



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102596474 B

(45) 授权公告日 2015. 09. 30

(21) 申请号 201080049059. X

(22) 申请日 2010. 09. 14

(30) 优先权数据

C02009A000042 2009. 10. 21 IT

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012. 04. 23

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2010/048691 2010. 09. 14

(87) PCT国际申请的公布数据

W02011/049686 EN 2011. 04. 28

(73) 专利权人 诺沃皮尼奥内有限公司

地址 意大利佛罗伦萨

(72) 发明人 U·肯特利 G·纳尔逊 Y·罗

Y·詹 R·恰皮 M·阿焦尼

袁人炜

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 朱铁宏 谭祐祥

(51) Int. Cl.

B23H 7/20(2006. 01)

B23H 9/00(2006. 01)

B23H 9/10(2006. 01)

(56) 对比文件

TW 520311 B, 2003. 02. 11, 说明书第5页第1行-第12页最后一行、图1-6.

TW 520311 B, 2003. 02. 11, 说明书第5页第1行-第12页最后一行、图1-6.

JP 2983436 B2, 1999. 11. 29, 说明书第0062-0109段、图1-26.

US 5919380 A, 1999. 07. 06, 说明书第16栏第37行-第73栏第64行、图1-48.

US 2008/0173618 A1, 2008. 07. 24, 全文.

US 4725705 A, 1988. 02. 16, 全文.

CN 1496773 A, 2004. 05. 19, 全文.

CN 1572404 A, 2005. 02. 02, 全文.

审查员 张明辰

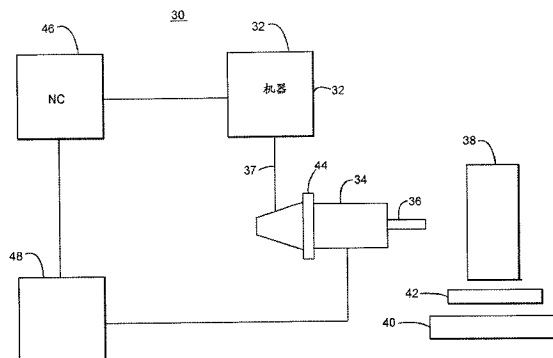
权利要求书1页 说明书8页 附图10页

(54) 发明名称

工具补偿方法及装置

(57) 摘要

一种用于补偿加工工件的电极的磨损的方法及机械工具。该方法包括从工件的多个区块中选择当前区块;基于前一区块的磨损补偿来更新将应用于当前区块的电极的磨损补偿,其中,前一区块与当前区块相邻;以及将更新的磨损补偿应用至用于加工当前区块的电极。



1. 一种用于补偿加工工件的电极的磨损的方法,所述方法包括:

加工所述工件的多个区块中的第一区块;其中将磨损补偿应用于第一区块;所述磨损补偿由工具磨损模型生成,其中所述工具磨损模型包括材料去除计算模块、工艺参数设置模块以及其他参数模块;

在加工所述第一区块的同时和/或在加工所述第一区块结束时,测量和/或确定所述电极的磨损补偿;基于所述第一区块的所述磨损补偿以及所述电极的所述磨损补偿来更新将应用至用于当前区块的电极的磨损补偿,

其中,所述第一区块与所述当前区块相邻;以及

将更新的磨损补偿应用至用于加工所述当前区块的所述电极。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,更新步骤还包括:

确定用于加工所述第一区块的电极的工具路径的长度;

确定在加工所述第一区块之后自所述电极所消耗的材料量;以及

将加工所述第一区块之后所消耗的材料量除以加工所述第一区块的所述工具路径的长度来确定对于所述当前区块的更新的磨损补偿。

3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:

当所述更新的磨损补偿大于预定阈值时减小所述当前区块的尺寸。

4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述第一区块的所述磨损补偿基于储存在存储器中的参数。

5. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:

通过关于一至五个轴线移动所述电极而从单个金属件刻切出叶轮的叶片。

6. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,更新步骤还包括:

连续地更新所述多个区块中的各区块。

7. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述更新的磨损补偿考虑了环境温度、冲洗压力或施加至所述电极的电流量中的一个或多个。

8. 一种用于补偿加工工件的电极的磨损的系统,所述电极安装在围绕轴线旋转的心轴上,所述加工工件包括多个区块,所述系统包括:

离线模块,其包括向所述多个区块中的第一区块提供磨损补偿的工具磨损模型,所述磨损补偿由工具磨损模型生成,其中所述工具磨损模型包括材料去除计算模块、工艺参数设置模块以及其他参数模块;

在线模块,其构造成在加工所述第一区块的同时和/或在加工所述第一区块结束时,测量和/或确定所述电极的磨损补偿以更新应用至用于加工下一区块的所述电极的磨损补偿,其中,所述第一区块与所述下一区块相邻。

工具补偿方法及装置

技术领域

[0001] 本文所公开的主题的实施例主要涉及方法和系统,且更具体地涉及用于补偿用来制造工件的工具的路径的机构和技术。

背景技术

[0002] 现代的离心式压缩机包括沿支承转子轴向地安装的多级叶轮。离心式压缩机级(叶轮)可包括多个叶片。各级或排中的叶片彼此相同,且通常级与级之间在尺寸和形状上有所差异。图 1 示出了压缩机的二维(2D)叶轮 10,该叶轮具有叶片 12。图 2 示出了具有由盖 13 所覆盖的叶片 12 的另一二维叶轮 10。图 3 和图 4 示出了具有叶片 16 的三维(3D)叶轮 14。图 4 中的叶轮具有覆盖叶片的罩盖 18。叶片的形状决定叶轮是否为 2D 或是 3D 的。

[0003] 在此方面,注意的是对于图 1 和图 2 中所示的 2D 叶轮,形成叶片的加工工具仅需要相对于叶片向上和向下(沿 Z 方向)移动且还在垂直于 Z 方向的平面(XY 平面)上移动以便能够形成叶片。这类运动称为 3 轴加工。

[0004] 然而,对于图 3 和图 4 中所示的 3D 叶轮的更为复杂的设计,加工工具需要沿更多方向移动,如将在下文中描述。这在罩盖 18 未附接到叶轮 14 上而是作为其组成部分时是这样的。换言之,叶轮 14、叶片 16 和罩盖 18 最初为单个大金属件的部分。使用各种技术,单个金属件的部分经缓慢地去除以形成叶片和罩盖。

[0005] 各种制造工艺可用于制造叶轮和涡轮叶片,但大量的此类叶片要求消耗大量的资源和时间,这会影响最终机器的生产率和成本。一种这样的方法为放电加工(EDM)。EDM 为一种制造工艺,藉此使用放电(火花)而获得称为工件的物体的所需形状。通过在由介电液体分开且经受电压的两个电极之间的一系列快速重现的放电,会发生自工件的材料移除。电极的其中之一称为工具电极且有时简单地称作'工具'或'电极',而另一个则称为工件-电极,通常缩写为'工件'。工具-电极基于三轴运动而通过机器围绕工件移动。

[0006] 当两个电极之间的距离减小时,电极之间的容积中的电场强度预计会变得大于电介质(至少在某一或某些点)的强度且因此电介质损坏,从而容许一些电流在两个电极之间流动。这种现象与电容器(电容)的击穿相同。这种电流通过的并发效果为从两个电极去除材料。

[0007] 一旦电流流动停止,则新的液体电介质将传送到电极间的容积中,从而使去除的电极材料固体颗粒(碎屑)能够被带走并恢复电介质的绝缘特性。在电极间的容积中这样添加新的液体电介质通常称为冲洗(flushing)。另外,在电流流动之后,两个电极之间的电势差恢复成击穿之前那样,使得能出现新的液体电介质击穿。

[0008] 第二种方法为电化学加工(ECM),其为通过电化学工艺去除金属的方法。ECM 通常用于批量生产且用于处理硬质材料或使用常规方法难以加工的材料。对其的使用限于导电材料;然而,这包括所有金属。ECM 可在极硬的钢和异金属如钛、哈斯特合金、科伐合金、铬镍铁合金和碳化物中切割出小的复杂轮廓或腔体。

[0009] 经由电解液材料去除工艺, ECM 在电极与工件之间传送高电流, 其中, 电解液材料去除工艺具有带负电的电极 (阴极)、导电流体 (电解液) 以及导电工件 (阳极)。ECM 切割工具沿很接近工件的期望路径经受引导但不与工件接触。然而, 不同于 EDM, 不会产生火花。对于 ECM, 高金属去除速率是可能的, 同时没有热应力或机械应力传递至零件, 且镜面精加工也是可能的。

[0010] 该工艺的梗概是使得阴极 (工具) 前移至阳极 (工件) 中。加压的电解液在设定温度下喷射到正切割的区域。供给速率为与材料液化速率完全相同的速率。工具与工件之间的区域在 0.003 英寸至 0.030 英寸内变化。EDM 和 ECM 传统地用于制造涡轮和压缩机中的叶片。叶片通过从初始工件上移除多余的材料而形成, 其中, 初始工件为不具有叶片的实心金属件。EDM 或 ECM 电极在用于形成叶片的实心金属件中刻切出所期望的叶片。这些叶片由于它们由超级合金制成而通常为实心的, 以抵御涡轮或压缩机内的极端条件。然而, 影响 EDM 和 ECM 方法中的一者或两者的限制为用于去除多余材料的电极的磨损。如上文所述, 尽管电流施加于工具的电极与期望加工的工件之间, 但放电不但从工件而且从工具电极上去除材料。因此, 随着电极从工件上去除越来越多的材料以产生叶片, 电极的长度也变得越来越短。较短的电极将不能从用于产生叶片的工件上去除期望量的材料。

[0011] EDM 和 ECM 方法的这种缺陷由图 5 显示, 其示出了理论区块 (pocket) 20, 也即将从工件上去除的期望体积, 以及由上述方法归因于电极磨损或其它因素而去除的实际区块 22。为了形成单个叶片, 必须围绕叶片去除一些区块。区块为在工具的一次通过中去除的材料体积。

[0012] 然而, 为了获得精确的叶片, 必须补偿电极尺寸的减小。一种现有的方法为将工作电极从叶片移动至固定位置 (即, 机器上的探测器) 且在该固定位置处测量电极的长度。在测量长度和确定电极短于所必需的之后, 操作人员可调整电极的长度并重新开始对叶片的处理。尽管该方法可确保电极的适合长度, 但将电极移动至固定位置、测量和调整电极所涉及的时间很长, 有时会高达循环时间的 40%, 这是不期望的。另一方式为基于经验来估计剩余电极的长度。然而, 这种方式在叶片几何形状复杂和 / 或较新时容易失效。

[0013] 在 Chen 等人的美国专利申请公布 No. 2006/0138092 中描述了另一方式, 该申请的全部内容通过引用并入本文中。Chen 等人公开了为各个区块所选择的平直 2D 路径 (见 Chen 的图 3), 以及如在 Chen 的图 6 中所示和在段落 [0028] 至 [0036] 中阐述的那样以相同量 R 来补偿各个区块。然而, 出于若干原因, Chen 等人的方法并不适于 3D 叶轮 (图 3 和图 4 中所示)。

[0014] 第一, 上述方法受限于电极的 3 轴运动, 而如图 3 和图 4 中所示的具有复杂几何形状的叶片不能利用此种运动来实现。

[0015] 第二, 图 3 和图 4 中所示的复杂叶片要求区块不必是平面, 这不能由现有方法来处理。第三, 现有方法对于所有区块使用了相同的补偿步骤, 这忽视了区块与区块之间条件的变化以及还有其它参数方面的变化。

[0016] 因此, 将期望的是所提供的系统及方法避免了前述问题和缺陷以及本领域的技术人员在考虑下文所公开的主题之后理解到的其它问题和缺陷。

发明内容

[0017] 根据一个示例性实施例,存在一种用于补偿加工工件的电极的磨损的方法。该方法包括从工件的多个区块中选择当前区块;基于前一区块的磨损补偿来更新将应用于当前区块的电极的磨损补偿,其中,前一区块与当前区块相邻;以及将更新的磨损补偿应用至用于加工当前区块的电极。

[0018] 根据另一示例性实施例,存在一种用于补偿加工工件的电极的磨损的系统。该系统包括构造成用以围绕轴线旋转且收纳电极的心轴;处理器,其构造成用以控制心轴的运动且还构造成用以从工件的多个区块中选择当前区块、基于前一区块的磨损补偿来更新将用于当前区块的电极的磨损补偿,以及将更新的磨损补偿应用至用于加工当前区块的电极,其中,前一区块与当前区块相邻。

[0019] 根据又一示例性实施例,存在一种包括计算机可执行指令的计算机可读介质,其中,指令在运行时执行用于补偿加工工件的电极的磨损的方法,该方法包括提供具有不同软件模块的系统,其中,不同的软件模块包括更新磨损补偿模块;从工件的多个区块中选择当前区块;基于前一区块的磨损补偿来更新将应用于当前区块的电极的磨损补偿,其中,前一区块与当前区块相邻;以及将更新的磨损补偿应用至用于加工当前区块的电极。

附图说明

[0020] 并入说明书中且构成说明书的一部分的附图示出了一个或多个实施例,且结合描述一起阐述了这些实施例。在附图中:

[0021] 图 1 为具有 2D 叶片的开式叶轮的简图;

[0022] 图 2 为具有 2D 叶片的闭式叶轮的简图;

[0023] 图 3 为具有 3D 叶片的开式叶轮的简图;

[0024] 图 4 为具有 3D 叶片的闭式叶轮的简图;

[0025] 图 5 为示出实际区块与理想区块之间的间距的简图;

[0026] 图 6 为根据示例性实施例的机械工具的简图;

[0027] 图 7 为示出利用电极去除材料的简图;

[0028] 图 8 为根据示例性实施例的用于确定电极磨损补偿的模块的简图;

[0029] 图 9 为根据示例性实施的工具磨损模型模块的简图;

[0030] 图 10 为根据示例性实施例的实际工具路径与理想工具路径之间减小的间距的简图;

[0031] 图 11 为示出根据示例性实施例的用于从工件去除材料的机械工具所执行的步骤的流程图;

[0032] 图 12 为具有 3D 几何形状的闭式叶轮的简图;

[0033] 图 13 为图 12 中的闭式叶轮的截面;

[0034] 图 14 为根据示例性实施例的确定控制路径和控制机械工具的电路的简图;以及

[0035] 图 15 为示出根据示例性实施例的由机械工具所执行的步骤的流程图。

具体实施方式

[0036] 对示例性实施例的以下描述参照了附图。不同图中的相同参考标号表示相同或相似的元件。以下详细描述并不限制本发明。作为替代,本发明的范围由所附权利要求限定。

为了简单起见,相对于涡轮叶片的用语和结构而描述了以下实施例。然而,接下来将描述的实施例不限于这些系统,而是可应用于需要以各种角度和位置去除材料以形成具有期望尺寸和期望形状的其他系统。

[0037] 在整个说明书中提到的“一个实施例”或“实施例”是指结合实施例描述的具体特征、结构或特性包括在所公开的主题的至少一个实施例中。因此,在整个说明书不同位置出现的短语“在一个实施例中”或“在实施例中”并非必然地指代同一实施例。此外,具体的特征、结构或特性可以任何适合的方式结合在一个或多个实施例中。

[0038] 电化学放电加工 (ECDM) 为包括 ECM 和 EDM 技术的先进混合加工工艺。该工艺能够去除多种导电材料,尤其是超级合金。

[0039] 在通过引用并入本文中的美国专利 No. 6, 562, 227 和 6, 787, 728 中记载了 ECDM 的两个实例。如图 6 中所示,此种 ECDM 系统 30 包括机器 32,机器 32 构造成使保持电极 36 的心轴 34 旋转。机器 32 与心轴 34 之间的连接装置 37 可包括本领域中任何公知的机构,只要连接装置 37 和 / 或机器 32 容许电极 36 沿三个不同的轴线移动和围绕两个不同的轴线旋转。在一种应用中,心轴构造成仅沿一个轴线、两个轴线等移动。电极 36 可朝工件 38 移动以产生所期望的形状。工件 38 可由平台 40 支承。平台 40 可构造成用以使工件旋转或移位。绝缘界面 42 可提供在工件 38 与平台 40 之间以吸收工件 38 的振动。另一绝缘界面 44 可提供在心轴 34 与连接装置 37 之间。机器 32 可由用于沿期望路径引导电极 36 的数字控制器 46 来控制。电源 48 向数字控制器 46、心轴 34 和机器 32 提供所需的电功率。本领域中公知的其它构件都可提供作为,例如,用于冲洗所去除材料的装置、高压泵、通风机、抽吸系统、电池、电解液、另一电极等。电极 36 不但能够在 X 方向、Y 方向和 Z 方向上移动,而且还能够分别沿两个不同轴线 (例如, X 和 Y) 旋转角 θ 和 ϕ 。

[0040] 以此方式,电极 36 能够提供多达五轴的运动,这使该机器适于在用于形成涡轮机叶片的工件中制作细化和复杂的几何形状。电源 48 提供了足够的功率以便在电极 36 末梢处产生放电。当电压施加到电极 36 时,在电极的末梢处发生放电。加工在保持于发生放电的电极 36 末梢附近的工件 38 表面上进行。尽管在 ECM 和 EDM 方法中已将区块 (机器通过期间从工件去除的金属量) 限定为由机器末梢的一次通过所去除的小平面,但在 ECDM 的情况下,区块可为单条线、小平面或其它 3D 形状,这可由机器操作人员根据所期望叶片的几何形状来选择。

[0041] 图 7 中示出了 3D 区块 70 的实例,其中,用于去除区块 70 的实际起始点 72 (作为所期望的起始点) 示为离理论起始点 74 有一定距离。因此,电极 36 末梢开始从区块 70 而不是所期望的区块 76 去除材料,其中,所期望的区块 76 称为理论区块,因为该区块构想成由机器的程序装置 (programmer) 去除。然而,由于未补偿的工具磨损,故去除了区块 70 而不是区块 76。根据示例性实施例,区块可限定为单条线或 3D 表面,也即不仅是 2D 平面。

[0042] 根据示例性实施例,工具磨损补偿工艺 80 可实现为两个模块,也即离线模块和在线模块。图 8 示出了对应于粗补偿的离线模块 82,以及对应于精补偿的在线模块 84。离线模块 82 可包括工具路径产生模块 86,其中,软件 (例如, CAD/CAM) 产生用于期望叶片设计的工具路径 (理论工具路径)。工具路径提供了坐标,机械工具沿着该坐标从工件去除材料以形成所期望的最终产品,例如,叶片。工具路径可包括与叶片最终形状、用于获得叶片的区块数目、将制造叶片的电极和 / 或工具的准确位置等相关的信息。然后,工具路径信息经

由适合的接口 88 传递至处理元件 90 以便施加后处理,例如,将产生工具路径 86 的输出转化为机器语言。应当注意的是,由元件 86 计算出的工具路径不包括对于电极磨损的补偿,也即,该工具路径是对于未经历任何磨损的理想电极所计算的。

[0043] 基于下文将描述的工具磨损模型,工具磨损模型模块 92 从用于确定沿由模块 86 所产生的工具路径的工具磨损分布的各种信息开始。该信息应用于由模块 86 所确定的工具路径,且在此阶段计算实际工具路径。在步骤 94 中,向在线模块 84 提供经补偿的(实际)工具路径。然而,根据示例性实施例,工具 30 可仅具有离线模块 82,或具有离线模块 82 和在线模块 84 两者。

[0044] 根据示例性实施例,在线模块 84 可在对应的电路或与离线模块 82 相同的电路中执行。在线模块 84 将经补偿的工具路径发送给数字控制(NC)系统 96,且 NC 系统 96 将该工具路径应用于机械工具 30。机械工具 30 执行从 NC 系统 96 接收的工具路径且区块接区块地去除。在完成区块之后,在线检测系统 98 可用于确定机械工具 30 的电极长度。基于由在线检测系统 98 所执行的测量,NC 系统 96 可进一步调整机械工具 30 心轴 34 的工具路径或位置来补偿电极的磨损。注意的是,通过调整心轴 34 的位置而非重新计算工具路径,用于获得叶片的软件可容易地分配给具有不同几何形状的不同机器,也即,软件是便携式的。

[0045] 例如,在线检测系统 98 可包括用于确定电极长度的激光校准系统或物理接触校准系统,或可包括如本领域的技术人员将想到的其它装置。在一个应用中,不但确定电极的长度而且确定电极的直径。

[0046] 对于工具磨损模型模块 92,图 9 示出了所包括的用于确定工具补偿数据的可能模块。更具体而言,图 9 示出了工具磨损模型模块 92,其包括材料去除计算模块 110、工艺参数设置模块 112 以及其它参数模块 120。

[0047] 这些模块可实现为专用电路、软件或它们的组合。材料去除计算模块 110 可包括 5 至 15 个之间的参数,例如,电极形状、电极材料、工件材料、区块形状,它们或储存在模块的存储器中或由系统主动地确定/测量以便计算由机械工具从工件所去除的材料体积。

[0048] 工艺参数设置模块 112 储存与机械工具相关的参数,例如,切割深度、切割速度、每分钟转数等,而其它参数模块 114 储存与加工过程的其它方面相关的参数,例如,冲洗流量和压力、电压和电流强度、电流波形、脉冲等。

[0049] 基于从模块 110, 112 和 114 接收到的参数和其它数据,传递函数模块 116 计算沿某一轴线(例如, Z 轴)的工具磨损 D 。工具磨损由传递函数 f 给出,该传递函数可表示为 $D=f(V_{mm}, P_{on}, P_{off}, I_{peak}, P_{flushing}, \dots)$, 其中 V_{mm} 为已去除材料的体积、 P_{on} 为电流接通的单位时间分数、 P_{off} 为电流断开的单位时间分数、 I_{peak} 为施加到电极 36 上的峰值电流、 $P_{flushing}$ 为冲洗压力和流量,等。从模块 112 和 114 可获得的参数中的一个或多个可在传递函数中使用。由模块 116 计算的传递函数 f 的结果 D 提供给工具补偿数据模块 118,其可将信息直接提供给 NC96 以将传递函数结果应用于工具路径。根据示例性实施例,传递函数的结果可沿工具路径平均地分配。根据又一示例性实施例,不同的磨损补偿应用于各区块,如将在下文中所述。

[0050] 根据另一示例性实施例,当工具机器处理叶片或其它元件时,对于各区块计算/更新电极的磨损补偿。用于计算/更新当前区块的磨损补偿的方法可考虑 (i) 应用于先前一个或多个区块的磨损补偿,和/或 (ii) 在加工当前区块之前的电极的所测量/确定的参

数。所测量 / 确定的参数包括但不限于电极的几何形状（即，长度、直径等）。

[0051] 根据示例性实施例，该过程开始将预定磨损补偿应用于第一区块。预定的磨损由工具磨损模型产生。该预定磨损补偿可为基于经验所确定的量。上述参数（电极几何形状）可在去除第一区块的同时和 / 或在第一区块结束时测量 / 确定，且在第一区块结束时估计新的（实际）磨损补偿以应用于下一区块。各区块中的状态可能由于该区块的冲击状态、区块的几何形状、电极的几何形状、工具磨损等而有所不同。在线检测系统 84 用于更新该过程的状态以及将新的磨损补偿再应用至下一区块。

[0052] 由于用于当前区块的磨损补偿对先前区块（多个）的这种依赖，故实际路径 130 与理论路径 132 之间的间距随着机械工具前移而改善，如图 10 中所示。根据示例性实施例，对于各当前区块的磨损补偿的计算仅考虑了与前一区块相关的参数。

[0053] 参照图 11 列举了用于计算 / 确定对于如上文所述的机械工具的磨损补偿的方法步骤。在步骤 1100 中，基于从离线模块 82 接收到的数据，对于当前区块选择磨损补偿，其中，当前区块可为第一区块。换言之，机械工具基于机器的存储器中所储存的数据来选择磨损补偿。该数据可尤其包括材料参数（表征待去除以形成叶片的材料的参数）、电极参数如尺寸、化学成分等、待去除的材料、电极以及电解液的电性参数、叶片的 3D 几何形状等。

[0054] 该数据提供给传递函数作为输入，且传递函数模块 116 在步骤 1110 中确定应用于当前区块的磨损补偿。在去除当前区块之后，机械工具的电极在步骤 1120 中校准。该校准可在线执行、离线执行，或可根本不执行。来自于当前区块的数据经采集并提供给传递函数模块 116 以便在步骤 1130 中计算 / 更新用于下一区块的磨损补偿。

[0055] 在一个应用中，前一区块开始时的电极长度将与前一区块结束时的电极长度相比较以确定自电极所消耗的材料量。另外，机器可计算对于前一区块的工具路径长度，且然后它可通过将所消耗的电极材料（例如，数毫米的石墨）除以前一区块中的工具路径实际长度来估计将应用于当前区块的工具磨损补偿。根据该示例性实施例，机器并未对可从电极制造商获得的所有区块使用恒定的电极磨损速率，而是对于各当前区块计算磨损补偿量。这样，在计算电极的新磨损补偿时，考虑了也会影响电极磨损速率的针对各机器的局部因素，例如，冲洗速率、冲洗压力、环境温度等。换言之，通过对于当前区块计算所消耗的材料和路径长度，影响 ECDM 过程的大多数参数都将考虑在内。在 ECDM 过程期间的这些参数的一个或多个的变化将反映在当前区块期间所去除的材料中。由于上述计算，故这些变化将应用于下一区块。因此，根据示例性实施例，机器 32 构造成用以连续地监测环境并通过调整下一区块的磨损补偿来反映在下一区块的制造中的任何变化。

[0056] 例如，尽管常规机器在电极磨损速率恒定时对于各区块使用相同的磨损补偿，但本示例性实施例有利的是区块接区块地计算相同电极的磨损速率，因此假定该过程的一个或多个参数（例如，温度）变化，则区块接区块地将不同磨损补偿应用于同一电极。其它数据例如环境压力等可提供给传递函数模块 116 用于计算 / 更新下一区块的磨损补偿。在一个应用中，如果当前区块的磨损补偿与下一区块的磨损补偿的差异超过某一阈值，则机器可构造成用以减小下一区块的尺寸，以便将两个相继区块之间的磨损补偿间的差异保持在阈值以下。阈值取决于所使用的机器、电极、将从工件上去除的材料等。

[0057] 在步骤 1130 中已计算 / 确定磨损补偿数据之后，当加工下一区块时，该数据在步骤 1140 中应用于机械工具 30。一旦下一区块已完成，则机器在步骤 1150 中确定是否必须

处理其它区块。如果结果是否定的,则该过程结束。如果结果是肯定的,则该过程前移至步骤 1120 以处理下一区块,且来自于前一区块的数据应用于当前区块以便如上文所述那样更新磨损补偿,直到已处理所有区块。

[0058] 该方法的一个优点在于,各区块均可具有不同的磨损补偿,以致考虑了材料和/或环境的变化特性。另外,随着该过程的进行,减小了实际工具路径与理论工具路径之间的间距。

[0059] 一个或多个实施例的另一些优点是可能制造出如在例如图 12 和图 13 中所示的复杂结构。图 12 示出了具有夹住叶片 164 的罩盖 160 和根部 162 的叶轮 150。图 13 为图 12 中的叶轮 150 的截面视图,且示出了形成在叶片 164 之间的腔体 166。注意的是,常规 3 轴机械工具不能去除材料来形成如图 13 中所示的腔体 166。

[0060] 上述方法的另一优点在于,在机器操作的变化条件下,该过程相应地变化并通过提供可修改的磨损补偿来适应新的条件。一个实例为区块尺寸方面的减小快速地适应实际环境条件。这些优点不可能通过传统机器实现,因为这些机器使用固定的电极磨损速率且没有考虑环境对 ECDM 过程的影响。

[0061] 图中所示的各种模块可例如在如图 14 中所示的电路 140 中实施。电路 140 可为机器 32 的一部分或 NC 系统 46 的一部分,或可分布在它们两者处。电路 140 可包括处理器 142、存储器 144、输入/输出接口 146 和/或用于连接至例如网络的接口 148。所有这些元件都可连接到总线 150 上。电路 140 可提供在机械工具上且可连接至用于测量对应参数的例如压力、温度等的各种传感器上。根据图 15 中所示的示例性实施例,存在一种用于补偿加工工件的电极的磨损的方法。该方法包括:步骤 1500,也即从工件的多个区块中选择当前区块;步骤 1510,也即基于前一区块的磨损补偿和/或其它数据来更新将应用于当前区块的电极的磨损补偿,其中,前一区块与当前区块相邻;以及步骤 1520,也即将更新的磨损补偿应用至用于加工当前区块的电极。

[0062] 基于上述方法,一种用于补偿加工工件的电极的磨损的系统可包括心轴,该心轴构造成用以围绕轴线旋转并用以收纳电极和处理器。处理器构造成用以控制心轴的运动且还构造成用以从工件的多个区块中选择当前区块、基于前一区块的磨损补偿来更新将应用于当前区块的电极的磨损补偿,以及将更新的磨损补偿应用至用于加工当前区块的电极,其中,前一区块与当前区块相邻。

[0063] 处理器还可构造成用以确定用于加工前一区块的电极的工具路径的长度、在加工前一区块之后确定自电极所消耗的材料量,以及将加工前一区块之后所消耗的材料量除以加工前一区块的工具路径的长度来确定对于当前区块的更新磨损补偿。此外,处理器可构造成用以在更新的磨损补偿大于预定阈值时调整当前区块的尺寸,或根据各种过程参数来将不同磨损补偿从第二相邻区块应用于第一区块,或将预定磨损补偿应用于该多个区块中的第一区块。该系统可包括构造成用以储存参数的存储器,预定的磨损补偿基于这些参数。系统的心轴可构造成用以关于一至五个轴线运动,使得电极从单个金属件刻切出叶轮的叶片,或用以沿三个轴线移动电极且用以使电极围绕两个轴线旋转以获得五轴机器。处理器可构造成用以连续地更新该多个区块中的各区块。更新的磨损补偿考虑了环境温度、冲洗压力或应用于电极的电流量中的一个或多个。

[0064] 所公开的示例性实施例提供了用于确定加工工件的电极的磨损补偿的系统及方

法。应理解的是,该描述并非意图限制本发明。相反,示例性实施例旨在覆盖包括在如由所附权利要求所限定的本发明的精神和范围内的备选方案、修改和等同方案。此外,在示例性实施例的详细描述中,阐明了许多具体细节以便提供对要求得到专利保护的发明的全面理解。然而,本领域的技术人员将理解的是可在没有这些具体细节的情况下实施各种实施例。

[0065] 尽管本示例性实施例的特征和元件在实施例中以特定组合描述,但各特征或元件可在没有实施例的其它特征和元件的情况下单独使用或在带有或没有本文所公开的其它特征和元件的情况下以各种组合使用。

[0066] 本书面说明使用了包括最佳模式的实例来公开本发明,且还使本领域的任何技术人员能够实施本发明,包括制作和使用任何装置或系统以及执行任何所结合的方法。

[0067] 本发明可取得专利的范围由权利要求限定,且可包括本领域技术人员构想出的其它实例。如果这些其它实例具有与权利要求的字面语言并无不同的结构元件,或者如果这些其它实例包括处在权利要求的字面语言内的同等结构元件,则认为这些实例落在权利要求的范围之内。

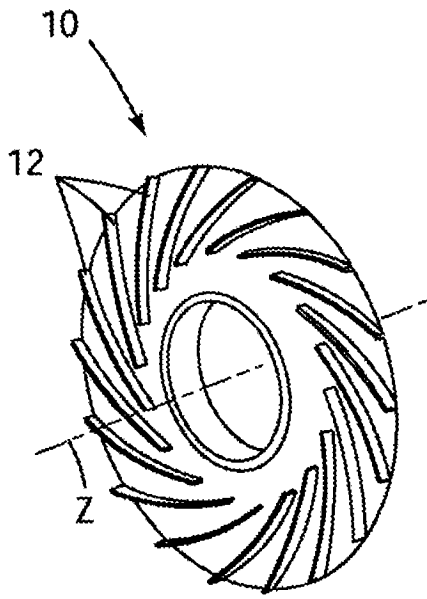


图 1

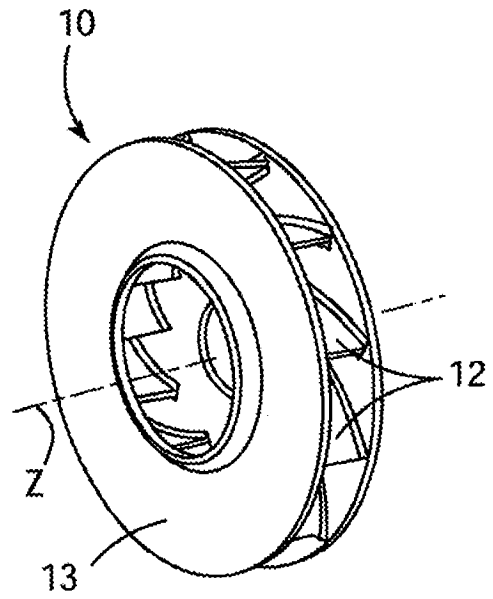


图 2

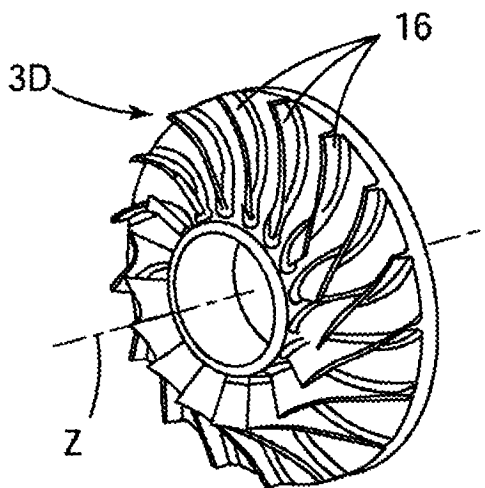


图 3

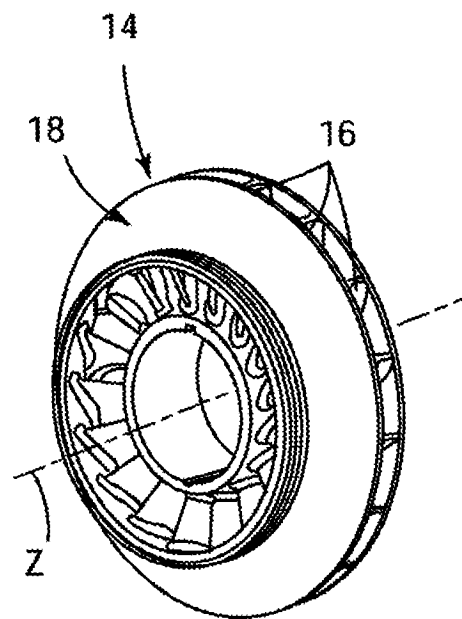


图 4

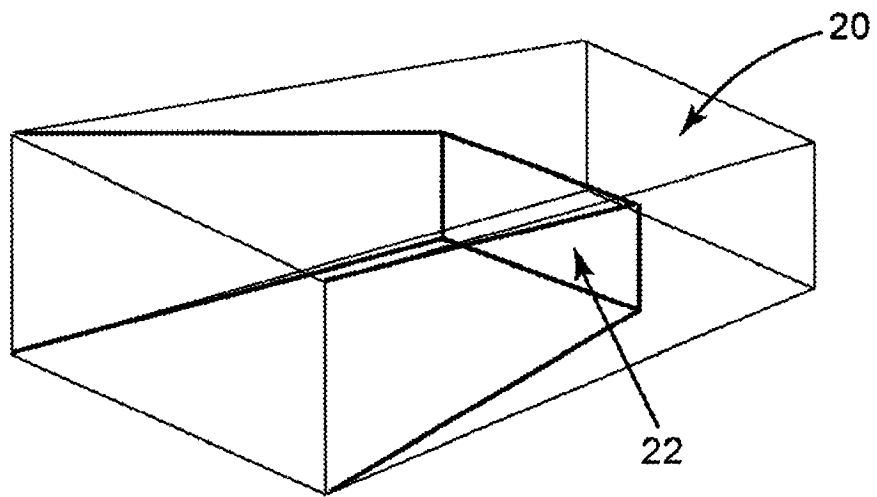


图 5

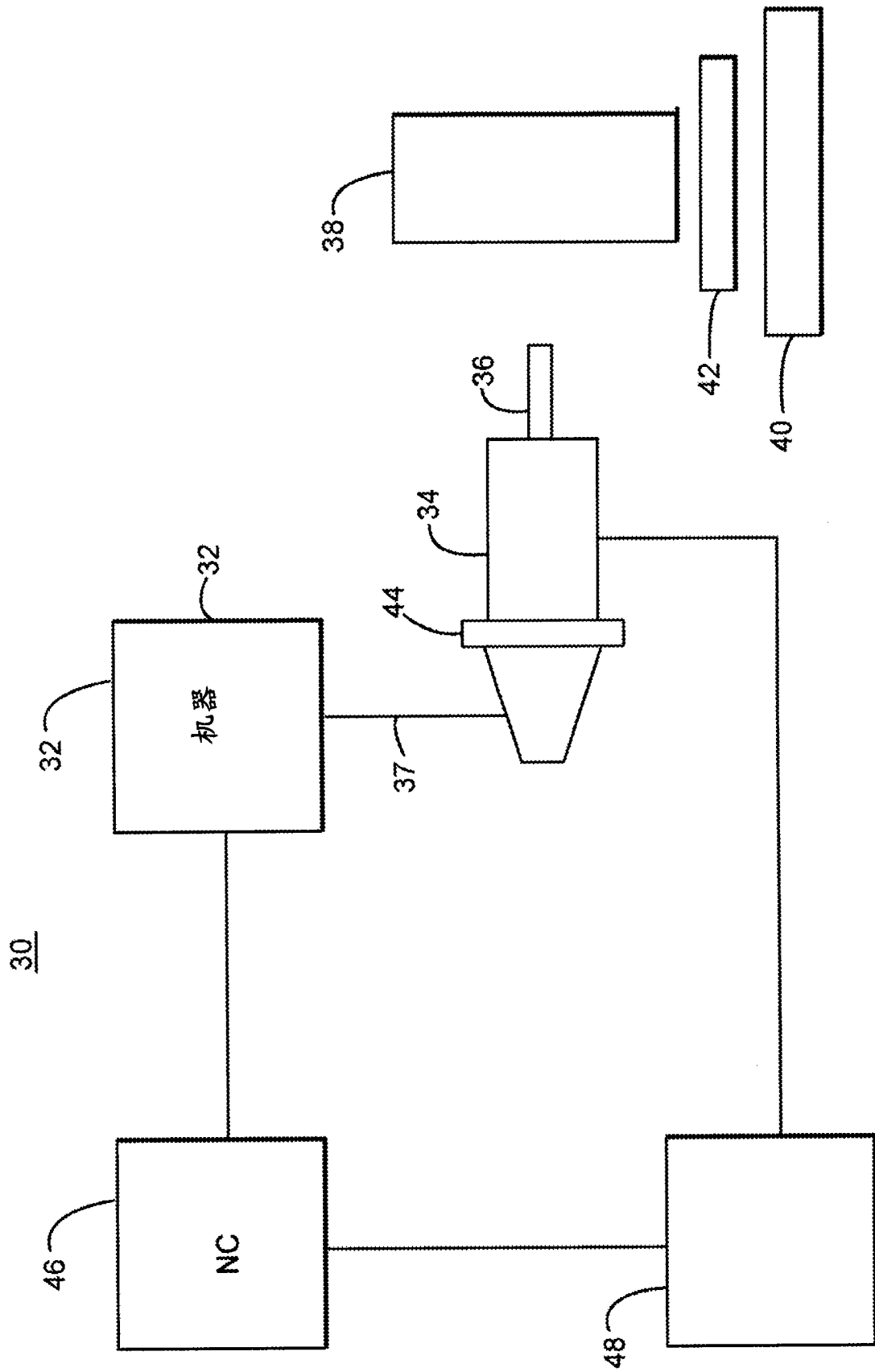


图 6

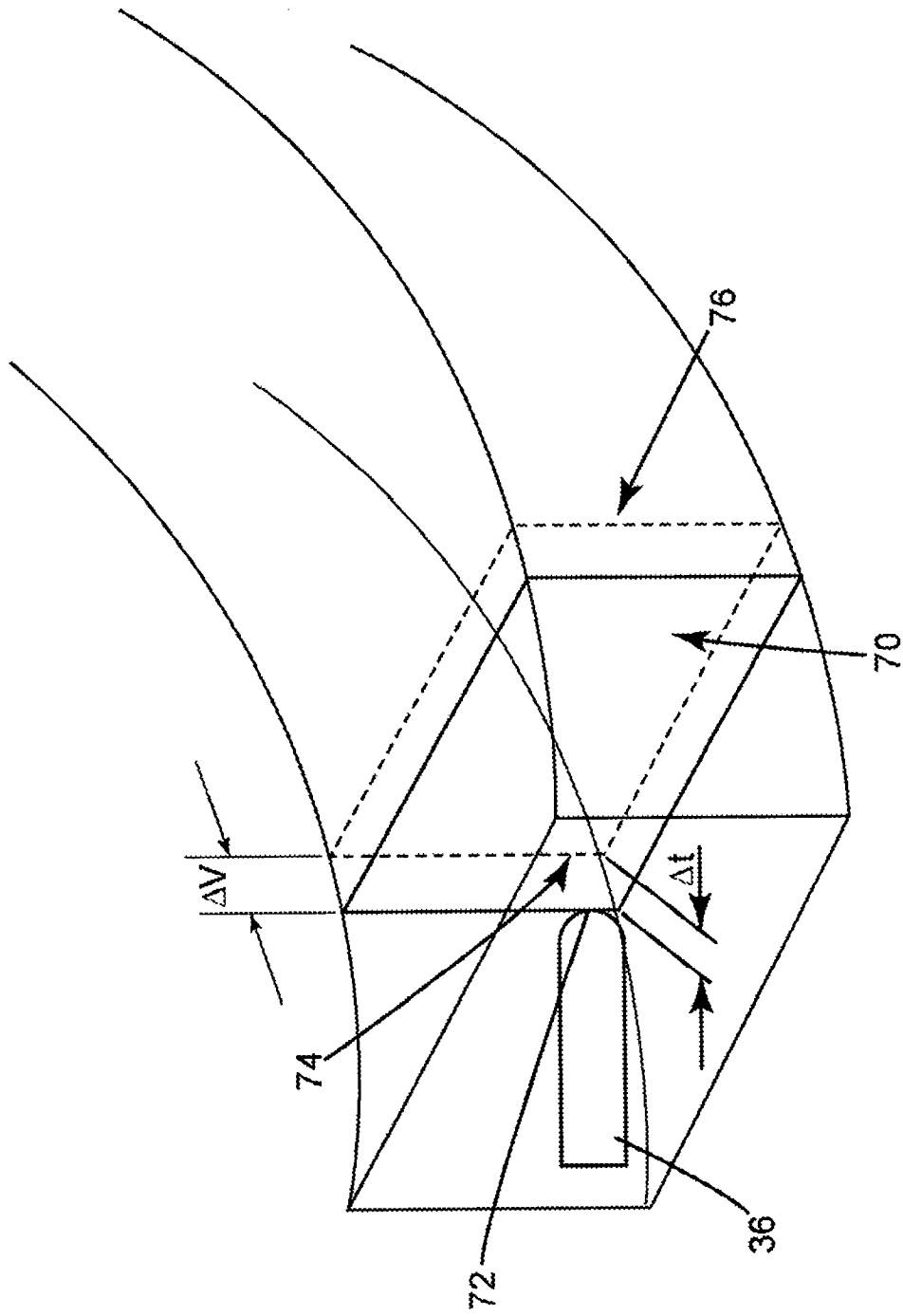


图 7

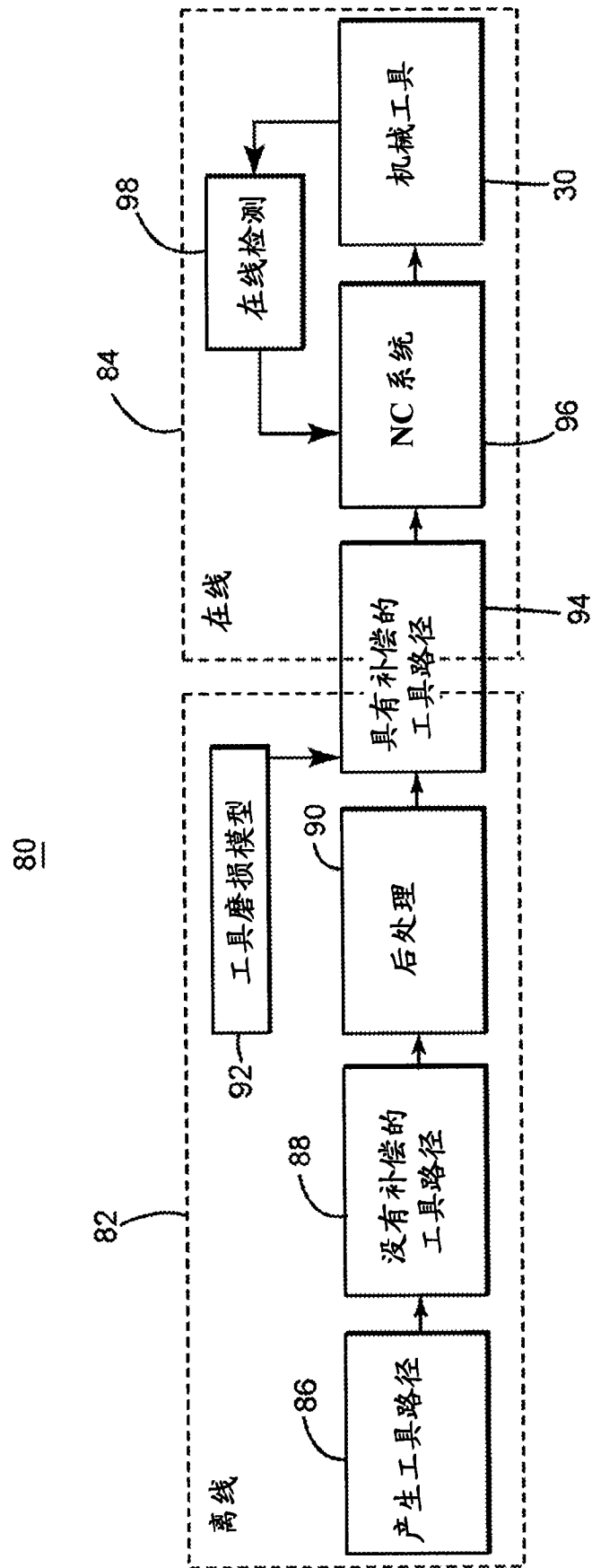


图 8

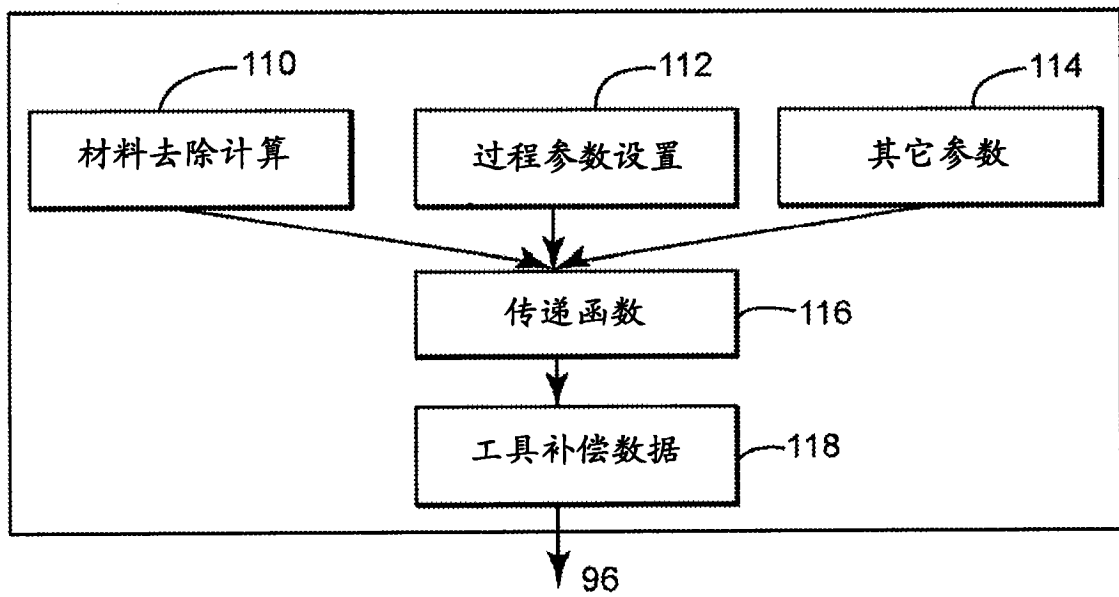


图 9

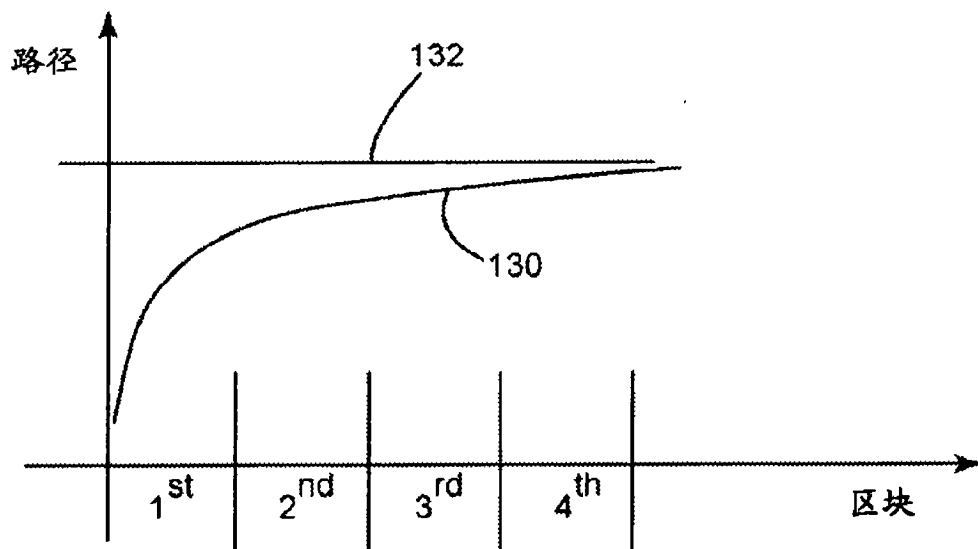


图 10

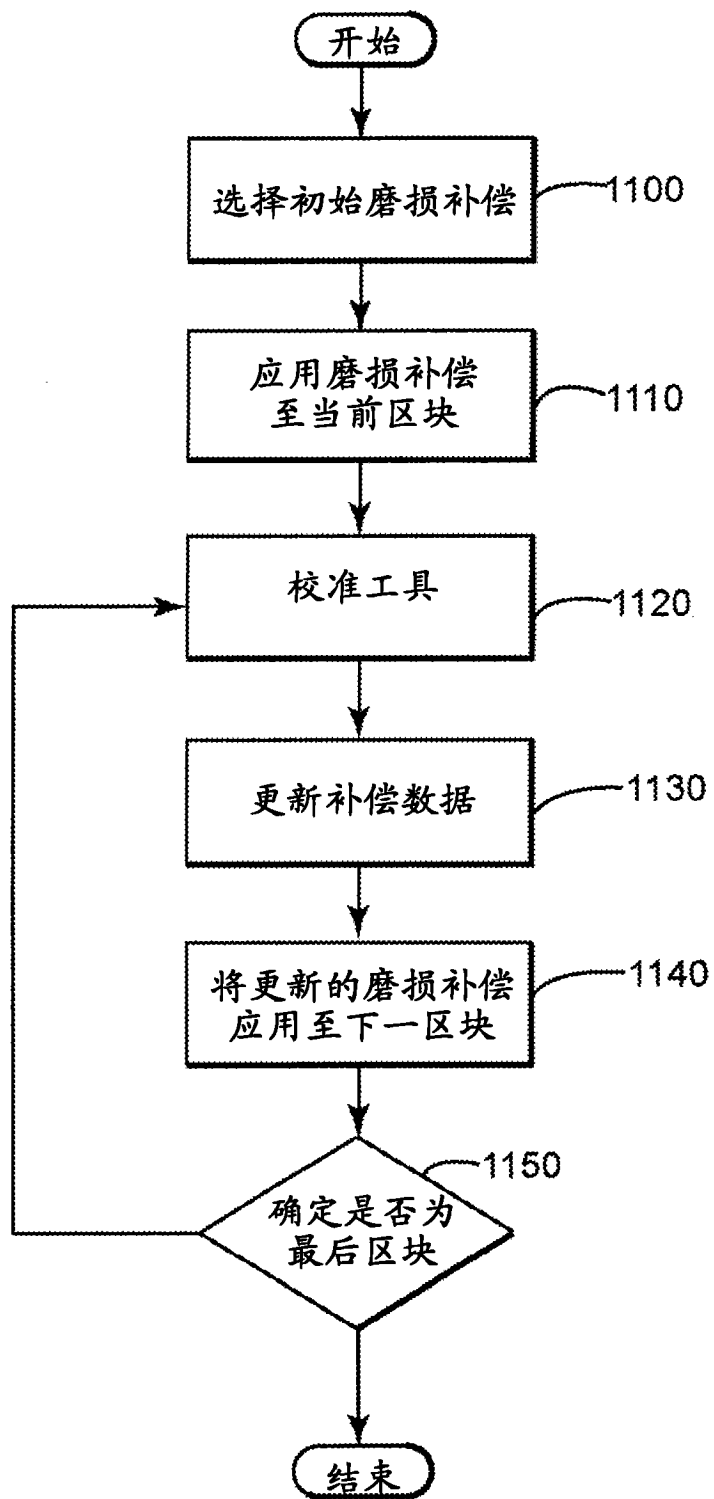


图 11

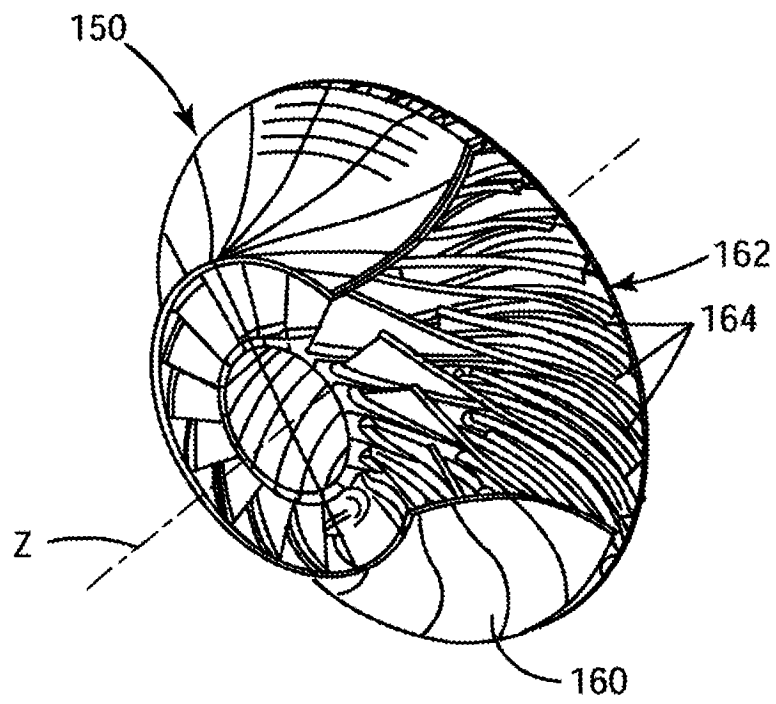


图 12

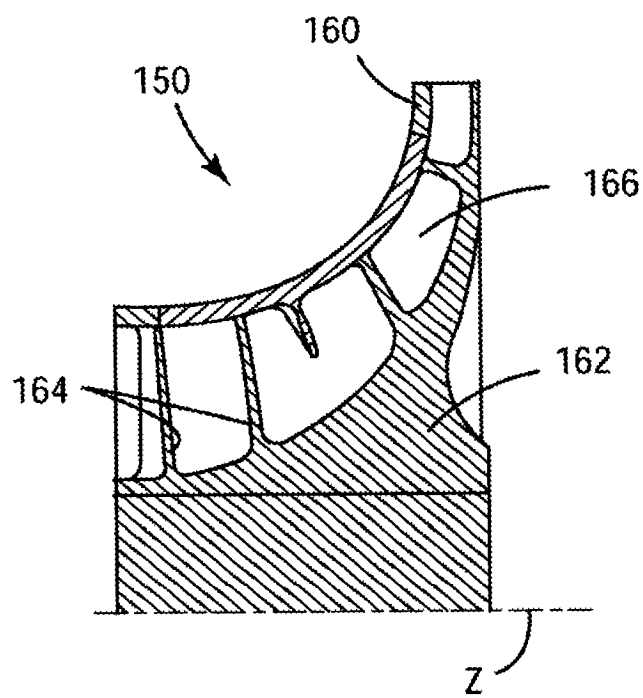


图 13

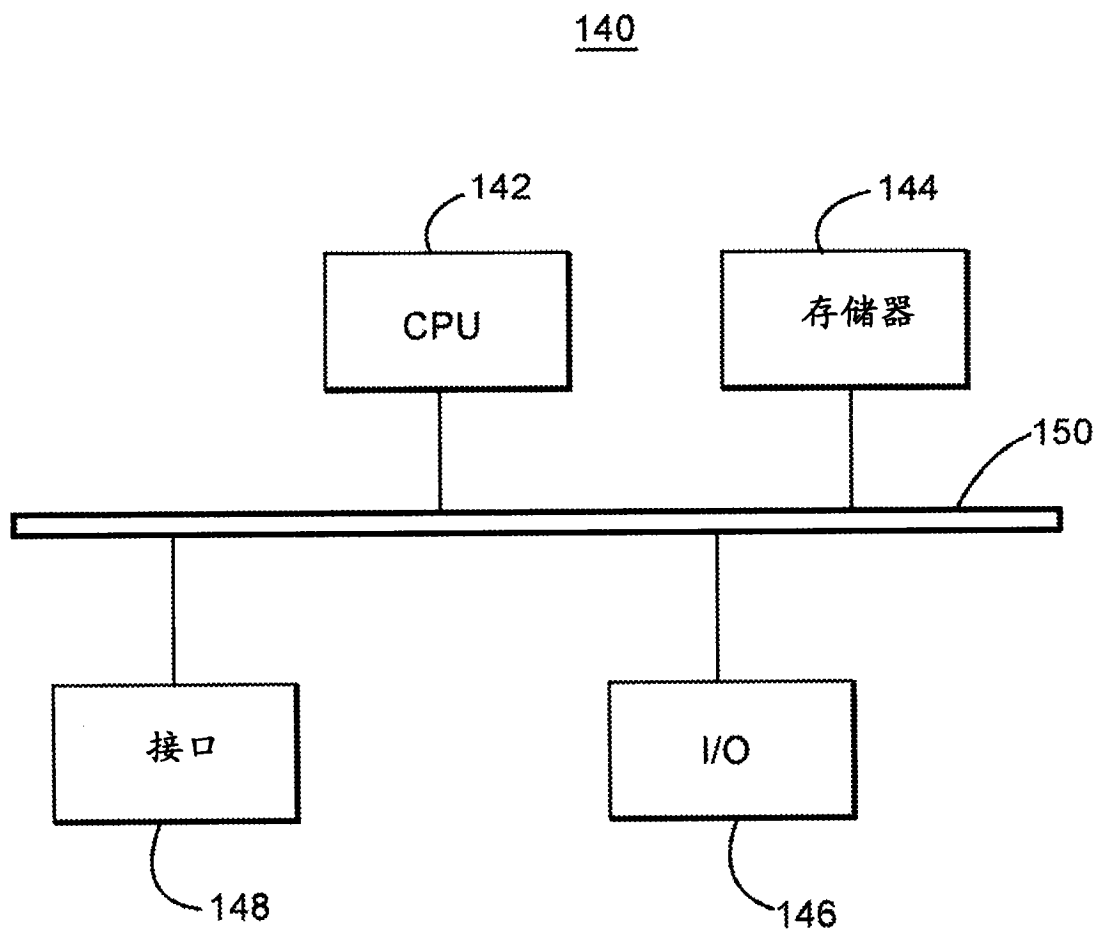


图 14

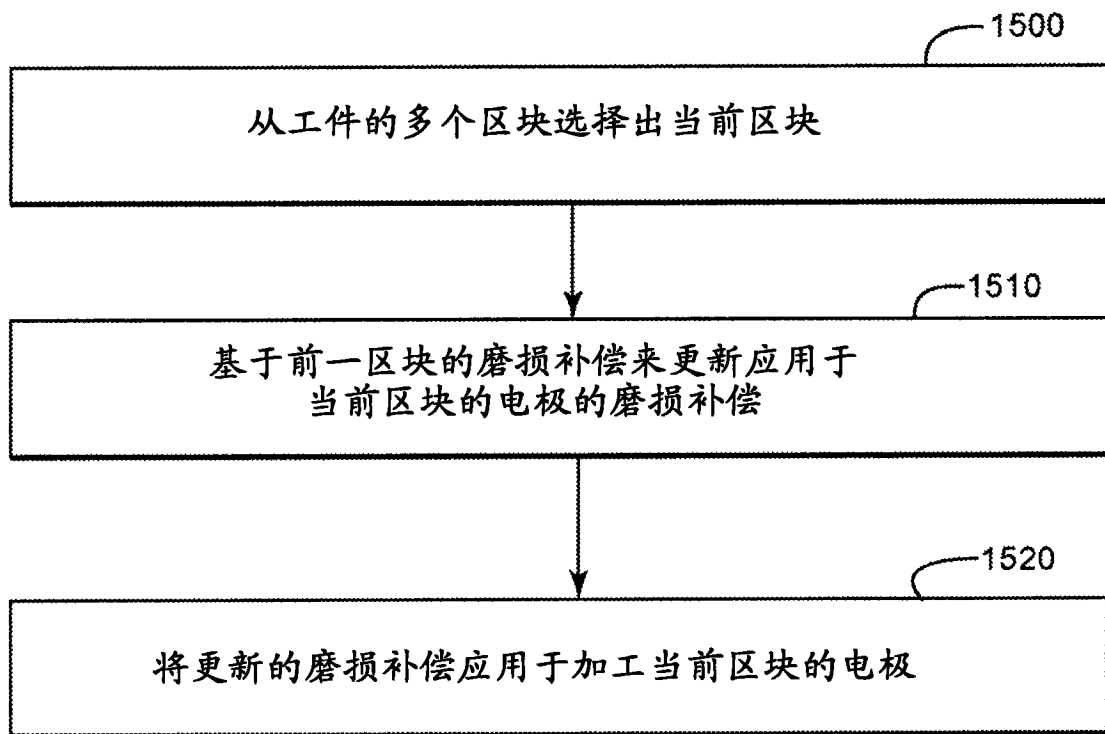


图 15