

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2019-214079

(P2019-214079A)

(43) 公開日 令和1年12月19日(2019.12.19)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 2 3 B 51/00 (2006.01)	B 2 3 B 51/00	Z 3 C 0 3 6
B 2 3 B 37/00 (2006.01)	B 2 3 B 37/00	3 C 0 3 7
B 2 3 B 39/10 (2006.01)	B 2 3 B 39/10	

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2018-110851 (P2018-110851)
 (22) 出願日 平成30年6月11日 (2018.6.11)

(71) 出願人 304021417
 国立大学法人東京工業大学
 東京都目黒区大岡山2丁目12番1号
 (74) 代理人 100100011
 弁理士 五十嵐 省三
 (72) 発明者 田中 智久
 東京都目黒区大岡山2丁目12番1号 国立大学法人東京工業大学内
 (72) 発明者 酒井 康德
 東京都目黒区大岡山2丁目12番1号 国立大学法人東京工業大学内
 Fターム(参考) 3C036 AA00 BB00
 3C037 FF00

(54) 【発明の名称】 加工ツール及びこれを用いた穴加工機

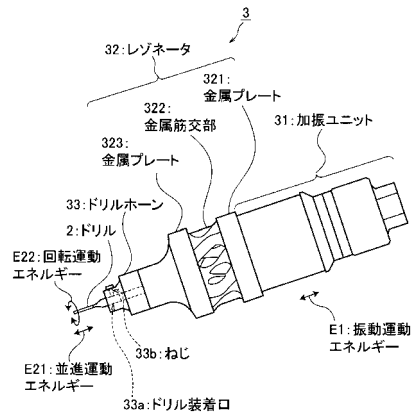
(57) 【要約】

【課題】回転用のモータを用いない加工ツール及びこれを用いた穴加工機を提供する。

【解決手段】加工ツール3は、加振ユニット31、加振ユニット31からの振動運動エネルギーE1を並進運動エネルギーE21及び回転運動エネルギーE22に変換するスクィーズモード動作を行うためのレゾネータ32と、ドリル2を装着するためのドリルホーン33とによって構成される。レゾネータ32は、円板状の金属プレート321、金属筋交部322及び円板状の金属プレート323よりなる。このとき、金属プレート323は、円板状部と、円板状部がドリルホーン33に向かって断面積が段階的又は連続的に減少するホーン部によって構成されている。

【選択図】 図2

図1の加工ツール



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

加振ユニットと、
 前記加振ユニットによって加振される少なくとも 1 つのレゾネータと、
 前記レゾネータに結合され、ドリル装着口を有し、前記レゾネータから前記ドリル装着口に向って断面積が変化する少なくとも 1 つのドリルホーンと
 を具備し、
 前記レゾネータは、
 前記加振ユニットに結合された第 1 の金属プレートと、
 前記第 1 の金属プレートに結合された金属筋交部と、
 前記金属筋交部と前記ドリルホーンとの間に結合された第 2 の金属プレートと
 を具備する加工ツール。

10

【請求項 2】

前記ドリルホーンの断面積の変化は段階的又は連続的である請求項 1 に記載の加工ツール。

【請求項 3】

前記第 1 の金属プレート、前記金属筋交部及び前記第 2 の金属プレートは一体の金属構成体によって構成された請求項 1 に記載の加工ツール。

【請求項 4】

前記第 1 の金属プレートは円板状をなし、
 前記第 2 の金属プレートは、
 前記金属筋交部に結合された円板状部と、
 前記円板状部と前記ドリルホーンとの間に結合され、該円板状部から前記ドリルホーンに向って断面積が変化するホーン部と
 を具備する請求項 1 に記載の加工ツール。

20

【請求項 5】

前記第 1、第 2 の金属プレートは共に円板状をなしている請求項 1 に記載の加工ツール。

【請求項 6】

前記加工ツールの固有振動数は超音波領域の周波数である請求項 1 に記載の加工ツール。

30

【請求項 7】

請求項 1 ~ 6 のいずれかに記載の前記加工ツールと、
 前記加振ユニットに加振信号を発生するための加振信号発生ユニットと、
 前記加工ツールを前記工作物に対して相対的に直進させるための直進送り機構と
 を具備する穴加工機。

【請求項 8】

前記加振信号発生ユニットは、
 正弦波信号を発生するためのファンクションジェネレータと、
 前記正弦波信号を増幅し、該増幅された正弦波信号を前記加振信号とするための増幅器
 と
 を具備する請求項 7 に記載の穴加工機。

40

【請求項 9】

さらに、前記ファンクションジェネレータ、前記増幅器及び前記直進送り機構を制御するための制御ユニットを具備する請求項 7 に記載の穴加工機。

【請求項 10】

前記制御ユニットは前記ファンクションジェネレータを制御して前記正弦波信号の振動数を前記レゾネータの固有振動数とし、
 前記制御ユニットは前記増幅器の増幅率を制御するようにし、
 前記制御ユニットは前記直進送り機構を制御して前記加工ツールが前記工作物に対して

50

所定の速度で直進させるようにした請求項 9 に記載の穴加工機。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は加工ツール及びこれを用いた穴加工機に関する。

【背景技術】

【0002】

図 8 は従来の穴加工機（ボール盤）を示す図である。

【0003】

図 8 の穴加工機においては、工作物 101 を穴加工するためのドリル 102 を装着して穴加工する加工ツール 103 は、モータ 1031 と、モータ 1031 によって回転する主軸（スピンドル）1032 と、主軸 1032 の先端に設けられ、ドリル 102 を装着するためのチャック機構 1033 とによって構成される。また、モータ 1031 は増幅器（AMP）104 の出力によって駆動される。工作物 101 を固定するテーブル 105 はベース 106 上のガイド 107 に固定され、リニアモータ等のリニアアクチュエータ（LA）108 によって駆動され、水平方向に移動する。他方、加工ツール 103 を工作物 101 に対して相対的に前進、後進させるために、加工ツール 103 を固定するテーブル 109 はベース 110 上のガイド 111 に固定され、リニアモータ等のリニアアクチュエータ（LA）112 によって駆動され、上下方向に移動する。ここで、ベース 110、ガイド 111 及びリニアアクチュエータ 112 は直線送り機構（垂直送り機構）を構成する。この場合、加工ツール 103 は矢印 F に示すごとく前進し、矢印 B に示すごとく後進することによって上下移動する。増幅器 104、リニアアクチュエータ 108、112 は制御ユニット 113 によって制御される。

10

20

【0004】

図 8 の従来の穴加工機においては、工作物 101 の穴あけ加工は図 9 に示すごとく行われる。すなわち、図 9 の（A）の穴加工フェーズにおいて、主軸 1032 をたとえば右回転させてドリル 102 を回転させると同時に、リニアアクチュエータ 112 によって主軸 1032 を矢印 F に示すごとく前進させてドリル 102 を相対的に下方向に前進させる。この結果、工作物 101 の穴加工が進む。次に、図 9 の（B）の無視できない程度に長時間の切りくず排出フェーズにおいて、主軸 1032 の上述の右回転を継続させているドリル 102 をアクチュエータ 112 によって相対的に矢印 B に示すごとく上方向に後進させる。この結果、穴加工が停止されて切りくず 101a が排出される。次に、図 9 の（C）の穴加工フェーズにおいて、図 9 の（A）の穴加工フェーズと同様に、ドリル 102 を右回転させると同時に、リニアアクチュエータ 112 によってドリル 102 を相対的に矢印 F に示すごとく下方向に前進させる。この結果、工作物 101 の穴加工が再開する。次に、図 9 の（D）の無視できない程度に長時間の切りくず排出フェーズにおいて、図 9 の（B）の切りくず排出フェーズと同様に、ドリル 102 の矢印に示す右回転を継続させると共に、アクチュエータ 112 によってドリル 102 を相対的に矢印 B に示すごとく上方向へ後進させる。この結果、穴加工が停止されて切りくず 101a が排出される。以後、同様の穴加工フェーズ及び切りくず排出フェーズが繰返されることにより所望の穴加工を実現する。

30

40

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献 1】Y.Jin, J. Plott, et al., "Additive Manufacturing of Custom Orthoses and Processes - A Review", Procedia CIRP, Vol. 36, (2015), pp. 199-204.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

50

しかしながら、図 8 の従来の穴加工機の加工ツール 103 においては、ドリル 102 回転用のモータ 1031 を必要とするので、大型化しかつ製造コストが高いという課題がある。

【0007】

また、穴あけ加工には、後進送りによる加工プロセス全体に対して無視できない程度に長時間の切りくず排出フェーズを必要とするので、加工効率が悪いという課題もある。しかも、切りくず排除効率が悪いので、ドリル寿命の低下やドリル欠損の要因となる。

【0008】

さらに、深穴を加工する場合は、ドリル 102 を長く突き出して回転させる必要があるが、その場合は遠心力によってドリル 102 が振れ回り運動を起こす。また、切りくず 101a が長くなるので、穴内部から排出されにくくなる。この結果、深穴加工が困難であるという課題もある。

10

【0009】

さらにまた、穴加工フェーズ及び切りくず排出フェーズにおいてドリル 102 は一方向へ高速に回転しているので、潤滑剤が加工点へ供給されにくく、従って、発熱、摩耗が大きくなり、この結果、ドリル 102 の寿命が短いという課題もある。

【0010】

さらにまた、主軸 1032 にドリル 1 個しか固定されないので、1 回の穴加工は 1 つの穴しか加工できず、作業効率が悪いという課題もある。

20

【課題を解決するための手段】

【0011】

上述の課題を解決するために、本発明に係る加工ツールは、加振ユニットと、加振ユニットによって加振される少なくとも 1 つのレゾネータと、レゾネータに結合され、レゾネータからドリル装着口に向って断面積が変化する少なくとも 1 つのドリルホーンとを具備し、レゾネータは、加振ユニットに結合された第 1 の金属プレートと、第 1 の金属プレートに結合された金属筋交部と、金属筋交部とドリルホーンとの間に結合された第 2 の金属プレートとを具備するものである。

【0012】

また、本発明に係る穴加工機は、上述の加工ツールと、加振ユニットに加振信号を発生するための加振信号発生ユニットと、加工ツールを工作物に対して相対的に直進させるための直進送り機構とを具備するものである。

30

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、加工ツールは回転用モータが不要となるので、構造が単純となる。従って、穴加工機に用いた場合、穴加工機の製造コストを低く抑えることができ、かつ小型化できる。これにより、穴加工に要するコストを大幅に低減できる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図 1】本発明に係る穴加工機の第 1 の実施の形態を示す図である。

【図 2】図 1 の加工ツールの概略図である。

40

【図 3】図 2 のレゾネータのスウィーズモード動作原理を説明するための図である。

【図 4】図 2 の加工ツールの固有振動数を説明するためのグラフである。

【図 5】図 1 の穴加工機の動作を説明するための図である。

【図 6】従来の穴加工機による加工痕及び図 1 の穴加工機による加工痕を示す写真である。

【図 7】本発明に係る穴加工機の第 2 の実施の形態を示す図である。

【図 8】従来の穴加工機を示す図である。

【図 9】図 8 の穴加工機の動作を説明するための図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

50

図 1 は本発明に係る穴加工機の第 1 の実施の形態を示す図である。

【 0 0 1 6 】

図 1 において、工作物 1 の穴加工をするためにドリル 2 を装着して穴加工する加工ツール 3 は、加振ユニット 3 1、レゾネータ 3 2 及びドリルホーン 3 3 によって構成される。

【 0 0 1 7 】

加振ユニット 3 1 は超音波振動子、動電型加振器、圧電アクチュエータ等によって構成され、ファンクションジェネレータ 4 1 及び増幅器 (AMP) 4 2 よりなる加振信号発生ユニット 4 によって発生される加振信号 $A \sin t$ を入力することで所望の角振動数、振動振幅 A で加振される。この場合、ファンクションジェネレータ 4 1 は与えられた角振動数 ω に応じて正弦波信号 $\sin \omega t$ を発生し、増幅器 4 2 は与えられた振動振幅 A に応じて正弦波信号 $\sin \omega t$ を増幅した加振信号 $A \sin \omega t$ を発生する。

10

【 0 0 1 8 】

レゾネータ 3 2 及びドリルホーン 3 3 については後述する。

【 0 0 1 9 】

工作物 1 を固定するテーブル 5 はベース 6 上のガイド 7 に固定され、リニアモータ等のリニアアクチュエータ (LA) 8 によって駆動され、水平方向に移動する。他方、加工ツール 3 を工作物 1 に対して相対的に前進、後進させるために、加工ツール 3 を固定するテーブル 9 はベース 1 0 上のガイド 1 1 に固定され、リニアモータ等のリニアアクチュエータ (LA) 1 1 によって駆動され、上下方向に移動する。ここで、ベース 1 0、ガイド 1 1 及びリニアアクチュエータ 1 2 は直線送り機構 (垂直送り機構) を構成する。たとえば、リニアアクチュエータ 1 1 によって加工ツール 3 は矢印 F に示すごとくゆっくりと前進することができる。

20

【 0 0 2 0 】

工作物 1 を固定したテーブル 5、ベース 6 及びガイド 7 で構成される水平送り機構によって工作物 1 を加工ツール 3 に対して相対的に水平運動させることで、所望の間隔で複数の穴を加工できる。

【 0 0 2 1 】

加振信号発生ユニットのファンクションジェネレータ 4 1、増幅器 4 2 及びリニアアクチュエータ 8、1 2 はマイクロコンピュータ等によって構成される制御ユニット 1 3 によって制御される。

30

【 0 0 2 2 】

図 1 の加工ツール 3 の詳細を図 2 を参照して説明する。

【 0 0 2 3 】

図 2 において、レゾネータ 3 2 は、加振ユニット 3 1 の振動運動エネルギー E 1 を並進運動エネルギー E 2 1 及び回転運動エネルギー E 2 2 に変換する動作 (スクイーズモード動作) を行う。ドリルホーン 3 3 はレゾネータ 3 2 とドリル 2 との間に結合され、レゾネータ 3 2 からドリル 2 に向かってドリルホーン 3 3 の断面積が段階的または連続的に変化する。この結果、レゾネータ 3 2 の並進運動エネルギー E 2 1 及び回転運動エネルギー E 2 2 がドリル 2 に収束する。ここで、レゾネータ 3 2 はたとえば鋼等の金属材料よりなり、さらに、ドリルホーン 3 3 はたとえばアルミニウム等の金属材料よりなる。

40

【 0 0 2 4 】

ドリルホーン 3 3 の形状を段階的又は連続的に変化させることにより、所望の後述の並進方向の振動振幅及び回転方向の振動角度振幅をドリル 2 の先端に付与することが可能となる。

【 0 0 2 5 】

さらに、レゾネータ 3 2 は、円板状の金属プレート 3 2 1、金属筋交部 3 2 2 及び円板状の金属プレート 3 2 3 よりなる。このとき、金属プレート 3 2 3 は、円板状部と、円板状部がドリルホーン 3 3 に向かって段階的または連続的に断面積が変化するホーン部によって構成されているが、ホーン部を省略して円板状部とドリルホーン 3 3 とを直接結合してもよい。ドリルホーン 3 3 の先端のドリル装着口 3 3 a にドリル 2 が装着され、ドリル 2

50

はねじ 3 3 b や接着剤等によってドリルホーン 3 3 に固定される。

【 0 0 2 6 】

レゾネータ 3 2 は一体的に構成された金属構造体である。複雑な幾何学形状を有する金属構造体は 3 D C A D データから直接立体を造形可能な金属積層造形 A M (Additive Manufacturing) 法によって容易に製造できる (参照 : 非特許文献 1) 。

【 0 0 2 7 】

図 2 のレゾネータ 3 2 のスキーズモード動作原理を図 3 の (A)、(B) を参照して説明する。尚、図 3 の (A)、(B) においては、便宜上、金属プレート 3 2 3 は円板状としてある。スキーズモード動作自体はレゾネータ 3 2 の弾性的な固有振動によってもたらされるものであるため、荷重の有無によらず生じる。ここでは、加工中、金属プレート 3 2 3 上にはドリルホーン 3 3 及びドリル 2 によってある荷重が印加されている、たとえば、金属プレート 3 2 3 上のドリル 2 が工作物 1 に接触しているものとする。

10

【 0 0 2 8 】

図 3 の (A) に示すごとく、加振ユニット 3 1 からの振動エネルギー E_1 が金属プレート 3 2 1 の垂直方向へ伝達されると、図 3 の (B) に示すごとく、金属プレート 3 2 3 に並進変位が生じ、金属プレート 3 2 3 の並進運動エネルギー E_{21} と金属筋交部 3 2 2 の回転運動エネルギー E_{22} とに変換される。この並進運動エネルギー E_{21} 及び回転運動エネルギー E_{22} はドリル 2 に伝達されてドリル 2 がスキーズモード動作、つまり並進方向振動と回転方向角度振幅が微小なドリル中心軸周りの回転角度振動とを起すことになる。

20

【 0 0 2 9 】

スキーズモード動作は、レゾネータ 3 2 の固有振動として生じる。そのため、所望の固有振動数でスキーズモード動作が得られるようにレゾネータ 3 2 の金属筋交部 3 2 2 の形状を設計する。また、金属筋交部 3 2 2 の形状を変更することで、所望の並進方向の振動振幅及び回転方向の振動角度振幅を得ることができる。たとえば、ドリル 2 の並進方向の振動振幅は数 μm ~ 数十 μm 程度であり、周方向変位は数 μm 程度 (回転方向の振動角度振幅は数秒 ~ 数十秒程度) である。

【 0 0 3 0 】

穴加工を行うために、図 3 に示すスキーズモード動作をする固有振動数で加工ツール 3 を加振する。加工ツール 3 の固有振動数は、加振ユニット 3 1、レゾネータ 3 2、ドリルホーン 3 3 及びドリル 2 の振動特性によって決定される。このとき、有限要素解析を用いることで、加工ツール 3 がスキーズモード動作をする固有振動数を事前に予測することができる。

30

【 0 0 3 1 】

たとえば、金属プレート 3 2 1、金属筋交部 3 2 2、金属プレート 3 2 3 の材料は鋼とし、この場合のヤング率 $E = 207 \text{ GPa}$ 、損失係数 $= 0.0005$ とし、また、金属プレート 3 2 1、金属プレート 3 2 3 の厚さを所定値、金属筋交部 3 2 2 の筋交本数を所定値とした場合の金属筋交部 3 2 2 の筋交の傾斜角 θ と固有振動数 f との関係を図 4 に示す。図 4 によれば、筋交の傾斜角 θ が大きくなる程、固有振動数 f は小さくなること分かる。

40

【 0 0 3 2 】

特に、上記固有振動数 f を超音波領域 ($20 \text{ kHz} \sim 40 \text{ kHz}$) の周波数に合致させると、ブラハ (Blaha) 効果により工作物 1 の塑性流動性が向上し、切削抵抗が低下して加工力を低下できる。加えて、超音波による接触界面の摩擦低減も発生する。従って、ドリル 2 の寿命を長くできる。さらに、ドリル 2 の先端が高速で往復並進運動をするので、ドリル冷却剤、潤滑剤の効果的な供給により、また、MQL (Minimum Quantity Lubrication、潤滑剤噴霧) との組合せによる相乗的效果によりドリル 2 の寿命をさらに長くできる。

【 0 0 3 3 】

図 1 の穴加工機の動作に当り、制御ユニット 1 3 はファンクションジェネレータ 4 1 の

50

正弦波出力の周波数を加工ツール3の固有振動数とおおむね一致させ、また、増幅器42の増幅率Aを最適値とし、さらに、リニアアクチュエータ12による工作物1の送り速度を最適値とする。

【0034】

図1の穴加工機の動作を図5を参照して説明する。尚、ここでは加工ツール3の固有振動数は20kHz（固有振動周期0.05μs）とする。

【0035】

まず、加工ツール3は、図5の(A)に示すごとく、半周期(0.025μs)の間欠の穴加工フェーズとなり、ドリル2が第1の回転方向たとえば右回転しながら工作物1に対して押し付ける方向へ前進する。尚、この場合、ドリル2の送り速度は相対的に小さいので無視できる。

10

【0036】

次に、図5の(B)に示すごとく、半周期(0.025μs)の間欠の切りくず排出フェーズとなり、ドリル2が第2の回転方向たとえば左回転しながら工作物1から離れる方向へ後進する。このとき、工作物1とドリル2との間に微小の隙間Gが発生する。尚、この場合も、ドリル2の送り速度は相対的に小さいので無視できる。

【0037】

レゾネータ32のスキーズモード動作によって生じる加工ツール3が有する固有の弾性振動を利用しているので、穴加工フェーズと切りくず排出フェーズとが加工ツールの固有振動周期(0.05μs)で繰り返す。このとき、並進方向の振動振幅及び回転方向の振動角度振幅は2フェーズ間でそれぞれおおむね同一である。

20

【0038】

このように、一連の動作を非常に短時間(0.05μs)で繰り返すので、図5の(C)に示すごとく、穴加工フェーズと切りくず1aを排出する切りくず排出フェーズとが実質的に同時に行われていると等価であると言え、このとき、リニアアクチュエータ12によってドリルの振動速度よりも低速でドリル2の前進が行われる。従って、従来の直進送り機構による後進による加工効率を低下させるほど長時間の切りくず排出フェーズは存在しないので、加工効率を向上できると共に、切りくず排除効率も向上でき、深穴加工も可能となる。また、ドリル2の回転方向は穴加工フェーズと切りくず排出フェーズとが交互に短時間(0.025μs)で切り替わり、回転方向の振動角度振幅も微小なので、潤滑剤が加工点へ供給され易くなり、従って、発熱、摩擦が小さくなり、この結果、ドリル2の寿命を長くできる。

30

【0039】

また、制御ユニット13は増幅器42の増幅率Aを調整してドリル2の振動振幅を延性モードによる穴加工が実現できる程度に小さい値となるようにする。これにより、ガラス等の高脆材料の工作物1に対して延性モードによる高精度、高効率の高アスペクト比の穴加工ができる。

【0040】

図6は従来の穴加工機による加工痕及び図1の穴加工機による加工痕を示す写真である。尚、図6は、ポリスチレンブロックの工作物を直径1mmの汎用ドリルで加工した場合を示す。

40

【0041】

従来の穴加工機(ボール盤)によれば、ドリル回転数1000rpmとした場合、図6の(A)に示すごとく、穴内部に切りくずがむしれた形状で溜まると共に、穴縁にむしれた痕が発生していた。つまり、きれいな穴が加工できていなかった。これに対し、本発明の第1の実施の形態によれば、図6の(B)に示すごとく、切りくずがリンゴの皮むきのように生成されて穴内部に溜まらず、また、穴の側面及び縁形状が良好であった。

【0042】

図7は本発明に係る穴加工機の第2の実施の形態を示す図である。

【0043】

50

図7の穴加工機においては、図1の加工ツール3の代りに加工ツール3'を設ける。加工ツール3'においては、1つの加振ユニット31、レゾネータ32-1、32-2、...、32-5、ドリルホーン33-1、33-2、...、33-5、ドリル2-1、2-2、...、2-5を設ける。従って、1つの加振ユニット31によってドリル2-1、2-2、...、2-5を同時に振動できる。この結果、工作物1に対して5個の穴加工を同時に行えるので、加工能率を著しく向上できる。尚、図7の加工ツール3'におけるレゾネータ、ドリルホーン及びドリルの数は5に限らず、任意の数に設定できる。

【0044】

また、図7の穴加工機においては、深さ及び直径が異なる複数の穴も同時に加工することも可能である。この場合、各ドリル2-1、2-2、...、2-5の直径や突き出し量を変更すればよい。このとき、加振ユニット31で入力される振動数において各ドリル2-1、2-2、...、2-5にスクィーズモード動作が生じるように、レゾネータ32-1、32-2、...、32-5の金属筋交部の設計をそれぞれ行うこともできる。

10

【0045】

尚、本発明は上述の実施の形態の自明の範囲でいかなる変更にも適用できる。

【符号の説明】

【0046】

- 1：工作物
- 1a：切りくず
- 2、2-1、2-2、...、2-5：ドリル
- 3、3'：加工ツール
- 31：加振ユニット
- 32、32-1、32-2、...、32-5：レゾネータ
- 33、33-1、33-2、...、33-5：ドリルホーン
- 33a：ドリル装着口
- 33b：ねじ
- 4：加振信号発生ユニット
- 41：ファンクションジェネレータ
- 42：増幅器（AMP）
- 5：テーブル
- 6：ベース
- 7：ガイド
- 8：リニアアクチュエータ（LA）
- 9：テーブル
- 10：ベース
- 11：ガイド
- 12：リニアアクチュエータ（LA）
- 13：制御ユニット
- 101：工作物
- 101a：切りくず
- 102：ドリル
- 103：加工ツール
- 1031：モータ
- 1032：主軸
- 1033：チャック機構
- 104：増幅器（AMP）
- 105：テーブル
- 106：ベース
- 107：ガイド
- 108：リニアアクチュエータ（LA）

20

30

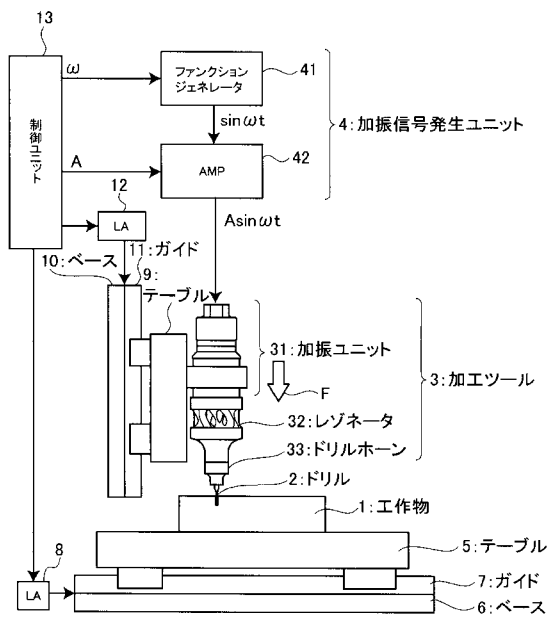
40

50

- 109 : テーブル
- 110 : ベース
- 111 : ガイド
- 112 : リニアアクチュエータ (L A)
- 113 : 制御ユニット

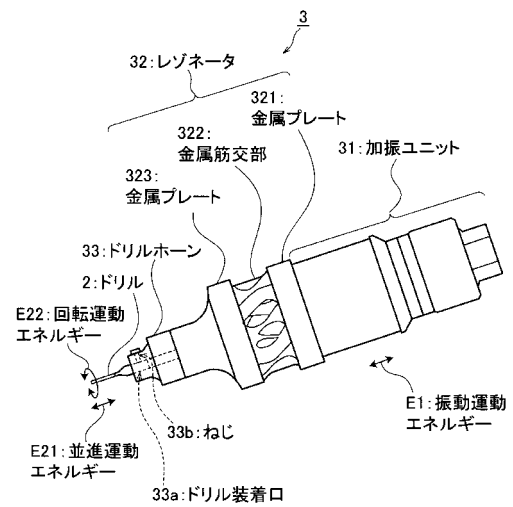
【 図 1 】

第1の実施の形態



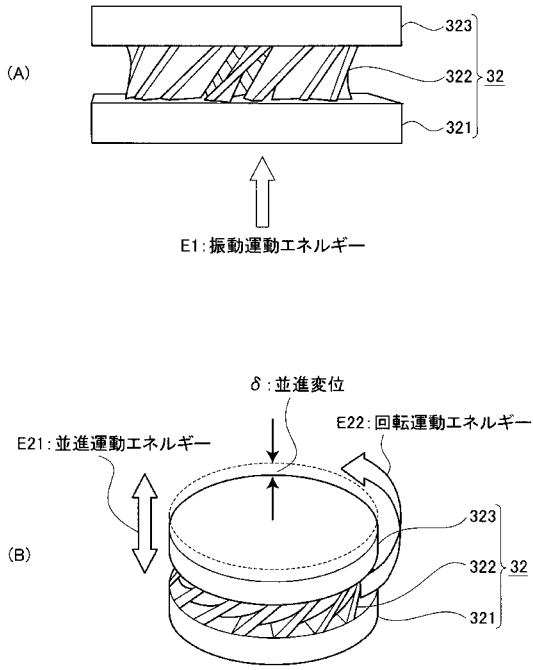
【 図 2 】

図1の加工ツール



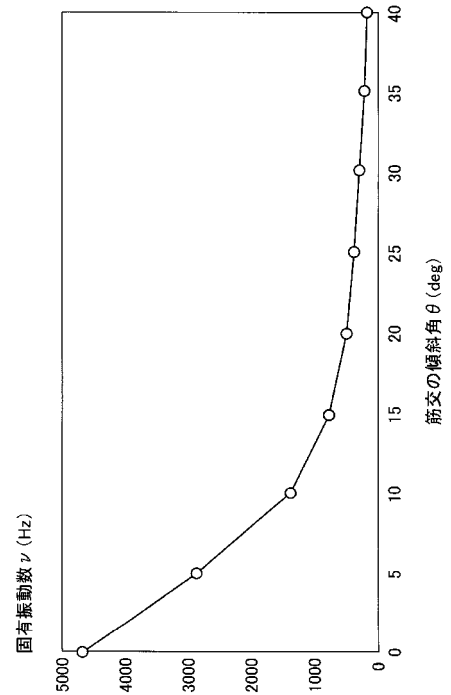
【 図 3 】

図2のレゾネータのスクイーズモード動作原理



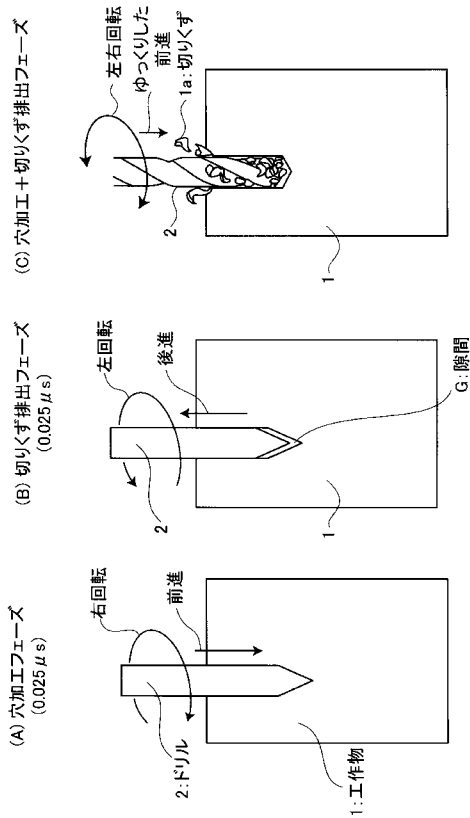
【 図 4 】

図2の加工ツールの固有振動数

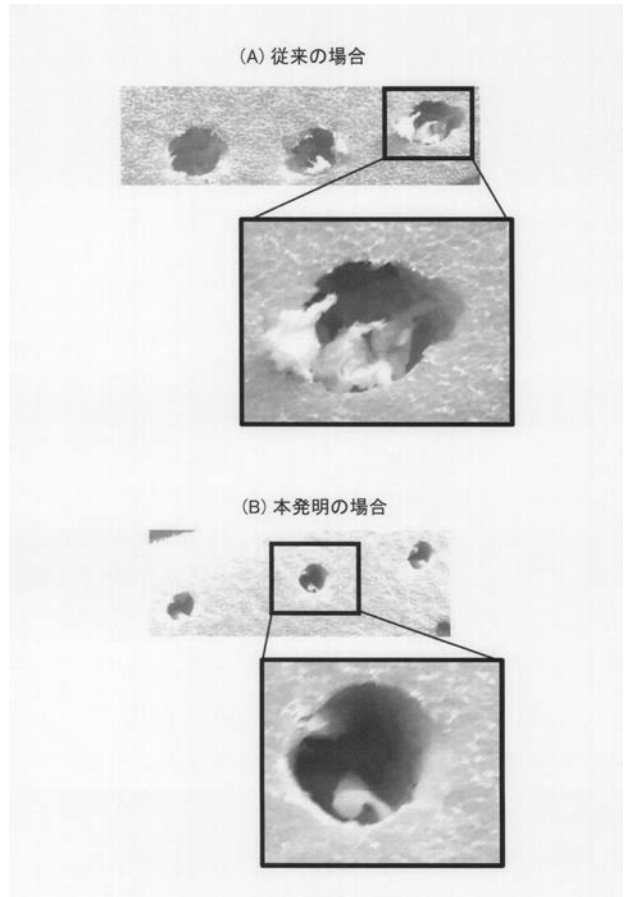


【 図 5 】

図1の穴加工機の動作

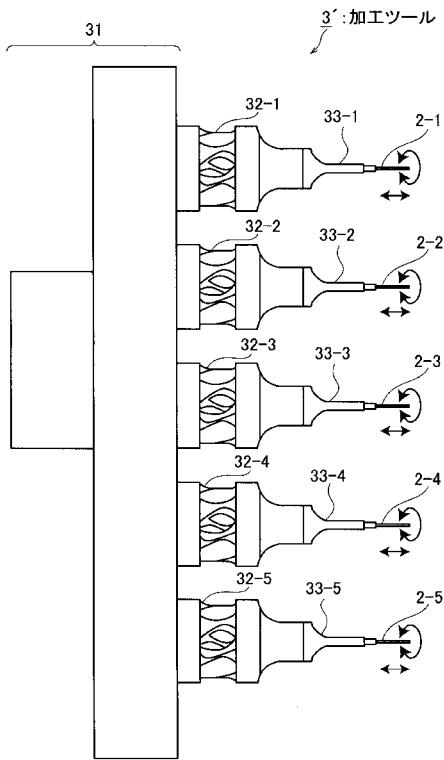


【 図 6 】



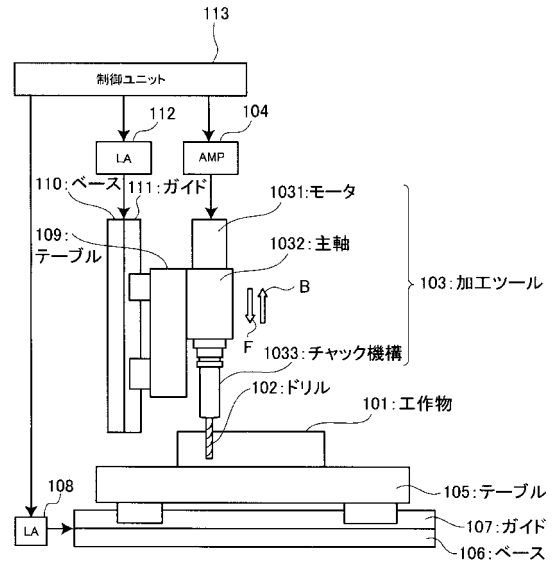
【 図 7 】

第2の実施の形態



【 図 8 】

従来の穴加工機



【 図 9 】

図8の穴加工機の動作

