



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109317376 A

(43)申请公布日 2019.02.12

(21)申请号 201810844643.2

(22)申请日 2018.07.27

(30)优先权数据

15/664,446 2017.07.31 US

(71)申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72)发明人 D·陈 M·付 M·D·克拉克

D·G·科尼策尔

(74)专利代理机构 上海专利商标事务所有限公

司 31100

代理人 侯颖嫫 金红莲

(51)Int.Cl.

B05D 5/00(2006.01)

B05D 7/00(2006.01)

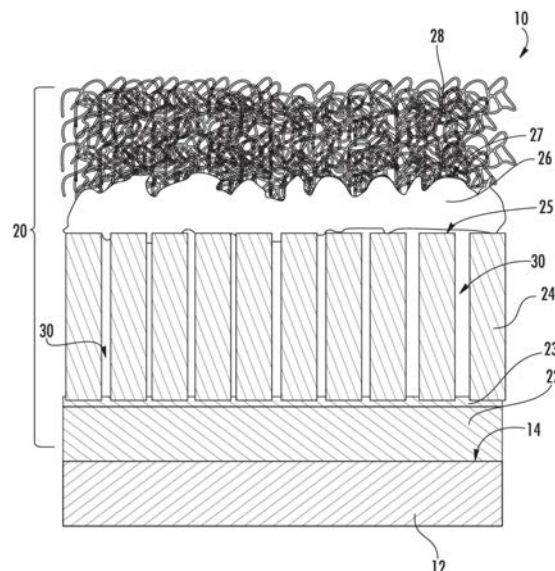
权利要求书1页 说明书9页 附图2页

## (54)发明名称

经涂布的部件及在基材的表面上形成涂层体系的方法

## (57)摘要

本申请提供了一种经涂布的部件以及形成这样的涂层体系的方法。所述经涂布的部件包括基材,该基材具有其上有涂层体系的表面。涂层体系可包括在基材的表面上方的柱状热障涂层(TBC),所述柱状TBC包括表面连接的空隙。柱状TBC层上方是中间层。中间层具有比柱状TBC的表面粗糙的与柱状TBC相对的表面。中间层上方是第二TBC。



1. 一种经涂布的部件,所述部件包含基材,所述基材具有其上有涂层体系的表面,其中所述涂层体系包含:

所述基材的所述表面上方的柱状热障涂层(TBC),其中所述柱状TBC包括表面连接的空隙,并且其中所述柱状TBC具有与所述基材相对的表面;

所述柱状TBC层上方的中间层,其中所述中间层具有比所述柱状TBC的所述表面粗糙的与所述柱状TBC相对的表面;和

所述中间层上方的第二TBC。

2. 根据权利要求1所述的涂层部件,其中所述表面连接的空隙是基本垂直取向的。

3. 根据权利要求1所述的涂层部件,其中大部分所述表面连接的空隙延伸通过所述柱状TBC的整个厚度。

4. 根据权利要求1所述的涂层部件,其中所述柱状TBC的所述表面连接的空隙由所述柱状TBC内的晶界限定。

5. 根据权利要求1所述的涂层部件,其中所述第二TBC具有孔隙率,并且其中所述中间层具有比所述第二TBC的所述孔隙率低的孔隙率。

6. 根据权利要求1所述的涂层部件,其中所述中间层具有约0.1%至约10%的孔隙率,并且其中所述第二TBC具有约10%至约25%的孔隙率。

7. 根据权利要求1所述的涂层部件,其中所述柱状TBC具有厚度,并且其中所述中间层具有为所述柱状TBC的所述厚度的约1%至约50%的厚度。

8. 根据权利要求1所述的涂层部件,其中所述涂层体系还包含在所述基材的所述表面上的粘结涂层,使得所述粘结涂层存在于所述柱状TBC和所述基材的所述表面之间。

9. 根据权利要求8所述的涂层部件,其中热生长氧化物层在所述粘结涂层与所述柱状TBC之间的所述粘结涂层上。

10. 一种在基材的表面上形成涂层体系的方法,所述方法包括:

在所述基材的所述表面上方形形成柱状热障涂层(TBC),其中所述柱状TBC具有表面连接的空隙,并且其中所述柱状TBC具有有着第一表面粗糙度的表面;和

在所述柱状TBC上形成空气等离子喷涂(APS)中间层,其中所述中间层具有与所述柱状TBC相对的表面,该表面具有比所述柱状TBC的所述第一表面粗糙度粗糙的第二表面粗糙度。

## 经涂布的部件及在基材的表面上形成涂层体系的方法

### 技术领域

[0001] 本公开涉及一种向柱状或致密的垂直开裂热障涂层上沉积热喷涂层的方法,如用于其上已事先沉积电子束物理气相沉积(EB-PVD)热障涂层的涡轮发动机部件上,或用于修复其上已事先沉积电子束物理气相沉积(EB-PVD)热障涂层的涡轮发动机部件。

### 背景技术

[0002] 热障涂层(“TBC”)通常用于在高温下运行或暴露于高温下的制品中。例如,航空涡轮机和陆基涡轮机可包括由热障涂层保护的一个或多个部件。在正常的运行条件下,涂层部件可能易受各种类型损害的影响,所述损害包括侵蚀、氧化和来自环境污染物的攻击。

[0003] 对于涡轮机部件,特别关注的环境污染物组合物是含有钙、镁、铝、硅的氧化物及其混合物的那些;例如,由燃气涡轮发动机吸入的灰尘、灰和粉尘通常由这样的化合物构成。这些氧化物经常结合以形成包含混合的钙-镁-铝-硅-氧化物体系(Ca-Mg-Al-Si-O)的污染物组合物,以下称为“CMAS”。在高涡轮机操作温度下,这些环境污染物可粘附至热的热障涂层表面,并且因此引起对热障涂层的损害。例如,CMAS可形成在涡轮机的操作温度下为液体或熔融的组合物。熔融的CMAS组合物可溶解热障涂层,或者可通过渗透涂层中的孔、通道、裂缝或其他空腔来填充其多孔结构。冷却后,渗透的CMAS组合物固化并降低涂层应变耐受性,因此引发且传播可引起涂层材料分层和剥落的裂缝。这还可导致对零件或部件的下层金属基材提供的热保护的部分或完全丧失。此外,热障涂层的剥落可在金属基材中产生热点,导致过早的部件失效。过早的部件失效可导致计划外维护和零件更换,导致降低的性能以及增加的操作和维护成本。

[0004] 然而,TBC的日常维护包括清洗和向部件上重新施加TBC材料。这样的操作需要发动机拆卸或发动机清洗过程,以便可向一个或多个部件的表面上施加新的TBC。这样的拆卸过程会导致发动机停机时间,从而造成长时间的服务中断。或者,用洗涤剂和其他清洁剂冲洗发动机的内部部件可能向发动机引入其他不希望有的问题。

[0005] 因此,需要改进的涂层体系,当在高温下操作或暴露于高温时,所述涂层体系对热障涂层提供免于环境污染物的不利效应的保护。具体地,需要改进的涂层体系和制备这种涂层的方法,所述涂层提供免于沉积CMAS的不利效应的保护。

### 发明内容

[0006] 方面和优点将部分地在下面的描述中阐述,或者可从该描述显而易见,或者可通过本发明的实施来了解。

[0007] 一般地,提供了经涂布的部件。在一个实施方案中,经涂布的部件包括基材,所述基材具有其上有涂层体系的表面。涂层体系可包括在基材的表面上方的柱状热障涂层(TBC),所述柱状TBC包括表面连接的空隙。柱状TBC层上方是中间层。中间层具有比柱状TBC的表面粗糙的与柱状TBC相对的表面。中间层上方是第二TBC。

[0008] 本发明还提供了在基材的表面上形成涂层体系的方法。在一个实施方案中,在基

材的表面上方形成柱状热障涂层,使得柱状TBC具有表面连接的空隙并具有有着第一表面粗糙度的表面。在柱状物上方形成空气等离子喷涂中间层,使得中间层具有与柱状TBC相对的表面,该表面具有比柱状TBC的第一表面粗糙度粗糙的第二表面粗糙度。任选地,可然后在APS中间层上方形成第二TBC。

[0009] 本申请技术方案1涉及一种经涂布的部件,所述部件包含基材,所述基材具有其上有涂层体系的表面,其中所述涂层体系包含:

[0010] 所述基材的所述表面上方的柱状热障涂层(TBC),其中所述柱状TBC包括表面连接的空隙,并且其中所述柱状TBC具有与所述基材相对的表面;

[0011] 所述柱状TBC层上方的中间层,其中所述中间层具有比所述柱状TBC的所述表面粗糙的与所述柱状TBC相对的表面;和

[0012] 所述中间层上方的第二TBC。

[0013] 本申请技术方案2涉及根据技术方案1所述的涂层部件,其中所述表面连接的空隙是基本垂直取向的。

[0014] 本申请技术方案3涉及根据技术方案1所述的涂层部件,其中大部分所述表面连接的空隙延伸通过所述柱状TBC的整个厚度。

[0015] 本申请技术方案4涉及根据技术方案1所述的涂层部件,其中所述柱状TBC的所述表面连接的空隙由所述柱状TBC内的晶界限定。

[0016] 本申请技术方案5涉及根据技术方案1所述的涂层部件,其中所述第二TBC具有孔隙率,并且其中所述中间层具有比所述第二TBC的所述孔隙率低的孔隙率。

[0017] 本申请技术方案6涉及根据技术方案1所述的涂层部件,其中所述中间层具有约0.1%至约10%的孔隙率,并且其中所述第二TBC具有约10%至约25%的孔隙率。

[0018] 本申请技术方案7涉及根据技术方案1所述的涂层部件,其中所述柱状TBC具有厚度,并且其中所述中间层具有为所述柱状TBC的所述厚度的约1%至约50%的厚度。

[0019] 本申请技术方案8涉及根据技术方案1所述的涂层部件,其中所述涂层体系还包含在所述基材的所述表面上的粘结涂层,使得所述粘结涂层存在于所述柱状TBC和所述基材的所述表面之间。

[0020] 本申请技术方案9涉及根据技术方案8所述的涂层部件,其中热生长氧化物层在所述粘结涂层与所述柱状TBC之间的所述粘结涂层上。

[0021] 本申请技术方案10涉及根据技术方案1所述的涂层部件,其中所述中间层的所述表面具有为约 $2\mu\text{m}$ 或更高的表面粗糙度(Ra)。

[0022] 本申请技术方案11涉及根据技术方案1所述的涂层部件,其中所述中间层的所述表面具有为约 $2.5\mu\text{m}$ 至约 $6.5\mu\text{m}$ 的表面粗糙度(Ra)。

[0023] 本申请技术方案12涉及根据技术方案1所述的涂层部件,其中所述柱状TBC的所述表面在除由所述空隙形成的空间外的区域中具有为约 $2.5\mu\text{m}$ 或更低的表面粗糙度(Ra)。

[0024] 本申请技术方案13涉及根据技术方案1所述的涂层部件,其中所述柱状TBC的所述表面在除由所述空隙形成的空间外的区域中具有为约 $2\mu\text{m}$ 或更低的表面粗糙度(Ra)。

[0025] 本申请技术方案14涉及根据技术方案1所述的涂层部件,其中所述柱状TBC包含陶瓷材料,并且其中所述中间层包含经由空气等离子喷射所沉积的陶瓷材料。

[0026] 本申请技术方案15涉及根据技术方案1所述的涂层部件,其中所述基材包含金属

或金属合金。

[0027] 本申请技术方案16涉及一种在基材的表面上形成涂层体系的方法,所述方法包括:

[0028] 在所述基材的所述表面上方形成柱状热障涂层(TBC),其中所述柱状TBC具有表面连接的空隙,并且其中所述柱状TBC具有有着第一表面粗糙度的表面;和

[0029] 在所述柱状TBC上形成空气等离子喷涂(APS)中间层,其中所述中间层具有与所述柱状TBC相对的表面,该表面具有比所述柱状TBC的所述第一表面粗糙度粗糙的第二表面粗糙度。

[0030] 本申请技术方案17涉及根据技术方案16所述的方法,其中所述表面连接的空隙是基本垂直取向的,并且其中所述柱状TBC的所述表面在除由所述空隙形成的空间外的区域中具有为约 $2.5\mu\text{m}$ 或更低的表面粗糙度(Ra);并且其中所述中间层的所述表面具有为约 $2.5\mu\text{m}$ 或更高的表面粗糙度(Ra)。

[0031] 本申请技术方案18涉及根据技术方案16所述的方法,其中形成所述APS中间层包括:

[0032] 通过等离子喷枪向所述柱状TBC的所述表面上喷射多个完全熔化的微粒,使得所述APS中间层具有约10%或更低的孔隙率,其中所述微粒包含陶瓷TBC层材料。

[0033] 本申请技术方案19涉及根据技术方案16所述的方法,所述方法还包括:

[0034] 在所述APS中间层上方形成第二TBC。

[0035] 本申请技术方案20涉及根据技术方案19所述的方法,其中在所述APS中间层上方形成第二TBC包括:

[0036] 通过等离子喷枪向所述柱状TBC的所述表面上喷射多个部分熔化的微粒,使得所述第二TBC具有约10%至约25%的孔隙率,其中所述微粒包含陶瓷TBC层材料。

[0037] 结合下面的描述和附随的权利要求,这些及其他特征、方面和优点将变得更好理解。并入本说明书中并构成其一部分的附图示意了本发明的实施方案,并与该描述一起用来说明本发明的某些原理。

## 附图说明

[0038] 针对所属领域的技术人员,本发明的完整且启发性公开内容,包括其最佳模式,在参考附图的说明书中被阐述,在所述附图中:

[0039] 图1示出了根据一个实施方案的经涂布的部件的一个示例性实施方案,所述经涂布的部件具有涂层体系,所述涂层体系包括粘结涂层、柱状TBC、中间层和第二TBC。

[0040] 图2示出了根据一个实施方案的形成涂层体系的一种示例性方法的图。

[0041] 在本说明书和图中参考标号的重复使用意图表示本发明的相同或相似特征或元件。

## 具体实施方式

[0042] 现将详细参考本发明的实施例,在图中说明本发明的实施例的一个或多个实例。每个实例是为了解释本发明而提供,而非限制本发明。实际上,所属领域的技术人员将清楚,在不脱离本发明的范围或精神的情况下可在本发明中进行各种修改和变化。举例来说,

说明或描述为一个实施例的一部分的特征可与另一实施例一起使用以产生再一实施例。因此,希望本发明涵盖此类修改和变化,所述修改和变化处于所附权利要求书及其等效物的范围内。

[0043] 如本文使用的,术语“涂层”指以连续或不连续方式设置在下表面的至少一部分上的材料。此外,术语“涂层”不一定意指所设置材料的均匀厚度,并且所设置材料可具有均匀或可变的厚度。术语“涂层”可指涂层材料的单层或可指多层涂层材料。涂层材料在多个层中可相同或不同。

[0044] 在本发明中,当层描述为在另一层或基材“上”或“上面”时,应理解,除非明确说明相反情况,否则所述层可彼此直接接触或在所述层之间具有另一层或特征。因此,这些术语仅描述所述层彼此的相对位置,而不必意味着“顶部上”,这是因为上方或下方的相对位置取决于装置对观察者的取向。

[0045] 一般地,提供了经涂布的部件及其形成和使用方法,所述经涂布的部件包括热障涂层(TBC),所述热障涂层(TBC)具有中间层以改善其上的另外的TBC层的粘附。看图1,其一般性地示出了一个示例性的经涂布的部件10,该部件10具有涂层体系20来保护下面的基材12(例如,下面的涂层和/或表面14)使之不受不希望的化学和/或热相互作用。涂层体系20通常包括任选的粘结涂层22、任选的粘结涂层22上方的柱状TBC 24、柱状TBC 24上方的中间层26和中间层26上的TBC 28。

[0046] 通常,柱状TBC 24具有较光滑的表面25,这导致难以在其上附着另外的层(特别是对于空气等离子喷涂(APS)涂层)。为了改善对柱状TBC 24的表面25的附着性,在柱状TBC 24上方形成中间层26以具有比柱状TBC 24的表面25粗糙(就表面粗糙度而言)的表面27。

[0047] 涂层体系20的每一个层将在下文更详细地描述。涂层体系20可用于任何合适的基材12。例如,基材12可为涡轮机部件,如(例如涡轮叶片的)翼型件。然而,应理解,基材12不限于任何特定的形状或部件。在一个实施方案中,基材12由金属或金属合金形成。实例包括金属如镍、钴、钛、铝、锆和铜。金属合金的实例包括镍基合金、钴基合金、钛基合金、铁基合金、钢、不锈钢和铝基合金。在特定的实施方案中,基材12由超合金材料形成,如镍基超合金、钴基超合金等。在一个特定的实施方案中,基材12由镍基合金形成。镍基超合金可以商品名RENE®商购获得,RENE®是对用于发动机部件来说特别有利的一个非限制性实例。

[0048] 如图1中所示,任选的粘结涂层22设置在基材12的表面14上上面的TBC层与基材12之间。当存在时,粘结涂层22提供与常规应用中通常提供的此类涂层类似的功能性(例如,粘附促进和抗氧化性)。在一些实施方案中,粘结涂层22包含铝化物,如铝化镍、铝化铂或本领域熟知的MCrAlY-型涂层。这些粘结涂层在施加到金属基材12如超合金时可能尤其有用。粘结涂层22可使用本领域已知的各种涂布技术中的任何一种来施加,如等离子喷涂、热喷涂、化学气相沉积、离子等离子沉积、气相铝化物或物理气相沉积。

[0049] 粘结涂层22可具有约2.5 $\mu\text{m}$ 至约400 $\mu\text{m}$ 的厚度,并可作为添加剂层施加到基材12或可扩散到基材中产生设计为具有性质上的梯度的不均匀组合物。然而,应指出,涂层体系20内所有涂层的厚度可随在零件上的位置而异。

[0050] 在粘结涂层22上示出了热生长的氧化物层23。通常,热生长的氧化物层23包括粘结涂层22的材料的氧化物。例如,当粘结涂层22在其构造中包括铝时,热生长的氧化物

(TGO)层23可包括氧化铝(例如,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、AlO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等或它们的混合物)。在某些实施方案中,热生长的氧化物层23一般具有至高约10μm(例如,约.01μm至约6μm)的厚度,并可为在后续层的加工期间热暴露的天然产物或可通过对零件进行热处理而设计得更厚。取决于下面的粘结涂层22、加工方法和暴露条件,TGO层可能不均匀。

[0051] 柱状TBC 24在任选的粘结涂层22上。在一个实施方案中,柱状TBC 24由电子束物理气相沉积(EB-PVD)形成,并可描述为EB-PVD TBC层。柱状TBC 24包括空隙30,空隙30可跨越柱状TBC 24的整个厚度。空隙30可有意地形成在柱状TBC 24内,并可以裂缝、晶界或其他孔隙的形式限定。在一些实施方案中,空隙30包括基本上垂直取向(从图1中的横截面视图的角度)的裂纹和/或晶界或其他微结构特征,其中空隙30通常横跨在从远离基材12朝向表面25的方向上但仍可沿空隙的长度具有一些水平向量。这些空隙30可因用来沉积柱状TBC 24的沉积工艺如EB PVD工艺的固有特性而存在。然而,空隙30也可在沉积后因运行过程中的正常磨损而形成。

[0052] 如上所述,柱状TBC 24具有较光滑的表面25,这导致难以在其上附着另外的层。例如,柱状TBC 24的表面25在除由空隙30形成的空间外的区域中可具有约2.5微米(μm)或更低(例如,约1μm或更低)的表面粗糙度(Ra)。

[0053] 具有柱状结构的柱状TBC 24通常更适用于涡轮机翼型件应用(例如,叶片和翼片)以提供应变耐受性以及抗侵蚀和抗冲击涂层。多孔结构,尤其是(但不全是)并入了如上所述垂直取向和/或柱状特征的结构,可能是在热循环期间提供热障涂层的应力耐受性的因素之一。此外,由于涂层的热膨胀系数(CTE)和下面的粘结涂层/基材的CTE之间的差异,多孔结构可提供应力减小。

[0054] 柱状TBC 24通常包括陶瓷热障材料,其可独立地选自涂层体系20内其他层的陶瓷材料。即,在某些实施方案中,柱状TBC 24和其他层(例如,柱状TBC 24)的陶瓷材料在化学组成上与中间层26和/或TBC层28基本相同。然而,在其他实施方案中,柱状TBC 24的陶瓷材料在化学组成上可与中间层26和/或TBC层28不同。合适的陶瓷热障涂层材料包括各种类型的氧化物,如钪氧化物(“氧化钪”)或锆氧化物(“氧化锆”),特别是稳定化氧化钪或稳定化氧化锆,以及包括这些中之一或二者的共混物。稳定化氧化锆的实例包括但不限于氧化钇稳定的氧化锆、氧化铈稳定的氧化锆、氧化钙稳定的氧化锆、氧化钬稳定的氧化锆、氧化镁稳定的氧化锆、氧化铟稳定的氧化锆、氧化镱稳定的氧化锆、氧化镧稳定的氧化锆、氧化钆稳定的氧化锆、以及此类稳定化氧化锆的混合物。类似的稳定化氧化钪组合物是本领域已知的并适用于本文所述的实施方案。

[0055] 在某些实施方案中,柱状TBC 24包括氧化钇稳定的氧化锆。合适的氧化钇稳定的氧化锆可包括约1重量%至约60重量%的氧化钇(基于氧化钇和氧化锆的组合重量计),更通常包括约3重量%至约20重量%的氧化钇。一种实例氧化钇稳定的氧化锆热障涂层包括约7%的氧化钇和约93%的氧化锆。这些类型的氧化锆还可包括一种或多种第二金属(例如,镧系元素或铈系元素)氧化物,如氧化镨、氧化铈、氧化铈、氧化钆、氧化钆、氧化镨、氧化铈和氧化钆,以进一步降低热障涂层材料的导热性。在一些实施方案中,热障涂层材料还可包括另外的金属氧化物,如氧化钛。

[0056] 合适的热障涂层材料还可包括通式为A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>O<sub>7</sub>的烧绿石,其中A为具有3+或2+化合价的金属(例如,钆、铝、铈、镧或钇),B为具有4+或5+化合价的金属(例如,钆、钛、铈或锆),其

中A和B的化合价之和为7。这种类型的代表性材料包括锆酸钒、钛酸镧、锆酸镧、锆酸钇、钪酸镧、钪酸铈和铈酸镧。

[0057] 柱状TBC 24可包括至多100重量%的量的陶瓷热障涂层材料。在一些实施方案中,柱状TBC 24包括在约95重量%至约100重量%、更特别是约98重量%至约100重量%的范围内的陶瓷热障涂层材料。所选择的柱状TBC 24的组成可取决于一种或多种因素,包括任选的相邻粘结涂层22(如果存在)的组成、柱状TBC 24所需的热膨胀(CTE)特性的系数以及柱状TBC 24所需的热障性质。

[0058] 柱状TBC 24的厚度可取决于基材12和/或部件10的预期用途。在一个实施方案中,柱状TBC 24具有在约25微米至约2000微米的范围内的厚度。在某些实施方案中,柱状TBC 24具有在约25微米至约1500微米(例如,约25微米至约1000微米)的范围内的厚度。

[0059] 如上所述,中间层26形成在柱状TBC 24的表面25上。在所示的实施方案中,中间层26直接形成在柱状TBC 24的表面25上而在其间没有任何其他层。然而,在其他实施方案中,可存在另外的层。

[0060] 通常,形成中间层26以限定比柱状TBC 24的表面25粗糙(就表面粗糙度而言)的表面27。例如,在一个实施方案中,中间层26的表面27具有约2 $\mu\text{m}$ 或更高的表面粗糙度(Ra),如约2.5 $\mu\text{m}$ 或更高(例如,约2.5 $\mu\text{m}$ 至约6.5 $\mu\text{m}$ ,如约3 $\mu\text{m}$ 至约6 $\mu\text{m}$ )。中间层26的表面27增加的表面粗糙度将增大随后沉积的层(例如,APS TBC层)在涂层体系内粘结的能力。

[0061] 中间层26可形成至足以使柱状TBC 24的较光滑表面25转变为由中间层26限定的较粗糙表面27、同时极小地增加涂层体系20的厚度的厚度。在一个实施方案中,中间层26可具有比柱状TBC 24的厚度小的厚度。例如,在某些实施方案中,中间层26可具有小于柱状TBC 24的厚度的一半(例如,约1%至约50%)的厚度,如柱状TBC 24的厚度的约1%至约25%(例如,柱状TBC 24的厚度的约1%至约10%)。例如,当柱状TBC 24具有约25微米至约500微米的厚度时,中间层26可具有约4微米至约500微米的厚度。

[0062] 这样的APS涂层可通过用等离子喷枪加热微粒的气体推进喷雾(例如,粉末状金属氧化物或非氧化物材料)而形成。微粒的喷雾被加热到颗粒熔化的温度,并被对准沉积表面(即,柱状TBC 24的表面25),在这里,微粒在碰撞时凝固而产生中间层26。微粒通常经由注入等离子喷枪中的气体携带,所述等离子喷枪熔化颗粒并将它们以熔融形式沉积到柱状TBC 24的表面25上。当熔融的微粒以高速度碰撞表面25时,随着微粒的冷却,其凝固成薄的基本均匀的涂层。

[0063] 在一个实施方案中,将微粒沉积到经加热的基材上,使得柱状TBC 24的表面25具有约90 $^{\circ}\text{C}$ 至约650 $^{\circ}\text{C}$ 的表面温度以确保表面25与形成中间层26的熔融微粒之间的美好粘附。例如,可在添加微粒之前使用等离子射流预热柱状TBC 24的表面25。

[0064] 可用于形成中间层26的微粒的尺寸可在平均直径约0.1 $\mu\text{m}$ 至约100 $\mu\text{m}$ 的范围内(例如,约10 $\mu\text{m}$ 至约80 $\mu\text{m}$ )。由于微粒的尺寸和组成,故喷雾在柱状TBC 24上形成多个不均匀的喷滴(splat),这些喷滴最终结合形成APS中间层26。喷滴的确切厚度和尺寸取决于空气等离子喷射中使用的微粒的初始尺寸和等离子喷射条件。

[0065] 在APS沉积过程中,所得中间层26的密度可通过改变颗粒尺寸、火焰温度、基材的表面温度、喷嘴距离和/或颗粒的速度以及其他变量来控制。例如,可通过提高APS的温度(例如,火焰温度和/或基材温度)、减小颗粒尺寸、增大颗粒速度等来增大所形成APS层的密

度(即,可减小所述层的孔隙率)。

[0066] 在一个实施方案中,中间层26通过APS形成为具有通过喷射完全熔化的材料的喷滴使得喷滴间的边界紧密联结而形成的微结构以使孔隙率最小化(即,使密度最大化)。即,在通过APS工艺沉积完全熔化的喷滴期间,中间层26中喷滴间(inter-splat gaps)的间隙被最小化以形成致密的微结构。因此,中间层26可具有低于柱状TBC 24的孔隙率和/或低于随后沉积的TBC 28的孔隙率的孔隙率。在一个实施方案中,例如,中间层26沉积为具有约10%或以下(例如,约0.1%至约10%)的孔隙率,如约5%或以下(例如,约0.1%至约5%)。完全熔化的喷滴将改善与柱状TBC 24的光滑表面25的粘附,并提供具有增加的粗糙度的表面27以实现中间层与随后沉积的TBC层(例如,热喷涂层)的良好粘结。这样,改善的喷滴接触和致密的涂层微结构导致中间层26与下面的TBC 24(例如,EB-PVD TBC层)之间以及与随后沉积的层的良好粘附。

[0067] 用来形成中间层26的微粒可包括任何合适的材料,如上文关于柱状TBC 24所述的物料,如锆、氧化钇、钆、钽和/或铈、它们的组合以及它们的氧化物。即,在特定的实施方案中,微粒可包括陶瓷热障材料,其可独立地选自柱状TBC 24的陶瓷材料。然而,在某些实施方案中,柱状TBC 24和中间层26的陶瓷材料在化学组成上基本相同。在其他实施方案中,柱状TBC 24和中间层26的陶瓷材料在化学组成上不同。

[0068] 合适的中间层26材料包括各种类型的氧化物,如钆氧化物(“氧化钆”)或铈氧化物(“氧化铈”),特别是稳定化氧化钆或稳定化氧化铈,以及包括这些中之一或二者的共混物。稳定化氧化铈的实例包括但不限于氧化钇稳定的氧化铈、氧化钕稳定的氧化铈、氧化钙稳定的氧化铈、氧化钪稳定的氧化铈、氧化镁稳定的氧化铈、氧化铟稳定的氧化铈、氧化镱稳定的氧化铈、氧化镧稳定的氧化铈、氧化钕稳定的氧化铈、以及此类稳定化氧化铈的混合物。类似的稳定化氧化钆组合物是本领域已知的并适用于本文所述的实施方案。在某些实施方案中,中间层26包括氧化钇稳定的氧化铈。在一些实施方案中,中间层26材料还可包括另外的金属氧化物,如氧化钛。合适的陶瓷中间层26材料还可包括通式为 $A_2B_2O_7$ (如上所述)的烧绿石,如铈酸钆、钪酸镧、铈酸镧、铈酸钇、钆酸镧、钆酸钕、钕酸镧、 $Y_2SiO_5$ 、 $Yb_2SiO_5$ 、 $Y_2Si_2O_7$ 、 $Yb_2Si_2O_7$ 或它们的组合。

[0069] 中间层26可包括至多100重量%的量的陶瓷TBC层材料。在一些实施方案中,中间层26包括在约95重量%至约100重量%、更特别是约98重量%至约100重量%的范围内的陶瓷TBC层材料。所选择的中间层26的组成可取决于一种或多种因素,包括相邻柱状TBC24的组成、中间层26所需的热膨胀(CTE)特性的系数以及中间层26所需的热障性质。

[0070] 如上所述,后续的TBC 28可施加到中间层26上,表面27提供改善的向其的粘附。在一个实施方案中,第二TBC 28也可经由APS形成,但采用不同的加工参数来增加与中间层26的孔隙率相比TBC 28的孔隙率。例如,可通过降低APS的温度(例如,火焰温度和/或基材温度)、增大颗粒尺寸、减小颗粒速度等来减小所形成APS层的密度(即,可增大所述层的孔隙率)。

[0071] 在一个实施方案中,TBC 28通过APS形成为具有通过喷射部分熔化的材料的喷滴使得喷滴间的边界可由间隙分开而形成的微结构,从而导致一定的孔隙率。因此,TBC 28可具有高于中间层26的孔隙率的孔隙率。在一个实施方案中,例如,TBC 28沉积为具有约10%至约25%的孔隙率。另外,所述部分熔化的喷滴与中间层26的粗糙表面27具有良好的粘附。

[0072] 这样的APS涂层可通过如上文关于中间层26所述用等离子喷枪加热微粒的气体推进喷雾来形成,并可施加到经加热的基材上使得中间层的表面27具有约90°C至约225°C的表面温度以确保表面27与形成TBC 28的部分熔化微粒之间良好的粘附。例如,可在添加微粒之前使用等离子射流预热表面27。

[0073] 可用于形成TBC 28的微粒的尺寸可在平均直径约0.1 $\mu\text{m}$ 至约100 $\mu\text{m}$ 的范围内(例如,约10 $\mu\text{m}$ 至约80 $\mu\text{m}$ )。由于微粒的尺寸和组成,故喷雾在中间层26上形成多个不均匀的喷滴,这些喷滴最终结合形成TBC 28。喷滴的确切厚度和尺寸取决于空气等离子喷射中使用的微粒的初始尺寸和等离子喷射条件。

[0074] 用来形成TBC 28的微粒可包括任何合适的材料,如上文关于柱状TBC 24和/或中间层26所述的材料,如锆、氧化钇、钆、钽和/或铈、它们的组合以及它们的氧化物。即,在特定的实施方案中,微粒可包括陶瓷热障材料,其可独立地选自中间层26的陶瓷材料。然而,在某些实施方案中,中间层26和TBC 28的陶瓷材料在化学组成上基本相同。在其他实施方案中,中间层26和TBC 28的陶瓷材料在化学组成上不同。

[0075] 合适的TBC 28材料包括各种类型的氧化物,如钆氧化物(“氧化钆”)或铈氧化物(“氧化铈”),特别是稳定化氧化钆或稳定化氧化铈,以及包括这些中之一或二者的共混物。稳定化氧化铈的实例包括但不限于氧化钇稳定的氧化铈、氧化钪稳定的氧化铈、氧化钙稳定的氧化铈、氧化钆稳定的氧化铈、氧化镁稳定的氧化铈、氧化铟稳定的氧化铈、氧化镱稳定的氧化铈、氧化镧稳定的氧化铈、氧化钪稳定的氧化铈、以及此类稳定化氧化铈的混合物。类似的稳定化氧化钆组合物是本领域已知的并适用于本文所述的实施方案。在某些实施方案中,TBC 28包括氧化钇稳定的氧化铈。在一些实施方案中,TBC 28材料还可包括另外的金属氧化物,如氧化钛。合适的陶瓷TBC 2材料还可包括通式为 $\text{A}_2\text{B}_2\text{O}_7$ (如上所述)的烧绿石,如铈酸钪、钪酸镧、铈酸镧、铈酸钇、钆酸镧、钆酸钪、钪酸镧、 $\text{Y}_2\text{SiO}_5$ 、 $\text{Yb}_2\text{SiO}_5$ 、 $\text{Y}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ 、 $\text{Yb}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ 或它们的组合。

[0076] TBC 28可包括至多100重量%的量的陶瓷TBC层材料。在一些实施方案中,TBC 28包括在约95重量%至约100重量%、更特别是约98重量%至约100重量%的范围内的陶瓷TBC层材料。所选择的TBC 28的组成可取决于一种或多种因素,包括相邻中间层26的组成、TBC 28所需的热膨胀(CTE)特性的系数以及TBC 28所需的热障性质。

[0077] TBC 28的厚度可取决于其所沉积于之上的基材12和/或所形成的部件10的类型。在特定的实施方案中,TBC 28的厚度可取决于下面的中间层26的厚度,但通常小于涂层体系20的总厚度的一半。在一些实施方案中,TBC 28大于中间层26的厚度。在特定的实施方案中,例如,当存在时TBC 28可具有比中间层26厚约0.5倍至约5倍的厚度以提供足够的屏障涂层体系20。例如,TBC 28可具有约25微米至约500微米的厚度。

[0078] 如上所述,涂层体系20通常设置于基材12的表面14上方以形成部件10。在特定的实施方案中,部件10可为经受高温环境下的维修的部件,如燃气涡轮机组件的部件(例如,在其中的热气体路径内)。这样的部件的例子包括但不限于包括涡轮翼片例如叶片和刀片的部件,以及燃烧部件例如衬垫和过渡片。

[0079] 一般地,还提供了用于在基材的表面上形成涂层体系以制造经涂布的部件如上述部件10的方法。例如,图2示出了制造涂层体系的示例性方法200的图。在210处,形成覆盖基材的表面的任意的粘结涂层。在220处,在基材的表面上(例如,在覆盖基材的表面的粘结涂

层上)形成柱状TBC。在230处,可在柱状TBC层上方形成如上所述的中间层,所述中间层具有比柱状TBC粗糙的表面和大的密度(即,低的孔隙率)。在240处,可在中间层上方形成第二TBC,如上文描述的TBC 28,所述第二TBC具有低于中间层的密度(即,具有高于中间层的孔隙率)。

[0080] 本书面描述使用示例性实施方案来公开本发明,包括最佳模式,并且还使本领域的任何技术人员能够实践本发明,包括制造和使用任何装置或系统以及执行任何包括在内的方法。本发明的可获专利的范围由权利要求书限定,且可包括所属领域的技术人员所想到的其它实例。如果此类其它实例包括并非不同于权利要求书的字面语言的结构要素,或如果它们包括与权利要求书的字面语言无实质差异的等效结构要素,那么它们既定在权利要求范围内。

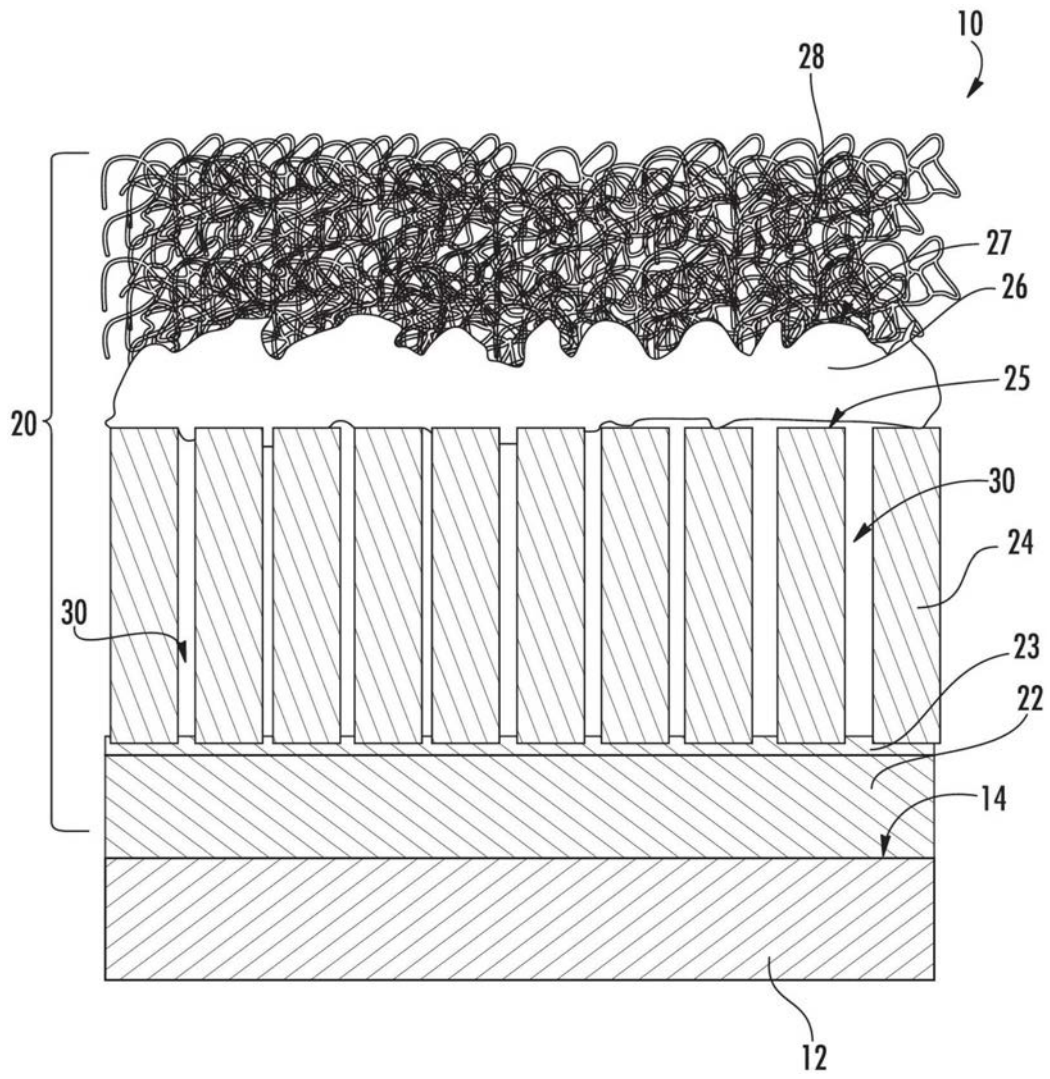


图1

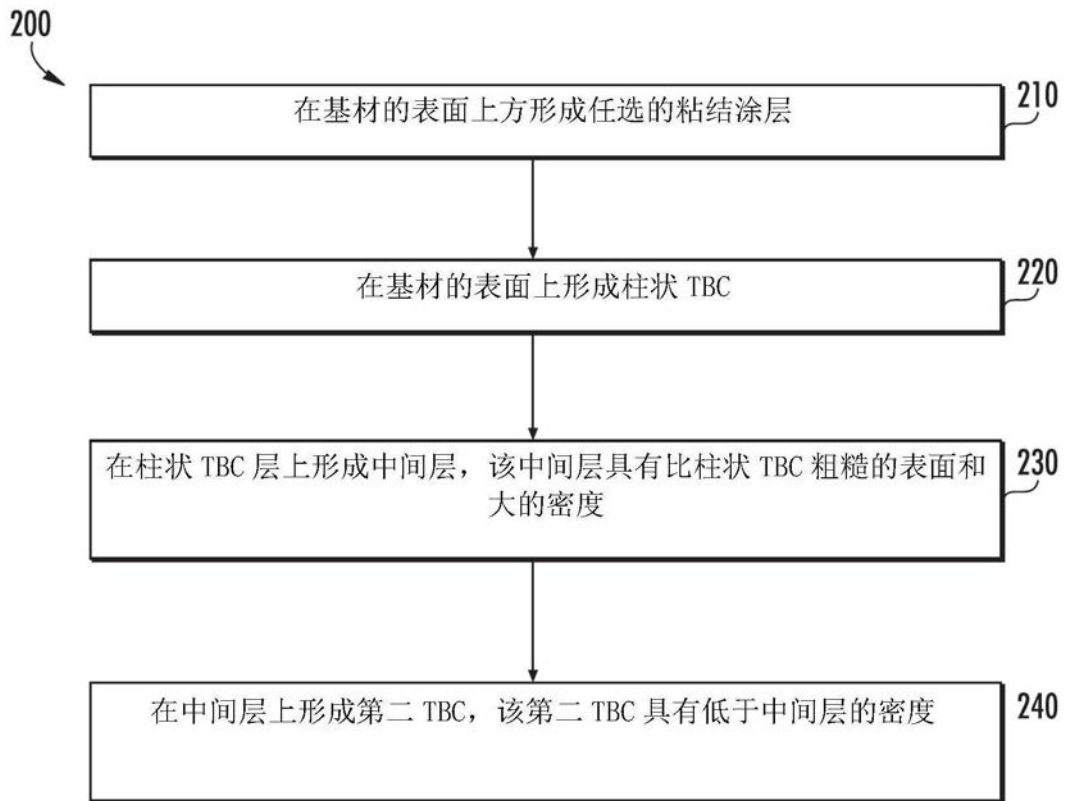


图2