

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

B23H 1/02 (2006.01)

B23H 7/12 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510069696.4

[45] 授权公告日 2010年2月24日

[11] 授权公告号 CN 100591452C

[22] 申请日 2005.5.8

[21] 申请号 200510069696.4

[30] 优先权

[32] 2004.5.7 [33] US [31] 10/842344

[73] 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 M·S·兰菲尔 B·魏 R·原

J·F·维斯塞斯

[56] 参考文献

CN88101230A 1988.11.30

US20020148814A1 2002.10.17

US20030173337A1 2003.9.18

US6127642A 2000.10.3

US4159407A 1979.6.26

审查员 黄蓓

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 廖凌玲 黄力行

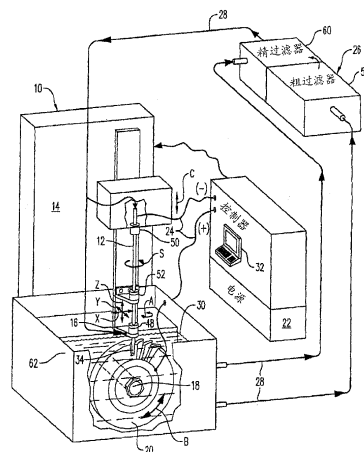
权利要求书4页 说明书12页 附图3页

[54] 发明名称

分布式电弧电蚀

[57] 摘要

一种电蚀设备(10)包括被支承在多轴机器(14)中的刀架(16)中的管状电极(12)。所述机器(14)被构造用以使所述电极(12)相对于被支承在具有附加的移动轴的心轴(18)上的工件(20)沿多个移动轴自旋。电源(22)为作为阴极的所述电极(12)和作为阳极的所述工件(20)提供电力。在操作中,电解质(30)循环通过所述管状电极(12)。并且,控制器(32)被构造以运行所述机器(14)和电源(22)以使得当所述自旋电极沿其进给路径移动时,在所述电极(12)和工件(20)之间分布多个电弧(40)从而对工件进行电蚀。



1、一种电蚀设备(10)，包括：

管状电极(12)；

多轴机器(14)，所述机器包括支承所述电极用以使其自旋的具有多个移动轴的刀架(16)，和用于支承工件(20)的具有附加的移动轴线的心轴(18)；

电源(22)，所述电源包括用于传送电能通过所述电极(12)和工件(20)的导线(24)；

电解质供应源(26)，所述电解质供应源包括用于使电解质(30)循环通过所述电极(12)的管道(28)；和

控制器(32)，所述控制器与所述多轴机器(14)和所述电源(22)操作地连接用以对所述多轴机器(14)和所述电源(22)进行控制，并被构造用以在所述电极(12)和工件(20)之间分布间歇多电弧(40)，所述间歇多电弧与所述电极(12)和工件(20)之间的无电弧放电的放电在时间上交替进行。

2、根据权利要求1所述的设备，其中：

所述刀架(16)被支承在所述多轴机器(14)中且具有三个线性平移轴和一个旋转轴，并且与所述控制器(32)操作地连接用以协调所述刀架(16)的移动从而控制所述电极(12)的进给路径；和

所述心轴(18)被支承在所述多轴机器(14)中且具有旋转移动轴线，并且与所述控制器(32)操作地连接用以旋转地指引所述工件(20)。

3、根据权利要求2所述的设备，其中所述控制器(32)进一步被构造用以驱动所述电极(12)沿连续更深的进给路径穿过所述工件(20)从而电加工出穿过其中的沟槽(36)。

4、根据权利要求3所述的设备，其中所述控制器(32)进一步被构造用以补偿使所述电极(12)长度减少的所述电极(12)的磨损。

5、根据权利要求4所述的设备，其中：

所述电极(12)是狭长的；

所述刀架(16)包括用于支承所述电极(12)的下端的下部管状导引装置(48)，同时所述电极(12)的下远端顶部(34)被悬于所述下部管状导引装置(48)的下方；并且

所述多轴机器(14)还包括在所述下部管状导引装置(48)上方且

与所述刀架(16)连接用以支承所述电极(12)的相对的近端并使所述电极(12)自旋的旋转卡盘(50)。

6、根据权利要求5所述的设备,其中所述刀架(16)进一步包括设置在所述卡盘(50)和下部管状导引装置(48)之间用以支承所述电极(12)的中间部分的中部管状导引装置(52)。

7、根据权利要求6所述的设备,其中所述下部管状导引装置(48)包括一排横向延伸通过其中至其中心孔且与所述电解质供应源(26)连接形成流动连通用以使所述电解质流动通过其中的入口孔(56)。

8、根据权利要求7所述的设备,其中所述电极(12)的所述近端与所述电解质供应源(26)连接形成流动连通用以使所述电解质流动通过所述电极从而从所述下远端顶部(34)放电。

9、根据权利要求8所述的设备,其中:

所述工件包括环状叶盘坯件(20),且所述心轴(18)被构造用以在其上共轴地支承所述坯件;和

所述控制器(32)进一步被构造用以轴向地驱动所述电极(12)沿弧形进给路径通过所述坯件的周边,从而形成从所述心轴(18)向外径向延伸的粗制翼面(42)。

10、一种对工件(20)进行电蚀加工的方法,包括:

使自旋管状电极(12)沿进给路径进给穿过所述工件(20);

使电解质(30)循环通过所述自旋管状电极至其邻近所述工件的顶部(34);

对所述循环电解质(30)进行过滤以除去来自其中的电蚀碎屑;和以直流脉冲波形(38)为所述自旋管状电极(12)和所述工件提供动力,用以在所述顶部(34)和所述工件之间分布间歇多电弧,所述间歇多电弧与所述顶部和工件之间的无电弧放电的放电在时间上交替进行,从而电蚀加工出穿过所述工件的沟槽(36)。

11、一种电蚀设备(10),包括:

管状电极(12);

多轴机器(14),所述机器包括支承所述电极用以使其自旋的具有多个移动轴的刀架(16),和用于支承工件(20)的台;

电源(22),所述电源包括用于传送电能通过所述电极(12)和工件(20)的导线(24);

电解质供应源(26), 所述电解质供应源包括用于使电解质(30)循环通过所述电极(12)的管道(28); 和

控制器(32), 所述控制器与所述多轴机器(14)和所述电源(22)操作地连接用以对所述多轴机器(14)和所述电源(22)进行控制, 和被构造用以在所述电极和所述工件之间分布多个电弧(40)用于当所述电极自旋并沿进给路径移动时对所述工件进行加工,

其中, 所述控制器(32)进一步被构造用以控制所述电源(22)使用直流(DC)脉冲波形(38)为所述电极(12)提供动力, 和控制所述多轴机器(14)以调节所述电极移动穿过所述工件并在所述电极和工件之间实现间歇多电弧, 并且

所述控制器(32)进一步被构造用以在所述电极(12)和工件(20)之间实现间歇多电弧(40), 所述间歇多电弧与所述电极(12)和工件(20)之间的无电弧放电的放电在时间上交替进行。

12、根据权利要求 11 所述的设备, 其中所述刀架(16)被支承在所述多轴机器(14)中且具有三个线性平移轴和一个旋转轴, 并与所述控制器(32)操作地连接用以协调所述刀架(16)的移动从而控制所述电极(12)的所述进给路径。

13、根据权利要求 12 所述的设备, 其中所述台包括被支承在所述多轴机器(14)中且具有旋转移动轴线, 并与所述控制器(32)操作地连接用以旋转地指引所述工件(20)的旋转心轴(18)。

14、根据权利要求 13 所述的设备, 其中:

所述工件包括环状叶盘坯件(20), 且所述心轴(18)被构造用以在其上共轴地支承所述坯件; 且

所述控制器(32)进一步被构造用以轴向地驱动所述电极(12)沿弧形进给路径穿过所述坯件的周边, 从而形成从所述心轴(18)向外径向延伸的粗制翼面(42)。

15、一种对工件(20)进行电蚀加工的方法, 包括:

使自旋管状电极(12)沿进给路径进给穿过所述工件(20);

使电解质(30)循环通过所述自旋管状电极至其邻近所述工件的顶部(34); 和

使用直流脉冲波形(38)为所述自旋管状电极(12)和所述工件提供动力, 用以在所述顶部(34)和所述工件(20)之间分布间歇多电弧,

所述间歇多电弧与所述顶部(34)和工件(20)之间的无电弧放电的放电在时间上交替进行,从而对所述工件进行电蚀加工。

16、根据权利要求15所述的方法,进一步包括协调所述电极(12)的动力及所述电极的进给速度,从而以大于1500立方毫米/分钟的速度电蚀加工出穿过所述工件(20)的沟槽(36)。

分布式电弧电蚀

技术领域

本发明主要涉及制造工艺，且更具体而言，本发明涉及切削加工。

背景技术

通常使用多轴数控（NC）铣床实现精密加工。切削刀具悬挂在通常具有三个正交的平移轴和与其对应的一个或多个附加的旋转轴的刀架上。要加工的工件或部件被固定地安装到可为其提供附加的平移或旋转移动轴的底座上。

在操作中，对数控（NC）机进行编程写入软件中，所述软件用以控制刀具的加工或切削路径以精确地从工件上除去材料从而达到其所需的最终尺寸。通常的铣床包括旋转切削刀具，所述刀具具有受控进给路径，用以以连续次操作的方式从工件上除去材料最终接近所需加工构型。

必须对数控机的编程和操作给予大量关注以确保得到预期的工件的精密加工。在加工过程中对工件的损伤可使其被报废，同时导致与其相应的时间和金钱的附带损失。

特别复杂和昂贵的精密部件是见于燃气轮机中的典型的带有叶片的盘，或叶盘。燃气轮机通常包括被分别安装到支承盘的周边上的多级压缩机转子叶片。通常情况下单独地制造压缩机叶片和使用适当的燕尾榫将它们安装到支承盘的周边上。

另一种可选方式是，整排压缩机叶片还可通过在盘工件的周边中加工出沟槽而与盘一体制造，致使形成加工后剩余的一排一体翼面。

初始叶盘坯件具有固体周边，在其中加工出沟槽用以限定出从单一或一件式部件中的支承盘径向向外延伸的所得压缩机翼面。叶盘材料通常是具有增强强度的超合金，且相应地较昂贵。

最初利用常规数控机从坯件中加工出叶盘翼面，所述数控机具有用于切出穿过周边的沟槽以形成翼面的旋转铣刀。所得翼面需要非常平滑并且是具有精确构型的表面，其通常通过在初始形成的叶盘上进行附加的机加工工艺来实现。

例如，电化学（ECM）加工是一种常规工艺，其中阴极被专门构造以达到翼面所需的最终轮廓形状。电流流过电极和工件之间的间隙中的液体电解质用以精确地除去翼面上的少量剩余材料以达到其所需的具有非常光滑的表面的最终构型。

电化学加工在多轴数控机的另一种形式中被实现，其中当电极从其反向压力和吸力侧接近单独的粗制翼面时，其进行复杂的三维（3D）移动。

电化学加工对于快速除去超合金材料达到翼面所需的充分最终光面精整是特别有利的，同时对其没有不希望的损伤。由于叶盘工件在紧接翼面的形成前需要进行多级制造和加工，其中大量的时间和金钱被投入工件中。且，由于在叶盘周边周围的大量翼面被分别加工，所以额外的时间和费用被投入，其进一步增加了叶盘的成本。

在制造的各个阶段中对任何一个叶盘翼面或支承转子盘本身的不可接受的损伤可使得整个叶盘不能用于其在高性能燃气轮机中的预期用途，从而致使其被报废且产生时间和费用的附带损失。

鉴于叶盘生产中通常所需的大量时间，正不断地开发对制造的改进措施用以缩短加工时间和降低费用，而不增加在制造中对叶盘产生不希望的损伤的机会。

例如，电化学加工工艺被特别地构造用以在叶盘工件中初始地形成粗制翼面，且与常规铣床相比大大减少了时间和费用。已经被转让给本受让人的美国专利 6,562,227 披露了为此目的而被特别构造的浸渍电加工（plunge electromachining）的一种形式。

此外，例如放电加工（EDM）也是用于加工燃气轮机部件中的材料的另一种工艺。在放电加工中，电介质液在电极和工件之间循环，且在电极和工件之间的间隙中产生放电用以对材料进行电蚀。放电加工工艺通常用于钻削穿过涡轮机转子叶片和排气叶片的表面的大量小型薄膜冷却孔。

已经被转让给本受让人的美国专利 6,127,642 描述了具有狭长电极的放电加工机的一个实例，所述狭长电极由下部和中部导引装置支承用以减少钻孔过程中其不希望的弯曲。

电化学加工和放电加工工艺均使用直流（DC）电压下的电流从而为从工件中去除材料提供电能。在电化学加工中，导电液体或电解质

在电极和工件之间循环用以允许工件材料的电化学反应，以及冷却和冲洗其间的间隙区域。在放电加工中，非导电液或电介质在阴极和工件之间循环以允许在其间的间隙中放电从而除去工件材料。

在电化学反应和放电加工二者中，其对应电极通常被安装在多轴数控机中用以实现其所需的精确三维（3D）进给路径从而加工出复杂的三维工件，例如叶片和轮叶的翼面。数控机包括数字可编程计算机和包括控制其所有操作的适当软件，所述所有操作包括进给路径和独立的电化学反应和放电加工工艺。

特别地，在两种工艺中，必须阻止在电化学反应或放电加工电极和工件之间的电弧放电，从而防止产生对工件表面的不希望的热损伤。电弧放电是高电能的局部释放，其可能不希望地烧伤工件表面并对其机械和材料性能产生不利影响。

如上所述，典型的涡轮机叶盘由超合金金属形成，所述超合金金属具有高强度特征，其可由于过温被侵蚀。在电化学反应或放电加工工艺中的电弧放电可致使在已加工的工件上形成相对较大的重铸层或热影响区（HAZ），其中材料性能可被不希望地恶化。

因此，电化学反应或放电加工工艺都包括用于检测电弧放电或初始电弧放电并调整加工工艺从而在加工中阻止或消除不希望的电弧放电的复杂电路。这样，两种工艺中的重铸层或热影响区（HAZ）可被最小化用以确保最终加工工件的最大强度。

尽管在燃气轮机叶盘的生产中存在用于加工材料的多种工艺，因此该制造工艺仍需要大量时间和费用，这样相应地增加了叶盘的成本。

因此，所需的是提供一种能够达到更高的加工速度而不产生对工件的附带的不希望的损伤的电蚀加工设备和工艺。

发明内容

一种电蚀设备包括被支承在多轴机器中的刀架中的管状电极，所述多轴机器被构造用以使电极相对于被支承在具有附加的移动轴的心轴上的工件沿多个移动轴自旋。电源为作为阴极的电极和作为阳极的工件提供电力。在操作中，电解质循环通过管状电极。并且，控制器被构造以运行机器和电源以使得当自旋电极沿其进给路径移动时，在

电极和工件之间分布多个电弧从而对工件进行电蚀。

附图说明

以下，结合附图根据优选和典型实施例，对本发明连同其进一步的目的和优点进行了更具体的描述，其中：

图 1 是用于加工被支承在其中的工件的分布式多弧电蚀设备的典型实施例的示意图；

图 2 是图 1 所示的电蚀设备的示意性图示，图中示出了由其自旋电极加工的工件的一部分；和

图 3 是在电蚀加工过程中的电蚀设备的另一示意图，图中进一步放大示出了自旋电极顶部。

具体实施方式

图 1 示意性地示出了包括管状切削刀具或电极 12 的电蚀机或电蚀设备 10。该设备包括多轴数控 (NC) 机 14，所述机器包括在操作中支承电极用以使其旋转或自旋 S 且具有多个移动轴的刀架 16。该机器还包括以旋转心轴 18 的典型形式存在的适当的支承台，其支承工件 20 且优选具有附加的移动轴。

以常规直流 (DC) 电源 22 的形式存在的装置被设置用以在操作中传送电能通过电极 12 和工件 20。该电源包括相应地与在一种实施方式中作为阴极 (-) 的电极 12 和作为阳极 (+) 的工件相连的适当的电导线 24。在其它可选实施方式中，极性可被反转成阳极电极和阴极工件。

由于电极 12 在操作中自旋，因此电导线可根据需要利用常规的集电环或其它连接装置适当地连接至其上。并且，工件的导线可根据需要被直接地附接到其上或附接到支承心轴 18 上。

以电解质供应源 26 的形式存在的附加装置被设置用以在操作中使导电液体或电解质 30 循环通过电极 12。该电解质供应源包括用于向电极提供清洁且冷却的电解质，同时使充满碎屑的电解质从加工位置返回的多条管道 28。根据需要电解质可以是淡水、或油、或其它具有由弱至强的导电性的液体。

以数字可编程的电控制器 32 的形式存在的装置与数控机 14 操作连接用以控制数控机的操作，且还与直流电源 22 连接也用以控制其操

作，并且在电蚀加工工艺中协调电极和工件之间的相对移动。控制器 32 可具有任何常规的形式且包括中央处理器（CPU）和所有附带的存储器 and 数据处理系统，可利用适当的软件对其进行编程以控制设备的全部操作。监控器和键盘设有控制器用以在对电蚀加工工艺的控制中由操作人员使用二者，以及由编程人员使用二者，从而根据工件的特定形状对机器进行初始设置。

图 2 更详细地示出了与相应的工件 20 的电蚀工艺或方法相关联的电蚀设备。该工艺包括使自旋管状电极 12 沿进给路径 P 进给穿过工件 20，所述工件 20 优选被保持固定不动。电解质 30 循环通过自旋电极并流出通过其与正被加工的工件邻近的顶部 34。自旋电极 12 作为阴极由电源 22 提供电力，同时工件作为阳极被提供电力，用以电蚀出通常与切削电极本身的尺寸相当的穿过工件的相应的沟槽 36。

图 3 进一步示出了当电极电蚀工件中的沟槽 36 时，电极 12 的放大的顶端。特别地，控制器 32 被特别地构造用以以直流脉冲序列或波形 38 为自旋电极 12 提供动力，所述直流脉冲序列或波形 38 具有在电极顶部 34 和工件 20 之间在空间上分布多个电弧 40 用以对其进行受控电蚀加工的技术效应。当自旋电极 12 沿程序化进给路径 P 移动穿过工件时，电能被传送通过电极和被保持在电极顶部和工件之间的微小间隙 G 中的电解质，用以从工件上电蚀掉材料从而形成相应的沟槽。

如上所述，常规放电加工和电化学加工工艺中的电弧的产生，由于来自其中的相关损伤而在其中被严格地禁止。在放电加工和电化学加工工艺中，其相应的电控制器包括专门构造用以检测电弧放电或初始电弧放电，以由此防止或消除操作中的电弧放电的电路。

相比之下，如图 3 示意性示出的电蚀工艺有意地实现电弧放电，其优选在操作中被空间地分布在电极顶部上用以大大增加从工件上除去材料的速度。控制器 32 被专门构造用以控制电源 22 从而以直流脉冲电压波形 38 为自旋电极提供电力，同时还控制多轴机器 14 以调节电极移动穿过工件并在电极和工件之间实现时间间歇性或瞬时多电弧。

图 3 还示意性地示出控制器 32 被构造在两个操作极端之间，以阻止由具有通过其中的对角线的无电弧放电框所示的在电极和工件之间的无电弧放电，和以阻止由具有通过其中的对角线的框类似示出的持

续的或稳态的电弧放电。

如上所示，无电弧放电操作是所需的且在常规的电化学加工和放电加工电蚀中得到实现。并且，由于对工件产生与较大重铸层或热影响区（HAZ）层相关联的附带热损伤，在电化学加工和放电加工工艺中的持续或连续的电弧放电是不需要的。

然而，通过在空间和时间上在自旋电极和工件之间分布多个电弧，可大大增强电蚀材料的去除，且具有远大于常规放电加工和常规电化学加工的除去速度的去除速度，同时使所不希望的重铸层最小化。

如图 3 示意性地示出的，直流脉冲波形 38 实现了一系列通-断直流电压脉冲，以为电蚀工艺提供通过电极顶部的电力。电能被传送通过电极顶部和工件之间的间隙 G 中的电解质 30。尽管从脉冲到脉冲之间电弧的产生是随机的，然而统计上的重复性和统计性是可控制的。

因此，电源的控制可与电极的进给路径 P 协调用以在电极顶部和工件之间实现多个间歇性电弧 40，所述间歇电弧 40 在时间上与在电极和工件之间无电弧放电的放电相交替。以这种方式，通过交替进行电弧放电与无电弧放电，可使得归因于多电弧而增加的材料去除与所得重铸层相平衡。对于特定工件和特定加工工艺，可利用分析和一系列试验加工经验性地确定所述平衡。

如图 3 所示的空间和时间地分布的多弧电蚀工艺的关键特征从根本上包括在电极和工件之间的间隙中的电解质而不是电介质的使用，以及使电极在电解质中自旋。以这种方式，自旋电极有助于在电极和工件之间散布多个同时发生的电弧，而不是单个放电电弧，且有效地增加了电蚀切削面积。来自电蚀工艺的热量因此被分布在自旋电极顶部的整个表面区域上。相应地，电极顶部本身的磨损也被分布在其圆周的周围。

此外，清洁且冷却电解质 30 流过管状电极的内部，并流出电极顶部中心处的孔，用以将清洁且冷却的电解质提供至加工间隙 G 中从而改进多电弧的稳定性和分布。电解质还冲去加工过程中产生的侵蚀碎屑。

相当重要的是，自旋电极可结合使用大幅增加的电流和归因于分布多弧产生的相应较低的峰值电流密度，相对于常规放电加工和电化学加工工艺而言，所述大幅增加的电流和相应较低的峰值电流密度结

合起来从而大大增加了材料去除速度。

如图 1 所示的刀架 16 优选被支承在多轴机器 14 中，并具有三个线性且正交的平移轴 X、Y、Z 和一个或多个旋转轴 A，例如见于围绕线性轴 X 的轴。所述 X 轴与典型工件 20 的平面平行且与心轴轴线正交。所述 Y 轴与心轴轴线平行且与 X 轴位于同一水平平面中。且，所述 Z 轴是垂直的。

刀架 16 可以以任何常规方式被安装在机器内用以实现这些典型的移动轴，且通常使用由相应的伺服电动机提供动力的适当的螺杆驱动滑架来实现。移动轴的多个伺服马达与控制器 32 操作地连接，所述控制器 32 协调其移动进而在操作控制电极顶部的进给路径 P。这样，电极顶部可根据需要沿精确的三维（3D）进给路径穿过工件，用以在工件中加工出复杂的三维（3D）形状。

相应地，如图 1 所示的心轴 18 被支承在多轴机器 14 中，并具有通过相应的伺服马达实现的旋转移动轴线 B。该 B 轴线伺服马达也与控制器 32 操作地连接用以在操作中根据需要优选周期性地旋转分度典型工件 20。

例如，如图 1 所示的典型工件呈环状叶盘坯件的形式，且心轴 18 被构造用以在其上共轴地支承坯件 20。心轴 18 以轴的形式存在，且叶盘坯件具有中心孔，其可利用被固定地附接到心轴上的适当夹具进行安装从而在操作中与心轴一起旋转。

控制器 32 被相应地构造用以轴向地驱动自旋电极 12 沿如图 2 更详细地示出的弧形进给路径 P 穿过叶盘坯件 20 的外周边，从而形成相对于支承心轴的中心线轴线，从工件的周边向外径向延伸的粗制翼面 42。

如图 2 和图 3 所示，由于电蚀切削限于电极 12 的顶部区域，因此控制器 32 进一步被构造用以轴向地驱动电极 12 沿连续的径向更深的进给路径穿过工件 20，进而在坯件中电蚀加工出不连续的粗制翼面 42。因此沟槽 36 从工件的外周边被径向加工得更深以达到所得粗制翼面 42 的所需完全高度，由此在其相对侧上加工出全部沟槽后形成翼面 42。

如此加工出的粗制翼面 42 包括其上充足的附加材料用以进行随后的加工操作从而除去其粗面和薄重铸层以实现叶盘的最终翼面的最终尺寸和光面精整。

如图 3 所示, 当电极 12 从工件 20 中电蚀出材料时, 其相应地受到磨损且长度变得更短。因此, 控制器 32 优选还被构造用以补偿使电极长度减少的该电极的磨损量。例如, 控制器可被构造用以计算, 当电极完成其通过工件周边的每次进给路径的操作时, 电极的每次加工操作的磨损量, 并相应地调节电极的径向位置。尽管在加工过程中可保持电极顶部和工件之间的狭小间隙 G 基本不变, 但所述间隙 G 由控制器动态地改变以控制多弧侵蚀工艺的效力和稳定性。

如图 2 所示, 多轴机器 14 优选包括一个或多个与电极 12 的长度相关联的参考平面 44、46。

相应地, 控制器 32 可被进一步构造用以在每个穿过工件的连续的进给路径之前或紧接在其后或在其它间歇时刻, 使电极顶部 34 接靠参考平面, 从而校准电极顶部的径向位置。这样, 对于电极的每次操作, 电极顶部位置的准确指示和相应的电极长度可被储存在控制器中以在加工中提高电极磨损量补偿的精度。顶部位置还可另外通过其它适当装置, 例如通过激光探测, 进行检测。

如图 1 所示的电极 12 是狭长或细长的, 且相对较长较细, 具有适于预期工件的直径。电极具有充足的长度用以在操作中补偿使电极长度减少的电极磨损, 同时电极具有适当的长度/直径比, 例如初始时大于约 5。

因此, 如图 1 所示的刀架 16 包括用于共轴地支承电极 12 的下端部的下部管状导引装置 48, 同时电极的下远端顶部 34 被悬于其下方且正位于工件顶上。下部导引装置支承电极的下端部从而使电极在其中旋转地移动。

相应地, 多轴机器 14 还包括在下部导引装置上方与刀架 16 的上延伸部分适当连接用以支承细长电极 12 的相对的顶部或近端和使其旋转或自旋的旋转夹头或卡盘 50。这样, 电极的顶部被安装在自旋卡盘中, 且电极的底部被安装穿过下部导引装置, 用以允许其在操作中自旋。

由于电极应足够长用以留出在其耗尽前的用于进行电蚀加工的充足时间, 因此如图 1 所示的刀架 16 优选还包括被纵向设置在上部卡盘 50 和下部导引装置 48 之间的中部管状导引装置 52。该中部导引装置 52 同轴地支承电极 12 的中间部分用以在操作中限制其摇摆或径向弯曲。

这样，通过使较长的自旋电极保持竖直，可使得在加工过程中保持电极顶部的准确位置。

如图 1 所示的卡盘 50 优选被安装在普通刀架 16 上用以在其上进行选择性的升降移动 C，从而当电极在其顶部 34 处受到磨损时，向下推动或指引电极 12 通过下部导引装置 48。该卡盘可被安装在由另一个伺服马达提供动力的适当滑架中用以精确控制电极近端的垂直升降，进而控制电极下顶部的垂直位置。

因此，当所述顶部在操作中受到磨损时，随着电极长度的减少，电极可被持续指引得更低。当电极变得太短而无法实际使用时，加工过程被暂时中断从而用新的更长的电极更换该电极，并重新定位卡盘 50 至其移动路径的顶部。

下部导引装置 48 的优选实施例被示于图 2 中，且下部导引装置 48 包括被共轴安装在其中的适当孔中用以共轴支承延伸通过其中的电极 12 的陶瓷套管 54。该陶瓷套管是耐旋转电极磨损的用以在自旋操作中确保对其的准确支承。

下部导引装置可由多个部件制成，包括主体，陶瓷套管 54 可被安装在所述主体中并由可拆卸的盖盖住，所述可拆卸的盖通过螺栓固定到其上。下部本体从下部导引装置的主体向下延伸通过刀架 16 中的相应的孔用以被保持在其上。

下部导引装置可由不锈钢形成以抵抗电解质的腐蚀，且具有自电极向外适当隔开的中心孔以提供其间的微小径向间隙，同时电极受到设置在其周围的紧密配合的陶瓷套管 54 的径向支承。

下部导引装置可具有大于约 3 的长度/直径比用以确保在操作中对电极下端部的稳定支承。中部导引装置 52 可被相似地构造具有其中的用于在操作中支承电极的中间部分的截留的陶瓷套管。如图 1 所示的中部导引装置被适当地由刀架 16 的附加臂支承，所述附加臂的高度可根据需要进行调节用以最小化在操作中狭长电极的任何摇摆。

如图 2 进一步示出，下部导引装置 48 优选还包括一排横向延伸通过其中至其中心孔且与电解质供应源 26 连接形成流动连通的径向或倾斜入口孔 56。供应管 28 可被固定地连接到刀架 16 的下部臂上，通过所述下部臂，下部导引装置 48 被安装以提供围绕所述排的入口孔 56 的公共环形歧管，用以在适当压力下向其供应电解质。

这样，附加的电解质流动通过下部导引装置并在自旋电极顶部的周围流动用以直接在正由电极顶部本身加工的沟槽上方对电极顶部进行外部冲洗。

如图 1 所示，电极 12 的近端适当地连接至管 28，形成与电解质供应源 26 的流动连通用以使电解质流动通过电极。电解质流动通过电极内部且排出电极顶部的孔外以在操作中对顶部和工件之间的间隙进行局部冲洗。

如图 1 所示的电解质供应源 26 包括用于使电解质向和从自旋电极的切削区域循环的各种管道和管，和为此相应的泵。电解质供应源优选包括用于相继从电解质中过滤出在工件的电蚀中产生的相对大或粗和相对小或细的侵蚀碎屑的两级过滤器 58、60。

电解质供应源优选还包括工作储罐 62，所述工作储罐 62 包括心轴 18 和安装到其上的工件。该储罐被制成一定尺寸用以在池中充满电解质 30 以在电蚀加工过程中浸没工件 20 和电极顶部。储罐的底部可与粗过滤器 58 适当地连接用以从电解质中除去大碎屑颗粒。粗过滤器进一步与用以除去更小的碎屑颗粒的精过滤器 60 连接形成流动连通。且，储罐 62 的上部可与精过滤器直接连接并绕过粗过滤器。

粗过滤器和精过滤器 58、60 可具有任何适当的构型，例如在粗过滤器 58 中的过滤传送带，和用以在电解质返回自旋电极前有效地从电解质中除去侵蚀碎屑的用作精过滤器的卷纸过滤器 (rolled paper filters)。还可提供电解质的适当冷却以从其中除去电蚀工艺过程中产生的热。

两级过滤器 58、60 优选与电极 12 连接形成流动连通，用以实现对电极的内部和外部冲洗以提高操作中在电极顶端处产生的间歇多电弧的稳定性。通过使电解质的一部分流动通过电极的中心孔并流出其顶端而提供内部冲洗。且，如上所述，通过使电解质的另一部分流动通过下部导引装置 48，同时还选择性地使整个工件浸没在工件储罐 62 中包含的电解质溶液中，而提供外部冲洗。

上面披露的电蚀设备的重要特征包括自旋电极和如图 3 示意性所示的与被设置到其上的电源的控制相协调的电极的进给路径 P。电源 22 被构造用以产生处于优选约 20 至 60 伏的范围内的直流电压，所述电压范围通常大于常规电化学加工的电压范围且通常小于常规放电加

工的电压范围。

相应地，电源进一步被构造用以产生在约 80 至 600 安培的典型范围内的相对较高的电流，和在 1900 至 12000 安培/平方英寸（295-1860 安培/平方厘米）的范围内的相应较高的平均电流密度。

其相对较高的电流和平均电流密度相应地增大的电蚀材料的去除，和另一个优点是，具有约 1000 安培/平方英寸（155 安培/平方厘米）的相对较低的峰值电流密度。该低峰值电流密度可归因于分布在电极顶部的整个切削区域上的多个电弧，与单个电弧相对。该低峰值电流密度使在机器工件的表面中重铸层的产生减至最少并阻止了对其产生的不可接受的热影响损伤。

该低峰值电流密度可与在常规放电加工中产生电弧时，其中的比低峰值电流密度大多个数量级的高峰值电流密度相对比。在放电加工中，电介质液体在电极和工件之间被使用并引起单个放电或者电弧，其中全部电流被耗散。该单个高电流弧具有导致严重损害的潜在可能，除非其在其开始时被避免或被终止。

如图 3 所示的电源 22 在控制器 32 的控制之下并优选还被构造用以实现具有在约 300 至 1500 微秒范围内的通-时电压的直流电压脉冲序列。相应地，该直流电压脉冲序列优选还具有在约 110 至 1000 微秒范围内的断-时电压。

在电蚀加工过程中，这些脉冲的通-断时间可由控制器进行调节以控制电极顶部的间歇多电弧和无电弧放电的放电的交替产生。所述交替的电弧和放电可通过最大化电蚀去除速度同时最小化在工件上的重铸层或热影响表面层得以平衡。

控制器 32 可优选被构造用以协调自旋电极 12 的动力及其穿过工件的移动速度或进给速度，从而以超过约 1500 立方毫米/分钟的加工速度电蚀加工出沟槽 36，而没有不希望的热损伤或工件中的重铸层。

例如，试验表明，对于具有 120 安培的电流和具有约 7.5 毫米的直径及相应的 22 平方毫米的前部电极面积的电极，典型超级合金因科内尔 718 (Superalloy Inconel 718) 叶盘工件具有相当高的 1500 立方毫米/分钟的材料去除速度。试验还表明，对于具有 13 毫米的直径和相应的约 52 平方毫米的前部电极面积的电极，去除速度约为 2000 立方毫米/分钟。且，试验还表明，对于具有 20 毫米的直径和相应的

约 80 平方毫米的前部电极面积的电极，去除速度约为 3000 立方毫米/分钟。

与常规放电加工和电化学加工相比，归因于在此所述的分布式多弧电蚀工艺的这些材料的去除速度具有稳定工艺中的更大的数量级，而没有不希望的对工件的热影响损伤。

在其间存在电解质的情况下的自旋电极和工件之间分布式多电弧的引入可大大增加电蚀工艺的材料去除速度，所述材料去除速度大大超过了常规放电加工和电化学加工工艺中的材料去除速度。那些后面的工艺有意地阻止了电极和工件之间的电弧放电，上面披露的分布式电弧工艺优选引入了具有高平均电流密度但是低峰值电流密度用以最大化材料去除速度的多电弧。

因此，与在前的可能性相比，可更快的实现工件的电蚀，而不存在对其的所不希望的损伤，从而降低了工件制造中相关联的时间和费用，其对于复杂和昂贵的工件，例如上面披露的典型燃气轮机转子叶盘，是特别重要的。

尽管此处已经对被认为是本发明的优选和典型实施例进行了描述，但是本领域的技术人员通过此处的教导应该易于理解本发明的其它变型，且因此所希望的是确保在所附技术方案中所有这些变型都落入本发明的真实精神和范围内。

因此，美国专利确保的所需的是由下列技术方案限定和区别的本发明。

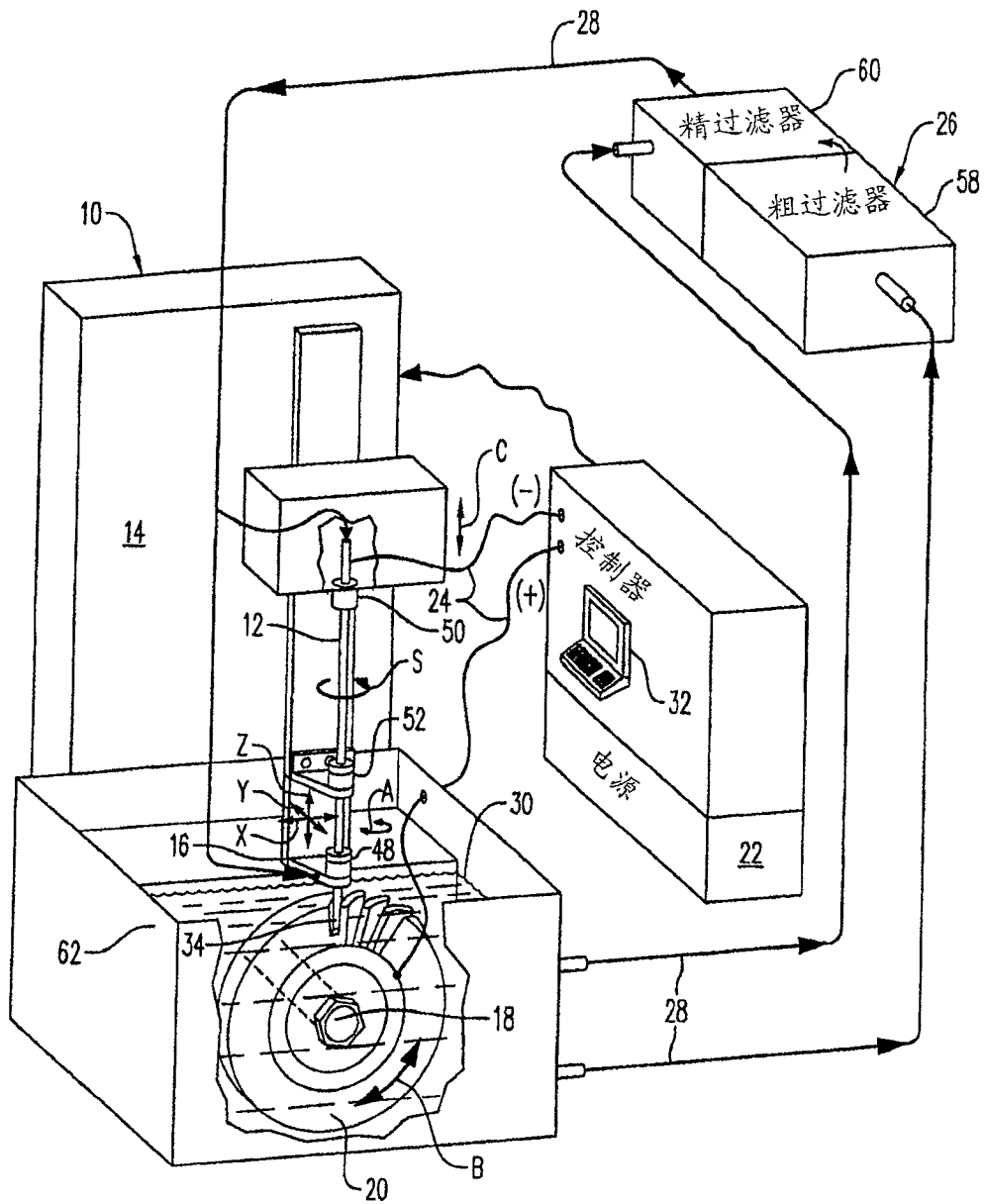


图 1

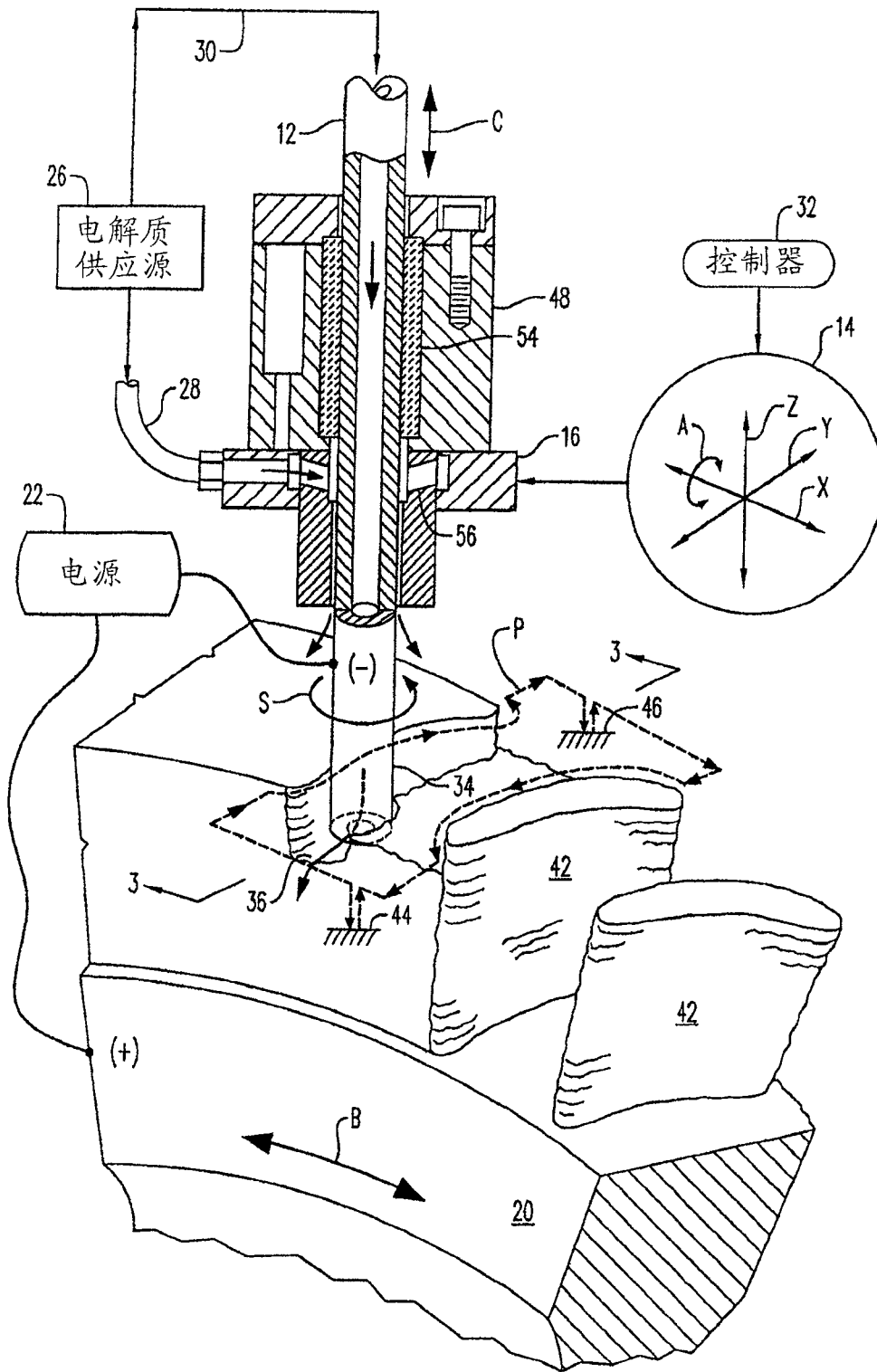


图 2

