



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1662327 B

(45) 授权公告日 2013.07.17

(21) 申请号 03813804.2

(22) 申请日 2003.06.12

(30) 优先权数据

0201824-0 2002.06.14 SE

(85) PCT申请进入国家阶段日

2004.12.14

(86) PCT申请的申请数据

PCT/SE2003/000996 2003.06.12

(87) PCT申请的公布数据

W02003/106079 EN 2003.12.24

(73) 专利权人 霍加纳斯股份有限公司

地址 瑞典霍加纳斯

(72) 发明人 U·恩斯特伦 S·贝里

(74) 专利代理机构 北京市中咨律师事务所

11247

代理人 林柏楠 黄革生

(51) Int. Cl.

B22F 1/00 (2006.01)

C22C 33/02 (2006.01)

(56) 对比文件

US 5666634 A, 1997.09.09, 全文.

EP 0908257 A2, 1999.04.14, 全文.

US 6068813 A, 2000.05.30, 第3栏第27-45行.

EP 0354389 A1, 1990.02.14, 全文.

US 4382818 A, 1983.05.10, 第1栏第15-36行, 第2栏第39-42和54-58行.

US 4381940 A, 1983.05.03, 第2栏第34行-第3栏第60行.

US 6261514 B1, 2001.07.17, 第2栏第5-39行.

US 5628045 A, 1997.05.06, 第3栏第10行-第4栏第7行.

US 4437891 A, 1984.03.20, 第2栏第40行-第5栏第35行, 第8栏第22-25行.

审查员 李彩芬

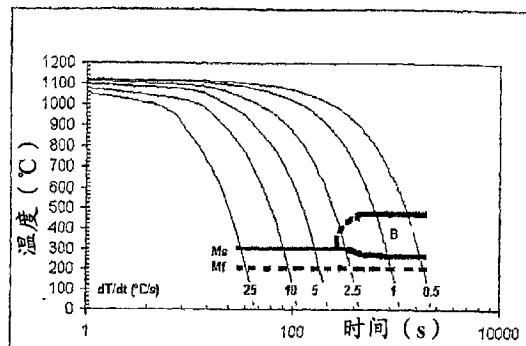
权利要求书2页 说明书8页 附图1页

(54) 发明名称

预合金化铁基粉末、生产烧结部件的方法和一种部件

(57) 摘要

本发明涉及一种新型预合金化钢粉末,除铁和不可避免的杂质外,它还含有1.3-1.7重量%的Cr、0.15-0.3重量%的Mo、0.09-0.3重量%的Mn、不超过0.01重量%的C、不超过0.25重量%的O。本发明还涉及一种由该新型材料制备烧结产品的方法。



1. 制造退火的水雾化、预合金化钢粉末混合物的方法,包括:
通过水雾化制造预合金化的钢粉末;
将所述水雾化、预合金化钢粉末退火,以制造退火的水雾化、预合金化钢粉末,该钢粉末除铁和不可避免的杂质外还含有:
 1. 3-1.7 重量%的 Cr,
 - 0.15-0.3 重量%的 Mo,
 - 0.09-0.25 重量%的 Mn,
 - 不超过 0.01 重量%的 C,
 - 不超过 0.25 重量%的 O;和将所述退火的水雾化、预合金化钢粉末与冷压实润滑剂混合。
2. 根据权利要求 1 的方法,进一步包括将所述水雾化、预合金化钢粉末与最高达 1 重量%的石墨混合。
3. 根据权利要求 1 或 2 的方法,其中所述水雾化、预合金化钢粉末在退火之前含有:
 - 0.1-0.9 重量%的 C,重量比 O : C 为 1-4。
4. 根据权利要求 3 的方法,其中重量比 O : C 为 1.5-3.5。
5. 根据权利要求 3 的方法,其中重量比 O : C 为 2-3。
6. 根据权利要求 1 或 2 的方法,其中所述冷压实润滑剂选自金属皂和蜡组成的组。
7. 根据权利要求 1 或 2 的方法,其中所述退火的水雾化、预合金化钢粉末含有:
 - 1.35-1.65 重量%的 Cr,
 - 0.17-0.27 重量%的 Mo,
 - 不超过 0.006 重量%的 C,和
 - 不超过 0.15 重量%的 O。
8. 制造含有低温贝氏体显微结构的烧结部件的方法,包括:
根据权利要求 1 至 7 任一项的方法制造退火的水雾化、预合金化钢粉末;
将所述粉末与最高达 1 重量%的冷压实润滑剂和任选地与一种或多种添加剂混合,所述添加剂选自石墨、合金化元素、粘合剂、硬相材料、切削性能增强剂和流动增强剂组成的组;
将所获混合物在室温和 400 至 800MPa 的压实压力压实,以获得生坯;和
将所述生坯在 1050°C 至 1200°C 的温度烧结。
9. 根据权利要求 8 的方法,其中在结合采用内部润滑和外部润滑的情况下进行压实。
10. 根据权利要求 8 或 9 的方法,其中在还原性气氛中、在高于 1050°C 的温度进行烧结。
11. 根据权利要求 8 或 9 的方法,其中在少于 1 小时的期间内、以最高 3×10^{-17} 大气压的氧分压将所述生坯烧结。
12. 根据权利要求 8 或 9 的方法,其中所述烧结体具有含至少 50% 的下贝氏体的显微结构。
13. 根据权利要求 12 的方法,其中所述烧结体具有含至少 70% 的下贝氏体的显微结构。

14. 根据权利要求 12 的方法,其中所述烧结体具有含至少 90%的下贝氏体的显微结构。

预合金化铁基粉末、生产烧结部件的方法和一种部件

技术领域

[0001] 本发明涉及一种预合金化铁基粉末。本发明尤其涉及一种含有少量合金元素的预合金化铁基粉末,其可以有效地利用成本为日益扩大的 P/M(粉末冶金)市场制造烧结部件。

背景技术

[0002] 在工业中,通过将金属粉末组合物压实和烧结来制造的金属产品的应用正变得日益广泛。正在生产大量形状和厚度各异的不同产品,而且,在要求降低成本的同时,对质量的要求越来越高。对面向汽车市场 - 对于 P/M 工业这是一个重要的市场,而且成本是其主要的驱动力 - 的 P/M 部件而言,情况尤为如此。另一个重要因素是从汽车工业回收废料的可行性,并考虑对环境的影响。在该领域获得广泛认可的已知合金体系常常含有 Ni 和 Cu 之类的合金元素。但是,镍是一种很强的过敏源,而且被认为具有其它有害的医学后果。与铜有关的问题在于,在用于炼钢业的废料回收过程中,铜会累积下来。对于许多钢的质量,铜并不适宜,而且需要的是不含铜或铜含量极低的废料。之前已从例如美国专利 4266974、5605559、5666634 和 6348080 中获知了含有少量不包括镍和铜的合金元素的铁基粉末。

[0003] 根据美国专利 4266974,该发明的目的是提供一种可以满足高可压缩性需求的粉末,并提供一种具有良好的可淬性和良好的如渗碳性之类的热处理性能的烧结坯体。在按照该专利生产的这种钢合金粉末的生产中,最重要的步骤是还原退火步骤(第 5 栏,第 15 行)。

[0004] 美国专利 5605559 和 5666634 均涉及含有 Cr、Mo 和 Mn 的钢粉末。按照美国专利 5605559 的合金钢粉含有 0.5-2 重量%的 Cr、不超过大约 0.08 重量%的 Mn、大约 0.1-0.6 重量%的 Mo、大约 0.05-0.5 重量%的 V、不超过大约 0.015 重量%的 S,不超过大约 0.2 重量%的 O,余量为铁和附带的杂质。美国专利 5666634 公开了有效量应为:0.5 到 3 重量%之间的铬、0.1 到 2 重量%的钼和最高 0.08 重量%的锰。

[0005] 采用美国专利 5605559 和 5666634 中公开的发明时,一个严重的缺陷在于,不能使用廉价废料,因为该废料通常含有超过 0.08 重量%的锰。在这一点上,专利 5605559 指出,“当 Mn 含量超过大约 0.08 重量%时,会在合金钢粉表面产生氧化物,由此使压缩性低出要求的程度,并使可淬性高出要求的程度……Mn 含量优选不高于大约 0.06 重量%。”(第 3 栏,47-53)。在美国专利 5666634 中重复了这一点,其公开“在炼钢过程中,需采用特殊处理以便将 Mn 含量降低到不高于 0.08 重量%的水平”(第 3 栏,第 40-44 行)。另一个问题在于,关于还原退火和在含有如铬、锰之类易被氧化元素的水雾化铁粉中获得较低的氧和碳含量的可能性,没有任何教导。在这方面唯一给出的信息似乎是在例 1 中,其公开了必须进行最终还原。此外,美国专利 5666634 参考了第 4-165002 号日本专利公开,后者涉及一种除含 Cr 外还含有 Mn、Nb 和 V 的合金钢粉末。这种合金粉末还含有超过 0.5 重量%的 Mo。根据美国专利 5666634 中参考的研究可以看出,由于在烧结体中存在着起断裂点作用的碳化物和氮化物,Cr 基合金钢粉末是有缺陷的。

[0006] 在美国专利 6348080 中公开了使用来自废料的粉末的可能性,其公开了一种水雾化的、退火的铁基粉末,该粉末含有 2.5-2.5 重量%的 Cr、0.3-0.7 重量%的 Mo、0.09-0.3 重量%的 Mn、小于 0.2 重量%的 O、小于 0.01 重量%的 C,其余为铁和不超过 1 重量%的不可避免的杂质。该专利还公开了制备这种粉末的方法。此外,美国专利 6261514 公开了如果将含有此组分的粉末中温压实,并在高于 1220℃ 的温度下烧结,可以制得具有高拉伸强度和高冲击强度的烧结制品。

[0007] 本发明人现在已经意外地发现,合金元素 - 尤其是铬的量较低,可以出人意料地提高退火和烧结的可能性。例如,可以允许在烧结过程中有较高的氧分压。在烧结由本发明的粉末制得的部件时,允许的最大氧分压最高为 3×10^{-17} 大气压,然而,在烧结由美国专利 6348080 (Arvidsson) 的粉末制得的部件的过程中,允许的分压最大值低至 5×10^{-18} 大气压。

[0008] 此外,当比较由这些已知粉末制备的生坯和由本发明的新型粉末制备的生坯时,可以发现,由新型粉末制得的压制坯体的特征在于其未曾预料的高生坯强度。当采用模壁润滑时尤为如此。生坯强度是生坯部件最重要的物理性能之一。当 P/M 部件尺寸增大、几何外形变得更为复杂时,该性能的重要性也提高。生坯强度随着压制件密度的增大而增大,并受掺杂在粉末中的润滑剂的类型和量的影响。生坯强度也受所用粉末类型的影响。为了防止压制件在从压制模具顶出的过程中破裂,并防止其在处理和从压力机到烧结炉之间转移的过程中被损坏,要求较高的生坯强度。目前使用的具有相对较高生坯强度的压制件宜由海绵状铁粉制得,而尽管雾化粉末更易压缩并由此产生更高的生坯密度,但在制备雾化粉末压制件方面遇到了问题。

[0009] 发明目标

[0010] 第一目标是提供一种含有少量合金元素的新型预合金化粉末。

[0011] 第二目标是提供一种能够在室温下以适当的压实压力压紧至较高生坯密度的预合金化粉末。

[0012] 第三目标是提供一种能够在工业规模上按有效利用成本的方式压制并烧结的新型预合金化粉末。

[0013] 第四目标是提供一种能够由廉价废料生产的预合金化粉末。

[0014] 第五目标是提供一种适于制造显微结构基本上由低温贝氏体组成的烧结部件的预合金化粉末。

[0015] 第六目标是提供一种含有少量合金元素、具有良好的可压缩性、良好的可淬性,以及低于 0.25% 的氧含量的新型预合金化粉末。

[0016] 发明概述

[0017] 按照本发明,通过使用含有 1.3-1.7 重量%的 Cr、0.15-0.3 重量%的 Mo、0.09-0.3 重量%的 Mn、不高于 0.01% 的 C、不高于 0.25 重量%的 O、其余为 Fe 和不可避免的杂质的预合金化的、水雾化钢粉末,本发明的这些目标可以实现。

[0018] 按照本发明的更为优选的实施方案,粉末组成为 1.35-1.65 重量%的 Cr、0.15-0.25 重量%的 Mo、0.09-0.25 重量%的 Mn、不高于 0.006% 的 C。本发明还涉及由该粉末制备的压实和烧结产品,该粉末可选择地与其它合金元素和润滑剂、粘合剂、硬相材料、流动增强剂、可切削性能增强剂混合。

[0019] 发明详述

[0020] 新型粉末的制备

[0021] 对制成的具有上述合金元素组分的锭钢进行任何已知的水雾化法处理,可以轻易地制造本发明的合金钢粉末。优选以以下方式制备水雾化粉末:在退火前,水雾化粉末的 O : C 重量比在 1 至 4 之间,优选在 1.5 至 3.5 之间,最优选在 2 至 3 之间,其碳含量在 0.1 到 0.9 重量%之间。为了根据本发明进行进一步的处理,可以按照 PCT/SE97/01292(其内容经此引用并入本文)中描述的方法对该水雾化粉末进行退火。

[0022] 在同时待审的瑞典申请 9800153-0 中公开了能够用于制备含有少量易被氧化的合金元素的低氧、低碳铁基粉末的另一方法。

[0023] 对于退火粉末颗粒的外观,已经观察到的区别特征在于,与水雾化简单铁粉的颗粒形状相比,该颗粒形状略微较不规则。

[0024] Cr 的量

[0025] 由于 Cr 可以提高烧结产品的可淬性,而且不会显著提高铁素体硬度,因此成分 Cr 是钢粉中一种合适的合金元素。为了在烧结后获得足够的强度并仍保持良好的可压缩性,在 1.3 至 1.7 的 Cr 含量是适宜的。更高的铬含量会降低可压缩性,也会增大生成不需要的碳化物的风险。较低的铬含量会降低可淬性。

[0026] Mn 的量

[0027] 成分 Mn 通过提高可淬性和通过固溶硬化来提高钢的强度。但是,如果 Mn 的量超过 0.3%,铁素体的硬度将会通过固溶硬化而提高。如果 Mn 的量低于 0.08,将不能使用 Mn 含量通常高于 0.08%的廉价废料,除非在炼钢期间进行降锰的特殊处理。因此,根据本发明 Mn 的优选量为 0.09-0.3%。与低于 0.01%的碳含量结合,这样的 Mn 含量范围可以获得最佳结果。

[0028] Mo 的量

[0029] 成分 Mo 通过提高可淬性、还通过固溶硬化和沉淀硬化来用来提高钢的强度。对于给定的化学组分,加入 0.15 至 0.3 的 Mo 就足以将 CCT- 图中的珍珠体圈右移,从而可以在常用的冷却速率下形成贝氏体结构。

[0030] C 的量

[0031] 合金钢粉末中的 C 不高于 0.01%的原因在于,C 是一种通过空隙固溶硬化来硬化铁素体基体的元素。如果 C 含量超过 0.01 重量%,粉末就会被显著地硬化,对于商业用途的粉末来说,这会产生极差的可压缩性。

[0032] O 的量

[0033] O 的量不应超过 0.25 重量%。优选将 O 含量限制在低于大约 0.2 重量%,更优选低于大约 0.15 重量%。

[0034] 其它元素

[0035] 预合金化粉末中可含的其它元素是 Ti、B、V 和 Nb。Ti、V 和 Nb 可以生成会产生沉淀硬化效应的碳化物。B 具有与碳相同的作用 - 固溶硬化作用,并能与 Ti、Nb 和 V 生成会产生沉淀硬化效应的硼化物。这些元素的量优选为:0.01 到 0.04 重量%的 Ti、0.01 到 0.04 重量%的 B、0.05 到 0.3 重量%的 V,以及不超过 0.1 重量%的 Nb。

[0036] 可以将 Ni 和 / 或 Cu 与新型粉末混合。或者可以用粘合剂使 Cu 和 / 或 Ni 的颗粒

粘附到新型粉末的颗粒上。也可以将 Ni 和 / 或 Cu 扩散粘接到新型粉末的颗粒上。Ni 和 / 或 Cu 的加入提高了可淬性。将这些合金的添加量限制为 : 约 0.5-8 重量%的 Ni 和约 0.5-4 重量%的 Cu。

[0037] 图 1 表示 CCT 图, 图 2 表示由含有 0.5% 的 C 和 2% 的 Cu 的新型粉末制备的材料在不同冷却速率下的相量。从这些图中, 良好的可淬性得到了证实。

[0038] 此外, 如 P、B、Si、Mo 和 Mn 之类的元素也可以与新型粉末混合。

[0039] 石墨

[0040] 通常将石墨加入粉末冶金混合物中以提高机械性能。石墨也可以起到降低烧结体中氧化物含量、并进一步提高机械性能的还原剂的作用。在烧结产品中 C 的量是由与本发明的合金钢粉末混合的石墨粉末量确定的。石墨的加入量最高通常可达 1 重量%。

[0041] 润滑剂

[0042] 待压实的粉末组合物也可以与润滑剂混合。目前该新型粉末最令人感兴趣的应用似乎是用于制造室温压实 (即冷压实) 的烧结部件, 但中温压实也是可行的。

[0043] 室温下使用的润滑剂 (低温润滑剂) 的典型例子为 : Kenolube™、亚乙基双硬脂酰胺 (EBS) 和如硬脂酸锌之类的金属硬脂酸盐、如油酰胺和甘油硬脂酸酯之类的脂肪酸衍生物、以及聚乙烯蜡。

[0044] 升高的温度下使用的润滑剂 (高温润滑剂) 的典型例子为 : 聚酰胺、酰胺低聚物、聚酯或硬脂酸锂。润滑剂的加入量最高通常可达 1 重量%。

[0045] 其它添加剂

[0046] 其它可选择地与本发明的粉末混合的添加剂包括硬相材料、切削性能增强剂和流动增强剂。

[0047] 压实和烧结

[0048] 可以在室温或升高的温度下, 在最高可达 2000MPa 的压力下, 在单轴加压操作中进行压实, 但压力通常在 400 到 800MPa 之间变化。

[0049] 压实后, 在大约 1000°C 到大约 1400°C 的温度下对获得的部件进行烧结。在 1050°C 到 1200°C 之间进行烧结可以有效利用成本地制造高性能部件。进一步提高烧结温度 - 高于 1200°C 的高温烧结可以进一步提高机械性能。烧结时间可以比较短, 即低于 1 小时, 如 45 分钟。通常烧结时间大约为 30 分钟。

[0050] 取决于例如铁基组合物粉末的组成和石墨的加入量, 密度和烧结炉常用的冷却速率——即 0.5-2°C /s——可生成完全的贝氏体结构。

[0051] 将冷却速率降低到低于 0.5°C /s 和 / 或减少混入的石墨的量, 可以获得由不同量的铁素体、珍珠体和贝氏体组成的显微结构。将冷却速率提高到高于 2°C /s 并硬化, 可以获得包含超过 50% 的马氏体的显微结构。

[0052] 当烧结部件的显微结构主要由下贝氏体组成时, 可以获得强度和韧性的最佳结合。在高于 1050°C 的温度下进行烧结, 且碳含量在 0.55 到 1.0% 之间时, 可以得到这样的结构。贝氏体由铁素体和碳化物的非层状聚集体组成。钢中贝氏体的主要变体被称作上贝氏体和下贝氏体。上贝氏体和下贝氏体之间的差别在于, 碳化物是分布在单独的铁素体带之间 (上贝氏体), 还是分布在铁素体带内 (下贝氏体)。在下贝氏体生成过程中, 碳的扩散速率如此慢, 以至于碳原子不能足够快地移动以避免陷入快速生长的铁素体薄片。对于

简单的铁-碳体系来说,超过 350℃时生成上贝氏体。低于此温度,得到下贝氏体。加入合金元素可以改变该温度。新型粉末可以以简单且有效利用成本的方法获得含有至少 50%、优选至少 70%、最优选至少 90%下贝氏体的烧结制品。

[0053] 表 6-8 表明,当从大约 0.2%开始提高烧结制品的碳含量时,拉伸强度和屈服强度提高,且伸长和冲击强度在碳含量为大约 0.6%时显示最低值。当以 0.8℃/s 的冷却速率冷却时,在碳含量高于大约 0.55%时可获得拉伸强度和冲击强度的同时提高。这种在碳含量约为 0.55% -1%的烧结产品中强度和韧性的同时提高对于该材料而言是独一无二,因为它可以在例如配有或没有快速冷却装置的网带式炉、推杆式加热炉、辊式炉或步进式炉之类的常规烧结炉中以工业规模烧结来实现。

[0054] 烧结硬化

[0055] 烧结硬化是一种可作为降低成本的强有力手段的方法。新型烧结炉可以以中性碳势(不进行脱碳和渗碳)烧结低合金钢部件,然后在快速冷却区将其硬化。可以通过水冷保护气体在 900℃到 400℃之间以最高可达 7℃/秒的冷却速率在炉子的快速冷却区中进行高速循环,以进行热处理。这可以在 PM 钢中产生至少 50%的马氏体。为了得益于烧结硬化的优点,合金体系的选择是最重要的。

[0056] 通过下列非限制性实施例进一步说明本发明。

[0057] 实施例 1

[0058] 本实施例表明,与用根据美国专利 6348080 的已知粉末压制的部件相比,当使用新型粉末时,压制部件的生坯密度和生坯强度得到了提高。按照表 1-4,借助于外部润滑(模壁润滑)和内部润滑(硬脂酸锌和 Advawax),以三种不同的压制压力模制用于测定生坯强度和生坯密度的样品。

[0059] 表 1

[0060] 已知粉末

[0061]

压制压力 (MPa)	模壁润滑生坯密度 (g/cm ³)	内部润滑生坯密度 (g/cm ³)	
		0.8%硬脂酸锌	0.6%Advawax TM
400	6.43	6.52	6.65
600	6.93	6.96	7.07
800	7.25	7.17	7.24

[0062] 由下表 2,可以获得采用本发明的粉末的相应结果。粉末含有 1.5 重量%的 Cr、0.2 重量%的 Mo 和 0.11 重量%的 Mn。

[0063] 表 2

[0064] 新型粉末

[0065]

压制压力 (MPa)	模壁润滑生坯密度 (g/cm ³)	内部润滑生坯密度 (g/cm ³)	
		0.8%硬脂酸锌	0.6%Advawax TM
400	6.55	6.61	6.75
600	7.04	7.02	7.17
800	7.32	7.21	7.38

[0066] 比较表 1 和表 2 所列结果,可以看出,采用新型粉末可以获得较高的生坯密度。

[0067] 下表 3 和 4 分别公开了已知和新型粉末相应的生坯强度。尤其当新型粉末在润滑过的模具中压实时获得的生坯强度明显高于使用之前已知的粉末时的生坯强度。

[0068] 表 3

[0069] 已知粉末

[0070]

压制压力 (MPa)	模壁润滑生坯密度 (g/cm ³)	内部润滑生坯密度 (g/cm ³)	
		0.8%硬脂酸锌	0.6% Advawax TM
400	11.08	8.76	20.32
600	19.92	13.46	28.98
800	27.40	15.25	27.64

[0071] 表 4

[0072] 新型粉末

[0073]

压制压力 (MPa)	模壁润滑生坯密度 (g/cm ³)	内部润滑生坯密度 (g/cm ³)	
		0.8%硬脂酸锌	0.6% Advawax TM
400	21.5	11.3	19.3
600	38.2	17.3	29.5
800	53.9	18.8	32.2

[0074] 实施例 2

[0075] 本实施例公开了由加有 1 重量%的 Cu 的新型粉末制得的样品的机械性能。在 600MPa 下压实含有 0.6%石墨的粉末。所得材料的烧结密度大约为 6.95g/cm³。

[0076] 以 2.5°C /s 的冷却速率将样品烧结硬化。测量拉伸强度、屈服强度、硬度和伸长。表 5 显示,由仅含 1 重量%的 Cu 的新型粉末制得的样品的机械强度,与含有 2 重量%的 Cu 的符合 USMPIF 标准的标准材料 FL 4608 一样出色。

[0077] 表 5

[0078]

加入的 Cu (%)	加入的石墨 (%)	TS (MPa)	YS (MPa)	HRC	A (%)
1	0.6	923	784	30	0.50
2	0.6	863	682	33	0.21
FL 4608	0.6	900	787	27	0.27

[0079] 实施例 3

[0080] 本实施例说明了分别由加有 0.2%、0.4%、0.6%、0.8% 和 0.85% 石墨的本发明的粉末制得的样品的机械性能。

[0081] 样品分别在 400MPa、600MPa 和 800MPa 下压实。用 0.8 重量%的亚乙基双硬脂酰胺作润滑剂。通过室温下的单轴压制操作进行压实。样品在 90% 氮气、10% 氢气的气氛中，在 1120℃ 下烧结 30 分钟。以大约 0.5 到 1℃ /s 的冷却速率进行冷却。

[0082] 根据表 6-8，测定烧结样品的烧结密度 (SD)、拉伸强度 (TS)、屈服强度 (YS)、伸长 (A)、冲击强度 (IE)、碳含量 (C) 和氧含量 (O)。

[0083] 表 6- 压实压力 400MPa

[0084]

石墨	SD	TS	YS	A	IE	C	显微结构
%	g/cm ³	MPa	MPa	%	J	%	
0.2	6.56	258	187	2.94	10.6	0.21	铁素体 + 珍珠体
0.4	6.55	450	366	1.29	8.3	0.39	上贝氏体 + 珍珠体
0.6	6.55	574	474	0.82	8.6	0.58	上贝氏体 + 下贝氏体
0.8	6.55	598	478	1.12	9.8	0.75	下贝氏体
0.85	6.55	599	481	1.01	10.3	0.80	下贝氏体

[0085] 表 7- 压实压力 600MPa

[0086]

石墨	SD	TS	YS	A	IE	C	显微结构
%	g/cm ³	MPa	MPa	%	J	%	
0.2	6.97	331	225	4.89	22.5	0.18	铁素体 + 珍珠体
0.4	6.94	561	443	1.90	14.7	0.37	上贝氏体 + 珍珠体

0.6	6.93	723	584	1.13	14.1	0.56	上贝氏体 + 下贝氏体
0.8	6.91	758	603	1.47	16.6	0.75	下贝氏体
0.85	6.90	737	567	1.50	16.1	0.77	下贝氏体

[0087] 表 8- 压实压力 800MPa

[0088]

石墨	SD	TS	YS	A	IE	C	显微结构
%	g/cm ³	MPa	MPa	%	J	%	
0.2	7.17	374	244	6.35	32.2	0.18	铁素体 + 珍珠体
0.4	7.13	611	476	2.32	19.5	0.37	上贝氏体 + 珍珠体
0.6	7.10	779	627	1.13	16.0	0.56	上贝氏体 + 下贝氏体
0.8	7.07	816	631	1.84	19.7	0.73	下贝氏体
0.85	7.06	813	621	1.66	19.2	0.78	下贝氏体

[0089] 表 6-8 显示,对于碳含量高于大约 0.5% 的样品,其拉伸强度、冲击强度和伸长提高。这种现象是由于生成了低温贝氏体。能够以此方式生成低温贝氏体的事实使得该新型粉末独一无二。

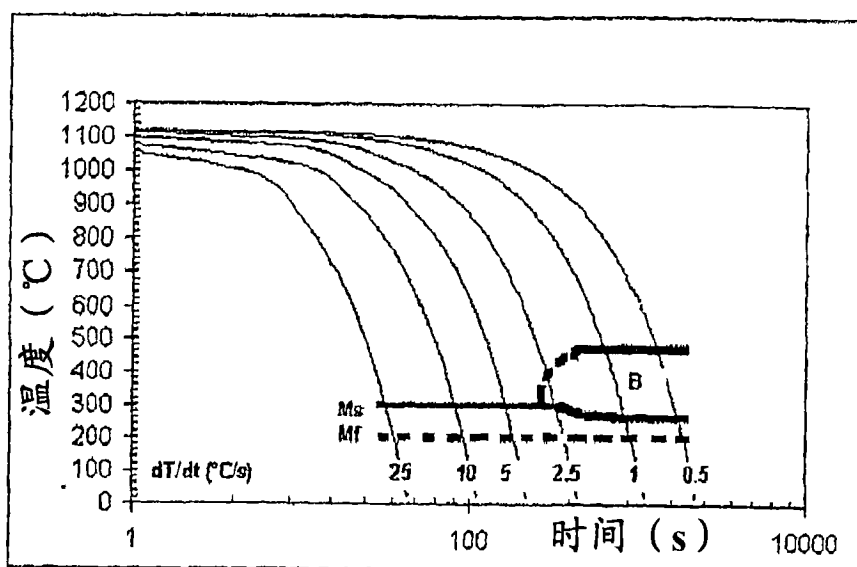


图 1

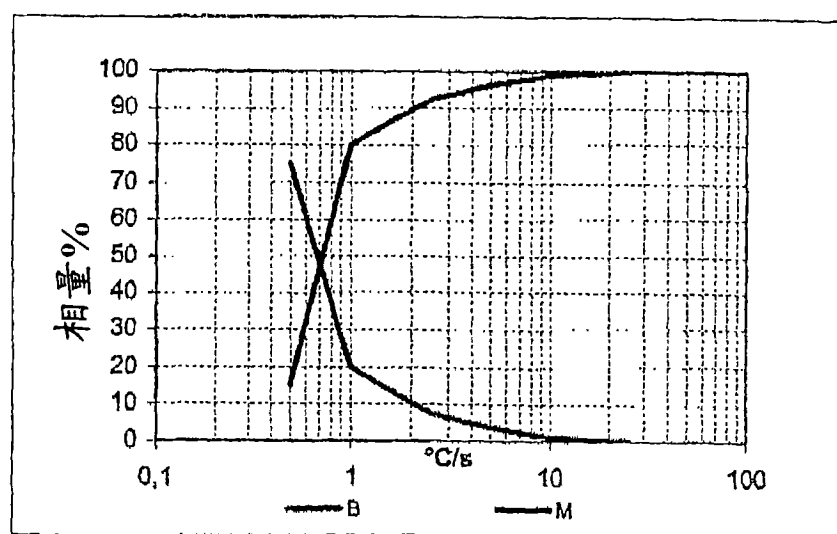


图 2