



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104923869 B

(45)授权公告日 2017.07.11

(21)申请号 201510213275.8

B23H 11/00(2006.01)

(22)申请日 2015.04.30

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号

CN 104384637 A, 2015.03.04,

申请公布号 CN 104923869 A

CN 103611994 A, 2014.03.05,

(43)申请公布日 2015.09.23

CN 101327536 A, 2008.12.24,

(73)专利权人 南京航空航天大学

CN 201841330 U, 2011.05.25,

地址 210016 江苏省南京市秦淮区御道街
29号

CN 2256790 Y, 1997.06.25,

(72)发明人 徐正扬 张彦 曲宁松 朱荻

CN 201235433 Y, 2009.05.13,

(74)专利代理机构 江苏圣典律师事务所 32237
代理人 贺翔

CN 1824444 A, 2006.08.30,

RU 2428287 C1, 2011.09.10,

审查员 安娜

(51)Int.Cl.

B23H 5/02(2006.01)

权利要求书1页 说明书6页 附图3页

B23H 5/12(2006.01)

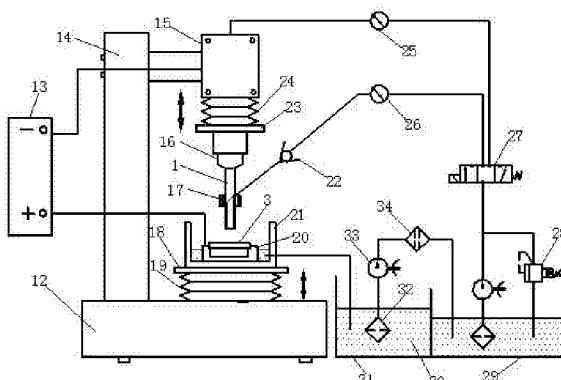
B23H 9/14(2006.01)

(54)发明名称

微小孔振动电极电火花电解可控复合加工
方法及振动系统

(57)摘要

本发明提供了一种微小单群孔振动电极电火花-电解可控复合加工工艺方法及装置，属于特种加工技术领域。以超低浓度中性盐溶液为工作液，在两极间施加相应的脉冲电压，电极沿进给方向作往复振动，通过对电极的振动控制，调节两极间隙大小，当电极正向振动使得极间间隙小于火花放电间隙，发生电火花反应；当电极负向振动，极间距离大于放电间隙，火花放电逐渐转变为电解反应；当极间距离过大，电解反应结束，工作液进入消电离状态，此后随着电极进给，进入下一加工周期，通过振动模式的优化实现电火花和电解加工的可控复合。本发明可以获得较好的表面质量，提高加工效率，同时加工过程的控制和加工一致性得到了有效保障。



1. 一种微小孔振动电极电火花-电解可控复合加工方法,以管电极作为工具电极对工件进行微小孔加工,以超低浓度中性盐溶液为工作液,采用管电极内冲液作为主要供液手段,管电极外冲液辅助供液,在工具电极与工件之间施加相应的脉冲电压,其特征在于:垂直进给方向上对工具电极或/和工件施加振动运动,通过对振动控制,调节工具电极与工件之间间隙大小;当工具电极相对工件正向振动使得极间间隙小于火花放电间隙,发生电火花反应;当工具电极相对工件负向振动,极间距离大于放电间隙,火花放电逐渐转变为电解反应;当极间距离过大,电解反应结束,工作液进入消电离状态,此后随着工件电极或/和工件进给,进入下一加工周期,通过振动模式的优化实现电火花和电解加工的可控复合。

2. 根据权利要求1所述的微小孔振动电极电火花-电解可控复合加工方法,其特征在于:所述的振动模式的优化包括了:振动波形、幅值、频率、幅值极限位置停顿时间及这些参数中的一种或者几种。

3. 根据权利要求2所述的微小孔振动电极电火花-电解可控复合加工方法,其特征在于:所述的振动频率为是高频的或低频的或恒频的或变频的。

4. 根据权利要求2所述的微小孔振动电极电火花-电解可控复合加工方法,其特征在于:所述的振动波形是正弦波或余弦波或锯齿波或三角波或梯形波任意一种或多种的组合。

5. 根据权利要求1所述的微小孔振动电极电火花-电解可控复合加工方法,其特征在于:所述的超低浓度中性盐溶液为NaCl、NaNO₃、NaClO₃中的一种或几种组合。

6. 一种实现权利要求1所述微小孔振动电极电火花-电解可控复合加工方法的振动系统,其特征在于:

包括工具电极振动系统或/和工件振动系统;

其中工具电极振动系统包括工具电极振动平台(23)和工具电极振动机构(24);工具电极振动平台(23)下安装有电极夹头(16),以夹持工具电极(1),工具电极振动机构(24)安装在机床主轴头上,进给过程中在主轴的带动下,工具电极沿竖直方向运动并伴随着往复振动;

其中工件振动系统包括工件振动平台(18)和振动机构(19);工件(3)通过夹具(20)固定在工作槽(21)中,工作槽(21)安装于工件振动平台(18)上,在振动机构(19)的作用下做往复振动。

微小孔振动电极电火花电解可控复合加工方法及振动系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种微小孔振动电极电火花-电解可控复合加工方法及振动系统，属于特种加工技术领域。

背景技术

[0002] 随着航空工业的不断发展，航空发动机内部结构设计越来越复杂，其关键零部件出现越来越多微小孔结构，其加工难点主要表现在以下几个方面：1)不仅要求高尺寸、形状精度、高表面质量，还有无毛刺、孔口锐边等特殊要求；2)需要加工微小孔的零件材料一般多为高强度高硬度的难加工材料，如高温合金、钛合金、金属间化合物等；3)由于孔径小，所以微小孔加工长径比往往较大；4)对孔壁的金相组织有特殊要求，如要求孔壁无重铸层、无微裂纹。为了克服这些困难，国内外的学者和工程师研究并尝试了多种方法来制造微小孔构件。目前，微小孔的加工方法主要有机械钻孔、激光打孔、电化学加工和电火花加工等。

[0003] 与其他微小群孔加工技术相比，电火花-电解复合加工技术利用电火花加工快速、高效的优点，结合电解加工无再铸层的特点，形成了一种针对微小孔加工的特殊工艺，不仅可以提高加工速度，还可改善加工精度和表面质量，是解决航空发动机微小群孔结构高效、高精度加工的有效途径。

[0004] 2009年6月17日，公开号为CN 101456095 A的中国专利公开了一种在电火花加工中加速排出被加工材料的方法，针对微小孔及深孔加工中加工产物不易排出的难题，提出了在电火花加工细微深孔的同时采用超声波振动辅助的方法，通过工具电极与工件之间的相对运动，加速加工区域中产物的排出，提高加工质量和加工效率，但该方法未应用于电火花电解复合加工。

[0005] 2011年3月30日，授权号为CN101693313 B的中国专利公开了一种微三维结构的电火花电解组合铣削加工方法，借助分层铣削原理，采用简单电极进行微细电火花铣削和微细电解铣削的组合加工方式，进行多种金属合金材料和复杂型腔型面的加工，该发明可充分利用电火花伺服扫描铣削加工速度快以及微细电解数控铣削加工电极不损耗表面质量好的优势，达到加工精度高、速度快、成本低的有益效果，但该发明主要针对铣削加工，不适宜应用于微小孔加工。

[0006] 2011年8月17日，申请号为201110111842.0的中国专利公开了一种电火花诱导可控烧蚀及电解复合较高效加工方法，该方法的主要特征是电解液作为工作介质，将待加工工件和管电极的一端浸没在工作介质中，向加工区域间歇性通入助燃气体并在待加工工件与管电极间形成气膜，在电火花放电作用下引燃气体实现高效燃烧，电火花加工后，关闭气源，进行电解加工及表面修整。该发明提高了蚀除效率并消除了加工表面的残余应力和变质层，但该方法对于微小孔加工效果不明显，且管电极损耗大，加工成本高。

[0007] 2013年8月7日，公开号为CN103231133 A的中国专利公开了一种非导电材料的电解电火花复合加工方法及装置，该方法对非导电材料进行打孔前先对工具电极进行绝缘处理，在电化学反应、电解电火花共同作用下，使工具电极表面形成一层氧化铝绝缘膜，对工

件进行打孔加工过程中,工具电极侧壁保持绝缘,仅在工具电极与工件接触的底面发生电解电火花放电,在电解电火花放电时的高温和冲击及磨削的共同作用下实现材料去除,完成工件的加工,该方法主要针对非导电材料的复合加工,不能应用于高温合金等难加工的导电材料的加工。

[0008] 韩国首尔大学Do Kwan Chung和Bo Hyun Kim等提出了以离子水为工作液的微小孔电火花电解组合加工方法,电火花加工采用RC回路作为供电系统进行电火花加工,电解加工切断RC回路中的电容利用直流电源进行直接供电,通过控制RC回路中电容的通断,实现电火花加工和电解加工的有效结合,从而实现金属材料的高速电火花制孔和电解光整加工,最终获得无重铸层、无裂纹等缺陷的微小孔结构,该工艺实现了电火花电解组合加工,加工效率相对较低。

[0009] 新加坡国立大学的M.Rahman教授提出了一种在低电导率的去离子水中进行微细电火花和微细电解同步加工的工艺方法,分析了不同加工参数对加工精度和表面质量的影响,该工艺方法主要应用于微细加工,加工效率相对较慢。

[0010] 台湾地区YanBiing-Hwa等进行了电火花-电化学抛光组合制孔工艺研究,选取镍基高温合金作为加工对象进行微小孔组合加工试验,利用电火花加工进行高速制孔加工,然后对加工后含有重铸层、微裂纹等缺陷的孔壁通过电化学抛光的原理进行去除,通过实验分析了加工电压、电极转速对表面质量和孔型精度的影响,并利用此工艺加工出不同形状的孔,故电加工效率较低,而添加研磨工艺后,工序变得复杂,且加工时间较长。

[0011] 哈尔滨工业大学王振龙等进行了三维金属微结构的微细电火花和微细电解铣削复合加工研究,采用相同的工具电极在同一机床上利用不同的工作介质,实现了微细电火花加工和微细电解铣削的依次进行。此外,王振龙等进一步研究了微细电火花和微细电解复合制孔技术。首先利用电火花磨削原理制造出微细棒状电极,然后利用所制造的工具电极依次进行电火花快速制孔和电解光整加工,以去除电火花加工产生的重铸层和微裂纹等,该工艺方法主要应用于微细加工领域,加工效率较低。

[0012] 清华大学李勇等采用微细电解和微细电火花组合加工的方法,利用电火花加工的高效率和电解铣削加工的高表面质量等优点,实现了3D微小结构的加工。此外,李勇等利用先电火花加工后电化学加工的工艺组合,开展了燃油喷嘴倒锥孔加工实验,研究了加工电压、脉冲持续时间、占空比以及工具电极进给速度等工艺参数对于加工孔径的影响,并通过控制电解加工的电压、电流以及工具电极进给速度,获得了内圆角及表面加工质量较好的倒锥孔,该工艺方法主要应用于微细加工领域,且组合加工方式相比于复合加工方式,加工效率较低。

[0013] 南京航空航天大学朱荻等利用电火花-电解组合加工工艺实现异型孔的加工,即在高速电火花加工后,利用同一机床、同一管电极、同一工作液进行原位电解加工,加工出异型孔,该工艺虽然减少了二次装夹及频繁更换工作液所带来的加工时间消耗和加工误差,但相比于复合加工,加工效率仍相对较低。

[0014] 2014年1月1日,公开号为CN103480926A的中国专利公开了一种微小孔电火花-电解异区同步复合加工方法及其专用工具,该方法利用超低浓度中性盐溶液在高压脉冲的作用下,在管电极的端面实现电火花轴向进给高速穿孔加工,在低压脉冲的作用下,对电火花加工后的孔壁进行径向电解光整加工。从而实现微小孔的高速加工,同时利用电化学作用,

对加工孔壁表面进行了光整加工,去除表面重铸层,从而实现电火花-电解的异区同步复合,而本专利采用振动电火花-电解复合加工,既可实现电火花-电解的异区同步复合,也可实现电火花-电解的同区域复合,振动模式的改变可以实现电火花-电解复合的可控性,此外施加的振动可有效改善微小加工区域的排屑效果,从而提高加工效率、改善加工效果。

[0015] 航空工业领域存在大量的微小单群孔结构,此类孔往往加工精度和表面质量要求较高,目前仍没有较为高效的加工手段。因此,针对微小单群孔的高效、高质量加工工艺方法研究具有极其重要的意义,也具有极大的应用价值。

发明内容

[0016] 本发明旨在提供一种既改善加工精度,又提高制孔效率的微小孔电火花-电解可控复合加工方法及振动装置。

[0017] 本发明包括以下步骤:以管电极作为工具电极对工件进行微小孔加工,以超低浓度中性盐溶液为工作液,采用管电极内冲液作为主要供液手段,管电极外冲液辅助供液,在工具电极与工件之间施加相应的脉冲电压,垂直进给方向上对工具电极或/和工件施加振动运动,通过对振动控制,调节工具电极与工件之间间隙大小;当工具电极相对工件正向振动使得极间间隙小于火花放电间隙,发生电火花反应;当工具电极相对工件负向振动,极间距离大于放电间隙,火花放电逐渐转变为电解反应;当极间距离过大,电解反应结束,工作液进入消电离状态,此后随着工件电极或/和工件进给,进入下一加工周期,通过振动模式的优化实现电火花和电解加工的可控复合。

[0018] 所述的振动模式的优化包括了:振动波形、幅值、频率、幅值极限位置停顿时间及这些参数中的一种或者几种。

[0019] 所述的振动频率为是高频的或低频的或恒频的或变频的。

[0020] 所述的振动波形是正弦波或余弦波或锯齿波或三角波或梯形波等任意一种或多种的组合。

[0021] 所述的超低浓度中性盐溶液为NaCl、NaNO₃、NaClO₃中的一种或几种组合。

[0022] 本发明还提供了一种实现所述微小孔振动电极电火花-电解可控复合加工方法的振动系统,包括工具电极振动系统或/和工件振动系统;其中工具电极振动系统包括工具电极振动平台和工具电极振动机构;工具电极振动平台下安装有电极夹头,以夹持工具电极,工具电极振动机构安装在机床主轴头上,进给过程中在主轴的带动下,工具电极沿竖直方向运动并伴随着往复振动;其中工件振动系统包括工件振动平台和振动机构;工件通过夹具固定在工作槽中,工作槽安装于工件振动平台上,在振动机构的作用下做往复振动。

[0023] 本发明的有益效果在于:

[0024] 1、本发明通过对电极的振动控制,可以有效控制极间间隙的大小,进而实现对电火花加工和电解加工过程的控制,实现对不同加工效果的人为可控。例如为了提高效率,强化电火花穿孔作用,则可以缩小极间间隙,并减少振动幅值,使得放电作用充分;如果为了提高重铸层去除效果,则可以扩大极间间隙,提高振动幅值,强化电解反应的作用,实现重铸层的有效去除。甚至还可以通过对极间间隙、工作液组分和参数的优化研究,找到最佳间隙,实现电火花-电解复合加工中两种反应的动态平衡。采用电火花-电解可控复合加工方式,利用电极的振动特性,可有效保证电火花-电解复合加工过程的控制和加工一致性,

[0025] 2、由于存在电极的振动，使得每次电火花放电加工的作用时间进一步缩短，每次放电加工仅仅去除微量的工件材料，其生成的重铸层主要分布在工件的端面上，且重铸层更薄，这样可以利用电解加工中端面反应精度高、速度快、效果好的优势，实现重铸层的有效去除。

[0026] 3、采用提出振动电极电火花-电解可控复合加工技术，通过工具阴极或工件阳极的振动运动，调节加工间隙的大小，控制电火花加工和电解加工反应过程，实现电火花-电解的同步/交变反应。同时通过每个振动周期中工件端面微量去除，改变原有电化学侧面溶解方式，使微小孔加工质量获得提高。

[0027] 4、通过电极的振动，对加工间隙中的电解液起到了进一步扰动作用，有利于提高加工过程中电解液流动的均匀性，强化了微小加工间隙中的产物排出，可使得加工稳定性和加工质量得到进一步提高。并且电极的振动特性可强化加工产物排出，均化工作液流场，保证加工稳定性，电极振动产生的交变压力冲击波，有助于促进间隙中的工作液流动，避免加工产物沉积，促进加工产物的排出；振动空化形成微射流对工作液具有更强的搅拌作用，提高了电极表面的传质速率，促进了工作液的更新，增强了电化学反应的稳定性。

[0028] 5、管电极采用侧壁绝缘形式，在进行工件端面重铸层电化学溶解去除过程中，未进行侧壁绝缘的金属管电极有可能对孔内壁造成微量的二次腐蚀，影响孔径大小和加工精度。采用管电极侧壁绝缘可约束发散的电场，抑制已加工表面的二次腐蚀，提高加工的定域性，获得较好的孔型。

[0029] 6、采用超低浓度中性盐溶液，主要是基于以下考虑：1) 在超低浓度电解质溶液中，电火花放电加工依然可以稳定进行；2) 由于采用了盐类电解质溶液，其电导率较纯水明显提高，在进行电化学溶解时可以大幅度提高效率；3) 采用超低浓度盐溶液，使得电化学溶解时的非线性特性明显，可以有效减少二次腐蚀情况的发生；4) 采用中性盐溶液，维护简便、无污染。

[0030] 7、本发明采用的内、外冲液方式，用高速管电极内、外冲液的方式为加工区域进行供液。所谓管电极内冲液，工作液通过机床主轴压头，流经工具电极内部进入加工区域，然后由孔壁与电极之间空隙流出加工区域。管电极外冲液是工作液由循环过滤系统处理后，流经外冲液装置及冲液密封装置，沿工具电极外壁进入加工区域。内冲液加工至工件穿透后，工作液反流效果大大降低，加工孔的出口处会因缺液而有加工残留，因此，配以外冲液可有效弥补这一缺陷。

[0031] 8、本发明可以获得较好的表面质量，大幅度提高加工效率，同时加工过程的控制和加工一致性得到了有效保障

附图说明

[0032] 图1是本发明振动电极电火花电解可控复合加工原理图；

[0033] 图2是本发明电极及工件振动模式示意图；

[0034] 图3是本发明绝缘电极加工示意图；

[0035] 图4是本发明振动电极电火花电解可控复合加工装置示意图；

[0036] 图中标号名称：1-工具电极，2-进给方向，3-工件电极，4-工作液，5-正向振动，6-热影响层，7-负向振动，8-溶解产物，9-振动波形，10-往复振动，11-绝缘层，12-机床床身，

13-脉冲电源,14-立柱,15-主轴头,16-电极夹头,17-外冲液装置,18-工件振动平台,19-工件振动机构,20-夹具,21-工作槽,22-单向阀,23-工具电极振动平台,24-工具电极振动机构,25-压力表,26-压力表,27-电磁换向阀,28-溢流阀,29-净液槽,30-废液,31-浊液槽,32-过滤器,33-泵,34-精过滤器。

具体实施方式

[0037] 下面结合附图和具体实施方式,对本发明做进一步说明。

[0038] 图1是本发明振动电极电火花电解可控复合加工原理图,其中(a)为加工初始阶段图、(b)为电火花加工阶段图、(c)为电解加工阶段图、(d)为加工结束图。主要包括工具电极1,进给方向2,工件电极3,工作液4,正向振动5,热影响层6,负向振动7,溶解产物8。加工时工具电极接负极,工件接正极,两极连接高频脉冲电源。工作液循环系统中,工作液通过电磁换向阀27分成两路,一路与管电极内部相通,另一路与管电极外壁流道相连,实现管电极内冲液的主供液和管电极外壁供液辅助供液及两者的切换。加工过程中工具电极沿垂直方向向下进给,同时伴随周期性往复振动,高速高压的超低浓度中性盐溶液从电极内部喷向加工间隙,当电极极间距离小于放电间隙时,发生电火花反应,同时伴随有电化学溶解;随后电极反向运动,极间间隙逐步扩大,火花放电逐步转变为电解反应,当间隙大于放电间隙后,两极之间只进行电解反应,重铸层得到去除。此后电极进给,加工进入下一循环周期,直至加工结束。

[0039] 图2为本发明电极及工件振动模式示意图。其中(a)为工具电极振动模式图、(b)为工件振动模式图。主要由工具电极1,进给方向2,工件电极3,工作液4,振动波形9,往复振动10组成,振动电极电火花-电解可控复合加工技术,其核心问题是电极振动模式的优化,通过对电极的振动控制,可以有效控制极间间隙的大小,实现对复合加工中电火花加工和电解加工两种反应过程的控制。电极的振动模式包括工具阴极的振动,以及工件阳极的振动模式。将针对这两种模式分别开展相应研究,针对振动波形(如正弦波、三角波、梯形波等),及其幅值、频率、幅值极限停顿时间、放电间隙等参数进行优化,选取适合的振动参数模式,建立最佳的匹配策略,实现电火花-电解可控复合加工,以获得所需的加工效果。

[0040] 图3是本发明绝缘电极加工示意图,主要由工具电极1,工件电极3,工作液4,绝缘层11组成,在进行工件端面重铸层电化学溶解去除过程中,未进行侧壁绝缘的金属管电极有可能对孔内壁造成微量的二次腐蚀,影响孔径大小和加工精度,采用管电极侧壁绝缘可约束发散的电场,抑制已加工表面的二次腐蚀,提高加工的定域性,获得较好的孔型。

[0041] 图4为本发明振动电极电火花电解可控复合加工装置示意图,主要包括工具电极1,工件电极3,机床床身12,脉冲电源13,立柱14,主轴头15,电极夹头16,外冲液装置17,工件振动平台18,工件振动机构19,夹具20,工作槽21,单向阀22,工具电极振动平台23,工具电极振动机构24,压力表25,压力表26,电磁换向阀27,溢流阀28,净液槽29,废液30,浊液槽31,过滤器32,泵33,精过滤器34。

[0042] 工具电极振动系统包括工具电极振动平台23和工具电极振动机构24,工具电极振动平台23下安装有电极夹头16,以夹持工具电极1,工具电极振动机构24安装在机床主轴头上,进给过程中在主轴的带动下,工具电极沿竖直方向运动并伴随着往复振动,工件3通过夹具20固定在工作槽21中,工作槽21安装于工件振动平台上,在振动机构19的作用下做往

复振动,工件3与工具电极1分别与脉冲电源13的正负极相连,在加工过程中为加工系统供电,工作液循环系统中,工作液在电磁换向阀27作用下,由管电极内部或者外壁流入加工区域,实现管电极的内外供液。

[0043] 综合图1至图4,本发明所述的微小孔振动电极电火花-电解可控复合加工方法为:以超低浓度中性盐溶液为工作液,工作液4经由工作液循环系统,在电磁换向阀27的作用下,由工具管电极1的内孔或外壁流入加工区域,在工具电极1和工件3之间施加相应的脉冲电压13,在垂直进给方向上对工具电极1或者工件电极3施加振动运动,通过电极的振动控制,调节两极间隙大小,当电极正向振动5使得极间间隙小于火花放电间隙,发生电火花反应;当电极负向振动6,极间距离大于放电间隙,火花放电逐渐转变为电解反应;当极间距离过大,电解反应结束,工作液进入消电离状态,此后随着电极进给,进入下一加工周期,通过振动模式的优化实现电火花和电解加工的可控复合。

[0044] 本发明具体应用途径很多,以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以作出若干改进,这些改进也应视为本发明的保护范围。

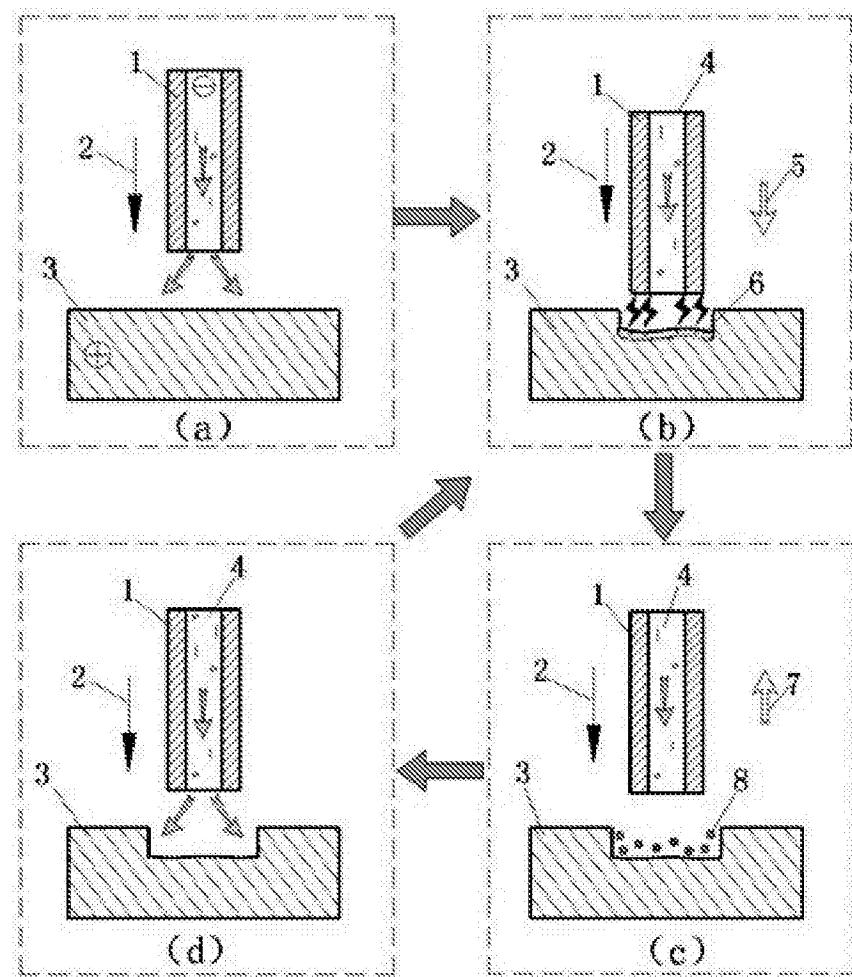


图1

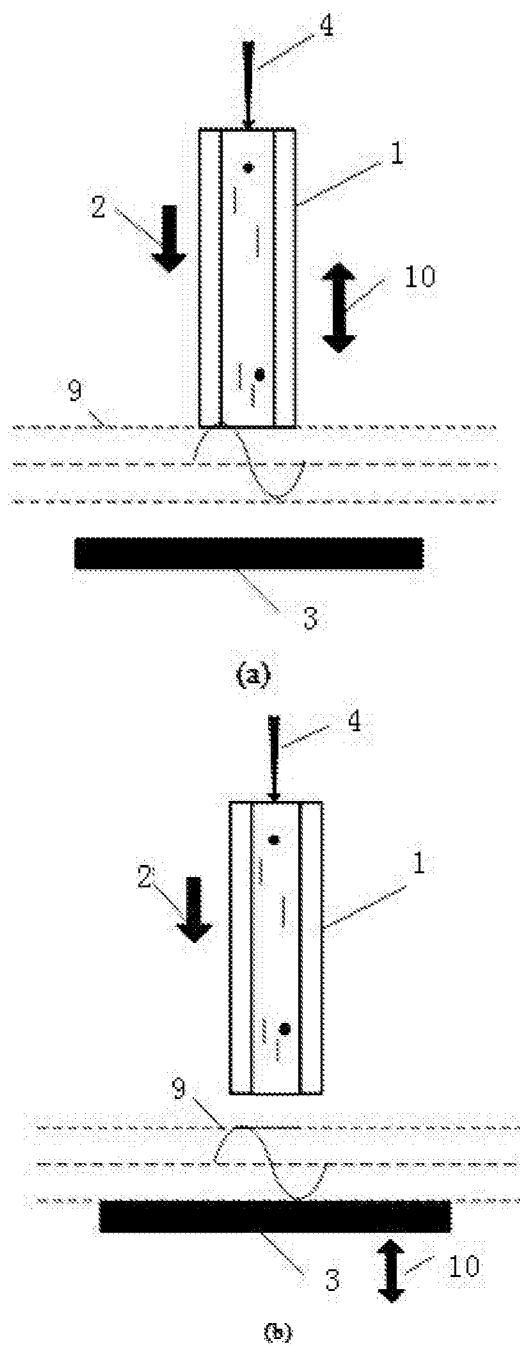


图2

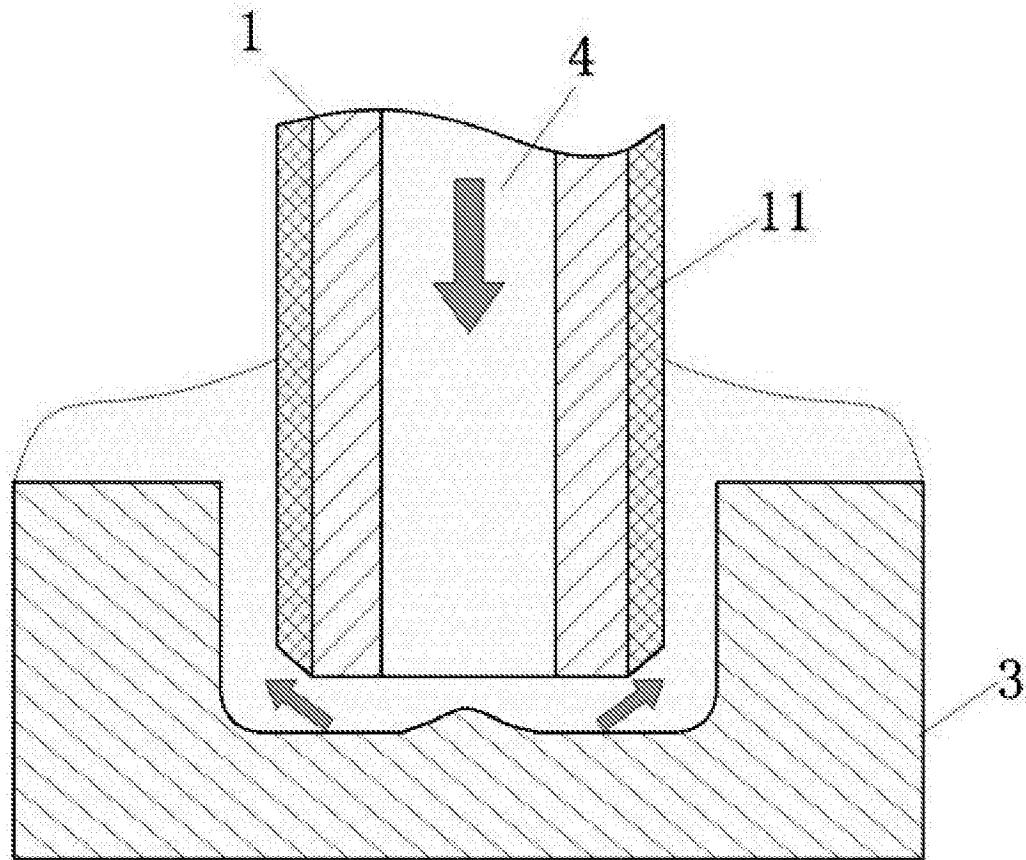


图3

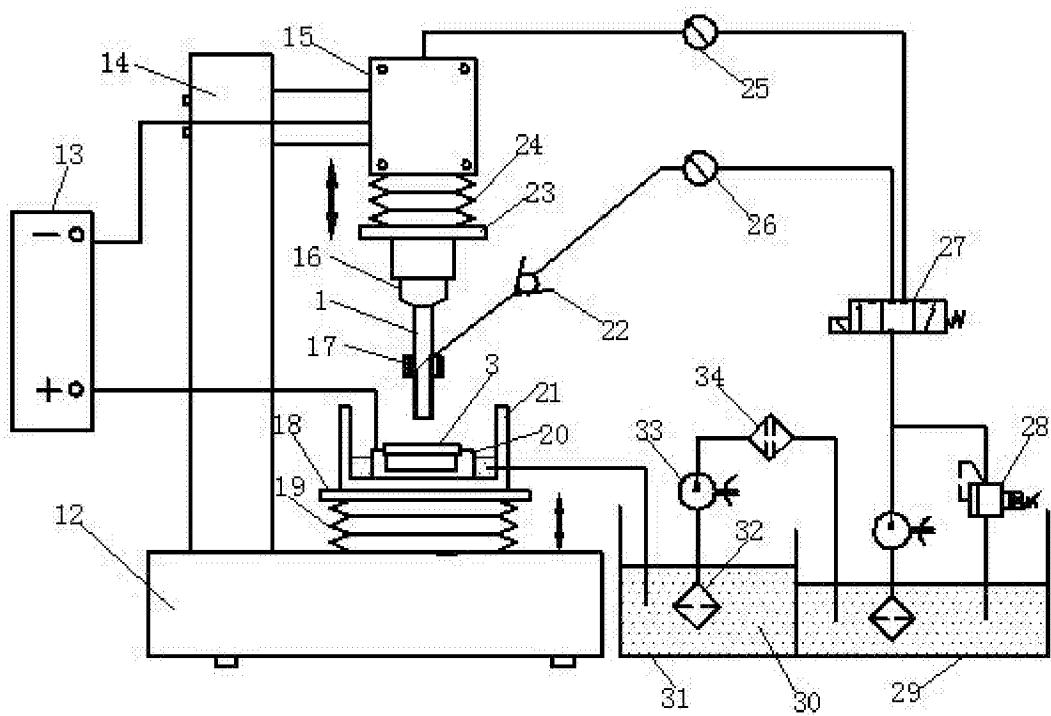


图4