

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6929626号
(P6929626)

(45) 発行日 令和3年9月1日(2021.9.1)

(24) 登録日 令和3年8月13日(2021.8.13)

(51) Int. Cl.	F 1		
B 2 3 C 3/00	(2006.01)	B 2 3 C	3/00
B 2 3 C 5/10	(2006.01)	B 2 3 C	5/10 Z
B 2 3 Q 15/00	(2006.01)	B 2 3 Q	15/00 C
G 0 5 B 19/416	(2006.01)	G 0 5 B	19/416 E

請求項の数 7 (全 14 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2016-171978 (P2016-171978)</p> <p>(22) 出願日 平成28年9月2日(2016.9.2)</p> <p>(65) 公開番号 特開2018-34287 (P2018-34287A)</p> <p>(43) 公開日 平成30年3月8日(2018.3.8)</p> <p>審査請求日 令和1年5月23日(2019.5.23)</p> <p>前置審査</p>	<p>(73) 特許権者 000006208 三菱重工業株式会社 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号</p> <p>(74) 代理人 110002147 特許業務法人酒井国際特許事務所</p> <p>(72) 発明者 江藤 潤 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内</p> <p>審査官 村上 哲</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】耐熱合金の切削加工条件設定方法及び耐熱合金の切削加工方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

主軸に装着される切削工具を用いて耐熱合金を切削するときの切削加工条件を設定する耐熱合金の切削加工条件設定方法において、

前記切削工具は、前記主軸に装着される軸方向に長いシャフトと、前記シャフトの外周に設けられる複数枚の刃と、を有する前記耐熱合金を切削するためのエンドミルであり、

前記切削加工条件は、前記切削工具の径方向における径方向切込み量を含み、

複数枚の前記刃のうち、1枚の前記刃が常に前記耐熱合金に接する前記径方向切込み量を、最小径方向切込み量とし、

複数枚の前記刃のうち、3枚以上の前記刃が前記耐熱合金に接しない前記径方向切込み量を、最大径方向切込み量とすると、

前記切削工具の前記径方向切込み量は、前記最小径方向切込み量よりも大きく、前記最大径方向切込み量よりも小さくなるように設定され、

前記主軸からの前記切削工具の突出し長さをLとし、前記切削工具の工具径をDとし、前記切削工具の刃数をNとすると、

前記切削加工条件は、 L/D が、3.5以上となる条件と、 $(L/D) \times N$ が、40以上120以下となる条件と、を含むことを特徴とする耐熱合金の切削加工条件設定方法。

【請求項2】

前記切削加工条件は、前記切削工具が、前記径方向切込み量を一定にして、前記耐熱合金を切削する条件を含むことを特徴とする請求項1に記載の耐熱合金の切削加工条件設定

10

20

方法。

【請求項 3】

前記切削工具の固有振動数を含むパラメータに基づいて、所定の算出式から、前記主軸の安定回転数を算出し、

算出した前記安定回転数を含むパラメータに基づいて、所定の算出式から、前記切削工具の切削速度を算出し、

算出した前記切削速度を $V_{cn} [m/min]$ とすると、

前記切削加工条件は、 $100 [m/min] < V_{cn} [m/min] < 300 [m/min]$ を満たす前記切削工具が選定される条件を含むことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の耐熱合金の切削加工条件設定方法。

10

【請求項 4】

前記安定回転数は、複数算出され、

複数の前記安定回転数に応じて、複数の前記切削速度が算出され、

複数の前記切削速度のうち、 $100 [m/min] < V_{cn} [m/min] < 300 [m/min]$ を満たす最も速い前記切削速度が選定され、

前記切削加工条件は、選定された前記切削速度に対応する前記安定回転数を、前記主軸の主軸回転数として設定する条件を含むことを特徴とする請求項 3 に記載の耐熱合金の切削加工条件設定方法。

【請求項 5】

前記切削加工条件は、前記切削工具の一刀あたりの送り量を含み、

前記切削工具の一刀あたりの送り量は、切り取り厚さと切削幅とを乗算した一刀あたりの切削断面積、及び前記切削工具の軸方向に対する倒れ量に基づいて設定されることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の耐熱合金の切削加工条件設定方法。

20

【請求項 6】

前記切り取り厚さ及び前記倒れ量の少なくとも一方が、予め設定されたしきい値以上となる場合、前記切削工具の一刀あたりの前記送り量は、前回設定された前記送り量に比して小さくなるように再設定されることを特徴とする請求項 5 に記載の耐熱合金の切削加工条件設定方法。

【請求項 7】

請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の耐熱合金の切削加工条件設定方法により設定された前記切削加工条件に基づいて、前記切削工具を用いて前記耐熱合金を切削することを特徴とする耐熱合金の切削加工方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、切削工具を用いて耐熱合金を切削するときの切削加工条件を設定する耐熱合金の切削加工条件設定方法及び耐熱合金の切削加工方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、切削時の発熱を放熱及び冷却すべく、円筒形の外周部に設けられる複数の直ぐ刃またはねじれ刃と、それぞれの刃に設けられる筋溝と、空気または冷却液を刃面に流通させる貫通孔と、を備え、カッターの刃数とカッターの直径との比を少なくとも $0.75 : 1$ とするカッターが知られている（例えば、特許文献 1 参照）。このカッターは、刃の切削速度を少なくとも毎秒 400 刃としている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】米国特許出願公開第 2004 / 0258496 号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

50

【0004】

ところで、切削加工の加工対象としては、例えば、チタン合金等の耐熱合金がある。チタン合金は、熱伝導率が低いことから、切削加工により発生する切削熱を蓄え易い。また、チタン合金は、ヤング率が高いため切削抵抗が大きいことから、切削熱が発生し易い。このため、チタン合金を切削する場合、通常、切削加工の加工速度を低速とすることで、切削熱の発生を抑制している。この場合、加工速度の低速化に伴って加工能率が低下するが、加工能率の低下を抑制すべく、1刃あたりの切削量を増やしている。

【0005】

加工速度が低速で1刃あたりの切削量が多い切削加工に用いられる切削工具、及び切削工具が装着される加工装置は大型のものとなる。このため、加工対象が小さい部品に対しては、切削加工を行うことが困難となり、大きな部品が切削加工の加工対象となることから、汎用性が低いものになってしまう。このため、加工対象に応じて切削工具も多様なものが必要となり、また、大きな部品の固定も行う必要があることから、装置も大型化する。

10

【0006】

そこで、本発明は、耐熱合金に対する切削加工の加工能率の低下を抑制しつつ、汎用性の高い耐熱合金の切削加工条件設定方法及び耐熱合金の切削加工方法を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の耐熱合金の切削加工条件設定方法は、主軸に装着される切削工具を用いて耐熱合金を切削するときの切削加工条件を設定する耐熱合金の切削加工条件設定方法において、前記切削工具は、前記主軸に装着される軸方向に長いシャフトと、前記シャフトの外周に設けられる複数枚の刃と、を有し、前記切削加工条件は、前記切削工具の径方向における径方向切込み量を含み、複数枚の前記刃のうち、1枚の前記刃が常に前記耐熱合金に接する前記径方向切込み量を、最小径方向切込み量とし、複数枚の前記刃のうち、3枚以上の前記刃が前記耐熱合金に接しない前記径方向切込み量を、最大径方向切込み量とすると、前記切削工具の前記径方向切込み量は、前記最小径方向切込み量よりも大きく、前記最大径方向切込み量よりも小さくなるように設定されることを特徴とする。

20

【0008】

この構成によれば、切削工具の複数枚の刃のうち、少なくとも1枚の刃を耐熱合金に常に当てた状態で、切削工具による耐熱合金の切削加工を行うことができる。このため、切削工具の刃が耐熱合金から離れることにより発生する切削工具の振動を抑制することができる。また、切削工具の複数枚の刃のうち、3枚以上の刃が耐熱合金に接しない状態で、切削工具による耐熱合金の切削加工を行うことができる。このため、切削工具の刃が耐熱合金に3枚以上接触することにより発生する切削工具のびびり振動を抑制することができる。以上から、切削工具の振動を抑制することにより、切削工具による切削量を多くすることができるため、耐熱合金に対する切削加工の加工能率の低下を抑制することができる。また、切削工具による切削量を多くできることから、小型の切削工具でも、加工能率を低下させることなく、十分に切削加工を行うことができるため、小さな部品に対しても加工を行うことが可能となり、汎用性を高いものとすることができる。さらに、切削工具の振動が抑制されることで、切削工具の刃の摩耗を抑制でき、切削工具の寿命を長いものとすることができる。そして、小型の切削工具による径方向切込み量は、小さいものとなることから、1刃あたりの切削熱の発生を抑制できるため、刃数を多くして、一回転における切込み数を多くすると共に、切削工具の回転数を上げることで、切削加工の加工能率を向上させることができる。

30

40

【0009】

また、前記切削加工条件は、前記切削工具が、前記径方向切込み量を一定にして、前記耐熱合金を切削する条件を含むが好ましい。

【0010】

50

この構成によれば、切削工具による径方向切込み量を一定にすることで、安定した切削加工を行うことができる。

【 0 0 1 1 】

また、前記主軸からの前記切削工具の突出し長さを L とし、前記切削工具の工具径を D とすると、前記切削加工条件は、 L/D が、 3.5 以上となる条件を含むことが好ましい。

【 0 0 1 2 】

この構成によれば、切削工具の突出し長さを長いものとするため、主軸に固定された切削工具の剛性を低くできることから、切削工具の固有振動数を低いものとすることができる。このとき、切削工具の固有振動数が、使用可能な主軸の回転数に近づくと、切削工具の切削量が増大することから、切削加工の加工能率をさらに向上させることができる。なお、 L/D は、 3.5 以上あればよく、より好ましい L/D は、 4.5 以上であり、最適の L/D は、 5 である。また、切削工具の刃数を N とすると、 L/D と N からなる切削加工条件である $(L/D) \times N$ は、 L/D が $3.5 \sim 5$ の場合、 40 以上 120 以下が好ましく、 L/D が 5 より大きい場合、 90 以上であることが好ましい。また、工具径 D は、例えば、 20 mm であり、突出し長さ L は、例えば、 70 mm である。

【 0 0 1 3 】

また、前記切削工具の固有振動数を含むパラメータに基づいて、所定の算出式から、前記主軸の安定回転数を算出し、算出した前記安定回転数を含むパラメータに基づいて、所定の算出式から、前記切削工具の切削速度を算出し、算出した前記切削速度を $V_{cn} [\text{m}/\text{min}]$ とすると、前記切削加工条件は、 $100 [\text{m}/\text{min}] < V_{cn} [\text{m}/\text{min}] < 300 [\text{m}/\text{min}]$ を満たす前記切削工具が選定される条件を含むことが好ましい。

【 0 0 1 4 】

この構成によれば、主軸を安定回転数で回転させつつ、適切な切削速度で、切削工具により耐熱合金を切削加工することができる。

【 0 0 1 5 】

また、前記安定回転数は、複数算出され、複数の前記安定回転数に応じて、複数の前記切削速度が算出され、複数の前記切削速度のうち、 $100 [\text{m}/\text{min}] < V_{cn} < 300 [\text{m}/\text{min}]$ を満たす最も速い前記切削速度が選定され、前記切削加工条件は、選定された前記切削速度に対応する前記安定回転数を、前記主軸の主軸回転数として設定する条件を含むことが好ましい。

【 0 0 1 6 】

この構成によれば、主軸を安定回転数で回転させつつ、より速い切削速度で、切削工具により耐熱合金を切削加工することができることから、切削加工の加工能率の向上を図ることができる。

【 0 0 1 7 】

また、前記切削加工条件は、前記切削工具の一刀あたりの送り量を含み、前記切削工具の一刀あたりの送り量は、切り取り厚さと切削幅とを乗算した一刀あたりの切削断面積、及び前記切削工具の軸方向に対する倒れ量に基づいて設定されることが好ましい。

【 0 0 1 8 】

この構成によれば、切削工具の一刀あたりの送り量を適切なものとするため、切削加工を適切に行うことができる。

【 0 0 1 9 】

また、前記切り取り厚さ及び前記倒れ量の少なくとも一方が、予め設定されたしきい値以上となる場合、前記切削工具の一刀あたりの前記送り量は、前回設定された前記送り量に比して小さくなるように再設定されることが好ましい。

【 0 0 2 0 】

この構成によれば、切削工具の一刀あたりの送り量が適切でない場合、送り量を再設定することで、適切な送り量を設定することができる。

10

20

30

40

50

【0021】

本発明の他の耐熱合金の切削加工条件設定方法は、主軸に装着される切削工具を用いて耐熱合金を切削するときの切削加工条件を設定する耐熱合金の切削加工条件設定方法において、前記主軸からの前記切削工具の突出し長さを L とし、前記切削工具の工具径を D とすると、前記切削加工条件は、 L/D が、 3.5 以上となる条件を含むことを特徴とする。

【0022】

この構成によれば、切削工具の突出し長さを長いものとすることができるため、主軸に固定された切削工具の剛性を低くできることから、切削工具の固有振動数を低いものとするることができる。このとき、切削工具の固有振動数が、主軸の回転数に近づくと、切削工具の切削量が増大することから、切削加工の加工能率を向上させることができる。

10

【0023】

本発明の耐熱合金の切削加工方法は、上記の耐熱合金の切削加工条件設定方法により設定された前記切削加工条件に基づいて、前記切削工具を用いて前記耐熱合金を切削することを特徴とする。

【0024】

この構成によれば、小型の切削工具でも、切削加工の加工能率を低下させることなく、十分に耐熱合金を切削加工を行うことができるため、小さな部品に対しても加工を行うことができる。このため、耐熱合金に対する切削加工の加工能率の低下を抑制しつつ、汎用性を高いものとすることができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】図1は、本実施形態に係る切削工具に関する模式図である。

【図2】図2は、本実施形態に係る切削加工条件設定方法に関するフローチャートである。

【図3】図3は、切削工具の径方向切込み量に関する説明図である。

【図4】図4は、切削工具の一刀あたりの送り量に関する説明図である。

【図5】図5は、主軸回転数に応じて変化する軸方向切込み量に関する一例のグラフである。

【図6】図6は、主軸回転数に応じて変化する軸方向切込み量に関する一例のグラフである。

30

【図7】図7は、軸方向切込み量に応じた加工時間及び加工能率に関する一例のグラフである。

【図8】図8は、軸方向切込み量に応じた除去体積に関する一例のグラフである。

【図9】図9は、除去体積に応じて変化する摩耗幅に関する一例のグラフである。

【図10】図10は、加工時間に応じて変化する摩耗幅に関する一例のグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0026】

以下に、本発明に係る実施形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施形態によりこの発明が限定されるものではない。また、下記実施形態における構成要素には、当業者が置換可能かつ容易なもの、あるいは実質的に同一のものが含まれる。さらに、以下に記載した構成要素は適宜組み合わせることが可能であり、また、実施形態が複数ある場合には、各実施形態を組み合わせることも可能である。

40

【0027】

[実施形態]

図1は、本実施形態に係る切削工具に関する模式図である。図2は、本実施形態に係る切削加工条件設定方法に関するフローチャートである。図3は、切削工具の径方向切込み量に関する説明図である。図4は、切削工具の一刀あたりの送り量に関する説明図である。図5は、主軸回転数に応じて変化する軸方向切込み量に関する一例のグラフである。図6は、主軸回転数に応じて変化する軸方向切込み量に関する一例のグラフである。

50

【 0 0 2 8 】

本実施形態の切削加工条件設定方法及び切削加工方法は、切削加工の加工対象が耐熱合金となっており、耐熱合金としては、例えば、チタン合金、ニッケル基合金等が適用されている。耐熱合金は、熱伝導率が低く、ヤング率が高いことから、本実施形態の切削加工条件設定方法及び切削加工方法では、切削加工による切削熱の発生を抑制しつつ、切削量（耐熱合金の除去体積）が多くなる切削加工条件としている。先ず、切削加工条件設定方法及び切削加工方法の説明に先立ち、切削工具 1 0 について説明する。

【 0 0 2 9 】

切削工具 1 0 は、主軸 5 に装着される軸方向に長いシャフト 1 4 と、シャフト 1 4 の外周に設けられる複数枚の刃 1 5 とを有する、いわゆるエンドミルである。本実施形態に用いられる切削工具 1 0 は、一刃あたりの切削熱の発生を抑制すべく、一刃あたりの切削量を小さいものとしつつ、切削工具 1 0 の一回転あたり切削量を多くするために、刃数の多いものが用いられている。具体的に、後述する切削加工試験において、切削工具 1 0 は、例えば、シャフト 1 4 の外周に、1 5 枚の刃 1 5 を設けたものが用いられている。また、切削工具 1 0 は、その外径 D が、例えば、2 0 mm 程度となっている。

【 0 0 3 0 】

この切削工具 1 0 は、その基端部が主軸 5 に固定され、その先端部が主軸 5 から突出して装着される。主軸 5 は、切削加工時において、装着された切削工具 1 0 を所定の回転数（主軸回転数）で回転させている。切削工具 1 0 は、主軸 5 から先端までの長さが突出し長さ L となっている。このとき、主軸 5 の主軸回転数に、主軸 5 に装着された切削工具 1 0 の固有振動数を近づけるべく、切削工具 1 0 の剛性が低くなるように、切削工具 1 0 の突出し長さ L を長くしている。具体的に、外径 D に対する切削工具 1 0 の軸方向における突出し長さ L は、 L / D が 3 . 5 以上となるように設定されており、この L / D が、切削加工条件の一つとなっている。なお、 L / D は、3 . 5 以上であればよいことから、4 . 5 以上としてもよく、最適な L / D は、5 となっている。また、切削工具の刃数を N とすると、 L / D と N とからなる切削加工条件である $(L / D) \times N$ は、 L / D が 3 . 5 ~ 5 の場合、4 0 以上 1 2 0 以下が好ましく、 L / D が 5 より大きい場合、9 0 以上であることが好ましい。

【 0 0 3 1 】

次に、図 2 を参照して、本実施形態の耐熱合金の切削加工条件設定方法について説明する。切削加工条件設定方法は、切削加工条件として、具体的に、使用する切削工具 1 0 、主軸 5 の主軸回転数、切削工具 1 0 の軸方向切込み量、切削工具 1 0 の径方向切込み量、切削工具 1 0 の一刃あたりの送り量を設定している。

【 0 0 3 2 】

切削加工条件設定方法では、先ず、使用する切削工具 1 0 を選定する（ステップ S 1 0 ）。選定される切削工具 1 0 は、上記の L / D 、および刃数 N を満たすものとする。次に、選定した切削工具 1 0 を主軸 5 に装着し、主軸 5 に装着された切削工具 1 0 に対してタッピング等を行うことにより、切削工具 1 0 の固有振動数 f を測定する（ステップ S 1 2 ）。続いて、測定した切削工具 1 0 の固有振動数 f を含むパラメータに基づいて、下記する所定の算出式である（1）式から、主軸 5 の安定回転数 $S n$ を算出する（ステップ S 1 4 ）。

【 0 0 3 3 】

$$S n = f \times 6 0 \div (N \times n) \quad \dots (1)$$

$S n$: 安定回転数 [min^{-1}] (n : 1 , 2 , 3)

f : 切削工具の固有振動数 [Hz]

N : 刃数

n : 1 , 2 , 3 の自然数

【 0 0 3 4 】

なお、上記の（1）式は、1 ~ 3 の自然数となる n ごとに、安定回転数 $S n$ が算出されることから、本実施形態では、3 つの安定回転数 $S n$ が算出される。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 5 】

この後、算出された安定回転数 S_n を含むパラメータに基づいて、下記する所定の算出式である (2) 式から、切削工具 10 の切削速度 V_{cn} を算出し、算出した切削速度 V_{cn} が切削加工条件を満たしているか否かを判定する (ステップ S 1 6)。

【 0 0 3 6 】

$$V_{cn} = S_n \times \quad \times D \div 1000 \quad \dots (2)$$

V_{cn} : 切削速度 [m / m i n] (n : 1 , 2 , 3)

D : 切削工具の外径

【 0 0 3 7 】

なお、上記の (2) 式も、(1) 式と同様に、1 ~ 3 の自然数となる n ごとに、切削速度 V_{cn} が算出されることから、本実施形態では、3 つの切削速度 V_{cn} が算出される。 10

【 0 0 3 8 】

ここで、切削加工条件は、使用する切削工具 10 として、 $100 [m/mi n] < V_{cn} [m/mi n] < 300 [m/mi n]$ を満たす条件となっている。このため、ステップ S 1 6 では、算出された 3 つの切削速度 V_{cn} のうち、少なくとも 1 つの切削速度 V_{cn} が、上記の切削速度の範囲内であるか否かを判定する。そして、ステップ S 1 6 において、算出された 3 つの切削速度 V_{cn} のいずれも、上記の切削速度の範囲外である場合 (ステップ S 1 6 : N o)、再び、ステップ S 1 0 に移行して、切削工具 10 を新たに選定し直す。一方、ステップ S 1 6 において、算出された 3 つの切削速度 V_{cn} のうち、少なくとも 1 つの切削速度 V_{cn} が、上記の切削速度 V_{cn} の範囲内である場合 (ステップ S 1 6 : Y e s)、切削速度 V_{cn} に基づいて主軸 5 の主軸回転数を設定する (ステップ S 1 8)。 20

【 0 0 3 9 】

ステップ S 1 8 では、ステップ S 1 6 において切削加工条件を満たす切削速度 V_{cn} が一つである場合には、その切削速度 V_{cn} に対応する安定回転数 S_n を、主軸 5 の主軸回転数として設定する。また、ステップ S 1 8 では、ステップ S 1 6 において切削加工条件を満たす切削速度 V_{cn} が複数ある場合には、複数の切削速度 V_{cn} のうち、最も速い切削速度 V_{cn} に対応する安定回転数 S_n を、主軸 5 の主軸回転数として設定する。このように、ステップ S 1 8 では、切削加工条件の一つである主軸回転数が設定される。 30

【 0 0 4 0 】

続いて、切削工具 10 の突出し長さ L 、刃 1 5 の刃長、及び耐熱合金の加工形状に基づいて、切削加工条件の一つである、切削工具 10 の軸方向における切込み量である軸方向切込み量 A_d を設定する (ステップ S 2 0)。

【 0 0 4 1 】

次に、切削加工条件の一つである、切削工具 10 の径方向における径方向切込み量 R_d を設定する (ステップ S 2 2)。切削工具 10 の径方向切込み量 R_d は、最小径方向切込み量 R_{d_min} よりも大きく、最大径方向切込み量 R_{d_max} よりも小さくなるように設定される。

【 0 0 4 2 】

ここで、図 3 を参照し、最小径方向切込み量 R_{d_min} 及び最大径方向切込み量 R_{d_max} について説明する。最小径方向切込み量 $R_{d_min} [mm]$ は、複数枚の刃 1 5 のうち、1 枚の刃 1 5 が常に耐熱合金に接する径方向切込み量となっている。これは、全ての刃 1 5 が耐熱合金に接しない状態とすると、切削工具 10 の刃 1 5 が耐熱合金から離れることにより、切削工具 10 の振動が発生するからである。最小径方向切込み量 R_{d_min} は、下記する (3) 式によって求められる。なお、切削工具 10 の刃 1 5 同士の間の角度を θ とすると、角度 θ は、「 $\theta [deg] = 360^\circ / N$ (刃数)」で求められる。 40

【 0 0 4 3 】

$$R_{d_min} = R - R \cos (\theta / 2) \quad \dots (3)$$

R_{d_min} : 最小径方向切込み量 50

R : 切削工具の半径
 : 刃同士の間角度

【 0 0 4 4 】

また、最大径方向切込み量 Rd_max [mm] は、複数枚の刃 15 のうち、3 枚以上の刃 15 が耐熱合金に接しない径方向切込み量となっている。これは、切削工具 10 の刃 15 が耐熱合金に 3 枚以上接触すると、切削工具 10 のびびり振動が発生するからである。最大径方向切込み量 Rd_max は、下記する (4) 式によって求められる。

【 0 0 4 5 】

$$Rd_max = R - R \cos \quad \dots (4)$$

Rd_max : 最大径方向切込み量

R : 切削工具の半径
 : 刃同士の間角度

10

【 0 0 4 6 】

ステップ S 2 2 において、切削工具 10 の径方向切込み量 Rd が最小径方向切込み量 Rd_min よりも大きく、最大径方向切込み量 Rd_max よりも小さくなるように設定されると、切削加工条件の一つである、切削工具 10 の一刃あたりの送り量を設定する (ステップ S 2 4)。一刃あたりの送り量 fz [mm/tooth] は、切り取り厚さと切削幅とを乗算した一刃あたりの切削断面積、及び切削工具 10 の軸方向に対する倒れ量に基づいて設定される。

【 0 0 4 7 】

ここで、図 4 に示すように、一刃あたりの送り量 fz が設定されると、切り取り厚さ h を、下記する算出式である (5) 式に基づいて算出する。また、切削工具 10 の倒れ量は、事前の切削加工に関するプロセスシミュレーションによって算出される。

20

【 0 0 4 8 】

【 数 1 】

$$h = \left(\frac{D}{2} + fz \sin \theta \right) - \sqrt{\left(\frac{D}{2} \right)^2 + (\sin^2 \theta - 1) fz^2} \quad \dots (5)$$

h : 切り取り厚さ

D : 切削工具の外径

fz : 一刃あたりの送り量

30

【 0 0 4 9 】

そして、切り取り厚さ h 及び切削工具 10 の倒れ量 が算出されると、切り取り厚さ h が、予め設定されたしきい値 (定数) よりも小さいか ($h <$) 否かを判定すると共に、倒れ量 が、予め設定されたしきい値 (定数) よりも小さいか ($<$) 否かを判定する (ステップ S 2 6)。そして、ステップ S 2 6 において、 $h <$ 及び $<$ を満たしていない (ステップ S 2 6 : No) と判定すると、再び、ステップ S 2 2 に移行して、径方向切込み量 Rd を、最小径方向切込み量 Rd_min から最大径方向切込み量 Rd_max の範囲内で、新たに設定し直す。一方、ステップ S 2 6 において、 $h <$ 及び $<$ を満たす (ステップ S 2 6 : Yes) と、ステップ S 2 2 及びステップ S 2 4 で設定された径方向切込み量 Rd 及び送り量 fz を、切削加工条件として設定して、切削加工条件の設定を終了する。

40

【 0 0 5 0 】

次に、図 5 及び図 6 を参照して、主軸回転数に応じて変化する軸方向切込み量について説明する。図 5 及び図 6 のグラフは、その横軸が主軸回転数 S [min^{-1}] となっており、その縦軸が軸方向切込み量 Ad となっている。また、図 5 及び図 6 において、点線で示すライン L 1 が、本実施形態の切削加工条件設定方法を適用していない、従来のラインとなっている。

【 0 0 5 1 】

50

ここで、図5に示す実線のラインL2は、図2のステップS22からステップS26を経て設定された径方向切込み量 R_d を、切削加工条件として適用したときのラインとなっている。図5に示すように、径方向切込み量 R_d を設定した本実施形態のラインL2は、従来のラインL1に比して、軸方向切込み量 A_d が増加することが、確認された。

【0052】

また、図6に示す実線のラインL3は、図2のステップS10からステップS16を経て選定された切削工具10を、切削加工条件として適用したときのラインとなっている。図6に示すように、選定された切削工具10を使用した本実施形態のラインL3は、従来のラインL1に比して、ラインL3の複数の頂部（ピーク）が、主軸5において使用可能な切削速度域に遷移することが、確認された。つまり、ラインL3の頂部は、切削工具10の固有振動数 f と、主軸5の主軸回転数 S とが共振する部分であり、使用可能な切削速度域に、より高い頂部を遷移させることで、軸方向切込み量 A_d が多い主軸回転数を選択することが可能となる。

10

【0053】

次に、図7及び図8を参照して、本実施形態の耐熱合金の切削加工条件設定方法により設定された切削加工条件に基づいて切削工具10を用いて耐熱合金を切削したときの加工時間及び除去体積（切削量）について説明する。図7は、軸方向切込み量に応じた加工時間及び加工能率に関する一例のグラフである。図8は、軸方向切込み量に応じた除去体積に関する一例のグラフである。なお、図7及び図8では、切削工具10として、15枚の刃15を有し、外径 D が20mmで、突出し長さ L が80mmとなるものが用いられている。また、切削工具10による径方向切込み量 R_d は、耐熱合金の切削加工時において一定となっている。

20

【0054】

図7は、その横軸が軸方向切込み量 A_d となっており、その左側の縦軸が加工時間 $[H]$ となっており、その右側の縦軸が平均MMC（加工能率） $[cc/min]$ となっている。図7を見ると、軸方向切込み量を大きくすることで、加工能率が向上しており、特に、軸方向切込み量を45mmよりも大きく72mmよりも小さくすることで、加工能率が大幅に向上していることが確認された。

【0055】

図8は、その横軸が軸方向切込み量 A_d となっており、その縦軸が除去体積 $[cc]$ となっている。図8を見ると、軸方向切込み量の大きい方が、除去体積が大きくなっており、特に、軸方向切込み量を45mmよりも大きく72mmよりも小さくすることで、除去体積が大幅に向上していることが確認された。

30

【0056】

そして、図7及び図8から、軸方向切込み量が20mm以上である場合、除去体積が6883ccとなり、加工時間が105minとなり、平均MMCが65.6cc/minとなることが確認された。また、軸方向切込み量が20mm未満である場合、除去体積が501ccとなり、加工時間が49minとなり、平均MMCが10.2cc/minとなることが確認された。そして、軸方向切込み量の全体において、除去体積が7384ccとなり、加工時間が154minとなり、平均MMCが47.9cc/minとなることが確認された。

40

【0057】

次に、図9及び図10を参照して、本実施形態の耐熱合金の切削加工条件設定方法により設定された切削加工条件に基づいて切削工具10を用いて耐熱合金を切削したときの摩耗について説明する。図9は、除去体積に応じて変化する摩耗幅に関する一例のグラフである。図10は、加工時間に応じて変化する摩耗幅に関する一例のグラフである。なお、図9及び図10において使用された切削工具10は、図7及び図8と同様のものである。

【0058】

図9は、その横軸が除去体積 $[cc]$ となっており、その左側の縦軸が摩耗幅 $[mm]$ となっている。また、図9において、白抜きの菱形（ ）は、各刃15の軸方向の先端の

50

刃先における摩耗幅であり、白抜きの四角()は、各刃15の軸方向の中央における摩耗幅であり、白抜きの三角()は、各刃15の軸方向の後端(刃先から70mm付近)における摩耗幅である。図9に示すように、切削工具10の各刃15は、除去体積が増えるにしたがって、摩耗は進むものの、その摩耗幅は、ほぼ線形に近い状態で遷移していることから、安定した摩耗が確認されると共に、その摩耗幅の変化が小さいことが確認された。

【0059】

図10は、その横軸が加工時間[min]となっており、その左側の縦軸が摩耗幅[mm]となっている。また、図10も図9と同様に、白抜きの菱形()は、各刃15の軸方向の先端の刃先における摩耗幅であり、白抜きの四角()は、各刃15の軸方向の中央における摩耗幅であり、白抜きの三角()は、各刃15の軸方向の後端(刃先から70mm付近)における摩耗幅である。図10に示すように、切削工具10の各刃15は、加工時間が増えるにしたがって、摩耗は進むものの、図9と同様に、その摩耗幅は、ほぼ線形に近い状態で遷移していることから、安定した摩耗が確認されると共に、その摩耗幅の変化が小さいことが確認された。

【0060】

以上のように、本実施形態によれば、切削工具10の複数枚の刃15のうち、少なくとも1枚の刃を耐熱合金に常に当てた状態で、切削工具10による耐熱合金の切削加工を行うことができる。このため、切削工具10の刃が耐熱合金から離れることにより発生する切削工具10の振動を抑制することができる。また、切削工具10の複数枚の刃15のうち、3枚以上の刃15が耐熱合金に接しない状態で、切削工具10による耐熱合金の切削加工を行うことができる。このため、切削工具10の刃15が耐熱合金に3枚以上接触することにより発生する切削工具10のびびり振動を抑制することができる。よって、切削工具10の振動を抑制することにより、切削工具10による切削量(除去体積)を多くすることができるため、耐熱合金に対する切削加工の加工能率の低下を抑制することができる。また、切削工具10による切削量を多くできることから、小型の切削工具10でも、加工能率を低下させることなく、十分に切削加工を行うことができるため、小さな部品に対しても加工を行うことが可能となり、汎用性を高いものとすることができる。さらに、切削工具10の振動が抑制されることで、切削工具10の刃15の摩耗を抑制でき、切削工具10の寿命を長いものとすることができる。そして、小型の切削工具10による径方向切込み量は、小さいものとなることから、1刃あたりの切削熱の発生を抑制できるため、刃数を多くして、一回転における切込み数を多くすると共に、切削工具10(主軸5)の回転数を上げることで、切削加工の加工能率を向上させることができる。

【0061】

また、本実施形態によれば、切削工具10による径方向切込み量を一定にすることで、安定した切削加工を行うことができる。

【0062】

また、本実施形態によれば、 L/D を3.5以上とすることで、切削工具10の突出し長さ L を長いものとするため、主軸5に固定された切削工具10の剛性を低くできることから、切削工具10の固有振動数 f を低いものとするため、このとき、切削工具10の固有振動数が、使用可能な主軸5の主軸回転数に近づくと、切削工具の切削量が增大することから、切削加工の加工能率をさらに向上させることができる。

【0063】

また、本実施形態によれば、主軸5を安定回転数で回転させつつ、適切な切削速度 V_{cn} で、切削工具10により耐熱合金を切削加工することができる。このとき、複数の切削速度 V_{cn} の中から、最も速い切削速度 V_{cn} に対応する安定回転数を、主軸5の主軸回転数とすることで、切削加工の加工能率の向上を図ることができる。

【0064】

また、本実施形態によれば、切削工具10の1刃あたりの送り量 f_z を適切なものとするため、切削加工を適切に行うことができる。

【 0 0 6 5 】

また、本実施形態によれば、切削工具 10 の一刃あたりの送り量 f_z が適切でない場合、送り量 f_z を再設定できるため、適切な送り量 f_z を設定することができる。

【 0 0 6 6 】

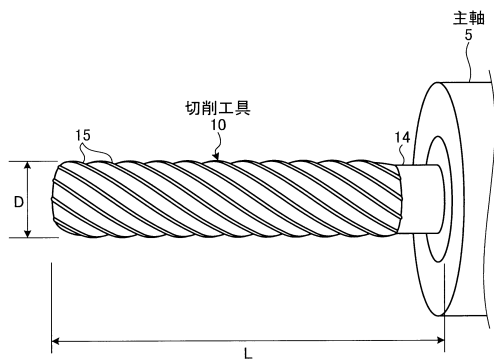
なお、本実施形態では、適切な切削工具 10 を選定すると共に、適切な径方向切込み量 R_d を設定したが、いずれか一方の切削加工条件を満たす切削加工条件方法としてもよい。つまり、図 2 に示すステップ S 10 からステップ S 16 を含む一方で、ステップ S 22 を含まない切削加工条件方法としてもよいし、図 2 に示すステップ S 10 からステップ S 16 を含まない一方で、ステップ S 22 を含む切削加工条件方法としてもよい。

【符号の説明】

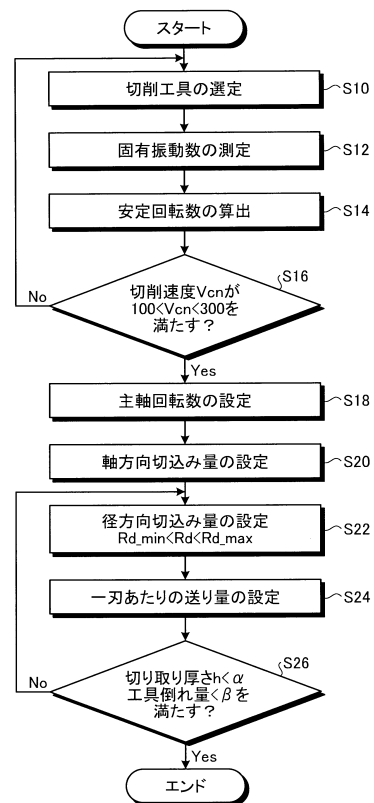
【 0 0 6 7 】

- 5 主軸
- 10 切削工具
- 14 シャフト
- 15 刃
- D 外径
- L 突出し長さ
- A d 軸方向切込み量
- R d 径方向切込み量

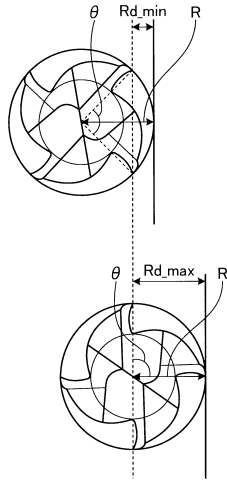
【 図 1 】



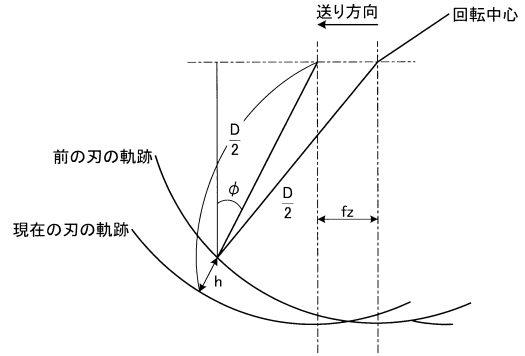
【 図 2 】



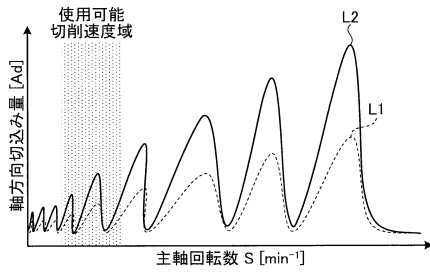
【図3】



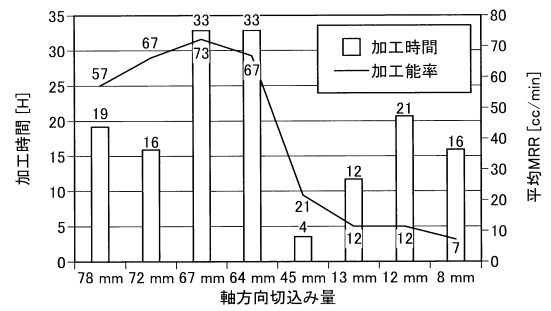
【図4】



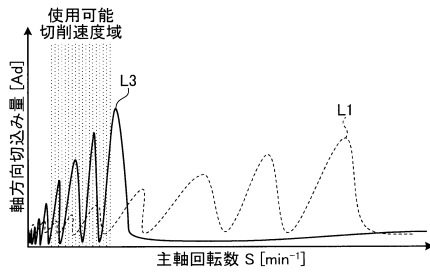
【図5】



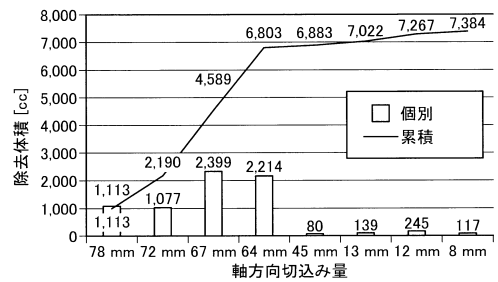
【図7】



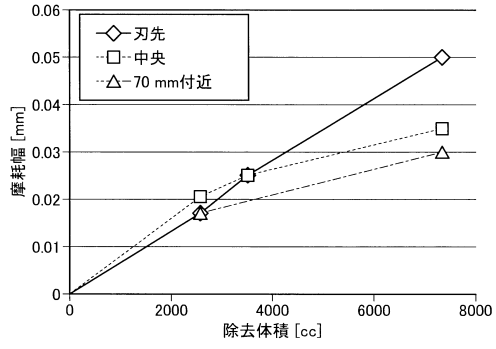
【図6】



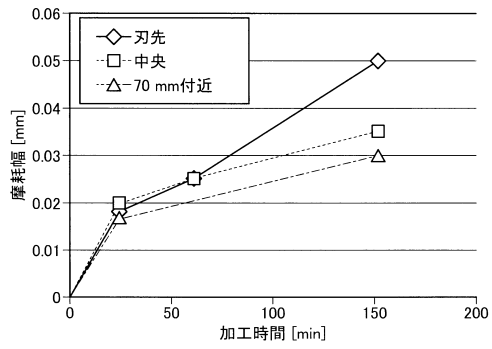
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2002-307224(JP,A)
特開2009-056533(JP,A)
特開2005-199421(JP,A)
特開2001-239403(JP,A)
特開2012-183597(JP,A)
特開平08-019912(JP,A)
登録実用新案第3041243(JP,U)
特開平11-267914(JP,A)
国際公開第02/003155(WO,A1)
特開2016-005860(JP,A)
特開2008-114333(JP,A)
特開2004-034171(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B23C 3/00
B23C 5/10
B23Q 15/00
G05B 19/416
WPI