(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 112055629 B
(45)授权公告日 2023.03.24

(21)申请号 201980027512.8
(22)申请日 2019.05.09
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112055629 A
(43)申请公布日 2020.12.08
(30)优先权数据
62/669,450 2018.05.10 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2020.10.22
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/IB2019/053831 2019.05.09
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2019/215664 EN 2019.11.14

(73)专利权人 斯泰克波尔国际金属粉末无限责任公司
地址 加拿大安大略
(72)发明人 R·施弗内瑟 P·沈 V·威廉姆斯
(74)专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所有限公司 11038
专利代理师 李跃龙

(51)Int.Cl.
B22F 10/14(2021.01)
B22F 1/00(2022.01)
B22F 3/26(2006.01)
B33Y 10/00(2015.01)
B33Y 70/10(2020.01)

审查员 肖芳辉

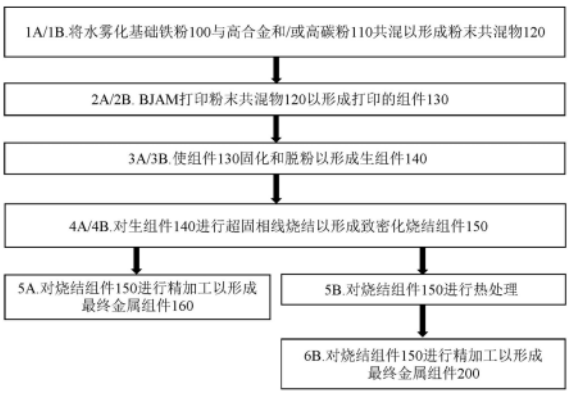
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

铁粉金属组件的粘合剂喷射和超固相线烧结

(57)摘要

一种通过以下操作制造的致密化高强度金属组件:粘合剂喷射增材制造(BJAM)打印粉末共混物以形成打印的零件;和对所述打印的零件进行超固相线烧结以形成所述金属组件,所述金属组件随后可经热处理。所述粉末共混物包含水雾化基础铁粉与高碳母铁合金粉的共混物。高碳铁合金粉将高浓度的碳引入到可容易进行BJAM打印的粉末共混物中。



CN 112055629 B

1.一种制造金属组件的方法,所述方法包含:

粘合剂喷射增材制造打印粉末共混物以形成打印的零件;和

对所述打印的零件进行超固相线烧结以形成所述金属组件,

其中所述粉末共混物的碳含量为至少1重量%且包含水雾化基础铁粉与至少一种母铁合金粉的共混物,且

其中至少一种母铁合金具有至少5重量%的碳合金含量。

2.根据权利要求1所述的方法,其进一步包含:

在所述打印之前,将所述水雾化基础铁粉与所述至少一种母铁合金粉共混以形成所述粉末共混物。

3.根据权利要求2所述的方法,其中所述水雾化基础铁粉包含纯或预合金级铁粉。

4.根据权利要求1所述的方法,其中所述烧结使所述金属组件致密。

5.根据权利要求1所述的方法,其中所述金属组件包含高强度金属组件。

6.根据权利要求1所述的方法,其中所述至少一种母铁合金粉包含至少一种过渡元素。

7.根据权利要求6所述的方法,其中所述至少一种过渡元素包含Cr、Mn、Mo、V、W、Ni或Cu。

8.根据权利要求1所述的方法,其中所述至少一种母铁合金粉包含在5重量%与10重量%之间的碳。

9.根据权利要求1所述的方法,其中所述至少一种母铁合金粉的D50粒径小于45μm。

10.根据权利要求1所述的方法,其中所述水雾化基础铁粉的D50粒径小于40μm。

11.根据权利要求1所述的方法,其中所述水雾化基础铁粉的D50粒径在90μm与110μm之间。

12.根据权利要求1所述的方法,其中所述粉末共混物的总合金含量在15重量%与35重量%之间。

13.根据权利要求1所述的方法,其中所述粉末共混物的碳含量在2重量%与5重量%之间。

14.根据权利要求1所述的方法,其中所述打印包含固化和脱粉以形成所述打印的零件。

15.根据权利要求1所述的方法,其中在所述烧结之前,所述打印的零件的孔隙率为40-60%,并且所述烧结将所述金属组件中的所述孔隙率降低到小于10%。

16.根据权利要求1所述的方法,其中所述金属组件的孔隙率小于10%。

17.根据权利要求1所述的方法,其中所述烧结发生在1100℃与1400℃之间的温度下。

18.根据权利要求1所述的方法,其中所述烧结使所述打印的零件线性收缩15-25%。

19.根据权利要求1所述的方法,其中所述金属组件的微结构含有嵌入于基质中的碳化物相部分,其中所述基质比所述碳化物相部分软。

20.根据权利要求19所述的方法,其中所述碳化物相部分的显微硬度为1000-1700HV0.1。

21.根据权利要求19所述的方法,其中所述基质的显微硬度为250-800HV0.1。

22.根据权利要求1所述的方法,其中在所述烧结完成后,所述金属组件的硬度为30-50HRC。

23.根据权利要求1所述的方法,其进一步包含在所述烧结之后对所述金属组件进行热处理,其中所述热处理提高所述金属组件的硬度。

24.根据权利要求23所述的方法,其中在所述热处理之后,所述金属组件的微结构含有嵌入于马氏体基质中的碳化物相部分。

25.根据权利要求23所述的方法,其中在所述热处理之后,所述金属组件的硬度为至少50HRC。

26.根据权利要求23所述的方法,其中在所述热处理之后,所述金属组件的硬度为55-65HRC。

27.根据权利要求24所述的方法,其中所述碳化物相部分的显微硬度为1000-1700HV0.1。

28.根据权利要求24所述的方法,其中所述基质的显微硬度为600-800HV0.1。

29.根据权利要求23所述的方法,其中在所述热处理之后,所述金属组件具有耐磨性,使得根据ASTM G65-10程序A,体积损失小于或等于100mm^3。

30.一种金属组件,其通过以下操作制造:

粘合剂喷射增材制造打印粉末共混物以形成打印的零件;和

对所述打印的零件进行超固相线烧结以形成所述金属组件,

其中所述粉末共混物的碳含量为至少1重量%且包含水雾化基础铁粉与母铁合金粉的共混物,且

其中至少一种母铁合金具有至少5重量%的碳合金含量。

31.根据权利要求1所述的方法,其中所述超固相线烧结使所述打印的零件收缩并且致密。

32.根据权利要求1所述的方法,其中所述烧结引起所述打印的零件线性收缩在15%与40%之间。

33.根据权利要求31所述的方法,其中所述致密产生密度为至少80%的所述金属组件,且其中所述致密在不对材料进行烧结后浸渗的情况下实现。

铁粉金属组件的粘合剂喷射和超固相线烧结

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求2018年5月10日提交的美国临时专利申请第62/669,450号的优先权，所述临时专利申请的主题以全文引用的方式并入本文中。

技术领域

[0003] 各种实施例大体上涉及金属零件的增材制造，并且更具体地说，涉及金属零件的粘合剂喷射增材制造。

背景技术

[0004] 相关技术描述

[0005] 已开发用于金属零件的增材制造的工艺，以便制造多种材料中的复杂几何形状。已知如颗粒金属的选择性激光熔化(SLM)和电子束熔化(EBM)的技术，颗粒金属典型地由气雾化(GA)产生。球形GA粉末等级昂贵，并且最初应用于如航空航天和医疗装置等高价值市场中。

[0006] 还已知粘合剂喷射增材制造(BJAM)工艺用于聚合物材料的原型开发并且用于铸造行业的砂芯生产。金属组件还由BJAM在低烧结密度下产生，需要在烧结之后对零件进行浸渗。浆料泵叶轮是这项技术的应用的一个实例。

发明内容

[0007] 水雾化(WA)级铁已用于BJAM工艺，但可能需要打印后浸渗合金的额外费用以实现高密度。另外，最终特性限于给定微结构和产生的密度。

[0008] 工业和采矿领域应用中高度耐磨的组件，如浆料泵转子和钻头区段在常规上经铸造或由锻件机械加工。这些合金必须具有极高硬度，例如50-65HRc，并且难以机械加工。出于可制造性原因，不容易设计复杂特征。因此，一个或多个非限制性实施例利用BJAM和烧结以便于制造复杂形状，所述复杂形状具有良好耐磨微结构和高硬度水平。根据这些实施例中的各种，设计自由度和材料特性提供优于常规加工的优点。

[0009] 增材制造典型地需要昂贵的专门的铁粉(例如，气雾化铁粉)。相比之下，一个或多个非限制性实施例使用可容易获得的低成本水雾化等级。

[0010] 一个或多个非限制性实施例提供一种制造金属组件的方法，其通过BJAM打印水雾化基础铁粉与至少一种母铁合金粉的粉末共混物以形成打印的零件，和对打印的零件进行超固相线烧结以形成金属组件来进行。

[0011] 根据这些实施例中的一个或多个，所述方法还包括在所述打印之前，将水雾化基础铁粉与至少一种母铁合金粉共混以形成粉末共混物。

[0012] 根据这些实施例中的一个或多个，水雾化基础铁粉包含纯或预合金级铁粉。

[0013] 根据这些实施例中的一个或多个，烧结使金属组件致密。

[0014] 根据这些实施例中的一个或多个，金属组件包含高强度金属组件。

[0015] 根据这些实施例中的一个或多个,铁合金包含过渡元素。

[0016] 根据这些实施例中的一个或多个,过渡元素包含Cr、Mn、Mo、V、W、Ni或Cu。

[0017] 根据这些实施例中的一个或多个,至少一种母铁合金粉包含在5wt%与10wt%之间的碳。

[0018] 根据这些实施例中的一个或多个,至少一种母铁合金粉的D50粒径小于45μm。

[0019] 根据这些实施例中的一个或多个,水雾化基础铁粉的D50粒径小于40μm。

[0020] 根据这些实施例中的一个或多个,水雾化基础铁粉的D50粒径在70μm与130μm之间。

[0021] 根据这些实施例中的一个或多个,粉末共混物的总合金含量在15wt%与35wt%之间。

[0022] 根据这些实施例中的一个或多个,粉末共混物的碳含量在2wt%与5wt%之间。

[0023] 根据这些实施例中的一个或多个,所述打印包含固化和脱粉以形成打印的零件。

[0024] 根据这些实施例中的一个或多个,在所述烧结之前,打印的零件的孔隙率为40-60%,并且所述烧结将金属组件中的孔隙率降低到小于10%。

[0025] 根据这些实施例中的一个或多个,金属组件的孔隙率小于10%。

[0026] 根据这些实施例中的一个或多个,所述烧结发生在1100℃与1400℃之间的温度下。

[0027] 根据这些实施例中的一个或多个,所述烧结造成打印的零件线性收缩15-25%。

[0028] 根据这些实施例中的一个或多个,金属组件的微结构含有嵌入于基质中的碳化物相部分,其中基质比碳化物相部分软。

[0029] 根据这些实施例中的一个或多个,碳化物相部分的显微硬度为1000-1700HV0.1。

[0030] 根据这些实施例中的一个或多个,基质的显微硬度为250-800HV0.1。

[0031] 根据这些实施例中的一个或多个,在所述烧结完成后,金属组件的硬度为30-50HRC。

[0032] 根据这些实施例中的一个或多个,方法还包括在所述烧结之后对金属组件进行热处理,其中所述热处理提高金属组件的硬度。

[0033] 根据这些实施例中的一个或多个,金属组件含有嵌入于马氏体基质中的碳化物相部分。

[0034] 根据这些实施例中的一个或多个,在所述热处理之后,金属组件的硬度为至少50HRC。

[0035] 根据这些实施例中的一个或多个,在所述热处理之后,金属组件的硬度为55-65HRC。

[0036] 根据这些实施例中的一个或多个,碳化物相部分的显微硬度为1000-1700HV0.1。

[0037] 根据这些实施例中的一个或多个,基质的显微硬度为600-800HV0.1。

[0038] 根据这些实施例中的一个或多个,在所述热处理之后,金属组件具有耐磨性,使得根据ASTM G65-10程序A,体积损失小于或等于100mm^3。

[0039] 一个或多个实施例提供一种通过以下操作制造的金属组件:粘合剂喷射增材制造打印粉末共混物以形成打印的零件;和对打印的零件进行超固相线烧结以形成金属组件。粉末共混物包含水雾化基础铁粉与至少一种母铁合金粉的共混物。

[0040] 一个或多个实施例便于将复杂形状的铁合金组件制造成具有高密度、硬度和韧度,而不需要二次操作以实现最终所需组件形状和大小。

[0041] 根据各种实施例,BJAM打印工艺促成复杂、坚韧、硬质组件的新型低容量市场。

[0042] 根据这些实施例中的一个或多个制造的组件可包括钻头零件、浆料泵等。

[0043] 本发明的各种实施例的这些和/或其它方面中的一个或多个,以及结构的相关元件的操作方法和功能以及零件的组合和制造经济性将在参考附图考虑以下描述和所附权利要求书后变得更显而易见,以下描述、所附权利要求书、附图都形成本说明书的一部分,附图中相同附图标记表示各图中的对应部分。应了解,本文中在任一个实施例中展示或描述的结构特征也可用于其它实施例。除非上下文另外明确规定,否则在本说明书和权利要求书中使用时,单数形式“一(a/an)”和“所述(the)”包括多个指代物。

[0044] 本文所公开的所有封闭式(例如,A与B之间)与开放式(大于C)值范围明确包括落入或嵌套在此类范围内的所有范围。例如,所公开的1-10的范围被理解为还公开了2-10、1-9、3-9等,以及其它范围。类似地,在多个参数(例如,参数C、参数D)分开公开为具有范围的情况下,本文所公开的实施例明确地包括在一个参数(例如,参数C)的所公开范围内的任何值与任何其它参数(例如,参数D)的所公开范围内的任何值的组合。

附图说明

[0045] 为了更好地理解各种实施例以及其它目标和其进一步的特征,参考结合附图使用的以下描述,在附图中:

[0046] 图1是说明根据替代实施例制造金属组件的各种方法的流程图。

[0047] 图2是说明性Fe-C相图。

[0048] 图3是根据图1中所示的制造方法中的一种或多种制得的金属组件的透视图。

具体实施方式

[0049] 图1是说明根据替代实施例制造金属组件的各种方法的流程图。步骤1A-5A提供非热处理的组件160的制造步骤,而步骤1B-6B提供热处理的组件200的制造步骤。

[0050] 在步骤1A/1B处,将基础铁粉和/或预合金基础铁粉100与母合金粉110共混以形成粉末共混物120。

[0051] 根据各种实施例,基础铁粉100包含至少10、20、30、40、50、60、70、80、90、95和/或100%水雾化(WA)元素铁粉。根据各种实施例,铁粉100包含标准、低成本、WA铁粉。根据各种实施例,WA铁粉100的D40、D45、D50、D55、D60、D65、D70、D75和/或D80粒径(a)小于150、140、130、125、120、115、110、105、100、95、90、85、80、70、65、60、55、50、45、40、35和/或30μm,(b)大于20、25、30、35、40、45、50、55、60、65、70、75、80、85、90、95和/或100μm,和/或(c)在任何两个此类值之间(例如,D50粒径在20μm与150μm之间、25μm与40μm之间和/或90μm与110μm之间;D60粒径在20μm与150μm之间、25μm与40μm之间和/或90μm与110μm之间)。

[0052] 根据各种实施例,母合金粉110包含至少一种铁合金粉,其包括具有高合金和高碳含量的铁粉。根据各种实施例,母合金粉110的合金材料包含典型地用于钢和铸铁冶金的一种或多种过渡元素,包括但不限于Cr、Mn、Mo、V、W、Ni和/或Cu。因此,母合金粉110可包含一种或多种铁合金,如锰铁(FeMn)、铬铁(FeCr)、钒铁(FeV)和/或钼铁(FeMo)。根据各种实施

例，母合金粉110包含这些铁合金中的一种或多种(包括这些铁合金的任何和所有组合)的混合物。例如，根据各种实施例，母合金粉110包含FeMn粉末共混物(下文论述)与FeCr粉末共混物(下文论述)的混合物。

[0053] 根据各种实施例，母合金粉110的碳含量为(a)至少2、3、4、5、6、7、8、9和/或10wt％，(b)小于14、13、12、11、10、9、8、7、6、5、4、3、2和/或1wt％，和/或(c)在任何两个此类值之间(例如，在2wt％与14wt％之间、在5wt％与10wt％之间)。根据各种实施例，具有高碳含量的铁合金的使用便于合金粉110的有效BJAM打印，从而便于将所包括的碳BJAM引入到打印的组件130中。铁合金因此充当碳的可有效BJAM打印的载体，从而提高打印的组件130的碳含量。

[0054] 根据各种实施例，母合金粉110的D40、D50、D60、D70和/或D80粒径(a)小于70、65、60、55、50、45、40、35、30、25、20、19、18、17、16、15、14、13、12、11、10和/或9μm，(b)大于5、6、7、8、9、10、15、20、25和/或30μm，和/或(c)在任何两个此类值之间(例如，在5μm与70μm之间、在5μm与45μm之间、在8μm与12μm之间)。

[0055] 根据一个实施例，母合金粉110包含6.53％C、75.3％Mn、1.5％Si、0.025％S和0.18％P，其中D50为8.1μm，并且D97为20.76μm。在下文中，这种母合金粉被称为FeMn粉末共混物(尽管这种粉末包含额外组分)。

[0056] 根据一个替代实施例，母合金粉110包含8.7％C、60.4％Cr、2.7％Si、0.03％S和0.03％P，其中D50为8.2μm，并且D97为22.18μm。在下文中，这种母合金粉被称为FeCr粉末共混物(尽管这种粉末包含额外组分)。

[0057] 根据一个替代实施例，母合金粉110包含50％FeCr粉末共混物和50％FeMn粉末共混物。根据一个替代实施例，母合金粉110包含约97％FeCr粉末共混物和约3％FeMn粉末共混物。然而，任何比率的此类粉末共混物可用于母合金粉110，例如至少1、2、3、4、5、10、15、20、30、40、50、60、70、80、85、90、95、96、97、98和/或99％FeCr粉末共混物，和/或至少1、2、3、4、5、10、15、20、30、40、50、60、70、80、85、90、95、96、97、98和/或99％FeMn粉末共混物。

[0058] 根据各种实施例，通过母合金粉110而非通过元素碳(例如，石墨)引入碳，促进粉末共混物120(和所得打印的组件130)内的碳含量的更均匀的混合和分布。

[0059] 根据各种实施例，可以多种组合使基础铁粉100与母合金粉110共混以按需要调整粉末共混物120，以实现特定应用特性要求。根据各种实施例，粉末共混物120的基础铁粉100含量为(a)至少45、50、55、60、65、70、75、80和/或85％，(b)小于95、90、85、80、75、70、65、60、55、50、45、40和/或35％，和/或(c)在任何两个此类值之间(例如，在45％与95％之间、在55％与65％之间、在75％与85％之间)。根据各种实施例，粉末共混物120的母合金粉110含量为(a)小于65、60、55、50、45、40、35、30、25、20和/或15％，(b)大于5、10、15、20、25、30、35、40、45、50、55、60和/或65％，和/或(c)在任何两个此类值之间(例如，在5％与65％之间、在35％与45％之间、在25％与35％之间)。

[0060] 根据各种实施例，粉末共混物120的总非Fe合金含量(即，粉末共混物120的非铁组分(例如，包括Cr、Mn、Mo、C等)的累积含量)为至少5、10、15、20、25wt％，小于50、45、40、35、30wt％，和/或在任何两个此类值之间(例如，在5wt％与50wt％之间、在10wt％与45wt％之间、在15wt％与35wt％之间)。根据各种实施例，粉末共混物120的总含铁含量可包含(a)至少50、55、60、65、70、75、80、85、90和/或95％Fe，(b)小于5、10、15、20和/或25％Fe，和/或(c)

任何两个此类上限值与下限值之间的任何值(例如,在50%与95%之间的Fe、在55%与90%之间的Fe、在65%与85%之间的Fe)。

[0061] 根据各种实施例,共混物粉末120的碳含量为(a)至少1、2、2.5、3、3.5和/或4wt%,(b)小于6、5.5、5、4.5、4、3.5、3、2.5、2和/或1wt%,和/或(c)在任何两个此类值之间(例如,在2wt%与5wt%之间、在2wt%与3.5wt%之间)。

[0062] 根据一个实施例(下文称为共混物编码E2132),共混粉末120包含约20%FeCr合金粉(例如,28%Fe、60%Cr、9%C)、20%FeMn合金粉共混物(例如,17%Fe、75%Mn、6%C)和约60%基础铁粉100。根据各种实施例,在烧结之后,E2132包含约3.05%C、15%Mn、12%Cr、0.84%Si和约70%Fe。

[0063] 根据一个替代实施例(下文称为共混物编码E2138),共混物粉末120包含约30%FeCr粉末、1%FeMn粉末和约69%基础铁粉100。根据各种实施例,在烧结之后,E2138包含约2.7%C、0.75%Mn、18.1%Cr、0.83%Si和约78%Fe。

[0064] 根据各种实施例,粉末共混物120包含11-30%Cr、0-2.5%Ni、0-18%Mn、0-3%Mo、0-1.2%Cu、2-5%C、0-3%V,并且其余是Fe和不可避免的杂质。

[0065] 在步骤2A/2B处,共混物粉末120经BJAM打印成打印的3D组件130,其由结合在一起以形成3D组件的多个层构成。根据各种实施例,通过母合金粉110的碳含量而非通过元素碳(例如,石墨)将碳引入到组件130中。根据各种实施例,这避免了BJAM打印元素碳(例如,石墨)的困难工艺且/或避免了必须对WA铁粉进行改性以具有较高碳含量。将元素碳简单地共混到待打印的粉末中将是困难或不可能的,因为元素碳(石墨)极细(例如,5-15μm)且为粉尘状,并且不会良好共混或流动并扩散。根据各种实施例,以母合金形式添加碳使得可在粉末床中共混和扩散。

[0066] 在步骤3A/3B处,打印的组件130经固化和脱粉以形成生组件(green component)140。根据各种实施例,生组件140的密度为(a)至少30%、35%、40%、45%、50%、55%和/或60%,(b)小于65%、60%、55%、50%、45%和/或40%,和/或(c)在任何两个此类值之间(例如,在30%与65%之间、在30%与60%之间、在35%与55%之间、在40%与60%之间)。根据各种实施例,生组件140的密度随粉末共混物120的粒径分布而变,并且相对接近粉末共混物120的表观密度(例如,根据各种非限制性实施例,范围为3g/cc到4g/cc)。

[0067] 在步骤4A/4B处,生组件140经超固相线烧结以形成烧结组件150。超固相线烧结产生以不同百分比存在的液相与固相的组合。液相材料有助于使组件收缩并且致密,而固相材料有助于维持组件的形状并且避免滑塌(slumping)。

[0068] 根据各种实施例,超固相线烧结发生在1100℃与1400℃之间的温度下。根据各种实施例,烧结温度被选择成对应于组件140的组分的超固相线温度(即,基于组件140的相图的超固相线范围)。随着烧结温度提高,碳扩散直到其局部形成液相,这促进合金元素与铁的相互扩散。在最高温度下,仍然存在一定百分比的液相,其加快碳和合金的进一步粒子固结和烧结、孔隙圆化、致密化和均质化。

[0069] 可平衡烧结温度以增加液相材料,同时维持足够的固相材料以维持组件的形状。根据一个或多个实施例,烧结发生在图2所示的阴影超固相线温度区中。图2中的相图仅针对Fe-C,并且仅出于说明的目的而提供。添加合金(例如,过渡金属)将改变实际合金粉的相图。

[0070] 根据各种实施例，烧结使生组件140收缩并且致密，从而产生烧结组件150，其密度为(a)至少80、81、82、83、84、85、86、87、88、89、90、91和/或92％，(b)小于100、99、98、97、96、95、94、93，和/或(c)在任何两个此类值之间(例如，在80％与99％之间、在85％与95％之间、在90％与95％之间)。根据各种实施例，此类密度在不对材料进行烧结后浸渗的情况下实现。

[0071] 根据各种实施例，烧结引起生组件150线性收缩(a)至少15、16、17、18、19、20、21、22、23、24、25、26、27、28、29和/或30％，(b)小于40、35、34、33、32、31、30、29、28、27、26、25、24、23、22、21、20、19和/或18％，和/或(c)在任何两个此类值之间(例如，在15％与40％之间、在20％与27％之间、在15％与25％之间)。

[0072] 在步骤5A处，对烧结金属组件150进行精加工(例如，通过机械加工、抛光等)以形成非热处理的最终金属组件160。然而，根据各种实施例，省略精加工步骤，并且烧结金属组件150是最终金属组件。

[0073] 根据各种实施例，组件160的硬度为(a)至少25、30、35、40和/或45HRC，(b)小于55、50、45、40和/或35HRC，和/或(c)在任何两个此类值之间(例如，在25HRC与55HRC之间、在30HRC与50HRC之间、在35HRC与45HRC之间)。

[0074] 根据各种实施例，组件160具有微结构，所述微结构含有嵌入于比碳化物相部分软的奥氏体基质中的相对硬的碳化物相部分。根据各种实施例，组件160具有耐磨性与韧度的良好组合。根据各种实施例，碳化物相部分的显微硬度为1000-1700HV0.1，并且基质的显微硬度为250-800HV0.1和/或250-350HV0.1。

[0075] 根据一个或多个实施例，粉末共混物120是E2132，烧结发生在大约1180℃下并且引起约23％的线性收缩，组件160的烧结后(例如，非热处理)硬度为约37.0HRC，碳化物相部分的显微硬度为约1089HV0.1，并且基质(例如，奥氏体)的显微硬度为约313HV0.1，并且组件160的横向断裂强度(TRS)为约1373MPa。

[0076] 或者，如步骤5B所示，烧结金属组件150可经热处理(例如，硬化、淬火)。

[0077] 尽管图1中未说明，但烧结金属组件150可在热处理步骤5B之前经精加工/机械加工。根据各种实施例，此类精加工/机械加工在热处理之前更易于进行。可进行精加工/机械加工以使组件150符合最终组件200的所需形状和公差。

[0078] 在步骤6B处，对热处理的金属组件进行精加工以形成最终的热处理的金属组件200。然而，根据各种实施例，省略精加工步骤，并且热处理的金属组件是最终金属组件。

[0079] 根据各种实施例，组件200具有含有嵌入于硬马氏体基质中的硬碳化物相部分的微结构。根据各种实施例，组件具有优异的耐磨性和高硬度。根据各种实施例，组件200的碳化物相部分的显微硬度为1000-1700HV0.1。根据各种实施例，组件200的基质的显微硬度为600-800HV0.1。根据各种实施例，在所述热处理之后，金属组件200具有耐磨性，使得根据ASTM G65-10程序A，体积损失小于或等于100mm^3。

[0080] 根据各种实施例，组件200的硬度为(a)至少40、45、50、55和/或60HRC，(b)小于80、75、70、65和/或60HRC，和/或(c)在任何两个此类值之间(例如，在40HRC与80HRC之间、在50HRC与60HRC之间、在55HRC与65HRC之间)。

[0081] 根据一个或多个实施例，粉末共混物120是E2138，烧结发生在大约1300℃下并且产生约7.50g/cc的密度，烧结组件150通过中性硬化进行热处理，组件200的热处理后硬度

为约60HRC，碳化物相部分的显微硬度为约1550HV0.1，并且马氏体基质的显微硬度为约690HV0.1。然而，根据替代实施例，E2138粉末共混物120可替代地用于省略热处理步骤的工艺，以提供由E2138制成的最终金属组件160，其中碳化物相嵌入于铁素体(ferritic)/珠光体(pearlitic)基质中。

[0082] 除非另外具体陈述，否则所有含量和百分比均基于重量。因此，5％意味着5重量(wt)％。

[0083] 根据各种实施例，组件150、160、200可包含凿岩机(rock drill)的组件(例如，螺旋螺母(rifle nut)210(参见图3)、花键螺母(splined nut)、螺旋活塞(rifle piston)、卡盘(chuck)等)，包括但不限于美国专利第3,055,441号或第2,061,807号中所公开的凿岩机的组件中的任一个，所述两个美国专利的全部内容特此以引用的方式并入本文中。根据各种实施例，组件150、160、200可包含浆料泵的一个或多个组件(例如，转子、叶片、叶轮、泵壳、蜗壳(volute))，包括但不限于美国专利第5,797,724号中所公开的浆料泵的组件中的任一个，所述美国专利特此全文并入本文中。

[0084] 提供前文说明的实施例以说明各种实施例的结构和功能原理，并且所述实施例不旨在为限制性的。相反，本发明的原理旨在涵盖其任何和所有变化、改变和/或取代(例如，在所附权利要求书的精神和范围内的任何改变)。

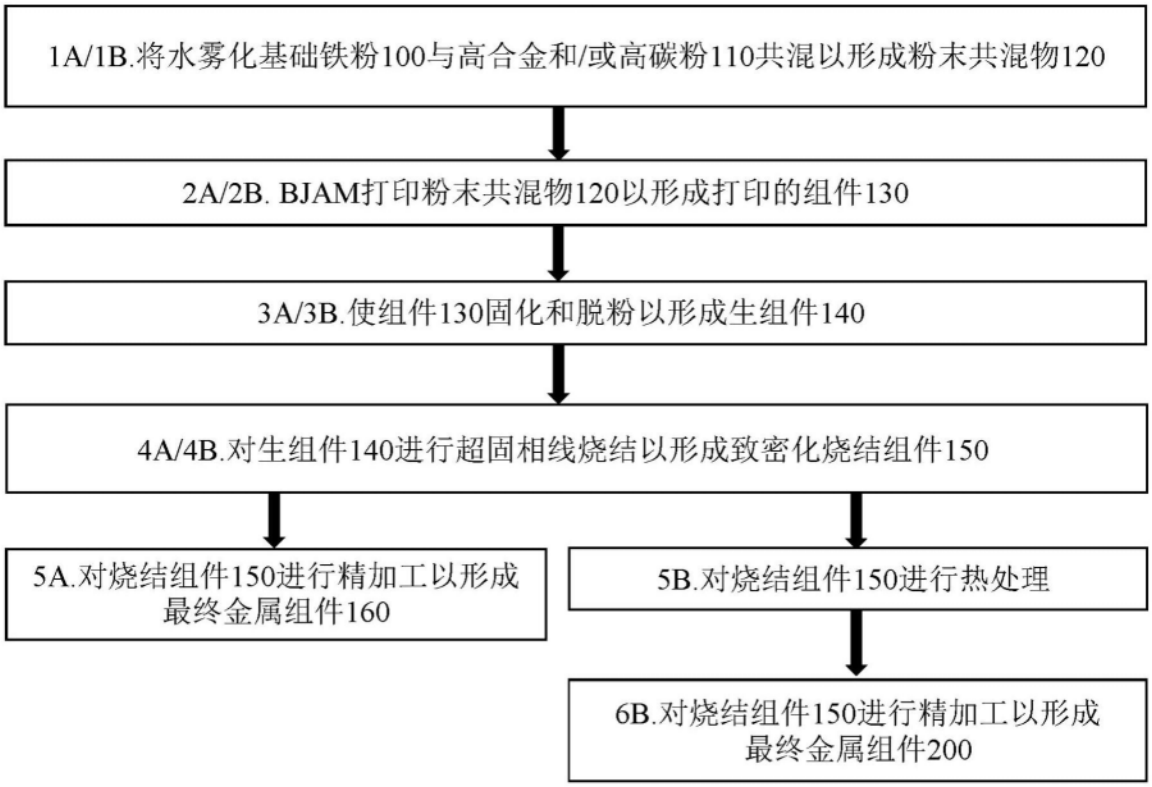

1A/1B.将水雾化基础铁粉100与高合金和/或高碳粉110共混以形成粉末共混物120
2A/2B. BJAM打印粉末共混物120以形成打印的组件130
3A/3B.使组件130固化和脱粉以形成生组件140
4A/4B.对生组件140进行超固相线烧结以形成致密化烧结组件150
5A.对烧结组件150进行精加工以形成最终金属组件160
5B.对烧结组件150进行热处理
6B.对烧结组件150进行精加工以形成最终金属组件200

图1

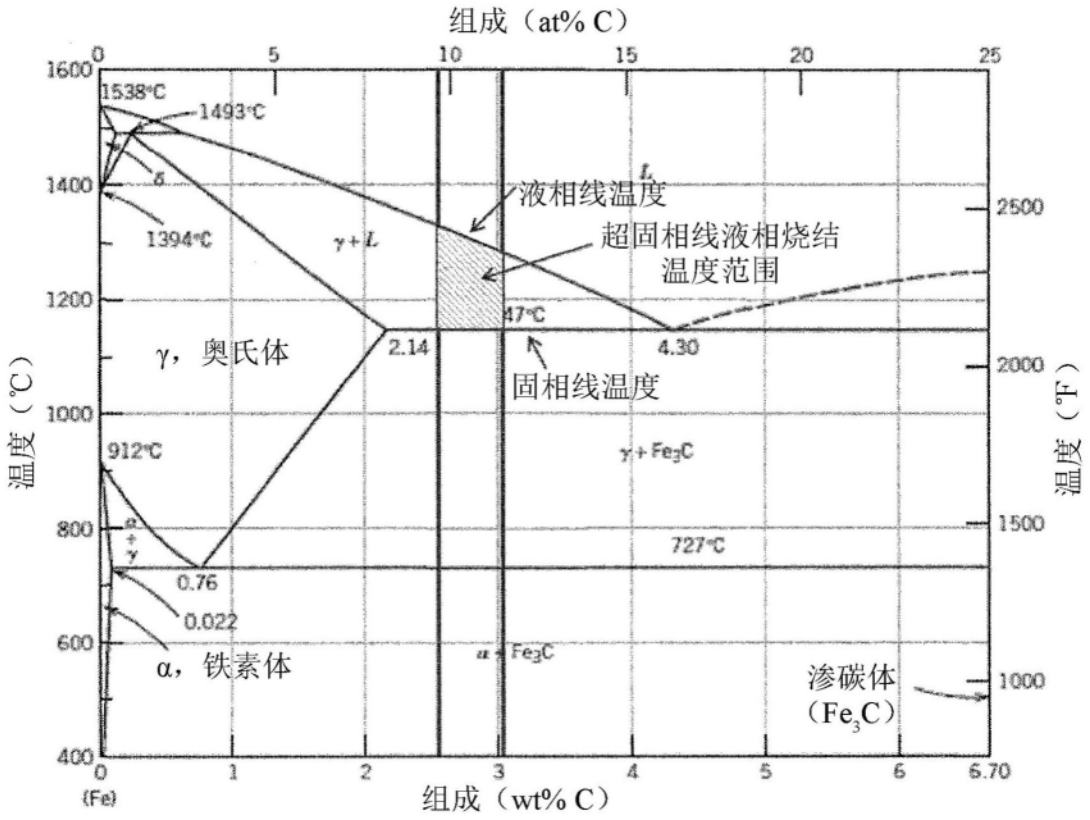

组成（at% C）
温度（℃）
温度（°F）
组成（wt% C）
1538℃
1493℃
1394℃
912℃
727℃
液相线温度
超固相线液相烧结
温度范围
固相线温度
γ，奥氏体
α，铁素体
渗碳体
(Fe3C)
γ+L
γ+Fe3C
α+Fe3C
2.14
4.30
0.76
0.022
(Fe)

图2

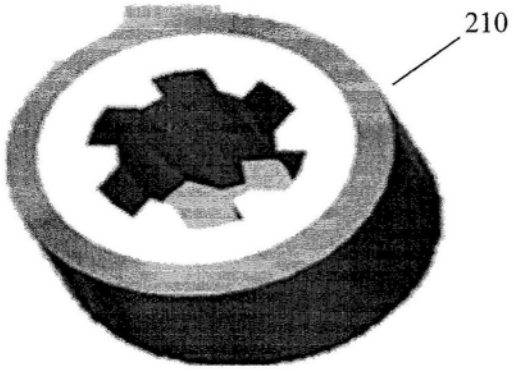

210

图3