

(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
2018 年 3 月 22 日 (22.03.2018)



(10) 国际公布号
WO 2018/049694 A1

- (51) 国际专利分类号:
C21D 6/04 (2006.01) **C21D 10/00** (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2016/099513
- (22) 国际申请日: 2016 年 9 月 21 日 (21.09.2016)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201610823153.5 2016年9月13日 (13.09.2016) 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: 孟宪凯 (MENG, Xiankai); 中国江苏省镇江市京口区学府路 301 号江苏大学机械工程学院, Jiangsu 212013 (CN)。 周建忠 (ZHOU, Jianzhong); 中国江苏省镇江市京口区学府路 301 号江苏

大学机械工程学院, Jiangsu 212013 (CN)。 苏纯 (SU, Chun); 中国江苏省常州市通江南路 299 号常州工学院机械与车辆工程学院, Jiangsu 213022 (CN)。 盛杰 (SHENG, Jie); 中国江苏省镇江市京口区学府路 301 号江苏大学机械工程学院, Jiangsu 212013 (CN)。 徐家乐 (XU, Jiale); 中国江苏省镇江市京口区学府路 301 号江苏大学机械工程学院, Jiangsu 212013 (CN)。 李京 (LI, Jing); 中国江苏省镇江市京口区学府路 301 号江苏大学机械工程学院, Jiangsu 212013 (CN)。 黄舒 (HUANG, Shu); 中国江苏省镇江市京口区学府路 301 号江苏大学机械工程学院, Jiangsu 212013 (CN)。

(74) 代理人: 北京德崇智捷知识产权代理有限公司 (JW IP LAW FIRM); 中国北京市朝阳区酒仙桥路 14 号 A5 楼 7 层 701, Beijing 100015 (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: CRYOGENIC WORKBENCH, CRYOGENIC LASER PEENING EXPERIMENT SYSTEM AND CONTROL METHOD THEREFOR

(54) 发明名称: 一种深冷工作台、深冷激光冲击强化实验系统及其控制方法

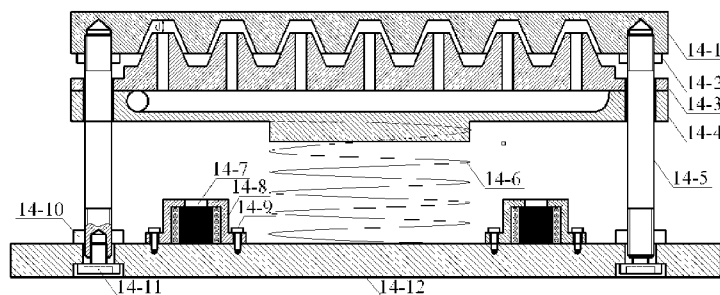


图 3

(57) Abstract: Provided are a cryogenic workbench (14), a cryogenic laser peening system and a control method therefor. A tapered surface gap d is adjusted, based on the electromagnetic principle, to precisely control the gasification volume of liquid nitrogen, then the temperatures of the copious cooling workbench (14) and the surface of a sample (12) are precisely controlled by means of the adjustment of the heat absorption amount of liquid nitrogen gasification, the temperature adjustment range and the temperature rising/lowering rate of the cryogenic laser peening system are effectively extended, and the precision of the control of the surface temperature of the sample (12) is increased in combination with a closed-loop control. In addition, an intelligent control of a cryogenic laser peening process is realized by means of a computer (31) and a PLC control unit (30), so that the usage amount of liquid nitrogen in the experiment process is reduced and the processing efficiency is improved.

(57) 摘要: 一种深冷工作台(14)、深冷激光冲击强化实验系统及其控制方法, 利用电磁原理调节锥面间隙 d 从而精确控制液氮气化的体积, 进而通过调节液氮气化的吸热量精确控制深冷工作台(14)以及试样(12)表面温度, 有效扩大了深冷激光冲击强化实验系统的温度调节范围以及升/降温速度, 并结合闭环控制提高了试样(12)表面温度的控制精度。另外, 通过计算机(31)与PLC控制单元(30)实现了深冷激光冲击强化工艺过程的智能控制, 降低了实验过程中的液氮使用量并提高了加工效率。

BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, 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))。

一种深冷工作台、深冷激光冲击强化实验系统及其控制方法

技术领域

本发明涉及激光加工技术领域以及表面强化领域，提出深冷工作台、深冷激光冲击强化实验系统及其控制方法，利用电磁吸力调节锥面间隙从而精确控制液氮气化体积以及试样表面温度的深冷激光冲击强化实验系统。

背景技术

深冷激光冲击强化技术结合了激光冲击强化高能超快以及超低温变形技术的多重优点，可以诱导产生更高的位错密度，从而显著提高金属材料表面的强硬度，在航空航天、海洋工程以及交通运输等领域均具有极其广阔的应用前景。但是，深冷激光冲击强化技术对温度具有极高的要求，且不同材料的最佳深冷温度也存在明显差异，这要求深冷激光冲击强化设备具有较大的温度调整区间以及较高的温度控制精度。

目前，深冷激光冲击强化设备中普遍采用液氮作为冷却介质实现制冷，例如专利公开号为 CN102492805B 的专利提出一种采用深冷激光冲击强化金属材料的方法与装置，其使用液氮作为冷却介质，利用热传导原理为整个深冷处理腔降温进而控制试样表面温度，该方法虽然可以一定程度上实现深冷激光冲击强化，但是尚存在以下几点不足：1. 受深冷处理腔体积的影响，降温与升温速度均较慢；2. 深冷处理腔内温度分布不均匀且温度调节的响应速度较低，故试样表面温度的控制精度不高，误差较大；3. 液氮使用量较大，成本较高。专利号为 CN105063284A 的专利申请提出一种适用于深冷激光冲击技术的高透光率的深冷激光冲击头及激光冲击系统，通过将试样浸泡在液氮中的方法实现超低温，但仍存在以下缺点：1. 该方法及装置仅能实现单一温度，无法实现温度调节；2. 该发明温度控制精度与试样大小、深冷箱体积、室温温度等密切相关，温度控制精度不高；3. 液氮使用量较大，成本较高。

为了提高深冷激光冲击强化设备中的温度调节范围、升/降温响应速度以及温度控制精度，本发明方法提出一种高精度温度控制的深冷激光冲击强化实验系统对深冷工作台以及试样降温，利用电磁吸力调节锥面间隙从而精确控制液氮气化的体积，进而通过调节液氮气化的吸热量精确控制试样表面温度。通过对国内外文献进行检索，目前还没有发现通过电磁吸力调节锥面间隙进而控制深冷工作台温度的相关装置，也未发现相关方法在深冷激光冲击领域应用的相关报道，本发明为首次提出该装置。

发明内容

本发明提出一种高精度温度控制的深冷工作台、深冷激光冲击强化实验系统及其控制方法，利用电磁吸力调节锥面间隙从而精确控制液氮气化的体积，进而通过调节液氮气化的吸热量精确控制试样表面温度，可以拓展现有技术的调温范围及响应速度并提高其温度控制精度，同时操作简便、加工效率极高。

一种深冷工作台，其特征在于，主要包括工作台面、上装配板、下装配板、双头螺杆、弹簧、电磁铁、底板，所述工作台面的下表面设置锥形槽，所述上装配板上表面设置锥形凸起，所述锥形凸起上设置贯穿所述上装配板的液氮出口，所述下装配板上设置有液氮通道，所述上装配板、下装配板上均设置有通孔，所述工作台面、上装配板、下装配板从上到下依次层叠，所述锥形槽与锥形凸起的数量相等、且锥形凸起位于锥形槽内，所述液氮通道能够与上装配板上的液氮出口连通，所述双头螺杆的一端穿过上装配板、下装配板上的通孔与工作台面螺纹连接，所述双头螺杆的另一端与底板螺纹连接，所述弹簧装于底板与下装配板之间、且处于压缩状态，所述电磁铁固定在底板上，所述下装配板采用铁磁性材料制成，上装配板采用非铁磁性材料制成。

进一步地，所述锥形槽与锥形凸起的数量为多个，且分别在工作台面、上装配板上均匀分布。

进一步地，所述锥形凸起上的液氮出口的直径为 0.5~1.2 mm。

进一步地，所述双头螺杆连接工作台面的一端上还设置有锁紧螺母，双头螺杆与底板螺纹连接的一端还与内六角螺柱相连接，所述内六角螺柱用于调整工作台面水平。

进一步地，所述下装配板的下表面设置凸台，所述弹簧与凸台连接。

包括所述深冷工作台的深冷激光冲击强化实验系统，其特征在于，主要包括外壳、激光器、光路调节系统、所述深冷工作台、二轴运动平台、温度传感器、液氮罐、自动空气压缩机、PLC 集成控制系统与总控台，所述外壳被保温层分割成深冷处理区、光学调整区、大型设备放置区，所述激光器、液氮罐、自动空气压缩机、总控台均放置在大型设备放置区，所述激光器位于大型设备放置区顶部；所述光路调节系统装于光学调整区，包括光学调节架、全反镜和聚光镜，所述全反镜和聚光镜均装在光学调节架上，所述光学调整区与大型设备放置区及深冷处理区之间的保温层上均设置由光学玻璃密封的通孔；所述深冷工作台、二轴运动平台、温度传感器均设置在深冷处理区，所述深冷工作台通过转接台面固定在二轴运动平台上，所述温度传感器探头位于深冷工作台的工作台面上部，用于检测待加工样品表面的温度；所述深冷工作台下装配板上的液氮通道通

过液氮管路与液氮罐相连，所述自动空气压缩机通过高压气管与接头为液氮罐提供压力源；

所述激光器、自动空气压缩机、二轴运动平台、温度传感器、电磁铁均与 PLC 集成控制系统与总控台上的计算机相连接；所述总控台上的计算机通过 PLC 集成控制系统控制激光工艺参数、运动路径以及液氮罐压力，并根据温度传感器检测到的工件表面的温度与预定温度的差值，通过 PLC 集成控制系统控制电磁铁的通电电流，从而调整锥形槽与锥形凸起之间的间隙 d ，调整液氮气化速率，实现对工件表面温度的精确控制。

进一步地，所述光学调整区与深冷处理区均设置有除湿机，所述除湿机的工作状态由总控台上的计算机通过 PLC 集成控制系统控制。

进一步地，还包括工装调配间，所述工装调配间内还设置有单轴运动平台，单轴运动平台的工作状态由总控台上的计算机通过 PLC 集成控制系统控制，所述工装调配间与深冷处理区之间设置有自动门。

深冷激光冲击强化实验系统的控制方法，其特征在于，包括以下步骤：

(1) 开启总控台电源，开启计算机以及 PLC 集成控制系统，开启工装调配间安全门，安装试样、吸收层、约束层以及温度传感器；

(2) 在计算机上设置激光器能量，试样预定温度、液氮罐压力以及光学调整区与深冷处理区的预定湿度，并编制二轴运动平台运动轨迹；

(3) 执行计算机设定程序，二轴运动平台与单轴运动平台自动配合将深冷工作台与试样输送至深冷处理区指定位置，光学调整区与深冷处理区的除湿机开始初始，PLC 集成控制系统实时收集温度传感器检测到的工件表面的温度，根据实时温度与预定温度之间的差值控制电磁铁的通电电流，使上装配体下移以在锥形槽与锥形凸之间形成一定间距 d 的空隙，液氮进入空隙并气化后带走工作台面热量实现工作台面以及试样降温；当试样温度接近或低于预定温度时，计算机控制 PLC 集成控制系统减少电磁铁的通电电流，上装配体上移以降低锥形槽与锥形凸间距 d ，使得单位时间内液氮气化体积降低，深冷工作台进入保温或升温状态；

(4) 当光学调整区与深冷处理区的湿度、液氮罐压力与试样温度满足设定条件后，激光器 1 开启，同时二轴运动平台按设定轨迹运动，实现深冷激光冲击强化；

(5) 强化结束后，二轴运动平台与单轴运动平台自动配合将深冷工作台与试样输送至工装调配间，准备执行下一程序。

进一步地，所述激光器脉宽 8~100 ns，光学调整区的设定湿度为 20~25%，深冷处理

区的设定湿度为 10~15%。空气压缩机保证液氮罐 20 内压力在 30~50 MPa 之间；工件表面的控温范围为-20~-179 °C，温度误差为±8 °C。

所述深冷工作台的工作过程为：系统不工作时，上装配板的锥形凸与工作台面的椎形槽紧密配合，液氮无法通过锥面间隙气化而制冷。当系统开启时，计算机控制 PLC 集成控制系统实时收集温度传感器反馈的试样表面温度，并根据实时温度与预定温度之间的差值控制电磁铁的通电电流，使上装配体下移以在椎形槽与锥形凸之间形成一定间距 d 的空隙，液氮进入空隙并气化后带走工作台面热量实现工作台面以及试样降温。当试样温度接近或低于预定温度时，计算机控制 PLC 集成控制系统减少电磁铁的通电电流，上装配体上移以降低椎形槽与锥形凸间距 d ，使得单位时间内液氮气化体积降低，深冷工作台进入保温或升温状态。该方法可以有效扩大温度调节范围同时降低液氮使用量，并结合闭环控制提高了试样表面温度的控制精度。深冷工作台对铝合金，钢，钛合金等常见金属材料的控温范围为-20~-179 °C，温度误差为±8 °C，本发明最高调节精度可达±3°C。

本发明的有益效果为：

- 1.通过电磁原理调节锥面间隙的方法调节深冷工作台温度，金属材料的调温范围普遍可达-20~-179°C，有效拓宽了传统深冷激光冲击强化装置的调温范围。
- 2.直接对深冷工作台与试样进行降温，升/降温速度较快，调温响应速度较高。
- 3.结合闭环控制有效提高了超低温环境的温度控制精度，最高精度可达±3°C。
- 4.实现了激光能量，试样温度、液氮压力、湿度以及运动轨迹的智能控制，操作简便、加工效率极高。
- 5.液氮使用量较低，加工成本降低。

附图说明

图 1 为本发明所述深冷激光冲击强化实验系统右视图。

图 2 为本发明所述深冷激光冲击强化实验系统俯视图。

图 3 为深冷工作台装配图。

图 4 为上装配板零件图。

图 5 为下装配板装配图。

图中：

- 1.激光器，2.垂直压盖，3.第一光学玻璃，4. 光学调节架，5.全反镜，6. 聚光镜，7. 第一除湿机，8.第二光学玻璃，9.水平压盖，10.约束层，11.吸收层，12.试样，13.温度传

感器, 14.深冷工作台, 15.柔性液氮管路, 16.保温层, 17.转接头, 18.液氮管路, 19.第一接头, 20.液氮罐, 21.第二接头, 22.转接台面, 23.二轴运动平台, 24.自动门, 25.单轴运动平台, 26.安全门, 27.第二除湿机, 28.高压气管, 29.自动空气压缩机, 30.PLC 集成控制系统, 31.计算机, 32.总控台, 33.外壳; 14-1.工作台面, 14-2.紧固螺母, 14-3.上装配板, 14-4.下装配板, 14-5.双头螺杆, 14-6.弹簧, 14-7.电磁铁, 14-8.压盖, 14-9.螺柱, 14-10.紧固螺母, 14-11.内六角螺柱, 14-12.底板, 14-13.内六角螺柱。

具体实施方式

下面结合附图以及具体实施例对本发明作进一步的说明, 但本发明的保护范围并不限于此。

如图 1、图 2 所示, 本发明所述的深冷激光冲击强化实验系统, 主要包括外壳 33、激光器 1、光路调节系统、深冷工作台 14、二轴运动平台 23、温度传感器、液氮罐、自动空气压缩机 29、PLC 集成控制系统 30 与总控台 32。所述外壳 33 被保温层 16 分割成深冷处理区、光学调整区、大型设备放置区。所述激光器 1、液氮罐、自动空气压缩机 29、总控台 32 均放置在大型设备放置区, 所述激光器 1 位于大型设备放置区顶部。所述光路调节系统装于光学调整区, 包括光学调节架 4、全反镜 5 和聚光镜 6, 所述全反镜 5 和聚光镜 6 均装在光学调节架 4 上。所述光学调整区与大型设备放置区及深冷处理区之间的保温层 16 上均设置由光学玻璃密封的通孔。光学调整区与大型设备放置区之间的第一光学玻璃 3 通过垂直压盖 2 压紧在保温层 16 上。光学调整区与深冷处理区之间的第二光学玻璃 8 通过水平压盖 9 压紧在保温层 16 上。激光器 1 发射的激光束经第一光学玻璃 3 进入光学调整区, 随后激光经 45° 全反镜 5、聚焦镜 6 以及第二光学玻璃 8 进入深冷处理区。为降低空气中水分对全反镜 5、聚焦镜 6 以及第一光学玻璃 3 光学性能的影响, 光学调整区使用第一除湿机 7 保证空气干燥。

所述深冷工作台 14、二轴运动平台、温度传感器 13 均设置在深冷处理区, 所述深冷工作台 14 通过转接台面 22 固定在二轴运动平台上。

如图 3 所示, 所述深冷工作台 14, 主要包括工作台面 14-1、上装配板 14-3、下装配板 14-4、双头螺杆 14-5、弹簧 14-6、电磁铁 14-7、底板 14-12。所述工作台面 14-1 的下表面设置锥形槽; 所述上装配板 14-3 上表面设置锥形凸起, 所述锥形凸起上设置贯穿所述上装配板 14-3 的液氮出口; 所述锥形凸起上的液氮出口的直径为 0.5~1.2 mm。所述下装配板 14-4 上设置有液氮通道。所述上装配板 14-3、下装配板 14-4 上均设置有通孔, 所述工作台面 14-1、上装配板 14-3、下装配板 14-4 从上到下依次层叠, 所述锥形槽与锥

形凸起的数量相等、且锥形凸起位于锥形槽内，所述锥形槽与锥形凸起的数量为多个，且分别在工作台面 14-1、上装配板 14-3 上均匀分布。所述液氮通道能够与上装配板 14-3 上的液氮出口连通。所述双头螺杆 14-5 的一端穿过上装配板 14-3、下装配板 14-4 上的通孔与工作台面 14-1 螺纹连接；所述双头螺杆的另一端与底板 14-12 螺纹连接。所述双头螺杆 14-5 连接工作台面 14-1 的一端上还设置有锁紧螺母，双头螺杆与底板 14-12 螺纹连接的一端还与内六角螺柱 14-11 相连接，所述内六角螺柱 14-11 用于调整工作台面 14-1 水平。所述弹簧 14-6 装于底板 14-12 与下装配板 14-4 之间、且处于压缩状态；所述下装配板 14-4 的下表面设置凸台，所述弹簧 14-6 与凸台连接。所述电磁铁 14-7 固定在底板 14-12 上，所述下装配板 14-4 采用铁磁性材料制成，上装配板 14-3 采用非铁磁性材料制成。

涂覆吸收层 11 的试样 12 装配在深冷工作台 14 上，吸收层 11 上方采用蓝宝石玻璃作为约束层 10，所述温度传感器 13 探头位于深冷工作台 13 的工作台面上部，用于检测待加工样品表面的温度；温度传感器 13 粘贴在试样 12 放入侧面，并通过接头 B 反馈至 PLC 集成控制系统 30，实现试样温度的闭环控制。所述深冷工作台 14 下装配板 14-4 上的液氮通道通过液氮管路 18 与液氮罐相连，所述自动空气压缩机 29 通过高压气管 28 与第二接头 21 为液氮罐 20 提供压力源。为了实现温度控制，自动空气压缩机 29 通过高压气管 28 与第二接头 21 为液氮罐 20 提供压力源，液氮在压力作用下经第一接头 19、液氮管路 18 与转接头 17 进入深冷处理区，并通过柔性液氮管路 15 与深冷工作台 14 相连接。

所述激光器 1、自动空气压缩机 29、二轴运动平台、温度传感器 13、电磁铁均与 PLC 集成控制系统 30 与总控台 32 上的计算机 31 相连接；所述总控台 32 上的计算机 31 通过 PLC 集成控制系统 30 控制激光工艺参数、运动路径以及液氮罐压力，并根据温度传感器 13 检测到的工件表面的温度与预定温度的差值，通过 PLC 集成控制系统 30 控制电磁铁的通电电流，从而调整锥形槽与锥形凸起之间的间隙 d ，调整液氮气化速率，实现对工件表面温度的精确控制，大大提高了加工效率。

为避免空气中水分对第二光学玻璃 8 以及约束层 10 光学性能的影响，深冷处理区使用第二除湿机 27 保证空气干燥。所述第一除湿机 7、第二除湿机 27 的工作状态由总控台 32 上的计算机 31 通过 PLC 集成控制系统 30 控制。

为方便试样的安装与拆卸，工装调配间内设置单轴运动平台 25 实现深冷工作台 14 的移动，单轴运动平台 25 的工作状态由总控台 32 上的计算机 31 通过 PLC 集成控制系

统 30 控制。工装调配间与深冷处理区间设置自动门 24，保证深冷处理区具有一定密闭性。同时，工装调配间的侧面设置安全门 26，方便人工装配与调试。

深冷工作台 14 的工作原理为：利用电磁吸力调节锥面间隙从而精确控制液氮气化的体积，进而通过调节液氮气化的吸热量精确控制试样表面温度。其具体过程为：系统不工作时，上装配板 14-3 的锥形凸与工作台面 14-1 的椎形槽紧密配合，液氮无法通过锥面间隙气化而制冷。当系统开启时，计算机 31 控制 PLC 集成控制系统 30 实时收集温度传感器 13 反馈的试样 12 表面温度，并根据实时温度与预定温度之间的差值控制电磁铁 14-7 的通电电流，使上装配体 14-3 下移以在椎形槽与锥形凸之间形成一定间距 d 的空隙，液氮进入空隙并气化后带走工作台面热量实现工作台面 14-1 以及试样 12 降温。当试样 12 温度接近或低于预定温度时，计算机 31 控制 PLC 集成控制系统 30 减少电磁铁 14-7 的通电电流，上装配体 14-3 上移以降低椎形槽与锥形凸间距 d ，使得单位时间内液氮气化体积降低，深冷工作台 14 进入保温或升温状态。该方法可以有效扩大温度调节范围以及升/降温速度同时降低液氮使用量，并结合闭环控制提高了试样表面温度的控制精度。

深冷激光冲击强化实验系统的控制方法，包括以下步骤：

(1) 开启总控台 32 电源，开启计算机 31 以及 PLC 集成控制系统 30，开启工装调配间安全门 26，安装试样 12、吸收层 11、约束层 10 以及温度传感器 13；

(2) 在计算机 31 上设置激光器 1 能量，试样 12 预定温度、液氮罐 20 压力以及光学调整区与深冷处理区的预定湿度，并编制二轴运动平台 23 运动轨迹；

(3) 执行计算机 31 设定程序，二轴运动平台 23 与单轴运动平台 25 自动配合将深冷工作台 14 与试样 12 输送至深冷处理区指定位置，光学调整区与深冷处理区的除湿机开始初始，PLC 集成控制系统 30 实时收集温度传感器 13 检测到的工件表面的温度，根据实时温度与预定温度之间的差值控制电磁铁 14-7 的通电电流，使上装配体 14-3 下移以在椎形槽与锥形凸之间形成一定间距 d 的空隙，液氮进入空隙并气化后带走工作台面热量实现工作台面 14-1 以及试样 12 降温；当试样 12 温度接近或低于预定温度时，计算机 31 控制 PLC 集成控制系统 30 减少电磁铁 14-7 的通电电流，上装配体 14-3 上移以降低椎形槽与锥形凸间距 d ，使得单位时间内液氮气化体积降低，深冷工作台 14 进入保温或升温状态；

(4) 当光学调整区与深冷处理区的湿度、液氮罐 20 压力与试样 12 温度满足设定条件后，激光器 1 开启，同时二轴运动平台 23 按设定轨迹运动，实现深冷激光冲击强化；

(5) 强化结束后，二轴运动平台 23 与单轴运动平台 25 自动配合将深冷工作台 14

与试样 12 输送至工装调配间，准备执行下一程序。

所述激光器 1 脉宽 8~100 ns，光学调整区的设定湿度为 20~25%，深冷处理区的设定湿度为 10~15%。空气压缩机 29 保证液氮罐 20 内压力在 30~50 MPa 之间；深冷工作台 14 对铝合金、钢、钛合金等常见金属材料工件表面的控温范围为-20~-179 °C，温度误差为±8 °C，最高调节精度可达±3°C。

采用本发明所述的深冷激光冲击强化实验系统对 2024 航空铝合金进行深冷激光冲击强化实验，2024 航空铝合金尺寸为 40mm×40mm×2mm。其中，激光器 1 采用 Nd: YAG 纳秒激光器 1，脉宽 10 ns，吸收层为黑漆，平均厚度 200μm；约束层为蓝宝石玻璃，厚度 3 mm。除湿机 7 设定湿度为 22±2%，除湿机 27 设定湿度为 13±0.5%，液氮罐 20 压力为 40±2 MPa。深冷工作台 14 中，下装配板 14-44 采用 45#钢，上装配板 14-34 采用厚度 10 mm 的 7075 航空硬铝加工。上装配板 14-3 锥形凸的通孔直径为 1 mm。

实验结果表明，当温度误差在±8 °C 以内时，深冷工作台 13 对 2024 航空铝合金的控温范围可达-16~-182 °C。当温度误差在±3 °C 以内时，深冷工作台 13 对 2024 航空铝合金的控温范围可达-58~-137 °C。上述结果表明，本发明装置可以拓宽深冷激光冲击强化的控温区间，并显著提高控温精度，满足深冷激光冲击强化的实验需求。

所述实施例为本发明的优选的实施方式，但本发明并不限于上述实施方式，在不背离本发明的实质内容的情况下，本领域技术人员能够做出的任何显而易见的改进、替换或变型均属于本发明的保护范围。

权 利 要 求 书

1. 一种深冷工作台，其特征在于，主要包括工作台面（14-1）、上装配板（14-3）、下装配板（14-4）、双头螺杆（14-5）、弹簧（14-6）、电磁铁（14-7）、底板（14-12），所述工作台面（14-1）的下表面设置锥形槽，所述上装配板（14-3）上表面设置锥形凸起，所述锥形凸起上设置贯穿所述上装配板（14-3）的液氮出口，所述下装配板（14-4）上设置有液氮通道，所述上装配板（14-3）、下装配板（14-4）上均设置有通孔，所述工作台面（14-1）、上装配板（14-3）、下装配板（14-4）从上到下依次层叠，所述锥形槽与锥形凸起的数量相等、且锥形凸起位于锥形槽内，所述液氮通道能够与上装配板（14-3）上的液氮出口连通，所述双头螺杆（14-5）的一端穿过上装配板（14-3）、下装配板（14-4）上的通孔与工作台面（14-1）螺纹连接，所述双头螺杆的另一端与底板（14-12）螺纹连接，所述弹簧（14-6）装于底板（14-12）与下装配板（14-4）之间、且处于压缩状态，所述电磁铁（14-7）固定在底板（14-12）上，所述下装配板（14-4）采用铁磁性材料制成，上装配板（14-3）采用非铁磁性材料制成。

2. 根据权利要求 1 所述的深冷工作台，其特征在于，所述锥形槽与锥形凸起的数量为多个，且分别在工作台面（14-1）、上装配板（14-3）上均匀分布。

3. 根据权利要求 1 所述的深冷工作台，其特征在于，所述锥形凸起上的液氮出口的直径为 0.5~1.2 mm。

4. 根据权利要求 1 所述的深冷工作台，其特征在于，所述双头螺杆（14-5）连接工作台面（14-1）的一端上还设置有锁紧螺母，双头螺杆与底板（14-12）螺纹连接的一端还与内六角螺柱（14-11）相连接，所述内六角螺柱（14-11）用于调整工作台面（14-1）水平。

5. 根据权利要求 1 所述的深冷工作台，其特征在于，所述下装配板（14-4）的下表面设置凸台，所述弹簧（14-6）与凸台连接。

6. 一种包括权利要求 1 所述深冷工作台的深冷激光冲击强化实验系统，其特征在于，主要包括外壳（33）、激光器（1）、光路调节系统、所述深冷工作台（14）、二轴运动平台（23）、温度传感器（13）、液氮罐（20）、自动空气压缩机（29）、PLC 集成控制系统（30）与总控台（32），所述外壳（33）被保温层（16）分割成深冷处理区、光学调整区、大型设备放置区，所述激光器（1）、液氮罐（20）、自动空气压缩机（29）、总控台（32）均放置在大型设备放置区，所述激光器（1）位于大型设备放置区顶部；所述光路调节系统装于光学调整区，包括光学调节架（4）、全反镜（5）和聚光镜（6），所述全反

镜（5）和聚光镜（6）均装在光学调节架（4）上，所述光学调整区与大型设备放置区及深冷处理区之间的保温层（16）上均设置由光学玻璃密封的通孔；所述深冷工作台、二轴运动平台（23）、温度传感器（13）均设置在深冷处理区，所述深冷工作台通过转接台面（22）固定在二轴运动平台（23）上，所述温度传感器（13）探头位于深冷工作台的工作台面上部，用于检测待加工样品表面的温度；所述深冷工作台（14）下装配板（14-4）上的液氮通道通过柔性液氮管路（15）与液氮罐（20）相连，所述自动空气压缩机（29）通过高压气管（28）与接头（21）为液氮罐（20）提供压力源；

所述激光器（1）、自动空气压缩机（29）、二轴运动平台（23）、温度传感器（13）、电磁铁均与 PLC 集成控制系统（30）与总控台（32）上的计算机（31）相连接；所述总控台（32）上的计算机（31）通过 PLC 集成控制系统（30）控制激光工艺参数、运动路径以及液氮罐（20）压力，并根据温度传感器（13）检测到的工件表面的温度与预定温度的差值，通过 PLC 集成控制系统（30）控制电磁铁的通电电流，从而调整锥形槽与锥形凸起之间的间隙 d ，调整液氮气化速率，实现对工件表面温度的精确控制。

7. 根据权利要求 6 所述的深冷激光冲击强化实验系统，其特征在于，所述光学调整区与深冷处理区均设置有除湿机，所述除湿机的工作状态由总控台（32）上的计算机（31）通过 PLC 集成控制系统（30）控制。

8. 根据权利要求 6 所述的深冷激光冲击强化实验系统，其特征在于，还包括工装调配间，所述工装调配间内还设置有单轴运动平台，单轴运动平台的工作状态由总控台（32）上的计算机（31）通过 PLC 集成控制系统（30）控制，所述工装调配间与深冷处理区之间设置有自动门（24）。

9. 一种深冷激光冲击强化实验系统的控制方法，其特征在于，包括以下步骤：

（1）开启总控台（32）电源，开启计算机（31）以及 PLC 集成控制系统（30），开启工装调配间安全门（26），安装试样（12）、吸收层（11）、约束层（10）以及温度传感器（13）（13）；

（2）在计算机（31）上设置激光器（1）能量，试样（12）预定温度、液氮罐（20）压力以及光学调整区与深冷处理区的预定湿度，并编制二轴运动平台（23）运动轨迹；

（3）执行计算机（31）设定程序，二轴运动平台（23）与单轴运动平台（25）自动配合将深冷工作台（14）与试样（12）输送至深冷处理区指定位置，光学调整区与深冷处理区的除湿机开始初始，PLC 集成控制系统（30）实时收集温度传感器（13）检测到的工件表面的温度，根据实时温度与预定温度之间的差值控制电磁铁（14-7）的通电电流，使上装配体（14-3）下移以在锥形槽与锥形凸之间形成一定间距 d 的空隙，液氮进入空隙并

气化后带走工作台面热量实现工作台面（14-1）以及试样（12）降温；当试样（12）温度接近或低于预定温度时，计算机（31）控制 PLC 集成控制系统（30）减少电磁铁（14-7）的通电电流，上装配体（14-3）上移以降低椎形槽与锥形凸间距 d ，使得单位时间内液氮气化体积降低，深冷工作台（14）进入保温或升温状态；

（4）当光学调整区与深冷处理区的湿度、液氮罐（20）压力与试样（12）温度满足设定条件后，激光器（1）开启，同时二轴运动平台（23）按设定轨迹运动，实现深冷激光冲击强化；

（5）强化结束后，二轴运动平台（23）与单轴运动平台（25）自动配合将深冷工作台（14）与试样（12）输送至工装调配间，准备执行下一程序。

10. 根据权利要求 9 所述的深冷激光冲击强化实验系统的控制方法，其特征在于，所述激光器（1）脉宽 8~100 ns，光学调整区的设定湿度为 20~25%，深冷处理区的设定湿度为 10~15%。空气压缩机（29）保证液氮罐（20）内压力在 30~50 MPa 之间；工件表面的控温范围为-20~-179 °C，温度误差为 ± 8 °C。

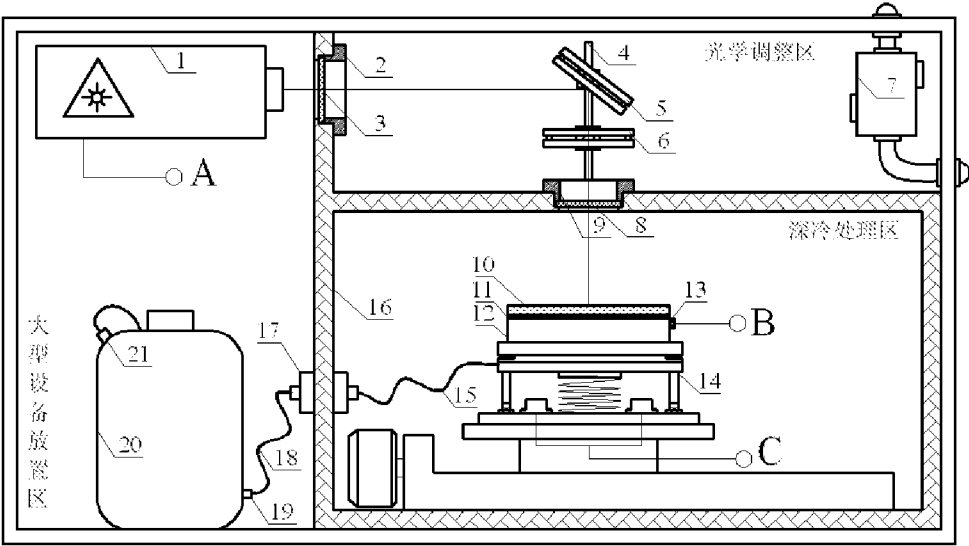


图 1

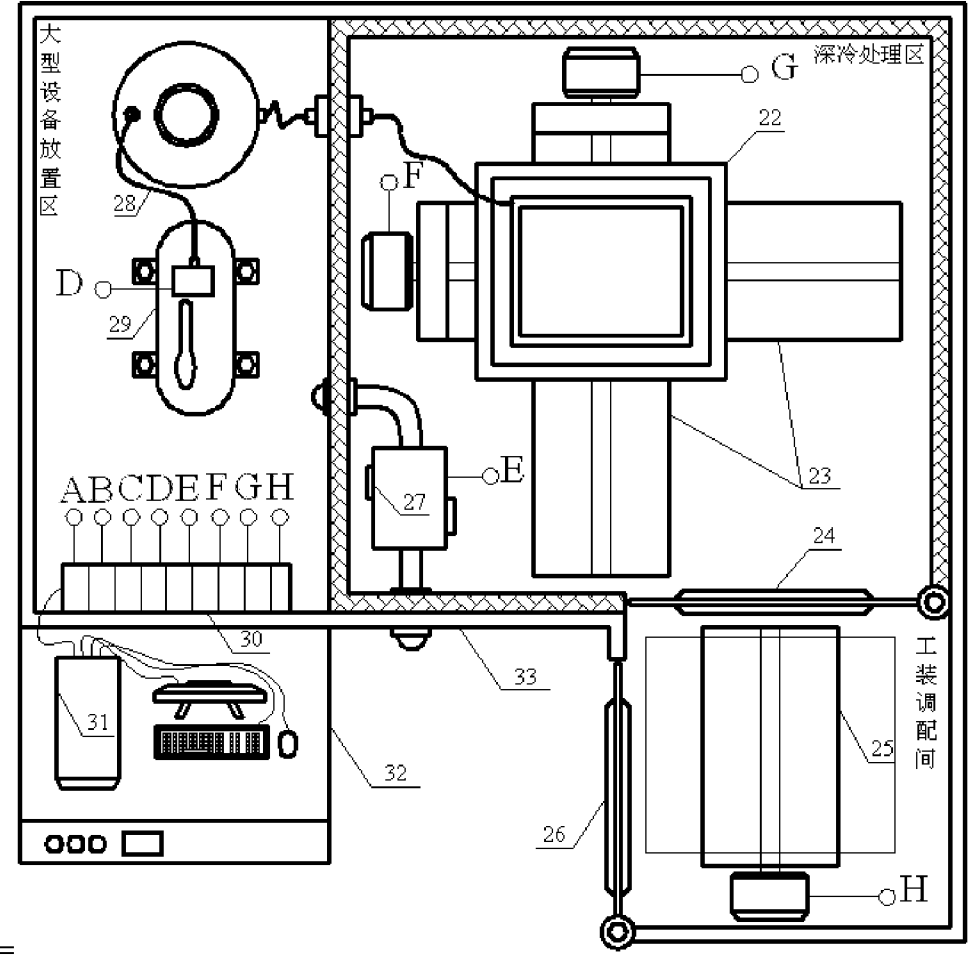


图 2

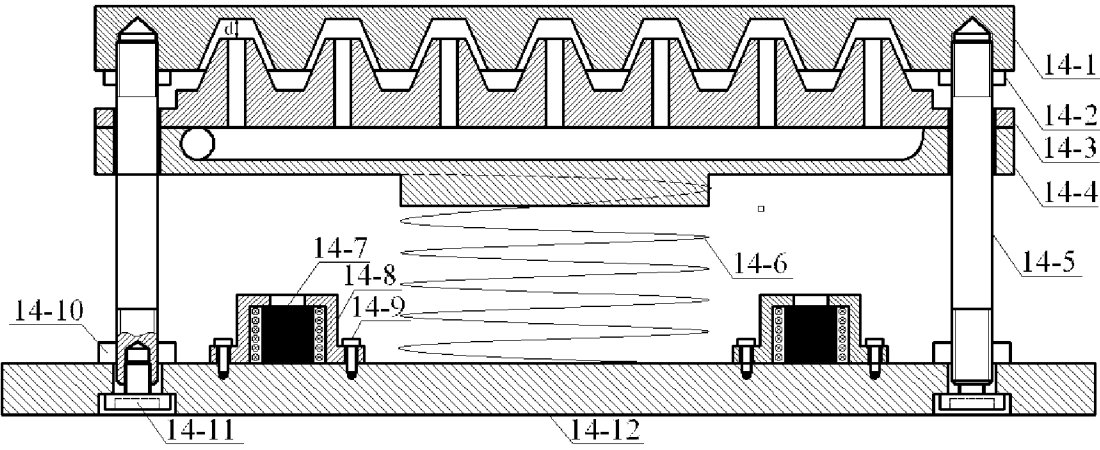


图 3

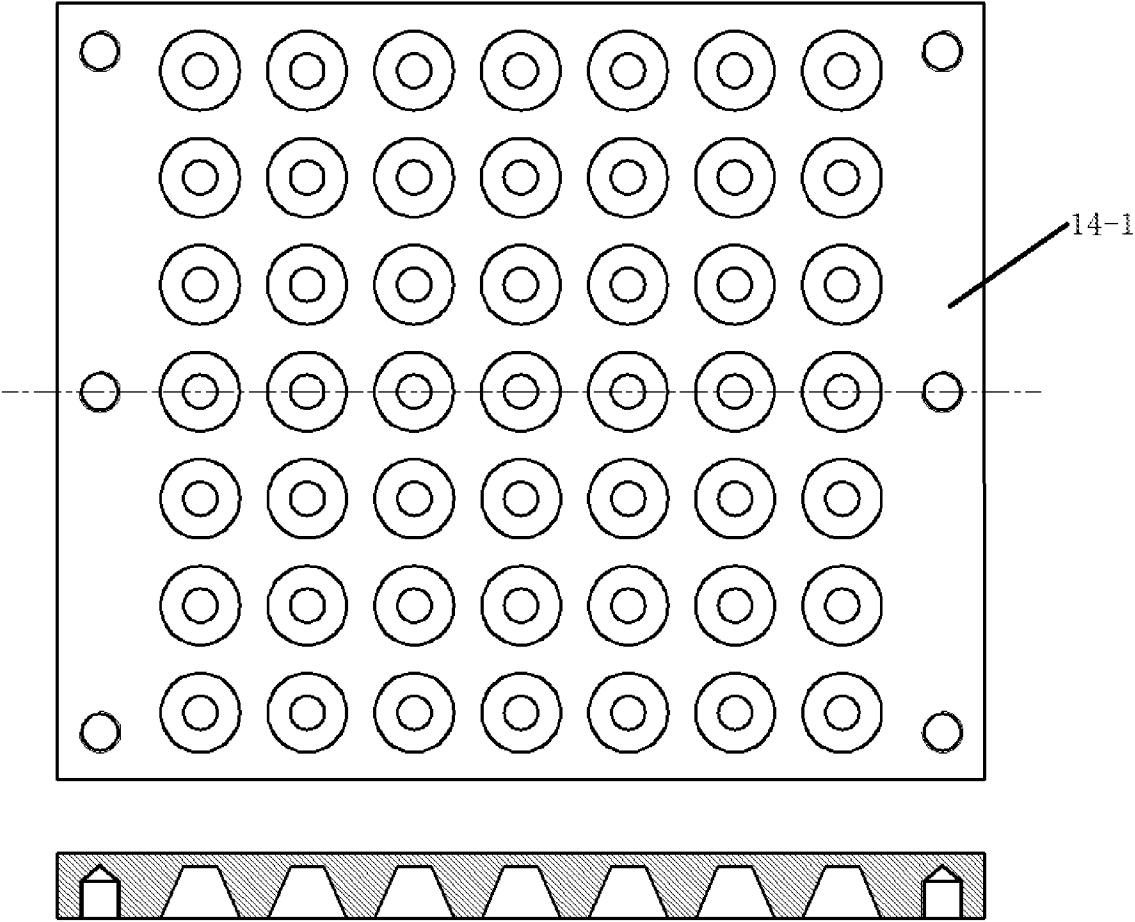


图 4

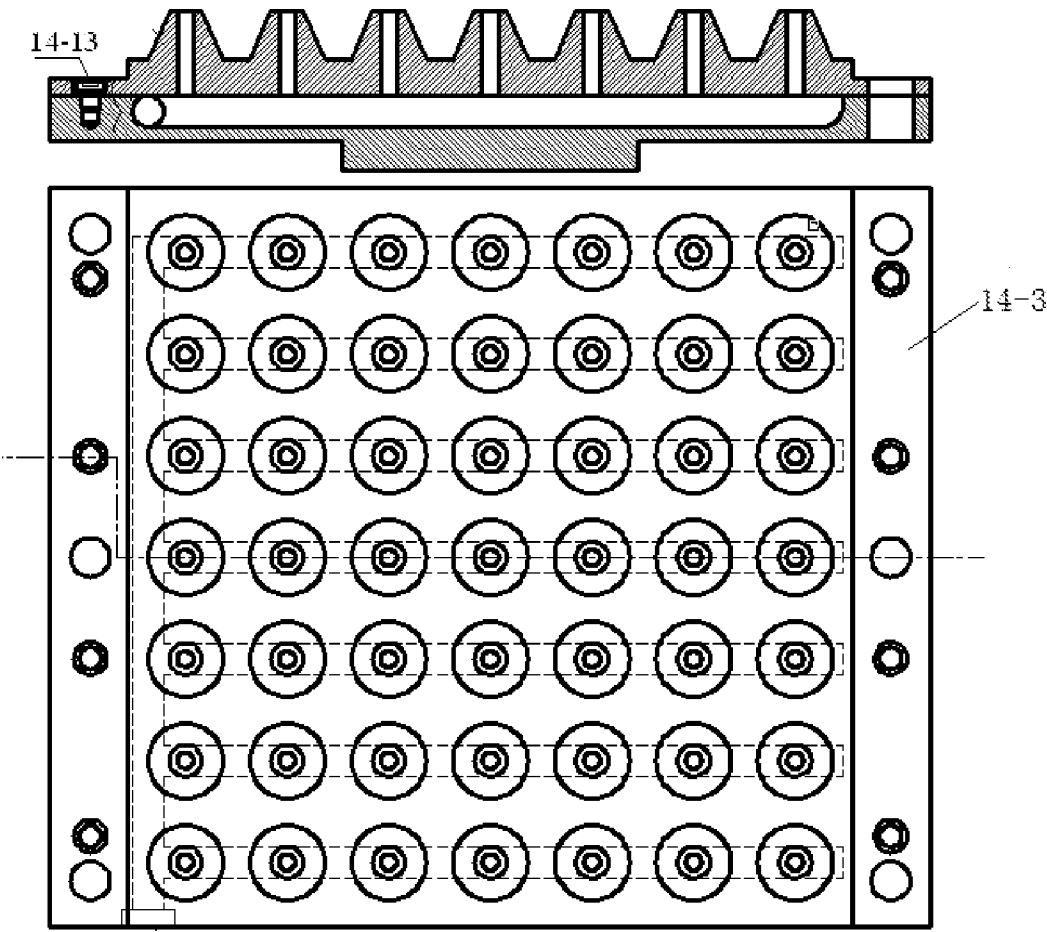


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2016/099513

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C21D 6/04 (2006.01) i; C21D 10/00 (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)

C21D; G01N

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: 深冷, 低温, 超低温, 工作台, 工作平台, 电磁, 铁磁, 磁铁, 磁体, 磁石, 间隙, 缝隙, 间隔, 空隙, 激光, 冲击, 强化, 喷丸, 处理, 温度, 调节, 控制, 升温, 降温, 冷却, 液氮, 弹簧, cryogen+, low+, temperature, ultralow+, work+, platform?, magnet+, elect+ w magnet+, permanent, gap?, spac+, laser?, impact+, shock+, peen+, treat+, adjust+, control+, ris+, rais+, warm+, heat+, cold+, cool+, refrigerat+, spring?, liquid, nitrogen, N2, PLC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 102492805 A (JIANGSU UNIVERSITY), 13 June 2012 (13.06.2012), description, paragraphs [0026]-[0029], and figure 1	1-10
A	CN 105385839 A (SHENYANG INSTITUTE OF AUTOMATION, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES), 09 March 2016 (09.03.2016), description, paragraphs [0032]-[0044], and figures 1-4	1-10
A	CN 102732707 A (ZHANGJIAGANG FURUI SPECIAL EQUIPMENT CO., LTD.), 17 October 2012 (17.10.2012), entire document	1-10
A	CN 102728950 A (ZHANGJIAGANG FURUI SPECIAL EQUIPMENT CO., LTD.), 17 October 2012 (17.10.2012), entire document	1-10
A	CN 105063284 A (JIANGSU UNIVERSITY), 18 November 2015 (18.11.2015), entire document	1-10

☒ 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 17 May 2017	Date of mailing of the international search report 06 June 2017
--	--

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 SUN, Xian Telephone No. (86-10) 62413961
---	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2016/099513

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 102776521 A (JIANGSU UNIVERSITY), 14 November 2012 (14.11.2012), entire document	1-10
A	US 2013180969 A1 (PURDUE RESEARCH FOUNDATION), 18 July 2013 (18.07.2013), entire document	1-10

International application No.
PCT/CN2016/099513

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2009)

A. 主题的分类 C21D 6/04(2006.01)i; C21D 10/00(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) C21D;G01N 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;EPODOC;WPI:深冷,低温,超低温,工作台,工作平台,电磁,铁磁,磁铁,磁体,磁石,间隙,缝隙,间隔,空隙,激光,冲击,强化,喷丸,处理,温度,调节,控制,升温,降温,冷却,液氮,弹簧,cryogen+, low+, temperature, ultralow+, work+, platform?, magnet+, electr+ w magnet+, permanent, gap?, spac+, laser?, impact+, shock+, peen+, treat+, adjust+, control+, ris+, rais+, warm+, heat+, cold+, cool+, refrigerat+, spring?, liquid, nitrogen, N2, PLC		
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 102492805 A (江苏大学) 2012年 6月 13日 (2012 - 06 - 13) 说明书[0026]-[0029]段、图1	1-10
A	CN 105385839 A (中国科学院沈阳自动化研究所) 2016年 3月 9日 (2016 - 03 - 09) 说明书第[0032]-[0044]段、图1-4	1-10
A	CN 102732707 A (张家港富瑞特种装备股份有限公司) 2012年 10月 17日 (2012 - 10 - 17) 全文	1-10
A	CN 102728950 A (张家港富瑞特种装备股份有限公司) 2012年 10月 17日 (2012 - 10 - 17) 全文	1-10
A	CN 105063284 A (江苏大学) 2015年 11月 18日 (2015 - 11 - 18) 全文	1-10
☒ 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 2017年 5月 17日		国际检索报告邮寄日期 2017年 6月 6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 孙菀 电话号码 (86-10)62413961

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 102776521 A (江苏大学) 2012年 11月 14日 (2012 - 11 - 14) 全文	1-10
A	US 2013180969 A1 (PURDUE RESEARCH FOUNDATION) 2013年 7月 18日 (2013 - 07 - 18) 全文	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2016/099513

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	102492805	A	2012年 6月 13日	CN 102492805 B	2014年 4月 9日
CN	105385839	A	2016年 3月 9日	无	
CN	102732707	A	2012年 10月 17日	CN 102732707 B	2013年 9月 11日
CN	102728950	A	2012年 10月 17日	CN 102728950 B	2014年 8月 13日
CN	105063284	A	2015年 11月 18日	无	
CN	102776521	A	2012年 11月 14日	CN 102776521 B	2014年 1月 29日
US	2013180969	A1	2013年 7月 18日	无	