

(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
2021 年 9 月 30 日 (30.09.2021)



(10) 国际公布号
WO 2021/189876 A1

- (51) 国际专利分类号:
B23H 3/04 (2006.01) **B23H 3/00** (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2020/129340
- (22) 国际申请日: 2020 年 11 月 17 日 (17.11.2020)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202010217579.2 2020年3月25日 (25.03.2020) CN
- (71) 申请人: 苏州大学(SOOCHOW UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省苏州市相城区济学路 8 号, Jiangsu 215100 (CN)。
- (72) 发明人: 贺海东(HE, Haidong); 中国江苏省苏州市相城区济学路 8 号, Jiangsu 215100 (CN)。王春举(WANG, Chunju); 中国江苏省苏州市相城区济学路 8 号, Jiangsu 215100 (CN)。孙宇(SUN, Yu); 中国江苏省苏州市相城区济学路 8 号, Jiangsu 215100 (CN)。刘楠(LIU, Nan); 中国江

苏省苏州市相城区济学路 8 号, Jiangsu 215100 (CN)。孙立宁(SUN, Lining); 中国江苏省苏州市相城区济学路 8 号, Jiangsu 215100 (CN)。宁学中(NING, Xuezhong); 中国江苏省苏州市相城区济学路 8 号, Jiangsu 215100 (CN)。

(74) 代理人: 苏州谨和知识产权代理事务所(特殊普通合伙)(SUZHOU JINHE INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY (SPECIAL GENERAL PARTNERSHIP)); 中国江苏省苏州市新平街 388 号 23 幢 8 层 05 室, Jiangsu 215000 (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,

(54) Title: MACHINING METHOD FOR FORMING MICROSTRUCTURE ON SURFACE OF WORKPIECE AND CONTROL SYSTEM

(54) 发明名称: 一种在工件表面形成微结构的加工方法及控制系统

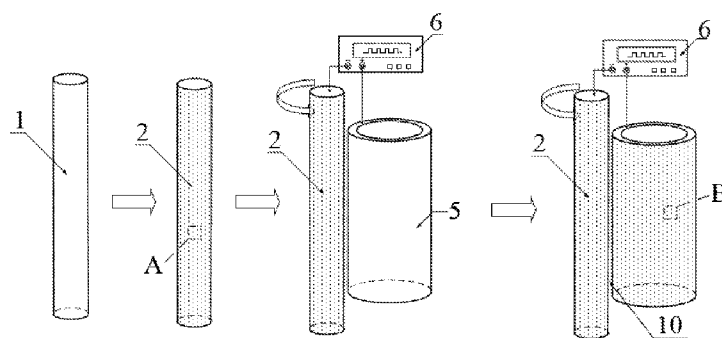


图 1

(57) Abstract: A machining method for forming a microstructure on the surface of a workpiece (5), comprising: S1, providing a micro-rod (1) having a small electrochemical impedance value on the surface, and applying a high temperature to form a first microstructure (4) having a large electrochemical impedance value on the surface of the micro-rod to obtain a linear electrode (2); and S2, providing a workpiece inserted into electrolyte and using same as an anode, driving the linear electrode to rotate on its own axis and around the workpiece, and supplying power to the workpiece and the linear electrode to form the required microstructure on the surface of the workpiece according to the first microstructure on the linear electrode. The linear electrode of the first microstructure having a large electrochemical impedance value on the surface is used as a tool electrode, achieving the flexibility and controllable preparation of a microstructure array on the surface of a workpiece, and particularly achieving the machining of a microstructure array on a small-diameter surface of revolution and the surface of quasi-revolution; in addition, the linear electrode is reusable, and the machining method is suitable for any curved surface obtained through linear scanning.

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)。

根据细则4.17的声明:

- 发明人资格(细则4.17(iv))

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 一种在工件(5)表面形成微结构的加工方法, 包括: S1、提供表面具有较小电化学阻抗值的微细棒(1), 高温以使微细棒表面形成具有较大电化学阻抗值的第一微结构(4), 得到线电极(2); S2、提供插入至电解液中的工件作为阳极, 驱动线电极自转并驱动线电极围绕工件旋转, 给工件和线电极供电以依据线电极上的第一微结构在工件的表面形成所需要的微结构。使用表面具有较大电化学阻抗值的第一微结构的线电极作为工具电极, 以可实现工件表面微结构阵列的柔性、可控制备, 特别是实现小口径回转表面、准回转表面微结构阵列的加工, 此外, 线电极可重复使用, 且该加工方法适用于任意由直线扫描得到的曲面。

一种在工件表面形成微结构的加工方法及控制系统

本申请要求了申请日为2020年03月25日，申请号为202010217579.2的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本发明涉及一种在工件表面形成微结构的加工方法及控制系统。

背景技术

表面微织构技术是指利用微细加工方法在材料表面构建系列具有一定形态、大小和排列方式的微结构阵列，从而改善/调控材料表面特性。近年来，随着微细加工技术的发展，表面微织构技术已在仿生学、摩擦学(减小摩擦、刀具减磨减低粘附)、微流体力学(微流道减阻)和生物医学(改善植入体生物相容性)等多个领域中得到了成功的应用，并取得了良好的效果。

目前，表面微结构阵列（微织构）加工技术主要包括，微细铣削、激光加工、磨料气射流，电火花加工及掩模电解加工等。但以上方法均存在一定的缺陷，例如：微细铣削存在加工应力和表面残余应力,且很难实现对难加工材料表面的织构化处理；激光加工和电火花加工表面均存在热影响区，表面粗糙度较差；磨料气射流仅适用于对脆性材料的加工等。

掩模电解加工(TMECM)是一种将阳极表面经光刻处理后进行电解加工的特殊加工工艺，该技术结合了光刻技术的高分辨率和电解加工的高效率，成为金属材料表面微结构阵列制备的常用方法之一。在TMECM工艺过程中，掩模板的制作是十分关键的步骤，目前，掩模的制作方法主要有照相精缩法、电子束直写法和聚焦离子束直写法等，但是这些方法均存在价格昂贵、制作周期长和掩模板面积小等缺点。而且，当所需阵列结构的特征参数需要改变时，如果采用传统的TMECM工艺，掩模板则必须重新制作，这不仅造成了材料的浪费，而且将大大延长工艺周期。另外，现有的掩模电解加工技术通常用于平面或大口径的回转表面微结构阵列的制备，很难实现小口径回转、准回转薄壁曲面(例如：心血管支架内/外回转表面、微齿轮、凸轮等准回转轮廓面等)微结构阵列的加工。

发明内容

本发明的目的在于提供一种在工件表面形成微结构的加工方法，以实现工件表面微结构阵列的柔性、可控制备，特别是实现小口径回转表面、准回转表面、以及回转内表面跨尺度微结构阵列的高质量柔性加工。

为达到上述目的，本发明提供如下技术方案：一种在工件表面形成微结构的加工方法，所述方法包括：

S1、提供表面具有较小电化学阻抗值的微细棒，高温以使所述微细棒表面形成具有较大电化学阻抗值的第一微结构，得到线电极；

S2、提供插入至电解液中的工件作为阳极，驱动所述线电极自转并驱动所述线电极围绕所述工件旋转，给所述工件和所述线电极供电以依据所述线电极上的第一微结构在所述工件的表面形成所需要的微结构。

进一步地，所述第一微结构通过激光加工、电子束加工、化学和激光加工中的一种得到。

进一步地，在所述 S2 中，采用超短脉冲电源供电。

进一步地，所述超短脉冲持续时间可为 50~500ns，脉冲周期为 0.1~1MHz。

进一步地，所述微细棒为金属棒。

进一步地，所述金属棒的直径为 0.1~3.0 mm。

进一步地，所述第一微结构为沟槽型、准沟槽型、以及点阵型中的一个。

进一步地，所述工件的表面为回转内面、回转外面、准回转内转面、准回转外转面、平面、准平面中的一个。

进一步地，在将所述微细棒高温处理前，所述方法还包括将所述微细棒进行清洗并烘干。

本发明还提供一种实现在工件表面形成微结构的控制系统，采用在工件表面形成微结构的加工方法，用以对设置在电解液中作为阳极的工件进行加工，所述控制系统包括用以设置在电解液中的线电极、分别与所述线电极和所述工件电连接的供电装置，所述供电装置与所述线电极、所述工件构成回路，其中，所述线电极为阴极，所述工件为阳极。

本发明的有益效果在于：本发明所提供的在工件表面形成微结构的加工方

法，使用表面具有较大电化学阻抗值的第一微结构的线电极作为工具电极，通过协同控制线电极的自转和围绕工件旋转，利用线电极表面双电层充电的暂态效应，结合线电极局部微区域内电化学阻抗的差异，实现工件表面的选择性电化学腐蚀，以可实现工件表面微结构阵列的柔性、可控制备，特别是实现小口径回转表面、准回转表面微结构阵列的加工，此外，线电极可重复使用，且该加工方法适用于任意由直线扫描得到的曲面。

上述说明仅是本发明技术方案的概述，为了能够更清楚了解本发明的技术手段，并可依照说明书的内容予以实施，以下以本发明的较佳实施例并配合附图详细说明如后。

附图说明

图 1 为本发明第一实施例所示的工件表面形成微结构的加工方法的加工的流程图中；

图 2 为图 1 中区域 A 的放大图，其中，a 和 b 为两种线电极的第一图案和第二图案的结构示意图；

图 3 为图 1 中区域 B 的放大图，其中，其中，c 和 d 为两种具有微结构的工件的结构示意图，并且 c 基于 a 得到、d 基于 b 得到；

图 4 为图 1 中线电极绕着工件旋转并自转的结构示意图；

图 5 为图 1 中基于线电极在工件表面形成微结构的结构示意图，其中，t1 和 t2 为两个不同时刻的工件的加工区域；

图 6 为图 1 中的电位波形曲线，其中，13 为脉冲电压波形；12 为第一图案所对应区域的电位波形；11 为第一图案所对应区域的电位波形；U 为设定的脉冲电压大小； ϕ_{∞} 为稳态电位； ϕ_0 为阳极工件材料的电化学分解电位； t_{on} 为脉冲持续时间； t_{off} 为脉冲关断时间；

图 7 为图 1 中线电极和工件的结构示意图，其中，工件为典型的以母线为直线扫描得到的曲面，e 和 f 为两种不同的视图。

具体实施方式

下面将结合附图对本发明的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描

述的实施例是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。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。

此外，下面所描述的本发明不同实施方式中所涉及的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互结合。

请参见图 1 至图 3，本发明提供一种实现在工件 5 表面形成微结构的控制系统，采用在工件 5 表面形成微结构的加工方法，用以对设置在电解液中作为阳极的工件 5 进行加工，控制系统包括用以设置在电解液中的线电极 2、分别与线电极 2 和工件 5 电连接的供电装置 6，供电装置 6 与线电极 2、工件 5 构成回路，在回路中，供电装置 6 为超短脉冲电源 6，超短脉冲持续时间可为 50~500ns，脉冲周期为 0.1~1MHz，具体持续时间和脉冲周期根据实际进行选择，在此不做具体限制。其中，线电极 2 为阴极，工件 5 为阳极。线电极 2 为采用微细棒 1 经过高温处理得到，其中，微细棒 1 为金属棒 1，金属棒 1 的直径为 0.1~3.0mm，具体的，使用何种金属，金属棒 1 的具体直径在此不做具体限制，可根据实际情况而定。微细棒 1 的表面的电化学阻抗值很小，此时的电化学阻抗值为微细棒 1 的金属表面固有的电化学阻抗值，高温处理后得到具有较大电化学阻抗值的第一微结构 4，第一微结构 4 的区域在超短脉冲作用下，可等效为绝缘体，即线电极 2 表面分为两个部分，第一图案 3 和第二图案 4，第一图案 3 为微细棒 1 未经过高温处理的原始表面，具有很小的电化学阻抗值，第二图案 4 为微细棒 1 经过高温处理的第一微结构 4，第一微结构 4 可以通过激光加工、电子束加工得到，诚然，第一微结构 4 还可以通过其他方式得到，在此不做具体限制。

上述控制系统用以实现在工件 5 表面形成微结构的加工方法，该方法包括：

S1、提供表面具有较小电化学阻抗值的微细棒 1，高温以使微细棒 1 表面形成具有较大电化学阻抗值的第一微结构 4，得到线电极 2；

S2、提供插入至电解液中的工件 5 作为阳极，驱动线电极 2 自转并驱动线电极 2 围绕工件 5 旋转，给工件 5 和线电极 2 供电以依据线电极 2 上的第一微结构 4 在工件 5 的表面形成所需要的微结构。

本发明中，线电极 2 的第一微结构 4 为沟槽型、准沟槽型、以及点阵型中的一个，诚然，第一微结构 4 也可以其他类型，在此不做具体限制。表面具有第一微结构 4 的线电极 2 可以多次重复使用，以此减少了材料的浪费，而且将大大缩短加工工艺周期。

诚然，在将微细棒 1 高温处理前，加工方法还包括将微细棒 1 进行清洗并烘干，具体的，微细棒 1 分别依次用丙酮、酒精和去离子水进行超声去污，并在真空干燥箱中烘干。得到的表面具有第一微结构 4 的线电极 2 还进行超声清洗，待后续电解加工使用。

请参见图 4，在工件 5 表面制备微结构中，即电解加工过程中，线电极 2 不仅绕自身轴线旋转，同时沿着与阳极工件 5 横截面形状相同的平动路径 9，从而在工件 5 整个表面加工出所需的微结构。通过协同控制线电极 2 的自转角速度 ω_r 和沿工件 5 表面的平动速度 v_p ，可实现不同尺寸微结构的柔性制备。

请结合图 5 和图 6，在超短脉冲作用下，线电极 2 表面将产生双电层充放电暂态效应，第二图案 4 所对应的区域由于具有很大的电化学阻抗，其表面形成的双电层时间常数也很大，导致在脉冲持续时间内，双电层充电电位(φ)无法达到工件 5 的电化学分解电位(φ_0)，因此，在线电极 2 旋转过程中，阳极工件 5 表面与第二图案 4 所对应微区域内的材料不会发生电化学溶解(称为不溶解区 8)；而第一图案 3 部分所对应的区域由于电化学阻抗很小，所形成的双电层充/放电时间常数很小，在脉冲持续时间(t_{on})内，双电层的电位能够超过阳极工件 5 的电化学分解电位 φ_0 ，因此，在线电极 2 旋转过程中，阳极工件 5 表面与第一图案 3 所对应微区域内的材料将发生电化学溶解去除(称为溶解区 7)，以此得到具有微结构的工件 5。

请参见图 7，本发明所示的加工方法适用于形状为由母线为直线扫描得到的任意曲面，工件 5 的表面为回转内面、回转外面、准回转内转面、准回转外转面、平面、准平面中的一个，诚然还可以为其他面，在此不做具体限制。

本发明中，电解加工主要包括以下几个步骤：首先，将所制备的表面具有第一微结构 4 的线电极 2 安装在微细电解加工平台中的线电极 2 夹具上，并精

确调整其轴线与阳极工件 5 表面平行,以保证沿线电极 2 轴线方向各处线电极 2 与工件 5 之间的距离,即加工间隙 10 相同;然后,按照所需加工的微结构的特征尺寸及工件 5 表面形状,设置电解加工参数,其中包括电压、脉冲频率、脉冲持续时间、线电极 2 的自转角速度 ω_r 、线电极 2 的平动路径 9 及平动速度 v_p 等参数,开始进行电解加工,待加工结束后,线电极 2 表面的第一微结构 4 将按一定的比例转印到阳极工件 5 表面上;最后,电解加工结束后,将工件 5 进行超声清洗,除去表面残留的电解液等杂质,整个加工工艺过程结束。

关于在工件 5 表面形成微结构的加工方法,下面结合图 1 并以具体实施例进行说明:

实施例一

步骤一、采用直径为 1.0 mm 的钨棒 1,将其分别依次在丙酮、酒精和去离子水中超声清洗 5 分钟,以除去其表面的油污和其他粉尘杂质。然后,置于 100℃ 的真空干燥箱中烘烤 10min,确保其表面相对干燥。

步骤二、采用激光扫描加工方法对上述钨棒 1 进行加工,使其表面形成第一微结构 4,得到线电极 2,请参见图 2,其中第二图案 4 所对应的区域为激光加工的区域,第一图案 3 为钨棒的原始表面,即非激光加工区域。激光加工区域会形成大量的氧化物,电化学阻抗很大,在超短脉冲作用下,可等效为绝缘体,具体第一微结构 4 的形状和在钨棒 1 上的布局根据实际需要而定,在此不做具体限制。

步骤三、将步骤中二所制备的表面具有第一微结构 4 的线电极 2 分别依次在丙酮、酒精和去离子水中超声清洗 5 分钟,然后用自然风吹干,线电极 2 制备完毕。

步骤四、将所制备的线电极 2 安装在微细电解加工平台中的线电极夹具上,待加工阳极工件 5 为外径 5.0 mm、壁厚 0.5mm 的 316L 不锈钢管,将其固定在阳极夹具上。精确调整线电极 2 的轴线与阳极工件 5 表面平行,以保证在加工过程中沿线电极 2 轴线方向各处的加工间隙 10 相同,采用电流表进行干法对刀,设定加工间隙 10 为 0.003 mm,诚然,加工间隙 10 的数值也可以为其他,加工

间隙 10 的范围为 0.001mm-0.005mm，故，可根据实际确定加工间隙 10 的数值，在此不做限定。

步骤五、将超短脉冲电源 6 的频率设置为 1MHz，超短脉冲持续时间 t_{on} 为 200 ns，线电极 2 的自转角速度 ω_r 为 0.1rad/s，平动路径 9 设置为与 316L 不锈钢管同心的圆，圆的半径为线电极 2 的直径、工件 5 直径以及加工间隙的总和，即 2.5 mm+0.003 mm+0.5 mm，平动速度 v_p 为 0.01 mm/s，电解加工完毕后，阳极工件 5 表面形成有所需要的微结构，具体可参见图 3。其中，线电极 2 的自转角速度 ω_r 和平动速度 v_p 的具体值根据实际需要进行设置，在此不做具体限制。

步骤六、将具有微结构的阳极工件 5 分别在丙酮、酒精和去离子水中超声清洗 5 分钟，加工结束。

实施例二

步骤一、采用钨棒 1 的直径为 0.5mm，对其清洗和干燥处理方法与实施例一相同，在此不在赘述。

步骤二、将钨棒 1 浸泡在一定浓度的氟硅烷溶液中进行表面氟化处理，温度为 60℃，时间为 0.5 小时；取出钨棒 1，置于 120℃的真空干燥箱中烘烤 1.0 小时，然后在空气环境中自然冷却，经过上述工艺后，钨棒 1 表面形成一层厚度为数百纳米的分子膜，该分子膜具有较大的电化学阻抗，在超短脉冲作用下，可等效为绝缘体。采用激光扫描加工方法对上述钨棒 1 进行加工，使其表面形成第一微结构 4，得到线电极 2，请参见图 2，其中第一微结构 4，即第二图案 4 所对应的区域为为分子膜保留区域，即非激光加工的区域，电化学阻抗很大，第一图案 3 为钨棒 1 的原始表面，即激光加工区域，分子膜被去除，钨棒 1 的原始表面露出，该区域电化学阻抗很小。具体第一微结构 4 的形状和在钨棒 1 上的布局根据实际需要而定，在此不做具体限制。

步骤三、将线电极 2 进行清洗，对其清洗的方法与实施例一相同，在此不在赘述。

步骤四、本实施例的该步骤与实施例一中的步骤基本相同，不同点为：工件 5 为外径 3.0 mm、壁厚 0.2mm 的钛合金管，加工间隙 10 为 0.002mm。

步骤五、本实施例的该步骤与实施例一中的步骤基本相同，不同点为：脉冲电源 6 脉冲持续时间 t_{on} 设置为 100 ns，线电极 2 的自转角速度 ω_r 设置为 0.2 rad/s，平动路径 9 设置为与钛合金管同心的圆，圆的半径为 1.5 mm+0.002mm+0.25mm，平动速度 v_p 为 0.005 mm/s。

步骤六、将阳极工件 5 分别在丙酮、酒精和去离子水中超声清洗 5 分钟，整个加工工艺过程结束。

综上，本发明所提供的在工件表面形成微结构的加工方法，使用表面具有较大电化学阻抗值的第一微结构的线电极作为工具电极，通过协同控制线电极的自转和围绕工件旋转，利用线电极表面双电层充电的暂态效应，结合线电极局部微区域内电化学阻抗的差异，实现工件表面的选择性电化学腐蚀，以可实现工件表面微结构阵列的柔性、可控制备，特别是实现小口径回转表面、准回转表面微结构阵列的加工，此外，线电极可重复使用，且该加工方法适用于任意由直线扫描得到的曲面。

以上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，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为准。

权 利 要 求 书

1、一种在工件表面形成微结构的加工方法，其特征在于，所述方法包括：

S1、提供表面具有较小电化学阻抗值的微细棒，高温以使所述微细棒表面形成具有较大电化学阻抗值的第一微结构，得到线电极；

S2、提供插入至电解液中的工件作为阳极，驱动所述线电极自转并驱动所述线电极围绕所述工件旋转，给所述工件和所述线电极供电以依据所述线电极上的第一微结构在所述工件的表面形成所需要的微结构。

2、如权利要求 1 所述的在工件表面形成微结构的加工方法，其特征在于，所述第一微结构通过激光加工、电子束加工、化学和激光加工中的一种得到。

3、如权利要求 1 所述的在工件表面形成微结构的加工方法，其特征在于，在所述 S2 中，采用超短脉冲电源供电。

4、如权利要求 3 所述的在工件表面形成微结构的加工方法，其特征在于，所述超短脉冲持续时间可为 50~500ns，脉冲周期为 0.1~1MHz。

5、如权利要求 1 所述的在工件表面形成微结构的加工方法，其特征在于，所述微细棒为金属棒。

6、如权利要求 5 所述的在工件表面形成微结构的加工方法，其特征在于，所述金属棒的直径为 0.1~3.0 mm。

7、如权利要求 1 所述的在工件表面形成微结构的加工方法，其特征在于，所述第一微结构为沟槽型、准沟槽型、以及点阵型中的一个。

8、如权利要求 1 所述的在工件表面形成微结构的加工方法，其特征在于，所述工件的表面为回转内面、回转外面、准回转内转面、准回转外转面、平面、准平面中的一个。

9、如权利要求 1 所述的在工件表面形成微结构的加工方法，其特征在于，在将所述微细棒高温处理前，所述方法还包括将所述微细棒进行清洗并烘干。

10、一种实现在工件表面形成微结构的控制系统，其特征在于，采用如权利要求 1 至 9 项中任一项所述的在工件表面形成微结构的加工方法，用以对设置在电解液中作为阳极的工件进行加工，所述控制系统包括用以设置在电解液中的线电极、分别与所述线电极和所述工件电连接的供电装置，所述供电装置

与所述线电极、所述工件构成回路，其中，所述线电极为阴极，所述工件为阳极。

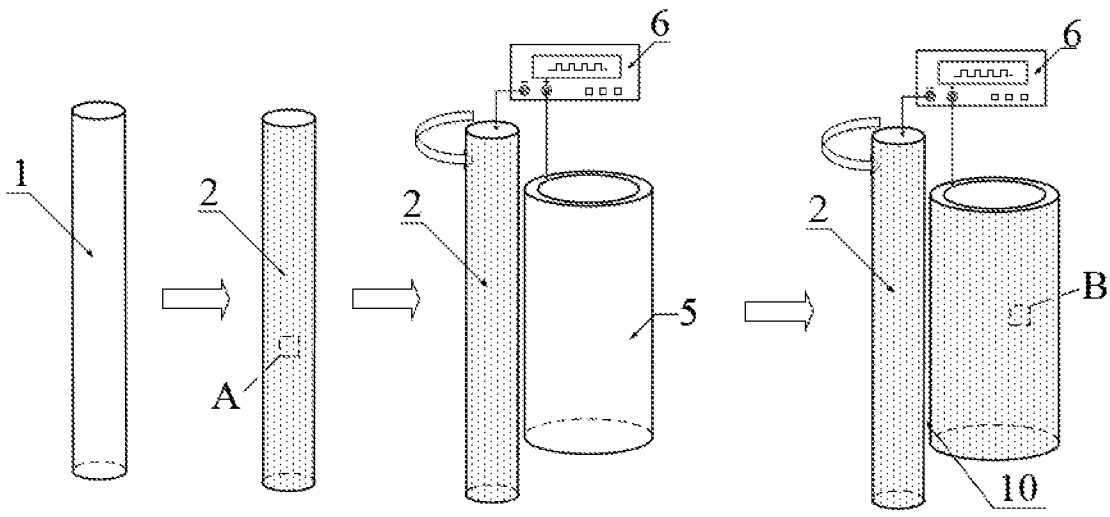


图 1

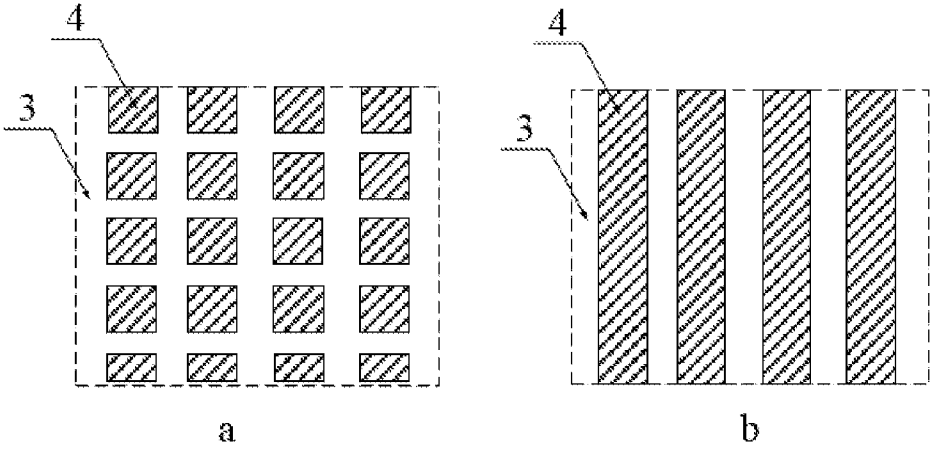


图 2

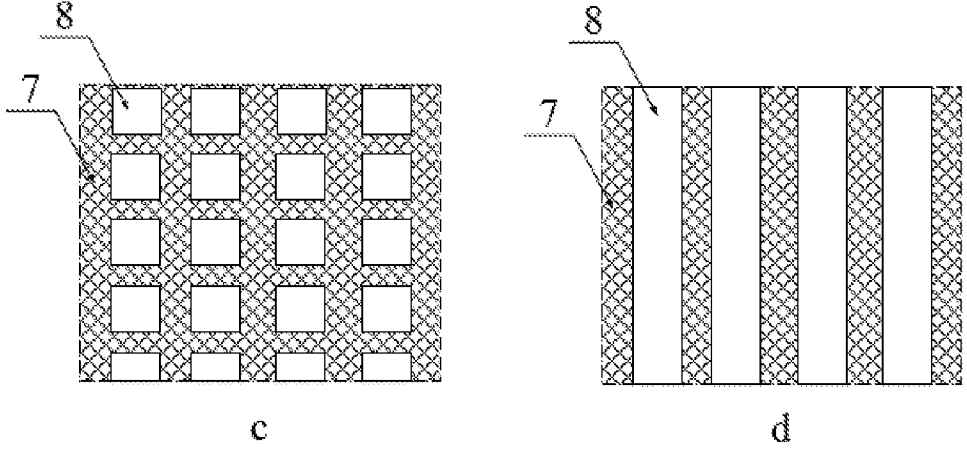


图 3

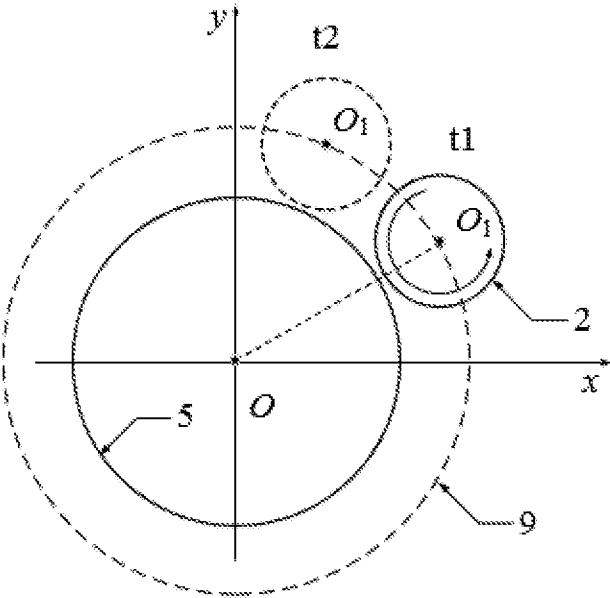


图 4

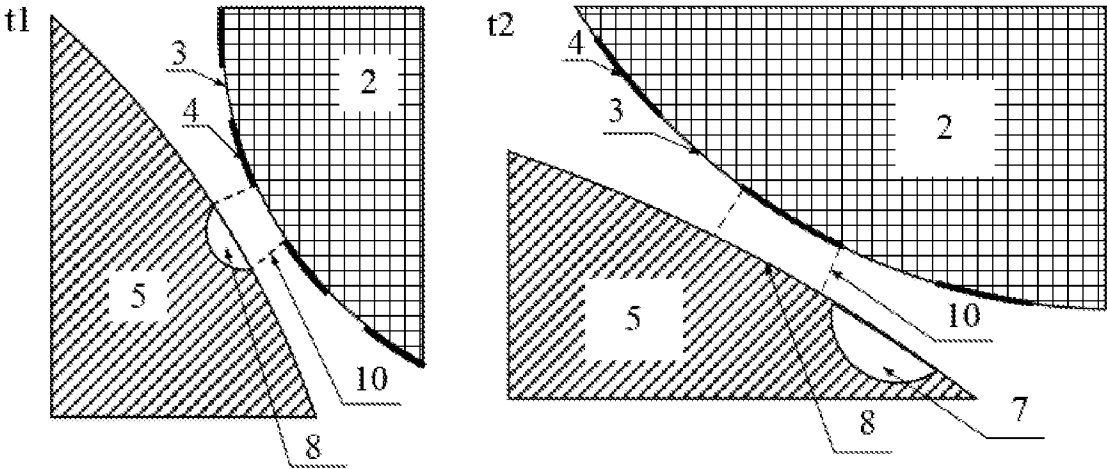


图 5

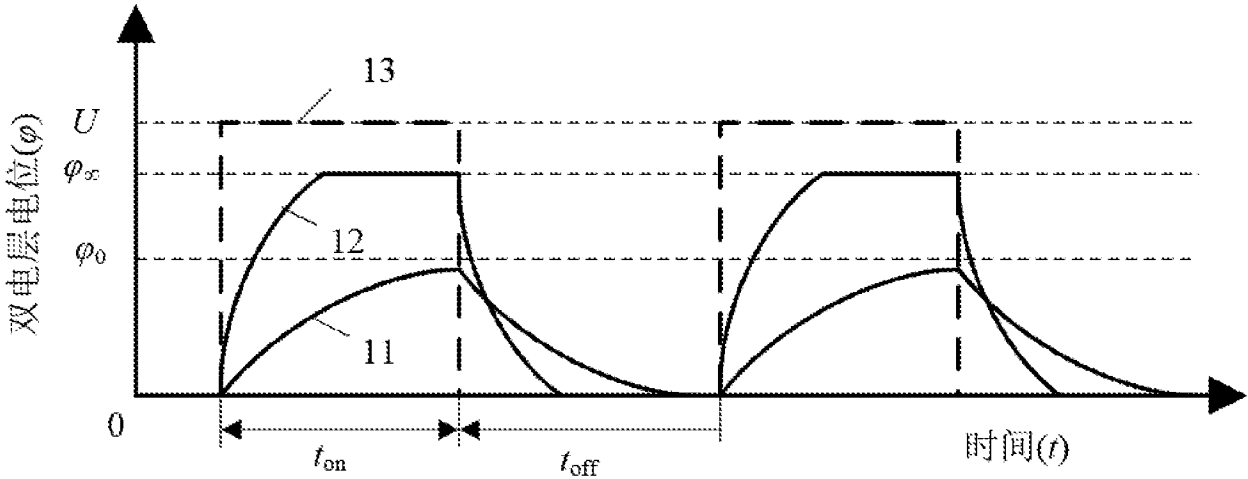


图 6

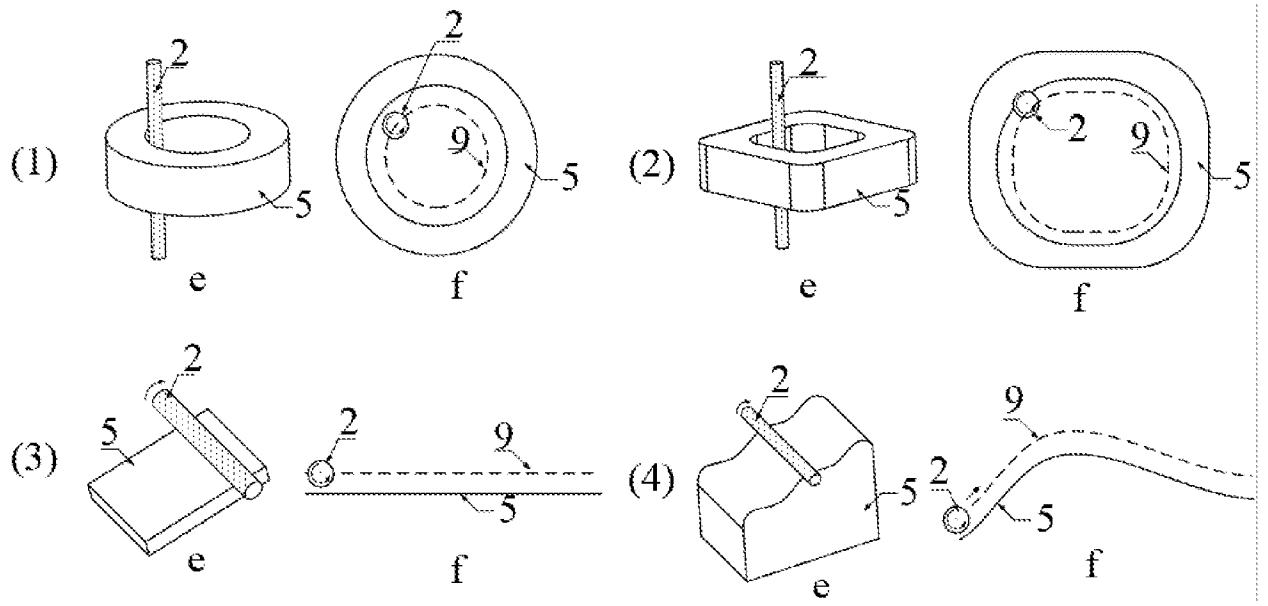


图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/129340

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B23H 3/04(2006.01)i; B23H 3/00(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)

B23H 3/-

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, WPI, EPODOC; 微结构; 阳极; 阴极; 转; 线电极; 高温, 温度; 电化学阻抗; rotat+ , rotary, spin?; anode?, positive 1w pole?; cathode?, negative 1w pole?.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 103433579 A (ANHUI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 11 December 2013 (2013-12-11) description, specific embodiments, figures 1-4	1-10
PX	CN 111299731 A (SOOCHOW UNIVERSITY) 19 June 2020 (2020-06-19) claims 1-10	1-10
A	CN 104384643 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 04 March 2015 (2015-03-04) entire document	1-10
A	CN 101070605 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 14 November 2007 (2007-11-14) entire document	1-10
A	CN 103182573 A (NANTONG UNIVERSITY) 03 July 2013 (2013-07-03) entire document	1-10
A	DE 19727132 C2 (HUECK ENGRAVING G.M.B.H.) 03 February 2000 (2000-02-03) entire document	1-10



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

02 February 2021

Date of mailing of the international search report

19 February 2021

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
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2020/129340

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	103433579	A	11 December 2013	CN	103433579	B	11 November 2015
CN	111299731	A	19 June 2020	None			
CN	104384643	A	04 March 2015	CN	104384643	B	07 December 2016
CN	101070605	A	14 November 2007	CN	100560809	C	18 November 2009
CN	103182573	A	03 July 2013	None			
DE	19727132	C2	03 February 2000	WO	9900213	A1	07 January 1999
				DE	19727132	A1	07 January 1999

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2020/129340

A. 主题的分类 B23H 3/04(2006.01)i; B23H 3/00(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) B23H 3/- 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, WPI, EPODOC; 微结构; 阳极; 阴极; 转; 线电极; 高温, 温度; 电化学阻抗; rotat+ , rotary, spin?; anode?, positive 1w pole?; cathode?, negative 1w pole?.		
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
X	CN 103433579 A (安徽工业大学) 2013年 12月 11日 (2013 - 12 - 11) 说明书发明内容、具体实施方式; 附图1-4	1-10
PX	CN 111299731 A (苏州大学) 2020年 6月 19日 (2020 - 06 - 19) 权利要求1-10	1-10
A	CN 104384643 A (南京航空航天大学) 2015年 3月 4日 (2015 - 03 - 04) 全文	1-10
A	CN 101070605 A (南京航空航天大学) 2007年 11月 14日 (2007 - 11 - 14) 全文	1-10
A	CN 103182573 A (南通大学) 2013年 7月 3日 (2013 - 07 - 03) 全文	1-10
A	DE 19727132 C2 (HUECK ENGRAVING G.M.B.H.) 2000年 2月 3日 (2000 - 02 - 03) 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 2021年 2月 2日		国际检索报告邮寄日期 2021年 2月 19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 韩亚楠 电话号码 86-10-53960849

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2020/129340

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	103433579	A	2013年 12月 11日	CN	103433579	B	2015年 11月 11日
CN	111299731	A	2020年 6月 19日	无			
CN	104384643	A	2015年 3月 4日	CN	104384643	B	2016年 12月 7日
CN	101070605	A	2007年 11月 14日	CN	100560809	C	2009年 11月 18日
CN	103182573	A	2013年 7月 3日	无			
DE	19727132	C2	2000年 2月 3日	WO	9900213	A1	1999年 1月 7日
				DE	19727132	A1	1999年 1月 7日