



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106735186 B

(45)授权公告日 2018.11.27

(21)申请号 201611115430.3 *B22F 3/04*(2006.01)
(22)申请日 2016.12.07 *B22F 3/10*(2006.01)
(65)同一申请的已公布的文献号 *B22F 3/14*(2006.01)
申请公布号 CN 106735186 A *B22F 3/16*(2006.01)
B22F 5/08(2006.01)
(43)申请公布日 2017.05.31 *G22C 14/00*(2006.01)
(73)专利权人 北京科技大学 *B33Y 10/00*(2015.01)
地址 100083 北京市海淀区学院路30号
(72)发明人 郭志猛 徐欢 吴成义 杨薇薇
张欣悦 郭雷辰 杨芳 李仲
姜长孝
(74)专利代理机构 北京市广友专利事务所有限
责任公司 11237
代理人 张仲波
(51)Int.Cl.
B22F 3/03(2006.01)

(56)对比文件

CN 105268977 A,2016.01.27,
JP H03281701 A,1991.12.12,
CN 105798296 A,2016.07.27,
CN 103896601 A,2014.07.02,
CN 104907567 A,2015.09.16,
审查员 樊正国

权利要求书2页 说明书4页

(54)发明名称

一种3D打印-冷等静压制备钛合金多级齿轮的方法

(57)摘要

一种3D打印-冷等静压制备钛合金多级齿轮的方法。先利用光固化打印机或熔融沉积成型(FDM)3D打印机打印出实体模具再制备空腔模具或直接打印出空腔模具,然后将钛合金粉装填在空腔模具中,经一定压力和保压时间的冷等静压成型制得密度均匀的生坯,最后经脱模、真空烧结和精加工制得所需的钛合金多级齿轮。该方法的优点是:选择了性能优异的钛合金粉作为生产多级齿轮的原料,且结合了3D打印技术在成形上的优势和粉末冶金冷等静压技术、烧结技术在性能上的优势,可制备尺寸精度高的钛合金多级齿轮,通过控氧、不添加有机物粘结剂成型,制备的多级齿轮杂质含量少、无组织偏析、性能优异,且本工艺耗时短、效率高、成本低,具有广泛的社会意义和经济效益。

1. 一种3D打印-冷等静压制备钛合金多级齿轮的方法,其特征在于先利用3D打印技术制备多级齿轮的空腔模具,然后选择合适的钛合金粉装填在模具中并封装,经过冷等静压、烧结和精加工制备所需的钛合金多级齿轮,其具体工艺流程如下:

3D打印制备空腔模具→装粉和封装→冷等静压→烧结→精加工;所述制备空腔模的方法如下:

(1) 利用三维画图软件,画出所需的多级齿轮的零件图,再把零件图的格式转变为3D打印机所能识别的文件格式,或通过三维扫描仪扫描现有的多级齿轮获得零件的x-y-z参数,输入3D打印机中,并根据零件的最终尺寸,考虑冷等静压和烧结后的收缩比例,按一定的比例放大三维尺寸,对于钛合金粉末,需放大至要求尺寸的1.3~1.5倍,最后通过3D打印机直接打印光敏树脂材质的实体模具;

(2) 在上述实体模具的基础上再制备空腔模具,操作如下:

1) 用酒精抛光固化打印机打印的光敏树脂材料,提高打印实体的表面精度,这样才能制备精度高的模具;

2) 选好合适的装料口,固定打印的三维实体,涂刷硅胶可固化材料制备1~6mm厚的弹性模具作为内层模具;

3) 在弹性模具外浇注强度较高且容易脱模的材料作为外层模具,保持形状。

2. 根据权利要求1中所述的一种3D打印-冷等静压制备钛合金多级齿轮的方法,其特征在于所述装粉和封装步骤要求:

(1) 所述钛合金粉为以下3种中的任一种:

1) 含质量分数5.5%~6.8%Al和3.5%~4.5%V的钛合金粉Ti6Al4V,粒度范围为5~100 μ m,平均粒径为20 μ m,含氧量小于2000ppm;

2) 含质量分数5.8%~7.0%Al、2.8%~3.8%Mo、0.8%~2.0%Zr和0.20%~0.35%Si的钛合金粉Ti6.5Al3.5Mo1.5Zr0.3Si,粒度范围为0.3~1.0 μ m,平均粒径为0.5 μ m,含氧量小于1500ppm;

3) 含质量分数4.4%~5.9%Al、4.0%~5.5%Mo、4.0%~5.5%V、0.5%~2.0%Cr和0.5%~1.5%Fe的钛合金粉Ti5Al5Mo5V1Cr1Fe,粒度范围为1.2~2.0 μ m,平均粒径为1.7 μ m,含氧量小于2000ppm;

(2) 装粉的要求:在充满氩气的手套箱中,将空腔模具放在振动台上边装粉边振动,尽可能均匀、致密地装粉并保证钛合金隔绝空气,避免被氧化;

(3) 封装的要求:装完粉后,依据开口的形状、尺寸制备弹性封口配件,严格密封粉末,并利用真空包装机密封模具,防止压制时冷等静压的油性介质进入模具破坏粉末。

3. 根据权利要求1中所述的一种3D打印-冷等静压制备钛合金多级齿轮的方法,其特征在于所述冷等静压步骤为:

(1) 最高压力为100~250MPa,升压速率为20~30MPa/min,保压时间为2min;

(2) 压制后脱模的步骤和要求为:

手动除去或直接烧除3D打印机直接打印的空腔模具;或先升温40℃左右除去外层石蜡模具,然后手动除去内层弹性模具。

4. 根据权利要求1中所述的一种3D打印-冷等静压制备钛合金多级齿轮的方法,其特征在于所述烧结工艺选择以下四个烧结工艺中任意一种:

(1) 真空烧结:在压力低于 10^{-3} Pa的真空炉中烧结,首先在500~700℃排除杂质及残留气体,然后在1000~1300℃烧结1-2h,升温速率为3~5℃/min;

(2) 气压烧结:放在通高纯氩气的烧结炉中, $P \leq 3$ MPa烧结,首先在500~700℃排除杂质及残留气体,然后升温至烧结温度900~1200℃,保温0.5~2h,升温速率为5~10℃/min;

(3) 加压烧结:在3~20MPa的压力下烧结,首先在500~700℃排除杂质及残留气体,然后升温至烧结温度900~1100℃,保温0.5~1h,升温速率为5~10℃/min;

(4) 热压烧结:先升温至900~1000℃,然后加压至100~120MPa,烧结0.5~1h,升温速率为10~15℃/min,加压速率为5~10MPa/min。

一种3D打印-冷等静压制备钛合金多级齿轮的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种3D打印-冷等静压制备钛合金多级齿轮的方法,属于3D打印技术领域及金属粉末成形领域。

背景技术

[0002] 钛合金是继钢、铝之后重要的金属结构材料,具有密度低、比强度高、耐热性强、耐腐蚀性好、生物相容性优异等性能,且当氧、氢、氮等含量较低时,在超低温条件下仍具有良好的延展性和韧性。其还被誉为“21世纪的金属”,是极具发展前景的结构材料。钛及其合金不仅在航空航天领域有着十分重要的应用,在化工、石油、轻工、冶金、汽车、生物医药、体育休闲等行业也有着广泛的应用前景,并已成为新工艺、新技术、新设备不可缺少的金属材料。目前,主要采用传统的切削加工工艺制备多级齿轮,即采用棒料毛坯(直径较大的采用锻造毛坯),经车端面、钻孔、车内外圈、滚齿、剃齿及热处理等多道工序成形。该方法加工难度大、生产效率低、组织结构不均匀、浪费原材料,使企业的效益受到影响;并因为在加工时材料的组织结构容易被破坏,使齿轮强度不高,影响其承载能力。而虽然3D打印技术中的选区激光烧结技术可以直接打印钛合金,完成一些传统制造上无法达成的设计,制作出更复杂的结构节约材料,适用于定制,小批量生产,但该技术的成本极高,对原料的要求高,仅球形钛合金粉原料的成本就高达3000~6000元/kg,且打印效率低,打印精度不高。因此,开发钛合金多级齿轮新的成型工艺具有广泛的社会意义和经济效益。

[0003] 粉末冶金是以粉末作为原料,经过成形和烧结,制造金属材料、复合材料及各类型制品的工艺技术。与铸造法相比,粉末冶金技术能够最大限度地减少合金成分偏析,消除粗大、不均匀的铸造组织,提高制品性能;能够实现近净成形和自动化批量生产,有效降低资源和能源消耗。而且粉末冶金技术不通过熔化金属而制取高性能致密材料,解决了熔铸法制备金属材料时遇到的难题。但在异形件的直接成形上,使用的注射成形技术需加入质量分数高达20%的有机物,造成脱脂过程繁琐,粘结剂的熔化或挥发使坯体的强度降低,易形成缺陷甚至倒塌,降低了其质量的稳定性,且生坯烧结后致密度低,孔隙率高约有18%~25%,影响了高强度合金的应用。而冷等静压技术成型钛合金多级齿轮中的粉末不需添加任何有机物,能制造干净、高性能、高复杂形状的钛合金多级齿轮,且成型的钛合金多级齿轮只需进一步少量加工甚至不需进一步加工,节省材料和时间。

[0004] 本发明提供了一种3D打印-冷等静压制备钛合金多级齿轮及其方法,首先利用3D打印技术打印热塑性聚氨酯弹性体(TPU)、石蜡等软丝材料的空腔模具或打印实体模具,然后涂刷弹性材料制备薄的内层模具,再在内层模具外浇常温有一定强度但冷等静压过程中可以均匀收缩的热塑性材料如石蜡,最后经过脱模、冷等静压、烧结工艺制备钛合金多级齿轮。利用光固化或熔融沉积成型(FDM)原理的3D打印技术和粉末冶金冷等静压技术复合成型钛合金多级齿轮,并优化其形状尺寸及性能、降低生产成本。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种3D打印-冷等静压成型制备的钛合金多级齿轮及其方法。即,先利用3D打印技术打印出空腔模具或打印出任意材料、低填充率的实体模具,再制备空腔模具;然后选择合适的钛合金粉装填在空腔模具中;最后冷等静压制备钛合金多级齿轮生坯,经脱模、真空烧结和精加工后可获得强度高、尺寸精度高的钛合金多级齿轮。本发明的优势在于选择了性能优异的钛合金作为生产多级齿轮的原料,且结合了3D打印技术在成形上的优势和冷等静压技术、烧结技术在性能方面的优势,高效率、低成本地制造出了复杂形状的钛合金多级齿轮。选择的钛合金烧结致密度能达到99%左右,整个制备工艺流程时间仅需2~3小时。

[0006] 一种3D打印-冷等静压制备钛合金多级齿轮的方法,其特征在于先利用3D打印技术制备多级齿轮的空腔模具,然后选择合适的钛合金粉装填在模具中并封装,经过冷等静压、烧结和精加工制备所需的钛合金多级齿轮,其具体工艺流程如下:

[0007] 3D打印制备空腔模具→装粉和封装→冷等静压→烧结→精加工。

[0008] 所述制备空腔模具的方法分两种:

[0009] (1) 利用三维画图软件,画出所需的多级齿轮的零件图,再把零件图的格式转变为3D打印机所能识别的文件格式,或通过三维扫描仪扫描现有的多级齿轮获得零件的x-y-z参数,输入3D打印机中,并根据零件的最终尺寸,考虑冷等静压和烧结后的收缩比例,按一定的比例放大三维尺寸,对于钛合金粉末,需放大至要求尺寸的1.3~1.5倍,最后通过3D打印机直接打印特殊软丝材质的材料,包括热塑性聚氨酯弹性体TPU、石蜡等,即得到空腔模具或打印材料为聚乳酸PLA、丙烯腈/丁二烯/苯乙烯共聚物ABS或光敏树脂材质的实体模具;

[0010] (2) 如果先打印实体模具再制备空腔模具,操作如下:

[0011] 1) 用丙酮或甲苯抛光熔融沉积成型(FDM)3D打印机打印的丙烯腈/丁二烯/苯乙烯共聚物ABS或聚乳酸PLA,用酒精抛光光固化打印机打印的光敏树脂材料,提高打印实体的表面精度,这样才能制备精度高的模具;

[0012] 2) 选好合适的装料口,固定打印的三维实体,涂刷硅胶等可固化材料制备1~6mm厚的弹性模具作为内层模具;

[0013] 3) 在弹性模具外浇注强度较高且容易脱模的特殊材料作为外层模具,保持形状,如40℃左右即可熔化的石蜡。

[0014] 进一步所述装粉和封装步骤要求:

[0015] (1) 所述钛合金粉包括下列参数要求:

[0016] 1) 含质量分数5.5%~6.8%Al和3.5%~4.5%V的钛合金粉Ti6Al4V,粒度范围为5~100 μ m,平均粒径为20 μ m,含氧量小于2000ppm;

[0017] 2) 含质量分数5.8%~7.0%Al、2.8%~3.8%Mo、0.8%~2.0%Zr和0.20%~0.35%Si的钛合金粉Ti6.5Al3.5Mo1.5Zr0.3Si,粒度范围为0.3~1.0 μ m,平均粒径为0.5 μ m,含氧量小于1500ppm;

[0018] 3) 含质量分数4.4%~5.9%Al、4.0%~5.5%Mo、4.0%~5.5%V、0.5%~2.0%Cr和0.5%~1.5%Fe的钛合金粉Ti5Al5Mo5V1Cr1Fe,粒度范围为1.2~2.0 μ m,平均粒径为1.7 μ m,含氧量小于2000ppm;

[0019] (2) 装粉的要求:在充满氩气的手套箱中,将空腔模具放在振动台上边装粉边振

动,尽可能均匀、致密地装粉并保证钛合金隔绝空气,避免被氧化;

[0020] (3) 封装的要求:装完粉后,依据开口的形状、尺寸制备弹性封口配件,严格密封粉末,并利用真空封装机密封模具,防止压制时冷等静压的油性介质进入模具破坏粉末。

[0021] 进一步所述冷等静压步骤为:

[0022] (1) 最高压力为100~250MPa,升压速率为20~30MPa/min,保压时间为2min;

[0023] (2) 压制后脱模的步骤和要求为:

[0024] 手动除去或直接烧除3D打印机直接打印的空腔模具;或先升温40℃左右除去外层石蜡模具,然后手动除去内层弹性模具。

[0025] 进一步所述烧结工艺选择以下四个烧结工艺中任意一种:

[0026] (1) 真空烧结:在压力低于 10^{-3} Pa的真空炉中烧结,首先在500~700℃排除杂质及残留气体,然后在1000~1300℃烧结1-2h,升温速率为3~5℃/min;

[0027] (2) 气压烧结:放在通高纯氩气的烧结炉中, $P \leq 3$ MPa烧结,首先在500~700℃排除杂质及残留气体,然后升温至烧结温度900~1200℃,保温0.5~2h,升温速率为5~10℃/min;

[0028] (3) 加压烧结:在3~20MPa的压力下烧结,首先在500~700℃排除杂质及残留气体,然后升温至烧结温度900~1100℃,保温0.5~1h,升温速率为5~10℃/min;

[0029] (4) 热压烧结:先升温至900~1000℃,然后加压至100~120MPa,烧结0.5~1h,升温速率为10~15℃/min,加压速率为5~10MPa/min。

[0030] 与现有技术相比,本发明具有以下的有益效果:

[0031] (1) 本发明选择钛合金作为生产多级齿轮的原材料,由该材料生产的多级齿轮塑性好、强度高、耐蚀性好。

[0032] (2) 本发明提供了一种利用3D打印与冷等静压复合成型制备复杂形状钛合金多级齿轮的方法,结合了发展成熟的光固化打印或熔融沉积成型(FDM)打印技术在成形上的优势以及近净成形冷等静压技术、烧结技术在性能上的优势,适用于大规模机械化生产形状复杂的钛合金多级齿轮。

[0033] (3) 本发明提供了用3D打印机直接打印空腔模具或先打印实体模具再制备两层式的空腔模具。打印的模具不仅收缩性好还有一定的强度适用于冷等静压成型精密零部件,而制备的两层模具中内层模具比较软,能成型精密的零件,外层模具能够控制形状,克服了传统冷等静压技术在制备精密零件上的不足。

[0034] (4) 整个过程不需在粉中添加任何有机物,制备的零件干净、性能高、无组织偏析、尺寸精度高。

具体实施方式

[0035] 实施例:利用3D打印技术与冷等静压技术复合成型TC4(Ti6Al4V)多级齿轮

[0036] (1) 利用3D打印制备空腔模具:i) 打印多级齿轮实体模具:把画好的多级齿轮的三维实体图输入至光固化打印机中,并根据TC4(Ti6Al4V)粉末的压制和烧结性质,使多级齿轮的尺寸为零件所要求的尺寸的1.4倍,打印原料为光敏树脂。ii) 抛光打印的实体:把打印完整的多级齿轮实体完全浸没在酒精中,浸泡20min。iii) 选好装料口的位置,把装料口的位置朝下放置,用含质量分数3%固化剂的硅胶均匀涂刷实体,待上一层完全固化,再涂刷下

一层,使硅胶模具的厚度为5mm左右;iv)在硅胶模具外面均匀浇注1cm厚的石蜡。

[0037] (2) 装粉和封装:选择不同粒度的TC4 (Ti6Al4V) 作为原材料,在充满氩气的手套箱中,将平均粒度分别为10 μ m、17 μ m和20 μ m的三种TC4 (Ti6Al4V) 粉末按质量比1:4:2的比例装在混粉罐中,混合1h,然后将混好的粉装在模具空腔内,放在振动台上边装边振,保证最大装粉密度。装完粉后,在充满氩气的手套箱中,依据开口的形状尺寸,将弹性材料制成的封口配件装配到装完粉的模具上进行封口,并利用真空机对模具整体进行真空密封,防止空气和冷等静压液体介质进入模具。

[0038] (3) 冷等静压:将密封好的模具放在冷等静压油性介质中,按20MPa/min的速率升压至130MPa,保压2min。压制后,首先把带生坯的模具放在加热套中,加热至40 $^{\circ}$ C保温20min,融化外层的石蜡,再手动除去内层的弹性模具。

[0039] (4) 烧结:在10 $^{-3}$ Pa的真空炉中烧结,首先升温至500 $^{\circ}$ C排除杂质和残留气体1h,再升温至1150 $^{\circ}$ C保温1h,最后随炉冷却即可。

[0040] (5) 精加工:用各种精加工手段加工烧结的钛合金多级齿轮,可得到表面精度高的钛合金多级齿轮。