

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2021年8月12日(12.08.2021)



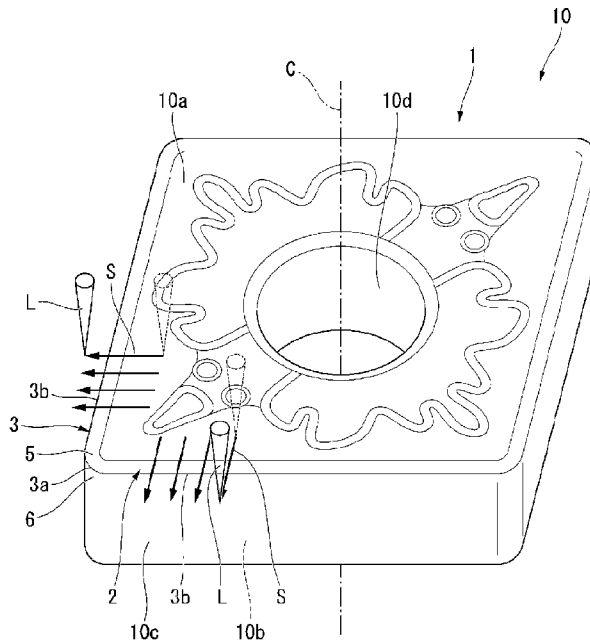
(10) 国際公開番号

WO 2021/157716 A1

- (51) 国際特許分類:
B23B 27/14 (2006.01) *B23B 51/00* (2006.01)
B23C 5/20 (2006.01) *B23K 26/356* (2014.01)
B23P 15/28 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2021/004403
- (22) 国際出願日: 2021年2月5日(05.02.2021)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2020-017887 2020年2月5日(05.02.2020) JP
特願 2021-015304 2021年2月2日(02.02.2021) JP
- (71) 出願人: 三菱マテリアル株式会社 (MITSUBISHI MATERIALS CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008117 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 久保 拓矢(KUBO Takuya); 〒3110102 茨城県那珂市向山1002番地14 三菱マテリアル株式会社 中央研究所内 Ibaraki (JP). ▲ 高▼部 涼太(TAKABE Ryota); 〒3110102 茨城県那珂市向山1002番地14 三菱マテリアル株式会社 中央研究所内 Ibaraki (JP).
- (74) 代理人: 松沼 泰史, 外(MATSUNUMA Yasushi et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,

(54) Title: METHOD FOR MANUFACTURING CUTTING TOOL

(54) 発明の名称: 切削工具の製造方法



(57) Abstract: This method for manufacturing a cutting tool (10) comprises: a tool base body (1) which is made from a sintered alloy; a hard coating (2) which is disposed on the outer surface of the tool base body (1) and has at least a layer constituted by a carbide, a nitride, a carbonitride, or a complex compound thereof; and a cutting blade (3) which is formed in a ridgeline part of the tool base body (1) and includes the portion of the hard coating (2) that is positioned on the ridgeline part. The method includes a laser peening step for directly irradiating the hard coating (2) with a pulsed

CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

laser (L) having a pulse width of 100 ps or less to impart compressive residual stress to the surface region of the hard coating (2) and the tool base body (1).

(57) 要約: この切削工具 (10) の製造方法は、焼結合金製の工具基体 (1) と、工具基体 (1) の外面上に配置され、炭化物、窒化物、および炭窒化物のいずれか、あるいはこれらの複合化合物により構成される層を少なくとも有する硬質被膜 (2) と、工具基体 (1) の稜線部に形成され、硬質被膜 (2) のうち稜線部に位置する部分を含む切れ刃 (3) と、を備え、硬質被膜 (2) 上に、パルス幅が 100 ps 以下のパルスレーザ (L) を直接照射することで、硬質被膜 (2) および工具基体 (1) の表面領域に圧縮残留応力を付与するレーザピーニング工程を含む。

明 細 書

発明の名称： 切削工具の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、切削工具の製造方法に関し、詳しくは、切削工具の切れ刃の耐欠損性を向上させるための後処理方法に関する。

本願は、2020年2月5日に、日本に出願された特願2020-017887号、及び、2021年2月2日に、日本に出願された特願2021-015304号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 超硬合金製の工具基体上に硬質被膜をコーティングした切削工具において、後処理により硬質被膜あるいは工具基体の引張残留応力を解放し、または圧縮残留応力付与を行い、切れ刃の耐欠損性を向上させる技術が知られている。例えば、特許文献1では、ショットピーニングでサブミリメートルオーダーの鋼球を工具表面に衝突させることにより発生する衝撃力によって、残留応力を制御する方法が開示されている。特許文献2では、ナノ秒レーザを照射して、TiCN硬質被膜の引張応力を低減し、または圧縮応力を付与する表面処理方法が開示されている。また、特許文献3のように、切れ刃稜線部と直交する方向の残留応力値よりも、切れ刃稜線部と平行な方向の残留応力値を大きくすることで、微小な亀裂の進展を抑制でき、結果として切れ刃の耐欠損性が向上する技術も知られている。特許文献4では、パルス幅が数ns程度でパルスエネルギーが数百mJの高エネルギーナノ秒レーザを用いた、いわゆるナノ秒レーザピーニングを行うことで超硬合金製の基材に圧縮残留応力を付与する方法が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開平6-108258号公報

特許文献2：特開2012-223808号公報

特許文献3：特開2018-183862号公報

特許文献4：特表2020-525301号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0004] 特許文献1の方法では、メディアの材質や大きさを調整することや、あるいはショットピーニングの投射圧や投射時間などを高めることにより、硬質被膜や工具基体表層の硬質相の圧縮残留応力を高めることができる。しかしながら、高い圧縮残留応力を付与しすぎると硬質被膜の剥離や、工具使用時の欠損の起点となる垂直クラックの発生が顕著となり、また、垂直クラック周辺の局所的な圧縮応力が解放されるため、製品ロットごとの残留応力のばらつきが大きくなり、かつある程度の値よりも高い圧縮残留応力付与が困難になる問題がある。なお垂直クラックとは、硬質被膜や工具基体表層を分断する亀裂であり、幅数百nm程度の隙間が発生する。垂直クラックは、膜厚に垂直な方向（面方向）の圧縮残留応力を解放するため、好ましくない。特許文献1によると、ショットピーニングにより安定して圧縮残留応力を付与出来る最大値として、硬質被膜（TiC）が -200MPa 程度、工具基体（WC）が -800MPa 程度と記載されている（マイナスが圧縮側）。
- [0005] 特許文献2の方法では、ナノ秒レーザを用いて硬質被膜の上部層である酸化物層（ Al_2O_3 ）を除去し、硬質被膜の下部層である非酸化物層（TiCN）に最大 1GPa 程度の圧縮残留応力を付与している。このメカニズムについては、特許文献2の明細書中に言及されていないが、酸化物層をナノ秒オーダーの時間で瞬間的に除去することで、酸化物層が微粒子やプラズマなどにて飛散する際の力学的反作用により下部層に衝撃を与える、いわゆるレーザピーニングの一種であると考えられる。特許文献2の実施例によると、酸化物層を除去可能な下限値に近いピークパワー密度（ $0.02\text{GW}/\text{cm}^2$ ）で、下部層（TiCN）に 1GPa 程度の圧縮残留応力を付与できているが、これよりピークパワー密度を高めると、下部層の圧縮残留応力は逆に低下している。この理由については、下部層に過剰なレーザ光が当たること

、熱影響により圧縮残留応力が解放されたためであると考えられる。しかしながら、特許文献2のように 0.02 GW/cm^2 程度の低いピークパワー密度では、硬質被膜直下の工具基体表層にまで圧縮残留応力を付与する効果はほとんど得られない。つまり、工具基体の耐欠損性を高めることはできない。

[0006] また、特許文献3ではショットピーニングによって、 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ の切れ刃稜線部に対して直交する方向の残留応力値と、切れ刃稜線部に平行な方向の残留応力値とに差をつけているが、ショットピーニングではすくい面に対してメディアが均一に投射されるため、大きな残留応力差を安定して付与することは困難である。

[0007] 特許文献4のナノ秒レーザピーニングでは、一般的に衝撃力を高めるために工具を水中に設置した状態で処理を行う必要があるが、その場合、水面の揺らぎやレーザ照射部に発生する気泡などによるビームの散乱が生じるため、個体ごとの刃先の残留応力にばらつきが生じ、製品としての工具性能の安定性が低くなる問題があった。また、水中で処理を行うことや、熱保護層の塗布が必要なことなど、プロセスが煩雑であることも問題であった。

[0008] 本発明は、上記事情に鑑み、硬質被膜および工具基体に安定して高い圧縮残留応力を付与することができ、これにより切れ刃の耐欠損性を向上できる切削工具の製造方法を提供することを目的の一つとする。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明の一つの態様は、焼結合金製の工具基体と、前記工具基体の外面上に配置され、炭化物、窒化物、および炭窒化物のいずれか、あるいはこれらの複合化合物により構成される層を少なくとも有する硬質被膜と、前記工具基体の稜線部に形成され、前記硬質被膜のうち前記稜線部に位置する部分を含む切れ刃と、を備える切削工具の製造方法であって、前記硬質被膜上に、パルス幅が 100 ps 以下のパルスレーザを直接照射することで、前記硬質被膜および前記工具基体の表面領域に圧縮残留応力を付与するレーザピーニング工程を含む。

[0010] 上記態様の切削工具の製造方法では、工具基体の外面に硬質被膜が成膜された切削工具に対して、硬質被膜の上から、パルス幅が100ps（ピコ秒）以下の短パルスレーザを望ましくは1TW（テラワット）/cm²以上のピークパワー密度で、例えば大気中にてレーザ照射を行う。この処理はいわゆる超短パルスレーザピーニングであり、レーザ照射したワーク（切削工具）の表面を若干加工することで発生するプラズマが爆発的に拡散する際の、力学的な反作用によりワークに衝撃波を発生させ、塑性変形や転位などの結晶欠陥を付与することで、ワーク表面に圧縮残留応力を付与する手法である。本発明の上記態様では、レーザピーニングを上記レーザ条件で行うことで、硬質被膜や工具基体に垂直クラックが発生することを抑制しつつ、安定して圧縮残留応力を付与できる。また、パルス幅を100ps以下にすることで、レーザ照射による熱影響が顕著に抑えられるため、ピークパワー密度、すなわち衝撃波のエネルギーを大きくすることができる。これにより、例えば、硬質被膜の耐欠損性に寄与する層（炭化物、窒化物、および炭窒化物のいずれか、あるいはこれらの複合化合物により構成される層）に0以下、工具基体の表面領域のWC粒子に−1000MPa以下の残留応力つまり圧縮残留応力を付与できる。

[0011] このように上記態様の切削工具の製造方法によれば、特別な上記レーザ条件のレーザピーニング工程により、硬質被膜および工具基体の両方に、垂直クラックの発生を抑制しながら高い圧縮残留応力を付与することができ、これにより切れ刃の耐欠損性を向上できる。切削の加工精度が良好に維持され、かつ工具寿命が延長する。

また、安定して圧縮残留応力を付与できるため、切削工具の品質のばらつきが抑えられる。また、大気中でレーザ照射を行うことができ、その前後処理工程を特に必要としないため、一般に知られるウェットブラスト等の応力制御技術に比べて、本発明では処理が簡単かつ高速に行え、生産性が向上する。

[0012] 上記切削工具の製造方法において、前記レーザピーニング工程では、前記

硬質被膜上に、パルス幅が10ps以下のパルスレーザを照射することが好ましい。

[0013] この場合、例えば、硬質被膜に対して−1000MPa以下、工具基体の表面領域に対して−1500MPa以下の残留応力、つまりより高い圧縮残留応力を付与することが可能になる。

[0014] 上記切削工具の製造方法において、前記レーザピーニング工程では、前記硬質被膜上に、パルス幅が10fs以上のパルスレーザを照射することが好ましい。

[0015] この場合、硬質被膜の上から、パルス幅が10fs（フェムト秒）以上の短パルスレーザをレーザ照射するので、パルス幅が短くなり過ぎることが抑制されて、ワークに衝撃がかかる時間が確保される。このため、レーザ照射による衝撃がワーク深部まで安定して到達する。硬質被膜のみならず工具基体の表面領域にまで、安定して高い圧縮残留応力を付与することができる。

[0016] 上記切削工具の製造方法において、前記レーザピーニング工程では、前記硬質被膜および前記工具基体の圧縮残留応力に、前記切れ刃に平行な方向と、前記切れ刃と直交する方向とで異方性を付与することが好ましい。

[0017] 上記切削工具の製造方法において、前記レーザピーニング工程では、前記切れ刃と平行な方向のパルスレーザ照射点間隔と、前記切れ刃と直交する方向のパルスレーザ照射点間隔とを、互いに異ならせることが好ましい。

[0018] この場合、硬質被膜および工具基体の圧縮残留応力に、異方性を付与することができる。すなわち、切れ刃と平行な方向の圧縮残留応力値と、切れ刃と直交する方向の圧縮残留応力値とに、所定以上の差を設けることができる。例えば上記構成と異なり、切れ刃と平行な方向のパルスレーザ照射点間隔と、切れ刃と直交する方向のパルスレーザ照射点間隔とを、互いに同じ値かつ狭ピッチとして、圧縮残留応力値を全体的に高めた場合（等方性を付与した場合）と比べて、本発明の上記構成によれば、硬質被膜の破損を抑制でき、かつ、切削の種類や被削材等に応じて、切れ刃に必要な耐欠損性能を効率よく付与できる。

- [0019] 具体的に、切れ刃と平行な方向のパルスレーザ照射点間隔を、切れ刃と直交する方向のパルスレーザ照射点間隔よりも小さくすることで、切れ刃と平行な方向の圧縮残留応力を、切れ刃と直交する方向の圧縮残留応力よりも高める（残留応力の絶対値を大きくする）ことができる。この場合、例えば、いわゆる熱亀裂が切れ刃と直交する方向に進展することを抑制できる。
- [0020] また、切れ刃と直交する方向のパルスレーザ照射点間隔を、切れ刃と平行な方向のパルスレーザ照射点間隔よりも小さくすることで、切れ刃と直交する方向の圧縮残留応力を、切れ刃と平行な方向の圧縮残留応力よりも高めることができる。この場合、例えば、いわゆる断続亀裂が切れ刃と平行な方向に進展することを抑制できる。
- [0021] 上記切削工具の製造方法において、前記レーザピーニング工程では、前記硬質被膜上に照射するパルスレーザのスポット直径を、 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $200\text{ }\mu\text{m}$ 以下とすることが好ましい。
- [0022] 上記スポット直径が $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上であれば、レーザ照射中に局所的な硬質被膜の損傷や剥離が発生しにくくなる。上記スポット直径が $200\text{ }\mu\text{m}$ 以下であれば、硬質被膜および工具基体表面に付与される圧縮残留応力の値が低下するのを抑制できる。なお、上記スポット直径を $20\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $100\text{ }\mu\text{m}$ 以下とすることで、上述の効果をより顕著なものとすることができ、より望ましい。
- [0023] 上記切削工具の製造方法において、前記レーザピーニング工程では、前記切れ刃と平行な方向にパルスレーザを走査させる方法、または、前記切れ刃と直交する方向にパルスレーザを走査させる方法の2通りがあるが、品質の面からは、前記切れ刃と直交する方向にパルスレーザを走査させることが好ましい。
- [0024] 例えば、切れ刃と平行な方向にパルスレーザを走査させる場合と比べて、本発明の上記構成によれば、硬質被膜の損傷が抑制される場合が見られ、より高い圧縮残留応力を付与することが出来る。なお硬質被膜の損傷をより抑えるには、切れ刃と直交する方向のうち、切れ刃と離れた位置つまりすくい

面側から切れ刃へ向けて、切れ刃に接近する方向にパルスレーザを走査させることが好ましい。

発明の効果

[0025] 本発明の一つの態様の切削工具の製造方法によれば、硬質被膜および工具基体に安定して高い圧縮残留応力を付与することができ、これにより切れ刃の耐欠損性を向上できる。

図面の簡単な説明

[0026] [図1]図1は、本実施形態の切削工具を示す斜視図であり、レーザピーニング工程を説明する図である。

[図2]図2は、本実施形態の切削工具の切れ刃近傍を拡大して示す断面図である。

[図3]図3は、本実施形態の切削工具の切れ刃の直線刃部近傍を拡大して示す上面図であり、レーザピーニング工程を説明する図である。

[図4]図4は、本実施形態の切削工具の切れ刃のコーナ刃部近傍を拡大して示す上面図であり、レーザピーニング工程を説明する図である。

[図5]図5は、本実施形態の変形例のレーザピーニング工程を説明する斜視図である。

[図6]図6は、本実施形態の変形例のレーザピーニング工程を説明する部分上面図である。

[図7]図7は、実施例におけるレーザピーニング工程のピークパワー密度と、工具基体に付与された残留応力との関係を示すグラフである。

[図8]図8は、実施例におけるレーザピーニング工程のピークパワー密度と、硬質被膜に付与された残留応力との関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0027] 本発明の一実施形態の切削工具10、および切削工具10の製造方法について、図面を参照して説明する。本実施形態の切削工具10は、切削インサートである。本実施形態の切削工具10は、例えば、被削材に旋削加工を施す刃先交換式バイトに用いられる。

[0028] 図1に示すように、本実施形態の切削工具10は、板状である。具体的に、切削工具10は多角形板状であり、図示の例では四角形板状である。なお切削工具10は、四角形板状以外の多角形板状や円板状等であってもよい。

[0029] 本実施形態では、切削工具10の中心軸Cが延びる方向、つまり中心軸Cと平行な方向を、軸方向と呼ぶ。切削工具10の平面視において、中心軸Cは、切削工具10の中心に位置する。中心軸Cは、切削工具10の厚さ方向に沿って延びる。

中心軸Cと直交する方向を径方向と呼ぶ。径方向のうち、中心軸Cに近づく向きを径方向内側と呼び、中心軸Cから離れる向きを径方向外側と呼ぶ。

中心軸C回りに周回する方向を周方向と呼ぶ。

[0030] 図2に示すように、本実施形態の切削工具10は、焼結合金製の工具基体1と、工具基体1の外面上に配置され、炭化物、窒化物、および炭窒化物のいずれか、あるいはこれらの複合化合物により構成される層（後述する第1層2a）を有する硬質被膜2と、工具基体1の稜線部に形成され、硬質被膜2のうち稜線部に位置する部分を含む切れ刃3と、を備える。つまり本実施形態の切削工具10は、工具基体1上に硬質被膜2をコーティングした切削インサートである。図1に示すように、切削工具10は、一对の板面10a, 10bと、外周面10cと、貫通孔10dと、を備える。

[0031] 一对の板面10a, 10bは、多角形状であり、中心軸Cの軸方向を向く。本実施形態では、一对の板面10a, 10bがそれぞれ四角形状である。一对の板面10a, 10bは、一方の板面（表面）10aと、他方の板面（裏面）10bと、を有する。一方の板面10aと他方の板面10bとは、軸方向に互いに離れて配置され、軸方向において互いに反対側を向く。

[0032] 本実施形態では、軸方向のうち、他方の板面10bから一方の板面10aへ向かう方向を軸方向一方側と呼び、一方の板面10aから他方の板面10bへ向かう方向を軸方向他方側と呼ぶ。

一对の板面10a, 10bのうち、少なくとも一方の板面10aは、板面10aの一部（コーナ部等）が切削加工時に図示しない被削材と対向する。

[0033] 一对の板面 10a, 10bのうち、少なくとも一方の板面 10aは、すくい面 5を有する。すくい面 5は、板面 10aの少なくとも一部を構成する。本実施形態ではすくい面 5が、板面 10aの周縁部に位置する 4つのコーナ部のうち、少なくとも 2つのコーナ部にそれぞれ配置される。上記 2つのコーナ部は、中心軸 Cを中心として互いに 180° 回転対称となる位置に配置される。

[0034] 図 2に示すように、すくい面 5は、ランド部 5aと、傾斜部 5bと、を有する。

ランド部 5aは、すくい面 5のうち、切れ刃 3と接続される部分である。ランド部 5aは、切れ刃 3の径方向内側に配置される。本実施形態ではランド部 5aが、切れ刃 3から径方向内側へ向かうに従い軸方向他方側へ向けて傾斜する傾斜面である。なおランド部 5aは、中心軸 Cと垂直な方向に広がる平面状でもよい。

[0035] 傾斜部 5bは、すくい面 5のうち、ランド部 5aの径方向内側に位置する部分である。傾斜部 5bは、ランド部 5aの径方向内端部と接続される。傾斜部 5bは、ランド部 5aから径方向内側へ向かうに従い軸方向他方側へ向けて傾斜する傾斜面である。傾斜部 5bの径方向に沿う単位長さあたりの軸方向へ向けた変位量は、ランド部 5aの径方向に沿う単位長さあたりの軸方向へ向けた変位量よりも大きい。すなわち、中心軸 Cと垂直な図示しない仮想平面に対する傾斜部 5bの傾きは、前記仮想平面に対するランド部 5aの傾きよりも大きい。

[0036] 図 1に示すように、外周面 10cは、一对の板面 10a, 10bと接続され、径方向外側を向く。外周面 10cは、軸方向の両端部が一对の板面 10a, 10bと接続される。具体的に、外周面 10cのうち軸方向一方側の端部は、一方の板面 10aと接続される。外周面 10cのうち軸方向他方側の端部は、他方の板面 10bと接続される。外周面 10cは、切削工具 10の周方向全域にわたって延びる。

[0037] 外周面 10cは、逃げ面 6を有する。逃げ面 6は、外周面 10cの少なく

とも一部を構成する。逃げ面 6 は、外周面 10 c のうち各すくい面 5 と隣接する部分にそれぞれ配置される。

[0038] 貫通孔 10 d は、切削工具 10 を軸方向に貫通する。貫通孔 10 d は、一対の板面 10 a, 10 b に開口し、軸方向に延びる。貫通孔 10 d の中心軸は、中心軸 C と同軸に配置される。図示の例では、貫通孔 10 d が円孔状である。貫通孔 10 d には、例えば、図示しないクランプネジ等が挿入される。

[0039] 切れ刃 3 は、すくい面 5 と逃げ面 6 とが接続される稜線部、つまりすくい面 5 と逃げ面 6 との交差稜線部に形成される。本実施形態では切れ刃 3 が、板面 10 a の周縁部に位置する 4 つのコーナ部のうち、少なくとも 2 つのコーナ部にそれぞれ配置される。図 2 に示すように、本実施形態では切れ刃 3 が、丸ホーニングを有する。なお切れ刃 3 は、チャンファホーニングを有していてもよい。

[0040] 図 1 および図 4 に示すように、切れ刃 3 は、コーナ刃部 3 a と、一対の直線刃部 3 b と、を有する。コーナ刃部 3 a は、径方向外側に向けて突出する凸曲線状である。直線刃部 3 b は、直線状であり、コーナ刃部 3 a と接続される。本実施形態では、コーナ刃部 3 a の刃長方向の両端部に、一対の直線刃部 3 b が接続される。なお刃長方向とは、切れ刃 3 が延びる方向であり、具体的には切れ刃 3 の各刃部 3 a, 3 b が延びる方向である。コーナ刃部 3 a および一対の直線刃部 3 b は、軸方向から見て、全体に略 V 字状である。

[0041] 切れ刃 3 は、工具基体 1 の稜線部（交差稜線部）と、硬質被膜 2 のうち前記稜線部にコーティングされる部分と、により構成される。

[0042] 図 1 に示すように、工具基体 1 は、上述した切削工具 10 の形状と同じ形状を有する。工具基体 1 は、周期律表の 4 a, 5 a, 6 a 族金属の炭化物、窒化物およびこれらの相互固溶体の中の少なくとも 1 種の硬質相と、Ni, Co または Ni-Co 合金と、を有する焼結合金製である。工具基体 1 は、前記硬質相と、Ni, Co または Ni-Co 合金と、を主成分として構成される。本実施形態では工具基体 1 が、WC 基の超硬合金製である。なお工具

基体 1 は、例えば T i C 基または T i (C , N) 基等のサーメット製でもよい。

後述するレーザピーニング工程を経ることにより、工具基体 1 の表面領域の残留応力は、例えば -1000 MPa 以下、好ましくは -1500 MPa 以下とされる。工具基体 1 の表面領域（表層）は、工具基体 1 の表面から少なくとも深さ $1\text{ }\mu\text{m}$ までの領域としてもよい。

[0043] 図 2 に示すように、硬質被膜 2 は、化学蒸着法または物理蒸着法により、工具基体 1 の外面のうち少なくとも一部に成膜される。硬質被膜 2 は、工具基体 1 の外面のうち、少なくとも切れ刃 3 を含む領域に配置される。本実施形態では硬質被膜 2 が、少なくとも切れ刃 3、すくい面 5 および逃げ面 6 に配置される。なお硬質被膜 2 は、工具基体 1 の外面全体に成膜されていてもよい。

[0044] 硬質被膜 2 の膜厚は、全体として例えば $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $30\text{ }\mu\text{m}$ 以下である。硬質被膜 2 は、単層または複数層で構成される。本実施形態では硬質被膜 2 が、工具基体 1 の外面に積層される複数の層により構成される。硬質被膜 2 は、工具基体 1 の外面上に位置する第 1 層 2 a と、第 1 層 2 a 上に位置する第 2 層 2 b と、を有する。なお硬質被膜 2 は、第 2 層 2 b 上に位置する図示しない第 3 層を有していてもよい。また硬質被膜 2 は、4 つ以上の層により構成されてもよい。硬質被膜 2 が有する複数の層のうち、最も厚さが厚い層は、第 1 層 2 a である。硬質被膜 2 が単層の場合、硬質被膜 2 は、第 1 層 2 a を有する。つまり硬質被膜 2 は、少なくとも第 1 層（層）2 a を有する。第 1 層 2 a の膜厚は、例えば $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $20\text{ }\mu\text{m}$ 以下である。

後述するレーザピーニング工程を経ることにより、硬質被膜 2 の残留応力、具体的には第 1 層 2 a の残留応力は、 0 MPa 以下（つまり圧縮残留応力が付与）、好ましくは -1000 MPa 以下とされる。

[0045] 第 1 層 2 a は、工具基体 1 の外面上に、直接的にまたは図示しない中間層を挟んで間接的に、配置される。第 1 層 2 a は、炭化物、窒化物、および炭窒化物のいずれか、あるいはこれらの複合化合物により構成される。第 1 層

2 aは、例えばTiCN層等である。後述するレーザピーニング工程が施されたTiCN層によって、切れ刃3の耐欠損性が向上する。

[0046] 第2層2 bは、第1層2 aの外面上に、直接的にまたは図示しない中間層を挟んで間接的に、配置される。第2層2 bは、周期律表の4 a, 5 a, 6 a族金属の炭化物、窒化物、炭窒化物、酸化物、硼化物、Siの炭化物、窒化物、炭窒化物、Alの酸化物、窒化物、およびこれらの相互固溶体、ダイヤモンド、立方晶窒化ホウ素などにより構成される。なお、第2層2 bは、硬質被膜2の第1層2 aの膜種によっては限定されないため、ここでは一般に切削工具の硬質被膜として用いられるものを列挙した。第2層2 bは、例えばAl₂O₃層やTiN層等である。また、第2層2 bがAl₂O₃層であり、図示しない第3層がTiN層であってもよい。Al₂O₃層が設けられることによって、すくい面5および切れ刃3の耐熱性および耐摩耗性が向上する。TiN層が設けられることによって、切削工具10の外観上の美観が高められ、また、切削工具10が使用に供されたか否か、つまり使用済みか未使用かの識別性を容易に付与することができる。

[0047] 図2に示す例では、第2層2 bのうち後述するパルスレーザLが照射された部分が消失している。パルスレーザLは、傾斜部5 bの径方向外端部、ランド部5 aおよび切れ刃3にわたって照射される。このため第2層2 bは、傾斜部5 bの径方向外端部、ランド部5 aおよび切れ刃3以外の部分に配置される。なお第2層2 bは、パルスレーザL照射後において、傾斜部5 bの径方向外端部、ランド部5 aおよび切れ刃3に残存していてもよい。

[0048] 次に、切削工具10の製造方法について説明する。

本実施形態の切削工具10の製造方法は、焼結工程と、成膜工程と、レーザピーニング工程と、を含む。

[0049] 焼結工程では、工具基体1の形状とされた圧粉体、つまり工具基体1の製造過程において圧粉成形される中間成形体を、焼結する。本実施形態では、圧粉体は板状であり、具体的には多角形板状である。

[0050] 成膜工程では、焼結した工具基体1の外面上に、炭化物、窒化物、および

炭窒化物のいずれか、あるいはこれらの複合化合物により構成される層を有する硬質被膜2を成膜する。つまり成膜工程では、工具基体1の外面上に、少なくとも第1層2aを有する硬質被膜2を成膜する。本実施形態では、工具基体1の外面上に、直接的にまたは図示しない中間層を挟んで間接的に、第1層2aを成膜し、第1層2a上に、直接的にまたは図示しない中間層を挟んで間接的に、第2層2bを成膜する。なお特に図示しないが、第2層2b上に、直接的にまたは中間層を挟んで間接的に、第3層を成膜してもよい。また、第1層2a、第2層2bおよび第3層を含む4つ以上の層で構成される硬質被膜2を成膜してもよい。

[0051] 図1に示すように、レーザピーニング工程では、硬質被膜2上に、パルス幅が100ps（ピコ秒）以下のパルスレーザLを照射する。好ましくは、レーザピーニング工程では、硬質被膜2上に、パルス幅が10ps以下のパルスレーザLを照射する。より望ましくは、レーザピーニング工程では、硬質被膜2上に、パルス幅が2ps以下のパルスレーザLを照射する。

また好ましくは、レーザピーニング工程では、硬質被膜2上に、パルス幅が10fs（フェムト秒）以上のパルスレーザLを照射する。より望ましくは、レーザピーニング工程では、硬質被膜2上に、パルス幅が500fs以上のパルスレーザLを照射する。

上記パルスレーザLのピークパワー密度は、1TW（テラワット）/cm²以上が好ましく、より好ましくは5TW/cm²以上であり、さらに望ましくは、20TW/cm²以上である。このように、1TW（テラワット）/cm²以上で衝撃を与えることで、工具基体1および硬質被膜2に高い圧縮残留応力を安定して付与することができる。また好ましくは、ピークパワー密度は、10PW（ペタワット）/cm²以下である。その理由は、10PW（ペタワット）/cm²を超えたあたりから、大気のブレイクダウンによるプラズマが生じ、レーザビームが遮蔽されてしまうためである。

[0052] 図2に示すように、本実施形態では、傾斜部5bの径方向外端部、ランド部5aおよび切れ刃3にわたる範囲Aに、パルスレーザLを照射する。具体

的には、切れ刃3からすくい面5へ向けた少なくとも $100\mu\text{m}$ の範囲Aに、パルスレーザLを照射する。なお、本実施形態では、特許文献4（特表2020-525301号公報）のように犠牲皮膜を介して間接的にナノ秒レーザを照射するのではなく、硬質被膜2上に直接的にパルスレーザLを照射している。つまり本実施形態では、硬質被膜2上に犠牲皮膜を設けない。本実施形態のようなレーザ照射が可能である理由は、 100ps 以下の超短パルスレーザを使っているため、熱によるフィードバック（応力開放）が無いためである。本実施形態では、プロセスが簡便であり、かつ、衝撃波が伝搬しやすいため、効率的に高い圧縮残留応力を付与することができる。

[0053] 詳しくは、上記範囲Aに、図示しないガルバノスキャナと $f\theta$ レンズを用いてレーザビームをハッチング走査する。このときの処理雰囲気は、大気中または任意のガス中とする。任意のガスとは、例えば酸化を抑える不活性ガス等である。レーザビームは、パルス幅が 100ps 以下のパルスレーザLであり、望ましくはピークパワー密度が $1\text{TW}/\text{cm}^2$ 以上となるよう、パルス幅、パルスエネルギーを適宜変更することで調整したものを用いる。なお、ピークパワー密度は、パルスエネルギー／（パルス幅×スポット面積）で計算される値である。また、パルスレーザLのワーク（切削工具10）表面におけるスポット直径は、 $10\mu\text{m}$ 以上、 $200\mu\text{m}$ 以下が適切である。すなわちレーザピーニング工程では、硬質被膜2上に照射するパルスレーザLのスポット直径を、 $10\mu\text{m}$ 以上 $200\mu\text{m}$ 以下とすることが好ましい。スポット直径が $10\mu\text{m}$ 以上であれば、レーザ照射中に局所的な硬質被膜2の剥離が発生しにくくなる。局所的な硬質被膜2の剥離が発生すると刃先の強度が大幅に低下するため、それを抑制する必要がある。スポット直径が $200\mu\text{m}$ 以下であれば、硬質被膜2および工具基体1表面に付与される圧縮残留応力の値が低下するのを抑制できる。なお、上記スポット直径は、 $20\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下とすることがより望ましい。

[0054] 本実施形態において、レーザピーニング工程では、硬質被膜2および工具基体1の圧縮残留応力に、切れ刃3に平行な方向と、切れ刃3と直交する方

向とで異方性を付与する。詳しくは、図3に示すように、レーザピーニング工程では、切れ刃3と平行な方向のパルスレーザ照射点間隔 D_y と、切れ刃3と直交する方向のパルスレーザ照射点間隔 D_x とを、互いに異ならせる。すなわち、切れ刃3と平行な方向のパルスレーザ照射点間隔 D_y を、切れ刃3と直交する方向のパルスレーザ照射点間隔 D_x より小さくしてもよい。また、切れ刃3と直交する方向のパルスレーザ照射点間隔 D_x を、切れ刃3と平行な方向のパルスレーザ照射点間隔 D_y より小さくしてもよい。

[0055] またレーザピーニング工程では、切れ刃3と直交する方向にパルスレーザLを走査させる。具体的に、図3に示すように、パルスレーザLの走査方向Sは、切れ刃3のうち直線刃部3bと直交する方向である。また図4に示すように、パルスレーザLの走査方向Sは、切れ刃3のうちコーナ刃部3aと直交する方向である。

[0056] 詳しくは、走査方向Sは、切れ刃3と直交する方向のうち、切れ刃3へ接近する方向である。本実施形態では、切れ刃3と直交する方向に沿って、傾斜部5bの径方向外端部、ランド部5aおよび切れ刃3の順に、パルスレーザLを走査させる。すなわち、パルスレーザLを、切れ刃3と直交する方向のうち、すくい面5上から切れ刃3へ向けて走査させる。

[0057] なお図3に2点鎖線で示す複数の円は、パルスレーザLのワーク表面におけるスポットBを表している。これらのスポットB同士は、図示するように互いにオーバーラップさせなくてもよいし、互いにオーバーラップさせてもよい。また図3に示すように、スポットBは、切れ刃3の刃先（端縁）にも位置する。

[0058] 以上説明した本実施形態の切削工具10の製造方法では、工具基体1の外面に硬質被膜2が成膜された切削工具10に対して、硬質被膜2の上から、パルス幅が100ps以下の短パルスレーザを、例えば大気中にてレーザ照射を行う。この処理はいわゆる超短パルスレーザピーニングであり、レーザ照射したワーク（切削工具10）の表面を若干加工することで発生するプラズマが爆発的に拡散する際の、力学的な反作用によりワークに衝撃波を発生

させ、塑性変形や転位などの結晶欠陥を付与することで、ワーク表面に圧縮残留応力を付与する手法である。本実施形態では、レーザピーニングを上記レーザ条件で行うことで、硬質被膜2や工具基体1に垂直クラックが発生することを抑制しつつ、安定して圧縮残留応力を付与できる。また、パルス幅を100 ps以下にすることで、レーザ照射による熱影響が顕著に抑えられるため、ピークパワー密度、すなわち衝撃波のエネルギーを大きくすることができる。これにより、例えば、硬質被膜2の耐欠損性に寄与する層である第1層2aに0以下、工具基体1の表面領域のWC粒子に-1000 MPa以下の残留応力つまり圧縮残留応力を付与できる。

[0059] このように本実施形態によれば、特別な上記レーザ条件のレーザピーニング工程により、硬質被膜2および工具基体1の両方に、垂直クラックの発生を抑制しながら高い圧縮残留応力を付与することができ、これにより切れ刃3の耐欠損性を向上できる。切削の加工精度が良好に維持され、かつ工具寿命が延長する。

また、安定して圧縮残留応力を付与できるため、切削工具10の品質のばらつきが抑えられる。また、大気中でレーザ照射を行うことができ、その前後処理工程を特に必要としないため、一般に知られるウェットブラスト等の応力制御技術に比べて、本実施形態では処理が簡単かつ高速に行え、生産性が向上する。

[0060] また本実施形態において、レーザピーニング工程では、硬質被膜2上に、パルス幅が10 ps以下のパルスレーザLを照射することが好ましい。

この場合、例えば、硬質被膜2に対して-1000 MPa以下、工具基体1の表面領域に対して-1500 MPa以下の残留応力、つまりより高い圧縮残留応力を付与することが可能になる。

なおより好ましくは、レーザピーニング工程では、硬質被膜2上に、パルス幅が2 ps以下のパルスレーザLを照射する。この場合、例えば、硬質被膜2に対して-1500 MPa以下、工具基体1の表面領域に対して-2000 MPa以下の残留応力、つまりより高い圧縮残留応力を付与することが

可能になる。

[0061] また本実施形態において、レーザピーニング工程では、硬質被膜2上に、パルス幅が10 fs以上のパルスレーザLを照射することが好ましい。

この場合、パルスレーザLのパルス幅が短くなり過ぎることが抑制されて、ワークに衝撃がかかる時間が確保される。このため、レーザ照射による衝撃がワーク深部まで、すなわち硬質被膜2直下の工具基体1の表面領域にまで、安定して到達する。硬質被膜2および工具基体1の両方に対して、安定して高い圧縮残留応力を付与することができる。なおより好ましくは、レーザピーニング工程では、硬質被膜2上に、パルス幅が500 fs以上のパルスレーザLを照射する。これにより上述の効果がより顕著となる。

[0062] また本実施形態において、レーザピーニング工程では、硬質被膜2および工具基体1の圧縮残留応力に、切れ刃3に平行な方向と、切れ刃3と直交する方向とで異方性を付与する。具体的に、本実施形態においてレーザピーニング工程では、切れ刃3と平行な方向のパルスレーザ照射点間隔 D_y と、切れ刃3と直交する方向のパルスレーザ照射点間隔 D_x とを、互いに異ならせている。

この場合、硬質被膜2および工具基体1の圧縮残留応力に、異方性を付与することができる。すなわち、切れ刃3と平行な方向の圧縮残留応力値と、切れ刃3と直交する方向の圧縮残留応力値とに、所定以上の差を設けることができる。例えば上記構成と異なり、切れ刃3と平行な方向のパルスレーザ照射点間隔 D_y と、切れ刃3と直交する方向のパルスレーザ照射点間隔 D_x とを、互いに同じ値かつ狭ピッチとして、圧縮残留応力値を全体的に高めた場合（等方性を付与した場合）と比べて、本実施形態の上記構成によれば、硬質被膜2の破損を抑制でき、かつ、切削の種類や被削材等に応じて、切れ刃3に必要な耐欠損性能を効率よく付与できる。

[0063] 具体的に、切れ刃3と平行な方向のパルスレーザ照射点間隔 D_y を、切れ刃3と直交する方向のパルスレーザ照射点間隔 D_x よりも小さくすることで、切れ刃3と平行な方向の圧縮残留応力を、切れ刃3と直交する方向の圧縮

残留応力よりも高める（残留応力の絶対値を大きくする）ことができる。この場合、例えば、いわゆる熱亀裂が切れ刃3と直交する方向に進展することを抑制できる。

[0064] また、切れ刃3と直交する方向のパルスレーザ照射点間隔 D_x を、切れ刃3と平行な方向のパルスレーザ照射点間隔 D_y よりも小さくすることで、切れ刃3と直交する方向の圧縮残留応力を、切れ刃3と平行な方向の圧縮残留応力よりも高めることができる。この場合、例えば、いわゆる断続亀裂が切れ刃3と平行な方向に進展することを抑制できる。

[0065] また本実施形態において、レーザピーニング工程では、硬質被膜2上に照射するパルスレーザLのスポット直径を、 $10\mu\text{m}$ 以上 $200\mu\text{m}$ 以下とすることが好ましい。

上記スポット直径が $10\mu\text{m}$ 以上であれば、レーザ照射中に局所的な硬質被膜2の損傷や剥離が発生しにくくなる。上記スポット直径が $200\mu\text{m}$ 以下であれば、硬質被膜2および工具基体1表面に付与される圧縮残留応力の値が低下するのを抑制できる。なお、上記スポット直径を $20\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下とすることで、上述の効果をより顕著なものとすることができ、より望ましい。

[0066] また本実施形態において、レーザピーニング工程では、走査方向Sすなわち切れ刃3と直交する方向に、パルスレーザLを走査させている。

例えば、切れ刃3と平行な方向にパルスレーザLを走査させる場合と比べて、本実施形態の上記構成によれば、硬質被膜2の損傷が抑制される。なお硬質被膜2の損傷をより抑えるには、切れ刃3と直交する方向のうち、切れ刃3と離れた位置つまりすくい面5側から切れ刃3へ向けて、切れ刃3に接近する方向にパルスレーザLを走査させることが好ましい。

[0067] なお、本発明は前述の実施形態に限定されず、例えば下記に説明するように、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において構成の変更等が可能である。

[0068] 前述の実施形態では、レーザピーニング工程において、切れ刃3と平行な方向のパルスレーザ照射点間隔 D_y と、切れ刃3と直交する方向のパルスレ

ーザ照射点間隔 D_x とを、互いに異ならせることにより、圧縮残留応力に異方性を付与している。ただしこれに限らず、例えば、パルスレーザ照射点間隔 D_y 、 D_x を、互いに同じ値（一定）とし、ピークパワー密度を、切れ刃3と直交する方向、つまりパルスレーザLの走査方向Sにおいて変化させたり、切れ刃3と平行な方向、つまりパルスレーザLの走査方向Sと直交する方向において（例えば所定の走査単位毎に）変化させたりすることにより、圧縮残留応力に異方性を付与してもよい。

[0069] 図5および図6は、前述の実施形態の変形例のレーザピーニング工程を説明する図である。この変形例では、レーザピーニング工程において、切れ刃3と平行な方向にパルスレーザLを走査させる。具体的に、パルスレーザLの走査方向Sは、直線刃部3bおよびコーナ刃部3aと平行な方向である。このように切れ刃3に沿ったレーザ走査であっても、例えばパルスレーザ照射点間隔 D_y 、 D_x の比率を変えるなどにより、圧縮残留応力の異方性を付与することができる。なお特に図示しないが、切削工具10のノーズ部分（コーナ部）では、コーナ刃部3aに沿って曲線状にレーザ走査する。このとき、カーブのため走査速度が遅くなるが、走査速度に合わせてパルスレーザLの照射タイミングを制御し、均一な密度でレーザ照射できるように制御することが好ましい。

この変形例の場合、切れ刃3に沿ったスキャンであるため、レーザピーニング処理を高速で行うことができ、切削工具10の生産効率がよい。また図6に示すように、切れ刃3の刃先にスポットBを配列することが容易であり、刃先近傍の圧縮残留応力を均等化しやすい。

[0070] 前述の実施形態では、切削工具10が刃先交換式バイトに用いられる例を挙げたが、これに限らない。切削工具10は、例えば、被削材に転削加工を施す刃先交換式ドリルや刃先交換式エンドミル等に用いられてもよい。

また、切削工具10が切削インサートである例を挙げたが、これに限らない。切削工具10は、例えばソリッドタイプのドリル、エンドミル、リーマおよびそれ以外の切削工具であってもよい。

[0071] その他、本発明の趣旨から逸脱しない範囲において、前述の実施形態、変形例およびなお書き等で説明した各構成（構成要素）を組み合わせてもよく、また、構成の付加、省略、置換、その他の変更が可能である。また本発明は、前述した実施形態によって限定されず、特許請求の範囲によってのみ限定される。

実施例

[0072] 以下、本発明を実施例により具体的に説明する。ただし本発明はこの実施例に限定されない。

[0073] 本発明の実施例および比較例として、前述の実施形態で説明した切削工具 10 つまり切削インサートのレーザ未処理品を、複数用意した。具体的に、これらの切削工具 10 は、JIS 規格の CNMG120408 形状を有する切削インサートである。工具基体 1 は、Co7.5 質量%、WC 平均粒径 1.5 μm の組成を有する WC 超硬合金製である。硬質被膜 2 は、工具基体 1 の外面上に、第 1 層 2a として TiCN 層 4 μm 、第 2 層 2b として Al₂O₃ 層 1 μm 、および第 3 層として TiN 層 0.3 μm を、この順にそれぞれ化学気相成長（CVD）法で成膜した。

[0074] この成膜の後工程において、各切削工具 10 にレーザ処理つまりレーザピーニング工程を施した。詳しくは、大気中において、切削工具 10 のすくい面 5 上にレーザビームを垂直に、つまり軸方向から照射および走査して、すくい面 5 および切れ刃 3 にレーザ処理を行った。なお、実施例および比較例ともに、硬質被膜 2 上に犠牲皮膜は形成されておらず、硬質被膜 2 に対して直接レーザ処理を施した。使用したレーザの波長は 1030 nm、繰り返し周波数は 10 kHz、ビームプロファイルはガウシアンとし、ワーク表面におけるスポット直径は $\phi 30 \mu\text{m}$ とした。

[0075] 詳しくは、レーザピークパワー密度と、硬質被膜 2 の第 1 層 2a および工具基体 1 の表面領域の各残留応力と、の関係を調べるため、各切削工具 10 に対して、互いにレーザ条件が異なるレーザピーニング工程を施した。レーザ条件は、パルスレーザ照射点間隔 D_x 、 D_y をともに 20 μm に設定し、

パルス幅を 10 fs （フェムト秒）から 10 ns （ナノ秒）、パルスエネルギーを 0.4 mJ から 2 mJ までの範囲で調整し、ピークパワー密度を 41 GW （ギガワット）／ cm^2 から 5.66 PW （ペタワット）／ cm^2 の範囲で変えた。

上記レーザ条件のうち、パルス幅が 100 ps 以下（かつピークパワー密度が $1\text{ TW}/\text{cm}^2$ 以上）のパルスレーザを照射した切削工具 10 が、本発明の実施例 1～10 であり、それ以外のレーザ条件でレーザ照射した切削工具が、比較例 1～4 である。なお、レーザ照射を行わない未処理品の切削工具を、比較例 5 とした。

[0076] 各切削工具 10 の残留応力の測定は、下記のように行った。工具基体 1 および硬質被膜 2（第 1 層 2a）の残留応力は、パルステック社製の X 線残留応力測定装置を使用し、 $\cos\alpha$ 法を用いて測定した。X 線源には Cu 管球を使用し、 $2\theta = 154^\circ$ 付近にある WC（113）回折ピーク、および $2\theta = 133^\circ$ 付近にある TiCN（431）回折ピークを用いて、それぞれの残留応力を測定した。X 線遮蔽板を用いて切れ刃 3 の刃先先端から幅 0.3 mm のみを露出させ、レーザ処理部のみの応力値になるように測定を行った。

[0077] レーザ条件と、測定した残留応力値との関係を、下記表 1、図 7 および図 8 に示す。なお図 7 は、レーザピーニング工程のピークパワー密度（横軸）と、WC つまり工具基体 1 に付与された残留応力値（縦軸）との関係を示すグラフである。図 8 は、レーザピーニング工程のピークパワー密度（横軸）と、TiCN つまり硬質被膜 2 の第 1 層 2a に付与された残留応力値（縦軸）との関係を示すグラフである。

[0078]

[表1]

	パルス 幅	パルス エネルギー [mJ]	ピークパワー 密度	WC 残留応力 [MPa]	TiCN 残留応力 [MPa]	判定
実施例 1	10fs	0.4	5.66PW/cm ²	-1520	-2120	B
実施例 2	50fs	0.4	1.13PW/cm ²	-1580	-2030	B
実施例 3	100fs	0.4	566TW/cm ²	-1720	-2090	B
実施例 4	500fs	0.4	113TW/cm ²	-2140	-2060	A
実施例 5	0.48ps	0.4	56.6TW/cm ²	-2220	-2100	A
実施例 6	2ps	0.4	28.3TW/cm ²	-2080	-1850	A
実施例 7	5ps	0.4	11.3TW/cm ²	-1760	-1340	B
実施例 8	10ps	0.4	5.66TW/cm ²	-1580	-1190	B
実施例 9	50ps	1	2.83TW/cm ²	-1410	-820	C
実施例 10	100ps	1	1.42TW/cm ²	-1170	-340	C
比較例 1	200ps	1	708GW/cm ²	-680	10	D
比較例 2	500ps	1	283GW/cm ²	-480	250	D
比較例 3	1ns	2	208GW/cm ²	120	720	D
比較例 4	10ns	2	41GW/cm ²	240	750	D
比較例 5	未処理品			-100	900	—

[0079] なお表 1 の判定の基準は、下記の通りである。

A : TiCN (硬質被膜) の残留応力が -1500 MPa 以下、かつ WC (工具基体) の残留応力が -2000 MPa 以下であり、圧縮残留応力を高める効果が特に顕著に得られたもの。

B : TiCN (硬質被膜) の残留応力が -1000 MPa 以下、かつ WC (工具基体) の残留応力が -1500 MPa 以下であり、圧縮残留応力を高める効果が顕著に得られたもの。

C : TiCN (硬質被膜) の残留応力が 0 MPa 以下、かつ WC (工具基体) の残留応力が -1000 MPa 以下であり、圧縮残留応力を高める効果が顕著に得られたもの。

D : C の基準に満たず、圧縮残留応力を高める効果が顕著に表れていないもの。具体的には、TiCN (硬質被膜) の残留応力が 0 MPa を超え、かつ WC (工具基体) の残留応力が -1000 MPa を超えるもの。

[0080] 表1に示されるように、実施例1～10は、A判定、B判定またはC判定となり、圧縮残留応力が顕著に高められた。具体的に、実施例1～8はA判定またはB判定となり、より顕著な効果が得られることが確認され、その中でも、実施例4～6は、A判定となり、圧縮残留応力が特に顕著に高められることがわかった。なお、実施例1～3は、TiCN（硬質被膜）の残留応力が -2000MPa にまで達したものの、WC（工具基体）の残留応力は -2000MPa にまで達しなかった。この理由は、パルス幅が所定値以下にまで小さくなると、ワークに衝撃がかかる時間が短くなり、衝撃がワーク深部まで十分に達しなかったためと考えられる。

[0081] 一方、比較例1～4は、D判定となった。なお比較例3、4の、パルス幅が 1ns 以上のレーザ条件では、WC（工具基体）に圧縮残留応力を付与することはできなかった。この理由は、熱影響によるものと考えられる。

[0082] 次に、パルスレーザ照射点間隔 D_x 、 D_y と、圧縮残留応力の異方性との関係を調べるため、各切削工具10に対して、互いにレーザ条件が異なるレーザピーニング工程を施した。レーザ条件は、切れ刃3と平行な方向のパルスレーザ照射点間隔 D_y をすべて $15\mu\text{m}$ とし、切れ刃3と直交する方向のパルスレーザ照射点間隔 D_x については、 $25\mu\text{m}$ 、 $35\mu\text{m}$ 、 $50\mu\text{m}$ と切削工具10毎に変えて、実施例11～13とした。上記以外のレーザ条件については、前述の実施例5と同じ設定とした。

[0083] 各切削工具10の残留応力の測定は、前述した測定方法と同様である。そして、X線入射方向を x 方向（切れ刃3と直交する方向）、 y 方向（切れ刃3と平行な方向）に変化させることで、残留応力値 σ_x 、 σ_y をそれぞれ測定した。結果を下記表2に示す。

[0084]

[表2]

	パルスレーザ照射点間隔		WC残留応力		TiCN残留応力	
	Dx [μ m]	Dy [μ m]	σ_x [MPa]	σ_y [MPa]	σ_x [MPa]	σ_y [MPa]
実施例 1 1	25	15	-2170	-2540	-1890	-2120
実施例 1 2	35	15	-1880	-2420	-1400	-1940
実施例 1 3	50	15	-1340	-2480	-1150	-1830

[0085] 表2に示されるように、実施例11～13はそれぞれ、TiCN（硬質被膜）のx方向の残留応力とy方向の残留応力との間に差が設けられており、また、WC（工具基体）のx方向の残留応力とy方向の残留応力との間に差が設けられている。すなわち、実施例11～13は、圧縮残留応力に異方性が付与されたことが確認された。なお、パルスレーザ照射点間隔Dx、Dy同士の差が大きくなるに従い、異方性がより顕著となる傾向がある。例えば実施例13については、WC（工具基体）のx方向の残留応力とy方向の残留応力との間に、1000MPaを超える差を設けることができた。

産業上の利用可能性

[0086] 本発明の切削工具の製造方法によれば、硬質被膜および工具基体に安定して高い圧縮残留応力を付与することができ、これにより切れ刃の耐欠損性を向上できる。したがって、産業上の利用可能性を有する。

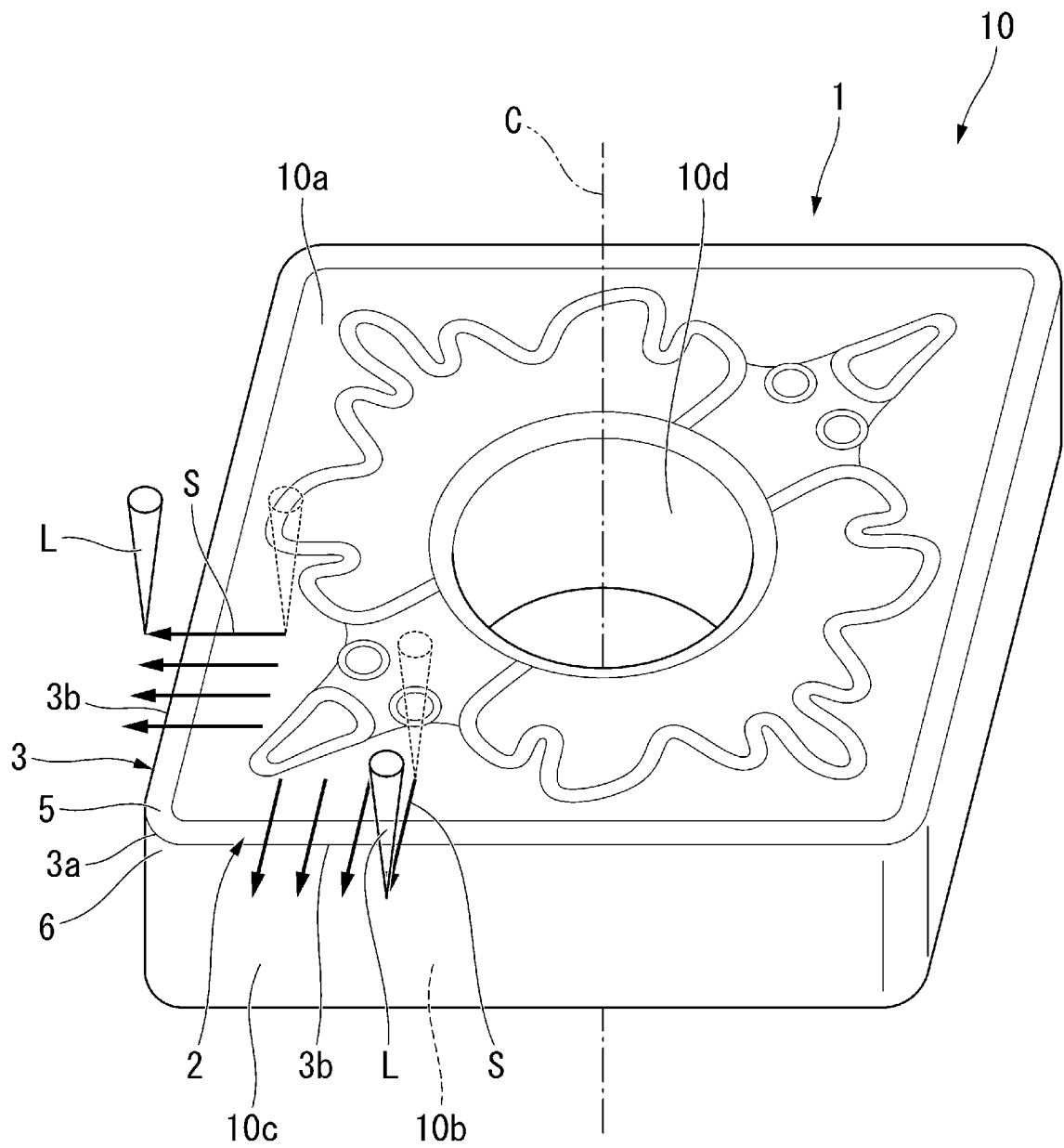
符号の説明

[0087] 1…工具基体、2…硬質被膜、2a…第1層（層）、3…切れ刃、10…切削工具、B…スポット、Dx、Dy…パルスレーザ照射点間隔、L…パルスレーザ、S…走査方向

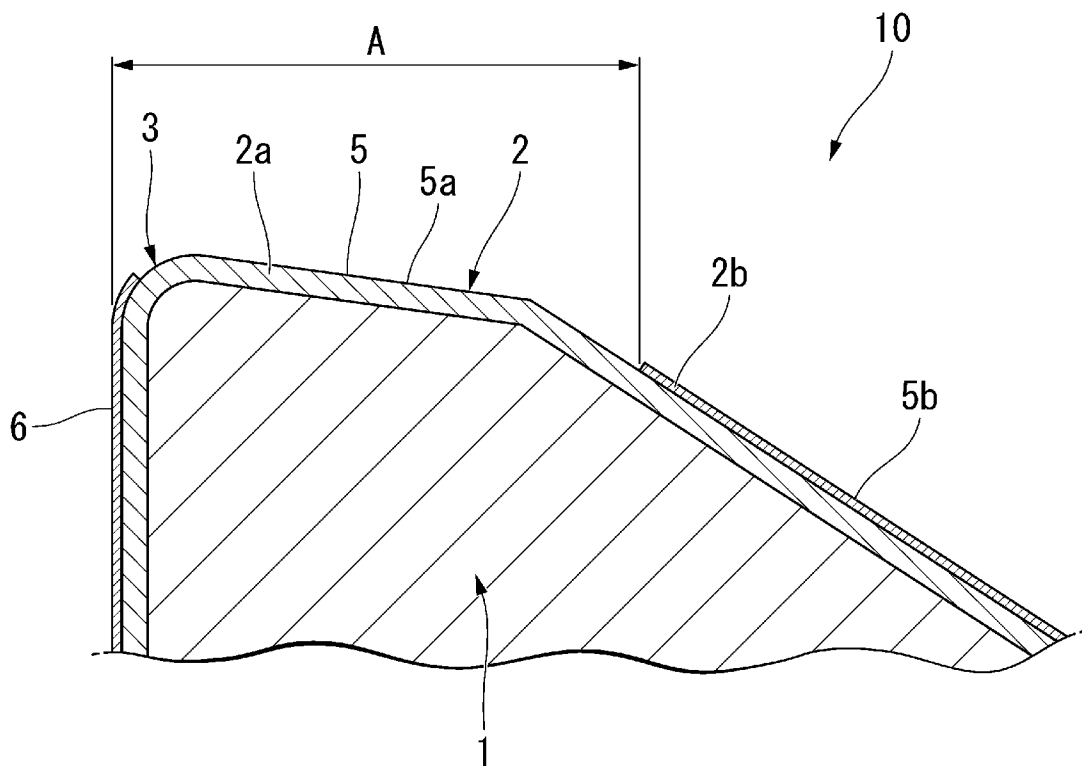
請求の範囲

- [請求項1] 焼結合金製の工具基体と、前記工具基体の外面上に配置され、炭化物、窒化物、および炭窒化物のいずれか、あるいはこれらの複合化合物により構成される層を少なくとも有する硬質被膜と、前記工具基体の稜線部に形成され、前記硬質被膜のうち前記稜線部に位置する部分を含む切れ刃と、を備える切削工具の製造方法であって、
- 前記硬質被膜上に、パルス幅が100ps以下のパルスレーザを直接照射することで、前記硬質被膜および前記工具基体の表面領域に圧縮残留応力を付与するレーザピーニング工程を含む、
- 切削工具の製造方法。
- [請求項2] 前記レーザピーニング工程では、前記硬質被膜上に、パルス幅が10ps以下のパルスレーザを照射する、
- 請求項1に記載の切削工具の製造方法。
- [請求項3] 前記レーザピーニング工程では、前記硬質被膜上に、パルス幅が10fs以上のパルスレーザを照射する、
- 請求項1または2に記載の切削工具の製造方法。
- [請求項4] 前記レーザピーニング工程では、前記硬質被膜および前記工具基体の圧縮残留応力に、前記切れ刃に平行な方向と、前記切れ刃と直交する方向とで異方性を付与する、
- 請求項1から3のいずれか1項に記載の切削工具の製造方法。
- [請求項5] 前記レーザピーニング工程では、前記切れ刃と平行な方向のパルスレーザ照射点間隔と、前記切れ刃と直交する方向のパルスレーザ照射点間隔とを、互いに異ならせる、
- 請求項1から4のいずれか1項に記載の切削工具の製造方法。

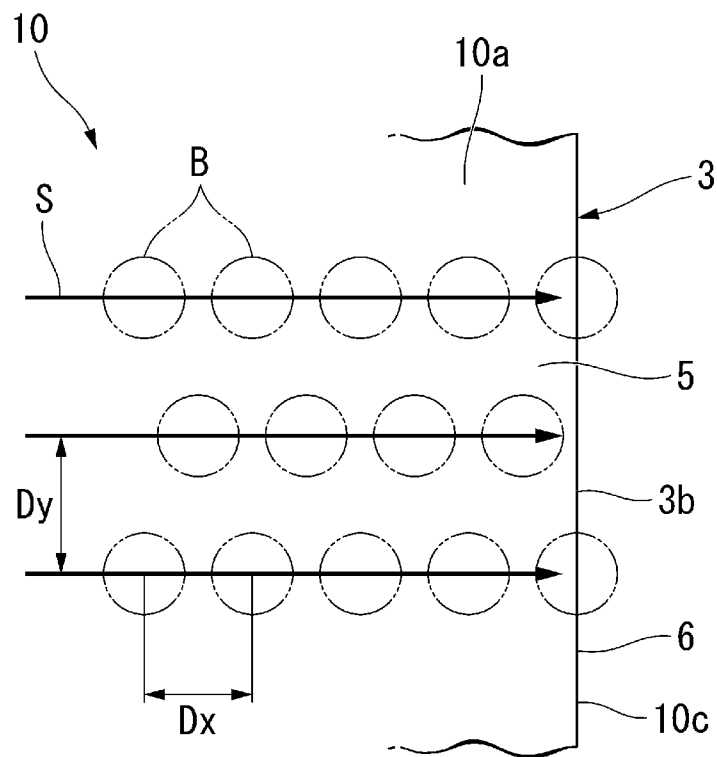
[図1]



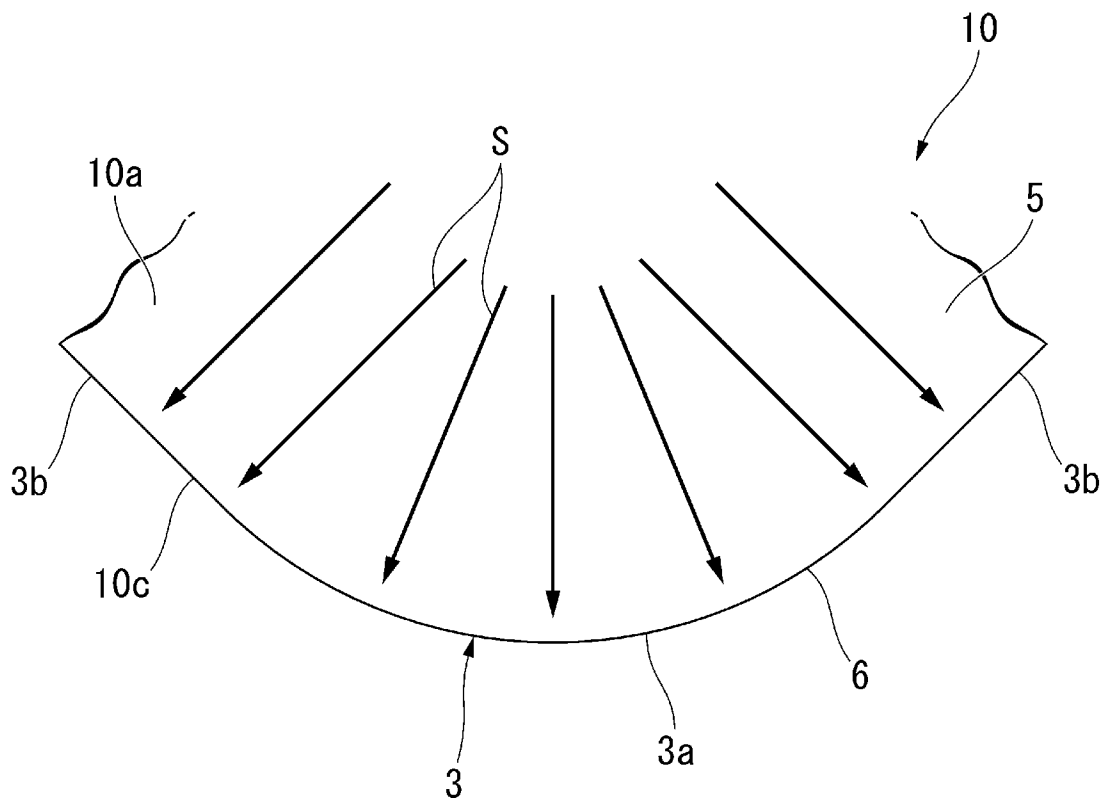
[図2]



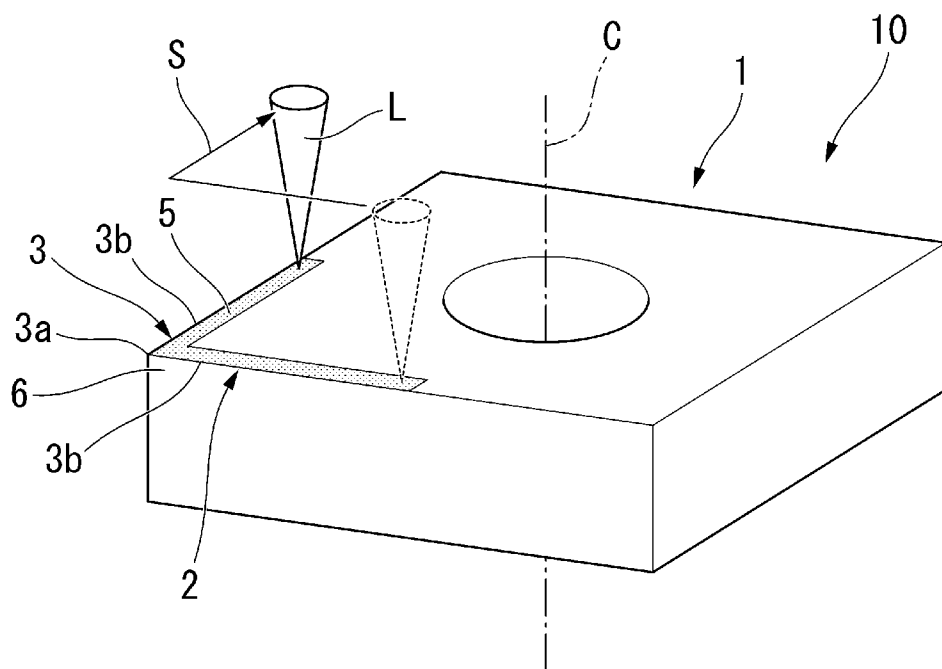
[図3]



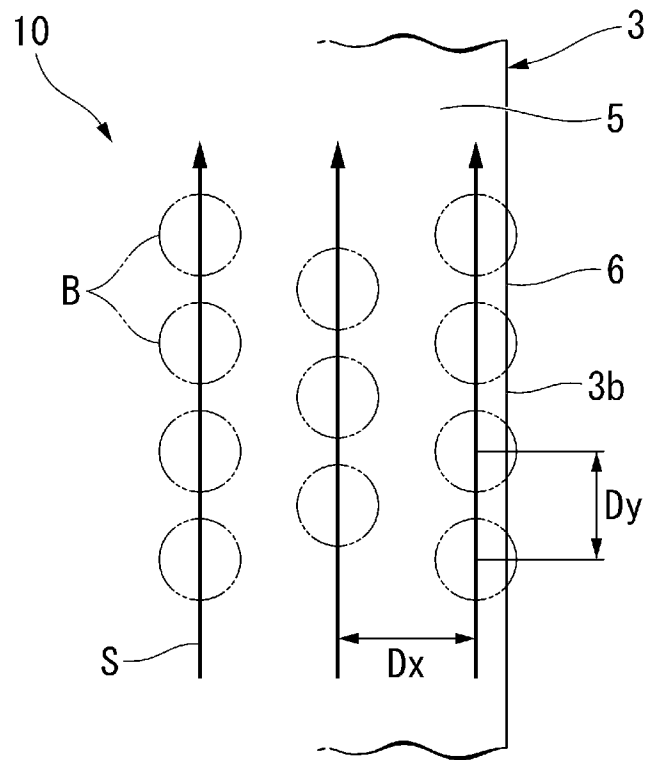
[図4]



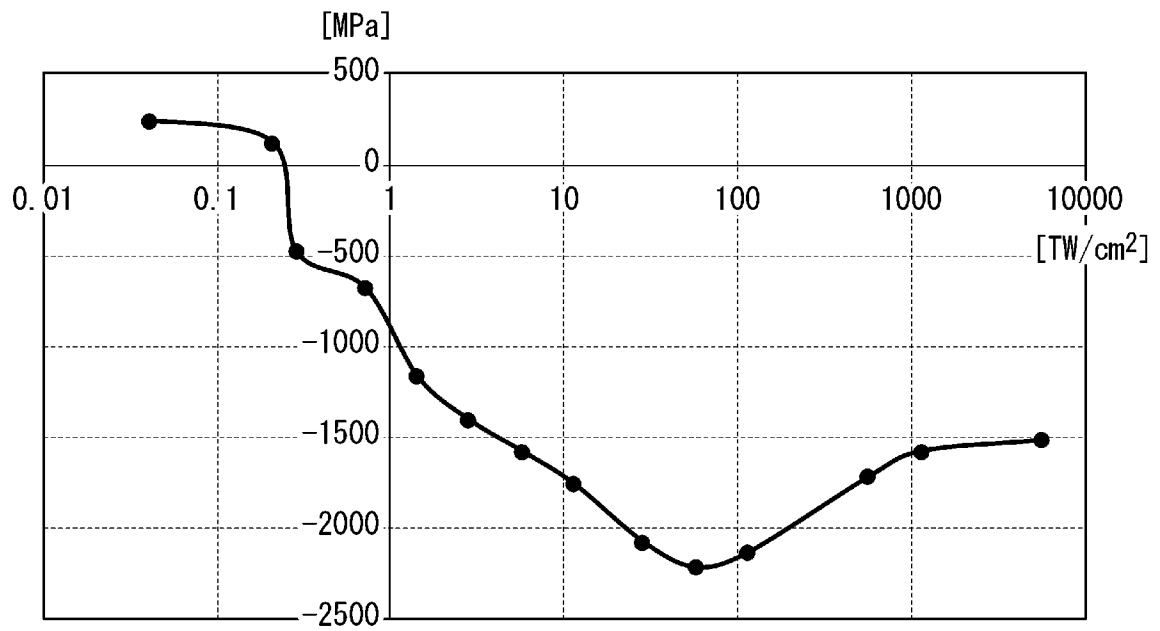
[図5]



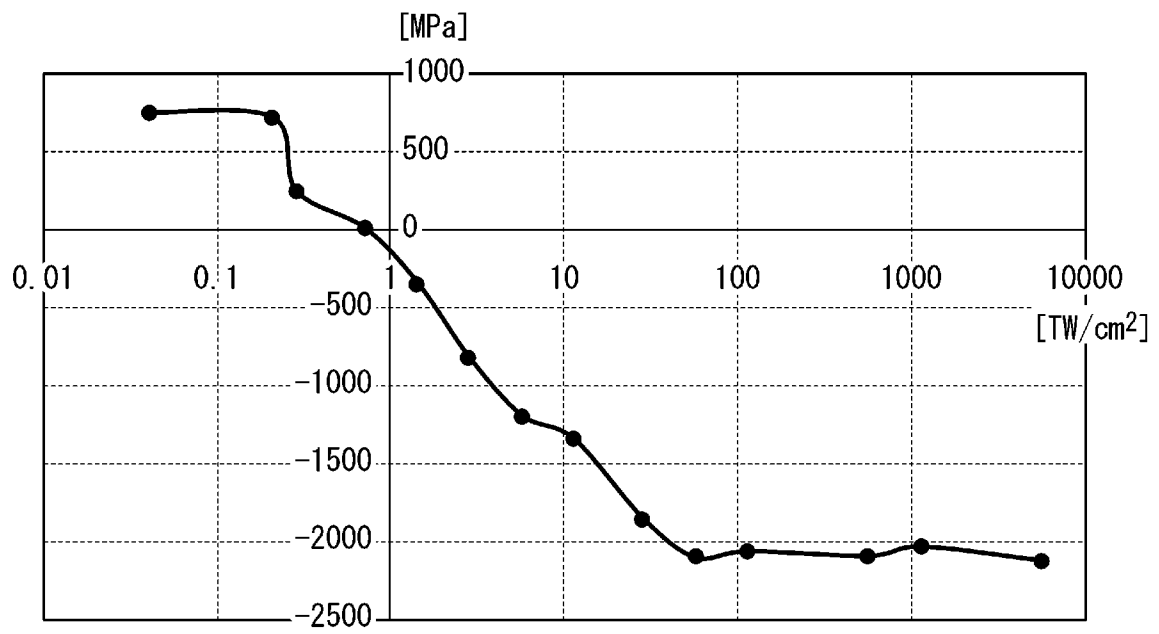
[図6]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/004403

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B23B 27/14(2006.01)i; B23C 5/20(2006.01)i; B23P 15/28(2006.01)i; B23B 51/00(2006.01)i; B23K 26/356(2014.01)i

FI: B23B27/14 A; B23P15/28 A; B23K26/356; B23B51/00 J; B23C5/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B23B27/00-27/24; B23C5/16-5/24; B23P15/28; B23B51/00; B23K26/356

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2021
Registered utility model specifications of Japan	1996-2021
Published registered utility model applications of Japan	1994-2021

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2005-272989 A (TOSHIBA CORP.) 06 October 2005 (2005-10-06) paragraphs [0001]-[0014], [0046]-[0052]	1-3 4-5
Y A	WO 2019/021539 A1 (SUBARU CORP.) 31 January 2019 (2019-01-31) paragraphs [0009]-[0019]	1-3 4-5
A	JP 2014-188618 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 06 October 2014 (2014-10-06) paragraphs [0011]-[0017], [0055], tables 1-3	1-5
A	WO 2018/215996 A1 (UNIVERSITY OF THE WITWATERSRAND, JOHANNESBURG) 29 November 2018 (2018-11-29)	1-5



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
02 April 2021 (02.04.2021)

Date of mailing of the international search report
13 April 2021 (13.04.2021)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/004403

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2013-107143 A (OSG CORP.) 06 June 2013 (2013-06-06)	1-5
A	WO 2018/179666 A1 (SUMITOMO ELECTRIC HARDMETAL CORPORATION) 04 October 2018 (2018-10-04)	1-5
A	JP 2007-216327 A (AISIN SEIKI CO., LTD.) 30 August 2007 (2007-08-30)	1-5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2021/004403

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2005-272989 A WO 2019/021539 A1	06 Oct. 2005 31 Jan. 2019	(Family: none) US 2020/0139489 A1 paragraphs [0016]- [0026] EP 3659739 A1 CN 110709207 A	
JP 2014-188618 A WO 2015/215996 A1	06 Oct. 2014 29 Nov. 2018	(Family: none) US 2020/0102634 A1 EP 3631035 A1	
JP 2013-107143 A WO 2018/179666 A1	06 Jun. 2013 04 Oct. 2018	(Family: none) US 2020/0030889 A1 EP 3603858 A1 CN 110461514 A	
JP 2007-216327 A	30 Aug. 2007	KR 10-2019-0121805 A (Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） B23B 27/14(2006.01)i; B23C 5/20(2006.01)i; B23P 15/28(2006.01)i; B23B 51/00(2006.01)i; B23K 26/356(2014.01)i FI: B23B27/14 A; B23P15/28 A; B23K26/356; B23B51/00 J; B23C5/20		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） B23B27/00-27/24; B23C5/16-5/24; B23P15/28; B23B51/00; B23K26/356 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2021年 日本国実用新案登録公報 1996-2021年 日本国登録実用新案公報 1994-2021年		
国際調査で利用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2005-272989 A（株式会社東芝） 06.10.2005（2005-10-06） 段落0001-0014、0046-0052	1-3
A		4-5
Y	WO 2019/021539 A1（株式会社SUBARU） 31.01.2019（2019-01-31） 段落0009-0019	1-3
A		4-5
A	JP 2014-188618 A（住友電気工業株式会社） 06.10.2014（2014-10-06） 段落0011-0017、0055、表1-3	1-5
A	WO 2018/215996 A1（UNIVERSITY OF THE WITWATERSRAND, JOHANNESBURG） 29.11.2018 （2018-11-29）	1-5
A	JP 2013-107143 A（オーエスジー株式会社） 06.06.2013（2013-06-06）	1-5
A	WO 2018/179666 A1（住友電工ハードメタル株式会社） 04.10.2018（2018-10-04）	1-5
A	JP 2007-216327 A（アイシン精機株式会社） 30.08.2007（2007-08-30）	1-5
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 02.04.2021		国際調査報告の発送日 13.04.2021
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 亀田 貴志 3C 9719 電話番号 03-3581-1101 内線 3324

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/004403

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2005-272989	A	06.10.2005	(ファミリーなし)	
WO	2019/021539	A1	31.01.2019	US 2020/0139489	A1
				[0016]-[0026]	
				EP 3659739	A1
				CN 110709207	A
JP	2014-188618	A	06.10.2014	(ファミリーなし)	
WO	2018/215996	A1	29.11.2018	US 2020/0102634	A1
				EP 3631035	A1
JP	2013-107143	A	06.06.2013	(ファミリーなし)	
WO	2018/179666	A1	04.10.2018	US 2020/0030889	A1
				EP 3603858	A1
				CN 110461514	A
				KR 10-2019-0121805	A
JP	2007-216327	A	30.08.2007	(ファミリーなし)	