

(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
2019年10月24日(24.10.2019)



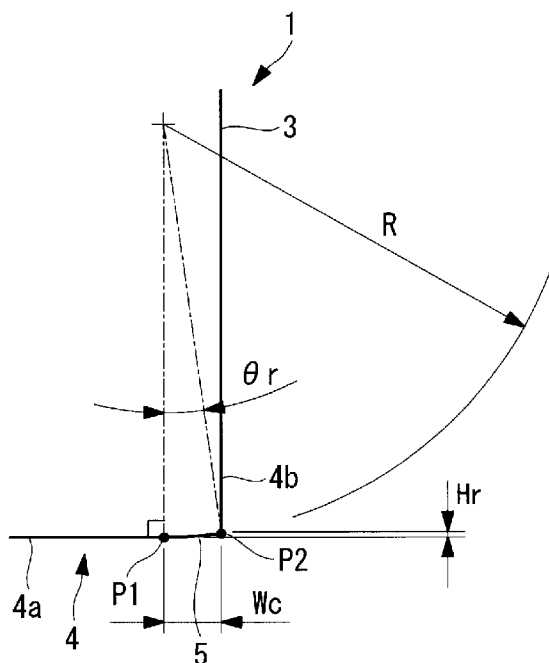
(10) 国際公開番号

WO 2019/203043 A1

- (51) 国際特許分類:
B23C 5/10 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2019/015289
- (22) 国際出願日: 2019年4月8日(08.04.2019)
- (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 2018-078299 2018年4月16日(16.04.2018) JP
- (71) 出願人: 三菱重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 Tokyo (JP). 国立大学法人名古屋大学(NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION NAGOYA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒4648601 愛知県名古屋市千種区不老町1番 Aichi (JP).
- (72) 発明者: 社本 英二(SHAMOTO, Eiji); 〒4648601 愛知県名古屋市千種区不老町1番 国立大学法人名古屋大学内 Aichi (JP). 江藤 潤(ETO, Jun); 〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 喜多野 聡(KITANO, Akira); 〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 杉原 智実(SUGIHARA, Tomomi); 〒4958501 愛知県稲沢市祖父江町森上本郷十一、4番地1 アイコクアルファ株式会社内 Aichi (JP).
- (74) 代理人: 藤田 考晴 (FUJITA, Takaharu); 〒2208137 神奈川県横浜市西区みなとみ

(54) Title: RADIUS END MILL, MACHINE TOOL USING SAME, AND DESIGNING METHOD AND MACHINING METHOD FOR RADIUS END MILL

(54) 発明の名称: ラジラスエンドミル及びこれを用いた工作機械、並びにラジラスエンドミルの設計方法及び加工方法



(57) Abstract: Provided is a radius end mill in which chattering vibration is suppressed to improve machining stability. A radius end mill (1) is provided with a circular arc edge (5) provided on the outer peripheral side of the front end (4) of the tool body (3). In a longitudinal cross-section including the center axis of the tool body (3), a nose (R) angle (θ_r) which defines an angular range in which the circular arc edge (5) is formed is set to be 30° or less. In the longitudinal



WO 2019/203043 A1

らい 2 - 2 - 1 横浜ランドマークタ
ワー 3 7 F Kanagawa (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,
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, 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,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, 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))

cross-section, the circular arc edge (5) is formed as a circular arc edge for bottom surface, which extends to a side surface (4b) from a position (P1) which is located on the bottom surface (4a) of the front end (4) of the tool body (3) and through which a tangential line in a direction perpendicular to the center axis passes. A nose (R) height (Hr) which is the dimension of the circular arc edge (5) in the direction of the center axis is set to be 0.75 mm or less.

(57) 要約：びびり振動を抑制して加工安定性を向上させることができるラジラスエンドミルを提供する。ラジラスエンドミル (1) は、工具本体 (3) の先端部 (4) の外周側に設けられた円弧刃 (5) を備え、工具本体 (3) の中心軸線を含む縦断面において、円弧刃 (5) が形成された角度範囲であるノーズ (R) 角度 (θr) は、 30° 以下とされている。円弧刃 (5) は、縦断面において、工具本体 (3) の先端部 (4) の底面 (4 a) にて中心軸線に直交する方向に接線を有する位置 (P 1) から側面 (4 b) にかけて底面用円弧刃として形成されている。円弧刃 (5) の中心軸線方向の寸法であるノーズ (R) 高さ (H r) は、0.75 mm 以下とされている。

明 細 書

発明の名称：

ラジラスエンドミル及びこれを用いた工作機械、並びにラジラスエンドミルの設計方法及び加工方法

技術分野

[0001] 本発明は、ラジラスエンドミル及びこれを用いた工作機械、並びにラジラスエンドミルの設計方法及び加工方法に関するものである。

背景技術

[0002] 例えば航空機に用いられる構造部品では、高精度化や軽量化の観点から薄肉化が進んでいる。例えば、従来では板金成形とされていた胴体パネルとフレームとの結合部材等（以下、単に「結合部材」という。）は、軽量化高精度化の観点から機械加工によって製作する結合部材が用いられ始めている。しかし、機械加工は、一般に素材費が増加するので、加工費の削減が必要になる。

[0003] 加工費削減のためには、加工時間を低減する必要がある。そのためは、送り速度や切り込み量を増大させる必要がある。しかし、板金成形とされる部品と同じ形状に部品を機械加工する場合、素材厚さが薄いため切り込み量を増大させるには限界がある。そこで、送り速度を増大させることが重要となる。

[0004] 送り速度を増大する際の注意点として面粗度がある。面粗度 R_z [mm] は、一刃あたりの送り量 f_z [mm/tooth] と、刃先の円弧刃の半径であるノーズ R [mm] を用いて下式で表される。

$$R_z = f_z^2 / (8 \times R) \quad \dots (1)$$

式(1)から分かるように、一刃当たりの送り量 f_z を向上させるにはノーズ R を大きくする必要がある。

[0005] 一方、例えば航空機部品の機械加工では、工具の刃先に円弧刃を有するラジラスエンドミルが多用される。円弧刃を有しないスクエアエンドミルは主

に送り方向に切削力が発生するが、ラジラスエンドミルは、円弧形状があるので、工具中心軸線方向にも切削力が発生し、切削力が板厚方向に発生する場合がある。このため、ラジラスエンドミルは、薄板部を有するワークにびびり振動が発生しやすくなる。特に、ワークの固定を1回として加工するワンチャック加工では、ワークの薄板部の板厚方向に切削力が発生する加工も行いうため、びびり振動の発生が避けられない。したがって、式(1)で示したようにノーズRを大きくする必要もあるにも関わらず、びびり振動に対する安定性の観点からノーズRを小さくせざるを得ないという問題がある。

[0006] このようなびびり振動の対策として、特許文献1及び2に開示されたものがある。特許文献1では、円弧刃に接続される外周刃を設けることが開示されている。特許文献2では、隣接する螺旋溝間のピッチを異ならせることが開示されている。

[0007] また、びびり振動として、再生型自励びびり振動が報告されている（非特許文献1）。再生型自励びびり振動は、一刃前に切削する際に生じていた振動が加工面の起伏として残り、その振動が現在の切削において切り取り厚さの変更として再生するものである。このため、切削力が変動して再び振動が発生する閉ループが構成され、所定の条件で振動が成長して大きなびびり振動が発生する。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特開2006-212744号公報

特許文献2：特開2013-176842号公報

非特許文献

[0009] 非特許文献1：社本英二、“切削加工におけるびびり振動の発生機構と抑制”、電気精鋼、82巻2号（2011年）、143頁-155頁

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0010] 上記の特許文献1及び2では、再生型自励びり振動に対する検討がなされていないので、びり振動の低減としては十分ではない。
- [0011] 本発明者等は、鋭意検討し、ラジラスエンドミルの歯先に設けた円弧刃の大きさや形状によって再生幅が変化することに着目した。ここで、再生幅とは、再生型自励びり振動の起因となる寸法であり、一刃が切削する切削方向の寸法、すなわち円弧刃とワークとが接触する切削方向の寸法を意味する。再生幅が大きいほど、一刃前の再生時の振動の影響が大きくなるため、びり振動が発生しやすくなり加工安定性が低くなる。
- [0012] このような事情に鑑みてなされたものであって、本発明は、びり振動を抑制して加工安定性を向上させることができるラジラスエンドミル及びこれを用いた工作機械、並びにラジラスエンドミルの設計方法及び加工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

- [0013] 本発明の一態様に係るラジラスエンドミルは、工具本体の先端部の外周側に設けられた円弧刃を備え、前記工具本体の中心軸線を含む縦断面において、前記円弧刃が形成された角度範囲は、 30° 以下とされている。
- [0014] 円弧刃が形成された角度範囲（ノーズR角度 θ_r ）を 30° 以下とすることで、角度範囲を 90° とした場合に比べて再生幅を $1/2$ 以下としてびり振動を抑制して加工安定性を向上させることができる。
- 角度範囲の下限値としては、例えば 0.09° とされる。円弧刃の円弧形状を形成する半径（ノーズR）は、例えば1mm以上1000mm以下とされる。
- [0015] さらに、本発明の一態様に係るラジラスエンドミルでは、前記円弧刃は、前記縦断面において、前記工具本体の先端部の底面にて少なくとも前記中心軸線に直交する方向に接線を有する位置から側面にかけて底面用円弧刃として形成され、該底面用円弧刃の前記中心軸線方向の寸法は、0.75mm以下とされている。
- [0016] 円弧刃を縦断面において工具本体の先端部の底面にて工具本体の中心軸線

に直交する方向に接線を有する位置から側面にかけて形成することで、底面加工用のラジラスエンドミルが提供される。縦断面における円弧刃の工具本体の中心軸線方向における寸法（ノーズR高さ H_r ）を0.75mm以下とすることで、円弧刃の角度範囲を 90° とした場合に比べて再生幅を $1/2$ 以下としてびびり振動を抑制して加工安定性を向上させることができる。

ノーズR高さ H_r の下限値としては、例えば0.03mmとされる。

[0017] さらに、本発明の一態様に係るラジラスエンドミルでは、前記円弧刃は、前記縦断面において、前記工具本体の前記先端部の側面にて前記中心軸線に平行な方向に接線を有する位置から前記先端部の底面にかけて側面用円弧刃として形成され、該側面用円弧刃の前記中心軸線方向に直交する方向の寸法は、0.75mm以下とされている。

[0018] 円弧刃を縦断面において工具本体の先端部の側面にて工具本体の中心軸線に平行な方向に接線を有する位置から先端部の底面にかけて形成することで、側面加工用のラジラスエンドミルが提供される。縦断面における円弧刃の工具本体の中心軸線方向に直交する方向における寸法（ノーズR高さ H_r ）を0.75mm以下とすることで、円弧刃の角度範囲を 90° とした場合に比べて再生幅を $1/2$ 以下としてびびり振動を抑制して加工安定性を向上させることができる。

ノーズR高さ H_r の下限値としては、例えば0.03mmとされる。

[0019] さらに、本発明の一態様に係るラジラスエンドミルでは、前記円弧刃は、前記縦断面において、前記工具本体の先端部の底面にて少なくとも前記中心軸線に直交する方向に接線を有する位置から側面にかけて底面用円弧刃として形成され、該底面用円弧刃の前記中心軸線方向の寸法は、0.75mm以下とされ、かつ、前記円弧刃は、前記縦断面において、前記工具本体の前記先端部の側面にて前記中心軸線に平行に接線を有する位置から前記先端部の底面にかけて側面用円弧刃として形成され、該側面用円弧刃の前記中心軸線方向に直交する方向の寸法は、0.75mm以下とされている。

[0020] 底面用円弧刃を縦断面において工具本体の先端部の底面にて工具本体の中

心軸線に直交する方向に接線を有する位置から側面にかけて形成し、かつ、側面用円弧刃を縦断面において工具本体の先端部の側面にて工具本体の中心軸線に平行に接線を有する位置から先端部にかけて形成することで、底面加工と側面加工が可能なハイブリッド加工用のラジラスエンドミルが提供される。底面用円弧刃の工具本体の中心軸線方向の寸法を0.75mm以下とし、かつ、側面用円弧刃の工具本体の中心軸線方向に直交する方向の寸法を0.75mm以下とすることで、円弧刃の角度範囲を90°とした場合に比べて再生幅を1/2以下としてびびり振動を抑制して加工安定性を向上させることができる。

[0021] また、本発明の一態様に係る工作機械は、上記のいずれかに記載のラジラスエンドミルと、前記ラジラスエンドミルの基端部が固定されて該ラジラスエンドミルの前記中心軸線回りに回転させる駆動部と、を備え、前記ラジラスエンドミルの前記円弧刃の円弧形状を形成する円弧の半径は、前記駆動部の回転数および切削送り速度から演算される一刃あたりの送り量と、加工時に要求される要求面粗度とに基づいて決定されている。

[0022] 駆動部の回転数および切削送り速度から一刃当たりの送り量が演算される。この一刃当たりの送り量と、加工時に要求される要求面粗度（例えば図面上要求される面粗度）とに基づいて、ラジラスエンドミルの円弧刃の半径を決定することとした。これにより、要求面粗度を満たす任意の切削条件においてびびり振動を抑制して安定した加工が可能となる。

駆動部の最大の回転数と切削送り速度を用いて円弧刃の半径を決定すれば、加工速度を最大化することができる。

[0023] また、本発明の一態様に係るラジラスエンドミル設計方法は、上記のいずれかに記載のラジラスエンドミルを設計するラジラスエンドミル設計方法であって、ラジラスエンドミルを前記中心軸線回りに回転させる駆動部の回転数および切削送り速度から演算される一刃あたりの送り量と、加工時に要求される要求面粗度とに基づいて、前記ラジラスエンドミルの前記円弧刃の円弧形状を形成する円弧の半径を決定する。

[0024] 駆動部の回転数および切削送り速度から一刃当たりの送り量が演算される。この一刃当たりの送り量と、加工時に要求される要求面粗度（例えば図面上要求される面粗度）とに基づいて、ラジラスエンドミルの円弧刃の半径を決定することとした。これにより、要求面粗度を満たす任意の切削条件においてびびり振動を抑制した加工が可能となる。

駆動部の最大の回転数と切削送り速度を用いて円弧刃の半径を決定すれば、加工速度を最大化することができる。

[0025] 本発明の一態様に係る加工方法は、上記のいずれかに記載のラジラスエンドミルを用いて加工する加工方法であって、薄板部を有するワークを固定するワーク固定工程と、前記ラジラスエンドミルを用いて前記薄板部を加工する加工工程と、を有し、前記加工工程は、前記ワーク固定工程にて前記ワークを固定している間に、前記ワークに対して異なる方向から加工を行う。

[0026] 薄板部を有するワークであっても、上記のラジラスエンドミルを用いているので、びびり振動が抑制される。また、ワークを固定している間に異なる方向から加工を行ってもびびり振動を抑制することができるので、ワンチャック加工が可能となり、高効率にて加工を行うことができる。

なお、「ワークに対して異なる方向から加工を行う」とは、例えば、底面加工の場合には工具本体の中心軸線に対して垂直方向に加工を行い、側面加工の場合には工具本体の中心軸線に対して平行方向に加工を行うことである。ここで、垂直方向および平行方向については、円弧刃の角度範囲内で傾くことは許容される。

発明の効果

[0027] 円弧刃の角度範囲を 30° 以下として再生幅を小さくしたので、びびり振動を抑制して加工安定性を向上させることができる。

図面の簡単な説明

[0028] [図1]本発明の第1実施形態に係るラジラスエンドミルを側面図である。

[図2]図1のA部の詳細を示した拡大図である。

[図3]ノーズRに対してノーズR高さ H_r を示したグラフである。

[図4]ノーズR角度 θ_r を示したグラフである。

[図5]本発明の第2実施形態に係るラジラスエンドミルを側面図である。

[図6]図5のA'部の詳細を示した拡大図である。

[図7]本発明の第3実施形態に係るラジラスエンドミルを側面図である。

[図8]図7のA"部の詳細を示した拡大図である。

発明を実施するための形態

[0029] 以下に、本発明に係る各実施形態について、図面を参照して説明する。

[第1実施形態]

図1には、本実施形態に係るラジラスエンドミル1が示されている。同図は、ラジラスエンドミル1は、工具本体3のシャンク部が工作機械のスピンドル（駆動部）に固定されることによって中心軸線L1回りに回転させられる。

[0030] ラジラスエンドミル1の直径（工具径）は、一体型のエンドミルの場合は4mm以上32mm以下とされている。なお、刃先交換式の cutter の場合は、工具径の上限は200mm以上となる。ラジラスエンドミル1の工具本体3の先端部4の底面の外周側には、円弧刃5が設けられている。以下、円弧刃5を形成する円弧の半径をノーズR [mm]という。同図におけるラジラスエンドミル1は、工具径方向に切り込んで加工する底面加工用とされている。ワークの特に薄板とされた板状部の表面に正対するように先端部4を向け、表面の延在方向にワークを相対的に送って底面加工するとき、再びびり振動が生じ易い。

[0031] 同図に示したラジラスエンドミル1の刃数は2とされている。但し、刃数は2以上であれば良い。円弧刃5の内周側（中心軸線L1側）には、工具本体3側に対比して凹となる逃げ面6が形成されている。

ラジラスエンドミル1の先端部4とは反対側の端部である基端部7は、シャンクとされており、工作機械のスピンドル（駆動部）のチャックに固定される。

[0032] 図2には、図1のA部の詳細が示されている。円弧刃5は、中心軸線L1

(図1参照)を含む縦断面において、工具本体3の先端部4の底面4aにて中心軸線L1に直交する方向(同図において水平方向)に接線を有する位置P1から側面4bと交差する位置P2にかけて底面用円弧刃として形成されている。なお、円弧刃5は、位置P1よりも中心軸線L1側に延長して設けられていても良い。これにより、中心軸線L1側に設けられた底刃に滑らかに接続することができる。

円弧刃5の中心軸線L1方向(同図において上下方向)の寸法であるノーズR高さHrは、0.75mm以下とされている。円弧刃5を形成する円弧の半径であるノーズRは、1mm以上1000mm以下とされている。円弧刃5が形成された角度範囲であるノーズR角度 θ_r は、30°以下とされている。

[0033] ノーズR角度 θ_r は、ノーズR高さHrとノーズRを用いて下式のように表される。

$$\theta_r = \cos^{-1} \left((R - H_r) / R \right) \quad \dots (2)$$

[0034] 円弧刃5の中心軸線L1に直交する方向(同図において水平方向)における寸法が再生幅Wcとなる。再生幅Wcは、再生型自励びびり振動の起因となる寸法であり、一刃が切削する切削方向の寸法、すなわち円弧刃5とワークとが接触する切削方向(図2において水平方向)の寸法を意味する。再生幅Wcが大きいほど、一刃前の再生時の振動の影響が大きくなる。

[0035] 再生幅Wcは、式(2)を用いて下式のように表される。

$$W_c = R \times \sin \theta_r = R \times \sin \left[\cos^{-1} \left((R - H_r) / R \right) \right] \quad \dots (3)$$

[0036] [ノーズR高さHrとノーズR角度 θ_r の範囲]

次に、図2に示したノーズR高さHrとノーズR角度 θ_r の設定範囲について説明する。

比較対象となる比較再生幅Wc0を下式のように定める。

$$W_{c0} = R \times \sin [\cos^{-1} ((R - A_d) / R)] \quad \dots (4)$$

上式において A_d は中心軸線 L_1 方向の切込み量である。すなわち、式 (4) に示された比較再生幅 W_{c0} は、ノーズ R 高さを切込み量 A_d に設定したことを意味する。なお、ノーズ R よりも切込み量 A_d が大きいとき ($R < A_d$) には、 $A_d = R$ (すなわちノーズ R 角度は 90° が上限) とする。

[0037] 再生型びびり振動は、再生幅 W_c に影響されるので、比較再生幅 W_{c0} の $1/2$ 以下 (すなわち W_{c0} / W_c が 2 以上) となるようにノーズ R 高さ H_r とノーズ R 角度 θ_r を決定すると下表の通りとなる。

[0038]

[表1]

軸切込み A d	0.5															
ノーズR [mm]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	25.4	50	500
ノーズR 高さHr	0.09	0.11	0.11	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
ノーズR 角度θr	24.5	19.1	15.6	13.5	12.6	11.5	10.6	9.9	9.4	8.9	8.5	8.1	7.8	5.6	4.0	1.3
再生幅Wc	0.41	0.65	0.80	0.93	1.09	1.19	1.29	1.38	1.46	1.54	1.62	1.69	1.76	2.47	3.46	10.95
ノーズR 接触角θ	60.0	41.4	33.6	29.0	25.8	23.6	21.8	20.4	19.2	18.2	17.3	16.6	15.9	11.4	8.1	2.6
再生幅Wc0	0.87	1.32	1.66	1.94	2.18	2.40	2.60	2.78	2.96	3.12	3.28	3.43	3.57	5.01	7.05	22.36
再生幅比較 (Wc0/Wc)	2.09	2.02	2.06	2.08	2.00	2.01	2.01	2.02	2.02	2.02	2.02	2.02	2.03	2.03	2.04	2.04

[0039] 下表には、切込み量 A_d を変化させて W_{c0}/W_c が 2 以上となるように本実施形態のノーズ R 高さ H_r を整理した場合が示されている。

[0040] [表2]

ノーズ R 高さ H_r について

ノーズ R [mm]	1	3	5	10	25.4	50	500	1000
Ad0.5	0.09	0.11	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Ad1.0	0.13	0.21	0.23	0.24	0.24	0.24	0.25	0.25
Ad1.5	0.13	0.29	0.33	0.35	0.36	0.37	0.37	0.37
Ad2.0	0.13	0.35	0.41	0.46	0.48	0.49	0.5	0.5
Ad2.5	0.13	0.39	0.49	0.56	0.6	0.61	0.62	0.62
Ad3.0	0.13	0.4	0.56	0.66	0.71	0.73	0.75	0.75

[0041] 上の表 2 をグラフに表すと図 3 のようになる。同図には、参考として既存の底面仕上げ用にノーズ R 高さ H_r をノーズ R よりも小としたラジラスエンドミルの数値がプロットされている。同図から分かるように、荒加工で想定される最大の切込みを考慮して切込み量 A_d が 3.0 mm 以下で、ノーズ R が 1 mm 以上 1000 mm 以下の場合に、以下のノーズ R 高さ H_r の範囲であれば、比較例に対して 2 倍以上の安定性が得られる。

$$\text{ノーズ R 高さ } H_r \leq 0.75 \text{ mm} \quad \dots (5)$$

[0042] 下表には、切込み量 A_d を変化させて W_{c0}/W_c が 2 以上となるように本実施形態のノーズ R 角度 θ_r を整理した場合が示されている。

[0043]

[表3]

ノーズR角度 θ_r について

ノーズR [mm]	1	3	5	10	25.4	50	500	1000
Ad0.5	24.5	15.6	12.0	8.7	5.6	4.0	1.3	0.9
Ad1.0	29.5	21.6	17.4	12.6	7.9	5.6	1.8	1.3
Ad1.5	29.5	25.4	20.9	15.2	9.7	7.0	2.2	1.6
Ad2.0	29.5	28.0	23.4	17.4	11.2	8.0	2.6	1.8
Ad2.5	29.5	29.5	25.6	19.3	12.5	9.0	2.9	2.0
Ad3.0	29.5	29.9	27.4	20.9	13.6	9.8	3.1	2.2

[0044] 上の表3をグラフに表すと図4のようになる。同図には、参考として図3に示した既存の底面仕上げ用にノーズR高さ H_r をノーズRよりも小としたラジラスエンドミルの数値がプロットされている。同図から分かるように、荒加工で想定される最大の切込みを考慮して切込み量 A_d が3.0mm以下で、ノーズRが1mm以上1000mm以下の場合に、以下のノーズR角度 θ_r の範囲であれば、比較例に対して2倍以上の安定性が得られる。

$$0^\circ < \text{ノーズR角度 } \theta_r \leq 30^\circ \quad \dots (6)$$

[0045] なお、ノーズRとノーズR角度 θ_r の関係から、切込み量 A_d が大きくなっても、ノーズR角度 θ_r は 30° が上限となる。これは、 $A_d \geq R$ の場合、上述のように $W_{c0} = R$ となり、本実施形態の再生幅 W_c を W_{c0} の $1/2$ とすれば、式(3)より $\theta_r = 30^\circ$ となるためである。このときのノーズR高さ H_r は、 $R \times (1 - 3^{1/2}/2)$ となる。

[0046] [ノーズRの決定]

次に、ノーズRの決定方法について説明する。

ノーズRは、一刃あたりの送り量と、加工時に要求される、具体的には図面上要求される要求面粗度とに基づいて決定される。

[0047] 一刃あたりの送り量 f_z [mm/tooth] は、工作機械の切削送り速度 F [mm/min]、工作機械のスピンドルの主軸回転数 S [/min]

、刃数 N とした場合に、下式にて表される。

$$f_z = F / S / N \quad \dots (7)$$

工作機械の機械制約として、切削送り速度 F には最大切削送り速度 F_{max} があり、主軸回転数 S には最大主軸回転数 S_{max} が存在する。この最大値である F_{max} に近づけて加工することが、加工時間を削減する上で好ましい。

[0048] 面粗度 R_z は、下式にて表される。

$$R_z = f_z^2 / (8 \times R) \quad \dots (8)$$

[0049] 式(7)及び式(8)を用いて、ノーズ R は、面粗度 R_z と一刃当たりの送り量 f_z を用いて、下式のように表される。

$$R = A \times f_z^2 / (8 \times R_z) \quad \dots (9)$$

ここで、 A は実加工を考慮した係数であり、例えば2以上4以下である。

[0050] なお、ノーズ R 高さ H_r は、ヘムステッチ高さ(面粗度 R_z)だけでなく、中心軸線 L_1 方向の振動振幅 V_r [mm]も考慮して設定されることが好ましい。

$$H_r = R_z + V_r \quad \dots (10)$$

[0051] 上式(9)に示したように、ノーズ R は、工作機械の切削送り速度 F と主軸回転数 S によって決まる一刃当たりの送り量 f_z と、要求面粗度とによって決定される。

[0052] [加工方法]

次に、本実施形態のラジラスエンドミル1を用いた加工方法について説明する。

加工対象となるワークは、板金加工によって成形される形状を有し、例えば航空機の胴体パネルとフレームとを結合する結合部材のような薄板部を有するものである。

まず、工作機械のワーク固定部に、切削前のワークを固定する(ワーク固定工程)。

そして、工作機械のスピンドルにラジラスエンドミル1の基端部7(図1

参照)を固定する。

スピンドルを回転させることによってラジラスエンドミル1を中心軸線L1回りに回転させ、ワークの切削を行う(加工工程)。本実施形態のラジラスエンドミル1は、底面加工用なので、中心軸線L1方向に切込み量Adで切込みを行い、中心軸線L1に直交する方向にワークに対して切削送り速度Fでラジラスエンドミル1を送る。

工作機械は多軸(例えば5軸や6軸)制御とされており、加工時にはワークに対してラジラスエンドミル1を異なる角度から加工を行う。すなわち、1回の段取り(ワンチャック)で、ワークの複数面に対して加工を行う。

[0053] 上述の通り、本実施形態によれば、以下の作用効果を奏する。

底面加工用のラジラスエンドミル1の円弧刃5のノーズR角度 θ_r を 30° 以下とすることで、比較例(表1参照)のように円弧刃の角度範囲を 90° とした場合に比べて再生幅を $1/2$ 以下としてびびり振動を抑制して加工安定性を向上させることができる。

[0054] 底面加工用のラジラスエンドミル1の円弧刃5の工具本体3の中心軸線L1方向における寸法であるノーズR高さHrを 0.75mm 以下とすることで、比較例(表1参照)のように円弧刃の角度範囲を 90° とした場合に比べて再生幅を $1/2$ 以下としてびびり振動を抑制して加工安定性を向上させることができる。

[0055] 工作機械のスピンドルの主軸回転数Sおよび切削送り速度Fから一刃当たりの送り量 f_z が演算される。この一刃当たりの送り量 f_z と、加工時に要求される要求面粗度Rzとに基づいて、ラジラスエンドミル1の円弧刃5の半径であるノーズRを決定することとした。これにより、要求面粗度を満たす任意の切削条件においてびびり振動を抑制して安定した加工が可能となる。

[0056] 結合部材のような薄板部を有するワークであっても、本実施形態のラジラスエンドミル1を用いて加工するので、本実施形態の加工方法によれば、びびり振動を抑制することができる。また、ワークを固定している間に異なる

方向から加工を行ってもびびり振動を抑制することができるので、ワンチャック加工が可能となり、高効率にて加工を行うことができる。

なお、ワークを固定している間に異なる方向から加工を行うことは、例えば、底面加工の場合には工具本体3の中心軸線L1に対して垂直方向に加工を行い、側面加工の場合には工具本体3の中心軸線L1に対して平行方向に加工を行うことである。ここで、垂直方向および平行方向については、円弧刃5の角度範囲内で傾くことは許容される。

実施例

[0057] 次に、上記実施形態の一実施例について説明する。下表には、本実施例にかかるエンドレスミルの諸元と、このエンドレスミルを用いて加工を行う工作機械の諸元が記載されている。なお、工具径は20mmである。

[0058] [表4]

本実施例 刃先形状	回転数S	18000	min-1
	送りF	13000	mm/min
	刃数N	2	
	一刃送りfz	0.361	mm/tooth
	要求面粗度Rz	0.0128	mm
	係数A	4	
	ノーズR	5	mm
	軸方向振動振幅Vr	0.035	mm
	ノーズR高さHr	0.05	mm
	ノーズR角度θr	0.14	rad
	ノーズR角度θr	7.93	deg
	再生幅Wc	0.69	mm

[0059] これに対して、既存のラジラスエンドミルの諸元を下表に示す。表5は荒加工に用いるラジラスエンドミルであり、表6は仕上げ加工に用いるラジラスエンドミルである。工具径は20mmである。なお、下表においてR部接

触角 θ は、ノーズRとワークとの接触角を意味する。本実施例の場合は、ノーズR角度=R部接触角となる。

[0060] [表5]

既存ラジラス エンドミル (荒加工)	軸切込み量	3	mm
	R部接触角 θ	1.159	rad
	R部接触角 θ	66.42	deg
	再生幅	4.58	mm
	再生幅比較	7	

[0061] [表6]

既存ラジラス エンドミル (仕上げ加工)	軸切込み量	0.5	mm
	R部接触角 θ	0.451	rad
	R部接触角 θ	25.84	deg
	再生幅	2.18	mm
	再生幅比較	3	

[0062] 上記の表4～表6から分かるように、底面加工用のラジラスエンドミルについて、本実施例の再生幅は、既存ラジラスエンドミルの再生幅に対して、荒加工で7倍、仕上げ加工で3倍となっており、大幅にびびり振動が低減できることが分かる。また、実際に結合部材に対して加工を行ったところ、既存ラジラスエンドミルではびびり振動が発生したが、本実施例のラジラスエンドミルでは同じ条件で加工した場合であってもびびり振動は生じなかった。

[0063] [第2実施形態]

本実施形態は、第1実施形態が底面加工用とされているのに対し、側面加工用とされている点で異なる。したがって、以下の説明では、第1実施形態と異なる点について説明し、同様の構成については同一符号を付しその説明

を省略する。

[0064] 図5には、本実施形態に係るラジラスエンドミル1'が示されている。ラジラスエンドミル1'の工具本体3の先端部4の側面4bには、円弧刃5'が設けられている。同図におけるラジラスエンドミル1は、工具本体3の中心軸線L1方向に切り込んで加工する側面加工用とされている。

[0065] 図6には、図5のA'部の詳細が示されている。円弧刃5'は、中心軸線L1を含む縦断面において、工具本体3の先端部4の側面4bにて中心軸線L1に平行な方向（同図において上下方向）に接線を有する位置P3から底面4aと交差する位置P4にかけて側面用円弧刃として形成されている。円弧刃5'の中心軸線L1に直交する方向（同図において水平方向）の寸法であるノーズR高さHr'は、0.75mm以下とされている。円弧刃5'を形成する円弧の半径であるノーズR'は、1mm以上1000mm以下とされている。円弧刃5'が形成された角度範囲であるノーズR角度θr'は、0°よりも大きく30°以下とされている。

再生幅Wc'は、ノーズR高さHr'と同じとなる（ $Wc' = Hr'$ ）。

[0066] 本実施形態は、切込み量に相当する寸法に応じて再生幅Wc0をとった比較例に対して、第1実施形態と同様に再生幅Wc'を1/2以下としているので、びびり振動を抑制することができる。したがって、その他の作用効果についても、第1実施形態と同様である。

[0067] [第3実施形態]

本実施形態は、底面加工用とされた第1実施形態の円弧刃5と、側面加工用とされた第2実施形態の円弧刃5'とを組み合わせたハイブリッド形のラジラスエンドミル1''である。

[0068] 図7には、本実施形態に係るラジラスエンドミル1''が示されている。ラジラスエンドミル1''の工具本体3の先端部4の底面4aには円弧刃5が設けられ、側面4bには円弧刃5'が設けられている。同図におけるラジラスエンドミル1は、円弧刃5を用いた底面加工と、円弧刃5'を用いた側面加工とが可能とされている。

[0069] 図8には、図7のA”部の詳細が示されている。

円弧刃5は、中心軸線L1を含む縦断面において、工具本体3の先端部4の底面4aにて中心軸線L1に直交する方向（同図において水平方向）に接線を有する位置P1から側面4bと交差する位置P2にかけて底面用円弧刃として形成されている。円弧刃5の中心軸線L1方向（同図において上下方向）の寸法であるノーズR高さHrは、0.75mm以下とされている。円弧刃5を形成する円弧の半径であるノーズRは、1mm以上1000mm以下とされている。円弧刃5が形成された角度範囲であるノーズR角度 θ_r は、 0° よりも大きく 30° 以下とされている。

[0070] 円弧刃5'は、中心軸線L1を含む縦断面において、工具本体3の先端部4の側面4bにて中心軸線L1に平行な方向（同図において上下方向）に接線を有する位置P3から底面4aと交差する位置P4（位置P2と同じ位置）にかけて側面用円弧刃として形成されている。円弧刃5'の中心軸線L1に直交する方向（同図において水平方向）の寸法であるノーズR高さHr'は、0.75mm以下とされている。円弧刃5'を形成する円弧の半径であるノーズR'は、1mm以上1000mm以下とされている。円弧刃5'が形成された角度範囲であるノーズR角度 $\theta_{r'}$ は、 0° よりも大きく 30° 以下とされている。

再生幅Wc'は、 $R' \times \sin \theta_{r'} + H_{r'}$ となる。

[0071] 本実施形態は、切込み量に相当する寸法に応じて再生幅Wc0をとった比較例に対して、第1実施形態及び第2実施形態と同様に再生幅Wc'を1/2以下としているので、びびり振動を抑制することができる。したがって、その他の作用効果についても、第1実施形態及び第2実施形態と同様である。

符号の説明

[0072] 1, 1', 1'' ラジラスエンドミル
3 工具本体
4 先端部

- 4 a 底面
- 4 b 側面
- 5, 5' 円弧刃
- 6 逃げ面
- 7 基端部
- A d 切込み量
- F 切削送り速度
- f z 一刃当たりの送り量
- H r, H r' ノーズR高さ
- L 1 中心軸線
- N 刃数
- R, R' ノーズR (円弧刃の半径)
- R z 面粗度
- S 主軸回転数
- $\theta r, \theta r'$ ノーズR角度

請求の範囲

- [請求項1] 工具本体の先端部の外周側に設けられた円弧刃を備え、
前記工具本体の中心軸線を含む縦断面において、前記円弧刃が形成された角度範囲は、 30° 以下とされているラジラスエンドミル。
- [請求項2] 前記円弧刃は、前記縦断面において、前記工具本体の前記先端部の底面にて少なくとも前記中心軸線に直交する方向に接線を有する位置から側面にかけて底面用円弧刃として形成され、
該底面用円弧刃の前記中心軸線方向の寸法は、 0.75 mm 以下とされている請求項1に記載のラジラスエンドミル。
- [請求項3] 前記円弧刃は、前記縦断面において、前記工具本体の前記先端部の側面にて前記中心軸線に平行な方向に接線を有する位置から前記先端部の底面にかけて側面用円弧刃として形成され、
該側面用円弧刃の前記中心軸線方向に直交する方向の寸法は、 0.75 mm 以下とされている請求項1に記載のラジラスエンドミル。
- [請求項4] 前記円弧刃は、前記縦断面において、前記工具本体の前記先端部の底面にて少なくとも前記中心軸線に直交する方向に接線を有する位置から側面にかけて底面用円弧刃として形成され、該底面用円弧刃の前記中心軸線方向の寸法は、 0.75 mm 以下とされ、かつ、
前記円弧刃は、前記縦断面において、前記工具本体の前記先端部の側面にて前記中心軸線に平行に接線を有する位置から前記先端部の底面にかけて側面用円弧刃として形成され、該側面用円弧刃の前記中心軸線方向に直交する方向の寸法は、 0.75 mm 以下とされている請求項1に記載のラジラスエンドミル。
- [請求項5] 請求項1から4のいずれかに記載のラジラスエンドミルと、
前記ラジラスエンドミルの基端部が固定されて該ラジラスエンドミルの前記中心軸線回りに回転させる駆動部と、
を備え、
前記ラジラスエンドミルの前記円弧刃の円弧形状を形成する円弧の

半径は、前記駆動部の回転数および切削送り速度から演算される一刃あたりの送り量と、加工時に要求される要求面粗度とに基づいて決定されている工作機械。

[請求項6] 請求項1から4のいずれかに記載のラジラスエンドミルを設計するラジラスエンドミル設計方法であって、

ラジラスエンドミルを前記中心軸線回りに回転させる駆動部の回転数および切削送り速度から演算される一刃あたりの送り量と、加工時に要求される要求面粗度とに基づいて、前記ラジラスエンドミルの前記円弧刃の円弧形状を形成する円弧の半径を決定するラジラスエンドミル設計方法。

[請求項7] 請求項1から4のいずれかに記載のラジラスエンドミルを用いて加工する加工方法であって、

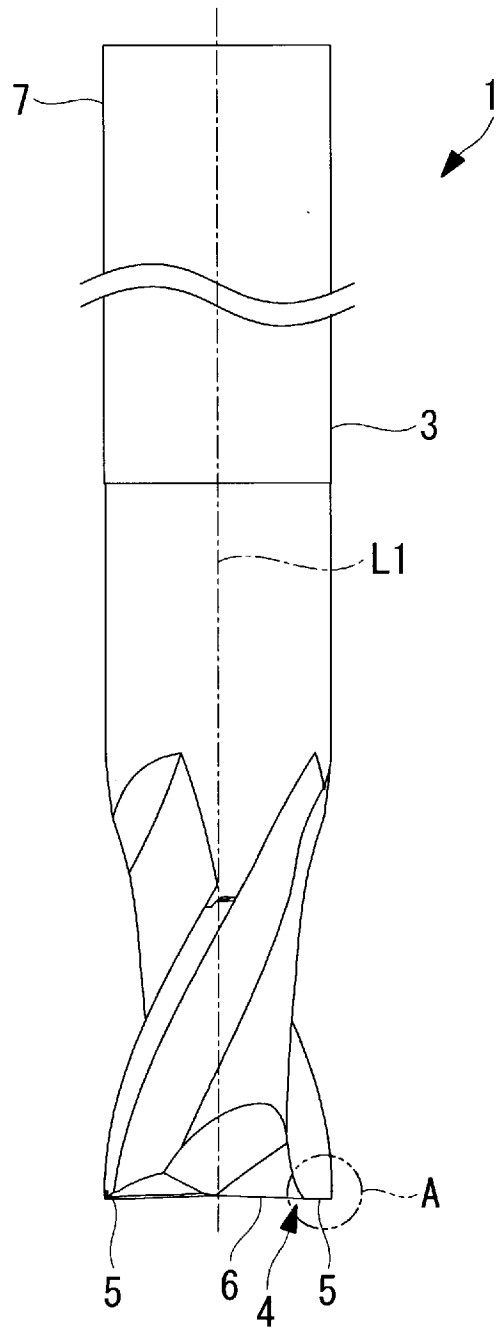
薄板部を有するワークを固定するワーク固定工程と、

前記ラジラスエンドミルを用いて前記薄板部を加工する加工工程と

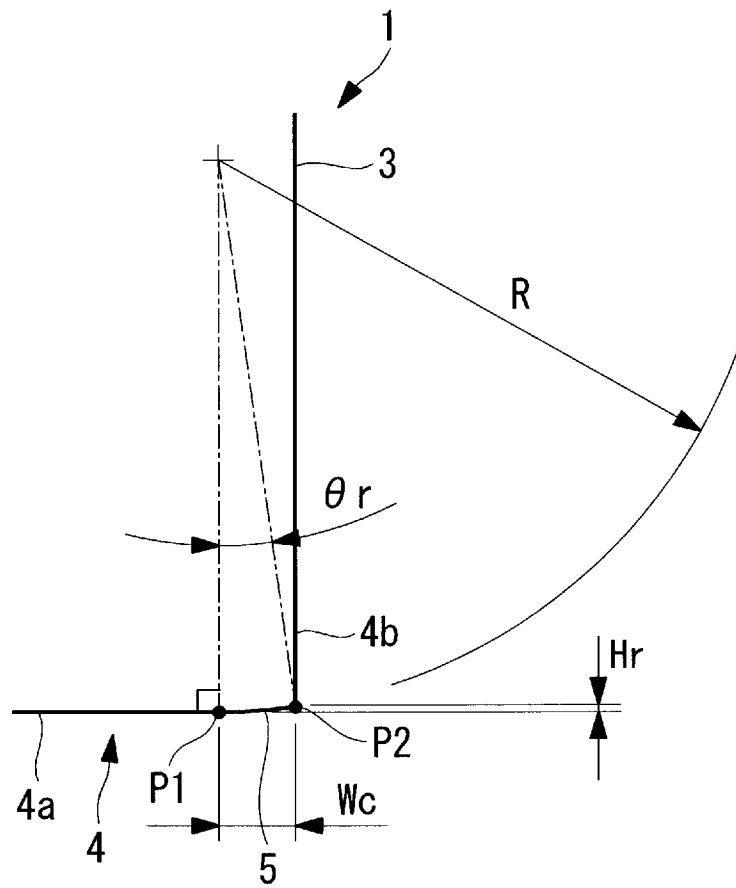
、
を有し、

前記加工工程は、前記ワーク固定工程にて前記ワークを固定している間に、前記ワークに対して異なる方向から加工を行う加工方法。

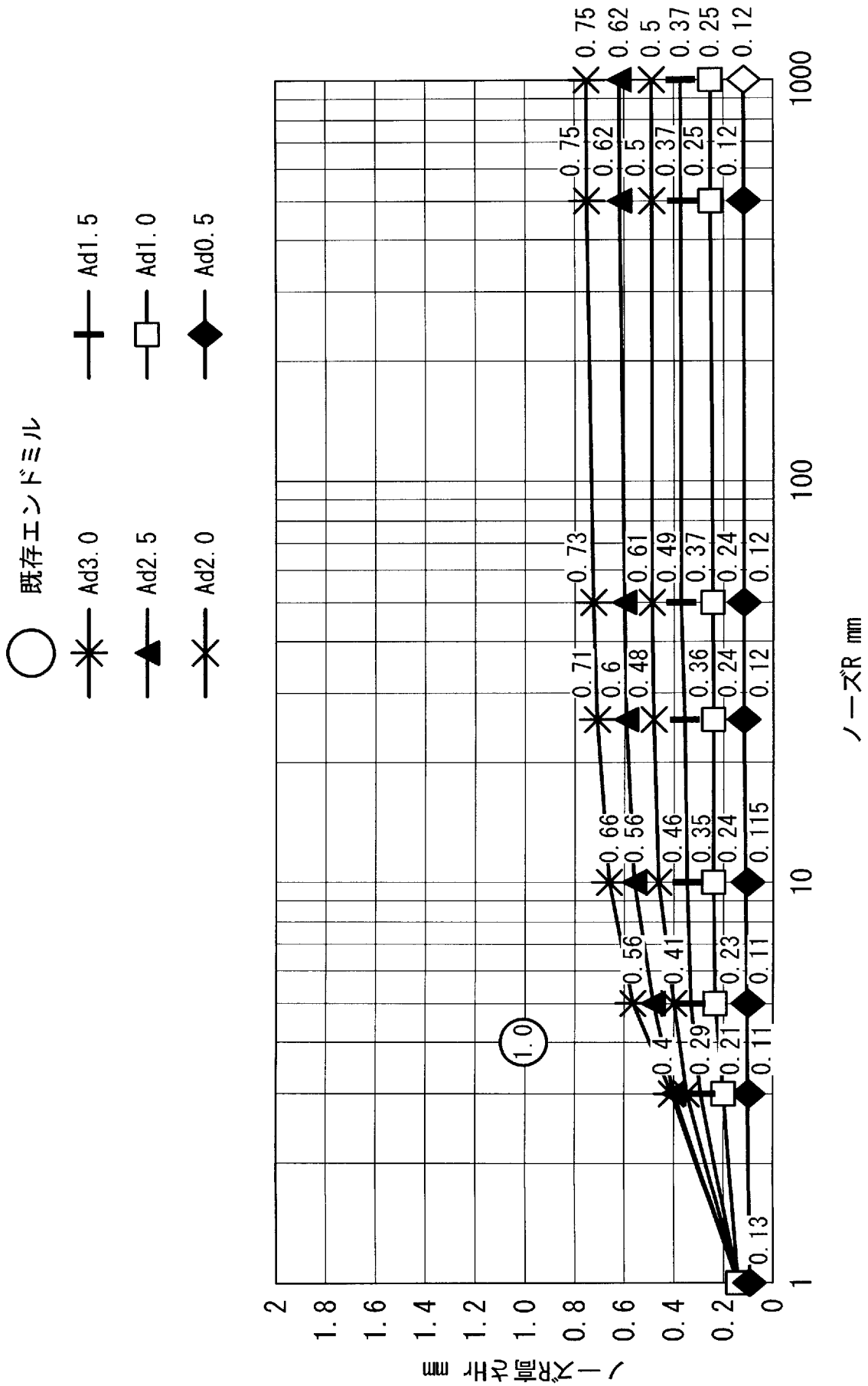
[図1]



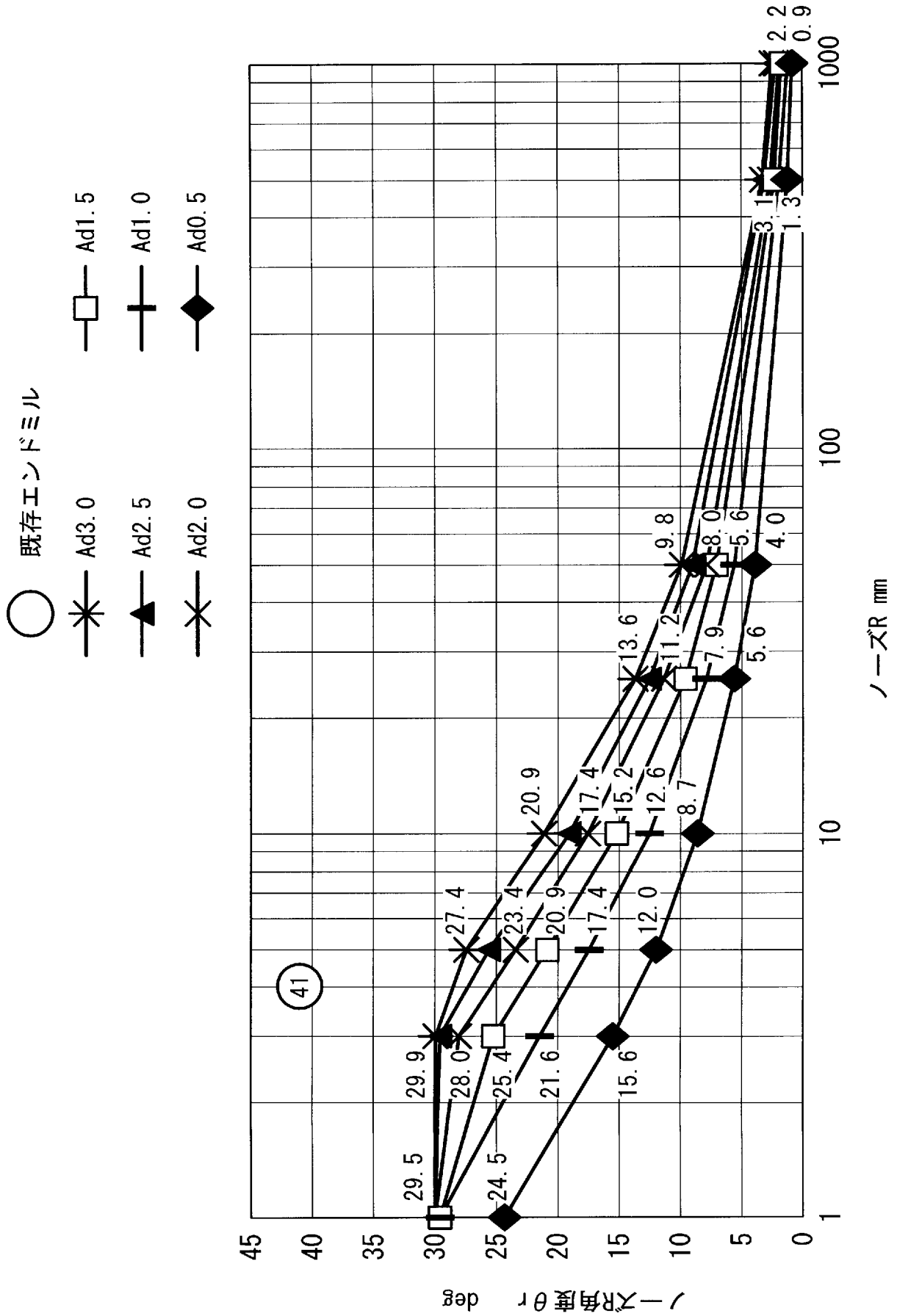
[図2]



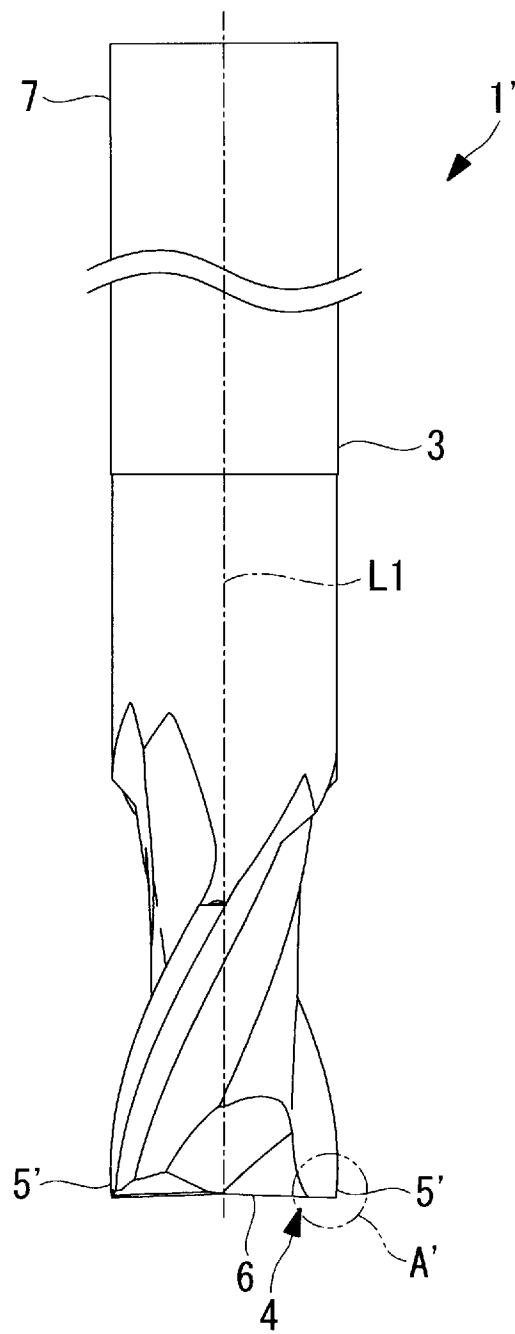
[図3]



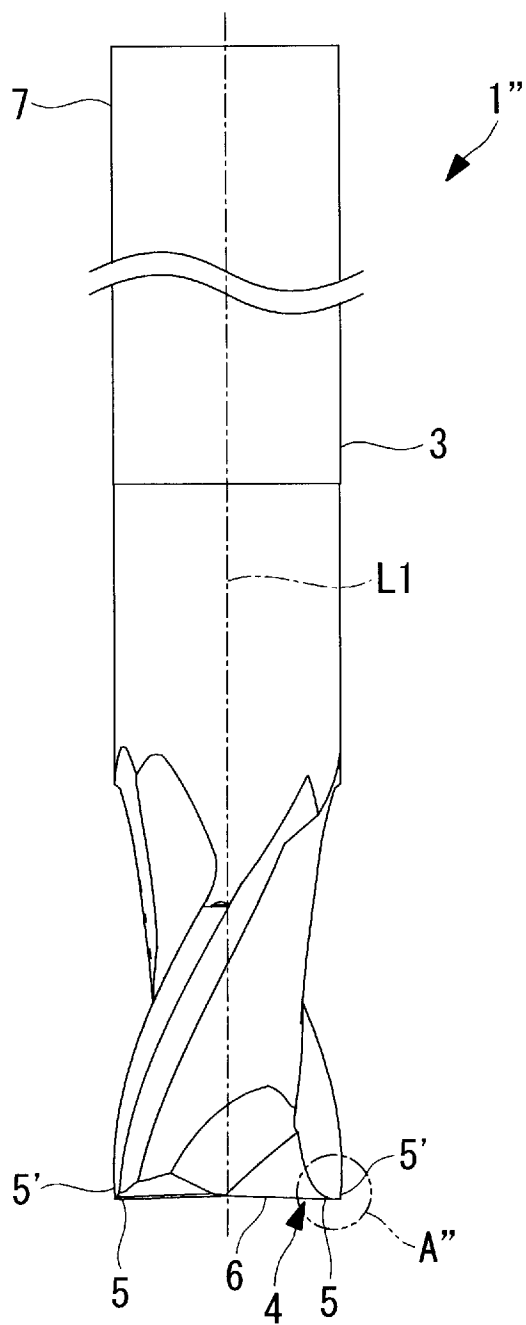
[図4]



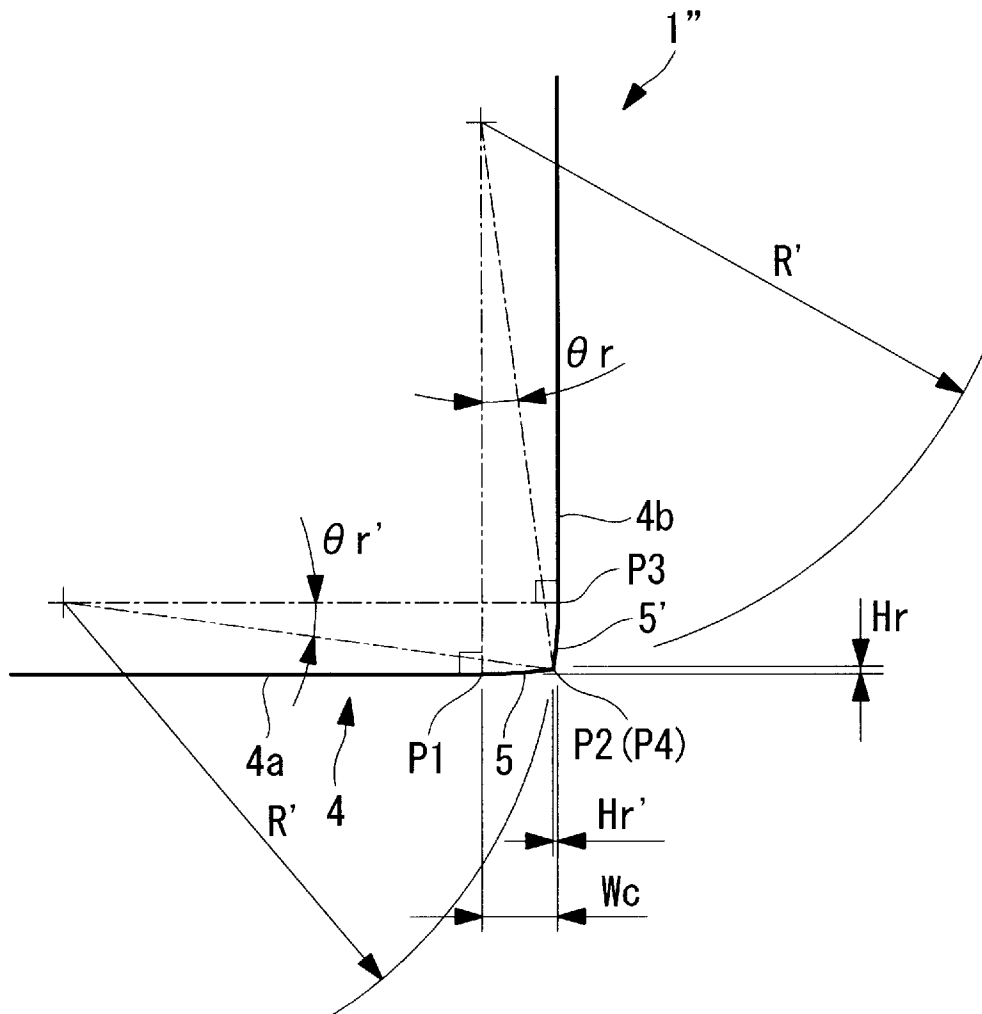
[図5]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/015289

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. B23C5/10 (2006.01) i

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)

Int. Cl. B23C5/10

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 1971-2019
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2019
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2019

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.
X A	US 2016/0271706 A1 (KENNAMETAL INC.) 22 September 2016, paragraphs [0030], [0033], [0037], fig. 1, 3, 5, 6 & DE 102016104158 A1 & CN 105983721 A	1-4, 7 5-6
A	US 2005/0025584 A1 (KOLKER, Werner) 03 February 2005, paragraphs [0026]-[0036], fig. 1-8 & EP 1498203 A2 & DE 20310713 U & AT 389485 T & PL 1498203 T	1-7
A	JP 2007-38344 A (DIJET IND CO., LTD.) 15 February 2007, paragraphs [0015]-[0032], fig. 1-3 (Family: none)	1-7

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” 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
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“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
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“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
“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)	“&” document member of the same patent family
“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	

Date of the actual completion of the international search 10.06.2019	Date of mailing of the international search report 18.06.2019
---	--

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 REPORTInternational application No.
PCT/JP2019/015289

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 2003-323204 A (OKUMA CORP.) 14 November 2003, paragraphs [0006]-[0022], fig. 1-7 (Family: none)	1-7

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. B23C5/10(2006.01)i

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））

Int.Cl. B23C5/10

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	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019年

国際調査で使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
X A	US 2016/0271706 A1 (KENNAMETAL INC.) 2016.09.22, 段落[0030], [0033], [0037], 図 1, 3, 5-6 & DE 102016104158 A1 & CN 105983721 A	1-4, 7 5-6
A	US 2005/0025584 A1 (KOLKER Werner) 2005.02.03, 段落[0026]-[0036], 図 1-8 & EP 1498203 A2 & DE 20310713 U & AT 389485 T & PL 1498203 T	1-7

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	の日の後に公表された文献
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「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矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「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	「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
「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）	「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
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日

10.06.2019

国際調査報告の発送日

18.06.2019

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ISA/J P）
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

津田 健嗣

3C

5269

電話番号 03-3581-1101 内線 3324

C (続き) . 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
A	JP 2007-38344 A (ダイジェット工業株式会社) 2007.02.15, 段落[0015]-[0032], 図 1-3 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2003-323204 A (オークマ株式会社) 2003.11.14, 段落[0006]-[0022], 図 1-7 (ファミリーなし)	1-7