

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

F01D 5/18

B23P 15/00

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 98810651.5

[43] 公开日 2001 年 1 月 17 日

[11] 公开号 CN 1280648A

[22] 申请日 1998.10.27 [21] 申请号 98810651.5

[30] 优先权

[32] 1997.10.27 [33] US [31] 60/063,640

[86] 国际申请 PCT/US98/22787 1998.10.27

[87] 国际公布 WO99/33605 英 1999.7.8

[85] 进入国家阶段日期 2000.4.27

[71] 申请人 西门子西屋动力公司

地址 美国佛罗里达

[72] 发明人 迈克尔·A·伯克 波拉·D·弗雷耶

默汉·A·赫巴尔 布里杰·B·塞思

加里·W·斯沃茨贝克

托马斯·瓦尔特·扎加尔

[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

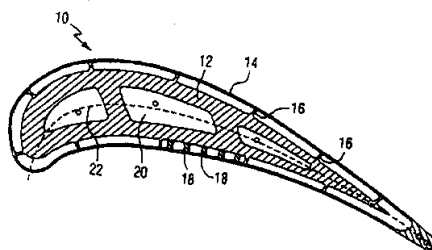
代理人 郑中军

权利要求书 3 页 说明书 17 页 附图页数 2 页

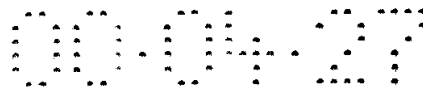
[54] 发明名称 包括接合到超级合金基底上的薄蒙皮的
涡轮机部件

[57] 摘要

高效、薄壁式涡轮机部件(10)包括一个超级合金基座(12),该基底(12)被一薄的蒙皮(14)覆盖。薄的蒙皮(14)可以通过瞬时液相接合法接合到涡轮机叶片翼面的内部翼梁结构上。内部翼梁最好是包括一种铸造单晶镍基超级合金。薄的蒙皮可以包括一种单晶或多晶镍基超级合金。



ISSN 1008-4274



权 利 要 求 书

1. 制造涡轮机部件的方法，包括：

提供一种超级合金基底，该基底包括许多个在其表面上的延伸部分；

将一种薄的蒙皮加到至少一部分基底上；

将薄的蒙皮接合到基底的延伸部分上。

2. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于：各延伸部分从超级合金基底表面延伸约 0.25—6.25mm。

3. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于：各延伸部分从超级合金基底表面延伸约 0.5—1.25mm。

4. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于：各延伸部分从超级合金基底上整体形成。

5. 如权利要求 4 所述的方法，其特征在于：各延伸部分铸成超级合金基底的部件。

6. 如权利要求 4 所述的方法，其特征在于：各延伸部分从超级合金基底上机加工而成。

7. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于：各延伸部分包括基本上是圆柱形销。

8. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于：超级合金基底包括一种镍基超级合金。

9. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于：超级合金包括一种单晶镍基合金。

10. 如权利要求 9 所述的方法，其特征在于：单晶镍基超级合金重量计包括：约 6.6%Cr、约 9.6%Co、约 5.5%Al、约 1%Ti、约 0.6%Mo、约 6.5%Ta、约 6.4%W、约 3%Re、约 0.9%Hf，及余量为 Ni。

11. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于：薄的蒙皮具有厚度约 0.13—2.5mm。

12. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于：薄的蒙皮具有厚度

约 0.25—1.25mm。

13. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于：薄的蒙皮包括一种单晶镍基超级合金。

14. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于：薄的蒙皮包括一种多晶镍基或铁基超级合金。

15. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于：薄的蒙皮包括一种直接固化或直接再结晶的镍基或铁基超级合金。

16. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于：薄的蒙皮包括一种 NiCrAlY 或 CoNiCrAlY 合金。

17. 如权利要求 1 所述的方法，还包括利用瞬时液相接合法将薄的蒙皮接合到基底上。

18. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于：超级合金基底包括一个涡轮叶片翼面的翼梁。

19. 涡轮机部件，包括：

一个超级合金基底；

一个接合到超级合金基底上的薄的蒙皮；

至少一个冷却通道，该冷却通道位于超级合金基底和薄的蒙皮之间。

20. 如权利要求 19 所述的涡轮机部件，其特征在于：超级合金基底包括许多个在其表面上的延伸部分，而薄的蒙皮接合到基底的各延伸部分上。

21. 如权利要求 20 所述的涡轮机部件，其特征在于：各延伸部分从超级合金基底的表面延伸约 0.25—6.25mm。

22. 如权利要求 20 所述的涡轮机部件，其特征在于：各延伸部分从超级合金基底的表面延伸约 0.5—1.25mm。

23. 如权利要求 20 所述的涡轮机部件，其特征在于：各延伸部分从超级合金基底上整体式形成。

24. 如权利要求 23 所述的涡轮机部件，其特征在于：各延伸部分是超级合金基底的铸态部件。

25. 如权利要求 23 所述的涡轮机部件, 其特征在于: 各延伸部分是从超级合金基底上机加工而成。

26. 如权利要求 20 所述的涡轮机部件, 其特征在于: 各延伸部分包括一些基本上是圆柱形销。

27. 如权利要求 19 所述的涡轮机部件, 其特征在于: 基底包括一种镍基超级合金。

28. 如权利要求 19 所述的涡轮机部件, 其特征在于: 基底包括一种单晶镍基超级合金。

29. 如权利要求 28 所述的涡轮机部件, 其特征在于: 单晶镍基超级合金重量计包括: 约 6.6%Cr、约 9.6%Co、约 5.5%Al、约 1%Ti、约 0.6%Mo、约 6.5%Ta、约 6.4%W、约 3%Re、约 0.9%Hf、及余量为 Ni。

30. 如权利要求 19 所述的涡轮机部件, 其特征在于: 薄的蒙皮具有厚度约 0.13—2.5mm。

31. 如权利要求 19 所述的涡轮机部件, 其特征在于: 薄的蒙皮具有厚度约 0.25—1.25mm。

32. 如权利要求 19 所述的涡轮机部件, 其特征在于: 薄的蒙皮包括一种单晶镍基超级合金。

33. 如权利要求 19 所述的涡轮机部件, 其特征在于: 薄的蒙皮包括一种多晶镍基超级合金。

34. 如权利要求 19 所述的涡轮机部件, 其特征在于: 薄的蒙皮包括直接固化或直接再结晶的镍基或铁基超级合金。

35. 如权利要求 19 所述的涡轮机部件, 其特征在于: 薄的蒙皮包括一种 NiCrAlY 或 CoNiCrAlY 合金。

36. 如权利要求 19 所述的涡轮机部件, 其特征在于: 至少一个冷却通道具有厚度约 0.25—6.25mm。

37. 如权利要求 19 所述的涡轮机部件, 其特征在于: 至少一个冷却通道具有厚度约 0.5—1.25mm。

38. 如权利要求 19 所述的涡轮机部件, 其特征在于: 超级合金基底包括一个涡轮叶片翼面的翼梁。

说明书

包括接合到超级合金基底上的薄蒙皮的涡轮机部件

对相关专利申请的引用

本申请要求 1997 年 10 月 27 日提交的美国临时申请 No. 60/063,640 的优先权。

发明领域

本发明涉及涡轮机，更具体地说，涉及涡轮机叶片及其它涡轮机部件，其中包括接合到超级合金基底上的薄蒙皮。

背景资料

在现代高效发电燃汽轮机中应用的现有技术水平的叶片和轮叶，依靠一些优质材料如单晶合金及对部件的内部和外部尺寸的精确控制。由于这些部件的尺寸大，所以通过几种途径来实现高效低成本地制造它们。

固定式燃汽轮机，如高级涡轮机系统 (ATS)，目前正在研制过程中，这类燃汽轮机需要一些用高级材料制造的高效低成本的高性能部件。第一和第二排涡轮叶片和轮叶包括复杂的内部和外部几何形状，并且应该用无缺陷的材料制造。

为了改善工作效率，薄壁结构对现代涡轮叶片的设计是有用的。然而，这类薄壁结构大大抑制了叶片的制造。尤其是，在固定式涡轮机翼面所要求的很长距离内，控制薄壁部分很困难，并导致很低的铸造生产率和很高的部件成本。这些生产率和成本问题特别适用于在 ATS 和下一代涡轮发动机中所要求的单晶合金。

发明概述

按照本发明，高效薄壁式涡轮机部件如涡轮叶片，是通过制造超级合金基底如单晶内部翼梁结构并将薄的蒙皮接合在基底上来制造。例如，一种呈涡轮叶片翼梁形状的基底，可以包括一个波纹状或间歇式升起的表面，如升起的销或壁，薄的蒙皮可以接合到该升起的销或

壁上。薄的蒙皮可以是一种单晶或多晶材料制造，并具有优选厚度约0.025—0.125cm (0.01—0.05 英寸)。利用热处理如瞬态液相接合法和/或热等静压法将蒙皮接合到基底上。

本发明的一方面是提供一种制造薄壁式涡轮机部件的方法。该方法包括以下步骤：提供一种超级合金基底，包括基底表面上的许多个延伸件；将薄的蒙皮加到基底上；及将薄的蒙皮接合到基底的延伸部分上。

本发明的另一方面是提供一种涡轮机部件，该部件包括：一个超级合金基底；一个接合到超级合金基底上的薄蒙皮；及至少一个冷却通道，该冷却通道位于基底和薄蒙皮之间。在一个优选实施例中，基底包括一个用单晶镍基超级合金制成的翼梁。

本发明的这些和另一些方面从下面说明将更加明显。

对附图的简要说明

图1是一种涡轮叶片翼面的横断面视图，它示出一种按照本发明的一个实施例接合到超级合金涡轮叶片翼梁上的薄蒙皮。

图2是按照本发明的一个实施例接合到超级合金基底上的薄蒙皮侧视图。

图3是图2的放大图。

图4是一组不同放大倍数的显微照片，它们示出按照本发明的一个实施例的薄蒙皮和超级合金基底上销之间的结合面。

图5包括两张显微照片，它们示出按照本发明的一个实施例的薄蒙皮和超级合金基底之间的接合面。

详细说明

按照本发明，适合强冷式燃汽轮机叶片用的薄壁式结构，可以通过采用瞬时液相接合法或类似方法，将薄板材制的蒙皮加到中央铸造元件上制造。该方法可以如此控制，以使得接合后的材料显示出一种基本上连续的结构，并且显示在接合区内的性能近似与被接合的金属合金的性能相当。本发明的其中一个实施例包括将单晶蒙皮接合到较厚的单晶基底上。另一个实施例包括将高度抗氧化作用的多晶合金加

到高温、高强度超级合金如单晶镍基超级合金上。在又一个实施例中，薄的蒙皮可以是氧化物弥散强化式(ODS)直接再结晶的镍基或铁基超级合金。

在本发明的其中一个实施例中，铸造没有内芯的涡轮叶片的中央部分，将得到改善了的部件公差和生产能力。为达到所希望的生产率，用多个构件通过接合制造中央部分也可能是很理想的。铸造之后，可以将中央翼梁的表面机加工成精密的外形，并且可以将薄金属板或类似物制的蒙皮方便而准确地加到该中央翼梁的表面上。这就不需要同时控制在单构件铸造过程中必须保持的各种外部和内部公差，并且改善了用于高级涡轮叶片的元件制造总产量。

希望将涡轮叶片制成具有很薄的壁，以便加快部件冷却。该壁将叶片必须耐高应力的部分与必须耐最高温度和耐潜在的环境化学侵蚀的部分有效地分开。

正如此处所用的，术语“涡轮叶片”意指一种固定式燃汽轮机的部件，它包括这种涡轮机的旋转叶片和静叶。旋转叶片通常包括一个叶面部分和一个叶根部分，该叶根部分包括一个平台。静叶通常包括一个中央翼面部分和两个围带部分，可以认为，这两个围带部分与旋转叶片的叶根部分相当。涡轮叶片比较大，最好是具有一个至少约 12 英寸的总长度，一个至少约 4 英寸的翼弦，和至少约 5/16 英寸的翼面厚度。对旋转叶片，叶片的翼面部分的最小长度最好是至少约 7 英寸，而叶片叶根部分的最小长度至少约为 5 英寸。这类旋转叶片的叶根部分最好是具有至少约 3 英寸的宽度。现今的各种涡轮叶片通常具有总长度约 18 英寸，同时翼面部分具有长度约 11 英寸，而叶根部分具有长度约 7 英寸。叶面部分的叶弦通常约为 6 英寸，而翼面部分的厚度通常约为 1 英寸。叶根部分具有典型宽度约为 4 或 5 英寸。对旋转叶片，叶面部分约占叶片总重量的 20%，而叶根部分约占总重量的 80%。现今的各种涡轮叶片最好是重量超过 10 磅，通常约为 20—30 磅。这是与航空涡轮叶片相比，航空涡轮叶片通常重约 2 磅，并具有小得多的尺寸。除了涡轮叶片之外，其它可以按照本发明制造的涡轮部件包

括燃烧器凸轮及高温部分过渡和管道。

图 1 是按照本发明其中一个实施例的涡轮叶片翼面 10 的横断面视图。翼面 10 包括一个基底 12，该基底 12 用任何合适的超级合金，最好是用单晶镍基超级合金制造。将薄的蒙皮 14 接合在基底 12 上。若干在基底 12 和薄蒙皮 14 之间延伸的壁 16，形成多个冷却通道，它们沿着翼面 10 的长度设置。用多个延伸部分将薄的蒙皮 14 接合到基底 12 上，这些延伸部分一般取圆柱销 18 的形状。尽管图 1 中未示出，但各圆柱销 18 基本上是围绕整个基底的外表面设置，以便为薄的蒙皮 14 提供理想数目的接合部位。各圆柱销 18 可以与基底 12 整体式形成，或是与基底 12 分开形成。例如，可以通过铸造各销和基底，由基底 12 整体式形成各销 18，或是通过从基底机加工各销来整体形成。

如图 1 所示，翼面基底 12 可选择地包括至少一个内部通路 20。可以用单个部件铸件形式设置基底 12。对某些涡轮叶片的应用，基底 12 最好是作为两个或多个分开的铸件设置，这些分开的部件随后接合在一起。在这种情况下，可以将基底 12 铸造成为两个分开的构件，将这两个构件沿着翼面的弧线 22 接合。

正如下面更充分说明的，基底 12 最好是用一种超级合金如 MSX-4 或类似物的单晶镍基超级合金制造。薄的蒙皮 14 也可以用单晶镍基超级合金制造。可供选择地，薄的蒙皮 14 可以用一种多晶镍基超级合金或类似物制造。合适的薄蒙皮材料包括直接固化或直接再结晶的镍基或铁基超级合金。而且，薄的蒙皮可以用别的材料制造，诸如：抗氧化和耐腐蚀的 NiCrAlY 或 CoNiCrAlY 型合金、镍基 ODS 合金、铁基 ODS 合金及锻造钴基合金等。例如，合适的蒙皮合金可以包括：IN 718、Hastalloy X、Haynes 236、Inconel 617、Inconel MA754、PM2000 及 Haynes 188。薄的蒙皮材料可以成单层设置或是成多层设置。例如，薄的蒙皮可以包括一个金属底层，在该金属底层上至少涂覆一层绝热层。

薄的蒙皮 14 最好是具有约 0.13—2.5mm (5—100 密耳) 的厚度。更优选的是，薄的蒙皮 14 具有约 0.25—1.25mm (10—50 密耳) 的厚

度。最优选的蒙皮厚度是约 0.5mm (20 密耳)。

基底 12 和薄的蒙皮 14 之间的延伸部分,如图 1 所示的圆柱销 18,最好是从基底 12 的表面延伸约 0.25—6.25mm,更优选的是,各延伸部分从基底 12 的表面延伸约 0.5—1.25mm。这样,在基底 12 和蒙皮 14 之间,形成一个厚度约为 0.25—6.25mm 的间隙,以便提供冷却通道。更优选的是,该冷却通道具有约 0.5—1.25mm 的厚度。

如图 1 所示,高温蒙皮 14 通过一排销 18、翼梁、短壁或类似物与较低温度的基底 12 分开。由于蒙皮是如此之薄,所以关键是使它的厚度保持在高精度公差范围内,以便保持正确的金属温度和热流。通过采用金属板加工法,如直接铸造法或金属板成形法,生产合适的蒙皮,可以生产出将会准确地装配在基底上的成形蒙皮。

在一个实施例中,可以通过直接铸造成形来形成基底,其中包括一些表面伸出部分,要求这些表面伸出部分机械式支承来自蒙皮的载荷转移,及提供足够的气流来冷却蒙皮。基底的表面可以直接形成只需对表面形貌的末端进行最少量机加工/外形加工的形状。

可供选择地,支承件排可以通过一种合适的低应力加工法如电火花加工法 (EDM),或是通过低电流或电化学加工 (ECM),加工固体部分的表面来制造,这样在热处理或使用期间,将不会引起单晶部件的再结晶。该过程最好是可以包括铸造成接近网形形状/外形,并且最终采用诸如 EDM、ECM 或类似的方法精加工成精密的公差。

在一个优选实施例中,采用瞬时液相接合法将薄的蒙皮接合到翼梁结构上。可以将接合箔材作为单块箔材板跨过蒙皮的表面加上,以保证将该接合箔材加到所有可能会受到接合的区域。可供选择地,在接合区域只形成小部分蒙皮表面的情况下,可以离开不夹在支承结构和蒙皮之间的区域,对箔材进行冲孔、切割或蚀刻。在此后一种情况下,优选的薄板可能必须更精确地定位,以保证在蒙皮和所有支承元件如销、肋片等之间都有接合材料。

在接合期间,重要的是所有被接合的表面都保持紧密接触。接合箔材厚度约为 0.0025cm (0.001 英寸),它最好是用用于装配到在+/-

0.0025cm (0.001 英寸)之内的部件上。这一要求意味着部件必须十分紧密地压在一起用于接合。跨过接合面的载荷是良好接合所要求的,该载荷比较小,比如约 1—5ksi。整个部件上的载荷可能要求将配合的表面展平,并使该部件弹性变形到封闭接合间隙,而不是提供跨过接合表面的应力。对平的部件,这些应力很容易通过将薄的蒙皮放在接合箔材和基底的下面得到,以便借助重力、附加重量或固定载荷,帮助部件的合适配合。对接合表面不是平面的那些成形部件,保证表面配合的载荷最好是采用跨过界面的点或面载荷,通过机械固定来提供。也可以利用一种静压系统提供压力,在该系统中通过静压气体力将蒙皮贴着衬底压住。在这种情况下,可以通过热等静压(HIP)热循环完成气体增压和接合热处理。在这些条件下,可以在一任意形状的罐例如不锈钢罐内优先得到装配好的未接合部件,该罐在 HIP 之前抽真空并密封,并在 HIP 之后剥去和处理。

图 2 示出按照本发明制造的一种薄壁结构,它包括一个单晶蒙皮,该单晶蒙皮结合到单晶翼梁的销阵列上。图 3 以较高的放大倍数示出该薄壁结构。

为了将单晶蒙皮接合到单晶基底上,需要对接合条件加以控制。例如,为了将 CMSX-4 蒙皮接合到 CMSX-4 基底上,典型的条件是:在铸态条件下,用 2250°F 下 EDM 表面加工 4 小时将含重量百分数为 1.3% B 的 Ni-Flex 100 接合箔材接合。随后可以将部件进行溶解和沉淀热处理。

图 4 示出单晶销和单晶薄壁之间的接合面,表明这种接合如何提供围绕销表面极好的镶嵌充填。

图 5 包括两个光学显微照片,它们示出单晶 CMSX-4 销和单晶镍超级合金薄壁蒙皮之间的接合面,表明在这些接合面处得到极好的显微组织。在每个光学显微照片中,接合线都垂直延伸。

本方法还可以用来将多晶蒙皮接合到单晶基底上。由于某些原因,其中包括特殊的化学性能原因,可能希望多晶蒙皮比如,在单晶板的再结晶会妨碍它使用的地方,有更强的抗氧化作用和/或耐热腐

蚀、绝热涂层的接合能力、及要求对薄壁进行复杂金属加工的高度定形表面。在这种情况下，用来将多晶蒙皮接合到单晶基底上的过程，下面将更充分地加以说明。

本过程可用来将薄壁或蒙皮安放在涡轮叶片翼面的中央翼梁上。例如，当涡轮机轮叶围带区域的冷却在高级发动机中变得更关键时，薄壁结构在这些区域十分有利，并且可以用本过程来制造轮叶围带区域及翼面中的薄壁。

瞬时液相接合法是一种在超级合金中产生优质接合面的接合过程。在这种等温法中，将接合材料如箔材或粘结糊的薄条安放在欲接合的两部分材料之间。接合材料与母体材料相同，但它还含有额外添加的降低熔点的元素，该元素还显示出在合金中快速固态扩散。对高温应用，如要求接合单晶部件的那些应用来说，B 是优选元素，因为 Si 会产生腐蚀问题。

接合过程基本上是在高于箔材熔点但低于母体材料整体熔点的温度下等温进行。当富 B 箔材熔化时，它在接合的两边将母体材料润湿，并产生某种母体金属的扩散，这就提供一个更宽的液体区。当液体区变宽时，液体中硼的浓度降低，直至熔池被 B 充分稀释，使它处于平衡的液体浓度。同时，固态扩散使硼从结合池区域中除去。这两个过程造成结合池中熔点抑制剂耗尽和结合池等温再固化，直至两个固化前沿在接合中心线附近相遇。

通过小心控制接合介质的化学性能及接合过程的温度，可以控制目前的等温接合过程，以便在接合区内再现母体材料的化学性能和显微组织。

在接合过程期间，最好是控制某些参数。熔点抑制剂的量应足够提供一种接合箔材，该箔材将在显著低于母体材料的温度（亦即几百°F）下熔化。接合温度应足够熔化接合箔材和同样厚度的母体材料，以便产生一个薄的充分混合的接合区。接合箔材的量应足够产生母体材料的熔化，并提供一个薄的很好控制的接合面。接合区熔化和再固化应充分控制，以便在接合区内不发生有害的化学性能和相分离。接合箔

材的主要元素(亦即, Ni、Cr、Co、Al、Ti、Ta、W、Mo、Nb 等)的化学性能应与被接合材料完全匹配, 以使接合区的化学性能和组织与母体材料的化学性能和组织实际上连续不断。接合箔材的组成不必与母体材料的组成相同, 因为在熔化区内将发生某种混合。另外, 由于 Al 和 Ti 将偏析到终端材料上固化, 所以可以从接合箔材中将元素除去, 以免在接合中心线处形成有害的 γ' 共晶体。此外, 在某些应用中, 可以优选它来控制 and 匹配跨过接合的结晶, 亦即匹配被接合工件的定向结晶。母体材料组成及其熔点、接合箔材主元素组成, 硼的含量及等温接合的温度全都是相互作用的变量, 它们决定了用本方法生产的接合的化学性能和组织。加 B 到镍基合金中, 每加 1%重量能使该合金的熔点降低约 100—150°F。当熔点超过 2400°F, 并且偏析的铸态形状的初熔点稍低时, 含有约 1—3%重量的箔材可将熔点降到 2000—2300°F 之内, 此温度范围将可供局部熔化而不全体熔化合用。尽管接合箔材的主元素组成理想情况是很接近母体材料, 但实际可以允许有相当大的差异。由于在单晶超级合金中有许多合金元素, 所以, 在组成上的小变化不显著影响熔点。另外, 母体材料溶入接合区熔池中, 往往会补偿接合箔材和母体金属组成上的差异。而且, 为了降低成本, 不能寄希望于在箔材中加某些价格昂贵的元素如铼。最后, 为了在接合区域再固化期间抑制共晶体 γ' 形成, 应当减少接合箔材中钛和铝的含量。

本方法可应用于镍基单晶超级合金 CMSX-4。合金的组成列于表 1。表 1 中还列出几种接合箔材的组成, 可用它们来制成与 CMSX-4 单晶的瞬时液相接合。

表 1
衬底合金和接合箔材的组成(重量%)

合金	Ni	Cr	Co	Al	Ti	Nb	Mo	Ta	W	Re	Hf	Zr	B
CMSX-4	余量	6.6	9.6	5.5	1.0	...	0.6	6.5	6.4	3	0.9	...	...
W-foil 1	余量	6.5	9.6	5.5	1.0	...	0.6	6.5	6.4	3	0.9	...	1.5
W-foil 2	余量	6.5	9.6	2.9	0.5	...	0.6	6.5	6.4	3	0.9	...	1.5
W-foil 3	余量	6.5	9.6	5.5	...	...	0.6	6.5	6.4	3	0.9	...	1.5
W-foil 4	余量	6.5	10	2.9	...	...	0.6	6.5	6.4	3	0.9	...	1.5
Ni-Flex 110 1.3B	余量	10	5.0	2.0	...	...	...	4.0	4.0	...	...	...	1.3
Ni-Flex 110 1.7B	余量	10	5.0	2.0	...	...	...	4.0	4.0	...	...	...	1.7
Ni-Flex 110 2.5B	余量	10	5.0	2.0	...	...	...	4.0	4.0	...	...	...	2.5
Ni-Flex 115 3.0B	余量	9.0	8.0	2.0	...	...	...	4.0	4.0	...	1.0	...	3.0
Ni-Flex 120 1.7B	余量	10.0	5.0	1.3	1.0	...	...	5.0	3.0	...	...	...	1.5
Ni-Flex 120 1.9B	余量	10.0	5.0	1.3	1.0	...	...	5.0	3.0	...	...	...	1.7
Ni-Flex 121 2.4B	余量	10.0	10.0	...	...	...	...	5.0	...	...	...	...	2.4
Ni-Flex 121 3.0B	余量	10.0	10.0	...	...	...	...	5.0	...	...	...	...	3.0

表 1 中列出的 W-foil 1—4 是 CMSX-4 合金组成的变型，它加有 1.5%重量的 B 作为熔点抑制剂。调节 Al 和 Ti 的量来研究形成共晶体 γ' 的添加剂对 CMSX-4 接合的化学性能和组织的影响。Ni-Flex 箔材是一系列可从 Materials Development Corporation of Medford, MA 买到的商品箔材。尽管这些箔材的组成看来与 CMSX-4 的组成明显不同，但用如下面所述的这些箔材其中几种生产出一些极好的接合。

选定接合温度位于箔材熔点和母体材料的熔点之间。因为每加 1%重量的 B 使镍合金的熔点降低约 100—150°F，所以加 1—3%重量的硼将使单晶合金的熔点从超过 2400°F 降到 2000—2300°F 范围内。控制与硼含量有关的接合温度，决定接合区的宽度、在溶解时发生的元素混合，及再固化时发生的偏析。较高的接合温度可供熔化的箔材快速润湿接合表面、良好的接合池混合、及加速硼的固态扩散用，以便增

加再固化过程的速率。较高的接合温度还能使用硼含量减少的箔材，因而避免了在固化过程期间需要广泛的固态扩散及硼化物微粒的潜在形成。

2250°F 下接合 4 小时的循环适合于接合箔材，因为此温度产生受控制的接合区域，并且似乎不产生任何有害的 γ' 的生长。由于母体合金和箔材大的合金元素量，所以箔材的金属元素组成对降低母体合金熔点没有显著影响。然而，它对再固化的接合区化学组成和显微组织有显著影响，该显微组织是热处理时在接合区内产生的。固化之后在接合区内各元素的化学偏析，受接合区尺寸和接合过程第一阶段期间母体金属溶解程度控制。它也受母体材料的状态，亦即偏析化或均匀化的影响。这个问题在铸态 CMSX-4 与含硼量高的箔材接合时就显露出来，在该箔材中，由于偏析铸件中富 γ' 的枝晶间区域的优先溶解，所以在接合线处形成 γ' 共晶物。然后共晶物质再沉积在该接头线处。如果使用高硼箔材，则这个问题可通过使用均匀化、溶液处理过的 CMSX-4 减轻或避免。在这种情况下，均匀化过的组织均匀地熔化，以便产生一个熔池，该熔池含较少形成 γ' 共晶体的元素。因此，再固化的接合区不显示有害的 γ' 共晶体。

接合后的热处理不仅在接合区上，而且在母体金属的其余部分中，都应产生最佳的化学性能和组织。这种热处理循环应使铸造和再固化后得到的偏析组织均匀化，并且还造成最佳形状强化 γ' 沉淀物的沉淀和生长。常用的对 CMSX-4 所推荐的溶解和热处理循环可以满足达到这一目的。溶液处理是一种等同于表 2 中那种类型的缓变式热处理。通过在此循环期间缓慢增加温度，借助让固态相互扩散提高局部熔化温度，基本上避免了初熔化。这个过程在均化铸态单晶时是有效的，并且在均化再固化的接合区时也是有效的。而且，它在增加硼穿过单晶分散，来防止富硼接合区熔化方面也是有效的。例如，缓慢的温度缓变有助于避免潜在的问题，即在 2250°F 下 4 小时后所展开的接合区具有一个熔点，该熔点低于母体材料 CMSX-4 的峰值溶液处理温度 2408°F。因为在 2250°F 下 4 小时将有助于均化偏析的单晶，并且

硼的扩散比合金金属元素扩散更快，所以有可能缩短这种循环。

表 2

CMSX-4 缓变式溶液热处理循环

时间 (min)	温度 (°C)	温度 (°F)
0	23	73
60	1027	1880
80	1027	1880
110	1235	2255
140	1235	2255
170	1260	2300
185	1260	2300
215	1277	2330
335	1277	2330
365	1288	2350
485	1288	2350
500	1296	2365
680	1296	2365
695	1304	2380
875	1304	2380
890	1313	2395
1130	1313	2395
18 小时 50 分		总循环时间

在溶液热处理之后，最好是应用沉淀热处理程序，以便产生最佳形式的强化 γ' 沉淀物。可以用 2084°F 处理 4 小时和 1650°F 处理 24 小时，来产生约 $0.5\mu\text{m}$ 立方初次 γ' 沉淀物，及球形二次和三次 γ' 沉淀物在立方体之间的矩阵通道中的分散作用。通过应用这些已研究出用于处理母体单晶合金的热处理，最适合除了接合区之外，对接合部件的未接合部分中显微组织进行热处理。

用于接合 CMSX-4 单晶的一些优选条件是：使用含 1.3%重量 B 的箔材，于 2250°F 下接合 4 小时，随后用缓变热处理至 2408°F，进行溶液热处理，保温 4—6 小时，冷至室温，接着于 2084°F 下沉淀热处理 4 小时，及于 1650°F 下沉淀热处理 24 小时。这个过程产生优选的组织。可以应用这个过程的另外改变来产生合适的显微组织。

表 3 示出如何可以处理与表 1 中相同的箔材，来产生均匀的接合组织。此表还标出在处理期间所形成的某些关键性显微组织特点。

表 3

在接合处理和热处理程序期间 CMSX-4 瞬态液相接合的组织

箔 材	焊接之后的组织	溶液处理后的组织	沉淀处理后的组织	优选的过程循环
W-foil 1(1.5%B)	清晰的接合区域,亦即没有微粒	没有大的微粒;均匀的初 γ' 微粒	均匀的 γ' ;立方形;完全形成	在铸造状态下接合
W-foil 2(1.5%B)	清晰的接合区域,亦即没有微粒	没有大的微粒;均匀的初 γ' 微粒	均匀的 γ' ;立方形;完全形成	在铸造状态下接合
W-foil 3(1.5%B)	清晰的接合区域,亦即没有微粒	没有大的微粒;均匀的初 γ' 微粒	均匀的 γ' ;立方形;完全形成	在铸造状态下接合
W-foil 4(1.5%B)	清晰的接合区域,亦即没有微粒	没有大的微粒;均匀的初 γ' 微粒	均匀的 γ' ;立方形;完全形成	在铸造状态下接合
Ni-Flex 110(1.3%B)	总是清晰的接合区域	没有大的微粒;均匀的初立方形 γ' 微粒	极明显的 γ' 微粒;立方形;与母体相同	在铸造状态下接合
Ni-Flex110 (1.7%B)	总是清晰的接合区域	没有大的微粒;均匀的初立方形 γ' 微粒	很明显的 γ' 微粒;立方形;与母体很相似	在铸造状态下接合
Ni-Flex110 (2.5%B)	当在溶液处理条件下接合时,有微粒	溶液处理时微粒溶解	当接合溶液(sol)处理过的材料时,较明显的 γ' 立方体	在溶液处理状态下接合
Ni-Flex115 (3.0%B)	在溶液处理状态下接合时,有微粒	溶液处理时微粒溶解	立方形 γ' ;圆角;比母体材料的大	在溶液处理状态下接合
Ni-Flex115 (2.5%B)	在溶液处理状态下接合时,有微粒	溶液处理时微粒溶解	立方形 γ' ;圆角;比母体材料的大	在溶液处理状态下接合
Ni-Flex115 (1.7%B)	总是清晰的接合区域	没有大的微粒;均匀的初立方形 γ' 微粒	立方形 γ' ;圆角;比母体材料的大	在铸造状态下接合
Ni-Flex120 (1.7%B)	总是清晰的接合区域	没有大的微粒;均匀的初立方形 γ' 微粒	很明显的 γ' ;与母体材料很相似	在铸造状态下接合
Ni-Flex120 (2.5%B)	在溶液处理状态下接合时,有微粒	溶液处理时微粒溶解	很明显的 γ' ;与母体材料很相似;在预溶液化的材料中更明显	在溶液处理状态下接合

按照本发明的实施例,可以将包括多晶镍基超级合金的蒙皮结合到包括单晶镍基超级合金的基底上。可以用箔材或糊状接合介质及热

循环使多晶和单晶镍基超级合金相互结合，由所用的那些热循环适合于将各个合金接合到它们自身上。可以结合的是那些合金，对这些合金，单晶和多晶合金都显示出组成完全相同，亦即它们减少了同样量的 γ' ，并且在两种合金中 γ 和 γ' 相的化学组成也相同。最好是用硼作熔点抑制剂，并使箔材的合金元素适合匹配母体合金组成，通过瞬时液相接合法或类似方法，来完成合金的接合。该接合热循环与母体材料瞬时液相接合到它们自身所用的接合热循环相同。它在足以熔化接合箔材及单晶和多晶材料局部区域的温度下发生。热循环具有足够的持续时间，以保证在固化之后，固态硼扩散足以使局部的材料熔化温度提高到预期该材料容易经受的温度之上。

采用高质量的接合方法如瞬时液相接合法的目的，通常是在大部分金属区段中存在的接合区内，产生等同的化学性能和显微组织。这一目的一般是通过使接合箔材的化学成分与母体金属的化学成分匹配，同时考虑到在溶解和再固化期间会发生的优先偏析来达到的。与母体金属相比，在接合箔材中，应当减少象 Ti 和 Al 这些元素，因为这些元素在固化之后往往会偏析到接合线的中央。因为多晶和单晶合金一般具有不同的化学组成，所以接合箔材的组成同等匹配到单晶-多晶结合面的每一侧上是不可能的。然而，因为其中有几组合金具有相同的组成和 γ' 体积分数，所以可以选择同样的多晶和单晶合金组成接合，并可以使它们的组成与一种接合箔材匹配，利用该接合箔材来接合其中任一个合金。

在化学成分上非常接近能有效地进行瞬时液相接合的合金包括：CMSX-4 和 CM247；CMSX-4 和 CM186；PWA1480 和 MarM247；及 SC-16 和 IN738。这些合金含有相同的化学成份。也可以如此选择一些合金对，以便在瞬时液相接合期间，化学成分混合不足以形成有害的沉淀，比如，可以与过量 Re、Cr 等形成的影响稳定性的拓扑密排相 (TCP)。这些合金对具有很好的化学成分匹配，因此在整个接合区内具有极优良的性能。使用很少充分匹配的材料，可能在接合区内产生有害的相及伴随的性能降低。

接合介质可以是供单晶接合使用的那些介质。对 CMSX-4 与 CM247 接合的情况，可以用含 1.3%重量 B 的 Ni-Flex 110 作为熔点抑制剂、于 2250°F 下接合，2250°F 是推荐用于单晶合金的接合温度。CMSX-4 和 CM247 二者的接合温度差只有约 50°F，而通过加硼所产生的熔点降低是每 1%重量 B 约 100°F。因此，如果单晶和多晶材料的接合点十分接近，则它们一般可采用高熔点单晶材料的接合法来提供。放宽工作效率所允许的方法参数，可能受到增加箔材中硼含量和将接合温度调到接近多晶材料的温度影响。

接合箔材的化学成分受前述组成要求，亦即与母体金属相同、减少 Al，没有 Ti 等的限制。这种相似的一个例外情况是在多晶合金中必须含有价格高的元素如铼。这是一种商业要求，因为多晶合金很少含有 Re，并且第三代单晶依靠添加 Re 用于它们优越的高温强度。结合两种材料的优点是取消了结构蒙皮中铼的成本。因为铼偏析到基体中，并且由于它的缓慢扩散而使 γ' 稳定，所以从接合面中取消 Re 不应削弱性能。

表 4 示出几种单晶和多晶合金的组成。由表 4 可以看出，其中几组单晶合金在组成上接近某些多晶合金。例如，CMSX-4 和 CM247 在化学成分和结构上非常接近于能用瞬时液相接合法产生良好的接合。这是由于在这些合金中有影响的差别是铼的含量，铼在固态和液态中不容易扩散。而且，铼跨过接合区的梯度提供一种对接合面性能无害的组织性质上的逐渐转变。由于铼的价格昂贵，所以，理想的情况是将含铼的单晶结合到不含铼的多晶合金上。

表 4
单晶和多晶镍基超级合金(重量%)

合金	Ni	Cr	Co	Al	Ti	Nb	Mo	Ta	W	Re	Hf	Zr	B	C	体积 % γ'
CMSX-4	余量	6.6	9.6	5.5	1.0	...	0.6	6.5	6.4	3	0.9	...	...	...	62
PWA1484	余量	5	10	5.6	1	...	...	8.7	6	3	0.1	...	...	...	64
PWA1480	余量	10	5	5	1.5	...	...	12	4	...	...	...	...	...	63
SC-16	余量	16	...	3.5	3.5	...	3	3.5	...	...	...	...	...	...	41
CMSX-11	余量	12.5	7	3.4	4.2	0.1	0.5	5	5	...	0.04	...	...	...	~ 45
CM247	余量	8.1	9.2	5.6	0.7	...	0.5	3.2	9.5	...	1.4	0.015	0.015	0.07	62
MarM002	余量	9	10	4.7	1.7	1	...	...	12.5	...	...	...	...	...	57
MarM002	余量	9	10	5	2	1	...	...	12.5	...	1.8	0.06	0.02	0.14	58
MarM246	余量	9	10	5.5	1.5	...	2.5	1.5	10	...	...	0.06	0.015	0.15	65
CM186	余量	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
IN792	余量	12.4	9	4.5	4.5	...	1.8	3.9	3.9	...	1	0.02	0.015	0.08	45
IN738	余量	16	8.5	3.4	3.4	0.9	1.75	1.75	2.6	...	...	0.1	0.01	0.11	37

表 5
接合箔材的化学成分(重量%)

箔材类型	Ni	Cr	Co	W	Ta	Mo	Fe	Hf	Al	Ti	B	C	Si
Ni-Flex 110(1.3B)	余量	10.0	5.0	4.0	4.0	...	...	...	2.0	...	1.3	...	...
Ni-flex 110(1.7B)	余量	10.0	5.0	4.0	4.0	...	...	...	2.0	...	1.7	...	...
Ni-Flex 110(2.5B)	余量	10.0	5.0	4.0	4.0	...	...	...	2.0	...	2.5	...	...
Ni-Flex 115(3.0B)	余量	9.0	8.0	4.0	4.0	...	...	1.0	2.0	...	3.0	...	...
Ni-Flex 120(1.7B)	余量	10.0	5.0	5.0	3.0	...	...	...	...	1.0	1.5	...	...
Ni-Flex 120(1.9B)	余量	10.0	5.0	5.0	3.0	...	...	...	...	1.0	1.7	...	...
Ni-Flex 121(2.4B)	余量	10.0	10.0	5.0	...	...	...	...	...	...	2.4	...	...
Ni-Flex 121(3.0B)	余量	10.0	10.0	5.0	...	...	...	...	...	...	3.0	...	...
MBF20/20A	余量	7.0	...	...	...	...	3.0	...	...	...	3.2	0.06	4.5
MBF80/80A	余量	15.2	...	...	...	...	...	...	...	...	4.0	0.06	...

表 5 示出能用来接合单晶和多晶合金的示范性接合合金。通过用 Ni-Flex 型合金接合, 可以得到富铝单晶的充分合金匹配。这些箔材也可用来接合这种类型 (CM247、MarM247、MarM002) 的多晶合金。因此, 这些接合箔材可用来将 CMSX-4 型单晶合金接合到同类多晶合金如 CM247 上。相反, 为了将富铬材料如单晶 SC-16 接合到 IN738 多晶合金上, 可以优选一种箔材如 MFB80/80A。

作为将单晶合金接合到多晶合金上的一个例子, 如前所述, 可以将单晶 CMSX-4 接合到多晶 CM247 合金上。所用的接合方法是: 将表面机械抛光到 0.05 微米光洁度; Ni-Flex 110 1.3B 箔材; 2250°F 接合温度; 及 4 小时接合时间。

鉴于上述本发明的特定实施例用于举例说明的目的, 很显然, 不脱离如所附权利要求中所述的本发明, 该技术的专业人员可以对本发明的细节进行许多改变。

说明书附图

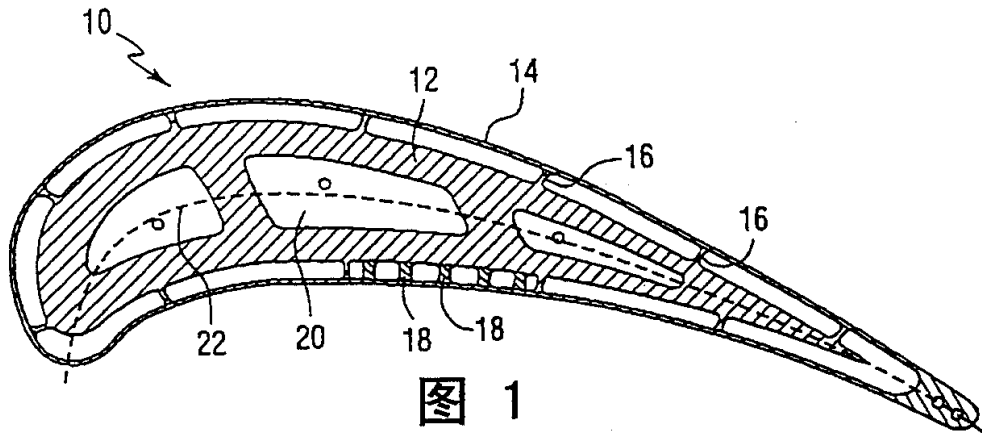


图 1

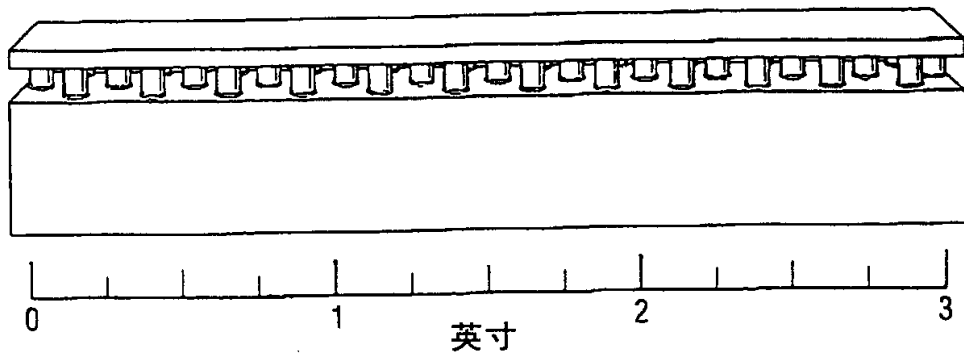


图 2

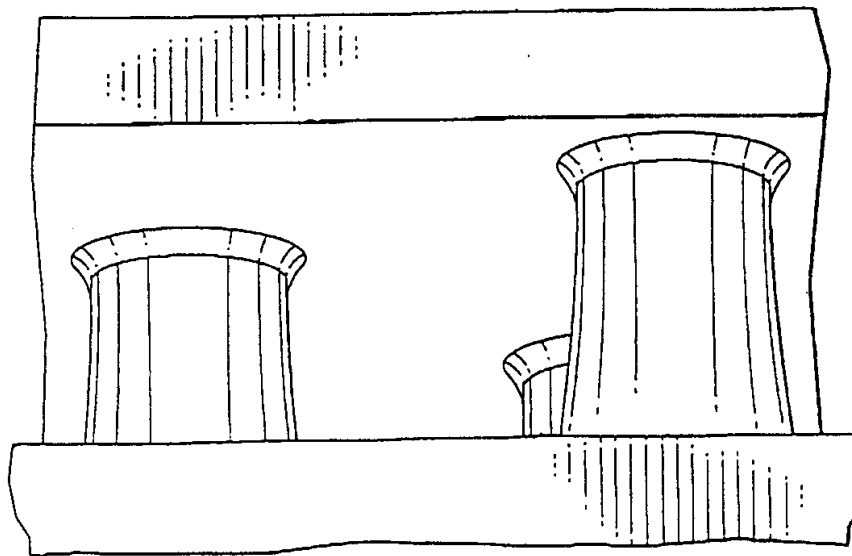


图 3

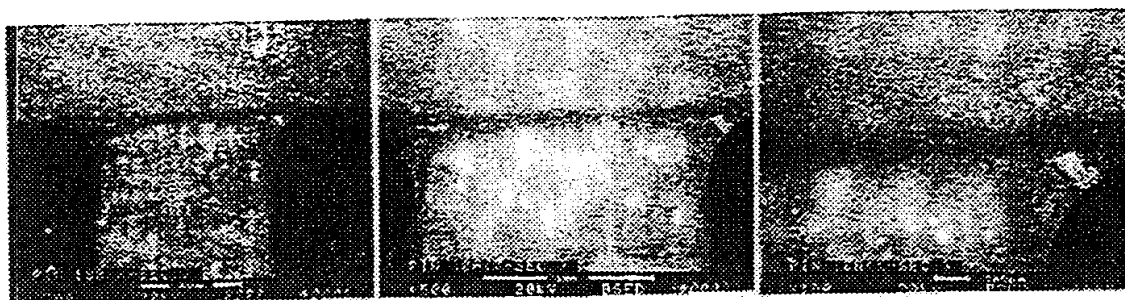


图 4

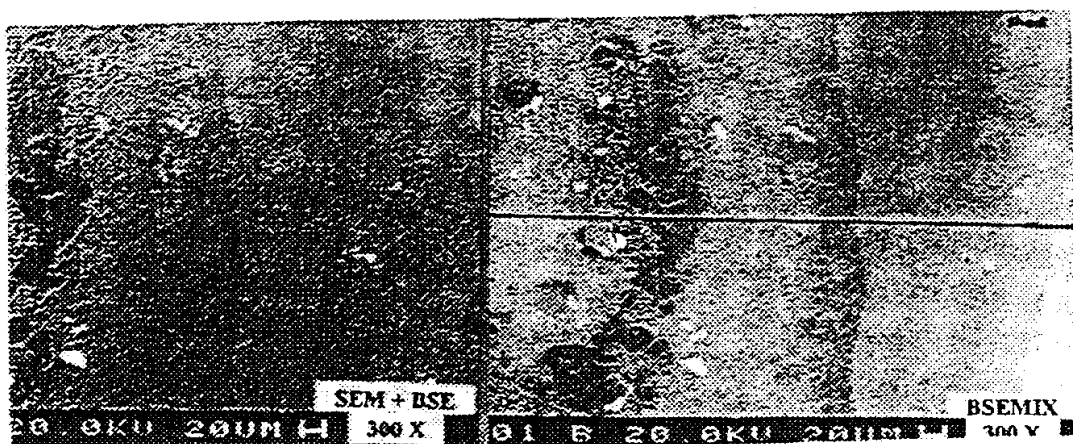


图 5