formed, release of stresses inside the material are caused to be released more completely because of the high-frequency vibration, and the expansion of the microcracks is stably increased, thus stably increasing the expansion of the damage layer, aiding the removal of material when the cutter performs fine processing on the workpiece to be processed, and reducing cutting force and wear on the cutter, thus improving processing efficiency. The invention further relates to an ultrasonic vibration fixture, a machine tool, and a laser.

(57) 摘要: 一种超声激光机械复合加工方法, 在待加工工件产生超声波振动的情况下, 激光器产生的激光对待加工工件进行粗加工, 激光加工使待加工工件上产生具有裂纹的损伤层, 超声波振动用于增大损伤层的扩展, 然后通过刀具对待加工工件进行精加工。超声波振动有利于激光对待加工工件烧蚀后熔滴的脱落, 增加了待加工工件与激光的接触; 激光烧蚀作用会导致待加工工件表面产生微裂纹的损伤层, 在超声波振动的作用下, 在微裂纹形成后由于高频振动的存在使材料内部应力释放更完全, 稳定增大微裂纹的扩展, 进而稳定扩大了损伤层的扩展, 有利于刀具对加工工件精加工时材料的去除, 降低切削力和刀具磨损, 提升加工效率。还涉及一种超声波振动夹具、一种机床及一种激光器。

一种超声激光机械复合加工方法、超声波振动夹具、机床及激光器

技术领域

本发明涉及对硬脆材料进行加工的方法技术领域，特别是涉及一种超声激光机械复合加工方法、超声波振动夹具、机床及激光器。

背景技术

以陶瓷、玻璃、蓝宝石等为代表的难加工硬脆材料，具有抗腐蚀、耐高温、抗磨损、硬度高、脆性大等特点广泛用于消费电子、半导体、模具、太阳能和航空航天等各个行业。

硬脆材料属于典型难加工材料，硬脆材料常用加工方式有磨削加工和铣削加工，磨削加工效率低，铣削加工加工质量差，而且两种加工方法，工件在刀具的作用下表面残余应力高，极易产生微观裂纹，导致表面和亚表面损伤比较严重。

采用激光对硬脆材料工件进行加工的方式，激光烧蚀作用会使工件产生热损伤，从而降低材料的力学性能，有利于机械加工进一步去除。但是，由于激光大功率加工损伤太大，会导致整个工件开裂，难以实现工件上的裂纹稳定扩展，无法保证损伤层的稳定扩大。

发明内容

基于此，有必要针对上述技术问题，提供一种可以实现工件上裂纹稳定扩展，保证损伤层的稳定扩大的超声激光机械复合加工方法、超声波振动夹具、机床及激光器。

一种超声激光机械复合加工方法，包括以下步骤：

将待加工工件置于超声波振动夹具上，超声波振动夹具产生的超声波振动传递至待加工工件上，使待加工工件产生超声波振动；

在待加工工件产生超声波振动的情况下，激光器产生的激光对待加工工件
5 进行粗加工，激光加工使待加工工件上产生损伤层，超声波振动用于增大损伤层的扩展；

通过刀具对待加工工件进行精加工。

在其中一个实施例中，在激光器对待加工工件进行粗加工之前，还包括：

根据待加工工件的材料特性和加工要求选择激光波长、脉宽及功率。

10 在其中一个实施例中，在确定好激光波长、脉宽及功率后，还包括：

根据激光加工中待加工材料的亚表面损伤特性确定超声波频率、超声波振幅调节范围，配合激光功率和扫描速度，实现超声和激光的匹配扩损。

在其中一个实施例中，在通过刀具对待加工工件进行精加工之前，还包括：

15 根据激光和超声波振动复合加工过程中待加工工件材料的亚表面损伤特性选择合适的切削深度、切削宽度、进给量及切削速度。

在其中一个实施例中，在通过刀具对待加工工件进行精加工之前，还包括：

将刀具安装在超声波刀柄上，超声波刀柄产生的超声波振动传递至刀具上，使刀具产生超声波振动。

20 在其中一个实施例中，所述激光波长范围为 335nm~1064nm，功率范围为 10W~500W，脉宽小于 30ns。

在其中一个实施例中，所述超声波的频率范围为 16000Hz~18000Hz，超声波振幅调节范围为 $2\mu\text{m}$ ~ $3\mu\text{m}$ 。

在其中一个实施例中，所述刀具为整体 PCD 微刃铣削刀具。

在其中一个实施例中，切削深度范围为 0.2mm 以内，切削宽度范围为 2mm 以内，进给量范围为 5000mm/min 以内，切削速度为 15000r/min~24000r/min。

在其中一个实施例中，所述待加工工件的材料为玻璃、陶瓷、蓝宝石、碳化硅和单晶硅的任一种。

5 一种超声波振动夹具，所述超声波振动夹具用于实现如上任一项所述的超声激光机械复合加工方法。

一种机床，所述机床用于实现如上任一项所述的超声激光机械复合加工方法。

10 一种激光器，所述激光器用于实现如上任一项所述的超声激光机械复合加工方法。

上述超声激光机械复合加工方法至少具有以下优点：

在待加工工件产生超声波振动的情况下，激光器产生的激光对待加工工件进行粗加工，激光加工使待加工工件上产生具有裂纹的损伤层，超声波振动用于增大损伤层的扩展，然后通过刀具对待加工工件进行精加工。超声波振动有利于激光对待加工工件烧蚀后熔滴的脱落，因此增加了待加工工件与激光的接
15 触；激光烧蚀作用会导致待加工工件表面产生微裂纹的损伤层，在超声波振动的作用下，在微裂纹形成后由于高频振动的存在使材料内部应力释放更完全，稳定增大微裂纹的扩展，进而稳定扩大了损伤层的扩展，有利于刀具对加工工件精加工时材料的去除，降低切削力和刀具磨损，提升加工效率，提高精加工
20 后加工表面质量，实现硬脆材料的高效精密低损伤去除。

附图说明

图 1 为一实施方式中超声激光机械复合加工方法的流程示意图；

图 2 为一实施方式中超声波振动夹具、激光器和待加工工件的简化示意图；

图 3 为优选实施方式中的超声激光机械复合加工方法的流程示意图；

图 4 为采用优选实施方式中的加工方法对玻璃工件加工后的表面粗糙度图；

图 5 为对比例中采用 350#砂轮进行粗加工，刀具进行精加工的方式对玻璃
5 工件加工后的表面粗糙度图；

图 6 为采用优选实施方式中的加工方法对玻璃工件进行粗加工后的损伤层的深度 SEM 示意图；

图 7 为采用优选实施方式中的加工方法对玻璃工件进行精加工后的亚表面损伤区的深度 SEM 示意图；

10 图 8 为对比例中采用 350#砂轮对玻璃工件进行粗加工的损伤层的深度 SEM 示意图；

图 9 为对比例中采用刀具进行对工件进行加工后的亚表面损伤区的深度 SEM 示意图。

图中，10、待加工工件；20、超声波振动夹具；30、超声波发生器，11，
15 11'、损伤层；12，12'、亚表面损伤区。

具体实施方式

为使本实用新型的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂，下面结合附图对本实用新型的具体实施方式做详细的说明。在下面的描述中阐述了很多具体
20 体细节以便于充分理解本实用新型。但是本实用新型能够以很多不同于在此描述的其它方式来实施，本领域技术人员可以在不违背本实用新型内涵的情况下做类似改进，因此本实用新型不受下面公开的具体实施的限制。

需要说明的是，当元件被称为“固定于”另一个元件，它可以直接在另一

个元件上或者也可以存在居中的元件。当一个元件被认为是“连接”另一个元件，它可以是直接连接到另一个元件或者可能同时存在居中元件。本文所使用的术语“垂直的”、“水平的”、“左”、“右”以及类似的表述只是为了说明的目的，并不表示是唯一的实施方式。

5 除非另有定义，本文所使用的所有的技术和科学术语与属于本实用新型的技术领域的技术人员通常理解的含义相同。本文中在本实用新型的说明书中所使用的术语只是为了描述具体的实施例的目的，不是旨在于限制本实用新型。以上所述实施例的各技术特征可以进行任意的组合，为使描述简洁，未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述，然而，只要这些技术特征
10 的组合不存在矛盾，都应当认为是本说明书记载的范围。

请参阅图 1，一实施方式中的超声激光机械复合加工方法，包括以下步骤：

步骤 S110，将待加工工件置于超声波振动夹具上，超声波振动夹具产生的超声波振动传递至加工工件上，使待加工工件产生超声波振动。具体地，如图 2 所示，待加工工件 10 放置在超声波振动夹具 20 上，超声波振动夹具 20 与超声
15 波发生器 30 电连接。

步骤 S120，在待加工工件产生超声波振动的情况下，激光器产生的激光对待加工工件进行粗加工，激光加工使待加工工件上产生损伤层，超声波振动用于增大损伤层的扩展。因此，激光对待加工工件进行加工的同时，超声波振动夹具产生的超声波振动传递至待加工工件上。

20 步骤 S130，通过刀具对待加工工件进行精加工。具体地，刀具可以为铣削刀具。例如，为整体 PCD 微刃铣削刀具。

上述超声激光机械复合加工方法至少具有以下优点：

在待加工工件产生超声波振动的情况下，激光器产生的激光对待加工工件

进行粗加工，激光加工使待加工工件上产生具有裂纹的损伤层，超声波振动用于增大损伤层的扩展，然后通过刀具对待加工工件进行精加工。超声波振动有利于激光对待加工工件烧蚀后熔滴的脱落，因此增加了待加工工件与激光的接触；激光烧蚀作用会导致待加工工件表面产生微裂纹的损伤层，在超声波振动的作用下，在微裂纹形成后由于高频振动的存在使材料内部应力释放更完全，稳定增大微裂纹的扩展，进而稳定扩大了损伤层的扩展，有利于刀具对加工工件精加工时材料的去除，降低切削力和刀具磨损，提升加工效率，提高精加工后加工表面质量，实现硬脆材料的高效精密低损伤去除。

以下，将以一优选实施方式的超声激光机械复合加工方法为例做详细阐述。

一种优选实施方式中的超声激光机械复合加工方法，包括以下步骤：

步骤 S201，根据待加工工件的材料特性和加工要求选择激光波长、脉宽及功率。待加工工件的材质可以为玻璃、陶瓷、蓝宝石、碳化硅或单晶硅等硬脆性材料。例如，激光的波长范围为 335nm~1064nm，功率范围为 10W~500W，脉宽小于 30ns。如果激光的功率范围过大，则容易导致工件开裂，如果激光的功率过小，则加工效率过于低下，故而选择 10W~500W 的合适范围。优选地，激光功率的范围为 10W~100W。例如，本实施方式中，以待加工工件的材质为玻璃作为举例说明。

具体的选择过程大致为：将试验工件置于超声波振动夹具上，此时超声波发生器暂未启动。即，试验工件不会产生超声波振动。然后调节激光参数（包括激光波长、脉宽和功率等），使得试验工件的加工效果较好，不会开裂，试验工件表面具有一定的损伤层。由此确定激光的激光波长、脉宽和功率等参数。

步骤 S202，根据激光加工中待加工材料的亚表面损伤特性确定超声波频率、超声波振幅调节范围，配合激光功率和扫描速度，实现超声和激光的匹配扩损。

例如，超声波的频率范围为 16000Hz~18000Hz，超声波振幅调节范围为 $2\mu\text{m}$ ~ $3\mu\text{m}$ 。

具体的确定过程大致为：等激光的参数（激光波长、脉宽和功率等）调节好后，再调节超声波的参数（包括超声波的频率和振幅），能够保证试验工件上的损伤层进一步扩展。待激光参数和超声波参数都确定好之后，就可以开始对待加工工件进行加工。此时的待加工工件与上述试验工件的材料相同，例如都未玻璃。若需要加工不同材料的工件时，需要重新选择激光参数和超声波参数。

步骤 S203，将待加工工件置于超声波振动夹具上，超声波振动夹具产生的超声波振动传递至待加工工件上，使待加工工件产生超声波振动。在本实施方式中，待加工工件是直接置于超声波振动夹具上的。需要说明的是，在其他的实施方式中，待加工工件还可以间接地置于超声波振动夹具上，只要保证待加工工件上能够产生符合条件的超声波振动即可。

步骤 S204，在待加工工件产生超声波振动的情况下，激光器产生的激光对待加工工件进行粗加工，激光加工使待加工工件上产生损伤层，超声波振动用于增大损伤层的扩展。即，在本实施方式中，采用激光对工件进行加工的同时，工件上还产生超声波振动，形成激光加超声波振动复合对加工工件进行加工的方式。

激光加工对待加工工件的材料进行烧蚀，同时超声波振动有利于激光对待加工工件烧蚀后熔滴的脱落，因此增加了待加工工件与激光的接触；其次，激光烧蚀作用会导致待加工工件表面产生微裂纹的损伤层，在超声波振动的作用下，在微裂纹形成后由于高频振动的存在使材料内部应力释放更完全，稳定增大微裂纹的扩展，进而稳定扩大了损伤层的扩展。经过试验分析得知，采用激光与超声波振动配合做粗加工的方式，玻璃表面激光加工产生的损伤层的深度

大概控制在 $100\mu\text{m}\sim 130\mu\text{m}$ 之间，损伤层可稳定扩展约 $15\%\sim 20\%$ （相较于仅激光进行加工的方式）。

步骤 S205，将刀具安装在超声波刀柄上，超声波刀柄产生的超声波振动传递至刀具上，使刀具产生超声波振动。因此，在刀具上也增加了超声波振动，
5 可以进一步提高对待加工工件加工的表面质量。在本实施方式中，刀具为整体 PCD 微刃铣削刀具。当然，刀具还可以为其他材质的铣削刀具。在其他的实施方式中，还可以省去步骤 S205，而直接采用整体 PCD 微刃切削刀具对工件进行加工。

步骤 S206，根据激光和超声波振动复合加工过程中待加工工件材料的亚表
10 面损伤特性选择合适的切削深度、切削宽度、进给量及切削速度。例如，切削深度范围为 0.2mm 以内，切削宽度范围为 2mm 以内，进给量范围为 $5000\text{mm}/\text{min}$ 以内，切削速度为 $15000\text{r}/\text{min}\sim 24000\text{r}/\text{min}$ 。通过将切削深度、切削宽度、进给量和切削速度设置成上述参数，可以保证工件表面材料（可以是损伤层或者损伤层+部分非损伤层）的高效去除，同时降低刀具的损耗。

15 步骤 S207，通过刀具对待加工工件进行精加工。在本实施方式中的加工步骤中，工件已经经过前面的激光和超声波振动复合加工，因此，加工工件的表面会产生损伤层，降低材料的力学性能，在后续利用刀具对工件进行机加工时，相比于传统通过刀具直接对工件进行加工的方式，可以降低切削力和刀具磨损，提高加工效率。

20 经过试验分析得知，经过激光和超声波振动复合粗加工后，再采用整体 PCD 微刃铣削刀具和超声波刀柄精加工的方式，可以使得玻璃加工表面质量达到 $5\text{nm}\sim 10\text{nm}$ 左右，相比于刀具直接磨削加工的方式，工件表面粗糙度降低 20% 以上。如图 4 所示，采用上述超声激光机械加工方法对玻璃进行加工后，玻璃表

面粗糙度 Sa 为 10nm。如图 5 所示，为传统工艺（作为对比例）中采用 350#砂轮进行粗加工，刀具进行精加工的方式所得工件表面的粗糙度，其粗糙度 Sa 为 12nm。本优选实施方式加工方法加工出的工件，其表面粗糙度更小，表面质量更高。

5 请参阅图 6，为采用激光和超声波振动复合加工方式对玻璃工件粗加工后的损伤层的深度 SEM 图，附图中显示其损伤层 11 的深度为 $115\mu\text{m}$ 。请参阅图 7，为采用激光和超声波振动复合加工后，再采用整体 PCD 微刃铣削刀具和超声波刀柄的加工方式对玻璃工件进行精加工，其亚表面损伤区 12 的深度 SEM 示意图，附图中显示为其亚表面损伤区 12 的深度 $16.3\mu\text{m}$ 。请参阅图 8，为采用 350#砂
10 轮对玻璃工件进行粗加工的损伤层 11' 的深度 SEM 示意图，附图中显示，其损伤层 11' 的深度为 $120\mu\text{m}$ 。请参阅图 9，为采用刀具进行对工件进行加工后的亚表面损伤区 12' 的深度 SEM 示意图，附图中显示，其亚表面损伤区 12' 的深度为 $45.4\mu\text{m}$ 。显然，采用本优选实施方式加工出的玻璃工件的亚表面损伤区 12 的深度更小，意味着玻璃工件表面质量更高。

15 请参阅下表，为采用本优选实施方式的加工方法对工件进行粗加工和精加工和采用 350#砂轮进行粗加工，再利用刀具进行精加工时的切削力对比表格。其中，采用本优选实施方式中的加工方法进行加工时，对玻璃工件进行精加工时，其轴向最大切削力 $F_z\text{ Max}$ 为 15.04 N，其 y 向最大切削力 $F_y\text{ Max}$ 为 1.481 N。采用 350#砂轮进行粗加工，再利用刀具进行精加工时，其轴向最大切削力
20 $F_z\text{ Max}$ 为 32.41 N，其 y 向最大切削力 $F_y\text{ Max}$ 为 3.6 N。通过对比可知，采用本优选实施方式的加工方法，其轴向（Z 向，刀具沿靠近工件的方向）最大切削力降低 113%以上，Y 向最大切削力降低 100%以上。

加工工艺	精加工切削力	
	Fz Max (N)	Fy Max (N)
粗加工：350#砂轮加工 精加工：整体 PCD 微刃铣削刀具和超声 波刀柄复合加工	32.41	3.6
粗加工：激光和超声波振动复合加工 精加工：整体 PCD 微刃铣削刀具和超声 波刀柄复合加工	15.04	1.481

切削力越小说明切削过程中崩碎概率比较小，这意味着材料去除更顺利，加工之后表面凹坑破碎较少，因此加工质量较高；同时切削力小，对刀具磨损，冲击小，可以减缓刀具磨损，延长刀具寿命。

本发明还提供一种超声波振动夹具，超声波振动夹具用于实现上述的超声
5 激光机械复合加工方法。

本发明还提供一种机床，机床用于实现上述的超声激光机械复合加工方法。

本发明还提供一种激光器，激光器用于实现上述的超声激光机械复合加工
方法。

以上所述实施例的各技术特征可以进行任意的组合，为使描述简洁，未对
10 上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述，然而，只要这些技术特征的组合不存在矛盾，都应当认为是本说明书记载的范围。

以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式，其描述较为具体和详细，但并不能因此而理解为对发明专利范围的限制。应当指出的是，对于本领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干变形和改进，
15 进，这些都属于本发明的保护范围。因此，本发明的保护范围应以所附权利要求要求为准。

权 利 要 求 书

1、一种超声激光机械复合加工方法，其特征在于，包括以下步骤：

将待加工工件置于超声波振动夹具上，超声波振动夹具产生的超声波振动传递至待加工工件上，使待加工工件产生超声波振动；

在待加工工件产生超声波振动的情况下，激光器产生的激光对待加工工件进行粗加工，激光加工使待加工工件上产生损伤层，超声波振动用于增大损伤层的扩展；

通过刀具对待加工工件进行精加工。

2、根据权利要求 1 所述的超声激光机械复合加工方法，其特征在于，在激光器对待加工工件进行粗加工之前，还包括：

10 根据待加工工件的材料特性和加工要求选择激光波长、脉宽及功率。

3、根据权利要求 2 所述的超声激光机械复合加工方法，其特征在于，在确定好激光波长、脉宽及功率后，还包括：

根据激光加工中待加工材料的亚表面损伤特性确定超声波频率、超声波振幅调节范围，配合激光功率和扫描速度，实现超声和激光的匹配扩损。

15 4、根据权利要求 3 所述的超声激光机械复合加工方法，其特征在于，在通过刀具对待加工工件进行精加工之前，还包括：

根据激光和超声波振动复合加工过程中待加工工件材料的亚表面损伤特性选择合适的切削深度、切削宽度、进给量及切削速度。

20 5、根据权利要求 3 所述的超声激光机械复合加工方法，其特征在于，在通过刀具对待加工工件进行精加工之前，还包括：

将刀具安装在超声波刀柄上，超声波刀柄产生的超声波振动传递至刀具上，使刀具产生超声波振动。

6、根据权利要求 3 所述的超声激光机械复合加工方法，其特征在于，所述

激光波长范围为 335nm~1064nm，功率范围为 10W~500W，脉宽小于 30ns。

7、根据权利要求 6 所述的超声激光机械复合加工方法，其特征在于，所述超声波的频率范围为 16000Hz~18000Hz，超声波振幅调节范围为 $2\mu\text{m}$ ~ $3\mu\text{m}$ 。

8、根据权利要求 1 所述的超声激光机械复合加工方法，其特征在于，所述
5 刀具为整体 PCD 微刃铣削刀具。

9、根据权利要求 4 所述的超声激光机械复合加工方法，其特征在于，切削深度范围为 0.2mm 以内，切削宽度范围为 2mm 以内，进给量范围为 5000mm/min 以内，切削速度为 15000r/min~24000r/min。

10、根据权利要求 1 所述的超声激光机械复合加工方法，其特征在于，所
10 述待加工工件的材料为玻璃、陶瓷、蓝宝石、碳化硅和单晶硅的任一种。

11、一种超声波振动夹具，其特征在于，所述超声波振动夹具用于实现如权利要求 1-10 任一项所述的超声激光机械复合加工方法。

12、一种机床，其特征在于，所述机床用于实现如权利要求 1-10 任一项所述的超声激光机械复合加工方法。

13、一种激光器，其特征在于，所述激光器用于实现如权利要求 1-10 任一
15 项所述的超声激光机械复合加工方法。

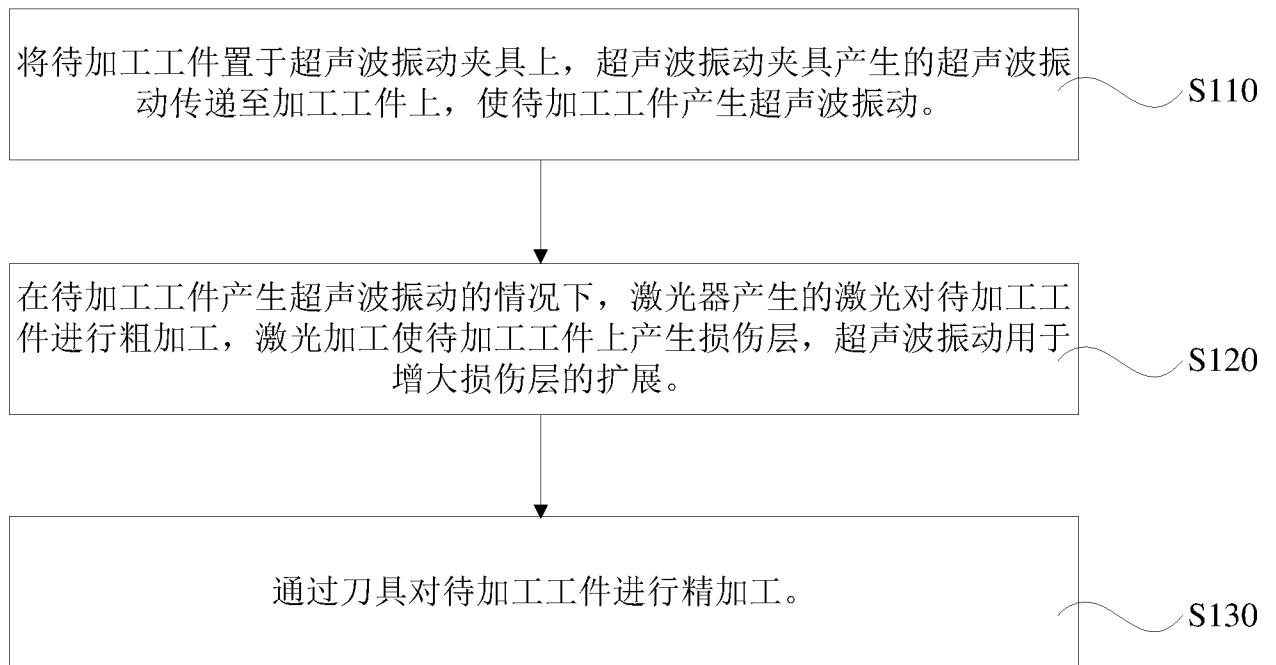


图 1

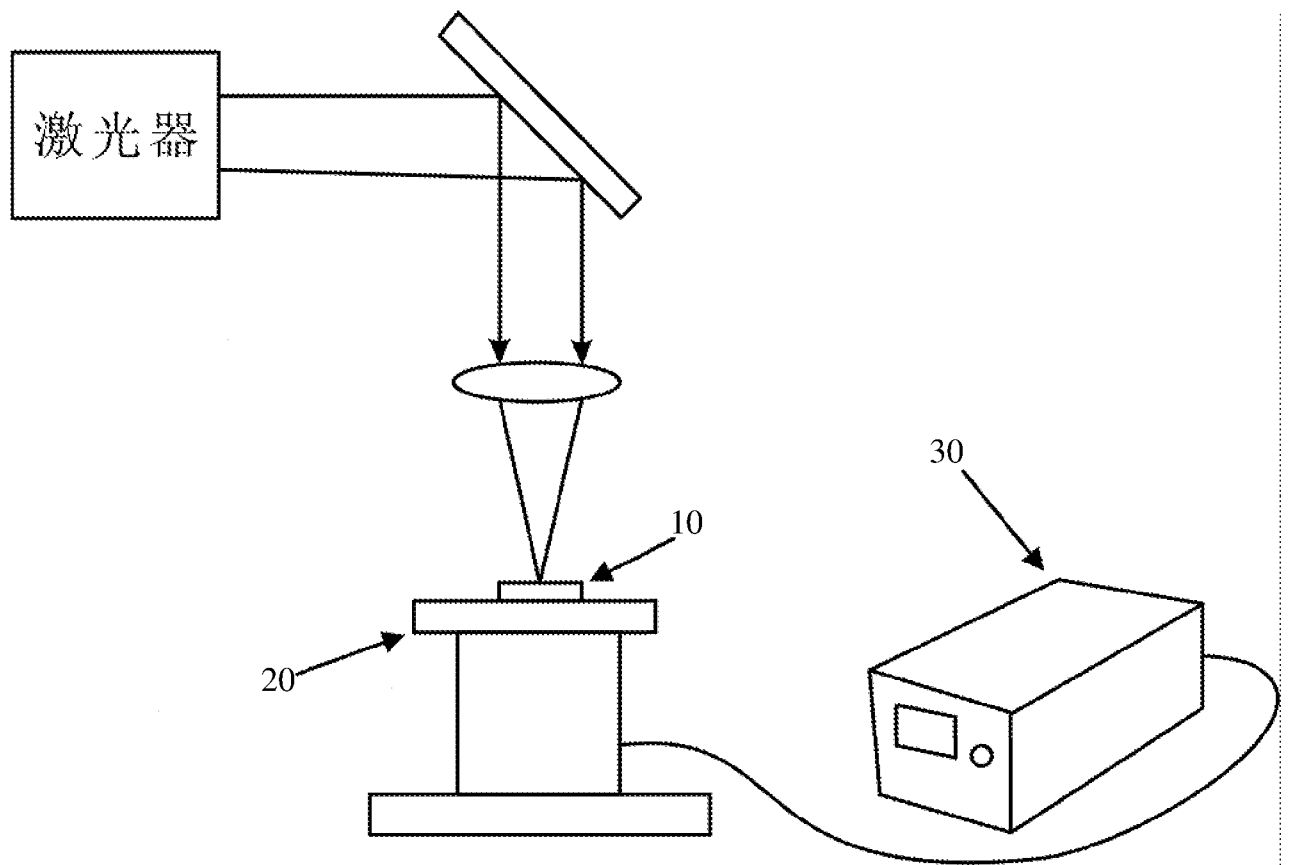


图 2

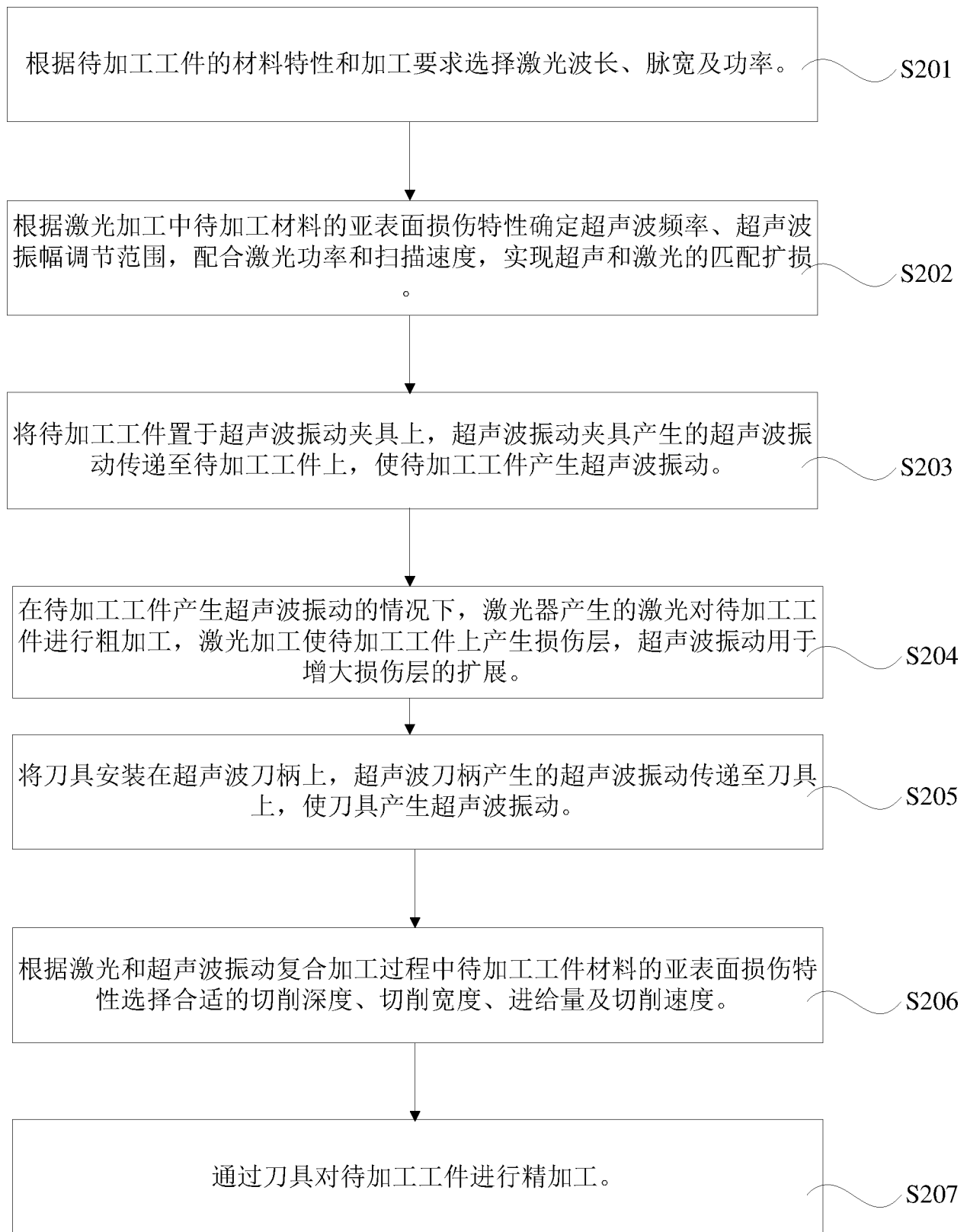


图 3

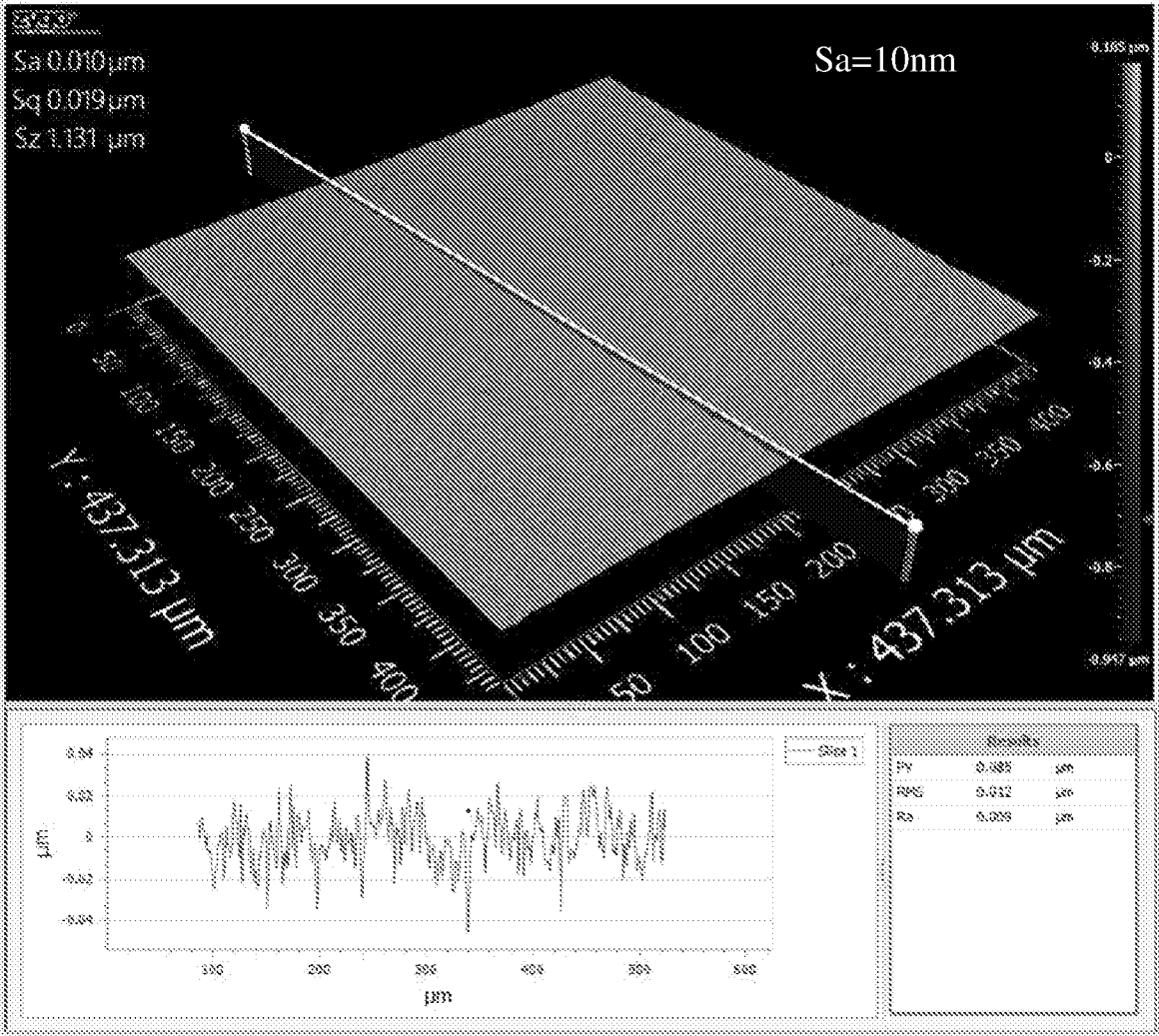


图 4

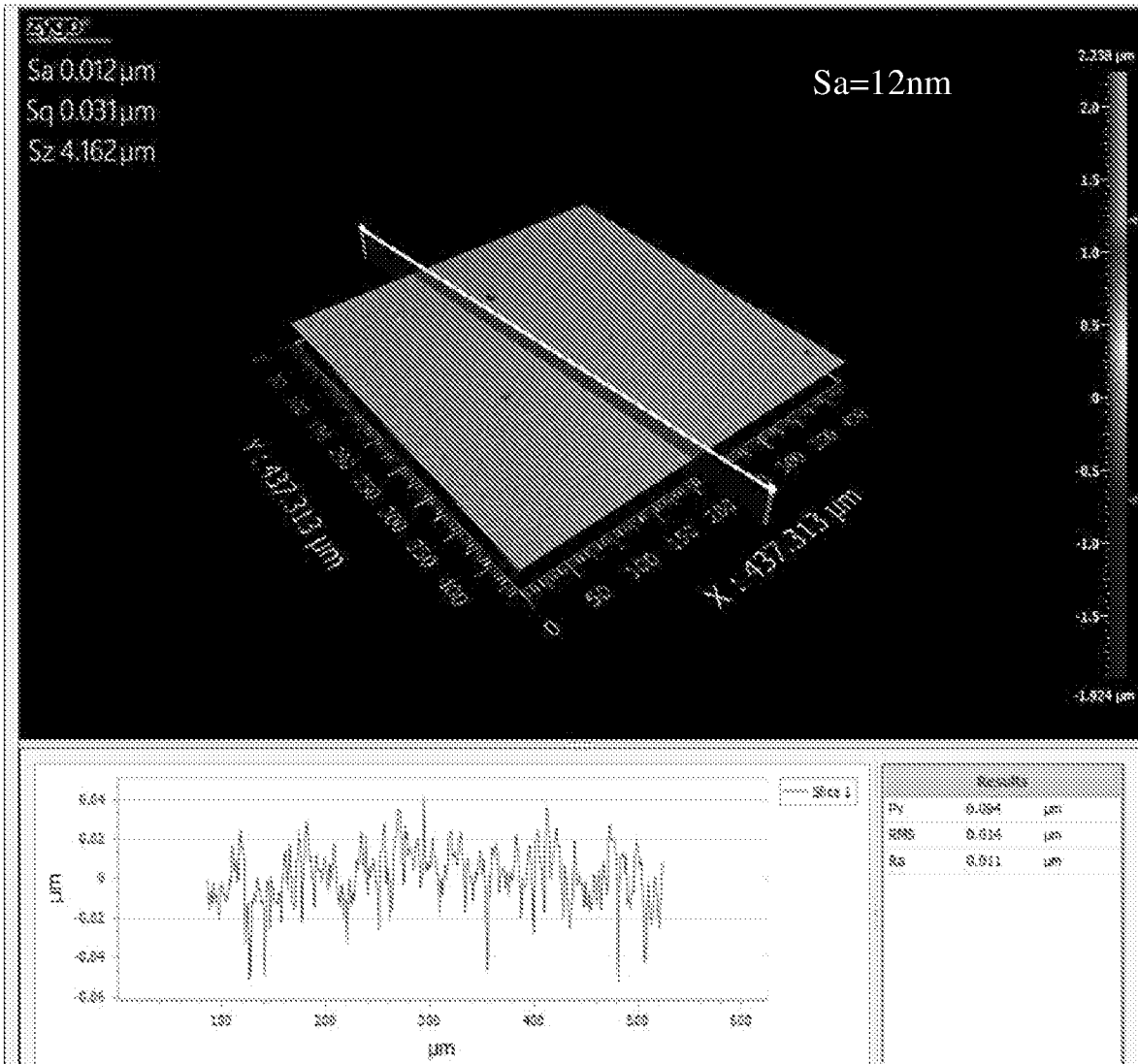


图 5

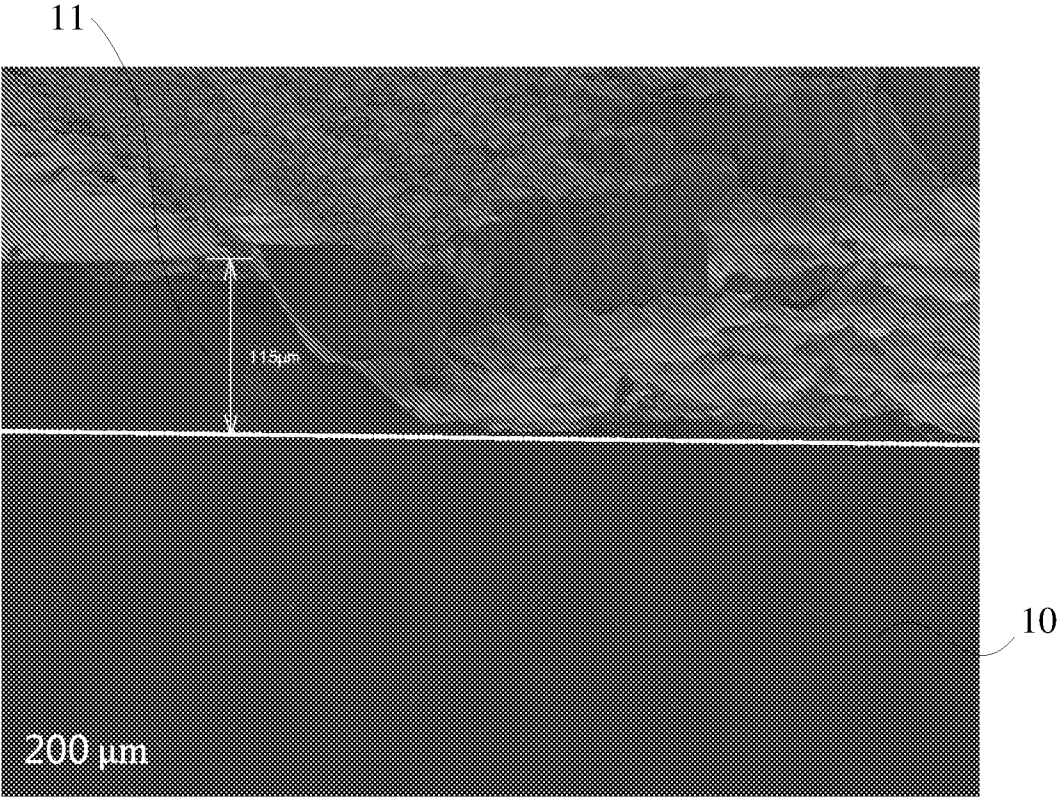


图 6

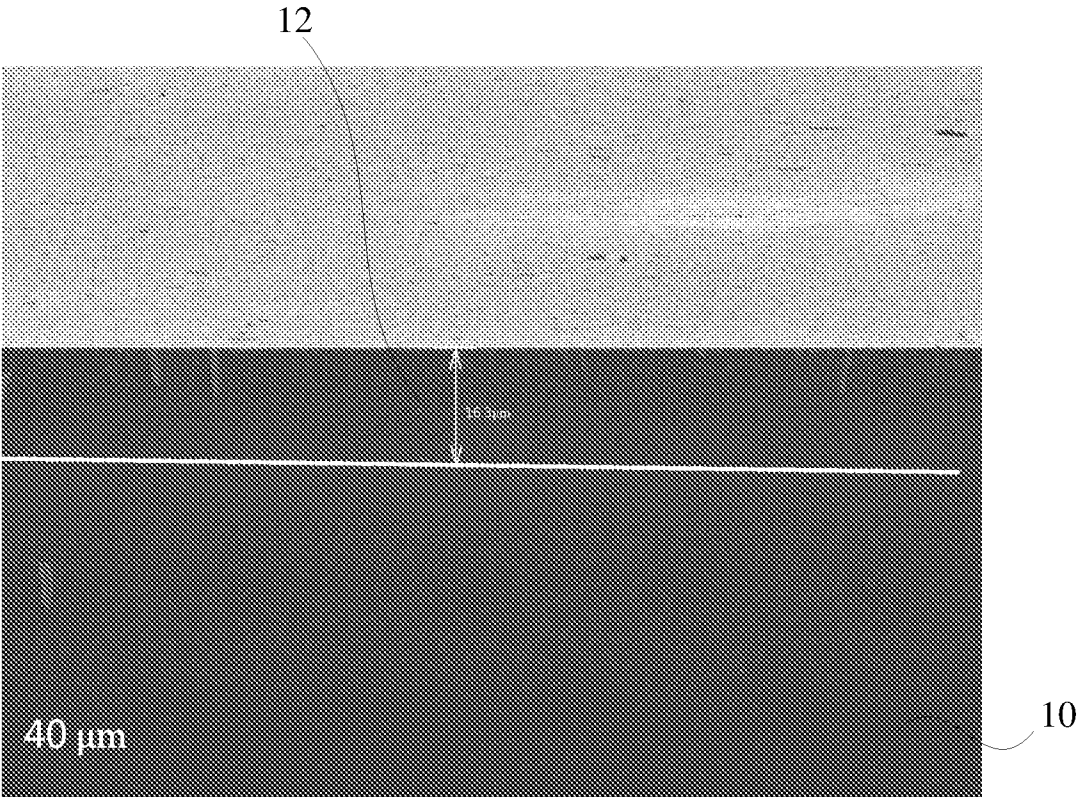


图 7

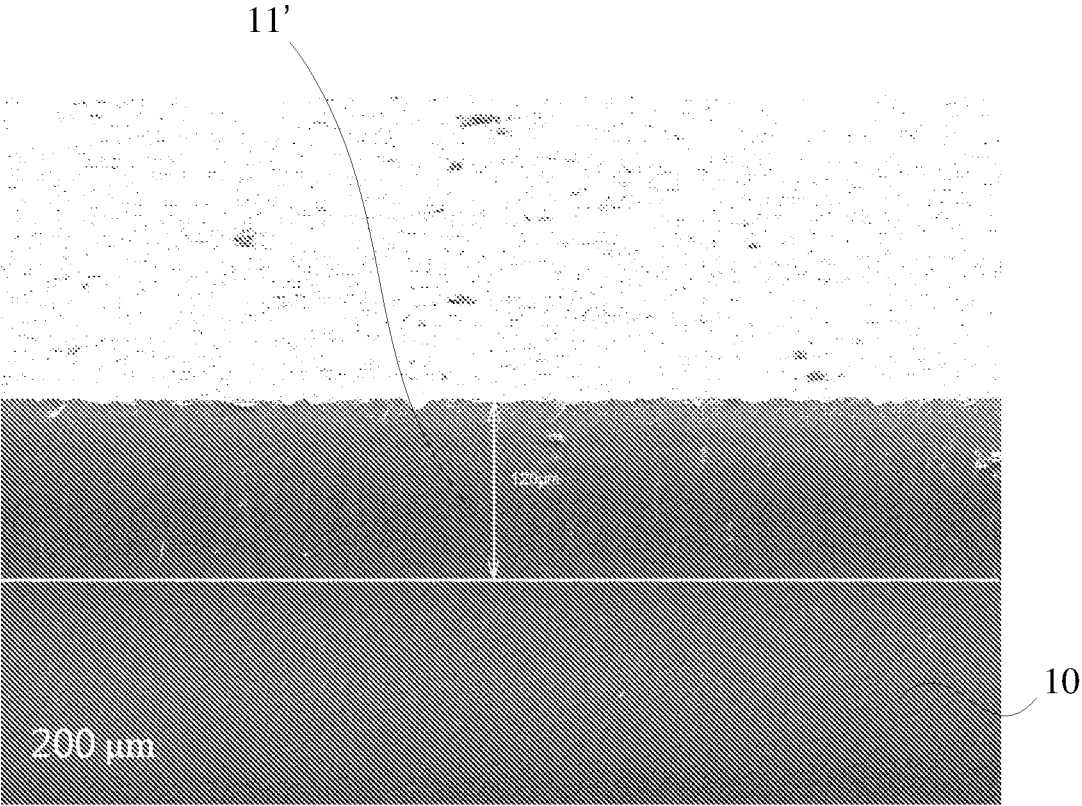


图 8

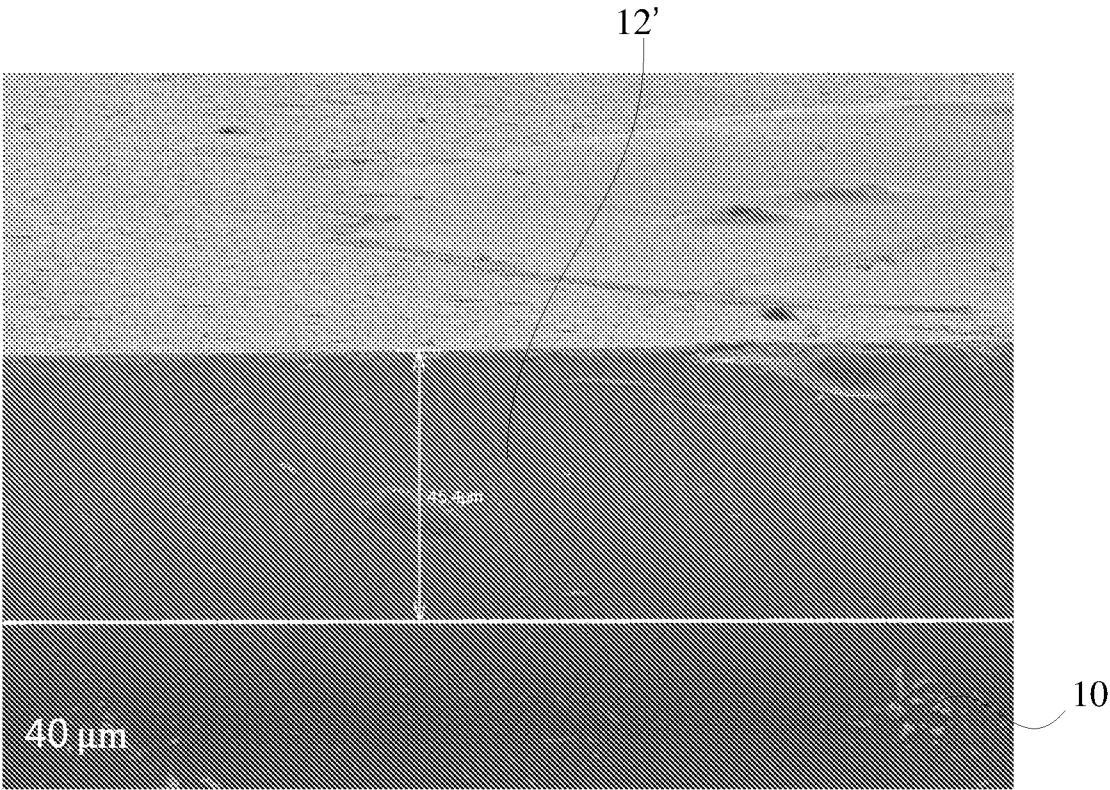


图 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/122295

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B23P 25/00(2006.01)i; B23K 26/346(2014.01)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, 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)

CNABS, CNKI, DWPI, SIPOABS, 超声, 激光, 复合, 加工, 夹具, 振动, 损伤, 扩展, 刀具, supersonic, laser, combined, machining, jig, clamp, vibration, damage, extend, 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 112548339 A (GUANGDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY et al.) 26 March 2021 (2021-03-26) see claims 1-13	1-13
X	CN 108526912 A (CHANGCHUN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 14 September 2018 (2018-09-14) see description, paragraphs 41-56, figures 1-9	1, 8, 10-13
Y	CN 108526912 A (CHANGCHUN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 14 September 2018 (2018-09-14) see description, paragraphs 41-56, figures 1-9	2-7, 9
Y	CN 203110021 U (HARBIN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 07 August 2013 (2013-08-07) see description, paragraphs 22-40, figures 1-3	2-7, 9
A	CN 106271493 A (NINGBO INSTITUTE OF MATERIALS TECHNOLOGY AND ENGINEERING, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 04 January 2017 (2017-01-04) see entire document	1-13
A	CN 110434448 A (SOOCHOW UNIVERSITY) 12 November 2019 (2019-11-12) see entire document	1-13



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

16 December 2021

Date of mailing of the international search report

06 January 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/CN2021/122295**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 10291084 A (HITACHI CONSTRUCTION MACHINERY) 04 November 1998 (1998-11-04) see entire document	1-13
A	DE 202019100025 U1 (LITZ HITECH CORP) 28 February 2019 (2019-02-28) see entire document	1-13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2021/122295

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	112548339	A	26 March 2021	None	
CN	108526912	A	14 September 2018	CN 108526912	B 24 December 2019
CN	203110021	U	07 August 2013	None	
CN	106271493	A	04 January 2017	CN 106271493	B 19 October 2018
CN	110434448	A	12 November 2019	None	
JP	10291084	A	04 November 1998	None	
DE	202019100025	U1	28 February 2019	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/122295

A. 主题的分类

B23P 25/00 (2006.01) i; B23K 26/346 (2014.01) 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)

B23P, 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))

CNABS, CNKI, DWPI, SIP0ABS, 超声, 激光, 复合, 加工, 夹具, 振动, 损伤, 扩展, 刀具, supersonic, laser, combined, machining, jig, clamp, vibration, damage, extend, 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 112548339 A (广东工业大学等) 2021年3月26日 (2021 - 03 - 26) 参见权利要求1-13	1-13
X	CN 108526912 A (长春理工大学) 2018年9月14日 (2018 - 09 - 14) 参见说明书第41-56段, 图1-9	1、8、10-13
Y	CN 108526912 A (长春理工大学) 2018年9月14日 (2018 - 09 - 14) 参见说明书第41-56段, 图1-9	2-7、9
Y	CN 203110021 U (哈尔滨理工大学) 2013年8月7日 (2013 - 08 - 07) 参见说明书第22-40段, 图1-3	2-7、9
A	CN 106271493 A (中国科学院宁波材料技术与工程研究所) 2017年1月4日 (2017 - 01 - 04) 参见全文	1-13
A	CN 110434448 A (苏州大学) 2019年11月12日 (2019 - 11 - 12) 参见全文	1-13
A	JP 10291084 A (HITACHI CONSTRUCTION MACHINERY) 1998年11月4日 (1998 - 11 - 04) 参见全文	1-13

☒ 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

2021年12月16日

国际检索报告邮寄日期

2022年1月6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

授权官员

杨鹏

电话号码 86-010-62085158

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	DE 202019100025 U1 (LITZ HITECH CORP) 2019年2月28日 (2019 - 02 - 28) 参见全文	1-13

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/122295

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	112548339	A	2021年3月26日	无	
CN	108526912	A	2018年9月14日	CN 108526912	B 2019年12月24日
CN	203110021	U	2013年8月7日	无	
CN	106271493	A	2017年1月4日	CN 106271493	B 2018年10月19日
CN	110434448	A	2019年11月12日	无	
JP	10291084	A	1998年11月4日	无	
DE	202019100025	U1	2019年2月28日	无	