



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105246644 A

(43) 申请公布日 2016. 01. 13

(21) 申请号 201480005850. 9

代理人 王茂华

(22) 申请日 2014. 01. 31

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

13/755, 098 2013. 01. 31 US

13/956, 431 2013. 08. 01 US

B23P 6/00(2006. 01)

B23P 6/04(2006. 01)

B23K 26/34(2014. 01)

F01D 5/00(2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2015. 07. 23

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2014/014123 2014. 01. 31

(87) PCT国际申请的公布数据

W02014/121060 EN 2014. 08. 07

(71) 申请人 西门子能源公司

地址 美国佛罗里达州

(72) 发明人 G·J·布鲁克 A·卡梅尔

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所
11256

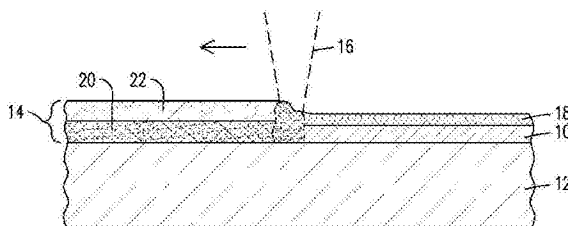
权利要求书2页 说明书9页 附图8页

(54) 发明名称

超合金部件的局部修复

(57) 摘要

一种方法,包括:从服务中除去燃气轮机轮叶(140);除去部件的损坏部分(144)以露出修复表面;使用粉末状超合金材料覆盖修复表面;施加能量束到粉末以熔化该粉末的选定部分,从而形成接合至修复表面的超合金材料的图案化的第一层(116');使用附加量的粉末状超合金材料覆盖超合金材料的第一层的至少一部分;施加能量束到附加量的粉末状超合金材料,以形成接合至第一层的超合金材料的第二层;重复覆盖和施加步骤,直到超合金材料层形成部件的新的部分,以替换损坏部分;和使轮叶(140)恢复服务。损坏部分可以属于蜂窝状结构(148)。



1. 一种方法,包括:
除去燃气涡轮发动机部件的密封件的损坏部分;并且
通过选择性地加热超合金材料粉末的连续层的相应区域,以形成呈所述密封件的新部分的形状的相应的沉积的超合金材料层,来形成代替所述损坏部分的所述密封件的所述新部分。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述密封件的所述新部分包括蜂窝状结构。
3. 根据权利要求1所述的方法,其中在被除去之前,所述密封件的所述损坏部分通过钎焊被接合至所述部件,并且所述密封件的所述新部分被接合至所述部件而没有任何中间钎焊材料。
4. 根据权利要求1所述的方法,其中所述密封件包括被钎焊到燃气涡轮发动机的轮叶的超合金护罩的下侧的蜂窝状超合金材料,所述方法还包括:
仅除去所述密封件的超合金材料的损坏部分,以露出修复表面而不除去下面的钎焊材料;和
将所述密封件的所述新部分形成到在所述下面的钎焊材料上方的所述修复表面上。
5. 根据权利要求1所述的方法,其中所述密封件包括被钎焊到燃气涡轮发动机的轮叶的超合金护罩的下侧的蜂窝状超合金材料,所述方法还包括:
除去所述密封件的超合金材料的损坏部分并除去下面的钎焊材料;和
将所述密封件的所述新部分形成到所述护罩上,而不形成中间钎焊材料。
6. 根据权利要求1所述的方法,其中所述密封件包括被钎焊到燃气涡轮发动机的轮叶的超合金护罩的下侧的蜂窝状超合金材料,所述方法还包括:
除去所述密封件的超合金材料的损坏部分并除去下面的钎焊材料并且除去所述超合金护罩的一部分以暴露修复表面;和
将所述密封件的所述新部分形成到所述修复表面上,而不形成中间钎焊材料。
7. 一种燃气涡轮发动机轮叶,其通过权利要求3所述的方法被修复以包括被接合至护罩而没有中间钎焊的超合金蜂窝状密封件。
8. 一种方法,包括:
从服务中除去燃气轮机热气通路部件;
除去所述部件的损坏部分以露出修复表面;
使用粉末状超合金材料覆盖所述修复表面;
施加能量束到粉末以熔化所述粉末的选定部分,从而形成被接合至所述修复表面的超合金材料的图案化的第一层;
使用附加量的粉末状超合金材料覆盖超合金材料的所述第一层的至少一部分;
施加所述能量束到所述附加量的粉末状超合金材料,以形成被接合至所述第一层的超合金材料的第二层;
重复所述覆盖和所述施加步骤,直到超合金材料层形成所述部件的新部分,以代替所述损坏部分;和
使所述部件恢复服务。
9. 根据权利要求8所述的方法,其中所述部件是燃气轮机轮叶,并且所述损坏部分是蜂窝状密封件。

10. 根据权利要求 8 所述的方法,其中所述部件是燃气轮机叶片,并且所述损坏部分是叶片尖端密封件。

11. 根据权利要求 8 所述的方法,其中除去所述部件的损坏部分的步骤包括除去超合金密封构件的一部分和下面的钎焊层以露出所述修复表面作为所述部件的超合金基底;和形成所述新部分作为直接沉积到所述超合金基底上的新的超合金密封构件,而没有中间钎焊层。

12. 一种燃气涡轮发动机部件,其通过权利要求 11 所述的方法被修复。

超合金部件的局部修复

[0001] 本申请是 2013 年 1 月 31 日提交的未决美国专利申请号为 13/755098(代理人案卷编号为 2012P28301US) 的部分继续申请案,该未决美国专利申请继而是 2011 年 1 月 13 日提交的美国专利申请号为 13/005656(代理人案卷编号为 2010P13119US,公开号为 US2012/0181255 A1) 的部分继续申请案,这两个美国申请都通过引用的方式并入本文。

技术领域

[0002] 本发明一般涉及金属接合领域,并且更具体涉及用于修复由超合金材料制成的部件的方法。

背景技术

[0003] 取决于被焊接的材料类型,焊接工艺变化相当大。一些材料在各种条件下更容易焊接,而其他材料需要特殊处理,以实现结构上完好的接合,而不使周围基底材料退化。

[0004] 普通电弧焊通常利用自耗电极作为进给材料。为了给焊池内的熔融材料提供大气保护,惰性保护气体或焊剂材料当焊接许多包括例如钢、不锈钢以及镍基合金的合金时可以被使用。惰性以及惰性和活性组合气体处理包括气体保护钨极电弧焊 (GTAW) (也称为钨惰性气体 (TIG)) 和气体保护金属极电弧焊 (GMAW) (也称为金属惰性气体 (MIG) 和金属活性气体 (MAG))。焊剂保护过程包括其中焊剂被普通进给的埋弧焊 (SAW),其中焊剂被包括在电极的芯中的药芯焊丝电弧焊 (FCAW),和其中焊剂被涂覆在填料电极外部上的自动保护金属极电弧焊 (SMAW)。

[0005] 利用能量束作为热源进行焊接也是已知的。例如,激光能量已经被用于将预放置不锈钢粉末熔化到碳钢基底上,该碳钢基底具有粉末状焊剂材料,从而提供熔池的屏蔽。

[0006] 焊剂粉末可以与不锈钢粉末混合,或者作为单独的覆盖层施加。以本发明人的知识,当焊接超合金材料时,焊剂材料没有被使用。

[0007] 应该认识到,由于超合金材料对焊接凝固、裂纹和应变时效裂纹的敏感性,超合金材料是最难焊接的材料之一。术语“超合金”在本文中被使用,因为它是本领域通常使用的;即在高温下表现出优异的机械强度和抗蠕变的高度耐腐蚀和耐氧化的合金。超合金通常包括高的镍或钴含量。超合金的例子包括以商标和品牌名哈氏合金、铬镍铁合金(例如 IN738、IN792、IN939)、雷内合金(例如 Rene N5、Rene80、Rene 142)、海恩斯合金、Mar M、CM 247、CM 247LC、C263、718、X-750、ECY 768、282、X45、PWA 1483 和 CMSX(例如 CMSX-4)单晶合金出售的合金。

[0008] 一些超合金材料的焊接修复已通过预热材料到非常高的温度(例如到高于 1600° F 或 870°C),以在修复过程中显著提高材料的延展性而成功实现。这种技术被称为热匣焊接或以升高温度超合金焊接 (SWET) 的焊接修复,并且它通常使用手动 GTAW 工艺完成。然而,热匣焊接受到维持均匀的部件处理表面温度的困难和维持完整的惰性气体保护的困难,以及强加在这种极端的温度下在部件附近工作的操作者上的身体困难的限制。

[0009] 一些超合金材料的焊接应用可以使用冷却板限制基底材料的加热来进行;从而限

制基底热效应的出现和引起开裂问题的应力。然而,这种技术对于许多其中零件的几何结构不便于使用冷却板的修复应用是不实际的。

[0010] 图 6 是一个常规的图,其示出了作为各种合金的铝和钛含量的函数的各种合金的相对焊接性。诸如铬镍铁合金 IN718 的合金,其具有相对较低的这些元素的含量,并必然具有相对较低的 γ' 含量,被认为是相对可焊接的,虽然这种焊接通常被限制于部件的低应力区域。诸如铬镍铁合金 IN939 的合金,具有相对较高的这些元素的含量,通常不被认为是可焊接的,或仅能利用上面讨论的特殊程序被焊接,这提高了材料的温度 / 延展性并使过程的热输入最小化。虚线 80 指示可焊性区域的认可的上边界。线 80 与竖直轴上的 3wt% 铝相交,与水平轴上的 6wt% 钛相交。可焊性区域以外的合金被公认为是使用已知工艺非常难以或不可能焊接的,并且具有最高铝含量的合金一般被发现是最难以焊接的,如由箭头所指示的。

[0011] 还已知的是,利用选择性激光熔化 (SLM) 或选择性激光烧结 (SLS) 熔化一薄层超合金粉末颗粒到超合金基底上。在激光加热过程中,通过施加诸如氩气之类的惰性气体,将熔池从大气屏蔽。这些工艺倾向于捕获氧化物(例如铝和铬的氧化物),它们附着在沉积的材料层内的颗粒的表面上,从而造成孔隙率、夹杂物,和与被捕获的氧化物相关联的其他缺陷。后处理热等静压 (HIP) 经常被用来使这些空隙、夹杂物和裂纹坍塌,以便改善沉积的涂层的特性。由于预先放置的粉末的要求,这些方法的应用还限于水平表面。

[0012] 激光微熔覆是有 3D 能力的过程,其通过使用激光束熔化朝向表面指向的粉末流将小的、薄的材料层沉积在表面上。该粉末通过气体喷流被朝向表面推进,而当粉末是钢或合金材料时,气体是从大气中的氧气屏蔽熔融合金的氩气或其它惰性气体。激光微熔覆受其诸如在 1 至 6cm³/hr 的数量级的低沉积速率限制。此外,因为保护氩气屏蔽趋于在包覆材料被完全冷却之前消散,表面氧化和氮化可能会发生在沉积表面,当多层熔覆材料是必需的以实现期望的熔覆厚度时,这是有问题的。

[0013] 对于一些超合金材料,在非焊接性区域,没有已知的商业可接受的焊接或修复工艺。此外,由于新的和更高合金含量的超合金持续被开发,研发用于超合金材料的商业上可行的接合工艺的挑战继续增长。

附图说明

[0014] 本发明在下面的说明书中基于附图进行说明,所述附图示出了:

[0015] 图 1 示出了使用多层粉末的熔覆工艺。

[0016] 图 2 示出了使用混合层粉末的熔覆工艺。

[0017] 图 3 示出了使用有芯填充焊丝和冷金属电弧焊焊枪的熔覆工艺。

[0018] 图 4 示出了使用有芯填充焊丝和能量束的熔覆工艺。

[0019] 图 5 示出了能量束重叠模式。

[0020] 图 6 是现有技术的图,其示出了各种超合金的相对焊接性。

[0021] 图 7 示出了通过激光微熔覆工艺利用粉末状焊剂材料的超合金熔覆的应用。

[0022] 图 8 是示出根据本发明的各方面的添加剂制造工艺的示意图。

[0023] 图 9A 示出了如本领域已知的被损坏的燃气轮机轮叶蜂窝状密封件。

[0024] 图 9B 示出了图 9A 的蜂窝状密封件,其中被损坏的部分被移除。

[0025] 图 9C 示出了在被修复之后图 9A 的蜂窝状密封件。

[0026] 图 10 是图 9C 的修好的蜂窝状密封件的局部侧剖视图。

具体实施方式

[0027] 应当注意,为了读者的方便,本文的图 1-5 和图 7 示出了本文描述的发明技术的各个方面和应用,并且在下面的图 8、图 9A-9C 和图 10 的描述特别涉及到本发明的技术目前要求保护的用于超合金部件的修复的用途。

[0028] 本发明人已开发了一种材料接合工艺,其可成功地用于熔覆、接合和修复最难以焊接的超合金材料。虽然以前在焊接超合金材料时,焊剂材料未被利用,但是本发明的工艺的实施例在激光微熔覆过程期间,有利地施加粉末状焊剂材料。粉末状焊剂材料有效地提供束能量捕获、杂质清洁、大气屏蔽、焊缝成形和冷却温度控制,以便实现超合金材料的无裂纹接合,而无需高温热匣焊接或冷却板的使用或惰性保护气体的使用。虽然本发明的各种元件在焊接行业已被知悉几十年,本发明人已经创新地开发了用于超合金添加剂制造工艺的组合步骤,其解决了对于这些材料的已知选择性激光熔化和烧结工艺的长期存在的限制。

[0029] 图 1 示出了超合金材料的熔覆层 10 在环境室温下正被沉积在超合金基底材料 12 上,而没有基底材料 12 的任何预热或冷却板的使用的工艺。基底材料 12 例如可以形成燃气涡轮发动机叶片的一部分,并且在一些实施例中熔覆工艺可以是修复程序的一部分。粒状粉末层 14 被预置在基底 12 上,并且激光束 16 跨粉末层 14 穿过以熔化粉末并形成被熔渣层 18 覆盖的熔覆层 10。熔覆层 10 和熔渣层 18 由粉末层 14 形成,其包括由粉末状焊剂材料层 22 覆盖的粉末状超合金材料层 20。

[0030] 焊剂材料 22 和所生成的熔渣层 18 提供了许多有利于防止熔覆层 10 和下面的基底材料 12 开裂的功能。首先,它们的功能是在激光束 16 的下游区域中从大气屏蔽熔融材料和固化的(但仍然是热的)熔覆材料 10 的两个区域。熔渣浮到表面,以从大气中分离熔融或热金属,并且焊剂可被配制以在一些实施例中产生保护气体,从而避免或最小化昂贵的惰性气体的使用。第二,熔渣 18 用作允许固化的材料缓慢且均匀地冷却的覆盖层,从而减少可能有助于焊后再加热或者应变时效裂纹的残余应力。第三,熔渣 18 有助于使熔融金属池成形,以保持它接近于期望的 1/3 的高度/宽度比。第四,焊剂材料 22 提供清洁效果,用于除去有助于焊接凝固裂纹的痕量杂质,诸如硫和磷。这种清洁包括金属粉末的脱氧。因为焊剂粉末与金属粉末的紧密接触,这对实现此功能特别有效。最后,该焊剂材料 22 可提供能量吸收和捕获功能,以更有效地将激光束 16 转换成热能,从而有利于在该过程期间热量输入的精确控制,诸如在 1-2% 内,和所形成的材料温度的严格控制。另外,焊剂可以被配制成在处理期间补偿挥发元素的损失或积极促进否则不由金属粉末本身提供的元素沉积。总之,这些工艺步骤对迄今为止仅被认为使用热匣工艺或通过冷却板的使用可接合的材料,在室温下产生在超合金基底上的超合金熔覆层的无裂纹沉积。

[0031] 图 2 示出另一个实施例,其中超合金材料的熔覆层 30 正被沉积到超合金基底材料 32 上,其在本实施例中所示为具有多个柱状晶粒 34 的定向结晶材料。在本实施例中,粉末层 36 被预置或供给到基底材料 32 的表面上,作为包括粉末状合金材料 38 和粉末状焊剂材料 40 两者的混合物的均匀层。粉末层 36 的厚度在一些实施例中可以是一至几个毫米,而

不是在已知的选择性激光熔化和烧结工艺的情况下典型的几分之一毫米。典型的粉末状现有技术焊剂材料具有例如范围从 0.5 至 2 毫米的颗粒尺寸。然而,粉末状合金材料 38 可具有从 0.02 至 0.04 毫米或 0.02 至 0.08 毫米或其内的其他子范围的颗粒尺寸范围(筛网尺寸范围)。在筛网尺寸范围内的这种差异可以在图 1 所示的实施例中很好地工作,其中材料构成单独的层;然而,在图 2 所示的实施例中,对于粉末状合金材料 38 和粉末状焊剂材料 40,有利的是,具有重叠的筛孔尺寸范围或具有相同的筛孔尺寸范围,以便有利于粉末的混合和供给并在熔化过程期间提供改善的焊剂覆盖。

[0032] 在图 2 的实施例中,能量束 42 是具有大致矩形横截面形状的二极管激光束,但是其它已知类型的能量束,例如电子束、等离子束、一个或多个圆形激光束、扫描激光束(扫描的一维、二维或三维)、集成的激光束等,也可以被使用。对于具有相对大的待熔覆的面积,诸如对于修复燃气涡轮发动机叶片的尖端,矩形形状可以是特别有利的。由二极管激光器所产生的宽面积束有助于减少焊接热输入、热影响区、从基底的稀释和残余应力,所有这些都降低了正常与超合金修复相关联的裂纹效果的倾向。用来产生宽面积激光曝光的光学条件和硬件光学器件可以包括但不限于:激光束的散焦;在焦点产生矩形能源的二极管激光器的使用;用于在焦点产生矩形能源的诸如拼接镜之类的集成光学器件的使用;一个或多个维度的激光束扫描(光栅);和可变光束直径(例如对于精细工作在焦点处 0.5 毫米变化至对于不太精细工作在焦点处 2.0 毫米)的聚焦光学器件的使用。光学器件和/或基底的运动可以被编程,如在选择性激光熔化或烧结工艺中一样,以建立自定义形状层沉积。该工艺相比已知激光熔化或烧结工艺的优点包括:在每个处理层中的高沉积率和厚沉积;在热沉积金属上方延伸的改进的屏蔽,而不需要惰性气体;焊剂将提高否则会导致凝固裂纹的组分沉积的清洁;焊剂将提高激光束的吸收并最小化回到处理设备的反射;熔渣的形成将成形并支撑沉积,保存热量,减慢冷却速度,从而减少否则在焊后热处理过程中有助于应变时效(再热)裂纹的残余应力;焊剂可以补偿元素损失或添加合金元素;并且粉末和焊剂预置或供给可有效地选择性地,因为沉积厚度大大减少了整个部件构造所涉及的时间。

[0033] 图 2 的实施例还示出了基合金供给材料 44 的使用。供给材料 44 可以是丝或条的形式,其被朝向基底 32 供给或振荡,并被能量束 42 熔化以有助于熔池。若需要,供给材料可被(例如电)预热,以减少从激光束所需的总能量。虽然将一些超合金材料形成为丝或条的形式很困难或不可能,诸如纯镍或镍-铬或镍-铬-钴之类的材料以这些形式是容易利用的。在图 2 所示的实施例中,基合金供给材料 44、粉末状合金材料 38 和粉末状焊剂材料 40 被有利地选择,使得熔覆材料层 30 具有所期望的超合金材料的组成。填充材料可以仅是限定了所期望的超合金材料的元素组成的元素的可挤压子集,并且粉末状金属材料包括在填充材料中补充元素以完成限定所期望的超合金材料的元素组成的元素。填充材料和粉末状金属材料在熔池内被结合以形成期望的超合金材料 30 的修复表面。如图 1 所示,该工艺产生了保护、成形和热绝缘熔覆材料层 30 的熔渣层 46。

[0034] 图 3 示出了一个实施例,其中超合金材料层 50 使用冷金属电弧焊焊枪 54 被沉积到超合金基底 52 上。焊枪 54 被用于供给和熔化填充材料 56,所述填充材料 56 具有包括填充有粉末状材料 59 的中空金属护套 57 的有芯丝或条状材料的形式。粉末状材料 59 可以包括粉末状金属合金和/或焊剂材料。有利的是,金属护套 57 由可以方便地形成中空形

状的材料,如镍或镍铬或镍-铬-钴形成,并且粉末状材料 59 被选择为使得当填充材料 56 被熔化时,所期望的超合金组成被形成。护套含有足够的镍(或钴),以获得所期望的超合金组成,从而护套对粉末状芯材的固固比可以被保持在例如 3:2 的比例。电弧的热量熔化填充材料 56,并形成被熔渣层 58 覆盖的期望的超合金材料层 50。粉末状焊剂材料可以被提供在填充材料 56 中(例如芯体积的 25%),或它可以被预先放置或沉积到基底 52 的表面(未示出-见图 2),或两者都有。在各种实施例中,焊剂可以是导电的(电渣)或不导电的(埋弧焊),并且它可以是化学中性的或添加剂。如前,填充材料可以被预热以降低在这种情况下从冷金属弧焊枪所需要的过程能量。焊剂的使用会提供屏蔽,从而降低或消除通常在冷金属电弧处理中所需要的惰性或部分惰性气体的需要。

[0035] 图 4 示出了一个实施例,其中超合金材料层 60 使用用于熔化填充材料 66 的诸如激光束 64 之类的能量束,被沉积到超合金基底 62 上。如以上参照图 3 所述,填充材料 66 包括金属护套 68,其由可方便地形成中空形状的材料构成,所述材料诸如为镍或镍铬或镍-铬-钴,并且粉末状材料 70 被选择为使得当填充材料 66 被激光束 64 熔化时,所期望的超合金组成被形成。粉末状材料 70 可以包括粉末状焊剂以及合金元素。激光束 64 的热量熔化填充材料 66,并形成被熔渣层 72 覆盖的所期望的超合金材料层 60。如前,填充材料可被预热以降低在这种情况下从激光束所需的过程能量。

[0036] 填充材料 56、66 的一个实施例被配制为沉积合金 247 材料如下:

[0037] - 护套固体体积大约是总金属固体体积的 60%,并且是纯镍;

[0038] - 芯金属粉末体积为包括足够的铬、钴、钼、钨、铝、钛、钽、碳、硼、锆和铪的总金属固体体积的约 40%;使得当被一起熔化并与来自于护套的纯镍混合时,产生合金 247 组成,其标称重量百分比为铬 8.3、钴 10、钼 0.7、钨 10、铝 5.5、钛 1、钽 3、碳 0.14、硼 0.015、锆 0.05 和铪 1.5;并且

[0039] - 芯焊剂粉末体积代表额外的、大部分非金属的丝体积在尺寸上可能大约等于金属粉末体积并包括 35/30/35 比例的氧化铝、氟化物和硅酸盐。焊剂的筛孔尺寸范围是这样的以在芯金属粉末内均匀地分布。

[0040] 对于其中熔化的热量是由电弧提供的实施例,通常在焊剂或保护气体中提供二氧化碳,以便维持电弧稳定性。然而,在熔化过程期间二氧化碳将与钛起反应,并且一些钛将作为蒸汽或氧化物被损失。本发明工艺允许被包含在填充材料中的钛的量,超过在沉积的超合金组成中所期望的钛的量,以补偿这一损失。对于上述合金 247 的例子,包括在芯金属粉末中的钛的量可以从 1% 提高到 3%。

[0041] 根据本文所描述的工艺用于超合金材料的修复工艺可包括通过根据需要研磨以除去缺陷,清洁表面,然后预放置或供给含有焊剂材料的粉末材料层到表面上,然后使能量束跨表面穿过以熔化粉末和表面的上层进入具有浮动熔渣层的熔池,然后使熔池和熔渣固化,来制备待被修复的超合金材料表面。熔化对愈合在基底的表面的任何表面缺陷起作用,从而在通过已知的机械和/或化学工艺除去熔渣时留下更新表面。粉末状材料可以仅是焊剂材料,或对于超合金熔覆材料层被期望的实施例,粉末状材料可包含金属粉末,其作为单独的层被放置在粉末状焊剂材料层下方,或者与粉末状焊剂材料混合,或与焊剂材料结合成复合颗粒,使得熔融在表面上形成熔覆材料层。可选地,供给材料可以条或丝的形式被引入熔池。粉末状金属和供给材料(如果有的话),以及来自可以是中性的或添加剂的焊剂材

料的任何金属贡献,在熔池内被结合,以产生具有所期望的超合金材料组成的熔覆层。在一些实施例中,镍、镍-铬、镍-铬-钴或其它方便挤压的金属被与适当的合金金属粉末结合,以在熔覆层内产生所期望的超合金组成,从而避免将所期望的超合金材料形成为丝或条形式的问题。

[0042] 虽然基底的预加热对于获得可接受的结果不一定是必须的,在一些实施例中在熔化步骤之前,可能希望将热施加到超金基底和/或供给材料和/或粉末上,以便提高基底材料的延展性和/或降低否则熔化填料所需的束能量。一些超合金基底的延展性改善在高于合金熔点的约80%的温度被实现。类似地,冷水夹具可以可选地用于特定的应用,其结合精确的能量束的热输入可以最小化作为熔化工艺的结果在材料中产生的应力。此外,本发明否定了对惰性保护气体的需要,虽然如果愿意的话,补充保护气体可在一些应用中使用。在一些实施例中,如果填充材料4被使用,其可以被预加热。

[0043] 可以被使用的焊剂材料包括市售焊剂,如那些以名称 Lincolnweld P2007、Bohler Soudokay NiCrW-412、ESAB OK 10.16 或 10.90,特殊金属 NT100、Oerlikon OP76、Sandvik 50SW 或 SAS1 销售的。焊剂颗粒可以在使用前被研磨成所期望的较小筛孔尺寸范围。常规可被用于高温应用,例如燃气涡轮发动机的任何当前可用的铁、镍或钴基超合金,可使用本发明的工艺被接合、修复或涂覆,包括上述那些合金。

[0044] 其他变形可以通过供给材料而不是能量束或与能量束结合提供用于熔化的热量。例如,图2的丝或条状供给材料44可被通电以在粉末和焊剂层下方创建电弧,其中丝是以挤压形式可容易获得的材料(即不是超合金材料),并且粉末包括其他在结合的熔池中形成期望的超合金组成所必需的合金元素。可替代地,粉末和焊剂可以被选择为导电的,以便促进对形成超合金熔覆材料层有效的电渣焊过程。在又一个实施例中,与超合金粉末材料混合的焊剂粉末可以采用传统的可选地具有冷却夹具的等离子弧熔覆设备被供给到超合金基底。在各种实施例中,基底、供给材料和/或粉末可被预热。由于使用能量束($\pm 1-2\%$)比使用电极($\pm 10-15\%$)的热量输入的精确程度更高,可以期望的是对于总热量输入的一半以上利用能量束。束能量可以导致埋弧焊或电渣焊法,以在来自基底的最小稀释的情况下启动初始熔池,之后埋弧焊或电渣贡献可以增加沉积量,而没有显著的进一步的基底冲击,从而最小化稀释效应。

[0045] 根据各种实施例,混合埋弧焊焊剂和合金247粉末被预置为从2.5至5.5毫米的深度并被证实在最终焊后热处理后实现无裂纹激光熔覆沉积。从0.6直到2千瓦的镜光纤激光功率水平已与振镜扫描光学器件一起被使用,从而在125毫米/分钟量级的行进速度下使熔池沉积的宽度从3至10毫米。裂纹的不存在已经通过染料渗透测试和沉积截面的金相检验得到证实。应当理解的是,合金247是已知的最难焊接的超合金之一,如图6所示,从而证明本发明对整个范围的超合金组成的可操作性,包括那些铝含量大于3wt%的合金。

[0046] 应该理解的是,当修复超合金基底时,使用粉末状焊剂材料的优点被实现,无论添加剂熔覆材料是否被沉积。在超合金基底上的表面裂纹可以通过使用粉末状焊剂材料覆盖表面,然后加热该表面和焊剂材料以形成具有浮动熔渣层的熔池被修复。在熔渣层的保护下的熔池凝固时,无裂纹的清洁表面将被形成。

[0047] 激光能量可以通过使用具有大致矩形的能量密度的二极管激光器跨表面积被应用。可替代地,当圆形激光束沿基底向前移动时,可以来回光栅扫描该圆形激光束,以实现

区域的能量分布。图 5 示出用于一个实施例的光栅扫描模式,其中具有光斑直径 D 的大致圆形光束被从第一位置 74 移动到第二位置 74', 然后到第三位置 74'' 等等。在方向改变的其位置,束直径模式的重叠量 O 优选在 D 的 25-90% 之间,以便提供材料的最佳的加热和熔化。可替代地,两能量束可以同时被光栅扫描以跨表面区域达到期望的能量分布,其中束模式之间的重叠在各自束直径的 25-90% 的范围内。

[0048] 图 7 示出了利用粉末状焊剂材料的激光微熔覆工艺。

[0049] 一个或多个喷嘴 90a、90b 被用于朝向基底 94 引导含有推进剂气体和粉末状材料的喷射流 92。基底可以是或不是超合金材料,但是有利地可以是位于超出由图 6 的线 80 划界的焊接性区域之外的材料。在喷射流 92 中的粉末状材料可包括熔化时需要从空气中被保护的合金材料 93a, 并且有利地可以包含位于超出由图 6 的线 80 划界的焊接性区域之外的粉末状合金材料。由于粉末状材料被朝向基底 94 的表面推进,其被诸如激光束 96 之类的能量束熔化以形成熔池 98。粉末状材料还包括粉末状焊剂材料 93b, 其与粉末状合金材料 93a 一起熔化, 然后分离并固化以在该过程跨基底 94 的表面穿过时, 在熔覆合金材料层 102 上方形成炉渣层 100。在材料已经使用任何已知的方法被冷却之后, 熔渣 100 被除去。粉末状焊剂材料 93b 提供所有在上面的图 1-4 所示的工艺中有助于它的优点。而且, 因为粉末状焊剂材料 93b 在处理点, 即在熔池本身内提供了保护和脱氧作用, 推进剂气体可以是传统的惰性气体, 如氩气, 或它可以是不太昂贵的氮气或空气。

[0050] 如以上关于图 1-4 所描述的, 在喷射流 92 中粉末状焊剂 93b 和粉末状合金材料 93a 可以具有重叠的筛孔尺寸范围或可以被形成为复合颗粒。因为不需要预先放置粉末, 图 7 的工艺可以被应用到非水平表面上, 并且可以进一步与多轴工具结合使用以将熔覆施加到三维表面, 诸如沿燃气轮机燃烧器的过渡锥体的内表面。在一个实施例中, 图 7 的工艺可以被用来施加硬面或用于海洋应用的不锈钢的耐腐蚀材料。焊剂 93b 与合金 93a 可以从相同的喷嘴被供给, 或者可以从单独的喷嘴 90b、90a 独立地供给。

[0051] 图 7 的工艺克服了用于超合金材料的沉积的传统激光微熔覆的局限性, 因为使用标准的焊后热处理可以实现较高的沉积速率 (诸如在无焊剂添加的情况下使沉积速率加倍), 而没有裂纹。激光束的激光二极管或光栅扫描, 如图 5 所示, 可以促进这种高沉积速率。

[0052] 图 8 示出了根据本发明的一个实施例的添加剂制造工艺, 例如选择性激光烧结或选择性激光熔化, 在此统称为选择性激光加热。添加剂制造装置 110 包括粉末供给部 112 和制作部 114。粉末供给部 112 包含粉末体积 116, 其被诸如辊子 118 之类的粉末供给和分配装置选择性地移动至制作部 114, 所述粉末供给和分配装置跨制作部 114 的制作粉末床 120 的顶部表面输送预定厚度的未处理的粉末 116。扫描系统 122 然后以编程模式跨制作粉末床 120 的表面的部分选择性地扫描诸如激光束 124 之类的能量束, 以选择性地加热 (熔化、局部熔化或烧结) 和固化粉末区域, 从而形成部件 126 的一部分。输送活塞 128 然后向上运动, 使附加粉末 116 可用于辊子 118, 制作活塞 130 向下移动, 以使制作粉末床 120 接收另一层粉末 116, 并且该过程采用对形成期望的部件形状有效的激光束 124 的指引 (indexing) 模式被重复。

[0053] 采用涉及超合金材料的现有技术的选择性激光加热工艺, 粉末状超合金材料在惰性保护气体下被加热, 以保护熔融或部分熔融的粉末 116 免于与空气接触。与此相反, 在图

8 所示的本发明的实施例利用粉末状超合金材料 116' 加粉末状焊剂 116'' 作为粉末 116, 因此加热不必 (虽然它可以可选地) 在惰性保护气体下进行, 因为熔融焊剂提供从空气的必要屏蔽。粉末 116 可以是粉末状合金 116' 和粉末状焊剂 116'' 的混合物, 或者它可以是合金和焊剂的复合颗粒, 如上所述。为了提高处理的精度, 粉末 116 可以具有细筛孔, 例如 20 至 100 微米, 并且焊剂颗粒 116'' 的筛孔尺寸范围可以与合金颗粒 116' 的筛孔尺寸范围重叠或相同。这种颗粒的小尺寸导致每单位体积的大表面积, 并且因此导致对于在合金颗粒表面形成的有问题的氧化物的大的潜能。复合颗粒可通过使用焊剂材料涂覆合金颗粒而最小化这个问题。此外, 熔融的焊剂将提供清洁作用, 以通过形成保护气体, 并通过与氧化物和其它污染物的反应和使它们浮动到其中它们形成容易去除的熔渣 132 的表面来减少熔体缺陷。在下一粉末层 116 被移动到制作粉末床 120 中之前, 熔渣 132 被从各熔化层除去。用于去除融渣的一个装置在 2013 年 1 月 31 日同时提交的美国专利申请号 13/755157 (代理人标签 2012P27618US) 中被描述, 该美国专利申请通过引用并入本文。

[0054] 焊剂 116'' 起光阱作用以协助激光能量的吸收, 并且所得到的熔渣 132 减慢冷却速度并包含过程能量。在一些实施例中, 焊剂 116'' 可被配制成有助于沉积的化学过程。尽管不是必需的, 它可能有利于在加热步骤之前加热粉末 116 和 / 或部件 126。后处理热等静压也不是必须的, 但是可在一些实施例中可能被使用。完成的部件 126 的焊后热处理可以被实施, 其具有低的再热开裂风险, 即使对于如上关于图 6 所述的在焊接性区域范围之外的超合金。

[0055] 图 8 所示的工艺对原始设备制造或零件的快速成型是有用的。此外, 该工艺也可以用于部件修复应用, 诸如用于形成燃气涡轮发动机叶片上的替换叶片尖端, 或用于修复已经从翻修中去除的燃气涡轮发动机轮叶上的蜂窝状密封件。本发明消除了对惰性保护气体的需要, 为紧密公差控制提供了精确的激光加工, 为在选择性激光加热工艺中所用的细超合金粉末上的氧化物这一长期存在的问题提供了解决方案, 并且允许具有超过先前已知的焊接性区域的组成的超合金的无裂纹沉积。

[0056] 图 9A 是燃气涡轮发动机轮叶 140 的护罩的下侧的局部视图, 其示出了起抵靠相对的旋转轴密封件的密封件的作用的蜂窝状结构 142。蜂窝状结构 142 典型地由非常薄的 (70-130 μm) 镍基超合金箔制成, 其钎焊到轮叶 140 的护罩的下侧上。轮叶 140 已被从发动机中的维修去除, 并且具有局部损坏部分 144, 其中蜂窝状结构 142 已经通过机械和 / 或热负荷退化。损坏部分 144 允许增强的轴冷却空气流渗入到热气体路径中, 从而不利地影响发动机的效率。这样的叶片传统上在工厂环境中通过完全除去蜂窝状密封件并在其位置重新钎焊新的蜂窝被修复。由于修复成本高, 如果损坏部分 144 不是太广泛, 损坏的轮叶 140 可以在维修中被保留, 而不管效率损失。

[0057] 图 9B 示出了在损坏部分 144 已经通过任何已知方法, 例如研磨被除去以显示修复表面 146 之后的图 9A 的轮叶 140。被除去以创建修复表面 146 的材料的量优选为足以除去所有受损材料, 但也可以小于整个蜂窝状密封件。在各种实施例中, 材料去除的深度范围可从仅包括蜂窝材料高度的一部分, 或蜂窝材料的整个高度, 或蜂窝材料的整个高度加上钎焊层, 或完全进入在下面的轮叶护罩的基部超合金材料。修复表面 146 是在其上利用上述工艺, 诸如图 1、4、7 和 8 所示的工艺建立新蜂窝状结构的基础。图 9C 示出了轮叶 140, 其具有代替先前去除的损坏部分 144 形成的新蜂窝状结构 148。

[0058] 为了形成新的蜂窝状结构 148, 修复表面 146 覆盖有包括超合金材料 116' 和焊剂材料 116'' 的粉末 116 (如图 8)。能量束 124 然后以预定的模式被施加到粉末以熔化粉末的选定部分, 以形成接合至修复表面 146 并被熔渣层 132 覆盖的超合金材料的图案化的第一层。熔渣 132 从超合金材料的第一层被除去, 并且附加量的粉末 116 然后被用于覆盖超合金材料的第一层。能量束 124 被以预定模式再次施加以形成接合至第一层并被另一熔渣层 132 覆盖的超合金材料的第二层 132。使用粉末覆盖、施加热能并除去熔渣的步骤被重复直到超合金材料层形成代替损坏部分 144 的新的蜂窝状结构 148。这些步骤可以方便地在工厂现场完成, 而不是在制造环境中完成, 因为它们可以在环境温度下被完成, 并且轮叶 140 然后被返回到在燃气涡轮发动机中服务。

[0059] 有利的是, 这种修复工艺可以使用已知的视觉和 3 轴控制系统自动操作, 使得即使是小的修复也可以在部件上被执行, 其否则在现有技术工艺下被恢复服务中而没有修复。此外, 在图 6 中鉴定的很难焊接的超合金材料可以直接被施加到护罩的在下面的超合金材料, 而不需要相对较弱的钎焊材料的中间层。图 10 是图 9C 的修复的轮叶 140 的局部侧面剖视图, 示出了具有通过本文所述的工艺形成以基本上与护罩 152 的在下面的超合金材料成一体, 而没有任何在本领域中所使用的中间钎焊层的壁 150 的新的蜂窝状结构 148。

[0060] 应当理解的是, 粉末状材料的使用有助于功能梯度材料的沉积, 其中沉积材料的组成随时间和空间变化。例如, 如果图 8 的部件 126 是燃气轮机轮叶, 则该轮叶的平台部分可以是第一组成, 并且轮叶的翼面部分可以是不同的第二组成。在其他实施例中, 合金组成可以从产品的内壁变化至外壁, 或从产品内变化至靠近其表面。该合金组成可以响应于预期的需要不同的机械或抗腐蚀特性的操作条件而改变, 并且考虑材料的成本而改变。

[0061] 尽管本发明的各种实施例已被示出和描述, 但是很明显, 这些实施例仅通过示例的方式被提供。许多变化、改变和替换可以被作出而不脱离本发明。因此, 本发明旨在仅由所附权利要求的精神和范围限制。

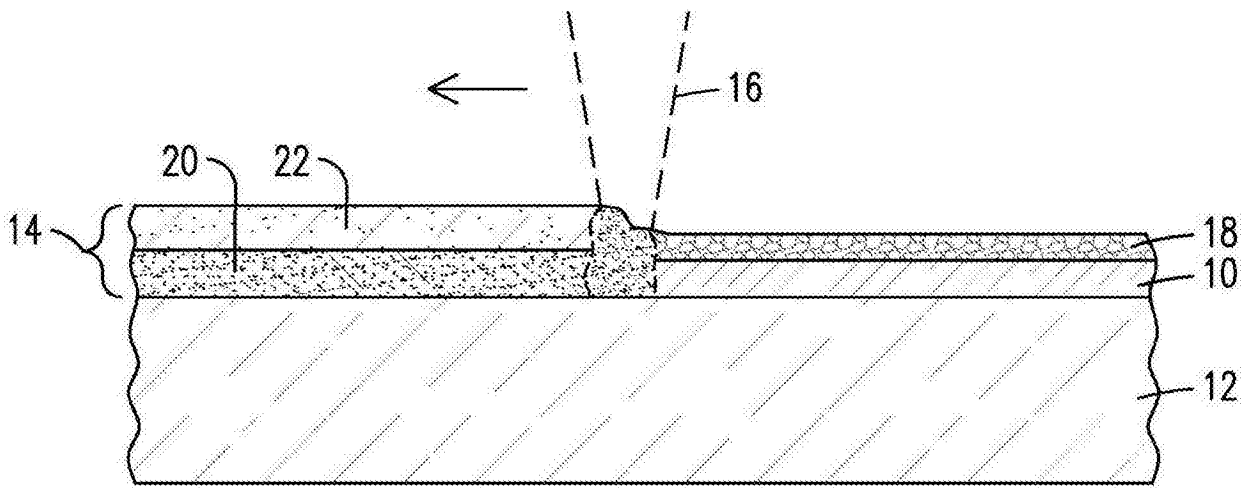


图 1

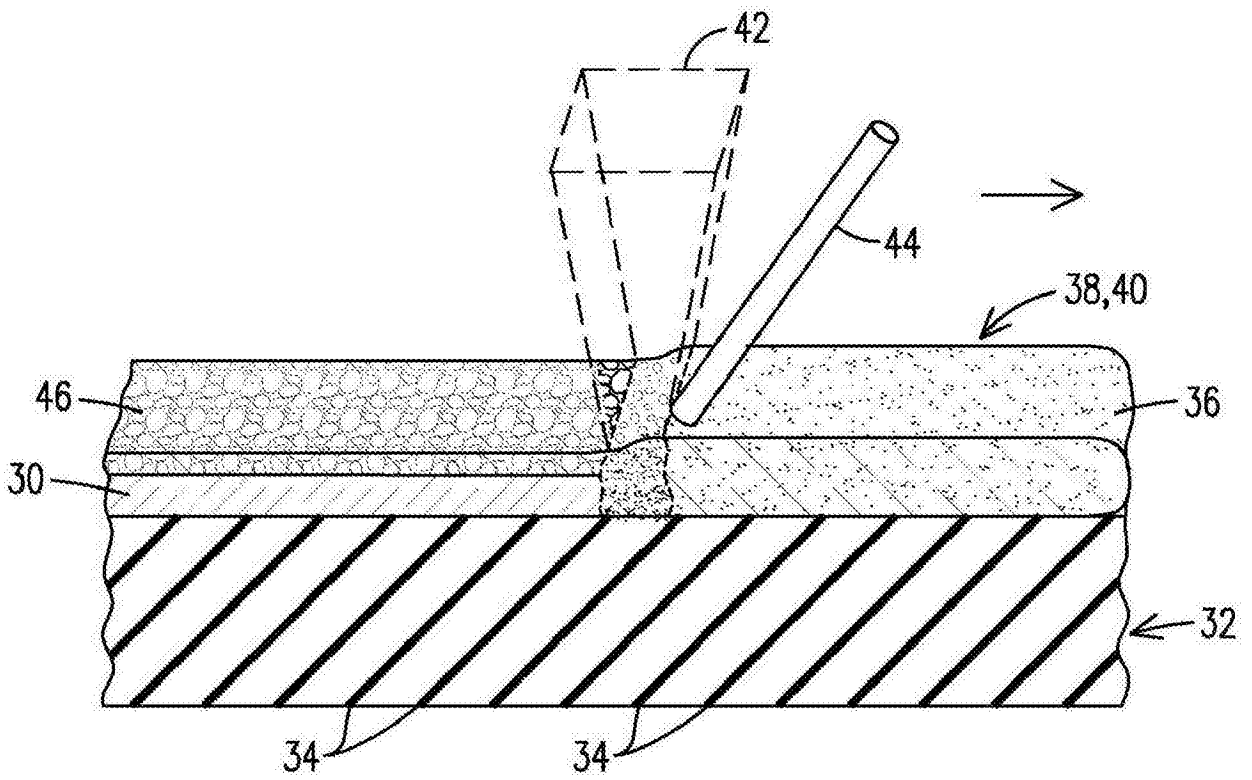


图 2

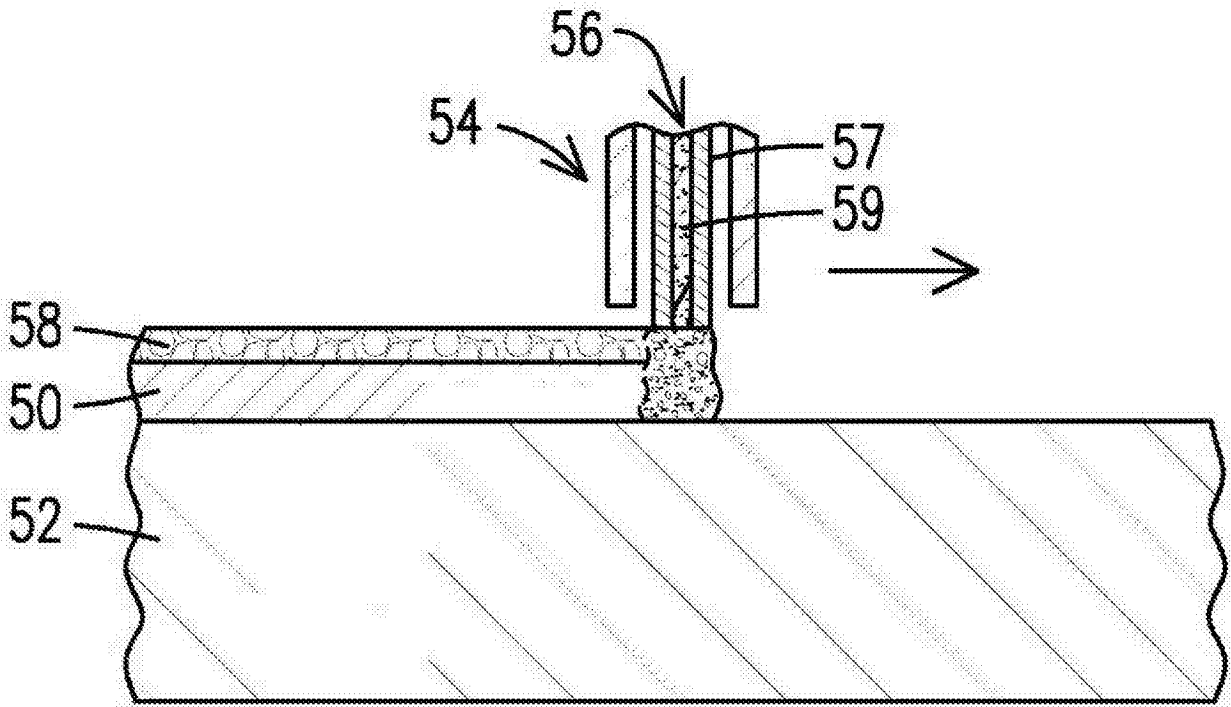


图 3

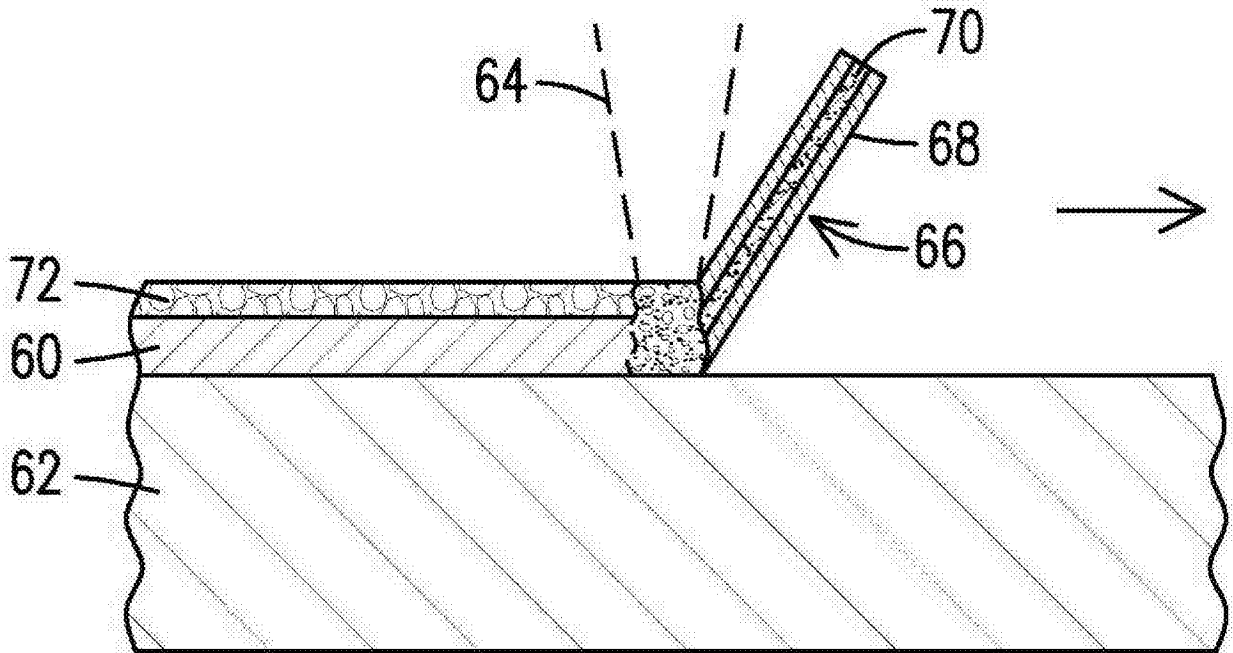


图 4

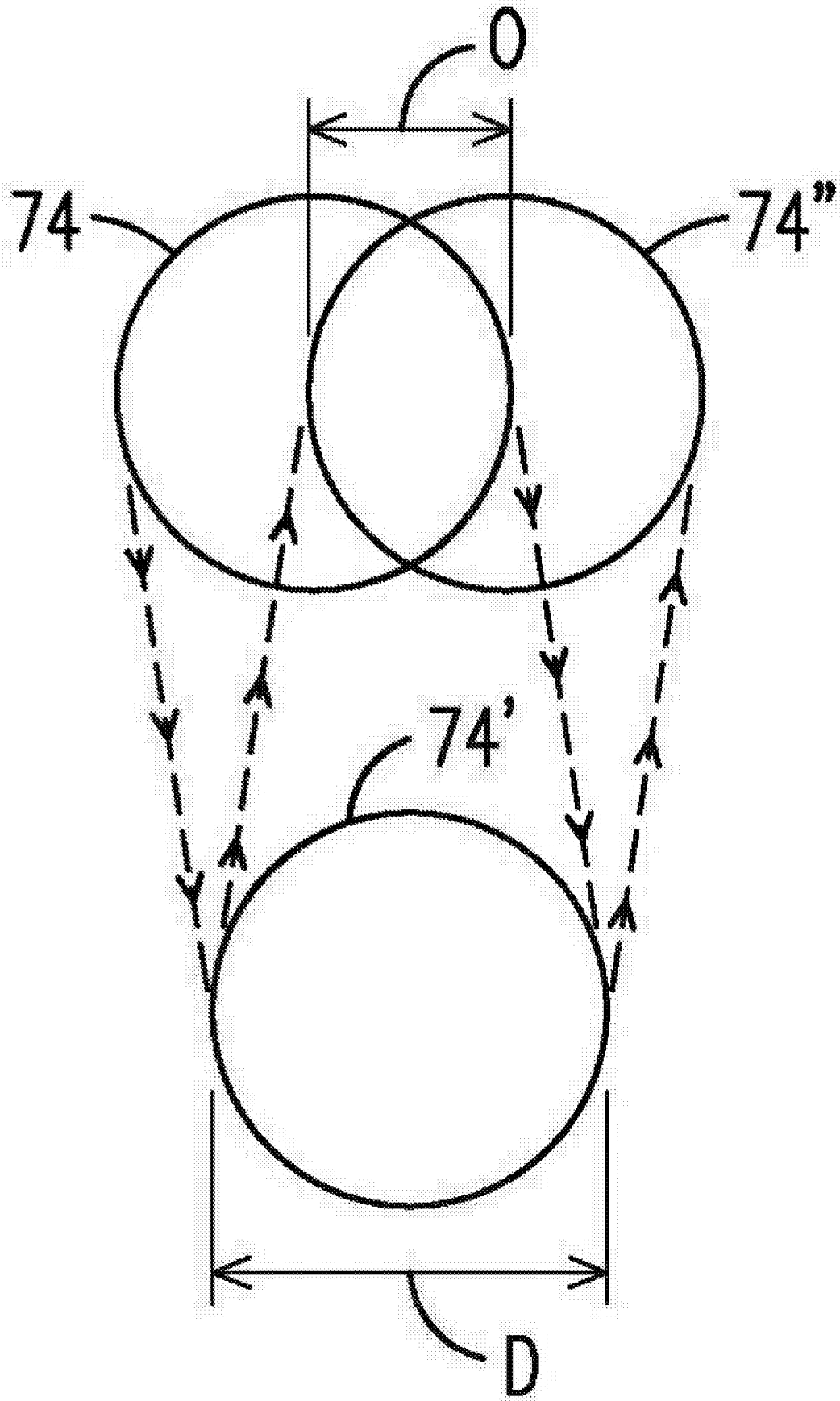


图 5

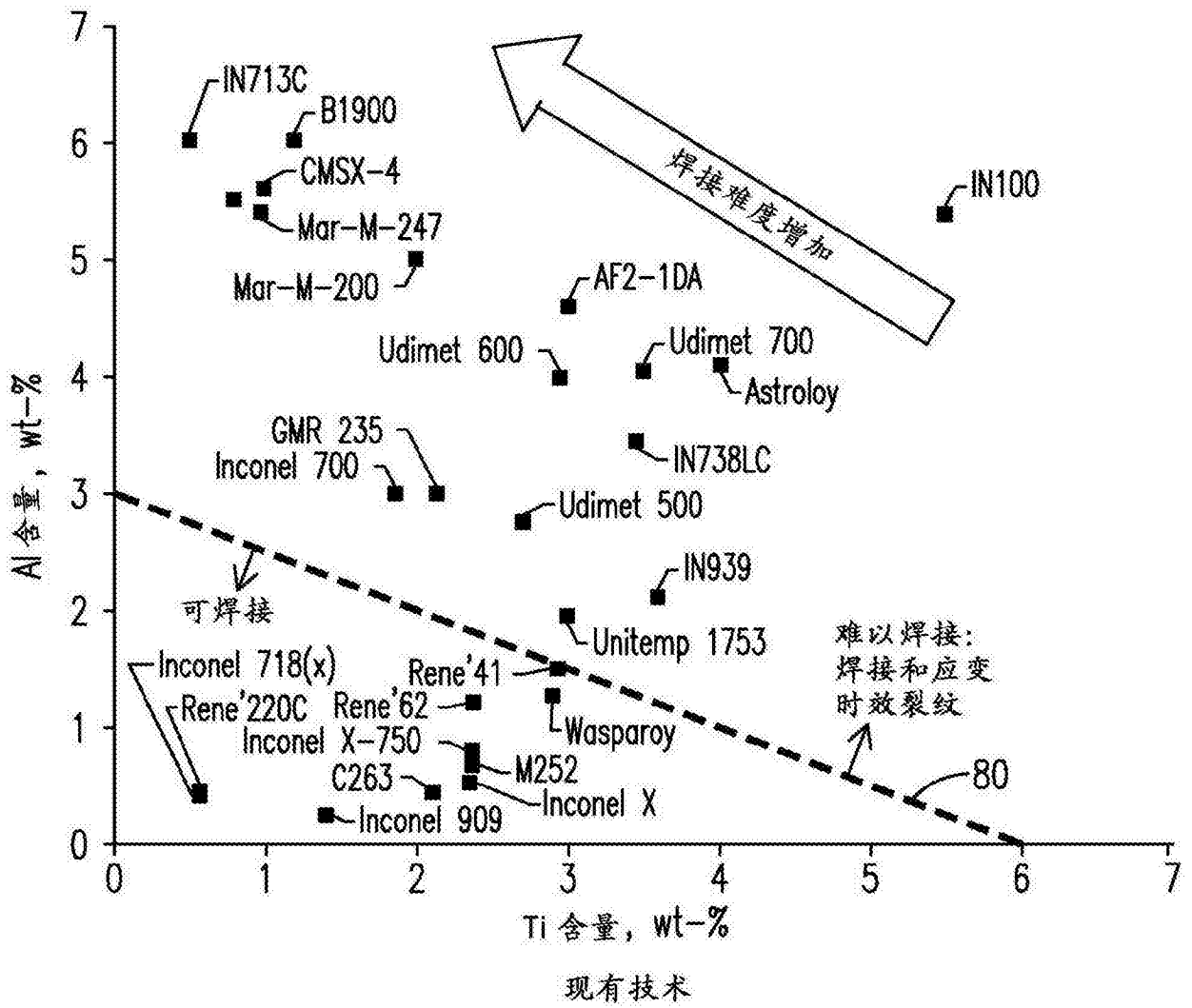


图 6

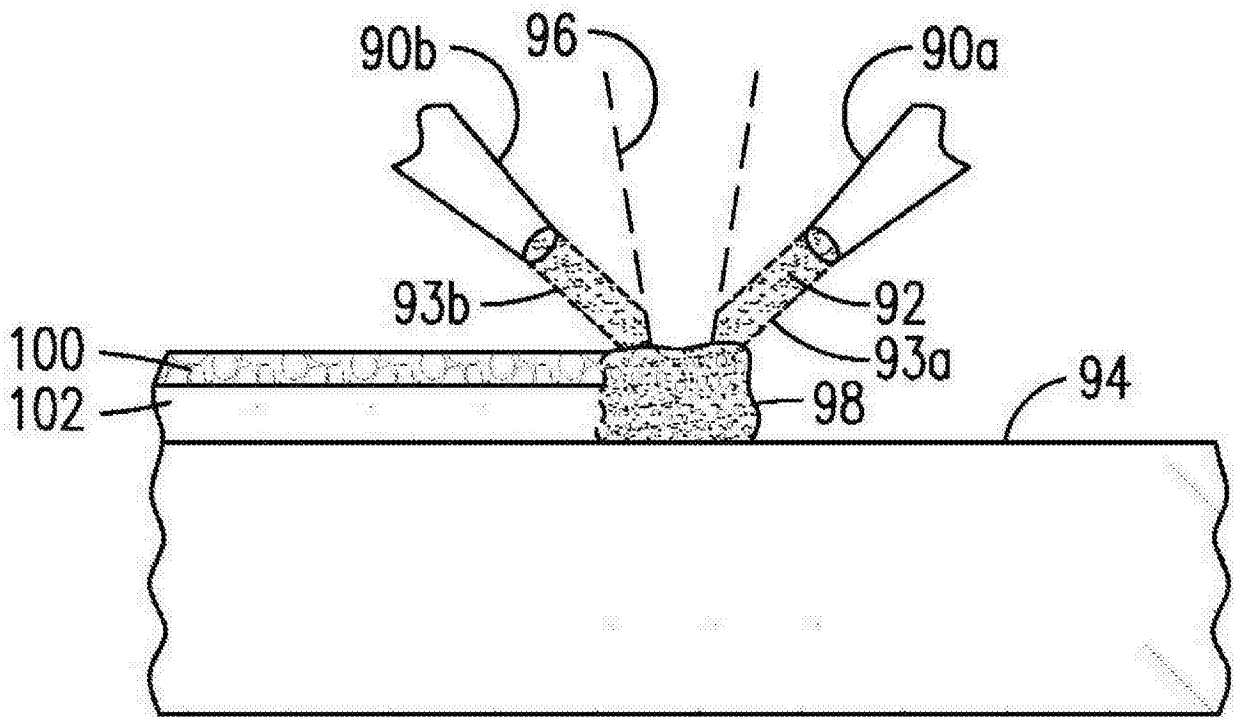


图 7

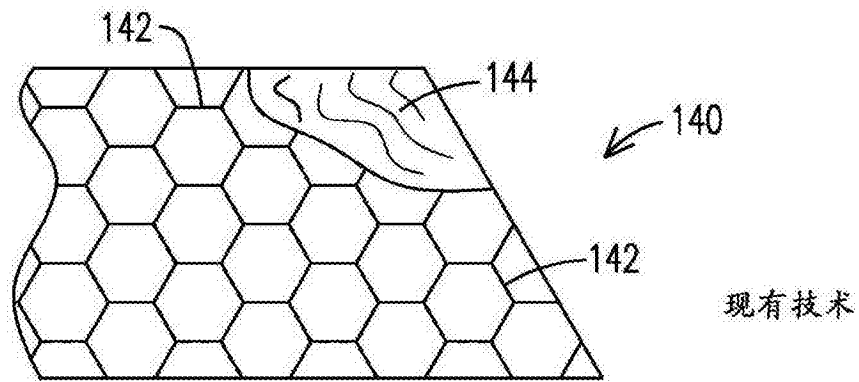


图 9A

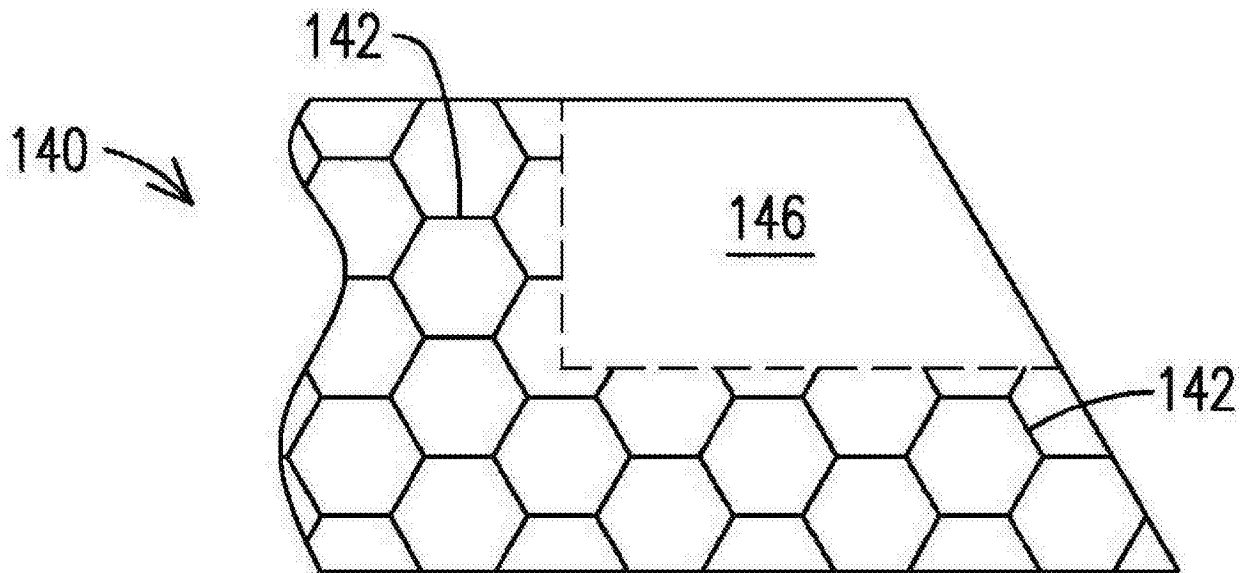


图 9B

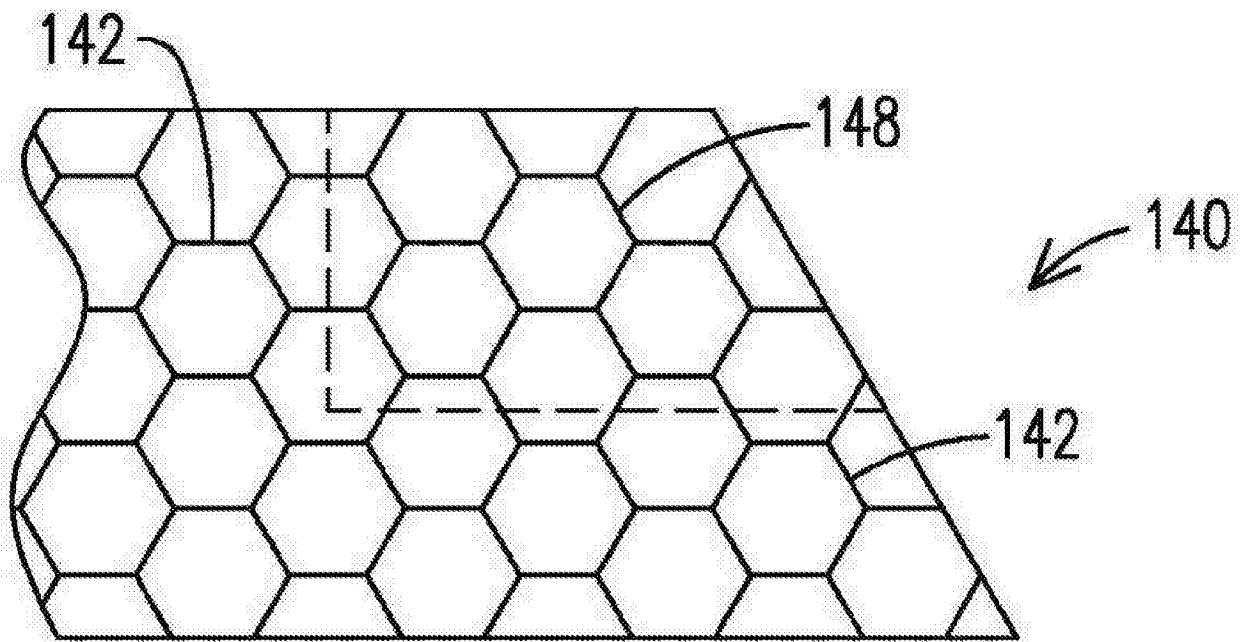


图 9C

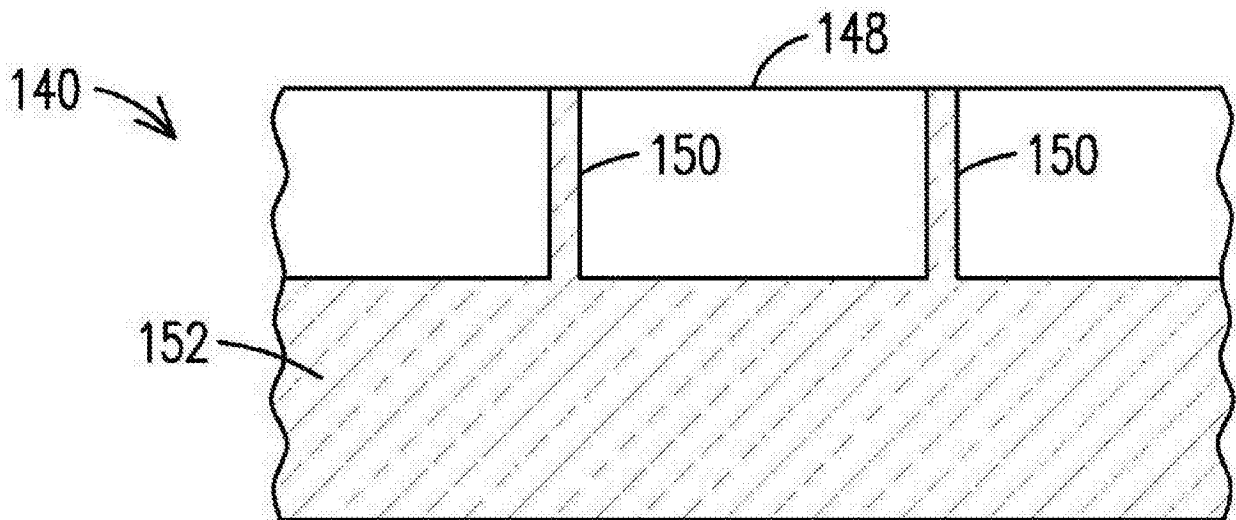


图 10