



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103521864 B

(45) 授权公告日 2015. 11. 18

(21) 申请号 201310481025. 3

CN 1943950 A, 2007. 04. 11,

(22) 申请日 2013. 10. 15

JP S61260928 A, 1986. 11. 19,

(73) 专利权人 南京航空航天大学

审查员 邬玉玉

地址 210016 江苏省南京市秦淮区御道街  
29号

(72) 发明人 曾永彬 王玉峰 曲宁松 朱荻

(74) 专利代理机构 江苏圣典律师事务所 32237  
代理人 贺翔

(51) Int. Cl.

B23H 7/08(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101862870 A, 2010. 10. 20,

CN 101890545 A, 2010. 11. 24,

CN 1850411 A, 2006. 10. 25,

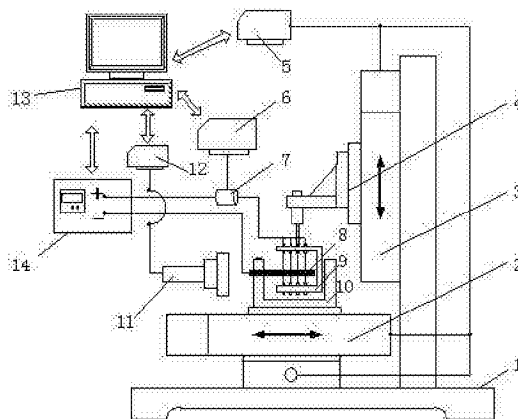
权利要求书1页 说明书3页 附图2页

(54) 发明名称

微细群线电极在线制备及微细电解线切割加工方法

(57) 摘要

一种微细群线电极在线制备方法,属精密微细电化学加工领域。其特征在于包括以下过程:1、将微米级钨丝安装在群线电极夹具上,并将工具阴极安装在电解槽中;所述工具阴极具有与电极丝对应的阴极孔,为由金属层和其两侧的绝缘层组成的“三明治”对接结构;2、电解槽中加入碱性电解液将工具阴极完全浸没;3、工具阴极和群线电极分别接直流电源正、负极,实现工具阴极中金属层阴极孔径的扩大,形成“内凹”结构;4、群线电极和工具阴极分别接直流电源正、负极,并使线电极做直线往复运动;5、更换酸性电解液,并将工具阴极替换为工件,使群线电极和工件分别接超高频窄脉冲电源的正、负极,以实现微细电解线切割加工。



1. 一种微细群线电极在线制备及微细电解线切割加工方法,其特征在于包括以下过程:

步骤 1、将微米级的电极丝(22)安装于工件夹具(4)上,工件夹具(4)安装于 Z 轴精密移动平台(3);将工具阴极(8)安装在电解槽(10)中;电解槽(10)安装于 X-Y 轴精密移动平台(2)上;所述工具阴极(8)具有与电极丝(22)对应的阴极孔;所述工具阴极(8)由金属层和位于金属层两侧的绝缘层组成;

步骤 2、在电解槽(10)中加碱性电解液,使工具阴极(8)完全浸没于碱性电解液中;

步骤 3、将工具阴极(8)接直流电源的正极,电极丝(22)接直流电源负极,实现将工具阴极(8)上的金属层阴极孔的孔径的扩大,形成“内凹”的结构,使得金属层孔径半径比绝缘层孔径半径大 2-4mm;

步骤 4、将电极丝(22)接直流电源正极,工具阴极(8)接直流电源的负极,实现对电极丝的电解刻蚀加工,加工过程中电极丝(22)在 Z 轴方向进行直线往复运动,从而将直线往复运动幅值范围内的电极丝(22)加工至亚微米尺度;

步骤 5、将电解槽(10)中碱性电解液更换为酸性电解液,将工具阴极(8)替换为待加工工件,将待加工工件安装到电解槽(10)中并接到超高频窄脉冲电源的正极,电极丝(22)接超高频窄脉冲电源的负极,进行微细电解线切割加工。

2. 根据权利要求 1 所述的微细群线电极在线制备及微细电解线切割加工方法,其特征在于:步骤 1 中所述微米级的电极丝(22)为直径为 50~300  $\mu\text{m}$  的钨丝。

3. 根据权利要求 1 所述的微细群线电极在线制备及微细电解线切割加工方法,其特征在于:所述工具阴极(8)为拼合结构,即在阴极孔中心线处分割成两部分后拼合组装而成。

4. 根据权利要求 1 所述的微细群线电极在线制备及微细电解线切割加工方法,其特征在于:所述电极丝(22)为微细群线工具电极。

## 微细群线电极在线制备及微细电解线切割加工方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种微细群线电极在线制备及微细电解线切割加工方法、装置,属精密微细电化学加工领域。

### 技术背景

[0002] 随着微机电系统(MEMS)的技术发展和产品多样性的丰富, MEMS 已广泛应用于各工业生产、生活及学习各个领域。MEMS 技术的发展进一步促进了 RF 技术、通信技术、安全监测预警和航空航天技术的发展。MEMS 的广泛应用必将极大提高社会生产力和人民的生活质量。微机械结构的制造是 MEMS 技术的一个先决条件。MEMS 的一个基本特征是其尺寸的微型化,最小可达数百微米。因此, MEMS 的发展对微小尺寸机械结构的制造、加工相应的提出了很高的需求,如何能高效、高质量、低成本的加工出微型三维机械结构目前已成为制约 MEMS 技术进一步发展的瓶颈技术。

[0003] 目前, MEMS 结构的制备工艺基本都借鉴了半导体的加工工艺方法,如光刻技术、LIGA 技术、准 LIGA 技术和聚焦离子束刻蚀(FIB)技术。以上方法加工对象主要是半导体材料,因此对于金属材料的加工还需进一步改善其工艺方法,提高了制造、维护成本。此外,以上技术主要应用于 2D 及 2.5D 结构的制备,很难应用于 3D 结构的制造。

[0004] 微细电化学制造(EMM)是基于阳极溶解原理的减材制造工艺,加工过程以离子的形式进行,由于金属离子的尺寸非常微小,小于纳米尺度,因此微细电化学加工方法相对于其它很多微细加工方法在原理上具有优势。EMM 具有加工精度高、加工过程不产生加工应力、再铸层的独特优势,因此, EMM 加工微型结构的一种理想技术。随着超高频窄脉冲电源的成功应用, EMM 的加工精度已达到亚微米级甚至纳米级。EMM 技术加工微型结构的工艺主要可分为微细电化学铣削加工、微细电化学钻孔及微细电化学线切割加工技术。其中,微细电解线切割加工技术是一种结合了线切割和电化学加工优点的新型加工技术,可实现微缝、微槽等高深宽比结构的加工。

[0005] 在微细电解线切割加工技术中,线电极的直径直接决定着加工缝宽的大小。对于加工特征尺寸较小的缝阵列结构,需要微米尺度的群线电极。虽然微细线电极的在线制备工艺较为成熟,但是采用先制备微细线电极,然后再组装的方法,在装夹及定位方面困难较大。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的在于针对微细电解线切割中亚微米线电极装夹困难,提出了亚微米线电极在线制备方法,使亚微米线电极的制作和后续加工在同一工艺系统中连续完成,并消除了由于线电极装夹误差所引起的加工误差。

[0007] 一种微细群线电极在线制备及微细电解线切割加工方法,其特征包括以下过程:

[0008] 步骤 1、将微米级的电极丝安装于工件夹具上,工件夹具安装于 Z 轴精密移动平

台；将工具阴极安装在电解槽中；电解槽安装于 X-Y 轴精密移动平台；所述工具阴极具有与电极丝对应的阴极孔；所述工具阴极由金属层和位于金属层两侧的绝缘层组成；

[0009] 步骤 2、在电解槽中加碱性电解液，使工具阴极完全浸没于碱性电解液中；

[0010] 步骤 3、将工具阴极接直流电源的正极，电极丝接直流电源负极，实现了将工具阴极上的金属层阴极孔的孔径的扩大，形成“内凹”的结构，使得金属层孔径半径比绝缘层孔径半径大 2-4mm；

[0011] 步骤 4、将电极丝接直流电源正极，工具阴极接直流电源的负极，实现了对电极丝的电解刻蚀加工，加工过程中电极丝在 Z 轴方向进行直线往复运动，从而将直线往复运动幅值范围内的电极丝加工至亚微米尺度。

[0012] 步骤 5、将电解槽中碱性电解液更换为酸性电解液，将工具阴极替换为待加工工件，将待加工工件安装到电解槽中并接到超高频窄脉冲电源的正极，电极丝接超高频窄脉冲电源的负极，进行微细电解线切割加工。

[0013] 本方法是基于电化学刻蚀加工的方法，使线电极的直径逐渐变小达到亚微米尺度。基于电化学加工的特点，采用合适的工具阴极可实现同时对多个线电极进行加工，提高加工效率。采用上下表面绝缘电极且圆孔直径“内凹”的工具阴极可有效的减小电化学反应中的杂散腐蚀现象，增强电化学加工的定域性以及加工过程的可控性。在加工过程中，多丝电极夹具带动线电极在 Z 轴方向做直线往复运动，可实现电化学刻蚀加工区域不断地、周期性的变换，经过若干加工时间后，在加工区域内的钨丝直径不断减小，最终可加工出具有一定长度的亚微米尺度的群丝电极；在加工过程中，通过实时监测加工电流的变化实现电极丝直径的预测，增强了加工过程的可控性。加工过程中通过电流传感器和数据采集卡检测采集加工过程中电流的变化，预测线电极的直径变化，当达到预定值时即停止加工。由此可见，本专利所发明工艺方法具有工艺连贯性好，操作简单，精度高，可实施性强等优点。

[0014] 所述微米级的电极丝可以为直径为 50~300  $\mu\text{m}$  的钨丝。

[0015] 所述工具阴极可以为拼合结构，即在阴极孔处分割成两部分后拼合组装而成，有利于群线电极夹具的安装和拆卸，保证了微细群线电极在线制备和后续加工过程的工艺连续性。微细群线电极在微细电解线切割加工中的使用可进一步的提高其加工精度。此外，目前微细电解线切割效率较低，本专利在微细电解线切割加工过程中采用群线电极，可以实现多个微结构的同步加工，进一步提高了其加工效率。所述电极丝可以为多线电极丝，可以实现多个微结构的同步加工，进一步提高了其加工效率。

#### 附图说明

[0016] 图 1 是微细群线电极在线制备装置整体结构示意图；

[0017] 图 2 是微细群线电极夹具装置结构示意图及亚微米群线电极制备原理示意图；

[0018] 图 3 是工具阴极机构意图；

[0019] 图 4 是利用群线电极进行微细电解线切割加工示意图；

[0020] 图中标号名称：1、主动隔振平台，2、X-Y 轴精密移动平台，3、Z 轴精密移动平台，4、工件夹具，5、PCI 运动控制卡，6、数据采集卡，7、电流传感器，8、工具阴极，9、群线电极夹具，10、电解槽，11、CCD，12、视频采集卡，13、工控机，14、直流电源，15、薄金属镍板，16、环氧树脂板，17、群丝线电极夹具主体，18、翼型螺钉，19、铜棒线电极夹具，20、工具阴极部分 1，

21、工具阴极部分 2, 22、钨丝, 23、超高频窄脉冲电源, 24、加工工件。

### 具体实施方式

[0021] 根据图 1 所示, 本发明的微细群线电极在线制备及装置主要包括 PCI 运动控制卡 5、工控机 13; 还包括主动隔振平台 1, 位于主动隔振平台 1 上的 X-Y 轴精密移动平台 2、机床立柱以及位于机床立柱上的 Z 轴精密移动平台 3, 群线安装夹具 9 安装在位于 Z 轴精密移动平台 3 上的工件夹具 4 上; 水平安装在电解槽 10 里面的工具阴极 8, 直流电源 14 的正负极分别连接到群线安装夹具 9 和工具阴极 8 上的群线电极上, 通过电流传感器 7 测量、监控加工中的电流值得变化; 此外, 还包括 CCD11 和视频采集卡 12。

[0022] 图 2 所示为微细群线电极夹具示意图, 电极丝位于工具阴极的圆孔的中心, 并且是群丝电极夹具 9 在 Z 轴方向做直线往复运动。

[0023] 图 3 所示为工具阴极示意图, 主要由两部分 20 和 21 所装配组成, 每一部分又包括三层结构, 即位于中间层的薄金属镍板 15 和两侧的环氧树脂绝缘板 16, 采用阴极在半径方向“内缩”结构, 即使阴极孔径大于绝缘板的孔径。

[0024] 图 4 所示为利用所制备群丝电极进行微细电解线切割加工原理示意图, 将工具阴极 8 卸掉, 并将工件 24 安装到电解槽 10 中, 分别接到超高频窄短脉冲电源的负极和正极。

[0025] 本发明专利“一种应用于微细电解线切割加工的亚微米群线电极的制备方法及其装置”原理及过程: 采用价格便宜、耐高温、硬度高、综合机械性能优良的钨丝作为阳极。首先, 工具阴极接直流电源的正极, 电极丝接直流电源负极, 实现了将工具阴极上孔径的扩大, 形成“内凹”的结构; 其次, 电极丝接直流电源正极, 工具阴极接直流电源的负极, 实现了对电极丝的电解刻蚀加工, 可将电极丝加工至亚微米尺度; 最后, 更换电解液, 将待加工工件安装到电解槽中并接到超高频窄脉冲电源的正极, 电极丝接超高频窄脉冲电源的负极, 已进行微细电解线切割加工。在加工过程中, 多丝电极夹具带动线电极在 Z 轴方向做直线往复运动, 可实现电化学刻蚀加工区域不断地、周期性的变换, 经过若干加工时间后, 在加工区域内的钨丝直径不断减小, 最终可加工出具有一定长度的亚微米尺度的群丝电极。加工过程中通过电流传感器和数据采集卡检测采集加工过程中电流的变化, 预测线电极的直径, 当达到预定值时即停止加工。

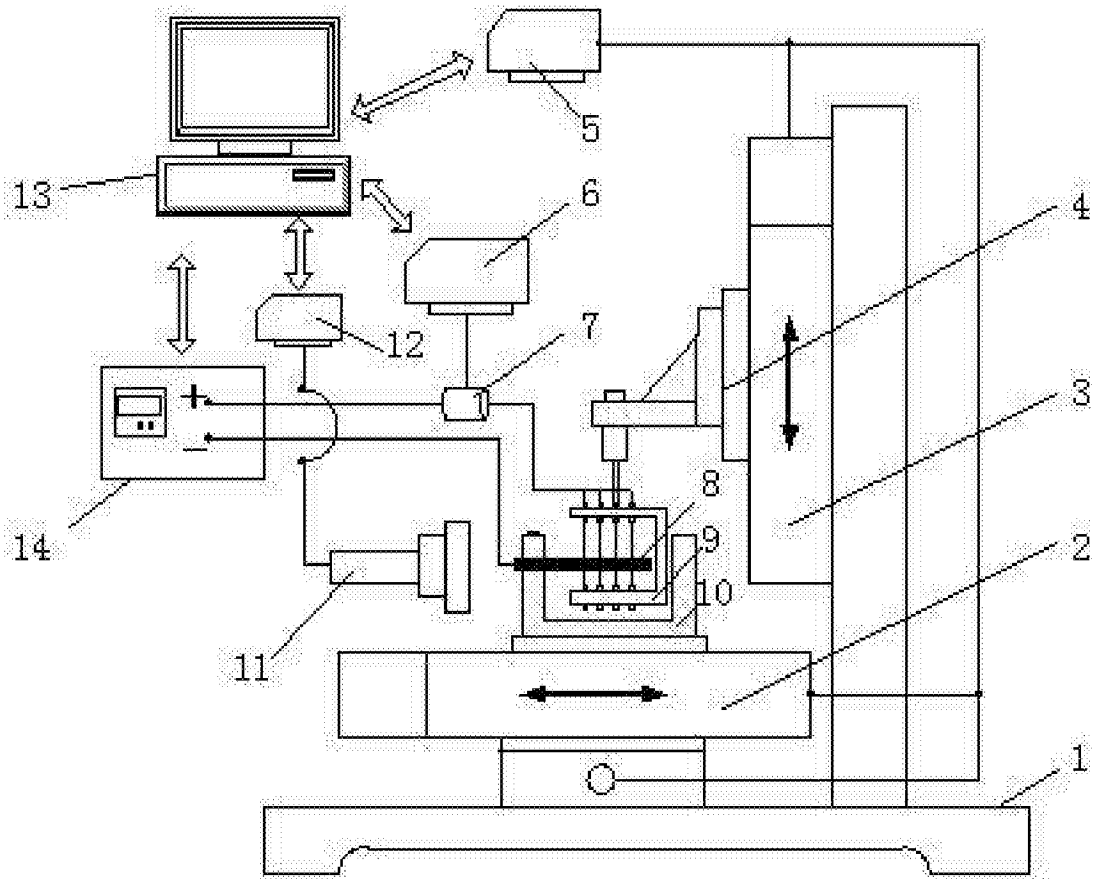


图 1

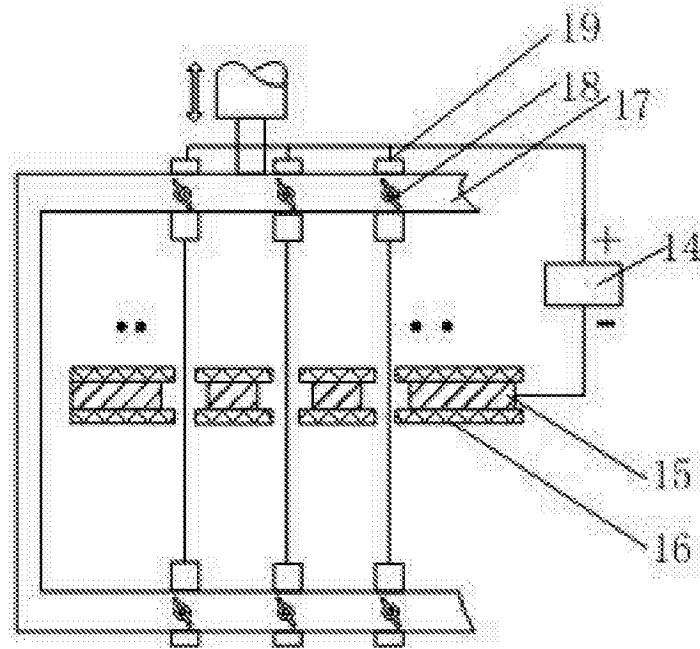


图 2

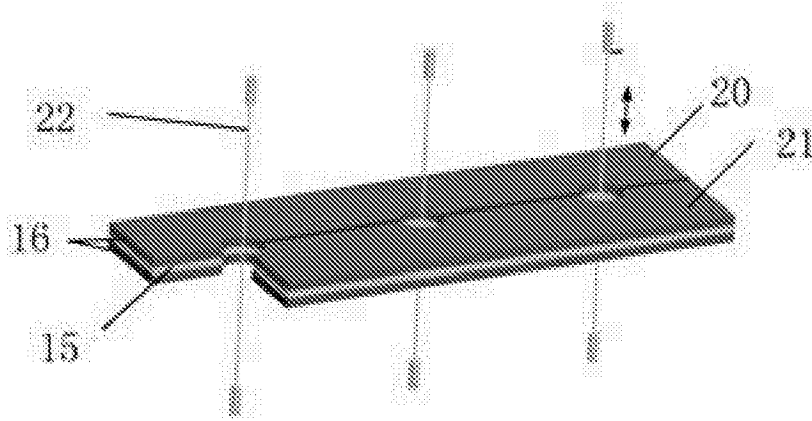


图 3

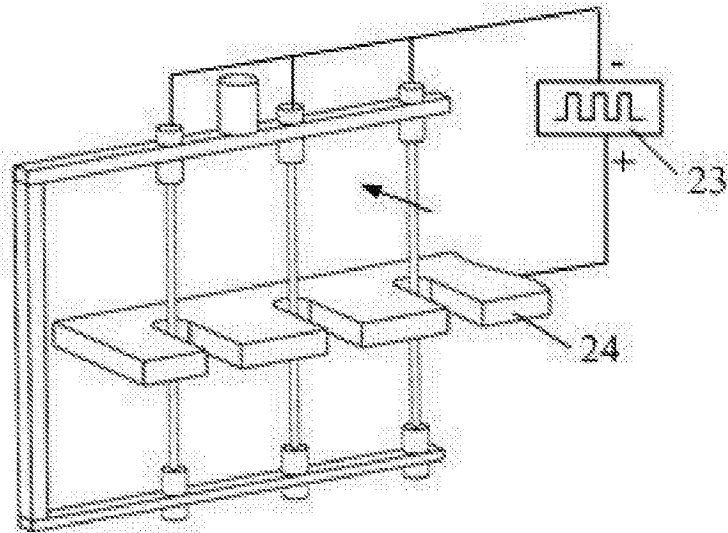


图 4