

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

B23H 3/02

B23H 7/18



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200410104716.2

[43] 公开日 2005 年 6 月 8 日

[11] 公开号 CN 1623716A

[22] 申请日 2004.11.10

[21] 申请号 200410104716.2

[30] 优先权

[32] 2003.11.10 [33] US [31] 10/706472

[71] 申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 T·J·巴特青格 W·李

M·S·兰菲尔 T·W·罗根斯基

B·韦 C·S·莱斯特

R·J·菲尔金斯

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

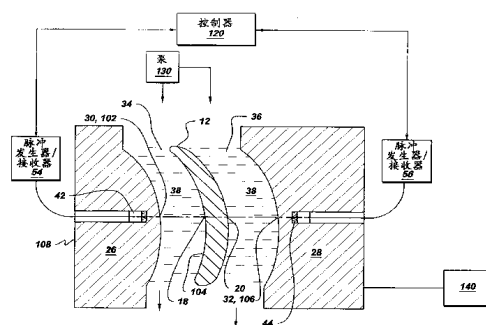
代理人 程天正 张志醒

权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 4 页

[54] 发明名称 电化学加工方法、工具组件和监测方法

[57] 摘要

在具有至少一个与工件(12)间隔一条缝隙(34)布置的电极(26)的电化学加工工具组件(10)中,通过在电极和工件之间施加电位差 ΔV 使电极通电,一种监测加工的方法包括:激发至少一个超声波传感器(42)以将超声波引导向电极表面(102),并且使用该超声波传感器接收从电极表面反射回来的超声波。该反射超声波包括从电极表面和工件表面反射回来的反射波。所述方法进一步包括在电极和工件之间的电位差降低之后,使超声波传感器的激发延迟停留时间 T_d 。



1. 一种电化学加工工具组件(10)包括:
至少一个电极(26), 当在所述电极和工件之间施加电位差 ΔV 时, 该电
5 极(26)适用于穿过缝隙(34)加工工件(12);
用于使电解质(38)流过缝隙并从缝隙冲洗电解质的装置;
用于将所述至少一个电极朝向工件送进的装置;
至少一个超声波传感器(42), 该超声波传感器(42)适用于将超声波引
导向所述电极的表面(102)并接收从所述电极表面反射回来的超声波, 该反
10 射超声波包括从所述电极表面和工件表面(104)反射回来的多个反射波; 以
及
延迟脉冲发生器(110), 它适用于在所述电极和工件之间的电位差 ΔV
降低之后, 使所述超声波传感器的激发延迟停留时间 T_d 。
2. 如权利要求1所述的电化学加工工具组件(10), 进一步包括:
15 电源(40), 适用于通过在所述至少一个电极和工件(12)之间施加电位
差 ΔV 来为所述至少一个电极(26)通电以用于加工; 以及
至少一个与所述至少一个超声波传感器中相应的一个相连的脉冲发生器—
接收器(54), 所述至少一个脉冲发生器—接收器中每一个都适用于激发相应
的超声波传感器, 并接收相应的反射超声波, 在所述电极和工件之间的电位差
20 ΔV 降低之后, 所述至少一个脉冲发生器—接收器中每一个都进一步适用于由
延迟脉冲发生器(110)触发, 从而在停留时间 T_d 之后激发相应的超声波传感
器。
3. 如权利要求2所述的电化学加工工具组件(10), 其中所述延迟脉冲
发生器(110)适用于监测所述电源(40)的输出。
25 4. 如权利要求2所述的电化学加工工具组件(10), 其中所述电源(40)
适用于提供多个脉冲, 以便在多个脉冲启动周期期间在所述至少一个电极(26)
和工件(12)之间产生电位差 ΔV , 以及其中所述延迟脉冲发生器(110)适用
于在从脉冲启动状态转换为脉冲终止状态后将所述至少一个超声波传感器
(42)的激发延迟停留时间 T_d 。
30 5. 如权利要求2所述的电化学加工工具组件(10), 其中所述电源(40)

为DC电源，该DC电源适用于在所述至少一个电极（26）和工件（12）之间施加电位差 ΔV ，所述电化学加工工具组件进一步包括控制器（120），该控制器（120）适用于可重复降低施加在所述至少一个电极和工件之间的电位差 ΔV ，以产生一系列测量周期 Δt_M ，

- 5 其中所述延迟脉冲发生器（110）适用于在其中一个测量周期 Δt_M 开始之后，使所述超声波传感器（42）的激发延迟停留时间 T_d 。

6. 如权利要求2所述的电化学加工工具组件（10），其中所述停留时间 T_d 在大约7毫秒（7ms）至大约15毫秒（15ms）的范围内。

7. 如权利要求2所述的电化学加工工具组件（10），其中所述延迟脉冲
10 发生器（110）适用于调节停留时间 T_d 。

8. 如权利要求2所述的电化学加工工具组件（10），进一步包括控制器（120），所述控制器（120）适用于通过分析反射超声波产生多个监测数据，以确定至少下列之一：（a）在所述电极（26）和工件（12）之间的缝隙（34）的尺寸，以及（b）工件的厚度。

- 15 9. 如权利要求8所述的电化学加工工具组件（10），其中所述控制器（120）进一步适用于控制至少下列之一：（a）用于向工件（12）送进所述至少一个电极（26）的装置，以及（b）响应于监测数据的所述电源（40）。

10. 如权利要求2所述的电化学加工工具组件（10），其中所述至少一个超声波传感器（42）的每一个都包括超声换能器。

电化学加工方法、工具组件和监测方法

5 技术领域

本发明通常涉及电化学加工，尤其涉及在电化学加工操作过程中监测电极间缝隙的尺寸和工件厚度。

背景技术

电化学加工 (ECM) 是使用一个或多个导电工具电加工导电工件的一种常用方法。在加工过程中，相对于工件设置工具以便在它们之间形成一条缝隙。缝隙中充满了经过加压的、可流动的水状电解质，例如硝酸钠水溶液。在工具和工件之间形成一直流电位，借此可控制地除去导电工件的镀层。这一除去镀层的行为发生在一由带负电荷的电极（阴极）和带正电荷的电极（阳极）形成的电解槽内，其中所述阴极和阳极被流动的电解液分离。通过流动的电解液可将被去镀的材料从缝隙中除去，同时也可除去化学反应产生的热量。所述阳极工件通常表现为与阴极工具相匹配的外形。

对于一给定的工具形状，工件的尺寸精度主要由缝隙的分布来确定。所述缝隙尺寸应当保持在适当的范围内。过小的缝隙，例如在标准的 ECM 操作中小于 100 微米，则可能导致在工具和工件之间产生起弧或短路。而过大的缝隙会导致额外的缝隙变化，也降低加工率。因此监测和控制工具和工件之间的缝隙尺寸或直接监测工件厚度，对 ECM 公差控制是非常重要的。例如，在加工涡轮压缩机叶片过程中可直接测量叶片厚度，以便能够获得想要得到的厚度。

缺少合适的装置来检测缝隙尺寸或工件厚度，可能会阻碍 ECM 的精度控制。由于没有这样的装置，因此必须进行多轮成本高昂的反复试验以获得加工过程中产生的缝隙尺寸变化。在加工过程中缝隙尺寸能够产生明显变化，部分原因是由于在工具表面产生了热量或气泡而导致电解质的传导率产生变化。工具进给率和工具定位方面的变化和不精确也导致缝隙尺寸和工件厚度发生了改变。因此加工过程中的缝隙检测或工件厚度检测对改善 ECM 过程控制是非常重要的。

30 最近，一种用于原位测量缝隙尺寸和工件厚度的方法被提出用在 ECM 过

程控制中。在这一方法里，向 ECM 工具中嵌入一超声波传感器，使用超声波飞行时间测量法得到缝隙尺寸和工件厚度。所述传感器产生的超声波扩散穿过工具、缝隙中的电解质，然后穿过工件。传感器还接收从工具表面、工件前侧和工件后侧产生的反射。通过比较每次接收到的反射信号的时间，可以确定缝隙尺寸和工件厚度。

但是，在对使用持续 DC 电压的 ECM 进行常规操作的过程中，阴极上经常产生气泡，当 ECM 电压超过一定程度时，这一现象显著削弱了超声波传播穿过电解质。一般而言，在仍然能够适当地执行超声波测量的过程中，电解质的流动速率/入口压力越高，ECM 的电压电平就越高。例如，当 150psi 的入口压力用于加工 2 平方英寸的样品时，允许的 ECM 电压电平大约是 8 伏特(8V)。然而，ECM 电压通常在大约 12 至 20 伏特 (12—20V) 的范围内。在发明名称为“**Electrochemical Machining Tool Assembly and Method of Monitoring Electrochemical Machining** (电化学加工工具组件和监测电化学加工的方法)”的共同受让、待审的美国专利申请 No.09/818,874 中，提出降低或调节电压电源以将气泡的产生减到最小。类似地，在发明人为 Li 等人，发明名称为“**Method of Monitoring Electrochemical Machining Process and Tool Assembly Therefor** (监测电化学加工过程的方法和用于此目的的工具组件)”的共同受让的美国专利申请 No.6355,156 中，提出可以在诸如用在脉冲电化学加工的时间间隔这样的短时期内断开 DC 电源，以便将气泡的产生减到最小从而进行更精确的测量。但是，调节 ECM 电压可能会潜在地损害 ECM 加工性能。

因此，需要在不损害 ECM 加工性能的情况下，减少气泡的产生，以改善 ECM 加工操作中的超声波监测。

发明内容

简要地说，根据本发明的一个实施例，描述了一种在电化学加工工具组件中监测加工的方法。所述组件具有至少一个与工件间隔一条缝隙布置的电极。通过在电极和工件之间施加一电位差 ΔV 来为电极通电。所述方法包括激发至少一个超声波传感器以将超声波引导向电极表面，以及使用超声波传感器接收从电极表面反射回来的超声波。反射超声波包括从电极表面和工件表面反射回来的多个超声波。所述方法进一步包括在电极和工件之间的电位差 ΔV 降低之后，将超声波传感器的激发延迟停留时间 T_d 。

也描述了一种用于脉冲电化学加工工具组件的监测加工方法，其中通过施加多个脉冲周期性地为电极通电。对于这一方法，在从脉冲启动状态转换为脉冲终止状态后将超声波传感器的激发延迟停留时间 T_d 。

也描述了一种用于加工工件的电化学加工方法。所述电化学加工方法包括
5 为至少一个位于工件附近的电极通电。电极和工件被缝隙隔开。所述电化学加工方法进一步包括使电解质流动穿过缝隙，从缝隙冲洗电解质，将电极朝向工件送进以及使用超声波传感器监测缝隙和工件其中至少之一。所述监测包括激发超声波传感器以将超声波引导向电极表面，以及使用超声波传感器接收从电极表面反射回来的超声波。所述反射超声波包括从电极表面和工件表面反射回
10 来的多个超声波。所述监测进一步包括在电极和工件之间的电位差 ΔV 降低之后，将超声波传感器的激发延迟停留时间 T_d 。

这里还描述了一种电化学加工工具组件。该电化学加工工具组件包括：至少一个电极，当在所述电极和工件之间施加电位差 ΔV 时，该电极适于穿过缝隙加工工件；用于使电解质流动通过缝隙并从缝隙冲洗电解质的装置；用于将
15 电极向工件送进的装置；以及至少一个超声波传感器，该超声波传感器适于将超声波引导向电极表面，并从电极表面接收反射回来的超声波。所述反射超声波包括从电极表面和工件表面反射回来的多个超声波。该电化学加工工具组件进一步包括在电极和工件之间的电位差 ΔV 降低之后，使超声波传感器的激发延迟停留时间 T_d 的延迟脉冲发生器。

20 附图说明

当结合附图阅读下面详细的描述时，将更好理解本发明的这些和其他特征、方面以及优点，其中所有附图中同样的标记代表相同的部件，其中：

图 1 示出了本发明实施例的电化学加工工具组件；

图 2 是图 1 中电化学加工工具组件的截面图；

25 图 3 是一用于图 1 和图 2 中电化学加工工具组件的示范性超声波测量时序图；以及

图 4 是本发明实施例中采用一个电极的电化学加工工具组件的示范性测量系统的框图。

具体实施方式

30 参考图 1—4 描述本发明实施例中的电化学加工工具组件 10。如图 1 和 4

所示, 电化学加工 (ECM) 工具组件 10 包括至少一个电极 26, 当在所述电极 26 和工件之间施加电位差 ΔV 时, 该电极 26 适于穿过缝隙 34 加工工件 12。

如图 1 所示的实例, 工件 12 是具有胫部 14 和翼形部 16 的转子叶片。翼形部 16 具有凹陷的受压侧 18 和与前缘 22 以及后缘 24 相连的凸出的吸入侧 20。该转子叶片实例仅仅作为示范, ECM 工具组件 10 同样适用于其他工件。如图 4 所示的实例中, ECM 工具组件 10 具有一个电极 26。而如图 1 所示的实例, ECM 工具组件 10 则包括布置在工件 12 相对侧上的两个电极 26、28。对电极 26、28 加工成形, 使其能够将工件 12 电化学加工成所需的形状。每个电极 26、28 相对于工件 12 可限定出各自的缝隙 34、36。对于图 1 所示的实例来说, 第一电极 26 具有面向工件 12 的凸出加工表面 30, 第二电极 28 具有面向工件 12 的凹陷加工表面 32。取决于所要加工的工件 12, ECM 工具组件 10 可具有比图 2 所示实例或多或少的电极。

例如如图 1 中箭头 A 所示, ECM 工具组件 10 还包括用于使电解质 38 流动穿过缝隙 34、以及从缝隙 34 处冲洗电解质的装置。对于图 1 和 2 所示的实例来说, 沿箭头 A 的方向, 电解质流动穿过缝隙 34、36 并且从那里被冲洗出去。用于流动和冲洗电解质 38 的装置为已知的, 一种实例是图 2 示意性示出的泵系统 130。应当指出箭头 A 仅仅示出了用于 ECM 工具组件 10 的一种可能的流体流动方向。此外, 为了容纳电解质 38, 还可将电极 26 和工件 12 设置在充满电解质 38 的容器 (未示出) 内。

ECM 工具组件 10 还包括用于将至少一个电极 26 朝向工件 12 送进的装置。对于图 1 和 2 所示的实例来说, 安装在工件 12 相对侧的两个电极 26、28 可沿着箭头 F 所示的方向朝向和远离工件 12 移动。用于移动电极 26 的装置为已知的, 一种实例是图 2 示意性示出的使用 AC 伺服电动机驱动滚珠丝杠机构从而使电极移动的典型伺服传动系统 140。电极 26 的移动可由响应于反馈数据的运动控制器和/或操作者控制。

如图 2 所示, ECM 工具组件 10 还包括至少一个超声波传感器 42, 例如适用于将超声波引导向电极表面 102、并且接收从电极表面反射回来的超声波的超声换能器 42。所述反射超声波包括来自于电极 26 的表面 102 和工件 12 的表面 104 的多个反射波。对于图 2 所示的实例来说, 传感器 42 嵌入在电极 26 内。可替换地, 也可将传感器 42 设置在电极 26 外表面上或靠近外表面处, 例如可

设置在电极 26 的外表面 108 上或靠近外表面 108 处。例如如图 1 所示, ECM 工具组件 10 还包括延迟脉冲发生器 110, 在电极 26 和工件 12 之间的电位差 ΔV 减小后, 该延迟脉冲发生器 110 适用于将超声波传感器的激发延迟停留时间 T_d 。示范性的停留时间 T_d 为大约 7 毫秒 (7ms) 至大约 15 毫秒 (15ms) 的范围。对于一个实施例, 延迟脉冲发生器 110 适用于调节停留时间 T_d , 例如缩短或延长停留时间 T_d 。有利的是, 通过将超声波传感器 42 的激发延迟停留时间 T_d , 可以使超声波传感器 42 的激发与加工周期同步, 从而在加工停止时间期间也即在使电极 26 和工件 12 之间的加工电位消失或减少的一部分加工周期期间使用超声波传感器。这有助于清除气泡, 并减少测量的电磁干扰。

如上所指出的, 降低 ECM 电压可能损害 ECM 的加工性能。因此, 需要在较短的时间周期内完成电压的调节, 以避免损害 ECM 的加工性能。在典型的 ECM 条件下, 在小于大约 15 毫秒 (15ms) 的时间内冲洗掉气泡。更具体的是在大约 7 至 15 毫秒 (7—15ms) 内冲洗掉气泡。通常, 电解质的流动率越高, 气泡冲洗得就越快。而且, 超声波测量自身仅花费了很短的时间, 通常在小于大约 50 微秒 (50 μ s) 的数量级。在这些条件下, 包括上述用于电解质冲洗气泡的延迟在内的超声波测量周期, 以及实际超声波测量时间窗均可以相对较短, 例如小于大约 20 毫秒 (20ms), 在该时间期间电压电平降低, 从而没有使超声波信号显著地衰减。有利的是, 由于这一周期相对较短, 所以 ECM 的加工性能并未受到损害。此外由于延迟, 可对气泡进行充分地清洗, 从而能够

根据一个更加具体的实施例, ECM 工具组件 10 还包括适用于为电极 26 通电的电源 40, 以通过在电极 26 和工件 12 之间施加电位差 ΔV 进行加工。对于图 1 所示的实例来说, 电极 26、28 连接在电源 40 的负端用作阴极, 而工件 12 则连接在电源 40 的正端用作阳极。如此, 在工件 12 和电极 26、28 之间产生了电位差 ΔV , 从而受控地除去工件侧面 18、20 的镀层, 将工件 12 加工成所需的形状。电解质 38 的流动穿过缝隙 34、36 除去了废料, 借此防止其沉积在电极 26、28 上。对于图 2 所示的特定实施例来说, 至少一个脉冲发生器—接收器 54 连接在相应的其中一个超声波传感器 42 上。每个脉冲发生器—接收器 54 都适用于激发相应的超声波传感器 42, 并接收相应的反射超声波。在电极 26、28 和工件 12 之间的电位差 ΔV 降低之后, 每个脉冲发生器—接收器进

一步适用于由延迟脉冲发生器 110 触发，从而在停留时间 T_d 之后激发相应的超声波传感器 42。下面将更详细讨论定时。

对于图 1 所示的特定实施例，延迟脉冲发生器 110 适用于监测电源 40 的输出。可将电源设置成能够提供多个脉冲，以便在电极 26 和工件 12 之间产生
5 电位差 ΔV 。可替换地，电源 40 可以为 DC 电源。在脉冲的电源 40 的实施例中，电源 40 适用于在多个脉冲启动周期期间提供脉冲，并且在从脉冲启动状态转变为脉冲终止状态后，延迟脉冲发生器 110 适用于将超声波传感器 42 的激发延迟停留时间 T_d ，如图 3 的实例所示。如图 3 所示，在 DC 电源 40 的实施例中，所述电化学加工工具组件进一步包括适用于重复降低施加在电极 26
10 和工件 12 之间的电位差 ΔV 以产生一系列测量周期 Δt_M 的控制器 120（参见图 1）。如图 3 所示，对于后者 DC 电源 40 的实施例来说，在其中一个测量周期 Δt_M 开始之后，延迟脉冲发生器 110 适用于使超声波传感器 42 的激发延迟停留时间 T_d 。

在图 2 所示的特定实施例中，电化学加工工具组件 10 包括控制器 120，该
15 控制器 120 适用于通过对反射超声波进行分析而产生一组监测数据，从而确定至少下列之一：（a）电极 26 和工件 12 之间缝隙 34 的尺寸，以及（b）工件 12 的厚度。特别地，控制器 120 进一步适用于控制至少下列之一：（a）用于朝向工件 12 送进电极 26 的装置，以及（b）响应于监测数据的电源 40。换言之，该控制器适用于利用反馈回路中的监测数据以控制电极 26 相对于工件 12 的前
20 进和进给率。这里使用的术语“控制器”表示能够执行计算或运算以及执行本发明任务所必需的控制操作的任何机械。这里使用的短语“适用于”是指该控制器配备有硬件和软件的组合以用于执行本发明的任务，这对于本领域技术人员来说是可以理解的。

参考附图 1—4 描述在电化学加工工具组件 10 中监测加工的方法。该监测
25 方法包括激发至少一个超声波传感器 42，从而将超声波引导向电极表面 102。例如如图 3 所示，通过例如使用脉冲发生器/接收器 54 脉冲激发传感器 42 从而来激发脉冲传感器 42。所述监测方法进一步包括使用超声波传感器 42 从电极 26 的表面 102 接收反射超声波。反射超声波包括从电极 26 的表面和工件 12 的表面 104 反射回来的多个超声波。所述监测方法进一步包括在降低电极 26 和
30 工件 12 之间的电位差之后，使超声波传感器 42 的激发延迟停留时间 T_d ，例如

如图3所示。

根据一个更加具体的实施例，所述监测方法进一步包括分析反射超声波以确定至少下列之一：(a) 电极26和工件12之间缝隙34的尺寸，以及(b) 工件12的厚度。因为这两种材料的声速是已知的，所以可计算出缝隙34和工件厚度。如上指出的，在加工过程期间通过监测缝隙34尺寸和/或工件12的厚度，可将这一数据使用在反馈回路中以控制电极26相对于工件12的前进和/或进给率。

根据一个实施例，电化学加工工具组件10为脉冲的电化学加工工具组件，在多个脉冲启动周期期间，通过在电极和工件12之间周期性施加电位差 ΔV 而使电极26通电。在这一实施例中，如图3所示，在从脉冲启动状态转换为脉冲终止状态之后，将超声波传感器42的激发延迟停留时间 T_d 。在另一个实施例中，电化学加工工具组件10为例如使用DC电源40的连续电化学加工工具组件。对后一实施例来说，所述监测方法进一步包括重复降低电极26和工件12上的电位差 ΔV 以产生一系列测量周期 Δt_M ，同样也在图3中示出。如图3所示，对于该后一连续的实施例来说，在其中一个测量周期 Δt_M 开始之后，使超声波传感器42的激发延迟停留时间 T_d 。

根据一个特定实施例，所述监测方法进一步包括调整停留时间 T_d 。例如，可以减少停留时间 T_d ，以便调节更短的脉冲终止时间（或更短的测量周期 Δt_M ）从而促进更高频率的ECM脉冲激发。还可以增加停留时间 T_d ，以便延长不启动/冲洗时间。通过增加延迟，能够将加工过程中产生的气泡更加完全地冲洗掉，以便降低超声波信号的衰减。

如上面参考图2所述，对于某些实施例来说，电化学加工工具组件10包括至少两个电极26、28，每个电极都布置成与工件12间隔相应的缝隙34、36。对于图2所示的实施例，激发第一超声波传感器42以将超声波引导向其中一个电极26的表面102，并且激发第二超声波44以将超声波引导向另一电极28的表面106。对于所述两个电极的实施例，利用相应的超声波传感器42、44接收来自于每个相应电极26、28的表面102、106的反射超声波，并且在电极26、28和工件12之间的电位差 ΔV 降低之后，将每个超声波42、44的激发延迟至少停留时间 T_d 。特别地，对于共线的超声波传感器42、44来说，在电极26、28和工件12之间的电位差 ΔV 降低后，将超声波传感器42、44其中一个的激

发可以延迟停留时间 T_d ，而在电极 26、28 和工件 12 之间的电位差 ΔV 降低之后，将超声波传感器 42、44 中另一个的激发延迟停留时间加上一个偏移量的时间 ($T_d + \delta$)。所述偏移量 δ 大于或等于用来衰减来自第一激发超声波传感器 42、44 的超声波所需的时间。

- 5 还参考图 1—4 描述了在脉冲电化学加工 (ECM) 工具组件 10 中监测加工的方法。如上所述，对于脉冲 ECM 工具组件 10，例如如图 3 所示，通过施加多个脉冲周期性地为电极 26 通电。对于该实施例，所述方法包括：激发（例如脉冲激发）至少一个超声波传感器 42 以将超声波引导向电极表面 102；使用超声波传感器接收从电极表面反射回来的超声波，所述反射超声波包括从电极
- 10 表面以及从工件的表面 104 反射回来的多个反射波；以及在从脉冲启动状态转换为脉冲终止状态后使超声波传感器 42 的激发延迟停留时间 T_d 。该方法还可进一步包括调节停留时间 T_d 。

- 参考附图 1—4 描述加工工件 12 的电化学加工 (ECM) 方法。所述 ECM 方法同样适用于具有一个或多个电极 26、28 的 ECM 工具组件。该 ECM 方法
- 15 包括为至少一个位于工件 12 附近的电极 26 通电，电极 26 和工件 12 由例如一条大约 100 微米 ($100\ \mu\text{m}$) 至大约 2 毫米 (2mm) 的缝隙 34 分离而不接触。所述 ECM 方法进一步包括使电解质 38 流过缝隙。例如，如图 1 所示，以大约 20 至大约 200 (20—200) psi 对电解质持续加压，并利用泵 130 使其流动。所述 ECM 方法进一步包括从缝隙 34 冲洗电解质。如此，溶解的金属、热量和气泡从缝隙 34 内除去。所述 ECM 方法进一步包括将电极 26 朝向工件 12 送进以使它们之间保持所需的缝隙，并且使用超声波传感器 42 监测缝隙 34 和工件 12 中至少之一。所述监测包括激发超声波传感器 42 以将一超声波引导向电极 26 的表面 102，利用超声波传感器 42 接收从电极 26 的表面 102 反射回来的超声波。如上所述，所述反射超声波包括从电极表面和从工件 12 的表面 104 反射
- 20 回来的多个超声波。所述监测进一步包括在电极 26 和工件 12 之间的电位差 ΔV 降低之后，将超声波传感器 42 的激发延迟停留时间 T_d 。有利的是，通过将超声波传感器 42 的激发延迟停留时间 T_d ，可以使监测同步以便在加工的停机时间期间（即电极 26 和工件 12 之间的加工电位消失或减少的部分加工周期期间）执行监测。这样做有助于清除气泡，并且减少测量中的电磁干扰。根据一个特定实施例，所述监测进一步包括调节停留时间 T_d ，例如缩短或延长停留时
- 30

间 T_d 。

根据一个特定实施例，所述监测进一步包括通过分析反射超声波生成监测数据以确定下列其中至少之一：（a）电极 26 和工件 12 之间的缝隙 34 的尺寸，以及（b）工件 12 的厚度。特别地，所述方法进一步包括控制下列其中至少之一：（a）通电以及（b）响应于监测数据送进电极。如上所述，这些监测数据可以使用在反馈回路中以控制电极 26 的前进和/或进给率。

对于一个实施例来说，ECM 工具组件 10 为脉冲 ECM 工具组件 10。对于该实施例，在多个脉冲启动周期期间，在电极 26 和工件 12 之间周期性地施加电位差 ΔV ，并且在从脉冲启动状态转换成脉冲终止状态之后将超声波传感器 42 的激发延迟停留时间 T_d 。

对于另一个实施例来说，ECM 工具组件 10 为连续 ECM 工具组件 10。对于该实施例，所述方法进一步包括重复降低电极 26 和工件 12 之间的电位差 ΔV 以产生一系列测量周期 Δt_M ，并且在其中一个测量周期 Δt_M 开始之后将超声波传感器 42 的激发延迟停留时间 T_d 。

尽管这里只描述了本发明的某些技术特征，但本领域技术人员可以进行许多修改和变化。因此，应了解到所附的权利要求意欲覆盖落入本发明实质精神范围内的所有这样的修改和变化。

部件列表

- 20 10 电化学加工组件
- 12 工件
- 14 胫部
- 16 翼形部
- 18 凹陷的受压侧
- 25 20 凸出的吸入侧
- 22 前缘
- 24 后缘
- 26 电极
- 28 第二电极
- 30 30 凸出的加工表面

	32	凹陷的加工表面
	34	缝隙
	36	第二缝隙
	38	电解质
5	40	电源
	42	超声波传感器
	44	第二超声波传感器
	54	脉冲发生器—接收器
	102	电极表面
10	104	工件表面
	106	第二电极表面
	108	电极外表面
	110	延迟脉冲发生器
	120	控制器
15	130	泵系统
	140	伺服传动系统

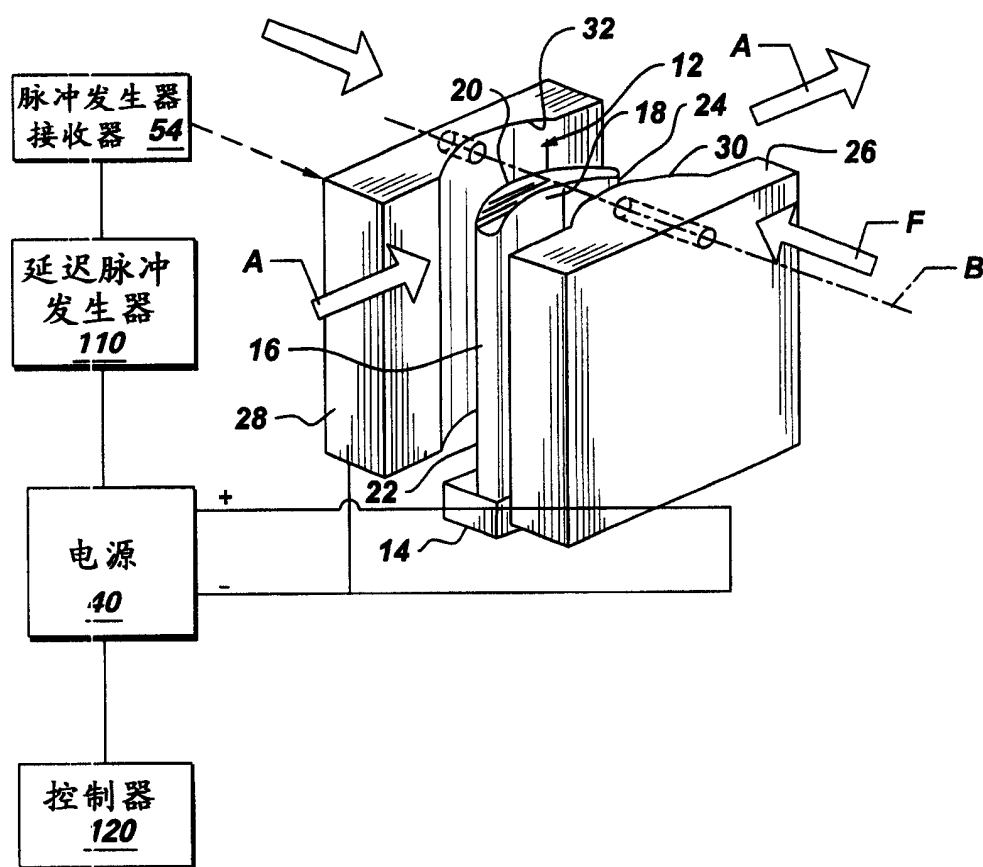


图 1

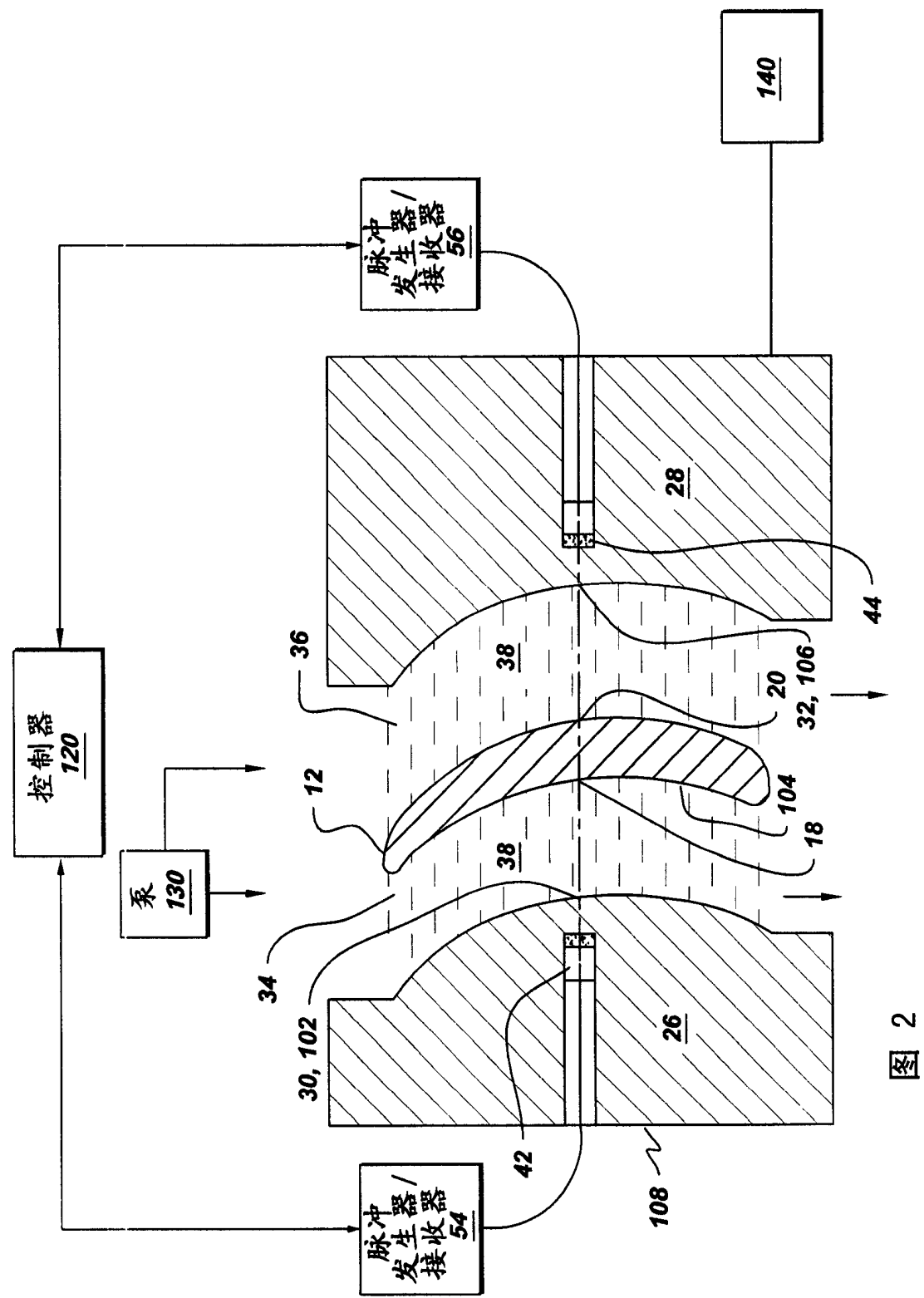
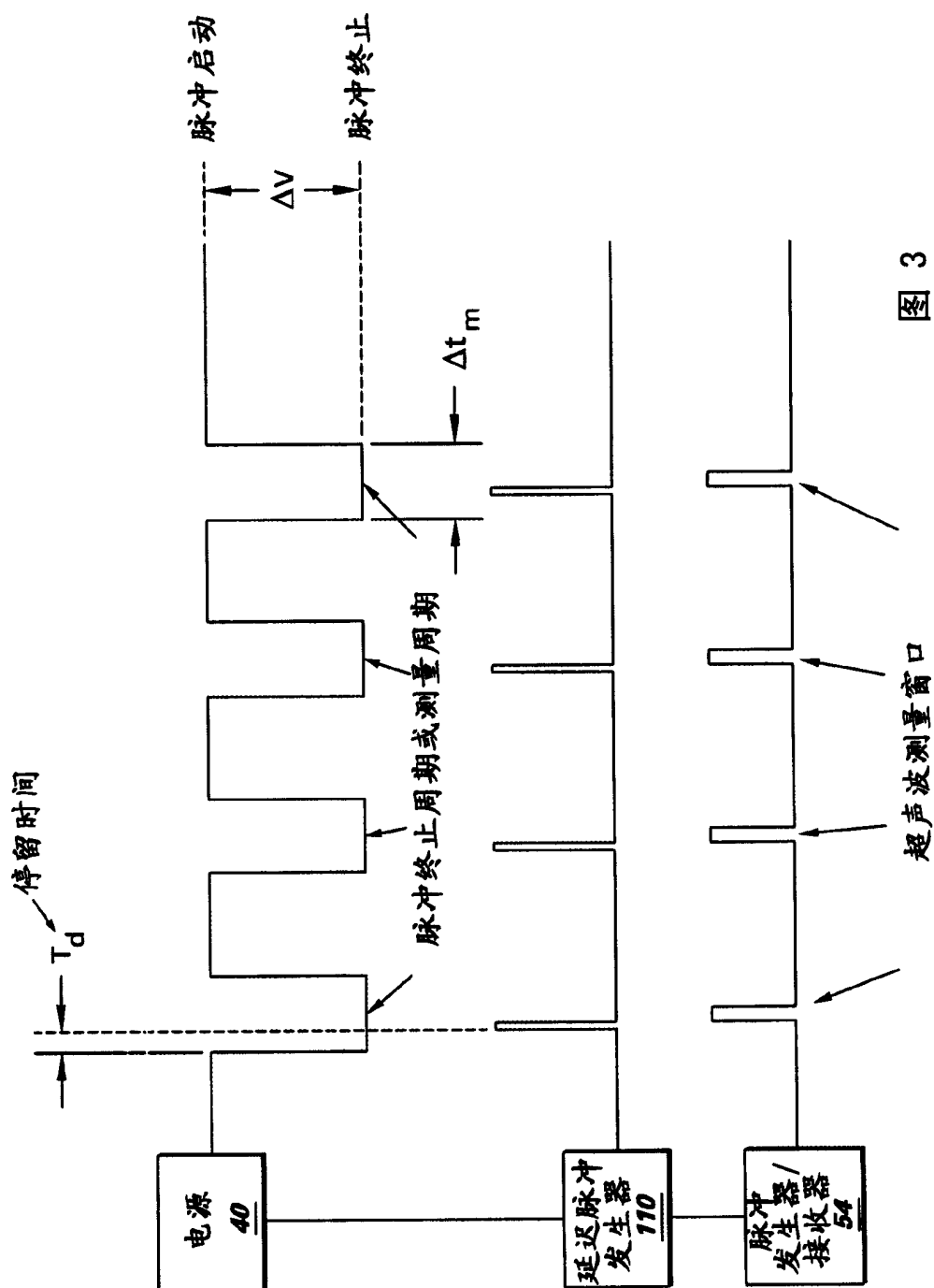


图 2



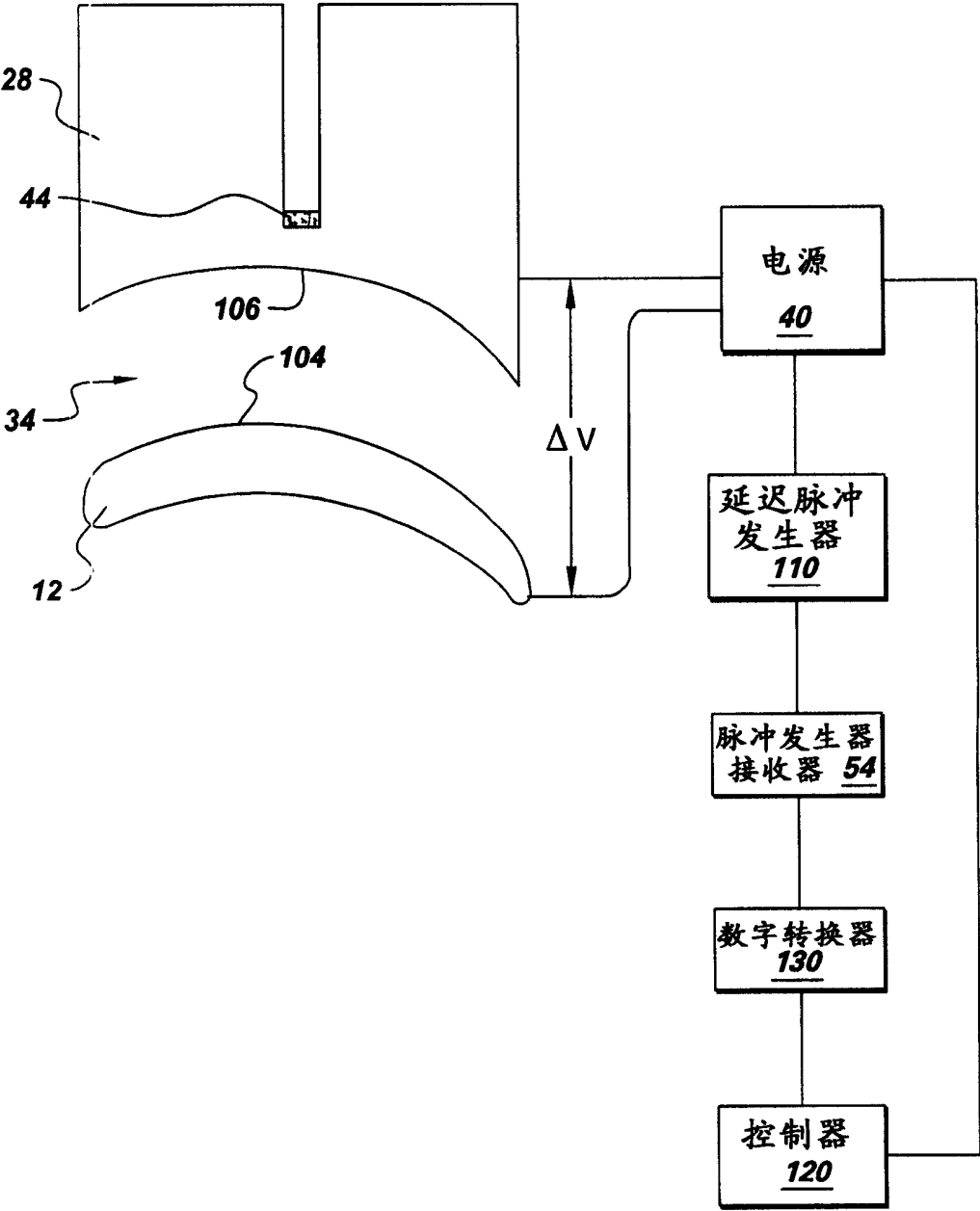


图 4