

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2018-178143

(P2018-178143A)

(43) 公開日 平成30年11月15日(2018.11.15)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
C 2 2 C 33/02 (2006.01)	C 2 2 C 33/02 B	4 K O 1 8
C 2 2 C 38/00 (2006.01)	C 2 2 C 38/00 3 O 2 Z	
C 2 2 C 27/04 (2006.01)	C 2 2 C 27/04 1 O 2	
B 2 2 F 1/00 (2006.01)	B 2 2 F 1/00 V	
C 2 2 C 30/00 (2006.01)	B 2 2 F 1/00 T	
審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 19 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2017-74255 (P2017-74255)	(71) 出願人	000003207
(22) 出願日	平成29年4月4日 (2017.4.4)		トヨタ自動車株式会社
			愛知県豊田市トヨタ町1番地
		(71) 出願人	000220435
			株式会社ファインシンター
			愛知県春日井市明知町西之洞1189番地11
		(74) 代理人	110002572
			特許業務法人平木国際特許事務所
		(72) 発明者	篠原 伸幸
			愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
		(72) 発明者	嶋 雄貴
			愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 耐摩耗性鉄基焼結合金の製造方法

(57) 【要約】

【課題】凝着摩耗を抑えつつ、被削性を確保することができる耐摩耗性鉄基焼結合金の製造方法を提供する。

【解決手段】第1硬質粒子、第2硬質粒子、黒鉛粒子、および鉄粒子を含む混合粉末から耐摩耗性鉄基焼結合金を製造する。第1硬質粒子は、Fe-Mo-Ni-Co-Mn-Si-C系合金粒子であり、第2硬質粒子は、Fe-Mo-Si系合金粒子であり、混合粉末は、第1硬質粒子、第2硬質粒子、黒鉛粒子、および鉄粒子の合計量を100質量%としたときに、第1硬質粒子を5～50質量%含有し、第2硬質粒子を1～8質量%含有し、黒鉛粒子を0.5～1.5質量%含有している。焼結工程において、第1硬質粒子の硬さがHv400～600となり、第2硬質粒子の硬さがHv600を超えとなるように焼結し、その後、酸化処理の前後において、焼結体の密度差が0.05g/cm³以上となるように酸化処理を行う。

【選択図】 なし

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

硬質粒子、黒鉛粒子、および鉄粒子を含む混合粉末から、焼結合金用成形体を圧粉成形する成形工程と、

前記焼結合金用成形体の前記黒鉛粒子の C を、前記硬質粒子および前記鉄粒子に拡散させながら、前記焼結合金用成形体を焼結する焼結工程と、を含む耐摩耗性鉄基焼結合金の製造方法であって、

前記硬質粒子は、第 1 硬質粒子と第 2 硬質粒子とを含み、

前記第 1 硬質粒子は、前記第 1 硬質粒子を 100 質量%としたときに、Mo : 20 ~ 70 質量%、Ni : 5 ~ 40 質量%、Co : 5 ~ 40 質量%、Mn : 1 ~ 20 質量%、Si : 0.5 ~ 4.0 質量%、C : 0.5 ~ 3.0 質量%、残部が Fe と不可避不純物からなり、

前記第 2 硬質粒子は、前記第 2 硬質粒子を 100 質量%としたときに、Mo : 60 ~ 70 質量%、Si : 2.0 質量%以下、残部が Fe と不可避不純物からなり、

前記混合粉末は、前記第 1 硬質粒子、前記第 2 硬質粒子、前記黒鉛粒子、および前記鉄粒子の合計量を 100 質量%としたときに、前記第 1 硬質粒子を 5 ~ 50 質量%含有し、前記第 2 硬質粒子を 1 ~ 5 質量%含有し、前記黒鉛粒子を 0.5 ~ 1.5 質量%含有しており、

前記焼結工程において、前記第 1 硬質粒子の硬さが Hv 400 ~ 600 となり、前記第 2 硬質粒子の硬さが Hv 600 超えとなるように焼結し、

前記焼結工程後、前記焼結合金用成形体から焼結された焼結体に対して、前記鉄粒子に由来する鉄系基地の一部の鉄を四酸化三鉄となるように酸化処理を行い、前記酸化処理の前後において、前記焼結体の密度差が 0.05 g / cm³ 以上となるように前記酸化処理を行うことを特徴とする耐摩耗性鉄基焼結合金の製造方法。

【請求項 2】

前記第 1 硬質粒子には、前記第 1 硬質粒子を 100 質量%としたときに、10 質量%以下の Cr がさらに添加されていることを特徴とする請求項 1 に記載の耐摩耗性鉄基焼結合金の製造方法。

【請求項 3】

前記第 2 硬質粒子の粒径は、100 μm 以下の範囲にあることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の耐摩耗性鉄基焼結合金の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、焼結合金の耐摩耗性を向上させるに好適な硬質粒子を含有した、耐摩耗性鉄基焼結合金の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、バルブシートなどには、鉄を基地とした焼結合金が適用されることがある。焼結合金には、耐摩耗性をさらに向上させるべく、硬質粒子を含有させることがある。硬質粒子を含有させる場合、硬質粒子に、黒鉛粒子および鉄粒子を混合して粉末とし、この混合した粉末から焼結合金用成形体に圧粉成形する。その後、焼結合金用成形体を加熱することにより、焼結して焼結合金とすることが一般的である。

【0003】

このような焼結合金の製造方法として、硬質粒子、黒鉛粒子、および鉄粒子を混合した混合粉末から、焼結合金用成形体を圧粉成形し、この焼結合金用成形体の黒鉛粒子の C を、硬質粒子および鉄粒子に拡散させながら、焼結合金用成形体を焼結する耐摩耗性鉄基焼結合金の製造方法が提案されている（例えば、特許文献 1 参照）。

【0004】

ここで、硬質粒子は Mo : 20 ~ 70 質量%、C : 0.2 ~ 3 質量%、Mn : 1 ~ 15

10

20

30

40

50

質量%、残部が不可避不純物とC oからなり、混合粉末は、硬質粒子、黒鉛粒子、および鉄粒子の合計量を100質量%としたときに、硬質粒子を10～60質量%含有し、黒鉛粒子を0.2～2質量%含有している。このような焼結合金は、硬質粒子が分散されているため、アブレッシブ摩耗を抑えることができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2004-156101号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0006】

しかしながら、特許文献1に記載の製造方法で製造された耐摩耗性鉄基焼結合金の硬質粒子を繋ぐマトリクス材料は、鉄粒子に黒鉛粒子のCが拡散したFe-C系の材料であるため軟らかい。このため、耐摩耗性鉄基焼結合金とこれに接触する摺動相手材の金属材料とが金属接触した際に、耐摩耗性鉄基焼結合金の接触面が塑性変形し易く、この接触面で凝着摩耗し易い。それを防ぐには耐摩耗性鉄基焼結合金の硬さを高めることが望ましいが、一方でそれにより耐摩耗性鉄基焼結合金の被削性が低下するおそれがあり、耐凝着摩耗性と被削性を両立させることは難しい。

【0007】

本発明は、前記課題を鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、凝着摩耗を抑えつつ、被削性を確保することができる耐摩耗性鉄基焼結合金の製造方法を提供することにある。

20

【課題を解決するための手段】

【0008】

発明者らは、上述した如く、耐摩耗性鉄基焼結合金の鉄系基地の塑性変形により、接触面の凝着摩耗が促進されると考えた。このような観点から、発明者らは、これまでのアブレッシブ摩耗を抑える硬質粒子の他に、鉄系基地の塑性変形を抑制することができる、別の硬質粒子を添加することを検討した。そこで、発明者らは、その硬質粒子の主成分として、モリブデンに着眼し、鉄-モリブデンの金属間化合物および焼結時に析出したモリブデン炭化物を鉄系基地中に点在させることにより、鉄系基地の塑性変形を制御することができるとの知見を得た。これに加えて、鉄粒子に由来する鉄系基地の一部の鉄を四酸化三鉄にすることにより、焼結合金の被削性を損なうことなく、その耐摩耗性を向上させることができるとの新たな知見を得た。

30

【0009】

本発明はこのような知見に基づくものであり、本発明に係る耐摩耗性鉄基焼結合金の製造方法は、硬質粒子、黒鉛粒子、および鉄粒子を含む混合粉末から、焼結合金用成形体を圧粉成形する成形工程と、前記焼結合金用成形体の前記黒鉛粒子のCを、前記硬質粒子および前記鉄粒子に拡散させながら、前記焼結合金用成形体を焼結する焼結工程と、を含む耐摩耗性鉄基焼結合金の製造方法であって、前記硬質粒子は、第1硬質粒子と第2硬質粒子とを含み、前記第1硬質粒子は、前記第1硬質粒子を100質量%としたときに、Mo:20～70質量%、Ni:5～40質量%、Co:5～40質量%、Mn:1～20質量%、Si:0.5～4.0質量%、C:0.5～3.0質量%、残部がFeと不可避不純物からなり、前記第2硬質粒子は、前記第2硬質粒子を100質量%としたときに、Mo:60～70質量%、Si:2.0質量%以下、残部がFeと不可避不純物からなり、前記混合粉末は、前記第1硬質粒子、前記第2硬質粒子、前記黒鉛粒子、および前記鉄粒子の合計量を100質量%としたときに、前記第1硬質粒子を5～50質量%含有し、前記第2硬質粒子を1～5質量%含有し、前記黒鉛粒子を0.5～1.5質量%含有しており、前記焼結工程において、前記第1硬質粒子の硬さがHv400～600となり、前記第2硬質粒子の硬さがHv600を超えとなるように焼結し、前記焼結工程後、前記焼結合金用成形体から焼結された焼結体に対して、前記鉄粒子に由来する鉄系基地の一部の鉄を

40

50

四酸化三鉄となるように酸化処理を行い、前記酸化処理の前後において、前記焼結体の密度差が 0.05 g/cm^3 以上となるように前記酸化処理を行うことを特徴とする。

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、凝着摩耗を抑えつつ、被削性を確保することができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】実施例および比較例で使用了摩耗試験の模式的概念図。

【図2】実施例および比較例で使用了被削性試験の模式的概念図。

【図3】(a)実施例1～3および比較例1, 9における第1硬質粒子の添加量に対する摩耗試験摩耗量比の結果を示したグラフ、(b)実施例1～3および比較例1, 9における第1硬質粒子の添加量に対する工具摩耗量比の結果を示したグラフ。

10

【図4】(a)実施例1, 4, 5および比較例3, 4, 9における第2硬質粒子の添加量に対する摩耗試験摩耗量比の結果を示したグラフ、(b)実施例1, 4, 5および比較例3, 4, 9における第2硬質粒子の添加量に対する工具摩耗量比の結果を示したグラフ。

【図5】(a)実施例1, 6, 7および比較例5, 6, 9における黒鉛粒子の添加量に対する摩耗試験摩耗量比の結果を示したグラフ、(b)実施例1, 6, 7および比較例5, 6, 9における黒鉛粒子の添加量に対する工具摩耗量比の結果を示したグラフ。

【図6】(a)実施例1, 3, 5, 8および比較例8, 9における第1硬質粒子の硬さに対する摩耗試験摩耗量比の結果を示したグラフ、(b)実施例1, 3, 5, 8および比較例8, 9における第1硬質粒子の硬さに対する工具摩耗量比の結果を示したグラフ。

20

【図7】(a)実施例1～8および比較例7, 9における焼結体の密度差に対する摩耗試験摩耗量比の結果を示したグラフ、(b)実施例1～8および比較例7, 9における焼結体の密度差に対する工具摩耗量比の結果を示したグラフ。

【図8】(a)実施例1に係る試験片の摩耗試験後の表面写真、(b)比較例7に係る試験片の摩耗試験後の表面写真。

【図9】(a)実施例1に係る試験片の組織写真、(b)比較例5に係る試験片の組織写真、(c)比較例6に係る試験片の組織写真。

【図10】(a)実施例1, 9および比較例10における摩耗試験摩耗量比の結果を示したグラフ、(b)実施例1, 9および比較例10における工具摩耗量比の結果を示したグラフ。

30

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下に、本発明の実施形態を詳述する。

本実施形態に係る焼結合金用成形体（以下、成形体という）は、後述する第1および第2硬質粒子、黒鉛粒子、および鉄粒子を含む混合粉末を圧粉成形したものである。耐摩耗性鉄基焼結合金（以下、焼結合金という）は、黒鉛粒子のCを硬質粒子および鉄粒子に拡散をさせながら、成形体を焼結したものである。以下の硬質粒子、これを混合した混合粉末により圧粉成形された成形体、および成形体を焼結した焼結合金について説明する。

【0013】

40

1. 第1硬質粒子について

第1硬質粒子は、焼結合金に原料として配合され、鉄粒子および焼結合金の鉄系基地に対して硬度が高い粒子であり、これにより、焼結合金のアブレッシブ摩耗を抑えることを目的とした粒子である。

【0014】

第1硬質粒子は、Co-Mo-Ni-Fe-Mn-Si-C系合金からなる粒子である。具体的には、第1硬質粒子は、第1硬質粒子を100質量%としたときに、Mo: 20～70質量%、Ni: 5～40質量%、Co: 5～40質量%、Mn: 1～20質量%、Si: 0.5～4.0質量%、C: 0.5～3.0質量%、残部がFeと不可避不純物からなる。さらに、第1硬質粒子には、必要に応じてCrを10質量%以下の範囲で添加さ

50

れていてもよい。焼結前の第1硬質粒子の硬度は、 $H_v 400 \sim 600$ の範囲にあることが好ましい。

【0015】

第1硬質粒子は、上述した組成を上述した割合に配合した溶湯を準備し、この溶湯を噴霧化するアトマイズ処理で製造することができる。また、別の方法としては、溶湯を凝固させた凝固体を機械的粉碎で粉末化してもよい。アトマイズ処理としては、ガスアトマイズ処理及び水アトマイズ処理のいずれであってもよいが、焼結性等を考慮すると丸みのある粒子が得られるガスアトマイズ処理がより好ましい。

【0016】

ここで、上述した硬質粒子の組成の下限值及び上限値としては、後述する限定理由、更には、その範囲の中で、硬さ、固体潤滑性、密着性、又はコストなどを考慮して、適用される部材の各特性の重視度合に応じて適宜変更することができる。

【0017】

1-1. Mo: 20~70質量%

第1硬質粒子の組成のうちMoは、焼結時に炭素粉末のCとMo炭化物を生成して第1硬質粒子の硬さ、耐摩耗性を向上させることができる。さらに、Moは、高温使用環境下において、固溶しているMoおよびMo炭化物を酸化させてMo酸化皮膜を形成し、焼結合金に良好なる固体潤滑性を得ることができる。

【0018】

ここで、Moの含有量が20質量%未満では、生成されるMo炭化物も少ないばかりでなく、第1硬質粒子の酸化開始温度が高くなり、高温使用環境下におけるMoの酸化物の生成が抑制される。これにより、得られた焼結合金の固体潤滑性が不十分となり、その耐アブレッシブ摩耗性が低下してしまう。一方、Moの含有量が70質量%を超えると、アトマイズ法により製造することが難しいばかりでなく、硬質粒子と鉄系基地との密着性が低下することがある。より好ましいMoの含有量は、30~50質量%である。

【0019】

1-2. Ni: 5~40質量%

第1硬質粒子の組成のうちNiは、第1硬質粒子の基地のオーステナイト組織を増加させて、その靱性を向上させることができる。また、Niは、第1硬質粒子のMoの固溶量を増加させて、第1硬質粒子の耐摩耗性を向上させることができる。

【0020】

さらに、Niは、焼結時に焼結合金の鉄系基地に拡散し、鉄系基地のオーステナイト組織を増加させて、焼結合金の靱性を高めることができるとともに、鉄系基地においてMoの固溶量を増加させ、耐摩耗性を向上させることができる。

【0021】

ここで、Niの含有量が5質量%未満では、上述したNiによる効果を期待することが難しい。一方、Niの含有量が40質量%を超えると、上述したNiによる効果は飽和してしまうため、第1硬質粒子のコストが増加してしまう。より好ましいNiの含有量は、20~40質量%である。

【0022】

1-3. Co: 5~40質量%

第1硬質粒子の組成のうちCoは、Niと同様に、第1硬質粒子の基地および焼結合金の鉄系基地におけるオーステナイト組織を増加させることができるとともに、第1硬質粒子の硬さを向上させることができる。

【0023】

ここで、Coの含有量が5質量%未満では、上述したNiによる効果を期待することが難しい。一方、Coの含有量が40質量%を超えると、上述したCoによる効果は飽和してしまうため、第1硬質粒子のコストが増加してしまう。より好ましいCoの含有量は10~30質量%である。

【0024】

1-4. Mn : 1 ~ 20 質量%

第1硬質粒子の組成のうちMnは、焼結時に第1硬質粒子から焼結合金の鉄系基地へ効率よく拡散するため、第1硬質粒子と鉄系基地との密着性を向上させることができる。さらに、Mnは、第1硬質粒子の基地および焼結合金の鉄系基地におけるオーステナイト組織を増加させることができる。

【0025】

ここで、Mnの含有量が1質量%未満の場合、鉄系基地へのMnの拡散する量が少ないため、硬質粒子と鉄系基地との密着性が低下する。これにより得られた焼結合金の機械的強度が低下してしまう。一方、Mnの含有量が20質量%を超えると、上述したMnによる効果は飽和してしまう。より好ましいMnの含有量は、2 ~ 8 質量%である。

10

【0026】

1-5. Si : 0.5 ~ 4.0 質量%

第1硬質粒子の組成のうちSiは、第1硬質粒子のMo酸化皮膜の密着性を向上させることができる。ここで、Siの含有量が0.5質量%未満では、上述したSiによる効果を期待することが難しい。一方、Siの含有量が4.0質量%を超えると、成形体への成形性が阻害され、焼結合金の密度が低下してしまう。より好ましいSiの含有量は、0.5 ~ 2 質量%である。

【0027】

1-6. C : 0.5 ~ 3.0 質量%

第1硬質粒子の組成のうちCは、Moと結合してMo炭化物を形成し、第1硬質粒子の硬さ、耐摩耗性を向上させることができる。ここで、Cの含有量が0.5質量%未満では、耐摩耗性の効果が十分ではなく、一方、Cの含有量が3.0質量%を超えると、成形体への成形性が阻害され、焼結合金の密度が低下してしまう。より好ましいCの含有量は、0.5 ~ 2 質量%である。

20

【0028】

1-7. Cr : 10 質量%以下

第1硬質粒子の組成のうちCrは、使用時に、Moの過度の酸化を抑制することができる。例えば、焼結合金の使用環境温度が高く、第1硬質粒子におけるMo酸化皮膜の生成が多くなり、第1硬質粒子におけるMo酸化皮膜の剥離が生じる場合に、Crの添加は有効である。

30

【0029】

ここで、Crの含有量が10質量%を超えると、第1硬質粒子におけるMo酸化皮膜形成が抑制され過ぎる。なお、アルコール燃料などの腐食環境下にある場合は、耐食性向上のためにCr添加するのが望ましい。一方で、凝着摩耗が発生しやすい環境下では酸化を促進するためにCrの含有量を抑制するのが望ましい。

【0030】

1-8. 第1硬質粒子の粒径

第1硬質粒子の粒径としては、焼結合金の用途、種類などに応じて適宜選択できるが、第1硬質粒子の粒径は、44 ~ 250 μm の範囲にあることが好ましく、さらに好ましくは、44 ~ 105 μm の範囲にある。

40

【0031】

ここで、第1硬質粒子に粒径が44 μm 未満の硬質粒子を含んだ場合には、その粒径が小さすぎるため耐摩耗性鉄基焼結合金の耐摩耗性が損なわれることがある。一方、第1硬質粒子に粒径が250 μm を超える硬質粒子を含んだ場合には、その粒径が大きすぎるため耐摩耗性鉄基焼結合金の被削性が低下することがある。

【0032】

2. 第2硬質粒子について

第2硬質粒子は、第1硬質粒子と同様に、焼結合金に原料として配合され、鉄粒子および焼結合金の鉄系基地に対して硬度が高い粒子である。第2硬質粒子は、わずかな添加量で焼結合金の硬さを画期的に高めることにより焼結合金の鉄系基地の塑性変形を抑制し、

50

この結果、焼結合金の凝着摩耗を低減することを目的とした粒子である。

【0033】

第2硬質粒子は、Fe-Mo系合金からなる粒子であり、第2硬質粒子を100質量%としたときに、Mo:60~70質量%、Si:2.0質量%以下、残部がFeと不可避不純物からなる。焼結前の第2硬質粒子の硬度は、Hv600~1600の範囲にあることが好ましい。

【0034】

第2硬質粒子は、溶湯を凝固させた凝固体を機械的粉碎で粉末化して製造される。また、第1硬質粒子の如く、ガスアトマイズ処理及び水アトマイズ処理等で、製造されてもよい。

10

【0035】

2-1. Mo:60~70質量%

第2硬質粒子の組成のうちMoは、焼結時に炭素粉末のCとMo炭化物を生成して第2硬質粒子の硬さ、耐摩耗性を向上させることができる。さらに、Moは、高温使用環境下において、固溶しているMoおよびMo炭化物を酸化させてMo酸化皮膜を形成し、焼結合金に良好なる固体潤滑性を得ることができる。さらに、焼結時にモリブデン炭化物を鉄系基地の粒界に析出させることにより、使用時の鉄系基地の塑性変形を抑制し、凝着摩耗を抑制することができる。

【0036】

ここで、Moの含有量が60質量%未満では、上述した、モリブデン炭化物による鉄系基地の塑性変形を抑制することが難しく、耐凝着摩耗性が低下してしまう。一方、Moの含有量が70質量%を超えると、粉碎法により製造することが難しく、その歩留まりが低下してしまう。

20

【0037】

2-2. Si:2.0質量%以下

第2硬質粒子の組成にSiを含有している場合には、粉碎法により、第2硬質粒子を製造し易くなる。ここで、Siの含有量が、2.0質量%を超えると、第2硬質粒子の硬さが高くなり、成形体への成形性が阻害され、焼結合金の密度が低下してしまうばかりでなく、焼結合金の被削性も低下してしまう。

【0038】

2-3. 第2硬質粒子の粒径

第2硬質粒子の粒径としては、焼結合金の用途、種類などに応じて適宜選択できるが、第2硬質粒子の粒径(最大粒径)は、100μm以下の範囲にあることが好ましく、より好ましくは、75μm以下である。これにより、第2硬質粒子を基地により均一に分散させることができ、焼結合金の硬さを高めることができる。ここで、第2硬質粒子に粒径が100μmを超える硬質粒子を含んだ場合には、その粒径が大き過ぎるため焼結合金の被削性が低下することがある。なお、第2硬質粒子の粒径は、製造上の観点から、1μm以上であることが好ましい。

30

【0039】

3. 黒鉛粒子について

黒鉛粒子は、焼結時に黒鉛粒子のCが鉄系基地および硬質粒子に固溶拡散することができるのであれば、天然黒鉛または人造黒鉛のいずれの黒鉛粒子であってもよく、これらが混合したものであってもよい。黒鉛粒子の粒径は、1~45μmの範囲にあることが好ましい。好ましい黒鉛粒子からなる粉末としては、黒鉛粉末(日本黒鉛製:CPB-S)などを挙げることができる。

40

【0040】

4. 鉄粒子について

焼結合金の基地となる鉄粒子は、Feを主成分とする鉄粒子から構成される。鉄粒子からなる粉末としては、純鉄粉が好ましいが、圧粉成形時の成形性が阻害さず、上述した第1硬質粒子のMn等の元素の拡散が阻害されない範囲で、低合金鋼粉末であってもよい。

50

低合金鋼粉末はFe-C系粉末を採用することができ、例えば、低合金鋼粉末を100質量%としたとき、C:0.2~5質量%、残部が不可避不純物とFeからなる組成をもつものを採用することができる。また、これらの粉末は、ガスアトマイズ粉、水アトマイズ粉または還元粉であってもよい。鉄粒子の粒径は、150 μ m以下の範囲にあることが好ましい。

【0041】

5. 混合粉末の混合割合について

第1硬質粉末、第2硬質粒子、黒鉛粒子、および鉄粒子を含むように混合粉末を作製する。混合粉末は、第1硬質粒子、第2硬質粒子、黒鉛粒子、および鉄粒子の合計量を100質量%としたときに、1硬質粒子を5~50質量%含有し、第2硬質粒子を1~5質量%含有し、黒鉛粒子を0.5~1.5質量%含有している。

10

【0042】

混合粉末は、第1硬質粒子、第2硬質粒子、黒鉛粒子、および鉄粒子のみからなってもよく、得られる焼結合金の機械的強度および耐摩耗性が阻害されないことを前提に、他の粒子が数質量%程度含有していてもよい。この場合には、混合粉末に対して、第1および第2硬質粒子、黒鉛粒子、および鉄粒子の合計量が95質量%以上であれば、その効果を十分に期待できる。例えば、混合粉末に、硫化物（例えばMnS）、酸化物（例えばCaCO₃）、フッ化物（例えばCaF₂）、窒化物（例えばBN）、酸硫化物からなる群から選ばれる少なくとも一種の被削性改善用の粒子を含有していてもよい。

20

【0043】

第1硬質粒子は、第1硬質粒子、第2硬質粒子、黒鉛粒子、および鉄粒子の合計量に対して5~50質量%含有しているので、焼結合金の機械的強度と耐アブレッシブ摩耗性の双方を向上させることができる。

【0044】

ここで、第1硬質粒子が、これらの合計量に対して5質量%未満である場合、後述する発明者らの実験からも明らかなように、第1硬質粒子による耐アブレッシブ摩耗性の効果を十分に発揮することができない。

【0045】

一方、第1硬質粒子が、これらの合計量に対して50質量%を超えた場合、第1硬質粒子が多すぎるため、混合粉末から成形体を成形しようとしても、成形体が成形し難い。また、第1硬質粒子同士の接触が増加し、鉄粒子同士が焼結される部分が減少するため、焼結合金の耐アブレッシブ摩耗性が低下する。

30

【0046】

第2硬質粒子は、第1硬質粒子、第2硬質粒子、黒鉛粒子、および鉄粒子の合計量に対して1~5質量%含有しているので、上述した如く、使用時の鉄系基地の塑性変形を抑制し、焼結合金の凝着摩耗を低減することができる。

【0047】

ここで、第2硬質粒子の含有量が、これらの合計量に対して1質量%未満である場合、後述する発明者らの実験からも明らかなように、焼結合金の耐凝着摩耗性が低下する。一方、第2硬質粒子の含有量が、これらの合計量に対して5質量%を超えた場合、焼結合金の被削性が低下してしまう。

40

【0048】

黒鉛粒子は、第1硬質粒子、第2硬質粒子、黒鉛粒子、および鉄粒子の合計量に対して0.5~1.5質量%含有しているので、焼結した後、第1および第2硬質粒子を溶融することなく第1および第2硬質粒子に黒鉛粒子のCを固溶拡散することができ、さらには鉄系基地にパーライト組織を確保することができる。これにより、焼結合金の機械的強度と耐摩耗性の双方を向上させることができる。

【0049】

ここで、黒鉛粒子が、これらの合計量に対して0.5質量%未満の場合には、鉄系基地のフェライト組織が増加する傾向にあるので、焼結合金の鉄系基地自体の強度が低下して

50

しまう。一方、黒鉛粒子が、これらの合計量に対して1.5質量%を超えた場合には、セメント組織が析出し、焼結合金の被削性が低下する。

【0050】

6. 耐摩耗性鉄基焼結合金の製造方法について

このようにして、得られた混合粉末を、焼結合金用成形体に圧粉成形する（成形工程）。焼結合金用成形体には、混合粉末と同じ割合で、第1硬質粒子、第2硬質粒子、黒鉛粒子、および鉄粒子が含まれる。

【0051】

焼結合金用成形体の黒鉛粒子のCを、第1および第2硬質粒子と、鉄粒子とに拡散させながら、圧粉成形された焼結合金用成形体を焼結し、焼結体を製造する（焼結工程）。このとき、鉄系基地（鉄粒子）から第1および第2硬質粒子への鉄の拡散が増大するばかりでなく、第2硬質粒子は炭素を含まないので、黒鉛粒子の炭素が第2硬質粒子へ拡散し易く、第2硬質粒子の粒界にMo炭化物を生成し、焼結合金の硬さを高めることができる。

【0052】

本実施形態では、焼結温度および焼結時間を調整して、第1硬質粒子の硬さがHv400～600となり、第2硬質粒子の硬さがHv600を超えとなるように焼結する。得られた焼結合金における第1および第2の硬質粒子の硬さであり、これらの硬さは、測定荷重0.1kgfのマイクロビッカース硬度計を用いて測定した値である。第1硬質粒子の硬さをこのような範囲とすることにより、焼結合金の耐摩耗性と被削性を確保することができる。ここで、第1硬質粒子の硬さが、Hv400未満の場合、炭素が固溶した鉄系基地との硬さの差が小さくなり、焼結合金の耐摩耗性が低下してしまう。一方、焼結合金の硬さがHv600を超えると、焼結合金の被削性が低下してしまう。

【0053】

さらに、第2硬質粒子の硬さをこのような範囲とすることにより、柔らかい鉄系基地の耐摩耗性を向上させることができる。ここで、第2硬質粒子の硬さが、Hv600未満である場合、焼結合金の耐摩耗性が低下してしまう。

【0054】

第1および第2硬質粒子の硬さは、上述した含有量の範囲における各成分の割合、黒鉛粒子の含有量、焼結温度、および焼結時間と、を適宜設定することにより、調整することができる。焼結温度としては、1050～1250℃程度、特に、1100～1150℃程度を採用できる。上記した焼結温度における焼結時間としては、30分～120分、より好ましくは45～90分を採用できる。焼結雰囲気としては、不活性ガス雰囲気などの非酸化性雰囲気であってもよく、非酸化性雰囲気としては、窒素ガス雰囲気、アルゴンガス雰囲気、又は真空雰囲気を挙げることができる。

【0055】

焼結により得られた鉄基焼結合金の基地は、その硬さを確保するため、パーライトを含む組織を含むことが好ましく、パーライトを含む組織として、パーライト組織、パーライト-オーステナイト系の混合組織、パーライト-フェライト系の混合組織にしてもよい。耐摩耗性を確保するには、硬さが低いフェライトは少ない方が好ましい。

【0056】

焼結体を作製した後、この焼結体に対して、鉄粒子に由来する鉄系基地の一部の鉄を四酸化三鉄（ Fe_3O_4 ）となるように酸化処理を行い、酸化処理の前後において、焼結体の密度差が 0.05 g/cm^3 以上となるように酸化処理を行う。この酸化処理で、四酸化三鉄が主体となる酸化物が生成され、これにより、酸化処理後の焼結体の質量が増加する。したがって、密度差が大きいほど、四酸化三鉄がより多く生成されたことになる。

【0057】

酸化処理の前後の焼結体の密度差が 0.05 g/cm^3 以上にするることにより、焼結合金の耐摩耗性を向上させることができる。ここで、酸化処理の前後の焼結体の密度差が 0.05 g/cm^3 未満である場合には、焼結合金の四酸化三鉄の割合が少ないため、相手部材と金属接触により、凝着摩耗が促進される。この結果、焼結合金の耐摩耗性が低下して

10

20

30

40

50

しまう。

【0058】

このような酸化処理としては、たとえば、水蒸気雰囲気下において、500～600℃の温度条件で、30～90分間、焼結体を加熱することにより、上述した密度差の範囲内において、焼結体の基地となる鉄(Fe)を四酸化三鉄(Fe₃O₄)に酸化することができる。

【0059】

7. 耐摩耗性鉄基焼結合金の適用

上述した製造方法で得られた焼結合金は、高温使用環境下における機械的強度および耐摩耗性がこれまでのものよりも高い。例えば、高温の使用環境下となる、圧縮天然ガスまたは液化石油ガスを燃料とする内燃機関のバルブ系(例えばバルブシート、バルブガイド)、ターボチャージャのウェストゲートバルブに好適に用いることができる。

【0060】

例えば、焼結合金で、内燃機関の排気弁のバルブシートを形成した場合、バルブシートとバルブとの接触時の凝着摩耗と、双方の摺動時のアブレッシブ摩耗とが混在した摩耗形態が発現したとしても、これらのバルブシートの耐摩耗性を、従来のものと比べてより一層向上させることができる。特に、圧縮天然ガスまたは液化石油ガスを燃料とした使用環境下では、Mo酸化皮膜が形成され難いが、このような環境下であっても、前記凝着摩耗を低減することができる。

【実施例】

【0061】

以下に、本発明を具体的に実施した実施例について比較例と共に説明する。

〔実施例1：第1硬質粒子の最適添加量〕

以下に示す製造方法で、実施例1に係る焼結合金を製造した。第1硬質粒子として、Mo：40質量%、Ni：30質量%、Co：20質量%、Mn：5質量%、Si：0.8質量%、C：1.2質量%、残部がFeと不可避不純物(すなわちFe-40Mo-30Ni-20Co-5Mn-0.8Si-1.2C)の合金から、ガスアトマイズ法により作製された硬質粒子(大同特殊鋼製)を準備した。この第1硬質粒子を、JIS規格Z8801に準拠したふるいを用い、44μm～250μmの範囲に分級した。なお、本明細書でいう、「粒子の粒度」は、この方法により分級した値である。

【0062】

第2硬質粒子として、Mo：65質量%、残部がFeと不可避不純物からなるFe-65合金から、粉碎法により作製された第2硬質粒子(キンセイマテック製)を準備した。第2硬質粒子を、75μm以下に分級した。

【0063】

次に、黒鉛粒子ならなる黒鉛粉末(日本黒鉛工業製：CPB-S)、および、純鉄粒子からなる還元鉄粉(JEFスチール：JIP255M-90)を準備した。上述した、第1硬質粒子を40質量%、第2硬質粒子を3質量%、黒鉛粒子を1.1質量%、残りを鉄粒子(具体的には55.9質量%)とした割合で、V型混合器で30分間混合した。これにより混合粉末を得た。

【0064】

次に、成形型を用い、得られた混合粉末を588MPaの加圧力でリング形状をなす試験片に圧粉成形し、焼結合金用成形体(圧粉成形体)を形成した。圧粉成形体を1120℃の不活性雰囲気(窒素ガス雰囲気)中で60分間、焼結して、焼結体を得た。この焼結体に対して、水蒸気雰囲気下、550℃、50分の加熱条件で加熱することにより、酸化処理を行い、実施例1に係る焼結合金(バルブシート)の試験片を形成した。

【0065】

〔実施例2, 3：第1硬質粒子の最適添加量〕

実施例1と同じように焼結合金の試験片を作製した。実施例2, 3は、第1硬質粒子の最適添加量を評価するための実施例である。実施例2, 3が、実施例1と相違する点は、

混合粉末全体に対して、表 1 に示すように、第 1 硬質粒子を順次 5 質量%、50 質量%の割合で、添加した点である。

【0066】

〔実施例 4, 5 : 第 2 硬質粒子の最適添加量〕

実施例 1 と同じように焼結合金の試験片を作製した。実施例 4, 5 は、第 2 硬質粒子の最適添加量を評価するための実施例である。実施例 4, 5 が、実施例 1 と相違する点は、混合粉末全体に対して、表 1 に示すように、第 2 硬質粒子を順次 1 質量%、5 質量%の割合で、添加した点である。

【0067】

〔実施例 6, 7 : 黒鉛粒子の最適添加量〕

実施例 1 と同じように焼結合金の試験片を作製した。実施例 6, 7 は、黒鉛粒子の最適添加量を評価するための実施例である。実施例 6, 7 が、実施例 2 と相違する点は、混合粉末全体に対して、表 1 に示すように、黒鉛粒子を順次 0.5 質量%、1.5 質量%の割合で、添加した点である。

【0068】

〔実施例 8 : 第 1 硬質粒子の硬さ〕

実施例 1 と同じように焼結合金の試験片を作製した。実施例 8 が、実施例 1 と相違する点は、焼結温度を、実施例 1 より低くすることにより、焼結後の焼結体の第 1 硬質粒子の硬さを低くした点（表 1 参照、Hv 545）である。

【0069】

〔比較例 1, 2 : 第 1 硬質粒子の最適添加量の比較例〕

実施例 1 と同じように焼結合金の試験片を作製した。比較例 1, 2 は、第 1 硬質粒子の最適添加量を評価するための比較例である。比較例 1, 2 が、実施例 1 と相違する点は、混合粉末全体に対して、表 1 に示すように、第 1 硬質粒子を順次 0 質量%（すなわち添加していない）、60 質量%の割合で、添加した点である。なお、比較例 2 では、混合粉末から成形体に成形できなかった。

【0070】

〔比較例 3, 4 : 第 2 硬質粒子の最適添加量の比較例〕

実施例 1 と同じように焼結合金の試験片を作製した。比較例 3, 4 は、第 2 硬質粒子の最適添加量を評価するための比較例である。比較例 3, 4 が、実施例 1 と相違する点は、混合粉末全体に対して、表 1 に示すように、第 2 硬質粒子を順次 0 質量%、10 質量%の割合で、添加した点であり、さらに、比較例 3 では、黒鉛粒子を 0.8 質量%の割合で添加している。

【0071】

〔比較例 5, 6 : 黒鉛粒子の最適添加量の比較例〕

実施例 1 と同じように焼結合金の試験片を作製した。比較例 5, 6 は、黒鉛粒子の最適添加量を評価するための比較例である。比較例 5, 6 が、実施例 1 と相違する点は、混合粉末全体に対して、表 1 に示すように、黒鉛粒子を順次 0.4 質量%、1.6 質量%の割合で、添加した点である。

【0072】

〔比較例 7 : 焼結体の密度差の比較例〕

実施例 1 と同じように焼結合金の試験片を作製した。比較例 7 では、圧粉成形時の成形圧力を実施例 1 の場合よりも大きくし、酸化処理前の密度を大きくした。これにより、焼結体の内部の気孔を減少させることにより、酸化物の生成を抑え、酸化処理後の焼結体の密度の増加を小さくした（すなわち、密度差を小さくした）。

【0073】

〔比較例 8 : 第 1 硬質粒子の硬さの比較例〕

実施例 1 と同じように焼結合金の試験片を作製した。比較例 8 が、実施例 1 と相違する点は、焼結温度を、実施例 1 より高くすることにより、焼結後の焼結体の第 1 硬質粒子の硬さを高くした点（表 1 参照、Hv 650）である。

10

20

30

40

50

【0074】

〔比較例9〕

実施例1と同じように焼結合金の試験片を作製した。実施例1と相違する点は、第1硬質粒子に、特開2004-156101号公報に記載の硬質粒子に相当する $\text{Co}-40\text{Mo}-5\text{Cr}-0.9\text{C}$ 合金からなる粒子を用い、第2硬質粒子を添加していない点と、焼結後に、焼結体に対して酸化処理を行っていない点である。

【0075】

＜硬さ試験＞

実施例1～8および比較例1～9に係る焼結合金の試験片に対して、第1硬質粒子および第2硬質粒子の測定荷重0.1kgfのマイクロビッカース硬度計を用いて測定した。この結果を、表1に示す。

10

【0076】

＜密度測定試験＞

実施例1～8および比較例1, 3～8に係る焼結合金の試験片に対して、酸化処理前後の各質量を測定し、試験体の寸法から算出した体積で、測定した質量を除算して、酸化処理前後の試験片（焼結体）の密度を算出した。さらに、酸化処理前後の試験片（焼結体）の密度差を算出した。この結果を表1に示す。

【0077】

＜摩耗試験＞

図1の試験機を用いて、実施例1～8および比較例1, 3～9に係る焼結合金の試験片に対して摩耗試験を行い、これらの耐摩耗性を評価した。この試験では、図1に示すように、プロパンガスバーナ10を加熱源として用い、前記のように作製した焼結合金からなるリング形状のバルブシート12と、バルブ13のバルブフェース14との摺動部をプロパンガス燃焼雰囲気とした。バルブフェース14はEV12（SEA規格）に軟窒化処理を行ったものである。バルブシート12の温度を250℃に制御し、スプリング16によりバルブシート12とバルブフェース14との接触時に25kgfの荷重を付与して、3250回／分の割合で、バルブシート12とバルブフェース14とを接触させ、8時間の摩耗試験を行った。

20

【0078】

摩耗試験後のバルブシート12とバルブフェース14の軸方向の摩耗深さの総量を、摩耗試験摩耗量として測定し、比較例9の値で除算した値を、摩耗試験摩耗量比として算出した。この結果を、表1に示す。

30

【0079】

図3～図7の（a）には、横軸を、順に、第1硬質粒子の添加量、第2硬質粒子の添加量、黒鉛粒子の添加量、第1硬質粒子の硬さ、および焼結体の密度差として、実施例1～8および比較例1, 3～9のうち対応する摩耗試験摩耗量比の結果をプロットした。

【0080】

さらに、摩耗試験後の実施例1および比較例7に係る試験片の摩耗試験後の表面を顕微鏡で観察した。この結果を、図8（a）および図8（b）に示す。図8（a）は、実施例1に係る試験片の摩耗試験後の表面写真であり、（b）比較例7に係る試験片の摩耗試験後の表面写真である。

40

【0081】

摩耗試験前の実施例1, 比較例5, 比較例6の試験片に対して、ナイタルを用いてエッチングを行って、焼結合金の組織を顕微鏡で観察した。この結果を、図9（a）～図9（c）に示す。図9（a）は、実施例1に係る試験片の組織写真であり、図9（b）は、比較例5に係る試験片の組織写真であり、図9（c）は比較例6に係る試験片の組織写真である。

【0082】

＜被削性試験＞

図2に示す試験機を用いて、実施例1～8および比較例1, 3～9に係る焼結合金の試

50

験片に対して被削性試験を行い、これらの被削性を評価した。この試験では、外径 30 mm、内径 22 mm、全長 9 mm の試験片 20 を、実施例 1～8 および比較例 1, 3～9 のそれぞれに対して 6 個準備した。NC 旋盤を用いて、窒化チタンアルミコーティングした超硬の工具（刃具）30 で、回転数 970 rpm で回転した試験片 20 に対して、切込み量 0.3 mm、送り 0.08 mm/rev、切削距離 320 m、湿式でトラバース切削した。その後、光学顕微鏡により、工具 30 の逃げ面の最大摩耗深さを工具摩耗量として測定し、比較例 9 の値で除算した値を、工具摩耗量比として算出した。この結果を、表 1 に示す。

【0083】

図 3～図 7 の（b）には、横軸を、順に、第 1 硬質粒子の添加量、第 2 硬質粒子の添加量、黒鉛粒子の添加量、第 1 硬質粒子の硬さ、および焼結体の密度差として、実施例 1, 3～8 および比較例 1～9 のうち対応する工具摩耗量比の結果をプロットした。

【0084】

【表 1】

試料名	第 1 硬質粒子		第 2 硬質粒子		酸化処理			黒鉛 粒子 添加量 (mass%)	摩耗 試験 摩耗量比	工具 摩耗量比
					処理前	処理後				
	硬さ (Hv)	添加量 (mass%)	硬さ (Hv)	添加量 (mass%)	密度 (g/cm ³)	密度 (g/cm ³)	密度差 (g/cm ³)			
実施例 1	560	40	1080	3	6.96	7.09	0.13	1.1	0.12	0.69
実施例 2	568	5	940	3	7.07	7.13	0.06	1.1	0.33	0.59
実施例 3	555	50	920	3	6.89	7.10	0.21	1.1	0.10	0.77
実施例 4	570	40	1000	1	7.00	7.15	0.15	1.1	0.14	0.56
実施例 5	585	40	1090	5	6.92	7.10	0.18	1.1	0.13	0.86
実施例 6	566	40	1020	3	6.98	7.13	0.15	0.5	0.18	0.66
実施例 7	562	40	960	3	7.00	7.08	0.08	1.5	0.13	0.84
実施例 8	545	40	980	3	6.80	6.99	0.19	1.1	0.06	0.67
比較例 1	—	0	1010	3	7.03	7.10	0.07	1.1	0.46	0.54
比較例 2	570	60	990	3	—	—	—	1.1	成形不可	成形不可
比較例 3	560	40	—	0	6.98	7.12	0.14	0.8	0.20	0.54
比較例 4	577	40	1080	10	6.76	7.00	0.24	1.1	0.10	0.97
比較例 5	560	40	1000	3	6.97	7.12	0.15	0.4	0.34	0.65
比較例 6	560	40	990	3	6.78	7.04	0.26	1.6	0.13	0.94
比較例 7	540	40	1100	3	7.16	7.20	0.04	1.1	0.42	0.70
比較例 8	650	40	990	3	6.96	7.12	0.16	1.1	0.13	0.90
比較例 9	880	40	無し	—	—	—	—	1.1	1.00	1.00

【0085】

（結果 1：第 1 硬質粒子の最適添加量）

図 3（a）に示すように、実施例 1～3 の摩耗試験摩耗量比は、比較例 1, 9 のものよりも小さかった。実施例 2、実施例 1、実施例 3 の順で、摩耗試験摩耗量比が減少した。このことから、第 1 硬質粒子を添加することにより、焼結合金の耐アブレッシブ摩耗性が向上すると考えられる。しかしながら、比較例 2 では、第 1 硬質粒子を添加し過ぎたため、成形体の成形性が阻害されたと言える。以上の点から、第 1 硬質粒子の最適な添加量は、混合粉末全体に対して 5～50 質量%である。

【0086】

なお、図3(b)に示すように、実施例1～3の工具摩耗量比は、比較例9のものよりも小さく、実施例2、実施例1、実施例3の順で、工具摩耗量比は増加した。ただし、実施例3よりも、第1硬質粒子をさらに添加すると、焼結合金の被削性が低下して、工具摩耗量比が増加すると考えられる。

【0087】

(結果2：第2硬質粒子の最適添加量)

図4(a)に示すように、実施例1, 4, 5および比較例4の摩耗試験摩耗量比は、比較例3, 9のものよりも小さかった。しかしながら、図4(b)に示すように、比較例4の工具摩耗量比は、実施例1, 4, 5のものよりも大きかった。なお、摩耗試験後の試験片の表面を観察すると、比較例3には、凝着摩耗による筆れ痕が、他に比べて多かった。

10

【0088】

このことから、第2硬質粒子は、焼結後の焼結合金の硬さを向上させることで、使用時の焼結合金の鉄系基地の塑性変形を抑制し、焼結合金の凝着摩耗を低減していると考えられる。具体的には、第2硬質粒子は、第1硬質粒子のように、Ni, Co等を含まないで、第1硬質粒子よりもその周りの鉄系基地を硬質化することができ、焼結時にモリブデン炭化物を鉄系基地の粒界に析出させることにより、焼結後の鉄系基地の硬さが向上すると考えられる。

【0089】

以上のことから、第2硬質粒子の添加が少な過ぎると、摩耗試験後の焼結合金の表面は筆り取られ易くなる。一方、比較例4の如く、第2硬質粒子を添加し過ぎると、焼結後の焼結合金が硬くなり過ぎてしまい、被削性が低下すると考えられる。以上の結果から、第2硬質粒子の最適な添加量は、混合粉末全体に対して1～5質量%である。

20

【0090】

(結果3：黒鉛粒子の最適添加量)

図5(a)に示すように、実施例1, 6, 7および比較例6の摩耗試験摩耗量比は、比較例5, 9のものよりも小さかった。しかしながら、図5(b)に示すように、比較例6の工具摩耗量比は、実施例1, 6, 7のものよりも大きかった。

【0091】

図9(a)に示すように、実施例1に示す焼結合金の組織には、パーライト組織が形成されていたが、図9(c)に示すように、比較例6に示す焼結合金の組織には、黒鉛粒子の増量により、セメンタイト組織が形成されていた。これにより、比較例6の工具摩耗量比は、実施例1, 6, 7のものよりも大きかったと考えられる。

30

【0092】

一方、図9(b)に示すように、比較例5に示す焼結合金の組織には、フェライトを中心とした組織となるため、比較例5の摩耗試験摩耗量比は、実施例1, 6, 7および比較例6のものよりも大きくなったと考えられる。このことから、焼結した後、鉄系基地にパーライト組織を確保することができる黒鉛粒子の最適な添加量は、混合粉末全体に対して0.5～1.5質量%である。

【0093】

(結果4：第1硬質粒子の最適硬さ)

図6(a)に示すように、実施例1, 3, 5, 8および比較例8の摩耗試験摩耗量比は、比較例9のものよりも小さかった。しかしながら、図6(b)に示すように、比較例8の工具摩耗量比は、実施例1, 3, 5, 8のものよりも大きかった。

40

【0094】

比較例9では、第1硬質粒子の硬さが、実施例1, 3, 5, 8および比較例8のものよりも高かったため、相手材がより多く摩耗し、実施例9の摩耗試験摩耗量比が、他のものに比べて大きくなったと考えられる。一方、実施例1, 3, 5, 8では、第1硬質粒子の硬さが、比較例8のものよりも低く、Hv600以下であったため、実施例1, 3, 5, 8の工具摩耗量比が、比較例8のものに比べて小さくなったと考えられる。なお、実施例

50

1, 3, 5, 8では、第1硬質粒子の硬さが、Hv400以上が確保されているため、耐摩耗性が確保されていると言える。

【0095】

このことから、焼結した後の、第1硬質粒子の硬さは、Hv400～600の範囲であることが好ましい。なお、第2硬質粒子が、鉄系基地の耐摩耗性を向上させる観点から、上述した添加量の範囲を前提にして、第2硬質粒子の硬さは、第1硬質粒子の硬さよりも高いことが必要であり、少なくともHv600超えであることが必要である。

【0096】

(結果5：焼結体の最適密度差)

図7(a)に示すように、実施例1～8の摩耗試験摩耗量比は、比較例7, 9のものよりも小さかった。図7(b)に示すように、比較例9の工具摩耗量比は、実施例1～8、比較例7のものよりも大きかった。

【0097】

比較例7では、酸化処理の前後において、焼結体の密度差が 0.05 g/cm^3 未満であるため、実施例1～8の焼結体に比べて、焼結体には、四酸化三鉄を主体とした酸化物の量が少ない。このため、相手材との金属接触が助長され、図8(b)に示すように、比較例7の試験片(焼結体)は、相手材との凝着摩耗が促進されたと考えられる。一方、実施例1～8では、このような凝着摩耗がほとんどなかった(例えば、実施例1図8(a)参照)、比較例7に比べて、焼結合金の耐摩耗性が高いと考えられる。このことから、酸化処理の前後において、焼結体の密度差が 0.05 g/cm^3 以上となるように酸化処理を行うことが必要である。

【0098】

[実施例9：第2硬質粒子の最適粒径]

実施例1と同じように焼結合金の試験片を作製した。実施例9は、第2硬質粒子の最適粒径を評価するための実施例である。実施例9が、実施例1と相違する点は、第2硬質粒子として、その粒径(粒度)が $75\text{ }\mu\text{m}$ を超えかつ $100\text{ }\mu\text{m}$ 以下の範囲となるように分級した第2硬質粒子を用いた点である。

【0099】

[比較例10：第2硬質粒子の最適粒径の比較例]

実施例1と同じように焼結合金の試験片を作製した。比較例10は、第2硬質粒子の最適粒径を評価するための比較例である。比較例10が、実施例1と相違する点は、第2硬質粒子として、 $100\text{ }\mu\text{m}$ を超えかつ $150\text{ }\mu\text{m}$ 以下の範囲に分級した第2硬質粒子を用いた点である。なお、比較例10に係る試験片は、本発明の範囲に含まれる焼結合金であり、実施例1, 9と対比するために、便宜上、比較例10としている。

【0100】

実施例1と同様に、実施例9および比較例10の試験片に対して、摩耗試験および被削性試験を行って、摩耗試験摩耗量と工具摩耗量を測定した。この結果を、上述した実施例1の結果とともに、図10(a)および図10(b)に示す。

【0101】

図10(a)は、実施例1, 9および比較例10における摩耗試験摩耗量比の結果を示したグラフであり、図10(b)は、実施例1, 9および比較例10における工具摩耗量比の結果を示したグラフである。

【0102】

(結果6：第2硬質粒子の最適粒径)

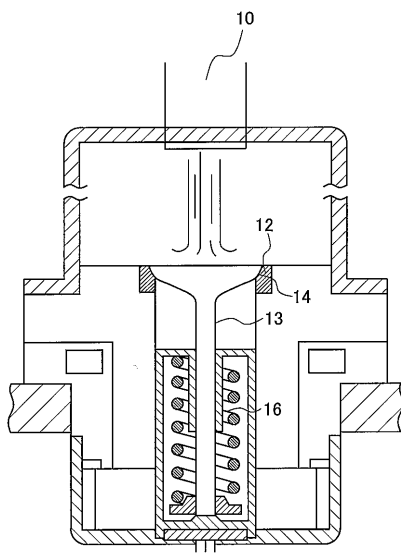
図10(a)に示すように、実施例1, 9および比較例10の摩耗試験摩耗量比は、同程度であった。しかしながら、図10(b)に示すように、実施例1, 9の工具摩耗量比は、比較例10のものよりも小さく、実施例1の工具摩耗量比が他に比べて最も小さかった。これは、比較例10では、第2硬質粒子の粒径が大き過ぎるため試験片(焼結体)の被削性が低下することがあることによる。この結果から、第2硬質粒子の粒径(最大粒径)は、 $100\text{ }\mu\text{m}$ 以下の範囲にあることが好ましく、より好ましくは、第2硬質粒子の粒

径（最大粒径）は、 $75\text{ }\mu\text{m}$ 以下の範囲にある。

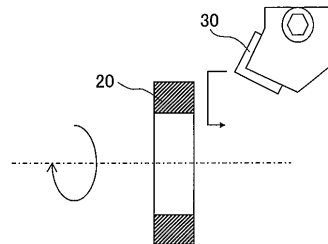
【0103】

以上、本発明の実施形態について詳述したが、本発明は、前記の実施形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された本発明の精神を逸脱しない範囲で、種々の設計変更を行うことができるものである。

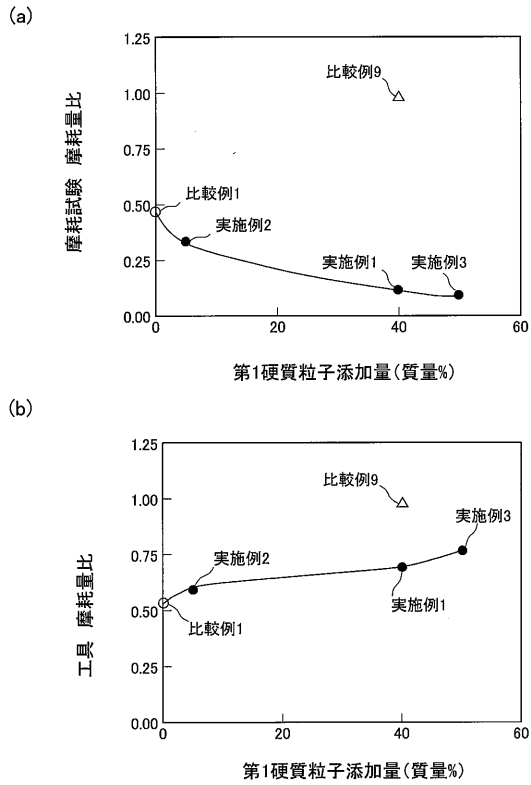
【図1】



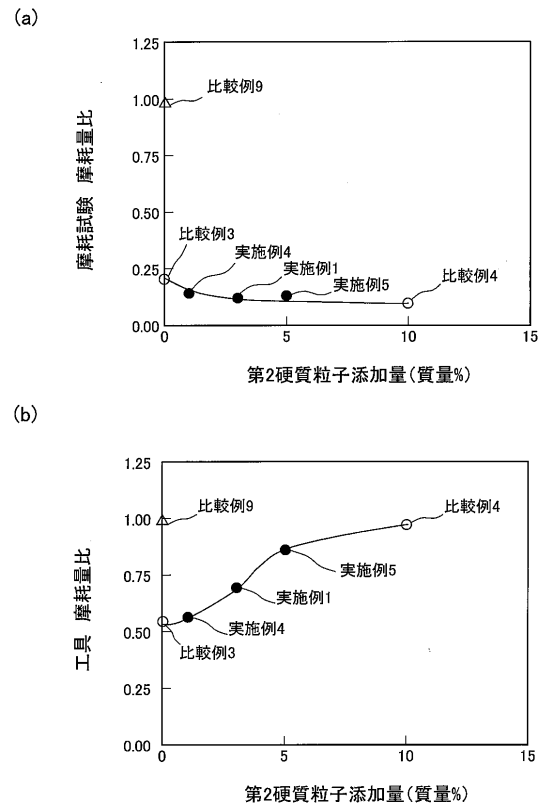
【図2】



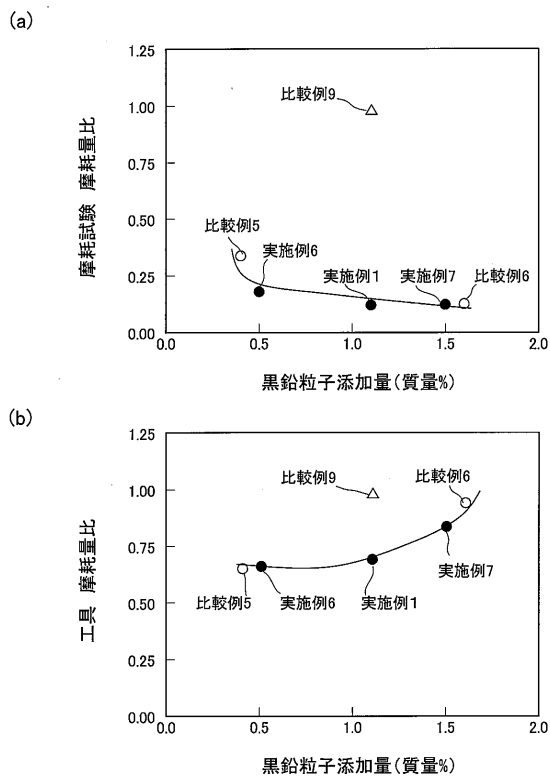
【図 3】



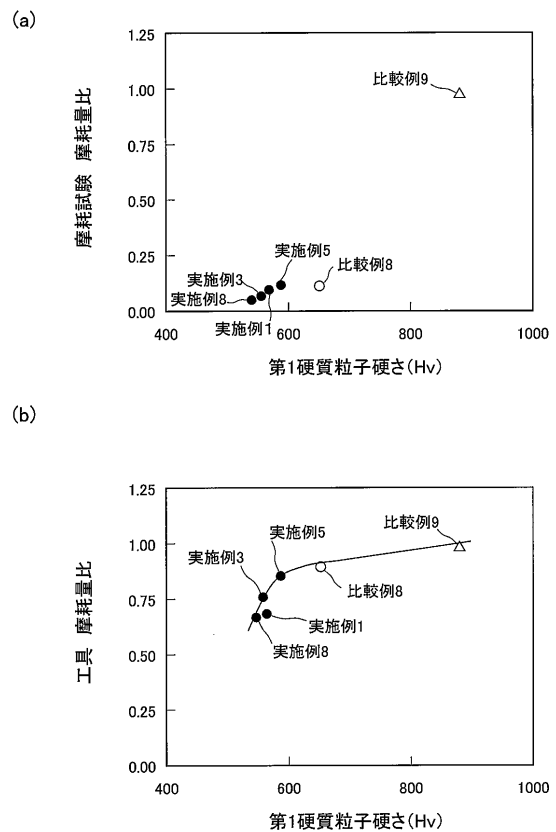
【図 4】



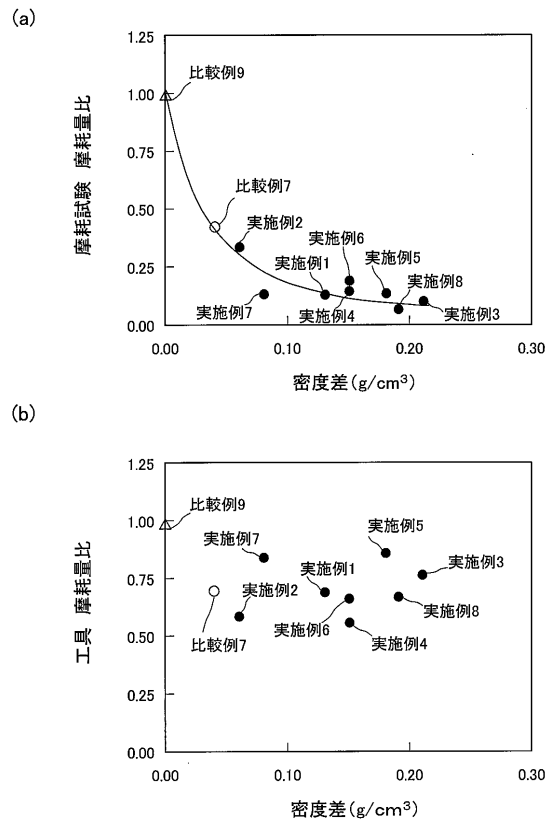
【図 5】



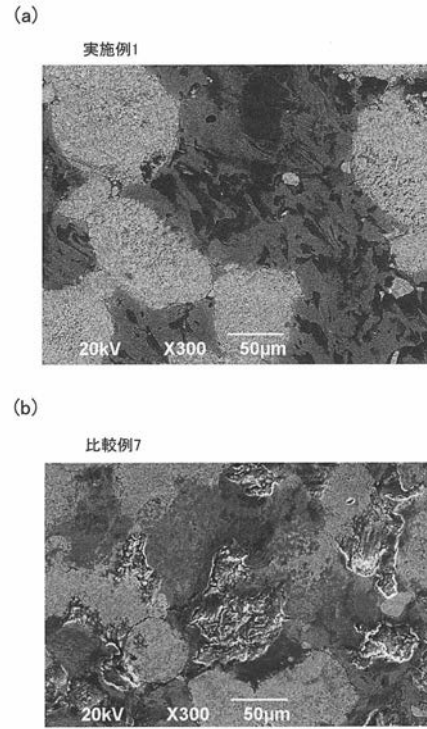
【図 6】



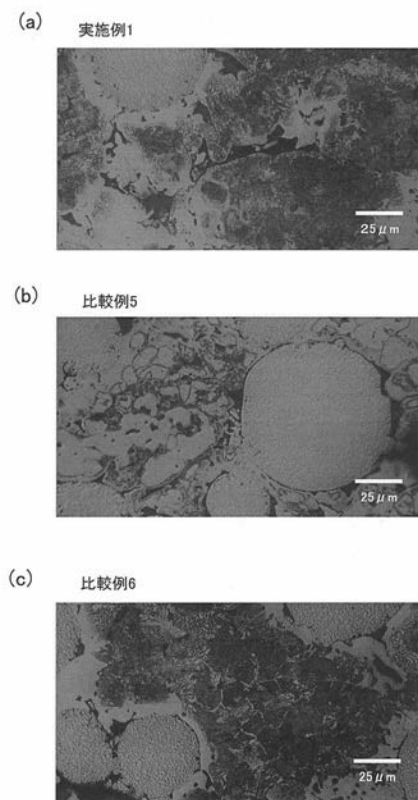
【図 7】



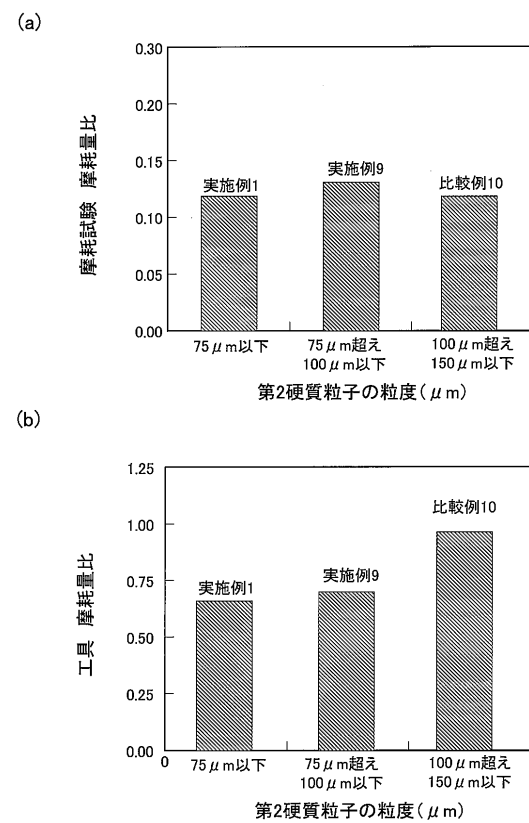
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
	B 2 2 F 1/00	P
	C 2 2 C 30/00	

(72)発明者 植田 義久
愛知県春日井市明知町西之洞 1 1 8 9 番地 1 1 株式会社ファインシンター内

(72)発明者 米田 貴則
愛知県春日井市明知町西之洞 1 1 8 9 番地 1 1 株式会社ファインシンター内

(72)発明者 中村 竹志
愛知県春日井市明知町西之洞 1 1 8 9 番地 1 1 株式会社ファインシンター内

F ターム (参考) 4K018 AA24 AB01 AB03 AB05 AB07 AB10 BA09 BA14 BA15 BA16
BB04 BC12 BC20 DA11 FA08 FA11 FA27 FA28 KA10 KA51