

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6311615号
(P6311615)

(45) 発行日 平成30年4月18日 (2018. 4. 18)

(24) 登録日 平成30年3月30日 (2018. 3. 30)

(51) Int. Cl.	F I
B 2 2 F 1/00 (2006.01)	B 2 2 F 1/00 U
C 2 2 C 33/02 (2006.01)	C 2 2 C 33/02 A
C 2 2 C 38/00 (2006.01)	C 2 2 C 38/00 3 0 4

請求項の数 21 (全 67 頁)

(21) 出願番号	特願2015-111 (P2015-111)	(73) 特許権者	000002369
(22) 出願日	平成27年1月5日 (2015. 1. 5)		セイコーエプソン株式会社
(65) 公開番号	特開2016-125099 (P2016-125099A)		東京都新宿区新宿四丁目 1 番 6 号
(43) 公開日	平成28年7月11日 (2016. 7. 11)	(74) 代理人	100091292
審査請求日	平成29年6月30日 (2017. 6. 30)		弁理士 増田 達哉
		(74) 代理人	100091627
			弁理士 朝比 一夫
		(74) 代理人	100116665
			弁理士 渡辺 和昭
		(74) 代理人	100164633
			弁理士 西田 圭介
		(74) 代理人	100179475
			弁理士 仲井 智至

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 粉末冶金用金属粉末、コンパウンド、造粒粉末および焼結体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

F e を主成分とし、

M n、P、S、N i、C r および C u の含有率が、J I S G 4 0 5 3 (2 0 0 8)
に機械構造用合金鋼として規定されているマンガン鋼、マンガンクロム鋼、クロム鋼およ
びニッケルクロム鋼のうちのいずれかに該当する含有率の範囲に含まれ、

S i の含有率が、0 . 5 質量% 超 1 質量% 以下であり、C の含有率が、0 . 1 2 質量% 以上 0 . 9 質量% 以下であり、

T i、V、Y、Z r、N b および H f からなる群から選択される 1 種の元素を第 1 元素
とし、V、Z r、N b、H f および T a からなる群から選択される 1 種の元素であって元
素周期表における族が前記第 1 元素より大きい元素または元素周期表における族が前記第
1 元素と同じでかつ元素周期表における周期が前記第 1 元素より大きい元素を第 2 元素と
したとき、

前記第 1 元素が 0 . 0 1 質量% 以上 0 . 5 質量% 以下の割合で含まれ、

前記第 2 元素が 0 . 0 1 質量% 以上 0 . 5 質量% 以下の割合で含まれていることを特徴
とする粉末冶金用金属粉末。

【請求項 2】

F e を主成分とし、

M n、P、S、N i、C r および C u の含有率が、J I S G 4 0 5 3 (2 0 0 8)
に機械構造用合金鋼として規定されているマンガン鋼、マンガンクロム鋼、クロム鋼およ

10

20

びニッケルクロム鋼のうちのいずれかに該当する含有率の範囲に含まれ、

S iの含有率が、 0.6 質量%超 0.9 質量%以下であり、

Cの含有率が、 0.12 質量%以上 0.9 質量%以下であり、

T i、V、Y、Z r、N bおよびH fからなる群から選択される1種の元素を第1元素とし、V、Z r、N b、H fおよびT aからなる群から選択される1種の元素であって元素周期表における族が前記第1元素より大きい元素または元素周期表における族が前記第1元素と同じでかつ元素周期表における周期が前記第1元素より大きい元素を第2元素としたとき、

前記第1元素が 0.03 質量%以上 0.2 質量%以下の割合で含まれ、

前記第2元素が 0.03 質量%以上 0.2 質量%以下の割合で含まれていることを特徴とする粉末冶金用金属粉末。 10

【請求項3】

F eを主成分とし、

M n、P、S、N i、C rおよびC uの含有率が、J I S G 4 0 5 3 (2 0 0 8)

に機械構造用合金鋼として規定されているマンガン鋼、マンガンクロム鋼、クロム鋼およびニッケルクロム鋼のうちのいずれかに該当する含有率の範囲に含まれ、

S iの含有率が、 0.7 質量%超 0.85 質量%以下であり、

Cの含有率が、 0.12 質量%以上 0.9 質量%以下であり、

T i、V、Y、Z r、N bおよびH fからなる群から選択される1種の元素を第1元素とし、V、Z r、N b、H fおよびT aからなる群から選択される1種の元素であって元素周期表における族が前記第1元素より大きい元素または元素周期表における族が前記第1元素と同じでかつ元素周期表における周期が前記第1元素より大きい元素を第2元素としたとき、 20

前記第1元素が 0.05 質量%以上 0.1 質量%以下の割合で含まれ、

前記第2元素が 0.05 質量%以上 0.1 質量%以下の割合で含まれていることを特徴とする粉末冶金用金属粉末。

【請求項4】

F eを主成分とし、

M n、P、S、N i、C r、M oおよびC uの含有率が、J I S G 4 0 5 3 (2 0

0 8) に機械構造用合金鋼として規定されているクロムモリブデン鋼、ニッケルクロムモリブデン鋼およびアルミニウムクロムモリブデン鋼のうちのいずれかに該当する含有率の範囲に含まれ、 30

S iの含有率が、 0.5 質量%超 1 質量%以下であり、

Cの含有率が、 0.12 質量%以上 0.9 質量%以下であり、

T i、V、Y、Z r、N bおよびH fからなる群から選択される1種の元素を第1元素とし、V、Z r、N b、H fおよびT aからなる群から選択される1種の元素であって元素周期表における族が前記第1元素より大きい元素または元素周期表における族が前記第1元素と同じでかつ元素周期表における周期が前記第1元素より大きい元素を第2元素としたとき、

前記第1元素が 0.01 質量%以上 0.5 質量%以下の割合で含まれ、 40

前記第2元素が 0.01 質量%以上 0.5 質量%以下の割合で含まれていることを特徴とする粉末冶金用金属粉末。

【請求項5】

F eを主成分とし、

M n、P、S、N i、C r、M oおよびC uの含有率が、J I S G 4 0 5 3 (2 0

0 8) に機械構造用合金鋼として規定されているクロムモリブデン鋼、ニッケルクロムモリブデン鋼およびアルミニウムクロムモリブデン鋼のうちのいずれかに該当する含有率の範囲に含まれ、

S iの含有率が、 0.6 質量%超 0.9 質量%以下であり、

Cの含有率が、 0.12 質量%以上 0.9 質量%以下であり、 50

Ti、V、Y、Zr、NbおよびHfからなる群から選択される1種の元素を第1元素とし、V、Zr、Nb、HfおよびTaからなる群から選択される1種の元素であって元素周期表における族が前記第1元素より大きい元素または元素周期表における族が前記第1元素と同じでかつ元素周期表における周期が前記第1元素より大きい元素を第2元素としたとき、

前記第1元素が0.03質量%以上0.2質量%以下の割合で含まれ、

前記第2元素が0.03質量%以上0.2質量%以下の割合で含まれていることを特徴とする粉末冶金用金属粉末。

【請求項6】

Feを主成分とし、

Mn、P、S、Ni、Cr、MoおよびCuの含有率が、JIS G 4053(2008)に機械構造用合金鋼として規定されているクロムモリブデン鋼、ニッケルクロムモリブデン鋼およびアルミニウムクロムモリブデン鋼のうちのいずれかに該当する含有率の範囲に含まれ、

Siの含有率が、0.7質量%超0.85質量%以下であり、

Cの含有率が、0.12質量%以上0.9質量%以下であり、

Ti、V、Y、Zr、NbおよびHfからなる群から選択される1種の元素を第1元素とし、V、Zr、Nb、HfおよびTaからなる群から選択される1種の元素であって元素周期表における族が前記第1元素より大きい元素または元素周期表における族が前記第1元素と同じでかつ元素周期表における周期が前記第1元素より大きい元素を第2元素としたとき、

前記第1元素が0.05質量%以上0.1質量%以下の割合で含まれ、

前記第2元素が0.05質量%以上0.1質量%以下の割合で含まれていることを特徴とする粉末冶金用金属粉末。

【請求項7】

Cの含有率が、0.3質量%以上0.85質量%以下である請求項1ないし6のいずれか1項に記載の粉末冶金用金属粉末。

【請求項8】

Cの含有率が、0.5質量%以上0.8質量%以下である請求項1ないし6のいずれか1項に記載の粉末冶金用金属粉末。

【請求項9】

前記第2元素の含有率E2を前記第2元素の原子量で除した値X2に対する前記第1元素の含有率E1を前記第1元素の原子量で除した値X1の比率X1/X2は、0.3以上3以下である請求項1ないし8のいずれか1項に記載の粉末冶金用金属粉末。

【請求項10】

前記第2元素の含有率E2を前記第2元素の原子量で除した値X2に対する前記第1元素の含有率E1を前記第1元素の原子量で除した値X1の比率X1/X2は、0.5以上2以下である請求項1ないし8のいずれか1項に記載の粉末冶金用金属粉末。

【請求項11】

前記第2元素の含有率E2を前記第2元素の原子量で除した値X2に対する前記第1元素の含有率E1を前記第1元素の原子量で除した値X1の比率X1/X2は、0.75以上1.3以下である請求項1ないし8のいずれか1項に記載の粉末冶金用金属粉末。

【請求項12】

前記第1元素の含有率と前記第2元素の含有率の合計が0.02質量%以上0.6質量%以下である請求項1ないし11のいずれか1項に記載の粉末冶金用金属粉末。

【請求項13】

前記第1元素の含有率と前記第2元素の含有率の合計が0.05質量%以上0.48質量%以下である請求項1ないし11のいずれか1項に記載の粉末冶金用金属粉末。

【請求項14】

前記第1元素の含有率と前記第2元素の含有率の合計が0.1質量%以上0.24質量

10

20

30

40

50

%以下である請求項 1 ないし 1 1 のいずれか 1 項に記載の粉末冶金用金属粉末。

【請求項 1 5】

平均粒径が $0.5 \mu\text{m}$ 以上 $30 \mu\text{m}$ 以下である請求項 1 ないし 1 4 のいずれか 1 項に記載の粉末冶金用金属粉末。

【請求項 1 6】

請求項 1 ないし 1 5 のいずれか 1 項に記載の粉末冶金用金属粉末と、前記粉末冶金用金属粉末の粒子同士を結着するバインダーと、を含むことを特徴とするコンパウンド。

【請求項 1 7】

請求項 1 ないし 1 5 のいずれか 1 項に記載の粉末冶金用金属粉末を造粒してなることを特徴とする造粒粉末。

10

【請求項 1 8】

Fe を主成分とし、

Mn、P、S、Ni、Cr および Cu の含有率が、JIS G 4053 (2008) に機械構造用合金鋼として規定されているマンガン鋼、マンガクロム鋼、クロム鋼およびニッケルクロム鋼のうちのいずれかに該当する含有率の範囲に含まれ、

Si の含有率が、 0.5 質量% 超 1 質量% 以下であり、

C の含有率が、 0.12 質量% 以上 0.9 質量% 以下であり、

Ti、V、Y、Zr、Nb および Hf からなる群から選択される 1 種の元素を第 1 元素とし、V、Zr、Nb、Hf および Ta からなる群から選択される 1 種の元素であって元素周期表における族が前記第 1 元素より大きい元素または元素周期表における族が前記第 1 元素と同じでかつ元素周期表における周期が前記第 1 元素より大きい元素を第 2 元素としたとき、

20

前記第 1 元素が 0.01 質量% 以上 0.5 質量% 以下の割合で含まれ、

前記第 2 元素が 0.01 質量% 以上 0.5 質量% 以下の割合で含まれている粉末冶金用金属粉末を焼結して製造されたことを特徴とする焼結体。

【請求項 1 9】

Fe を主成分とし、

Mn、P、S、Ni、Cr、Mo および Cu の含有率が、JIS G 4053 (2008) に機械構造用合金鋼として規定されているクロムモリブデン鋼、ニッケルクロムモリブデン鋼およびアルミニウムクロムモリブデン鋼のうちのいずれかに該当する含有率の範囲に含まれ、

30

Si の含有率が、 0.5 質量% 超 1 質量% 以下であり、

C の含有率が、 0.12 質量% 以上 0.9 質量% 以下であり、

Ti、V、Y、Zr、Nb および Hf からなる群から選択される 1 種の元素を第 1 元素とし、V、Zr、Nb、Hf および Ta からなる群から選択される 1 種の元素であって元素周期表における族が前記第 1 元素より大きい元素または元素周期表における族が前記第 1 元素と同じでかつ元素周期表における周期が前記第 1 元素より大きい元素を第 2 元素としたとき、

前記第 1 元素が 0.01 質量% 以上 0.5 質量% 以下の割合で含まれ、

前記第 2 元素が 0.01 質量% 以上 0.5 質量% 以下の割合で含まれている粉末冶金用金属粉末を焼結して製造されたことを特徴とする焼結体。

40

【請求項 2 0】

Fe を主成分とし、

Mn、P、S、Ni、Cr および Cu の含有率が、JIS G 4053 (2008) に機械構造用合金鋼として規定されているマンガン鋼、マンガクロム鋼、クロム鋼およびニッケルクロム鋼のうちのいずれかに該当する含有率の範囲に含まれ、

Si の含有率が、 0.5 質量% 超 1 質量% 以下であり、

C の含有率が、 0.12 質量% 以上 0.9 質量% 以下であり、

Ti、V、Y、Zr、Nb および Hf からなる群から選択される 1 種の元素を第 1 元素とし、V、Zr、Nb、Hf および Ta からなる群から選択される 1 種の元素であって元

50

素周期表における族が前記第 1 元素より大きい元素または元素周期表における族が前記第 1 元素と同じでかつ元素周期表における周期が前記第 1 元素より大きい元素を第 2 元素としたとき、

前記第 1 元素が 0.01 質量%以上 0.5 質量%以下の割合で含まれ、

前記第 2 元素が 0.01 質量%以上 0.5 質量%以下の割合で含まれていることを特徴とする焼結体。

【請求項 21】

Fe を主成分とし、

Mn、P、S、Ni、Cr、Mo および Cu の含有率が、JIS G 4053 (2008) に機械構造用合金鋼として規定されているクロムモリブデン鋼、ニッケルクロムモリブデン鋼およびアルミニウムクロムモリブデン鋼のうちのいずれかに該当する含有率の範囲に含まれ、

Si の含有率が、0.5 質量%超 1 質量%以下であり、

C の含有率が、0.12 質量%以上 0.9 質量%以下であり、

Ti、V、Y、Zr、Nb および Hf からなる群から選択される 1 種の元素を第 1 元素とし、V、Zr、Nb、Hf および Ta からなる群から選択される 1 種の元素であって元素周期表における族が前記第 1 元素より大きい元素または元素周期表における族が前記第 1 元素と同じでかつ元素周期表における周期が前記第 1 元素より大きい元素を第 2 元素としたとき、

前記第 1 元素が 0.01 質量%以上 0.5 質量%以下の割合で含まれ、

前記第 2 元素が 0.01 質量%以上 0.5 質量%以下の割合で含まれていることを特徴とする焼結体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、粉末冶金用金属粉末、コンパウンド、造粒粉末および焼結体に関するものである。

【背景技術】

【0002】

粉末冶金法では、金属粉末とバインダーとを含む組成物を、所望の形状に成形して成形体を得た後、成形体を脱脂・焼結することにより、焼結体を製造する。このような焼結体の製造過程では、金属粉末の粒子同士の間で原子の拡散現象が生じ、これにより成形体が徐々に緻密化することによって焼結に至る。

【0003】

例えば、特許文献 1 には、Zr および Si を含み、残部が Fe、Co および Ni からなる群から選択される少なくとも 1 種と不可避元素とで構成された粉末冶金用金属粉末が提案されている。このような粉末冶金用金属粉末によれば、Zr の作用によって焼結性が向上し、高密度の焼結体を容易に製造することができる。

【0004】

また、例えば、特許文献 2 には、C 0.03 重量%以下、Ni 8 ~ 32 重量%、Cr 12 ~ 32 重量%、Mo 1 ~ 7 重量%、残部が Fe および不可避不純物からなるステンレス鋼粉 100 重量部と、平均粒径 10 ~ 60 μm の Ti または / および Nb からなる粉の 1 種以上の 0.1 ~ 5.5 重量部と、からなることを特徴とする金属射出成形用組成物が開示されている。このような 2 種類の粉末を混合した組成物を用いることにより、焼結密度が高く、優れた耐食性を有する焼結体を得られる。

【0005】

さらに、例えば、特許文献 3 には、C : 0.95 ~ 1.4 質量%、Si : 1.0 質量%以下、Mn : 1.0 質量%以下、Cr : 16 ~ 18 質量%、Nb : 0.02 ~ 3 質量%を含み、残部が Fe および不可避的不純物からなる組成であり、焼結後の密度が 7.65 ~ 7.75 g/cm^3 であり、金属射出成形法により成形されてなることを特徴とする二

10

20

30

40

50

ドルバルブ用ニードルシールが開示されている。これにより、高密度のニードルシールが得られる。

【0006】

このようにして得られた焼結体は、近年、各種機械部品や構造部品等に幅広く用いられるようになってきている。

【0007】

ところが、焼結体の用途によっては、さらなる緻密化が必要とされている場合もある。このような場合、焼結体に対してさらに熱間等方加圧処理（HIP処理）のような追加処理を行うことで高密度化を図っているが、作業工数が大幅に増加するとともに高コスト化を免れない。

【0008】

そこで、追加処理等を施すことなく、高密度の焼結体を製造可能な金属粉末の実現に期待が高まっている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開2012-87416号公報

【特許文献2】特開平6-279913号公報

【特許文献3】特開2007-177675号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

本発明の目的は、高密度の焼結体を製造可能な粉末冶金用金属粉末、コンパウンドおよび造粒粉末、ならびに前記粉末冶金用金属粉末を用いて製造された高密度の焼結体を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記目的は、下記の本発明により達成される。

本発明の粉末冶金用金属粉末は、Feを主成分とし、

Mn、P、S、Ni、CrおよびCuの含有率が、JIS G 4053（2008）に機械構造用合金鋼として規定されているマンガン鋼、マンガンクロム鋼、クロム鋼およびニッケルクロム鋼のうちのいずれかに該当する含有率の範囲に含まれ、

Siの含有率が、0.5質量%超1質量%以下であり、

Cの含有率が、0.12質量%以上0.9質量%以下であり、

Ti、V、Y、Zr、NbおよびHfからなる群から選択される1種の元素を第1元素とし、V、Zr、Nb、HfおよびTaからなる群から選択される1種の元素であって元素周期表における族が前記第1元素より大きい元素または元素周期表における族が前記第1元素と同じでかつ元素周期表における周期が前記第1元素より大きい元素を第2元素としたとき、

前記第1元素が0.01質量%以上0.5質量%以下の割合で含まれ、

前記第2元素が0.01質量%以上0.5質量%以下の割合で含まれていることを特徴とする。

本発明の粉末冶金用金属粉末は、Feを主成分とし、

Mn、P、S、Ni、CrおよびCuの含有率が、JIS G 4053（2008）に機械構造用合金鋼として規定されているマンガン鋼、マンガンクロム鋼、クロム鋼およびニッケルクロム鋼のうちのいずれかに該当する含有率の範囲に含まれ、

Siの含有率が、0.6質量%超0.9質量%以下であり、

Cの含有率が、0.12質量%以上0.9質量%以下であり、

Ti、V、Y、Zr、NbおよびHfからなる群から選択される1種の元素を第1元素とし、V、Zr、Nb、HfおよびTaからなる群から選択される1種の元素であって元

10

20

30

40

50

素周期表における族が前記第 1 元素より大きい元素または元素周期表における族が前記第 1 元素と同じでかつ元素周期表における周期が前記第 1 元素より大きい元素を第 2 元素としたとき、

前記第 1 元素が 0.03 質量%以上 0.2 質量%以下の割合で含まれ、

前記第 2 元素が 0.03 質量%以上 0.2 質量%以下の割合で含まれていることを特徴とする。

本発明の粉末冶金用金属粉末は、Fe を主成分とし、

Mn、P、S、Ni、Cr および Cu の含有率が、JIS G 4053 (2008) に機械構造用合金鋼として規定されているマンガン鋼、マンガンクロム鋼、クロム鋼およびニッケルクロム鋼のうちのいずれかに該当する含有率の範囲に含まれ、

Si の含有率が、0.7 質量%超 0.85 質量%以下であり、

C の含有率が、0.12 質量%以上 0.9 質量%以下であり、

Ti、V、Y、Zr、Nb および Hf からなる群から選択される 1 種の元素を第 1 元素とし、V、Zr、Nb、Hf および Ta からなる群から選択される 1 種の元素であって元素周期表における族が前記第 1 元素より大きい元素または元素周期表における族が前記第 1 元素と同じでかつ元素周期表における周期が前記第 1 元素より大きい元素を第 2 元素としたとき、

前記第 1 元素が 0.05 質量%以上 0.1 質量%以下の割合で含まれ、

前記第 2 元素が 0.05 質量%以上 0.1 質量%以下の割合で含まれていることを特徴とする。

本発明の粉末冶金用金属粉末は、Fe を主成分とし、

Mn、P、S、Ni、Cr、Mo および Cu の含有率が、JIS G 4053 (2008) に機械構造用合金鋼として規定されているクロムモリブデン鋼、ニッケルクロムモリブデン鋼およびアルミニウムクロムモリブデン鋼のうちのいずれかに該当する含有率の範囲に含まれ、

Si の含有率が、0.5 質量%超 1 質量%以下であり、

C の含有率が、0.12 質量%以上 0.9 質量%以下であり、

Ti、V、Y、Zr、Nb および Hf からなる群から選択される 1 種の元素を第 1 元素とし、V、Zr、Nb、Hf および Ta からなる群から選択される 1 種の元素であって元素周期表における族が前記第 1 元素より大きい元素または元素周期表における族が前記第 1 元素と同じでかつ元素周期表における周期が前記第 1 元素より大きい元素を第 2 元素としたとき、

前記第 1 元素が 0.01 質量%以上 0.5 質量%以下の割合で含まれ、

前記第 2 元素が 0.01 質量%以上 0.5 質量%以下の割合で含まれていることを特徴とする。

本発明の粉末冶金用金属粉末は、Fe を主成分とし、

Mn、P、S、Ni、Cr、Mo および Cu の含有率が、JIS G 4053 (2008) に機械構造用合金鋼として規定されているクロムモリブデン鋼、ニッケルクロムモリブデン鋼およびアルミニウムクロムモリブデン鋼のうちのいずれかに該当する含有率の範囲に含まれ、

Si の含有率が、0.6 質量%超 0.9 質量%以下であり、

C の含有率が、0.12 質量%以上 0.9 質量%以下であり、

Ti、V、Y、Zr、Nb および Hf からなる群から選択される 1 種の元素を第 1 元素とし、V、Zr、Nb、Hf および Ta からなる群から選択される 1 種の元素であって元素周期表における族が前記第 1 元素より大きい元素または元素周期表における族が前記第 1 元素と同じでかつ元素周期表における周期が前記第 1 元素より大きい元素を第 2 元素としたとき、

前記第 1 元素が 0.03 質量%以上 0.2 質量%以下の割合で含まれ、

前記第 2 元素が 0.03 質量%以上 0.2 質量%以下の割合で含まれていることを特徴とする。

本発明の粉末冶金用金属粉末は、Feを主成分とし、Mn、P、S、Ni、Cr、MoおよびCuの含有率が、JIS G 4053(2008)に機械構造用合金鋼として規定されているクロムモリブデン鋼、ニッケルクロムモリブデン鋼およびアルミニウムクロムモリブデン鋼のうちのいずれかに該当する含有率の範囲に含まれ、

Siの含有率が、0.7質量%超0.85質量%以下であり、Cの含有率が、0.12質量%以上0.9質量%以下であり、Ti、V、Y、Zr、NbおよびHfからなる群から選択される1種の元素を第1元素とし、V、Zr、Nb、HfおよびTaからなる群から選択される1種の元素であって元素周期表における族が前記第1元素より大きい元素または元素周期表における族が前記第1元素と同じでかつ元素周期表における周期が前記第1元素より大きい元素を第2元素としたとき、

前記第1元素が0.05質量%以上0.1質量%以下の割合で含まれ、前記第2元素が0.05質量%以上0.1質量%以下の割合で含まれていることを特徴とする。

【0012】

これにより、合金組成の最適化が図られ、粉末冶金用金属粉末の焼結時の緻密化を促進することができる。その結果、追加処理を施すことなく、高密度の焼結体を製造可能な粉末冶金用金属粉末が得られる。

【0013】

本発明の粉末冶金用金属粉末では、Cの含有率が、0.3質量%以上0.85質量%以下であることが好ましい。

本発明の粉末冶金用金属粉末では、Cの含有率が、0.5質量%以上0.8質量%以下であることが好ましい。

これにより、より高密度の焼結体を製造可能な粉末冶金用金属粉末が得られる。

【0014】

本発明の粉末冶金用金属粉末では、前記第2元素の含有率 E_2 を前記第2元素の原子量で除した値 X_2 に対する前記第1元素の含有率 E_1 を前記第1元素の原子量で除した値 X_1 の比率 X_1/X_2 は、0.3以上3以下であることが好ましい。

本発明の粉末冶金用金属粉末では、前記第2元素の含有率 E_2 を前記第2元素の原子量で除した値 X_2 に対する前記第1元素の含有率 E_1 を前記第1元素の原子量で除した値 X_1 の比率 X_1/X_2 は、0.5以上2以下であることが好ましい。

本発明の粉末冶金用金属粉末では、前記第2元素の含有率 E_2 を前記第2元素の原子量で除した値 X_2 に対する前記第1元素の含有率 E_1 を前記第1元素の原子量で除した値 X_1 の比率 X_1/X_2 は、0.75以上1.3以下であることが好ましい。

【0015】

これにより、粉末冶金用金属粉末が焼成されたとき、第1元素の炭化物等の析出と第2元素の炭化物等の析出のタイミングのずれを最適化することができる。その結果、成形体中に残存する空孔を内側から順次掃き出すようにして排出することができるので、焼結体中に生じる空孔を最小限に抑えることができる。したがって、高密度で焼結体特性に優れた焼結体を製造可能な粉末冶金用金属粉末が得られる。

【0016】

本発明の粉末冶金用金属粉末では、前記第1元素の含有率と前記第2元素の含有率の合計が0.02質量%以上0.6質量%以下であることが好ましい。

本発明の粉末冶金用金属粉末では、前記第1元素の含有率と前記第2元素の含有率の合計が0.05質量%以上0.48質量%以下であることが好ましい。

本発明の粉末冶金用金属粉末では、前記第1元素の含有率と前記第2元素の含有率の合計が0.1質量%以上0.24質量%以下であることが好ましい。

これにより、製造される焼結体の高密度化が必要かつ十分なものとなる。

【0017】

本発明の粉末冶金用金属粉末では、平均粒径が $0.5 \mu\text{m}$ 以上 $30 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

【0018】

これにより、焼結体中に残存する空孔が極めて少なくなるため、特に高密度で機械的特性に優れた焼結体を製造することができる。

【0019】

本発明のコンパウンドは、本発明の粉末冶金用金属粉末と、前記粉末冶金用金属粉末の粒子同士を結着するバインダーと、を含むことを特徴とする。

これにより、高密度の焼結体を製造可能なコンパウンドが得られる。

【0020】

本発明の造粒粉末は、本発明の粉末冶金用金属粉末を造粒してなることを特徴とする。

これにより、高密度の焼結体を製造可能な造粒粉末が得られる。

【0021】

本発明の焼結体は、Feを主成分とし、

Mn、P、S、Ni、CrおよびCuの含有率が、JIS G 4053(2008)に機械構造用合金鋼として規定されているマンガン鋼、マンガンクロム鋼、クロム鋼およびニッケルクロム鋼のうちのいずれかに該当する含有率の範囲に含まれ、

Siの含有率が、0.5質量%超1質量%以下であり、

Cの含有率が、0.12質量%以上0.9質量%以下であり、

Ti、V、Y、Zr、NbおよびHfからなる群から選択される1種の元素を第1元素とし、V、Zr、Nb、HfおよびTaからなる群から選択される1種の元素であって元素周期表における族が前記第1元素より大きい元素または元素周期表における族が前記第1元素と同じでかつ元素周期表における周期が前記第1元素より大きい元素を第2元素としたとき、

前記第1元素が0.01質量%以上0.5質量%以下の割合で含まれ、

前記第2元素が0.01質量%以上0.5質量%以下の割合で含まれている粉末冶金用金属粉末を焼結して製造されたことを特徴とする。

本発明の焼結体は、Feを主成分とし、

Mn、P、S、Ni、Cr、MoおよびCuの含有率が、JIS G 4053(2008)に機械構造用合金鋼として規定されているクロムモリブデン鋼、ニッケルクロムモリブデン鋼およびアルミニウムクロムモリブデン鋼のうちのいずれかに該当する含有率の範囲に含まれ、

Siの含有率が、0.5質量%超1質量%以下であり、

Cの含有率が、0.12質量%以上0.9質量%以下であり、

Ti、V、Y、Zr、NbおよびHfからなる群から選択される1種の元素を第1元素とし、V、Zr、Nb、HfおよびTaからなる群から選択される1種の元素であって元素周期表における族が前記第1元素より大きい元素または元素周期表における族が前記第1元素と同じでかつ元素周期表における周期が前記第1元素より大きい元素を第2元素としたとき、

前記第1元素が0.01質量%以上0.5質量%以下の割合で含まれ、

前記第2元素が0.01質量%以上0.5質量%以下の割合で含まれている粉末冶金用金属粉末を焼結して製造されたことを特徴とする。

本発明の焼結体は、Feを主成分とし、

Mn、P、S、Ni、CrおよびCuの含有率が、JIS G 4053(2008)に機械構造用合金鋼として規定されているマンガン鋼、マンガンクロム鋼、クロム鋼およびニッケルクロム鋼のうちのいずれかに該当する含有率の範囲に含まれ、

Siの含有率が、0.5質量%超1質量%以下であり、

Cの含有率が、0.12質量%以上0.9質量%以下であり、

Ti、V、Y、Zr、NbおよびHfからなる群から選択される1種の元素を第1元素とし、V、Zr、Nb、HfおよびTaからなる群から選択される1種の元素であって元

10

20

30

40

50

素周期表における族が前記第 1 元素より大きい元素または元素周期表における族が前記第 1 元素と同じでかつ元素周期表における周期が前記第 1 元素より大きい元素を第 2 元素としたとき、

前記第 1 元素が 0.01 質量%以上 0.5 質量%以下の割合で含まれ、

前記第 2 元素が 0.01 質量%以上 0.5 質量%以下の割合で含まれていることを特徴とする。

本発明の焼結体は、Fe を主成分とし、

Mn、P、S、Ni、Cr、Mo および Cu の含有率が、JIS G 4053 (2008) に機械構造用合金鋼として規定されているクロムモリブデン鋼、ニッケルクロムモリブデン鋼およびアルミニウムクロムモリブデン鋼のうちのいずれかに該当する含有率の範囲に含まれ、

Si の含有率が、0.5 質量%超 1 質量%以下であり、

C の含有率が、0.12 質量%以上 0.9 質量%以下であり、

Ti、V、Y、Zr、Nb および Hf からなる群から選択される 1 種の元素を第 1 元素とし、V、Zr、Nb、Hf および Ta からなる群から選択される 1 種の元素であって元素周期表における族が前記第 1 元素より大きい元素または元素周期表における族が前記第 1 元素と同じでかつ元素周期表における周期が前記第 1 元素より大きい元素を第 2 元素としたとき、

前記第 1 元素が 0.01 質量%以上 0.5 質量%以下の割合で含まれ、

前記第 2 元素が 0.01 質量%以上 0.5 質量%以下の割合で含まれていることを特徴とする。

これにより、追加処理を施すことなく、高密度の焼結体を得られる。

【発明を実施するための形態】

【0022】

以下、本発明の粉末冶金用金属粉末、コンパウンド、造粒粉末および焼結体について詳細に説明する。

【0023】

〔粉末冶金用金属粉末〕

まず、本発明の粉末冶金用金属粉末について説明する。

【0024】

粉末冶金では、粉末冶金用金属粉末とバインダーとを含む組成物を、所望の形状に成形した後、脱脂・焼結することにより、所望の形状の焼結体を得ることができる。このような粉末冶金技術によれば、その他の冶金技術に比べ、複雑で微細な形状の焼結体をニアネット（最終形状に近い形状）で製造することができるという利点を有する。

【0025】

粉末冶金に用いられる粉末冶金用金属粉末としては、従来、その組成を適宜変えることにより、製造される焼結体の高密度化を図る試みがなされてきた。しかしながら、焼結体には空孔が形成され易いため、溶製材と同等の機械的特性を得るには、焼結体においてさらなる高密度化を図る必要があった。

【0026】

そこで、従来では、得られた焼結体に対し、さらに熱間等方加圧処理（HIP 処理）等の追加処理を施すことにより、高密度化を図ることもあった。しかしながら、このような追加処理は、多くの手間やコストを伴うため、焼結体の用途を広げる際の足かせとなる。

【0027】

上記のような問題に鑑み、本発明者は、追加処理を施すことなく、高密度の焼結体を得るための条件について鋭意検討を重ねた。その結果、金属粉末を構成する合金の組成を最適化することにより、焼結体の高密度化が図られることを見出し、本発明を完成するに至った。

【0028】

具体的には、本発明の粉末冶金用金属粉末は、JIS G 4053 (2008) に機

10

20

30

40

50

機械構造用合金鋼として規定されているマンガン鋼、マンガンクロム鋼、クロム鋼、クロムモリブデン鋼、ニッケルクロム鋼、ニッケルクロムモリブデン鋼およびアルミニウムクロムモリブデン鋼のうちのいずれかに該当する化学成分が含まれ、S i の含有率が 0.5 質量%超 1 質量%以下となるように前記化学成分に加えて S i がさらに含まれ、後述する第 1 元素が 0.01 質量%以上 0.5 質量%以下の割合で含まれ、後述する第 2 元素が 0.01 質量%以上 0.5 質量%以下の割合で含まれ、残部が F e およびその他の元素で構成されている金属粉末である。このような金属粉末によれば、合金組成の最適化が図られた結果、焼結時の緻密化を特に高めることができる。その結果、追加処理を施すことなく、高密度の焼結体を製造することができる。

【0029】

10

そして、焼結体の高密度化が図られることで、機械的特性に優れた焼結体を得られることになる。このような焼結体は、例えば機械部品や構造部品といった外力（荷重）が加わる用途にも幅広く適用可能なものとなる。

【0030】

なお、第 1 元素とは、T i、V、Y、Z r、N b、H f および T a の 7 元素からなる群から選択される 1 種の元素であり、第 2 元素とは、前記 7 元素からなる群から選択される 1 種の元素であるとともに元素周期表における族が第 1 元素よりも大きい元素、または、前記 7 元素からなる群から選択される 1 種の元素であるとともに第 1 元素として選択された元素と元素周期表における族が同じ元素であってかつ元素周期表における周期が第 1 元素よりも大きい元素である。

20

【0031】

以下、本発明の粉末冶金用金属粉末の合金組成についてさらに詳述する。なお、以下の説明では、粉末冶金用金属粉末を単に「金属粉末」ということもある。

【0032】

前述したように、本発明の粉末冶金用金属粉末は、J I S G 4053 (2008) に機械構造用合金鋼として規定されているマンガン鋼、マンガンクロム鋼、クロム鋼、クロムモリブデン鋼、ニッケルクロム鋼、ニッケルクロムモリブデン鋼およびアルミニウムクロムモリブデン鋼のうちのいずれかに該当する化学成分を含んでいる。

【0033】

J I S G 4053 (2008) では、機械構造用合金鋼鋼材を 40 種類規定しており、これら 40 種類の鋼材を表 1 において 7 つに分類している。具体的には、表 1 では、機械構造用合金鋼鋼材が、マンガン鋼、マンガンクロム鋼、クロム鋼、クロムモリブデン鋼、ニッケルクロム鋼、ニッケルクロムモリブデン鋼およびアルミニウムクロムモリブデン鋼に分類されている。

30

【0034】

また、J I S G 4053 (2008) の表 2 では、これら 40 種類の鋼材の化学成分が規定されている。この化学成分は、各鋼材における C、S i、M n、P、S、N i、C r、M o および A l の各元素である。そして、表 2 では、これらの元素の含有量（単位：質量%）の許容範囲が規定されている。したがって、本明細書における「化学成分」とは、J I S G 4053 (2008) の表 2 に規定された含有量で含まれた元素の組み合わせのことを指す。

40

【0035】

また、本発明の粉末冶金用金属粉末には、S i の含有率が 0.5 質量%超 1 質量%以下となるように、前記化学成分に加えて S i がさらに添加されている。

【0036】

以下、必須元素である C r、S i、C、第 1 元素および第 2 元素の各元素について順次説明する。

【0037】

(C r)

C r (クロム) は、製造される焼結体に耐食性を付与する元素であり、C r を含む金属

50

粉末を用いることで、長期にわたって高い機械的特性を維持し得る焼結体を得られる。

【0038】

金属粉末におけるCrの含有率は、0.2質量%以上3.5質量%以下とされるが、好ましくは0.4質量%以上1.7質量%以下とされ、より好ましくは0.6質量%以上1.5質量%以下とされる。Crの含有率が前記下限値を下回ると、全体の組成によっては、製造される焼結体の耐食性が不十分になる。一方、Crの含有率が前記上限値を上回ると、全体の組成によっては、焼結性が低下し、焼結体の高密度化が困難になる。

【0039】

(Si)

Si(ケイ素)は、製造される焼結体に耐食性および高い機械的特性を付与する元素であり、Siを含む金属粉末を用いることで、長期にわたって高い機械的特性を維持し得る焼結体を得られる。

10

【0040】

金属粉末におけるSiの含有率は、0.5質量%超1質量%以下とされるが、好ましくは0.6質量%以上0.9質量%以下とされ、より好ましくは0.7質量%以上0.85質量%以下とされる。Siの含有率が前記下限値を下回ると、全体の組成によっては、Siを添加する効果が希薄になるため、製造される焼結体の耐食性や機械的特性が低下する。一方、Siの含有率が前記上限値を上回ると、全体の組成によっては、Siが多くなり過ぎるため、かえって耐食性や機械的特性が低下する。

【0041】

20

(C)

C(炭素)は、後述する第1元素や第2元素と併用されることで、焼結性を特に高めることができる。具体的には、第1元素や第2元素は、それぞれがCと結合することにより、炭化物を生成する。この炭化物が分散して析出することにより、結晶粒の著しい成長を防止する効果が生じる。このような効果が得られる明確な理由は不明であるが、理由の1つとして、分散した析出物が障害となって結晶粒の著しい成長を阻害するため、結晶粒のサイズのバラツキが抑えられることが考えられる。これにより、焼結体中に空孔が生じ難くなるとともに、結晶粒の肥大化が防止されるため、高密度でかつ機械的特性の高い焼結体を得られる。

【0042】

30

なお、JIS G 4053(2008)に機械構造用合金鋼として規定されている各種鋼材の化学成分にはCが含まれているが、本発明の粉末冶金用金属粉末では、必要に応じて、この化学成分に含まれるCに対してさらにCが追加されていてもよい。その場合、追加後のCの含有率は、0.1質量%以上0.9質量%以下であるのが好ましく、0.3質量%以上0.85質量%以下であるのがより好ましく、0.5質量%超0.8質量%以下であるのがさらに好ましい。これにより、後述するように、Cと第1元素および第2元素とが協調してもたらされる効果を十分に発揮させることができる。なお、Cの含有率が前記下限値を下回ると、全体の組成によっては、結晶粒が成長し易くなり、焼結体の機械的特性が不十分になるおそれがある。一方、Cの含有率が前記上限値を上回ると、全体の組成によっては、Cが多くなり過ぎるため、かえって焼結性が低下するおそれがある。

40

【0043】

(第1元素および第2元素)

第1元素および第2元素は、炭化物や酸化物(以下、まとめて「炭化物等」ともいう。)を析出させる。そして、この析出した炭化物等は、金属粉末が焼結するとき、結晶粒の著しい成長を阻害すると考えられる。その結果、前述したように、焼結体中に空孔が生じ難くなるとともに、結晶粒の肥大化が防止され、高密度でかつ機械的特性の高い焼結体を得られる。

【0044】

加えて、詳しくは後述するが、析出した炭化物等が結晶粒界において酸化ケイ素の集積を促進し、その結果、結晶粒の肥大化を抑えつつ、焼結の促進と高密度化とが図られる。

50

【 0 0 4 5 】

ところで、第 1 元素および第 2 元素は、T i、V、Y、Z r、N b、H f および T a の 7 元素からなる群から選択される 2 種の元素であるが、長周期型元素周期表の 3 A 族または 4 A 族に属する元素 (T i、Y、Z r、H f) を含むことが好ましい。第 1 元素および第 2 元素の少なくとも一方として 3 A 族または 4 A 族に属する元素を含むことにより、金属粉末中に酸化物として含まれている酸素を除去し、金属粉末の焼結性を特に高めることができる。

【 0 0 4 6 】

また、第 1 元素は、前述したように、T i、V、Y、Z r、N b、H f および T a の 7 元素からなる群から選択される 1 種の元素であればよいが、好ましくは前記 7 元素からなる群のうち、長周期型元素周期表の 3 A 族または 4 A 族に属する元素とされる。3 A 族または 4 A 族に属する元素は、金属粉末中に酸化物として含まれている酸素を除去し、金属粉末の焼結性を特に高めることができる。これにより、焼結後に結晶粒内に残存する酸素濃度の低減を図ることができる。その結果、焼結体の酸素含有率の低減を図り、高密度化を図ることができる。また、これらの元素は、活性が高い元素であるため、速やかな原子拡散をもたらすと考えられる。このため、この原子拡散が駆動力となって金属粉末の粒子間距離が効率よく縮まり、粒子間にネックを形成することによって成形体の緻密化が促進される。その結果、焼結体のさらなる高密度化を図ることができる。

【 0 0 4 7 】

一方、第 2 元素は、前述したように、T i、V、Y、Z r、N b、H f および T a の 7 元素からなる群から選択される 1 種の元素であって、かつ、第 1 元素とは異なる元素であればよいが、好ましくは前記 7 元素からなる群のうち、長周期型元素周期表の 5 A 族に属する元素とされる。5 A 族に属する元素は、特に、前述した炭化物等を効率よく析出させるため、焼結時の結晶粒の著しい成長を効率よく阻害することができる。その結果、微細な結晶粒の生成を促進させ、焼結体の高密度化と機械的特性の向上とを図ることができる。

【 0 0 4 8 】

なお、上述したような元素からなる第 1 元素と第 2 元素との組み合わせでは、それぞれの効果が互いに阻害し合うことなく発揮される。このため、このような第 1 元素および第 2 元素を含む金属粉末は、とりわけ高密度な焼結体を製造可能なものとなる。

【 0 0 4 9 】

また、より好ましくは、第 1 元素が 4 A 族に属する元素であり、第 2 元素が N b である組み合わせが採用される。

【 0 0 5 0 】

また、さらに好ましくは、第 1 元素が Z r または H f であり、第 2 元素が N b である組み合わせが採用される。

このような組み合わせが採用されることにより、上述した効果がより顕著になる。

【 0 0 5 1 】

また、これらの元素のうち、Z r はフェライト生成元素であるため、体心立方格子相を析出させる。この体心立方格子相は、他の結晶格子相に比べて焼結性に優れているため、焼結体の高密度化に寄与する。

【 0 0 5 2 】

金属粉末における第 1 元素の含有率は、0.01 質量% 以上 0.5 質量% 以下とされるが、好ましくは 0.03 質量% 以上 0.2 質量% 以下とされ、より好ましくは 0.05 質量% 以上 0.1 質量% 以下とされる。第 1 元素の含有率が前記下限値を下回ると、全体の組成によっては、第 1 元素を添加する効果が希薄になるため、製造される焼結体の高密度化が不十分になる。一方、第 1 元素の含有率が前記上限値を上回ると、全体の組成によっては、第 1 元素が多くなり過ぎるため、前述した炭化物等の比率が多くなり過ぎて、かえって高密度化が損なわれる。

【 0 0 5 3 】

金属粉末における第2元素の含有率は、0.01質量%以上0.5質量%以下とされるが、好ましくは0.03質量%以上0.2質量%以下とされ、より好ましくは0.05質量%以上0.1質量%以下とされる。第2元素の含有率が前記下限値を下回ると、全体の組成によっては、第2元素を添加する効果が希薄になるため、製造される焼結体の高密度化が不十分になる。一方、第2元素の含有率が前記上限値を上回ると、全体の組成によっては、第2元素が多くなり過ぎるため、前述した炭化物等の比率が多くなり過ぎて、かえって高密度化が損なわれる。

【0054】

また、前述したように、第1元素および第2元素は、それぞれ炭化物等を析出させるが、第1元素として前述したように3A族または4A族に属する元素を選択し、第2元素として前述したように5A族に属する元素を選択した場合、金属粉末を焼結する際に、第1元素の炭化物等が析出するタイミングと第2元素の炭化物等が析出するタイミングとが互いにずれると推測される。このように炭化物等が析出するタイミングがずれることにより、焼結が徐々に進行することになるため、空孔の生成が抑えられ、緻密な焼結体が得られるものと考えられる。すなわち、第1元素の炭化物等と第2元素の炭化物等の双方が存在していることにより、高密度化を図りつつ、結晶粒の肥大化を抑制することが可能になると考えられる。

【0055】

なお、金属粉末には、前記7元素からなる群から選択される2種の元素が含まれていればよいが、この群から選択される元素であって、この2種の元素とは異なる元素がさらに含まれていてもよい。すなわち、金属粉末には、前記7元素からなる群から選択される3種以上の元素が含まれていてもよい。これにより、組み合わせ方によって多少異なるものの、前述した効果をさらに増強することができる。

【0056】

また、第1元素の含有率と第2元素の含有率の比率は、第1元素として選択された元素の原子量および第2元素として選択された元素の原子量を考慮して設定されるのが好ましい。

【0057】

具体的には、第1元素の含有率 E_1 （質量%）を第1元素の原子量で除した値を指数 X_1 とし、第2元素の含有率 E_2 （質量%）を第2元素の原子量で除した値を指数 X_2 としたとき、指数 X_2 に対する指数 X_1 の比率 X_1/X_2 は0.3以上3以下であるのが好ましく、0.5以上2以下であるのがより好ましく、0.75以上1.3以下であるのがさらに好ましい。 X_1/X_2 を前記範囲内に設定することにより、第1元素の炭化物等の析出のタイミングと第2元素の炭化物等の析出のタイミングとのずれを最適化することができる。これにより、成形体中に残存する空孔を内側から順次掃き出すようにして排出することができるので、焼結体中に生じる空孔を最小限に抑えることができる。したがって、 X_1/X_2 を前記範囲内に設定することで、高密度で機械的特性に優れた焼結体を製造可能な金属粉末を得ることができる。また、第1元素の原子数と第2元素の原子数とのバランスが最適化されるため、第1元素によってもたらされる効果と第2元素によってもたらされる効果とが相乗的に発揮され、とりわけ高密度の焼結体を得ることができる。

【0058】

ここで、第1元素および第2元素の具体的な組み合わせの例について、上述した比率 X_1/X_2 の範囲に基づき、含有率 E_1 （質量%）と含有率 E_2 （質量%）の比率 E_1/E_2 についても算出する。

【0059】

例えば、第1元素がZrであり、第2元素がNbである場合、Zrの原子量が91.2であり、Nbの原子量が92.9であることから、 E_1/E_2 は0.29以上2.95以下であるのが好ましく、0.49以上1.96以下であるのがより好ましい。

【0060】

また、第1元素がHfであり、第2元素がNbである場合、Hfの原子量が178.5

10

20

30

40

50

であり、Nbの原子量が92.9であることから、E1/E2は0.58以上5.76以下であるのが好ましく、0.96以上3.84以下であるのがより好ましい。

【0061】

また、第1元素がTiであり、第2元素がNbである場合、Tiの原子量が47.9であり、Nbの原子量が92.9であることから、E1/E2は0.15以上1.55以下であるのが好ましく、0.26以上1.03以下であるのがより好ましい。

【0062】

また、第1元素がNbであり、第2元素がTaである場合、Nbの原子量が92.9であり、Taの原子量が180.9であることから、E1/E2は0.15以上1.54以下であるのが好ましく、0.26以上1.03以下であるのがより好ましい。

10

【0063】

また、第1元素がYであり、第2元素がNbである場合、Yの原子量が88.9であり、Nbの原子量が92.9であることから、E1/E2は0.29以上2.87以下であるのが好ましく、0.48以上1.91以下であるのがより好ましい。

【0064】

また、第1元素がVであり、第2元素がNbである場合、Vの原子量が50.9であり、Nbの原子量が92.9であることから、E1/E2は0.16以上1.64以下であるのが好ましく、0.27以上1.10以下であるのがより好ましい。

【0065】

また、第1元素がTiであり、第2元素がZrである場合、Tiの原子量が47.9であり、Zrの原子量が91.2であることから、E1/E2は0.16以上1.58以下であるのが好ましく、0.26以上1.05以下であるのがより好ましい。

20

【0066】

また、第1元素がZrであり、第2元素がTaである場合、Zrの原子量が91.2であり、Taの原子量が180.9であることから、E1/E2は0.15以上1.51以下であるのが好ましく、0.25以上1.01以下であるのがより好ましい。

【0067】

また、第1元素がZrであり、第2元素がVである場合、Zrの原子量が91.2であり、Vの原子量が50.9であることから、E1/E2は0.54以上5.38以下であるのが好ましく、0.90以上3.58以下であるのがより好ましい。

30

【0068】

なお、上述する組み合わせ以外についても、上記と同様にしてE1/E2を算出することができる。

【0069】

また、第1元素の含有率E1と第2元素の含有率E2の合計(E1+E2)については0.02質量%以上0.6質量%以下であるのが好ましく、0.05質量%以上0.48質量%以下であるのがより好ましく、0.10質量%以上0.24質量%以下であるのがさらに好ましい。第1元素の含有率と第2元素の含有率の合計を前記範囲内に設定することで、製造される焼結体の高密度化が必要かつ十分なものとなる。

【0070】

40

また、Siの含有率に対する第1元素の含有率と第2元素の含有率の合計の比率を(E1+E2)/Siとしたとき、(E1+E2)/Siは0.05以上0.5以下であるのが好ましく、0.1以上0.45以下であるのがより好ましく、0.15以上0.4以下であるのがさらに好ましい。(E1+E2)/Siを前記範囲内に設定することで、Siを添加した場合の靱性の低下等が、第1元素および第2元素の添加によって十分に補われる。その結果、高密度であるにもかかわらず、靱性といった機械的特性に優れ、かつ、Siに由来する耐食性にも優れた焼結体を製造可能な金属粉末が得られる。

【0071】

加えて、第1元素および第2元素が適量添加されることにより、焼結体中の結晶粒界において、第1元素の炭化物等および第2元素の炭化物等が「核」となり、酸化ケイ素の集

50

積が起こると考えられる。酸化ケイ素が結晶粒界に集積することにより、結晶粒内の酸化物濃度が低下するため、焼結の促進が図られる。その結果、焼結体の高密度化がさらに促進されるものと考えられる。

【0072】

さらには、析出した酸化ケイ素は、集積する過程において結晶粒界の三重点に移動し易いので、この点での結晶成長が抑制される（ピン留め効果）。その結果、結晶粒の著しい成長が抑制され、より微細な結晶を有する焼結体を得られる。このような焼結体は、機械的特性が特に高いものとなる。

【0073】

また、集積した酸化ケイ素は、前述したように結晶粒界の三重点に位置し易く、そのため、粒状に成形される傾向にある。したがって、焼結体には、このような粒状をなし、酸化ケイ素の含有率が相対的に高い第1領域と、第1領域よりも酸化ケイ素の含有率が相対的に低い第2領域と、が形成され易くなる。第1領域が存在することで、前述したような、結晶内部の酸化物濃度の低下と、結晶粒の著しい成長の抑制とが図られる。

【0074】

なお、第1領域および第2領域について、それぞれ電子線マイクロアナライザー（EPMA）による定性定量分析を行うと、第1領域では、O（酸素）が主元素となっている一方、第2領域では、Feが主元素となる。前述したように、第1領域は、主に結晶粒界に存在する一方、第2領域は、主に結晶粒内に存在する。そこで、第1領域において、OおよびSiの2元素の含有率の和とFeの含有率とを比較すると、2元素の含有率の和はFeの含有率より多くなっている。一方、第2領域では、OおよびSiの2元素の含有率の和は、Feの含有率より圧倒的に小さい。これらのことから、第1領域では、SiおよびOの集積が図られていることがわかる。具体的には、第1領域では、Siの含有率とOの含有率との和は、Feの含有率の1.5倍以上になっている。また、第1領域におけるSiの含有率は、第2領域におけるSiの含有率の3倍以上になっている。

【0075】

さらに、組成比によって異なる場合もあるが、第1元素の含有率および第2元素の含有率の少なくとも一方は、第1領域＞第2領域の関係を満足する。このことから、第1領域において、前述した第1元素の炭化物等や第2元素の炭化物等が、酸化ケイ素が集積する際の核になっていることを示している。具体例としては、第1領域における第1元素の含有率は、第2領域における第2元素の含有率の3倍以上になっている。

【0076】

なお、上述したような酸化ケイ素の集積は、焼結体の緻密化の原因と1つと考えられる。したがって、本発明により高密度化が図られた焼結体であっても、組成比によっては、酸化ケイ素が集積していない場合もあると考えられる。

【0077】

また、粒状をなす第1領域の直径は、焼結体全体におけるSi含有率に応じて異なるものの、0.5 μm以上15 μm以下程度とされ、好ましくは1 μm以上10 μm以下程度とされる。これにより、酸化ケイ素の集積に伴う焼結体の機械的特性の低下を抑えつつ、焼結体の高密度化を十分に促進させることができる。

【0078】

なお、第1領域の直径は、焼結体の断面の電子顕微鏡写真において、濃淡から特定される第1領域の面積と同じ面積を持つ円の直径（円相当径）の平均値として求めることができる。平均値を求める際には10個以上の測定値が用いられる。

【0079】

さらには、Cの含有率に対する第1元素の含有率と第2元素の含有率の合計の比率を（E1 + E2）/ Cとしたとき、（E1 + E2）/ Cは0.05以上0.6以下であるのが好ましく、0.1以上0.5以下であるのがより好ましく、0.15以上0.4以下であるのがさらに好ましい。（E1 + E2）/ Cを前記範囲内に設定することで、Cを添加した場合の硬度の上昇および靱性の低下と、第1元素および第2元素の添加によってもたら

10

20

30

40

50

される高密度化とを両立させることができる。その結果、引張強さや靱性といった機械的特性に優れた焼結体を製造可能な金属粉末が得られる。

【0080】

なお、金属粉末には、Ti、Y、Zr、Nb、HfおよびTaからなる群から選択される2種の元素が含まれていればよいが、この群から選択される元素であって、この2種の元素とは異なる元素がさらに含まれていてもよい。すなわち、金属粉末には、前記群から選択される3種以上の元素が含まれていてもよい。これにより、組み合わせ方によって多少異なるものの、前述した効果をさらに増強することができる。

【0081】

(その他の元素)

本発明の粉末冶金用金属粉末は、上述した元素の他、必要に応じてAl、Ni、Mn、Mo、Co、Cu、N、SおよびPのうちの少なくとも1種を含んでいてもよい。なお、これらの元素は、不可避免的に含まれる場合もある。

【0082】

Alは、製造される焼結体の靱性等の機械的特性を強化する元素である。

金属粉末におけるAlの含有率は、好ましくは1.2質量%以下とされ、より好ましくは0.7質量%以上1.2質量%以下とされる。Alの含有率を前記範囲内に設定することで、製造される焼結体の密度の大幅な低下を招くことなく、焼結体の靱性等の機械的特性をより強化することができる。

【0083】

Niは、製造される焼結体に耐食性や耐熱性を付与する元素である。

金属粉末におけるNiの含有率は、好ましくは4.5質量%以下とされ、より好ましくは0.01質量%以上3.5質量%以下とされ、さらに好ましくは0.02質量%以上3.2質量%以下とされる。Niの含有率を前記範囲内に設定することで、長期にわたって機械的特性に優れた焼結体を得られる。

【0084】

Niの含有率が前記下限値を下回ると、全体の組成によっては、製造される焼結体の耐食性や耐熱性を十分に高められないおそれがあり、一方、Niの含有率が前記上限値を上回ると、かえって耐食性や耐熱性が低下するおそれがある。

【0085】

Mnは、Siと同様、製造される焼結体に耐食性および高い機械的特性を付与する元素である。

【0086】

金属粉末におけるMnの含有率は、特に限定されないが、1.65質量%以下であるのが好ましく、0.3質量%以上1.5質量%以下であるのがより好ましく、0.6質量%以上0.9質量%以下であるのがさらに好ましい。Mnの含有率を前記範囲内に設定することで、高密度で機械的特性に優れた焼結体を得られる。また、高温時(赤熱時)の脆性の増大を抑制することができる。

【0087】

なお、Mnの含有率が前記下限値を下回ると、全体の組成によっては、製造される焼結体の耐食性や機械的特性を十分に高められないおそれがあり、一方、Mnの含有率が前記上限値を上回ると、かえって耐食性や機械的特性が低下するおそれがある。

【0088】

Moは、製造される焼結体の靱性等の機械的特性を強化する元素である。

金属粉末におけるMoの含有率は、特に限定されないが、0.7質量%以下であるのが好ましく、0.15質量%以上0.6質量%以下であるのがより好ましく、0.15質量%以上0.3質量%以下であるのがさらに好ましい。Moの含有率を前記範囲内に設定することで、製造される焼結体の密度の大幅な低下を招くことなく、焼結体の靱性等の機械的特性をより強化することができる。

【0089】

Coは、製造される焼結体の耐熱性を強化する元素である。

金属粉末におけるCoの含有率は、特に限定されないが、0.5質量%以下であるのが好ましく、0.05質量%以上0.4質量%以下であるのがより好ましい。Coの含有率を前記範囲内に設定することで、製造される焼結体の密度の大幅な低下を招くことなく、焼結体の耐熱性をより強化することができる。

【0090】

Cuは、製造される焼結体の耐食性を強化する元素である。

金属粉末におけるCuの含有率は、特に限定されないが、1質量%以下であるのが好ましく、0.01質量%以上0.5質量%以下であるのがより好ましい。Cuの含有率を前記範囲内に設定することで、製造される焼結体の密度の大幅な低下を招くことなく、焼結体の耐食性をより強化することができる。

10

【0091】

Nは、製造される焼結体の耐力等の機械的特性を高める元素である。

金属粉末におけるNの含有率は、特に限定されないが、0.03質量%以上1質量%以下であるのが好ましく、0.08質量%以上0.5質量%以下であるのがより好ましく、0.1質量%以上0.3質量%以下であるのがさらに好ましい。Nの含有率を前記範囲内に設定することで、製造される焼結体の密度の大幅な低下を招くことなく、焼結体の耐力等の機械的特性をより高めることができる。

【0092】

なお、Nが添加された金属粉末を製造するには、例えば、窒化した原料を用いる方法、熔融金属に対して窒素ガスを導入する方法、製造された金属粉末に窒化处理を施す方法等が用いられる。

20

【0093】

Sは、製造される焼結体の被削性を高める元素である。

金属粉末におけるSの含有率は、特に限定されないが、0.03質量%以下であるのが好ましく、0.01質量%以上0.03質量%以下であるのがより好ましい。Sの含有率を前記範囲内に設定することで、製造される焼結体の密度の大幅な低下を招くことなく、製造される焼結体の被削性をより高めることができる。

【0094】

Pは、製造される焼結体の耐候性を強化する元素である。

金属粉末におけるPの含有率は、特に限定されないが、0.03質量%以下であるのが好ましく、0.01質量%以上0.03質量%以下であるのがより好ましい。Pの含有率を前記範囲内に設定することで、製造される焼結体の密度の大幅な低下を招くことなく、製造される焼結体の耐候性をより高めることができる。

30

【0095】

この他、本発明の粉末冶金用金属粉末には、B、Se、Te、Pd、Al等が添加されていてもよい。その場合、これらの元素の含有率は、特に限定されないが、それぞれ0.1質量%未満であるのが好ましく、合計でも0.2質量%未満であるのが好ましい。なお、これらの元素は、不可避免的に含まれる場合もある。

【0096】

さらに、本発明の粉末冶金用金属粉末には、不純物が含まれていてもよい。不純物としては、上述した元素以外の全ての元素が挙げられ、具体的には、例えば、Li、Be、Na、Mg、K、Ca、Sc、Zn、Ga、Ge、Ag、In、Sn、Sb、Os、Ir、Pt、Au、Bi等が挙げられる。これらの不純物の混入量は、各々の元素がFe、Cr、Si、第1元素および第2元素の各含有量よりも少なくなるように設定されているのが好ましい。また、これらの不純物の混入量は、各々の元素が0.03質量%未満となるように設定されるのが好ましく、0.02質量%未満となるように設定されるのがより好ましい。また、合計でも0.3質量%未満とされるのが好ましく、0.2質量%未満とされるのがより好ましい。なお、これらの元素は、その含有率が前記範囲内であれば、前述したような効果が阻害されないもので、意図的に添加されていてもよい。

40

50

【 0 0 9 7 】

一方、O（酸素）も、意図的に添加されたり不可避免的に混入したりしてもよいが、その量は0.8質量％以下程度であるのが好ましく、0.5質量％以下程度であるのがより好ましい。金属粉末中の酸素量をこの程度に収めることで、焼結性が高くなり、高密度で機械的特性に優れた焼結体を得られる。なお、下限値は特に設定されないが、量産容易性等の観点から0.03質量％以上であるのが好ましい。

【 0 0 9 8 】

Feは、本発明の粉末冶金用金属粉末を構成する合金のうち含有率が最も高い必須元素（主成分）であり、焼結体の特性に大きな影響を及ぼす。Feの含有率は、特に限定されないが、50質量％以上であるのが好ましい。

10

【 0 0 9 9 】

また、粉末冶金用金属粉末の組成比は、例えば、JIS G 1257（2000）に規定された鉄及び鋼 - 原子吸光分析法、JIS G 1258（2007）に規定された鉄及び鋼 - ICP発光分光分析法、JIS G 1253（2002）に規定された鉄及び鋼 - スパーク放電発光分光分析法、JIS G 1256（1997）に規定された鉄及び鋼 - 蛍光X線分析法、JIS G 1211～G 1237に規定された重量・滴定・吸光光度法等により特定することができる。具体的には、例えばSPECTRO社製固体発光分光分析装置（スパーク放電発光分光分析装置、モデル：SPECTROLAB、タイプ：LAVMB08A）や、（株）リガク製ICP装置（CIROS120型）が挙げられる。

20

【 0 1 0 0 】

なお、JIS G 1211～G 1237は、下記の通りである。

JIS G 1211（2011）	鉄及び鋼 - 炭素定量方法
JIS G 1212（1997）	鉄及び鋼 - けい素定量方法
JIS G 1213（2001）	鉄及び鋼中のマンガン定量方法
JIS G 1214（1998）	鉄及び鋼 - リン定量方法
JIS G 1215（2010）	鉄及び鋼 - 硫黄定量方法
JIS G 1216（1997）	鉄及び鋼 - ニッケル定量方法
JIS G 1217（2005）	鉄及び鋼 - クロム定量方法
JIS G 1218（1999）	鉄及び鋼 - モリブデン定量方法
JIS G 1219（1997）	鉄及び鋼 - 銅定量方法
JIS G 1220（1994）	鉄及び鋼 - タングステン定量方法
JIS G 1221（1998）	鉄及び鋼 - バナジウム定量方法
JIS G 1222（1999）	鉄及び鋼 - コバルト定量方法
JIS G 1223（1997）	鉄及び鋼 - チタン定量方法
JIS G 1224（2001）	鉄及び鋼中のアルミニウム定量方法
JIS G 1225（2006）	鉄及び鋼 - ひ素定量方法
JIS G 1226（1994）	鉄及び鋼 - すず定量方法
JIS G 1227（1999）	鉄及び鋼中のほう素定量方法
JIS G 1228（2006）	鉄及び鋼 - 窒素定量方法
JIS G 1229（1994）	鋼 - 鉛定量方法
JIS G 1232（1980）	鋼中のジルコニウム定量方法
JIS G 1233（1994）	鋼 - セレン定量方法
JIS G 1234（1981）	鋼中のテルル定量方法
JIS G 1235（1981）	鉄及び鋼中のアンチモン定量方法
JIS G 1236（1992）	鋼中のタンタル定量方法
JIS G 1237（1997）	鉄及び鋼 - ニオブ定量方法

30

40

【 0 1 0 1 】

また、C（炭素）およびS（硫黄）の特定に際しては、特に、JIS G 1211（2011）に規定された酸素気流燃焼（高周波誘導加熱炉燃焼） - 赤外線吸収法も用いら

50

れる。具体的には、L E C O 社製炭素・硫黄分析装置、C S - 2 0 0 が挙げられる。

【 0 1 0 2 】

さらに、N (窒素) および O (酸素) の特定に際しては、特に、J I S G 1 2 2 8 (2 0 0 6) に規定された鉄および鋼の窒素定量方法、J I S Z 2 6 1 3 (2 0 0 6) に規定された金属材料の酸素定量方法も用いられる。具体的には、L E C O 社製酸素・窒素分析装置、T C - 3 0 0 / E F - 3 0 0 が挙げられる。

【 0 1 0 3 】

また、本発明の粉末冶金用金属粉末は、マルテンサイトの結晶構造を有しているのが好ましい。マルテンサイトの結晶構造は、C が過飽和に固溶した体心立方格子を含んでいる。この体心立方格子は、焼成あるいはその後の熱処理に伴って面心立方格子から転化したものであり、その際に体積膨張を伴っている。したがって、マルテンサイトの結晶構造を有する粉末冶金用金属粉末は、高硬度の焼結体を製造し得るものとなる。このため、例えば得られた焼結体を用いて機械構造用部品を製造したとき、耐変形性および耐摩耗性に優れた機械構造用部品を製造することができる。

10

【 0 1 0 4 】

なお、粉末冶金用金属粉末がマルテンサイトの結晶構造を有しているか否かは、例えば X 線回折法により判定することができる。

【 0 1 0 5 】

また、本発明の粉末冶金用金属粉末の平均粒径は、 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $30\text{ }\mu\text{m}$ 以下であるのが好ましく、 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $20\text{ }\mu\text{m}$ 以下であるのがより好ましく、 $2\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下であるのがさらに好ましい。このような粒径の粉末冶金用金属粉末を用いることにより、焼結体中に残存する空孔が極めて少なくなるため、特に高密度で機械的特性に優れた焼結体を製造することができる。

20

【 0 1 0 6 】

なお、平均粒径は、レーザー回折法により得られた質量基準での累積粒度分布において、累積量が小径側から 5 0 % になるときの粒径として求められる。

【 0 1 0 7 】

また、粉末冶金用金属粉末の平均粒径が前記下限値を下回った場合、成形し難い形状を成形する際に成形性が低下し、焼結密度が低下するおそれがあり、前記上限値を上回った場合、成形時に粒子間の隙間が大きくなるので、やはり焼結密度が低下するおそれがある。

30

【 0 1 0 8 】

また、粉末冶金用金属粉末の粒度分布は、できるだけ狭いのが好ましい。具体的には、粉末冶金用金属粉末の平均粒径が前記範囲内であれば、最大粒径が $200\text{ }\mu\text{m}$ 以下であるのが好ましく、 $150\text{ }\mu\text{m}$ 以下であるのがより好ましい。粉末冶金用金属粉末の最大粒径を前記範囲内に制御することにより、粉末冶金用金属粉末の粒度分布をより狭くすることができ、焼結体のさらなる高密度化を図ることができる。

【 0 1 0 9 】

なお、上記の最大粒径とは、レーザー回折法により得られた質量基準での累積粒度分布において、累積量が小径側から 9 9 . 9 % になるときの粒径のことをいう。

40

【 0 1 1 0 】

また、粉末冶金用金属粉末の粒子の短径を $S\text{ [}\mu\text{m]}$ とし、長径を $L\text{ [}\mu\text{m]}$ としたとき、 S/L で定義されるアスペクト比の平均値は、 0.4 以上 1 以下程度であるのが好ましく、 0.7 以上 1 以下程度であるのがより好ましい。このようなアスペクト比の粉末冶金用金属粉末は、その形状が比較的球形に近くなるので、成形された際の充填率が高められる。その結果、焼結体のさらなる高密度化を図ることができる。

【 0 1 1 1 】

なお、前記長径とは、粒子の投影像においてとりうる最大長さであり、前記短径とは、長径に直交する方向においてとりうる最大長さである。また、アスペクト比の平均値は、 100 個以上の粒子について測定されたアスペクト比の値の平均値として求められる。

50

【0112】

また、本発明の粉末冶金用金属粉末のタップ密度は、 3.5 g/cm^3 以上であるのが好ましく、 4 g/cm^3 以上であるのがより好ましい。このようにタップ密度が大きい粉末冶金用金属粉末であれば、成形体を得る際に、粒子間の充填性が特に高くなる。このため、最終的に、特に緻密な焼結体を得ることができる。

【0113】

また、本発明の粉末冶金用金属粉末の比表面積は、特に限定されないが、 $0.1 \text{ m}^2/\text{g}$ 以上であるのが好ましく、 $0.2 \text{ m}^2/\text{g}$ 以上であるのがより好ましい。このように比表面積の広い粉末冶金用金属粉末であれば、表面の活性（表面エネルギー）が高くなるため、より少ないエネルギーの付与でも容易に焼結することができる。したがって、成形体を焼結する際に、成形体の内側と外側とで焼結速度の差が生じ難くなり、内側に空孔が残存して焼結密度が低下するのを抑制することができる。

10

【0114】

なお、JIS G 4053 (2008) に規定されている機械構造用合金鋼の鋼材の種類は、以下の通りである。ここでは、JIS に規格化されている鋼材の種類を示すとともに、一部の鋼材に付記した括弧内には、ISO（国際標準化機構）または AISI（米国鉄鋼協会）に規格化されている鋼材の種類を示している。

【0115】

JIS G 4053 (2008) に規格化されているマンガン鋼に分類される鋼材の種類を示す記号としては、SMn420 (AISI SAE 1522)、SMn433 (AISI SAE 1534)、SMn438 (AISI SAE 1541) および SMn443 (AISI SAE 1541) が挙げられる。

20

【0116】

また、マンガンクロム鋼に分類される鋼材の種類を示す記号としては、SMnC420 および SMnC443 が挙げられる。

【0117】

また、クロム鋼に分類される鋼材の種類を示す記号としては、SCr415、SCr420 (AISI SAE 5120)、SCr430 (AISI SAE 5130, 5132)、SCr435 (AISI SAE 5132)、SCr440 (AISI SAE 5140) および SCr445 が挙げられる。

30

【0118】

また、クロムモリブデン鋼に分類される鋼材の種類を示す記号としては、SCM415、SCM418 (ISO 683/1, 10, 11 18CrMo4, 18CrMoS4)、SCM420、SCM421、SCM425、SCM430 (AISI SAE 4131)、SCM432、SCM435 (AISI SAE 4137)、SCM440 (AISI SAE 4140, 4142)、SCM445 (AISI SAE 4145, 4147) および SCM822 が挙げられる。

【0119】

また、ニッケルクロム鋼に分類される鋼材の種類を示す記号としては、SNC236、SNC415、SNC631、SNC815 (ISO 683/1, 10, 11 15NiCr13) および SNC836 が挙げられる。

40

【0120】

また、ニッケルクロムモリブデン鋼に分類される鋼材の種類を示す記号としては、SNCM220 (AISI SAE 8615, 8617, 8620, 8622)、SNCM240 (AISI SAE 8637, 8640)、SNCM415、SNCM420 (AISI SAE 4320)、SNCM431、SNCM439 (AISI SAE 4340)、SNCM447、SNCM616、SNCM625、SNCM630 および SNCM815 が挙げられる。

【0121】

また、アルミニウムクロムモリブデン鋼に分類される鋼材の種類を示す記号としては、SA

50

CM645 (ISO 683 / 1, 10, 11 41CrAlMo74) が挙げられる。

【0122】

[焼結体の製造方法]

次に、このような本発明の粉末冶金用金属粉末を用いて焼結体を製造する方法について説明する。

【0123】

焼結体を製造する方法は、[A]焼結体製造用の組成物を用意する組成物調製工程と、[B]成形体を製造する成形工程と、[C]脱脂処理を施す脱脂工程と、[D]焼成を行う焼成工程と、を有する。以下、各工程について順次説明する。

【0124】

[A]組成物調製工程

まず、本発明の粉末冶金用金属粉末と、バインダーとを用意し、これらを混練機により混練し、混練物を得る。

【0125】

この混練物(本発明のコンパウンドの実施形態)中では、粉末冶金用金属粉末が均一に分散している。

【0126】

本発明の粉末冶金用金属粉末は、例えば、アトマイズ法(例えば、水アトマイズ法、ガスアトマイズ法、高速回転水流アトマイズ法等)、還元法、カルボニル法、粉砕法等の各種粉末化法により製造される。

【0127】

このうち、本発明の粉末冶金用金属粉末は、アトマイズ法により製造されたものであるのが好ましく、水アトマイズ法または高速回転水流アトマイズ法により製造されたものであるのがより好ましい。アトマイズ法は、熔融金属(溶湯)を、高速で噴射された流体(液体または気体)に衝突させることにより、溶湯を微粉化するとともに冷却して、金属粉末を製造する方法である。粉末冶金用金属粉末をこのようなアトマイズ法によって製造することにより、極めて微小な粉末を効率よく製造することができる。また、得られる粉末の粒子形状が表面張力の作用により球形状に近くなる。このため、成形した際に充填率の高いものが得られる。すなわち、高密度な焼結体を製造可能な粉末を得ることができる。

【0128】

なお、アトマイズ法として、水アトマイズ法を用いた場合、熔融金属に向けて噴射される水(以下、「アトマイズ水」という。)の圧力は、特に限定されないが、好ましくは75MPa以上120MPa以下(750 kgf/cm^2 以上 1200 kgf/cm^2 以下)程度とされ、より好ましくは、90MPa以上120MPa以下(900 kgf/cm^2 以上 1200 kgf/cm^2 以下)程度とされる。

【0129】

また、アトマイズ水の水温も、特に限定されないが、好ましくは1 以上20 以下程度とされる。

【0130】

さらに、アトマイズ水は、溶湯の落下経路上に頂点を有し、外径が下方に向かって漸減するような円錐状に噴射される場合が多い。この場合、アトマイズ水が形成する円錐の頂角は、10°以上40°以下程度であるのが好ましく、15°以上35°以下程度であるのがより好ましい。これにより、前述したような組成の粉末冶金用金属粉末を、確実に製造することができる。

【0131】

また、水アトマイズ法(特に高速回転水流アトマイズ法)によれば、とりわけ速く溶湯を冷却することができる。このため、広い合金組成において高品質な粉末が得られる。

【0132】

また、アトマイズ法において溶湯を冷却する際の冷却速度は、 1×10^4 / s 以上であるのが好ましく、 1×10^5 / s 以上であるのがより好ましい。このような急速な冷

10

20

30

40

50

却により、均質な粉末冶金用金属粉末が得られる。その結果、高品質な焼結体を得ることができる。

【 0 1 3 3 】

なお、このようにして得られた粉末冶金用金属粉末に対し、必要に応じて、分級を行ってもよい。分級の方法としては、例えば、ふるい分け分級、慣性分級、遠心分級のような乾式分級、沈降分級のような湿式分級等が挙げられる。

【 0 1 3 4 】

一方、バインダーとしては、例えば、ポリエチレン、ポリプロピレン、エチレン - 酢酸ビニル共重合体等のポリオレフィン、ポリメチルメタクリレート、ポリブチルメタクリレート等のアクリル系樹脂、ポリスチレン等のスチレン系樹脂、ポリ塩化ビニル、ポリ塩化ビニリデン、ポリアミド、ポリエチレンテレフタレート、ポリブチレンテレフタレート等のポリエステル、ポリエーテル、ポリビニルアルコール、ポリビニルピロリドンまたはこれらの共重合体等の各種樹脂や、各種ワックス、パラフィン、高級脂肪酸（例：ステアリン酸）、高級アルコール、高級脂肪酸エステル、高級脂肪酸アミド等の各種有機バインダーが挙げられ、これらのうち１種または２種以上を混合して用いることができる。

【 0 1 3 5 】

また、バインダーの含有率は、混練物全体の２質量％以上２０質量％以下程度であるのが好ましく、５質量％以上１０質量％以下程度であるのがより好ましい。バインダーの含有率が前記範囲内であることにより、成形性よく成形体を形成することができるとともに、密度を高め、成形体の形状の安定性等を特に優れたものとすることができる。また、これにより、成形体と脱脂体との大きさの差、いわゆる収縮率を最適化して、最終的に得られる焼結体の寸法精度の低下を防止することができる。すなわち、高密度でかつ寸法精度の高い焼結体を得ることができる。

【 0 1 3 6 】

また、混練物中には、必要に応じて、可塑剤が添加されていてもよい。この可塑剤としては、例えば、フタル酸エステル（例：ＤＯＰ、ＤＥＰ、ＤＢＰ）、アジピン酸エステル、トリメリット酸エステル、セバシン酸エステル等が挙げられ、これらのうちの１種または２種以上を混合して用いることができる。

【 0 1 3 7 】

さらに、混練物中には、粉末冶金用金属粉末、バインダー、可塑剤の他に、例えば、滑剤、酸化防止剤、脱脂促進剤、界面活性剤等の各種添加物を必要に応じ添加することができる。

【 0 1 3 8 】

なお、混練条件は、用いる粉末冶金用金属粉末の金属組成や粒径、バインダーの組成、およびこれらの配合量等の諸条件により異なるが、その一例を挙げれば、混練温度：５０以上２００以下程度、混練時間：１５分以上２１０分以下程度とすることができる。

【 0 1 3 9 】

また、混練物は、必要に応じ、ペレット（小塊）化される。ペレットの粒径は、例えば、１ｍｍ以上１５ｍｍ以下程度とされる。

【 0 1 4 0 】

なお、後述する成形方法によっては、混練物に代えて、造粒粉末を製造するようにしてもよい。これらの混練物および造粒粉末等が、後述する成形工程に供される組成物の一例である。

【 0 1 4 1 】

本発明の造粒粉末の実施形態は、本発明の粉末冶金用金属粉末に造粒処理を施すことにより、複数個の金属粒子同士をバインダーで結着してなるものである。

【 0 1 4 2 】

造粒粉末の製造に用いられるバインダーとしては、例えば、ポリエチレン、ポリプロピレン、エチレン - 酢酸ビニル共重合体等のポリオレフィン、ポリメチルメタクリレート、ポリブチルメタクリレート等のアクリル系樹脂、ポリスチレン等のスチレン系樹脂、ポリ

10

20

30

40

50

塩化ビニル、ポリ塩化ビニリデン、ポリアミド、ポリエチレンテレフタレート、ポリブチレンテレフタレート等のポリエステル、ポリエーテル、ポリビニルアルコール、ポリビニルピロリドンまたはこれらの共重合体等の各種樹脂や、各種ワックス、パラフィン、高級脂肪酸（例：ステアリン酸）、高級アルコール、高級脂肪酸エステル、高級脂肪酸アミド等の各種有機バインダーが挙げられ、これらのうち１種または２種以上を混合して用いることができる。

【０１４３】

このうち、バインダーとしては、ポリビニルアルコールまたはポリビニルピロリドンを含むものが好ましい。これらのバインダー成分は、結着性が高いため、比較的少量であっても効率よく造粒粉末を形成することができる。また、熱分解性も高いことから、脱脂および焼成の際に、短時間で確実に分解、除去することが可能になる。

10

【０１４４】

また、バインダーの含有率は、造粒粉末全体の０．２質量％以上１０質量％以下程度であるのが好ましく、０．３質量％以上５質量％以下程度であるのがより好ましく、０．３質量％以上２質量％以下であるのがさらに好ましい。バインダーの含有率が前記範囲内であることにより、著しく大きな粒子が造粒されたり、造粒されていない金属粒子が大量に残存してしまうのを抑制しつつ、造粒粉末を効率よく形成することができる。また、成形性が向上するため、成形体の形状の安定性等を特に優れたものとすることができる。また、バインダーの含有率を前記範囲内としたことにより、成形体と脱脂体との大きさの差、いわゆる収縮率を最適化して、最終的に得られる焼結体の寸法精度の低下を防止することができる。

20

【０１４５】

さらに、造粒粉末中には、必要に応じて、可塑剤、滑剤、酸化防止剤、脱脂促進剤、界面活性剤等の各種添加物が添加されていてもよい。

【０１４６】

一方、造粒処理としては、例えば、スプレードライ（噴霧乾燥）法、転動造粒法、流動層造粒法、転動流動造粒法等が挙げられる。

【０１４７】

なお、造粒処理では、必要に応じて、バインダーを溶解する溶媒が用いられる。かかる溶媒としては、例えば、水、四塩化炭素のような無機溶媒や、ケトン系溶媒、アルコール系溶媒、エーテル系溶媒、セロソルブ系溶媒、脂肪族炭化水素系溶媒、芳香族炭化水素系溶媒、芳香族複素環化合物系溶媒、アミド系溶媒、ハロゲン化合物系溶媒、エステル系溶媒、アミン系溶媒、ニトリル系溶媒、ニトロ系溶媒、アルデヒド系溶媒のような有機溶媒等が挙げられ、これらから選択される１種または２種以上の混合物が用いられる。

30

【０１４８】

造粒粉末の平均粒径は、特に限定されないが、１０μm以上２００μm以下程度であるのが好ましく、２０μm以上１００μm以下程度であるのがより好ましく、２５μm以上６０μm以下程度であるのがより好ましい。このような粒径の造粒粉末は、良好な流動性を有し、成型型の形状をより忠実に反映させ得るものとなる。

【０１４９】

なお、平均粒径は、レーザー回折法により得られた質量基準での累積粒度分布において、累積量が小径側から５０％になるときの粒径として求められる。

40

【０１５０】

〔Ｂ〕成形工程

次に、混練物または造粒粉末を成形して、目的の焼結体と同形状の成形体を製造する。

【０１５１】

成形体の製造方法（成形方法）としては、特に限定されず、例えば、圧粉成形（圧縮成形）法、金属粉末射出成形（ＭＩＭ：Metal Injection Molding）法、押出成形法等の各種成形法を用いることができる。

【０１５２】

50

このうち、圧粉成形法の場合の成形条件は、用いる粉末冶金用金属粉末の組成や粒径、バインダーの組成、およびこれらの配合量等の諸条件によって異なるが、成形圧力が200 MPa以上1000 MPa以下(2 t/cm^2 以上 10 t/cm^2 以下)程度であるのが好ましい。

【0153】

また、金属粉末射出成形法の場合の成形条件は、諸条件によって異なるものの、材料温度が80 以上210 以下程度、射出圧力が50 MPa以上500 MPa以下(0.5 t/cm^2 以上 5 t/cm^2 以下)程度であるのが好ましい。

【0154】

また、押出成形法の場合の成形条件は、諸条件によって異なるものの、材料温度が80 以上210 以下程度、押出圧力が50 MPa以上500 MPa以下(0.5 t/cm^2 以上 5 t/cm^2 以下)程度であるのが好ましい。

【0155】

このようにして得られた成形体は、金属粉末の複数の粒子の間に、バインダーが一様に分布した状態となる。

【0156】

なお、作製される成形体の形状寸法は、以降の脱脂工程および焼成工程における成形体の収縮分を見込んで決定される。

【0157】

[C] 脱脂工程

次に、得られた成形体に脱脂処理(脱バインダー処理)を施し、脱脂体を得る。

【0158】

具体的には、成形体を加熱して、バインダーを分解することにより、成形体中からバインダーを除去して、脱脂処理がなされる。

【0159】

この脱脂処理は、例えば、成形体を加熱する方法、バインダーを分解するガスに成形体を曝す方法等が挙げられる。

【0160】

成形体を加熱する方法を用いる場合、成形体の加熱条件は、バインダーの組成や配合量によって若干異なるものの、温度100 以上750 以下 $\times 0.1$ 時間以上20時間以下程度であるのが好ましく、150 以上600 以下 $\times 0.5$ 時間以上15時間以下程度であるのがより好ましい。これにより、成形体を焼結させることなく、成形体の脱脂を必要かつ十分に行うことができる。その結果、脱脂体の内部にバインダー成分が多量に残留してしまうのを確実に防止することができる。

【0161】

また、成形体を加熱する際の雰囲気は、特に限定されず、水素のような還元性ガス雰囲気、窒素、アルゴンのような不活性ガス雰囲気、大気のような酸化性ガス雰囲気、またはこれらの雰囲気を減圧した減圧雰囲気等が挙げられる。

【0162】

一方、バインダーを分解するガスとしては、例えば、オゾンガス等が挙げられる。

なお、このような脱脂工程は、脱脂条件の異なる複数の過程(ステップ)に分けて行うことにより、成形体中のバインダーをより速やかに、そして、成形体に残存させないように分解・除去することができる。

【0163】

また、必要に応じて、脱脂体に対して切削、研磨、切断等の機械加工を施すようにしてもよい。脱脂体は、硬度が比較的 low、かつ比較的塑性に富んでいるため、脱脂体の形状が崩れるのを防止しつつ、容易に機械加工を施すことができる。このような機械加工によれば、最終的に寸法精度の高い焼結体を容易に得ることができる。

【0164】

[D] 焼成工程

前記工程〔C〕で得られた脱脂体を、焼成炉で焼成して焼結体を得る。

【0165】

この焼結により、粉末冶金用金属粉末は、粒子同士の界面で拡散が生じ、焼結に至る。この際、前述したようなメカニズムによって、脱脂体が速やかに焼結される。その結果、全体的に緻密な高密度の焼結体を得られる。

【0166】

焼成温度は、成形体および脱脂体の製造に用いた粉末冶金用金属粉末の組成や粒径等によって異なるが、一例として1200 以上1400 以下程度とされる。また、好ましくは1250 以上1350 以下程度とされる。

【0167】

また、焼成時間は、0.2 時間以上7 時間以下とされるが、好ましくは1 時間以上6 時間以下程度とされる。

【0168】

なお、焼成工程においては、途中で焼結温度や後述する焼成雰囲気を変化させるようにしてもよい。

【0169】

焼成条件をこのような範囲に設定することにより、焼結が進み過ぎて過焼結となり結晶組織が肥大化するのを防止しつつ、脱脂体全体を十分に焼結させることができる。その結果、高密度であり、かつ特に機械的特性に優れた焼結体を得ることができる。

【0170】

また、焼成温度が比較的低温であることから、焼成炉による加熱温度を一定に制御し易く、したがって、脱脂体の温度も一定になり易い。その結果、より均質な焼結体を製造することができる。

【0171】

さらには、前述したような焼成温度は、一般的な焼成炉で十分に実現可能な焼成温度であるため、安価な焼成炉が利用可能であるとともに、ランニングコストも抑えることができる。換言すれば、前記焼成温度を超える場合には、特殊な耐熱材料を用いた高価な焼成炉を利用する必要があり、しかもランニングコストも高くなるおそれがある。

【0172】

また、焼成の際の雰囲気は、特に限定されないが、金属粉末の著しい酸化を防止することを考慮した場合、水素のような還元性ガス雰囲気、アルゴンのような不活性ガス雰囲気、またはこれらの雰囲気を減圧した減圧雰囲気等が好ましく用いられる。

【0173】

このようにして得られた焼結体は、高密度で機械的特性に優れたものとなる。すなわち、本発明の粉末冶金用金属粉末とバインダーとを含む組成物を、成形した後、脱脂・焼結して製造された焼結体は、従来の金属粉末を焼結してなる焼結体に比べて相対密度が高くなる。よって、本発明であれば、HIP 処理のような追加処理を施さなければ到達し得なかった高密度の焼結体を、追加処理なしに実現することができる。

【0174】

具体的には、本発明によれば、粉末冶金用金属粉末の組成によって若干異なるものの、一例として従来よりも2 % 以上の相対密度の向上が期待できる。

【0175】

その結果、得られた焼結体の相対密度は、一例として97 % 以上になることが期待できる（好ましくは98 % 以上、より好ましくは98.5 % 以上）。このような範囲の相対密度を有する焼結体は、粉末冶金技術を利用することで目的とする形状に限りなく近い形状を有するものであるにもかかわらず、溶製材に匹敵する優れた機械的特性を有するものとなるため、ほとんど後加工を施すことなく各種の機械部品や構造部品等に適用可能なものとなる。

【0176】

また、本発明の粉末冶金用金属粉末とバインダーとを含む組成物を、成形した後、脱脂

10

20

30

40

50

・焼結して製造された焼結体は、その引張強さ、0.2%耐力、抗折力、疲れ強さ等の物性値が、従来の金属粉末を用いて同様に焼結してなる焼結体の物性値よりも大きくなる。これは、合金組成を最適化したことにより、金属粉末の焼結性を高め、これにより製造される焼結体の機械的特性が向上したためと考えられる。

【0177】

また、上述したようにして製造された焼結体は、その表面が高硬度のものとなる。具体的には、粉末冶金用金属粉末の組成によって若干異なるものの、一例として焼入れ処理および焼き戻し処理を施した後の表面のブリネル硬さが200以上になることが期待される。

【0178】

なお、上述した焼入れ処理および焼き戻し処理は、例えば、JIS G 4102(1979)、JIS G 4103(1979)、JIS G 4104(1979)、JIS G 4105(1979)、JIS G 4106(1979)等に規定された熱処理条件に基づいて行うことができる。

【0179】

また、追加処理を施さなくても、焼結体は十分に高い密度と機械的特性とを有しているが、さらなる高密度化および機械的特性の向上を図るために、あるいはその他の目的において、焼結体に対して各種の追加処理を施すようにしてもよい。

【0180】

この追加処理としては、例えば、上述した焼入れ処理および焼き戻し処理の他、前述したHIP処理のような高密度化を図る追加処理であってもよく、各種サブゼロ処理、各種焼き鈍し処理等であってもよい。これらの追加処理は単独で行われてもよく、複数が組み合わせられて行われてもよい。

【0181】

また、上述した焼成工程や各種追加処理においては、金属粉末中(焼結体中)の軽元素が揮発し、最終的に得られる焼結体の組成は、金属粉末中の組成から若干変化している場合もある。

【0182】

例えば、Cについては、工程条件や処理条件に応じて異なるものの、最終的な焼結体における含有率が、粉末冶金用金属粉末における含有率の5%以上100%以下の範囲内(好ましくは30%以上100%以下の範囲内)で変化する可能性がある。

【0183】

また、Oについても、工程条件や処理条件に応じて異なるものの、最終的な焼結体における含有率が、粉末冶金用金属粉末における含有率の1%以上50%以下の範囲内(好ましくは3%以上50%以下の範囲内)で変化する可能性がある。

【0184】

一方、前述したように、製造された焼結体は、必要に応じて行われる追加処理の一環でHIP処理に供されてもよいが、HIP処理を行っても十分な効果が発揮されない場合も多い。HIP処理では、焼結体のさらなる高密度化を図ることができるが、そもそも本発明で得られる焼結体は、焼成工程の終了時点ですでに十分な高密度化が図られている。このため、さらにHIP処理を施したとしても、それ以上の高密度化は進み難い。

【0185】

加えて、HIP処理では、圧力媒体を介して被処理物を加圧する必要があるため、被処理物が汚染されたり、汚染に伴って被処理物の組成や物性が意図しない変化を生じたり、汚染に伴って被処理物の変色したりするおそれがある。また、加圧されることにより被処理物内において残留応力が発生あるいは増加し、これが経時的に解放されるのに伴って変形や寸法精度の低下といった不具合の発生を招くおそれがある。

【0186】

これに対し、本発明によれば、このようなHIP処理を施すことなく、十分に密度の高い焼結体を製造可能であるため、HIP処理を施した場合と同様の高密度化および高強度

10

20

30

40

50

化が図られた焼結体を得ることができる。そして、このような焼結体は、汚染や変色、意図しない組成や物性の変化等が少なく、変形や寸法精度の低下といった不具合の発生も少ないものとなる。よって、本発明によれば、機械的強度および寸法精度が高く、耐久性に優れた焼結体を効率よく製造することができる。

【0187】

また、本発明で製造された焼結体は、機械的特性を向上させる目的の追加処理をほとんど必要としないため、組成や結晶組織が焼結体全体で均一になり易い。このため、構造的な等方性が高く、形状によらず全方位からの荷重に対する耐久性に優れたものとなる。

【0188】

なお、このようにして製造された焼結体では、その表面近傍における空孔率が内部における空孔率よりも相対的に小さくなることが多いことが認められる。このようになる理由は明確ではないが、第1元素および第2元素が添加されることにより、成形体の内部よりも表面近傍において、焼結反応がより進み易くなっているということが挙げられる。

【0189】

具体的には、焼結体の表面近傍の空孔率 A_1 とし、焼結体の内部の空孔率を A_2 としたとき、 $A_2 - A_1$ は 0.1% 以上 3% 以下であるのが好ましく、0.2% 以上 2% 以下であるのがより好ましい。 $A_2 - A_1$ がこのような範囲にある焼結体は、必要かつ十分な機械的強度を有する一方、表面を容易に平坦化することを可能にする。すなわち、かかる焼結体の表面を研磨することにより、鏡面性の高い表面を得ることができる。

【0190】

このような鏡面性の高い焼結体は、機械的強度が高くなるだけでなく、審美性に優れたものとなる。このため、かかる焼結体は、優れた美的外観が要求される用途にも好適に用いられる。

【0191】

なお、焼結体の表面近傍の空孔率 A_1 とは、焼結体の断面のうち、表面から 50 μm の深さの位置を中心に半径 25 μm の範囲内の空孔率のことをいう。また、焼結体の内部の空孔率 A_2 とは、焼結体の断面のうち、表面から 300 μm の深さの位置を中心に半径 25 μm の範囲内の空孔率のことをいう。これらの空孔率は、焼結体の断面を走査型電子顕微鏡で観察し、前記範囲内に存在する空孔の面積を前記範囲の面積で除して得られた値である。

【0192】

以上、本発明の粉末冶金用金属粉末、コンパウンド、造粒粉末および焼結体について、好適な実施形態に基づいて説明したが、本発明はこれらに限定されるものではない。

【0193】

また、本発明の焼結体は、例えば、自動車用部品、自転車用部品、鉄道車両用部品、船舶用部品、航空機用部品、宇宙輸送機（例えばロケット等）用部品のような輸送機器用部品、パソコン用部品、携帯電話端末用部品のような電子機器用部品、冷蔵庫、洗濯機、冷暖房機のような電気機器用部品、工作機械、建設機械、生産設備、半導体製造装置のような機械用部品、原子力発電所、火力発電所、水力発電所、製油所、化学コンビナートのようなプラント用部品、時計用部品、金属食器、宝飾品、眼鏡フレームのような装飾品の他、あらゆる構造部品に用いられる。

【実施例】

【0194】

次に、本発明の実施例について説明する。

1. 焼結体（Zr-Nb系）の製造

（サンプルNo. 1）

[1] まず、水アトマイズ法により製造された表1に示す組成の金属粉末を用意した。

なお、この金属粉末の平均粒径は 4.32 μm であった。

【0195】

また、表1に示す粉末の組成は、誘導結合高周波プラズマ発光分析法（ICP分析法）

10

20

30

40

50

により同定、定量した。なお、I C P 分析には、(株)リガク製、I C P 装置 (C I R O S 1 2 0 型) を用いた。また、C の同定、定量には、L E C O 社製炭素・硫黄分析装置 (C S - 2 0 0) を用いた。さらに、O の同定、定量には、L E C O 社製酸素・窒素分析装置 (T C - 3 0 0 / E F - 3 0 0) を用いた。

【 0 1 9 6 】

[2] 次に、金属粉末と、ポリプロピレンおよびワックスの混合物 (有機バインダー) とを、質量比で 9 : 1 となるよう秤量して混合し、混合原料を得た。

【 0 1 9 7 】

[3] 次に、この混合原料を混練機で混練し、コンパウンドを得た。

[4] 次に、このコンパウンドを、以下に示す成形条件で、射出成形機にて成形し、成形体を作製した。 10

【 0 1 9 8 】

< 成形条件 >

- ・材料温度 : 1 5 0
- ・射出圧力 : 1 1 M P a (1 1 0 k g f / c m ²)

【 0 1 9 9 】

[5] 次に、得られた成形体に対して、以下に示す脱脂条件で熱処理 (脱脂処理) を施し、脱脂体を得た。

【 0 2 0 0 】

< 脱脂条件 >

- ・脱脂温度 : 5 0 0
- ・脱脂時間 : 1 時間 (脱脂温度での保持時間)
- ・脱脂雰囲気 : 窒素雰囲気

20

【 0 2 0 1 】

[6] 次に、得られた脱脂体を、以下に示す焼成条件で焼成した。これにより、焼結体を得た。なお、焼結体の形状は、直径 1 0 m m、厚さ 5 m m の円筒形状とした。

【 0 2 0 2 】

< 焼成条件 >

- ・焼成温度 : 1 3 0 0
- ・焼成時間 : 3 時間 (焼成温度での保持時間)
- ・焼成雰囲気 : アルゴン雰囲気

30

【 0 2 0 3 】

[7] 次に、得られた焼結体に対し、以下に示す条件で焼き入れ処理を施した。

< 焼き入れ処理条件 >

- ・焼き入れ温度 : 8 5 5
- ・焼き入れ時間 : 4 時間
- ・焼き入れ雰囲気 : アルゴン雰囲気
- ・冷却方法 : 油冷

【 0 2 0 4 】

[8] 次に、焼き入れ処理を施した焼結体に対し、以下に示す条件でサブゼロ処理を施した。 40

【 0 2 0 5 】

< サブゼロ処理条件 >

- ・サブゼロ処理温度 : - 1 9 6
- ・サブゼロ処理時間 : 2 時間

【 0 2 0 6 】

[9] 次に、サブゼロ処理を施した焼結体に対し、以下に示す条件で焼き戻し処理を施した。

【 0 2 0 7 】

< 焼き戻し処理条件 >

50

- ・焼き戻し処理温度 : 580
- ・焼き戻し処理時間 : 4 時間
- ・冷却方法 : 急冷

【0208】

(サンプルNo. 2 ~ 33)

粉末冶金用金属粉末の組成等を表1に示すように変更した以外は、それぞれサンプルNo. 1の焼結体の製造方法と同様にして焼結体を得た。

【0209】

なお、サンプルNo. 33の焼結体については、焼成後、下記の条件でHIP処理を施した。

10

【0210】

< HIP処理条件 >

- ・加熱温度 : 1100
- ・加熱時間 : 2 時間
- ・加圧力 : 100 MPa

【0211】

【表 1】

表 1

		粉末冶金用金属粉末																
		合金組成											E1/E2	E1+E2	(E1+E2) /Si	(E1+E2) /C	鋼材の 種類	備考
サンプル No.	—	Cr	Ni	Si	C	E1 (Zr)	E2 (Nb)	Mo	Mn	Al	O	Fe						
		質量%											—	質量%	—	—	—	—
No.1	実施例	1.06	0.02	0.73	0.724	0.08	0.08	0.19	0.78	0.00	0.25	残部	1.00	0.16	0.22	0.22	SCM	
No.2	実施例	0.92	0.03	0.84	0.703	0.10	0.07	0.26	0.63	0.00	0.22	残部	1.43	0.17	0.20	0.24	SCM	
No.3	実施例	1.15	0.05	0.78	0.741	0.05	0.06	0.22	0.74	0.00	0.19	残部	0.83	0.11	0.14	0.15	SCM	
No.4	実施例	0.98	0.02	0.74	0.698	0.11	0.04	0.16	0.81	0.00	0.26	残部	2.75	0.15	0.20	0.21	SCM	
No.5	実施例	1.04	0.03	0.82	0.711	0.05	0.12	0.21	0.63	0.02	0.24	残部	0.42	0.17	0.21	0.24	SCM	
No.6	実施例	1.19	0.00	0.73	0.709	0.22	0.15	0.23	0.84	0.00	0.36	残部	1.47	0.37	0.51	0.52	SCM	
No.7	実施例	1.06	0.09	0.80	0.732	0.04	0.03	0.25	0.79	0.03	0.22	残部	1.33	0.07	0.09	0.10	SCM	
No.8	実施例	0.99	0.01	0.84	0.876	0.06	0.08	0.29	0.88	0.00	0.23	残部	0.75	0.14	0.17	0.16	SCM	
No.9	実施例	0.93	0.05	0.65	0.523	0.08	0.07	0.38	0.67	0.00	0.21	残部	1.14	0.15	0.23	0.29	SCM	
No.10	実施例	1.14	0.02	0.53	0.733	0.03	0.07	0.22	0.82	0.00	0.19	残部	0.43	0.10	0.19	0.14	SCM	
No.11	実施例	0.97	0.01	0.97	0.715	0.07	0.21	0.17	0.84	0.00	0.16	残部	0.33	0.28	0.29	0.39	SCM	
No.12	実施例	0.25	0.11	0.61	0.696	0.07	0.08	0.00	1.48	0.02	0.22	残部	0.88	0.15	0.25	0.22	SMn	
No.13	実施例	0.58	0.05	0.75	0.789	0.05	0.05	0.00	1.59	0.00	0.42	残部	1.00	0.10	0.13	0.13	SMnC	
No.14	実施例	1.12	0.18	0.92	0.509	0.05	0.06	0.00	0.70	0.01	0.18	残部	0.83	0.11	0.12	0.22	SCr	
No.15	実施例	0.95	0.02	0.67	0.885	0.04	0.06	0.00	0.85	0.03	0.22	残部	0.67	0.10	0.15	0.11	SCr	
No.16	実施例	1.04	0.03	0.75	0.715	0.08	0.08	0.18	0.74	0.00	0.23	残部	1.00	0.16	0.21	0.22	SCM	ガス
No.17	実施例	0.89	0.04	0.86	0.699	0.11	0.07	0.24	0.66	0.01	0.26	残部	1.57	0.18	0.21	0.26	SCM	ガス
No.18	実施例	1.17	0.06	0.81	0.845	0.05	0.06	0.21	0.86	0.02	0.27	残部	0.83	0.11	0.14	0.13	SCM	ガス
No.19	比較例	1.08	0.21	0.70	0.732	0.00	0.08	0.28	0.79	0.12	0.26	残部	0.00	0.08	0.11	0.11	SCM	
No.20	比較例	0.99	0.19	0.79	0.711	0.16	0.00	0.27	0.88	0.06	0.35	残部	—	0.16	0.20	0.23	SCM	
No.21	比較例	1.12	0.00	0.82	0.687	0.00	0.00	0.21	0.74	0.00	0.22	残部	—	0.00	0.00	0.00	SCM	
No.22	比較例	0.92	0.08	0.69	0.792	0.63	0.05	0.15	0.76	0.02	0.18	残部	12.6	0.68	0.99	0.86	SCM	
No.23	比較例	1.02	0.05	0.66	0.823	0.04	0.68	0.18	0.63	0.03	0.25	残部	0.06	0.72	1.09	0.87	SCM	
No.24	比較例	1.11	0.07	0.26	0.742	0.06	0.07	0.16	0.86	0.00	0.19	残部	0.86	0.13	0.50	0.18	SCM	
No.25	比較例	0.94	0.08	1.24	0.794	0.04	0.04	0.25	0.75	0.01	0.24	残部	1.00	0.08	0.06	0.10	SCM	
No.26	比較例	0.99	0.07	0.66	0.314	0.08	0.08	0.21	0.81	0.00	0.21	残部	1.00	0.16	0.24	0.51	SCM	
No.27	比較例	1.07	0.03	0.72	0.970	0.07	0.09	0.18	0.72	0.00	0.23	残部	0.78	0.16	0.22	0.16	SCM	
No.28	比較例	0.26	0.08	0.25	0.389	0.06	0.00	0.18	1.58	0.00	0.23	残部	—	0.06	0.24	0.15	SMn	
No.29	比較例	0.52	0.11	0.18	0.432	0.07	0.00	0.19	1.48	0.00	0.26	残部	—	0.07	0.39	0.16	SMnC	
No.30	比較例	1.07	0.03	0.31	0.160	0.08	0.00	0.25	0.78	0.00	0.25	残部	—	0.08	0.26	0.50	SCr	
No.31	比較例	1.14	0.05	0.22	0.472	0.12	0.00	0.22	0.68	0.02	0.23	残部	—	0.12	0.55	0.25	SCr	
No.32	比較例	1.13	0.06	0.75	0.734	0.00	0.08	0.29	0.82	0.15	0.25	残部	0.00	0.08	0.11	0.11	SCM	ガス
No.33	比較例	1.08	0.21	0.70	0.732	0.00	0.08	0.28	0.79	0.12	0.26	残部	0.00	0.08	0.11	0.11	SCM	HIP処理

【0212】

なお、サンプルNo. 16～18、32の焼結体は、それぞれガスアトマイズ法により製造された金属粉末を用いて得られたものである。また、表1には、備考欄に「ガス」と表記する。

【0213】

また、表1では、各サンプルNo. の焼結体のうち、本発明に相当するものを「実施例」とし、本発明に相当しないものを「比較例」としている。

【0214】

また、表1では、マンガン鋼を「SMn」と表記し、マンガンクロム鋼を「SMnC」と表記し、クロム鋼を「SCr」と表記し、クロムモリブデン鋼を「SCM」と表記する。

【0215】

10

20

30

40

50

なお、マンガン鋼（S M n）およびマンガンクロム鋼（S M n C）の焼き入れ処理条件および焼き戻し処理条件は、それぞれ以下の通りである。

【0216】

< 焼き入れ処理条件 >

- ・ 焼き入れ温度 : 8 5 5
- ・ 焼き入れ時間 : 4 時間
- ・ 焼き入れ雰囲気 : アルゴン雰囲気
- ・ 冷却方法 : 油冷

【0217】

< 焼き戻し処理条件 >

- ・ 焼き戻し処理温度 : 6 0 0
- ・ 焼き戻し処理時間 : 4 時間
- ・ 冷却方法 : 急冷

10

【0218】

また、クロム鋼（S C r）の焼き入れ処理条件および焼き戻し処理条件は、以下の通りである。

【0219】

< 焼き入れ処理条件 >

- ・ 一次焼き入れ温度 : 8 7 5
- ・ 一次焼き入れ時間 : 4 時間
- ・ 一次焼き入れ雰囲気 : アルゴン雰囲気
- ・ 一次冷却方法 : 油冷
- ・ 二次焼き入れ温度 : 8 2 5
- ・ 二次焼き入れ時間 : 4 時間
- ・ 二次焼き入れ雰囲気 : アルゴン雰囲気
- ・ 二次冷却方法 : 油冷

20

【0220】

< 焼き戻し処理条件 >

- ・ 焼き戻し処理温度 : 1 7 5
- ・ 焼き戻し処理時間 : 4 時間
- ・ 冷却方法 : 空冷

30

【0221】

また、各焼結体には、微量の不純物が含まれていたが、表1への記載は省略した。なお、SおよびPの含有率は、それぞれ0.03質量%未満であった。

【0222】

（サンプルNo. 34～62）

粉末冶金用金属粉末の組成等を表2に示すように変更した以外は、それぞれサンプルNo. 1の焼結体の製造方法と同様にして焼結体を得た。

【0223】

なお、サンプルNo. 62の焼結体については、焼成後、下記の条件でHIP処理を施した。

40

【0224】

< HIP処理条件 >

- ・ 加熱温度 : 1 1 0 0
- ・ 加熱時間 : 2 時間
- ・ 加圧力 : 1 0 0 M P a

【0225】

【表 2】

表2

サン プル No.	—	粉末冶金用金属粉末																
		合金組成											E1/E2	E1+E2	(E1+E2) /Si	(E1+E2) /C	鋼材の 種類	備考
		Cr	Ni	Si	C	E1 (Zr)	E2 (Nb)	Mo	Mn	Al	O	Fe						
		質量%											—	質量%	—	—	—	—
No.34	実施例	0.75	1.88	0.76	0.719	0.10	0.09	0.25	0.79	0.00	0.26	残部	1.11	0.19	0.25	0.26	SNCM	
No.35	実施例	0.62	1.63	0.78	0.735	0.06	0.07	0.26	0.67	0.00	0.28	残部	0.86	0.13	0.17	0.18	SNCM	
No.36	実施例	0.94	1.93	0.85	0.697	0.05	0.06	0.22	0.82	0.02	0.21	残部	0.83	0.11	0.13	0.16	SNCM	
No.37	実施例	0.88	1.74	0.72	0.708	0.14	0.05	0.18	0.63	0.03	0.26	残部	2.80	0.19	0.26	0.27	SNCM	
No.38	実施例	0.71	1.85	0.67	0.775	0.05	0.12	0.21	0.69	0.02	0.24	残部	0.42	0.17	0.25	0.22	SNCM	
No.39	実施例	0.83	1.95	0.92	0.556	0.21	0.16	0.23	0.84	0.00	0.36	残部	1.31	0.37	0.40	0.67	SNCM	
No.40	実施例	0.76	1.89	0.74	0.722	0.04	0.03	0.26	0.82	0.03	0.25	残部	1.33	0.07	0.09	0.10	SNCM	
No.41	実施例	0.52	0.55	0.84	0.871	0.06	0.08	0.28	0.88	0.00	0.23	残部	0.75	0.14	0.17	0.16	SNCM	
No.42	実施例	0.85	4.23	0.65	0.554	0.08	0.07	0.23	0.49	0.03	0.21	残部	1.14	0.15	0.23	0.27	SNCM	
No.43	実施例	3.24	2.97	0.78	0.723	0.05	0.06	0.61	0.52	0.03	0.19	残部	0.83	0.11	0.14	0.15	SNCM	
No.44	実施例	0.36	2.23	0.89	0.589	0.07	0.07	0.00	0.55	0.02	0.19	残部	1.00	0.14	0.16	0.24	SNC	
No.45	実施例	0.84	3.21	0.74	0.874	0.04	0.05	0.00	0.42	0.00	0.22	残部	0.80	0.09	0.12	0.10	SNC	
No.46	実施例	1.55	0.11	0.88	0.897	0.07	0.08	0.19	0.44	1.05	0.17	残部	0.88	0.15	0.17	0.17	SACM	
No.47	比較例	0.82	1.71	0.71	0.723	0.00	0.07	0.21	0.74	0.08	0.29	残部	0.00	0.07	0.10	0.10	SNCM	
No.48	比較例	0.89	1.84	0.79	0.785	0.06	0.00	0.19	0.69	0.06	0.31	残部	—	0.06	0.08	0.08	SNCM	
No.49	比較例	0.94	1.67	0.63	0.678	0.00	0.00	0.26	0.78	0.02	0.22	残部	—	0.00	0.00	0.00	SNCM	
No.50	比較例	0.89	1.92	0.88	0.794	0.66	0.06	0.28	0.71	0.02	0.19	残部	11.0	0.72	0.82	0.91	SNCM	
No.51	比較例	0.84	1.86	0.73	0.753	0.05	0.72	0.23	0.87	0.03	0.29	残部	0.07	0.77	1.05	1.02	SNCM	
No.52	比較例	0.85	1.79	0.25	0.694	0.06	0.07	0.25	0.77	0.00	0.21	残部	0.86	0.13	0.52	0.19	SNCM	
No.53	比較例	0.89	1.92	1.19	0.794	0.04	0.04	0.26	0.75	0.01	0.26	残部	1.00	0.08	0.07	0.10	SNCM	
No.54	比較例	0.88	1.69	0.71	0.386	0.08	0.08	0.28	0.74	0.00	0.23	残部	1.00	0.16	0.23	0.41	SNCM	
No.55	比較例	0.84	1.74	0.77	1.120	0.07	0.09	0.25	0.72	0.00	0.24	残部	0.78	0.16	0.21	0.14	SNCM	
No.56	比較例	0.51	0.55	0.26	0.412	0.08	0.00	0.22	0.85	0.00	0.34	残部	—	0.08	0.31	0.19	SNCM	
No.57	比較例	0.86	4.36	0.25	0.160	0.07	0.00	0.18	0.48	0.00	0.14	残部	—	0.07	0.28	0.44	SNCM	
No.58	比較例	3.31	2.89	0.27	0.301	0.05	0.00	0.63	0.51	0.03	0.19	残部	—	0.05	0.19	0.17	SNCM	
No.59	比較例	0.26	2.15	0.28	0.151	0.05	0.00	0.00	0.51	0.00	0.19	残部	—	0.05	0.18	0.33	SNC	
No.60	比較例	0.81	3.21	0.31	0.362	0.11	0.00	0.00	0.42	0.02	0.16	残部	—	0.11	0.35	0.30	SNC	
No.61	比較例	1.55	0.20	0.38	0.455	0.00	0.08	0.22	0.43	1.11	0.25	残部	0.00	0.08	0.21	0.18	SACM	
No.62	比較例	0.82	1.71	0.71	0.723	0.00	0.07	0.21	0.74	0.08	0.29	残部	0.00	0.07	0.10	0.10	SNCM	HIP処理

【0226】

なお、表2では、各サンプルNo.の焼結体のうち、本発明に相当するものを「実施例」とし、本発明に相当しないものを「比較例」としている。

【0227】

また、表2では、ニッケルクロム鋼を「SNC」と表記し、ニッケルクロムモリブデン鋼を「SNCM」と表記し、アルミニウムクロムモリブデン鋼を「SACM」と表記する。

【0228】

なお、ニッケルクロム鋼(SNC)の焼き入れ処理条件および焼き戻し処理条件は、以下の通りである。

【0229】

< 焼き入れ処理条件 >

- ・ 一次焼き入れ温度 : 875
- ・ 一次焼き入れ時間 : 4時間
- ・ 一次焼き入れ雰囲気 : アルゴン雰囲気

10

20

30

40

50

- ・一次冷却方法 : 油冷
- ・二次焼き入れ温度 : 7 6 5
- ・二次焼き入れ時間 : 4 時間
- ・二次焼き入れ雰囲気 : アルゴン雰囲気
- ・二次冷却方法 : 水冷

【 0 2 3 0 】

< 焼き戻し処理条件 >

- ・焼き戻し処理温度 : 1 7 5
- ・焼き戻し処理時間 : 4 時間
- ・冷却方法 : 空冷

10

【 0 2 3 1 】

また、ニッケルクロムモリブデン鋼 (S N C M) の焼き入れ処理条件および焼き戻し処理条件は、以下の通りである。

【 0 2 3 2 】

< 焼き入れ処理条件 >

- ・焼き入れ温度 : 8 4 5
- ・焼き入れ時間 : 4 時間
- ・焼き入れ雰囲気 : アルゴン雰囲気
- ・冷却方法 : 油冷

【 0 2 3 3 】

< 焼き戻し処理条件 >

- ・焼き戻し処理温度 : 6 3 0
- ・焼き戻し処理時間 : 4 時間
- ・冷却方法 : 急冷

20

【 0 2 3 4 】

また、アルミニウムクロムモリブデン鋼を (S A C M) の焼き入れ処理条件および焼き戻し処理条件は、以下の通りである。

【 0 2 3 5 】

< 焼き入れ処理条件 >

- ・焼き入れ温度 : 9 0 5
- ・焼き入れ時間 : 4 時間
- ・焼き入れ雰囲気 : アルゴン雰囲気
- ・冷却方法 : 油冷

30

【 0 2 3 6 】

< 焼き戻し処理条件 >

- ・焼き戻し処理温度 : 7 0 0
- ・焼き戻し処理時間 : 4 時間
- ・冷却方法 : 急冷

【 0 2 3 7 】

また、各焼結体には、微量の不純物が含まれていたが、表 2 への記載は省略した。なお、S および P の含有率は、それぞれ 0 . 0 3 質量 % 未満であった。

40

【 0 2 3 8 】

(サンプル N o . 6 3)

[1] まず、表 3 に示す組成の金属粉末を、サンプル N o . 1 の場合と同様、水アトマイズ法により製造した。

【 0 2 3 9 】

[2] 次に、スプレードライ法により、金属粉末を造粒した。このとき使用したバインダーはポリビニルアルコールであり、金属粉末 1 0 0 質量部に対して 1 質量部になる量を使用した。また、ポリビニルアルコール 1 質量部に対して 5 0 質量部の溶媒 (イオン交換水) を使用した。これにより、平均粒径 5 0 μ m の造粒粉末を得た。

50

【 0 2 4 0 】

[3] 次に、この造粒粉末を、以下に示す成形条件で圧粉成形した。なお、この成形には、プレス成形機を使用した。また、作製する成形体の形状は、20 mm 角の立方体形状とした。

【 0 2 4 1 】

< 成形条件 >

- ・材料温度 : 9 0
- ・成形圧力 : 6 0 0 M P a (6 t / c m ²)

【 0 2 4 2 】

[4] 次に、得られた成形体に対して、以下に示す脱脂条件で熱処理（脱脂処理）を施し、脱脂体を得た。 10

【 0 2 4 3 】

< 脱脂条件 >

- ・脱脂温度 : 4 5 0
- ・脱脂時間 : 2 時間（脱脂温度での保持時間）
- ・脱脂雰囲気 : 窒素雰囲気

【 0 2 4 4 】

[5] 次に、得られた脱脂体を、以下に示す焼成条件で焼成した。これにより、焼結体を得た。

【 0 2 4 5 】

< 焼成条件 >

- ・焼成温度 : 1 3 0 0
- ・焼成時間 : 3 時間（焼成温度での保持時間）
- ・焼成雰囲気 : アルゴン雰囲気

【 0 2 4 6 】

[6] 次に、得られた焼結体に対し、前述した条件で焼き入れ処理、サブゼロ処理および焼き戻し処理を施した。

【 0 2 4 7 】

（サンプル N o . 6 4 ~ 7 3 ）

粉末冶金用金属粉末の組成等を表 3 に示すように変更した以外は、それぞれサンプル N o . 6 3 の場合と同様にして焼結体を得た。なお、サンプル N o . 7 3 の焼結体については、焼成後、下記の条件で H I P 処理を施した。 30

【 0 2 4 8 】

< H I P 処理条件 >

- ・加熱温度 : 1 1 0 0
- ・加熱時間 : 2 時間
- ・加圧力 : 1 0 0 M P a

【 0 2 4 9 】

【表 3】

表3

		粉末冶金用金属粉末																
		合金組成											E1/E2	E1+E2	(E1+E2) /Si	(E1+E2) /C	鋼材の 種類	備考
		Cr	Ni	Si	C	E1 (Zr)	E2 (Nb)	Mo	Mn	Al	O	Fe						
サン プル No.	—	質量%											—	質量%	—	—	—	—
No.63	実施例	1.06	0.02	0.73	0.724	0.08	0.08	0.19	0.78	0.00	0.25	残部	1.00	0.16	0.22	0.22	SCM	造粒
No.64	実施例	0.92	0.03	0.84	0.703	0.10	0.07	0.26	0.63	0.00	0.22	残部	1.43	0.17	0.20	0.24	SCM	造粒
No.65	実施例	1.15	0.05	0.78	0.741	0.05	0.06	0.22	0.74	0.00	0.19	残部	0.83	0.11	0.14	0.15	SCM	造粒
No.66	実施例	0.98	0.02	0.74	0.698	0.11	0.04	0.16	0.81	0.00	0.26	残部	2.75	0.15	0.20	0.21	SCM	造粒
No.67	実施例	1.04	0.03	0.82	0.711	0.05	0.12	0.21	0.63	0.02	0.24	残部	0.42	0.17	0.21	0.24	SCM	造粒
No.68	比較例	1.08	0.21	0.70	0.732	0.00	0.08	0.28	0.79	0.12	0.26	残部	0.00	0.08	0.11	0.11	SCM	造粒
No.69	比較例	0.99	0.19	0.79	0.711	0.16	0.00	0.27	0.88	0.06	0.35	残部	—	0.16	0.20	0.23	SCM	造粒
No.70	比較例	1.12	0.00	0.82	0.687	0.00	0.00	0.21	0.74	0.00	0.22	残部	—	0.00	0.00	0.00	SCM	造粒
No.71	比較例	0.92	0.08	0.69	0.792	0.63	0.05	0.15	0.76	0.02	0.18	残部	12.6	0.68	0.99	0.86	SCM	造粒
No.72	比較例	1.02	0.05	0.66	0.823	0.04	0.68	0.18	0.63	0.03	0.25	残部	0.06	0.72	1.09	0.87	SCM	造粒
No.73	比較例	1.08	0.21	0.70	0.732	0.00	0.08	0.28	0.79	0.12	0.26	残部	0.00	0.08	0.11	0.11	SCM	HIP処理

【 0 2 5 0 】

なお、表 3 においては、各サンプル No. の粉末冶金用金属粉末および焼結体のうち、
本発明に相当するものを「実施例」とし、本発明に相当しないものを「比較例」としている。

【 0 2 5 1 】

また、各焼結体には、微量の不純物が含まれていたが、表 3 への記載は省略した。なお、
S および P の含有率は、それぞれ 0.03 質量%未満であった。

【 0 2 5 2 】

2. 焼結体 (Zr - Nb 系) の評価

2. 1 相対密度の評価

表 1 ~ 3 に示す各サンプル No. の焼結体について、JIS Z 2501 (2000)
に規定された焼結金属材料の密度を測定する方法に準じて、焼結密度を測定するとともに、
各焼結体を製造するのに用いた粉末冶金用金属粉末の真密度を参照して、各焼結体の
相対密度を算出した。

算出結果を表 4 ~ 6 に示す。

【 0 2 5 3 】

2. 2 硬度の評価

表 1 ~ 3 に示す各サンプル No. の焼結体について、JIS Z 2243 (2003)
に規定されたブリネル硬さ試験の方法に準じて、ブリネル硬さを測定した。

そして、測定した硬さについて、以下の評価基準にしたがって評価した。

【 0 2 5 4 】

なお、以下の評価基準における基準値とは、鋼材の種類が SCM である焼結体について
はサンプル No. 21 の測定値を指し、鋼材の種類が SMn である焼結体についてはサン
プル No. 28 の測定値を指し、鋼材の種類が SMnC である焼結体についてはサンプル
No. 29 の測定値を指し、鋼材の種類が SCr である焼結体についてはサンプル No.
30 の測定値を指し、鋼材の種類が SNCM である焼結体についてはサンプル No. 49
の測定値を指し、鋼材の種類が SNC である焼結体についてはサンプル No. 59 の測定
値を指し、鋼材の種類が SACM である焼結体についてはサンプル No. 61 の測定値を
指す。

【 0 2 5 5 】

<ブリネル硬さの評価基準>

A: 焼結体のブリネル硬さが基準値の 1.1 倍以上である

10

20

30

40

50

B：焼結体のブリネル硬さが基準値の1倍超1.1倍未満である

C：焼結体のブリネル硬さが基準値の1倍未満である

評価結果を表4～6に示す。なお、表4～6には、上記評価結果とともに、評価基準における基準値を記載している。

【0256】

2.3 引張強さ、0.2%耐力および伸びの評価

表1～3に示す各サンプルNo.の焼結体について、JIS Z 2241(2011)に規定された金属材料引張試験方法に準じて、引張強さ、0.2%耐力および伸びを測定した。

そして、測定したこれらの物性値について、以下の評価基準にしたがって評価した。

10

【0257】

なお、以下の評価基準における基準値とは、鋼材の種類がSCMである焼結体についてはサンプルNo.21の測定値を指し、鋼材の種類がSMnである焼結体についてはサンプルNo.28の測定値を指し、鋼材の種類がSMnCである焼結体についてはサンプルNo.29の測定値を指し、鋼材の種類がSCrである焼結体についてはサンプルNo.30の測定値を指し、鋼材の種類がSNCMである焼結体についてはサンプルNo.49の測定値を指し、鋼材の種類がSNCである焼結体についてはサンプルNo.59の測定値を指し、鋼材の種類がSACMである焼結体についてはサンプルNo.61の測定値を指す。

【0258】

20

<引張強さの評価基準>

A：焼結体の引張強さが基準値の1.2倍以上である

B：焼結体の引張強さが基準値の1.1倍以上1.2倍未満である

C：焼結体の引張強さが基準値の1倍超1.1倍未満である

D：焼結体の引張強さが基準値の0.9倍以上1倍以下である

E：焼結体の引張強さが基準値の0.8倍以上0.9倍未満である

F：焼結体の引張強さが基準値の0.8倍未満である

【0259】

<0.2%耐力の評価基準>

A：焼結体の0.2%耐力が基準値の1.2倍以上である

30

B：焼結体の0.2%耐力が基準値の1.1倍以上1.2倍未満である

C：焼結体の0.2%耐力が基準値の1倍超1.1倍未満である

D：焼結体の0.2%耐力が基準値の0.9倍以上1倍以下である

E：焼結体の0.2%耐力が基準値の0.8倍以上0.9倍未満である

F：焼結体の0.2%耐力が基準値の0.8倍未満である

【0260】

<伸びの評価基準>

A：焼結体の伸びが基準値の1.2倍以上である

B：焼結体の伸びが基準値の1.1倍以上1.2倍未満である

C：焼結体の伸びが基準値の1倍超1.1倍未満である

40

D：焼結体の伸びが基準値の0.9倍以上1倍以下である

E：焼結体の伸びが基準値の0.8倍以上0.9倍未満である

F：焼結体の伸びが基準値の0.8倍未満である

【0261】

以上の評価結果を表4～6に示す。なお、表4～6には、上記評価結果とともに、評価基準における基準値を記載している。

【0262】

【表 4】

表 4

		金属 粉末	焼結体の評価結果				
サン プル No.	—	平均 粒径	相対 密度	硬度	引張 強さ	耐力	伸び
		μm	%	—	(MPa)	(MPa)	(%)
No.1	実施例	6.19	98.7	A	A	A	A
No.2	実施例	5.04	99.1	A	A	A	A
No.3	実施例	5.57	99.0	A	A	A	A
No.4	実施例	4.45	98.3	A	B	B	B
No.5	実施例	7.29	98.1	A	B	B	A
No.6	実施例	6.74	97.8	A	B	B	B
No.7	実施例	15.35	98.0	A	B	B	B
No.8	実施例	3.12	98.2	A	B	B	A
No.9	実施例	4.91	98.1	A	B	B	A
No.10	実施例	5.68	98.5	A	B	B	A
No.11	実施例	6.28	98.3	A	B	B	A
No.12	実施例	6.89	98.6	A	B	B	A
No.13	実施例	8.56	98.8	A	B	B	A
No.14	実施例	8.41	98.4	A	B	B	B
No.15	実施例	8.36	98.7	A	B	B	A
No.16	実施例	12.77	99.0	A	A	A	A
No.17	実施例	14.78	98.8	A	A	A	A
No.18	実施例	10.06	98.9	A	B	B	B
No.19	比較例	4.36	96.8	B	D	D	D
No.20	比較例	4.18	96.9	B	C	C	C
No.21	比較例	4.77	96.2	285	980	835	12
No.22	比較例	8.82	95.1	B	E	E	F
No.23	比較例	8.69	95.3	B	D	D	D
No.24	比較例	6.45	95.8	B	E	E	E
No.25	比較例	4.35	93.9	C	F	F	F
No.26	比較例	5.11	96.8	B	D	D	C
No.27	比較例	5.77	96.4	C	C	C	C
No.28	比較例	5.32	96.7	212	740	590	18
No.29	比較例	5.74	96.8	269	930	785	13
No.30	比較例	5.39	96.6	217	780	624	15
No.31	比較例	10.36	96.5	B	C	C	C
No.32	比較例	13.74	96.1	B	C	C	C
No.33	比較例	4.36	99.0	A	A	A	B

【 0 2 6 3 】

10

20

30

40

【表 5】

表5

		金属粉末	焼結体の評価結果				
サンプル No.	—	平均 粒径	相対 密度	硬度	引張 強さ	耐力	伸び
		μm	%	—	(MPa)	(MPa)	(%)
No.34	実施例	6.11	99.1	A	A	A	A
No.35	実施例	8.69	99.2	A	A	A	A
No.36	実施例	5.27	99.0	A	A	A	A
No.37	実施例	4.54	98.6	A	B	B	A
No.38	実施例	7.68	98.5	A	B	B	A
No.39	実施例	6.99	98.3	A	B	B	A
No.40	実施例	14.68	98.2	A	B	B	B
No.41	実施例	3.03	99.0	A	A	A	A
No.42	実施例	5.12	98.8	A	B	B	A
No.43	実施例	4.98	98.9	A	A	A	A
No.44	実施例	6.25	99.1	A	A	A	A
No.45	実施例	6.31	98.8	A	B	B	A
No.46	実施例	7.09	99.0	A	A	A	A
No.47	比較例	4.31	96.7	B	D	D	D
No.48	比較例	4.06	97.3	B	C	C	B
No.49	比較例	5.21	96.4	293	980	885	16
No.50	比較例	8.53	95.3	B	E	E	F
No.51	比較例	8.87	95.5	B	D	D	E
No.52	比較例	6.97	97.5	B	B	C	C
No.53	比較例	4.55	95.3	C	F	F	F
No.54	比較例	5.06	96.7	B	E	E	E
No.55	比較例	5.89	95.3	C	C	C	C
No.56	比較例	6.31	96.6	B	C	C	C
No.57	比較例	7.05	96.8	B	C	C	C
No.58	比較例	5.58	96.7	B	C	C	C
No.59	比較例	5.54	96.1	235	780	624	17
No.60	比較例	5.39	95.8	B	C	C	B
No.61	比較例	6.81	95.9	241	830	685	15
No.62	比較例	4.31	99.0	A	A	A	B

【 0 2 6 4 】

【表 6】

表6

		金属 粉末	焼結体の評価結果				
サン プル No.	—	平均 粒径	相対 密度	硬度	引張 強さ	耐力	伸び
		μm	%	—	—	—	—
No.63	実施例	6.12	99.1	A	A	A	A
No.64	実施例	8.39	99.3	A	A	A	A
No.65	実施例	5.47	99.0	A	A	A	A
No.66	実施例	4.35	98.7	A	A	A	B
No.67	実施例	7.39	98.6	A	B	B	A
No.68	比較例	4.51	96.2	B	D	D	D
No.69	比較例	4.65	97.1	B	C	C	C
No.70	比較例	4.98	96.1	B	E	E	E
No.71	比較例	8.69	95.3	B	D	D	E
No.72	比較例	8.78	95.1	B	D	D	E
No.73	比較例	4.51	99.0	A	A	A	B

10

20

【 0 2 6 5 】

表 4 ～ 6 から明らかなように、実施例に相当する焼結体は、比較例に相当する焼結体（H I P 処理を施した焼結体を除く。）に比べて、相対密度および硬度が高いことが認められた。また、引張強さ、耐力および伸びといった特性についても、有意差があることが認められた。

【 0 2 6 6 】

一方、実施例に相当する焼結体と、H I P 処理を施した焼結体との間で、各物性値を比較したところ、いずれも同程度であることが認められた。

【 0 2 6 7 】

3．焼結体（H f - N b 系）の製造
（サンプル N o . 7 4 ～ 1 1 8 ）

粉末冶金用金属粉末の組成等を表 7、8 に示すように変更した以外は、それぞれサンプル N o . 1 の焼結体の製造方法と同様にして焼結体を得た。

【 0 2 6 8 】

なお、サンプル N o . 9 4 の焼結体については、焼成後、下記の条件で H I P 処理を施した。

【 0 2 6 9 】

< H I P 処理条件 >

- ・加熱温度 : 1 1 0 0
- ・加熱時間 : 2 時間
- ・加圧力 : 1 0 0 M P a

40

【 0 2 7 0 】

【表 7】

表7

		粉末冶金用金属粉末																
		合金組成											E1/E2	E1+E2	(E1+E2) /Si	(E1+E2) /C	鋼材の 種類	備考
		Cr	Ni	Si	C	E1 (Hf)	E2 (Nb)	Mo	Mn	Al	O	Fe						
サン プル No.	—	質量%											—	質量%	—	—	—	—
No.74	実施例	1.08	0.03	0.75	0.712	0.14	0.08	0.23	0.72	0.00	0.24	残部	1.75	0.22	0.29	0.31	SCM	
No.75	実施例	0.96	0.05	0.73	0.693	0.10	0.04	0.18	0.83	0.00	0.27	残部	2.50	0.14	0.19	0.20	SCM	
No.76	実施例	1.12	0.08	0.83	0.736	0.09	0.06	0.22	0.63	0.02	0.19	残部	1.50	0.15	0.18	0.20	SCM	
No.77	実施例	0.92	0.00	0.86	0.707	0.21	0.06	0.23	0.77	0.00	0.23	残部	3.50	0.27	0.31	0.38	SCM	
No.78	実施例	1.06	0.08	0.80	0.725	0.04	0.05	0.28	0.68	0.03	0.21	残部	0.80	0.09	0.11	0.12	SCM	
No.79	実施例	0.23	0.13	0.68	0.705	0.10	0.06	0.00	1.46	0.02	0.35	残部	1.67	0.16	0.24	0.23	SMn	
No.80	実施例	0.61	0.06	0.77	0.802	0.10	0.05	0.00	1.52	0.00	0.41	残部	2.00	0.15	0.19	0.19	SMnC	
No.81	実施例	1.14	0.15	0.95	0.513	0.07	0.03	0.00	0.72	0.01	0.20	残部	2.33	0.10	0.11	0.19	SCr	
No.82	比較例	1.06	0.23	0.72	0.735	0.00	0.07	0.29	0.81	0.08	0.28	残部	0.00	0.07	0.10	0.10	SCM	
No.83	比較例	0.97	0.15	0.77	0.704	0.18	0.00	0.28	0.85	0.06	0.34	残部	—	0.18	0.23	0.26	SCM	
No.84	比較例	1.15	0.00	0.83	0.686	0.00	0.00	0.23	0.73	0.00	0.23	残部	—	0.00	0.00	0.00	SCM	
No.85	比較例	0.91	0.09	0.71	0.795	0.65	0.06	0.19	0.72	0.02	0.21	残部	10.8	0.71	1.00	0.89	SCM	
No.86	比較例	1.14	0.06	0.63	0.842	0.05	0.72	0.20	0.65	0.03	0.26	残部	0.07	0.77	1.22	0.91	SCM	
No.87	比較例	1.12	0.08	0.27	0.755	0.04	0.07	0.25	0.84	0.00	0.22	残部	0.57	0.11	0.41	0.15	SCM	
No.88	比較例	0.95	0.07	1.19	0.805	0.03	0.04	0.24	0.76	0.01	0.24	残部	0.75	0.07	0.06	0.09	SCM	
No.89	比較例	0.98	0.15	0.67	0.324	0.07	0.07	0.20	0.79	0.00	0.25	残部	1.00	0.14	0.21	0.43	SCM	
No.90	比較例	1.09	0.05	0.73	0.980	0.06	0.09	0.19	0.72	0.00	0.23	残部	0.67	0.15	0.21	0.15	SCM	
No.91	比較例	0.27	0.09	0.26	0.387	0.06	0.00	0.25	1.58	0.00	0.25	残部	—	0.06	0.23	0.16	SMn	
No.92	比較例	0.49	0.21	0.22	0.441	0.06	0.00	0.21	1.51	0.00	0.35	残部	—	0.06	0.27	0.14	SMnC	
No.93	比較例	1.05	0.03	0.32	0.157	0.07	0.00	0.26	0.77	0.00	0.24	残部	—	0.07	0.22	0.45	SCr	
No.94	比較例	1.06	0.23	0.72	0.735	0.00	0.07	0.29	0.81	0.08	0.28	残部	0.00	0.07	0.10	0.10	SCM	HIP処理

【 0 2 7 1 】

10

20

30

【表 8】

表8

サン プル No.	—	粉末冶金用金属粉末																
		合金組成											E1/E2	E1+E2	(E1+E2) /Si	(E1+E2) /C	鋼材の 種類	備考
		Cr	Ni	Si	C	E1 (Hf)	E2 (Nb)	Mo	Mn	Al	O	Fe						
		質量%											—	質量%	—	—	—	—
No.95	実施例	0.77	1.86	0.74	0.722	0.09	0.06	0.24	0.81	0.00	0.28	残部	1.50	0.15	0.20	0.21	SNCM	
No.96	実施例	0.86	1.73	0.71	0.708	0.15	0.06	0.19	0.65	0.03	0.29	残部	2.50	0.21	0.30	0.30	SNCM	
No.97	実施例	0.71	1.87	0.66	0.765	0.04	0.05	0.22	0.71	0.02	0.25	残部	0.80	0.09	0.14	0.12	SNCM	
No.98	実施例	0.82	1.96	0.93	0.565	0.22	0.15	0.25	0.88	0.00	0.41	残部	1.47	0.37	0.40	0.65	SNCM	
No.99	実施例	0.75	1.87	0.76	0.731	0.06	0.03	0.24	0.81	0.03	0.23	残部	2.00	0.09	0.12	0.12	SNCM	
No.100	実施例	0.51	0.53	0.82	0.867	0.08	0.05	0.25	0.86	0.00	0.22	残部	1.60	0.13	0.16	0.15	SNCM	
No.101	実施例	0.84	4.24	0.63	0.543	0.11	0.07	0.23	0.52	0.03	0.23	残部	1.57	0.18	0.29	0.33	SNCM	
No.102	実施例	0.34	2.31	0.79	0.582	0.07	0.04	0.00	0.54	0.02	0.19	残部	1.75	0.11	0.14	0.19	SNC	
No.103	実施例	0.86	3.19	0.75	0.867	0.06	0.04	0.00	0.39	0.00	0.25	残部	1.50	0.10	0.13	0.12	SNC	
No.104	実施例	1.53	0.12	0.87	0.886	0.09	0.06	0.22	0.31	0.95	0.58	残部	1.50	0.15	0.17	0.17	SACM	
No.105	比較例	0.83	1.73	0.71	0.732	0.00	0.08	0.23	0.75	0.05	0.25	残部	0.00	0.08	0.11	0.11	SNCM	
No.106	比較例	0.87	1.82	0.77	0.777	0.07	0.00	0.21	0.71	0.06	0.32	残部	—	0.07	0.09	0.09	SNCM	
No.107	比較例	0.93	1.65	0.65	0.679	0.00	0.00	0.25	0.77	0.02	0.24	残部	—	0.00	0.00	0.00	SNCM	
No.108	比較例	0.91	1.91	0.91	0.794	0.67	0.05	0.28	0.71	0.02	0.21	残部	13.4	0.72	0.79	0.91	SNCM	
No.109	比較例	0.85	1.85	0.72	0.764	0.05	0.75	0.23	0.86	0.03	0.31	残部	0.07	0.80	1.11	1.05	SNCM	
No.110	比較例	0.87	1.81	0.26	0.689	0.06	0.04	0.23	0.77	0.00	0.25	残部	1.50	0.10	0.38	0.15	SNCM	
No.111	比較例	0.87	1.92	1.15	0.775	0.08	0.05	0.25	0.75	0.01	0.27	残部	1.60	0.13	0.11	0.17	SNCM	
No.112	比較例	0.86	1.67	0.73	0.377	0.08	0.04	0.27	0.72	0.00	0.22	残部	2.00	0.12	0.16	0.32	SNCM	
No.113	比較例	0.83	1.72	0.75	1.056	0.09	0.06	0.25	0.75	0.00	0.24	残部	1.50	0.15	0.20	0.14	SNCM	
No.114	比較例	0.51	0.56	0.25	0.405	0.05	0.00	0.25	0.84	0.00	0.33	残部	—	0.05	0.20	0.12	SNCM	
No.115	比較例	0.84	4.29	0.24	0.154	0.06	0.00	0.21	0.45	0.00	0.15	残部	—	0.06	0.25	0.39	SNCM	
No.116	比較例	0.82	3.25	0.32	0.374	0.12	0.00	0.00	0.45	0.02	0.18	残部	—	0.12	0.38	0.32	SNC	
No.117	比較例	1.57	0.18	0.36	0.452	0.00	0.07	0.18	0.41	0.89	0.56	残部	0.00	0.07	0.19	0.15	SACM	
No.118	比較例	0.83	1.73	0.71	0.732	0.00	0.08	0.23	0.75	0.05	0.25	残部	0.00	0.08	0.11	0.11	SNCM	HIP処理

【 0 2 7 2 】

なお、表 7、8 では、各サンプル No. の焼結体のうち、本発明に相当するものを「実施例」とし、本発明に相当しないものを「比較例」としている。

【 0 2 7 3 】

また、各焼結体には、微量の不純物が含まれていたが、表 7、8 への記載は省略した。なお、S および P の含有率は、それぞれ 0.03 質量%未満であった。

【 0 2 7 4 】

4. 焼結体 (Hf - Nb 系) の評価

4. 1 相対密度の評価

表 7、8 に示す各サンプル No. の焼結体について、JIS Z 2501 (2000) に規定された焼結金属材料の密度を測定する方法に準じて、焼結密度を測定するとともに、各焼結体を製造するのに用いた粉末冶金用金属粉末の真密度を参照して、各焼結体の相対密度を算出した。

算出結果を表 9、10 に示す。

【 0 2 7 5 】

4. 2 硬度の評価

表 7、8 に示す各サンプル No. の焼結体について、JIS Z 2243 (2003) に規定されたブリネル硬さ試験の方法に準じて、ブリネル硬さを測定した。

そして、測定した硬さについて、2.2 に記載された評価基準にしたがって評価した。

【 0 2 7 6 】

なお、2.2に記載された評価基準における基準値とは、鋼材の種類がSCMである焼結体についてはサンプルNo.84の測定値を指し、鋼材の種類がSMnである焼結体についてはサンプルNo.91の測定値を指し、鋼材の種類がSMnCである焼結体についてはサンプルNo.92の測定値を指し、鋼材の種類がSCrである焼結体についてはサンプルNo.93の測定値を指し、鋼材の種類がSNCMである焼結体についてはサンプルNo.107の測定値を指し、鋼材の種類がSNCである焼結体についてはサンプルNo.116の測定値を指し、鋼材の種類がSACMである焼結体についてはサンプルNo.117の測定値を指す。

【0277】

評価結果を表9、10に示す。なお、表9、10には、上記評価結果とともに、評価基準における基準値を記載している。

10

【0278】

4.3 引張強さ、0.2%耐力および伸びの評価

表7、8に示す各サンプルNo.の焼結体について、JIS Z 2241(2011)に規定された金属材料引張試験方法に準じて、引張強さ、0.2%耐力および伸びを測定した。

【0279】

そして、測定したこれらの物性値について、2.3に記載された評価基準にしたがって評価した。

【0280】

20

なお、2.3に記載された評価基準における基準値とは、鋼材の種類がSCMである焼結体についてはサンプルNo.84の測定値を指し、鋼材の種類がSMnである焼結体についてはサンプルNo.91の測定値を指し、鋼材の種類がSMnCである焼結体についてはサンプルNo.92の測定値を指し、鋼材の種類がSCrである焼結体についてはサンプルNo.93の測定値を指し、鋼材の種類がSNCMである焼結体についてはサンプルNo.107の測定値を指し、鋼材の種類がSNCである焼結体についてはサンプルNo.116の測定値を指し、鋼材の種類がSACMである焼結体についてはサンプルNo.117の測定値を指す。

【0281】

評価結果を表9、10に示す。なお、表9、10には、上記評価結果とともに、評価基準における基準値を記載している。

30

【0282】

【表 9】

表9

		金属 粉末	焼結体の評価結果				
サン プル No.	—	平均 粒径	相対 密度	硬度	引張 強さ	耐力	伸び
		μm	%	—	(MPa)	(MPa)	(%)
No.74	実施例	6.25	98.9	A	A	A	A
No.75	実施例	4.36	99.0	A	A	A	A
No.76	実施例	7.41	99.2	A	A	A	A
No.77	実施例	6.87	98.8	A	B	B	A
No.78	実施例	14.36	98.4	A	B	B	B
No.79	実施例	7.21	98.9	A	A	A	A
No.80	実施例	8.68	98.7	A	A	A	A
No.81	実施例	8.45	98.8	A	A	A	A
No.82	比較例	4.46	96.5	B	D	D	D
No.83	比較例	4.35	96.8	B	C	C	D
No.84	比較例	4.82	96.1	285	980	835	12
No.85	比較例	8.26	95.4	B	E	E	F
No.86	比較例	8.47	95.7	B	D	D	E
No.87	比較例	6.61	96.2	B	C	C	C
No.88	比較例	4.53	94.1	B	F	F	F
No.89	比較例	5.21	96.8	B	E	E	D
No.90	比較例	5.76	95.3	B	D	D	E
No.91	比較例	5.63	96.1	212	740	590	18
No.92	比較例	5.87	95.8	269	930	785	13
No.93	比較例	5.47	96.2	217	780	624	15
No.94	比較例	4.46	99.0	A	A	A	B

【 0 2 8 3 】

10

20

30

【表 10】

表10

		金属粉末	焼結体の評価結果				
サンプル No.	—	平均 粒径	相対 密度	硬度	引張 強さ	耐力	伸び
		μm	%	—	(MPa)	(MPa)	(%)
No.95	実施例	6.22	99.1	A	A	A	A
No.96	実施例	4.38	99.2	A	A	A	A
No.97	実施例	7.39	98.8	A	B	B	A
No.98	実施例	6.87	98.5	A	B	B	B
No.99	実施例	15.42	99.0	A	B	B	B
No.100	実施例	3.06	98.8	A	A	A	A
No.101	実施例	4.77	99.0	A	A	A	A
No.102	実施例	6.12	98.7	A	A	A	A
No.103	実施例	6.47	98.8	A	A	A	A
No.104	実施例	7.04	98.9	A	A	A	A
No.105	比較例	4.54	96.6	B	D	D	D
No.106	比較例	4.36	97.2	B	C	C	C
No.107	比較例	4.89	96.2	293	980	885	16
No.108	比較例	8.54	95.3	B	E	E	F
No.109	比較例	8.69	95.4	B	D	D	E
No.110	比較例	6.47	96.2	B	D	D	D
No.111	比較例	4.51	94.1	C	E	E	F
No.112	比較例	5.24	96.3	B	E	E	D
No.113	比較例	6.03	94.8	C	D	D	E
No.114	比較例	5.67	95.8	B	C	C	C
No.115	比較例	5.79	95.7	B	C	C	C
No.116	比較例	5.84	95.6	235	780	624	17
No.117	比較例	14.66	95.7	241	830	685	15
No.118	比較例	4.54	99.0	A	A	A	B

【0284】

表9、10から明らかなように、実施例に相当する焼結体は、比較例に相当する焼結体（HIP処理を施した焼結体を除く。）に比べて、相対密度および硬度が高いことが認められた。また、引張強さ、耐力および伸びといった特性についても、有意差があることが認められた。

【0285】

一方、実施例に相当する焼結体と、HIP処理を施した焼結体との間で、各物性値を比較したところ、いずれも同程度であることが認められた。

【0286】

5．焼結体（Ti-Nb系）の製造
（サンプルNo. 119～143）

粉末冶金用金属粉末の組成等を表11に示すように変更した以外は、それぞれサンプルNo. 1の焼結体の製造方法と同様にして焼結体を得た。

【0287】

(サンプル N o . 1 4 4)

表 1 1 に示す組成の金属粉末と、平均粒径 4 0 μ m の T i 粉末と、平均粒径 2 5 μ m の N b 粉末と、を混合し、混合粉を調製した。なお、混合粉の調製にあたっては、混合粉の組成が表 1 1 に示す組成になるように、金属粉末、T i 粉末および N b 粉末の各混合量を調整した。

【 0 2 8 8 】

次いで、この混合粉を用い、サンプル N o . 1 の焼結体の製造方法と同様にして焼結体を得た。

【 0 2 8 9 】

【 表 1 1 】

表 11

サンプル No.		—	粉末冶金用金属粉末															鋼材の 種類	備考
			合金組成											E1/E2	E1+E2	(E1+E2) /Si	(E1+E2) /C		
			Cr	Ni	Si	C	E1 (Ti)	E2 (Nb)	Mo	Mn	Al	O	Fe						
質量%													—	質量%	—	—	—	—	
No.119	実施例	1.04	0.03	0.71	0.718	0.05	0.10	0.21	0.76	0.00	0.24	残部	0.50	0.15	0.21	0.21	SCM		
No.120	実施例	0.97	0.01	0.75	0.701	0.08	0.08	0.17	0.80	0.00	0.27	残部	1.00	0.16	0.21	0.23	SCM		
No.121	実施例	1.07	0.04	0.84	0.721	0.04	0.12	0.19	0.65	0.02	0.26	残部	0.33	0.16	0.19	0.22	SCM		
No.122	実施例	0.27	0.12	0.63	0.705	0.04	0.09	0.00	1.51	0.02	0.24	残部	0.44	0.13	0.21	0.18	SMn		
No.123	実施例	0.60	0.04	0.73	0.802	0.05	0.06	0.00	1.57	0.00	0.43	残部	0.83	0.11	0.15	0.14	SMnC		
No.124	実施例	1.14	0.17	0.93	0.512	0.05	0.08	0.00	0.72	0.02	0.17	残部	0.63	0.13	0.14	0.25	SCr		
No.125	実施例	0.76	1.86	0.77	0.715	0.12	0.09	0.26	0.78	0.00	0.25	残部	1.33	0.21	0.27	0.29	SNCM		
No.126	実施例	0.54	0.54	0.85	0.868	0.06	0.08	0.27	0.86	0.00	0.22	残部	0.75	0.14	0.16	0.16	SNCM		
No.127	実施例	0.84	4.15	0.64	0.543	0.07	0.10	0.25	0.47	0.03	0.21	残部	0.70	0.17	0.27	0.31	SNCM		
No.128	実施例	0.37	2.19	0.87	0.577	0.05	0.08	0.00	0.57	0.02	0.23	残部	0.63	0.13	0.15	0.23	SNC		
No.129	実施例	0.83	3.18	0.72	0.867	0.03	0.08	0.00	0.42	0.00	0.24	残部	0.38	0.11	0.15	0.13	SNC		
No.130	実施例	1.53	0.11	0.86	0.885	0.07	0.11	0.18	0.46	1.09	0.18	残部	0.64	0.18	0.21	0.20	SACM		
No.131	比較例	1.06	0.16	0.73	0.744	0.00	0.07	0.26	0.81	0.11	0.25	残部	0.00	0.07	0.10	0.09	SCM		
No.132	比較例	0.98	0.20	0.80	0.709	0.15	0.00	0.28	0.87	0.06	0.34	残部	—	0.15	0.19	0.21	SCM		
No.133	比較例	1.14	0.00	0.83	0.684	0.00	0.00	0.22	0.73	0.00	0.21	残部	—	0.00	0.00	0.00	SCM		
No.134	比較例	0.91	0.08	0.68	0.789	0.65	0.06	0.16	0.78	0.02	0.20	残部	10.8	0.71	1.04	0.90	SCM		
No.135	比較例	1.04	0.06	0.71	0.818	0.05	0.63	0.21	0.64	0.03	0.26	残部	0.08	0.68	0.96	0.83	SCM		
No.136	比較例	0.27	0.07	0.26	0.385	0.05	0.00	0.19	1.56	0.00	0.21	残部	—	0.05	0.19	0.13	SMn		
No.137	比較例	0.50	0.09	0.20	0.428	0.06	0.00	0.21	1.46	0.00	0.27	残部	—	0.06	0.30	0.14	SMnC		
No.138	比較例	1.09	0.04	0.32	0.163	0.09	0.00	0.25	0.77	0.00	0.26	残部	—	0.09	0.28	0.55	SCr		
No.139	比較例	0.91	1.82	0.27	0.381	0.06	0.00	0.19	0.67	0.05	0.32	残部	—	0.06	0.22	0.16	SNCM		
No.140	比較例	0.49	0.56	0.25	0.408	0.08	0.00	0.23	0.84	0.00	0.33	残部	—	0.08	0.32	0.20	SNCM		
No.141	比較例	0.85	4.32	0.24	0.157	0.07	0.00	0.21	0.47	0.00	0.14	残部	—	0.07	0.29	0.45	SNCM		
No.142	比較例	0.80	3.18	0.33	0.358	0.10	0.00	0.00	0.43	0.02	0.17	残部	—	0.10	0.30	0.28	SNC		
No.143	比較例	1.54	0.18	0.39	0.451	0.00	0.07	0.19	0.34	1.11	0.25	残部	0.00	0.07	0.18	0.16	SACM		
No.144	比較例	1.06	0.16	0.73	0.744	0.45	0.20	0.26	0.81	0.11	0.25	残部	2.25	0.65	0.89	0.87	SCM	混合粉	

【 0 2 9 0 】

なお、表 1 1 では、各サンプル N o . の焼結体のうち、本発明に相当するものを「実施例」とし、本発明に相当しないものを「比較例」としている。

【 0 2 9 1 】

また、各焼結体には、微量の不純物が含まれていたが、表 1 1 への記載は省略した。なお、S および P の含有率は、それぞれ 0 . 0 3 質量%未満であった。

【 0 2 9 2 】

6 . 焼結体 (T i - N b 系) の評価

6 . 1 相対密度の評価

10

20

30

40

50

表 1 1 に示す各サンプル N o . の焼結体について、J I S Z 2 5 0 1 (2 0 0 0) に規定された焼結金属材料の密度を測定する方法に準じて、焼結密度を測定するとともに、各焼結体を製造するのに用いた粉末冶金用金属粉末の真密度を参照して、各焼結体の相対密度を算出した。

算出結果を表 1 2 に示す。

【 0 2 9 3 】

6 . 2 硬度の評価

表 1 1 に示す各サンプル N o . の焼結体について、J I S Z 2 2 4 3 (2 0 0 3) に規定されたブリネル硬さ試験の方法に準じて、ブリネル硬さを測定した。

そして、測定した硬さについて、2 . 2 に記載された評価基準にしたがって評価した。

10

【 0 2 9 4 】

なお、2 . 2 に記載された評価基準における基準値とは、鋼材の種類が S C M である焼結体についてはサンプル N o . 1 3 3 の測定値を指し、鋼材の種類が S M n である焼結体についてはサンプル N o . 1 3 6 の測定値を指し、鋼材の種類が S M n C である焼結体についてはサンプル N o . 1 3 7 の測定値を指し、鋼材の種類が S C r である焼結体についてはサンプル N o . 1 3 8 の測定値を指し、鋼材の種類が S N C M である焼結体についてはサンプル N o . 1 3 9 の測定値を指し、鋼材の種類が S N C である焼結体についてはサンプル N o . 1 4 2 の測定値を指し、鋼材の種類が S A C M である焼結体についてはサンプル N o . 1 4 3 の測定値を指す。

【 0 2 9 5 】

20

評価結果を表 1 2 に示す。なお、表 1 2 には、上記評価結果とともに、評価基準における基準値を記載している。

【 0 2 9 6 】

6 . 3 引張強さ、0 . 2 % 耐力および伸びの評価

表 1 1 に示す各サンプル N o . の焼結体について、J I S Z 2 2 4 1 (2 0 1 1) に規定された金属材料引張試験方法に準じて、引張強さ、0 . 2 % 耐力および伸びを測定した。

【 0 2 9 7 】

そして、測定したこれらの物性値について、2 . 3 に記載された評価基準にしたがって評価した。

30

【 0 2 9 8 】

なお、2 . 3 に記載された評価基準における基準値とは、鋼材の種類が S C M である焼結体についてはサンプル N o . 1 3 3 の測定値を指し、鋼材の種類が S M n である焼結体についてはサンプル N o . 1 3 6 の測定値を指し、鋼材の種類が S M n C である焼結体についてはサンプル N o . 1 3 7 の測定値を指し、鋼材の種類が S C r である焼結体についてはサンプル N o . 1 3 8 の測定値を指し、鋼材の種類が S N C M である焼結体についてはサンプル N o . 1 3 9 の測定値を指し、鋼材の種類が S N C である焼結体についてはサンプル N o . 1 4 2 の測定値を指し、鋼材の種類が S A C M である焼結体についてはサンプル N o . 1 4 3 の測定値を指す。

【 0 2 9 9 】

40

評価結果を表 1 2 に示す。なお、表 1 2 には、上記評価結果とともに、評価基準における基準値を記載している。

【 0 3 0 0 】

【表 1 2】

表12

サン プル No.	—	金属 粉末	焼結体の評価結果				
		平均 粒径	相対 密度	硬度	引張 強さ	耐力	伸び
		μm	%	—	(MPa)	(MPa)	(%)
No.119	実施例	6.25	99.0	A	A	A	A
No.120	実施例	4.39	98.8	A	A	A	A
No.121	実施例	7.48	98.9	A	A	A	A
No.122	実施例	7.03	98.9	A	A	A	A
No.123	実施例	8.66	98.7	A	A	A	A
No.124	実施例	8.25	98.4	A	A	A	A
No.125	実施例	8.17	98.5	A	B	B	B
No.126	実施例	4.87	98.8	A	A	A	B
No.127	実施例	3.05	98.9	A	A	A	B
No.128	実施例	2.69	99.0	A	A	A	A
No.129	実施例	6.47	99.0	A	A	A	B
No.130	実施例	10.55	98.9	A	A	A	A
No.131	比較例	6.65	96.3	B	D	D	D
No.132	比較例	4.58	96.8	B	C	C	C
No.133	比較例	4.98	95.9	285	980	835	12
No.134	比較例	8.75	94.8	B	E	E	F
No.135	比較例	8.97	94.7	B	E	E	E
No.136	比較例	6.54	95.8	212	740	590	18
No.137	比較例	3.66	95.6	269	930	785	13
No.138	比較例	4.52	95.8	217	780	624	15
No.139	比較例	5.89	95.7	293	980	885	16
No.140	比較例	6.35	95.3	B	C	C	C
No.141	比較例	4.74	95.4	B	C	C	C
No.142	比較例	5.59	95.5	235	780	624	17
No.143	比較例	6.12	94.8	241	830	685	15
No.144	比較例	4.35	95.8	C	D	D	E

【0301】

表12から明らかなように、実施例に相当する焼結体は、比較例に相当する焼結体に比べて、相対密度および硬度が高いことが認められた。また、引張強さ、耐力および伸びといった特性についても、有意差があることが認められた。

【0302】

7. 焼結体(Nb-Ta系)の製造

(サンプルNo. 145~162)

粉末冶金用金属粉末の組成等を表13に示すように変更した以外は、それぞれサンプルNo. 1の焼結体の製造方法と同様にして焼結体を得た。

【0303】

10

20

30

40

【表 13】

表13

		粉末冶金用金属粉末																
		合金組成											E1/E2	E1+E2	(E1+E2) /Si	(E1+E2) /C	鋼材の 種類	備考
サン プル No.	—	Cr	Ni	Si	C	E1 (Nb)	E2 (Ta)	Mo	Mn	Al	O	Fe						
		質量%											—	質量%	—	—	—	—
No.145	実施例	1.04	0.03	0.75	0.735	0.06	0.08	0.21	0.81	0.00	0.26	残部	0.75	0.14	0.19	0.19	SCM	
No.146	実施例	0.27	0.13	0.63	0.698	0.05	0.15	0.00	1.45	0.02	0.36	残部	0.33	0.20	0.32	0.29	SMn	
No.147	実施例	0.56	0.04	0.73	0.781	0.05	0.10	0.00	1.61	0.00	0.43	残部	0.50	0.15	0.21	0.19	SMnC	
No.148	実施例	1.08	0.16	0.94	0.514	0.04	0.10	0.00	0.72	0.01	0.19	残部	0.40	0.14	0.15	0.27	SCr	
No.149	実施例	0.87	4.19	0.66	0.564	0.08	0.07	0.25	0.52	0.03	0.24	残部	1.14	0.15	0.23	0.27	SNCM	
No.150	実施例	0.83	3.25	0.75	0.879	0.07	0.11	0.00	0.46	0.00	0.23	残部	0.64	0.18	0.24	0.20	SNC	
No.151	実施例	1.51	0.11	0.86	0.884	0.04	0.05	0.19	0.32	1.03	0.45	残部	0.80	0.09	0.10	0.10	SACM	
No.152	比較例	1.05	0.25	0.72	0.746	0.00	0.07	0.26	0.81	0.09	0.24	残部	0.00	0.07	0.10	0.09	SCM	
No.153	比較例	0.97	0.18	0.81	0.718	0.14	0.00	0.28	0.87	0.06	0.29	残部	—	0.14	0.17	0.19	SCM	
No.154	比較例	1.15	0.00	0.85	0.679	0.00	0.00	0.19	0.72	0.00	0.24	残部	—	0.00	0.00	0.00	SCM	
No.155	比較例	1.12	0.07	0.71	0.812	0.67	0.06	0.18	0.78	0.02	0.21	残部	11.2	0.73	1.03	0.90	SCM	
No.156	比較例	1.00	0.04	0.64	0.823	0.05	0.72	0.16	0.69	0.03	0.26	残部	0.07	0.77	1.20	0.94	SCM	
No.157	比較例	0.21	0.05	0.21	0.375	0.07	0.00	0.18	1.41	0.00	0.25	残部	—	0.07	0.33	0.19	SMn	
No.158	比較例	0.58	0.12	0.17	0.427	0.06	0.00	0.21	1.45	0.00	0.48	残部	—	0.06	0.35	0.14	SMnC	
No.159	比較例	1.05	0.05	0.28	0.151	0.08	0.00	0.24	0.81	0.00	0.24	残部	—	0.08	0.29	0.53	SCr	
No.160	比較例	0.87	4.19	0.24	0.154	0.07	0.00	0.19	0.49	0.00	0.16	残部	—	0.07	0.29	0.45	SNCM	
No.161	比較例	0.78	3.29	0.29	0.357	0.11	0.00	0.00	0.47	0.02	0.18	残部	—	0.11	0.38	0.31	SNC	
No.162	比較例	1.53	0.19	0.32	0.442	0.00	0.07	0.24	0.34	1.01	0.58	残部	—	0.07	0.22	0.16	SACM	

10

20

【0304】

なお、表13では、各サンプルNo.の焼結体のうち、本発明に相当するものを「実施例」とし、本発明に相当しないものを「比較例」としている。

【0305】

また、各焼結体には、微量の不純物が含まれていたが、表13への記載は省略した。なお、SおよびPの含有率は、それぞれ0.03質量%未満であった。

30

【0306】

8. 焼結体(Nb-Ta系)の評価

8.1 相対密度の評価

表13に示す各サンプルNo.の焼結体について、JIS Z 2501(2000)に規定された焼結金属材料の密度を測定する方法に準じて、焼結密度を測定するとともに、各焼結体を製造するのに用いた粉末冶金用金属粉末の真密度を参照して、各焼結体の相対密度を算出した。

算出結果を表14に示す。

【0307】

8.2 硬度の評価

表13に示す各サンプルNo.の焼結体について、JIS Z 2243(2003)に規定されたブリネル硬さ試験の方法に準じて、ブリネル硬さを測定した。

そして、測定した硬さについて、2.2に記載された評価基準にしたがって評価した。

【0308】

なお、2.2に記載された評価基準における基準値とは、鋼材の種類がSCMである焼結体についてはサンプルNo.154の測定値を指し、鋼材の種類がSMnである焼結体についてはサンプルNo.157の測定値を指し、鋼材の種類がSMnCである焼結体についてはサンプルNo.158の測定値を指し、鋼材の種類がSCrである焼結体についてはサンプルNo.159の測定値を指し、鋼材の種類がSNCMである焼結体について

50

はサンプルNo. 160の測定値を指し、鋼材の種類がSNCである焼結体についてはサンプルNo. 161の測定値を指し、鋼材の種類がSACMである焼結体についてはサンプルNo. 162の測定値を指す。

【0309】

評価結果を表14に示す。なお、表14には、上記評価結果とともに、評価基準における基準値を記載している。

【0310】

8.3 引張強さ、0.2%耐力および伸びの評価

表13に示す各サンプルNo.の焼結体について、JIS Z 2241(2011)に規定された金属材料引張試験方法に準じて、引張強さ、0.2%耐力および伸びを測定した。

10

【0311】

そして、測定したこれらの物性値について、2.3に記載された評価基準にしたがって評価した。

【0312】

なお、2.3に記載された評価基準における基準値とは、鋼材の種類がSCMである焼結体についてはサンプルNo. 154の測定値を指し、鋼材の種類がSMnである焼結体についてはサンプルNo. 157の測定値を指し、鋼材の種類がSMnCである焼結体についてはサンプルNo. 158の測定値を指し、鋼材の種類がSCrである焼結体についてはサンプルNo. 159の測定値を指し、鋼材の種類がSNCMである焼結体についてはサンプルNo. 160の測定値を指し、鋼材の種類がSNCである焼結体についてはサンプルNo. 161の測定値を指し、鋼材の種類がSACMである焼結体についてはサンプルNo. 162の測定値を指す。

20

【0313】

評価結果を表14に示す。なお、表14には、上記評価結果とともに、評価基準における基準値を記載している。

【0314】

【表 1 4】

表 14

		金属粉末	焼結体の評価結果				
サンプル No.	—	平均 粒径	相対 密度	硬度	引張 強さ	耐力	伸び
		μm	%	—	(MPa)	(MPa)	(%)
No.145	実施例	6.05	98.7	A	A	A	B
No.146	実施例	5.46	98.7	A	A	A	B
No.147	実施例	8.59	98.6	A	A	A	B
No.148	実施例	2.87	98.4	A	B	B	B
No.149	実施例	10.26	98.4	A	B	B	B
No.150	実施例	9.45	98.5	A	A	A	B
No.151	実施例	4.41	98.4	A	B	B	B
No.152	比較例	4.68	96.3	B	D	D	D
No.153	比較例	8.39	96.9	B	C	C	C
No.154	比較例	3.24	95.9	285	980	835	12
No.155	比較例	9.36	95.1	C	E	E	F
No.156	比較例	5.57	95.3	C	E	E	E
No.157	比較例	9.45	96.2	212	740	590	18
No.158	比較例	8.87	96.4	269	930	785	13
No.159	比較例	2.95	96.3	217	780	624	15
No.160	比較例	11.06	96.4	293	980	885	16
No.161	比較例	9.34	96.3	235	780	624	17
No.162	比較例	4.48	95.9	241	830	685	15

10

20

【 0 3 1 5】

30

表 1 4 から明らかなように、実施例に相当する焼結体は、比較例に相当する焼結体に比べて、相対密度および硬度が高いことが認められた。また、引張強さ、耐力および伸びといった特性についても、有意差があることが認められた。

【 0 3 1 6】

9. 焼結体 (Y - Nb 系) の製造
(サンプル No. 163 ~ 187)

粉末冶金用金属粉末の組成等を表 1 5 に示すように変更した以外は、それぞれサンプル No. 1 の焼結体の製造方法と同様にして焼結体を得た。

【 0 3 1 7】

【表 15】

表15

サン プル No.	—	粉末冶金用金属粉末																
		合金組成											E1/E2	E1+E2	(E1+E2) /Si	(E1+E2) /C	鋼材の 種類	備考
		Cr	Ni	Si	C	E1 (Y)	E2 (Nb)	Mo	Mn	Al	O	Fe						
		質量%											—	質量%	—	—	—	—
No.163	実施例	1.07	0.02	0.77	0.724	0.08	0.08	0.19	0.78	0.00	0.25	残部	1.00	0.16	0.21	0.22	SCM	
No.164	実施例	0.96	0.03	0.72	0.702	0.12	0.05	0.16	0.83	0.00	0.28	残部	2.40	0.17	0.24	0.24	SCM	
No.165	実施例	1.02	0.06	0.82	0.707	0.05	0.14	0.22	0.65	0.02	0.24	残部	0.36	0.19	0.23	0.27	SCM	
No.166	実施例	0.26	0.12	0.62	0.696	0.06	0.08	0.00	1.46	0.02	0.38	残部	0.75	0.14	0.23	0.20	SMn	
No.167	実施例	0.62	0.06	0.71	0.811	0.04	0.05	0.00	1.57	0.00	0.42	残部	0.80	0.09	0.13	0.11	SMnC	
No.168	実施例	1.13	0.18	0.93	0.512	0.05	0.06	0.00	0.71	0.01	0.19	残部	0.83	0.11	0.12	0.21	SCr	
No.169	実施例	0.82	1.84	0.81	0.725	0.11	0.09	0.24	0.78	0.00	0.26	残部	1.22	0.20	0.25	0.28	SNCM	
No.170	実施例	0.48	0.58	0.85	0.869	0.06	0.08	0.27	0.86	0.00	0.24	残部	0.75	0.14	0.16	0.16	SNCM	
No.171	実施例	0.80	4.32	0.67	0.564	0.11	0.12	0.23	0.55	0.03	0.29	残部	0.92	0.23	0.34	0.41	SNCM	
No.172	実施例	0.32	2.25	0.87	0.602	0.07	0.07	0.00	0.49	0.02	0.18	残部	1.00	0.14	0.16	0.23	SNC	
No.173	実施例	0.79	3.31	0.76	0.865	0.03	0.04	0.00	0.41	0.00	0.19	残部	0.75	0.07	0.09	0.08	SNC	
No.174	実施例	1.48	0.09	0.86	0.885	0.06	0.08	0.25	0.39	0.98	0.51	残部	0.75	0.14	0.16	0.16	SACM	
No.175	比較例	1.05	0.23	0.72	0.728	0.00	0.07	0.29	0.78	0.15	0.35	残部	0.00	0.07	0.10	0.10	SCM	
No.176	比較例	0.98	0.18	0.78	0.708	0.18	0.00	0.26	0.89	0.08	0.41	残部	—	0.18	0.23	0.25	SCM	
No.177	比較例	1.14	0.00	0.84	0.685	0.00	0.00	0.19	0.72	0.00	0.22	残部	—	0.00	0.00	0.00	SCM	
No.178	比較例	0.91	0.10	0.68	0.789	0.66	0.06	0.15	0.74	0.02	0.21	残部	11.0	0.72	1.06	0.91	SCM	
No.179	比較例	1.04	0.05	0.64	0.818	0.04	0.71	0.17	0.65	0.03	0.26	残部	0.06	0.75	1.17	0.92	SCM	
No.180	比較例	0.23	0.12	0.28	0.375	0.06	0.00	0.21	1.42	0.00	0.23	残部	—	0.06	0.21	0.16	SMn	
No.181	比較例	0.52	0.10	0.18	0.423	0.08	0.00	0.19	1.57	0.00	0.26	残部	—	0.08	0.44	0.19	SMnC	
No.182	比較例	1.05	0.03	0.32	0.162	0.09	0.00	0.26	0.81	0.00	0.25	残部	—	0.09	0.28	0.56	SCr	
No.183	比較例	0.87	1.83	0.29	0.385	0.06	0.00	0.19	0.69	0.06	0.31	残部	—	0.06	0.21	0.16	SNCM	
No.184	比較例	0.51	0.55	0.26	0.412	0.08	0.00	0.22	0.85	0.00	0.34	残部	—	0.08	0.31	0.19	SNCM	
No.185	比較例	0.88	4.33	0.24	0.157	0.07	0.00	0.18	0.46	0.00	0.15	残部	—	0.07	0.29	0.45	SNCM	
No.186	比較例	0.82	0.19	0.32	0.358	0.12	0.00	0.00	0.39	0.02	0.18	残部	—	0.12	0.38	0.34	SNC	
No.187	比較例	1.51	0.17	0.36	0.449	0.00	0.07	0.19	0.34	1.11	0.58	残部	—	0.07	0.19	0.16	SACM	

【0318】

なお、表15では、各サンプルNo.の焼結体のうち、本発明に相当するものを「実施例」とし、本発明に相当しないものを「比較例」としている。

【0319】

また、各焼結体には、微量の不純物が含まれていたが、表15への記載は省略した。なお、SおよびPの含有率は、それぞれ0.03質量%未満であった。

【0320】

10. 焼結体(Y-Nb系)の評価

10.1 相対密度の評価

表15に示す各サンプルNo.の焼結体について、JIS Z 2501(2000)に規定された焼結金属材料の密度を測定する方法に準じて、焼結密度を測定するとともに、各焼結体を製造するのに用いた粉末冶金用金属粉末の真密度を参照して、各焼結体の相対密度を算出した。

算出結果を表16に示す。

【0321】

10.2 硬度の評価

表15に示す各サンプルNo.の焼結体について、JIS Z 2243(2003)に規定されたブリネル硬さ試験の方法に準じて、ブリネル硬さを測定した。

そして、測定した硬さについて、2.2に記載された評価基準にしたがって評価した。

10

20

30

40

50

【 0 3 2 2 】

なお、2.2に記載された評価基準における基準値とは、鋼材の種類がSCMである焼結体についてはサンプルNo.177の測定値を指し、鋼材の種類がSMnである焼結体についてはサンプルNo.180の測定値を指し、鋼材の種類がSMnCである焼結体についてはサンプルNo.181の測定値を指し、鋼材の種類がSCrである焼結体についてはサンプルNo.182の測定値を指し、鋼材の種類がSNCMである焼結体についてはサンプルNo.183の測定値を指し、鋼材の種類がSNCである焼結体についてはサンプルNo.186の測定値を指し、鋼材の種類がSACMである焼結体についてはサンプルNo.187の測定値を指す。

【 0 3 2 3 】

評価結果を表16に示す。なお、表16には、上記評価結果とともに、評価基準における基準値を記載している。

【 0 3 2 4 】

10.3 引張強さ、0.2%耐力および伸びの評価

表15に示す各サンプルNo.の焼結体について、JIS Z 2241(2011)に規定された金属材料引張試験方法に準じて、引張強さ、0.2%耐力および伸びを測定した。

【 0 3 2 5 】

そして、測定したこれらの物性値について、2.3に記載された評価基準にしたがって評価した。

【 0 3 2 6 】

なお、2.3に記載された評価基準における基準値とは、鋼材の種類がSCMである焼結体についてはサンプルNo.177の測定値を指し、鋼材の種類がSMnである焼結体についてはサンプルNo.180の測定値を指し、鋼材の種類がSMnCである焼結体についてはサンプルNo.181の測定値を指し、鋼材の種類がSCrである焼結体についてはサンプルNo.182の測定値を指し、鋼材の種類がSNCMである焼結体についてはサンプルNo.183の測定値を指し、鋼材の種類がSNCである焼結体についてはサンプルNo.186の測定値を指し、鋼材の種類がSACMである焼結体についてはサンプルNo.187の測定値を指す。

【 0 3 2 7 】

評価結果を表16に示す。なお、表16には、上記評価結果とともに、評価基準における基準値を記載している。

【 0 3 2 8 】

10

20

30

【表 16】

表16

サン プル No.	—	金属 粉末	焼結体の評価結果				
		平均 粒径	相対 密度	硬度	引張 強さ	耐力	伸び
		μm	%	—	(MPa)	(MPa)	(%)
No.163	実施例	6.25	98.8	A	A	A	B
No.164	実施例	4.48	98.6	A	A	A	B
No.165	実施例	9.54	98.5	A	B	B	B
No.166	実施例	6.63	98.7	A	A	A	B
No.167	実施例	8.59	98.4	A	B	B	B
No.168	実施例	3.55	98.3	A	B	B	B
No.169	実施例	10.58	98.9	A	A	A	B
No.170	実施例	12.36	98.8	A	A	A	B
No.171	実施例	2.39	98.9	A	A	A	B
No.172	実施例	8.87	98.7	A	A	A	B
No.173	実施例	4.98	98.4	A	B	B	B
No.174	実施例	5.89	98.7	A	A	A	B
No.175	比較例	6.54	96.4	B	D	D	D
No.176	比較例	4.45	96.8	B	C	C	C
No.177	比較例	9.77	95.8	285	980	835	12
No.178	比較例	8.56	94.9	C	E	E	F
No.179	比較例	8.23	95.1	C	E	E	E
No.180	比較例	6.65	95.3	212	740	590	18
No.181	比較例	8.54	95.4	269	930	785	13
No.182	比較例	3.52	95.3	217	780	624	15
No.183	比較例	10.69	95.4	293	980	885	16
No.184	比較例	12.54	95.2	B	C	C	C
No.185	比較例	2.25	95.1	B	C	C	F
No.186	比較例	4.88	95.6	235	780	624	17
No.187	比較例	6.02	94.8	241	830	685	15

【0329】

表16から明らかなように、実施例に相当する焼結体は、比較例に相当する焼結体に比べて、相対密度および硬度が高いことが認められた。また、引張強さ、耐力および伸びといった特性についても、有意差があることが認められた。

【0330】

11. 焼結体(V-Nb系)の製造

(サンプルNo. 188~205)

粉末冶金用金属粉末の組成等を表17に示すように変更した以外は、それぞれサンプルNo. 1の焼結体の製造方法と同様にして焼結体を得た。

【0331】

10

20

30

40

【表 17】

表17

		粉末冶金用金属粉末																
		合金組成											E1/E2	E1+E2	(E1+E2) /Si	(E1+E2) /C	鋼材の 種類	備考
サン プル No.	—	Cr	Ni	Si	C	E1 (V)	E2 (Nb)	Mo	Mn	Al	O	Fe						
		質量%											—	質量%	—	—	—	—
No.188	実施例	1.05	0.04	0.75	0.721	0.07	0.10	0.18	0.76	0.00	0.27	残部	0.70	0.17	0.23	0.24	SCM	
No.189	実施例	0.23	0.13	0.62	0.705	0.06	0.09	0.00	1.45	0.02	0.25	残部	0.67	0.15	0.24	0.21	SMn	
No.190	実施例	0.56	0.04	0.73	0.792	0.03	0.05	0.00	1.54	0.00	0.44	残部	0.60	0.08	0.11	0.10	SMnC	
No.191	実施例	1.12	0.18	0.92	0.509	0.05	0.06	0.00	0.70	0.01	0.18	残部	0.83	0.11	0.12	0.22	SCr	
No.192	実施例	0.85	4.23	0.65	0.554	0.11	0.07	0.23	0.49	0.03	0.21	残部	1.57	0.18	0.28	0.32	SNCM	
No.193	実施例	0.84	3.21	0.74	0.874	0.04	0.06	0.00	0.42	0.00	0.22	残部	0.67	0.10	0.14	0.11	SNC	
No.194	実施例	1.53	0.09	0.86	0.893	0.07	0.12	0.22	0.41	1.15	0.18	残部	0.58	0.19	0.22	0.21	SACM	
No.195	比較例	1.06	0.16	0.72	0.728	0.00	0.07	0.29	0.81	0.11	0.27	残部	0.00	0.07	0.10	0.10	SCM	
No.196	比較例	0.97	0.21	0.78	0.708	0.15	0.00	0.26	0.87	0.05	0.36	残部	—	0.15	0.19	0.21	SCM	
No.197	比較例	1.11	0.00	0.83	0.684	0.00	0.00	0.18	0.73	0.00	0.21	残部	—	0.00	0.00	0.00	SCM	
No.198	比較例	0.89	0.10	0.67	0.811	0.69	0.06	0.16	0.78	0.02	0.23	残部	11.5	0.75	1.12	0.92	SCM	
No.199	比較例	1.05	0.04	0.64	0.831	0.05	0.71	0.19	0.65	0.03	0.26	残部	0.07	0.76	1.19	0.91	SCM	
No.200	比較例	0.28	0.09	0.24	0.375	0.04	0.00	0.17	0.74	0.00	0.22	残部	—	0.04	0.17	0.11	SMn	
No.201	比較例	0.55	0.13	0.17	0.446	0.09	0.00	0.21	0.77	0.00	0.27	残部	—	0.09	0.53	0.20	SMnC	
No.202	比較例	1.11	0.03	0.32	0.157	0.08	0.00	0.26	0.81	0.00	0.25	残部	—	0.08	0.25	0.51	SCr	
No.203	比較例	0.84	4.31	0.25	0.163	0.07	0.00	0.17	0.45	0.00	0.14	残部	—	0.07	0.28	0.43	SNCM	
No.204	比較例	0.79	3.18	0.31	0.358	0.12	0.00	0.00	0.43	0.02	0.15	残部	—	0.12	0.39	0.34	SNC	
No.205	比較例	1.57	0.18	0.38	0.448	0.00	0.07	0.22	0.34	1.13	0.24	残部	—	0.07	0.18	0.16	SACM	

10

20

【0332】

なお、表17では、各サンプルNo.の焼結体のうち、本発明に相当するものを「実施例」とし、本発明に相当しないものを「比較例」としている。

【0333】

また、各焼結体には、微量の不純物が含まれていたが、表17への記載は省略した。なお、SおよびPの含有率は、それぞれ0.03質量%未満であった。

30

【0334】

12. 焼結体(V-Nb系)の評価

12.1 相対密度の評価

表17に示す各サンプルNo.の焼結体について、JIS Z 2501(2000)に規定された焼結金属材料の密度を測定する方法に準じて、焼結密度を測定するとともに、各焼結体を製造するのに用いた粉末冶金用金属粉末の真密度を参照して、各焼結体の相対密度を算出した。

算出結果を表18に示す。

【0335】

12.2 硬度の評価

表17に示す各サンプルNo.の焼結体について、JIS Z 2243(2003)に規定されたブリネル硬さ試験の方法に準じて、ブリネル硬さを測定した。

そして、測定した硬さについて、2.2に記載された評価基準にしたがって評価した。

【0336】

なお、2.2に記載された評価基準における基準値とは、鋼材の種類がSCMである焼結体についてはサンプルNo.197の測定値を指し、鋼材の種類がSMnである焼結体についてはサンプルNo.200の測定値を指し、鋼材の種類がSMnCである焼結体についてはサンプルNo.201の測定値を指し、鋼材の種類がSCrである焼結体についてはサンプルNo.202の測定値を指し、鋼材の種類がSNCMである焼結体について

50

はサンプルNo. 203の測定値を指し、鋼材の種類がSNCである焼結体についてはサンプルNo. 204の測定値を指し、鋼材の種類がSACMである焼結体についてはサンプルNo. 205の測定値を指す。

【0337】

評価結果を表18に示す。なお、表18には、上記評価結果とともに、評価基準における基準値を記載している。

【0338】

12.3 引張強さ、0.2%耐力および伸びの評価

表17に示す各サンプルNo.の焼結体について、JIS Z 2241(2011)に規定された金属材料引張試験方法に準じて、引張強さ、0.2%耐力および伸びを測定した。

10

【0339】

そして、測定したこれらの物性値について、2.3に記載された評価基準にしたがって評価した。

【0340】

なお、2.3に記載された評価基準における基準値とは、鋼材の種類がSCMである焼結体についてはサンプルNo. 197の測定値を指し、鋼材の種類がSMnである焼結体についてはサンプルNo. 200の測定値を指し、鋼材の種類がSMnCである焼結体についてはサンプルNo. 201の測定値を指し、鋼材の種類がSCrである焼結体についてはサンプルNo. 202の測定値を指し、鋼材の種類がSNCMである焼結体についてはサンプルNo. 203の測定値を指し、鋼材の種類がSNCである焼結体についてはサンプルNo. 204の測定値を指し、鋼材の種類がSACMである焼結体についてはサンプルNo. 205の測定値を指す。

20

【0341】

評価結果を表18に示す。なお、表18には、上記評価結果とともに、評価基準における基準値を記載している。

【0342】

【表 18】

表18

		金属 粉末	焼結体の評価結果				
サン プル No.	—	平均 粒径	相対 密度	硬度	引張 強さ	耐力	伸び
		μm	%	—	(MPa)	(MPa)	(%)
No.188	実施例	6.53	98.6	A	A	A	B
No.189	実施例	7.15	98.5	A	B	B	B
No.190	実施例	8.96	98.4	A	B	B	B
No.191	実施例	13.58	98.2	A	B	B	B
No.192	実施例	2.54	98.3	A	B	B	B
No.193	実施例	11.15	98.6	A	A	A	B
No.194	実施例	9.56	98.5	A	A	A	B
No.195	比較例	6.54	95.8	B	D	D	D
No.196	比較例	5.23	95.6	B	C	C	C
No.197	比較例	4.78	95.4	285	980	835	12
No.198	比較例	9.56	95.1	C	E	E	F
No.199	比較例	12.23	95.3	C	E	E	E
No.200	比較例	7.12	95.9	212	740	590	18
No.201	比較例	8.87	95.8	269	930	785	13
No.202	比較例	13.48	95.7	217	780	624	15
No.203	比較例	2.49	95.6	293	980	885	16
No.204	比較例	11.23	95.4	235	780	624	17
No.205	比較例	9.49	95.5	241	830	685	15

【0343】

表18から明らかなように、実施例に相当する焼結体は、比較例に相当する焼結体に比べて、相対密度および硬度が高いことが認められた。また、引張強さ、耐力および伸びといった特性についても、有意差があることが認められた。

【0344】

13．焼結体（Ti-Zr系）の製造
（サンプルNo．206～223）

粉末冶金用金属粉末の組成等を表19に示すように変更した以外は、それぞれサンプルNo．1の焼結体の製造方法と同様にして焼結体を得た。

【0345】

【表 19】

表19

		粉末冶金用金属粉末																
サンプル No.	—	合金組成											E1/E2	E1+E2	(E1+E2) /Si	(E1+E2) /C	鋼材の 種類	備考
		Cr	Ni	Si	C	E1 (Ti)	E2 (Zr)	Mo	Mn	Al	O	Fe						
		質量%											—	質量%	—	—	—	—
No.206	実施例	1.03	0.04	0.75	0.718	0.05	0.08	0.18	0.75	0.00	0.26	残部	0.63	0.13	0.17	0.18	SCM	
No.207	実施例	0.26	0.12	0.63	0.705	0.05	0.09	0.00	1.46	0.02	0.48	残部	0.56	0.14	0.22	0.20	SMn	
No.208	実施例	0.56	0.06	0.79	0.796	0.05	0.12	0.00	1.61	0.00	0.41	残部	0.42	0.17	0.22	0.21	SMnC	
No.209	実施例	1.08	0.21	0.94	0.521	0.03	0.04	0.00	0.72	0.01	0.19	残部	0.75	0.07	0.07	0.13	SCr	
No.210	実施例	0.87	4.19	0.67	0.565	0.11	0.09	0.25	0.43	0.03	0.22	残部	1.22	0.20	0.30	0.35	SNCM	
No.211	実施例	0.79	3.18	0.76	0.860	0.07	0.09	0.00	0.46	0.00	0.28	残部	0.78	0.16	0.21	0.19	SNC	
No.212	実施例	1.61	0.15	0.85	0.875	0.07	0.07	0.25	0.32	1.09	0.54	残部	1.00	0.14	0.16	0.16	SACM	
No.213	比較例	1.06	0.19	0.68	0.745	0.00	0.06	0.27	0.81	0.15	0.34	残部	0.00	0.06	0.09	0.08	SCM	
No.214	比較例	0.98	0.18	0.81	0.709	0.18	0.00	0.26	0.87	0.08	0.37	残部	—	0.18	0.22	0.25	SCM	
No.215	比較例	1.15	0.00	0.84	0.679	0.00	0.00	0.23	0.75	0.00	0.22	残部	—	0.00	0.00	0.00	SCM	
No.216	比較例	0.89	0.09	0.67	0.788	0.66	0.06	0.16	0.74	0.02	0.19	残部	11.0	0.72	1.07	0.91	SCM	
No.217	比較例	1.05	0.06	0.64	0.831	0.05	0.71	0.19	0.65	0.03	0.27	残部	0.07	0.76	1.19	0.91	SCM	
No.218	比較例	0.24	0.07	0.23	0.385	0.07	0.00	0.21	1.54	0.00	0.22	残部	—	0.07	0.30	0.18	SMn	
No.219	比較例	0.54	0.12	0.19	0.441	0.09	0.00	0.22	1.42	0.00	0.27	残部	—	0.09	0.47	0.20	SMnC	
No.220	比較例	1.03	0.05	0.29	0.158	0.07	0.00	0.24	0.75	0.00	0.23	残部	—	0.07	0.24	0.44	SCr	
No.221	比較例	0.84	4.28	0.24	0.161	0.09	0.00	0.16	0.45	0.00	0.14	残部	—	0.09	0.38	0.56	SNCM	
No.222	比較例	0.79	3.19	0.28	0.356	0.13	0.00	0.00	0.44	0.02	0.18	残部	—	0.13	0.46	0.37	SNC	
No.223	比較例	1.65	0.19	0.45	0.468	0.00	0.07	0.21	0.34	1.08	0.56	残部	—	0.07	0.16	0.15	SACM	

10

20

【0346】

なお、表19では、各サンプルNo.の焼結体のうち、本発明に相当するものを「実施例」とし、本発明に相当しないものを「比較例」としている。

【0347】

また、各焼結体には、微量の不純物が含まれていたが、表19への記載は省略した。なお、SおよびPの含有率は、それぞれ0.03質量%未満であった。

30

【0348】

14. 焼結体(Ti-Zr系)の評価

14.1 相対密度の評価

表19に示す各サンプルNo.の焼結体について、JIS Z 2501(2000)に規定された焼結金属材料の密度を測定する方法に準じて、焼結密度を測定するとともに、各焼結体を製造するのに用いた粉末冶金用金属粉末の真密度を参照して、各焼結体の相対密度を算出した。

算出結果を表20に示す。

【0349】

14.2 硬度の評価

表19に示す各サンプルNo.の焼結体について、JIS Z 2243(2003)に規定されたブリネル硬さ試験の方法に準じて、ブリネル硬さを測定した。

そして、測定した硬さについて、2.2に記載された評価基準にしたがって評価した。

40

【0350】

なお、2.2に記載された評価基準における基準値とは、鋼材の種類がSCMである焼結体についてはサンプルNo.215の測定値を指し、鋼材の種類がSMnである焼結体についてはサンプルNo.218の測定値を指し、鋼材の種類がSMnCである焼結体についてはサンプルNo.219の測定値を指し、鋼材の種類がSCrである焼結体についてはサンプルNo.220の測定値を指し、鋼材の種類がSNCMである焼結体について

50

はサンプルNo. 221の測定値を指し、鋼材の種類がSNCである焼結体についてはサンプルNo. 222の測定値を指し、鋼材の種類がSACMである焼結体についてはサンプルNo. 223の測定値を指す。

【0351】

評価結果を表20に示す。なお、表20には、上記評価結果とともに、評価基準における基準値を記載している。

【0352】

14.3 引張強さ、0.2%耐力および伸びの評価

表19に示す各サンプルNo.の焼結体について、JIS Z 2241(2011)に規定された金属材料引張試験方法に準じて、引張強さ、0.2%耐力および伸びを測定した。

10

【0353】

そして、測定したこれらの物性値について、2.3に記載された評価基準にしたがって評価した。

【0354】

なお、2.3に記載された評価基準における基準値とは、鋼材の種類がSCMである焼結体についてはサンプルNo. 215の測定値を指し、鋼材の種類がSMnである焼結体についてはサンプルNo. 218の測定値を指し、鋼材の種類がSMnCである焼結体についてはサンプルNo. 219の測定値を指し、鋼材の種類がSCrである焼結体についてはサンプルNo. 220の測定値を指し、鋼材の種類がSNCMである焼結体についてはサンプルNo. 221の測定値を指し、鋼材の種類がSNCである焼結体についてはサンプルNo. 222の測定値を指し、鋼材の種類がSACMである焼結体についてはサンプルNo. 223の測定値を指す。

20

【0355】

評価結果を表20に示す。なお、表20には、上記評価結果とともに、評価基準における基準値を記載している。

【0356】

【表 20】

表20

サンプル No.	—	金属 粉末	焼結体の評価結果				
		平均 粒径	相対 密度	硬度	引張 強さ	耐力	伸び
		μm	%	—	(MPa)	(MPa)	(%)
No.206	実施例	6.21	98.3	A	A	A	B
No.207	実施例	7.98	98.1	A	A	A	B
No.208	実施例	4.65	98.2	A	A	A	B
No.209	実施例	5.21	98.0	A	B	B	B
No.210	実施例	2.39	98.0	A	B	B	B
No.211	実施例	15.33	98.3	A	A	A	B
No.212	実施例	9.23	98.2	A	A	A	B
No.213	比較例	6.25	96.4	B	D	D	D
No.214	比較例	4.02	96.8	B	C	C	C
No.215	比較例	9.78	96.1	285	980	835	12
No.216	比較例	8.65	95.3	C	E	E	F
No.217	比較例	8.16	95.1	C	E	E	E
No.218	比較例	8.03	96.2	212	740	590	18
No.219	比較例	4.59	96.3	269	930	785	13
No.220	比較例	5.29	96.1	217	780	624	15
No.221	比較例	2.64	96.3	293	980	885	16
No.222	比較例	14.99	95.8	235	780	624	17
No.223	比較例	9.36	96.1	241	830	685	15

【0357】

表20から明らかなように、実施例に相当する焼結体は、比較例に相当する焼結体に比べて、相対密度および硬度が高いことが認められた。また、引張強さ、耐力および伸びといった特性についても、有意差があることが認められた。

【0358】

15．焼結体（Zr-Ta系）の製造
（サンプルNo. 224～241）

粉末冶金用金属粉末の組成等を表21に示すように変更した以外は、それぞれサンプルNo. 1の焼結体の製造方法と同様にして焼結体を得た。

【0359】

【表 2 1】

表21

		粉末冶金用金属粉末																
		合金組成											E1/E2	E1+E2	(E1+E2) /Si	(E1+E2) /C	鋼材の 種類	備考
サン プル No.	—	Cr	Ni	Si	C	E1 (Zr)	E2 (Ta)	Mo	Mn	Al	O	Fe						
		質量%											—	質量%	—	—	—	—
No.224	実施例	1.04	0.03	0.75	0.731	0.05	0.10	0.19	0.78	0.00	0.25	残部	0.50	0.15	0.20	0.21	SCM	
No.225	実施例	0.26	0.12	0.63	0.689	0.05	0.08	0.00	1.45	0.02	0.23	残部	0.63	0.13	0.21	0.19	SMn	
No.226	実施例	0.57	0.06	0.74	0.793	0.05	0.12	0.00	1.57	0.00	0.41	残部	0.42	0.17	0.23	0.21	SMnC	
No.227	実施例	1.10	0.17	0.89	0.521	0.05	0.24	0.00	0.72	0.01	0.19	残部	0.21	0.29	0.33	0.56	SCr	
No.228	実施例	0.91	4.18	0.66	0.568	0.09	0.07	0.24	0.48	0.03	0.21	残部	1.29	0.16	0.24	0.28	SNCM	
No.229	実施例	0.85	3.23	0.76	0.881	0.05	0.10	0.00	0.39	0.00	0.23	残部	0.50	0.15	0.20	0.17	SNC	
No.230	実施例	1.52	0.11	0.86	0.885	0.07	0.13	0.21	0.43	1.05	0.58	残部	0.54	0.20	0.23	0.23	SACM	
No.231	比較例	1.06	0.22	0.71	0.728	0.00	0.09	0.29	0.77	0.12	0.28	残部	0.00	0.09	0.13	0.12	SCM	
No.232	比較例	0.97	0.25	0.76	0.705	0.14	0.00	0.27	0.86	0.06	0.37	残部	—	0.14	0.18	0.20	SCM	
No.233	比較例	1.15	0.00	0.84	0.678	0.00	0.00	0.23	0.73	0.00	0.23	残部	—	0.00	0.00	0.00	SCM	
No.234	比較例	0.94	0.08	0.71	0.804	0.68	0.08	0.19	0.81	0.02	0.21	残部	8.5	0.76	1.07	0.95	SCM	
No.235	比較例	1.04	0.07	0.69	0.832	0.05	0.71	0.18	0.67	0.03	0.26	残部	0.07	0.76	1.10	0.91	SCM	
No.236	比較例	0.22	0.08	0.22	0.372	0.08	0.00	0.25	0.70	0.00	0.33	残部	—	0.08	0.36	0.22	SMn	
No.237	比較例	0.61	0.13	0.25	0.442	0.10	0.00	0.19	0.80	0.00	0.27	残部	—	0.10	0.40	0.23	SMnC	
No.238	比較例	0.96	0.03	0.29	0.157	0.08	0.00	0.26	0.79	0.00	0.26	残部	—	0.08	0.28	0.51	SCr	
No.239	比較例	0.88	4.28	0.26	0.162	0.07	0.00	0.19	0.47	0.00	0.13	残部	—	0.07	0.27	0.43	SNCM	
No.240	比較例	0.82	3.19	0.30	0.358	0.10	0.00	0.00	0.41	0.02	0.17	残部	—	0.10	0.33	0.28	SNC	
No.241	比較例	1.54	0.15	0.38	0.449	0.00	0.09	0.21	0.38	1.02	0.55	残部	0.00	0.09	0.24	0.20	SACM	

10

20

【0360】

なお、表 2 1 では、各サンプル No. の焼結体のうち、本発明に相当するものを「実施例」とし、本発明に相当しないものを「比較例」としている。

【0361】

また、各焼結体には、微量の不純物が含まれていたが、表 2 1 への記載は省略した。なお、S および P の含有率は、それぞれ 0.03 質量%未満であった。

30

【0362】

16. 焼結体 (Zr-Ta 系) の評価

16.1 相対密度の評価

表 2 1 に示す各サンプル No. の焼結体について、JIS Z 2501 (2000) に規定された焼結金属材料の密度を測定する方法に準じて、焼結密度を測定するとともに、各焼結体を製造するのに用いた粉末冶金用金属粉末の真密度を参照して、各焼結体の相対密度を算出した。

算出結果を表 2 2 に示す。

【0363】

16.2 硬度の評価

表 2 1 に示す各サンプル No. の焼結体について、JIS Z 2243 (2003) に規定されたブリネル硬さ試験の方法に準じて、ブリネル硬さを測定した。

そして、測定した硬さについて、2.2 に記載された評価基準にしたがって評価した。

【0364】

なお、2.2 に記載された評価基準における基準値とは、鋼材の種類が SCM である焼結体についてはサンプル No. 233 の測定値を指し、鋼材の種類が SMn である焼結体についてはサンプル No. 236 の測定値を指し、鋼材の種類が SMnC である焼結体についてはサンプル No. 237 の測定値を指し、鋼材の種類が SCr である焼結体についてはサンプル No. 238 の測定値を指し、鋼材の種類が SNCM である焼結体について

50

はサンプルNo. 239の測定値を指し、鋼材の種類がSNCである焼結体についてはサンプルNo. 240の測定値を指し、鋼材の種類がSACMである焼結体についてはサンプルNo. 241の測定値を指す。

【0365】

評価結果を表22に示す。なお、表22には、上記評価結果とともに、評価基準における基準値を記載している。

【0366】

16.3 引張強さ、0.2%耐力および伸びの評価

表21に示す各サンプルNo.の焼結体について、JIS Z 2241(2011)に規定された金属材料引張試験方法に準じて、引張強さ、0.2%耐力および伸びを測定した。

10

【0367】

そして、測定したこれらの物性値について、2.3に記載された評価基準にしたがって評価した。

【0368】

なお、2.3に記載された評価基準における基準値とは、鋼材の種類がSCMである焼結体についてはサンプルNo. 233の測定値を指し、鋼材の種類がSMnである焼結体についてはサンプルNo. 236の測定値を指し、鋼材の種類がSMnCである焼結体についてはサンプルNo. 237の測定値を指し、鋼材の種類がSCrである焼結体についてはサンプルNo. 238の測定値を指し、鋼材の種類がSNCMである焼結体についてはサンプルNo. 239の測定値を指し、鋼材の種類がSNCである焼結体についてはサンプルNo. 240の測定値を指し、鋼材の種類がSACMである焼結体についてはサンプルNo. 241の測定値を指す。

20

【0369】

評価結果を表22に示す。なお、表22には、上記評価結果とともに、評価基準における基準値を記載している。

【0370】

【表 2 2】

表22

		金属 粉末	焼結体の評価結果				
サン プル No.	—	平均 粒径	相対 密度	硬度	引張 強さ	耐力	伸び
		μm	%	—	(MPa)	(MPa)	(%)
No.224	実施例	6.05	98.9	A	A	A	B
No.225	実施例	3.14	98.8	A	A	A	B
No.226	実施例	11.24	98.9	A	A	A	B
No.227	実施例	9.35	98.4	A	B	B	B
No.228	実施例	6.24	98.5	A	B	B	B
No.229	実施例	3.38	98.7	A	A	A	B
No.230	実施例	8.59	98.8	A	A	A	B
No.231	比較例	6.12	96.4	B	D	D	D
No.232	比較例	6.23	96.8	B	C	C	C
No.233	比較例	6.19	96.1	285	980	835	12
No.234	比較例	7.35	95.4	C	E	E	F
No.235	比較例	7.46	95.2	C	E	E	E
No.236	比較例	3.25	96.2	212	740	590	18
No.237	比較例	11.55	96.3	269	930	785	13
No.238	比較例	9.65	96.4	217	780	624	15
No.239	比較例	6.36	96.2	293	980	885	16
No.240	比較例	3.24	96.3	235	780	624	17
No.241	比較例	8.69	95.9	241	830	685	15

【 0 3 7 1 】

表 2 2 から明らかなように、実施例に相当する焼結体は、比較例に相当する焼結体に比べて、相対密度および硬度が高いことが認められた。また、引張強さ、耐力および伸びといった特性についても、有意差があることが認められた。

【 0 3 7 2 】

1 7 . 焼結体 (Z r - V 系) の製造
(サンプル No . 2 4 2 ~ 2 5 9)

粉末冶金用金属粉末の組成等を表 2 3 に示すように変更した以外は、それぞれサンプル No . 1 の焼結体の製造方法と同様にして焼結体を得た。

【 0 3 7 3 】

【表 2 3】

表23

サンプル No.	—	粉末冶金用金属粉末																
		合金組成											E1/E2	E1+E2	(E1+E2) /Si	(E1+E2) /C	鋼材の 種類	備考
		Cr	Ni	Si	C	E1 (Zr)	E2 (V)	Mo	Mn	Al	O	Fe						
		質量%											—	質量%	—	—	—	—
No.242	実施例	1.04	0.03	0.75	0.733	0.10	0.07	0.21	0.80	0.00	0.27	残部	1.43	0.17	0.23	0.23	SCM	
No.243	実施例	0.27	0.13	0.63	0.704	0.06	0.09	0.00	1.45	0.02	0.46	残部	0.67	0.15	0.24	0.21	SMn	
No.244	実施例	0.56	0.05	0.77	0.801	0.15	0.05	0.00	1.54	0.00	0.49	残部	3.00	0.20	0.26	0.25	SMnC	
No.245	実施例	1.08	0.24	0.93	0.518	0.09	0.06	0.00	0.72	0.01	0.21	残部	1.50	0.15	0.16	0.29	SCr	
No.246	実施例	0.87	4.18	0.64	0.568	0.08	0.04	0.23	0.48	0.03	0.21	残部	2.00	0.12	0.19	0.21	SNCM	
No.247	実施例	0.82	3.12	0.76	0.865	0.05	0.03	0.00	0.42	0.00	0.23	残部	1.67	0.08	0.11	0.09	SNC	
No.248	実施例	1.49	0.13	0.87	0.886	0.08	0.05	0.19	0.43	0.97	0.41	残部	1.60	0.13	0.15	0.15	SACM	
No.249	比較例	1.06	0.25	0.71	0.741	0.00	0.09	0.27	0.76	0.11	0.27	残部	0.00	0.09	0.13	0.12	SCM	
No.250	比較例	0.97	0.18	0.78	0.706	0.15	0.00	0.25	0.86	0.06	0.34	残部	—	0.15	0.19	0.21	SCM	
No.251	比較例	1.09	0.00	0.79	0.678	0.00	0.00	0.19	0.69	0.00	0.21	残部	—	0.00	0.00	0.00	SCM	
No.252	比較例	0.91	0.09	0.67	0.785	0.70	0.08	0.16	0.74	0.02	0.19	残部	8.8	0.78	1.16	0.99	SCM	
No.253	比較例	1.05	0.06	0.71	0.856	0.06	0.61	0.18	0.65	0.03	0.23	残部	0.10	0.67	0.94	0.78	SCM	
No.254	比較例	0.24	0.10	0.27	0.375	0.08	0.00	0.16	0.74	0.00	0.25	残部	—	0.08	0.30	0.21	SMn	
No.255	比較例	0.54	0.12	0.19	0.441	0.08	0.00	0.21	0.78	0.00	0.25	残部	—	0.08	0.42	0.18	SMnC	
No.256	比較例	1.06	0.05	0.29	0.158	0.07	0.00	0.26	0.77	0.00	0.26	残部	—	0.07	0.24	0.44	SCr	
No.257	比較例	0.85	4.25	0.24	0.169	0.06	0.00	0.17	0.51	0.00	0.15	残部	—	0.06	0.25	0.36	SNCM	
No.258	比較例	0.83	3.09	0.28	0.358	0.10	0.00	0.00	0.44	0.02	0.18	残部	—	0.10	0.36	0.28	SNC	
No.259	比較例	1.48	0.17	0.36	0.446	0.00	0.09	0.24	0.38	1.04	0.28	残部	0.00	0.09	0.25	0.20	SACM	

10

20

【0374】

なお、表23では、各サンプルNo.の焼結体のうち、本発明に相当するものを「実施例」とし、本発明に相当しないものを「比較例」としている。

【0375】

また、各焼結体には、微量の不純物が含まれていたが、表23への記載は省略した。なお、SおよびPの含有率は、それぞれ0.03質量%未満であった。

30

【0376】

18. 焼結体(Zr-V系)の評価

18.1 相対密度の評価

表23に示す各サンプルNo.の焼結体について、JIS Z 2501(2000)に規定された焼結金属材料の密度を測定する方法に準じて、焼結密度を測定するとともに、各焼結体を製造するのに用いた粉末冶金用金属粉末の真密度を参照して、各焼結体の相対密度を算出した。

算出結果を表24に示す。

【0377】

18.2 硬度の評価

表23に示す各サンプルNo.の焼結体について、JIS Z 2243(2003)に規定されたブリネル硬さ試験の方法に準じて、ブリネル硬さを測定した。

そして、測定した硬さについて、2.2に記載された評価基準にしたがって評価した。

【0378】

なお、2.2に記載された評価基準における基準値とは、鋼材の種類がSCMである焼結体についてはサンプルNo.251の測定値を指し、鋼材の種類がSMnである焼結体についてはサンプルNo.254の測定値を指し、鋼材の種類がSMnCである焼結体についてはサンプルNo.255の測定値を指し、鋼材の種類がSCrである焼結体についてはサンプルNo.256の測定値を指し、鋼材の種類がSNCMである焼結体について

50

はサンプルNo. 257の測定値を指し、鋼材の種類がSNCである焼結体についてはサンプルNo. 258の測定値を指し、鋼材の種類がSACMである焼結体についてはサンプルNo. 259の測定値を指す。

【0379】

評価結果を表24に示す。なお、表24には、上記評価結果とともに、評価基準における基準値を記載している。

【0380】

18.3 引張強さ、0.2%耐力および伸びの評価

表23に示す各サンプルNo.の焼結体について、JIS Z 2241(2011)に規定された金属材料引張試験方法に準じて、引張強さ、0.2%耐力および伸びを測定した。

10

【0381】

そして、測定したこれらの物性値について、2.3に記載された評価基準にしたがって評価した。

【0382】

なお、2.3に記載された評価基準における基準値とは、鋼材の種類がSCMである焼結体についてはサンプルNo. 251の測定値を指し、鋼材の種類がSMnである焼結体についてはサンプルNo. 254の測定値を指し、鋼材の種類がSMnCである焼結体についてはサンプルNo. 255の測定値を指し、鋼材の種類がSCrである焼結体についてはサンプルNo. 256の測定値を指し、鋼材の種類がSNCMである焼結体についてはサンプルNo. 257の測定値を指し、鋼材の種類がSNCである焼結体についてはサンプルNo. 258の測定値を指し、鋼材の種類がSACMである焼結体についてはサンプルNo. 259の測定値を指す。

20

【0383】

評価結果を表24に示す。なお、表24には、上記評価結果とともに、評価基準における基準値を記載している。

【0384】

【表 2 4】

表24

サンプル No.	—	金属 粉末	焼結体の評価結果				
		平均 粒径	相対 密度	硬度	引張 強さ	耐力	伸び
		μm	%	—	(MPa)	(MPa)	(%)
No.242	実施例	6.63	99.0	A	A	A	A
No.243	実施例	12.59	98.3	A	B	B	B
No.244	実施例	4.23	98.4	A	B	B	B
No.245	実施例	2.38	98.8	A	A	A	B
No.246	実施例	8.59	99.0	A	A	A	B
No.247	実施例	8.15	98.8	A	B	B	B
No.248	実施例	6.33	98.9	A	A	A	B
No.249	比較例	6.87	96.5	B	D	D	D
No.250	比較例	7.45	96.8	B	C	C	C
No.251	比較例	5.98	96.2	285	980	835	12
No.252	比較例	6.47	95.5	C	E	E	F
No.253	比較例	6.65	95.6	C	E	E	E
No.254	比較例	12.45	96.2	212	740	590	18
No.255	比較例	4.35	96.3	269	930	785	13
No.256	比較例	2.54	96.4	217	780	624	15
No.257	比較例	8.54	96.5	293	980	885	16
No.258	比較例	8.36	96.3	235	780	624	17
No.259	比較例	6.25	96.1	241	830	685	15

10

20

30

【 0 3 8 5 】

表 2 4 から明らかなように、実施例に相当する焼結体は、比較例に相当する焼結体に比べて、相対密度および硬度が高いことが認められた。また、引張強さ、耐力および伸びといった特性についても、有意差があることが認められた。

フロントページの続き

- (72)発明者 田村 貴之
青森県八戸市大字河原木字海岸4 - 4 4 エプソンアトミックス株式会社内
- (72)発明者 中村 英文
青森県八戸市大字河原木字海岸4 - 4 4 エプソンアトミックス株式会社内

審査官 米田 健志

- (56)参考文献 特開昭63 - 274740 (JP, A)
特表2014 - 508218 (JP, A)
米国特許出願公開第2014 / 0000770 (US, A1)
特開2013 - 079441 (JP, A)
米国特許出願公開第2014 / 0065007 (US, A1)
特開平04 - 157135 (JP, A)
米国特許第05118469 (US, A)
特開2010 - 053398 (JP, A)
特開2012 - 007212 (JP, A)
米国特許出願公開第2011 / 0314964 (US, A1)
特開2011 - 179051 (JP, A)
米国特許出願公開第2011 / 0209575 (US, A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)
B22F 1 / 00 ~ 8 / 00