

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

B23K 20/02 (2006.01)

B23K 20/14 (2006.01)

B23K 11/02 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02826475.4

[45] 授权公告日 2007 年 9 月 5 日

[11] 授权公告号 CN 100335226C

[22] 申请日 2002.12.31 [21] 申请号 02826475.4

[30] 优先权

[32] 2001.12.31 [33] EP [31] 01205146.2

[86] 国际申请 PCT/EP2002/014865 2002.12.31

[87] 国际公布 WO2003/055635 英 2003.7.10

[85] 进入国家阶段日期 2004.6.29

[73] 专利权人 国际壳牌研究有限公司

地址 荷兰海牙

[72] 发明人 罗伯特·A·奥尔福德

安东尼·T·科尔

克里斯特尼斯·季米特里亚季斯

[56] 参考文献

US5770832A 1998.6.23

US5721413A 1998.2.24

US5163604A 1992.11.17

US4669650A 1987.6.2

US4736084A 1988.4.5

US4566625A 1986.1.28

审查员 成红

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所

代理人 柴毅敏

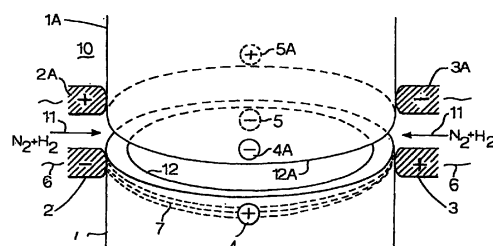
权利要求书 3 页 说明书 10 页 附图 3 页

[54] 发明名称

通过锻焊互连管子的方法及其使用该方法的系统

[57] 摘要

一种通过锻焊互连管子方法，包含：将待互连的管子末端(12, 12A)以相互之间有一选定距离布置在基本上充满冲洗流体混和物(例如， $N_2 + H_2$)的空间内；在所述空间内通过高频电流加热工艺加热每根管子(1, 1A)的末端，其中使用至少三个电极(2-5, 2A-5A)，它们以周向间隔压靠在临近管子末端(12, 12A)的每一管(1, 1A)壁上，而使电极基本上沿周向通过电极(2-5, 2A-5A)之间的管段传递高频电流(7)；使管子末端(12, 12A)相对移动，直到在加热的管子末端(12, 12A)之间形成锻焊接头。



1. 一种通过锻焊互连管子的方法，所述方法包含：将待互连的管子末端以相互之间有一选定距离布置在基本上充满冲洗流体混和物的空间内；在所述空间内通过高频电流加热工艺加热每根管子的末端，其中使用至少三个电极，它们以周向间隔压靠在临近管子末端的每一管子的壁上，而使电极基本上沿周向通过电接触点之间的管段传递高频电流；使管子末端相向移动，直到在加热的管子末端之间形成锻焊。

2. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述管子末端通过至少两对电极加热，且每对电极的电极在基本上径向相对的位置压靠在管壁上。

3. 如权利要求 2 所述的方法，其特征在于，在每一管子末端的所述不同对径向相对的电极以交替的方式启动。

4. 如权利要求 2 或 3 所述的方法，其特征在于，两对径向相对的电极以基本上 90 度的角度间隔压在所述管壁上。

5. 如权利要求 2 或 3 所述的方法，其特征在于，三对径向相对的电极以基本上 60 度的角度间隔压在所述管壁上。

6. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，每一管子末端具有基本上圆柱形的形状，三个电极以相对于管子中心轴线基本上 120 度的角度间隔压在邻近管子末端的每一管子的壁上，其中压在相邻管壁上的电极形成相邻电极对，它们互相接近，且基本上处于同一轴向平面内，且相邻电极对这样启动，即这些电极具有基本上相反的极性。

7. 如权利要求 1、2、3 和 6 之一所述的方法，其特征在于，所述管子具有不规则的形状，所述电极相对于所述管子的纵向轴线以选定的角度间隔定位，而使所述管子末端以基本上均匀的方式加热。

8. 如权利要求 7 所述的方法，其特征在于，所述管子为多孔管。

9. 如权利要求 8 所述的方法，其特征在于，所述多孔管每个都包含套管和一或多个分隔壁，所述分隔壁将所述套管的内部分成至少两个半圆柱形的部分。

10. 如权利要求 9 所述的方法, 其特征在于, 所述套管包含以导电方式相对于所述套管的中心轴线基本上径向相对地固定于所述套管内壁上的分隔壁。

11. 如权利要求 8 所述的方法, 其特征在于, 所述多孔管包含套管和一或多个位于所述套管内的小直径管, 所述套管壁和小直径管壁互相电接触。

12. 如权利要求 8 所述的方法, 其特征在于, 所述多孔管由管束形成, 相邻管的壁互相形成电接触。

13. 如权利要求 1、2、3 和 6 之一所述的方法, 其特征在于, 所述冲洗流体混和物包含体积百分比小于 25% 的还原流体, 和体积百分比大于 75% 的惰性气体的混和物。

14. 如权利要求 13 所述的方法, 其特征在于, 所述冲洗流体混和物是还原性流体和惰性气体的混合物, 该还原性流体含有氢、一氧化碳和液体还原剂之一或者它们的组合, 所述惰性气体含有氮、二氧化碳和稀有气体之一或它们的组合。

15. 如权利要求 14 所述的方法, 其特征在于, 所述惰性气体为氮。

16. 如权利要求 13 所述的方法, 其特征在于, 所述冲洗流体混和物包含体积百分比为 2 至 15% 的还原性流体和体积百分比为 85 至 98% 的惰性气体。

17. 如权利要求 13 所述的方法, 其特征在于, 液体或固体还原剂刷涂或喷涂于所述管子末端, 惰性气体注入所述空间中, 于是当所述管子末端加热时, 所述还原剂至少部分蒸发, 蒸发的还原剂与注入的惰性气体混和形成现场的冲洗气体混和物, 该混和物包含体积百分比低于 25% 的挥发还原成分, 和体积百分比高于 75% 的惰性气体。

18. 如权利要求 17 所述的方法, 其特征在于, 所述液体或固体还原剂包含清洗液体和还原剂。

19. 如权利要求 18 所述的方法, 其特征在于, 所述清洗液体为盐酸, 所述还原剂选自过氧化氢、硼砂粉或碱性沸石或铍沸石。

20. 如权利要求 1、2、3 和 6 之一所述的方法，其特征在于，所述管子是油田或油井的管子。

21. 如权利要求 1、2、3 和 6 之一所述的方法，其特征在于，在所述互连的管子之间形成的锻焊接头质量通过称之为 EMAT 的电磁声学检验技术进行检验，且感应线圈被放置在锻焊处的两侧，这些线圈在检验过程中保持在离管子预定距离的位置上。

22. 一种用于权利要求 1 所述的方法的系统，所述系统包含：将待互连的管子末端以相互之间有一选定距离布置在一空间内的夹持装置；用于在所述空间中填充冲洗流体混和物的冲洗流体喷射装置；用于在所述空间中通过高频电加热每根管子末端的电极组件，其中所述电极组件包含至少 3 个电极，它们以周向间隔压靠在管子末端附近的每一管壁上，而使所述电极在使用时基本上沿周向方向通过电极之间的管段传输高频电流；以及促使夹持装置将加热的管子末端相互压靠，直到在加热的管子末端之间形成锻焊接头的装置。

23. 如权利要求 22 所述的系统，其特征在于，所述夹持装置可在加热阶段使所述管子末端保持预定的间隔，并包括一机械阻挡件，该机械阻挡件在锻焊过程中，当加热的管子末端已经相向向前移动预定的距离且相互挤入时，中止加热的管子末端的轴向移动。

通过锻焊互连管子的方法及其使用该方法的系统

技术领域

本发明涉及一种通过锻焊互连管子的方法和系统。

发明背景

从美国专利 US4669650 中可知，在还原性环境中锻焊管子末端，其中冲洗气体，例如含有低于 100ppm 的 H_2O 和/或 O_2 的氢气，冲洗加热的管子末端周围，以避免腐蚀，并还原和去除氧化皮。使用氢气作为冲洗气体的缺点在于，它会与空气中的氧气以爆炸的方式反应，因此它不能用于危险区域，如海上油和/或气生产平台，或油和/或气钻塔。该现有技术文献在第 2 页 65 至 68 行中提到可以使用惰性气体代替氢气作为冲洗气体，并且公开了管子末端可以通过感应线圈或非特定的高频加热方法加热。

国际专利申请 WO98/33619 公开了一种通过扩散焊连接油田管子的方法，其中，管子末端通过在充满保护气体的空腔内的感应线圈加热。欧洲专利 0396204 公开了一种油井管子的摩擦焊方法，其中环在充满保护气体的空腔内高速旋转，管子末端压靠在所述环上，从而使所述环和管子末端熔为一体。

美国专利 US5721413 中公开了一种通过一对径向相对的触点加热每一管子末端而加热两管紧密间隔部分的方法，且每对触点相对另一对触点设为特定的交叉结构，以均衡地加热管子末端。

本发明的目的是提供一种锻焊方法，该方法能够在危险区，比如海上油和/或气生产平台或油和/或气井钻塔，以安全、高效的方式，以最少量的金属氧化物夹杂互连管子末端，而使管子末端以基本上均匀的方式加热，从而即使管子具有不规则的形状，也能形成高质量的锻焊接头。

发明内容

本发明的方法包含：

将待互连的管子末端以相互之间有一选定距离布置在基本上充满冲洗流体混和物的空间内；在所述空间内通过高频电流加热工艺加热每根管子的末端，其中使用至少三个电极，它们以周向间隔压靠在临近管子末端的每一管壁上，而使电极基本上沿周向通过电极之间的管段传递高频电流；使管子末端相对移动，直到在加热的管子末端之间形成锻焊接头。

在本发明的方法的优选实施例中，所述管子末端通过至少两对电极加热，且每对电极的电极在基本上径向相对的位置压靠在管壁上。在每一管子末端的所述不同对径向相对的电极可以交替的方式工作。

所述管子可以具有不规则的形状和/或可以构成多孔管组件，且所述电极可以相对于管子的纵向轴线以不规则的角度间隔布置，而使管子末端以基本上均衡的方式加热。

在加热阶段且直到管子末端压在一起而形成锻焊接头，推荐沿加热的管子末端用冲洗流体混和物冲洗，所述混和物包含这样一种混和物，它包含体积百分比小于 25% 的还原流体，比如氢或一氧化碳，和体积百分比大于 75% 的惰性气体，比如氮气、二氧化碳和/或稀有气体，比如氩。可取的是，所述冲洗流体混和物包含体积百分比 2 至 5% 的还原气体和体积百分比在 85 和 98% 之间的基本上惰性的气体。

液体或固体还原剂刷涂或喷涂于所述管子末端，惰性气体注入所述空间中，于是当所述管子末端加热时，所述还原剂至少部分蒸发，蒸发的还原剂与注入的惰性气体混和形成现场的冲洗气体混和物，该混和物包含体积百分比低于 25% 的挥发还原成分，和体积百分比高于 75% 的惰性气体。

所述液体或固体还原剂包含清洗液体和还原剂。

所述清洗液体为盐酸，所述还原剂选自过氧化氢、硼砂粉或碱性沸石或铍沸石。

本发明还涉及一种锻焊系统，该系统包含将待互连的管子末端以相互之间有一选定距离布置在一空间内的夹持装置，用于在所述空间

中填充冲洗流体混和物的冲洗流体喷射装置，用于在所述空间中通过高频电加热每根管子末端的电极组件，其中所述电极组件包含至少 3 个电极，它们以周向间隔压靠在管子末端附近的每一管壁上，而使所述电极在使用时基本上沿周向方向通过电极之间的管段传输高频电流；以及促使夹持装置将加热的管子末端相互压靠，直到在加热的管子末端之间形成锻焊接头的装置。

所述夹持装置可在加热阶段使所述管子末端保持预定的间隔，且包含在锻焊过程中，当加热的管子末端已经沿预定的距离相对移动且相互挤入时，阻止加热的管子末端轴向移动的机械阻挡件。

本发明的方法和系统中使用三个或多个周向间隔的电极，减轻了由于在紧接电极附近的管壁过热和电极之间的管壁中间的加热不足造成的管子末端加热不均衡。

所述电极组件还可对锻焊的管子末端进行焊后热处理，其中所述管子末端根据预定的温度下降冷却。

该组件还可装有水和/或强制空气喷嘴，以加强和/或控制锻焊的管子末端的冷却速度。

适当的是，在互连的管子之间形成的锻焊接头的质量通过电磁传声焊接检验技术检验，称之为 EMAT，其中在检验过程中，电磁线圈置于锻焊接头两侧附近，且与管子保持预定的距离。在热管壁和 EMAT 检验工具的线圈之间没有物理接触，能在锻焊接头形成后立即进行焊接检验。

本发明的方法和系统的上述特征可以不同的方式的组合，且下面将参照附图详细地描述本发明的方法和系统的某些优选实施例。

附图说明

下面将参照附图通过示例更详细地描述本发明，其中：

图 1 示出了通过两对径向相对的电极加热的管子末端的剖面图；

图 2 示出了图 1 所示的管子在通过本发明的锻焊方法连接于另一管子之前的三维图；

图 3 示出了通过两对径向相对的电极加热的多孔管子末端的剖面

图；

图4示出了图3所示的多孔管子在通过本发明的锻焊方法连接于另一多孔管子之前的三维图；

图5至10示出了各种多孔导管结构，其末端可以通过使用本发明的三个或多个电极的组件以基本上均匀的方式加热。

具体实施方式

参照图1，其中示出了钢管1的末端，在其周围设有两对径向相对的电极2，3和4，5。

第一对电极2，3压靠在管子1的外表面，并经管壁传输高频电流6，如箭头7所示。铁氧体磁棒组件8用于提高紧接管子1以及相邻管子（未示出）的末端附近的电流密度。

图2示出了两根相邻管子1，1A的末端12，12A如何分别通过两组径向相对的电极2，3，4，5和2A，3A，4A，和5A加热的。在加热阶段，管子末端12和12A位于相互之间距离数毫米的位置。电极2，3和2A，3A之间的电流密度箭头7的较大间隔，示出了这些电极中间的电流密度低于临近电极2，3和2A，3A的电流密度。这在管子末端12和12A的加热速度上产生变化，并造成电极2，3和2A，3A中间区域的加热不足。为了减轻不规则的加热速度，电极2，3和2A，3A规则地从管子1，1A的外表面脱离，随之其他电极4，4A，5，5A压在管子1，1A的外表面上，启动而通过管子1，1A的末端传输高频电流。通过顺序地启动每一管子末端的两组径向相对的电极，减轻了管子末端加热的不规则性。

或者，如果交替的电流受控，则图2中示出的电极2至5和2A至5A可以同时压在间隔的管子末端1和1A上，例如使用晶闸管控制电流，使在所述周期的第一部分，径向相对的电极对2A和3输送正电流，如图2中的+号所示，但其他电极2和3A输送负电流，如图2中的-号所示。在所述交流周期的第二部分，电极对2A和3输送负电流，但其他电极2和3A向管子1和1A输送正电流，因此，以基本上均衡的方式加热管子末端12和12A。

在加热周期的下一阶段，电极 2，2A，3 和 3A 不启动，其他电极 4，5，4A 和 5A 以类似的方式启动。

加热的管子末端 12，12A 的温度通过红外温度传感器监控，当监控的温度适于形成锻焊接头时，管子末端 12，12A 相互挤压，而形成锻焊接头。管子末端 12，12A 可以整形而具有小于管子 1，1A 其他部分的壁厚，以便补偿锻焊过程中红热状态的管子末端 12 和 12A 的变形，而使锻焊的管子 1，1A 具有均匀的壁厚和内、外径。

在加热阶段且管子 1，1A 相向移动时，管子末端内部和外部都被封闭在充满由高于 75vol% 的氮气和低于 25vol% 的氢气组成的非爆炸性冲洗气体混和物的空腔 10 中。优选地，用于连接碳钢管 1，1A 的非爆炸性冲洗气体混和物包含约 5vol% 的氢气和约 95vol% 的氮气。在腔室 10 中管子 1 和 1A 外侧的部分内冲洗气体的压力高于在腔室 10 中管子 1 和 1A 内的部分，这样在整个加热过程中，冲洗气体沿管子 1 和 1A 的管子末端 12，12A 流动，如箭头 11 所示，直到管子末端锻焊在一起。

冲洗气体中的氢气与待互连的管子 1，1A 的末端 12，12A 上的任何氧化皮中的氧反应，使氧化皮至少基本上消除，而以最少量的腐蚀金属夹杂使清洁的金属部分锻焊在一起。

试验室的试验表明，通过上述的锻焊方法，在碳钢管之间得到了良好的冶金结合，其中冲洗流体包含约 5vol% 的氢气和约 95vol% 的氮气。试验还证实这种冲洗气体成份的非爆炸特性。

优选地是，在整个锻焊过程中，管子末端夹持到夹持装置上，该夹持装置在加热阶段，使管子末端相互保持 1 和 3 毫米之间的预定间隔，且其包括一机械阻挡件，在锻焊过程中，当加热的管子末端已经沿预定的距离相对移动且相互挤入时，阻止加热的管子末端轴向移动，从而可以形成高质量的锻焊接头，且没有加热的管子末端过度变形。

适当的是，电极 2-5 和 2A-5A 也可以启动而对锻焊后的管子末端进行焊后热处理。在焊后热处理阶段，供应到电极的电力 6 应低于锻焊操作前的加热阶段，且可以与所述红外温度传感器测得的温度

一起控制，而使锻焊后的管子末端温度按预定的模式下降。

形成的锻焊接头质量可以在接头形成后，通过美国专利 No.56523 89, 5760307, 5777229, 6155117 中描述的称之为 EMAT 的混和式电磁传声技术进行检验。EMAT 技术利用置于焊接接头一侧的感应线圈，线圈感应产生磁场，而在焊接接头的表面产生电磁力。这些力通过散射过程与原子晶格的耦合而产生机械干扰。在电磁声学阶段，转变发生在材料的表面深度上，即金属表面是其本身的转换器。接收以往复的形式进行。在有磁场的条件下，当弹性波撞击导体表面时，在接收线圈内产生感应电流，类似于发电机的操作。EMAT 焊接检验技术的优点是感应传输和接收线圈不必接触焊接的管子。因此质量检验可以在锻焊接头形成后立即进行，此时锻焊的管子仍然太热，而不能使用检验探针物理接触。

本发明的方法和系统尤其适于焊接油和/或气生产钻塔处或附近的油田和/或井的管子。所述管子可以是管子部分已经焊接在一起后，下入井内的数公里长的生产管线。

或者，油田的管子可以是插入加热井 (heater well) 内的加热管，为了降低粘性和/或裂解现场的所述油母岩和/或其他碳水化合物，加热井向周围油母岩和/或含油层传递热量。这种加热管可以包括一对同轴管，它们形成传输电流产生热量的电路。

优选地是，当被焊接的管子在处于地面的管子装配线上在水平位置上延伸时，这种加热或生产管线焊接在一起，然后管子弯曲并插入到加热井或生产井中。适当的弯曲和插入技术公开于国际专利申请 WO 00/43630 和 WO00/43631 中，在此通过引用而包含其内容。优选地，所述井管子在靠近井口的水平焊接装置上焊接在一起，然后以很大的环盘绕成至少 270 度的弓形，使所述管线的近端竖直地伸入井口内，但所述管线的远端通过所述焊接装置水平延伸。或者，焊接的井管水平焊接而成且在离井口较小距离的位置上以大环盘绕。当整个管线已经组装并盘成所述大环时，组装好的管线例如在轨道上运输到井口，然后如国际专利申请 WO 00/43631 中公开的那样插入到井口中。

后一种管子组装技术可以在位于油田上方中心点的中心焊接装置处装配管线，在此可以装配和存储多个管线，直到它们被运输到井口，然后快速插入井中，从而使井的生产和/或加热操作的中断最小。

图 3 示出了周围设有两对径向相对的电极 22, 23, 24 和 25 的钢质多孔管子 21 的末端。管子 1 包含纵向和对角的、在管子 21 内部形成两个半圆柱形流道 30 和 31 的分隔壁 29。

第一对电极 22, 23 压在管子 21 的外表面，并通过管子 1 的壁和分隔壁 29 传输高频电流 26，如箭头 27, 27A 所示。铁氧体磁棒组件 28 用于提高紧接管子 21 以及临近管子（未示出）端部附近的电流密度。当第一组对角电极 22, 23 启动时，大部分高频电流将通过所述对角分隔壁 29，因此，主要加热所述分隔壁 29 的末端，但当第二组对角电极 24, 25 启动时，大部分高频电流通过管子 21 的壁。供应向电极组 22, 23 和 24, 25 的电力和电极组交替启动的持续时间受到控制使管子 21 的壁和分隔壁 29 的末端均匀加热到预定温度。

图 4 示出了两相邻的多孔管子 21 和 21A 端部如何分别通过两组径向相对的电极 22, 23, 24, 25 和 22A, 23A, 24A 和 25A 加热的。在加热阶段，为了在管子末端 32 和 32A 之间产生激励电流在管子末端 32 和 32A 流过的电容效应，管子末端 32 和 32A 位于相互之间距离数毫米的位置。在电极 22, 23 和 22A, 23A 中间的电流密度箭头 27 和 27A 的较大间隔示出，在这些电极中间的电流密度低于靠近电极 22, 23 和 22A 和 23A 处的电流密度。这产生了管子末端 32 和 32A 的加热速度的变化，并造成电极 22, 23 和 22A 和 23A 中间区域加热不足。为了减少加热速度的不规则性，电极 22, 23 和 22A, 23A 规则地从管子 21, 21A 的外表面提离，而其他电极 24, 24A 和 25, 25A 压在管子 21, 21A 的外表面上，并启动而通过管子 1, 1A 的末端传输高频电流。通过在每根管子末端顺序地启动两组径向相对的电极，减轻了管子末端加热的不规则性。

如果交替的电流受控，图 4 中示出的电极 22 - 25 和 22A - 25A 可以同时压在间隔的管子末端 21 和 21A 上，例如使用晶闸管控制电

流,使在所述周期的第一部分,径向相对的电极对 22A 和 23 输送正电流,如图 4 中的 + 号所示,但其他电极 22 和 23A 输送负电流,如图 4 中的 - 号所示。另一方面,在所述交流周期的第二部分,电极对 22A 和 23 输送负电流,但其他电极 22 和 23A 向管子 21 和 21A 输送正电流,因此,以基本上均匀的方式加热管子的末端 32 和 32A 和对角分隔壁 29, 29A 的末端。

加热的管子末端 32, 32A 和对角分隔壁 29, 29A 的温度可以通过高温红外温度传感器监控,当监控的温度适于形成锻焊接头时,管子末端 32, 32A 和对角分隔壁 29 和 29A 的相对端相互挤压,从而形成锻焊接头。管子末端 32, 32A 可以整形而具有小于管子 21, 21A 其他部分的较小壁厚,以补偿在锻焊过程中红热的管子末端 32 和 32A 的变形,而使锻焊的管子 21, 21A 具有均匀的壁厚和内、外径。

在加热阶段且管子 21, 21A 相向移动时,管子末端内部和外部都被封闭在充满由高于 75vol% 的氮气和低于 25vol% 的氢气组成的非爆炸性冲洗气体混和物的空腔 33 中。优选地,用于连接碳钢管 21, 21A 的非爆炸性冲洗气体混和物包含约 5vol% 的氢气和约 95vol% 的氮气。在腔室 33 中管子 21 和 2A 外侧的部分内冲洗气体的压力高于在腔室 33 中管子 21 和 21A 内的部分,这样在整个加热过程中,冲洗气体沿管子 21 和 21A 的管子末端 32, 32A 流动,如箭头 34 所示,直到管子末端锻焊在一起。

冲洗气体中的氢气与待互连的管子 21, 21A 的末端 32, 32A 上的任何氧化皮中的氧反应,使氧化皮至少基本上消除,而以最少量的腐蚀金属夹杂使清洁的金属部分锻焊在一起。

优选地,在整个锻焊过程中,管子末端夹持到夹持装置上,该夹持装置在加热阶段,使管子末端相互保持 1 和 3 毫米之间的预定间隔,且其包括一机械阻挡件,在锻焊过程中,当加热的管子末端已经沿预定的距离相对移动且相互挤入时,阻止加热的管子末端轴向移动,从而可以形成高质量的锻焊接头,且没有加热的管子末端过度变形。

适当的是,电极 22 - 25 和 22A - 25A 也可以启动而对锻焊后的

管子末端进行焊后热处理。在焊后热处理阶段，供应到电极的电力 26 应低于锻焊操作前的加热阶段，且可以与所述红外温度传感器测得的温度一起控制，而使锻焊后的管子末端温度按预定的模式下降。

图 5 至 10 各种多孔导管结构，其末端可以通过使用本发明的三个或多个电极的组件以基本上均匀的方式加热。

图 5 示出了圆柱形管子 50 的端部，其内部被两个相互直交交叉的对角分隔壁 51 分成四个流道。一组 8 个电极以 45 度的间隔分布在管子 50 的外表面周围，该组电极包含 4 个示为方形的主电极 52 和 4 个示为圆形的辅电极 53。主电极 52 和辅电极 53 以交替的方式启动，当主电极启动时，这些主电极 52 主要将高频电流传递到对角分隔壁 51 的末端，而当辅电极 53 启动时，这些辅电极 53 将高频电流传递到管子 50 的壁内。主电极 52 和辅电极 53 顺序启动，直到管子 50 和分隔壁 51 的末端达到预定的温度，然后，加热的管子 50 和分隔壁 51 以基本上与参见图 4 所述的相同方式压在临近的也有两个对角分隔壁（未示出）的另一管子上。

图 6 示出了多孔的管子组件，包含已经焊接到小直径钢管 62 上的大直径钢管 61。一组四个电极 64 以选定的角度间隔压在管子 61 和 62 的外表面上，而使管子 61 和 62 的端部通过电极 64 注入到管子末端的高频电流以基本上均匀的方式加热。通过变化供应到各电极 64 的电力和电压，和/或周期性地启动不同的电极对 64，可以进一步改善管子末端的均匀加热。

图 7 示出了多孔的管子组件，包含已经焊接到小直径钢管 72 上的大直径钢管 71。一组四个电极 74 以选定的角度间隔压在管子 71 和 72 的外表面上。电极 74 的极性连续交替变化，而使基本上均匀的高频电流经过电极 74 之间的管段末端，从而以基本上均匀的方式加热管子 71 和 72 的端部。电极 74 之一通过心轴置于大直径钢管 71 内，在锻焊过程中，该心轴可以插入大直径管子 71，且在锻焊操作结束后从管子内退回。

图 8 示出了多孔的管子组件，包含已经焊接有两个小直径钢管 82

和 83 上的大直径钢管 81。管子末端由一组六个具有不同极性的电极 84 加热，所述电极向相邻电极之间的管段注入高频电流。电极 84 可以周期性地启动，且由晶闸管控制，以便以基本上均匀的方式加热大直径管 81 和小直径管 82，83。

图 9 示出了多孔的管子组件，包含大直径钢管 91 和径向相对地置于大直径管 91 壁上的两对小直径控制管 92 和 93。一组六个电极 94 以选定的角度间隔压在大直径管 91 的外表面上，而使大直径管子 91 和类似的相邻管子的端部以基本上均匀的方式加热，随后，加热的管子末端挤压在一起，形成锻焊接头。

图 10 示出了多孔的管子组件，包含一束焊接在一起的三根钢管 101，102，和 103。管子 101，102，和 103 的端部以基本上均匀的方式由周期性启动的三个电极 104 构成的组件加热，该周期性启动的三相电极 104 如同转动的三相组件。可选地，一组三根其他电极 105 可以置于钢管 101，102，和 103 焊接在一起的位置，以加热位于管束中心区的管段。电极组件 104 和 105 可以交替启动，并且受控，使管子末端以基本上均匀的方式加热。

可以理解，在示出的电极组件中显示的 + 和 - 号仅是图示，当高频电流经过电极进入待焊接的管壁相邻段中时，不同电极的极性按照正弦方式连续变化。

图1

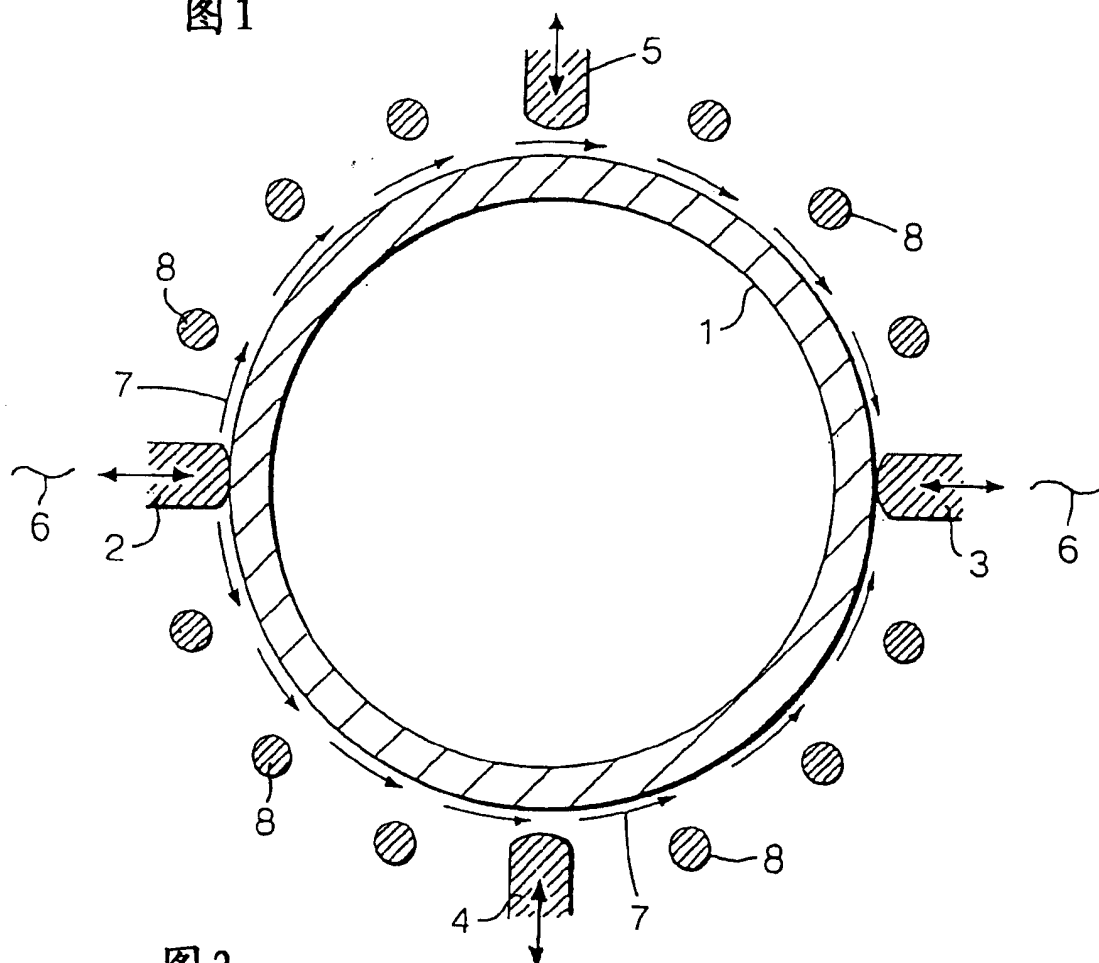


图2

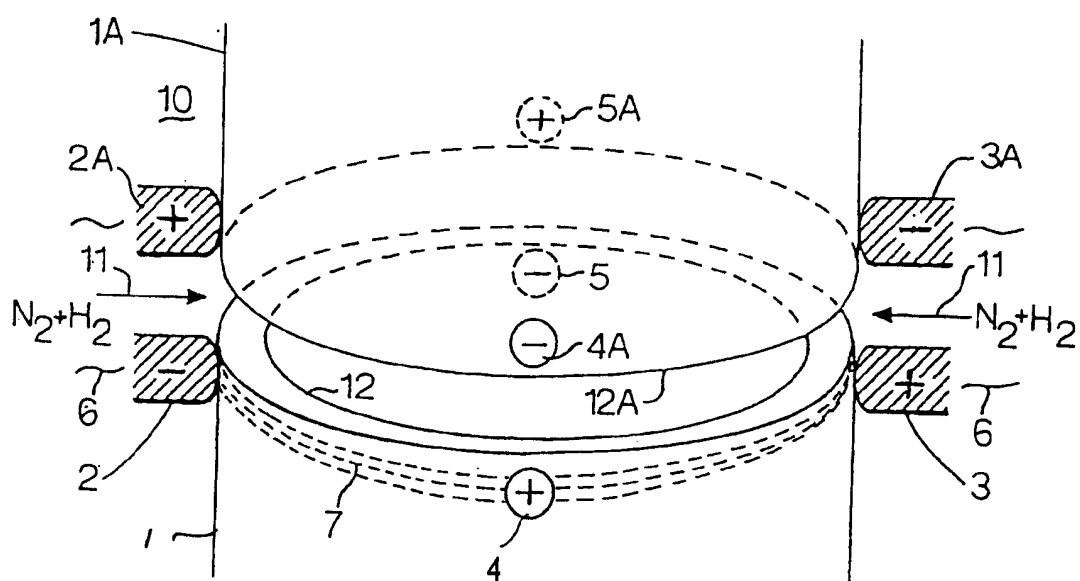


图 3

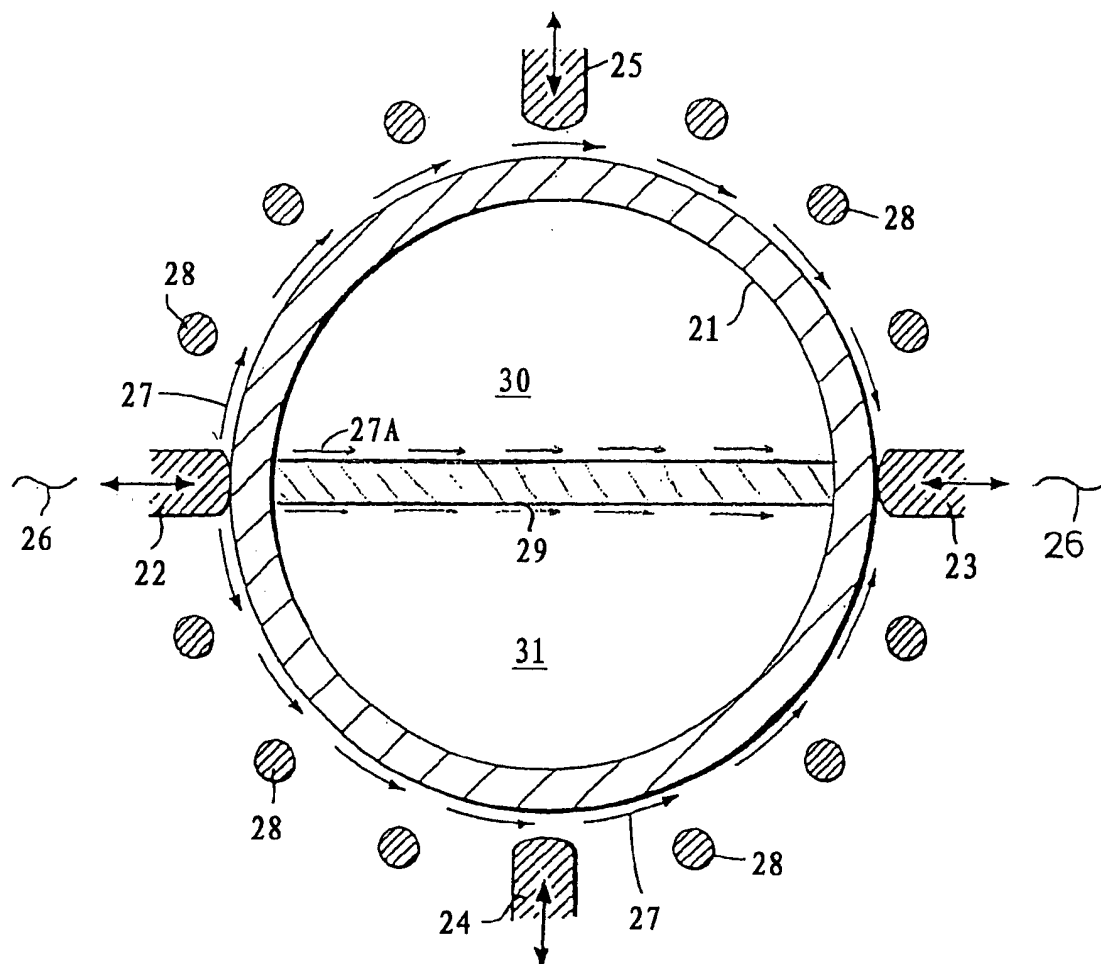


图 4

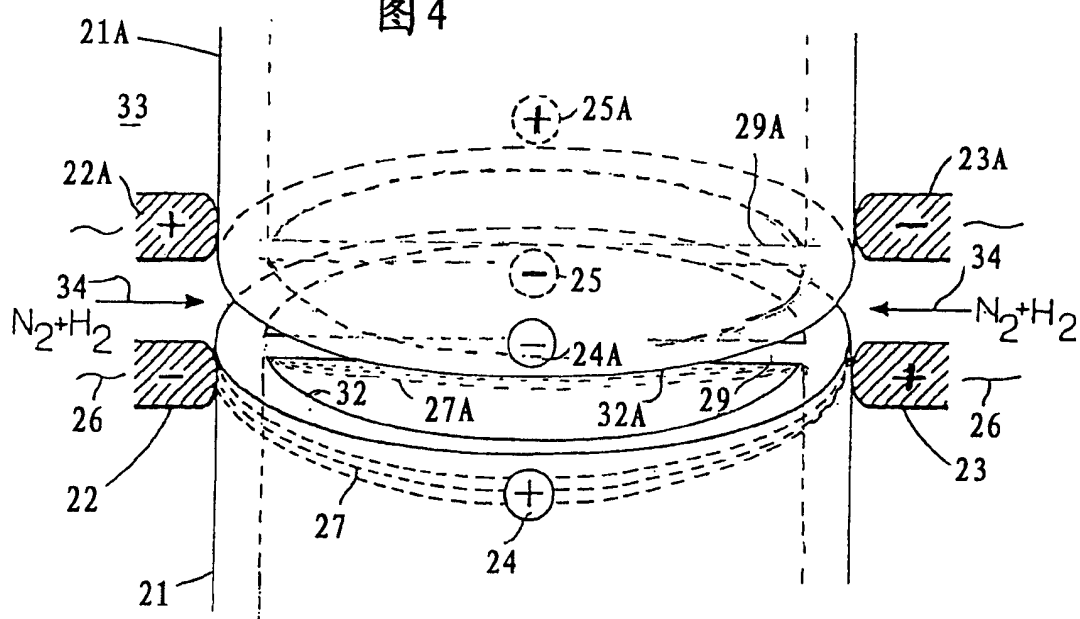


图 5

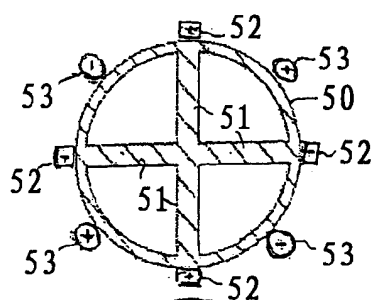


图 6

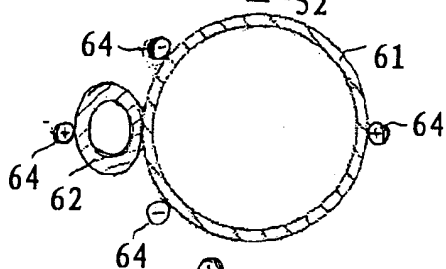


图 7

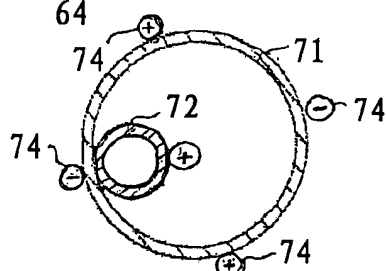


图 8

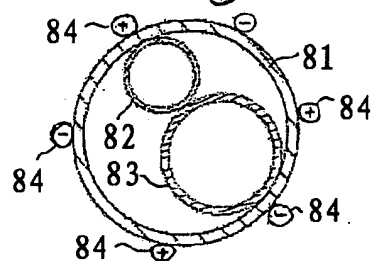


图 9

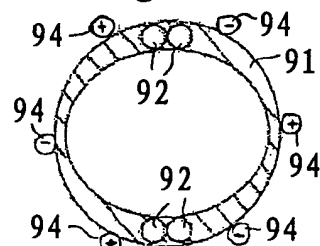


图 10

