



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105307803 A

(43) 申请公布日 2016. 02. 03

(21) 申请号 201480027255. 5

(74) 专利代理机构 上海智信专利代理有限公司  
31002

(22) 申请日 2014. 03. 07

代理人 邓琪 宋丽荣

(30) 优先权数据

13/837, 549 2013. 03. 15 US

(51) Int. Cl.

B22F 9/08(2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

C22C 33/02(2006. 01)

2015. 11. 12

C22C 37/06(2006. 01)

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2014/021569 2014. 03. 07

(87) PCT国际申请的公布数据

W02014/149932 EN 2014. 09. 25

(71) 申请人 费德罗 - 莫格尔公司

地址 美国密歇根州南菲尔德西北公路  
26555

(72) 发明人 菲尔普·比利

丹尼斯·B·克里斯托夫森  
莱斯利·约翰法尔廷  
托德·舍恩韦特尔

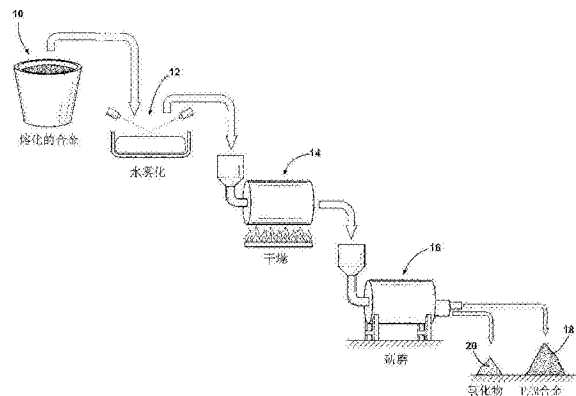
权利要求书2页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

用于耐磨和耐热应用的粉末金属组合物及其生产方法

(57) 摘要

一种用于高耐磨和高温应用的粉末金属组合物是通过雾化熔融的铁基合金进行的, 该合金包括 3.0-7.0 重量%的碳, 10.0-25.0 重量%的铬, 1.0-5.0 重量%的钨, 3.5-7.0 重量%的钒, 1.0-5.0 重量%的钼, 不超过 0.5 重量%的氧, 以及至少 40.0 重量%的铁。高的碳含量降低氧在熔融物中的溶解度并因此将氧含量的水平降低至某水平, 氧含量低于该水平将使得碳化物形成元素在雾化过程中发生氧化。该粉末金属组合物包括至少 15.0 体积%的金属碳化物。该粉末金属组合物的显微硬度随着含碳量的增加而升高, 通常在约 800-1500Hv50 之间。



CN 105307803 A

1. 一种粉末金属组合物,包括:

3.0-7.0 重量%的碳,10.0-25.0 重量%的铬,1.0-5.0 重量%的钨,3.5-7.0 重量%的钒,1.0-5.0 重量%的钼,不超过0.5 重量%的氧,以及至少40.0 重量%的铁,基于粉末金属组合物的总重量。

2. 根据权利要求1所述的粉末金属组合物,其特征在于,包括3.5-4.0 重量%的碳,11.0-15.0 重量%的铬,1.5-3.5 重量%的钨,4.0-6.5 重量%的钒,1.0-3.0 重量%的钼,不超过0.3 重量%的氧,以及50.0-81.5 重量%的铁。

3. 根据权利要求2所述的粉末金属组合物,其特征在于,由3.8 重量%的碳,13.0 重量%的铬,2.5 重量%的钨,6.0%重量%的钒,1.5 重量%的钼,0.2 重量%的氧,70.0-80.0 重量%的铁,以及其量不超过2.0 重量%的杂质组成。

4. 根据权利要求1所述的粉末金属组合物,其特征在于,包括钴,铌,钛,锰,硫,硅,磷,锆和钽中的至少一种。

5. 根据权利要求1所述的粉末金属组合物,其特征在于,包括基于粉末金属组合物的总体积的至少15.0 体积%的金属碳化物。

6. 根据权利要求5所述的粉末金属组合物,其特征在于,该金属碳化物选自由 $M_8C_7$ ,  $M_7C_3$ 和 $M_6C$ 组成的组中,其中M是至少一种金属原子,C是碳。

7. 根据权利要求6所述的粉末金属组合物,其特征在于, $M_8C_7$ 是 $(V_{63}Fe_{37})_8C_7$ ;  $M_7C_3$ 选自由 $(Cr_{34}Fe_{66})_7C_3$ ,  $Cr_{3.5}Fe_{3.5}C_3$ 和 $Cr_4Fe_3C_3$ 组成的组中;  $M_6C$ 选自由 $Mo_3Fe_3C$ ,  $Mo_2Fe_4C$ ,  $W_3Fe_3C$ 和 $W_2Fe_4C$ 组成的组中。

8. 一种包括粉末金属组合物的烧结材料,其特征在于,该粉末金属组合物包括3.0-7.0 重量%的碳,10.0-25.0 重量%的铬,1.0-5.0 重量%的钨,3.5-7.0 重量%的钒,1.0-5.0 重量%的钼,不超过0.5 重量%的氧,和至少40.0 重量%的铁,基于粉末金属组合物的总重量。

9. 根据权利要求8所述的烧结材料,其特征在于,该粉末金属组合物包括3.5-4.0 重量%的碳,11.0-15.0 重量%的铬,1.5-3.5 重量%的钨,4.0-6.5 重量%的钒,1.0-3.0 重量%的钼,不超过0.3 重量%的氧,以及50.0-81.5 重量%的铁。

10. 根据权利要求9所述的烧结材料,其特征在于,该粉末金属组合物由3.8 重量%的碳,13.0 重量%的铬,2.5 重量%的钨,6.0%重量%的钒,1.5 重量%的钼,0.2 重量%的氧,70.0-80.0 重量%的铁,以及其量不超过2.0 重量%的杂质组成。

11. 根据权利要求8所述的烧结材料,其特征在于,包括基于粉末金属组合物的总体积的至少15.0 体积%的金属碳化物。

12. 根据权利要求11所述的烧结材料,其特征在于,该金属碳化物选自由 $M_8C_7$ ,  $M_7C_3$ 和 $M_6C$ 组成的组中,其中M是至少一种金属原子,C是碳。

13. 根据权利要求12所述的烧结材料,其特征在于, $M_8C_7$ 是 $(V_{63}Fe_{37})_8C_7$ ;  $M_7C_3$ 选自由 $(Cr_{34}Fe_{66})_7C_3$ ,  $Cr_{3.5}Fe_{3.5}C_3$ 和 $Cr_4Fe_3C_3$ 组成的组中;  $M_6C$ 选自由 $Mo_3Fe_3C$ ,  $Mo_2Fe_4C$ ,  $W_3Fe_3C$ 和 $W_2Fe_4C$ 组成的组中。

14. 根据权利要求11所述的烧结材料,其特征在于,该金属碳化物包括大约5.0-10.0 体积%的富含钒的碳化物,大约40.0-45.0 体积%的富含铬的碳化物,基于粉末金属组合物的总体积。

15. 根据权利要求 11 所述的烧结材料,其特征在于,该金属碳化物具有 1-2 微米之间的直径。

16. 根据权利要求 8 所述的烧结材料,其特征在于,具有 800-1500Hv50 的显微硬度和大约 1235°C (2255° F) 的熔点。

17. 根据权利要求 8 所述的烧结材料,其特征在于,除了该粉末金属组合物,烧结材料还包括至少 30.0 重量%的另一粉末金属。

18. 一种形成粉末金属组合物的方法,包括如下步骤:

提供熔融的铁基合金,该铁基合金包括 3.0-7.0 重量%的碳,10.0-25.0 重量%的铬,1.0-5.0 重量%的钨,3.5-7.0 重量%的钒,1.0-5.0 重量%的钼,不超过 0.5 重量%的氧,以及至少 40.0 重量%的铁,基于熔融的铁基合金的总重量;以及

雾化熔融的铁基合金以提供铁基合金的雾化液滴。

19. 根据权利要求 18 所述的方法,其特征在于,包括研磨雾化液滴以去除雾化液滴的氧化表皮。

21. 一种形成烧结制品的方法,包括以下步骤:

提供熔融的铁基合金,该铁基合金包括 3.0-7.0 重量%的碳,10.0-25.0 重量%的铬,1.0-5.0 重量%的钨,3.5-7.0 重量%的钒,1.0-5.0 重量%的钼,不超过 0.5 重量%的氧,以及至少 40.0 重量%的铁,基于熔融的铁基合金的总重量;

雾化熔融的铁基合金以提供铁基合金的雾化液滴;

可选地研磨雾化液滴;

压实液滴以形成预成型件;以及

烧结预成型件。

22. 根据权利要求 21 所述的方法,其特征在于,在烧结步骤之前包括对液滴进行退火。

23. 根据权利要求 21 所述的方法,其特征在于,雾化步骤包括形成至少 15 体积%的金属碳化物。

24. 根据权利要求 21 所述的方法,其特征在于,包括将雾化液滴与至少 30.0 重量%的另一粉末金属混合。

25. 根据权利要求 3 所述的粉末金属组合物,其特征在于,熔点为约 1235°C (2255° F)。

## 用于耐磨和耐热应用的粉末金属组合物及其生产方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求 2013 年 3 月 15 日提交的序列号为 13/837,549 的美国申请的优先权，其内容整体通过引用合并于此。

### 技术领域

[0003] 本发明大体涉及粉末金属组合物，以及由铁基合金生产粉末金属组合物的方法。

### 背景技术

[0004] 高硬度的预合金的铁基粉末，如工具钢级的粉末，既可以在制造各种制品的粉末冶金生产中单独使用，也可以与其他粉末金属组合物混合使用。工具钢中含有诸如铬，钒，钼和钨的元素，这些元素与碳结合形成各种碳化物，例如  $M_6C$ ， $MC$ ， $M_3C$ ， $M_7C_3$  和  $M_{23}C_6$ 。这些碳化物非常坚硬，有利于工具钢的耐磨性。

[0005] 粉末金属加工的应用允许颗粒完全由合金化的熔化的金属形成，以使得每个颗粒具有整批熔化的金属的完全合金化的化学组成。该粉末金属加工还允许熔化的金属快速凝固成小颗粒，从而消除通常与铸件相关联的宏观偏析。在高合金化的钢（如工具钢）中，碳化物的均匀分布可以在每个颗粒内部实现，从而形成非常硬且耐磨的粉末材料。

[0006] 通常通过雾化来产生粉末。在工具钢和含有大量易于氧化的铬和 / 或钒的其他合金中，通常使用气体雾化，其中，熔化的合金流通过喷嘴注入到防护性腔室中并利用高压惰性气体（诸如氮气）的气流将熔化的金属流分散为液滴。惰性气体防止合金元素在雾化过程中发生氧化，气雾化的粉末具有典型的平滑的圆形形状。

[0007] 水雾化也常用来生产粉末金属。它与气体雾化类似，不同的是高压水被用来代替氮气气体作为雾化流体。水可以是更有效的淬火剂，从而与传统气体雾化相比可具有更高的凝固速率。水雾化的颗粒通常具有更不规则的形状，其更适合于随后压实粉末以使得粉末金属压实体达到更高的生坯强度。但是，在工具钢和含有大量铬和 / 或钒的其他钢中，作为雾化流体作用的水将导致合金元素在雾化过程中发生氧化，并且这些合金元素的聚集使得它们无法与碳反应形成碳化物。因此，如果使用水雾化，它可能需要接下来进行单独的氧化还原和 / 或退火循环，其中，在存在还原剂（诸如粉状石墨，或其它碳源，或其它还原剂，或通过另一还原过程）的情况下，粉末被加热并保持在高温下一段很长的时间（近似几小时或几天）。石墨的碳会与氧结合以释放合金元素，使他们在固结粉末形成生压坯的随后的烧结和退火阶段中可用于形成碳化物。应当理解，额外的退火 / 还原步骤和石墨粉末的添加将增加通过水雾化形成高合金粉末的成本和复杂性。

### 发明内容

[0008] 本发明的一个方面提供一种生产粉末金属组合物的方法，其包括以下步骤：提供熔融的铁基合金，该铁基合金包括 3.0-7.0 重量%的碳，10.0-25.0 重量%的铬，1.0-5.0 重量%的钨，3.5-7.0 重量%的钒，1.0-5.0 重量%的钼，不超过 0.5 重量%的氧，以及至少

40.0 重量%的铁;以及雾化熔融的铁基合金以提供铁基合金的雾化液滴。

[0009] 本发明的另一个方面提供一种生产烧结制品的方法,其包括以下步骤:提供熔融的铁基合金,该铁基合金包括 3.0-7.0 重量%的碳,10.0-25.0 重量%的铬,1.0-5.0 重量%的钨,3.5-7.0 重量%的钒,1.0-5.0 重量%的钼,不超过 0.5 重量%的氧,以及至少 40.0 重量%的铁;以及雾化熔融的铁基合金以提供铁基合金的雾化液滴,被称为粉末金属组合物。该方法接下来包括将粉末金属组合物与另一粉末金属混合;压制混合物以形成预成型件;以及烧结该预成型件。

[0010] 本发明的另一个方面提供一种粉末金属组合物,包括:3.0-7.0 重量%的碳,10.0-25.0 重量%的铬,1.0-5.0 重量%的钨,3.5-7.0 重量%的钒,1.0-5.0 重量%的钼,不超过 0.5 重量%的氧,以及至少 40.0 重量%的铁,基于粉末金属组合物的总重量。

[0011] 本发明的另一个方面提供一种烧结的粉末金属组合物,包括:3.0-7.0 重量%的碳,10.0-25.0 重量%的铬,1.0-5.0 重量%的钨,3.5-7.0 重量%的钒,1.0-5.0 重量%的钼,不超过 0.5 重量%的氧,以及至少 40.0 重量%的铁,基于烧结的粉末金属组合物的总重量。

#### 附图说明

[0012] 对于本领域技术人员来说,结合详细描述和示意性地示出了生产粉末的工艺附图,本发明的这些和其它特征以及优点将变得更加明显。

[0013] 图 1 是生产粉末金属组合物的工艺的示意图。

[0014] 图 2 是硬度与碳含量的关系的曲线图。

#### 具体实施方式

[0015] 图 1 示意性地示出了用于生产高碳的铁基合金粉末(也被称为预烧结的粉末金属组合物)的工艺。该粉末金属组合物被廉价地生产,与通过气体雾化或传统水雾化工艺获得的具有较低碳含量的可比合金组合物相比,该粉末金属组合物被认为具有升高的硬度。

[0016] 该工艺首先包括制备一批铁基合金 10。该铁基合金与碳化物形成元素完全合金化,该碳化物形成元素包括铬(Cr),钼(Mo),钨(W),和钒(V)。铁基合金是熔融的,然后输送到雾化器 12。在图 1 的实施例中,雾化器 12 是水雾化器,但也可替代为气体雾化器。一些属性可使用气体雾化加以改进(相比于水雾化),例如更好的流动性,表观密度,以及较低的氧含量。此外,气体雾化提供具有大致圆形形状的液滴。

[0017] 在图 1 的水雾化步骤中,一种高压水流作用于熔化的批次 10 的流,将该熔化的流分散并快速凝固成完全合金化的不规则形状的金属液滴或颗粒。因暴露于水和无保护气氛,金属颗粒的外表面可能被氧化。雾化的颗粒通过烘干机 14,然后在磨床 16 上被机械研磨或压碎。也可以使用球磨机或其它机械性减小尺寸的装置。如果雾化液滴上形成有氧化表皮,颗粒的机械研磨将破碎和分离颗粒的氧化表皮,随后,研磨颗粒从氧化物中分离出来以获得雾化的粉末金属组合物 18 和氧化颗粒 20。粉末金属颗粒和/或氧化颗粒也可能破碎,从而减小尺寸。粉末金属组合物 18 可进一步通过尺寸,形状和其他与粉末金属相关联的特征进行筛分。

[0018] 提供用于雾化的铁基合金的批次 10 具有高的碳含量。在一个实施例中,铁基合金

包括至少 3.0 重量%的碳,或 3.0-7.0 重量%的碳,或 3.5-4.0 重量%的碳,优选约 3.8 重量%的碳,基于铁基合金的总重量。铁基合金中的碳的量取决于碳化物形成元素的量和组成。然而,碳的量优选为足以在雾化过程中形成基于粉末金属组合物 18 的总体积的超过 15 体积%的金属碳化物。

[0019] 在铁基合金中添加过量的碳的另一个原因是防止铁基合金在熔化和雾化步骤发生氧化。碳量的增加降低了氧在熔融的铁基合金中的溶解度。特别是当 Cr 和 / 或 V 的含量高时,碳的量还确保基质基本上是奥氏体和 / 或马氏体中的一个,碳化物沉淀在该基质中。

[0020] “低”的氧含量是基于铁基合金的总重量的不超过 0.5 重量%。在一个实施例中,氧含量不超过 0.3 重量%,例如为 0.2 重量%。熔融物中的氧含量的消耗的益处在于,防止碳化物形成合金元素,如铬 (Cr),钼 (Mo),钨 (W),和钒 (V) 在熔化或雾化步骤中发生氧化,因此,从而能够自由地与碳结合形成碳化物。

[0021] 铁基合金的铬 (Cr),钼 (Mo),钨 (W),和钒 (V) 的量也为足以形成基于粉末金属组合物 18 的总体积的至少 15 体积%的金属碳化物。出于成本的原因,还希望某些碳化物形成合金元素的量比其他元素的量高。因此,虽然 Mo 是形成非常坚硬的碳化物 (具有高的碳化物密度) 的一个很好的选择,但是目前相对铬来说非常昂贵。为了开发低成本的工具级质量的钢,其具有与更昂贵的传统 M2 级工具钢相比至少可比的性能,该铁基合金可包括相对高含量的 Cr,低含量的 Mo,以及增加量的 C。W 和 V 的量可根据待形成的碳化物的所需量而改变。增加铁基合金中的碳化物形成合金化元素的量也可以提高雾化步骤过程中在基质中形成的碳化物的量。另外,相对于其他粉末金属组合物,Cr,Mo,W 和 V 的量优选为足以低成本地提供优异的耐磨性。

[0022] 在一个实施例中,铁基合金包括 10.0-25.0 重量%的铬,优选 11.0-15.0 重量%的铬,最优选 13.0 重量%的铬;1.0-5.0 重量%的钨,优选 1.5-3.5 重量%的钨,最优选 2.5 重量%的钨;3.5-7.0 重量%的钒,优选 4.0-6.5 重量%的钒,最优选 6.0 重量%的钒;1.0-5.0 重量%的钼,优选 1.0-3.0 重量%的钼,最优选 1.5 重量%的钼。

[0023] 铁基合金可选地包括其它元素,这些元素可能有助于改善耐磨性或增强另一材料特性。例如,铁基合金可以包括钴 (Co),铌 (Nb),钛 (Ti),锰 (Mn),硫 (S),硅 (Si),磷 (P),锆 (Zr) 和钽 (Ta) 中至少一种。在一个实施例中,铁基合金包括以下元素的至少一个:4.0-15.0 重量%的钴;高达 7.0 重量%的铌;高达 7.0 重量%的钛;高达 2.0 重量%的锰;高达 1.15 重量%的硫;高达 2.0 重量%的硅;高达 2.0 重量%的磷;高达 2.0 重量%的锆;以及高达 2.0 重量%的钽。在一个实施例中,铁基合金含有预合金化的硫以在粉末中形成硫化物或含硫化合物。已知硫化物 (例如 MnS 和 CrS) 可改善加工性并可有益于耐磨性。

[0024] 用于雾化的铁基合金的余量为铁。在一个实施例中,铁基合金包括至少 40.0 重量%的铁,或 50.0-81.5 重量%的铁,优选 70.0-80.0 重量%的铁。

[0025] 如果雾化工艺是水雾化工艺,熔融的铁基合金流受到高压水流的作用,该水流将熔融的铁基合金流分散和快速凝固成不规则形状的完全合金化的金属液滴。优选地,每个雾化液滴具有完全的铁基合金组成,包括 3.0-7.0 重量%的碳,10.0-25.0 重量%的铬,1.0-5.0 重量%的钨,3.5-7.0 重量%的钒,1.0-5.0 重量%的钼,以及至少 40.0 重量%的铁。由于暴露于水和无保护气氛中,液滴的外表面可能被氧化。然而,高的碳含量和低的氧含量大大地限制雾化步骤中发生的氧化。

[0026] 在雾化状态下,由于雾化过程中发生的快速凝固,碳化物形成合金可呈现为超饱和的状态(例如钒)。合金的元素的未氧化的超饱和状态与高碳含量结合,允许非常迅速(几分钟内)地在随后的烧结阶段中沉淀并完全形成碳化物(例如富含V的碳化物 $M_8C_7$ ),而不需要延展现有的退火循环(几小时或几天)。雾化粉末中的纳米级的碳化物在烧结后增长到微米级。然而,如果需要,粉末金属组合物 18 可例如在 900-1100°C 下退火 1-48 个小时,或者也可以根据需要进行退火。退火既可以在研磨粉末金属组合物 18 之前,也可以在研磨粉末金属组合物 18 之后进行。可以理解,退火不是强制性的,而是可选的。

[0027] 雾化液滴然后通过烘干机 14 并进入磨床 16 以在其上被机械研磨或压碎以除去氧化表皮,然后进行筛分。即使很少或没有氧化表皮存在,机械研磨步骤也可用于破碎并减小粉末金属液滴的尺寸。液滴的硬和非常细的纳米结构使得研磨能够轻易地进行。也可以使用球磨机或其它机械性减小尺寸的装置。如果在雾化步骤中的雾化液滴上形成有外部的氧化表皮,这通常在水雾化过程中出现,机械研磨将破碎和分离大量液滴的外部的氧化表皮。研磨液滴从氧化表皮中分离出来以获得粉末金属组合物 18 和氧化颗粒 20。然而,通过高的碳含量来保护液滴的碳化物形成元素,防止其在熔化和雾化步骤中发生氧化。预烧结的粉末金属组合物 18 可进一步通过尺寸,形状和其他通常与粉末金属相关联的特征进行筛分。在某些情况下,诸如当使用气体雾化时,外部的氧化表皮极其少,并且可以作为粉末金属组合物的一部分而可以被接受(不需要除去),从而至少在研磨的目的仅限于破坏外部的氧化层的某些情况下,该研磨操作是可选的。然而,仍可使用研磨来减小粉末金属组合物的尺寸。

[0028] 预烧结的粉末金属组合物 18 的重量%的组成在熔化和雾化之前与上述的铁基合金的组成相同。粉末金属组合物 18 通常包括 10.0-25.0 重量%的铬,优选 11.0-15.0 重量%的铬,最优选 13.0 重量%的铬;1.0-5.0 重量%的钨,优选 1.5-3.5 重量%的钨,最优选 2.5 重量%的钨;3.5-7.0 重量%的钒,优选 4.0-6.5 重量%的钒,最优选 6.0 重量%的钒;1.0-5.0 重量%的钼,优选 1.0-3.0 重量%的钼,最优选 1.5 重量%的钼。

[0029] 粉末金属组合物 18 还包括至少 3.0 重量%的碳,或 3.0-7.0 重量%的碳,或 3.5-4.0 重量%的碳,优选约 3.8 重量%的碳。碳的量足以提供基于粉末金属组合物 18 的总体积的至少 15 体积%的金属碳化物。

[0030] 随着粉末金属组合物 18 中的碳的量的增加,粉末金属组合物 18 的硬度也随之增加。这是因为在雾化步骤中,较多的碳形成较多的碳化物,从而增加硬度。粉末金属组合物 18 的碳的量被称为碳总数( $C_{tot}$ )。

[0031] 粉末金属组合物 18 还包括碳的化学计算量( $C_{stoich}$ ),其表示被聚集在合金化的碳化物中的平衡状态下的总碳含量。碳化物的种类和组成作为碳含量和合金元素含量的函数而变化。

[0032] 在雾化过程中形成期望量的金属碳化物所需的  $C_{stoich}$  取决于粉末金属组合物 18 中的碳化物形成元素的量。特定组合物的  $C_{stoich}$  由每个碳化物形成元素的量乘以每个元素的乘系数而获得。对于特定的碳化物形成元素,乘系数等于沉淀 1 重量%的特定碳化物形成元素所需的碳量。乘系数根据形成的沉淀物的类型,碳的量,以及每个合金元素的量变化。特定碳化物的乘系数还将随着碳的量和合金元素的量发生变化。

[0033] 例如,为了在粉末金属组合物 18 中形成沉淀物  $(Cr_{23.5}Fe_{7.3}V_{63.1}Mo_{3.2}W_{2.9})_8C_7$ ,也被称为  $M_8C_7$ ,碳化物形成元素的乘系数计算如下。首先,  $M_8C_7$  碳化物的原子比为: 1.88 原子铬, 0.58 原子铁, 5.05 原子钒, 0.26 原子钼, 0.23 原子钨, 以及 7 原子碳。接下来, 每摩尔的  $M_8C_7$  碳化物的各元素质量为: 钒 = 257.15 克, 铬 = 97.76 克, 铁 = 32.62 克, 钼 = 24.56 克, 钨 = 42.65 克, 以及碳 = 84.07 克。各碳化物形成元素的重量比为: 钒 = 47.73 重量%, 铬 = 18.14 重量%, 铁 = 6.05 重量%, 钼 = 4.56 重量%, 钨 = 7.92 重量%, 以及碳 = 15.60 重量%。该重量比表示 47.73 克的钒与 15.60 克的碳发生反应, 这意味着 1 克的钒与 0.33 克的碳反应。为了在  $M_8C_7$  碳化物中沉淀 1.0 重量%的钒需要 0.33 重量%的碳, 因此, 钒的乘系数为 0.33。同样的方法获得的乘系数为: 铬 = 0.29, 钼 = 0.06, 以及钨 = 0.03。

[0034] 接下来, 粉末金属组合物 18 中的  $C_{stoich}$  通过由各碳化物形成元素的量乘以各相关的乘系数, 然后将各值加起来。例如, 如果粉末金属组合物 18 包括 4.0 重量%的钒, 13.0 重量%的铬, 1.5 重量%的钼, 以及 2.5 重量%的钨, 那么  $C_{stoich} = (4.0 * 0.33) + (13.0 * 0.29) + (1.5 * 0.06) + (2.5 * 0.03) = 5.26$  重量%。

[0035] 此外, 粉末金属组合物 18 包括的  $C_{tot}/C_{stoich}$  小于 1.1。因此, 当粉末金属组合物 18 包括上限为 7.0 重量%的碳时,  $C_{stoich}$  将等于或小于 6.36 重量%的碳。所述  $C_{tot}/C_{stoich}$  的比值将根据对于固定的碳含量的合金元素的量而变化, 但  $C_{tot}/C_{stoich}$  的比值将保持小于 1.1。

[0036] 下表 1 提供一些其他碳化物类型的例子, 该碳化物类型可以在粉末金属组合物 18 中找到, 以及铬, 钒, 钼和钨的通用碳化物的化学计算量的乘系数。然而, 在表中所列的各碳化物的金属原子可以部分地被其它原子代替, 乘系数相应变化。

[0037] 表 1

[0038]

元素	碳化物类型	化学计算量的实例	乘系数 $f_M(w\%/w\%)$
Cr	$M_7C_3$	$Cr_{3.5}Fe_{3.5}C_3$	0.20
		$Cr_4Fe_3C_3$	0.17
		$(Cr_{34}Fe_{66})_7C_3$	0.29
V	$M_8C_7$	$(V_{63}Fe_{37})_8C_7$	0.33
Mo	$M_6C$	$Mo_3Fe_3C$	0.04
		$Mo_2Fe_4C$	0.06
W	$M_6C$	$W_3Fe_3C$	0.02
		$W_2Fe_4C$	0.03

[0039] 金属碳化物在雾化过程中形成, 并且其量为至少 15.0 体积%, 优选 40.0–60.0 体积%, 或 47.0–52.0 体积%, 通常为约 50.0 体积%。在一个实施例中, 粉末金属组合物 18 包括总量约为 50.0 体积%的富含铬的碳化物, 富含钼的碳化物, 富含钨的碳化物和富含钒的碳化物。

[0040] 金属碳化物具有纳米微观结构。在一个实施例中,金属碳化物具有 1-400 纳米的直径。如上面提到的,碳化物可以是各种类型,包括  $M_8C_7$ ,  $M_7C_3$ ,  $MC$ ,  $M_6C$ ,  $M_{23}C_6$ , 以及  $M_3C$ , 其中,  $M$  为至少一个金属原子,如铁,铬,钒,钼,和 / 或钨,  $C$  为碳。在一个实施例中,该金属碳化物选自  $M_8C_7$ ,  $M_7C_3$ ,  $M_6C$ ; 其中,  $M_8C_7$  是  $(V_{63}Fe_{37})_8C_7$ ;  $M_7C_3$  选自  $(Cr_{34}Fe_{66})_7C_3$ ,  $Cr_{3.5}Fe_{3.5}C_3$ , 以及  $Cr_4Fe_3C_3$ ; 而  $M_6C$  选自  $Mo_3Fe_3C$ ,  $Mo_2Fe_4C$ ,  $W_3Fe_3C$ , 以及  $W_2Fe_4C$ 。粉末金属组合物 18 的微观结构还包括纳米级的奥氏体,并且可包括纳米级的马氏体,与纳米级的碳化物一起。

[0041] 在一个实施例中,粉末金属组合物 18 基本上由 3.0-7.0 重量%的碳;10.0-25.0 重量%的铬;1.0-5.0 重量%的钨;3.5-7.0 重量%的钒;1.0-5.0 重量%的钼;不超过 0.5 重量%的氧;余量的铁,以及其量不超过 5.0 重量% (优选不超过 2.0 重量%) 的杂质组成。然而,粉末金属组合物 18 可选地包括其他可以增强材料特性的元素。在一个实施例中,粉末金属组合物包括钴,铌,钛,锰,硫,硅,磷,锆和钽中的至少一种。例如,铁基合金可包括 4.0-15.0 重量%的钴;高达 7.0 重量%的铌;高达 7.0 重量%的钛;高达 2.0 重量%的锰;高达 1.15 重量%的硫;高达 2.0 重量%的硅;高达 2.0 重量%的磷;高达 2.0 重量%的锆;以及高达 2.0 重量%的钽中至少一个。在一个实施例中,粉末金属组合物 18 包含预合金化的硫以在粉末中形成硫化物或含硫化合物。已知硫化物 (例如  $MnS$  和  $CrS$ ) 可改善加工性并可有益于耐磨性。

[0042] 粉末金属组合物 18 的余量是铁。在一个实施例中,粉末金属组合物包括至少 40.0 重量%的铁,或 50.0-81.5 重量%的铁,优选 70.0-80.0 重量%的铁。粉末金属组合物的熔点约为  $1235^{\circ}C$  ( $2255^{\circ}F$ )。它将在大约  $1235^{\circ}C$  ( $2255^{\circ}F$ ) 被完全熔化,但在温度低至  $1150^{\circ}C$  时可以包括一小部分的液相。粉末金属组合物 18 的熔点作为碳含量和合金元素含量的函数发生变化。

[0043] 粉末金属组合物 18 通常具有 800-1500Hv50 的显微硬度。图 2 示出了退火前的粉末金属组合物的硬度与碳含量的关系,指出硬度随着碳含量的增加而升高。下面的表 2 也提供了退火前后的不同碳含量对应的硬度值,此时,粉末金属组合物包括 13.0 重量%的铬,2.5 重量%的钨,6.0%重量%的钒,1.5 重量%的钼,0.2 重量%的氧,70.0-80.0 重量%的铁,以及其量不超过 2.0 重量%的杂质。这些数据表明,不论在退火前还是退火后,粉末金属组合物的硬度随碳含量的增加而升高。应当指出的是,碳含量的量是退火前的量。碳含量在退火过程中可能稍有下降,例如,它可能会降低最多 0.15 重量%。然而,硬度值仍然随碳含量的增加而升高。

[0044] 表 2

[0045]

碳含量 (重量%)	退火前硬度	退火后硬度
3.66%	975Hv0.025	450Hv0.025
3.03%	900Hv0.025	407Hv0.025
2.70%	810Hv0.025	382Hv0.025

[0046] 如果与另一具有较低碳含量的亚铁粉末组合物混合,虽然粉末金属组合物中所含的一些过量的碳 (超过了形成碳化物需要的量) 可能扩散到坚硬的粉末金属组合物外部,

但是硬度可基本上通过烧结和回火保持。这种过量的碳的扩散具有额外的好处：消除或至少减少添加富含碳的粉末（如粉状石墨）的需要，该富含碳的粉末有时需要在压实和烧结过程中添加以控制微观结构和性能增强。此外，预合金的碳将降低石墨偏析的倾向，该石墨偏析可能会发生在单独添加石墨的时候。

[0047] 粉末金属组合物 18 通常被压实和烧结以形成可在各种应用中（特别是汽车部件中）使用的制品。在烧结之前，粉末金属组合物 18 优选与另一粉末金属或其他粉末金属的混合物混合。其他粉末金属可包括非合金粉末，低合金粉末，或合金化的钢粉末，以及不含铁粉末。此外，少量其他金属或成分可以存在于混合物中。

[0048] 在一个实施例中，混合物包含 10.0-40.0 重量%的粉末金属组合物 18，优选至少 20.0 重量%的粉末金属组合物 18。该混合物还包含 30.0-90.0 重量%的其他粉末金属，但通常包括约 60.0-80.0 重量%的其他粉末金属。接着，该混合物被压实，然后烧结。

[0049] 高碳粉末金属组合物可在烧结之前进行退火。退火提高粉末金属组合物 18 的压缩性，从而允许在混合物中使用更多的粉末金属组合物 18，或允许被压紧到更高的生坯密度。当对粉末金属组合物 18 退火时，混合物中的粉末金属组合物 18 的量可以增加至超过 40.0 重量%，例如高达 60.0 重量%。然而，粉末金属材料的热加工（诸如延展的退火）或氧化物还原不要求在烧结前进行，而对于含碳量低的其他粉末金属组合物来说是必须的，以减少氧并且产生合适的微观结构。

[0050] 烧结的粉末金属组合物优选包括细小的且均匀分布在整个粉末金属组合物中的金属碳化物。如果烧结的组合物的 100%由粉末金属组合物 18 形成，那么，金属碳化物在烧结的粉末金属组合物中的量为至少 15 体积%，优选 40.0-60.0 体积%，或 47.0-52.0 体积%，以及通常为约 50.0 体积%。在一个实施例中，烧结的粉末金属组合物包含总量在约 50.0 体积%的富含铬的碳化物，富含钼的碳化物，富含钨的碳化物，以及富含钒的碳化物。在另一个实施例中，烧结的粉末金属组合物包括约 5.0-10.0 体积%的富含钒的碳化物，约 40.0-45.0 体积%的富含铬的碳化物，基于烧结的粉末金属组合物的总体积。

[0051] 烧结的粉末金属组合物的金属碳化物具有微尺度微观结构。在一个实施例中，富含钒的 MC 碳化物的直径为约 1  $\mu\text{m}$ ，富含铬的  $\text{M}_7\text{C}_3$  碳化物的直径为约 1-2  $\mu\text{m}$ 。细小的碳化物结构还可以提供更均匀的微观结构。碳化物可以是各种类型，包括  $\text{M}_7\text{C}_3$ ， $\text{M}_8\text{C}_7$ ，MC， $\text{M}_4\text{C}_3$ ， $\text{M}_6\text{C}$ ， $\text{M}_{23}\text{C}_6$ ， $\text{M}_6\text{C}_5$  和  $\text{M}_3\text{C}$ ，其中 M 是金属原子，C 是碳。例如，碳化物可以包括富含 V 的碳化物，如  $\text{M}_8\text{C}_7$ ， $\text{M}_4\text{C}_3$ ， $\text{M}_6\text{C}_5$ ；富含 Nb 的碳化物，如  $\text{MC}_x$ ，其中 x 为 0.75-0.97；或富含 Ti 和 Ta 的碳化物，如 MC。烧结的粉末金属组合物的微观结构还包括微尺度奥氏体，并且可以包括微尺度马氏体，与微尺度碳化物一起。

[0052] 表 3 包括根据本发明的方法制备的粉末金属组合物一个例子，商品级 M2 工具钢作为对照。

[0053] 表 3 组合物（重量%）

[0054]

	Cr	V	Mo	W	C	Fe
本发明的例子	13	6	1.5	2.5	3.8	余量

M2	4	2	5	6	0.85	余量
----	---	---	---	---	------	----

[0055] 粉末金属组合物 18 与另一粉末金属混合并烧结。粉末金属组合物的量为 20.0 重量%，而其他粉末金属的量为 80.0 重量%，基于混合物的总重量。烧结的混合物的粉末金属组合物 18 包括约 40-45 体积%的富含铬的碳化物，约 7 体积%的富含钒的碳化物，基于粉末金属组合物 18 的总体积。富含铬的碳化物具有约 1-2  $\mu\text{m}$  的尺寸，富含钒的碳化物具有约 1  $\mu\text{m}$  的尺寸。颗粒周围的基质（碳化物沉淀在基质内）基本上是奥氏体，带有一些马氏体和铁素体的区域。

[0056] 烧结后的混合物的显微硬度在约 800-1500Hv<sub>50</sub>。本发明的粉末金属组合物以 15 和 30 体积%与初级低碳的低合金粉末组合物混合。在压实，烧结和回火后，高碳颗粒的硬度维持在高于 1000Hv<sub>50</sub>。本发明的组合物中的一些碳扩散到混合物的相邻的低碳含量的初级粉末基质材料中。

[0057] 烧结和回火循环的控制允许人们控制初级基质的性能，包括不同量的铁素体，珠光体，贝氏体和 / 或马氏体。诸如 MnS 和 / 或其他化合物被添加到混合物中以改变混合物的性能，例如改善可加工性。本发明的粉末金属组合物基本上保持稳定，性能基本上是由初级基质材料的性能来决定而不受到后续热处理的约束。

[0058] 本发明已经结合当前优选实施例进行了描述，因此本说明书是示例性的，而不是在本质上具有限制性。对公开的实施例进行变化和修改对于本领域的技术人员来说是显而易见的，显然落入本发明的范围之内。因此，发明的范围并不限于这些具体实施例。

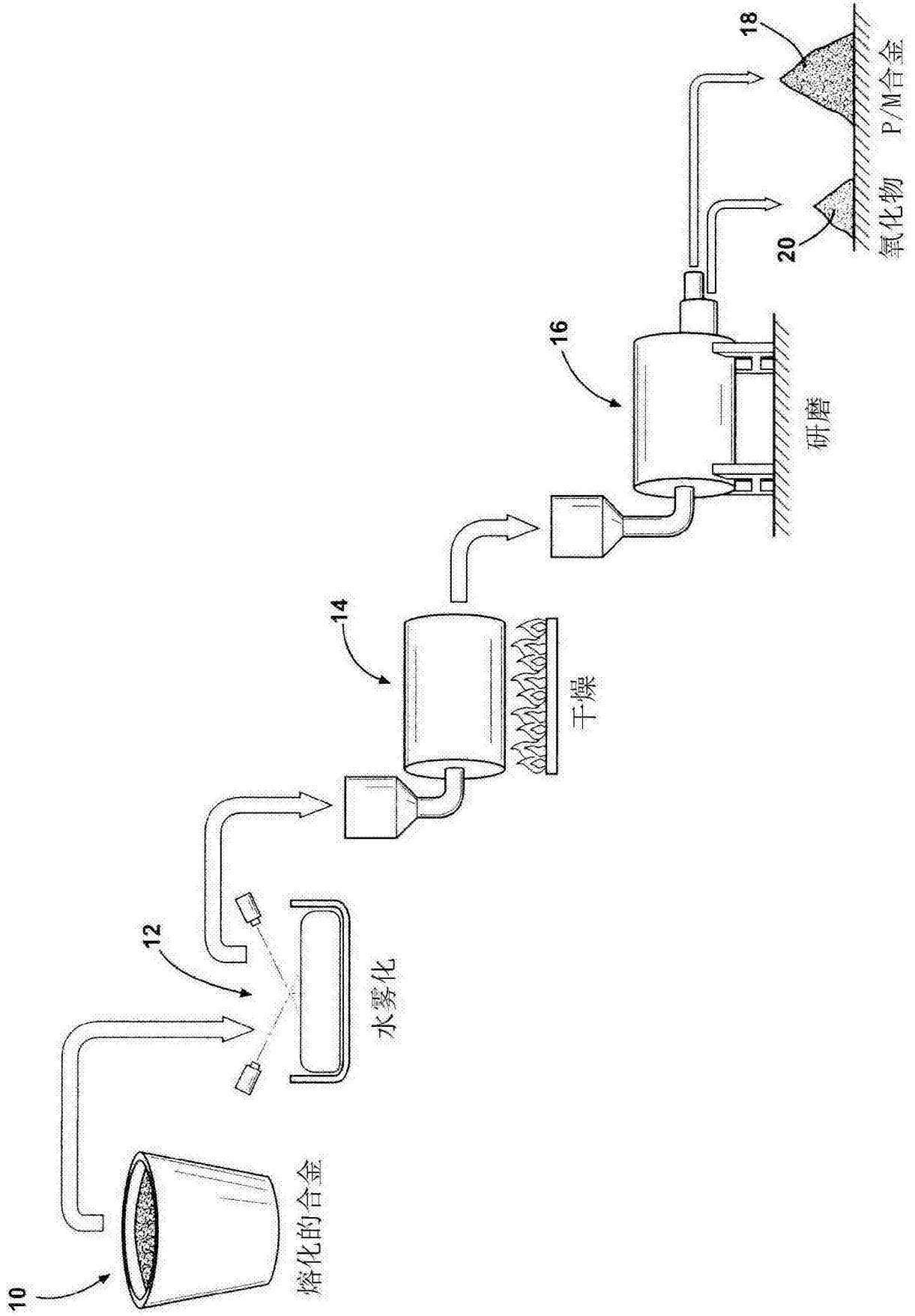


图 1

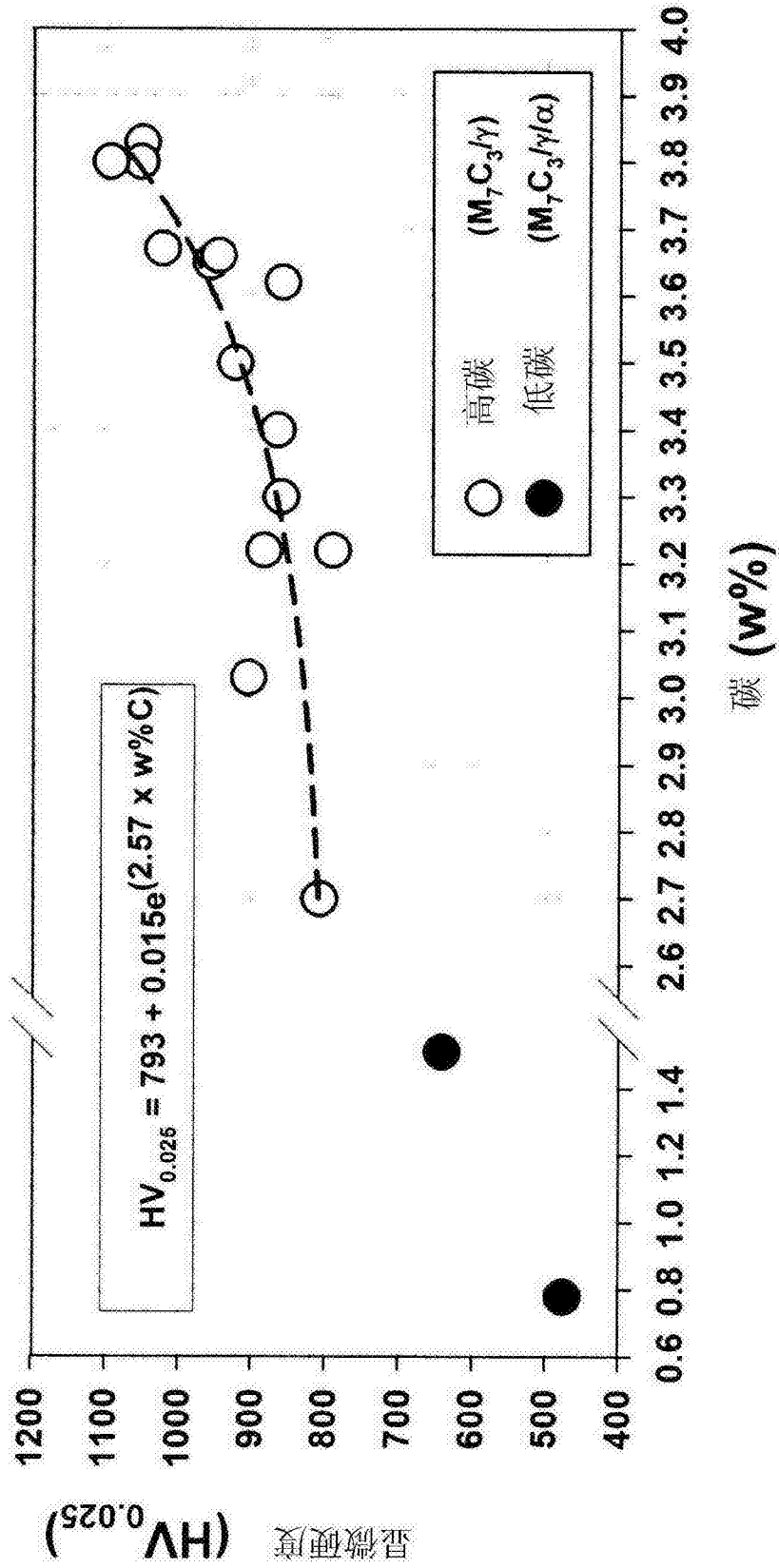


图 2