

明 細 書

発明の名称：超硬合金台板外周切断刃及びその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、希土類焼結磁石の切断に好適な超硬合金台板外周切断刃、及びその製造方法に関する。

背景技術

[0002] 希土類永久磁石（焼結磁石）の切断加工には、内周切断やワイヤーソー切断など各種の手法が実施されている。このなかで、外周刃による切断加工は最も広く採用されている切断方法である。この方法は、切断機の価格が安く、超硬刃を用いると、切り代もそれほど小さくなく、被作物の寸法精度がよく、加工速度も比較的速いなどの特徴があり、量産性に優れた加工方法として、希土類焼結磁石の切断に広く利用されている。

[0003] 希土類永久磁石の切断に用いられる外周刃としては、特開平 9-174441 号公報、特開平 10-175171 号公報、特開平 10-175172 号公報等に、超硬合金台板の外周部にフェノール樹脂、Niメッキ等でダイヤモンド砥粒や cBN 砥粒などを固定する技術が開示されている。台板に超硬合金を用いることによって、従来の合金工具鋼や高速度鋼に比べて台板の機械強度が向上した結果、加工切断精度の向上、薄刃使用での切り代削減による被作物の歩留まり向上、高速加工による加工コストの削減が可能となった。

[0004] このように超硬合金台板を用いた外周刃は、従来の外周刃より優れた切断及び加工性能を示すが、市場からのコスト削減の要望は止むことが無く、更に高精度で高速な加工を実現させる高性能切断砥石の開発が切望されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献 1：特開平 9-174441 号公報

特許文献2：特開平10－175171号公報

特許文献3：特開平10－175172号公報

特許文献4：特開2005－193358号公報

特許文献5：特開平7－207254号公報

特許文献6：特許第2942989号公報

特許文献7：特開2005－219169号公報

特許文献8：国際公開96／23630号パンフレット

特許文献9：特開2009－172751号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 本出願人は、先に、リング状の超硬合金台板の外周部にフェノール樹脂等のレジンでダイヤモンド砥粒を固定する技術や、超硬合金台板の外周部に適度なヤング率を有する金属結合材でダイヤモンド砥粒やcBN砥粒などの砥粒を固定する技術を提案した（特開2009－172751号公報）。

[0007] 希土類焼結磁石の切断に用いる外周切断刃は、切り刃部と台板の2つの部分から構成されている。この外周切断刃の大半を占める台板を高剛性の超硬合金に替えたことによって、機械強度が向上し、それまでの合金工具鋼や高速度鋼を台板とした外周切断刃に比べ、切断加工の精度が向上した。また、この超硬合金台板に加え、結合材を適度なヤング率を有する金属に替えることによって、外周切断刃全体の機械的強度を向上させ、それまでのフェノール樹脂やポリイミド樹脂を砥粒結合材としたレジンボンドの外周切断刃に比べ、加工精度の向上、薄刃化による材料歩留まりの向上、切断速度の高速化による加工コストの低減という3つの高性能化が可能となった。

[0008] 更に、超硬合金外周切断刃の製造に関しては、台板の外周縁部近傍に磁場を形成し、その磁場が、予め磁性体でコーティングした砥粒皮膜に作用して皮膜を磁化させることで、砥粒を台板外周部に吸引させ、その状態でメッキすることによって砥粒を固定する外周切断刃の製造方法によって、超硬合金外周切断刃の製造コスト低減が可能となった。

[0009] 上述した技術により提供される超硬合金台板外周切断刃は、高い性能を示す外周切断刃ではあるが、希土類焼結磁石の切断加工において、磁石が斜めに切断されることがや磁石の切断面に外周切断刃の切り跡が残ることなどで寸法精度が悪化する場合がある。具体的には、外径80～200mm、厚み0.1～1.0mm、内穴の直径30～80mmの超硬合金台板外周切断刃を用いて、単位時間あたりの切削体積が200mm³/min以上の高速・高負荷切断加工を行った際に、寸法公差が50μm以上になる場合があった。寸法精度が悪化した場合、磁石には切断面を精密研磨するラップ加工などの工程を増やす必要があり、外周切断刃には砥石を用いたドレスを実施することや切断条件を変更することが必要である。

[0010] このことは、例えば、ヨークと磁石のクリアランスに厳密な管理が要求されるリニアモーターやハードディスクVCM（ボイスコイルモータ）など、切断面の平面度を含めた高い寸法精度と生産コスト低減との両立が要求される磁石を加工する場合において障害となる。

[0011] 本発明は、上記事情に鑑みなされたものであり、高い寸法精度を有する希土類焼結磁石を加工できる超硬合金台板外周切断刃を提供すること、更にこの超硬合金台板外周切断刃を低コストで製造する方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0012] 希土類焼結磁石が斜めに切断される現象は、外周切断刃の刃先形状が左右対称でなく、刃が切削しやすい方向に切り進んでしまうことや、加工機に外周切断刃を取り付けた際に刃が反ってしまうことで生じると考えられる。また、磁石に切り跡が残る現象は、上記の理由により磁石を斜めに切断していた外周切断刃が、切断途中で急に進行方向を変えることにより、それまでの切断面と新たに生じた切断面とのつなぎ目が滑らかにつながらず、段差になることで発生すると考えられる。

[0013] 切断中に外周切断刃の進行方向が急に変わることは、例えば、刃先の一部に何らかの理由で変形や脱落が生じる場合、切り刃部の先端形状が急に変わ

る場合、切り刃部での研削速度より外周切断刃の送り速度が速いために、外周切断刃の刃先が変形し、その変形により外周切断刃に生じる内力が、外周切断刃が被作物から受ける力（外力）よりも大きくなって、刃先に変形を与えていた力が解放された場合、切断中に生じるスラッジや系外からの異物が切り溝に詰まることで、外周切断刃の進行が妨げられる場合などにおいて生じると考えられる。従って、このような状況で生じる切り跡を無くするためには、切り刃部の先端形状が急激に変わらず、かつ切断中に刃先の進行方向が変わるような力が加わった場合でも、切り刃部がある程度変形して切断面をなめらかに繋ぐようにすることが有効である。

[0014] 砥粒を台板に電気メッキ又は無電解メッキにより固着して切り刃部を形成した外周切断刃では、砥粒としてある程度の粒径のものが用いられるため、固着された砥粒は、砥粒と砥粒の間、及び砥粒と台板の間で、一部分でしか接触し得ず、それらの間の隙間をメッキで完全に埋めることはない。そのため、切り刃部には、メッキ後においても、隙間、即ち、切り刃部表面に連通する空隙が存在する。

[0015] 切断中の外周切断刃への負荷が少ない場合、これらの隙間があっても切削中に受ける力によって大きな変形を起こすことなく高精度の切断が行なえるが、超硬合金台板が変形するような高負荷切断が行われる状況にあっては、刃先の一部が変形したり、脱落したりするおそれがある。刃先の変形や脱落を防ぐには、刃先の強度を高める方法が有効であるが、切り刃部には、後述するように、変形して切断面をなめらかに繋ぐことができる弾性も必要で、変形し難いように単に高強度としただけでは対応できないことがわかった。

[0016] そこで、本発明者らは、上記目的を達成するため鋭意検討し、高強度と弾性が両立する切り刃部の構成と、切り刃部の機械的な性質について検討したところ、上述した砥粒と砥粒の間、砥粒と台板の間に存在する隙間を利用し、この隙間に金属及び／又は合金を含浸した切り刃部が有効であり、このような切り刃部を形成した超硬合金台板外周切断刃が、切断加工する磁石の寸

法精度の向上に有効であり、また、金属及び／又は合金の含浸という手法が、外周切断刃の高精度、かつ安価な製造に有効であることを見出し、本発明をなすに至った。

[0017] 従って、本発明は、第1に、ヤング率450～700 GPaの超硬合金で形成され、外径80～200 mm、内径30～80 mm、厚み0.1～1.0 mmである円形リング状薄板の台板の外周縁部上に、切り刃部を有する超硬合金台板外周切断刃であって、

上記切り刃部が、予め磁性体がコーティングしてなるダイヤモンド砥粒及び／又はcBN砥粒と、上記砥粒間及び上記砥粒と台板との間を連結する電気メッキ又は無電解メッキにより形成された金属又は合金と、上記砥粒間及び上記砥粒と台板との間に含浸させた融点が350℃以下の金属及び／又は合金とを含むことを特徴とする超硬合金台板外周切断刃を提供する。

また、その好ましい態様として、上記含浸に供する金属がSn及びPbから選ばれる1種以上であり、上記含浸に供する合金がSn-Ag-Cu合金、Sn-Ag合金、Sn-Cu合金、Sn-Zn合金及びSn-Pb合金から選ばれる1種以上であるもの、及び、上記含浸に供する金属及び合金のポアソン比が0.3～0.48である上記外周切断刃を提供する。

また、その好ましい態様として、上記台板の飽和磁化が40 kA/m (0.05 T) 以上である上記外周切断刃を提供する。

更に、その好ましい態様として、上記砥粒の平均粒径が10～300 μmであるもの、及び、上記砥粒の質量磁化率 χ_g が0.2以上である上記外周切断刃を提供する。

[0018] また、本発明は、第2に、ヤング率450～700 GPaの超硬合金で形成され、外径80～200 mm、内径30～80 mm、厚み0.1～1.0 mmである円形リング状薄板の台板の外周縁部に近接して永久磁石を配設し、

該永久磁石が形成する磁場により、予め磁性体をコーティングしてなるダイヤモンド砥粒及び／又はcBN砥粒を上記台板の外周縁部近傍に磁氣的に吸

引固定し、

該吸引固定を保った状態で、電気メッキ又は無電解メッキにより、上記砥粒間及び上記砥粒と台板との間を連結して上記台板外周端部に砥粒を固着させ、て切り刃部を形成し、

上記砥粒間及び上記砥粒と台板との間に存する空隙に、融点が 350°C 以下の金属及び／又は合金を含浸することを特徴とする超硬合金台板外周切断刃の製造方法を提供する。

また、その好ましい態様として、上記含浸に供する金属がSn及びPbから選ばれる1種以上であり、上記含浸に供する合金がSn-Ag-Cu合金、Sn-Ag合金、Sn-Cu合金、Sn-Zn合金及びSn-Pb合金から選ばれる1種以上である上記製造方法、及び、上記含浸に供する金属及び合金のポアソン比が $0.3 \sim 0.48$ である上記製造方法を提供する。

また、その好ましい態様として、上記台板の飽和磁化が 40 kA/m (0.05 T) 以上である上記製造方法を提供する。

また、その好ましい態様として、上記砥粒の平均粒径が $10 \sim 300\text{ }\mu\text{m}$ である上記製造方法、及び、上記砥粒の質量磁化率 χ_g が 0.2 以上である上記製造方法を提供する。

更に、その好ましい態様として、上記永久磁石により台板の外周端から 0 m 以内の空間に 8 kA/m 以上の磁場を形成する上記製造方法を提供する。

発明の効果

[0019] 本発明の超硬合金台板外周切断刃を採用することで、切断操作のみで被作物の寸法を高精度に仕上げることができ、切断後の後処理工程が省略できることから、高い寸法精度を有する希土類磁石を安価に提供することが可能となる。

また、本発明の製造方法は、この超硬合金台板外周切断刃を優れたコストパフォーマンスをもって製造することができるものである。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]本発明の外周切断刃を示す図であり、(A)は平面図、(B)は(A)における線B-Bでの断面図、(C)は(B)におけるC部分の拡大断面図である。

[図2]本発明に用いる治具の一実施例を示す斜視図である。

[図3]図2の台板を挟持した治具本体の先端部の拡大断面図である。

[図4](A)～(D)はそれぞれ台板に形成された切り刃部の状態を示す一部省略断面図である。

[図5]実施例1の外周切断刃の切り刃部の刃先側面の顕微鏡写真である。

[図6]実施例1～4及び比較例1で製作した外周切断刃を用いて切断加工した希土類焼結磁石の切断枚数と切断精度との関係を示すグラフである。

[図7]実施例1～4及び比較例1で製作した外周切断刃の切り刃部の変形量と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

[0021] 本発明の外周切断刃は、例えば、図1に示すように、円形薄板の台板10の外周縁部上に、ダイヤモンド砥粒及び／又はcBN砥粒が、電気メッキ又は無電解メッキにより形成された金属又は合金（金属結合材）で結合された切り刃部20が形成されているものである。

[0022] 上記台板10は、円形薄板（中央部には内穴12が形成されたドーナツ状の薄板）であり、厚みが0.1～1.0mm、好ましくは0.2～0.8mmで、外径が80～200mm、好ましくは100～180mm、内穴の直径（内径）が30～80mm、好ましくは40～70mmの寸法を有する。

[0023] ここで、上記台板10の円形薄板は、図1のとおり、中央の内穴と外側の円周部とを具備している。本発明で、外周切断刃の寸法を説明する際に使用される「径方向」及び「軸方向」はこの円形薄板の中心と相対して用いられ、厚さとは軸方向寸法であり、長さ（高さ）とは径方向寸法である。同様に、「内側」又は「内方」や「外側」又は「外方」も円形薄板の中心又は外周切断刃の回転軸と相対して用いられる。

- [0024] 厚み0.1～1.0mmで外径200mm以下の範囲としたのは、精度のよい台板の製作が可能なおと、希土類焼結磁石等の被作物（ワーク）を寸法精度良く長期にわたって安定して切断できるからである。厚み0.1mm未満であると、外径によらず大きな反りが発生しやすいため、精度良い台板の製作が難しく、また、1.0mmを超えると切断加工代が大きくなる。外径を $\phi 200$ mm以下としたのは、現行の超硬合金の製造技術及び加工技術での製作可能な寸法による。内穴の直径については、加工機の切断刃取り付け軸の太さに合わせ、 $\phi 30 \sim \phi 80$ mmとする。
- [0025] 台板の材質は超硬合金であり、例えば、WC、TiC、MoC、NbC、TaC、Cr₃C₂などの周期表ⅤB、VB、ⅥB族に属する金属の炭化物粉末をFe、Co、Ni、Mo、Cu、Pb、Sn、又はそれらの合金を用いて焼結結合した合金が好ましく、これらの中でも特にWC-Co系、WC-Ti系、C-Co系、WC-TiC-TaC-Co系の代表的なものを用い、ヤング率が450～700GPaのものを用いる。また、これらの超硬合金においては、メッキができる程度の電気伝導性を有するか、又はパラジウム触媒などによって電気伝導性を付与できるものが好ましい。パラジウム触媒などによる電気伝導性の付与については、例えば、ABS樹脂にメッキする場合などに用いられる導電化処理剤など、公知のものを利用することができる。
- [0026] なお、台板の磁気的特性は、砥粒を磁気吸引により台板に固定するために飽和磁化が大きいほうが好ましいが、仮に、飽和磁化が小さくても、後述するように磁石位置や磁界の強さを制御することで予め磁性体でコーティングされた砥粒を台板に磁気吸引させることが可能なため、40kA/m（0.05T）以上であればよい。
- [0027] 台板の飽和磁化は、所定厚みの台板から5mm角の測定試料を切り出し、Vibrating Sample Magnetometer（VSM）を用いて24～25℃の間で磁化曲線（4 π I-H）を測定し、第一象限における磁化の値の上限を台板の飽和磁化とすることができる。

[0028] 台板外周部は、金属結合材で砥粒が固着され形成された切り刃部との結合強度を高めるため、C面取りやR面取りを施すことも効果的である。これらの面取りを施すことによって、刃厚調整時に台板と砥粒層との境目を誤って研削しすぎた場合でも、金属結合材が境目に残ることで、切り刃部の脱落を防ぐことができる。面取りの角度や量は、加工できる範囲が台板の厚みに依存するため、用いる台板の厚みと固着する砥粒の平均粒径に応じて決定する。

[0029] 切り刃部を形成する砥粒としては、ダイヤモンド砥粒及び／又はcBN砥粒を用いるが、これらの砥粒は予め磁性体によってコーティングしておく必要がある。磁性体によってコーティングされる砥粒の大きさや硬さは、目的に応じて決める。

[0030] 例えば、ダイヤモンド（天然ダイヤモンド、工業用合成ダイヤモンド）砥粒、cBN（立方晶窒化ホウ素）砥粒を各々単独で用いてもよいし、ダイヤモンド砥粒とcBN砥粒との混合砥粒を用いることも可能である。また、被作物に応じて、各々の砥粒を単結晶又は多結晶の中から、各々単独又は混合して用いるなどして、割れやすさを調節することも可能である。更に、これら砥粒の表面に、Fe、Co、Crなどの金属を1 μ m程度スパッタリングしておくことも、後述のコーティングする磁性体との結合強度を高める方法として有効である。

[0031] 砥粒の大きさは、台板の厚みにもよるが、平均粒径で10～300 μ mであることが好ましい。平均粒径が10 μ m未満であると、砥粒と砥粒の隙間が少なくなるため、切断中の目詰まりが生じやすくなり切断能力が低下するし、平均粒径300 μ mを超えると、磁石の切断面が粗くなるなどの不具合が生じてしまうおそれがある。このような範囲において、切断加工性や寿命などを考慮して、特定の大きさの砥粒を単独又は幾つかの組み合わせで用いればよい。

[0032] 砥粒をコーティングする磁性体は、例えば、飽和磁化の低い超硬合金などの台板でも短時間で磁気吸引でき、メッキ法で固着する際に脱落しないよう

に、砥粒の質量磁化率 χ_g が 0.2 以上、好ましくは 0.39 以上となるように、Ni、Fe 及び Co から選ばれる 1 種の金属、これら金属から選ばれる 2 種以上からなる合金、又はこれら金属若しくは合金の 1 種と P 及び Mn から選ばれる 1 種若しくは 2 種との合金を、スパッタリング、電気メッキ、無電解メッキなどの公知の方法により、皮膜の厚みが砥粒径の 0.5 ~ 100%、好ましくは 2 ~ 80% となるようにコーティングする。

[0033] 砥粒の磁化率はコーティングする磁性体の磁化率とコーティングするときの厚みに依存するため、砥粒の大きさによって必要な吸引力が得られるよう磁性体の種類について考慮する必要があるが、例えば、無電解ニッケルリンメッキのようにリン含有率が高く磁化率が小さいものでも、熱処理を施すことによって、ある程度磁化率を大きくすることも可能であるし、磁化率が小さいコーティングの上に磁化率の大きなコーティングを施すように異なる磁化率のコーティングで複層化することも可能であることから、状況に合わせて適度な範囲で調節する。

[0034] このように砥粒の質量磁化率 χ_g を 0.2 以上、好ましくは 0.39 以上とすれば、後述する台板外周縁部に近接して形成される磁場によって、速やかに砥粒が磁化されるため、台板と永久磁石保持具（治具本体）とで形成される後述する図 3 の隙間 64 の全ての部位において、ほぼ均等に砥粒が磁気吸引される。砥粒の質量磁化率 χ_g が 0.2 未満であると、上記隙間に砥粒がうまく吸引されず、メッキ中に砥粒が脱落するなどして砥粒層（切り刃部）を形成できないか、又は砥粒層に孔部などを生じてさせるため、結果として砥粒層の機械強度を弱めてしまうおそれがある。

[0035] なお、砥粒の質量磁化率は、以下の方法で測定することができる。まず、外径 ϕ 8 mm、高さ 5 mm 程度で、内径 ϕ 6 mm の樹脂製容器内に、砥粒が 1 ~ 2 層程度になるよう、できるだけ薄く均一に広げたあと容器から取り出して砥粒の重量を測定し、再度容器に戻してから、その上に融点 50℃ 程度のパラフィンを被せ、全体を 60℃ のオーブンに入れ加熱する。次に、パラフィンが溶けた状態で容器に蓋をし、冷却する。次に、この試料を温度 24

～25℃で、VSM（振動試料型磁力計：Vibrating Sample Magnetometer）を用い、初磁化曲線（ $4\pi I-H$ ）を測定する。この初磁化曲線での微分磁化率を曲線の変曲点における傾きから求め、試料重量で割って砥粒の質量磁化率 χ_g とする。なお、磁場はNi標準試料で校正し、砥粒の密度はタップ嵩密度を用いて測定する。

[0036] コーティングする磁性体の厚みは、切り刃部を形成した際に作る隙間の大きさにも影響を与えるので、特に適切な範囲とすることが必要である。最小厚みは、メッキでコーティングする場合でも砥粒全体をほぼ隙間無くコーティングできる厚みである2.5 μm 以上となるようにするのが好ましい。例えば、上述した砥粒の好ましい平均粒径範囲の最大値300 μm の場合では0.5%以上、特に0.8%以上であればよい。コーティングの厚みをこのようにすることにより、外周切断刃として切断加工する際においても、砥粒の脱落を低減できる保持力を得ることができ、また、コーティングする磁性体の種類を適切に選ぶことで、メッキ工程中に脱落すること無く、砥粒が磁場によって台板外周縁部上又は近傍に吸引される。

[0037] 最大厚みは、例えば、上述した砥粒の好ましい平均粒径範囲の最小値10 μm の場合には、切断加工において有効に機能しない部分や、砥粒の自生作用を妨げる部分が増え、加工能力が低下するので、砥粒の平均粒径に対して100%までとすることが好ましい。

[0038] 砥粒を結合する金属結合材は、後述するメッキ金属（合金）である。切り刃部の形成には、台板の外周縁部に近接して永久磁石を配設することが必要であり、例えば、台板の外周端より内側の台板面上、又は外周端より内側で台板側面からの距離が20mm以内となる空間内に、残留磁束密度が0.3T以上である永久磁石を2個以上配置することで、台板の少なくとも外周端から10mm以内の空間に8kA/m以上の磁場を形成し、更に予め磁性体をコーティングしてなるダイヤモンド砥粒及び／又はcBN砥粒に、この磁場を作用させて磁気吸引力を生じさせ、その吸引力によりこれらの砥粒を台板外周縁部上又は近傍に磁氣的に吸引固定し、その状態のまま台板外周縁部

上に電気メッキ又は無電解メッキを施して、台板外周縁部上に固着する方法を採用することができる。

[0039] この際に用いる治具としては、台板の外径より大きい外径を有する絶縁体からなるカバーと、このカバーに、台板の外周端より内側になるように配置、固定された永久磁石とを有する１対の治具本体を用いることができる。メッキは、これら治具本体間に台板を保持して行うことができる。

[0040] 図２，３は、このメッキの際に用いる治具の一例を示すもので、５０，５０は一对の治具本体であり、これら治具本体５０，５０はそれぞれ絶縁体製のカバー５２，５２と、これらカバー５２，５２に装着された永久磁石５４，５４とを有し、治具本体５０，５０間に台板１が保持される。なお、永久磁石５４，５４はカバー５２，５２内に埋設することが好ましいが、台板１と当接するように設けてもよい。

[0041] 治具に内蔵する永久磁石には、メッキ法で金属結合材を析出させて砥粒を固着させる間、台板に砥粒を吸引しつづけるだけの磁力が必要である。必要とする磁力は、台板外周縁部と磁石との距離や、予め砥粒をコーティングしている磁性体の磁化や磁化率にもよるが、残留磁束密度０．３Ｔ以上、保磁力０．２ＭＡ／ｍ以上、好ましくは残留磁束密度０．６Ｔ以上、保磁力０．８ＭＡ／ｍ以上、より好ましくは残留磁束密度１．０Ｔ以上、保磁力１．０ＭＡ／ｍ以上である永久磁石を用いることで得られる。

[0042] 永久磁石の残留磁束密度は、値が大きいほど、形成する磁場の勾配を大きくできるため、局所的に砥粒を吸引したい場合には好都合である。よって、メッキ中に生じるメッキ液の攪拌や台板と治具の揺動による振動で砥粒が台板から外れてしまうことを防ぐために、０．３Ｔ以上の残留磁束密度の永久磁石を用いることが好ましい。

[0043] 保磁力は値が大きいほど、高温のメッキ液にさらされても長期間砥粒を台板に強く磁気吸引でき、用いる磁石の位置、形状、大きさについての自由度が大きくなって治具製作が容易となるので、必要な残留磁束密度を満たした中から選べばよい。

- [0044] 永久磁石のコーティングは、メッキ液に磁石が触れる場合も考慮し、メッキ液へのコーティング材の溶出やメッキ液中の金属種との置換ができるだけ少なくなるような条件で選定して、永久磁石の耐食性を高めるようにする。例えば、Niメッキ液を用いて金属結合材を析出するのであれば、Cu、Sn、Niの金属や、エポキシ樹脂やアクリル樹脂のコーティングが適している。
- [0045] 治具に内蔵する永久磁石の形状と寸法及び数は、台板となる超硬合金の大きさ、所望する磁場の位置と向きと強さによる。例えば、台板外周縁部に均一に砥粒を固着させたい場合は、台板の外径に合ったリング状や円弧状の磁石、又は、1辺の長さが数mm程度の直方体状磁石を、台板外周に沿って隙間無く連続に配置する。なお、磁石にかかるコストを少なくする目的で、これら磁石の間に均等に空間を設けて個数を減らし配置してもよい。
- [0046] また、用いる磁石の残留磁束密度にもよるが、磁石間隔を大きくすることで予め磁性体によってコーティングされている砥粒が吸引される部分と吸引されない部分とを設けて、固着される砥粒の有る部分と無い部分を作り、矩形状の切り刃部を形成させることもできる。
- [0047] なお、台板外周縁部に生じさせる磁場は、台板を挟む2つの治具本体に固定される永久磁石の位置と磁化方向の向きの組み合わせによって様々に作り出すことができるため、台板の少なくとも外周端から10mm以内の空間に8kA/m以上、好ましくは40kA/m以上の磁場が形成されるように磁場解析と実証を繰り返して決定する。磁場の強さが8kA/m未満であると、予め磁性体によってコーティングされている砥粒の吸引力が不足するため、その状態でメッキすると、メッキ中に砥粒が動いてしまい、隙間の多い切り刃部が形成されたり、砥粒が樹枝状に固定されたりして切り刃部の寸法が所望よりも大きくなるおそれがある。その結果、整形加工中に切り刃部が脱落したり、整形加工にかかる時間が長くなったりするため、製造コストが増大する場合がある。
- [0048] 永久磁石の位置は、できるだけ砥粒を吸引させたい部分に近いほうが好ま

しいが、大まかには、台板の外周端より内側の台板面上又は外周端より内側で台板面からの距離が20 mm以内である空間内、更に好ましくは距離10 mm以内である空間内がより好ましい。この範囲の特定位置に0.3 T以上の残留磁束密度を有する永久磁石をその全て又は一部分が含まれるように2個以上（治具本体1個あたり1個以上）配置することで、台板の少なくとも外周端から10 mm以内の空間内に8 kA/m以上の磁場を形成することができるため、合金工具鋼や高速度鋼のように飽和磁化が大きく磁力を誘導しやすい材質はもちろんのこと、超硬合金のように飽和磁化が低く磁力の誘導が小さい材質であっても、台板外周縁部に磁力が適切な磁場を形成させることができる。この磁場内に予め磁性体でコーティングされた砥粒を取り込むことで、コーティング皮膜が磁化されるため、結果として所望する台板外周縁部上又は近傍に砥粒を吸引保持することが可能となる。

[0049] 台板外周端からの磁石の位置が、例えば、外周端から0.5 mm外側（外周切断刃としたときの回転軸から離間する側）である場合のように、台板外周端に極めて近い位置であっても、上記の範囲に含まれない場合は、台板外周端近傍の磁場強度は強くなるが、磁場勾配が反転する領域が生じやすくなるため、砥粒が台板から浮き上がるような挙動を示し砥粒が脱落しやすくなる。また、台板外周端よりも内側にあっても外周端からの距離が20 mmを超えてしまうような場合には、台板の外周端から10 mm以内の空間にできる磁場の強度が8 kA/m未満になりやすいため、砥粒を磁氣的に吸引する力が不足してしまうおそれがある。また、このような場合、磁場の強度を上げるため、磁石を大きくする方法もあるが、この方法では砥粒を吸引させたい部位近傍の磁場強度を全体的に上げてしまうため、砥粒を吸引させたくない位置に砥粒が付着しやすくなって好ましくない。また、この磁石を大きくする方法は磁石を保持する治具も大きくなってしまうため、あまり現実的ではない。

[0050] 治具の形状は、用いる台板の形状に合わせる。また、その寸法は治具で台板を挟んだ際に台板に対して永久磁石を所望の位置に固定できるようなもの

にする。例えば、台板の大きさが外径 ϕ 125 mm、厚み0.26 mmで、永久磁石の大きさがL 2.5 mm $\times$ W 2 mm $\times$ t 1.5 mmの場合には、外径125 mm以上、厚み20 mm程度の円板を用いることができる。

[0051] より具体的には、治具の外径は所望する砥粒層の高さ（径方向への突き出し量）（図1（C）のH2）が確保できるように、台板の外径+（砥粒層の高さ $\times$ 2）以上とし、その厚みは、材質によるが、高温のメッキ液に出し入れする際の急激な温度変化等によって反りなどが生じない程度の強度を確保できるものにする。なお、砥粒と接する部分の治具厚みは、砥粒層が台板の厚み方向にせり出す量（図1（C）のT3）が得られるように薄くしてもよいし、せり出し量と同等の厚みのマスキングテープを用いて他の部分と同じ厚みにしてもよい。

[0052] 治具の材質は、台板を挟んだ治具全体を高温のメッキ液に浸漬して金属結合材を析出させることから、メッキが析出しない絶縁体が好ましく、その中でも耐薬品性、90℃程度までの耐熱性、メッキ液への出し入れ時に生じる急激な温度変化を繰り返し受けても安定した寸法を保つことができるような耐ヒートショック性を有することが望まれる。更に、高温のメッキ液に浸漬した際でも成型時や加工時に蓄積された内部応力などで反りを生じて台板との間に隙間を生じさせることが無いような寸法安定性も必要である。もちろん、任意の位置に永久磁石を内蔵するための溝を割れや欠けなしに高精度で加工できる加工性も求められる。

[0053] 具体的なものとしては、PPS、PEEK、POM、PAR、PSF、PESなどのエンジニアリングプラスチックやアルミナなどのセラミックスを用いることができる。このような材質を用い、機械強度も考慮して厚み等の寸法を決め、永久磁石を保持する溝や、電気メッキ法を用いる場合に必要な給電電極等が収まる溝を設ける。このように製作した1対の治具本体2つを台板1枚と一体化して用いる。一体化する際には、電気メッキができるよう台板に通電するための電極等を用いて締結できるようにすれば、給電部の確保と締結を両立でき、全体も小型化できる。もちろん、一度に複数の台板

にメッキできるよう、例えば、図2に示したように、治具を連結できるような構造にすれば、より効率的な生産が可能となるので好ましい。

[0054] 即ち、図2において、56, 56はそれぞれカバー52, 52の中央部に装着された台板押さえを兼ねた電気メッキ用陰極体であり、これら陰極体56, 56は、1対の治具本体50, 50を支持、固定する導電性の支持棒58と接触し、この支持棒58から通電し得るようになっている。また、図2の治具は、2組の1対の治具本体50, 50が所定間隔離間して支持棒58に取り付けられるものである。図2中、60はジョイント、62はエンドキャップである。なお、この図2の治具は電気メッキ用であり、無電解メッキ用の場合は、陰極体は必要とせず、その代わりに非導電性の押さえを設けてもよく、支持棒は必ずしも導電性である必要はない。

[0055] このような治具を用いてメッキを行う場合、磁性体をコーティングした砥粒は必要により天秤等で任意の質量を量り取り、永久磁石を保持した1対の治具本体で台板を挟んだ際に台板外周部と治具によって形成された隙間に吸引保持させる。図3はこの隙間を説明したもので、1対の治具本体50, 50（カバー52, 52）の台板1から先方に突出する突出部52a, 52aと台板1の先端部との間に隙間64が形成され、この隙間64に砥粒を磁気吸引するものである。

[0056] 保持させる砥粒の量は、用いる台板の外径と厚み、砥粒の大きさ及び所望する切り刃部の高さや幅に依存する。なお、台板外周の全ての位置で単位体積あたりの砥粒の量を均等にでき、かつメッキ法で砥粒を強固に固着させることができるように、砥粒を保持させメッキを数回繰り返し行うことも好ましい。

[0057] このようにして切り刃部を形成するが、切り刃部における砥粒の体積率は、10～80体積%、特に30～75体積%の範囲が好ましい。10体積%未満では、切断に寄与する砥粒の割合が少なく、切断時の抵抗が増える。80体積%を超えると切断中の刃先変形量が少なくなるため、切断面に切り跡が残り被作物の寸法精度や外観を悪くしてしまう。これらの理由から切断速

度を遅くせざるを得なくなるので、目的に応じて砥粒にコーティングする磁性体の厚みを変えることで粒径を変えて体積率を調整することが好ましい。

[0058] なお、図1 (C) に示したように、切り刃部20は挟持部22a, 22bと本体(20)とで構成されており、挟持部22a, 22bで台板の外周縁部を挟持し、本体(20)が台板10の外周部より先方に突出して形成されている。ここで、本体と挟持部の説明は便宜上のものであり、これらは一体的に切り刃部を形成している。そして、この切り刃部20の厚みは台板10の厚みより厚くなるように形成されていることが有効であり、従って、このように図3で示される隙間64を形成することが好ましい。

[0059] この場合、図1 (C) において、切り刃部の台板外周部を挟持する1対の挟持部22a, 22bの長さH1は、それぞれ0.1~10mm、特に0.5~5mmであることが好ましい。また、これら1対の挟持部22a, 22bの厚さT3は、それぞれ5 μ m (0.005mm) 以上、より好ましくは5~2,000 μ m、更に好ましくは10~1,000 μ mであり、従って、これら1対の挟持部22a, 22bの合計厚さ(即ち、切り刃部が台板より厚い部分の厚み)が0.01mm以上であることが好ましく、より好ましくは0.01~4mm、更に好ましくは0.02~2mmである。挟持部22a, 22bの長さH1が0.1mm未満であると台板外周縁部の欠けや割れを防ぐ効果はあるが、台板の補強効果が少なく、切断時の抵抗による台板の変形を防げない場合がある。また、H1が10mmを超える場合は台板を補強することに対するコストパフォーマンスが低下するおそれがある。一方、T3が5 μ m未満であると台板の機械的強度を高めることができないし、切断スラッジを効果的に排出することができなくなるおそれがある。

[0060] なお、図4 (A) ~ (D) に示したように、挟持部22a, 22bは、金属結合材24と砥粒26から形成されていてもよく[図4 (A)]、金属結合材のみによって形成されていてもよく[図4 (B)]、金属結合材のみによって台板10を覆い、更にこれを被覆して金属結合材と砥粒との層を形成するようにしてもよい[図4 (C)]。また、図4 (C) の外側に全体を覆

うように金属結合材を析出させて〔図4（D）〕のようにすると、切り刃部の強度を更に上げることができる。

[0061] 更に、図4（B）～（D）のように、挟持部の台板10に接する部分を金属結合材24のみによって形成する方法としては、例えば、台板の挟持部が形成されるべき部分のみを露出させて他の部分をマスキングし、この状態でメッキを行った後、上記した治具を装着し、隙間64に砥粒26を充填してメッキを行う方法が採用され、砥粒26を電着した後に、例えば、電着部分が露出するような外径の図2のカバー52、52で台板10をマスキングして更にメッキを行うことにより、図4（D）のように、切り刃部最外層として金属結合材24のみからなる層を形成することができる。

[0062] 切り刃部20の台板10より先方に突出している突出部の突出長さ（図1（C）のH2）は、固着する砥粒の大きさによるが0.1～10mm、特に0.3～8mmであることが好ましい。突出長さが0.1mm未満であると、切断時の衝撃や磨耗によって切り刃部が無くなるまでの時間が短く、結果として刃の寿命が短くなってしまい、10mmを超えると刃厚（図1のT2）にもよるが、切り刃部が変形しやすくなり、切断面がうねったりして切断した磁石の寸法精度が悪くなるおそれがある。なお、切り刃部は、金属結合材24及び砥粒26と後述の含浸金属及び／又は含浸合金から形成されている。

[0063] 金属結合材は、メッキにより形成された金属又は合金であり、Ni、Fe、Co、Cu及びSnから選ばれる1種の金属、これら金属から選ばれる2種以上からなる合金、又はこれら金属若しくは合金の1種とP及びMnから選ばれる1種又は2種との合金が好ましく、これをメッキによって砥粒間及び砥粒と台板との間を連結するように析出させる。

[0064] 金属結合材をメッキで形成する方法には、大きく分けて電着法（電気メッキ法）と無電解メッキ法の2種類があるが、本発明では、結合材に残留する内部応力の制御が容易で生産コストの安い電着法と、メッキ液が入り込みさえすれば金属結合材を比較的均一に析出できる無電解メッキ法とを、切り刃

部に含まれる隙間が後述する適度な範囲となるように、各々単独で又は組み合わせて用いる。

[0065] NiメッキやCuメッキなどの単一金属、例えば、スルファミン酸Niメッキ液を用いた電気メッキ法を用いる場合は、主成分となるスルファミン酸ニッケルの濃度、メッキ時の電流密度、メッキ液の温度を好適な範囲とし、かつオルソベンゼンスルフォンイミドやパラトルエンスルフォンアミドなどの有機添加物の添加や、Zn、S、Mnなどの元素を加え、皮膜の応力を調整するなどして実施すればよい。その他、Ni-Fe合金、Ni-Mn合金、Ni-P合金、Ni-Co合金、Ni-Sn合金などの合金メッキの場合は、合金中のFe、Mn、P、Co、Snの含有量、メッキ液の温度などを好適な範囲にするなどして皮膜の応力を調整する。もちろんこれらの合金メッキの場合でも応力を調整できる有機添加物の併用は効果的である。

[0066] メッキは、単一金属又は合金を析出させる従来公知のメッキ液を用いてそのメッキ液における通常のメッキ条件を採用して公知の方法で行うことができる。

[0067] 好適な電気メッキ液としては、例えば、スルファミン酸ニッケルが250～600g/L、硫酸ニッケルが50～200g/L、塩化ニッケルが5～70g/L、ホウ酸が20～40g/L、オルソベンゼンスルフォンイミドが適量の電気スルファミン酸ワットニッケルメッキ液、ピロリン酸銅が30～150g/L、ピロリン酸カリウムが100～450g/L、25%アンモニア水が1～20mL/L、硝酸カリウムが5～20g/Lの電気ピロリン酸銅メッキ液などが挙げられる。また、無電解メッキ液としては、硫酸ニッケルが10～50g/L、次亜リン酸ナトリウムが10～50g/L、酢酸ナトリウムが10～30g/L、クエン酸ナトリウムが5～30g/L、チオ尿素が適量の無電解ニッケル・リン合金メッキ液などが挙げられる。

[0068] このような方法により、ダイヤモンド砥粒、cBN砥粒又はダイヤモンド砥粒とcBN砥粒との混合砥粒を台板の外周部に最終形状に近い寸法で高精度に形成する。

- [0069] 本発明においては、上述した方法で得られた、切り刃部の砥粒間及び砥粒と台板との間に存在する空隙に、融点が350℃以下の金属及び／又は合金を含浸する。これにより、本発明の超硬合金台板外周切断刃では、切り刃部の内部及び表面の、粒間及び砥粒と台板との間に、融点が350℃以下の金属及び／又は合金が含まれている。
- [0070] この含浸する金属としては、Sn、Pbが挙げられ、また、含浸する合金としては、Sn-Ag-Cu合金、Sn-Ag合金、Sn-Cu合金、Sn-Zn合金、Sn-Pb合金が挙げられ、これらから選ばれる1種以上を用い得る。
- [0071] 金属又は合金を切り刃部に含浸する方法として具体的には、例えば、φ0.1～2.0mm、好ましくはφ0.8～1.5mmの線状、粉状、又は切り刃部の形状寸法と同じで厚みが0.05～1.5mmのリング状の薄膜状に加工した金属又は合金を、切り刃部に載せ、ホットプレートのような加熱器上、オーブンの中などで、融点以上に昇温し、溶融した金属又は合金を、切り刃部に含浸させ、その後、徐々に冷却して室温に戻す方法が挙げられる。この他、切り刃部の近傍に幾らかのクリアランスがある下金型に、含浸前の外周切断刃を入れた後、予め計り取った金属や合金を充填して上金型をはめ、上下に適度に加圧しながら加熱して、金属や合金を切り刃部に含浸させ、冷却してから脱圧し、金型から取り出す方法も可能である。加熱後は、ひずみが残らないように、徐々に冷却する。
- [0072] なお、切り刃部に金属又は合金を載せる際に、金属又は合金を切り刃部に固定する目的や、切り刃部の濡れ性をよくする目的で、予め、例えば、塩素やフッ素が含有されている市販のソルダーフラックスなどを塗布することも有効である。
- [0073] 濡れ性が比較的高い低融点金属や合金を含浸させる場合には、台板をステンレス、鉄、銅などの金属で挟んでから通電して、この金属を発熱させることで台板及び切り刃部を加熱し、低融点金属を溶かした溶湯に発熱した切り刃部を接触させて含浸することもできる。

- [0074] このようにして得られた切り刃部は、砥粒、砥粒をコーティングしている磁性体、金属結合材、隙間に含浸した金属、合金が適度に分散した状態になっている。
- [0075] なお、これら切り刃部に含浸させる金属、合金の物性は、以下のものが適している。融点は、超硬合金台板にひずみが生じて寸法精度が悪化すること、機械的強度が変化すること、超硬合金台板と切り刃部の熱膨張差が顕著となって切り刃部が変形したり、ひずみが残ったりすることを防ぐため350℃以下、好ましくは300℃以下が適している。
- [0076] 金属、合金の弾性は、ポアソン比が0.3～0.48、好ましくは0.33～0.44であるものが適している。ポアソン比が0.3より低い場合、柔軟性が乏しく、切断面をなめらかにすることが難しくなる。ポアソン比が0.48よりも高い場合は、硬度など他の物性が不足するため、刃先の変形が大きくなりすぎる。ポアソン比は、含浸に供する金属及び合金の15×15×15mmの試料を用い、パルス超音波法により測定することができる。
- [0077] 金属、合金の硬度は、切断中に砥粒が摩滅、破壊、脱落するなどしても次の砥粒が露出して切断に寄与する作用（砥粒の自生作用）を妨げない程度でよく、砥粒を被覆している磁性体や砥粒を固着している金属結合材よりも低いものが好ましい。また、切削加工する際に用いられる加工油やクーラントに曝されても強度変化や腐食を起こさないことも必要である。
- [0078] 金属、合金を含浸させた切り刃部は、必要に応じて、酸化アルミ、炭化ケイ素、ダイヤモンドなどの砥石による研削加工や、放電加工などを用いて所望の寸法に整える。この際、刃厚にもよるが、刃先にC0.1以上又はR0.1以上の面取りを施すことは、切断面の切り跡を少なくすることに加えて、磁石端面のカケも低減することができるので有効である。
- [0079] 本発明の外周切断刃を適用した切断は、その被作物（被切断物）としては、R-Co系希土類焼結磁石、R-Fe-B系希土類焼結磁石（RはYを含む希土類元素の少なくとも1種）に対する切断において効果的である。これ

ら磁石は、例えば、次のようにして製造される。

[0080] R-C_o系希土類焼結磁石は、R C_o₅系、R₂C_o₁₇系などがある。このうち、例えば、R₂C_o₁₇系では、質量百分率で20～28%のR、5～30%のFe、3～10%のCu、1～5%のZr、残部Coからなる。このような成分比で原料を秤量して溶解、鑄造し、得られた合金を平均粒径1～20 μmまで微粉碎し、R₂C_o₁₇系磁石粉末を得る。その後、磁場中成形し、更に1, 100～1, 250℃で0.5～5時間焼結し、次いで焼結温度より0～50℃低い温度で0.5～5時間、溶体化し、最後に700～950℃で一定時間保持した後、冷却する時効処理を施す。

[0081] R-Fe-B系希土類焼結磁石は、質量百分率で5～40%のR、50～90%のFe、0.2～8%のBからなり、磁気特性や耐食性を改善するために、C、Al、Si、Ti、V、Cr、Mn、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、Zr、Nb、Mo、Ag、Sn、Hf、Ta、Wなどの添加元素を加える。これら添加元素の添加量は、Coの場合、質量百分率で30%以下、その他の元素の場合には質量百分率で8%以下である。このような成分比で原料を秤量して溶解、鑄造し、得られた合金を平均粒径1～20 μmまで微粉碎し、R-Fe-B系磁石粉末を得る。その後、磁場中成形し、更に1, 000～1, 200℃で0.5～5時間焼結し、400～1, 000℃で一定時間保持した後、冷却する時効処理を施す。

[0082] このような本発明の外周切断刃は、特に、刃先の圧縮剪断応力が、所定の範囲にあると、切断面に切り跡を残すことなく、高い寸法精度で希土類磁石を切り出すことができ、有効である。例えば、外周切断刃において、切り刃部の厚みを0.1～1.0 mm、外径を80～200 mm、刃先の面取りをR又はCで0.1以上に整えた後、外周切断刃を水平に切り刃部のみ露出する厚み5 mmの円形鉄板で外周切断刃を上下から挟む支持治具を用いて、押圧時に台板部分が反らないように保持し、超硬合金台板の外周から外方に0.3 mm離れた位置において、切り刃部を、接触部の長さが（切り刃部の突き出し量－0.3 mm）、幅が10 mmの圧子で、外周切断刃の回転軸方向

(切り刃部の厚み方向)に線速 1 mm/min で押圧し、これを切り刃部が破断するまで継続して圧子の移動量に対する応力を測定する。この場合に圧子の移動量が大きくなると、グラフが直線性を示す領域、即ち、圧子の移動量と応力とが比例する領域が確認される。この変形量と応力の比例領域の傾きを算出すると、 $100\sim10,000\text{ N/mm}$ の範囲のものが、切断面に切り跡を残すことなく、高い寸法精度の磁石を切り出すことができ、特に有効である。

実施例

[0083] 以下、実施例及び比較例を示し、本発明を具体的に説明するが、本発明は下記の実施例に制限されるものではない。

[0084] [実施例1]

質量百分率でWCが90%、Coが10%の超硬合金を外径 $\phi 125\text{ mm}$ ×内径 $\phi 40\text{ mm}$ ×厚み 0.3 mm のドーナツ状孔あき円板に加工し、台板とした。この台板のヤング率は 600 GPa 、飽和磁化は 127 kA/m (0.16 T)であった。

[0085] この台板を外周端から内側 1.0 mm の部分のみが露出するように粘着テープでマスキングして、市販のアルカリ脱脂水溶液に 40°C 、10分間浸漬した後、水洗し、 50°C のピロリン酸ナトリウム $30\sim80\text{ g/L}$ の水溶液に $2\sim8\text{ A/dm}^2$ で通電しながら電解した。次に、超硬合金台板を純水中で超音波洗浄した後、 50°C のスルファミン酸ワットニッケルメッキ液に浸漬し、 $5\sim20\text{ A/dm}^2$ の範囲で通電して下地メッキした後、マスキングテープを剥がして水洗した。

[0086] 次いで、外径 $\phi 130\text{ mm}$ 、厚み 10 mm のPPS樹脂製円盤の一側面に、外径 $\phi 123\text{ mm}$ 、内径 $\phi 119\text{ mm}$ 、深さ 1.5 mm の溝を形成し、この溝に、長さ 2.5 mm ×幅 2 mm ×厚み 1.5 mm の永久磁石(信越レアアースマグネット製N39UH、 $B_r=1.25\text{ T}$)を、厚み方向を円盤の深さ方向として、均等間隔で円盤1個あたり75個配列させた後、溝をエポキシ樹脂で埋めて磁石を固定したカバーを作製し、このカバー2枚からなる

治具本体で、磁石側を内側にして台板を挟持した。このとき、磁石は台板外周端から台板側面内側方向に1 mm離れていた。なお、台板外周端から10 mmまでの空間内に形成される磁場について磁界解析したところ、磁場強度は8 kA/m (0.01 T) 以上であった。

[0087] 予めNiPメッキした質量磁化率 χ 0.588、平均粒径135 μ mのダイヤモンド砥粒0.4 gを治具と台板とで作られる凹みに全周均等になるように磁気吸引させた。次に、砥粒が磁気吸引された状態のまま、治具ごと50℃のスルファミン酸ワットニッケルメッキ液に浸漬し、5~20 A/dm²の範囲で通電して電気メッキした後、水洗した。その後、ダイヤモンド砥粒0.4 gを磁気吸引させ、上記と同様にメッキして水洗する操作を再度繰り返した。

[0088] 治具本体を、得られた砥粒層両側面が露出するように、外径 ϕ 123 mm、厚み10 mmのPPS樹脂製円盤に交換して、50℃のスルファミン酸ワットニッケルメッキ液に浸漬し、5~20 A/dm²の範囲で通電して、切り刃部全体を覆うようにメッキ析出させた後、水洗し、治具から取り外して、乾燥した。

[0089] 次いで、 ϕ 1.0 mmのワイヤー状に加工したSn-3Ag-0.5Cu合金を、外周切断刃の切り刃部の側面にリング状に載せ、その状態のまま200℃のオーブンに入れた後、オーブン内部の温度が200℃に到達したのを確認して、250℃に昇温し、250℃で約5分間保った後、加熱を切ってオーブン内で自然冷却した。なお、Sn-3Ag-0.5Cu合金の融点は220℃、ポアソン比は0.35である。

[0090] その後、平面研削盤を用いて、超硬合金台板からの砥粒層のせり出しが片側50 μ mになるように砥石で研削して砥粒層のせり出しと厚みを整えた後、ワイヤー放電加工して外径を整え、ドレスして、厚み0.4 mm、外径127 mmの砥粒層（切り刃部）を形成した超硬合金台板外周切断刃を得た。図5に切り刃部の刃先側面の顕微鏡写真を示す。

[0091] [実施例2]

質量百分率でWCが90%、Coが10%の超硬合金を外径 ϕ 125mm×内径 ϕ 40mm×厚み0.3mmのドーナツ状孔あき円板に加工し、台板とした。

[0092] この台板を外周端から内側1.5mmの部分のみが露出するように粘着テープでマスキングして、市販のアルカリ脱脂水溶液に40℃、10分間浸漬した後、水洗し、50℃のピロリン酸ナトリウム30～80g/Lの水溶液に2～8A/dm²で通電しながら電解した。次に、超硬合金台板を純水中で超音波洗浄した後、50℃のスルファミン酸ワットニッケルメッキ液に浸漬し、5～20A/dm²の範囲で通電して下地メッキした後、マスキングテープを剥がして水洗した。

[0093] 次に、外径 ϕ 130mm、厚み10mmのPPS樹脂製円盤の一側面に、外径 ϕ 123mm、内径 ϕ 119mm、深さ1.5mmの溝を形成し、この溝に、長さ1.8mm×幅2mm×厚み1.5mmの永久磁石（信越レアアースマグネット製N32Z、Br=1.14T）を、厚み方向を円盤の深さ方向として、均等間隔で円盤1個あたり105個配列させた後、溝をエポキシ樹脂で埋めて磁石を固定したカバーを作製し、このカバー2枚からなる治具本体で、磁石側を内側にして台板を挟持した。このとき、磁石は台板外周端から台板側面内側方向に1.5mm離れていた。なお、台板外周端から10mmまでの空間内に形成される磁場について磁界解析したところ、磁場強度は16kA/m（0.02T）以上であった。

[0094] 予めNiPメッキした質量磁化率 χ g0.588、平均粒径135 μ mのダイヤモンド砥粒0.4gを治具と台板とで作られる凹みに全周均等になるように磁気吸引させた。次に、砥粒が磁気吸引された状態のまま、治具ごと50℃のスルファミン酸ワットニッケルメッキ液に浸漬し、5～20A/dm²の範囲で通電して電気メッキした後、水洗した。その後、ダイヤモンド砥粒0.4gを磁気吸引させ、上記と同様にメッキして水洗する操作を3度繰り返した。

[0095] 治具本体を、得られた砥粒層両側面が露出するように、外径 ϕ 123mm

、厚み 10 mm の PPS 樹脂製円盤に交換して、50℃のスルファミン酸ワットニッケルメッキ液に浸漬し、5～20 A/dm²の範囲で通電して、切り刃部全体を覆うようにメッキ析出させた後、水洗し、治具から取り外して、乾燥した。

[0096] 次いで、粒径 0.3 mm の球状に加工した Sn-3Ag 合金を、外周切断刃の切り刃部の側面全周に載せ、その状態のまま 200℃のオーブンに入れた後、オーブン内部の温度が 200℃に到達したのを確認して、250℃に昇温し、250℃で約 5 分間保った後、加熱を切ってオーブン内で自然冷却した。なお、Sn-3Ag 合金の融点は 222℃、ポアソン比は 0.3 である。

[0097] その後、平面研削盤を用いて、超硬合金台板からの砥粒層のせり出しが片側 50 μm になるように砥石で研削して砥粒層のせり出しと厚みを整えた後、ワイヤー放電加工して外径を整え、ドレスして、厚み 0.4 mm、外径 12.9 mm の砥粒層（切り刃部）を形成した超硬合金台板外周切断刃を得た。

[0098] [実施例 3]

質量百分率で WC が 90%、Co が 10% の超硬合金を外径 φ 125 mm × 内径 φ 40 mm × 厚み 0.3 mm のドーナツ状孔あき円板に加工し、台板とした。

[0099] この台板を外周端から内側 1.0 mm の部分のみが露出するように粘着テープでマスキングして、市販のアルカリ脱脂水溶液に 40℃、10 分間浸漬した後、水洗し、50℃のピロリン酸ナトリウム 30～80 g/L の水溶液に 2～8 A/dm²で通電しながら電解した。次に、超硬合金台板を純水中で超音波洗浄した後、50℃のスルファミン酸ワットニッケルメッキ液に浸漬し、5～20 A/dm²の範囲で通電して下地メッキした後、マスキングテープを剥がして水洗した。

[0100] 次いで、実施例 1 で用いた治具本体で台板を挟持し、予め NiP メッキした質量磁化率 χ_g 0.392、平均粒径 130 μm のダイヤモンド砥粒 0.4 g を治具と台板とで作られる凹みに全周均等になるように磁気吸引させた

。次に、砥粒が磁気吸引された状態のまま、治具ごと40℃のピロリン酸銅メッキ液に浸漬し、1～20 A/dm²の範囲で通電して電気メッキした後、水洗し、治具から取り外して、乾燥した。

[0101] 次いで、φ1.0 mmのワイヤー状に加工したSn-Pb合金を、外周切断刃の切り刃部の側面にリング状に載せ、その状態のまま200℃のオーブンに入れた後、オーブン内部の温度が200℃に到達したのを確認して、250℃に昇温し、250℃で約5分間保った後、加熱を切ってオーブン内で自然冷却した。なお、Sn-Pb合金の融点は185℃、ポアソン比は0.38である。

[0102] その後、平面研削盤を用いて、超硬合金台板からの砥粒層のせり出しが片側50 μmになるように砥石で研削して砥粒層のせり出しと厚みを整えた後、ワイヤー放電加工して外径を整え、ドレスして、厚み0.4 mm、外径12.6 mmの砥粒層（切り刃部）を形成した超硬合金台板外周切断刃を得た。

[0103] [実施例4]

質量百分率でWCが95%、Coが5%の超硬合金を外径φ12.5 mm×内径φ4.0 mm×厚み0.3 mmのドーナツ状孔あき円板に加工し、台板とした。この台板のヤング率は580 GPa、飽和磁化は40 kA/m (0.05 T)であった。

[0104] この台板を外周端から内側1.0 mmの部分のみが露出するように粘着テープでマスキングして、市販のアルカリ脱脂水溶液に40℃、10分間浸漬した後、水洗し、50℃のピロリン酸ナトリウム30～80 g/Lの水溶液に2～8 A/dm²で通電しながら電解した。次に、超硬合金台板を純水中で超音波洗浄した後、50℃のスルファミン酸ワットニッケルメッキ液に浸漬し、5～20 A/dm²の範囲で通電して下地メッキした後、マスキングテープを剥がして水洗した。

[0105] 次いで、実施例1で用いた治具本体で台板を挟持し、予めNi-Pメッキした質量磁化率χg0.392、平均粒径130 μmのダイヤモンド砥粒0.3 gを治具と台板とで作られる凹みに全周均等になるように磁気吸引させた

。次に、砥粒が磁気吸引された状態のまま、治具ごと80℃の無電解ニッケル・リン合金メッキ液に浸漬し無電解メッキした後、水洗した。その後、ダイヤモンド砥粒0.3gを磁気吸引させ、上記と同様にメッキして水洗する操作を2度繰り返し、治具から取り外して、乾燥した。

[0106] 次いで、 $\phi 1.0$ mmのワイヤー状に加工したSn-3Ag-0.5Cu合金を、外周切断刃の切り刃部の側面にリング状に載せ、その状態のまま200℃のオーブンに入れた後、オーブン内部の温度が200℃に到達したのを確認して、250℃に昇温し、250℃で約5分間保った後、加熱を切ってオーブン内で自然冷却した。

[0107] その後、平面研削盤を用いて、超硬合金台板からの砥粒層のせり出しが片側50 μ mになるように砥石で研削して砥粒層のせり出しと厚みを整えた後、ワイヤー放電加工して外径を整え、ドレスして、厚み0.4 mm、外径12.7 mmの砥粒層（切り刃部）を形成した超硬合金台板外周切断刃を得た。

[0108] [比較例1]

質量百分率でWCが90%、Coが10%の超硬合金を外径 $\phi 125$ mm×内径 $\phi 40$ mm×厚み0.3 mmのドーナツ状孔あき円板に加工し、台板とした。

[0109] この台板を外周端から内側1.0 mmの部分のみが露出するように粘着テープでマスキングして、市販のアルカリ脱脂水溶液に40℃、10分間浸漬した後、水洗し、50℃のピロリン酸ナトリウム30～80 g/Lの水溶液に2～8 A/dm²で通電しながら電解した。次に、超硬合金台板を純水中で超音波洗浄した後、50℃のスルファミン酸ワットニッケルメッキ液に浸漬し、5～20 A/dm²の範囲で通電して下地メッキした後、マスキングテープを剥がして水洗した。

[0110] 次いで、実施例1で用いた治具本体で台板を挟持し、予めNiPメッキした質量磁化率 $\chi_g 0.392$ 、平均粒径130 μ mのダイヤモンド砥粒0.4 gを治具と台板とで作られる凹みに全周均等になるように磁気吸引させた。次に、砥粒が磁気吸引された状態のまま、治具ごと50℃のスルファミン

酸ワットニッケルメッキ液に浸漬し、 $5 \sim 20 \text{ A} / \text{dm}^2$ の範囲で通電して電気メッキした後、水洗した。その後、ダイヤモンド砥粒 0.4 g を磁気吸引させ、上記と同様にメッキして水洗する操作を再度繰り返した。

[0111] 治具本体を、得られた砥粒層両側面が露出するように、外径 $\phi 123 \text{ mm}$ 、厚み 10 mm のPPS樹脂製円盤に交換して、 50°C のスルファミン酸ワットニッケルメッキ液に浸漬し、 $5 \sim 20 \text{ A} / \text{dm}^2$ の範囲で通電して、切り刃部全体を覆うようにメッキ析出させた後、水洗し、治具から取り外して、乾燥した。

[0112] その後、平面研削盤を用いて、超硬合金台板からの砥粒層のせり出しが片側 $50 \mu\text{m}$ になるように砥石で研削して砥粒層のせり出しと厚みを整えた後、ワイヤー放電加工して外径を整え、ドレスして、厚み 0.4 mm 、外径 127 mm の砥粒層（切り刃部）を形成した超硬合金台板外周切断刃を得た。

[0113] 表1に、実施例1～4及び比較例1の超硬合金台板外周切断刃の製作歩留まりを示す。ここで、メッキ歩留まりとは、メッキによって砥粒を固着させる工程まで実施した総数（各15枚）のうち、砥粒の脱落や砥粒層の欠損が無いものを良品として、このメッキ良品の割合を100分率で示したものであり、加工歩留まりとは、得られたメッキ良品に対して、メッキ後の工程をドレスまで実施し、砥粒層の欠損が無いものを良品として、メッキ良品の総数に対する加工良品の割合を100分率で示したものである。また、総合歩留まりとは、メッキ歩留まりと加工歩留まりとの積であり、外周切断刃の製作に供した台板に対する、外周切断刃の完成品としての良品の歩留まりを意味する。

[0114] [表1]

	実施例 1	実施例 2	実施例 3	実施例 4	比較例 1
メッキ歩留まり [%]	100	100	100	93	100
加工歩留まり [%]	100	100	100	100	87
総合歩留まり [%]	100	100	100	93	87

- [0115] 表1から、比較例1に比べ、実施例の歩留まりが良好であること、特に、メッキ後の加工における歩留まりが良好であり、本発明の製造方法が生産性の点でも優れていることがわかる。
- [0116] 図6には、超硬合金台板外周切断刃を用いて希土類焼結磁石を切断する操作を実施したときの、磁石の切断精度を評価した結果を示す。切断精度の評価方法は以下のとおりである。
- [0117] まず、実施例1～4及び比較例1の超硬合金台板外周切断刃を各々2枚ずつ計10枚、間隔1.5mmで、台板の穴に回転軸を挿通して組み上げたマルチ切断刃とした。このマルチ切断刃により、回転数4,500rpm、送り速度30mm/minで、幅(W)40mm×長さ(L)130mm×高さ(H)20mmのNd-Fe-B系希土類焼結磁石から、W40mm×L(=厚み(t))1.5mm×H20mmの磁石を1,010回切り出し、実施例及び比較例の各々の2枚の外周切断刃の間で切断されたものを、評価対象の切断磁石とした。切断磁石について、切断1枚目から100枚毎を寸法計測サイクル(全10サイクル)とし、各サイクルにおいて最初の10枚分(即ち、最初のサイクルが1～10枚目、次が101～110枚目、最後が1,001～1,010枚目)をサンプリングした。各サイクルの10枚について、1枚毎に中央部1点と隅部4点の合計5点の厚み(t)をマイクロメーターで測定し、5点のうちの最大値と最小値の差を切断精度(μm)として、10枚の切断精度の平均値を算出した。各寸法計測サイクルにおけるこの平均値をプロットしたものが、図6である。
- [0118] 比較例1の場合は、寸法計測3サイクル以降(切断枚数301枚目以降)、切断精度が悪くなっているが、実施例1～4の場合は10サイクル目(切断枚数1,010枚目まで)まで、切断精度が落ちることがなく、本発明の超硬合金台板外周切断刃の使用耐久性が高いことがわかる。
- [0119] また、得られた外周切断刃の弾性(柔軟性)を評価した結果を図7に示す。ここでは、外周切断刃の刃先の圧縮剪断応力を評価した。各々の例の外周切断刃において、刃先の面取りをR又はCで0.1以上に整えた後、超硬合

金台板の外周から外方に0.3mm離れた位置において、切り刃部を、接触部の長さが（切り刃部の突き出し量－0.3mm）、幅が10mmの圧子で、外周切断刃の回転軸方向（切り刃部の厚み方向）に線速1mm/minで押圧したときの、圧子の移動量に対する応力を、島津製作所 強度試験機 AG-1 を用いて測定した。押圧は、切り刃部が破断するまで継続した。この測定においては、外周切断刃を水平に切り刃部のみ露出する厚み5mmの円形鉄板で外周切断刃を上下から挟む支持治具を用いて、押圧時に台板部分が反らないように保持した。

[0120] 図7に示されるように、いずれの例においても、圧子の移動量が大きくなると、グラフが直線性を示す領域、即ち、圧子の移動量と応力とが比例する領域が確認された。この直線領域の傾き（応力／圧子の移動量）を算出した結果を表2に示す。

[0121] [表2]

	実施例 1	実施例 2	実施例 3	実施例 4	比較例 1
傾き [N/mm]	10,000	2,000	900	5,000	18,000

[0122] 上述した切断による評価の際、実施例の外周切断刃を用いて切断して得られた磁石片は、いずれも切断面の外観が良好であったが、比較例の外周切断刃を用いて切断して得られた磁石片では、3サイクル以降（切断枚数301枚目以降）において、切断面に切り跡（段差）が存在するサンプルが発生した。このように、上述した外周切断刃の弾性（柔軟性）評価により示される圧子の移動量と応力と傾きが大きすぎず、ある程度柔軟性をもった本発明の外周切断刃が、切断面に切り跡を残すことなく、高い寸法精度の磁石を切り出すことができることが確認された。

[0123] 以上の結果から、本発明の超硬合金台板外周切断刃により切断することによって、切断後の仕上げ処理をすることなく、希土類焼結磁石等の被作物を、切断のみで高精度に仕上げることができ、被作物を高い寸法精度で提供することが可能となる。

請求の範囲

- [請求項1] ヤング率450～700GPaの超硬合金で形成され、外径80～200mm、内径30～80mm、厚み0.1～1.0mmである円形リング状薄板の台板の外周縁部上に、切り刃部を有する超硬合金台板外周切断刃であって、
上記切り刃部が、
予め磁性体がコーティングしてなるダイヤモンド砥粒及び／又はcBN砥粒と、
上記砥粒間及び上記砥粒と台板との間を連結する電気メッキ又は無電解メッキにより形成された金属又は合金と、
上記砥粒間及び上記砥粒と台板との間に含浸させた融点が350℃以下の金属及び／又は合金
とを含むことを特徴とする超硬合金台板外周切断刃。
- [請求項2] 上記含浸に供する金属がSn及びPbから選ばれる1種以上であり、
上記含浸に供する合金がSn-Ag-Cu合金、Sn-Ag合金、
Sn-Cu合金、Sn-Zn合金及びSn-Pb合金から選ばれる1種以上である請求項1記載の超硬合金台板外周切断刃。
- [請求項3] 上記含浸に供する金属及び合金のポアソン比が0.3～0.48である請求項1又は2記載の超硬合金台板外周切断刃。
- [請求項4] 上記台板の飽和磁化が40kA/m(0.05T)以上である請求項1～3のいずれか1項に記載の超硬合金台板外周切断刃。
- [請求項5] 上記砥粒の平均粒径が10～300μmである請求項1～4のいずれか1項に記載の超硬合金台板外周切断刃。
- [請求項6] 上記砥粒の質量磁化率 χ_g が0.2以上である請求項1～5のいずれか1項に記載の超硬合金台板外周切断刃。
- [請求項7] ヤング率450～700GPaの超硬合金で形成され、外径80～200mm、内径30～80mm、厚み0.1～1.0mmである円形リング状薄板の台板の外周縁部に近接して永久磁石を配設し、

該永久磁石が形成する磁場により、予め磁性体をコーティングしてなるダイヤモンド砥粒及び／又はc B N砥粒を上記台板の外周縁部近傍に磁氣的に吸引固定し、

該吸引固定を保った状態で、電気メッキ又は無電解メッキにより、上記砥粒間及び上記砥粒と台板との間を連結して上記台板外周端部に砥粒を固着させて切り刃部を形成し、

上記砥粒間及び上記砥粒と台板との間に存する空隙に、融点が350℃以下の金属及び／又は合金を含浸することを特徴とする超硬合金台板外周切断刃の製造方法。

[請求項8] 上記含浸に供する金属がS n及びP bから選ばれる1種以上であり、上記含浸に供する合金がS n－A g－C u合金、S n－A g合金、S n－C u合金、S n－Z n合金及びS n－P b合金から選ばれる1種以上である請求項7記載の超硬合金台板外周切断刃の製造方法。

[請求項9] 上記含浸に供する金属及び合金のポアソン比が0.3～0.48である請求項7又は8記載の超硬合金台板外周切断刃の製造方法。

[請求項10] 上記台板の飽和磁化が40k A／m（0.05 T）以上である請求項7～9のいずれか1項に記載の超硬合金台板外周切断刃の製造方法。

[請求項11] 上記砥粒の平均粒径が10～300μmである請求項7～10のいずれか1項に記載の超硬合金台板外周切断刃の製造方法。

[請求項12] 上記砥粒の質量磁化率 χ_g が0.2以上である請求項7～11のいずれか1項に記載の超硬合金台板外周切断刃の製造方法。

[請求項13] 上記永久磁石により台板の外周端から10mm以内の空間に8k A／m以上の磁場を形成する請求項7～12のいずれか1項に記載の超硬合金台板外周切断刃の製造方法。