



## (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105855534 B

(45)授权公告日 2019.12.13

(21)申请号 201610082827.0

C22C 38/02(2006.01)

(22)申请日 2016.02.05

C22C 33/02(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

C22C 38/50(2006.01)

申请公布号 CN 105855534 A

C22C 38/46(2006.01)

(43)申请公布日 2016.08.17

C22C 38/48(2006.01)

(30)优先权数据

C22C 38/56(2006.01)

2015-023385 2015.02.09 JP

C22C 38/60(2006.01)

(73)专利权人 精工爱普生株式会社

C22C 38/18(2006.01)

地址 日本东京

C22C 38/14(2006.01)

C22C 38/12(2006.01)

(72)发明人 中村英文

## (56)对比文件

CN 1261266 C, 2006.06.28,

(74)专利代理机构 北京康信知识产权代理有限公司

CN 1514887 A, 2004.07.21,

11240

CN 100398683 C, 2008.07.02,

代理人 田喜庆 吴孟秋

CN 101124058 A, 2008.02.13,

(51)Int.Cl.

CN 103357871 A, 2013.10.23,

B22F 1/00(2006.01)

CN 103846426 A, 2014.06.11,

B22F 3/10(2006.01)

TW 201435929 A, 2014.09.16,

C22C 38/36(2006.01)

US 2015000468 A1, 2015.01.01,

C22C 38/34(2006.01)

CN 1621551 A, 2005.06.01,

C22C 38/28(2006.01)

CN 106300000 A, 2016.06.21,

C22C 38/26(2006.01)

CN 106300000 A, 2016.06.21,

C22C 38/24(2006.01)

CN 106300000 A, 2016.06.21,

1. 一种粉末冶金用金属粉末, 其特征在于,  
具有粒子,  
所述粒子含有作为主成分的Fe;  
含有0.2质量%以上35质量%以下比例的Cr;  
含有0.2质量%以上3质量%以下比例的Si; 以及  
含有0.005质量%以上2质量%以下比例的C,

当将选自由Ti、V、Y、Zr、Nb、Hf以及Ta所组成的组中的一种元素设为第一元素, 将选自所述组中的在元素周期表中的族大于所述第一元素的一种元素、或者选自所述组中的在元素周期表中的族与所述第一元素相同且元素周期表中的周期大于所述第一元素的一种元素设为第二元素时,

所述粒子还含有0.01质量%以上0.5质量%以下比例的所述第一元素, 并  
含有0.01质量%以上0.5质量%以下比例的所述第二元素,

其中, 所述粒子的表面的Cr的含有率为0.2原子%以上15原子%以下, 且为距所述粒子的表面的深度为60nm的位置处的Cr的含有率的70%以上170%以下。

2. 根据权利要求1所述的粉末冶金用金属粉末, 其特征在于,

所述粒子的表面的Si含有率为距所述粒子的表面的深度为60nm的位置处的Si含有率的155%以上800%以下。

3. 根据权利要求1或2所述的粉末冶金用金属粉末, 其特征在于,

所述粒子的表面的O含有率与Si含有率的比例为0.05以上0.4以下。

4. 根据权利要求1所述的粉末冶金用金属粉末, 其特征在于,

所述粒子的表面的Cr含有率比整个所述粒子中的Cr含有率小。

5. 根据权利要求1所述的粉末冶金用金属粉末, 其特征在于,

设所述第一元素的含有率E1除以所述第一元素的原子量得到的值为X1、所述第二元素的含有率E2除以所述第二元素的原子量得到的值为X2, X1与X2的比例X1/X2为0.3以上3以下。

6. 根据权利要求1所述的粉末冶金用金属粉末, 其特征在于,

所述第一元素的含有率与所述第二元素的含有率的合计为0.05质量%以上0.8质量%以下。

7. 根据权利要求1所述的粉末冶金用金属粉末, 其特征在于,

所述粒子的平均粒径为0.5μm以上30μm以下。

8. 一种复合物, 其特征在于, 含有:

权利要求1至7中任一项所述的粉末冶金用金属粉末; 以及  
粘合剂, 将所述粉末冶金用金属粉末的粒子彼此粘合。

9. 一种造粒粉末, 其特征在于,

通过对权利要求1至7中任一项所述的粉末冶金用金属粉末进行造粒而形成。

10. 一种烧结体, 其特征在于,

通过对权利要求1至7中任一项所述的粉末冶金用金属粉末进行烧结而制得。

## 粉末冶金用金属粉末、复合物、造粒粉末及烧结体

### 技术领域

[0001] 本发明涉及粉末冶金用金属粉末、复合物、造粒粉末及烧结体。

### 背景技术

[0002] 在粉末冶金法中,将含有金属粉末与粘合剂的组成物成形为所希望的形状而得到成形体后,通过对成形体进行脱脂、烧结,从而制造出烧结体。在这种的烧结体的制造过程中,金属粉末的粒子彼此之间产生原子的扩散现象,由此成形体渐渐致密化而完成烧结。

[0003] 例如,在专利文献1中,提出一种粉末冶金用金属粉末,含有Zr及Si,剩余部分由从Fe、Co及Ni构成的组中选择的至少一种和不可避免元素构成。根据这种的粉末冶金用金属粉末,由于Zr的作用使烧结性提高,从而能够容易地制造高密度的烧结体。

[0004] 如此得到的烧结体在近年被广泛用于各种机械部件和结构部件等。

[0005] 然而,根据烧结体的用途,有时也要求更加致密化。此时,虽然通过对烧结体进一步进行热等静压处理(HIP处理)这种的附加处理从而实现高密度化,但是工作量显著增加的同时高成本也不可避免。

[0006] 因此,更期待实现一种无需施加附加处理等即可制造高密度烧结体的金属粉末。

[0007] 在先技术文献

[0008] 专利文献

[0009] 专利文献1:日本专利特开2012-87416号公报

### 发明内容

[0010] 本发明的目的在于提供可以制造高密度的烧结体的粉末冶金用金属粉末、复合物及造粒粉末,以及高密度的烧结体。

[0011] 所述目的通过下述的本发明实现。

[0012] 本发明的粉末冶金用金属粉末,其特征在于:具有粒子,所述粒子含有作为主成分的Fe;含有0.2质量%以上35质量%以下比例的Cr;含有0.2质量%以上3质量%以下比例的Si;以及含有0.005质量%以上2质量%以下比例的C,当将选自由Ti、V、Y、Zr、Nb、Hf以及Ta所组成的组中的一种元素设为第一元素,将选自所述组中的在元素周期表中的族大于所述第一元素的一种元素、或者选自所述组中的在元素周期表中的族与所述第一元素相同且元素周期表中的周期大于所述第一元素的一种元素设为第二元素时,所述粒子还含有0.01质量%以上0.5质量%以下比例的所述第一元素,并含有0.01质量%以上0.5质量%以下比例的所述第二元素,其中,所述粒子的表面的Cr的含有率为0.2原子%以上15原子%以下,且为距所述粒子的表面的深度为60nm的位置处的Cr的含有率的70%以上170%以下。

[0013] 由此,粉末冶金用金属粉末的粒子来自于Cr的氧化物的钝化膜的膜厚在某种程度上变薄,从而能够抑制由于钝化膜导致的粒子的烧结性下降。其结果,实现了在烧结粒子时的致密化,因此不实施附加处理就能够制造高密度的烧结体。

[0014] 在本发明的粉末冶金用金属粉末中,所述粒子的表面的Si含有率优选为距所述粒

子的表面的深度为60nm的位置处的Si含有率的155%以上800%以下。

[0015] 由此, Si会在粒子的表面发生偏析, 并且该Si作为抑制Fe和Cr氧化的脱氧元素起而产生作用, 因此能够抑制粒子在烧结时产生大量的氧化铁或氧化铬。其结果, 使粒子的烧结性更加优异, 从而能够制造更高密度的烧结体。

[0016] 在本发明的粉末冶金用金属粉末中, 优选为所述粒子的表面的O含有率与Si含有率的比例为0.05以上0.4以下。

[0017] 由此, 即使Si在粒子的表面发生偏析, 也能充分地降低其中以氧化硅的状态存在的Si的比例。其结果, 能够抑制存在大量氧化硅而导致的烧结性的下降, 并且更可靠地发挥Si的脱氧作用。

[0018] 在本发明的粉末冶金用金属粉末中, 优选为所述粒子的表面的Cr含有率比整个所述粒子的Cr含有率小。

[0019] 由此, 由于能够抑制在粒子的表面成膜的钝化膜的膜厚变得过厚, 因此能够显著提高粒子的烧结性。

[0020] 在本发明的粉末冶金用金属粉末中, 所述第一元素的含有率E1除以所述第一元素的原子量得到的值为X1, 所述第二元素的含有率E2除以所述第二元素的原子量得到的值为X2, X1与X2的比例X1/X2为0.3以上3以下。

[0021] 由此, 当粉末冶金用金属粉末被烧成时, 能够使第一元素的碳化物等的析出量与第二元素的碳化物等的析出量的平衡达到最优。其结果, 能够将残存在成形体中的空孔从内侧依次扫出地排出, 因而能够将烧结体中产生的空孔抑制为最小限度。因此, 能够得到可以制造高密度的、机械性能优异的烧结体的金属粉末。

[0022] 在本发明的粉末冶金用金属粉末中, 优选为, 所述第一元素含有率与所述第二元素含有率的合计为0.05质量%以上0.8质量%以下。

[0023] 由此, 制造的烧结体成为具备必要且充分的高密度的烧结体。

[0024] 在本发明的粉末冶金用金属粉末中, 平均粒径优选为0.5μm以上30μm以下。

[0025] 由此, 由于在烧结体中残存的空孔变得极少, 所以能够制造显著地高密度且机械性能优异的烧结体。

[0026] 本发明的复合物, 其特征在于, 含有: 本发明的粉末冶金用金属粉末; 以及将上述粉末冶金用金属粉末的粒子彼此粘合的粘合剂。

[0027] 由此, 能够得到可以制造高密度的烧结体的复合物。

[0028] 本发明的造粒粉末, 其特征在于, 通过对本发明的粉末冶金用金属粉末进行造粒而形成。

[0029] 由此, 能够得到可以制造高密度的烧结体的造粒粉末。

[0030] 本发明的烧结体, 其特征在于, 通过对本发明的粉末冶金用金属粉末进行烧结而制得。

[0031] 由此, 能够得到高密度的烧结体。

## 附图说明

[0032] 图1是示意性地示出本发明的粉末冶金用金属粉末的实施方式含有的粒子的截面图。

[0033] 图2是图1示出的粒子的截面的范围A的放大图,是用于说明通过在粒子的表面并用溅射的俄歇电子能谱法进行深度方向分析的情况的图。

[0034] 图3是从样本No.1的粉末冶金用金属粉末的粒子中得到的俄歇电子能谱。

[0035] 图4是从样本No.23的粉末冶金用金属粉末的粒子中得到的俄歇电子能谱。

[0036] 符号说明

[0037] 1 粒子

## 具体实施方式

[0038] 以下,对本发明的粉末冶金用金属粉末、复合物、造粒粉末以及烧结体,基于附图所示的合适的实施方式,进行详细的说明。

[0039] 粉末冶金用金属粉末

[0040] 首先,对本发明的粉末冶金用金属粉末的实施方式进行说明。

[0041] 在粉末冶金中,通过将含有粉末冶金用金属粉末与粘合剂的组成物成形为所希望的形状后进行脱脂、烧结,从而能够得到所希望形状的烧结体。根据这种的粉末冶金技术,与其他的冶金技术相比,具有能够在近净形状下(接近于最终形状的形状)制造出复杂且微细形状的烧结体这种的优点。

[0042] 作为用于粉末冶金的粉末冶金用金属粉末,现有技术中,通过适当改变其组成,不断尝试实现制造的烧结体的高密度化。但是,由于烧结体容易形成空孔,所以为了得到与锭材相同的机械性能,需要烧结体实现进一步高密度化。

[0043] 例如,以往,有时通过对得到的烧结体进一步施加热等静压处理(HIP处理)等附加处理,从而实现高密度化。然而,这种的附加处理由于伴随着大量的精力与成本,所以成为放大烧结体用途时的障碍。

[0044] 鉴于所述的问题,本发明人对不施加附加处理而得到高密度的烧结体的条件进行了反复研究。其结果,通过将金属粉末所含的各粒子的组成进行最优化,从而发现能够实现烧结体的高密度化的组成,完成了本发明。

[0045] 具体而言,本实施方式的粉末冶金用金属粉末是如下的金属粉末,其特征在于:具有粒子,含有Fe作为主成分,含有0.2质量%以上35质量%以下比例的Cr,含有0.2质量%以上3质量%以下比例的Si,含有0.005质量%以上2质量%以下比例的C,含有0.01质量%以上0.5质量%以下的后述第一元素,含有0.01质量%以上0.5质量%以下比例的后述第二元素,该粒子的表面的Cr含有率是位于在距粒子的表面的深度60nm处的Cr含有率的70%以上170%以下。根据这种的金属粉末,实现化学组成及粒子构造的最优化的结果,能够特别提高烧结时的致密化。其结果,能够在不施加附加处理的情况下,制造高密度的烧结体。

[0046] 而且,这种的烧结体的机械性能会变得优异。因此,烧结体也可以广泛地适用于例如机械部件或结构部件这种施加外力的用途。

[0047] 此外,第一元素是从由Ti、V、Y、Zr、Nb、Hf以及Ta这7种元素构成的组中选择的一种元素,第二元素是如下的元素:是从由所述7种元素构成的组中选择的一种元素、且在元素周期表中的族大于第一元素,或者是从由所述7种元素构成的组中选择的一种元素、同时在元素周期表中的族与被选作第一元素的元素相同、且在元素周期表中的周期大于第一元素。

[0048] 下面,对本实施方式的粉末冶金用金属粉末的构成进一步进行详细说明。另外,在下面的说明中,有时将粉末冶金用金属粉末简称为“金属粉末”,有时将构成粉末冶金用金属粉末的多个粒子也分别简称为“粒子”。

[0049] <粒子的构造>

[0050] 首先,对本实施方式的粉末冶金用金属粉末的粒子的构造进行说明。

[0051] 图1是示意性地示出本发明的粉末冶金用金属粉末的实施方式中所含粒子的截面的图,图2是图1所示粒子的截面的范围A的放大图,也是用于说明通过在粒子的表面并用了溅射的俄歇电子能谱法进行深度方向分析的情况的图。

[0052] 设粒子1表面的Cr含有率为Cr(0),距粒子1的表面的深度为60nm位置处的Cr含有率为Cr(60)时,Cr(0)为0.2原子%以上15原子%以下,且为Cr(60)的70%以上170%以下。

[0053] 满足这种的条件的粒子1可以认为从其表面起直到60nm的深度为止,Cr含有率相对一定。这种的粒子1来自于Cr氧化物的钝化膜的膜厚在某种程度上变薄,从而能抑制由钝化膜引起的粒子1的烧结性的下降。其结果,由于实现了粒子1在烧结时的致密化,因此不必实施附加处理便能制造高密度的烧结体。

[0054] 此外,若Cr(0)低于所述下限值,或是Cr(0)与Cr(60)的比值低于所述下限值,则粒子1的表面的耐氧化性会下降。若耐氧化性下降,则由于环境变化,粒子1的表面变得容易氧化。此时,由于每个粒子1表面的氧化容易变得不均匀,因此每个粒子1的烧结性会产生偏差,从而导致破坏烧结体的致密化。另一方面,若Cr(0)超过所述上限值,或是Cr(0)与Cr(60)的比值超过上限值,则钝化膜的膜厚会变得过厚。因此,钝化膜会妨碍粒子1的烧结,从而导致破坏烧结体的致密化。

[0055] 此外,可以认为即使是金属粉末被用于烧成时,距粒子1的表面的深度为60nm处有助于烧结的概率也较低。即,可以认为在60nm深度位置的化学组成与粒子1内部的化学组成相近。因此,Cr(0)与Cr(60)大致相等,也就是说粒子1的表面上未形成显著地厚的钝化膜,这可以认为是成为提高粒子1的烧结性的原因。

[0056] 这种的Cr(0)及Cr(60)能通过并用了溅射的俄歇电子能谱法进行深度方向分析来获取。在该分析中,一边使离子撞击粒子1表面并缓缓剥落原子层,一边向粒子1照射电子束,基于从粒子1发射的俄歇电子的动能而进行原子的识别和定量。因此,通过将溅射所需的时间,换算成被溅射所剥落的原子层的厚度,从而能求出距粒子1表面的深度与组成比的关系。

[0057] 此外,如上所述的深度与组成比的关系,可以由从表面至数百nm的深度的范围内获取。此时,Cr(0)以及Cr(60)至少满足所述关系即可,例如距粒子1表面30nm的深度的Cr含有率也可以不在Cr(60)的70%以上170%以下的范围内。

[0058] 另外,Cr(0)为0.2原子%以上15原子%以下即可,但优选为0.5原子%以上13原子%以下。

[0059] 另外,Cr(0)为Cr(60)的70%以上170%以下即可,但优选为80%以上150%以下。

[0060] 而且,设粒子1整体的Cr含有率为Cr(w)时,粒子1表面的Cr含有率Cr(0)优选为满足 $Cr(0) < Cr(w)$ 的关系,更优选为满足 $Cr(0) < 0.8 \times Cr(w)$ 的关系。通过满足这种的关系,能使粒子1表面的Cr含有率小于粒子1整体的Cr含有率。由此,与从粒子1整体的化学组成中所换算的钝化膜的膜厚相比,由于能抑制在粒子1的表面形成的钝化膜的膜厚过厚,因此能

显著地提高粒子1的烧结性。

[0061] 此外,粒子1整体的Cr含有率能通过后述的分析手法而求出。

[0062] 另外,设粒子1表面的Si含有率为Si (0),距粒子1的表面的深度为60nm处的Si含有率为Si (60)时,Si (0) 优选为Si (60) 的155%以上800%以下,更优选为200%以上500%以下。

[0063] 满足这种的条件的粒子1其表面的Si含有率比内部(深度60nm)的Si含有率大1.55倍以上。在那种粒子1中,可以认为Si在表面发生偏析。Si在粒子1的表面,可以认为是以例如氧化硅的状态存在。而且,Si作为抑制Fe和Cr氧化的脱氧元素起作用,因此能抑制在粒子1表面生成氧化铁或氧化铬。另外,在粒子1烧结时,即使是在重新供给氧的情况下,也能抑制大量氧化铁和氧化铬的产生。其结果,粒子1具有更优异的烧结性,从而能够制造更高密度的烧结体。

[0064] 另外,存在于粒子1表面的Si在金属粉末被用于烧成时,会产生抑制晶粒膨胀的作用。因此,结晶的细微化得以实现,从而能制造机械性能优异的烧结体。

[0065] 另外,Si (0) 优选为15原子%以上50原子%以下,更优选为25原子%以上45原子%以下。

[0066] 满足这种的条件的粒子1能抑制大量氧化铁和氧化铬的生成。因此,粒子1拥有更优异的烧结性,能够制造更高密度的烧结体。

[0067] 另一方面,虽然Si在粒子1表面发生偏析,但如果以氧化硅的状态大量存在的话,则有可能会和氧化铁和氧化铬一样妨碍金属粉末的烧成。

[0068] 考虑到该点,设粒子1表面的O含有率为O (0) 时,O (0) 优选为Si (0) 的0.05倍以上0.4倍以下,更优选为0.1倍以上0.35倍以下。

[0069] 若将O (0) 与Si (0) 的比例控制在所述范围内,即使Si在粒子1表面发生偏析,也能充分地降低其中以氧化硅的状态存在的Si的比例。因此,通过将O (0) 与Si (0) 的比例控制在所述范围内,能够抑制因存在大量的氧化硅而导致的烧结性的下降,并且更可靠地发挥Si的脱氧作用。其结果,能获得烧结性特别高的粒子1,并通过使用含有该粒子1的金属粉末,能够制造高密度的烧结体。

[0070] 此外,所述的Si (0) 、Si (60) 以及O (0) ,也和Cr (0) 以及Cr (60) 一样,能通过并用了溅射的俄歇电子能谱法进行的深度方向分析来求得。

[0071] 通过以上方式,烧结体的高密度化得以实现,从而可以获得机械性能优异的烧结体。这种的烧结体也能广泛地适用于例如机械部件或结构部件这种会施加较大的外力的用途。

[0072] <粒子的化学组成>

[0073] 接着,对粒子1整体的化学组成的一个例子进行说明。

[0074] Fe是粒子1的化学组成中含有率最高的成分(主成分),对烧结体的特性有较大的影响。粒子1整体中的Fe含有率为50质量%以上。

[0075] (Cr)

[0076] Cr(铬)是对制造的烧结体赋予耐腐蚀性的元素,通过使用含有Cr的金属粉末,能够得到可以长期维持高机械性能的烧结体。

[0077] 粒子1中的Cr含有率为0.2质量%以上35质量%以下,但优选为2质量%以上32质

量%以下,更优选为6质量%以上30质量%以下。

[0078] Cr的含有率低于上述下限值时,根据整体的组成,制造的烧结体的耐腐蚀性变得不充分。另一方面,Cr的含有率超过上述上限值时,根据整体的组成,烧结性降低,烧结体的高密度化变得困难。

[0079] (Ni)

[0080] Ni(镍)是根据需要对制造的烧结体赋予耐腐蚀性与耐热性的元素。

[0081] 粒子1中的Ni含有率,优选为41质量%以下,但更优选为10质量%以上39质量%以下,进一步优选为12质量%以上27质量%以下。通过将Ni的含有率设定在所述范围内,能得到长期机械性能优异的烧结体。

[0082] 另外,Ni的含有率低于上述下限值时,根据整体的组成,可能导致无法充分提高制造的烧结体的耐腐蚀性与耐热性,另一方面,Ni的含有率超过上述上限值时,反而有可能会降低耐腐蚀性与耐热性。

[0083] 另外,在粒子1中含有Ni或Mo的情况下,如上所述也可以适当地改变Cr的含有率。

[0084] 例如,在Ni的含有率为7质量%以上22质量%以下,且Mo的含有率小于1.2质量%的情况下,Cr的含有率进一步优选为18质量%以上20质量%以下。另一方面,在Ni的含有率为10质量%以上22质量%以下,且Mo的含有率为1.2质量%以上5质量%以下的情况下,Cr的含有率进一步优选为16质量%以上18质量%以下。

[0085] 另外,在Ni的含有率为0.05质量%以上0.6质量%以下的情况下,Cr的含有率进一步优选为10质量%以上18质量%以下。

[0086] (Si)

[0087] Si(硅)是对制造的烧结体赋予耐腐蚀性及高机械性能的元素,通过使用含有Si的金属粉末,能够得到可以长期维持高机械性能的烧结体。

[0088] 粒子1中的Si含有率为0.2质量%以上3质量%以下,但优选为0.4质量%以上1.5质量%以下,更优选为0.5质量%以上1质量%以下。

[0089] Si的含有率低于上述下限值时,根据整体的组成,由于添加Si的效果变得小于,所以制造的烧结体的耐腐蚀性与机械性能降低。另一方面,Si的含有率超过上述上限值时,根据整体的组成,由于Si变得过多,反而耐腐蚀性与机械性能降低。

[0090] (C)

[0091] C(碳)通过与第一元素或第二元素组合使用,如上所述,生成第一元素的碳化物或第二元素的碳化物等。由此,能获得如上所述的高密度的烧结体。

[0092] 粒子1中的C含有率为0.005质量%以上2质量%以下,但优选为0.01质量%以上1.5质量%以下,更优选为0.02质量%以上1质量%以下。

[0093] 若C的含有率低于所述下限值,根据整体的组成,由于难以生成足够量的第一元素的碳化物或第二元素的碳化物,烧结体的高密度化有可能不充分。另一方面,若C的含有率超过所述上限值,根据整体的组成,C相对于第一元素或第二元素过量,粒子1的烧结性有可能反而降低。

[0094] 此外,在粒子1含有Ni的情况下,也可以如上所述适当改变Cr的含有率。

[0095] 例如,在Ni的含有率为7质量%以上22质量%以下的情况下,C的含有率进一步优选为0.005质量%以上0.3质量%以下。

[0096] 另外,在Ni的含有率为0.05质量%以上0.6质量%以下的情况下,C的含有率进一步优选为0.15质量%以上1.2质量%以下。

[0097] 此外,在粒子1含有Ni的情况下,优选为将Ni含有率设定为0.05质量%以上22质量%以下。通过向粒子1添加Ni,能进一步提高所制造的烧结体的耐腐蚀性和耐热性。

[0098] 若Ni的含有率低于所述下限值,根据整体的组成,有可能无法充分地提高所制造的烧结体的耐腐蚀性和耐热性,另一方面,若Ni的含有率超过所述上限值,根据整体的组成,耐腐蚀性和耐热性有可能反而降低。

[0099] (第一元素以及第二元素)

[0100] 第一元素以及第二元素析出碳化物和氧化物(以下,也称为“碳化物等”)。而且可以认为,当金属粉末烧结时,该析出的碳化物等会妨碍晶粒的显著增长。其结果,如前所述,在烧结体中难以产生空孔,并且防止了晶粒的膨胀,从而可以获得高密度且高机械性能的烧结体。

[0101] 而且,详细情况将在后文说明,析出的碳化物等在晶界处促进氧化硅的集聚,其结果,既抑制了晶粒的膨胀,又实现了促进烧结及高密度化。

[0102] 但是,第一元素和第二元素是从由Ti、V、Y、Zr、Nb、Hf以及Ta的7元素构成的组中选择的两种元素,优选为含有属于长式元素周期表的3A族或4A族的元素(Ti、Y、Zr、Hf)。通过使第一元素和第二元素中的至少一方含有属于3A族或4A族的元素,除去金属粉末中含有的作为氧化物的氧,从而特别能够提高金属粉末的烧结性。

[0103] 另外,第一元素如前所述是从由Ti、V、Y、Zr、Nb、Hf以及Ta的7元素构成的组中选择的一种元素即可,优选为上述组中属于长式元素周期表的3A族或4A族的元素。上述组中属于3A族或4A族的元素可以除去金属粉末中含有的作为氧化物的氧(作为脱氧元素),从而特别能够提高金属粉末的烧结性。由此,能够实现降低烧结后晶粒内残存的氧浓度。其结果,能够降低烧结体的含氧率,实现高密度化。而且可以认为,由于这些元素是高活性元素,因此导致原子迅速扩散。因此,该原子扩散形成为驱动力,使得金属粉末的粒子之间的距离有效地缩短,并且在粒子间形成颈部,从而促进了成形体的致密化。其结果,能够进一步实现烧结体的高密度化。

[0104] 另一方面,第二元素如前所述是从由Ti、V、Y、Zr、Nb、Hf以及Ta的7元素构成的组中选择的一种元素、且与第一元素不同即可,优选为由上述7元素构成的组中属于长式元素周期表的5A族的元素。属于5A族的元素尤其能够高效地析出上述碳化物等,因而能够有效妨碍烧结时晶粒的显著增长。其结果,能够促进微小晶粒的生成,实现烧结体的高密度化以及机械性能的提高。

[0105] 此外,通过组合如上所述元素构成的第一元素和第二元素,能够互不妨碍地发挥各自的效果。因此,含有这种第一元素和第二元素的金属粉末能够制造密度特别高的烧结体。

[0106] 而且,更优选的是,采用第一元素为属于4A族的元素、第二元素为Nb的组合。

[0107] 而且,进一步优选的是,采用第一元素为Zr或Hf、第二元素为Nb的组合。

[0108] 通过采用这种组合,上述效果会变得更加显著。

[0109] 而且,在第一元素特别为Zr的情况下,由于Zr是铁素体形成元素,因此能够析出体心立方晶格相。该体心立方晶格相比其他晶格相具有更优异的烧结性,因而有助于实现烧

结体的高密度化。

[0110] 此外, Zr的原子半径比Fe的原子半径稍大。具体而言, Fe的原子半径大约为0.117nm, Zr的原子半径大约为0.145nm。因此, Zr固溶于Fe但不完全固溶, 一部分的Zr会作为碳化物等析出。由此, 由于会析出适量的碳化物等, 因此能够实现烧结的促进和高密度化, 并有效地抑制晶粒的膨胀。

[0111] 另外, 在第二元素特别为Nb的情况下, Nb的原子半径比Fe是原子半径稍大, 但比Zr的原子半径稍小。具体而言, Fe的原子半径为0.117nm。Nb的原子半径为0.134nm。因此, Nb固溶于Fe但不完全固溶, 一部分的Nb会作为碳化物等析出。由此, 由于会析出适量的碳化物等, 因此能够实现烧结的促进和高密度化, 并有效地抑制晶粒的膨胀。

[0112] 金属粉末中的第一元素的含有率为0.01质量%以上0.5质量%以下, 优选为0.03质量%以上0.4质量%以下, 更优选为0.05质量%以上0.3质量%以下。若第一元素的含有率低于所述下限值, 根据整体的组成, 由于添加第一元素的效果变得不充分, 因此导致制得的烧结体的高密度化会变得不充分。另一方面, 若第一元素的含有率超过所述上限值, 根据整体的组成, 由于第一元素过多, 导致所述的碳化物等的比例过多, 反而对高密度化造成损害。

[0113] 金属粉末中的第二元素的含有率为0.01质量%以上0.5质量%以下, 优选为0.03质量%以上0.4质量%以下, 更优选为0.05质量%以上0.3质量%以下。若第二元素的含有率低于所述下限值, 根据整体的组成, 由于添加第二元素的效果变得不充分, 因此制得的烧结体的高密度化会变得不充分。另一方面, 若第二元素的含有率超过所述上限值, 根据整体的组成, 由于第二元素过多, 导致所述的碳化物等的比例过多, 反而对高密度化造成损害。

[0114] 此外, 如前所述, 第一元素和第二元素分别析出碳化物等, 如前所述选择属于3A族或4A族的元素作为第一元素, 如前所述选择属于5A族的元素作为第二元素, 这种情况下, 当烧结金属粉末时, 可以推测第一元素的碳化物等的析出定时与第二元素的碳化物等的析出定时适当地出现偏差。可以认为, 由于这种碳化物等的析出定时偏差, 使得烧结缓慢进行, 从而抑制了空孔的生成, 获得致密的烧结体。即, 由于第一元素的碳化物等与第二元素的碳化物等两者的存在, 既能够实现高密度化, 又能够抑制晶粒的膨胀。

[0115] 此外, 由于这种定时的偏差, 使粒子1中析出的第一元素的碳化物等与第二元素的碳化物等也会互相排他地存在。即, 第一元素的碳化物等与第二元素的碳化物等很少在互相相同的位置析出, 而几乎在互相远离的状态下析出。而且, 由于这种的第一元素的碳化物等与第二元素的碳化物等的双方都存在, 因此当粒子1烧结时, 能够更可靠地抑制晶粒的膨胀, 从而能够实现烧结体的高密度化。

[0116] 而且, 通过第一元素的碳化物等与第二元素的碳化物等是在互相远离的状态析出, 则在粒子1中, 均匀地发挥抑制晶粒膨胀的效果, 从该观点出发, 烧结体的高密度化得到显著的促进。

[0117] 加之, 在粒子1中, 可以认为, 第一元素的碳化物等或第二元素的碳化物等会成为“核”, 并发生氧化硅的集聚。由于氧化硅集聚在晶界, 使得结晶内部的氧化物浓度降低, 因此能够实现烧结的促进。其结果, 当烧结粒子1时, 能够进一步促进烧结体的高密度化。

[0118] 而且, 这种的粒子1在用于粉末冶金时, 由于能够实现烧结体的致密化, 因此不必实施附加处理便能制造高密度的烧结体。可以认为, 若粒子1用于粉末冶金, 碳化物等会移

动至烧结体中的金属结晶的晶界。而且,移动至晶界的三相点的碳化物等会抑制在该点处的结晶增长(钉扎效应)。其结果,抑制了晶粒的显著增长,从而能够得到具有更微小结晶的烧结体。这种的烧结体的机械性能能特别高。

[0119] 另外,第一元素的含有率与第二元素的含有率的比例优选为,考虑第一元素的原子量及第二元素的原子量进行设定。

[0120] 具体而言,将第一元素的含有率E1(质量%)除以第一元素的原子量之后得到的值作为X1,将第二元素的含有率E2(质量%)除以第二元素的原子量之后得到的值作为X2时,X1/X2优选为0.3以上3以下,更优选为0.5以上2以下,进一步优选为0.75以上1.3以下。通过将X1/X2设定在上述范围内,能够使第一元素的碳化物等的析出量与第二元素的碳化物等的析出量的平衡达到最优。由此,能够将残存在成形体中的空孔从内侧依次扫出地排出,因而能够将烧结体中产生的空孔抑制为最小限度。因此,通过将X1/X2设定在上述范围内,能够得到可以制造高密度的、机械性能优异的烧结体的金属粉末。

[0121] 在此,对于第一元素以及第二元素具体组合的例子,基于所述X1/X2的范围,计算出第一元素的含有率E1和第二元素的含有率E2的比例E1/E2。

[0122] 例如,第一元素为Zr、第二元素为Nb的情况下,由于Zr的原子量为91.2、Nb的原子量为92.9,因此,E1/E2优选为0.29以上2.95以下,更优选为0.49以上1.96以下。

[0123] 另外,第一元素为Hf、第二元素为Nb的情况下,由于Hf的原子量为178.5、Nb的原子量为92.9,因此,E1/E2优选为0.58以上5.76以下,更优选为0.96以上3.84以下。

[0124] 另外,第一元素为Ti、第二元素为Nb的情况下,由于Ti的原子量为47.9、Nb的原子量为92.9,因此,E1/E2优选为0.15以上1.55以下,更优选为0.26以上1.03以下。

[0125] 另外,第一元素为Nb、第二元素为Ta的情况下,由于Nb的原子量为92.9、Ta的原子量为180.9,因此,E1/E2优选为0.15以上1.54以下,更优选为0.26以上1.03以下。

[0126] 另外,第一元素为Y、第二元素为Nb的情况下,由于Y的原子量为88.9、Nb的原子量为92.9,因此,E1/E2优选为0.29以上2.87以下,更优选为0.48以上1.91以下。

[0127] 另外,第一元素为V、第二元素为Nb的情况下,由于V的原子量为50.9、Nb的原子量为92.9,因此,E1/E2优选为0.16以上1.64以下,更优选为0.27以上1.10以下。

[0128] 另外,第一元素为Ti、第二元素为Zr的情况下,由于Ti的原子量为47.9、Zr的原子量为91.2,因此,E1/E2优选为0.16以上1.58以下,更优选为0.26以上1.05以下。

[0129] 另外,第一元素为Zr、第二元素为Ta的情况下,由于Zr的原子量为91.2、Ta的原子量为180.9,因此,E1/E2优选为0.15以上1.51以下,更优选为0.25以上1.01以下。

[0130] 另外,第一元素为Zr、第二元素为V的情况下,由于Zr的原子量为91.2、V的原子量为50.9,因此,E1/E2优选为0.54以上5.38以下,更优选为0.90以上3.58以下。

[0131] 此外,对于上述以外的组合,也可以与上述同样地算出E1/E2。

[0132] 另外,第一元素的含有率E1与第二元素的含有率E2的合计,优选为0.05质量%以上0.8质量%以下,更优选为0.10质量%以上0.6质量%以下,进一步优选为0.12质量%以上0.24质量%以下。通过将第一元素的含有率与第二元素的含有率的合计设定在所述范围内,能够使制得的烧结体获得必要和充分的高密度化。

[0133] 另外,当第一元素的含有率和第二元素的含有率的合计与Si的含有率的比例为(E1+E2)/Si时,(E1+E2)/Si优选为质量比0.1以上0.7以下,更优选为0.15以上0.6以下,进

一步优选为0.2以上0.5以下。通过将 $(E1+E2)/Si$ 设定在上述范围内,通过添加第一元素和第二元素,充分弥补了添加Si时导致的韧性降低等。其结果,能够得到可以制造尽管是高密度、但是具有优异韧性等机械性能的、且具有源自于Si的耐腐蚀性也优异的烧结体的金属粉末。而且,在粒子1中,必要且充分地进行将第一元素的碳化物等或第二元素的碳化物等作为核的氧化硅的集聚,并且除了Fe和Cr之外,粒子1含有Ni等元素的情况下,会变得容易抑制那些氧化反应。因此,从所述观点出发,粒子1的烧结性得以提高,从而能够获得更高密度且机械性能及耐腐蚀性优异的烧结体。

[0134] 而且,当第一元素的含有率和第二元素的含有率的合计相对于C的含有率的比例为 $(E1+E2)/C$ 时, $(E1+E2)/C$ 优选为1以上16以下,更优选为2以上13以下,进一步优选为3以上10以下。通过将 $(E1+E2)/C$ 设定在上述范围内,能够兼顾添加C时的硬度上升以及抑制韧性降低,和通过添加第一元素和第二元素实现高密度化。其结果,能够得到可以制造抗拉强度和韧性这种机械性能优异的烧结体的粒子1。

[0135] 此外,金属粉末中可以含有从由所述7元素构成的组中选择的两种元素,还可以进一步含有从该组中选择的、与该两种元素不同的元素。即,金属粉末中可以含有从上述7元素构成的组中选择的三种以上的元素。由此,虽然根据不同的组合方法会制得有些微差别的金属粉末,但能够进一步增强前述的效果。

[0136] (其他的元素)

[0137] 粒子1除了这些元素以外,根据需要可以含有W、Co、Mn、Mo、Cu、N以及S中的至少一种。另外,有时也不可避免地含有这些元素。

[0138] W是强化制造的烧结体的耐热性的元素。

[0139] 粒子1中W的含有率为0.5质量%以上20质量%以下,优选为1质量%以上10质量%以下,更优选为5质量%以上7质量%以下。若W的含有率低于所述下限值,根据整体的组成,将无法充分地提高烧结体的耐热性,例如使用得到的烧结体制造工具时,存在在高温下工具的硬度和耐软化度、耐摩擦度下降的可能性。另一方面,若W的含有率超过所述上限值,根据整体的组成,存在烧结体的韧性等机械性能会降低,且例如工具有缺陷等不良状况发生的可能性。

[0140] Co是强化制造的烧结体的耐热性的元素。

[0141] 粒子1中Co的含有率并未特别限定,优选为3质量%以上12质量%以下,更优选为4.5质量%以上10.5质量%以下。通过将Co的含有率设定在所述范围内,能够更加强化烧结体的耐热性,而不会导致制造的烧结体的密度大幅地下降。特别是,由于能够抑制在高温下硬度和耐软化性的下降,因此,例如使用得到的烧结体制造工具时,能够容易地制造出可以更高速率地切削的高速度工具。

[0142] Mn是对制造的烧结体赋予耐腐蚀性及高机械性能的元素。

[0143] 粒子1中Mn的含有率并未特别限定,优选为0.01质量%以上3质量%以下,更优选为0.05质量%以上1质量%以下。通过将Mn的含有率设定在上述范围内,能够得到更高密度且机械性能优异的烧结体。

[0144] 另外,当Mn的含有率低于上述下限值时,根据整体的组成,存在不能充分提高制造的烧结体的耐腐蚀性和机械性能的可能性,另一方面,当Mn的含有率超过上述上限值时,根据整体的组成,反而存在耐腐蚀性和机械性能降低的可能性。

[0145] Mo是强化制造的烧结体的耐腐蚀性的元素。

[0146] 粒子1中Mo的含有率并未特别限定,优选为1质量%以上5质量%以下,更优选为1.2质量%以上4质量%以下,进一步优选为2质量%以上3质量%以下。通过将Mo的含有率设定在上述范围内,能够不导致制造的烧结体的密度大幅度降低,而更强化烧结体的耐腐蚀性。

[0147] Cu是强化制造的烧结体的耐腐蚀性的元素。

[0148] 粒子1中Cu的含有率并未特别限定,优选为5质量%以下,更优选为1质量%以上4质量%以下。通过将Cu的含有率设定在上述范围内,能够不导致制造的烧结体的密度大幅度降低,而更强化烧结体的耐腐蚀性。

[0149] 另外,在Ni的含有率为0.05质量%以上0.6质量%以下的情况下,Cu的含有率优选为小于1质量%,更优选为小于0.1质量%。另外,在该情况下,进一步优选为,除了不可避免地含有的部分以外,实质上不含有Cu(小于0.01质量%)。虽然详细地理由不详,但由于含有Cu,存在第一元素或第二元素所带来的如上所述的效果变得不充分的可能性。

[0150] N是提高制造的烧结体的屈服强度等机械性能的元素。

[0151] 粒子1中N的含有率并未特别限定,优选为0.03质量%以上1质量%以下,更优选为0.08质量%以上0.3质量%以下,进一步优选为0.1质量%以上0.25质量%以下。通过将N的含有率设定在上述范围内,能够不导致制造的烧结体的密度的大幅度降低,而更加提高烧结体的屈服强度等机械性能。

[0152] 另外,制造添加有N的粒子1时,使用例如,使用氮化后的原料的方法、对熔融金属导入氮气的方法、对制造的金属粉末施加氮化处理的方法等。

[0153] S是提高制造的烧结体的切削性能的元素。

[0154] 粒子1中S的含有率并未特别限定,优选为0.5质量%以下,更优选为0.01质量%以上0.3质量%以下。通过将S的含有率设定在上述范围内,能够不导致制造的烧结体的密度的大幅度降低,而更加提高制造的烧结体的切削性能。因此,通过向得到的烧结体施加切削加工,从而能够切削出所希望的形状。

[0155] 另外,还可以向粒子1添加B、Se、Te、Pd、Al等。这种情况下,这些元素的含有率并未特别限定,分别优选为小于0.1质量%,且合计小于0.2质量%。此外,有时也不可避免地含有这些元素。

[0156] 并且,在粒子1中可以含有杂质。作为杂质可以列举上述元素以外的所有元素,具体而言,例如可以列举Li、Be、Na、Mg、P、K、Ca、Sc、Zn、Ga、Ge、Ag、In、Sn、Sb、Os、Ir、Pt、Au、Bi等。这些杂质的混入量优选为分别小于所述粒子1的构成元素的含有率。另外,这些杂质的混入量优选设定为各个元素小于0.03质量%,更优选设定为小于0.02质量%。而且,优选为总计不足0.3质量%,更优选为总计不足0.2质量%。此外,如果这些元素的含有率在上述范围内,由于不会妨碍前述的效果,因而可以有意识地添加这些元素。

[0157] 另一方面,虽然O(氧)也可以有意添加或者不可避免地混入,其含量优选为约0.8质量%以下,更优选为约0.5质量%以下。通过将金属粉末中的氧含量控制在这个程度,从而烧结性变高,能够得到高密度且机械性能优异的烧结体。此外,虽然没有特别设定下限值,从量产容易性等的观点出发,优选为0.03质量%以上。

[0158] 另外,例如可以通过JIS G 1257(2000)规定的钢铁-原子吸收光谱分析法、JIS G

1258(2007)规定的钢铁-ICP发射光谱分析法、JIS G 1253(2002)规定的钢铁-火花放电原子发射光谱分析法、JIS G 1256(1997)规定的钢铁-X射线荧光光谱分析法、JIS G 1211~G 1237规定的重量、滴定、吸光光度法等,来确定粒子1的化学组成。具体而言,例如可以列举SPECTRO公司制造的固体发射光谱分析装置(火花放电原子发射光谱分析装置、型号:SPECTROLAB、规格:LAVMB08A)、以及(株式会社)Rigaku制造的ICP装置(CIROS120型号)。

- [0159] 此外,JIS G 1211~G 1237如下所述。
- [0160] JIS G 1211(2011)钢铁-碳定量方法
- [0161] JIS G 1212(1997)钢铁-硅定量方法
- [0162] JIS G 1213(2001)钢铁中的锰定量方法
- [0163] JIS G 1214(1998)钢铁-磷定量方法
- [0164] JIS G 1215(2010)钢铁-硫磺定量方法
- [0165] JIS G 1216(1997)钢铁-镍定量方法
- [0166] JIS G 1217(2005)钢铁-铬定量方法
- [0167] JIS G 1218(1999)钢铁-钼定量方法
- [0168] JIS G 1219(1997)钢铁-铜定量方法
- [0169] JIS G 1220(1994)钢铁-钨定量方法
- [0170] JIS G 1221(1998)钢铁-钒定量方法
- [0171] JIS G 1222(1999)钢铁-钴定量方法
- [0172] JIS G 1223(1997)钢铁-钛定量方法
- [0173] JIS G 1224(2001)钢铁中的铝定量方法
- [0174] JIS G 1225(2006)钢铁-砷定量方法
- [0175] JIS G 1226(1994)钢铁-锡定量方法
- [0176] JIS G 1227(1999)钢铁中的硼定量方法
- [0177] JIS G 1228(2006)钢铁-氮定量方法
- [0178] JIS G 1229(1994)钢-铅定量方法
- [0179] JIS G 1232(1980)钢中的锆定量方法
- [0180] JIS G 1233(1994)钢-硒定量方法
- [0181] JIS G 1234(1981)钢中的碲定量方法
- [0182] JIS G 1235(1981)钢铁中的锑定量方法
- [0183] JIS G 1236(1992)钢中的钽定量方法
- [0184] JIS G 1237(1997)钢铁-铌定量方法
- [0185] 另外,当确定C(碳)以及S(硫)时,特别也使用JIS G 1211(2011)规定的氧气流燃烧(高频感应加热炉燃烧)-红外吸收法。具体而言,可以列举LECO公司制造的碳/硫分析装置CS-200。
- [0186] 并且,当确定N(氮)以及O(氧)时,特别也使用JIS G 1228(2006)规定的钢铁的氮定量方法、JIS Z 2613(2006)规定的金属材料的氧定量方法。具体而言,可以列举LECO公司制造的氧/氮分析装置TC-300/EF-300。
- [0187] 另外,如上所述的粒子1优选为,尽可能多地含于粉末冶金用金属粉末中,具体而言,在个数比上,优选为含有50%以上,更优选为含有60%以上。根据这种的粉末冶金用金

属粉末,粒子1能够更可靠地发挥带来的如上所述的效果。

[0188] 此外,所述比例可以根据以下方式求出:任意抽取粉末冶金用金属粉末中的20个以上的粒子,在此之中有多少个如上所述的粒子1。

[0189] 另外,本发明的粉末冶金用金属粉末的平均粒径优选为0.5μm以上30μm以下,更优选为1μm以上20μm以下,进一步优选为2μm以上10μm以下。通过使用这样的粒径的粉末冶金用金属粉末,由于残存在烧结体中的空孔极少,所以能够制造特别高密度且机械性能优异的烧结体。

[0190] 另外,平均粒径在通过激光衍射法得到的质量基准下的累积粒度分布中,作为累积量从小径侧成为50%时的粒径而求得。

[0191] 另外,当粉末冶金用金属粉末的平均粒径低于上述下限值时,成形难的形状的情况下,存在成形性降低,烧结密度降低的可能性,当超过上述上限值时,由于成形时粒子间的间隙变大,终究也存在烧结密度降低的可能性。

[0192] 另外,粉末冶金用金属粉末的粒度分布优选尽量狭窄。具体而言,如果粉末冶金用金属粉末的平均粒径在上述范围内,则最大粒径优选在200μm以下,更优选为150μm以下。通过将粉末冶金用金属粉末的最大粒径控制在上述范围内,能够使粉末冶金用金属粉末的粒度分布更狭窄,能够实现烧结体的更高密度化。

[0193] 另外,上述最大粒径是指在通过激光衍射法得到的质量基准下的累积粒度分布中,累积量从小径侧成为99.9%时的粒径。

[0194] 另外,将粉末冶金用金属粉末的粒子的短径设为S[μm],长径设为L[μm]时,以S/L定义的长宽比的平均值优选为大约0.4以上1以下,更优选为大约0.7以上1以下。这样的长宽比的粉末冶金用金属粉末由于其形状比较接近球形,所以提高成形时的填充率。其结果,能够实现烧结体的更高密度化。

[0195] 另外,上述长径是指在粒子的投影图像中能够取得的最大长度,上述短径是指在与长径正交方向上能够取得的最大长度。另外,长宽比的平均值作为测定100个以上粒子的长宽比的值的平均值而求得。

[0196] 另外,本发明的粉末冶金用金属粉末的振实密度优选为3.5g/cm<sup>3</sup>以上,更优选为4g/cm<sup>3</sup>以上。如果是这样振实密度大的粉末冶金用金属粉末,则得到成形体时,粒子间的填充性变得特别高。因此,最终能够得到特别致密的烧结体。

[0197] 另外,本发明的粉末冶金用金属粉末的比表面积并未特别限定,优选为0.1m<sup>2</sup>/g以上,更优选为0.2m<sup>2</sup>/g以上。如果是这样比表面积大的粉末冶金用金属粉末,则由于表面的活性(表面能量)增高,所以即使赋予较少的能量也能够容易地烧结。因此,烧结成形体时,难以产生成形体的内侧与外侧烧结速度的差,能够抑制在内侧残存空孔而烧结密度降低。

[0198] 烧结体的制造方法

[0199] 下面,对使用这样的本发明的粉末冶金用金属粉末制造烧结体的方法进行说明。

[0200] 制造烧结体的方法具有:A、准备烧结体制造用的组成物的组成物配制工序;B、制造成形体的成形工序;C、施加脱脂处理的脱脂工序;以及D、进行烧成的烧成工序。下面,依次对各个工序进行说明。

[0201] A、组成物配制工序

[0202] 首先,准备本发明的粉末冶金用金属粉末和粘合剂,通过混炼机将其混炼,从而得

到混炼物(组成物)。

[0203] 在该混炼物(本发明的复合物的实施方式)中,粉末冶金金属粉末均匀分散。

[0204] 本发明的粉末冶金用金属粉末,通过例如,雾化法(例如,水雾化法、气体雾化法、高速旋转水流雾化法等)、还原法、羧酸法、粉碎法等各种粉末化方法而制造。

[0205] 其中,本发明的粉末冶金用金属粉末优选为通过雾化法制造而成,更优选为通过水雾化法或高速旋转水流雾化法制造而成。雾化法是通过使熔融金属(金属溶液)与高速喷射的流体(液体或气体)碰撞,使熔融金属粉末化并冷却,从而制造金属粉末的方法。通过这样的雾化法制造粉末冶金用金属粉末,能够有效制造极其细小的粉末。另外,得到的粉末的粒子形状由于表面张力的作用而接近球形。因此,成形时能够得到高填充率。即,能够得到可以制造高密度的烧结体的粉末。而且,由于金属溶液的冷却速度变得非常快,因此,第二区域P2及第三区域P3能够得到分布更加均匀的粒子1。

[0206] 另外,作为雾化法,当使用水雾化法时,向熔融金属喷射的水(下面,成为“雾化水”)的压力并未特别限定,优选为大约75MPa以上120MPa以下(750kgf/cm<sup>2</sup>以上1200kgf/cm<sup>2</sup>以下),更优选为大约90MPa以上120MPa以下(900kgf/cm<sup>2</sup>以上1200kgf/cm<sup>2</sup>以下)。

[0207] 另外,雾化水的水温也未特别限定,优选为大约1℃以上20℃以下。

[0208] 并且,雾化水在熔融金属的下落路径上具有顶点,以外径向下方渐减的圆锥状喷射的情况为多。此时,雾化水形成的圆锥的顶角θ优选为大约10°以上40°以下,更优选为大约15°以上35°以下。由此,能够可靠地制造如上所述的组成的粉末冶金用金属粉末。

[0209] 另外,根据水雾化法(特别是高速旋转水流雾化法),能够特别快速冷却熔融金属。因此,在广泛的合金组成中能够得到高品质的粉末。

[0210] 另外,在雾化法中冷却熔融金属时的冷却速度优选为 $1 \times 10^4$ ℃/s以上,更优选为 $1 \times 10^5$ ℃/s以上。通过这种快速的冷却,能够得到均质的粉末冶金用金属粉末。其结果能够得到高品质的烧结体。此外,在粒子1中的如上所述的结晶质的体积占有率,会根据制造粉末冶金用金属粉末时的条件(例如合金组成或制造条件等)相应变化。例如在提高了冷却速度的情况(例如 $1 \times 10^5$ ℃/s以上的情况)下,非晶质或金属玻璃会稍变多,在降低了冷却速度的情况(例如为 $1 \times 10^4$ ℃/s以上小于 $1 \times 10^5$ ℃/s的情况)下,存在结晶质会有稍变多的倾向。

[0211] 另外,根据需要,可以对如此得到的粉末冶金用金属粉末进行分级。作为分级的方法,例如可以举出筛选分级、惯性分级、离心分级之类的干式分级、沉降分级之类的湿式分级等。

[0212] 另一方面,作为粘合剂,例如可以举出聚乙烯、聚丙烯、乙烯-乙酸乙烯酯共聚物等聚烯烃、聚甲基丙烯酸甲酯、聚甲基丙烯酸丁酯等丙烯酸类树脂、聚苯乙烯等苯乙烯类树脂、聚氯乙烯、聚偏氯乙烯、聚酰胺、聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚对苯二甲酸丁二醇酯等聚酯、聚醚、聚乙烯醇、聚乙烯吡咯烷酮或这些的共聚物等各种树脂、各种蜡、石蜡、高级脂肪酸(例如硬脂酸)、高级醇、高级脂肪酸酯、高级脂肪酸酰胺等各种有机粘合剂,并且能够使用这些中的一种或两种以上混合使用。

[0213] 另外,粘合剂的含有率优选为大约混炼物整体的2质量%以上20质量%以下,更优选为大约5质量%以上10质量%以下。通过粘合剂的含有率在上述范围内,能够形成成形性好的成形体,并能够提高密度,能够使成形体的形状的安定性等特别优异。另外,能够

使成形体与脱脂体的大小的差、所谓的收缩率最优化,防止最终得到的烧结体的尺寸精度降低。即,能够得到高密度且尺寸精度高的烧结体。

[0214] 另外,在混炼物中,根据需要,可以添加增塑剂。作为该增塑剂例如可以举出邻苯二甲酸酯(例如:DOP、DEP、DBP)、己二酸酯、偏苯三酸酯、癸二酸酯等,能够使用这些中的一种或两种以上混合使用。

[0215] 而且,在混炼物中,除了粉末冶金用金属粉末、粘合剂、增塑剂之外,根据需要,例如能够添加润滑剂、抗氧化剂、脱脂促进剂、表面活性剂等各种添加剂。

[0216] 另外,混炼条件随着使用的粉末冶金用金属粉末的金属组成、粒径、粘合剂的组成及这些调配量等诸多条件不同而不同,列举其中一例,混炼温度能够设为大约50℃以上200℃以下,混炼时间能够设为大约15分以上210分以下。

[0217] 另外,根据需要,对混炼物进行粒子(小块)化。粒子的粒径例如大约为1mm以上15mm以下。

[0218] 另外,根据后述的成形方法,代替混炼物,可以制造造粒粉末。这些混炼物及造粒粉末等是提供给后述成形工序的组成物的一个例子。

[0219] 本发明的造粒粉末的实施方式是通过对本发明的粉末冶金用金属粉末施加造粒处理,利用粘合剂将多个金属粒子彼此粘结而成。

[0220] 作为用于造粒粉末的制造的粘合剂,例如可以举出聚乙烯、聚丙烯、乙烯-乙酸乙烯酯共聚物等聚烯烃、聚甲基丙烯酸甲酯、聚甲基丙烯酸丁酯等丙烯酸类树脂、聚苯乙烯等苯乙烯类树脂、聚氯乙烯、聚偏氯乙烯、聚酰胺、聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚对苯二甲酸丁二醇酯等聚酯、聚醚、聚乙烯醇、聚乙烯吡咯烷酮或这些共聚物等各种树脂、各种蜡、石蜡、高级脂肪酸(例如硬脂酸)、高级醇、高级脂肪酸酯、高级脂肪酸酰胺等各种有机粘合剂,并且能够使用这些中的一种或两种以上混合使用。

[0221] 其中,作为粘合剂优选含有聚乙烯醇或聚乙烯吡咯烷酮。这些粘合剂成分由于粘结性高,即使较少量也能够高效率地形成造粒粉末。另外,由于热分解性也高,所以脱脂及烧成时,可以可靠地在短时间分解、去除。

[0222] 另外,粘合剂的含有率优选为大约造粒粉末整体的0.2质量%以上10质量%以下,更优选为大约0.3质量%以上5质量%以下,进一步优选为0.3质量%以上2质量%以下。通过粘合剂的含有率在上述范围内,能够造粒非常大的粒子,抑制没有造粒的金属粒子大量残存,并能够有效形成造粒粉末。另外,由于成形性提高,能够使成形体的形状的安定性等特别优异。另外,通过使粘合剂的含有率在上述范围内,能够使成形体与脱脂体的大小之间的差、所谓的收缩率最优化,能够防止最终得到的烧结体的尺寸精度的降低。

[0223] 并且,在造粒粉末中,根据需要,可以添加增塑剂、润滑剂、抗氧化剂、脱脂促进剂、表面活性剂等各种添加剂。

[0224] 另一方面,作为造粒处理,例如可以举出喷雾干燥法、旋转造粒法、流动层造粒法、旋转流动造粒法等。

[0225] 另外,在造粒处理中,根据需要,使用溶解粘合剂的溶剂。这样的溶剂包括,例如可以举出水、四氯化碳之类的无机溶剂、酮溶剂、醇溶剂、醚溶剂、溶纤剂类溶剂、脂肪族烃类溶剂、芳香族烃类溶剂、芳香族杂环化合物类溶剂、酰胺类溶剂、卤素化合物类溶剂、酯溶剂、胺溶剂、腈溶剂、硝基类溶剂、乙醛类溶剂之类的有机溶剂等,并且能够使用从这些中选

择的一种或两种以上的复合物。

[0226] 造粒粉末的平均粒径并未特别限定,优选为大约10μm以上200μm以下,更优选为大约20μm以上100μm以下,进一步优选为大约25μm以上60μm以下。这样的粒径的造粒粉末具有良好的流动性,并能够更忠实地反映成形模具的形状。

[0227] 另外,平均粒径在根据激光衍射法得到的质量基准下的累积粒度分布中,作为累积量从小径侧变为50%时的粒径而求得。

[0228] B、成形工序

[0229] 下面,使混炼物或造粒粉末成形,制造与目标烧结体相同形状的成形体。

[0230] 作为成形体的制造方法(成形方法)并未特别限定,例如能够使用压粉成形(压缩成形)法、金属粉末注射成形(MIM: Metal Injection Molding)法、挤出成形法等各种成形法。

[0231] 其中,压粉成形法时的成形条件随着使用的粉末冶金用金属粉末的组成、粒径、粘合剂的组成、以及这些的调配量等的诸多条件不同而不同,成形压力优选为200MPa以上1000Mpa以下(2t/cm<sup>2</sup>以上10t/cm<sup>2</sup>以下)程度。

[0232] 另外,金属粉末注射成形法时的成形条件虽然随着诸多条件而不同,但是材料温度优选为大约80℃以上210℃以下,注射压力优选为大约50MPa以上500MPa以下(0.5t/cm<sup>2</sup>以上5t/cm<sup>2</sup>以下)。

[0233] 另外,挤出成形法时的成形条件虽然随着诸多条件而不同,材料温度优选大约为80℃以上210℃以下,挤出压力优选大约为50MPa以上500MPa以下(0.5t/cm<sup>2</sup>以上5t/cm<sup>2</sup>以下)。

[0234] 由此得到的成形体形成在金属粉末的多个粒子的间隙中粘合剂均匀分布的状态。

[0235] 另外,制作的成形体的形状尺寸通过预计之后的脱脂工序及烧成工序中的成形体的收缩率而决定。

[0236] C、脱脂工序

[0237] 下面,对得到的成形体施加脱脂处理(脱粘合剂处理),得到脱脂体。

[0238] 具体而言,通过加热成形体,使粘合剂分解,从成形体中除去粘合剂,完成脱脂处理。

[0239] 该脱脂处理例如可以举出加热成形体的方法、将成形体暴露在使粘合剂分解的气体中的方法等。

[0240] 使用加热成形体的方法时,成形体的加热条件虽然随着粘合剂的组成和调配量不同而稍微不同,但是优选大约为温度100℃以上750℃以下×0.1小时以上20小时以下,更优选为150℃以上600℃以下×0.5小时以上15小时以下。由此,能够必要且充分地进行成形体的脱脂而不使成形体烧结。其结果,能够可靠地防止粘合剂成分大量残存在脱脂体的内部。

[0241] 另外,加热成形体时的气体气氛并未特别限定,可以举出氢气之类的还原性气体气氛,氮气、氩气之类的惰性气体气氛,大气之类的氧化性气体气氛,或者将这些气体减压后的减压气体气氛等。

[0242] 另一方面,作为使粘合剂分解的气体例如可以举出臭氧气体等。

[0243] 另外,这种脱脂工序通过分开进行脱脂条件不同的多个过程(步骤),能够更快速、且不残存在成形体中地分解、去除成形体中的粘合剂。

[0244] 另外,根据需要,可以对脱脂体施加切削、研磨、切断等机械加工。脱脂体由于硬度比较低,且可塑性较大,因此能够防止脱脂体的形状变形,且能够容易地施加机械加工。通过这种机械加工,最终能够容易地得到尺寸精度高的烧结体。

[0245] D、烧成工序

[0246] 将上述工序C中得到的脱脂体在烧成炉中烧成从而得到烧结体。

[0247] 通过该烧成,粉末冶金用金属粉末在粒子彼此的界面发生扩散,完成烧结。此时,通过如上所述的机理,脱脂体被快速烧结。其结果,能够得到整体的致密的高密度的烧结体。

[0248] 烧成温度虽然随着用于成形体及脱脂体的制造的粉末冶金用金属粉末的组成和粒径等而不同,但是作为一个例子为大约980℃以上1330℃以下。另外,优选大约为1050℃以上1260℃以下。

[0249] 另外,烧成时间为0.2小时以上7小时以下,优选为大约1小时以上6小时以下。

[0250] 另外,在烧成工序中,可以中途改变烧成温度和后述的烧成气体气氛。

[0251] 通过将烧成条件设定在这种范围内,既能够防止烧结进行过度成为过度烧结、结晶组织膨胀,又能够使脱脂体整体充分烧结。其结果,能够得到高密度且机械性能特别优异的烧结体。

[0252] 另外,由于烧成温度比较低,所以通过烧成炉容易将加热温度控制为一定,因此,脱脂体的温度也容易为一定。其结果,能够制造更均质的烧结体。

[0253] 并且,如上所述的烧成温度由于是通过一般的烧成炉可以充分实现的烧成温度,所以可以使用廉价的烧成炉,也能够抑制运行成本。换言之,当超过上述烧成温度时,需要利用使用特殊耐热材料的高价烧成炉,而且也存在运行成本变高的可能性。

[0254] 另外,烧成时的气体气氛虽然并未特别限定,但是考虑防止金属粉末的显著氧化时,优选使用氢气这种还原性气体气氛,氩气这种惰性气体气氛,或者将这些气体气氛减压后的减压气体气氛等。

[0255] 如此得到的烧结体成为高密度且机械性能优异的烧结体。即,将含有本发明的粉末冶金用金属粉末与粘合剂的组成物成形后,进行脱脂、烧结后制造成的烧结体与烧结现有的金属粉末而成的烧结体相比,相对密度增高。因此,如果是本发明,则能够不施加HIP处理这种附加处理,而实现如果不施加附加处理则无法达到的高密度的烧结体。

[0256] 具体而言,根据本发明,虽然由于粉末冶金用金属粉末的组成而稍微不同,但是作为一个例子与现有技术相比能够期望2%以上的相对密度的提高。

[0257] 其结果,得到的烧结体的相对密度作为一个例子能够期望达到97%以上(优选为98%以上,更优选为98.5%以上)。具有这种范围的相对密度的烧结体,尽管通过利用粉末冶金技术而具有无限接近目标形状的形状,但是由于具有匹敌锭材的优异的机械性能,所以可以几乎不施加后加工而适用于各种机械部件和构造部件等。

[0258] 另外,将含有本发明的粉末冶金用金属粉末与粘合物的组成物成形后,进行脱脂、烧结后制造成的烧结体,其抗拉强度和0.2%屈服强度比使用现有的金属粉末同样地烧结而成的烧结体的抗拉强度和0.2%屈服强度增大。可以认为,这是因为通过将合金组成和粒子构造最优化,从而提高了金属粉末的烧结性,由此制造的烧结体的机械性能提高。

[0259] 另外,如上所述制造而成的烧结体的表面为高硬度。具体而言,虽然随着粉末冶金

用金属粉末的组成不同而稍微不同,但例如在以奥氏体不锈钢为基准组成的情况下,表面的维氏硬度能够期待达到140以上500以下。另外,期待优选为150以上400以下。另外,例如在以马氏体不锈钢为基准组成的情况下,表面的维氏硬度能够期待达到570以上1200以下。另外,期待优选为600以上1000以下。具有这种的硬度的烧结体会具有特别高的耐久性。

[0260] 另外,即使不施加附加处理,烧结体也具有足够的高密度与机械性能,但是为了实现更高密度化及提高机械性能,也可以施加各种附加处理。

[0261] 作为该附加处理,例如可以是上述的HIP处理这样的实现高密度化的附加处理,也可以是各种淬火处理、各种深冷处理、各种回火处理等。这些附加处理可以单独进行,也可以多个组合进行。

[0262] 另外,上述的烧成工序和各种附加处理中,金属粉末中(烧结体中)的轻元素挥发,最终得到的烧结体的组成有时从金属粉末中的组成稍微改变。

[0263] 例如,关于C虽然随着工序条件和处理条件不同而不同,但是最终烧结体中的含有率存在在粉末冶金用金属粉末中的含有率的5%以上100%以下的范围内(优选30%以上100%以下的范围内)变化的可能性。

[0264] 另外,0也同样,虽然随着工序条件和处理条件不同而不同,但是最终烧结体中的含有率存在在粉末冶金用金属粉末中的含有率的1%以上50%以下的范围内(优选为3%以上50%以下的范围内)变化的可能性。

[0265] 另一方面,如上所述,制造成的烧结体可以在根据需要进行的附加处理的一环进行HIP处理,但有时即使进行HIP处理,也不能充分发挥效果。HIP处理虽然能够实现烧结体的更高密度化,但是最初本发明中得到烧结体在烧成工序结束时已经实现充分的高密度化。因此,即使进一步实施HIP处理,也很难进行进一步的高密度化。

[0266] 此外,在HIP处理中,由于需要通过压力介质加压被处理物,因此存在被处理物被污染,随着污染产生被处理物的组成与物理性质未预料的变化,以及随着污染被处理物变色的可能性。另外,还存在如下的可能性:由于被加压而在被处理物内产生或增加残存的应力,导致伴随着这些残存的应力随着时间被释放,而产生变形或尺寸精确度降低这样的问题。

[0267] 对此,根据本发明,由于可以不施加这样的HIP处理而制造充分密度高的烧结体,所以能够得到实现了与实施了HIP处理时相同的高密度化及高强度的烧结体。并且,这样的烧结体污染、变色、未预料的组成及物性的变化等少,变形和尺寸精度降低这种问题的发生也少。因此,根据本发明,能够有效地制造机械强度及尺寸精确度高,耐久性优异的烧结体。

[0268] 另外,本发明中制造出的烧结体由于几乎没有必要进行用于提高机械性能的附加处理,所以组成和结晶组织在整个烧结体中容易变得均匀。因此,结构各向同性高,无论形状如何对于来自所有方向的负荷耐久性都优异。

[0269] 另外已经确认,在这样制造出的烧结体中,其表面附近的空孔率比内部空孔率相对变小的情况多。出现这种情况的理由虽然不明确,但是可以列举出由于添加第一元素和第二元素,与成形体的内部相比,在表面附近烧结反应更容易进行。

[0270] 具体而言,将烧结体的表面附近的空孔率设为A1,烧结体的内部的空孔率设为A2时,A2-A1优选为0.1%以上3%以下,更优选为0.2%以上2%以下。A2-A1在这种范围的烧结体具有必要且充分的机械强度,另一方面,可以使表面容易平坦化。即,通过研磨这种烧结

体的表面,能够得到镜面性高的表面。

[0271] 这样的镜面性高的烧结体不仅机械强度变高,而且具有优异的美感。因此,这种烧结体也适用于要求优美外观的用途。

[0272] 另外,烧结体的表面附近的空孔率A1是指烧结体的截面中,以距离表面50 $\mu\text{m}$ 的深度的位置为中心半径25 $\mu\text{m}$ 的范围内的空孔率。另外,烧结体的内部的空孔率A2是指烧结体的截面中,以距离表面300 $\mu\text{m}$ 的深度的位置为中心半径25 $\mu\text{m}$ 的范围内的空孔率。这些空孔率是通过扫描型电子显微镜观察烧结体的截面,上述范围内存在的空孔的面积用上述范围的面积除后所得到的值。

[0273] 以上,对于本发明的粉末冶金用金属粉末、复合物、造粒粉末及烧结体,虽然基于优选的实施方式进行了说明,但是本发明不限定于此。

[0274] 另外,本发明的烧结体用于例如汽车部件、自行车部件、铁路车辆部件、船舶部件、飞机部件、宇宙运输机(例如机器人等)部件之类的输送设备部件、计算机部件、移动电话终端部件之类的电子设备部件、冰箱、洗衣机、空调之类的电气设备部件、工作机械、半导体制造装置之类的机械部件、核电厂、热电厂、水力发电厂、炼油厂、化学联合企业之类的工厂设备部件、手表部件、金属餐具、珠宝饰品、眼镜架之类的装饰品等等所有的构造部件。

[0275] 实施例

[0276] 下面,对本发明的实施例进行说明。

[0277] 1. 烧结体(Zr-Nb系)的制造

[0278] (样本No. 1)

[0279] 1、首先,准备通过水雾化法制造出的表1所示的组成的金属粉末。另外,该金属粉末的平均粒径为4.05 $\mu\text{m}$ ,振实密度为4.15g/cm<sup>3</sup>,比表面积为0.21m<sup>2</sup>/g。

[0280] 另外,表1所示的粉末的组成通过电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP分析法)进行了鉴定、定量。另外,在ICP分析中,使用了(株式会社)Rigaku制造的ICP装置(CIROS120型)。另外,C的鉴定、定量使用了LECO公司制造的碳/硫分析装置(CS-200)。而且,O的鉴定、定量使用了LECO公司制造的氧/氮分析装置(TC-300/EF-300)。

[0281] 2、其次,将金属粉末与聚丙烯和蜡的复合物(有机粘合剂)称量混合达到质量比9:1,得到混合原料。

[0282] 3、然后,将该混合原料在混炼机中进行混炼,从而得到复合物。

[0283] 4、其次,将该复合物按照下面示出的成形条件,在注射成形机成形,制造出成形体。

[0284] 成形条件

[0285] 材料温度:150°C

[0286] 注射压力:11MPa (110kgf/cm<sup>2</sup>)

[0287] 5、其次,对得到的成形体,按照下面示出的脱脂条件施加热处理(脱脂处理),得到脱脂体。

[0288] 脱脂条件

[0289] 脱脂温度:500°C

[0290] 脱脂时间:1小时(脱脂温度下的保持时间)

[0291] 脱脂气体气氛:氮气气氛

[0292] 6、其次,将得到脱脂体,按照下面示出的烧成条件进行烧成。由此,得到烧结体。另外,烧结体的形状为直径10mm,厚度5mm的圆筒形状。

[0293] 烧成条件

[0294] 烧成温度:1200℃

[0295] 烧成时间:3小时(烧成温度下的保持时间)

[0296] 烧成气体气氛:氩气气氛

[0297] (样本No.2~30)

[0298] 除了如表1所示改变粉末冶金用金属粉末的组成等之外,其余分别与样本No.1的烧结体的制造方法相同地得到烧结体。另外,对于样本No.30的烧结体,烧成后,在下述条件下施加了HIP处理。另外,样本No.18~20的烧结体分别使用通过气体雾化法制造成的金属粉末而得到。另外,表1的备注栏中标明为“气体”。

[0299] HIP处理条件

[0300] 加热温度:1100℃

[0301] 加热时间:2小时

[0302] 加压力:100Mpa

[0303] 表1

		粉末冶金用金属粉末														
		合金组成										E1/E2	E1+E2	(E1+E2)/Si	(E1+E2)/C	备注
样本 No.	—	Cr	Ni	Si	C	E1 (Zr)	E2 (Nb)	Mo	Mn	O	Fe					
		质量 %										—	质量 %	—	—	—
No.1	实施例	16.43	12.48	0.73	0.018	0.09	0.07	2.11	0.06	0.28	剩余部分	1.29	0.16	0.22	8.89	
No.2	实施例	17.12	12.63	0.58	0.023	0.07	0.05	2.43	0.12	0.31	剩余部分	1.40	0.12	0.21	5.22	
No.3	实施例	17.87	13.24	0.65	0.029	0.05	0.09	2.04	0.07	0.42	剩余部分	0.56	0.14	0.22	4.83	
No.4	实施例	16.19	14.71	0.84	0.011	0.05	0.05	2.89	0.08	0.25	剩余部分	1.00	0.10	0.12	9.09	
No.5	实施例	17.55	13.88	0.75	0.026	0.09	0.10	2.61	0.11	0.36	剩余部分	0.90	0.19	0.25	7.31	
No.6	实施例	16.79	11.58	0.52	0.068	0.12	0.03	2.74	0.12	0.22	剩余部分	4.00	0.15	0.29	2.21	
No.7	实施例	17.49	13.21	0.69	0.054	0.03	0.12	2.15	0.79	0.41	剩余部分	0.25	0.15	0.22	2.78	
No.8	实施例	16.88	14.15	0.77	0.024	0.24	0.09	2.23	0.28	0.48	剩余部分	2.67	0.33	0.43	13.75	
No.9	实施例	17.32	12.65	0.48	0.021	0.08	0.26	2.81	0.17	0.29	剩余部分	0.31	0.34	0.71	16.19	
No.10	实施例	17.25	12.87	0.35	0.065	0.09	0.05	2.15	0.35	0.62	剩余部分	1.80	0.14	0.40	2.15	
No.11	实施例	17.66	12.55	0.96	0.017	0.07	0.07	2.24	0.05	0.25	剩余部分	1.00	0.14	0.15	8.24	
No.12	实施例	16.87	12.91	1.12	0.025	0.15	0.19	2.13	0.05	0.25	剩余部分	0.79	0.34	0.30	13.60	
No.13	实施例	16.78	12.19	0.54	0.019	0.36	0.42	2.25	0.07	0.58	剩余部分	0.86	0.78	1.44	41.05	
No.14	实施例	16.77	12.89	0.91	0.024	0.14	0.17	2.13	0.05	0.25	剩余部分	0.82	0.31	0.34	12.92	
No.15	实施例	16.47	12.57	0.87	0.023	0.13	0.15	2.04	0.05	0.25	剩余部分	0.87	0.28	0.32	12.17	
No.16	实施例	16.75	12.58	0.68	0.007	0.05	0.09	2.84	0.12	0.28	剩余部分	0.56	0.14	0.21	20.00	
No.17	实施例	17.22	13.54	0.84	0.152	0.08	0.05	2.84	0.12	0.28	剩余部分	1.80	0.13	0.15	0.86	
No.18	实施例	16.45	12.55	0.72	0.023	0.08	0.08	1.95	0.08	0.07	剩余部分	1.00	0.16	0.22	6.96	气体
No.19	实施例	17.26	12.57	0.59	0.032	0.07	0.06	2.64	0.02	0.08	剩余部分	1.17	0.13	0.22	4.06	气体
No.20	实施例	17.64	13.41	0.63	0.015	0.04	0.07	2.04	0.06	0.10	剩余部分	0.57	0.11	0.17	7.33	气体
No.21	比较例	16.34	12.84	0.75	0.025	0.00	0.07	2.36	0.11	0.29	剩余部分	0.00	0.07	0.09	2.80	
No.22	比较例	17.22	13.32	0.79	0.032	0.05	0.00	2.28	0.09	0.31	剩余部分	—	0.05	0.06	1.56	
No.23	比较例	16.75	14.23	0.75	0.015	0.00	0.00	2.33	0.12	0.33	剩余部分	—	0.00	0.00	0.00	
No.24	比较例	16.43	12.45	0.88	0.021	0.68	0.07	2.58	0.11	0.38	剩余部分	9.71	0.75	0.85	35.71	
No.25	比较例	16.35	13.04	0.66	0.035	0.06	0.71	2.36	0.05	0.41	剩余部分	0.08	0.77	1.17	22.00	
No.26	比较例	17.56	13.25	0.15	0.011	0.06	0.07	2.77	0.11	0.27	剩余部分	0.86	0.13	0.87	11.82	
No.27	比较例	17.63	13.54	1.95	0.061	0.04	0.08	2.89	0.32	0.45	剩余部分	0.50	0.12	0.06	1.97	
No.28	比较例	17.56	13.25	0.66	0.002	0.01	0.01	2.77	0.11	0.27	剩余部分	1.00	0.02	0.03	10.00	
No.29	比较例	17.56	13.25	0.35	0.380	0.22	0.07	2.68	0.24	0.45	剩余部分	3.14	0.29	0.83	0.76	
No.30	比较例	16.34	12.84	0.75	0.025	0.00	0.07	2.36	0.11	0.29	剩余部分	—	0.07	0.09	2.80	HIP 处理

[0305] 另外,在表1中,各样本No.的烧结体中,相当于本发明的为“实施例”,不相当于本发明的为“比较例”。

[0306] 另外,在各烧结体虽然包含微量的杂质,但在表1中省略记载。

[0307] (样本No.31~48)

[0308] 除了如表2所示改变粉末冶金用金属粉末的组成等之外,其余分别与样本No.1的烧结体的制造方法相同地得到烧结体。另外,对于样本No.48的烧结体,烧成后,在下述条件下施加了HIP处理。另外,样本No.41~43的烧结体分别使用通过气体雾化法制造成的金属粉末而得到。另外,在表2的备注栏中标明为“气体”。

[0309] HIP处理条件

- [0310] 加热温度:1100°C  
 [0311] 加热时间:2小时  
 [0312] 加压力:100MPa  
 [0313] 表2

样本 No.	—	粉末冶金用金属粉末											(E1+E2) /Si	(E1+E2) /C	备注		
		合金组成										E1/E2	E1+E2				
		Cr	Ni	Si	C	E1 (Zr)	E2 (Nb)	Mo	Mn	O	Fe						
[0314]	质量 %												—	质量 %	—	—	—
	No.31	实施例	18.94	13.59	0.77	0.048	0.11	0.09	3.48	0.08	0.48	剩余部分	1.22	0.20	0.26	4.17	
	No.32	实施例	18.15	14.75	0.51	0.021	0.08	0.08	3.08	0.95	0.42	剩余部分	1.00	0.16	0.31	7.62	
	No.33	实施例	19.63	11.39	0.32	0.074	0.09	0.05	3.92	0.35	0.62	剩余部分	1.80	0.14	0.44	1.89	
	No.34	实施例	18.67	13.44	0.98	0.065	0.18	0.04	3.32	0.07	0.28	剩余部分	4.50	0.22	0.22	3.38	
	No.35	实施例	18.03	14.87	0.51	0.005	0.04	0.08	3.15	0.02	0.35	剩余部分	0.50	0.12	0.24	24.00	
	No.36	实施例	19.78	12.35	0.42	0.178	0.09	0.08	3.87	0.35	0.62	剩余部分	1.13	0.17	0.40	0.96	
	No.37	实施例	18.65	13.42	0.87	0.061	0.17	0.04	3.29	0.07	0.28	剩余部分	4.25	0.21	0.24	3.44	
	No.38	实施例	18.63	13.46	0.94	0.063	0.16	0.05	3.27	0.07	0.28	剩余部分	3.20	0.21	0.22	3.33	
	No.39	实施例	22.54	13.59	0.86	0.066	0.08	0.08	0.00	0.09	0.26	剩余部分	1.00	0.16	0.19	2.42	
	No.40	实施例	25.41	21.36	1.16	0.053	0.06	0.08	0.00	0.07	0.27	剩余部分	0.75	0.14	0.12	2.64	
	No.41	实施例	18.88	13.54	0.87	0.056	0.12	0.11	3.52	0.11	0.12	剩余部分	1.09	0.23	0.26	4.11	气体
	No.42	实施例	18.21	14.81	0.48	0.025	0.07	0.09	3.11	0.98	0.11	剩余部分	0.78	0.16	0.33	6.40	气体
	No.43	实施例	19.57	11.44	0.31	0.068	0.08	0.06	4.02	0.51	0.16	剩余部分	1.33	0.14	0.45	2.06	气体
	No.44	比较例	18.87	11.24	0.57	0.056	0.00	0.07	3.47	0.22	0.29	剩余部分	0.00	0.07	0.12	1.25	
	No.45	比较例	19.56	14.15	0.79	0.032	0.15	0.00	3.75	0.09	0.31	剩余部分	—	0.15	0.19	4.69	
	No.46	比较例	18.78	11.42	0.88	0.012	0.58	0.07	2.58	0.11	0.38	剩余部分	8.29	0.65	0.74	54.17	
	No.47	比较例	19.65	14.51	0.66	0.053	0.06	0.89	2.36	0.05	0.41	剩余部分	0.07	0.95	1.44	17.92	
	No.48	比较例	18.87	11.24	0.57	0.056	0.00	0.07	3.47	0.22	0.29	剩余部分	0.00	0.07	0.12	1.25	HIP 处理

[0315] 另外,在表2中,各样本No.的烧结体中,相当于本发明的为“实施例”,不相当于本发明的为“比较例”。

[0316] 另外,各烧结体虽然含有微量的杂质,但在表2中省略记载。

[0317] (样本No. 49~66)

[0318] 除了如表3所示改变粉末冶金用金属粉末的组成等以外,其余分别与样本No.1的烧结体的制造方法相同地得到烧结体。另外,对于样本No.66的烧结体,烧成后,在下述的条件下施加了HIP处理。另外,样本No.59~61的烧结体分别使用通过气体雾化法制造成的金属粉末而得到。另外,在表3的备注栏中标明为“气体”。

[0319] HIP处理条件

[0320] 加热温度:1100°C

[0321] 加热时间:2小时

[0322] 加压力:100MPa

[0323] 表3

		粉末冶金用金属粉末											E1/E2	E1+E2	$(E1+E2)/Si$	$(E1+E2)/C$	备注
		合金组成															
样本 No.	—	Cr	Ni	Si	C	E1 (Zr)	E2 (Nb)	Mo	Mn	O	Fe	—	质量 %	—	—	—	备注
		质量 %										—	质量 %	—	—	—	
No.49	实施例	19.21	8.34	0.62	0.038	0.08	0.06	0.00	0.21	0.48	剩余部分	1.33	0.14	0.23	3.68		
No.50	实施例	19.74	9.56	0.88	0.041	0.05	0.10	0.08	0.04	0.55	剩余部分	0.50	0.15	0.17	3.66		
No.51	实施例	18.30	10.12	0.44	0.019	0.15	0.09	0.05	0.07	0.68	剩余部分	1.67	0.24	0.55	12.63		
No.52	实施例	19.35	8.19	1.05	0.069	0.08	0.06	0.00	0.05	0.18	剩余部分	1.33	0.14	0.13	2.03		
No.53	实施例	19.45	9.65	0.88	0.007	0.05	0.10	0.08	0.00	0.55	剩余部分	0.50	0.15	0.17	21.43		
No.54	实施例	18.25	10.25	0.44	0.256	0.15	0.09	0.05	0.07	0.68	剩余部分	1.67	0.24	0.55	0.94		
No.55	实施例	20.58	21.54	1.15	0.074	0.05	0.09	0.00	1.23	0.75	剩余部分	0.56	0.14	0.12	1.89		
No.56	实施例	20.34	19.25	1.02	0.068	0.05	0.09	0.00	1.23	0.75	剩余部分	0.56	0.14	0.14	2.06		
No.57	实施例	16.58	7.45	0.56	0.128	0.06	0.08	0.05	0.48	0.25	剩余部分	0.75	0.14	0.25	1.09		
No.58	实施例	15.72	10.25	0.36	0.058	0.04	0.09	2.54	0.07	0.21	剩余部分	0.44	0.13	0.36	2.24		
No.59	实施例	19.11	8.43	0.64	0.045	0.07	0.07	0.00	0.23	0.12	剩余部分	1.00	0.14	0.22	3.11	气体	
No.60	实施例	19.72	9.65	0.85	0.048	0.06	0.11	0.09	0.05	0.14	剩余部分	0.55	0.17	0.20	3.54	气体	
No.61	实施例	18.25	10.21	0.46	0.015	0.12	0.12	0.06	0.09	0.18	剩余部分	1.00	0.24	0.52	16.00	气体	
No.62	比较例	19.11	8.48	0.74	0.064	0.00	0.05	0.00	0.18	0.28	剩余部分	0.00	0.05	0.07	0.78		
No.63	比较例	18.78	9.77	0.79	0.023	0.08	0.00	0.02	0.09	0.31	剩余部分	—	0.08	0.10	3.48		
No.64	比较例	18.42	8.21	0.39	0.012	0.69	0.07	0.03	0.11	0.38	剩余部分	9.86	0.76	1.95	63.33		
No.65	比较例	19.21	8.55	0.42	0.021	0.06	0.61	0.02	0.15	0.32	剩余部分	0.10	0.67	1.60	31.90		
No.66	比较例	19.11	8.48	0.74	0.064	0.00	0.05	0.00	0.18	0.28	剩余部分	0.00	0.05	0.07	0.78	HIP 处理	

[0325] 另外,在表3中,各样本No.的烧结体中,相当于本发明的为“实施例”,不相当于本发明的为“比较例”。

[0326] 另外,各烧结体虽然含有微量的杂质,但是表3中省略记载。

[0327] (样本No. 67)

[0328] 1、首先,与样本No.1的情况相同地,通过水雾化法制造出如表4所示的组成的金属粉末。

[0329] 2、其次,通过喷雾干燥法,对金属粉末进行造粒。此时使用的粘合剂是聚乙烯醇,使用了相对于金属粉末100质量部为1质量部的量。另外,相对于聚乙烯醇1质量部使用了50质量部的溶剂(离子交换水)。由此,得到平均粒径50μm的造粒粉末。

[0330] 3、然后,将该造粒粉末在如下所示的成形条件下压粉成形。另外,该成形使用了加压成形机。另外,制造的成形体的形状为20mm见方的立方体形状。

[0331] 成形条件

[0332] 材料温度:90℃

[0333] 成形压力:600MPa (6t/cm<sup>2</sup>)

[0334] 4、其次,对于得到的成形体,在如下所示的脱脂条件下施加热处理(脱脂处理),得到脱脂体。

[0335] 脱脂条件

[0336] 脱脂温度:450℃

[0337] 脱脂时间:2小时(脱脂温度下的保持时间)

- [0338] 脱脂气体气氛:氮气气氛
- [0339] 5、其次,将得到的脱脂体在如下所示的烧成条件下进行烧成。由此,得到烧结体。
- [0340] 烧成条件
- [0341] 烧成温度:1200℃
- [0342] 烧成时间:3小时(烧成温度下的保持时间)
- [0343] 烧成气体气氛:氩气气氛
- [0344] (样本No.68~85)
- [0345] 除了如表4所示改变粉末冶金用金属粉末的组成等之外,其余分别与样本No.67时相同地得到烧结体。另外,对样本No.85的烧结体,烧成后,按照下述的条件实施HIP处理。
- [0346] HIP处理条件
- [0347] 加热温度:1100℃
- [0348] 加热时间:2小时
- [0349] 加压力:100MPa
- [0350] 表4

样本 No.		粉末冶金用金属粉末											备注				
		合金组成										E1/E2	E1+E2	(E1+E2) /Si	(E1+E2) /C		
		Cr	Ni	Si	C	E1 (Zr)	E2 (Nb)	Mo	Mn	O	Fe						
		质量 %										—	质量 %	—	—	—	
No.67		实施例	16.43	12.48	0.73	0.018	0.09	0.07	2.11	0.06	0.28	剩余部分	1.29	0.16	0.22	8.89	压粉
No.68		实施例	17.12	12.63	0.58	0.023	0.07	0.05	2.43	0.12	0.31	剩余部分	1.40	0.12	0.21	5.22	压粉
No.69		实施例	17.87	13.24	0.65	0.029	0.05	0.09	2.04	0.07	0.42	剩余部分	0.56	0.14	0.22	4.83	压粉
No.70		实施例	16.19	14.71	0.84	0.011	0.05	0.05	2.89	0.08	0.25	剩余部分	1.00	0.10	0.12	9.09	压粉
No.71		实施例	17.55	13.88	0.75	0.026	0.09	0.10	2.61	0.11	0.36	剩余部分	0.90	0.19	0.25	7.31	压粉
No.72		实施例	16.79	11.58	0.52	0.068	0.12	0.03	2.74	0.12	0.22	剩余部分	4.00	0.15	0.29	2.21	压粉
No.73		实施例	17.49	13.21	0.69	0.054	0.03	0.12	2.15	0.79	0.41	剩余部分	0.25	0.15	0.22	2.78	压粉
No.74		实施例	16.88	14.15	0.77	0.024	0.24	0.09	2.23	0.28	0.48	剩余部分	2.67	0.33	0.43	13.75	压粉
No.75		实施例	17.32	12.65	0.48	0.021	0.08	0.26	2.81	0.17	0.29	剩余部分	0.31	0.34	0.71	16.19	压粉
No.76		实施例	17.25	12.87	0.35	0.065	0.09	0.05	2.15	0.35	0.62	剩余部分	1.80	0.14	0.40	2.15	压粉
No.77		实施例	17.66	12.55	0.96	0.017	0.07	0.07	2.24	0.05	0.25	剩余部分	1.00	0.14	0.15	8.24	压粉
No.78		实施例	16.87	12.91	1.12	0.025	0.15	0.19	2.13	0.05	0.25	剩余部分	0.79	0.34	0.30	13.60	压粉
No.79		实施例	16.78	12.19	0.54	0.019	0.36	0.42	2.25	0.07	0.58	剩余部分	0.86	0.78	1.44	41.05	压粉
No.80		比较例	16.34	12.84	0.75	0.025	0.00	0.07	2.36	0.11	0.29	剩余部分	0.00	0.07	0.09	2.80	压粉
No.81		比较例	17.22	13.32	0.79	0.032	0.05	0.00	2.28	0.09	0.31	剩余部分	—	0.05	0.06	1.56	压粉
No.82		比较例	16.75	14.23	0.75	0.015	0.00	0.00	2.33	0.12	0.33	剩余部分	—	0.00	0.00	0.00	压粉
No.83		比较例	16.43	12.45	0.88	0.021	0.68	0.07	2.58	0.11	0.38	剩余部分	9.71	0.75	0.85	35.71	压粉
No.84		比较例	16.35	13.04	0.66	0.035	0.06	0.71	2.36	0.05	0.41	剩余部分	0.08	0.77	1.17	22.00	压粉
No.85		比较例	16.34	12.84	0.75	0.025	0.00	0.07	2.36	0.11	0.29	剩余部分	—	0.07	0.09	2.80	HIP 处理

[0352] 另外,在表4中,各样本No.的粉末冶金用金属粉末及烧结体中,相当于本发明的为“实施例”,不相当于本发明的为“比较例”。

[0353] 另外,在各烧结体中虽然包含微量的杂质,但在表4中省略记载。

[0354] (样本No.86~101)

[0355] 除了如表5所示改变粉末冶金用金属粉末的组成等之外,其余分别与样本No.1的烧结体的制造方法相同的方法获得烧结体。

[0356] 表5

样本 No.		粉末冶金用金属粉末											备注					
		合金组成										E1/E2	E1+E2	(E1+E2) /Si	(E1+E2) /C			
		Cr	Ni	Si	C	E1 (Zr)	E2 (Nb)	Mo	Mn	O	Fe							
		质量 %										—	质量 %	—	—	—		
[0357]		No.86	实施例	3.98	0.08	0.69	1.437	0.07	0.07	4.97	0.00	0.19	剩余部分	1.00	0.14	0.20	0.10	W : 6.10 Co : 8.46
		No.87	实施例	4.11	0.11	0.74	1.423	0.11	0.04	4.88	0.00	0.28	剩余部分	2.75	0.15	0.20	0.11	W : 5.86 Co : 8.31
		No.88	实施例	4.03	0.05	0.63	1.479	0.05	0.12	5.09	0.00	0.25	剩余部分	0.42	0.17	0.27	0.11	W : 6.31 Co : 8.07
		No.89	实施例	4.11	0.06	0.79	1.426	0.05	0.00	5.11	0.00	0.23	剩余部分	—	0.05	0.06	0.04	W : 6.08 Co : 8.58
		No.90	实施例	1.06	0.02	0.73	0.724	0.08	0.08	0.19	0.78	0.25	剩余部分	1.00	0.16	0.22	0.22	
		No.91	实施例	0.98	0.02	0.74	0.698	0.11	0.04	0.16	0.81	0.26	剩余部分	2.75	0.15	0.20	0.21	
		No.92	实施例	1.04	0.03	0.82	0.711	0.05	0.12	0.21	0.63	0.24	剩余部分	0.42	0.17	0.21	0.24	Al : 0.02
		No.93	比较例	0.99	0.19	0.79	0.711	0.16	0.00	0.27	0.88	0.35	剩余部分	—	0.16	0.20	0.23	Al : 0.06
		No.94	实施例	12.88	0.07	0.73	0.900	0.07	0.07	0.00	0.10	0.27	剩余部分	1.00	0.14	0.19	0.16	
		No.95	实施例	13.37	0.10	0.64	0.850	0.10	0.05	0.00	0.08	0.25	剩余部分	2.00	0.15	0.23	0.18	
		No.96	实施例	12.54	0.06	0.75	0.980	0.05	0.10	0.00	0.11	0.29	剩余部分	0.50	0.15	0.20	0.15	
		No.97	比较例	12.95	0.10	0.78	0.760	0.04	0.00	0.00	0.08	0.31	剩余部分	—	0.04	0.05	0.05	
		No.98	实施例	16.43	4.12	0.73	0.018	0.09	0.32	0.00	0.00	0.28	剩余部分	0.28	0.41	0.56	22.78	Cu : 3.98
		No.99	实施例	16.19	3.89	0.36	0.052	0.05	0.29	0.00	0.00	0.25	剩余部分	0.17	0.34	0.94	6.54	Cu : 4.56
		No.100	实施例	16.88	4.05	1.63	0.069	0.12	0.18	0.00	0.00	0.36	剩余部分	0.67	0.30	0.18	4.35	Cu : 4.78
		No.101	比较例	17.18	3.54	0.62	0.024	0.05	0.00	0.00	0.00	0.32	剩余部分	—	0.05	0.08	2.08	Cu : 4.31

[0358] 另外,在表5中,各样本No.的烧结体中,相当于本发明的为“实施例”,不相当于本发明的为“比较例”。

[0359] 另外,各烧结体虽然含有微量的杂质,但是表5中省略记载。

## 2. 金属粉末(Zr-Nb系)的评价

[0361] 对于相当于实施例的样本No.1的粉末冶金用金属粉末的粒子,通过并用溅射的俄歇电子能谱法进行了深度方向分析。

[0362] 而且,将溅射的实施时间换算为距粒子的表面的深度,并以此作为横轴,由俄歇电子能谱法所得的原子的含有率作为纵轴,对分析结果进行绘图,从而得到俄歇电子能谱。

[0363] 图3中示出从样本No.1的粉末冶金用金属粉末的粒子中得到的俄歇电子能谱。此外,以与光谱重叠的方式横向画出的四条直线表示的是,样本No.1的粒子整体中的Fe、Cr、Si以及O的各含有率。

[0364] 从图3中明确可知,在样本No.1的粒子中,从表面(深度0nm)至深度60nm之间,Cr的含有率几乎未变动。因此,可以认为,在粒子的表面的Cr含有率Cr(0)落在,距粒子的表面的深度为60nm处的Cr含有率Cr(60)的70%以上170%以下的范围内。

[0365] 另外,也可以认为,粒子的表面的Cr含有率Cr(0)落在0.2原子%以上15原子%以下的范围内。

[0366] 另一方面,对于相当于比较例的样本No.23的粉末冶金用金属粉末,同样地,通过并用溅射的俄歇电子能谱法进行了深度方向分析。

[0367] 图4示出从样本No.23的粉末冶金用金属粉末的粒子中得到的俄歇电子能谱。此外,以与光谱重叠的方式横向画出的四条直线表示的是,样本No.1的粒子整体中的Fe、Cr、Si以及O各自的含有率。

[0368] 从图4中明确可知,在样本No.23的粒子中,从表面至深度60nm之间,可以认为Cr的含有率有较大的变动。

[0369] 另外,可以认为粒子的表面的Cr含有率Cr(0)超过了15原子%。

[0370] 此外,对于样本No.1以及样本No.23以外的样本No.的粒子,也同样地求出Cr的含有率。

[0371] 在表6、表10中示出求得的含有率。

[0372] 另外,对于各样本No.的粒子,求得粒子的表面的Si含有率Si(0)、距粒子的表面的深度为60nm处的Si含有率Si(60)、以及粒子的表面的O的含有率O(0)。

[0373] 在表6、表10中示出求得的含有率。

[0374] 3.烧结体(Zr-Nb系)的评价

[0375] 3.1相对密度的评价

[0376] 以在JIS Z 2501(2000)规定的测定烧结金属材料的密度的方法为基准,对表1~表5所示的各样本No.的烧结体测定了烧结密度,并参考制造各烧结体使用的粉末冶金用金属粉末的真密度,算出各烧结体的相对密度。

[0377] 将测定结果在表6~表10示出。

[0378] 3.2维氏硬度的评价

[0379] 以JIS Z 2244(2009)规定的维氏硬度试验的试验方法为基准,对表1~表4所示的各样本No.的烧结体测定了维氏硬度。

[0380] 将测定结果在表6~表9示出。

[0381] 3.3抗拉强度、0.2%屈服强度及延伸率的评价

[0382] 以JIS Z 2241(2011)规定的金属材料拉伸试验方法为基准,对表1~表4所示的各样本No.的烧结体测定了抗拉强度、0.2%屈服强度及延伸率。

[0383] 并且,根据以下的评价标准对测定的这些物性值进行了评价。

[0384] 抗拉强度的评价标准(表6、表9)

[0385] A:烧结体的抗拉强度为520MPa以上

[0386] B:烧结体的抗拉强度为510MPa以上小于520MPa

[0387] C:烧结体的抗拉强度为500MPa以上小于510MPa

[0388] D:烧结体的抗拉强度为490MPa以上小于500MPa

[0389] E:烧结体的抗拉强度为480MPa以上小于490MPa

[0390] F:烧结体的抗拉强度小于480MPa

[0391] 抗拉强度的评价标准(表7、表8)

[0392] A:烧结体的拉伸强度为560MPa以上

[0393] B:烧结体的抗拉强度为550MPa以上小于560MPa

[0394] C:烧结体的抗拉强度为540MPa以上小于550MPa

- [0395] D:烧结体的抗拉强度为530MPa以上小于540MPa
- [0396] E:烧结体的抗拉强度为520MPa以上小于530MPa
- [0397] F:烧结体的抗拉强度小于520MPa
- [0398] 0.2%屈服强度的评价标准(表6、表9)
- [0399] A:烧结体的0.2%屈服强度为195MPa以上
- [0400] B:烧结体的0.2%屈服强度为190MPa以上小于195MPa
- [0401] C:烧结体的0.2%屈服强度为185MPa以上小于190MPa
- [0402] D:烧结体的0.2%屈服强度为180MPa以上小于185MPa
- [0403] E:烧结体的0.2%屈服强度为175MPa以上小于180MPa
- [0404] F:烧结体的0.2%屈服强度小于175MPa
- [0405] 0.2%屈服强度的评价标准(表7、表8)
- [0406] A:烧结体的0.2%屈服强度为225MPa以上
- [0407] B:烧结体的0.2%屈服强度为220MPa以上小于225MPa
- [0408] C:烧结体的0.2%屈服强度为215MPa以上小于220MPa
- [0409] D:烧结体的0.2%屈服强度为210MPa以上小于215MPa
- [0410] E:烧结体的0.2%屈服强度为205MPa以上小于210MPa
- [0411] F:烧结体的0.2%屈服强度小于205MPa
- [0412] 延伸率的评价标准
- [0413] A:烧结体的延伸率为48%以上
- [0414] B:烧结体的延伸率为46%以上小于48%
- [0415] C:烧结体的延伸率为44%以上小于46%
- [0416] D:烧结体的延伸率为42%以上小于44%
- [0417] E:烧结体的延伸率为40%以上小于42%
- [0418] F:烧结体的延伸率为小于40%
- [0419] 以上的评价结果示于表6～表9。另外,如上所述,根据物性值不同,表6、表9与表7、表8中评价基准不同。
- [0420] 3.4疲劳强度的评价
- [0421] 对表1～表4中示出的各样本No.的烧结体测定了疲劳强度。
- [0422] 另外,以JIS Z 2237(1978)规定的试验方法为基准,测定了疲劳强度。另外,将相当于反复应力的荷载的施加波形设为交变的正弦波,将最小最大应力比(最小应力/最大应力)设为0.1。另外,将反复频率设为30Hz,将反复数设为 $1 \times 10^7$ 回。
- [0423] 而且,根据以下的评价标准对测定的疲劳强度进行了评价。
- [0424] 疲劳强度的评价标准
- [0425] A:烧结体的疲劳强度为260Mpa以上
- [0426] B:烧结体的疲劳强度为240Mpa以上小于260Mpa
- [0427] C:烧结体的疲劳强度为220Mpa以上小于240Mpa
- [0428] D:烧结体的疲劳强度为200Mpa以上小于220Mpa
- [0429] E:烧结体的疲劳强度为180Mpa以上小于200Mpa
- [0430] F:烧结体的疲劳强度小于180Mpa

[0431] 将以上的评价结果在表6～表9示出。

[0432] 表6

样本 No.		金属粉末										烧结体的评价结果													
		平均 粒径 μm	Cr(0)		Cr(60)		Cr(0)/ Cr(60)		Si(0)		Si(60)		Si(0)/ Si(60)		O(0)		O(0)/ Si(0)		相对 密度	维氏 硬度	抗拉 强度	0.2% 屈服 强度	延伸 率	疲劳 强度	
			原子 %	原子 %	%	原子 %	原子 %	%	原子 %	原子 %	原子 %	原子 %	%	原子 %	—	%	—	—							
No.1	实施例	4.05	9.9	7.2	137.5	36.5	18.3	199.5	8.2	0.22	99.5	165	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
No.2	实施例	3.79	6.7	8.5	78.8	41.3	16.8	245.8	9.8	0.24	99.6	175	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
No.3	实施例	3.84	12.4	7.7	161.0	28.6	6.7	426.9	7.2	0.25	99.3	171	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
No.4	实施例	3.92	—	—	—	—	—	—	—	—	98.8	153	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
No.5	实施例	4.56	—	—	—	—	—	—	—	—	99.7	182	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
No.6	实施例	3.68	—	—	—	—	—	—	—	—	98.7	154	B	B	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
No.7	实施例	3.77	—	—	—	—	—	—	—	—	98.8	156	B	B	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
No.8	实施例	3.81	—	—	—	—	—	—	—	—	98.3	149	B	B	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
No.9	实施例	3.85	—	—	—	—	—	—	—	—	98.1	148	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
No.10	实施例	4.23	—	—	—	—	—	—	—	—	98.5	152	B	B	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
No.11	实施例	3.21	—	—	—	—	—	—	—	—	98.1	146	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
No.12	实施例	3.36	—	—	—	—	—	—	—	—	97.8	144	B	B	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
No.13	实施例	6.18	—	—	—	—	—	—	—	—	97.6	142	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
No.14	实施例	10.8	—	—	—	—	—	—	—	—	97.5	144	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
No.15	实施例	15.4	—	—	—	—	—	—	—	—	97.2	141	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
No.16	实施例	5.23	—	—	—	—	—	—	—	—	97.8	141	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
No.17	实施例	4.42	—	—	—	—	—	—	—	—	97.3	163	B	B	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
No.18	实施例	8.11	—	—	—	—	—	—	—	—	99.3	161	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
No.19	实施例	7.65	—	—	—	—	—	—	—	—	99.4	171	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
No.20	实施例	7.25	—	—	—	—	—	—	—	—	99.1	164	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
No.21	比较例	3.77	20.4	9.5	214.7	22.6	15.2	148.7	10.1	0.45	96.4	128	D	D	B	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
No.22	比较例	3.94	19.3	10.1	191.1	19.8	12.4	159.7	12.8	0.65	96.8	134	D	D	B	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
No.23	比较例	3.65	18.5	10.8	171.3	24.8	16.5	150.3	11.0	0.44	96.2	123	E	E	C	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
No.24	比较例	4.87	—	—	—	—	—	—	—	—	94.7	115	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
No.25	比较例	4.25	—	—	—	—	—	—	—	—	94.6	118	D	D	E	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
No.26	比较例	3.64	—	—	—	—	—	—	—	—	94.5	102	E	E	C	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
No.27	比较例	3.55	—	—	—	—	—	—	—	—	92.6	135	F	F	E	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
No.28	比较例	4.87	—	—	—	—	—	—	—	—	95.3	118	D	D	B	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
No.29	比较例	4.66	—	—	—	—	—	—	—	—	93.2	138	E	E	F	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
No.30	比较例	3.77	—	—	—	—	—	—	—	—	99.2	175	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

[0434] 表7

		金属 粉末	烧结体的评价结果					
样本 No.	—		平均 粒径	相对 密度	维氏 硬度	抗拉 强度	0.2% 屈服 强度	延伸 率
		μm	%	—	—	—	—	
No.31	实施例	5.68	99.3	178	A	A	A	A
No.32	实施例	4.79	99.5	185	A	A	A	A
No.33	实施例	4.05	98.6	167	B	B	A	B
No.34	实施例	3.81	98.8	158	B	B	A	B
No.35	实施例	3.05	98.2	162	B	B	B	B
No.36	实施例	4.25	97.6	154	B	B	C	B
No.37	实施例	9.86	97.8	158	B	B	B	B
No.38	实施例	14.2	97.5	154	B	C	C	C
No.39	实施例	2.56	98.6	171	B	B	A	A
No.40	实施例	14.2	98.3	173	B	B	A	A
No.41	实施例	11.53	99.1	174	A	A	A	A
No.42	实施例	9.64	99.2	180	A	A	A	A
No.43	实施例	8.25	98.3	163	B	B	A	B
No.44	比较例	5.32	96.4	127	D	D	B	D
No.45	比较例	5.48	96.7	136	D	D	B	D
No.46	比较例	4.23	95.2	121	D	D	D	D
No.47	比较例	4.51	94.8	105	E	E	F	E
No.48	比较例	5.32	99.2	174	A	A	B	A

[0435]

[0436] 表8

		金属 粉末	烧结体的评价结果							
样本 No.	-		平均 粒径	相对 密度	维氏 硬度	抗拉 强度	0.2% 屈服 强度	延伸 率	疲劳 强度	
			μm	%	-	-	-	-	-	
No.49	实施例	3.97	99.6	172	A	A	A	A		
No.50	实施例	3.25	99.3	167	A	A	B	A		
No.51	实施例	6.54	98.4	142	A	A	B	A		
No.52	实施例	5.48	98.2	157	B	B	B	B		
No.53	实施例	3.92	98.4	161	B	B	B	B		
No.54	实施例	3.74	97.3	148	B	B	C	B		
No.55	实施例	16.45	97.1	137	C	C	C	C		
No.56	实施例	22.1	97.0	135	C	C	C	C		
No.57	实施例	10.05	97.5	138	B	B	B	B		
No.58	实施例	7.23	98.8	165	B	B	A	B		
No.59	实施例	8.12	99.3	165	A	A	A	A		
No.60	实施例	7.22	99.0	160	A	A	B	A		
No.61	实施例	13.65	98.2	134	A	A	B	A		
No.62	比较例	3.89	96.3	127	D	D	B	D		
No.63	比较例	3.47	96.7	136	D	D	B	D		
No.64	比较例	4.25	94.7	116	D	D	D	D		
No.65	比较例	3.64	95.2	119	D	D	E	D		
No.66	比较例	3.89	99.4	170	A	A	B	A		

[0437]

[0438] 表9

		金属 粉末	烧结体的评价结果							
样本 No.	—		平均 粒径	相对 密度	维氏 硬度	抗拉 强度	0.2% 屈服 强度	延伸 率	疲劳 强度	
			μm	%	—	—	—	—	—	
No.67	实施例	4.05	99.6	168	A	A	A	A		
No.68	实施例	3.79	99.6	177	A	A	A	A		
No.69	实施例	3.84	99.4	172	A	A	A	A		
No.70	实施例	3.92	98.9	155	B	A	A	A		
No.71	实施例	4.56	99.7	183	A	A	A	A		
No.72	实施例	3.68	98.9	158	B	B	A	B		
No.73	实施例	3.77	99.0	162	B	B	A	B		
No.74	实施例	3.81	98.5	155	B	B	A	B		
No.75	实施例	3.85	98.4	156	B	B	B	B		
No.76	实施例	4.23	98.7	157	B	B	A	B		
No.77	实施例	3.21	98.4	159	B	B	B	B		
No.78	实施例	3.36	98.1	150	B	B	C	B		
No.79	实施例	6.18	97.9	146	C	C	C	C		
No.80	比较例	3.77	96.6	129	D	D	B	D		
No.81	比较例	3.94	96.9	136	D	D	B	D		
No.82	比较例	3.65	96.4	128	E	E	C	E		
No.83	比较例	4.87	94.9	119	D	D	D	D		
No.84	比较例	4.25	94.8	125	D	D	E	D		
No.85	比较例	3.77	99.3	180	A	A	B	A		

[0439]

[0440] 表10

		金属粉末										烧结体的评价结果				
样本 No.	—	平均 粒径	Cr(0)	Cr(60)	Cr(0)/ Cr(60)	Si(0)	Si(60)	Si(0)/ Si(60)	O(0)	O(0)/ Si(0)	相对 密度	t 维氏、 硬度	抗拉 强度	0.2% 屈服 强度	延伸 率	疲劳 强度
		μm	原子 %	原子 %	%	原子 %	原子 %	%	原子 %	—	%	—	—	—	—	—
No.86	实施例	4.32	2.4	2.1	114.3	42.3	15.4	274.7	7.8	0.18	99.7	—	—	—	—	—
No.87	实施例	4.31	3.2	2.4	133.3	39.8	16.3	244.2	8.2	0.21	98.6	—	—	—	—	—
No.88	实施例	7.32	2.8	2.3	121.7	36.8	13.1	280.9	9.2	0.25	98.7	—	—	—	—	—
No.89	比较例	4.12	4.5	2.1	214.3	18.4	9.8	187.8	14.5	0.79	97.6	—	—	—	—	—
No.90	实施例	6.19	1.2	0.8	150.0	44.5	19.5	228.2	6.8	0.15	98.7	—	—	—	—	—
No.91	实施例	4.45	0.9	1.0	90.0	48.2	22.1	218.1	9.4	0.20	98.3	—	—	—	—	—
No.92	实施例	7.29	1.0	0.9	111.1	45.3	18.7	242.2	8.5	0.19	98.1	—	—	—	—	—
No.93	比较例	4.18	0.7	1.1	63.6	21.5	17.2	125.0	12.6	0.59	96.9	—	—	—	—	—
No.94	实施例	3.86	5.6	4.5	124.4	38.5	18.2	211.5	7.8	0.20	99.5	—	—	—	—	—
No.95	实施例	3.92	7.2	6.5	110.8	39.7	19.4	204.6	6.8	0.17	99.3	—	—	—	—	—
No.96	实施例	4.02	6.8	6.9	98.6	40.2	15.9	252.8	5.9	0.15	99.4	—	—	—	—	—
No.97	比较例	3.48	9.5	5.4	175.9	25.6	16.9	151.5	13.1	0.51	94.5	—	—	—	—	—
No.98	实施例	4.05	9.1	7.3	124.7	36.7	18.3	200.5	8.1	0.22	99.5	—	—	—	—	—
No.99	实施例	9.85	9.3	7.5	124.0	37.1	16.4	226.2	7.9	0.21	98.7	—	—	—	—	—
No.100	实施例	8.42	8.7	8.9	97.8	35.4	15.9	222.6	7.5	0.21	98.6	—	—	—	—	—
No.101	比较例	4.02	12.5	7.1	176.1	28.1	18.5	151.9	13.6	0.48	96.6	—	—	—	—	—

[0441] [0442] 由表6～表10明确可知,相当于实施例的烧结体与相当于比较例的烧结体(除了施加了HIP处理的烧结体)相比,相对密度高。另外,也确认了抗拉强度、0.2%屈服强度及延伸率这些特性存在显著差异。

[0443] 另一方面,在相当于实施例的烧结体与施加了HIP处理的烧结体之间比较各物性值后,可以确认全都是同等程度。

[0444] 4. 烧结体(Hf-Nb系)的制造

[0445] (样本No.102～145)

[0446] 除了如表11～14表所示改变粉末冶金用金属粉末的组成等之外,其余分别与样本No.1的烧结体的制造方法相同地得到烧结体。

[0447] 表11

		粉末冶金用金属粉末												备注		
		合金组成										E1/E2	E1+E2	(E1+E2)/Si	(E1+E2)/C	
样本 No.	—	Cr	Ni	Si	C	E1 (Hf)	E2 (Nb)	Mo	Mn	O	Fe					
		质量 %												—	质量 %	—
No.102	实施例	16.25	12.56	0.71	0.02	0.09	0.05	2.09	0.05	0.25	剩余部分	1.80	0.14	0.20	8.24	
No.103	实施例	17.14	12.54	0.57	0.02	0.07	0.05	2.45	0.09	0.32	剩余部分	1.40	0.12	0.21	5.45	
No.104	实施例	17.78	13.25	0.53	0.03	0.07	0.08	2.06	0.08	0.41	剩余部分	0.88	0.15	0.28	5.56	
No.105	实施例	16.25	14.68	0.82	0.01	0.06	0.03	2.89	0.08	0.25	剩余部分	2.00	0.09	0.11	7.50	
No.106	实施例	17.52	13.87	0.74	0.03	0.09	0.10	2.63	0.11	0.34	剩余部分	0.90	0.19	0.26	7.31	
No.107	实施例	16.82	12.03	0.53	0.07	0.11	0.04	2.76	0.11	0.23	剩余部分	2.75	0.15	0.28	2.17	
No.108	实施例	17.52	13.25	0.68	0.06	0.07	0.12	2.21	0.78	0.41	剩余部分	0.58	0.19	0.28	3.45	
No.109	比较例	16.34	12.84	0.75	0.03	0.00	0.07	2.36	0.11	0.29	剩余部分	0.00	0.07	0.09	2.80	
No.110	比较例	17.25	13.35	0.82	0.03	0.08	0.00	2.23	0.09	0.32	剩余部分	—	0.08	0.10	2.86	
No.111	比较例	16.75	14.23	0.75	0.02	0.00	0.00	2.33	0.12	0.33	剩余部分	—	0.00	0.00	0.00	
No.112	比较例	16.34	12.54	0.87	0.02	0.71	0.05	2.56	0.11	0.36	剩余部分	14.20	0.76	0.87	36.19	
No.113	比较例	16.44	13.12	0.65	0.03	0.04	0.68	2.41	0.06	0.42	剩余部分	0.06	0.72	1.11	21.18	
No.114	比较例	17.63	13.21	0.14	0.01	0.06	0.07	2.77	0.11	0.27	剩余部分	0.86	0.13	0.93	10.83	
No.115	比较例	17.54	13.33	1.91	0.05	0.07	0.05	2.68	0.34	0.48	剩余部分	1.40	0.12	0.06	2.22	

[0449] 表12

		粉末冶金用金属粉末												备注		
		合金组成										E1/E2	E1+E2	(E1+E2)/Si	(E1+E2)/C	
样本 No.	—	Cr	Ni	Si	C	E1 (Hf)	E2 (Nb)	Mo	Mn	O	Fe					
		质量 %												—	质量 %	—
No.116	实施例	18.96	13.54	0.82	0.041	0.09	0.05	3.55	0.35	0.41	剩余部分	1.80	0.14	0.17	3.41	
No.117	实施例	18.25	14.86	0.54	0.021	0.06	0.09	3.12	0.87	0.39	剩余部分	0.67	0.15	0.28	7.14	
No.118	实施例	19.74	11.32	0.34	0.067	0.09	0.09	3.88	0.45	0.55	剩余部分	1.00	0.18	0.53	2.69	
No.119	比较例	18.67	11.36	0.78	0.053	0.00	0.07	3.47	0.22	0.29	剩余部分	0.00	0.07	0.09	1.32	
No.120	比较例	19.54	14.35	0.89	0.022	0.11	0.00	3.75	0.09	0.31	剩余部分	—	0.11	0.12	5.00	
No.121	比较例	18.69	11.87	0.71	0.027	0.54	0.07	3.76	0.12	0.38	剩余部分	7.71	0.61	0.86	22.59	
No.122	比较例	19.42	14.58	0.62	0.024	0.06	0.66	3.54	0.07	0.41	剩余部分	0.09	0.72	1.16	30.00	

[0450] 表13

[0451] 表13

		粉末冶金用金属粉末										E1/E2	E1+E2	(E1+E2)/Si	(E1+E2)/C	备注			
		合金组成																	
样本 No.	—	Cr	Ni	Si	C	E1 (Hf)	E2 (Nb)	Mo	Mn	O	Fe								
		质量 %										—	质量%	—	—	—			
[0452]	No.123	实施例	19.21	8.25	0.67	0.035	0.08	0.05	0.00	0.18	0.25	剩余部分	1.60	0.13	0.19	3.71			
	No.124	实施例	19.74	9.62	0.89	0.039	0.06	0.09	0.05	0.08	0.29	剩余部分	0.67	0.15	0.17	3.85			
	No.125	实施例	18.30	10.31	0.43	0.017	0.14	0.09	0.03	0.23	0.41	剩余部分	1.56	0.23	0.53	13.53			
	No.126	比较例	19.11	8.23	0.77	0.055	0.00	0.06	0.00	0.14	0.25	剩余部分	0.00	0.06	0.08	1.09			
	No.127	比较例	18.78	9.45	0.76	0.024	0.07	0.00	0.02	0.11	0.29	剩余部分	—	0.07	0.09	2.92			
	No.128	比较例	18.42	8.36	0.38	0.011	0.54	0.08	0.03	0.25	0.28	剩余部分	6.75	0.62	1.63	56.36			
	No.129	比较例	19.21	8.45	0.45	0.018	0.06	0.58	0.04	0.16	0.32	剩余部分	0.10	0.64	1.42	35.56			

[0453] 表14

		粉末冶金用金属粉末										E1/E2	E1+E2	(E1+E2)/Si	(E1+E2)/C	备注			
		合金组成																	
样本 No.	—	Cr	Ni	Si	C	E1 (Hf)	E2 (Nb)	Mo	Mn	O	Fe								
		质量 %										—	质量%	—	—	—			
[0454]	No.130	实施例	3.92	0.07	0.71	1.425	0.10	0.05	5.06	0.00	0.18	剩余部分	2.00	0.15	0.21	0.11	W : 6.07 Co : 8.47		
	No.131	实施例	4.32	0.21	0.83	1.395	0.05	0.06	4.75	0.00	0.27	剩余部分	0.83	0.11	0.13	0.08	W : 6.56 Co : 8.14		
	No.132	实施例	4.12	0.13	0.76	1.425	0.15	0.05	4.87	0.00	0.27	剩余部分	3.00	0.20	0.26	0.14	W : 5.87 Co : 8.26		
	No.133	比较例	4.11	0.06	0.79	1.426	0.06	0.00	5.11	0.00	0.23	剩余部分	—	0.06	0.08	0.04	W : 6.08 Co : 8.58		
	No.134	实施例	1.08	0.03	0.75	0.712	0.14	0.08	0.23	0.72	0.24	剩余部分	1.75	0.22	0.29	0.31			
	No.135	实施例	0.92	0.00	0.86	0.707	0.21	0.06	0.23	0.77	0.23	剩余部分	3.50	0.27	0.31	0.38			
	No.136	实施例	1.06	0.08	0.80	0.725	0.04	0.05	0.28	0.68	0.21	剩余部分	0.80	0.09	0.11	0.12	Al : 0.03		
	No.137	比较例	0.97	0.15	0.77	0.704	0.18	0.00	0.28	0.85	0.34	剩余部分	—	0.18	0.23	0.26	Al : 0.06		
	No.138	实施例	12.85	0.08	0.72	0.910	0.09	0.05	0.00	0.11	0.29	剩余部分	1.80	0.14	0.19	0.15			
	No.139	实施例	13.42	0.11	0.65	0.840	0.11	0.06	0.00	0.08	0.24	剩余部分	1.83	0.17	0.26	0.20			
	No.140	实施例	12.55	0.07	0.75	0.960	0.06	0.08	0.00	0.11	0.31	剩余部分	0.75	0.14	0.19	0.15			
	No.141	比较例	12.97	0.11	0.76	0.750	0.06	0.00	0.00	0.09	0.32	剩余部分	—	0.06	0.08	0.08			
	No.142	实施例	16.45	4.18	0.75	0.019	0.13	0.32	0.00	0.00	0.29	剩余部分	0.41	0.45	0.60	23.68	Cu : 3.89		
	No.143	实施例	16.17	3.87	0.39	0.045	0.07	0.28	0.00	0.00	0.24	剩余部分	0.25	0.35	0.90	7.78	Cu : 4.54		
	No.144	实施例	16.87	4.03	1.58	0.067	0.16	0.18	0.00	0.00	0.35	剩余部分	0.89	0.34	0.22	5.07	Cu : 4.75		
	No.145	比较例	17.22	3.56	0.64	0.025	0.09	0.00	0.00	0.00	0.33	剩余部分	—	0.09	0.14	3.60	Cu : 4.33		

[0455] 另外,在表11~表14中,各样本No.的烧结体中,相当于本发明的为“实施例”,不相当于本发明的为“比较例”。

[0456] 另外,在各烧结体虽然包含微量的杂质,但在表11~表14中省略记载。

#### 5. 金属粉末(Hf-Nb系)的评价

[0458] 求出各样本No.的粒子的粒子的表面的Cr含有率Cr(0)、距粒子的表面的深度为60nm处的Cr含有率Cr(60)、粒子的表面的Si含有率Si(0)、距粒子的表面的深度为60nm处的Si含有率Si(60)、以及粒子的表面的O含有率O(0)。

[0459] 在表15、表18中示出求得的含有率。

[0460] 从表15、表18中明确可知,在相当于实施例的金属粉末的粒子中,可以认为,粒子的表面的Cr含有率Cr (0) 落在距粒子的表面的深度为60nm处的Cr含有率Cr (60) 的70%以上170%以下的范围内。

[0461] 另外,可以认为,粒子的表面的Cr含有率Cr (0) 落在0.2原子%以上15原子%以下的范围内。

[0462] 6. 烧结体 (Hf-Nb系) 的评价

[0463] 6.1 相对密度的评价

[0464] 以在JIS Z 2501 (2000) 规定的测定烧结金属材料的密度的方法为基准,对表11～表14示出的各样本No.的烧结体测定了烧结密度,并参考制造各烧结体使用的粉末冶金用金属粉末的真密度,算出各烧结体的相对密度。

[0465] 将计算结果在表15～表18示出。

[0466] 6.2 维氏硬度的评价

[0467] 以JIS Z 2244 (2009) 规定的维氏硬度试验的试验方法为基准,对表11～表14中示出的各样本No.的烧结体测定了维氏硬度。

[0468] 将测定结果在表15～表18示出。

[0469] 6.3 抗拉强度、0.2%耐力以及延伸率的评价

[0470] 以JIS Z 2241 (2011) 规定的金属材料拉伸试验方法为基准,对表11～表13示出的各样本No.的烧结体测定了抗拉强度,0.2%屈服强度及延伸率。

[0471] 然后,根据前述的适用于表6、表9的评价标准,对表11中所述的各样本No.的烧结体的物性值进行了评价,根据前述的适用于表7、表8的评价标准,对表12、表13中所述的各样本No.的烧结体的物性值进行了评价。

[0472] 将以上的评价结果在表15～表17示出。

[0473] 表15

		金属粉末										烧结体的评价结果				
样本 No.	—	平均 粒径	Cr(0)	Cr(60)	Cr(0)/ Cr(60)	Si(0)	Si(60)	Si(0)/ Si(60)	O(0)	O(0)/ Si(0)	相对 密度	维氏 硬度	抗拉 强度	0.2% 屈服 强度	延伸 率	
		μm	原子 %	原子 %	%	原子 %	原子 %	%	原子 %	—	%	—	—	—	—	—
No.102	实施例	4.12	9.7	7.5	129.3	35.8	18.1	197.8	8.5	0.24	99.5	162	A	A	A	
No.103	实施例	4.25	6.9	8.7	79.3	40.8	17.2	237.2	9.7	0.24	99.3	173	A	A	A	
No.104	实施例	4.02	12.1	7.9	153.2	27.8	7.5	370.7	7.8	0.28	98.7	160	A	A	A	
No.105	实施例	3.88	—	—	—	—	—	—	—	—	98.5	153	B	A	A	
No.106	实施例	4.56	—	—	—	—	—	—	—	—	98.9	175	A	A	A	
No.107	实施例	3.98	—	—	—	—	—	—	—	—	99.2	170	A	A	A	
No.108	实施例	3.77	—	—	—	—	—	—	—	—	98.2	185	B	B	B	
No.109	比较例	3.86	21.2	10.1	209.9	21.8	15.4	141.6	10.3	0.47	96.4	185	D	D	B	
No.110	比较例	3.95	19.7	10.5	187.6	20.1	13.4	150.0	13.2	0.66	96.8	180	D	D	B	
No.111	比较例	4.05	18.7	9.4	198.9	24.6	17.8	138.2	11.4	0.46	96.2	192	E	E	C	
No.112	比较例	4.57	—	—	—	—	—	—	—	—	94.7	202	D	D	D	
No.113	比较例	4.52	—	—	—	—	—	—	—	—	94.6	211	D	D	E	
No.114	比较例	3.65	—	—	—	—	—	—	—	—	94.6	195	E	E	D	
No.115	比较例	3.28	—	—	—	—	—	—	—	—	93.4	214	F	F	E	

[0475] 表16

		金属 粉末	烧结体的评价结果						
样本 No.	—		平均 粒径	相对 密度	维氏 硬度	抗拉 强度	0.2% 屈服 强度	延伸 率	
			μm	%	—	—	—	—	
No.116	实施例	5.86	99.1	167	A	A	A		
No.117	实施例	4.97	98.9	170	A	A	A		
No.118	实施例	4.25	98.6	184	B	B	B		
No.119	比较例	5.31	96.3	195	D	D	B		
No.120	比较例	5.83	96.6	189	D	D	B		
No.121	比较例	4.52	95.1	201	D	D	D		
No.122	比较例	4.12	94.9	205	E	E	F		

[0477] 表17

		金属粉末	烧结体的评价结果						
样本 No.	—		平均粒径	相对密度	维氏硬度	抗拉强度	0.2% 屈服强度	延伸率	
			μm	%	—	—	—	—	
[0478]	No.123	实施例	4.08	99.3	164	A	A	A	
	No.124	实施例	3.58	99.0	175	A	A	A	
	No.125	实施例	6.41	98.5	182	A	A	B	
	No.126	比较例	3.98	96.3	195	D	D	B	
	No.127	比较例	3.58	96.7	192	D	D	B	
	No.128	比较例	4.35	94.7	205	D	D	E	
	No.129	比较例	4.56	95.2	201	D	D	E	

[0479] 表18

		金属粉末									烧结体的评价结果				
样本 No.	—	平均粒径	Cr(0)	Cr(60)	Cr(0)/Cr(60)	Si(0)	Si(60)	Si(0)/Si(60)	O(0)	O(0)/Si(0)	相对密度	维氏硬度	抗拉强度	0.2% 屈服强度	延伸率
		μm	原子 %	原子 %	%	原子 %	原子 %	%	原子 %	—	%	—	—	—	—
[0480]	No.130	实施例	4.25	2.3	2.1	109.5	40.5	16.8	241.1	7.9	0.20	99.5	—	—	—
	No.131	实施例	5.34	3.1	2.5	124.0	38.7	16.4	236.0	8.3	0.21	99.0	—	—	—
	No.132	实施例	4.28	2.9	2.4	120.8	36.9	13.4	275.4	9.2	0.25	98.5	—	—	—
	No.133	比较例	3.97	4.3	2.2	195.5	18.2	8.7	209.2	13.6	0.75	97.5	—	—	—
	No.134	实施例	6.25	1.1	0.8	137.5	43.2	19.2	225.0	6.7	0.16	98.9	—	—	—
	No.135	实施例	6.87	1	1	100.0	44.6	20.4	218.6	9.2	0.21	98.8	—	—	—
	No.136	实施例	14.36	1.2	0.9	133.3	43.8	17.3	253.2	8.4	0.19	98.4	—	—	—
	No.137	比较例	4.35	0.8	1.2	66.7	22.1	16.5	133.9	12.5	0.57	96.8	—	—	—
	No.138	实施例	4.12	5.8	4.6	126.1	38.4	18.5	207.6	7.5	0.20	99.4	—	—	—
	No.139	实施例	5.92	7.4	6.3	117.5	39.3	20.1	195.5	6.5	0.17	99.4	—	—	—
	No.140	实施例	7.02	6.9	7.2	95.8	39.7	16.2	245.1	5.7	0.14	99.2	—	—	—
	No.141	比较例	4.56	10.1	5.7	177.2	26.1	20.1	129.9	13.3	0.51	94.8	—	—	—
	No.142	实施例	4.12	9.5	7.4	128.4	36.5	18.3	199.5	8.5	0.23	99.5	—	—	—
	No.143	实施例	10.03	9.1	7.6	119.7	36.1	16.8	214.9	9.8	0.27	98.8	—	—	—
	No.144	实施例	8.57	8.8	8.5	103.5	33.5	15.8	212.0	9.1	0.27	98.7	—	—	—
	No.145	实施例	3.96	12.9	6.5	198.5	27.4	19.2	142.7	13.8	0.50	96.7	—	—	—

[0481] 由表15～表18明确可知,相当于实施例的烧结体与相当于比较例的烧结体相比,相对密度高。另外,也确认抗拉强度、0.2% 屈服强度及延伸率这些特性存在显著差异。

[0482] 7. 烧结体(Ti-Nb系)的制造

[0483] (样本No.146～155)

[0484] 除了如表19所示改变粉末冶金用金属粉末的组成等之外,其余分别与样本No.1的烧结体的制造方法相同地得到烧结体。

[0485] (样本No.156)

[0486] 将平均粒径4.62μm的金属粉末、平均粒径40μm的Ti粉末、以及平均粒径25μm的Nb粉末混合,制备混合粉。另外,在调制混合粉时,调整了金属粉末、Ti粉末以及Nb粉末的各混合量,使得混合粉的组成变为表19所示的组成。

[0487] 然后,使用该混合粉,与样本No.1的烧结体的制造方法相同地得到烧结体。

[0488] 表19

		粉末冶金用金属粉末											备注			
		合金组成										E1/E2	E1+E2	$(E1+E2)/Si$	$(E1+E2)/C$	
样本 No.	—	Cr	Ni	Si	C	E1 (Ti)	E2 (Nb)	Mo	Mn	O	Fe					
		质量 %										—	质量 %	—	—	
[0489]	No.146	实施例	16.52	12.54	0.77	0.015	0.08	0.07	2.13	0.06	0.25	剩余部分	1.14	0.15	0.19	10.00
	No.147	实施例	16.86	13.15	0.51	0.021	0.08	0.08	2.21	0.51	0.42	剩余部分	1.00	0.16	0.31	7.62
	No.148	实施例	16.63	11.87	0.81	0.025	0.06	0.10	2.07	0.35	0.24	剩余部分	0.60	0.16	0.20	6.40
	No.149	实施例	17.12	12.61	0.98	0.065	0.04	0.18	2.23	0.07	0.54	剩余部分	0.22	0.22	0.22	3.38
	No.150	实施例	16.23	13.54	0.51	0.009	0.04	0.08	2.26	0.02	0.35	剩余部分	0.50	0.12	0.24	13.33
	No.151	实施例	17.85	12.35	0.42	0.125	0.09	0.08	2.57	0.35	0.25	剩余部分	1.13	0.17	0.40	1.36
	No.152	比较例	16.87	11.42	0.56	0.056	0.00	0.08	2.47	0.12	0.25	剩余部分	0.00	0.08	0.14	1.43
	No.153	比较例	17.56	14.51	0.78	0.032	0.12	0.00	2.68	0.11	0.33	剩余部分	—	0.12	0.15	3.75
	No.154	比较例	16.78	11.24	0.87	0.012	0.54	0.06	2.55	0.15	0.32	剩余部分	9.00	0.60	0.69	50.00
	No.155	比较例	17.65	14.15	0.68	0.053	0.08	0.89	2.63	0.06	0.25	剩余部分	0.09	0.97	1.43	18.30
	No.156	比较例	16.88	14.10	0.87	0.056	0.45	0.20	2.25	0.08	0.26	剩余部分	2.25	0.65	0.75	11.61
混合粉																

[0490] 另外,在表19中,各样本No.的烧结体中,相当于本发明的为“实施例”,不相当于本发明的为“比较例”。

[0491] 另外,各烧结体虽然含有微量的杂质,但是表19中省略记载。

#### 8. 金属粉末(Ti-Nb系)的评价

[0493] 求出各样本No.的粒子的粒子的表面的Cr含有率Cr(0)、距粒子的表面的深度为60nm处的Cr含有率Cr(60)、粒子的表面的Si含有率Si(0)、距粒子的表面的深度为60nm处的Si含有率Si(60)、以及粒子的表面的O含有率O(0)。

[0494] 其结果,在相当于实施例的金属粉末的粒子中,粒子的表面的Cr含有率Cr(0)落在距粒子的表面的深度为60nm处的Cr含有率Cr(60)的70%以上170%以下的范围内。

[0495] 另外,粒子的表面的Cr含有率Cr(0)落在0.2原子%以上15原子%以下的范围内。

[0496] 另一方面,在相当于比较例的金属粉末的粒子中,表面的Cr含有率Cr(0)脱离了所述范围。

#### 9. 烧结体(Ti-Nb系)的评价

##### 9.1 相对密度的评价

[0499] 以在JIS Z 2501(2000)规定的测定烧结金属材料的密度的方法为基准,对表19中

所示的各样本No.的烧结体测定了烧结密度,并参考制造各烧结体使用的粉末冶金用金属粉末的真密度,算出各烧结体的相对密度。

- [0500] 将计算结果在表20示出。
- [0501] 9.2维氏硬度的评价
- [0502] 以JIS Z 2244 (2009) 规定的维氏硬度试验的试验方法为基准,对表19中示出的各样本No.的烧结体测定了维氏硬度。
- [0503] 将测定结果在表20示出。
- [0504] 9.3抗拉强度、0.2%屈服强度及延伸率的评价
- [0505] 以JIS Z 2241 (2011) 规定的金属材料拉伸试验方法为基准,对表19中示出的各样本No.的烧结体测定了抗拉强度、0.2%屈服强度及延伸率。
- [0506] 并且,根据前述的适用于表6、表9的评价标准对测定的这些物性值进行了评价。
- [0507] 将以上的评价结果在表20中示出。
- [0508] 表20

		金属 粉末	烧结体的评价结果					
样本 No.	—		平均 粒径	相对 密度	维氏 硬度	抗拉 强度	0.2% 屈服 强度	
			μm	%	—	—	—	
[0509]	No.146	实施例	4.34	98.9	179	A	A	A
	No.147	实施例	4.79	99.3	178	A	A	A
	No.148	实施例	4.05	99.4	175	A	A	A
	No.149	实施例	3.89	98.7	180	B	B	A
	No.150	实施例	4.12	98.5	185	B	B	B
	No.151	实施例	4.26	98.2	189	B	B	C
	No.152	比较例	4.31	96.5	191	D	D	B
	No.153	比较例	4.48	96.6	189	D	D	B
	No.154	比较例	4.25	95.3	205	D	D	D
	No.155	比较例	4.36	94.7	215	E	E	F
	No.156	比较例	4.62	95.9	214	E	E	F

[0510] 由表20明确可知,相当于实施例的烧结体与相当于比较例的烧结体相比,相对密度高。另外,也确认了抗拉强度、0.2%屈服强度及延伸率这些特性存在显著差异。

- [0511] 10. 烧结体(Nb-Ta系)的制造
- [0512] (样本No. 157~166)
- [0513] 除了如表21所示改变粉末冶金用金属粉末的组成等之外,其余分别与样本No.1的烧结体的制造方法相同地得到烧结体。
- [0514] 表21

		粉末冶金用金属粉末											备注			
		合金组成										E1/E2	E1+E2	$(E1+E2)/Si$	$(E1+E2)/C$	
样本 No.	—	Cr	Ni	Si	C	E1 (Nb)	E2 (Ta)	Mo	Mn	O	Fe					
		质量 %										—	质量 %	—	—	—
[0515]	No.157	实施例	16.21	12.15	0.63	0.035	0.07	0.12	2.21	0.06	0.38	剩余部分	0.58	0.19	0.30	5.43
	No.158	实施例	16.74	11.36	0.87	0.042	0.05	0.10	2.26	0.05	0.45	剩余部分	0.50	0.15	0.17	3.57
	No.159	实施例	16.30	10.25	0.45	0.018	0.12	0.09	2.68	0.08	0.58	剩余部分	1.33	0.21	0.47	11.67
	No.160	实施例	16.35	13.68	1.03	0.067	0.05	0.08	2.77	0.06	0.22	剩余部分	0.63	0.13	0.13	1.94
	No.161	实施例	16.45	14.18	0.86	0.009	0.03	0.04	2.45	0.00	0.45	剩余部分	0.75	0.07	0.08	7.78
	No.162	实施例	16.25	12.35	0.47	0.123	0.15	0.09	2.12	0.08	0.48	剩余部分	1.67	0.24	0.51	1.95
	No.163	比较例	17.11	12.29	0.74	0.064	0.00	0.05	2.18	0.15	0.29	剩余部分	0.00	0.05	0.07	0.78
	No.164	比较例	16.78	12.48	0.79	0.023	0.08	0.00	2.06	0.12	0.33	剩余部分	—	0.08	0.10	3.48
	No.165	比较例	16.42	13.65	0.39	0.012	0.69	0.07	2.89	0.08	0.37	剩余部分	9.86	0.76	1.95	63.33
	No.166	比较例	17.21	10.88	0.42	0.021	0.06	0.61	2.98	0.13	0.35	剩余部分	0.10	0.67	1.60	31.90

[0516] 另外,在表21中,各样本No.的烧结体中,相当于本发明的为“实施例”,不相当于本发明的为“比较例”。

[0517] 另外,在各烧结体虽然包含微量的杂质,但在表21中省略记载。

#### [0518] 11. 金属粉末 (Nb-Ta系) 的评价

[0519] 求出各样本No.的粒子的粒子的表面的Cr含有率Cr (0)、距粒子的表面的深度为60nm处的Cr含有率Cr (60)、粒子的表面的Si含有率Si (0)、距粒子的表面的深度为60nm处的Si含有率Si (60)、以及粒子的表面的O含有率O (0)。

[0520] 其结果,在相当于实施例的金属粉末的粒子中,粒子的表面的Cr含有率Cr (0)落在距粒子的表面的深度为60nm处的Cr含有率Cr (60)的70%以上170%以下的范围内。

[0521] 另外,粒子的表面的Cr含有率Cr (0)落在0.2原子%以上15原子%以下的范围内。

[0522] 另一方面,在相当于比较例的金属粉末的粒子中,表面的Cr含有率Cr (0)脱离了所述范围。

#### [0523] 12. 烧结体 (Nb-Ta系) 的评价

##### [0524] 12.1 相对密度的评价

[0525] 以在JIS Z 2501 (2000) 规定的测定烧结金属材料的密度的方法为基准,对表21中示出的各样本No.的烧结体测定了烧结密度,并参考制造各烧结体使用的粉末冶金用金属粉末的真密度,算出各烧结体的相对密度。

[0526] 将计算结果在表22示出。

##### [0527] 12.2 维氏硬度的评价

[0528] 以JIS Z 2244 (2009) 规定的维氏硬度试验的试验方法为基准,对表21中示出的各样本No.的烧结体测定了维氏硬度。

[0529] 将测定结果在表22示出。

##### [0530] 12.3 抗拉强度、0.2% 屈服强度及延伸率的评价

[0531] 以JIS Z 2241 (2011) 规定的金属材料拉伸试验方法为基准,对表21中示出的各样本No.的烧结体测定了抗拉强度、0.2% 屈服强度及延伸率。

- [0532] 并且,根据前述的适用于表6、表9的评价标准对测定的这些物性值进行了评价。  
 [0533] 将以上的评价结果在表22示出。  
 [0534] 表22

[0535]

		金属 粉末	烧结体的评价结果					
样本 No.	—		平均 粒径	相对 密度	维氏 硬度	抗拉 强度	0.2% 屈服 强度	延伸 率
		$\mu m$	%	—	—	—	—	
No.157	实施例	3.87	99.0	166	A	A	A	
No.158	实施例	4.12	99.1	167	A	A	B	
No.159	实施例	6.45	98.5	173	A	A	B	
No.160	实施例	5.82	98.3	178	B	B	B	
No.161	实施例	3.45	98.2	175	B	B	B	
No.162	实施例	3.25	97.4	181	B	B	C	
No.163	比较例	3.98	96.3	187	D	D	B	
No.164	比较例	3.74	96.0	198	D	D	B	
No.165	比较例	4.21	93.8	236	D	D	D	
No.166	比较例	3.87	94.2	225	D	D	E	

[0536] 由表22明确可知,相当于实施例的烧结体与相当于比较例的烧结体相比,相对密度高。另外,也确认了抗拉强度、0.2%屈服强度及延伸率这些特性存在显著差异。

[0537] 13. 烧结体(Y-Nb系)的制造

[0538] (样本No.167~177)

[0539] 除了如表23所示改变粉末冶金用金属粉末的组成等之外,其余分别与样本No.1的烧结体的制造方法相同地得到烧结体。

[0540] 表23

		粉末冶金用金属粉末											备注				
		合金组成										E1/E2	E1+E2	$(E1+E2)/Si$	$(E1+E2)/C$		
样本 No.	—	Cr	Ni	Si	C	E1 (Y)	E2 (Nb)	Mo	Mn	O	Fe						
		质量 %											—	质量%	—	—	—
[0541]	No.167	实施例	16.55	12.58	0.85	0.025	0.08	0.09	2.13	0.07	0.26	剩余部分	0.89	0.17	0.20	6.80	
	No.168	实施例	17.32	12.87	0.68	0.023	0.05	0.08	2.21	0.11	0.33	剩余部分	0.63	0.13	0.19	5.65	
	No.169	实施例	16.35	12.32	0.74	0.029	0.09	0.05	2.04	0.08	0.41	剩余部分	1.80	0.14	0.19	4.83	
	No.170	实施例	16.31	14.52	0.53	0.011	0.03	0.08	2.68	0.07	0.26	剩余部分	0.38	0.11	0.21	10.00	
	No.171	实施例	17.12	13.88	0.57	0.024	0.09	0.10	2.51	0.12	0.34	剩余部分	0.90	0.19	0.33	7.92	
	No.172	实施例	16.66	11.58	1.02	0.057	0.11	0.04	2.74	0.12	0.22	剩余部分	2.75	0.15	0.15	2.63	
	No.173	实施例	16.21	13.21	0.32	0.044	0.08	0.12	2.15	0.79	0.41	剩余部分	0.67	0.20	0.63	4.55	
	No.174	比较例	16.55	12.74	0.84	0.026	0.00	0.06	2.24	0.13	0.32	剩余部分	0.00	0.06	0.07	2.31	
	No.175	比较例	17.25	12.79	0.74	0.023	0.07	0.00	2.21	0.06	0.27	剩余部分	—	0.07	0.09	3.04	
	No.176	比较例	16.87	12.36	0.86	0.029	0.64	0.12	2.64	0.21	0.41	剩余部分	5.33	0.76	0.88	26.21	
	No.177	比较例	16.39	13.11	0.71	0.033	0.08	0.72	2.35	0.06	0.39	剩余部分	0.11	0.80	1.13	24.24	

[0542] 另外,在表23中,各样本No.的烧结体中,相当于本发明的为“实施例”,不相当于本发明的为“比较例”。

[0543] 另外,在各烧结体虽然包含微量的杂质,但在表23中省略记载。

#### 14. 金属粉末(Y-Nb系)的评价

[0545] 求出各样本No.的粒子的粒子的表面的Cr含有率Cr(0)、距粒子的表面的深度为60nm处的Cr含有率Cr(60)、粒子的表面的Si含有率Si(0)、距粒子的表面的深度为60nm处的Si含有率Si(60)、以及粒子的表面的O含有率O(0)。

[0546] 其结果,在相当于实施例的金属粉末的粒子中,粒子的表面的Cr含有率Cr(0)落在距粒子的表面的深度为60nm处的Cr含有率Cr(60)的70%以上170%以下的范围内。

[0547] 另外,粒子的表面的Cr含有率Cr(0)落在0.2原子%以上15原子%以下的范围内。

[0548] 另一方面,在相当于比较例的金属粉末的粒子中,表面的Cr含有率Cr(0)脱离了所述范围。

#### 15. 烧结体(Y-Nb系)的评价

##### 15.1 相对密度的评价

[0551] 以在JIS Z 2501(2000)规定的测定烧结金属材料的密度的方法为基准,对表23中示出的各样本No.的烧结体测定了烧结密度,并参考制造各烧结体使用的粉末冶金用金属粉末的真密度,算出各烧结体的相对密度。

[0552] 将计算结果在表24示出。

##### 15.2 维氏硬度的评价

[0554] 以JIS Z 2244(2009)规定的维氏硬度试验的试验方法为基准,对表23中示出的各样本No.的烧结体测定了维氏硬度。

[0555] 将测定结果在表24示出。

##### 15.3 抗拉强度、0.2%耐力以及延伸率的评价

[0557] 以JIS Z 2241(2011)规定的金属材料拉伸试验方法为基准,对表23中示出的各样本No.的烧结体测定了抗拉强度、0.2%屈服强度及延伸率。

- [0558] 并且,根据前述的适用于表6、表9的评价标准对测定的这些物性值进行了评价。  
 [0559] 将以上的评价结果在表24示出。  
 [0560] 表24

		金属粉末	烧结体的评价结果					
样本 No.	—		平均 粒径	相对 密度	维氏 硬度	抗拉 强度	0.2% 屈服 强度	
			$\mu m$	%	—	—	—	
[0561]	No.167	实施例	4.11	99.2	169	A	A	A
	No.168	实施例	3.89	99.1	170	A	A	A
	No.169	实施例	3.94	99.0	172	A	A	A
	No.170	实施例	4.23	98.7	177	B	A	A
	No.171	实施例	4.12	99.2	174	A	A	A
	No.172	实施例	3.87	98.5	180	B	B	B
	No.173	实施例	3.69	98.4	181	B	B	B
	No.174	比较例	3.77	96.1	192	D	D	B
	No.175	比较例	3.94	95.9	196	D	D	B
	No.176	比较例	4.78	94.8	201	D	E	E
	No.177	比较例	4.56	94.6	204	D	E	E

[0562] 由表24明确可知,相当于实施例的烧结体与相当于比较例的烧结体相比,相对密度高。另外,也确认了抗拉强度、0.2%屈服强度及延伸率这些特性存在显著差异。

[0563] 16. 烧结体(V-Nb系)的制造

[0564] (样本No.178~187)

[0565] 除了如表25所示改变粉末冶金用金属粉末的组成等之外,其余分别与样本No.1的烧结体的制造方法相同地得到烧结体。

[0566] 表25

		粉末冶金用金属粉末														
		合金组成										E1/E2	E1+E2	(E1+E2)/Si	(E1+E2)/C	备注
样本 No.	—	Cr	Ni	Si	C	E1 (V)	E2 (Nb)	Mo	Mn	O	Fe					
		质量 %										—	质量 %	—	—	—
[0567]	No.178	实施例	16.56	12.65	0.79	0.025	0.08	0.15	2.35	0.06	0.26	剩余部分	0.53	0.23	0.29	9.20
	No.179	实施例	16.42	12.36	0.71	0.016	0.05	0.10	2.28	0.09	0.31	剩余部分	0.50	0.15	0.21	9.38
	No.180	实施例	17.23	12.15	0.89	0.022	0.15	0.12	2.23	0.07	0.68	剩余部分	1.25	0.27	0.30	12.27
	No.181	实施例	17.89	11.75	0.97	0.047	0.09	0.09	2.59	0.05	0.18	剩余部分	1.00	0.18	0.19	3.83
	No.182	实施例	18.23	13.21	0.88	0.011	0.05	0.10	2.87	0.07	0.31	剩余部分	0.50	0.15	0.17	13.64
	No.183	实施例	18.25	10.25	0.44	0.187	0.12	0.12	2.47	0.07	0.47	剩余部分	1.00	0.24	0.55	1.28
	No.184	比较例	16.54	12.74	0.58	0.056	0.00	0.06	2.68	0.12	0.28	剩余部分	0.00	0.06	0.10	1.07
	No.185	比较例	16.39	12.47	0.75	0.032	0.09	0.00	2.13	0.11	0.32	剩余部分	—	0.09	0.12	2.81
	No.186	比较例	17.87	12.48	0.36	0.014	0.68	0.09	2.54	0.18	0.44	剩余部分	7.56	0.77	2.14	55.00
	No.187	比较例	17.65	12.77	0.47	0.023	0.07	0.63	2.77	0.16	0.39	剩余部分	0.11	0.70	1.49	30.43

[0568] 另外,在表25中,各样本No.的烧结体中,相当于本发明的为“实施例”,不相当于本发明的为“比较例”。

[0569] 另外,在各烧结体虽然包含微量的杂质,但在表25中省略记载。

#### 17. 金属粉末(V-Nb系)的评价

[0571] 求出各样本No.的粒子的粒子的表面的Cr含有率Cr(0)、距粒子的表面的深度为60nm处的Cr含有率Cr(60)、粒子的表面的Si含有率Si(0)、距粒子的表面的深度为60nm处的Si含有率Si(60)、以及粒子的表面的O含有率O(0)。

[0572] 其结果,在相当于实施例的金属粉末的粒子中,粒子的表面的Cr含有率Cr(0)落在距粒子的表面的深度为60nm处的Cr含有率Cr(60)的70%以上170%以下的范围内。

[0573] 另外,粒子的表面的Cr含有率Cr(0)落在0.2原子%以上15原子%以下的范围内。

[0574] 另一方面,在相当于比较例的金属粉末的粒子中,表面的Cr含有率Cr(0)脱离了所述范围。

#### 18. 烧结体(V-Nb系)的评价

##### 18.1 相对密度的评价

[0577] 以在JIS Z 2501(2000)规定的测定烧结金属材料的密度的方法为基准,对表25中示出的各样本No.的烧结体测定了烧结密度,并参考制造各烧结体使用的粉末冶金用金属粉末的真密度,算出各烧结体的相对密度。

[0578] 将计算结果在表26示出。

##### 18.2 维氏硬度的评价

[0580] 以JIS Z 2244(2009)规定的维氏硬度试验的试验方法为基准,对表25中示出的各样本No.的烧结体测定了维氏硬度。

[0581] 将测定结果在表26示出。

##### 18.3 抗拉强度、0.2%耐力以及延伸率的评价

[0583] 以JIS Z 2241(2011)规定的金属材料拉伸试验方法为基准,对表25中示出的各样本No.的烧结体测定了抗拉强度、0.2%屈服强度及延伸率。

- [0584] 并且,根据前述的适用于表6、表9的评价标准对测定的这些物性值进行了评价。  
 [0585] 将以上的评价结果在表26示出。  
 [0586] 表26

		金属 粉末	烧结体的评价结果				
样本 No.	—		平均 粒径	相对 密度	维氏 硬度	抗拉 强度	0.2% 屈服 强度
		μm	%	—	—	—	
No.178	实施例	4.12	98.9	172	A	A	B
No.179	实施例	4.25	99.0	167	A	A	A
No.180	实施例	6.89	98.5	175	A	A	B
No.181	实施例	5.74	98.3	181	B	B	B
No.182	实施例	3.25	98.7	161	B	B	A
No.183	实施例	4.11	97.4	194	B	B	C
No.184	比较例	3.98	96.2	202	D	D	C
No.185	比较例	3.74	96.0	211	D	D	C
No.186	比较例	4.52	94.5	215	D	D	D
No.187	比较例	3.45	94.3	223	D	D	E

[0587] [0588] 由表26明确可知,相当于实施例的烧结体与相当于比较例的烧结体相比,相对密度高。另外,也确认了抗拉强度、0.2%屈服强度及延伸率这些特性存在显著差异。

[0589] 19. 烧结体(Ti-Zr系)的制造

[0590] (样本No.188~197)

[0591] 除了如表27所示改变粉末冶金用金属粉末的组成等之外,其余分别与样本No.1的烧结体的制造方法相同地得到烧结体。

[0592] 表27

[0593]

样本 No.	—	粉末冶金用金属粉末												备注		
		合金组成										E1/E2	E1+E2	(E1+E2)/Si	(E1+E2)/C	
		Cr	Ni	Si	C	E1 (Ti)	E2 (Zr)	Mo	Mn	O	Fe					
		质量 %										—	质量 %	—	—	—
No.188	实施例	16.85	12.74	0.86	0.023	0.06	0.12	2.54	0.07	0.31	剩余部分	0.50	0.18	0.21	7.83	
No.189	实施例	17.24	12.14	0.74	0.039	0.05	0.10	2.36	0.04	0.49	剩余部分	0.50	0.15	0.20	3.85	
No.190	实施例	16.21	12.46	0.62	0.019	0.12	0.09	2.78	0.07	0.54	剩余部分	1.33	0.21	0.34	11.05	
No.191	实施例	16.57	12.98	0.97	0.059	0.08	0.06	2.23	0.05	0.21	剩余部分	1.33	0.14	0.14	2.37	
No.192	实施例	17.85	12.41	0.88	0.009	0.05	0.10	2.74	0.07	0.35	剩余部分	0.50	0.15	0.17	16.67	
No.193	实施例	17.65	13.21	0.44	0.175	0.09	0.09	2.68	0.07	0.44	剩余部分	1.00	0.18	0.41	1.03	
No.194	比较例	17.44	12.47	0.72	0.055	0.00	0.06	2.75	0.18	0.26	剩余部分	0.00	0.06	0.08	1.09	
No.195	比较例	16.54	12.87	0.78	0.032	0.09	0.00	2.69	0.08	0.35	剩余部分	—	0.09	0.12	2.81	
No.196	比较例	16.32	13.58	0.38	0.021	0.64	0.08	2.41	0.07	0.28	剩余部分	8.00	0.72	1.89	34.29	
No.197	比较例	16.25	13.75	0.43	0.018	0.07	0.59	2.21	0.06	0.22	剩余部分	0.12	0.66	1.53	36.67	

[0594] 另外,在表27中,各样本No.的烧结体中,相当于本发明的为“实施例”,不相当于本发明的为“比较例”。

[0595] 另外,在各烧结体虽然包含微量的杂质,但在表27中省略记载。

#### [0596] 20. 金属粉末(Ti-Zr系)的评价

[0597] 求出各样本No.的粒子的粒子的表面的Cr含有率Cr (0)、距粒子的表面的深度为60nm处的Cr含有率Cr (60)、粒子的表面的Si含有率Si (0)、距粒子的表面的深度为60nm处的Si含有率Si (60)、以及粒子的表面的O含有率O (0)。

[0598] 其结果,在相当于实施例的金属粉末的粒子中,粒子的表面的Cr含有率Cr (0)落在距粒子的表面的深度为60nm处的Cr含有率Cr (60)的70%以上170%以下的范围内。

[0599] 另外,粒子的表面的Cr含有率Cr (0)落在0.2原子%以上15原子%以下的范围内。

[0600] 另一方面,在相当于比较例的金属粉末的粒子中,表面的Cr含有率Cr (0)脱离了所述范围。

#### [0601] 21. 烧结体(Ti-Zr系)的制造

##### [0602] 21.1 相对密度的评价

[0603] 以在JIS Z 2501(2000)规定的测定烧结金属材料的密度的方法为基准,对表27中示出的各样本No.的烧结体测定了烧结密度,并参考制造各烧结体使用的粉末冶金用金属粉末的真密度,算出各烧结体的相对密度。

[0604] 将计算结果在表28示出。

##### [0605] 21.2 维氏硬度的评价

[0606] 以JIS Z 2244(2009)规定的维氏硬度试验的试验方法为基准,对表27中示出的各样本No.的烧结体测定了维氏硬度。

[0607] 将测定结果在表28示出。

##### [0608] 21.3 抗拉强度、0.2%耐力以及延伸率的评价

[0609] 以JIS Z 2241(2011)规定的金属材料拉伸试验方法为基准,对表27中示出的各样

本No.的烧结体测定了抗拉强度、0.2%屈服强度及延伸率。

[0610] 并且,根据前述的适用于表6、表9的评价标准对测定的这些物性值进行了评价。

[0611] 将以上的评价结果在表28示出。

[0612] 表28

		金属 粉末	烧结体的评价结果						
样本 No.	—		平均 粒径	相对 密度	维氏 硬度	抗拉 强度	0.2% 屈服 强度	延伸 率	
			μm	%	—	—	—	—	
[0613]	No.188	实施例	4.12	98.8	172	A	A	B	
	No.189	实施例	4.25	99.0	167	A	A	A	
	No.190	实施例	5.87	98.6	184	A	A	B	
	No.191	实施例	5.12	98.5	191	B	B	B	
	No.192	实施例	3.89	98.2	195	B	B	B	
	No.193	实施例	4.47	97.4	199	B	B	C	
	No.194	比较例	4.11	96.3	205	D	D	C	
	No.195	比较例	3.78	96.7	211	D	D	C	
	No.196	比较例	4.52	94.7	235	D	D	E	
	No.197	比较例	3.88	95.2	221	D	D	E	

[0614] 由表28明确可知,相当于实施例的烧结体与相当于比较例的烧结体相比,相对密度高。另外,也确认了抗拉强度、0.2%屈服强度及延伸率这些特性存在显著差异。

[0615] 22.烧结体(Zr-Ta系)的制造

[0616] (样本No.198~212)

[0617] 除了如表29、表30所示改变粉末冶金用金属粉末的组成等之外,其余分别与样本No.1的烧结体的制造方法相同地得到烧结体。

[0618] 表29

[0619]

样本 No.	—	粉末冶金用金属粉末												备注		
		合金组成										E1/E2	E1+E2	(E1+E2)/Si	(E1+E2)/C	
		Cr	Ni	Si	C	E1 (Zr)	E2 (Ta)	Mo	Mn	O	Fe					
质量 %												—	质量 %	—	—	—
No.198	实施例	16.61	12.45	0.68	0.023	0.06	0.09	2.55	0.11	0.38	剩余部分	0.67	0.15	0.22	6.52	
No.199	实施例	16.94	12.21	0.72	0.039	0.05	0.10	2.47	0.06	0.24	剩余部分	0.50	0.15	0.21	3.85	
No.200	实施例	17.43	12.89	0.85	0.019	0.12	0.09	2.05	0.54	0.49	剩余部分	1.33	0.21	0.25	11.05	
No.201	实施例	17.21	13.42	0.97	0.058	0.08	0.06	2.78	0.07	0.31	剩余部分	1.33	0.14	0.14	2.41	
No.202	实施例	16.31	12.87	0.88	0.011	0.05	0.10	2.74	0.12	0.55	剩余部分	0.50	0.15	0.17	13.64	
No.203	实施例	16.54	12.25	0.44	0.146	0.09	0.09	2.32	0.07	0.68	剩余部分	1.00	0.18	0.41	1.23	
No.204	比较例	17.24	12.14	0.77	0.018	0.00	0.06	2.56	0.08	0.27	剩余部分	0.00	0.06	0.08	3.33	
No.205	比较例	16.87	12.56	0.82	0.026	0.09	0.00	2.24	0.09	0.32	剩余部分	—	0.09	0.11	3.46	
No.206	比较例	16.54	12.32	0.35	0.025	0.78	0.05	2.89	0.11	0.35	剩余部分	15.60	0.83	2.37	33.20	
No.207	比较例	16.35	12.47	0.45	0.022	0.04	0.58	2.77	0.16	0.33	剩余部分	0.07	0.62	1.38	28.18	

[0620] 表30

[0621]

样本 No.	—	粉末冶金用金属粉末												备注		
		合金组成										E1/E2	E1+E2	(E1+E2)/Si	(E1+E2)/C	
		Cr	Ni	Si	C	E1 (Zr)	E2 (Ta)	Mo	Mn	O	Fe					
质量 %												—	质量 %	—	—	—
No.208	实施例	7.04	0.35	1.78	0.240	0.12	0.18	0.00	0.72	0.49	剩余部分	0.67	0.30	0.17	1.25	
No.209	实施例	19.08	40.31	0.44	0.540	0.04	0.08	0.00	0.79	0.34	剩余部分	0.50	0.12	0.27	0.22	
No.210	实施例	20.69	19.77	0.54	0.420	0.06	0.15	0.00	0.84	0.36	剩余部分	0.40	0.21	0.39	0.50	
No.211	比较例	19.18	40.32	0.45	0.440	0.00	0.00	0.00	0.72	0.28	剩余部分	—	0.00	0.00	0.00	
No.212	比较例	19.31	39.58	0.75	0.480	0.07	0.00	0.00	0.86	0.43	剩余部分	—	0.07	0.09	0.15	

[0622] 另外,在表29、表30中,各样本No.的烧结体中,相当于本发明的为“实施例”,不相当于本发明的为“比较例”。

[0623] 另外,在各烧结体虽然包含微量的杂质,但在表29、表30中省略记载。

### 23. 金属粉末(Zr-Ta系)的评价

[0625] 求出各样本No.的粒子的粒子的表面的Cr含有率Cr(0)、距粒子的表面的深度为60nm处的Cr含有率Cr(60)、粒子的表面的Si含有率Si(0)、距粒子的表面的深度为60nm处的Si含有率Si(60)、以及粒子的表面的O含有率O(0)。

[0626] 其结果,在相当于实施例的金属粉末的粒子中,粒子的表面的Cr含有率Cr(0)落在距粒子的表面的深度为60nm处的Cr含有率Cr(60)的70%以上170%以下的范围内。

[0627] 另外,粒子的表面的Cr含有率Cr(0)落在0.2原子%以上15原子%以下的范围内。

[0628] 另一方面,在相当于比较例的金属粉末的粒子中,表面的Cr含有率Cr(0)脱离了所

述范围。

[0629] 24. 烧结体 (Zr-Ta系) 的评价

[0630] 24.1 相对密度的评价

[0631] 以在JIS Z 2501 (2000) 规定的测定烧结金属材料的密度的方法为基准, 对表29、表30中示出的各样本No. 的烧结体测定了烧结密度, 并参考制造各烧结体使用的粉末冶金用金属粉末的真密度, 算出各烧结体的相对密度。

[0632] 将计算结果在表31、32示出。

[0633] 24.2 维氏硬度的评价

[0634] 以JIS Z 2244 (2009) 规定的维氏硬度试验的试验方法为基准, 对表29中示出的各样本No. 的烧结体测定了维氏硬度。

[0635] 将测定结果在表31示出。

[0636] 24.3 抗拉强度、0.2% 耐力以及延伸率的评价

[0637] 以JIS Z 2241 (2011) 规定的金属材料拉伸试验方法为基准, 对表29中示出的各样本No. 的烧结体测定了抗拉强度、0.2% 屈服强度及延伸率。

[0638] 并且, 根据前述的适用于表6、表9的评价标准对测定的这些物性值进行了评价。

[0639] 将以上的评价结果在表31示出。

[0640] 表31

		金属 粉末	烧结体的评价结果					
样本 No.	—		平均 粒径	相对 密度	维氏 硬度	抗拉 强度	0.2% 屈服 强度	
			μm	%	—	—	—	
[0641]	No.198	实施例	4.12	99.2	172	A	A	A
	No.199	实施例	4.32	99.3	167	A	A	A
	No.200	实施例	5.74	98.7	181	A	A	B
	No.201	实施例	5.21	98.5	185	B	B	B
	No.202	实施例	4.32	98.2	189	B	B	B
	No.203	实施例	4.23	97.5	197	B	B	C
	No.204	比较例	3.88	96.2	199	D	D	C
	No.205	比较例	4.22	96.2	199	D	D	C
	No.206	比较例	4.11	94.8	211	D	D	E
	No.207	比较例	3.89	95.1	205	D	D	E

[0642] 表32

		金属粉末	烧结体的评价结果					
样本 No.	—		平均 粒径	相对 密度	维氏 硬度	抗拉 强度	0.2% 屈服 强度	延伸 率
		$\mu\text{m}$	%	—	—	—	—	
No.208	实施例	14.46	98.7	—	—	—	—	—
No.209	实施例	7.45	98.6	—	—	—	—	—
No.210	实施例	6.58	99.0	—	—	—	—	—
No.211	比较例	7.98	96.1	—	—	—	—	—
No.212	比较例	8.02	95.4	—	—	—	—	—

[0644] 由表31、表32明确可知,相当于实施例的烧结体与相当于比较例的烧结体相比,相对密度高。另外,也确认了抗拉强度、0.2%屈服强度及延伸率这些特性存在显著差异。

[0645] 25. 烧结体(Zr-V系)的制造

[0646] (样本No.213~227)

[0647] 除了如表33、表34所示改变粉末冶金用金属粉末的组成等之外,其余分别与样本No.1的烧结体的制造方法相同地得到烧结体。

[0648] 表33

[0649]

样本 No.		粉末冶金用金属粉末													备注
		合金组成										E1/E2	E1+E2	$(E1+E2)/Si$	$(E1+E2)/C$
Cr	Ni	Si	C	E1 (Zr)	E2 (V)	Mo	Mn	O	Fe						
质量 %										—	质量 %	—	—	—	—
No.213	实施例	16.58	12.47	0.75	0.022	0.09	0.06	2.36	0.08	0.31	剩余部分	1.50	0.15	0.20	6.82
No.214	实施例	16.32	12.24	0.89	0.015	0.05	0.08	2.64	0.06	0.25	剩余部分	0.63	0.13	0.15	8.67
No.215	实施例	16.87	12.55	0.98	0.025	0.09	0.09	2.88	0.07	0.39	剩余部分	1.00	0.18	0.18	7.20
No.216	实施例	17.28	12.36	0.54	0.069	0.12	0.06	2.12	0.05	0.23	剩余部分	2.00	0.18	0.33	2.61
No.217	实施例	17.59	12.98	0.88	0.012	0.08	0.08	2.58	0.02	0.45	剩余部分	1.00	0.16	0.18	13.33
No.218	实施例	17.25	12.78	0.44	0.118	0.09	0.09	2.68	0.07	0.61	剩余部分	1.00	0.18	0.41	1.53
No.219	比较例	16.34	12.63	0.77	0.054	0.00	0.06	2.84	0.08	0.36	剩余部分	0.00	0.06	0.08	1.11
No.220	比较例	16.78	12.24	0.78	0.032	0.09	0.00	2.64	0.11	0.27	剩余部分	—	0.09	0.12	2.81
No.221	比较例	16.24	12.36	0.38	0.021	0.61	0.08	2.31	0.09	0.18	剩余部分	7.63	0.69	1.82	32.86
No.222	比较例	17.12	12.89	0.45	0.025	0.08	0.59	2.15	0.05	0.24	剩余部分	0.14	0.67	1.49	26.80

[0650] 表34

[0651]

		粉末冶金用金属粉末											备注			
		合金组成										E1/E2	E1+E2	(E1+E2)/Si	(E1+E2)/C	
样本 No.	—	Cr	Ni	Si	C	E1 (Zr)	E2 (V)	Mo	Mn	O	Fe					
		质量 %										—	质量 %	—	—	—
No.223	实施例	7.12	0.38	1.74	0.260	0.11	0.17	0.00	0.92	0.45	剩余部分	0.65	0.28	0.16	1.08	
No.224	实施例	19.22	40.25	0.43	0.480	0.05	0.03	0.00	0.75	0.36	剩余部分	1.67	0.08	0.19	0.17	
No.225	实施例	20.64	19.68	0.89	0.360	0.09	0.05	0.00	0.84	0.36	剩余部分	1.80	0.14	0.16	0.39	
No.226	比较例	19.22	40.39	0.43	0.480	0.00	0.00	0.00	0.89	0.36	剩余部分	—	0.00	0.00	0.00	
No.227	比较例	19.28	39.66	0.73	0.490	0.08	0.00	0.00	0.99	0.45	剩余部分	—	0.08	0.11	0.16	

[0652] 另外,在表33、表34中,各样本No.的烧结体中,相当于本发明的为“实施例”,不相当于本发明的为“比较例”。

[0653] 另外,在各烧结体虽然包含微量的杂质,但在表33、表34中省略记载。

[0654] 26. 金属粉末(Zr-V系)的评价

[0655] 求出各样本No.的粒子的粒子的表面的Cr含有率Cr(0)、距粒子的表面的深度为60nm处的Cr含有率Cr(60)、粒子的表面的Si含有率Si(0)、距粒子的表面的深度为60nm处的Si含有率Si(60)、以及粒子的表面的O含有率O(0)。

[0656] 其结果,在相当于实施例的金属粉末的粒子中,粒子的表面的Cr含有率Cr(0)落在距粒子的表面的深度为60nm处的Cr含有率Cr(60)的70%以上170%以下的范围内。

[0657] 另外,粒子的表面的Cr含有率Cr(0)落在0.2原子%以上15原子%以下的范围内。

[0658] 另一方面,在相当于比较例的金属粉末的粒子中,表面的Cr含有率Cr(0)脱离了所述范围。

[0659] 27. 烧结体(Zr-V系)的评价

[0660] 27.1 相对密度的评价

[0661] 以在JIS Z 2501(2000)规定的测定烧结金属材料的密度的方法为基准,对表33、表34中示出的各样本No.的烧结体测定了烧结密度,并参考制造各烧结体使用的粉末冶金用金属粉末的真密度,算出各烧结体的相对密度。

[0662] 将计算结果在表35、表36示出。

[0663] 27.2 维氏硬度的评价

[0664] 以JIS Z 2244(2009)规定的维氏硬度试验的试验方法为基准,对表33中示出的各样本No.的烧结体测定了维氏硬度。

[0665] 将测定结果在表35示出。

[0666] 27.3 抗拉强度、0.2%耐力以及延伸率的评价

[0667] 以JIS Z 2241(2011)规定的金属材料拉伸试验方法为基准,对表33中示出的各样本No.的烧结体测定了抗拉强度、0.2%屈服强度及延伸率。

[0668] 并且,根据前述的适用于表6、表9的评价标准对测定的这些物性值进行了评价。

[0669] 将以上的评价结果在表35示出。表35

		金属粉末	烧结体的评价结果					
样本 No.	—	平均 粒径	相对 密度	维氏 硬度	抗拉 强度	0.2% 屈服 强度	延伸 率	
		$\mu m$	%	—	—	—	—	
No.213	实施例	4.15	99.3	172	A	A	A	
No.214	实施例	4.26	98.9	167	A	A	B	
No.215	实施例	5.74	99.0	180	A	A	B	
No.216	实施例	5.12	99.1	178	B	B	B	
No.217	实施例	3.86	98.3	197	B	B	B	
No.218	实施例	3.65	97.5	202	B	B	C	
No.219	比较例	4.05	96.2	209	D	D	C	
No.220	比较例	4.13	96.5	208	D	D	C	
No.221	比较例	4.05	94.7	225	D	D	E	
No.222	比较例	3.88	95.2	212	D	D	E	

[0671] 表36

		金属 粉末	烧结体的评价结果					
样本 No.	—	平均 粒径	相对 密度	维氏 硬度	抗拉 强度	0.2% 屈服 强度	延伸 率	
		$\mu m$	%	—	—	—	—	
No.223	实施例	12.68	98.6	—	—	—	—	
No.224	实施例	7.27	98.5	—	—	—	—	
No.225	实施例	6.39	99.0	—	—	—	—	
No.226	比较例	7.87	96.2	—	—	—	—	
No.227	比较例	7.99	95.5	—	—	—	—	

[0673] 由表35、表36明确可知,相当于实施例的烧结体与相当于比较例的烧结体相比,相对密度高。另外,也确认了抗拉强度、0.2%屈服强度及延伸率这些特性存在显著差异。

[0674] 28.烧结体的镜面性的评价

[0675] 28.1表面附近和内部的空孔率的评价

[0676] 首先,将表37中示出的样本No.的烧结体切断,并对截面进行了研磨。

[0677] 接着,算出表面附近的空孔率A1以及内部的空孔率A2,并且算出A2-A1。

[0678] 将以上的计算结果在表37中示出。

[0679] 28.2镜面光泽度的评价

[0680] 首先,对表37中示出的样本No.的烧结体实施了滚筒研磨处理。

[0681] 接着,以在JIS Z 8741(1997)规定的测定镜面光泽度的方法为基准,对烧结体测

定了镜面光泽度。另外,将相对于烧结体表面的光的入射角设为60°,使用镜面光泽度90、折射率1.500的玻璃作为用于计算镜面光泽度的基准面。而且,根据以下的评价标准对测定的镜面光泽度进行了评价。

- [0682] 镜面光泽度的评价标准
- [0683] A: 表面的镜面性非常高(镜面光泽度为200以上)
- [0684] B: 表面的镜面性高(镜面光泽度为150以上小于200)
- [0685] C: 表面的镜面性稍高(镜面光泽度为100以上小于150)
- [0686] D: 表面的镜面性稍低(镜面光泽度为60以上小于100)
- [0687] E: 表面的镜面性低(镜面光泽度为30以上小于60)
- [0688] F: 表面的镜面性非常低(镜面光泽度为小于30)
- [0689] 将以上的评价结果在表37示出。
- [0690] 表37

[0691]

样本 No.	实施例 / 比较例	合金组成		评价结果	
		E1	E2	A2-A1 [%]	镜面光泽度
2	实施例	Zr	Nb	1.0	A
23	比较例			0.2	E
102	实施例	Hf	Nb	0.9	A
111	比较例			0.2	E
148	实施例	Ti	Nb	1.2	A
152	比较例			0.1	E
158	实施例	Nb	Ta	0.6	C
163	比较例			0.1	E
167	实施例	Y	Nb	1.2	A
174	比较例			0.2	E
179	实施例	V	Nb	0.6	C
184	比较例			0.1	E
189	实施例	Ti	Zr	0.7	C
194	比较例			0.1	E
199	实施例	Zr	Ta	0.6	B
204	比较例			0.2	E
213	实施例	Zr	V	0.5	B
219	比较例			0.2	E

- [0692] 由表37明确可知,相当于实施例的烧结体与相当于比较例的烧结体相比,镜面光泽度高。可以认为其原因在于,由于烧结体的表面附近的空孔率特别小,抑制了光的散射而导致正反射的比例变多。

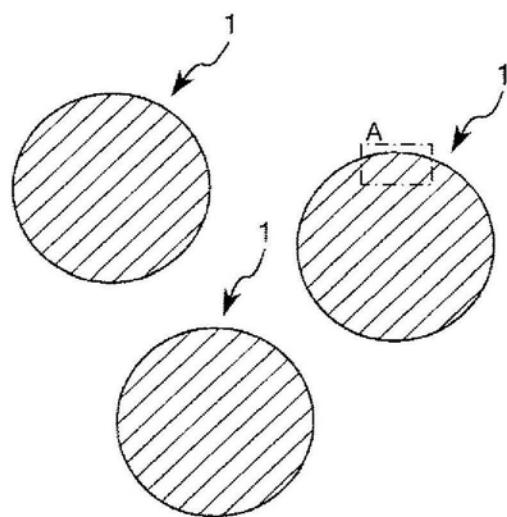


图1

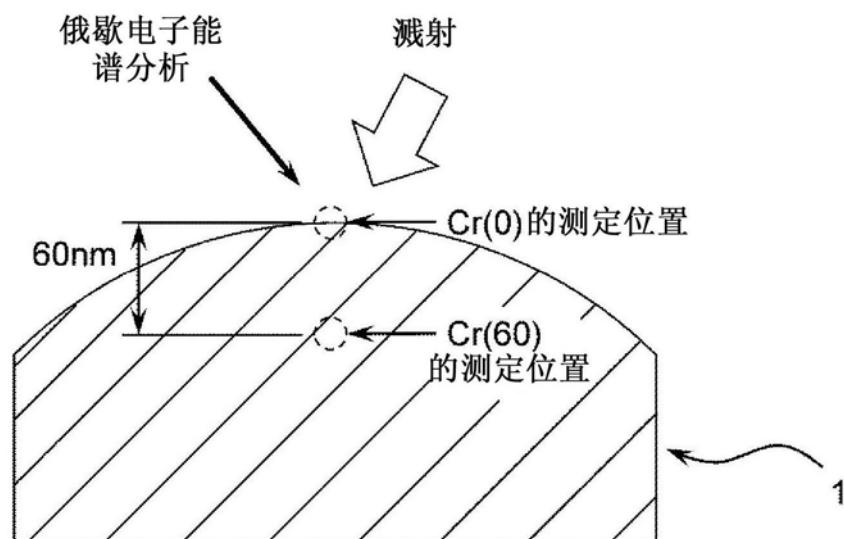


图2

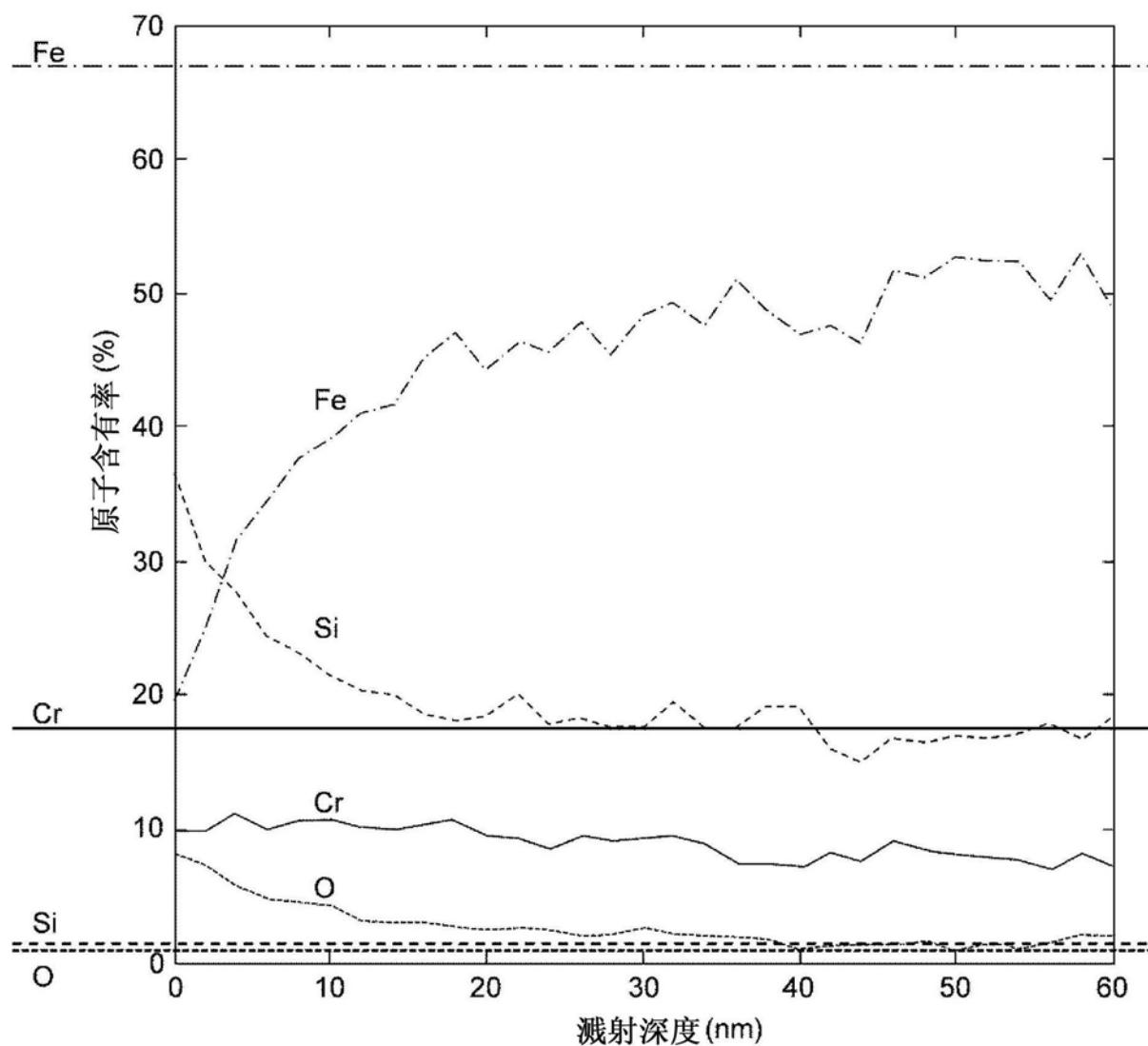


图3

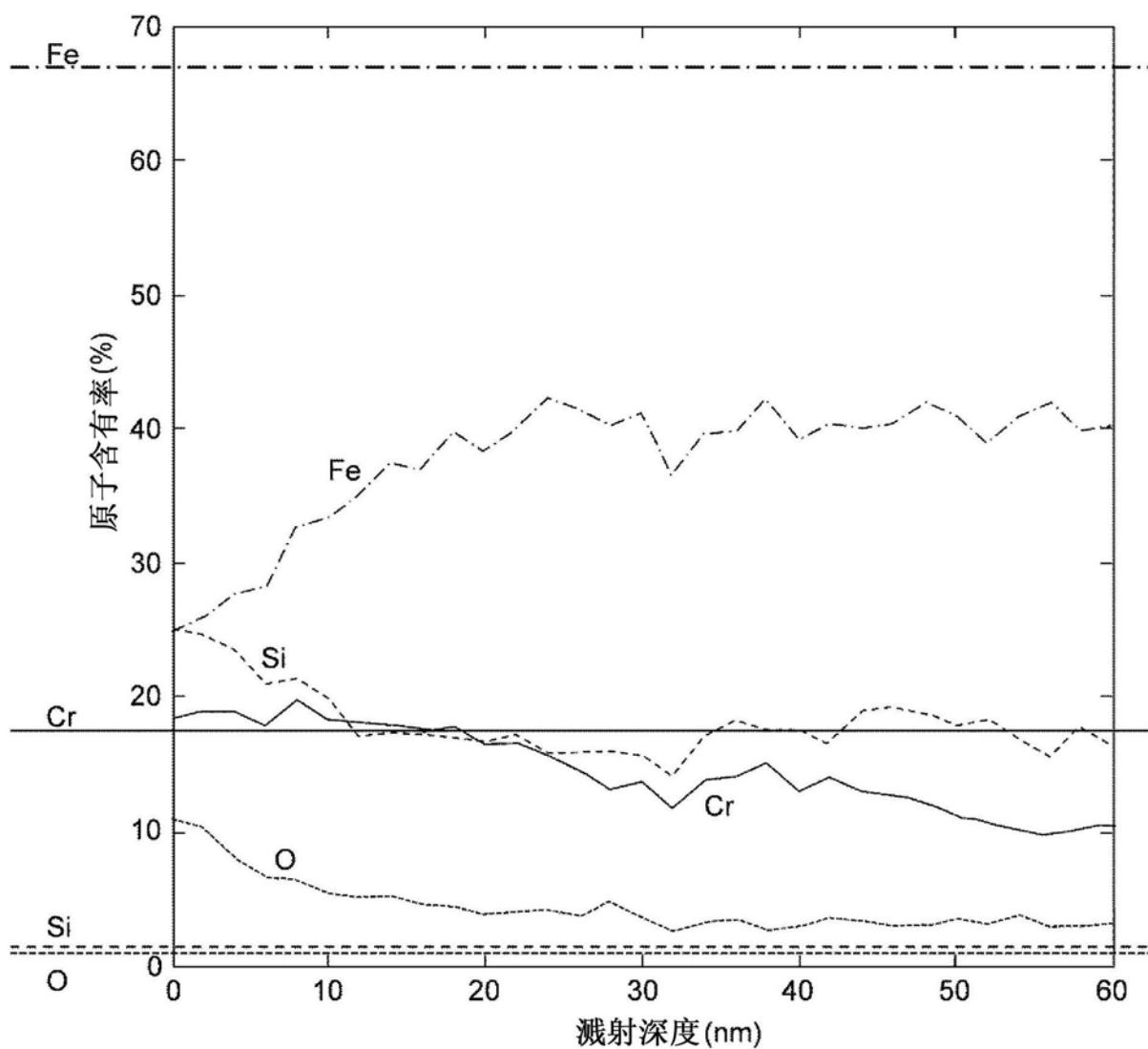


图4