



## [12] 发明专利申请审定说明书

[21] 申请号 85106439

[51] Int.Cl<sup>4</sup>

B22D 27 / 02

[44] 审定公告日 1989 年 9 月 6 日

[22] 申请日 85.8.27

[71] 申请人 西屋电气公司

地 址 美国宾夕法尼亚州 15222 匹兹  
堡盖特盛中心西屋大厦

[72] 发明人 迈克尔·安东尼·布克

西里尔·格拉德·贝克

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利代理部

F01D)5 / 14

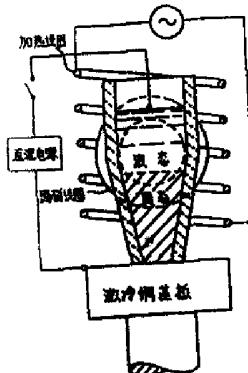
代理人 刘 征 包冠乾

说明书页数： 5 附图页数： 2

[54] 发明名称 具有部分单晶体的燃气透平叶片的  
制造方法

## [57] 摘要

一种用于燃气透平机的透平叶片的制造方法。在受控方式下冷却盛着熔化了的金属的模子，使结晶出现得足够慢，以致单晶体在翼端开始生成。结晶过程受到监控，大约当叶片的根部开始结晶时，开始对金属熔液做磁力搅拌上，上述叶片的冷却速度也几乎同时被提高，使之易于产生单晶体的冷却速度。大约在开始搅拌的同时，可添加晶界强化剂（最好是碳）。制造出来的叶片具有单晶体翼部和细粒体根部。



△ ▽

## 权 利 要 求 书

---

1. 一种制造燃气透平机叶片的方法，该叶片有一根部和一翼部，其中该方法在受控方式下冷却盛着非共晶的熔化的金属的模子，使结晶出现得足够慢，以致单晶体在翼端向根部方向开始生成，本方法特点在于：

- 监控上述结晶过程；
- 在大约所述根部将要开始结晶时，开始对剩余的金属溶液进行磁力搅拌；
- 然后加大叶片的冷却速率，使之高于出现定向结晶时的冷却速率；

借此方法可以制造出具有单晶体翼部及细粒体根部的叶片，而且在该叶片的翼部和根部之间有基本均匀的部分。

2. 如权利要求1所述的方法，其特征是：大约在开始磁力搅拌的同时，加入至少一种晶粒边界的强化元素。

3. 如权利要求2中所述的方法，其特征是：所述的晶粒边界强化元素是碳。

## 具有部分单晶体的燃气透平叶片的制造方法

本发明与定向结晶的透平叶片的制造方法有关，此种叶片应用于燃气透平机上。

这是一种制造用于燃气透平机上的透平叶片的方法；这类燃气透平机包括航空透平机、航海透平机及地面固定式燃气透平机。本发明采用二步结晶法，以便在根部产生细粒（非单晶）结构，而在翼部产生单晶结构。

当高温、高压燃气膨胀并通过透平时，燃气透平机从中获取能量而运转。由燃气推动的实际旋转部件一般是由镍基超耐热合金制成的，该部件通常被称为叶片。如图1所示，叶片由仿形加工过的翼部和机加工过的根部组成，翼部由热气流驱动，根部与透平的转轴相连。根据卡诺循环的性质可知，在较高的温度下，燃气透平机将更有效地工作，而这就需要有能承受更高温度的材料。对于在航空发动机及地面固定式透平发电机等机器中应用的透平叶片，在高温下机械失效的主要形式是热疲劳及丧失抗塑性变形能力。消除与主应力轴垂直的晶粒边界有助于这两个问题的解决，因此认为单晶及定向结晶的叶片会显示出高温强度的明显改善。

在温度很高的状态下，大尺寸晶粒能加强所希望的性能；而在低温状态下，尺寸较小的晶粒能改善某些机械性能。值得一提的是，透平叶片的根部在其温度远低于翼部的温度下工作，而且它基本上是承受疲劳载荷的，因而叶片的翼部和根部的最佳结构是十分不同的。并且对于传统的翼部，至少要取诸截面中的一个作为折衷的过渡区。如果能创造一种具有混合结构的叶片，使它具有定向结晶的翼部和细粒结构的根部，

则将获得最佳性能。

根据美国专利说明 4, 184, 900, 可在翼部及根部做出两种不同的定向结晶部分，以便获得不同的性能。根据美国专利说明 3, 790, 303, 可用一种共晶合金制造具有混合结构的透平叶片(涡轮叶片)，其翼部是定向结晶的，而其根部结构则是非定向的。要注意的是，这种共晶成分能避免成分的不均匀性，如果在此方法中使用非共晶成分，则会引起成分的不均匀性问题。

在美国专利说明 3, 695, 941 中介绍了一种通过液态金属的受控结晶来制造纯共晶材料的方法，它利用一个稳定的定向磁场，控制熔液的液—固交界面的结晶。当熔液暴露在磁场中时，没有外加电源与它接通。在美国专利说明 3, 494, 709 中提出了一种用于燃气透平机上的单晶金属部件，这个包括其根部的部件整体都是单晶体的。美国专利说明 3, 981, 345 介绍了一种连续浇铸金属的方法，在该方法中，金属在结晶过程中受着一个磁场的作用。

本发明的目的在于提供一种制造用于燃气透平机上的定向结晶透平叶片的方法，其步骤有：在受控方式下冷却盛有金属熔液的模子，使结晶出现得足够慢，以至单晶体在翼端开始生成。本发明的特点在于，监控上述结晶过程；并在所述的根部将要结晶时，开始对剩余的金属熔液进行磁力搅拌；然后加大叶片的冷却速度，使之高于出现定向结晶时的冷却速度。借此方法，可制造出具有单晶体翼部及细粒体根部的叶片，而且在该叶片的翼部与根部之间没有明显的不均匀部分。

简单地说，本发明的目的在于提供一种透平叶片，它有混合的晶粒结构，并系用非共晶的合金成分加工而成。叶片翼部是单晶结构的，而其根部结构则是细粒化的、非定向结晶的。

本方法采用足够慢的结晶速度，使单晶体从翼端开始生长；并对结晶过程进行监控。当结晶到达翼部与根部之间的交界处时，开始磁力搅

拌，以便消除刚刚结晶部分附近的不均匀带；然后提高冷却速度，使其高于单晶的生长速度或定向结晶的速度。最好大约在开始搅拌时添加晶粒边界的强化剂（最好是碳）。这样便可制造出一种叶片，它具有单晶结构的翼部和细粒结构的根部，并且在翼部与根部之间的交界处没有明显的不均匀部分。

现在参照下列附图，用一个实例对本发明做说明。

图 1 表示一个典型的、包括翼部和根部的透平叶片。

图 2 为包括三张图的一个图组，它表示在结晶过程中的溶质富集区及提高结晶速度后产生的不均匀性。

图 3 表示在对从炉中拉出的速度加以控制时，单晶的生长情况。

对于用非共晶合金制造带有细粒结构根部的单晶翼，以前的工艺技术是不适用的。因为在翼部与根部之间的交界处会出现组分严重不均匀的区域，该区域的机械性能很差。在如图 2 所示的结晶过程中，如果用非共晶合金制造一个具有单晶体翼部及细粒体根部的叶片，而不应用本发明，那么在初期（图 2 A），叶片翼部处在有助于单晶体生成的条件下（低生成率，高温度梯度），随后根部（图 2 C）在晶体生长率增加的条件下结晶。可以看出，当生长率的改变发生作用时，在正在结晶的区域中会有溶质含量的明显增加（图 2 C 中的曲线左侧的突起，本发明能有效地将这一突起除去）。常被用于制造燃气透平机叶片的大多数镍基超耐热合金均是非共晶的。在这类叶片上，这种不均匀性将造成一个机械性能明显低劣的区域。

为了在单晶体翼部与细粒根部的连接区域中避免出现组分不均匀的问题，本发明用磁力搅拌的方法来基本上清除不均匀段。用磁力搅拌的方法可在尚未固化的根部段相当大的范围内掺混溶质富集区，从而可避免组分的任何明显变化。这里所用的“不均匀部分”一词的意思是溶质富集，而不包括在结晶过程中有意添加的添加剂所引起组分的变化。

(如晶粒边界强化剂的加入)。

磁力搅拌所依据的原理是：在磁场中的一个通电导体要受到一个力的作用，这个力垂直于电流矢量和磁场矢量所在的平面。如果导体是液体，这个力将引起切变，并产生搅拌效果。在美国专利说明 4,256,165 中，介绍了在连续铸造方面应用磁力搅拌的例子。

本发明采用磁力搅拌方法使位于正在结晶的单晶翼部前方的溶质浓集重新分布，以便当为了制造具有所希望的细粒体根部而提高冷却速度时，基本上防止不均匀区段的出现。

在美国专利说明 3,494,709 中介绍了一种单晶体的生长情况，图 3 所示的即为一种实施实例，在这个例子中，结晶过程从激冷铜底座开始进行，并用慢慢地从炉子的热区移出底座及铸模的方法控制结晶过程。在这里，叶片的根部朝上，首先从炉中移出的是翼部。提高移出速度可使结晶过程加快。为了在叶片的根部形成均匀的细粒结构，应基本在提高生长率的同时，开始磁力搅拌。这样，结晶从翼部开始，此处结晶的生长是在移出速度相当慢的情况下进行的，而且只有自然对流形式的、微弱的流体扰动。随着模子被抽出，结晶面达到翼——根的交界处。从这一点上，将抽出速度提高到单晶生长所需的速度之上，并开始磁力搅拌（基本上同时或稍提前于提高抽出速度的时刻）。启动系统，使电流通过金属熔液及励磁线圈（以便产生所需的磁场），磁搅拌便随之开始。在这种情况下，移出速度越快，则结晶过程进行得越快，所产生的颗粒结构也越细致，沿各轴向的分布也越均匀。强制的磁力搅拌将聚集在扩展着的结晶面之前的溶质破碎成液体，并形成化学上基本均匀的结构。

因为任何置于磁场中的载流导体均会受到一个垂直于磁场及电流的力的作用，据此，可实现熔液的搅拌。在搅拌的作用下，不仅溶质富集能被消除，而且熔液中的温度梯度也能够均匀一致。从而，在已结晶材

料中的枝状体发生过热，这不仅是因热均匀化而引起的，而且也与结构性有关。因为枝状体是要核化的，在枝状体根部附近的结构性过热（熟知的“结构性过冷”效应的类比）十分严重，导致发生使系统趋于均衡的“回熔”，枝状体随之细化，并在由直流电及磁场所引起的力的作用下散断开，由磁扰动流带走。为确保足够的冷却率，以使散断的枝状体碎块不在熔液中熔化而保持固态，拉出速度应足够快。上述碎块可作为各向同性颗粒结晶的结晶核。

采用磁力搅拌的另一个好处是能掺入一种或多种晶粒边界强化元素（即：“碳化物形成剂”碳，硼，锆，钼，钨，钽）。因为单晶体合金不需要作这类晶粒边界强化，通常在单晶体合金的化学结构中不加入这类能加强强度的元素。虽然叶片的单晶部分不需要利用晶粒边界的强化元素，但各向同性部分却可用添加能产生晶粒边界“碳化”的强化作用的元素来改进。然而，用含有晶粒边界强化元素的合金铸造叶片会增加生产单晶体铸件的困难。利用磁力搅拌便可添加这类元素，并能使它们在叶片的结晶过程中及时地分布到所希望的点上去。

用这种方法，可使用实用的非共晶合金制造出具有单晶结构翼部及细粒结构根部的透平叶片，并在提高结晶速率的部位（根——翼交界处）不致产生溶质富集区段。

当然，控制冷却速度的特殊装置和方法，以及实施磁力搅拌的装置，均为一些实例，也可以采用其他的一些定向结晶和磁力搅拌的方法。

审定号 85106439  
Int. Cl.<sup>4</sup> B22D 27/02  
审定公告日 1989年9月6日

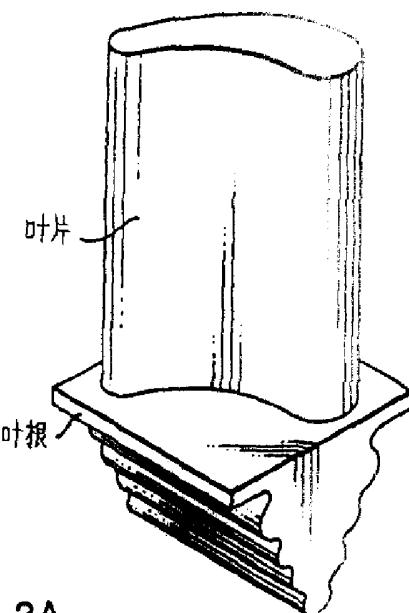


图 1

图 2A

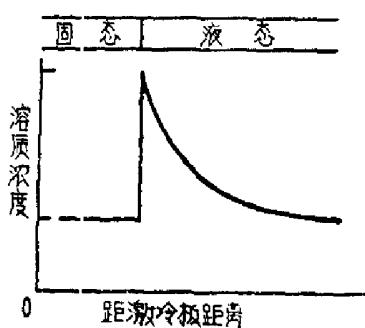


图 2B

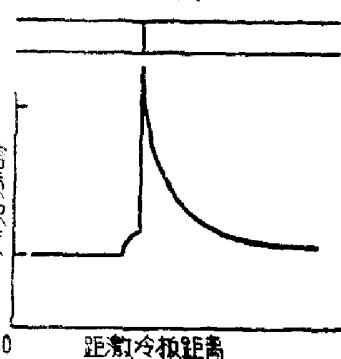
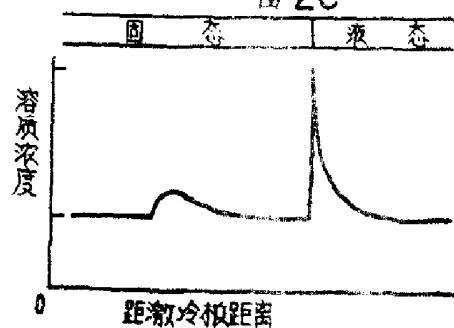


图 2C



审定号 85 1 06439  
Int. Cl.<sup>4</sup> B22D 27 / 02  
审定公告日 1989年9月6日

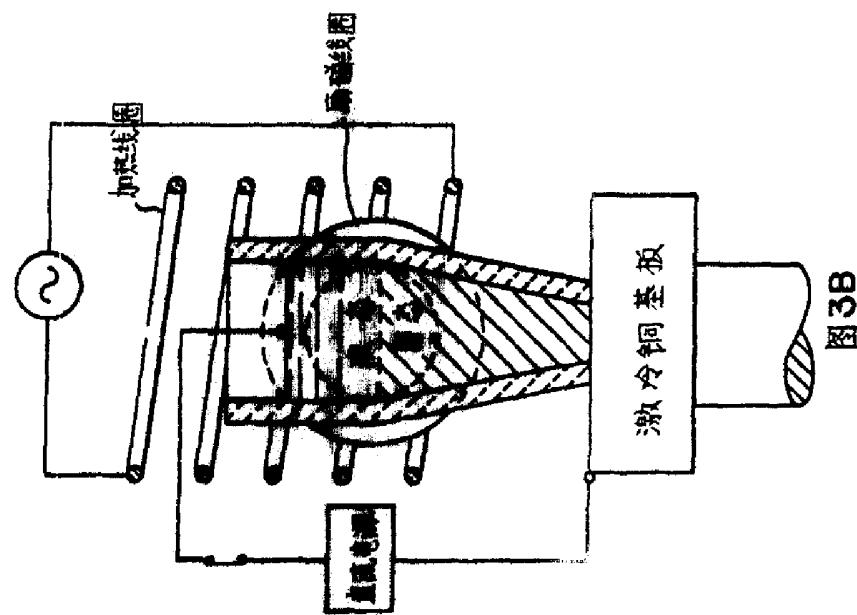


图3B

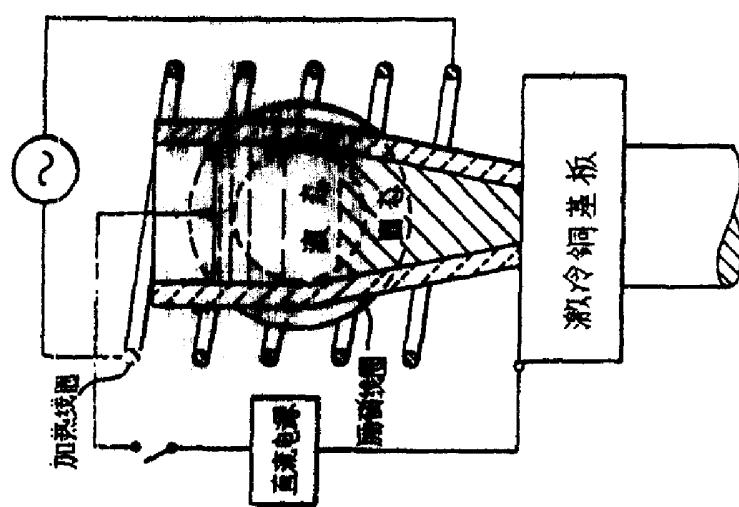


图3A