

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B1)

(11)特許番号
特許第7215806号
(P7215806)

(45)発行日 令和5年1月31日(2023.1.31)

(24)登録日 令和5年1月23日(2023.1.23)

(51)国際特許分類	F I				
C 2 2 C	29/08	(2006.01)	C 2 2 C	29/08	
B 2 3 B	27/14	(2006.01)	B 2 3 B	27/14	B
B 2 3 B	51/00	(2006.01)	B 2 3 B	51/00	M
C 2 2 C	1/051	(2023.01)	C 2 2 C	1/05	H

請求項の数 8 (全25頁)

(21)出願番号	特願2022-502986(P2022-502986)	(73)特許権者	503212652
(86)(22)出願日	令和3年10月15日(2021.10.15)		住友電工ハードメタル株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/038226		兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号
審査請求日	令和4年10月19日(2022.10.19)	(74)代理人	110001195
早期審査対象出願			弁理士法人深見特許事務所
		(72)発明者	山川 隆洋
			兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電工ハードメタル株式会社内
		(72)発明者	広瀬 和弘
			兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電工ハードメタル株式会社内
		(72)発明者	内野 克哉
			兵庫県小野市匠台1番地 株式会社アクシスマテリア内
		(72)発明者	山本 剛志
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 超硬合金及びそれを用いた切削工具

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の炭化タングステン粒子からなる第1相と、コバルトを含む第2相と、からなる超硬合金であって、

前記超硬合金は、前記第1相を78体積%以上100体積%未満、かつ、前記第2相を0体積%超22体積%以下含み、

前記炭化タングステン粒子の円相当径の平均値は、0.5μm以上1.2μm以下であり、

前記炭化タングステン粒子は、円相当径が0.3μm以下である第1炭化タングステン粒子を個数基準で13%以下含み、

前記炭化タングステン粒子は、円相当径が1.3μm超である第2炭化タングステン粒子を個数基準で12%以下含み、

前記炭化タングステン粒子の円相当径の分布を示すヒストグラムの第1範囲において、最小度数Fminに対する最大度数Fmaxの割合であるFmax/Fminは7.0以下であり、

前記ヒストグラムの横軸の階級は、前記炭化タングステン粒子の円相当径を示し、かつ、前記階級の幅は0.1μmであり、

前記ヒストグラムの縦軸の度数は、全ての前記炭化タングステン粒子に対する各階級に属する前記炭化タングステン粒子の個数基準の百分率を示し

前記第1範囲は、前記炭化タングステン粒子の円相当径が0.3μm超1.3μm以下の範囲であり、

前記最大度数 $F_{\max}$ は、前記第 1 範囲での最大度数であり、
前記最小度数 $F_{\min}$ は、前記第 1 範囲での最小度数であり、
前記超硬合金のコバルト含有率は、0 質量% 超 10 質量% 以下である、超硬合金。

【請求項 2】

前記超硬合金は、前記第 2 相を 5 体積% 以上 12 体積% 以下含む、請求項 1 に記載の超硬合金。

【請求項 3】

前記超硬合金のクロム含有率は、0.15 質量% 以上 1.00 質量% 以下である、請求項 1 又は請求項 2 に記載の超硬合金。

【請求項 4】

前記コバルトに対する前記クロムの質量基準の百分率は、5% 以上 10% 以下である、請求項 3 に記載の超硬合金。

【請求項 5】

前記超硬合金のバナジウムの質量基準の含有率は、0 ppm 以上 2000 ppm 未満である、請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の超硬合金。

【請求項 6】

前記最大度数 $F_{\max}$ と、前記最大度数 $F_{\max}$ に対応する階級より一つ小さい階級の度数 F_a との差が 2.5% 以下であり、

前記最大度数 $F_{\max}$ と、前記最大度数 $F_{\max}$ に対応する階級より一つ大きい階級の度数 F_b との差が 2.5% 以下である、請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の超硬合金。

【請求項 7】

請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の超硬合金からなる刃先を備える、切削工具。

【請求項 8】

前記切削工具は、プリント回路基板加工用回転工具である、請求項 7 に記載の切削工具。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、超硬合金及びそれを用いた切削工具に関する。

【背景技術】

【0002】

プリント回路基板の穴あけでは、 $\phi 1\text{mm}$ 以下の小径の穴あけが主流である。このため、小径ドリル等の工具に用いられる超硬合金としては、硬質相が平均粒径 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下の炭化タングステン粒子からなる、いわゆる微粒超硬合金が用いられている（例えば、特開 2007-92090 号公報（特許文献 1）、特開 2012-52237 号公報（特許文献 2）、特開 2012-117100 号公報（特許文献 3））。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2007-92090 号公報

特開 2012-52237 号公報

特開 2012-117100 号公報

【発明の概要】

【0004】

複数の炭化タングステン粒子からなる第 1 相と、コバルトを含む第 2 相と、からなる超硬合金であって、

前記超硬合金は、前記第 1 相を 78 体積% 以上 100 体積% 未満、かつ、前記第 2 相を 0 体積% 超 22 体積% 以下含み、

前記炭化タングステン粒子の円相当径の平均値は、 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $1.2\text{ }\mu\text{m}$ 以下であ

10

20

30

40

50

り、

前記炭化タングステン粒子は、円相当径が $0.3\text{ }\mu\text{m}$ 以下である第1炭化タングステン粒子を個数基準で13%以下含み、

前記炭化タングステン粒子は、円相当径が $1.3\text{ }\mu\text{m}$ 超である第2炭化タングステン粒子を個数基準で12%以下含み、

前記炭化タングステン粒子の円相当径の分布を示すヒストグラムの第1範囲において、最小度数 $F_{\min}$ に対する最大度数 $F_{\max}$ の割合である $F_{\max}/F_{\min}$ は7.0以下であり、

前記ヒストグラムの横軸の階級は、前記炭化タングステン粒子の円相当径を示し、かつ、前記階級の幅は $0.1\text{ }\mu\text{m}$ であり、

前記ヒストグラムの縦軸の度数は、全ての前記炭化タングステン粒子に対する各階級に属する前記炭化タングステン粒子の個数基準の百分率を示し

前記第1範囲は、前記炭化タングステン粒子の円相当径が $0.3\text{ }\mu\text{m}$ 超 $1.3\text{ }\mu\text{m}$ 以下の範囲であり、

前記最大度数 $F_{\max}$ は、前記第1範囲での最大度数であり、

前記最小度数 $F_{\min}$ は、前記第1範囲での最小度数であり、

前記超硬合金のコバルト含有率は、0質量%超10質量%以下である、超硬合金である。

【図面の簡単な説明】

【0005】

【図1】図1は、本実施形態の超硬合金の反射電子像の一例を示す写真代用図である。

【図2】図2は、図1の反射電子像に対して二値化処理を行って得られた画像を示す写真代用図である。

【図3】図3は、本実施形態の超硬合金中の炭化タングステン粒子の円相当径の分布の一例を示すヒストグラムである。

【図4】図4は、比較例の超硬合金中の炭化タングステン粒子の円相当径の分布の一例を示すヒストグラムである。

【図5】図5は、本実施形態の切削工具（小径ドリル）の一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0006】

〔本開示が解決しようとする課題〕

近年、5G（第5世代移動通信システム）の拡大に伴い、情報の高容量化が進んでいる。このため、プリント回路基板には更なる耐熱性が求められている。プリント回路基板の耐熱性の向上のため、プリント回路基板を構成する樹脂やガラスフィラーの耐熱性を向上させる技術が開発されている。一方、これによりプリント回路基板の高硬度化が進んでいる。プリント基板の高硬度化により、それを加工するドリルの刃先が摩耗し、穴あけ位置の精度が悪化する傾向にある。

【0007】

そこで、本開示は、工具材料として用いた場合に、特にプリント回路基板の微細加工においても、優れた加工精度を有する切削工具を提供することのできる超硬合金及びそれを備える切削工具を提供することを目的とする。

【0008】

〔本開示の効果〕

本開示の超硬合金によれば、特にプリント回路基板の微細加工においても、優れた加工精度を有する切削工具を提供することが可能となる。

【0009】

〔本開示の実施形態の説明〕

最初に本開示の実施態様を列記して説明する。

（1）本開示の超硬合金は、複数の炭化タングステン粒子からなる第1相と、コバルトを含む第2相と、からなる超硬合金であって、

前記超硬合金は、前記第1相を78体積%以上100体積%未満、かつ、前記第2相を0体積%超22体積%以下含み、

10

20

30

40

50

前記炭化タングステン粒子の円相当径の平均値は、 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $1.2\text{ }\mu\text{m}$ 以下であり、

前記炭化タングステン粒子は、円相当径が $0.3\text{ }\mu\text{m}$ 以下である第1炭化タングステン粒子を個数基準で13%以下含み、

前記炭化タングステン粒子は、円相当径が $1.3\text{ }\mu\text{m}$ 超である第2炭化タングステン粒子を個数基準で12%以下含み、

前記炭化タングステン粒子の円相当径の分布を示すヒストグラムの第1範囲において、最小度数 $F_{\min}$ に対する最大度数 $F_{\max}$ の割合である $F_{\max}/F_{\min}$ は7.0以下であり、

前記ヒストグラムの横軸の階級は、前記炭化タングステン粒子の円相当径を示し、かつ、前記階級の幅は $0.1\text{ }\mu\text{m}$ であり、

前記ヒストグラムの縦軸の度数は、全ての前記炭化タングステン粒子に対する各階級に属する前記炭化タングステン粒子の個数基準の百分率を示し

前記第1範囲は、前記炭化タングステン粒子の円相当径が $0.3\text{ }\mu\text{m}$ 超 $1.3\text{ }\mu\text{m}$ 以下の範囲であり、

前記最大度数 $F_{\max}$ は、前記第1範囲での最大度数であり、

前記最小度数 $F_{\min}$ は、前記第1範囲での最小度数であり、

前記超硬合金のコバルト含有率は、0質量%超10質量%以下である、超硬合金である。

【0010】

本開示の超硬合金によれば、特にプリント回路基板の微細加工においても、優れた加工精度を有する切削工具を提供することが可能となる。本明細書において、切削工具が優れた加工精度を有するとは、切削工具が優れた穴位置精度を維持したまま、長い工具寿命を有することを意味する。ここで、穴位置精度とは、穴開け加工における目標位置と、実際の穴開け位置との差に関する指標である。この差が小さいほど、穴位置精度が良好である。

【0011】

(2) 前記超硬合金は、前記第2相を5体積%以上12体積%以下含むことが好ましい。これによると、工具寿命が向上する。

【0012】

(3) 前記超硬合金のクロム含有率は、0.15質量%以上1.00質量%以下であることが好ましい。これによると、工具寿命が向上する。

【0013】

(4) 前記コバルトに対する前記クロムの質量基準の百分率は、5%以上10%以下であることが好ましい。これによると、工具寿命が向上する。

【0014】

(5) 前記超硬合金のパナジウムの質量基準の含有率は、0ppm以上2000ppm未満であることが好ましい。これによると、工具寿命が向上する。

【0015】

(6) 前記最大度数 $F_{\max}$ と、前記最大度数 $F_{\max}$ に対応する階級より一つ小さい階級の度数 F_a との差が2.5%以下であり、

前記最大度数 $F_{\max}$ と、前記最大度数 $F_{\max}$ に対応する階級より一つ大きい階級の度数 F_b との差が2.5%以下であることが好ましい。

これによると、工具寿命が更に向上する。

【0016】

(7) 本開示の切削工具は、上記超硬合金からなる刃先を備える、切削工具である。本開示の切削工具は、優れた加工精度を有する。

【0017】

(8) 前記切削工具は、プリント回路基板加工用回転工具であることが好ましい。本開示の切削工具は、特に、プリント回路基板の微細加工に好適である。

【0018】

[本開示の実施形態の詳細]

本開示の超硬合金及び切削工具の具体例を、以下に図面を参照しつつ説明する。本開示

10

20

30

40

50

の図面において、同一の参照符号は、同一部分または相当部分を表すものである。また、長さ、幅、厚さ、深さなどの寸法関係は図面の明瞭化と簡略化のために適宜変更されており、必ずしも実際の寸法関係を表すものではない。

【0019】

本明細書において「A～B」という形式の表記は、範囲の上限下限（すなわちA以上B以下）を意味し、Aにおいて単位の記載がなく、Bにおいてのみ単位が記載されている場合、Aの単位とBの単位とは同じである。

【0020】

本明細書において化合物などを化学式で表す場合、原子比を特に限定しないときは従来公知のあらゆる原子比を含むものとし、必ずしも化学量論的範囲のものにのみ限定されるべきではない。たとえば「WC」と記載されている場合、WCを構成する原子数の比は、従来公知のあらゆる原子比が含まれる。

【0021】

〔実施形態1：超硬合金〕

本開示の一実施形態（以下、「本実施形態」とも記す。）は、複数の炭化タングステン粒子からなる第1相と、コバルトを含む第2相と、からなる超硬合金であって、

該超硬合金は、該第1相を78体積%以上100体積%未満、かつ、該第2相を0体積%超22体積%以下含み、

該炭化タングステン粒子の円相当径の平均値は、0.5μm以上1.2μm以下であり、

該炭化タングステン粒子は、円相当径が0.3μm以下である第1炭化タングステン粒子を個数基準で13%以下含み、

該炭化タングステン粒子は、円相当径が1.3μm超である第2炭化タングステン粒子を個数基準で12%以下含み、

該炭化タングステン粒子の円相当径の分布を示すヒストグラムの第1範囲において、最小度数Fminに対する最大度数Fmaxの割合であるFmax/Fminは7.0以下であり、

該ヒストグラムの横軸の階級は、該炭化タングステン粒子の円相当径を示し、かつ、該階級の幅は0.1μmであり、

該ヒストグラムの縦軸の度数は、全ての該炭化タングステン粒子に対する各階級に属する該炭化タングステン粒子の個数基準の百分率を示し

該第1範囲は、該炭化タングステン粒子の円相当径が0.3μm超1.3μm以下の範囲であり、

該最大度数Fmaxは、該第1範囲での最大度数であり、

該最小度数Fminは、該第1範囲での最小度数であり、

該超硬合金のコバルト含有率は、0質量%超10質量%以下である、超硬合金である。

【0022】

本開示の超硬合金によれば、特にプリント回路基板の微細加工においても、優れた加工精度を有する切削工具を提供することが可能となる。この理由は明らかではないが、以下の(i)～(vi)の通りと推察される。

【0023】

(i) 本実施形態の超硬合金は、複数の炭化タングステン粒子（以下、「WC粒子」とも記す。）からなる第1相と、コバルトを含む第2相と、からなり、該超硬合金は、該第1相を78体積%以上100体積%未満、かつ、該第2相を0体積%超22体積%以下含む。これによると、超硬合金は、プリント回路基板の微細加工に対して必要な硬度と耐摩耗性を有することができる。

【0024】

(ii) 本実施形態の超硬合金において、WC粒子の円相当径の平均値は0.5μm以上1.2μm以下である。これによると、該超硬合金を用いた切削工具では、使用に伴う脱落摩耗が生じ難く、刃先がシャープな形状を維持することができる。このため、該超硬合金を用いた切削工具は、優れた加工精度を有することができる。また、該超硬合金は優れた抗折力を有し、該超硬合金を用いた切削工具は、優れた耐折損性を有することができ

10

20

30

40

50

る。

【0025】

(iii) 本実施形態の超硬合金において、WC粒子は、円相当径が $0.3\mu\text{m}$ 以下である第1炭化タングステン粒子を個数基準で13%以下含む。これによると、使用に伴う脱落摩耗が生じ難く、刃先がシャープな形状を維持することができる。このため、該超硬合金を用いた切削工具は、優れた加工精度を有することができる。

【0026】

(iv) 本実施形態の超硬合金において、WC粒子は、円相当径が $1.3\mu\text{m}$ 超である第2炭化タングステン粒子を個数基準で12%以下含む。これによると、超硬合金は高い抗折力を有し、該超硬合金を用いた切削工具は、優れた加工精度を有し、かつ、優れた耐折損性を有することができる。

10

【0027】

(v) 上記炭化タングステン粒子の円相当径の分布を示すヒストグラムにおいて、最小度数Fminに対する最大度数Fmaxの割合である $F_{\text{max}}/F_{\text{min}}$ は7.0以下である。これによると、 $0.3\mu\text{m}$ 超 $1.3\mu\text{m}$ 以下の第1範囲において、WC粒子の円相当径が不均一である。このため、WC粒子同士が緻密化して強固に密着し、超硬合金のヤング率が高くなり、該超硬合金を用いた切削工具は使用時に曲がりにくい。更に、該切削工具は、使用に伴う脱落摩耗が生じ難く、刃先がシャープな形状を維持することができる。上記より、該超硬合金を用いた切削工具は、優れた加工精度を有することができる。

【0028】

20

(vi) 超硬合金のコバルトの含有量は0質量%超10質量%以下である。これによると、超硬合金は高い硬度を有し、優れた耐摩耗性を有することができ、優れた加工精度を維持することができる。

【0029】

<第1相>

≪第1相の組成≫

第1相は、複数の炭化タングステン粒子からなる。ここで、炭化タングステン粒子には、「純粋なWC粒子（不純物元素が一切含有されないWC、不純物元素の含有量が検出限界未満であるWCも含む。）」だけではなく、「本開示の効果を損なわない限りにおいて、その内部に不純物元素が意図的あるいは不可避免的に含有されるWC粒子」も含まれる。第1相の不純物の含有率（不純物を構成する元素が2種類以上の場合は、それらの合計濃度。）は、0.1質量%未満である。第1相の不純物元素の含有率は、ICP発光分析（Inductively Coupled Plasma）Emission Spectroscopy（測定装置：島津製作所「ICPS-8100」（商標））により測定される。

30

【0030】

≪炭化タングステン粒子の円相当径の平均値≫

本実施形態において、炭化タングステン粒子の円相当径の平均値（以下、「WC粒子の平均粒径」とも記す。）は、 $0.5\mu\text{m}$ 以上 $1.2\mu\text{m}$ 以下である。本明細書において、炭化タングステン粒子の円相当径の平均値とは、超硬合金の表面又は断面で測定されるWC粒子の円相当径の個数基準の算術平均を意味する。WC粒子の平均粒径が $0.5\mu\text{m}$ 以上であると、該超硬合金を用いた切削工具では、使用に伴う脱落摩耗が生じ難く、刃先がシャープな形状を維持することができる。このため、該超硬合金を用いた切削工具は、優れた加工精度を有することができる。WC粒子の平均粒径が $1.2\mu\text{m}$ 以下であると、該超硬合金は優れた抗折力を有し、該超硬合金を用いた切削工具は、優れた耐折損性を有することができる。

40

【0031】

WC粒子の平均粒径の下限は、加工精度向上の観点から、 $0.5\mu\text{m}$ 以上であり、 $0.55\mu\text{m}$ 以上が好ましく、 $0.6\mu\text{m}$ 以上が好ましい。WC粒子の平均粒径の上限は、耐折損性向上の観点から、 $1.2\mu\text{m}$ 以下が好ましく、 $1.1\mu\text{m}$ 以下が好ましく、 1.0

50

μm 以下が好ましい。WC粒子の平均粒径は、 $0.5\mu\text{m}$ 以上 $1.2\mu\text{m}$ 以下であり、 $0.55\mu\text{m}$ 以上 $1.1\mu\text{m}$ 以下が好ましく、 $0.6\mu\text{m}$ 以上 $1.0\mu\text{m}$ 以下が好ましい。

【0032】

炭化タングステン粒子の円相当径の平均値は、下記（A1）～（D1）の手順で測定される。

（A1）超硬合金の任意の表面又は任意の断面を鏡面加工する。鏡面加工の方法としては、例えば、ダイヤモンドペーストで研磨する方法、集束イオンビーム装置（FIB装置）を用いる方法、クロスセクションポリッシャー装置（CP装置）を用いる方法、及びこれらを組み合わせる方法等が挙げられる。

【0033】

（B1）超硬合金の加工面を走査型電子顕微鏡（株式会社日立ハイテクノロジーズ製「S-3400N」）で撮影する。該撮影画像を3枚準備する。3枚の画像の撮影領域はそれぞれ異なる。撮影箇所は任意に設定することができる。条件は、観察倍率5000倍、加速電圧10kV、反射電子像とする。本実施形態の超硬合金の反射電子像の一例を図1に示す。

【0034】

（C1）上記（B1）で得られた3枚の反射電子像を画像解析ソフトウェア（ImageJ、version 1.51j8：<https://imagej.nih.gov/ij/>）でコンピュータに取り込み、二値化処理を行う。二値化処理は、画像を取り込んだのちに、コンピュータ画面上の「Make Binary」との表示を押すことにより、上記画像解析ソフトウェアに予め設定された条件で実行される。二値化処理後の画像において、炭化タングステン粒子からなる第1相と、コバルトを含む第2相とは、色の濃淡で識別できる。例えば、二値化処理後の画像において、炭化タングステン粒子からなる第1相は黒色領域で示され、コバルトを含む第2相は白色領域で示される。図1の反射電子像に対して二値化処理を行って得られた画像を図2に示す。

【0035】

（D1）得られた3枚の二値化処理後の各画像中に縦 $25.3\mu\text{m}$ ×幅 $17.6\mu\text{m}$ の矩形の測定視野を設定する。上記画像解析ソフトウェアを用いて、3つの測定視野中の全ての炭化タングステン粒子（黒色領域）のそれぞれについて、円相当径（Heywood径：等面積円相当径）を測定する。3つの測定視野中の全ての炭化タングステン粒子の円相当径の個数基準の算術平均値を算出する。本明細書において、該算術平均値が、WC粒子の円相当径の平均値に該当する。

【0036】

出願人が測定した限りでは、同一の試料において測定する限りにおいては、上記測定を、測定視野の選択箇所を変更して複数回行っても、測定結果のばらつきは少なく、任意に測定視野を設定しても恣意的にはならないことが確認された。

【0037】

《炭化タングステン粒子の円相当径の分布》

本実施形態の超硬合金に含まれるWC粒子の円相当径の分布は、下記の条件（a）～（c）を満たす。

【0038】

（a）炭化タングステン粒子は、円相当径が $0.3\mu\text{m}$ 以下である第1炭化タングステン粒子（以下「第1WC粒子」とも記す。）を個数基準で13%以下含む。

【0039】

（b）炭化タングステン粒子は、円相当径が $1.3\mu\text{m}$ 超である第2炭化タングステン粒子（以下「第2WC粒子」とも記す。）を個数基準で12%以下含む。

【0040】

（c）炭化タングステン粒子の円相当径の分布を示すヒストグラムの第1範囲において、最小度数Fminに対する最大度数Fmaxの割合である $F_{\text{max}}/F_{\text{min}}$ は7.0以下である。ここで、第1範囲とは、炭化タングステン粒子の円相当径が $0.3\mu\text{m}$ 超 $1.3\mu\text{m}$

10

20

30

40

50

以下の範囲である。

【0041】

上記（a）によると、使用に伴う脱落摩耗が生じ難く、刃先がシャープな形状を維持することができる。このため、該超硬合金を用いた切削工具は、優れた加工精度を有することができる。

【0042】

WC粒子全体に対する第1WC粒子の個数基準の百分率は13%以下であり、加工精度向上の観点から、11%以下、9%以下が好ましい。WC粒子全体に対する第1WC粒子の個数基準の百分率の下限は特に限定されないが、例えば、0%以上、2%以上、4%以上とすることができる。WC粒子全体に対する第1WC粒子の個数基準の百分率は、0%以上13%以下、0%以上11%以下、0%以上9%以下、2%以上13%以下、2%以上11%以下、2%以上9%以下、4%以上13%以下、4%以上11%以下、4%以上9%以下とすることができる。

10

【0043】

上記（b）によると、超硬合金は高い抗折力を有し、該超硬合金を用いた切削工具は、優れた耐折損性を有することができる。

【0044】

WC粒子全体に対する第2WC粒子の個数基準の百分率は12%以下であり、耐折損性向上の観点から、11%以下、10%以下が好ましい。WC粒子全体に対する第2WC粒子の個数基準の百分率の下限は特に限定されないが、例えば、0%以上、2%以上、4%以上とすることができる。WC粒子全体に対する第2WC粒子の個数基準の百分率は、0%以上12%以下、0%以上11%以下、0%以上10%以下、2%以上12%以下、2%以上11%以下、2%以上10%以下、4%以上12%以下、4%以上11%以下、4%以上10%以下、とすることができる。

20

【0045】

本明細書において、WC粒子全体に対する第1WC粒子の個数基準の百分率、及び、WC粒子全体に対する第2WC粒子の個数基準の百分率は、下記（A2）～（C2）の手順で算出される。

【0046】

（A2）上記のWC粒子の円相当径の平均値の測定方法の（A1）～（D1）の手順に従い、3つの測定視野中の全ての炭化タングステン粒子（黒色領域）のそれぞれについて、円相当径（Heywood径：等面積円相当径）を測定する。

30

【0047】

（B2）3つの測定視野中の全ての炭化タングステン粒子に対する、円相当径が0.3μm以下である第1WC粒子の個数基準の百分率を算出する。本明細書において、該第1WC粒子の個数基準の百分率が、超硬合金に含まれるWC粒子全体に対する第1WC粒子の個数基準の百分率に該当する。

【0048】

（C2）3つの測定視野中の全ての炭化タングステン粒子に対する、円相当径が1.3μm超である第2WC粒子の個数基準の百分率を算出する。本明細書において、該第2WC粒子の個数基準の百分率が、超硬合金に含まれるWC粒子全体に対する第2WC粒子の個数基準の百分率に該当する。

40

【0049】

出願人が測定した限りでは、同一の試料において測定する限りにおいては、上記測定を測定視野の選択個所を変更して複数回行っても、測定結果のばらつきは少なく、任意に測定視野を設定しても恣意的にはならないことが確認された。

【0050】

上記（c）によると、炭化タングステン粒子の円相当径の分布を示すヒストグラムの第1範囲において、各階級に含まれるWC粒子の数の差が小さい。すなわち、第1範囲において、WC粒子の円相当径が不均一である。このため、WC粒子同士が緻密化して強固に

50

密着し、超硬合金のヤング率が高くなり、該超硬合金を用いた切削工具は使用時に曲がりにくい。更に、該切削工具は、使用に伴う脱落摩耗が生じ難く、刃先がシャープな形状を維持することができる。上記より、該超硬合金を用いた切削工具は、優れた加工精度を有することができる。

【0051】

F_{max}/F_{min} は、7.0以下であり、加工精度向上の観点から、6.0以下が好ましく、5.0以下がより好ましい。 F_{max}/F_{min} の下限は特に限定されないが、例えば、2.0以上とすることができる。 F_{max}/F_{min} は、2.0以上7.0以下、2.0以上6.0以下、2.0以上5.0以下とすることができる。

【0052】

本実施形態の超硬合金に含まれるWC粒子の円相当径の分布は、下記の条件(d)を満たすことが好ましい。

【0053】

(d) 最大度数 F_{max} と、最大度数 F_{max} に対応する階級より一つ小さい階級の度数 F_a との差 ($F_{max} - F_a$) が2.5%以下であり、最大度数 F_{max} と、最大度数 F_{max} に対応する階級より一つ大きい階級の度数 F_b との差 ($F_{max} - F_b$) が2.5%以下である。これによると、炭化タングステン粒子の粒径分布の山がなだらかであり、WC粒子の円相当径が不均一である。このため、WC粒子同士が更に緻密化して強固に密着し、該超硬合金を用いた切削工具は、更に優れた加工精度を有することができる。

【0054】

本明細書において、最大度数 F_{max} に対応する階級（以下、「階級N」とも記す。）の幅が $(0.1 \times n) \mu m$ 超 $\{0.1 \times (n+1)\} \mu m$ 以下（ここで、 n は0以上の整数である）で示される場合、階級Nより一つ小さい階級（以下、「階級N-1」とも記す。）の幅は、 $\{0.1 \times (n-1)\} \mu m$ 超 $\{0.1 \times (n)\} \mu m$ 以下で示される。階級Nの幅が $(0.1 \times n) \mu m$ 超 $\{0.1 \times (n+1)\} \mu m$ 以下（ここで、 n は0以上の整数である）で示される場合、階級Nより一つ大きい階級（以下、「階級N+1」とも記す。）の幅は、 $\{0.1 \times (n+1)\} \mu m$ 超 $\{0.1 \times (n+2)\} \mu m$ 以下で示される。

【0055】

ヒストグラムの第1範囲内に、 F_{max} が複数存在する場合は、少なくとも一つの F_{max} について上記条件(d)を満たすことが好ましく、全ての F_{max} について上記条件(d)を満たすことが更に好ましい。

【0056】

上記 F_{max} と F_a との差 ($F_{max} - F_a$) の上限は2.5%以下が好ましく、2.3%以下がより好ましく、2.0%以下が更に好ましい。上記 F_{max} と F_a との差 ($F_{max} - F_a$) の下限は0%以上とすることができる。 F_{max} と F_a との差が0%とは、階級N及び階級N-1が同一の最大度数を有することを意味する。上記 F_{max} と F_a との差 ($F_{max} - F_a$) は、0%以上2.5%以下が好ましく、0%以上2.3%以下がより好ましく、0%以上2.0%以下が更に好ましい。

【0057】

上記 F_{max} と F_b との差 ($F_{max} - F_b$) の上限は2.5%以下が好ましく、2.3%以下がより好ましく、2.0%以下が更に好ましい。上記 F_{max} と F_b との差 ($F_{max} - F_b$) の下限は0%以上とすることができる。 F_{max} と F_b との差が0%とは、階級N及び階級N+1が同一の最大度数を有することを意味する。上記 F_{max} と F_b との差 ($F_{max} - F_b$) は、0%以上2.5%以下が好ましく、0%以上2.3%以下がより好ましく、0%以上2.0%以下が更に好ましい。

【0058】

本明細書において、炭化タングステン粒子の円相当径の分布を示すヒストグラムは下記(A3)～(B3)の手順で作成される。

【0059】

10

20

30

40

50

(A3) 上記WC粒子の円相当径の平均値の測定方法の(A1)及び(B1)の手順に従い、超硬合金を走査型電子顕微鏡で撮影する。該撮影画像を3枚準備する。3枚の画像の撮影領域はそれぞれ異なる。撮影箇所は任意に設定することができる。該画像に対して上記(C1)の手順に従い二値化処理を行う。3枚の二値化処理後の各画像中に縦25.3 μm ×幅17.6 μm の矩形の測定視野を設定する。3つの測定視野中の全ての炭化タングステン粒子のそれぞれについて、円相当径(Heywood径:等面積円相当径)を測定する。

【0060】

(B3) 3つの測定視野で測定された全ての炭化タングステン粒子の円相当径に基づき、度数を縦軸とし、階級を横軸とするヒストグラムを作成する。度数は、全ての炭化タングステン粒子に対する各階級に属する炭化タングステン粒子の個数基準の百分率を示し、階級は、炭化タングステン粒子の円相当径を示し、かつ、階級の幅は0.1 μm である。各階級の幅は、(0.1×n) μm 超{0.1×(n+1)} μm 以下(ここで、nは0以上の整数である)で示される。

10

【0061】

出願人が測定した限りでは、同一の試料において測定する限りにおいては、上記測定を、測定視野の選択箇所を変更して複数回行っても、測定結果のばらつきは少なく、任意に測定視野を設定しても恣意的にはならないことが確認された。

【0062】

本明細書において、最大度数Fmaxとは、上記ヒストグラムにおいて、円相当径が0.3 μm 超1.3 μm 以下の第1範囲での最大度数である。本明細書において、最小度数Fminは、上記ヒストグラムにおいて、円相当径が0.3 μm 超1.3 μm 以下の第1範囲での最小度数である。

20

【0063】

上記(a)～(d)について、図3及び図4を用いて説明する。図3は、本実施形態の超硬合金中の炭化タングステン粒子の円相当径の分布の一例を示すヒストグラムである。具体的には、下記の実施例の試料8の超硬合金中の炭化タングステン粒子の円相当径の分布を示すヒストグラムである。図4は、本実施形態の超硬合金に該当しない(比較例に相当する)超硬合金中の炭化タングステン粒子の円相当径の分布の一例を示すヒストグラムである。具体的には、下記の実施例の試料15の超硬合金中の炭化タングステン粒子の円相当径の分布を示すヒストグラムである。図3及び図4では、横軸は円相当径を昇順に0.1 μm 間隔で区切った階級を示し、縦軸は全炭化タングステン粒子に対する各階級に属する炭化タングステン粒子の個数基準の百分率(%)を示す。

30

【0064】

図3及び図4において、「C～D」という形式の表記は、C超D以下を意味する。具体的には、図3及び図4の横軸の「0～0.1」という表記は、0 μm 超0.1 μm 以下を意味し、「0.1～0.2」という表記は、0.1 μm 超0.2 μm 以下を意味する。

【0065】

(図3)

図3では、炭化タングステン粒子全体に対する、円相当径が0.3 μm 以下である第1炭化タングステン粒子の個数基準の割合は13%以下(約8.4%)である。従って、図3で示される炭化タングステン粒子の円相当径の分布は、上記(a)を満たす。

40

【0066】

図3では、炭化タングステン粒子全体に対する、円相当径が1.3 μm 超である第2炭化タングステン粒子の個数基準の割合は12%以下(約9.9%)である。従って、図3で示される炭化タングステン粒子の円相当径の分布は、上記(b)を満たす。

【0067】

図3では、ヒストグラムの第1範囲(円相当径が0.3 μm 超1.3 μm 以下の範囲)において、最小度数Fmin(階級1.2 μm 超1.3 μm 以下での度数約3.2%)に対する最大度数Fmax(円相当径が0.5 μm 超0.6 μm 以下での度数約12.8%)の

50

割合である $F_{\max}/F_{\min}$ は 7.0 以下 ($F_{\max}/F_{\min}$ = 約 4.0) である。従って、図 3 で示される炭化タングステン粒子の円相当径の分布は、上記 (c) を満たす。

【0068】

図 3 では、最大度数 $F_{\max}$ (約 12.8%) と、最大度数 $F_{\max}$ に対応する階級 (円相当径が 0.5 μm 超 0.6 μm 以下) より一つ小さい階級 (円相当径が 0.4 μm 超 0.5 μm 以下) の度数 F_a (約 11.5%) との差が 2.5% 以下 (約 1.3%) であり、最大度数 $F_{\max}$ と、最大度数 $F_{\max}$ より一つ大きい階級 (円相当径が 0.6 μm 超 0.7 μm 以下) の度数 F_b (約 10.8%) との差が 2.5% 以下 (約 2.0%) である。従って、図 3 で示される炭化タングステン粒子の円相当径の分布は、上記 (d) を満たす。

【0069】

(図 4)

図 4 では、炭化タングステン粒子全体に対する、円相当径が 0.3 μm 以下である第 1 炭化タングステン粒子の個数基準の割合は 13% 以下 (約 3.4%) である。従って、図 4 で示される炭化タングステン粒子の円相当径の分布は、上記 (a) を満たす。

【0070】

図 4 では、炭化タングステン粒子全体に対する、円相当径が 1.3 μm 超である第 2 炭化タングステン粒子の個数基準の割合は 12% 以下 (約 3.1%) である。従って、図 4 で示される炭化タングステン粒子の円相当径の分布は、上記 (b) を満たす。

【0071】

図 4 では、ヒストグラムの第 1 範囲 (円相当径が 0.3 μm 超 1.3 μm 以下の範囲) において、最小度数 $F_{\min}$ (階級 1.2 μm 超 1.3 μm 以下の度数 2.1%) に対する最大度数 $F_{\max}$ (階級 0.5 μm 超 0.6 μm 以下の度数 約 17.1%) の割合である $F_{\max}/F_{\min}$ は、7.0 超 (約 8.1) である。従って、図 4 で示される炭化タングステン粒子の円相当径の分布は、上記 (c) を満たさない。

【0072】

<第 2 相>

第 2 相は、コバルトを含む。第 2 相は、第 1 相を構成する炭化タングステン粒子同士を結合させる結合相である。

【0073】

本明細書において、「第 2 相はコバルト (Co) を含む」とは、第 2 相の主成分が Co であることを意味する。「第 2 相の主成分が Co である」とは、第 2 相のコバルト含有率が 80 質量%以上 100 質量%以下であることを意味する。第 2 相のコバルト含有率は、ICP 発光分光分析法 (使用機器: 島津製作所製「ICPS-8100」(商標)) により測定することができる。

【0074】

第 2 相は、コバルトに加えて、鉄 (Fe)、ニッケル (Ni)、合金中の溶解物 (クロム (Cr)、タングステン (W)、バナジウム (V) 等) を含むことができる。第 2 相は、コバルトと、鉄、ニッケル、クロム、タングステン及びバナジウムからなる群より選ばれる少なくとも 1 種と、からなることができる。第 2 相は、コバルトと、鉄、ニッケル、クロム、タングステン及びバナジウムからなる群より選ばれる少なくとも 1 種と、不可避不純物と、からなることができる。該不可避不純物としては、例えば、マンガン (Mn)、マグネシウム (Mg)、カルシウム (Ca)、モリブデン (Mo)、硫黄 (S)、チタン (Ti)、アルミニウム (Al) などが挙げられる。

【0075】

<超硬合金の組成>

<<第 1 相及び第 2 相の含有率>>

超硬合金は、複数の炭化タングステン粒子からなる第 1 相と、コバルトを含む第 2 相と、からなる。すなわち、超硬合金の第 1 相及び第 2 相の合計含有率は、100 体積%である。該超硬合金は、第 1 相を 78 体積%以上 100 体積%未満、かつ、第 2 相を 0 体積%超 22 体積%以下含む。これによると、プリント回路基板の加工に対して必要な硬度と耐

10

20

30

40

50

摩耗性が発揮され、工具寿命のばらつきの発生を抑制することができる。

【0076】

超合金の第1相の含有率が78体積%以上であると、超合金の硬度が向上する。超合金の第1相の含有率の下限は、78体積%以上であり、88体積%以上が好ましく、88.5体積%以上がより好ましく、89体積%以上が更に好ましい。超合金中の第1相の含有率の上限は、100体積%未満であり、耐折損性向上の観点から、95体積%以下が好ましく、93体積%以下がより好ましく、91体積%以下が更に好ましい。超合金の第1相の含有率は、78体積%以上100体積%未満であり、88体積%以上95体積%以下が好ましく、88.5体積%以上93体積%以下がより好ましく、89体積%以上91体積%以下が更に好ましい。

10

【0077】

超合金の第2相の含有率が22体積%以下であると、超合金の硬度が向上する。超合金の第2相の含有率の下限は、0体積%超であり、耐折損性向上の観点から、1体積%以上が好ましく、5体積%以上が好ましく、7体積%以上がより好ましく、9体積%以上が更に好ましい。超合金の第2相の含有率の上限は、22体積%以下であり、12体積%以下が好ましく、11.5体積%以下がより好ましく、11体積%以下が更に好ましい。超合金の第2相の含有率は、0体積%超22体積%以下であり、1体積%以上22体積%以下が好ましく、1体積%以上12体積%以下が好ましく、5体積%以上12体積%以下が好ましく、7体積%以上11.5体積%以下がより好ましく、9体積%以上11体積%以下が更に好ましい。

20

【0078】

超合金の第1相の含有率は88体積%以上95体積%以下であり、第2相の含有率は5体積%以上12体積%以下であることが好ましい。超合金の第1相の含有率は88.5体積%以上93体積%以下であり、第2相の含有率は7体積%以上11.5体積%以下であることがより好ましい。超合金の第1相の含有率は89体積%以上91体積%以下であり、第2相の含有率は9体積%以上11体積%以下であることが更に好ましい。

【0079】

本明細書において、「超合金は、第1相と第2相とからなる」とは、本開示の効果を示す限り、超合金が、第1相及び第2相に加えて、その他の相及び／又は不可避不純物を含むことができることを意味する。その他の相を構成する成分としては、例えば、超合金の製造工程において、粒成長抑制剤として添加される Cr_3C_2 やVCに由来するクロム(Cr)、バナジウム(V)、炭素(C)の濃化相が挙げられる。該不可避不純物としては、例えば、鉄、モリブデン、硫黄が挙げられる。

30

【0080】

超合金の第1相及び第2相のそれぞれの含有率は、下記(A4)～(B4)の手順で測定される。

【0081】

(A4) 上記WC粒子の円相当径の平均値の測定方法の(A1)及び(B1)の手順に従い、超合金を走査型電子顕微鏡で撮像する。該撮影画像を3枚準備する。3枚の画像の撮影領域は、それぞれ異なる。撮影箇所は任意に設定することができる。該画像に対して上記(C1)の手順に従い二値化処理を行う。3枚の二値化処理後の各画像中に縦25.3 μm ×幅17.6 μm の矩形の測定視野を設定する。3つの測定視野のそれぞれにおいて、測定視野の全体を分母として第1相及び第2相のそれぞれの面積%を測定する。

40

【0082】

(B4) 本明細書において、3つの測定視野で得られた第1相の面積%の平均を、超合金の第1相の含有率(体積%)とする。本明細書において、3つの測定視野で得られた第2相の面積%の平均を、超合金の第2相の含有率(体積%)とする。

【0083】

出願人が測定した限りでは、同一の試料において測定する限りにおいては、上記測定を測定視野の選択箇所を変更して複数回行っても、測定結果のばらつきは少なく、任意に測

50

定視野を設定しても恣意的にはならないことが確認された。

【0084】

＜コバルト含有率＞

本実施形態の超硬合金のコバルト含有率は0質量%超10質量%以下である。これによると、超硬合金は高い硬度を有し、優れた耐摩耗性を有することができる。

【0085】

超硬合金のコバルト含有率の上限は、9質量%以下、8質量%以下が好ましい。超硬合金のコバルト含有率の下限は、1質量%以上、2質量%以上が好ましい。超硬合金のコバルト含有率は、0質量%超9質量%以下、0質量%超8質量%以下、1質量%以上9質量%以下、2質量%以上8質量%以下が好ましい。

10

【0086】

超硬合金中のコバルトの含有量は、ICP発光分光分析法により測定される。

【0087】

＜クロム含有率＞

本実施形態の超硬合金はクロム(Cr)を含み、該超硬合金のクロム含有率は、0.15質量%以上1.00質量%以下であることが好ましい。クロムは炭化タングステン粒子の粒成長抑制作用を有する。超硬合金のクロム含有率が0.15質量%以上1.00質量%以下の場合、得られた超硬合金中に、原料の微粒炭化タングステン粒子がそのまま残存することを効果的に抑制でき、かつ、粗大粒の発生を効果的に抑制でき、工具寿命が向上する。

20

【0088】

超硬合金のクロム含有率の上限は、0.95質量%以下、0.90質量%以下が好ましい。超硬合金のクロム含有率の下限は、0.20質量%以上、0.25質量%以上が好ましい。超硬合金のクロム含有率は、0.20質量%以上0.95質量%以下、0.25質量%以上0.90質量%以下が好ましい。

【0089】

超硬合金のクロム含有率は、ICP発光分光分析法により測定される。

【0090】

＜コバルトに対するクロムの質量基準の百分率＞

本実施形態の超硬合金において、コバルトに対するクロムの質量基準の百分率は5%以上10%以下が好ましい。クロムは炭化タングステン粒子の粒成長抑制作用を有する。更に、コバルト中に固溶することにより、コバルトの格子歪みの発生を促進する。よって、超硬合金がクロムを上記の含有率で含むと、耐折損性が更に向上する。

30

【0091】

一方、クロムの量が過剰であると、クロムが炭化物として析出し、破損の起点となる場合がある。コバルトに対するクロムの質量基準の百分率が5%以上10%以下であると、クロムの炭化物の析出が発生しにくく、耐折損性の向上効果を得ることができる。

【0092】

また、コバルトに対するクロムの質量基準の百分率が10%以下であると、粒成長抑制作用の程度が適度となり、超硬合金中の円相当径が1.3μm超の炭化タングステン粒子の量が過剰になるのを抑制することができる。

40

【0093】

コバルトに対するクロムの質量基準の百分率の下限は、5%以上が好ましく、7%以上がより好ましい。コバルトに対するクロムの質量基準の百分率は、10%以下が好ましく、9%以下がより好ましい。コバルトに対するクロムの質量基準の百分率は5%以上10%以下、7%以上9%以下とすることができる。

【0094】

＜バナジウム含有率＞

本実施形態の超硬合金のバナジウムの質量基準の含有率は0ppm以上2000ppm未満であることが好ましい。すなわち、本開示の超硬合金は、(a)バナジウムを含まな

50

い、又は、(b) バナジウムを含む場合はバナジウムの質量基準の含有率は2000ppm未満であることが好ましい。

【0095】

バナジウムは粒成長抑制作用を有するため、従来の超微粒超硬合金の製造時に用いられていた。しかし、粒成長抑制のためにバナジウムを添加すると、得られた超硬合金中に、原料として用いられる微粒炭化タングステン粒子がそのまま残存してしまう傾向があった。

【0096】

本発明者等は製造条件を鋭意検討した結果、バナジウムを添加しない場合、又は、微量のバナジウムを添加する場合においても、得られた超硬合金中に、原料の微粒炭化タングステン粒子が残存することを効果的に抑制でき、かつ、粗大粒の発生を効果的に抑制できる製造条件を新たに知見した。製造条件の詳細については後述する。

【0097】

超硬合金のバナジウムの含有率の上限は、2000ppm未満であり、1900ppm以下、1200ppm以下、1000ppm以下、500ppm以下、100ppm未満が好ましい。超硬合金のバナジウムの含有率は少ないほど好ましいため、その下限は0ppmである。超硬合金のバナジウムの含有率は、0ppm以上2000ppm未満、0ppm以上1900ppm以下、0ppm以上1200ppm以下、0ppm以上1000ppm以下、0ppm以上500ppm以下、0ppm以上100ppm未満とすることができる。

【0098】

超硬合金のバナジウムの含有率は、ICP発光分光分析法により測定される。

【0099】

<超硬合金の製造方法>

超硬合金に含まれるWC粒子の円相当径を不均一にする方法として、原料として平均粒径の異なる2種類のWC粉末を用いることが考えられる。また、超硬合金に含まれるWC粒子において、円相当径が0.3μm以下である第1炭化タングステン粒子の個数基準の百分率を13%以下とするためには、粒成長を促進する条件で焼結を行うことが考えられる。具体的には、粒成長抑制剤を使用しないことや、高温で焼結を行うこと等が考えられる。

【0100】

しかし、平均粒径の異なる2種類のWC粉末を用いて、粒成長を促進する条件で焼結を行うと、原料粉末中のWC粒子の粒径が異なっても、焼結時の粒成長により全体的に粒子が粗大化し、得られた超硬合金においてWC粒子の粒径が均一になるという課題があった。本発明者等は、本実施形態の超硬合金を得るための製造条件を鋭意検討の結果、最適な製造条件を新たに見出した。本実施形態の超硬合金の製造方法の詳細について、以下に説明する。

【0101】

本実施形態の超硬合金は、代表的には、原料粉末の準備工程、混合工程、成形工程、焼結工程、冷却工程を前記の順で行うことにより製造することができる。以下、各工程について説明する。

【0102】

<<準備工程>>

準備工程は、超硬合金を構成する材料の全ての原料粉末を準備する工程である。原料粉末としては、第1相の原料である炭化タングステン粉末、第2相の原料であるコバルト(Co)粉末が必須の原料粉末として挙げられる。また、必要に応じて、粒成長抑制剤として、炭化クロム(Cr₃C₂)粉末を準備することができる。炭化タングステン粉末、コバルト粉末、炭化クロム粉末は、市販のものを用いることができる。

【0103】

炭化タングステン粉末としては、粒径が不均一な炭化タングステン粉末(以下、「WC粉末」とも記す。)を準備する。但し、WC粉末中に、WC粉末の平均粒径との差が大き

10

20

30

40

50

い粒径を有する超微細WC粒子が多く含まれている場合、焼結に伴う粒成長により全体的に粒子が粗大化し、超硬合金において、WC粒子の粒径が均一になる可能性がある。よって、WC粉末としては、粒径が狭い範囲（粒径 $0.6\mu\text{m}$ 以上 $1.4\mu\text{m}$ 以下の範囲）では不均一であるが、粒径 $0.2\mu\text{m}$ 未満の超微細WC粒子をほとんど含まないものを採用する。具体的には、平均粒径が $0.7\sim 1.3\mu\text{m}$ であり、粒径の分布が、その30%体積粒子径 d_{30} と、その70%体積粒子径 d_{70} との比 d_{30}/d_{70} が0.7以下であり、5%体積粒子径 d_5 が $0.5\mu\text{m}$ 以上であるWC粉末を準備する。平均粒径が $0.7\sim 1.3\mu\text{m}$ であり、比 d_{30}/d_{70} が0.7以下であるWC粉末は、粒径が狭い範囲（粒径 $0.6\mu\text{m}$ 以上 $1.4\mu\text{m}$ 以下の範囲）で不均一である。また、 d_5 が $0.5\mu\text{m}$ 以上であるWC粉末は、粒径 $0.2\mu\text{m}$ 未満の超微細WC粒子をほとんど含まない。

10

【0104】

本明細書において、原料粉末の平均粒径とは、FSSS (Fisher Sub-Sieve Sizer) 法により測定される平均粒径を意味する。該平均粒径は、Fisher Scientific社製の「Sub-Sieve Sizer モデル95」(商標)を用いて測定される。WC粉末に含まれる各WC粒子の粒径、及び、WC粉末の粒径の分布は、マイクロトラック社製の粒度分布測定装置(商品名:MT3300EX)を用いて測定される。

【0105】

コバルト粉末の平均粒径は、 $0.5\mu\text{m}$ 以上 $1.5\mu\text{m}$ 以下とすることができる。炭化クロム粉末の平均粒径は、 $1.0\mu\text{m}$ 以上 $2.0\mu\text{m}$ 以下とすることができる。これらの平均粒径は、Fisher Scientific社製の「Sub-Sieve Sizer モデル95」(商標)を用いて測定される。

20

【0106】

本実施形態の超硬合金の製造方法では、従来の微粒超硬合金の製造時に一般的に用いられている粒成長抑制効果の高い炭化バナジウム(VC)粉末は用いない、又は、用いたとしても微量(例えば、原料粉末中の質量基準の含有率は2000ppm未満)である。原料粉末にバナジウムを多量に添加すると、得られた超硬合金中に、原料中の微粒炭化タングステン粒子(粒径 $0.1\sim 0.3\mu\text{m}$)がそのまま残存してしまう。本実施形態では、炭化バナジウム(VC)粉末は用いない、又は、用いたとしても微量であるため、得られた超硬合金において、微粒WC粒子の残存を抑制することができる。

30

【0107】

＜混合工程＞

混合工程は、準備工程で準備した各原料粉末を混合する工程である。混合工程により、各原料粉末が混合された混合粉末が得られる。混合粉末の各原料粉末の含有率は、超硬合金の第1相、第2相などの各成分の含有率を考慮して、適宜調整される。

【0108】

混合粉末の炭化タングステン粉末の含有率は、例えば、88.60質量%以上99.83質量%未満とすることができる。

【0109】

混合粉末のコバルト粉末の含有率は、例えば、0質量%超10質量%以下とすることができる。

40

【0110】

混合粉末の炭化クロム粉末の含有率は、例えば、0.17質量%以上1.15質量%以下とすることができる。

【0111】

混合方法としては、混合後の混合粉末において、WC粉末の粒径が不均一な状態を維持できる方法を用いる。具体的には、ボールミルを用いる。該ボールミルによる混合方法では、WC粉末中の各WC粒子の粉砕を抑制することができる。混合時間は、例えば、15～36時間とすることができる。

【0112】

50

粉碎力が強い混合方法（例えば、アトライタ）を用いると、原料のWC粉末の粒径が不均一であっても、混合によりWC粒子全体が微細に粉碎され、混合後のWC粉末の粒径が微細かつ均一になってしまう。よって、本実施形態の製造方法では、粉碎力が強い混合方法は採用しない。

【0113】

混合工程の後、必要に応じて混合粉末を造粒してもよい。混合粉末を造粒することで、後述する成形工程の際にダイ又は金型へ混合粉末を充填し易い。造粒には、公知の造粒方法が適用でき、例えば、スプレードライヤー等の市販の造粒機を用いることができる。

【0114】

＜成形工程＞

成形工程は、混合工程で得られた混合粉末を所定の形状に成形して、成形体を得る工程である。成形工程における成形方法及び成形条件は、一般的な方法及び条件を採用すればよく、特に問わない。所定の形状としては、例えば、切削工具形状（例えば、小径ドリルの形状）とすることが挙げられる。

【0115】

＜焼結工程＞

焼結工程は、成形工程で得られた成形体を焼結して、超硬合金を得る工程である。本開示の超硬合金の製造方法においては、焼結温度は1350～1450℃とすることができる。これによると、超硬合金中のWC粒子の円相当径を不均一とすることができる。また、粗大WC粒子の発生が抑制される。また、得られた超硬合金中の微粒炭化タングステン粒子の含有率を低減することができる。

【0116】

焼結温度が1350℃未満であると、粒成長が抑制され、得られた超硬合金中の微粒炭化タングステン粒子の含有率が増加する傾向がある。一方、焼結温度が1450℃を超えると、異常粒成長が生じ易い傾向がある。

【0117】

＜冷却工程＞

冷却工程は、焼結完了後の超硬合金を冷却する工程である。冷却条件は一般的な条件を採用すればよく、特に問わない。

【0118】

〔実施形態2：切削工具〕

本実施形態の切削工具は、実施形態1の超硬合金からなる刃先を含む。本明細書において、刃先とは、切削に関与する部分を意味し、超硬合金において、その刃先稜線と、該刃先稜線から超硬合金側へ、該刃先稜線の接線の垂線に沿う距離が2mmである仮想の面と、に囲まれる領域を意味する。

【0119】

切削工具としては、例えば、切削バイト、ドリル、エンドミル、フライス加工用刃先交換型切削チップ、旋削加工用刃先交換型切削チップ、メタルソー、歯切り工具、リーマ又はタップ等を例示できる。特に、本実施形態の切削工具は、図5に示される、プリント回路基板加工用の小径ドリル10の場合に、優れた効果を発揮することができる。図5に示される小径ドリル10の刃先1は、実施形態1の超硬合金からなる。

【0120】

本実施形態の超硬合金は、これらの工具の全体を構成していてもよいし、一部を構成するものであってもよい。ここで「一部を構成する」とは、任意の基材の所定位置に本実施形態の超硬合金をロウ付けして刃先部とする態様等を示している。

【0121】

＜硬質膜＞

本実施形態に係る切削工具は、超硬合金からなる基材の表面の少なくとも一部を被覆する硬質膜を更に備えてもよい。硬質膜としては、例えば、ダイヤモンドライクカーボンやダイヤモンドを用いることができる。

【0122】

〔付記1〕

本開示の超硬合金の第1相及び第2相の合計含有率は100体積%が好ましい。

本開示の超硬合金は、第1相と、第2相と、その他の相及び可避不純物の一方又は両方とからなることが好ましい。

本開示の超硬合金は、第1相、第2相及び不可避不純物からなることが好ましい。

【0123】

〔付記2〕

本開示の超硬合金において、上記Fmax/Fminは、6.0以下が好ましい。

本開示の超硬合金において、上記Fmax/Fminは、5.0以下が好ましい。

本開示の超硬合金において、上記Fmax/Fminは、2.0以上7.0以下が好ましい。

本開示の超硬合金において、上記Fmax/Fminは、2.0以上6.0以下が好ましい。

本開示の超硬合金において、上記Fmax/Fminは、2.0以上5.0以下が好ましい。

【0124】

〔付記3〕

本開示の超硬合金のコバルト含有率は、0質量%超10.0質量%以下が好ましい。

本開示の超硬合金のコバルト含有率は、0質量%超9.0質量%以下が好ましい。

本開示の超硬合金のコバルト含有率は、0質量%超8.0質量%以下が好ましい。

本開示の超硬合金のコバルト含有率は、1.0質量%超9.0質量%以下が好ましい。

本開示の超硬合金のコバルト含有率は、2.0質量%超8.0質量%以下が好ましい。

【0125】

〔付記4〕

本開示の超硬合金において、コバルトに対する前記クロムの質量基準の百分率は、5.0%以上10.0%以下が好ましい。

本開示の超硬合金において、コバルトに対する前記クロムの質量基準の百分率は、7.0%以上9.0%以下が好ましい。

【実施例】

【0126】

本実施の形態を実施例によりさらに具体的に説明する。ただし、これらの実施例により本実施の形態が限定されるものではない。

【0127】

本実施例では、原料粉末の種類及び配合比を変更して試料1～試料15の超硬合金を作製した。該超硬合金からなる刃先を備える小径ドリルを作製し、その評価を行った。

【0128】

＜試料の作製＞

＜準備工程＞

原料粉末として、表1の「原料」欄に示す組成の粉末を準備した。炭化タングステン（WC）粉末は、平均粒径及び粒径の分布の異なるものを複数準備した。WC粉末の平均粒径、及び分布を示すd30/d70、d5は、それぞれ表1の「原料」の「WC粉末」の「平均粒径（μm）」、「d30/d70」、「d5（μm）」欄に示される通りである。

【0129】

コバルト（Co）粉末の平均粒径は1μmであり、炭化クロム（Cr₃C₂）粉末の平均粒径は1μmであり、炭化バナジウム（VC）粉末の平均粒径は0.8μmである。Co粉末、Cr₃C₂粉末及びVC粉末は市販品である。

【0130】

＜混合工程＞

各原料粉末を表1の「原料」の「質量%」に示される配合量で混合し、混合粉末を作製した。表1の「原料」欄の「質量%」とは、原料粉末の合計質量に対する、各原料粉末の割合を示す。混合はボールミルで15時間行った。得られた混合粉末をスプレードライ乾燥して造粒粉末とした。

【0131】

《成形工程》

得られた造粒粉末をプレス成形して、 $\phi 3.4$ mmの丸棒形状の成形体を作製した。

【0132】

《焼結工程》

成形体を焼結炉に入れ、真空中、表1の「焼結温度／時間」欄に示される温度及び時間で焼結した。例えば、試料1では、真空中、 1420°C で1時間維持して焼結した。

【0133】

《冷却工程》

焼結完了後、アルゴン（Ar）ガス雰囲気中、徐冷して、超硬合金を得た。

10

【0134】

20

30

40

50

【表 1】

Table 1

試料 No.	原料							混合方法/時間	焼結温度/時間
	WC 粒子			Co 粉末 質量%	Cr ₃ C ₂ 粉末 質量%	VC 粉末 質量%			
	平均粒径 (μm)	d30/d70	d5 (μm)				質量%		
1	0.9	0.6	0.7	89.54	10	0.46	0	ボールミル/15時間	1420°C/1時間
2	0.9	0.6	0.7	98.31	1	0.46	0.23	ボールミル/15時間	1420°C/1時間
3	0.7	0.5	0.5	94.83	5	0.17	0	ボールミル/15時間	1420°C/1時間
4	1.3	0.6	1.0	93.85	5	1.15	0	ボールミル/15時間	1420°C/1時間
5	0.8	0.5	0.6	94.56	5	0.29	0.15	ボールミル/15時間	1450°C/1時間
6	0.9	0.7	0.8	94.42	5	0.58	0	ボールミル/15時間	1420°C/1時間
7	0.8	0.7	0.7	94.54	5	0.46	0	ボールミル/15時間	1450°C/1時間
8	0.9	0.4	0.7	94.54	5	0.46	0	ボールミル/15時間	1420°C/1時間
9	0.9	0.6	0.7	97.04	2.5	0.46	0	ボールミル/15時間	1420°C/1時間
10	0.9	0.6	0.7	94.04	5.5	0.46	0	ボールミル/15時間	1420°C/1時間
11	0.9	0.6	0.7	97.04	2.5	0.46	0	ボールミル/15時間	1420°C/1時間
12	0.9	0.6	0.7	100.00	0	0	0	ボールミル/15時間	1420°C/1時間
13	0.6	0.5	0.4	94.54	5	0.46	0	ボールミル/15時間	1420°C/1時間
14	1.4	0.7	1.3	94.54	5	0.46	0	ボールミル/15時間	1420°C/1時間
15	0.9	0.8	0.5	94.54	5	0.46	0	ボールミル/15時間	1420°C/1時間

【0135】

<評価>

各試料の超硬合金について、第1相及び第2相の含有率、WC粒子の平均粒径、第1WC粒子の含有率、第2WC粒子の含有率、Fmin、Fmax、Fmax/Fmin、Fmax-Fa、Fmax-Fb、コバルト含有率、クロム含有率、コバルトに対するクロムの質量基準の百分率、バナジウム含有率を測定した。

【0136】

<<第1相及び第2相の含有率>>

各試料の超硬合金について、第1相及び第2相の含有率を測定した。具体的な測定方法は、実施形態1に記載されているため、その説明は繰り返さない。結果を表2の「超硬合

10

20

30

40

50

金」の「第1相（体積％）」及び「第2相（体積％）」欄に示す。

【0137】

＜WC粒子の平均粒径＞

各試料の超硬合金について、WC粒子の平均粒径を測定した。具体的な測定方法は、実施形態1に記載されているため、その説明は繰り返さない。結果を表1の「超硬合金」の「WC粒子」の「平均粒径（ μm ）」欄に示す。

【0138】

＜第1WC粒子の含有率、第2WC粒子の含有率、 $F_{\min}$ 、 $F_{\max}$ 、 $F_{\max}/F_{\min}$ 、 $F_{\max}-F_a$ 、 $F_{\max}-F_b$ ＞

各試料の超硬合金について、炭化タングステン粒子の円相当径の分布を測定し、第1WC粒子の含有率、第2WC粒子の含有率、 $F_{\min}$ 、 $F_{\max}$ 、 $F_{\max}/F_{\min}$ 、 $F_{\max}-F_a$ 、 $F_{\max}-F_b$ を求めた。具体的な測定方法及び算出方法は、実施形態1に記載されているため、その説明は繰り返さない。結果をそれぞれ表2の「超硬合金」の「WC粒子」の「第1WC粒子（％）」、「第2WC粒子（％）」、「 $F_{\min}$ （％）」、「 $F_{\max}$ （％）」、「 $F_{\max}/F_{\min}$ 」、「 $F_{\max}-F_a$ （％）」、「 $F_{\max}-F_b$ （％）」欄に示す。

【0139】

＜コバルト含有率、クロム含有率、コバルトに対するクロムの質量基準の百分率、バナジウム含有率＞

各試料の超硬合金について、コバルト含有率、クロム含有率、コバルトに対するクロムの質量基準の百分率、バナジウム含有率を測定した。具体的な測定方法は、実施形態1に記載されているため、その説明は繰り返さない。結果を表2の「超硬合金」の「Co（質量％）」、「Cr（質量％）」、「Cr/Co（％）」及び「V（ppm）」欄に示す。

【0140】

＜切削試験＞

各試料の丸棒を加工し、刃径 $\phi 0.35\text{mm}$ の小径ドリル（プリント回路基板加工用回転工具）を作製した。現在、刃部のみをステンレスシャंकに圧入してドリルを成形することが主流であるが、評価のために $\phi 3.4\text{mm}$ の丸棒の先端を刃付け加工することでドリルの作製を行った。該ドリルを用いて市販の車載用プリント回線基板の穴開け加工を行った。穴開け加工の条件は、回転数 100krpm 、送り速度 1.9m/min とした。4000個の穴あけを行った後の加工精度を測定した。具体的には、光学系の測定装置を用い、基板の裏側の穴あけ位置と、元々予定していた穴あけ位置のずれ量を各穴でそれぞれ測定し、そのずれ量の平均値 ave （単位 μm ）と標準偏差 σ （単位 μm ）を測定した。該平均値 ave と標準偏差 σ とに基づき、「 $ave+3\sigma$ 」の値を算出した。該「 $ave+3\sigma$ 」の値を加工精度の指標とした。加工精度（ $ave+3\sigma$ ）の値が小さいほどドリルの加工精度が優れていることを示す。

【0141】

3本のドリルで穴開け加工を行った。3本のドリルの加工精度（ $ave+3\sigma$ ）の平均値を表2の「切削試験」の「加工精度 $ave+3\sigma$ 」欄に示す。「加工精度 $ave+3\sigma$ 」欄に「折損」と記載されている場合は、3本のドリル全てにおいて、4000個の穴開け終了前に折損が生じたことを示す。

【0142】

10

20

30

40

50

【表 2】

Table 2

超硬合金																	切削 試験
試料 No	第 1 相	第 2 相	WC 粒子										Co	Cr	Cr/Co	V	加工 精度 ave+3 σ μm
	体積%	体積%	平均 粒徑	第 1WC 粒子	第 2WC 粒子	Fmin	Fmax	Fmax/Fmin		Fmax-Fa		Fmax-Fb	質量%	質量%	%	ppm	
			μm	%	%	%	%	%	%	%							
1	78.0	22.0	0.8	8.5	10.2	2.9	15.1	5.2	1.5	2.1	10.0	0.40	4.0	0	70.8		
2	99.0	1.0	0.55	11.9	7.8	3.3	13.5	4.1	1.1	2.2	1.0	0.40	40.0	1900	50.8		
3	89.4	10.6	0.5	10.4	9.8	2.5	14.8	5.9	1.5	2.2	5.0	0.15	3.0	0	62.9		
4	88.8	11.2	1.2	5.1	11.9	3.4	13.8	4.1	2.1	1.5	5.0	1.00	20.0	0	50.3		
5	89.6	10.4	0.6	13.0	12.0	3.0	14.0	4.7	1.7	2.0	5.0	0.25	5.0	0	63.5		
6	89.9	10.1	0.7	4.0	4.0	2.3	13.7	6.0	2.2	2.4	5.0	0.50	10.0	0	57.1		
7	89.8	10.2	0.7	5.4	8.1	2.1	14.7	7.0	2.3	2.5	5.0	0.40	8.0	0	60.7		
8	89.8	10.2	0.7	8.4	9.9	3.2	12.8	4.0	1.3	2.0	5.0	0.40	8.0	0	48.8		
9	95.0	5.0	0.6	11.0	8.2	3.2	13.3	4.2	1.2	2.3	2.5	0.40	16.0	0	53.9		
10	88.0	12.0	0.6	10.1	8.9	3.0	13.0	4.3	1.2	2.3	5.5	0.40	7.3	0	54.1		
11	75.0	25.0	0.8	8.1	12.5	2.2	15.6	7.1	2.4	2.6	2.5	0.40	16.0	0	74.7		
12	100.0	0.0	0.6	12.2	7.4	3.5	13.3	3.8	1.0	1.9	0.0	0.00	—	0	折損		
13	89.8	10.2	0.4	18.0	11.8	2.8	14.7	5.3	1.0	2.3	5.0	0.40	8.0	0	71.1		
14	89.9	10.1	1.3	3.9	14.6	3.4	13.7	4.0	2.4	1.2	5.0	0.40	8.0	0	折損		
15	89.8	10.2	0.7	3.4	3.1	2.1	17.1	8.1	1.9	2.9	5.0	0.40	8.0	0	71.0		

【0143】

＜考察＞

試料 1 ～試料 10 の超硬合金及びドリルは、実施例に該当する。試料 11 ～試料 15 の超硬合金及びドリルは比較例に該当する。試料 1 ～試料 10（実施例）のドリルは、試料 11 ～試料 15 のドリルに比べて、加工精度が優れていることが確認された。

【0144】

以上のように本開示の実施の形態および実施例について説明を行なったが、上述の各実施の形態および実施例の構成を適宜組み合わせたり、様々に変形することも当初から予定している。

今回開示された実施の形態および実施例はすべての点で例示であって、制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した実施の形態および実施例ではなく請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味、および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【符号の説明】

【 0 1 4 5 】

1 刃先

1 0 小径ドリル

10

20

30

40

50

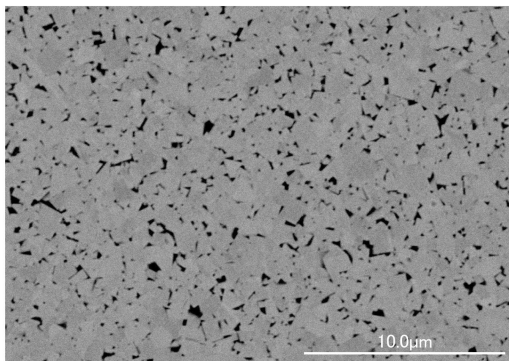
【要約】

複数の炭化タングステン粒子からなる第1相と、コバルトを含む第2相と、を備える超硬合金であって、前記超硬合金は、前記第1相を78体積%以上100体積%未満、かつ、前記第2相を0体積%超22体積%以下含み、前記炭化タングステン粒子の円相当径の平均値は、0.5 μm 以上1.2 μm 以下であり、前記炭化タングステン粒子は、円相当径が0.3 μm 以下である第1炭化タングステン粒子を個数基準で13%以下含み、前記炭化タングステン粒子は、円相当径が1.3 μm 超である第2炭化タングステン粒子を個数基準で12%以下含み、前記炭化タングステン粒子の円相当径の分布を示すヒストグラムにおいて、最小度数Fminに対する最大度数Fmaxの割合であるFmax/Fminは7.0以下であり、前記ヒストグラムの横軸の階級は、前記炭化タングステン粒子の円相当径を示し、かつ、前記階級の幅は0.1 μm であり、前記ヒストグラムの縦軸の度数は、全ての前記炭化タングステン粒子に対する各階級に属する前記炭化タングステン粒子の個数基準の百分率を示し、前記最大度数Fmaxは、円相当径が0.3 μm 超1.3 μm 以下の第1範囲での最大度数であり、前記最小度数Fminは、前記第1範囲での最小度数であり、前記超硬合金のコバルト含有率は、0質量%超10質量%以下である。

【図面】

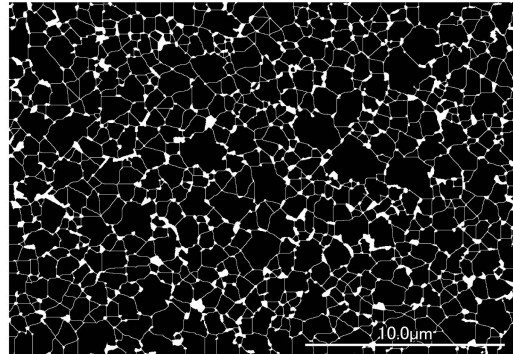
【図1】

FIG.1



【図2】

FIG.2



10

20

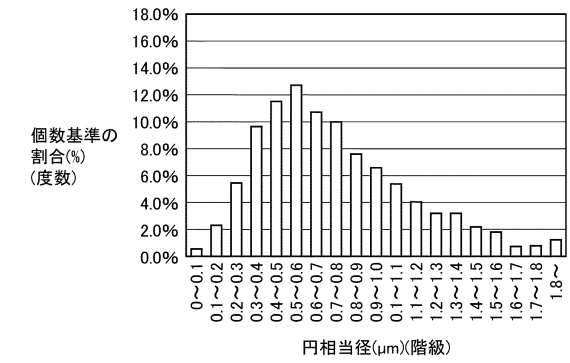
30

40

50

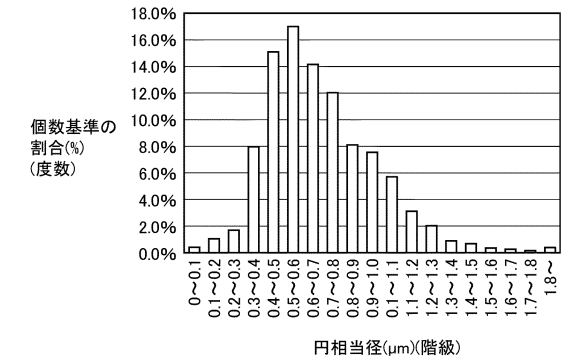
【図 3】

FIG.3



【図 4】

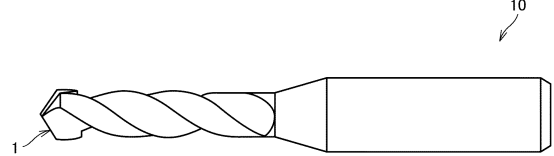
FIG.4



10

【図 5】

FIG.5



20

30

40

50

フロントページの続き

兵庫県小野市匠台1番地 株式会社アクシスマテリア内

審査官 松村 駿一

- (56)参考文献 特許第6912033(JP, B1)
特開2021-161539(JP, A)
特開2004-256852(JP, A)
中国特許出願公開第105624447(CN, A)
特開2009-242181(JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
C22C 29/08
B23B 27/14
B23B 51/00
C22C 1/05