



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101637822 B

(45) 授权公告日 2012. 10. 10

(21) 申请号 200910159698. 0

(22) 申请日 2009. 07. 31

(30) 优先权数据

12/183151 2008. 07. 31 US

(73) 专利权人 通用汽车环球科技运作公司

地址 美国密执安州

(72) 发明人 Y · 王

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

司 72001

代理人 代易宁 谭祐祥

(51) Int. Cl.

B22F 3/16(2006. 01)

F16C 7/02(2006. 01)

(56) 对比文件

US 2002/0025272 A1, 2002. 02. 28, 说明书第[0044]-[0158]段、附图 1-7.

US 2005/0262962 A1, 2005. 12. 01, 说明书第[0032]-[0053]段、附图 6-16.

US 2004/0013558 A1, 2004. 01. 22, 说明书第[0016]-[0165]段、附图 1-6.

US 4906430, 1990. 03. 06, 全文.

US 2006/0057017 A1, 2006. 03. 16, 全文.

CN 1261564 A, 2000. 08. 02, 全文.

CN 1171070 A, 1998. 01. 21, 全文.

US 4968348, 1990. 11. 06, 全文.

US 2004/0093985 A1, 2004. 05. 20, 全文.

审查员 刘渊

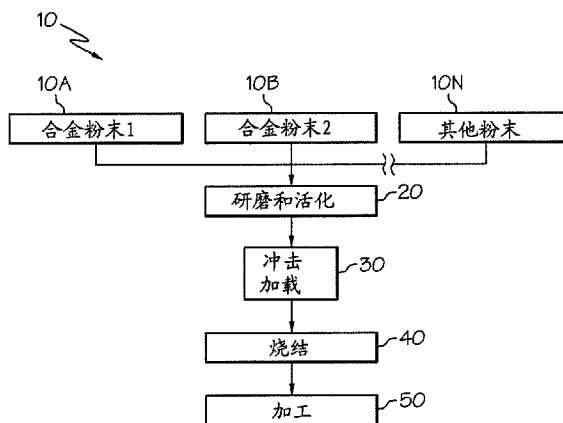
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 6 页

(54) 发明名称

使用冲击加载制造粉末金属部件的方法

(57) 摘要

本发明涉及使用冲击加载制造粉末金属部件的方法。公开了一种制备钛基金属基体复合材料构件的方法。该方法包括:将钛合金基基体与钛基陶瓷增强体组合以形成一种或多种混合物;将一种或多种混合物放入模具;通过冲击加载压制一种或多种混合物;烧结压制好的一种或多种混合物。在一种形式中,各种混合物可包括不同水平的增强体浓度。以此方式,由本方法产生的构件的不同部分可由制造好的构件的其他部分的不同混合物制成,由此有利于定制的机械特性或相关结构特性。



1. 一种大量制造钛基金属基体复合材料构件的方法,所述方法包括:

将钛合金基体与钛基陶瓷增强体组合以形成至少第一种混合物和第二种混合物,所述第一种混合物包括第一浓度的所述钛基陶瓷增强体,所述第二种混合物包括与所述第一种混合物不同的第二浓度的所述钛基陶瓷增强体;

可选择地将所述第一和第二种混合物中的一种放入模具内的第一区域,并且可选择地将所述第一和第二种混合物中的另一种放入所述模具内的第二区域,

通过冲击加载压制所述至少第一种混合物和第二种混合物,使得当进行所述压制时,对应于所述第一区域的所述构件的部分大体上包括所述第一和第二种混合物中的一种,而对应于所述第二区域的所述构件的部分大体上包括所述第一和第二种混合物中的另一种,其中所述冲击加载的源从压缩的弹簧、电液压、电磁、压电装置构成的组中选择;

烧结所述压制的至少第一种和第二种混合物;以及

重复所述组合、放入、压制和烧结的步骤至少一次。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述钛合金基体大体上包括 Ti-6Al-4V,所述陶瓷增强体大体上包括 TiB_2 。

3. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述构件为汽车构件。

4. 根据权利要求 3 所述的方法,其特征在于,所述汽车构件为发动机构件。

5. 根据权利要求 4 所述的方法,其特征在于,所述发动机构件为连杆。

6. 根据权利要求 1 所述的方法,进一步包括在所述构件上进行烧结后加工。

7. 一种大量制造钛基金属基体复合材料构件的方法,所述方法包括:

在模具内限定多个区域,所述模具大体上以所述构件的形式成形;

布置包括钛合金基体与钛基陶瓷增强体的多种混合物,所述多种混合物的每种被配置成包括不同于其他混合物的基体与增强体的比;

将所述多种混合物的第一种放入所述多个区域的第一个;

将所述多种混合物的第二种放入所述多个区域的第二个;

在所述模具中通过冲击加载压制所述多种混合物,使得当进行所述压制时,对应于所述第一区域的所述构件的部分大体上包括所述第一种混合物,而对应于所述第二区域的所述构件的部分大体上包括所述第二种混合物,其中所述冲击加载的源从压缩的弹簧、电液压装置、电磁装置、压电装置构成的组中选择;

从所述模具中移走所述构件;

烧结所述构件;以及

重复所述限定、布置、第一种和第二种放入、压制、移走和烧结的步骤至少一次。

8. 根据权利要求 7 所述的方法,其特征在于,所述基体从 β 钛、 α -2 钛、 γ 钛及其组合构成的组中选择,且所述增强体包括陶瓷。

9. 根据权利要求 8 所述的方法,其特征在于,所述陶瓷包括 TiB_2 。

10. 根据权利要求 7 所述的方法,进一步包括在所述构件上进行烧结后操作。

11. 根据权利要求 10 所述的方法,其特征在于,所述烧结后操作包括加工。

12. 根据权利要求 7 所述的方法,其特征在于,所述构件包括连杆,而且其中,所述多种混合物的所述第一种与所述第二种混合物相比包括较低浓度的增强相,所述多种混合物的所述第一种放入的所述连杆的部分与所述多种混合物的所述第二种放入的所述连杆的部

分相比具有强度和硬度的至少一个的较低的要求。

13. 一种大量制造用于内燃机的钛基金属基体复合材料连杆的方法,所述方法包括:

将钛合金基基体与钛基陶瓷增强体组合成多种混合物,使得所述多种混合物的每种与其他混合物相比包括不同的基体与增强体的比;

将所述多种混合物的第一种放入连杆模具的第一区域;

将所述多种混合物的第二种放入所述连杆模具的第二区域;

在所述连杆模具中通过冲击加载压制所述多种混合物,其中所述冲击加载通过压实元件响应于冲击源的移动而完成,所述冲击源从压缩的弹簧、电液压装置、电磁装置、压电装置构成的组中选择;

从所述模具中移走所述连杆;

烧结所述压制的多种混合物;以及

重复所述组合、第一种和第二种放入、压制、移走和烧结的步骤至少一次。

14. 根据权利要求 13 所述的方法,其特征在于,所述连杆大体上包括 Ti-6Al-4V/TiB₂ 金属基体复合材料。

15. 根据权利要求 13 所述的方法,其特征在于,所述压制在小于 1 秒的时间内发生。

使用冲击加载制造粉末金属部件的方法

技术领域

[0001] 本发明总的涉及使用粉末冶金来产生增强的钛基结构,更具体地,涉及制造用于汽车及其他运输工具应用的钛合金金属基体复合材料基构件。

背景技术

[0002] 粉末冶金 (PM) 是汽车、轮船、飞机的构件制造中使用的重要工艺。PM 典型地包括将金属粉末与合金材料混合,其可被压成近终形状,然后在受控制的气氛下烧结以形成永久冶金结合。名称为《METHOD OF MAKING TITANIUM ALLOY BASED AND TiB₂ REINFORCED COMPOSITE PARTS BY POWDER METALLURGY PROCESS》的在先美国专利申请 No. 11/955,673 (此后称为 '673 申请) 公开了一种制造 PM 钛瓷复合材料部件 (例如发动机连杆) 的方法,该方法包括:通过将钛合金基体材料与陶瓷基增强材料混合以形成混合物,压制该混合物,烧结该压制好的混合物并闭模锻造或相变致密化,所述 '673 申请全部为本发明的申请人所拥有并因此通过引用将其并入。

[0003] 因为钛合金具有所需的结构特性,例如高的比强度和优良的耐腐蚀性,所以它们尤其适合于汽车应用,该应用包括发动机中的阀、座圈、阀弹簧、连杆,以及车体及底盘中的传动系及半轴、螺栓及紧固件、螺旋悬架弹簧及排气系统。增强体 (例如颗粒增强体) 可用于增进它们的结构特性,例如弹性模量 (刚性的量度)、耐磨性和耐热性。二硼化钛 (TiB₂) 颗粒通常用作这种颗粒增强体,PM 是一种用节约成本的方式以 TiB₂ 实现颗粒增强的方法,但是也可使用其他陶瓷增强材料,例如碳化钛 (TiC) 或氮化钛 (TiN)。

[0004] 然而,需要更高密度的钛基 MMC 构件。还需要以更短的工艺周期时间和更低的成本得到这种提高密度的构件。

发明内容

[0005] 这些需要由本发明满足,其中公开了结合下面讨论的特征的方法与装置。根据本发明的第一方面,公开了制造粉末金属构件的方法,在一种形式中,部件由 Ti-6Al-4V/TiB MMC 通过粉末冶金制造,并且在更具体的形式中,部件通过冲击加载压制。除了更短的工艺时间和更低的成本以外,冲击加载粉末压制 (相比于传统的压制方法) 不限于小尺寸应用。而且,在压块中可保持原始粉末特性,合金可由独特成分产生,可制造非化学计量成分和非平衡结构。而且,形成的部件密度接近理论密度,经常超过 99%。

[0006] 除了上述混合、压制和烧结操作以外,可采取其他可选步骤。构件可为由钛合金基体与分散在基体内的 TiB₂ 增强颗粒制造的复合材料。TiB₂ 与元素钛在烧结过程中反应以产生 TiB (如制造好的 MMC 中的增强颗粒),其在钛合金中仅为热力学稳定的。烧结包括将材料加热至稍低于其熔点的温度,使得混合物中的先驱体材料的相异颗粒通过固态扩散而相互附着。烧结可优选地在受控制的气氛中进行以避免氧化及相关污染。

[0007] 尽管本领域的技术人员将认识到可使用多种钛基体,但是某些合金显示了尤其适合于结构构件,例如那些在航空航天和汽车应用中遇到的构件。这些包括 β 钛、 α -2 钛、 γ

钛及其组合。可用于本发明的 β 钛的例子包括具有大约 6wt% 铝和大约 4wt% 钒的钛（即，本文中称为 Ti-6Al-4V 或要不然称为 Ti 6-4），以及具有大约 6wt% 铝，大约 2wt% 锡，大约 4wt% 锆和大约 2wt% 钼的钛（即，Ti 6-2-4-2）。本发明人发现 Ti-6Al-4V 基于相对丰度，化学相容性和处理便利性在复合材料增强的汽车构件的制造中是特别有用。而且，TiB₂ 为 Ti-6Al-4V 基复合材料的尤其可相容的增强体。

[0008] 在另一个选择中，构件是在飞机、轮船、汽车及相关内燃机中使用的连杆。在本文中，术语“汽车”意图指代不仅轿车，而是卡车、摩托车、公共汽车及相关运输车辆模式。在发动机相关应用中，高机械加载和高温同时存在。汽车构件的其他例子（其中本方法和钛基 MMC 可发现有益应用）包括：阀、座圈、阀弹簧、螺栓、紧固件、螺旋悬架弹簧及排气系统。

[0009] 在另一个选择中，将一种或多种混合物放入模具包括可选择地将混合物的一种放入模具内的第一区域，同时可选择地将混合物的另一种放入模具内的第二区域。以此方式，当混合物被压制时，对应于第一区域的构件部分几乎全部由第一种混合物制成，而对应于第二区域的构件部分几乎全部由第二种混合物制成，其中将被理解的是，将两个相异区域桥接到一起的区域通常对应于将毗邻区域的混合物混合而成的过渡区域。在另一个选择中，冲击加载源从机械（例如，压缩的弹簧）、电液压、电磁、压电和爆炸装置构成的组中选择。更具体地，爆炸装置从爆炸冲击加载和电子枪冲击加载构成的组中选择。在另一个选择中，可在构件上进行烧结后加工。

[0010] 根据本发明的另一个方面，公开了制造钛基 MMC 构件的方法。该方法包括：在模具内限定多个区域，布置钛合金基基体与钛基陶瓷增强体的多于一种混合物，使得每种混合物与其他混合物相比具有不同的基体与增强体的比；将第一种混合物放入第一区域；将第二种混合物放入第二区域；在模具中通过冲击加载压制各种混合物；从模具中移走构件并烧结该构件。在该方法中，模具大体上以构件的形式定形。在本文中，术语“大体上”指的是元件或特征的布置，其在理论上被期望呈现准确的一致性 or 行为，而在实践中执行时有稍许的不准确。这样，该术语表示这样一个程度，数量值、测量值或其他相关表示值可以该程度从规定的基准值改变而不会导致所讨论的目标物基本功能的变化。冲击加载以如下方式作用，压实时，对应于第一区域的构件部分大体上包含第一种混合物，而对应于第二区域的构件部分大体上包含第二种混合物。

[0011] 可选地，基体可为 β 钛、 α -2 钛、 γ 钛及其组合中的一种。同样地，增强体包括陶瓷，在具体情况下其为 TiB₂。在另一个选择中，在构件上进行烧结后操作，例如加工。在该方法的具体形式中，被制造的构件为连杆。在更详细的形式中，多种混合物的第一种包含比第二种混合物更低的增强相浓度。而且，对应于第一种混合物的连杆部分比对应于第二种混合物的连杆部分具有更低的结构或加载要求。这种结构或加载要求的例子包括强度、硬度及材料或构件承载能力的相关度量。

[0012] 根据本发明的另一个方面，公开了制造用于内燃机的钛基 MMC 连杆的方法。该方法包括：将钛合金基基体与钛基陶瓷增强体组合成多种混合物，使得每种混合物与其他混合物相比具有不同的基体与增强体的比。该方法进一步包括：将第一种混合物放入连杆模具的第一区域；将第二混合物放入连杆模具的第二区域；在连杆模具中通过冲击加载压制混合物；从模具中移走连杆并烧结压制好的多种混合物，以此方式来形成连杆。

[0013] 可选地，连杆大体上包括 Ti-6Al-4V/TiB₂ MMC。在另一个选择中，冲击加载通过压

实元件（例如，活塞）响应于冲击源的移动而完成，所述冲击源从压缩的弹簧、电液压装置、电磁装置、压电装置和爆炸装置及电子枪构成的组中选择。优选地，压实操作在小于 1 秒的时间内在高度和高压冲击波下发生，更具体地为几分之一秒，更具体地为小于 10 微秒。

附图说明

[0014] 本发明的下列详细描述在结合附图阅读时将最好地被理解，其中相同的结构以相同的附图标记指示，附图中：图 1 示出了根据本发明的一个方面生产钛基 MMC 构件的工艺步骤流程图；图 2 示出了用于产生根据本发明的一个方面的冲击加载的冲击波生成装置；图 3 示出了根据本发明的一个方面制造的连杆，包括各个分立区域，其中可放置不同 TiB_2 浓度水平；以及图 4A 至 4F 示出了不同量 TiB_2 添加物对 Ti-6Al-4V/ TiB_2 MMC 微观结构的影响。

具体实施方式

[0015] 首先参照图 1，示出了根据本发明的一个方面生产钛基 MMC 构件的工艺步骤流程图。该工艺包括各种成分粉末 10A、10B 到 10N（其对应于制成 MMC 所需的材料数量）的混合 10。例如，如果 Ti-6Al-4V 是主要的基体材料，成分粉末 10A 到 10N 可包括单独的钛、氢化钛、铝钒、 TiB_2 及其他粉末。本领域的技术人员将认识到额外的成分（例如粘合料、润滑剂等）还可被包括到由混合 10 产生的混合物中，尽管这种粘合料和润滑剂不是必须的。混合 10 之后可为研磨和活化步骤 20，接下来通过冲击加载 30 进行闭模压实，然后烧结 40 以产生制成的部件。在烧结过程中，有利的是保持真空（例如，在 2 至 8 小时的时段内保持大约 10^{-3} Pa，更具体的时间范围是 3 至 6 小时）从而得到 99% 及以上的理论密度。本领域的技术人员将理解的是，更长的烧结时间可进一步改善烧结后的密度。还可采用额外的烧结后步骤，包括加工 50。这种加工 50 及相关操作的多个例子是可行的，包括去毛刺、表面加压喷丸、复压等。另外，可采用抗氧化步骤，例如通过在烧结之后使用热锻的情况下添加像 Al_2O_3 、 SiO_2 和 B_2O_3 这样的氧化物或相关的涂层。

[0016] 接下来参照图 2，示出了以冲击波压实装置 300 实现冲击加载（还称作冲击压制或冲击加载撞击）的代表性方式。冲击波可由电液压、电磁、压电和爆炸装置产生。冲击波的电液压引发比电磁和压电变体产生更高能量通量密度。爆炸引发包括爆炸冲击加载和电子枪冲击加载；在前者中使用高能炸药，例如三硝基甲苯（TNT），而在后者中，由于薄金属箔爆炸或蒸发，导致薄的介电飞行件向粉末组件加速。电子枪使用最初存储在电容器组中的能量以通过欧姆放电使在折叠的传输线薄层上的薄金属（例如铝）箔加热和爆炸、或蒸发。

[0017] 冲击加载用于由前驱体粉末产生致密固体。除了上述 Ti-6Al-4V 金属粉末和 TiB_2 陶瓷粉末以外，冲击加载可用于压实聚合物粉末或以上粉末的组合。在引发冲击波之前通常处于室温的粉末被移动经过封装好的粉末的冲击前沿压实。在非常短时间内的速度和高压冲击波下，产生了高应变率变形，其趋于使材料由于局部产生的大量热而塑性变形。因为可能没有足够的时间通过热传递而耗散热量，该热量由于绝热效果甚至可局部地熔化颗粒表面。在冲击加载中，冲击波可用于在高压下和非常短的时间内（例如，大约几微秒）产生高速撞击（几米到几百米每秒）。不像传统的 PM 方式，其不需要粘合料。这样，冲击加载具有增加生坯部件密度的益处（例如，至 99% 或更高）。

[0018] 因为平面冲击波能够提供受控制的波并提供伴随的在被压实的部件内的最大且

均匀的压实,所以它们是优选的。爆炸物在组件的顶部由引爆物引爆,这导致冲击波沿着粉末的长度往下冲。通过引爆爆炸物产生的冲击前沿将封装好的粉末压制成固体形式。由冲击前沿施加的压力一般比被压制粉末的剪切应力大几倍。这由于材料的塑性流动和空位的塌陷导致了粉末的塑性变形和压块的致密化。由冲击前沿引起的颗粒与颗粒之间的摩擦、变形的热量以及单个颗粒的高速撞击导致邻近颗粒间的结合。具有高密度的压块(接近理论密度)可使用爆炸压制方法制造。

[0019] 爆炸粉末压制的优点(相比于传统的压制方法)包括:该工艺不限于小尺寸应用,在压块中可保持原始粉末特性,合金可由独特成分产生,可制造非化学计量成分和非平衡结构,密度接近理论密度。

[0020] 压实装置 300 包括冲击外壳 310,其中压实元件(当前以活塞 320 的形式示出,但是能够存在其他形式)在外壳 310 中形成的室 330 内上下往复运动。上部模子 340A 和下部模子 340B 具有相配合的形状,使得当模子 340A 和 340B 相互接合时,包含粉末 10A、10B.....10N 的一种或多种的混合物被压实成由相配合的模子 340A 和 340B 所指定的形状。如上所述,爆炸粉末压制(或其他冲击加载方式的一种)可用于给予活塞 320 足够的能量以迫使模子 340A 和 340B 之间存有的粉末混合物被压紧。

[0021] 具有几种方法来产生冲击波以推动活塞 320 和上部模子 340A(它们可一起形成一个组件)来撞击置于模子 340A 和 340B 之间的压制形状中的粉末 10A、10B.....10N。首先是通过弹簧-活塞式枪(未示出),其中通过释放枪中的被压缩的成卷带钢,活塞 320 被向前推动。这仅发生在远小于一秒的时间内,在该段时间期间,由活塞 320 和上部模子 340A 组成的组件之间的空气在压缩过程中经受了到几百度的绝热加热。粉末由移动经过封装好的粉末的冲击前沿压实。在非常短时间内的速度和高压冲击波下,材料趋于由于局部产生的大量热而塑性变形。因为可能没有足够的时间通过热传递而耗散热量,该热量由于绝热效果甚至可局部地熔化粉末材料。粉末的塑性变形由高应变率变形引起,并且甚至可在陶瓷材料中发生。冲击波在高压下和非常短的时间内产生高速撞击(10-1000m/s)。产生撞击的其他方法包括电液、电磁、和压电方法,如上所述。通过引爆爆炸物产生的冲击前沿将封装好的粉末压制成固体形式,由冲击前沿施加的压力一般比被压制粉末的剪切应力大几倍。这还导致了粉末的塑性变形和压实的致密化,其在当前情况下是由于材料的流动和空位的塌陷。颗粒与颗粒之间的摩擦、变形的热量以及由冲击前沿引起的单个颗粒的高速撞击导致邻近颗粒间的结合。具有接近理论最高密度的压块可使用爆炸压制方法制造。在粉末和爆炸物之间一般具有金属层,该层(其为牺牲的)可为由钢或其他金属制造的板。在另一种形式中,取决于部件几何形状,其可为模子的一部分。

[0022] 整个冲击加载工艺使用一个冲程、一个模子并产生一个或多个部件。然而,使用除了爆炸冲击加载以外的方法,多个冲程也是可以的。一旦构件经过了冲击加载,该构件可被烧结以进一步改善其密度和强度。对于具有 10wt% TiB₂ 的 Ti-6Al-4V 基的连杆,部件以 2 至 5 摄氏度/分钟的速率在 1200 至 1450 摄氏度的温度范围内被加热 2 至 8 小时。这样,平均烧结温度为大约 1300 摄氏度,典型的烧结时间为大约 3 小时。典型的烧结真空度在 10⁻³ 帕斯卡范围内。更长的烧结时间可显著地改善烧结后的密度。在烧结过程中,扩散导致成分梯度的微观结构在两个不同的 TiB₂ 成分区域之间形成。与粉末冶金处理的其他形式相似,可使用冷却方案,其中烧结后和压制后的构件被冷却多个小时。

[0023] 接下来参照图 3, 示出了根据本发明制造的连杆 100。该杆 100 在汽车发动机中使用, 作为活塞和曲轴 (都没有示出) 之间的连接元件来将曲轴的旋转运动变换为活塞的线性往复运动。连杆 100 的顶部 110 包括在其中具有轴颈或轴承区域 117 的增大端部 115, 该轴颈或轴承区域 117 容纳活塞销衬套 (未示出), 而底部 120 包括在其中具有轴颈或轴承区域 127 的更大的增大端部 125, 该轴颈或轴承区域 127 容纳曲轴轴承 (未示出)。螺栓 128 或相关紧固件将轴承盖 129 固定到增大端部 125, 该增大端部 125 可包括小口 (未示出) 以允许机油或相关增压润滑剂流到活塞。颈部区域 130 在端部 115 和 125 之间延伸, 将二者连接在一起成大体上的整体构造。连杆 100 经受极大的拉、压和弯曲应力, 因此对其机械性能和加工性有特殊要求。颈部区域 130 应具有非常高的硬度、受拉和受压屈服强度, 以及耐疲劳性以确保高性能和耐久度, 而各自外壳端部 115 和 125 内的区域 117 和 127 需要精确加工。

[0024] 为了满足这些种种要求, 增强 TiB_2 的浓度可适应连杆 100 内的具体区域。尤其地, 颈部区域 130、和底部区域 120 的至少非轴颈部分可由较高浓度的增强相材料制造, 例如, 10wt% TiB_2 颗粒增强体。这些区域在通常仅涉及最小加工的同时要求较高的硬度。这样, 它们为由更大浓度 TiB_2 颗粒产生的更坚固、更硬的 MMC 的良好候选区域。与盖 129 相关的部分虽然由较低 TiB_2 颗粒浓度制造, 但是其可采用牺牲金属杆从而在其中形成螺栓孔。牺牲 (金属或非金属) 心轴可用于制造所需的孔。顶部外壳端部 115 的轴颈或轴承区域 117 和底部外壳 125 的轴颈或轴承区域 127 可由较低增强相材料浓度制造, 例如, 5wt% 至 7wt% 之间的 TiB_2 颗粒增强体。典型地, 轴颈或轴承需要大量的加工, 且 MMC 中的较低 TiB_2 含量使其更容易加工, 导致了更低的加工成本, 加工生产率及相关工具寿命被提高。

[0025] 将具有不同 TiB_2 成分的混合后的粉末向不同的模子区域填充可通过多个步骤实现。在这种方式中, 当各独立区域 (例如区域 117、127 和 130) 被填充粉末时, 其他区域被挡住。以这种方法, 具体构件内的不同区域可具有放置的不同水平的增强体来提供定制的 (tailored) 特性。在填充之后, 闭模压制可在室温下进行以制造压制好的生坯 (即, 烧结前) 部件。

[0026] 通过在分立构件位置放置特定 TiB_2 浓度使这种定制设计成为可能, 所述定制设计可为连杆 100 的机械特性和加工性能的优化提供更大的灵活性。在将制造连杆 100 的模具、模子或相关工具的设置中, 因为各区域 117、127 和 130 与连杆 10 的其他部分相比采用了不同浓度的增强颗粒, 所以它们可分别地填充颗粒 / 基体混合物。在构件制造过程中, 各过渡区域将在这些具有不同颗粒浓度的分立区域之间形成; 这些区域可具有梯度成分微观结构和梯度机械特性。

[0027] 用于制造金属基体成分 (MMC) 先驱体粉末 (例如 Ti-6Al-4V) 的钛粉末的典型尺寸可在 2 至 150 微米的范围内, 其比传统的粉末金属压制中的尺寸范围要宽很多。典型的 TiB_2 颗粒尺寸和 Al-V 母合金粉末都在 5 至 75 微米的范围内。本领域的技术人员将认识到有几种产生这种粉末的可行方法。例如, 钛粉末可由已知的氢化物脱氢工艺制造。

[0028] 接下来参照图 4A 至 4F, 示出了具有 0、3、7、10、15、20wt% TiB_2 增强相的 Ti-6Al-4V/ TiB_2 MMC 烧结后的微观结构。如可见的, 微观结构中的晶粒尺寸随着 TiB_2 含量的增加而变小。增强相 TiB (其中 TiB_2 变成合金中的 TiB 相) 的增加和晶粒尺寸的变小解释为抗拉强度和屈服强度以及硬度增加的原因。如下表所示, 延伸率随着 TiB_2 含量的增加

而减小。

种类	极限抗拉强度 MPa	0.2 屈服强度 MPa	延伸率 %	杨氏模量 GPa
Ti-6Al-4V	1047-1132	1019-1090	10-16	95-108
Ti-6Al-4V+3wt. % TiB ₂	1180-1230	1080-1120	11-13	118-129
Ti-6Al-4V+5wt. % TiB ₂	1200-1250	1100-1135	7-9.5	120-137
Ti-6Al-4V+7wt. % TiB ₂	1225-1287	1105-1125	6.5-7.8	128-138
Ti-6Al-4V+10wt. % TiB ₂	1360-1390	1250-1320	1.5-2.5	155-170

[0029] TiB₂ 为 Ti-6Al-4V 钛合金的优良的增强体。这样,相比于非增强的 Ti-6Al-4V 合金, Ti-6Al-4V MMC 具有更高的强度和弹性模量。例如,增强的 Ti-6Al-4V 合金的弹性模量超过 140GPa,并且与平均弹性模量为 100GPa 的非增强的 Ti-6Al-4V 相比,增强的 Ti-6Al-4V 合金的弹性模量可达 155GPa 以上。增强的 Ti-6Al-4V 的极限抗拉强度超过 1350MPa(平均为 1450MPa),显著地大于非增强的 Ti-6Al-4V 的平均极限抗拉强度 1100MPa。相比于非增强的 Ti-6Al-4V 的 0.2% 屈服强度(平均为 1050MPa),增强的 Ti-6Al-4V 的 0.2% 屈服强度超过 1250MPa(平均为 1300MPa)。增强的 Ti-6Al-4V 的洛氏硬度高于 43。

[0030] 尽管为了说明本发明的目的示出了某些代表性的实施例和细节,但是对于本领域的技术人员显而易见的是,在不脱离在所附权利要求中限定的本发明范围的情况下,可制造出各种变化。

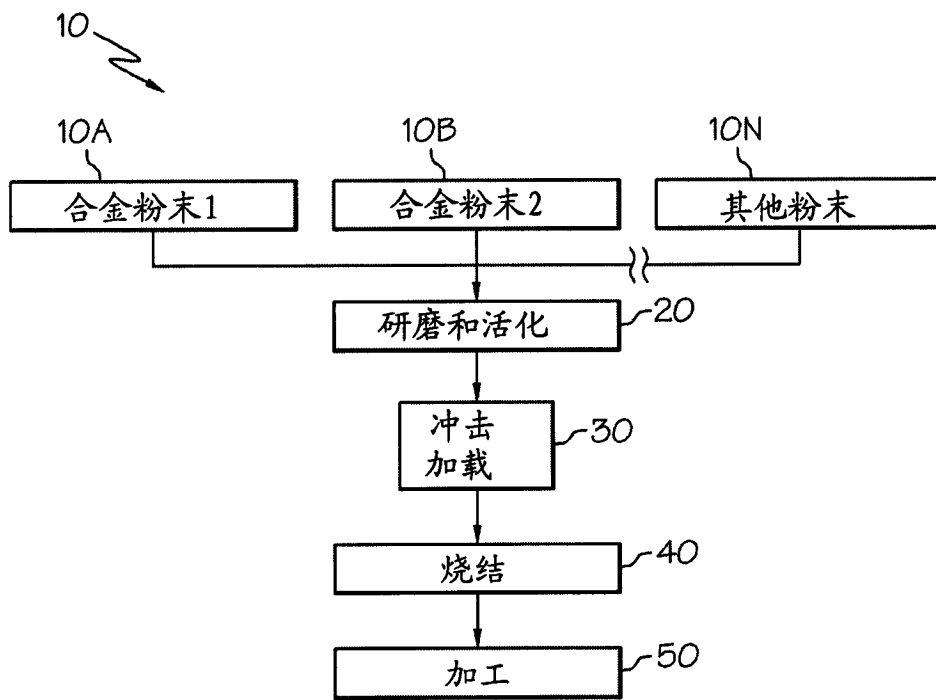


图 1

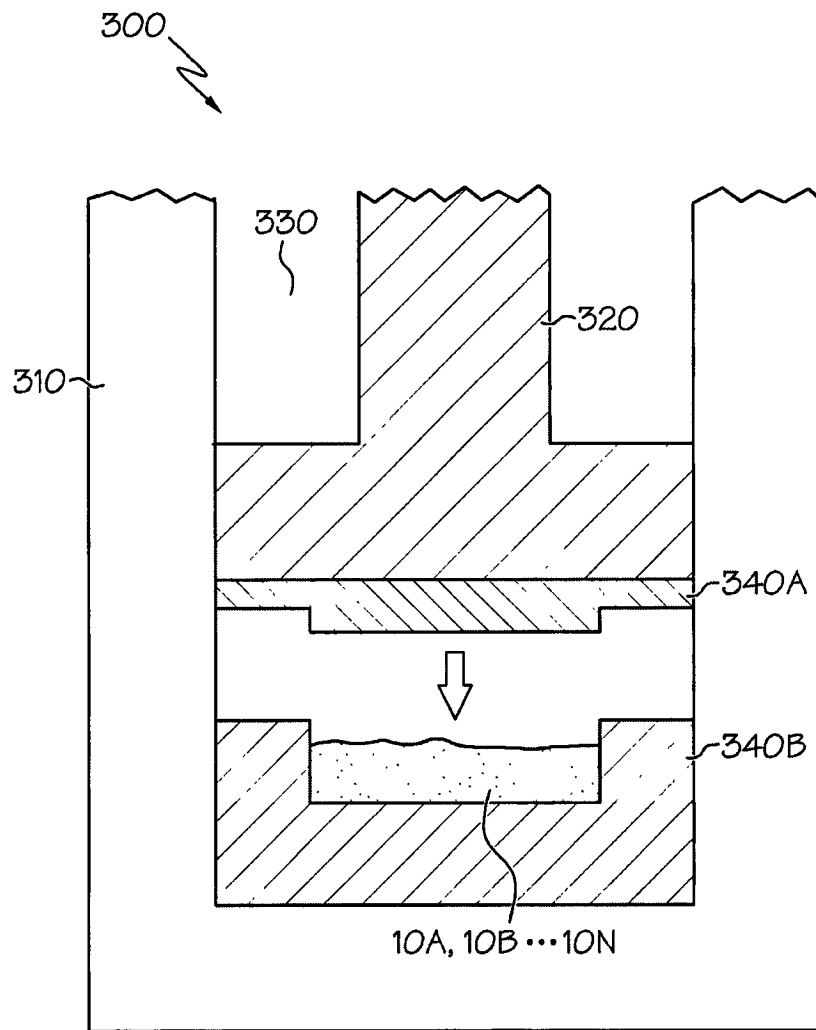


图 2

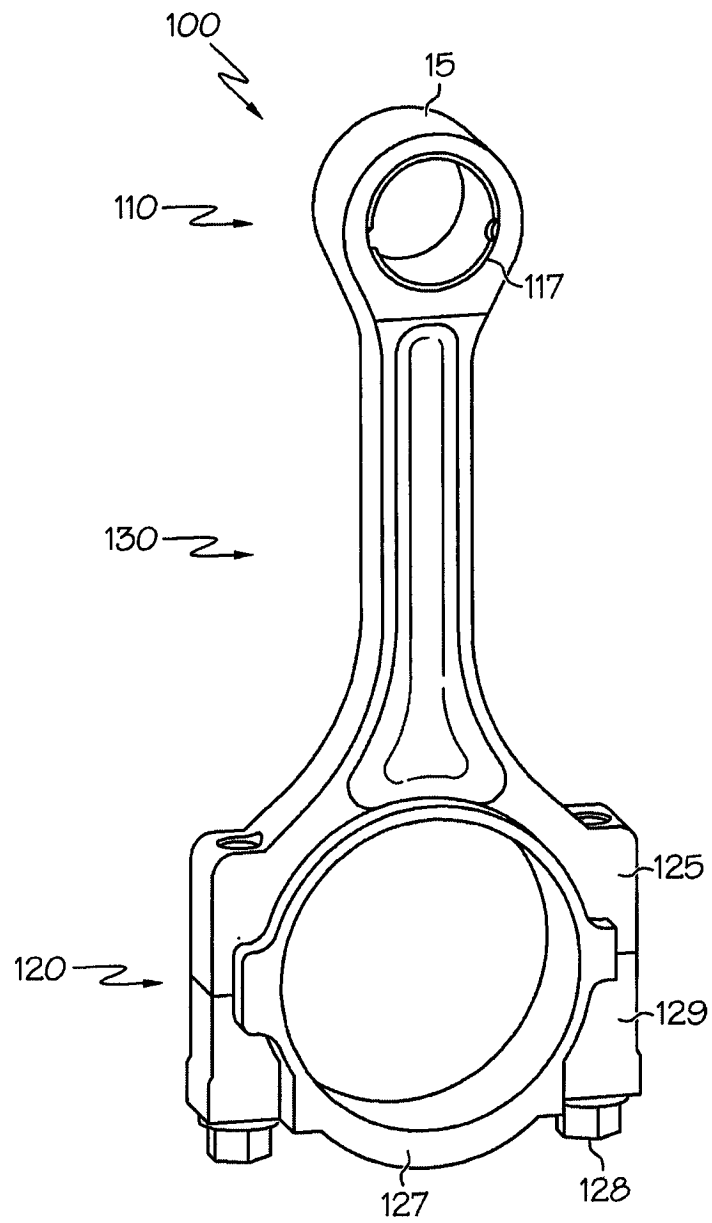


图 3

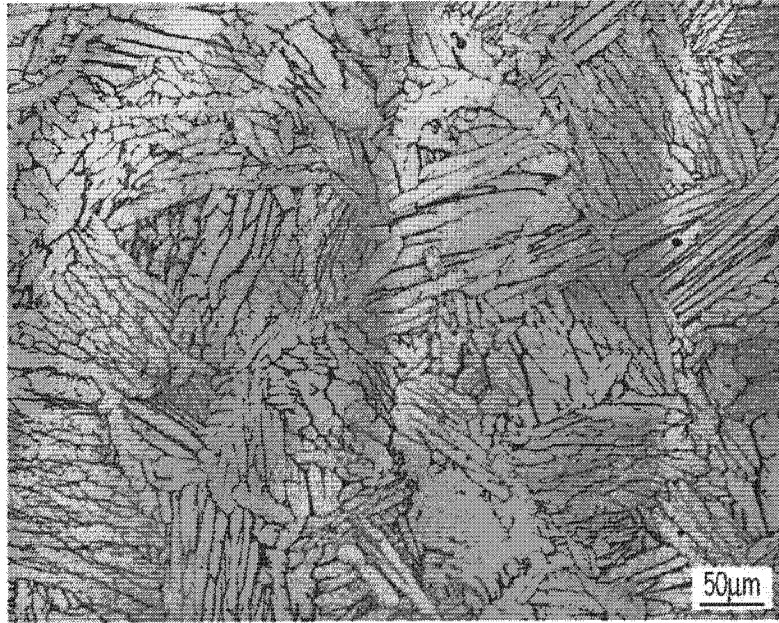


图 4A

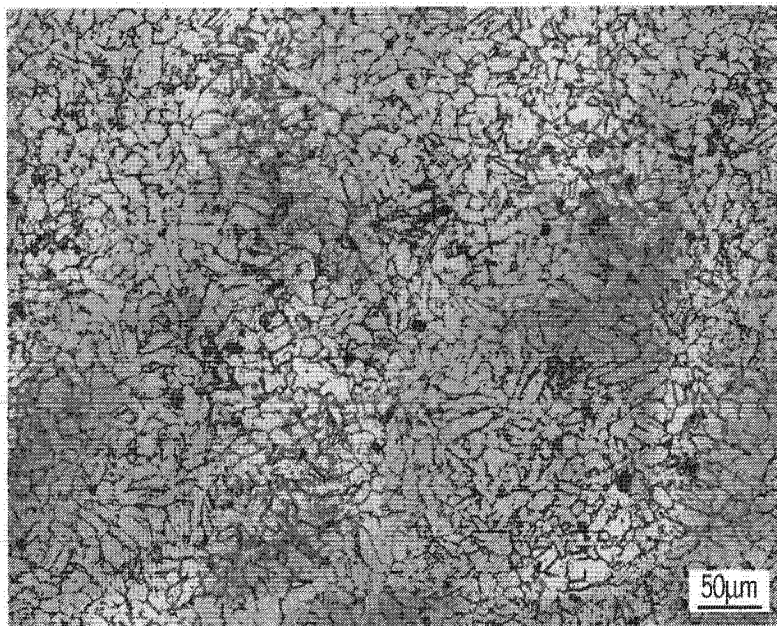


图 4B

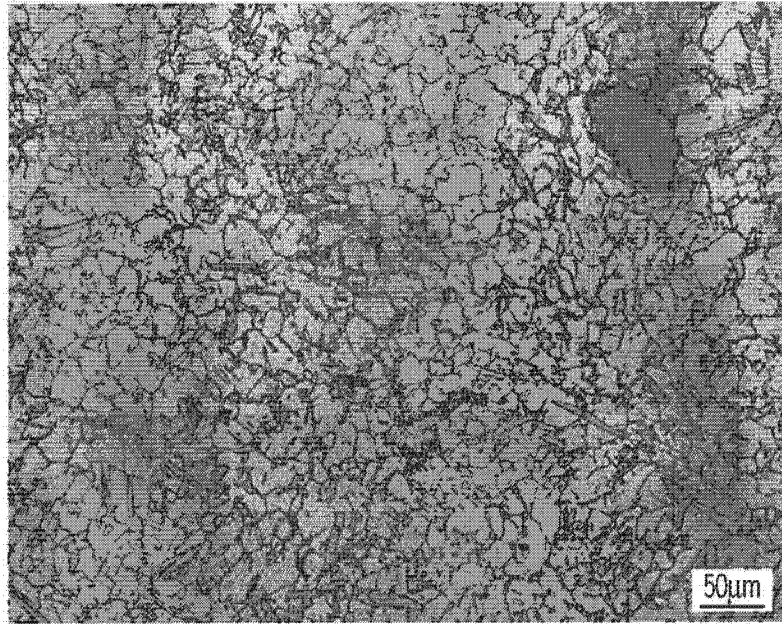


图 4C

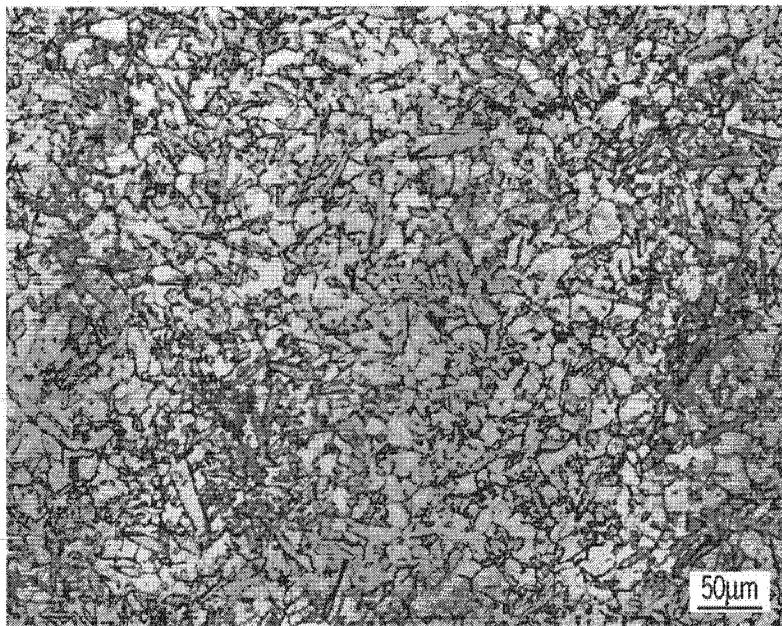


图 4D

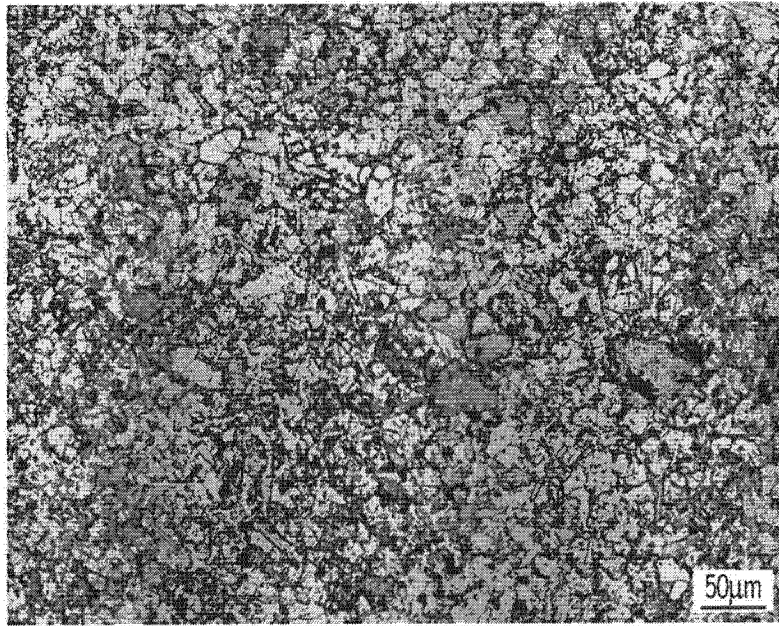


图 4E

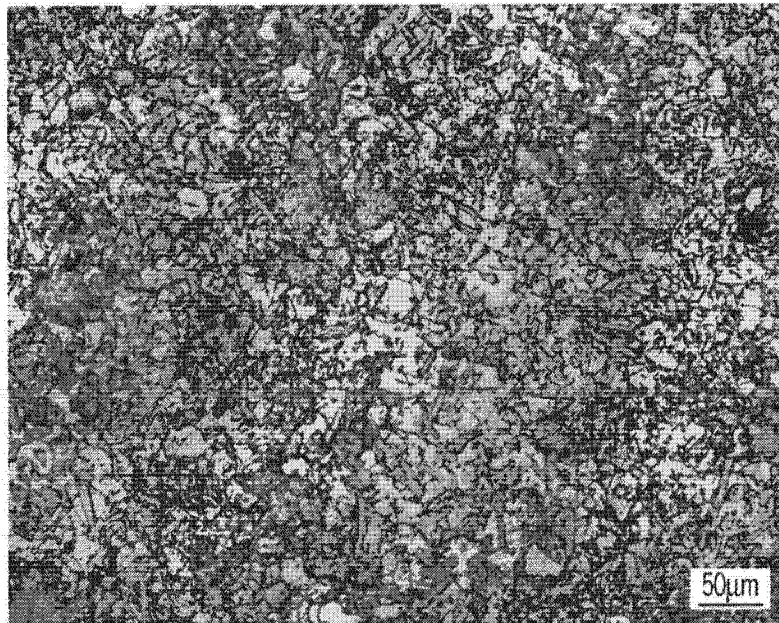


图 4F