



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21]申请号 94105538.8

[51]Int.Cl<sup>6</sup>

B22F 9/08

[43]公开日 1995年7月5日

[22]申请日 94.5.13

[30]优先权

[32]93.5.18 [33]JP[31]115523 / 93

[32]93.8.6 [33]JP[31]196170 / 93

[32]93.10.14[33]JP[31]256807 / 93

[71]申请人 川崎制铁株式会社

地址 日本兵库县神戸市

[72]发明人 小仓邦明 石川博之

前田义昭 驹村宏一

[74]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 刘元金 杨丽琴

B22F 1/00

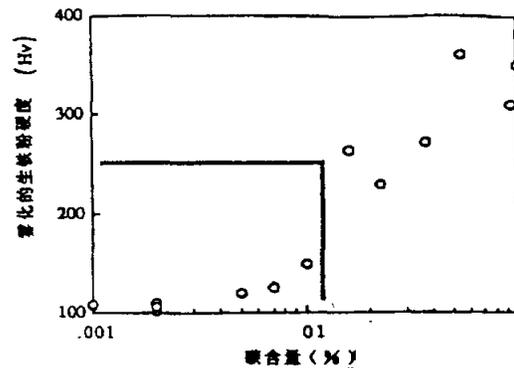
说明书页数:

附图页数:

[54]发明名称 粉末冶金用的水雾化铁粉及其制造方法

[57]摘要

本发明公开了一种粉末冶金用的水雾化铁粉及其制造方法。在该方法中，将熔炼的钢液水雾化后得到的铁粉不经退火、还原处理，而在生铁粉状态下直接进行金属模压成型。根据本发明方法烧结时，可制造具有良好尺寸精度的烧结体，因而可以省掉精压加工工序。使用本发明的铁粉能缩短烧结零件的制造过程，并在不损害烧结零件特性的前提下降低烧结零件的制造成本。



1. 一种粉末冶金用的水雾化铁粉，其特征在于，在用水喷雾、干燥的状态下，颗粒断面的硬度为  $Hv\ 80$  以上、 $250$  以下，而且颗粒表面被可在烧结气氛中还原的氧化物所覆盖，氧的含量为  $1.0\%$ （重量）以下。

2. 权利要求 1 所述的粉末冶金用的水雾化铁粉，其特征在于，颗粒直径在  $75\ \mu m$  以上、 $106\ \mu m$  以下的颗粒中，用颗粒断面形状的周长的平方除以断面面积与  $4\pi$  的乘积所得到的值表示的颗粒断面形状系数为  $2.5$  以下的颗粒，以个数计算含有  $10\%$  以上，而且  $45\ \mu m$  以下的颗粒以重量计算含有  $20\%$  以上。

3. 权利要求 1 或 2 所述的粉末冶金用的水雾化铁粉，其特征在于，作为杂质含有  $C: 0.01\%$ （重量）以下、 $Mn: 0.30\%$ （重量）以下、 $Ni: 0.30\%$ （重量）以下、 $Cr: 0.30\%$ （重量）以下、 $P$  和  $S$  合计： $0.05\%$ （重量）以下，剩余部分实质上由  $Fe$  构成。

4. 权利要求 3 所述的粉末冶金用的水雾化铁粉，其特征在于，它还含有  $Mo: 5.0\%$ （重量）以下、 $Nb: 0.20\%$ （重量）以下。

5. 权利要求 1 ~ 4 中任一项所述的粉末冶金用的水雾化铁粉，其特征在于，它含有比铁容易氧化的元素，颗粒表面被在烧结气氛中不能还原的氧化物所覆盖。

6. 权利要求 5 所述的粉末冶金用的水雾化铁粉，其特征在于，它含有一种或两种以上下列的比铁容易氧化的元素（重量%）：

S i : 0 . 0 1 ~ 0 . 1 %      A l : 0 . 0 0 3 ~ 0 . 0 5 %  
V    : 0 . 0 0 8 ~ 0 . 5 %      T i : 0 . 0 0 3 ~ 0 . 1 %  
Z r : 0 . 0 0 8 ~ 0 . 1 %

而且颗粒表面是被在烧结气氛中不能还原的氧化物所覆盖。

7 . 权利要求 6 所述的粉末冶金用的水雾化铁粉, 其特征在于, 上述的比铁容易氧化的元素的合计量为 0 . 0 0 3 % 以上、0 . 5 % 以下。

8 . 一种制造粉末冶金用的水雾化铁粉的方法, 其特征在于, 用压力为 4 0 kgf / cm<sup>2</sup> 以上、2 0 0 kgf / cm<sup>2</sup> 以下的水射流将由 C : 0 . 0 2 % (重量) 以下、M n : 0 . 3 0 % (重量) 以下、N i : 0 . 3 0 % (重量) 以下、C r : 0 . 3 0 % (重量) 以下、其他杂质的合计量: 0 . 5 0 % (重量) 以下、余量为铁构成的钢液喷雾, 然后进行干燥, 将这样的粉末原封不动地供粉末冶金使用。

9 . 权利要求 8 所述的制造粉末冶金用的水雾化铁粉的方法, 其特征在于, 它在氧浓度为 5 . 0 % (体积) 以下的非氧化性气氛中用水进行雾化后, 把所得到的铁粉在非氧化性气氛或者氢气氛或真空中, 在 1 0 0 ~ 3 0 0 °C 的温度下进行干燥处理。

1 0 . 权利要求 8 所述的制造粉末冶金用的水雾化铁粉的方法, 其特征在于, 所用的钢液含有总量为 0 . 0 0 3 ~ 0 . 5 % (重量) 的比铁容易氧化的元素。

1 1 . 权利要求 8 所述的制造粉末冶金用的水雾化铁粉的方法, 其特征在于, 其中所述的比铁容易氧化的元素选自 S i 、T i 、V 、A l 、Z r 中的一种或两种以上的元素。

## 粉末冶金用的水雾化铁粉 及其制造方法

本发明涉及一种利用水的喷雾法制造的所谓水雾化的粉末冶金用的铁粉及其制造方法。

一般，水雾化铁粉的制造工序包括：用高压水将为了得到所需要的组成而经过调整的钢液雾化的工序、退火软化处理由喷雾工序形成的淬火组织并把颗粒表面的氧化膜还原去除的退火软化、还原工序、以及把由上述的工序凝聚了的粉末破碎粉化的破碎工序，因此，成本降低就有限。

用这种铁粉制造烧结零件时，还包括把润滑剂和添加的合金成分的粉末加到铁粉里之后进行加压成形的工序、在高温下烧结成形体的工序、调整尺寸的精压加工工序，因而使整个制造工艺过程变得更长。

在这种制造工序中必须降低成本，例如为了削减汽车零件的制造成本，正在进行多方面的努力。

但是，那种把基本的工序省略的、尤其是省略退火软化、还原工序的方案，由于有淬火组织使铁粉变硬而难于成形，而且在烧结原料铁粉中会带入相当量的氧，一般认为氧对烧结零件是有害的，因此这种方案行不通。

例如，日本专利公报特开昭 5 1 - 2 0 7 6 0 号公开了一种把转炉和真空脱碳装置用在钢液的熔炼中的铁粉制造方法，其中还包含在

水雾化、干燥后的粉末退火、还原工序。

另外，在日本专利公报特公昭 56-45963 号里公开了一种通过在经过退火、还原工序的所谓精制粉末里混入未经过退火、还原工序的雾化生铁粉来改进铁粉特性的方法。这个发明试图使用未经过积极地退火、还原工序处理的雾化生铁粉，但结果表明单纯用未经过退火、还原工序处理的雾化生铁粉不能得到规定的特性。

日本专利公报特开昭 63-157804 号公开的发明试图通过把乙醇等添加到喷雾水里来尽量抑制喷雾时的氧化和渗碳，把雾化铁粉的制造工序简化，尽管所制得的铁粉的含氧量较低，但碳含量在 0.01% 以上，水雾化产生的冷却速度容易引起淬火效应，用这样原封不动的铁粉不能进行金属模成形加工，因而退火软化工序是不可缺少的。

另一方面，在用铁粉制造烧结零件的工序中，必须使制造过程中的尺寸变化保持一定，或者尽可能地减小尺寸变化。

如果不需要精压加工即可确保尺寸变化精度，那么由于工序省略的结果而带来成本的下降，为此也在朝这个方向进行努力。

例如，日本专利公报特公昭 56-12304 号公开了一种利用粉末粒度分布来提高尺寸精度的技术；在日本专利公报特开平 3-142342 号里提出了一种由粉末的形状来预测及控制烧结时的尺寸变化的技术。

但是，粉末冶金用的铁粉一般都要添加铜粉、石墨粉等润滑剂，由于调换容器时的移送操作或输送等作业，使添加的铜粉、石墨粉发生偏析，因而容易发生成分不均匀。由于这些原因会引起烧结时尺寸变化不能保持一定，因而作为后处理的精压加工工序是必不可少的。

本发明的第一个目的是要克服上述的现有技术的缺点，提供一种既能省略铁粉制造过程中的某些工序、又能供给便宜的烧结用铁粉的技术。本发明的第二个目的是一面确保压缩性（成形性），一面使铁粉的制造成本下降。本发明的第三个目的是在降低原料粉末的制造成本的同时，制造出烧结时尺寸变化稳定、尤其是由石墨的不均匀而引起的尺寸不均匀比较小的粉末冶金用的铁粉。

因而，本发明是关于粉末冶金用的水雾化铁粉，它是用水喷雾制成，在干燥的状态下颗粒断面的硬度为Hv 80以上、250以下，而且颗粒表面覆盖有可以在烧结气氛下还原的氧化物，氧的含量为1.0%（重量）以下。

另外，上述铁粉是这样一种粉末冶金用的水雾化铁粉，即颗粒直径在 $75\mu\text{m}$ 以上、 $106\mu\text{m}$ 以下的颗粒中，用颗粒断面形状的周长的平方除以颗粒断面面积与 $4\pi$ 的乘积所得到的值表示的颗粒断面形状系数在2.5以下的颗粒占10%以上，而且不到 $45\mu\text{m}$ 的颗粒占20%以上。

此外，本发明是一种含有0.003~0.5%（重量）的比铁易氧化的元素、颗粒表面被在烧结气氛下不能还原的氧化物覆盖的粉末冶金用水雾化铁粉。

本发明还是制造上述这种铁粉的制造方法。

本发明的其他特征可由权利要求和本发明的详细说明清楚地知道。

图1表示雾化制成的生铁粉的硬度和铁粉中碳的含量间的关系。

图2表示铁粉中氧的含量和铝的含量间的关系。

本发明人在对现有技术进行研究之后，发现在一定条件下软化退火、还原工序不一定需要，并在此基础上完成了本发明。

以前，进行软化退火、还原工序的理由有两个，其中一个是由于水雾化状态的生铁粉的硬度高，这种原料的成形性（压缩性）差，不能用于粉末冶金，因而要通过退火，使水雾化时产生的淬火组织软化。

所谓压缩性指的是在某一固定的成形压力下成形时所得到的压坯密度，它是粉末冶金领域里经常使用的评价压坯特性的指数，这一指数越大越好。

另一个理由是在水雾化的状态下，铁粉颗粒被FeO等氧化膜覆盖，致使成形性恶化，并引起烧结体强度降低，因此必须将其除去。这里所说的成形性是用磨损值表示的压坯强度，与压缩性一样，它也是粉末冶金领域里常用的评价压坯特性的指数。顺便说一下，磨损值小一些比较好。

但是，根据本发明人的研究结果可得知，若满足下面所述的条件，可以得到压缩性、成形性和烧结性都能充分满足的铁粉。

即，首先明白了在雾化的生铁粉状态下，为确保压缩性，最好使颗粒的硬度降低。例如把由碳：0.007%（重量）、锰：0.005%（重量）、镍：0.03%（重量）、铬：0.017%（重量）、硅：0.008%（重量）、磷：0.003%（重量）、硫：0.002%（重量）、余量实质上是铁构成的生铁粉的维氏硬度Hv（100）降低成107，通过在该粉末里添加1.0%（重量）的硬脂酸锌粉末作为润滑剂并进行混合后，用金属模在5吨/cm<sup>2</sup>的成形压力下成形就能得到6.81g/cm<sup>3</sup>那样优良的压坯密度值。颗粒断面硬度、压坯密度中的任一特性都能得到与现有技术的经过软化退火、还原工序处理的铁粉同样优良的值。

在对硬度和压缩性的关系进行考察后，发现在铁粉颗粒断面硬度为

Hv 250 的条件下能得到具有足够的压坯密度的压坯。颗粒断面硬度 越低，对压缩性的影响越好。但是，在工业生产上要想使颗粒断面硬度达到 Hv 80 以下，会白白增加钢液的精炼成本，反而不合算。

因此，本发明把铁粉颗粒断面硬度定为 Hv 80 ~ 250。

通过尽量减少铁粉中碳等成分的含量就能得到这样的铁粉颗粒断面硬度。例如，如图 1 所示，若把铁粉中的碳含量降低，就能使硬度降低，接近于经过退火、还原工序的精制铁粉的硬度。

对钢液成分与硬度的关系进行考察的结果如下所述。

如果碳含量在 0.01% (重量) 以下，即使采用水雾化也不会出现淬火组织，当碳含量超过 0.01% (重量) 时，粉末的硬度就会上升。碳含量最好是取 0.005% (重量) 以下。

Mn、Ni、Cr 对压缩性影响较大。碳含量在 0.01% (重量) 以下范围的条件下，使 Mn、Ni 和 Cr 均在 0.40% (重量) 以下的范围内变化，进行水雾化，测定喷雾和干燥后的生铁粉的硬度。结果是当 Mn、Ni、Cr 均超过 0.30% (重量) 时，生铁粉的硬度 Hv (100) 超过 250，在金属模中加压成形变得很困难，而且不能得到足够的压坯密度。这些元素含量最好是在 0.1% (重量) 以下，但从炼钢技术的角度上来看，这种降低会带来成本的增加。

希望尽可能降低 P、S 的含量，这两种元素合计在 0.05% 以下就不会有坏影响。

以前对氧的存在限制较严，因而采用还原工序将其除去。本发明人发现，如果不超过一定范围，氧的存在在进行任何一种烧结时都不会有害处。即氧的含量如果不超过 1.0% (重量)，便不会降低铁粉的压缩性和成形性。在这种情况下，氧元素一般以 FeO 的形式存

在，若在上述范围里，在烧结工序中的还原气氛下可以被还原成铁，而且，在烧结工序上不会带来什么问题，因而是容许的。容许氧元素的存在这一点是本发明的一个特征。另外，把在烧结工序中可以被还原的氧化物中的氧含量定为 0.5%（重量）以下对于成形性特别有利。

在本发明中还可适当地添加 Mo 或 / 和 Nb，这是因为它们都能起提高压缩性的作用。

Mo 的含量在 0.05 ~ 5.0%（重量）之间时压缩性较好，而且能促进烧结、提高烧结体强度。其含量超过 5.0%（重量）时，压缩性急剧下降，因此不可取。

同样，当添加 0.005 ~ 0.2%（重量）的 Nb 时压缩性较好，但添加超过 0.2%（重量）时，就会使压缩性急剧地下降。

本发明中，基本上根据铁粉颗粒的硬度和氧元素含量就能得到满意的烧结用铁粉，但在水雾化的状态下，由于局部淬火组织的生成以及由于急冷而产生的应变，会使其硬度比经过一般的退火软化、还原工序的铁粉的硬度（Hv：80 ~ 120）要高，因此，为了得到更好的压缩性，最好还对构成铁粉的颗粒的形状加以考虑。

本发明中用颗粒形状系数表示颗粒形状。颗粒形状系数是用颗粒断面的周长的平方除以断面面积与  $4\pi$  的乘积所得的值表示的，当断面是圆形时该系数就是 1。

根据本发明人的实验结果，当颗粒直径为  $75\mu\text{m}$  以上、 $106\mu\text{m}$  以下的颗粒中含有 10% 以上颗粒断面形状系数在 2.5 以下的颗粒时，即使是在颗粒断面硬度超过 Hv 200 的情况下，用 Fe-1.0%（重量）固体润滑剂的配合，在  $5\text{吨}/\text{cm}^2$  的成形压力下仍能得到

6.  $70 \text{ g/cm}^3$  的压坯密度。这是以往人们没有预料到的。

之所以对颗粒直径在  $75 \mu\text{m}$  以上、 $106 \mu\text{m}$  以下的颗粒的形状进行考察，是因为  $75 \mu\text{m}$  以上的粗粉对压缩性较有利，这是因为除去细微粉末的  $75 \mu\text{m}$  以上的颗粒在粉末冶金中的通常筛分时构成重量的最大部分。

另一方面，当颗粒形状成为球形时，往往容易使烧结体强度降低。这个问题通过使 - 325# ( $45 \mu\text{m}$  以下) 的细微颗粒存在 20% 以上可以得到解决。

例如，在 Fe - 2.0% (重量) Cu - 0.8% (重量) 石墨中掺入固体润滑剂，压粉成形后，在  $1130^\circ\text{C}$  下、 $\text{N}_2$  气氛中烧结 20 分钟后得到的烧结密度为  $6.8 \text{ g/cm}^3$  的烧结体中，能得到  $25 \text{ kgf/cm}^2$  以上的拉伸强度。但是，当 - 325# ( $45 \mu\text{m}$  以下) 的颗粒超过 50% (重量) 时，压缩性下降，因而不可取。

这样，通过颗粒直径在  $75 \mu\text{m}$  以上、 $106 \mu\text{m}$  以下的颗粒的形状和 - 325# ( $45 \mu\text{m}$  以下) 的颗粒量就能控制本发明的生铁粉的压坯密度和烧结体强度。这样的颗粒形状和粒度分布在钢液的喷雾水流喷射压力为  $40 \text{ kgf/cm}^2$  以上、 $200 \text{ kgf/cm}^2$  以下及水和钢液的比在 5 ~ 15 范围就可得到。

水雾化后的生铁粉的干燥最好和通常的制造水雾化铁粉时一样在  $100 \sim 200^\circ\text{C}$  的范围内、在非氧化性气氛中进行。

在使用铁粉制造烧结体时，还要求提高尺寸精度。对这个问题，本发明人进行了研究，结果发现，使在烧结工序的气氛下不能被还原的氧化物以一定量存在于铁粉颗粒的表面上就能显著地提高烧结制品的尺寸精度。

即，发现了在钢液中添加比铁容易氧化的元素（S i、A l、V、T i、Z r等，以下称作易氧化元素）时，可抑制在喷雾时氧化生成F e O，从而得到具有在表面上生成这些易氧化元素的氧化物的特有表面结构的铁粉。据认为，这是由于铁粉中的各种易氧化元素被选择性地氧化、在铁粉表面上形成氧化膜、起到保护膜的作用的结果。

通过使这些易氧化元素的氧化物存在于铁粉表面来改善尺寸精度的道理还不十分清楚，但可如下地加以考虑。

即，当铁粉表面上有上述的氧化物存在时，抑制了在烧结时碳元素从添加的石墨向铁粉颗粒中的扩散，渗入、扩散到铁粉中的碳量与添加的石墨量和粒度变化无关，大致保持一定，结果使所谓的铜膨胀量保持稳定而得到改善。

由此，能把对石墨粉的不均匀较敏感的F e - C u - C系的尺寸变化的不均一控制得较少。

这些易氧化元素添加的同时又造成以F e O形式存在的氧量降低，由此就能使铁粉的成形性进一步地提高。如图2所示的熔存在钢液中的A l量和水雾化铁粉的氧量间的关系就是一个例子。

这里所说的易氧化元素，有代表性的是S i、A l、V、T i、Z r，这些元素可以单独添加，也可复合添加。在多个元素单独添加时，合适的范围分别如下：

S i : 0.01 ~ 0.1% (重量)    A l : 0.003 ~ 0.05% (重量)

V : 0.008 ~ 0.5% (重量)    T i : 0.003 ~ 0.1% (重量)

Z r : 0.008 ~ 0.1% (重量)

在添加易氧化元素时，它们的添加总量以0.003% (重量)以上、0.5% (重量)以下为宜。这是因为，易氧化元素不足0.003%

(重量)时,实质上并没有降低氧含量的效果;反之,当超过0.5% (重量)时,会使氧含量增加,从而引起烧结体强度的急剧降低。

为了达到上述的提高尺寸精度的效果,所含的易氧化元素的氧化比例必须在20%(重量)以上。这是因为,不足20%(重量)时,减少烧结时尺寸变化的变动幅度的效果比较小,这种变动幅度是和添加的石墨量的不均匀对应的。

即使在这种情况下,铁粉中氧的含量被限制在1%以下,最好在0.5%以下,这是因为这样可维持成形性。

如上所述,为了把易氧化元素(Si、Al、V、Ti、Zr)添加到钢液里,使铁粉表面上生成适当氧化膜,可在氧浓度为5.0% (体积)以下的非氧化性气氛中,用水喷雾,然后在氢气、氮气或真空中进行干燥。

下面,说明本发明的实施例。

#### 实施例1

通过在转炉里精炼钢液、用真空脱碳装置进行脱碳,熔炼含C: 0.002%(重量)、Mn: 0.002%(重量)、Ni:0.006% (重量)、Cr: 0.013%(重量)、Si: 0.005%(重量)、P: 0.002%(重量)、S: 0.002%(重量)的钢液。在水压为75 kgf/cm<sup>2</sup> 和水/钢液比为10的条件下将该钢液水雾化,将所制得的粉末在N<sub>2</sub>气氛中、在125℃下进行干燥后,不进行退火、还原就分成1000 μm以下等级。

粉末硬度用载荷100g的维氏硬度计测定粉末断面得到,颗粒断面的形状系数用图像处理装置测定。压坯密度是把1.0%(重量)的硬脂酸锌添加混合到生铁粉里,在5吨/cm<sup>2</sup>的压力下压制成直径

为  $11.3\text{ mm}$  的圆片后测定的。烧结体强度是把生铁粉、Cu粉、石墨粉和固体润滑剂的粉末混合物加工成形后，在  $1130^\circ\text{C}$  下和丙烷转化气体的气氛中烧结 20 分钟所得到的烧结密度为  $6.80\text{ Mg/m}^3$ 、组成为  $\text{Fe} - 2.0\text{ Cu} - 0.8\text{ C}$  的条件下，用拉伸强度测定的。

比较例 1 是用市售的经过还原退火的粉末冶金用水雾化铁粉进行和上述一样的处理。表 1-1 列出铁粉的化学成分，表 1-2 列出粉末硬度与烧结体强度等。

尽管实施例 1 没有进行退火、还原，但粉末硬度、压坯密度、烧结体特性等方面都能得到与比较例 1 的现有技术的铁粉几乎同等的特性。

#### 实施例 2 ~ 11、比较例 2 ~ 9

在转炉或电炉里进行精炼后，用真空脱气装置熔炼含 C :  $0.002 \sim 0.04\%$  (重量)、Mn :  $0.4\%$  (重量) 以下、Ni :  $0.4\%$  (重量) 以下，Cr :  $0.4\%$  (重量) 以下、Si :  $0.005 \sim 0.03\%$  (重量)、P :  $0.002 \sim 0.025\%$  (重量)、S :  $0.002 \sim 0.03\%$  (重量) 的钢液。在水压为  $30 \sim 250\text{ kgf/cm}^2$ 、水 / 钢液的比为 10 的条件下将该钢液水雾化，除比较例 7 以外，把制得的粉末在  $\text{N}_2$  气氛中及  $125^\circ\text{C}$  下进行干燥，比较例 7 是在大气中和  $125^\circ\text{C}$  下进行干燥。对所有的生铁粉都不进行退火、还原就分成  $1000\ \mu\text{m}$  以下的等级。

颗粒硬度、生铁粉颗粒断面的形状系数、压坯密度、烧结体强度等都采用与实施例 1 相同的方法进行测定。

表 2-1 列出了实施例 2 ~ 11 和比较例 2 ~ 9 的生铁粉的化学成分，表 2-2 列出粉末硬度、喷雾水压、颗粒直径为  $75\ \mu\text{m} \sim 106\ \mu\text{m}$

的颗粒中形状系数在 2.5 以下的颗粒的比例、-325\* (45 μm 以下) 的颗粒的比例和没进行精制还原的压坯密度和烧结体强度。

实施例 2 ~ 11 中任何一个都显示出满足实用要求的压坯密度、烧结体强度。而比较例 2 ~ 7 由于生铁粉成分超出合适范围，颗粒硬度变成 Hv (100) 250 以上，在 5 吨/cm<sup>2</sup> 的成形压力下不能得到 6.70 Mg/m<sup>3</sup> 以上的压坯密度。比较例 8 由于喷雾压力超出合适范围，颗粒直径为 75 ~ 106 μm 的颗粒中形状系数在 2.5 以下的颗粒的比例变成 10% 以下，用 5 吨/cm<sup>2</sup> 的成形压力不能得到 6.70 Mg/m<sup>3</sup> 以上的压坯密度。比较例 9 由于喷雾压力超出合适的范围，-325\* 颗粒的比例变成 20% 以下，在 6.80 Mg/m<sup>3</sup> 的烧结体密度条件不能得到 300 MPa 的烧结体强度。

实施例 12 ~ 24、比较例 10 ~ 19

在转炉或电炉里进行精炼后，用真空脱气装置熔炼含 C : 0.002 ~ 0.03% (重量)、Mn : 0.4% (重量) 以下、Ni : 0.4% (重量) 以下、Cr : 0.4% (重量) 以下、Si : 0.005 ~ 0.03% (重量)、P : 0.002 ~ 0.025% (重量)、S : 0.002 ~ 0.03% (重量)、Mo : 6.0% (重量) 以下、Nb : 0.3% (重量) 的钢液。在水压为 30 ~ 250 kgf/cm<sup>2</sup>、水/钢液的比为 10 的条件下将该钢液水雾化。除比较例 19 以外，把所制得的粉末在 N<sub>2</sub> 气氛中及 125 °C 下进行干燥。比较例 19 是在大气中和 125 °C 下进行干燥。所有的生铁粉都不进行退火、还原就分成 1000 μm 以下的等级。

颗粒的硬度、生铁粉颗粒断面的形状系数、压坯密度、烧结体强度都用与实施例 1 相同的方法进行测定。

表 3 - 1、表 3 - 2 示出实施例 1 2 ~ 2 4、比较例 1 0 ~ 19 的生铁粉的化学成分、粉末硬度、喷雾压力、颗粒直径为 75 ~ 106  $\mu\text{m}$  的颗粒中形状系数在 2.5 以下的颗粒的比例、- 3 2 5\* (45  $\mu\text{m}$  以下) 的颗粒的比例、压坯密度和烧结体强度。

实施例 1 2 ~ 2 4 中任意一个都显示出满足实用要求的压坯密度、烧结体强度。而比较例 1 0 ~ 1 6 由于生铁粉成分超出合适的范围，颗粒硬度成为 2 5 0 以上，因而用 5 吨 /  $\text{cm}^2$  的成形压力不能得到 6.70  $\text{Mg} / \text{m}^3$  以上的压坯密度。比较例 1 7 由于喷雾压力超出合适的范围，颗粒直径为 7 5 ~ 1 0 6  $\mu\text{m}$  的颗粒中形状系数在 2.5 以下的颗粒的比例成为 1 0 % 以下，因而用 5 吨 /  $\text{cm}^2$  的成形压力得不到 6.70  $\text{Mg} / \text{m}^3$  以上的压坯密度。比较例 1 8 由于喷雾压力超出合适的范围，- 3 2 5\* 的颗粒的比例成为 2 0 % 以下，因而在 6.80  $\text{Mg} / \text{m}^3$  的烧结体密度下得不到 3 0 0  $\text{MPa}$  的烧结体强度。比较例 1 9 由于干燥条件不适当、生铁粉氧含量超出合适的范围，因而不能得到 6.70  $\text{Mg} / \text{m}^3$  以上的压坯密度或者 3 0 0  $\text{MPa}$  的烧结体强度。

实施例 2 5 ~ 2 9、比较例 2 0 ~ 2 2

在转炉或电炉里进行精炼后，用真空脱气装置熔炼含 C : 0.1% (重量) 以下、Mn : 0.1% (重量) 以下、Ni : 0.1% (重量) 以下、Cr : 0.1% (重量) 以下、Si : 0.02% (重量) 以下、P : 0.02% (重量) 以下、S : 0.02% (重量) 以下、Al : 0.1% (重量) 以下的钢液。在水压为 1 2 0  $\text{kgf} / \text{cm}^2$  和水 / 钢液比为 1 0 的条件下将该钢液水雾化。把制得的生铁粉在  $\text{N}_2$  气氛中及 1 2 5  $^\circ\text{C}$  下进行干燥，所有的生铁粉都不进行退火、还原就分成 2 5 0  $\mu\text{m}$  以下的等级。表 4 列出颗粒硬度、铁粉的化学成分、

压坯密度、磨耗值、拉伸强度、冲击值。由于实施例 25 ~ 29 中任何一个都含有适量的 Al，氧含量成为 0.4% 以下，因而其结果就显示出具有  $6.7 \text{ g/cm}^3$  以上的压坯密度、 $40 \text{ kgf/mm}^2$  以上的烧结体强度和 1.5% 以下的磨耗值；而比较例 20、22 虽然压坯密度在  $6.7 \text{ g/cm}^3$  以上，但由于 Al 量超出合适的范围，因而磨耗值成为 1.5% 以上，致使成形性降低。另外，比较例 21 由于硬度超过 250，因而压坯密度成为  $6.5 \text{ g/cm}^3$ 。

#### 实施例 30 ~ 36、比较例 23 ~ 26

在转炉或电炉里精炼后，用真空脱气装置熔炼含 C：0.01%（重量）以下、Mn：0.1%（重量）以下、Ni：0.1%（重量）以下、Cr：0.1%（重量）以下、Si：0.02%（重量）以下、P：0.02%（重量）以下、S：0.02%（重量）以下、Si + Ti + Zr：0.2%（重量）以下的钢液。在  $130 \text{ kgf/cm}^2$  的水压下将该钢液水雾化，把制得的生铁粉在  $\text{N}_2$  气氛中及  $125^\circ\text{C}$  下进行干燥，对所有的生铁粉都不进行退火、还原就分成  $250 \mu\text{m}$  以下的等级。

表 5 列出颗粒硬度、铁粉的化学成分、压坯密度、磨耗值、拉伸强度、冲击值。

由于实施例 30 ~ 36 中任何一个都含有适量的 Si、Ti、Zr，氧含量变成 0.5% 以下，因而其结果就显示出具有  $40 \text{ kgf/mm}^2$  以上的烧结体强度和 1.5% 以下的磨耗值。比较例 23 由于 Si、Ti、Zr 量不到合适范围的下限，因而磨耗值为 1.5% 以上，致使成形性下降。比较例 24 由于颗粒硬度超过 250，压坯密度变成  $6.5 \text{ g/cm}^3$  以下。另外，Si、Ti、Zr 量超出合适范围的比

较例 2 5 和比较例 2 6，烧结体强度都下降了。

### 实施例 3 7、比较 2 7

通过在转炉里精炼钢液，并用真空脱碳装置进行脱碳，熔炼含 C：0.004%（重量）、Mn：0.03%（重量）、Ni：0.005%（重量）、Cr：0.01%（重量）、Si：0.006%（重量）、P：0.008%（重量）、S：0.006%（重量）、Al：0.004%（重量）的钢液，用水压为  $70\text{kgf}/\text{cm}^2$  的水射流在氧浓度为 0.5% 的  $\text{N}_2$  气氛中进行水雾化，把制得的粉末在  $\text{H}_2$  气氛中和  $180^\circ\text{C}$  下进行干燥后，不进行退火、还原就分成  $250\ \mu\text{m}$  以下的等级。

在生铁粉里添加混合 1.0%（重量）的硬脂酸锌，在  $5\ \text{吨}/\text{cm}^2$  压力下压制成形为直径为  $11.3\ \text{mm}$  的圆片后测定压坯密度。烧结体强度是把生铁粉、Cu 粉、石墨粉和作为润滑剂的硬脂酸锌的混合粉末做成 J S P M 标准拉伸试片之后，在丙烷转化的气体气氛中、在  $1130^\circ\text{C}$  下烧结 20 分钟所制得的烧结体（烧结密度是  $6.8\text{Mg}/\text{m}^3$ 、Fe - 2.0 Cu - 0.8 C 组成），测定其拉伸强度。对 Fe-2.0% Cu - 0.8% 石墨和 Fe - 2.0% Cu - 1.0% 石墨的两个水准的石墨量，考察了烧结时的尺寸变化，把各个烧结尺寸变化的差作为「尺寸变化变动幅度」。这时的试样形状做成外径是  $60\ \text{mm}$ 、内径是  $25\ \text{mm}$ 、高度是  $10\ \text{mm}$  的环状、压坯密度是  $6.85\ \text{g}/\text{cm}^3$ ，在  $1130^\circ\text{C}$  下、在丙烷转化的气体气氛中烧结 20 分钟。

比较例 2 7 是用市售的经过退火还原处理的粉末冶金用水雾化铁粉进行与上述相同的处理。表 6 - 1 列出铁粉的化学成分、易氧化元素的氧化比例，表 6 - 2 列出颗粒断面硬度、压坯密度和烧结体强度及尺寸变化的变动幅度。尽管实施例 3 7 没进行退火、还原，但不仅

压坯密度几乎与比较例 2 7 的现有技术铁粉相等，而且尺寸变化的变动幅度也优于比较例 2 7。

#### 实施例 3 8 ~ 5 0、比较例 2 8 ~ 3 3

在转炉或电炉里精炼后，用真空脱气装置熔炼含 C：0.01%（重量）以下、Mn：0.1%（重量）以下、Ni：0.1%（重量）以下、Cr：0.1%（重量）以下、Si：0.02%（重量）以下、P：0.02%（重量）以下、S：0.02%（重量）以下、Si + Al + Ti + V：0.6%（重量）以下的钢液，在氧浓度为 10% 以下的 N<sub>2</sub> 气氛中，用 100 kgf/cm<sup>2</sup> 的水压将该钢液水雾化，把制得的生铁粉在 H<sub>2</sub>、N<sub>2</sub> 或真空中及 100 ~ 300 °C 下干燥 60 分钟后，不进行退火、还原处理就分成 250 μm 以下的等级。

用与实施例 3 7 相同的方法测定压坯密度、烧结体强度、烧结体尺寸变化的变动幅度。表 7 中列出了实施例 3 8 ~ 5 0 和比较例 2 8 ~ 3 3 的生铁粉的化学成分、易氧化元素的氧化比例、颗粒断面硬度、压坯密度、烧结体强度和尺寸变化的变动幅度。

实施例 3 8 ~ 5 0 中任何一个都显示出符合实用要求的压坯密度、烧结体强度，而且显示出尺寸变化的变动幅度为 0.1% 以下的良好的尺寸精度。

相比之下，虽然比较例能得到压坯密度为 6.7 g/cm<sup>3</sup> 以上的压缩性，但比较例 2 8 由于 Si + Al + Ti + V 的量不到合适范围的下限，比较例 2 9 由于易氧化元素的氧化比例为 20% 以下，因而尺寸变化的变动幅度较大，比较例 3 0 ~ 3 3 由于 Si + Al + Ti + V 的量超出合适的范围，只能得到低的烧结体强度。

#### 实施例 5 1 ~ 6 6、比较例 3 4 ~ 4 0

在转炉或者电炉里精炼后，用真空脱气装置熔炼含 C：0.02%（重量）以下、Mn、Ni、Cr：0.3%（重量）以下（??）、P：0.002~0.02%（重量）、S：0.002~0.02%（重量）、Mo：6.0%（重量）以下、Nb：0.3%（重量）以下、Si+V+Al+Ti+Zr：1.5%（重量）以下的钢液。把该钢液在氧（O<sub>2</sub>）浓度为10%（体积）以下的气氛中，用水压为80~160 kgf/cm<sup>2</sup>的水进行雾化，然后在氢气、氮气或真空中及100~300℃下进行干燥，对所有的生铁粉均不进行退火、还原就分成250 μm以下的等级。

用与实施例37相同的方法测定压坯密度、烧结体强度、烧结尺寸变化的变动幅度。

表8-1中列出实施例51~66和比较例34~40的生铁粉的化学成分，表8-2中列出喷雾条件、干燥条件、易氧化元素的氧化比例、粉末硬度、颗粒直径为75~106 μm的颗粒中形状系数在2.5以下的颗粒的比例、-325\*（45 μm以下）的颗粒的比例、以及没经过还原处理工序的压坯密度和烧结体强度及尺寸变化的变动幅度。

实施例51~66中任何一个都显示出符合实用要求的压坯密度、烧结体强度。而且实施例51~64还显示出尺寸变化的变动幅度为0.1%以下的良好的尺寸精度。

相比之下，由于比较例超出了本发明所述的范围，只能得到较低的压坯密度或烧结体强度。

与以往的粉末冶金用的水雾化铁粉相比，本发明的粉末冶金用的铁粉在水雾化后可以不进行退火、还原工序，在生铁粉状态下直接进

行金属模压成形。另外，与以往的粉末冶金用的铁粉相比，本发明的粉末冶金用铁粉在添加Cu、石墨条件下进行烧结时，与石墨添加量的不均匀相对应的烧结尺寸变化的变动幅度较小，能制造具有良好尺寸精度的烧结体，因而可以省掉精压加工工序。由于有这些优点，使用本发明的铁粉能缩短烧结零件的制造过程，能在不损害烧结零件特性的前提下降低烧结零件的制造成本，从而更经济地进行烧结零件的制造。

表 1-1

	生铁粉化学成分(重量%)									
	C	Mn	Ni	Cr	Si	P	S	O		
实施例1	0.002	0.002	0.006	0.013	0.005	0.002	0.002	0.53		
比较例1	0.001	0.11	0.013	0.008	0.01	0.014	0.008	0.09		

表 1-2

	粉末硬度 (Hv(100))	喷雾水压 (kgf/cm <sup>2</sup> )	形状系数在2.5以 下的颗粒的比例 (个数%)	粒径为-325* (-45 μm)的 颗粒的比例 (重量%)	压坯密度 5吨/cm <sup>2</sup> 成形 (Mg/m <sup>3</sup> )	烧结体强度 烧结体密度 6.8Mg/m <sup>3</sup> (MPa)
实施例1	102	75	35	27	6.93	370
比较例1	100	-	-	21	6.94	370

表 2-1

	生铁粉化学成分(重量%)									
	C	Mn	Ni	Cr	Si	P	S	O		
实施例 2	0.002	0.001	0.005	0.001	0.005	0.001	0.002	0.61		
实施例 3	0.006	0.005	0.011	0.01	0.010	0.005	0.002	0.45		
实施例 4	0.010	0.01	0.011	0.02	0.018	0.006	0.009	0.47		
实施例 5	0.010	0.012	0.013	0.025	0.020	0.006	0.008	0.45		
实施例 6	0.006	0.29	0.005	0.001	0.005	0.002	0.002	0.65		
实施例 7	0.006	0.05	0.29	0.002	0.007	0.001	0.003	0.52		
实施例 8	0.007	0.006	0.004	0.3	0.005	0.004	0.002	0.62		
实施例 9	0.005	0.004	0.004	0.003	0.005	0.015	0.019	0.51		
实施例 10	0.004	0.004	0.005	0.004	0.005	0.002	0.002	0.55		
实施例 11	0.004	0.003	0.005	0.003	0.005	0.003	0.003	0.55		
实施例 12	0.005	0.004	0.003	0.002	0.006	0.004	0.004	0.55		
比较例 2	0.032	0.01	0.013	0.2	0.029	0.007	0.011	0.41		
比较例 3	0.005	0.38	0.003	0.004	0.005	0.002	0.002	0.7		
比较例 4	0.004	0.004	0.41	0.003	0.005	0.002	0.003	0.53		
比较例 5	0.004	0.003	0.003	0.42	0.005	0.002	0.002	0.68		
比较例 6	0.003	0.003	0.004	0.004	0.008	0.025	0.030	0.51		
比较例 7	0.003	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.004	1.2		
比较例 8	0.003	0.003	0.004	0.004	0.008	0.005	0.005	0.65		
比较例 9	0.003	0.003	0.004	0.004	0.008	0.005	0.005	0.6		

表 2-2

	粉末硬度 (HV(100))	喷雾水压 (kgf/cm <sup>2</sup> )	形状系数在2.5以 下的颗粒的比例 (粒径为75~106μm 的颗粒)(个数%)	粒径为-325* (-45μm)的 颗粒的比例 (重量%)	压坯密度 5吨/cm <sup>2</sup> 成形 (Mg/m <sup>3</sup> )	烧结体强度 烧结体密度 6.8Mg/m <sup>3</sup> (Mpa)
实施例2	81	75	35	25	6.94	400
实施例3	155	75	32	30	6.8	390
实施例4	196	75	32	31	6.72	380
实施例5	245	75	33	32	6.7	360
实施例6	240	75	30	30	6.71	370
实施例7	248	75	30	30	6.7	390
实施例8	247	75	28	33	6.75	380
实施例9	230	75	29	33	6.72	360
实施例10	100	40	43	25	7	350
实施例11	101	150	29	36	6.76	390
实施例12	110	200	15	41	6.72	400
比较例2	315	75	30	30	6.5	400
比较例3	290	75	32	31	6.61	380
比较例4	305	75	31	30	6.57	390
比较例5	283	75	29	29	6.58	370
比较例6	295	30	43	10	6.52	300
比较例7	260	75	29	21	6.59	300
比较例8	150	250	5	45	6.6	390
比较例9	155	30	43	10	6.53	290

表 3-1

生铁粉的化学成分 (重量%)										
	C	Mn	Ni	Cr	Si	P	S	Mo	Nb	O
实施例12	0.003	0.03	0.005	0.01	0.006	0.008	0.006	0.5	0.005	0.51
实施例13	0.004	0.04	0.01	0.001	0.006	0.01	0.005	1.0	0.007	0.45
实施例14	0.005	0.03	0.01	0.011	0.007	0.008	0.006	2.0	0.006	0.52
实施例15	0.003	0.05	0.008	0.012	0.008	0.008	0.006	4.0	0.006	0.44
实施例16	0.002	0.05	0.007	0.004	0.01	0.009	0.008	0.5	0.01	0.5
实施例17	0.002	0.04	0.011	0.006	0.006	0.008	0.006	0.5	0.05	0.42
实施例18	0.002	0.04	0.008	0.008	0.006	0.008	0.006	0.5	0.05	0.42
实施例19	0.002	0.04	0.011	0.006	0.006	0.008	0.006	0.2	0.15	0.42
实施例20	0.006	0.01	0.01	0.005	0.02	0.01	0.015	0.3	0.02	0.35
实施例21	0.01	0.02	0.005	0.005	0.008	0.007	0.002	0.2	0.02	0.5
实施例22	0.003	0.25	0.006	0.005	0.008	0.008	0.006	0.1	0.03	0.5
实施例23	0.002	0.03	0.25	0.005	0.008	0.007	0.006	0.2	0.008	0.47
实施例24	0.002	0.03	0.012	0.25	0.008	0.007	0.006	0.5	0.009	0.53
比较例10	0.03	0.04	0.011	0.006	0.006	0.008	0.006	0.2	0.15	0.42
比较例11	0.002	0.4	0.008	0.01	0.01	0.01	0.009	0.2	0.007	0.5
比较例12	0.005	0.1	0.4	0.01	0.01	0.008	0.009	0.5	0.007	0.56
比较例13	0.004	0.06	0.01	0.4	0.01	0.008	0.009	0.5	0.007	0.55
比较例14	0.003	0.11	0.01	0.009	0.01	0.025	0.03	0.5	0.008	0.61
比较例15	0.003	0.1	0.01	0.011	0.008	0.007	0.008	6.0	0.01	0.57
比较例16	0.003	0.1	0.01	0.01	0.007	0.011	0.007	0.4	0.3	0.59
比较例17	0.005	0.02	0.005	0.005	0.008	0.007	0.002	0.2	0.02	0.5
比较例18	0.005	0.02	0.005	0.005	0.008	0.007	0.002	0.2	0.02	0.5
比较例19	0.002	0.11	0.011	0.009	0.01	0.011	0.008	0.1	0.008	1.5

表 3-2

	粉末硬度 (HV(100))	喷雾水压 (kg/cm <sup>2</sup> )	形状系数在 2.5 以下的 颗粒的比例(颗粒径为 75~ 106 μm 的颗粒)(个数%)	粒径为 3.25 井 (-45μm)的颗粒的 比例(重量%)	压坯密度 5吨/cm <sup>2</sup> 成形 (Mg/m <sup>3</sup> )	烧结体强度 烧结体密度 6.8Mg/m <sup>3</sup> (Mpa)
实施例 12	121	120	35	27	6.87	550
实施例 13	125	120	33	30	6.9	610
实施例 14	127	120	35	32	6.91	750
实施例 15	130	120	37	32	6.92	820
实施例 16	128	120	30	31	6.89	555
实施例 17	125	120	30	30	6.88	550
实施例 18	170	150	28	33	6.85	590
实施例 19	175	150	29	35	6.88	510
实施例 20	180	150	28	32	6.8	530
实施例 21	220	100	30	36	6.75	515
实施例 22	177	100	25	35	6.78	480
实施例 23	180	200	10	45	6.77	500
实施例 24	164	40	72	20	6.8	540
比较例 10	310	120	30	30	6.5	505
比较例 11	280	120	32	31	6.55	500
比较例 12	270	120	31	31	6.53	540
比较例 13	285	120	29	32	6.61	545
比较例 14	288	120	28	30	6.6	550
比较例 15	268	120	30	28	6.52	830
比较例 16	280	120	29	25	6.51	530
比较例 17	125	250	5	55	6.65	510
比较例 18	130	30	80	10	6.89	250
比较例 19	135	120	29	21	6.92	280

表 4

	铁粉的化学成分(重量%)				硬度 Hv(100g)	压坯密度 (g/cm <sup>3</sup> )	磨耗值 (%)	拉伸强度 (kg/mm <sup>2</sup> )	冲击值 (kg-m/cm <sup>2</sup> )
	Al(%)	C(%)	O(%)	Fe和其他不可 避免的杂质					
实施例 25	0.006	0.003	0.38	余量	120	6.70	0.85	42	0.9
实施例 26	0.010	0.004	0.36	余量	124	6.75	0.9	43	0.95
实施例 27	0.021	0.003	0.35	余量	130	6.74	1.0	44	0.89
实施例 28	0.031	0.002	0.33	余量	133	6.80	1.2	43	0.87
实施例 29	0.046	0.002	0.30	余量	135	6.81	1.4	41	0.85
比较例 20	0.001	0.003	0.55	余量	135	6.71	1.9	40	0.83
比较例 21	0.020	0.025	0.34	余量	270	6.45	3.8	32	0.6E
比较例 22	0.070	0.002	0.30	余量	140	6.80	1.5	31	0.63

表 5-1

	钢液的成分(重量%)					雾化条件 喷雾压力 130kgf/cm <sup>2</sup>		雾化生铁粉的分析值(重量%)				
						水/钢 液比 δ	气氛 (O <sub>2</sub> 浓度)	Si(%)	Ti(%)	Zr(%)	C(%)	O(%)
	Si(%)	Ti(%)	Zr(%)	C(%)	O(%)							
实施例 30	0.020	0.002	0.002	0.008	0.010	8	N <sub>2</sub> (1.0)	0.020	0.002	0.002	0.002	0.38
实施例 31	0.013	0.002	0.002	0.009	0.007	7.5	N <sub>2</sub> (1.0)	0.012	0.002	0.002	0.003	0.45
实施例 32	0.032	0.002	0.003	0.010	0.005	7	N <sub>2</sub> (0.5)	0.030	0.002	0.003	0.004	0.33
实施例 33	0.004	0.020	0.022	0.008	0.009	7	N <sub>2</sub> (1.0)	0.004	0.020	0.020	0.002	0.35
实施例 34	0.004	0.016	0.015	0.007	0.006	7.5	N <sub>2</sub> (0.5)	0.004	0.015	0.015	0.002	0.40
实施例 35	0.001	0.002	0.018	0.005	0.007	7	Ar(0.3)	0.001	0.002	0.017	0.003	0.45
实施例 36	0.021	0.021	0.015	0.006	0.005	6.5	N <sub>2</sub> (2.0)	0.020	0.020	0.015	0.003	0.40
比较例 23	0.003	<0.001	<0.001	0.005	0.020	7	N <sub>2</sub> (2.0)	0.002	<0.001	<0.001	0.003	0.60
比较例 24	0.015	0.010	0.002	0.035	0.007	7	N <sub>2</sub> (1.0)	0.015	0.010	0.002	0.020	0.40
比较例 25	0.121	0.010	0.005	0.007	0.007	8	N <sub>2</sub> (1.0)	0.120	0.010	0.005	0.003	0.35
比较例 26	0.055	0.150	0.033	0.007	0.005	7.5	N <sub>2</sub> (1.0)	0.050	0.030	0.030	0.002	0.38

表 5-2

	硬度		压坯的特性		烧结体的特性	
	HV(100g)		压坯密度 (g/cm <sup>3</sup> )	磨耗值 (%)	拉伸强度 (kg/mm <sup>2</sup> )	冲击值 (kg-m/cm <sup>2</sup> )
实施例30	130		6.72	0.8	44	0.95
实施例31	125		6.75	0.9	42	0.92
实施例32	130		6.76	1.0	45	0.88
实施例33	130		6.82	1.1	43	0.87
实施例34	128		6.80	1.3	41	0.85
实施例35	135		6.71	1.2	40	0.8
实施例36	138		6.60	0.9	42	0.85
比较例23	135		6.70	2.0	39	0.75
比较例24	270		6.45	3.8	31	0.6
比较例25	150		6.60	1.4	29	0.5
比较例26	145		6.63	1.4	30	0.55

表 6-1

	生铁粉的化学成分(重量%)										易氧化元素的 氧化比例(%)
	C	Mn	Ni	Cr	Si	P	S	Al	O		
实施例37	0.004	0.03	0.005	0.01	0.006	0.008	0.006	0.004	0.45		35
比较例27	0.001	0.11	0.011	0.009	0.01	0.012	0.009		0.1		-

表 6-2

	压坯密度 5吨/cm <sup>2</sup> 成形 (Mg/m <sup>3</sup> )	烧结体强度 烧结体密度6.8Mg/m <sup>3</sup> (Mpa)	尺寸变化的 变动幅度 (%)	硬度 (%)
实施例 37	6.86	440	0.06	110
比较例 27	6.91	430	0.2	100

表 7

	喷雾气氛 干燥条件 O <sub>2</sub> 浓度(%)		铁粉的化学成分							粉末硬度 (Hv(100))	压坯密度 (g/cm <sup>3</sup> )	拉伸强度 (kg/mm <sup>2</sup> )	变动 幅度 (%)
			Si(%)	Al(%)	Ti(%)	V(%)	O(%)	易氧化元素 的氧化比例 (%)					
									C(%)				
实施例 38	0.5	150°C H <sub>2</sub>	0.01	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.30	35	115	6.91	40	0.10
实施例 39	0.5	150°C H <sub>2</sub>	0.05	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.32	29	115	6.93	40	0.09
实施例 40	0.5	150°C H <sub>2</sub>	0.10	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.32	31	120	6.91	41	0.09
实施例 41	0.5	200°C H <sub>2</sub>	0.002	0.004	<0.001	<0.001	<0.001	0.26	39	130	6.28	40	0.08
实施例 42	0.5	250°C H <sub>2</sub>	0.008	0.004	<0.001	<0.001	<0.001	0.30	35	128	6.89	45	0.10
实施例 43	0.1	150°C N <sub>2</sub>	0.002	0.010	<0.001	<0.001	<0.001	0.30	40	135	6.85	44	0.08
实施例 44	1	150°C 真空	0.002	0.05	<0.001	<0.001	<0.001	0.31	24	139	6.82	40	0.06
实施例 45	2	150°C H <sub>2</sub>	0.002	<0.001	0.005	<0.001	<0.001	0.35	26	135	6.9	42	0.05
实施例 46	1	150°C H <sub>2</sub>	0.002	<0.001	0.10	<0.001	<0.001	0.33	32	130	6.91	41	0.07
实施例 47	0.2	150°C N <sub>2</sub>	0.002	<0.001	<0.001	0.01	<0.001	0.35	34	135	6.89	42	0.08
实施例 48	0.3	150°C N <sub>2</sub>	0.002	<0.001	<0.001	0.40	<0.001	0.32	28	135	6.9	41	0.07
实施例 49	0.5	180°C H <sub>2</sub>	0.010	<0.001	<0.001	0.10	<0.001	0.32	35	130	6.69	40	0.09
实施例 50	0.5	180°C H <sub>2</sub>	0.002	0.003	0.003	0.05	<0.001	0.32	31	120	6.91	41	0.10
实施例 51	0.5	180°C H <sub>2</sub>	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.80	50	150	6.78	40	0.21
实施例 52	6	180°C H <sub>2</sub>	0.005	0.005	<0.001	0.01	<0.001	0.85	15	220	6.75	41	0.20
比较例 28	0.3	150°C N <sub>2</sub>	0.20	0.001	0.001	0.001	0.001	0.56	22	210	6.77	32	0.12
比较例 29	0.03	150°C N <sub>2</sub>	0.005	0.10	0.001	0.001	0.001	0.58	20	180	6.74	33	0.11
比较例 30	0.3	150°C N <sub>2</sub>	0.005	0.003	0.20	0.01	0.01	0.52	22	190	6.76	31	0.10
比较例 31	0.3	150°C N <sub>2</sub>	0.005	0.003	0.40	0.60	0.60	0.55	22	190	6.72	31	0.12

表 8-1

生铁粉化学成分(质量%)

	C	Mn	Ni	Cr	P	S	Mo	Nb	Si	V	Al	Ti	Zr	O
实施例 53	0.003	0.01	0.005	0.01	0.003	0.006	0.01	0.005	0.005	<0.001	0.004	<0.001	<0.001	0.3
实施例 54	0.004	0.04	0.01	0.01	0.01	0.005	0.5	0.007	0.005	<0.001	0.006	<0.001	<0.001	0.35
实施例 55	0.005	0.03	0.01	0.011	0.008	0.006	1.0	0.006	0.004	<0.001	0.02	<0.001	<0.001	0.45
实施例 56	0.001	0.2	0.008	0.012	0.008	0.006	2.0	0.006	0.006	<0.001	0.05	<0.001	<0.001	0.44
实施例 57	0.002	0.1	0.007	0.004	0.009	0.008	4.0	0.01	0.008	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.5
实施例 58	0.002	0.04	0.3	0.006	0.004	0.006	0.5	0.05	0.05	0.01	0.006	<0.001	<0.001	0.42
实施例 59	<0.001	0.04	0.008	0.008	0.008	0.003	0.5	0.05	0.1	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	0.42
实施例 60	0.002	0.04	0.011	0.006	0.02	0.006	0.2	0.15	0.006	0.05	0.006	<0.001	<0.001	0.42
实施例 61	0.006	0.01	0.01	0.005	0.01	0.015	0.3	0.2	0.008	0.15	<0.001	<0.001	<0.001	0.35
实施例 62	0.009	0.02	0.005	0.006	0.007	0.002	0.2	0.02	0.008	0.45	<0.001	<0.001	<0.001	0.33
实施例 63	0.003	0.3	0.006	0.005	0.008	0.006	0.1	0.03	0.005	0.01	0.003	0.01	<0.001	0.3
实施例 64	0.002	0.03	0.3	0.005	0.007	0.006	0.2	0.008	0.005	0.01	0.008	0.1	<0.001	0.23
实施例 65	0.002	0.03	0.012	0.3	0.007	0.006	0.5	0.009	0.009	0.01	0.004	<0.001	0.01	0.44
实施例 66	0.001	0.1	0.01	0.01	0.006	0.007	1.0	0.01	0.007	0.007	0.003	<0.001	0.1	0.45
实施例 67	0.002	0.05	0.01	0.01	0.007	0.007	0.2	0.05	0.007	0.007	0.005	0.01	0.01	0.53
实施例 68	0.003	0.04	0.011	0.006	0.008	0.006	0.5	0.01	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.84
比较例 32	0.022	0.09	0.008	0.01	0.01	0.009	0.2	0.007	0.002	0.007	0.01	<0.001	<0.001	0.42
比较例 33	0.003	0.1	0.01	0.011	0.007	0.008	1.0	0.01	0.2	0.009	0.002	<0.001	<0.001	1.1
比较例 34	0.003	0.1	0.01	0.01	0.011	0.007	0.4	0.3	0.01	0.6	0.007	<0.001	<0.001	0.59
比较例 35	0.004	0.1	0.01	0.01	0.01	0.007	2.0	0.01	0.01	0.009	0.07	<0.001	<0.001	0.58
比较例 36	0.005	0.02	0.005	0.005	0.007	0.002	0.2	0.02	0.02	0.015	0.008	0.2	0.005	0.5
比较例 37	0.005	0.02	0.005	0.005	0.007	0.002	0.2	0.02	0.02	0.015	0.008	0.002	0.2	0.5
比较例 38	0.002	0.11	0.011	0.009	0.011	0.008	0.1	0.008	0.008	0.01	0.01	<0.001	<0.001	1.5

表 8-2

	雾化条件		干燥条件 气体 温度	易氧化元素 的氧化比例 (%)	粉末硬度 (Hv(100))	形状系数在 2.5 以下的颗粒的比例 (粒径为 7.5~ 10.6 μm 的颗粒) (个数%)	粒径为 3.25 μm (-4.5 μm) 的 颗粒的比例 (重量%)
	喷雾气氛 O <sub>2</sub> 浓度(%)	喷雾压力 kgf/cm <sup>2</sup>					
实施例 53	0.5	100	H <sub>2</sub> -180 °C	35	115	35	30
实施例 54	0.5	100	H <sub>2</sub> -180 °C	34	120	40	28
实施例 55	0.5	100	H <sub>2</sub> -180 °C	25	125	35	33
实施例 56	0.5	100	H <sub>2</sub> -180 °C	28	130	35	32
实施例 57	0.5	100	H <sub>2</sub> -130 °C	30	137	38	33
实施例 58	1	120	H <sub>2</sub> -180 °C	45	138	30	35
实施例 59	1	120	N <sub>2</sub> -150 °C	49	140	32	35
实施例 60	1	120	N <sub>2</sub> -150 °C	35	135	28	36
实施例 61	1	120	N <sub>2</sub> -150 °C	50	150	30	34
实施例 62	2	80	真空, -150 °C	33	175	45	22
实施例 63	2	80	H <sub>2</sub> -280 °C	38	135	42	23
实施例 64	0.2	160	H <sub>2</sub> -280 °C	25	130	25	40
实施例 65	0.2	160	H <sub>2</sub> -280 °C	35	120	26	43
实施例 66	0.2	130	N <sub>2</sub> -150 °C	36	110	28	40
实施例 67	5	130	N <sub>2</sub> -150 °C	15	125	28	38
实施例 68	0.5	120	H <sub>2</sub> -180 °C	-	130	25	35
比较例 32	0.5	80	H <sub>2</sub> -180 °C	38	280	45	22
比较例 33	0.5	80	N <sub>2</sub> -180 °C	42	260	42	22
比较例 34	0.5	100	N <sub>2</sub> -180 °C	38	270	35	20
比较例 35	0.5	100	N <sub>2</sub> -180 °C	40	280	36	21
比较例 36	0.5	100	N <sub>2</sub> -180 °C	36	270	38	23
比较例 37	0.5	100	N <sub>2</sub> -180 °C	35	260	35	30
比较例 38	8	100	N <sub>2</sub> -180 °C	18	190	35	28

表 8-3

	压坯密度 5吨/cm <sup>2</sup> 成形 (Mg/m <sup>3</sup> )	烧结体强度 烧结体密度 6.8Mg/m <sup>3</sup> (MPa)	尺寸变化的 变化幅度 (%)
实施例 53	6.85	420	0.06
实施例 54	6.87	560	0.05
实施例 55	6.89	615	0.07
实施例 56	6.91	735	0.07
实施例 57	6.83	820	0.07
实施例 58	6.82	550	0.06
实施例 59	6.8	545	0.07
实施例 60	6.9	595	0.05
实施例 61	6.82	605	0.05
实施例 62	6.79	500	0.09
实施例 63	6.86	510	0.05
实施例 64	6.87	515	0.07
实施例 65	6.88	555	0.08
实施例 66	6.89	605	0.07
实施例 67	6.88	520	0.15
实施例 68	6.8	520	0.14
比较例 32	6.67	410	0.1
比较例 33	6.68	380	0.09
比较例 34	6.65	375	0.1
比较例 35	6.66	350	0.1
比较例 36	6.68	395	0.1
比较例 37	6.68	355	0.1
比较例 38	6.69	390	0.2

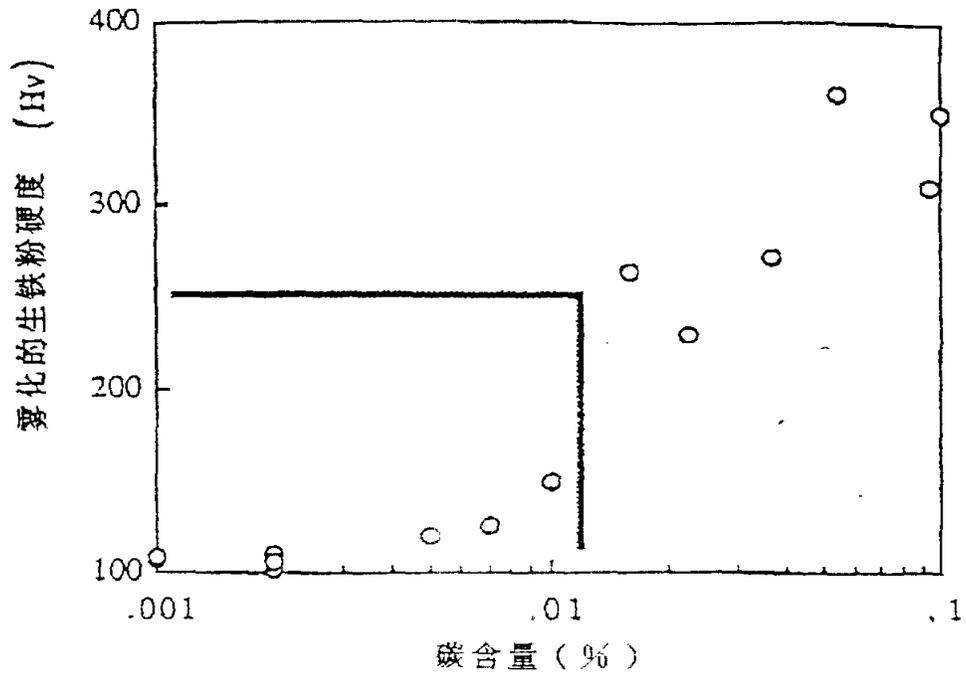


图 1

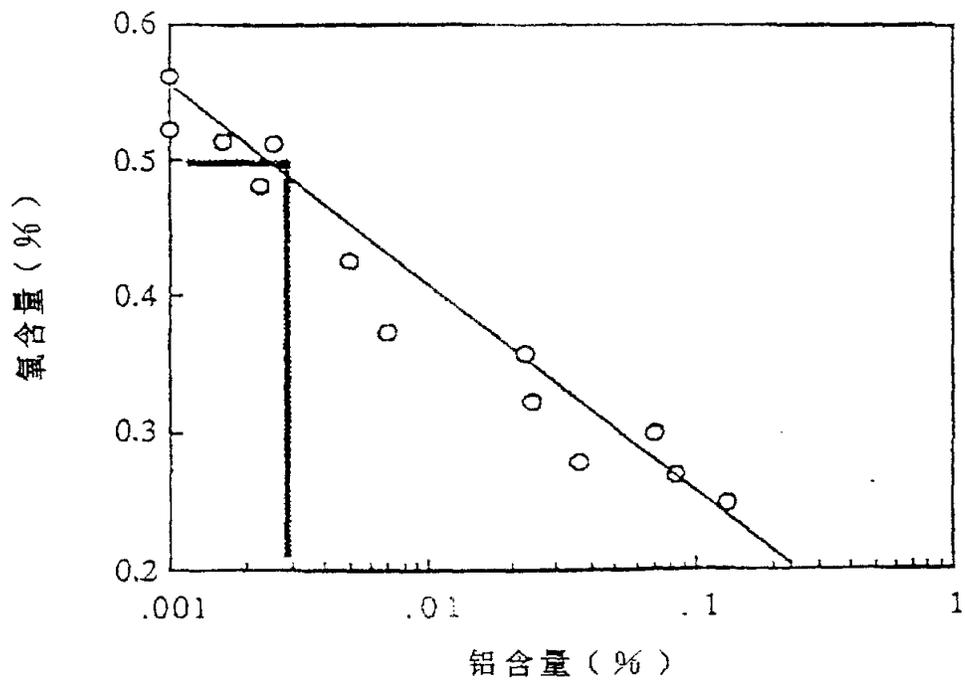


图 2