

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6088581号
(P6088581)

(45) 発行日 平成29年3月1日(2017.3.1)

(24) 登録日 平成29年2月10日(2017.2.10)

(51) Int.Cl.		F I			
B 2 3 Q	15/00	(2006.01)	B 2 3 Q	15/00	J
G 0 5 B	19/18	(2006.01)	G 0 5 B	19/18	C
G 0 5 B	19/416	(2006.01)	G 0 5 B	19/416	W

請求項の数 15 (全 29 頁)

(21) 出願番号	特願2015-113917 (P2015-113917)	(73) 特許権者	390008235
(22) 出願日	平成27年6月4日(2015.6.4)		ファナック株式会社
(65) 公開番号	特開2017-1103 (P2017-1103A)		山梨県南部留郡忍野村忍草字古馬場358
(43) 公開日	平成29年1月5日(2017.1.5)		〇番地
審査請求日	平成28年5月17日(2016.5.17)	(74) 代理人	100099759
早期審査対象出願			弁理士 青木 篤
		(74) 代理人	100102819
			弁理士 島田 哲郎
		(74) 代理人	100123582
			弁理士 三橋 真二
		(74) 代理人	100112357
			弁理士 廣瀬 繁樹
		(74) 代理人	100157211
			弁理士 前島 一夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 主軸と送り軸との同期運転を制御する工作機械の制御装置及び制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

主軸と送り軸との同期運転を制御する工作機械の制御装置であって、
 タップ加工プログラムに基づき主軸指令及び送り軸指令を作成する数値制御部と、
 前記主軸指令に従って前記主軸の回転動作を制御する主軸制御部と、
 前記主軸の回転位置を検出する回転検出部と、
 前記送り軸指令に従って、前記回転位置に基づき前記送り軸の送り動作を制御する送り
 軸制御部とを具備し、

前記数値制御部は、加工開始位置から目標ねじ深さに至る間の前記主軸の総回転量と最
 高回転速度とを前記タップ加工プログラムから取得して、該総回転量と該最高回転速度と
 を前記主軸指令として前記主軸制御部に送る主軸指令出力部を備え、

前記主軸制御部は、

前記最高回転速度を目標値とする速度制御により前記加工開始位置から前記主軸を、駆
 動源の許容電流を最大限に利用した最大能力で加速回転させる初期動作制御部と、

前記最大能力での加速回転中に前記回転位置に基づき前記主軸の最大加速度を検出する
 最大加速度検出部と、

前記総回転量と前記回転位置とに基づき、現在位置から前記目標ねじ深さに至るまでの
 前記主軸の残回転量を検出する残回転量検出部と、

前記回転位置に基づき前記主軸の現在速度を検出する現在速度検出部と、

前記最大能力での加速回転の後に、速度制御により前記主軸を減速回転させて予め定め

た中間回転速度に到達させる減速動作制御部と、

前記主軸が前記中間回転速度に到達した後に、前記最大加速度と前記残回転量と前記現在速度とに基づき、位置制御により前記主軸を前記最大加速度に対応する最大減速度で減速回転させて前記目標ねじ深さに到達させる位置決め動作制御部とを備え、

前記減速動作制御部は、前記減速回転のための速度指令を、前記残回転量と前記現在速度とを用いて逐次更新し、前記主軸を前記中間回転速度に到達させたときの前記残回転量が、前記位置制御の下で前記目標ねじ深さに到達するまでの前記主軸の位置決め回転量と等しくなるように、逐次更新される該速度指令により前記主軸を減速回転させる、制御装置。

【請求項 2】

前記主軸指令出力部は、前記目標ねじ深さから戻り完了位置に至る間の前記主軸の総戻り回転量と最高戻り回転速度とを前記タップ加工プログラムから取得して、該総戻り回転量と該最高戻り回転速度とを前記主軸指令として前記主軸制御部に送り、

前記初期動作制御部は、前記最高戻り回転速度を目標値とする速度制御により、前記目標ねじ深さから、又は前記目標ねじ深さよりも予め定めた回転数だけ戻った初期戻り位置から、前記主軸を駆動源の許容電流を最大限に利用した最大能力で加速逆回転させ、

前記最大加速度検出部は、前記主軸が前記目標ねじ深さから加速逆回転する間の前記主軸の逆回転の最大加速度を検出又は取得し、

前記残回転量検出部は、前記総戻り回転量と前記回転位置とに基づき、現在位置から前記戻り完了位置に至るまでの前記主軸の残戻り回転量を検出し、

前記現在速度検出部は、前記回転位置に基づき前記主軸の逆回転の現在速度を検出し、前記減速動作制御部は、前記最大能力での加速逆回転の後に、速度制御により前記主軸を減速逆回転させて予め定めた中間戻り回転速度に到達させ、

前記位置決め動作制御部は、前記主軸が前記中間戻り回転速度に到達した後に、前記逆回転の最大加速度と前記残戻り回転量と前記逆回転の現在速度とに基づき、位置制御により前記主軸を前記逆回転の最大加速度に対応する最大減速度で減速逆回転させるとともに前記戻り完了位置で停止させ、

前記減速動作制御部は、前記減速逆回転のための速度指令を、前記残戻り回転量と前記逆回転の現在速度とを用いて逐次更新し、前記主軸を前記中間戻り回転速度に到達させたときの前記残戻り回転量が、前記位置制御の下で前記戻り完了位置で停止するまでの前記主軸の位置決め戻り回転量と等しくなるように、逐次更新される該速度指令により前記主軸を減速逆回転させる、請求項 1 に記載の制御装置。

【請求項 3】

前記位置決め動作制御部は、前記主軸を前記目標ねじ深さで停止させ、

前記初期動作制御部は、前記目標ねじ深さから前記主軸を前記最大能力で加速逆回転させ、

前記最大加速度検出部は、前記最大能力での加速逆回転中に前記回転位置に基づき前記逆回転の最大加速度を検出する、

請求項 2 に記載の制御装置。

【請求項 4】

前記位置決め動作制御部は、前記主軸を前記目標ねじ深さで停止させずに、前記目標ねじ深さへの到達後、位置制御により前記主軸を前記初期戻り位置まで、前記最大能力での減速回転における最大減速度と同じ逆回転の最大加速度で加速逆回転させ、

前記初期動作制御部は、前記初期戻り位置から前記主軸を前記最大能力で加速逆回転させ、

前記最大加速度検出部は、前記最大減速度を前記逆回転の最大加速度として取得する、請求項 2 に記載の制御装置。

【請求項 5】

前記数値制御部は、前記残回転量を監視して前記残回転量が第 1 の所定値以下になった

10

20

30

40

50

ときに、タップ加工が前記目標ねじ深さに達したと判断する、請求項 2 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の制御装置。

【請求項 6】

前記数値制御部は、前記残戻り回転量を監視して前記残戻り回転量が第 2 の所定値以下になったときに、戻り動作が完了したと判断する、請求項 2 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の制御装置。

【請求項 7】

前記送り軸の送り位置を検出する送り検出部をさらに具備し、

前記数値制御部は、前記加工開始位置から前記目標ねじ深さに至る間の前記送り軸の総送り量とねじピッチとを前記タップ加工プログラムから取得して、該総送り量と該ねじピッチとを前記送り軸指令として前記送り軸制御部に送る送り軸指令出力部を備え、

前記送り軸制御部は、

前記ねじピッチと前記回転位置とに基づき前記送り軸の送り動作を制御する送り動作制御部と、

前記総送り量と前記送り位置とに基づき、現在位置から前記目標ねじ深さに至るまでの前記送り軸の残送り量を検出する残送り量検出部とを備える、

請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の制御装置。

【請求項 8】

前記数値制御部は、前記残回転量に基づき前記主軸の現在位置を認識するとともに前記残送り量に基づき前記送り軸の現在位置を認識する位置認識部を備える、請求項 7 に記載の制御装置。

【請求項 9】

前記数値制御部は、前記残回転量と前記残送り量と前記ねじピッチとに基づき、前記同期運転の同期誤差を計算する同期誤差計算部を備える、請求項 7 又は 8 に記載の制御装置。

【請求項 10】

前記送り軸の送り位置を検出する送り検出部をさらに具備し、

前記数値制御部は、タップ加工が前記目標ねじ深さに達したと判断したときに、前記目標ねじ深さから前記戻り完了位置に至る間の前記送り軸の総戻り送り量とねじピッチとを前記タップ加工プログラムから取得して、該総戻り送り量と該ねじピッチとを前記送り軸指令として前記送り軸制御部に送る送り軸指令出力部を備え、

前記送り軸制御部は、

前記ねじピッチと前記回転位置とに基づき前記送り軸の戻り送り動作を制御する送り動作制御部と、

前記総戻り送り量と前記送り位置とに基づき、現在位置から前記戻り完了位置に至るまでの前記送り軸の残戻り送り量を検出する残送り量検出部とを備える、

請求項 2 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の制御装置。

【請求項 11】

前記数値制御部は、前記残戻り回転量に基づき前記主軸の現在位置を認識するとともに前記残戻り送り量に基づき前記送り軸の現在位置を認識する位置認識部を備える、請求項 10 に記載の制御装置。

【請求項 12】

前記数値制御部は、前記残戻り回転量と前記残戻り送り量と前記ねじピッチとに基づき、前記同期運転の同期誤差を計算する同期誤差計算部を備える、請求項 10 又は 11 に記載の制御装置。

【請求項 13】

主軸と送り軸との同期運転を制御する工作機械の制御装置であって、

タップ加工プログラムに基づき主軸指令及び送り軸指令を作成する数値制御部と、

前記主軸指令に従って前記主軸の回転動作を制御する主軸制御部と、

前記主軸の回転位置を検出する回転検出部と、

10

20

30

40

50

前記送り軸指令に従って、前記回転位置に基づき前記送り軸の送り動作を制御する送り軸制御部とを具備し、

前記数値制御部は、目標ねじ深さから戻り完了位置に至る間の前記主軸の総戻り回転量と最高戻り回転速度とを前記タップ加工プログラムから取得して、該総戻り回転量と該最高戻り回転速度とを前記主軸指令として前記主軸制御部に送る主軸指令出力部を備え、

前記主軸制御部は、

前記最高戻り回転速度を目標値とする速度制御により、前記目標ねじ深さから、又は前記目標ねじ深さよりも予め定めた回転数だけ戻った初期戻り位置から、前記主軸を駆動源の許容電流を最大限に利用した最大能力で加速逆回転させる初期動作制御部と、

前記主軸が前記目標ねじ深さから加速逆回転する間の前記主軸の逆回転の最大加速度を検出又は取得する最大加速度検出部と、

前記総戻り回転量と前記回転位置とに基づき、現在位置から前記戻り完了位置に至るまでの前記主軸の残戻り回転量を検出する残回転量検出部と、

前記回転位置に基づき前記主軸の逆回転の現在速度を検出する現在速度検出部と、

前記最大能力での加速逆回転の後に、速度制御により前記主軸を減速逆回転させて予め定めた中間戻り回転速度に到達させる減速動作制御部と、

前記主軸が前記中間戻り回転速度に到達した後に、前記逆回転の最大加速度と前記残戻り回転量と前記逆回転の現在速度とに基づき、位置制御により前記主軸を前記逆回転の最大加速度に対応する最大減速度で減速逆回転させるとともに前記戻り完了位置で停止させる位置決め動作制御部とを備え、

前記減速動作制御部は、前記減速逆回転のための速度指令を、前記残戻り回転量と前記逆回転の現在速度とを用いて逐次更新し、前記主軸を前記中間戻り回転速度に到達させたときの前記残戻り回転量が、前記位置制御の下で前記戻り完了位置で停止するまでの前記主軸の位置決め戻り回転量と等しくなるように、逐次更新される該速度指令により前記主軸を減速逆回転させる、
制御装置。

【請求項 14】

主軸と送り軸との同期運転を制御する工作機械の制御方法であって、

制御装置が、

加工開始位置から目標ねじ深さに至る間の前記主軸の総回転量と最高回転速度とをタップ加工プログラムから取得するステップと、

前記最高回転速度を目標値とする速度制御により前記加工開始位置から前記主軸を、駆動源の許容電流を最大限に利用した最大能力で加速回転させるステップと、

前記最大能力での加速回転中に前記主軸の回転位置フィードバック値に基づき前記主軸の最大加速度を検出するステップと、

前記総回転量と前記回転位置フィードバック値とに基づき、現在位置から前記目標ねじ深さに至るまでの前記主軸の残回転量を検出するステップと、

前記回転位置フィードバック値に基づき前記主軸の現在速度を検出するステップと、

前記最大能力での加速回転の後に、速度制御により前記主軸を減速回転させて予め定めた中間回転速度に到達させるステップと、

前記主軸が前記中間回転速度に到達した後に、前記最大加速度と前記残回転量と前記現在速度とに基づき、位置制御により前記主軸を前記最大加速度に対応する最大減速度で減速回転させて前記目標ねじ深さに到達させるステップと、

を備え、

前記中間回転速度に到達させるステップは、前記減速回転のための速度指令を、前記残回転量と前記現在速度とを用いて逐次更新し、前記主軸を前記中間回転速度に到達させたときの前記残回転量が、前記位置制御の下で前記目標ねじ深さに到達するまでの前記主軸の位置決め回転量と等しくなるように、逐次更新される該速度指令により前記主軸を減速回転させるステップを含む、

制御方法。

【請求項 15】

主軸と送り軸との同期運転を制御する工作機械の制御方法であって、
制御装置が、

目標ねじ深さから戻り完了位置に至る間の前記主軸の総戻り回転量と最高戻り回転速度とをタップ加工プログラムから取得するステップと、

前記最高戻り回転速度を目標値とする速度制御により、前記目標ねじ深さから、又は前記目標ねじ深さよりも予め定めた回転数だけ戻った初期戻り位置から、前記主軸を駆動源の許容電流を最大限に利用した最大能力で加速逆回転させるステップと、

前記主軸が前記目標ねじ深さから加速逆回転する間の逆回転の最大加速度を検出又は取得するステップと、

前記総戻り回転量と前記主軸の回転位置フィードバック値とに基づき、現在位置から前記戻り完了位置に至るまでの前記主軸の残戻り回転量を検出するステップと、

前記回転位置フィードバック値に基づき前記主軸の逆回転の現在速度を検出するステップと、

前記最大能力での加速逆回転の後に、速度制御により前記主軸を減速逆回転させて予め定めた中間戻り回転速度に到達させるステップと、

前記主軸が前記中間戻り回転速度に到達した後に、前記逆回転の最大加速度と前記残戻り回転量と前記逆回転の現在速度とに基づき、位置制御により前記主軸を前記逆回転の最大加速度に対応する最大減速度で減速逆回転させるとともに前記戻り完了位置で停止させるステップと、

を備え、

前記中間戻り回転速度に到達させるステップは、前記減速逆回転のための速度指令を、前記残戻り回転量と前記逆回転の現在速度とを用いて逐次更新し、前記主軸を前記中間戻り回転速度に到達させたときの前記残戻り回転量が、前記位置制御の下で前記戻り完了位置で停止するまでの前記主軸の位置決め戻り回転量と等しくなるように、逐次更新される該速度指令により前記主軸を減速逆回転させるステップを含む、
制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、主軸と送り軸との同期運転を制御する工作機械の制御装置に関する。本発明はまた、主軸と送り軸との同期運転を制御する工作機械の制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

主軸と送り軸との同期運転によりタップ加工を行う工作機械においては、加工精度を向上させたりサイクルタイムを短縮したりするための構成が種々提案されている。例えば特許文献1は、主軸の回転に送り軸が追従して動作しながらタップ加工を行うねじ加工装置であって、主軸の回転速度及び回転加速度とねじピッチとから送り軸に対する送り指令値を演算するとともに、主軸の実際の回転位置に従って送り指令値を補正することで、タップ加工の精度を向上させるようにしたねじ加工装置を開示する。また特許文献2は、タップ加工のために主軸と送り軸との同期制御を行う数値制御装置の主軸モータ加減速制御方法であって、数値制御装置が、主軸の出力特性に対応する加減速指令を作成して、この加減速指令により主軸を制御することで主軸の応答性を向上させ、結果としてサイクルタイムを短縮できるようにした主軸モータ加減速制御方法を開示する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特許第2629729号公報

【特許文献2】特許第3553741号公報

【発明の概要】

10

20

30

40

50

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

主軸と送り軸との同期運転によりタップ加工を行う工作機械では、一般に、主軸が有する加速能力に依存してサイクルタイムが決まる。数値制御装置が主軸の出力特性に対応する加減速指令を作成するために要するパラメータの設定や調整等の、高度な技術が要求される予備作業を行うことなく、より簡単な構成で、主軸の加速能力を最大限に発揮させる制御を行ってサイクルタイムを短縮できるようにすることが望まれている。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の一態様は、主軸と送り軸との同期運転を制御する工作機械の制御装置であって、タップ加工プログラムに基づき主軸指令及び送り軸指令を作成する数値制御部と、主軸指令に従って主軸の回転動作を制御する主軸制御部と、主軸の回転位置を検出する回転検出部と、送り軸指令に従って、回転位置に基づき送り軸の送り動作を制御する送り軸制御部とを具備し、数値制御部は、加工開始位置から目標ねじ深さに至る間の主軸の総回転量と最高回転速度とをタップ加工プログラムから取得して、総回転量と最高回転速度とを主軸指令として主軸制御部に送る主軸指令出力部を備え、主軸制御部は、最高回転速度を目標値とする速度制御により加工開始位置から主軸を、駆動源の許容電流を最大限に利用した最大能力で加速回転させる初期動作制御部と、最大能力での加速回転中に回転位置に基づき主軸の最大加速度を検出する最大加速度検出部と、総回転量と回転位置とに基づき、現在位置から目標ねじ深さに至るまでの主軸の残回転量を検出する残回転量検出部と、回転位置に基づき主軸の現在速度を検出する現在速度検出部と、最大能力での加速回転の後に、速度制御により主軸を減速回転させて予め定めた中間回転速度に到達させる減速動作制御部と、主軸が中間回転速度に到達した後に、最大加速度と残回転量と現在速度とに基づき、位置制御により主軸を最大加速度に対応する最大減速度で減速回転させて目標ねじ深さに到達させる位置決め動作制御部とを備え、減速動作制御部は、減速回転のための速度指令を、残回転量と現在速度とを用いて逐次更新し、主軸を中間回転速度に到達させたときの残回転量が、位置制御の下で目標ねじ深さに到達するまでの主軸の位置決め回転量と等しくなるように、逐次更新される速度指令により主軸を減速回転させる、制御装置である。

【0006】

本発明の他の態様は、主軸と送り軸との同期運転を制御する工作機械の制御装置であって、タップ加工プログラムに基づき主軸指令及び送り軸指令を作成する数値制御部と、主軸指令に従って主軸の回転動作を制御する主軸制御部と、主軸の回転位置を検出する回転検出部と、送り軸指令に従って、回転位置に基づき送り軸の送り動作を制御する送り軸制御部とを具備し、数値制御部は、目標ねじ深さから戻り完了位置に至る間の主軸の総戻り回転量と最高戻り回転速度とをタップ加工プログラムから取得して、総戻り回転量と最高戻り回転速度とを主軸指令として主軸制御部に送る主軸指令出力部を備え、主軸制御部は、最高戻り回転速度を目標値とする速度制御により、目標ねじ深さから、又は目標ねじ深さよりも予め定めた回転数だけ戻った初期戻り位置から、主軸を駆動源の許容電流を最大限に利用した最大能力で加速逆回転させる初期動作制御部と、主軸が目標ねじ深さから加速逆回転する間の主軸の逆回転の最大加速度を検出又は取得する最大加速度検出部と、総戻り回転量と回転位置とに基づき、現在位置から戻り完了位置に至るまでの主軸の残戻り回転量を検出する残回転量検出部と、回転位置に基づき主軸の逆回転の現在速度を検出する現在速度検出部と、最大能力での加速逆回転の後に、速度制御により主軸を減速逆回転させて予め定めた中間戻り回転速度に到達させる減速動作制御部と、主軸が中間戻り回転速度に到達した後に、逆回転の最大加速度と残戻り回転量と逆回転の現在速度とに基づき、位置制御により主軸を逆回転の最大加速度に対応する最大減速度で減速逆回転させるとともに戻り完了位置で停止させる位置決め動作制御部とを備え、減速動作制御部は、減速逆回転のための速度指令を、残戻り回転量と逆回転の現在速度とを用いて逐次更新し、主軸を中間戻り回転速度に到達させたときの残戻り回転量が、位置制御の下で戻り完了位置

10

20

30

40

50

で停止するまでの主軸の位置決め戻り回転量と等しくなるように、逐次更新される速度指令により主軸を減速逆回転させる、制御装置である。

【0007】

本発明のさらに他の態様は、主軸と送り軸との同期運転を制御する工作機械の制御方法であって、制御装置が、加工開始位置から目標ねじ深さに至る間の主軸の総回転量と最高回転速度とをタップ加工プログラムから取得するステップと、最高回転速度を目標値とする速度制御により加工開始位置から主軸を、駆動源の許容電流を最大限に利用した最大能力で加速回転させるステップと、最大能力での加速回転中に主軸の回転位置フィードバック値に基づき主軸の最大加速度を検出するステップと、総回転量と回転位置フィードバック値とに基づき、現在位置から目標ねじ深さに至るまでの主軸の残回転量を検出するステップと、回転位置フィードバック値に基づき主軸の現在速度を検出するステップと、最大能力での加速回転の後に、速度制御により主軸を減速回転させて予め定めた中間回転速度に到達させるステップと、主軸が中間回転速度に到達した後に、最大加速度と残回転量と現在速度とに基づき、位置制御により主軸を最大加速度に対応する最大減速度で減速回転させて目標ねじ深さに到達させるステップと、を備え、中間回転速度に到達させるステップは、減速回転のための速度指令を、残回転量と現在速度とを用いて逐次更新し、主軸を中間回転速度に到達させたときの残回転量が、位置制御の下で目標ねじ深さに到達するまでの主軸の位置決め回転量と等しくなるように、逐次更新される速度指令により主軸を減速回転させるステップを含む、制御方法である。

10

【0008】

本発明のさらに他の態様は、主軸と送り軸との同期運転を制御する工作機械の制御方法であって、制御装置が、目標ねじ深さから戻り完了位置に至る間の主軸の総戻り回転量と最高戻り回転速度とをタップ加工プログラムから取得するステップと、最高戻り回転速度を目標値とする速度制御により、目標ねじ深さから、又は目標ねじ深さよりも予め定めた回転数だけ戻った初期戻り位置から、主軸を駆動源の許容電流を最大限に利用した最大能力で加速逆回転させるステップと、主軸が目標ねじ深さから加速逆回転する間の逆回転の最大加速度を検出又は取得するステップと、総戻り回転量と主軸の回転位置フィードバック値とに基づき、現在位置から戻り完了位置に至るまでの主軸の残戻り回転量を検出するステップと、回転位置フィードバック値に基づき主軸の逆回転の現在速度を検出するステップと、最大能力での加速逆回転の後に、速度制御により主軸を減速逆回転させて予め定めた中間戻り回転速度に到達させるステップと、主軸が中間戻り回転速度に到達した後に、逆回転の最大加速度と残戻り回転量と逆回転の現在速度とに基づき、位置制御により主軸を逆回転の最大加速度に対応する最大減速度で減速逆回転させるとともに戻り完了位置で停止させるステップと、を備え、中間戻り回転速度に到達させるステップは、減速逆回転のための速度指令を、残戻り回転量と逆回転の現在速度とを用いて逐次更新し、主軸を中間戻り回転速度に到達させたときの残戻り回転量が、位置制御の下で戻り完了位置で停止するまでの主軸の位置決め戻り回転量と等しくなるように、逐次更新される速度指令により主軸を減速逆回転させるステップを含む、制御方法である。

20

30

【発明の効果】

【0009】

一態様に係る制御装置によれば、主軸に加工開始位置から目標ねじ深さまでの切削動作を行わせる際に、数値制御部が主軸制御部に対して、主軸の総回転量と最高回転速度のみを主軸指令として通知し、主軸制御部がこの主軸指令に従い、最高回転速度を目標に許容電流を最大限に使用した最大出力で主軸を加速させて切削動作を実行するとともに、その間の最大加速度と主軸の残回転量及び現在速度とに基づき、主軸を最大減速度で減速させながら目標ねじ深さまでの切削動作を最短時間で継続実行して目標ねじ深さに到達させる構成としたから、数値制御部に対し主軸の出力特性に対応する加減速指令を作成するためのパラメータの設定や調整等を行う必要がなく、より簡単な構成で、主軸の加速能力を最大限に発揮させる加減速制御を行って、タップ加工のサイクルタイムを短縮することが可能になる。しかも、主軸の最大能力での加速回転の後に、主軸の残回転量と現在速度とに

40

50

応じて、減速回転のための速度指令を逐次更新して主軸を減速回転させ、中間回転速度に達したときの残回転量が位置決め回転量と等しくなる速度制御を実行するようにしたから、主軸を最大能力で減速させる位置制御への、速度制御からの切り替えを、待ち時間を要することなく円滑に行うことができ、以て、タップ加工のサイクルタイムをさらに短縮することができるとともに、速度制御から位置制御への切替時における加速度の急激な変化により主軸に生じ得る機械構造上の衝撃を軽減できる。

【 0 0 1 0 】

他の態様に係る制御装置によれば、主軸に目標ねじ深さから戻り完了位置までの戻り動作を行わせる際に、数値制御部が主軸制御部に対して、主軸の総戻り回転量と最高戻り回転速度のみを主軸指令として通知し、主軸制御部がこの主軸指令に従い、最高戻り回転速度を目標に許容電流を最大限に使用した最大出力で主軸を加速させて戻り動作を実行するとともに、その間の最大加速度と主軸の残戻り回転量及び現在速度とに基づき、主軸を最大減速度で減速させながら戻り完了位置までの戻り動作を最短時間で継続実行して戻り完了位置で停止させる構成としたから、数値制御部に対し主軸の出力特性に対応する加減速指令を作成するためのパラメータの設定や調整等を行う必要がなく、より簡単な構成で、主軸の加速能力を最大限に発揮させる加減速制御を行って、タップ加工のサイクルタイムを短縮することが可能になる。しかも、主軸の最大能力での加速逆回転の後に、主軸の残戻り回転量と現在速度とに応じて、減速逆回転のための速度指令を逐次更新して主軸を減速逆回転させ、中間戻り回転速度に達したときの残戻り回転量が位置決め戻り回転量と等しくなる速度制御を実行するようにしたから、主軸を最大能力で減速させる位置制御への、速度制御からの切り替えを、待ち時間を要することなく円滑に行うことができ、以て、タップ加工のサイクルタイムをさらに短縮することができるとともに、速度制御から位置制御への切替時における加速度の急激な変化により主軸に生じ得る機械構造上の衝撃を軽減できる。

【 0 0 1 1 】

さらに他の態様に係る制御方法によれば、上記した制御装置の効果と同等の効果が奏される。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 2 】

【 図 1 】 工作機械制御装置の一実施形態の構成を示す機能ブロック図である。

【 図 2 】 工作機械制御方法の一実施形態としてのタップ加工の切削動作制御方法を示すフローチャートである。

【 図 3 】 図 2 の実施形態における主軸の動作の一例を示す図である。

【 図 4 】 図 2 の実施形態における主軸の動作の他の例を示す図である。

【 図 5 】 工作機械制御方法の一実施形態としてのタップ加工の戻り動作制御方法を示すフローチャートである。

【 図 6 】 工作機械制御方法の他の実施形態としてのタップ加工の切削及び戻り動作制御方法を示すフローチャートである。

【 図 7 】 図 6 の実施形態における主軸の動作の一例を示す図である。

【 図 8 】 図 6 の実施形態における主軸の動作の他の例を示す図である。

【 図 9 】 図 1 の制御装置の変形例の構成を示す機能ブロック図である。

【 図 1 0 】 図 1 の制御装置の他の変形例の構成を示す機能ブロック図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 3 】

以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。全図面に渡り、対応する構成要素には共通の参照符号を付す。

【 0 0 1 4 】

図 1 は、一実施形態による工作機械の制御装置 1 0 の構成を機能ブロックで示す。制御装置 1 0 は、主軸 1 2 と送り軸 1 4 との同期運転によりタップ加工を行う工作機械（例えば旋盤、ボール盤、マシニングセンタ等）において、送り軸 1 4 が、タップ加工プログラ

10

20

30

40

50

ムPで指定されるねじピッチを考慮しながら、主軸12の回転動作に追従するように動作する同期運転（いわゆるマスター・スレーブ同期方式）を制御するものである。図示しないが、主軸12は、ワークや工具を把持する把持部を加工に必要な速度で回転運動させるサーボモータ等の駆動装置に設定される制御軸である。図示しないが、送り軸14は、ワークや工具を支持する支持部を加工に必要な速度で送り運動させるサーボモータ等の駆動装置に設定される制御軸である。例えば旋盤では、主軸12で回転するワークに対して工具を送り軸14で直線送りしたり、主軸12で回転するワークを工具に対して送り軸14で直線送りしたりすることができる。またボール盤では、主軸12で回転する工具をワークに対して送り軸14で直線送りしたり、主軸12で回転する工具に対してワークを送り軸14で直線送りしたりすることができる。いずれの場合も、動作中の加減速トルクに比較 10
的余裕の有る送り軸14が、動作中の加減速トルクに比較的余裕の無い主軸12に追従するように動作することで、同期誤差を低減して加工精度を向上させることができる。なお本発明において、工作機械の構成は特に限定されない。

【0015】

制御装置10は、タップ加工プログラムPに基づき主軸指令CS及び送り軸指令CFを作成する数値制御部16と、主軸指令CSに従って主軸12の回転動作を制御する主軸制御部18と、主軸12の回転位置を検出する回転検出部20と、送り軸指令CFに従って、回転検出部20が検出した回転位置に基づき送り軸14の送り動作を制御する送り軸制御部22とを備える。数値制御部16は、タップ加工プログラムPを解釈するプログラム 20
解釈部24と、プログラム解釈部24の解釈に従い主軸指令CSを作成して、主軸制御部18に主軸指令CSを送る主軸指令出力部26と、プログラム解釈部24の解釈に従い送り軸指令CFを作成して、送り軸制御部22に送り軸指令CFを送る送り軸指令出力部28とを備える。数値制御部16は、公知のCNC装置のハードウェア構成を有することができる。

【0016】

主軸指令出力部26は、タップ加工の開始に先立ち、プログラム解釈部24が解釈したタップ加工プログラムPの指令値から、加工開始位置（回転位置）から目標ねじ深さ（回転位置）に至る間の主軸12の総回転量S0と最高回転速度V0とを取得して、これら総 30
回転量S0と最高回転速度V0とを主軸指令CSとして主軸制御部18に送る。例えばタップ加工プログラムPが、主軸12の最高回転速度（この例では1分間当りの最大回転数）V0を3000rev/minとして、ねじピッチ1.25mm、ねじ深さ30mmの雌ねじを加工する指令を含む場合、加工開始位置から目標ねじ深さに至る間の主軸12の総回転量S0は、 $30 \div 1.25 = 24$ (rev)となるから、主軸指令出力部26は、 $V0 = 3000$ (rev/min)と $S0 = 24$ (rev)とを主軸制御部18に通知する。このように主軸指令CSは、主軸12を目標ねじ深さまで回転運動させるための位置指令や加減速指令を含まないものとなっている。

【0017】

主軸制御部18は、回転検出部20が検出した主軸12の回転位置FBS（すなわちフィードバック値）を用いて、一般的なフィードバック制御により主軸12の回転動作を制御する。送り軸制御部22は、送り軸14の送り位置のフィードバック値に加えて、主軸 40
12の回転位置FBSを用いて、フィードバック制御により主軸12の動作に追従する送り軸14の送り動作を制御する。なお回転検出部20は、主軸12の駆動装置の動作位置を検出するエンコーダ等の位置検出器（図示せず）の出力から、回転位置FBSを取得することができる。

【0018】

主軸制御部18は、主軸指令出力部26から送られた最高回転速度V0を目標値とする速度制御により加工開始位置から主軸12を最大能力で加速回転させる初期動作制御部30と、最大能力での加速回転中に回転位置FBSに基づき主軸12の最大加速度A0（単位は例えば rev/min^2 ）を検出する最大加速度検出部32と、主軸指令出力部26から送られた総回転量S0と回転位置FBSとに基づき、現在位置（回転位置）から目標 50

ねじ深さに至るまでの主軸 1 2 の残回転量 S_r を検出する残回転量検出部 3 4 と、回転位置 F B S に基づき主軸 1 2 の現在速度 V_c を検出する現在速度検出部 3 6 と、最大能力での加速回転の後に、速度制御により主軸 1 2 を減速回転させて予め定めた中間回転速度 V_i に到達させる減速動作制御部 3 8 と、主軸 1 2 が中間回転速度 V_i に到達した後に、最大加速度 A_0 と残回転量 S_r と現在速度 V_c とに基づき、位置制御により主軸 1 2 を最大能力で減速回転させて目標ねじ深さに到達させる位置決め動作制御部 4 0 とを備える。位置決め動作制御部 4 0 は、主軸 1 2 を目標ねじ深さで停止させるように構成できる。或いは、位置決め動作制御部 4 0 は、主軸 1 2 を目標ねじ深さで停止させないように構成できる。

【 0 0 1 9 】

制御装置 1 0 は、工作機械を用いたタップ加工において、ワークの下穴を工具で目標ねじ深さまで切削するための主軸 1 2 の動作（本願で切削動作と称する）を制御することができる。また制御装置 1 0 は、工作機械を用いたタップ加工において、ワークの下穴を目標ねじ深さまで切削加工した後に工具をワークから引き抜くための主軸 1 2 の動作（本願で戻り動作と称する）を制御することができる。

【 0 0 2 0 】

図 2 は、制御装置 1 0 が実行する工作機械制御方法の一実施形態としての、タップ加工における主軸 1 2 の切削動作制御方法を示す。以下、図 2 に示す切削動作制御フローの一例を図 1 と共に参照して、制御装置 1 0 の構成の詳細を説明する。まずステップ S 1 で、数値制御部 1 6（主軸指令出力部 2 6）は主軸制御部 1 8 に、主軸 1 2 の総回転量 S_0 と最高回転速度 V_0 とを指令する。ステップ S 2 で、主軸制御部 1 8（初期動作制御部 3 0、最大加速度検出部 3 2、残回転量検出部 3 4）は、加工開始位置から、最高回転速度 V_0 を目標速度として主軸 1 2 を、駆動源の許容電流を最大限に利用した最大能力で加速回転させて切削動作を実行し、その間の最大加速度 A_0 を検出するとともに、現在位置からの残回転量 S_r を逐次検出する。検出した残回転量 S_r は、検出の都度、主軸制御部 1 8 が数値制御部 1 6 に通知する。

【 0 0 2 1 】

次にステップ S 3 で、主軸制御部 1 8（現在速度検出部 3 6）は、最大能力での加速回転中に現在速度 V_c を逐次検出し、検出の都度、現在速度 V_c が最高回転速度 V_0 に到達していないか否かを判断する。 V_c が V_0 に到達していない場合、ステップ S 4 で、主軸制御部 1 8 は、残回転量 S_r が総回転量 S_0 の $1/2$ 以下になっているか否かを判断する。 S_r が S_0 の $1/2$ 以下になっている場合、ステップ S 5 で、主軸制御部 1 8（減速動作制御部 3 8）は、主軸 1 2 を中間回転速度 V_i まで減速回転させて切削動作を継続実行する。 S_r が S_0 の $1/2$ 以下になっていない場合はステップ S 3 に戻る。

【 0 0 2 2 】

ここで図 3 を参照すると、現在速度 V_c が最高回転速度 V_0 に到達する前に残回転量 S_r が総回転量 S_0 の $1/2$ になった場合（ステップ S 3 及び S 4 の判断がいずれも Y E S の場合）の、主軸 1 2 の切削動作の一例が、速度 - 時間曲線（時間軸の上側の曲線）で示されている。図 3 において、 V_b は、始動から速度 V_b までは一定トルクでの加速（つまり一定加速度）が可能な回転速度（例えば主軸モータの基底速度）として、主軸 1 2 に予め設定されたものであって、例えば制御装置 1 0 のメモリ（図示せず）に制御用パラメータの 1 つとして格納できるものである。なお実用上、速度 V_b は、主軸モータの基底速度（主軸モータと主軸 1 2 との間に減速比が存在する場合は減速比を考慮した速度）以下であればよい。

【 0 0 2 3 】

ステップ S 2 における主軸 1 2 の最大能力の加速回転は、図 3 の時間 T_1 及び T_2 で実行され、時間 T_1 （加工開始位置での始動から速度 V_b に達するまでの時間）の一定加速度の間に最大加速度 A_0 が検出される。主軸 1 2 の回転速度が V_b を超えると、主軸モータの特性により、主軸 1 2 の加速度は最大加速度 A_0 から漸減する。残回転量 S_r が総回転量 S_0 の $1/2$ になった（つまり加工開始からの回転量が総回転量 S_0 の $1/2$ になっ

10

20

30

40

50

た) 時点A (ステップS4の判断がYESとなった時点) で、主軸12の動作は加速回転から減速回転に変わり、時間T3で、ステップS5における主軸12の減速回転が実行される。

【0024】

時間T3 (ステップS5) においても、主軸制御部18 (残回転量検出部34、現在速度検出部36) は、主軸12の現在位置からの残回転量Sr及び現在速度Vcを逐次検出する。そして主軸制御部18 (減速動作制御部38) は、時間T3 (ステップS5) において、速度制御により点Aから主軸12を中間回転速度Viまで減速回転させるが、この間、減速回転のための速度指令Cvを、残回転量Srと現在速度Vcとを用いて逐次更新する (速度指令Cvを図3に破線で示す)。具体的には、減速動作制御部38は、主軸12を所定の中間回転速度Viに到達させたときの主軸12の残回転量Srが、位置決め動作制御部40による位置制御の下で目標ねじ深さに到達するまでの主軸12の位置決め回転量Sposと等しくなるように、速度指令Cvを逐次更新して、逐次更新される速度指令Cvにより主軸12を減速回転させる。

10

【0025】

ここで、位置決め回転量Sposは、位置決め動作制御部40が主軸12を、現在速度Vc (以下の説明では1秒間当りの回転数 (単位はrev/s) とする) から、ステップS2で検出した最大加速度A0 (rev/s²) に対応する最大減速度A0 (負の値) で減速したときに、Sr = 0かつVc = 0となる (つまり目標ねじ深さに到達する) ことが予測される時点B (図3) の位置に対応し、Sr = 0の点から見た残回転量Sr (負の値) の絶対値として、以下の式により求められる。

20

$$\text{公式: } Vc^2 = 2 \times |A0| \times |Sr| \text{ から、} \\ |Sr| = Vc^2 / (2 \times |A0|) = Spos$$

【0026】

この実施形態では、点Bから目標ねじ深さまでの位置制御の演算を容易にするべく、主軸12を点Bから一定の最大減速度A0で減速することを前提としている。したがって点Bでは、主軸12の現在速度VcはVbに達しているものとする。つまり位置決め回転量Sposは、

$$Spos = Vb^2 / (2 \times |A0|)$$

として求めることができる。そしてこの前提によれば、中間回転速度Viは、点Bでの主軸の現在速度Vbとなる。

30

【0027】

上記前提の下で、主軸12を中間回転速度Vi (= Vb) に到達させたときの残回転量Srが主軸12の位置決め回転量Sposに等しいとした場合、時間T3における主軸12の残回転量 (つまり現在位置) Srと現在速度Vc (rev/s) と現在減速度Ac (rev/s²) との関係は、以下の式で表わされる。

$$\text{公式: } Vc^2 - Vb^2 = 2 \times |Ac| \times (Sr - Spos) \text{ から、} \\ |Ac| = (Vc^2 - Vb^2) / (2 \times (Sr - Spos))$$

【0028】

時間T3 (ステップS5) において、主軸制御部18 (減速動作制御部38) は、主軸12の残回転量Srと現在速度Vcとを常時監視して、上記した現在減速度Acに速度指令更新周期Tctl (sec) (つまり減速動作制御部38が速度指令を作成して主軸12に通知する周期) を乗じた値を現在速度Vc (つまり直前の速度指令Cv) から減算し、新たな速度指令Cvとする。速度指令Cvは以下の式で表わされる。

40

$$Cv = Vc - Ac \times Tctl$$

この式に従って、減速動作制御部38は、速度指令Cvを速度指令更新周期Tctlで逐次更新する。主軸12は、点Aから点Bに至る間、逐次更新される速度指令Cvに従って、減速度Acを徐々に増加させながら減速回転し、中間回転速度Vi (= Vb) まで減速したと同時に点Bに到達する (図3)。

【0029】

50

再び図2を参照すると、ステップS6で、主軸制御部18（位置決め動作制御部40）は、主軸12の残回転量 S_r の絶対値 $|S_r|$ が、 $|S_r| = V_b^2 / (2 \times |A_0|)$ （以下、等式1と称する）を満たしているか否か（つまり主軸12の回転位置が点Bに到達したか否か）を判断する。等式1を満たしている場合、ステップS7で、主軸制御部18（位置決め動作制御部40）は、主軸12を最大減速度 A_0 で減速回転して $S_r = 0$ の点（つまり目標ねじ深さ）に到達させるための指令（図3の動作例では、主軸12を目標ねじ深さで停止させるための指令）を作成し、この指令により主軸12を位置制御する。等式1を満たしていない場合は、等式1が満たされるまで判断を繰り返す。主軸12は、主軸制御部18（位置決め動作制御部40）からの指令に従い、点Bから目標ねじ深さに向かって最大減速度 A_0 で減速回転して切削動作を実行し、 $S_r = 0$ になった時点で目標ねじ深さに到達する（図3の動作例では、目標ねじ深さで停止する）。このように、点Bから目標ねじ深さに到達するまでの時間 T_4 （図3）では、主軸制御部18は主軸12を位置制御することになる（位置指令から求められた定加速度状の速度指令を破線で例示する）。

10

【0030】

ステップS3で、現在速度 V_c が最高回転速度 V_0 に到達していると判断した場合、ステップS8で、主軸制御部18は、最高回転速度 V_0 に到達したときの主軸12の、加工開始位置からの回転量（つまり回転位置 FBS ）を、加速時回転量 S_a として保存する。そしてステップS9で、主軸制御部18は、残回転量 S_r が加速時回転量 S_a 以下になっているか否かを判断する。 S_r が S_a 以下になっている場合、ステップS5に進み、次いでステップS6及びステップS7を実行して、目標ねじ深さまでの切削動作を行う。 S_r が S_a 以下になっていない場合は、 S_r が S_a 以下になるまで判断を繰り返す。

20

【0031】

ここで図4を参照すると、残回転量 S_r が総回転量 S_0 の $1/2$ になる前に現在速度 V_c が最高回転速度 V_0 に到達した場合（ステップS3の判断がNOの場合）の、主軸12の切削動作の一例が、速度-時間曲線（時間軸の上側の曲線）で示されている。図4に示すように、ステップS2における主軸12の最大能力の加速回転が時間 T_1 及び T_2 で実行され、時間 T_1 （加工開始位置での始動から速度 V_b に達するまでの時間）の一定加速速度の間に最大加速度 A_0 が検出される。主軸12の回転速度が V_b を超えると、主軸モータの特性により、主軸12の加速度が最大加速度 A_0 から漸減する。主軸12の現在速度 V_c は、残回転量 S_r が総回転量 S_0 の $1/2$ になる前に最高回転速度 V_0 に到達し、その後、時間 T_5 に渡り一定速度 V_0 （加速度零）で主軸12が回転して切削動作を継続する。残回転量 S_r が加速時回転量 S_a に等しくなった時点A（ステップS9の判断がYESとなった時点）で、主軸12の動作は加速回転から減速回転に変わる。次いで、時間 T_3 （ステップS5）で、前述した減速度 A_c を漸増させながらの主軸12の減速回転（速度制御）が実行され、時間 T_4 （ステップS7）で、最大減速度 A_0 での主軸12の減速回転（位置制御）が実行される。時間 T_1 、 T_2 、 T_3 及び T_4 では、主軸12は図3に示す動作と同様に動作する。

30

【0032】

図3及び図4のいずれの動作例においても、主軸制御部18が主軸12の加工開始位置から目標ねじ深さまでの回転動作を制御する間、送り軸制御部22（図1）は、主軸12の回転位置 FBS を用いて、送り軸14を主軸12の動作に追従するように制御して送り動作を行わせる。数値制御部16は、主軸制御部18がステップS1～ステップS9の処理を実行する間、主軸制御部18から通知される残回転量 S_r を監視して、残回転量 S_r が第1の所定値（零に近い極小値）以下になったときに、タップ加工が目標ねじ深さに達したと判断する。

40

【0033】

工作機械を用いたタップ加工においては、ワークの下穴を目標ねじ深さまで切削加工した後、工具をワークから引き抜くための主軸12の戻り動作を実行する必要がある。上記実施形態において、位置決め動作制御部40が主軸12を目標ねじ深さで停止させるよう

50

に構成される場合、制御装置 10 は、この戻り動作に際し、加工開始位置から目標ねじ深さまでの上記した切削動作制御と同様の制御を行うことができる。図 5 は、制御装置 10 が実行する工作機械制御方法の一実施形態としての、タップ加工における主軸 12 の戻り動作制御方法を示す。また図 3 及び図 4 は、前述した主軸 12 の切削動作に加えて、同切削動作に対応する主軸 12 の戻り動作を、速度 - 時間曲線（時間軸の下側の曲線）で示している。以下、図 3 ~ 図 5 を図 1 と共に参照して、制御装置 10 による戻り動作の制御フローの一例を説明する。

【 0 0 3 4 】

数値制御部 16（主軸指令出力部 26）は、図 2 の処理フローでタップ加工が目標ねじ深さに達したと判断した後に、ステップ S 10 で、プログラム解釈部 24 が解釈したタップ加工プログラム P の指令値から、目標ねじ深さから戻り完了位置に至る間の主軸 12 の総戻り回転量 S_0 と最高戻り回転速度 V_0 とを取得して、これら総戻り回転量 S_0 と最高戻り回転速度 V_0 とを主軸指令 CS として主軸制御部 18 に送る。戻り動作の主軸指令 CS も、主軸 12 を戻り完了位置まで回転運動させるための位置指令や加減速指令を含まないものとなっている。なお戻り完了位置は、加工開始位置と同一であってもよいし、加工開始位置と異なってもよい。戻り完了位置が加工開始位置と同一の場合、総戻り回転量 S_0 は切削時の総回転量 S_0 と等しくなるが、最高戻り回転速度 V_0 は切削時の最高回転速度 V_0 に必ずしも一致しない。また、総戻り回転量 S_0 及び最高戻り回転速度 V_0 が切削時の総回転量 S_0 及び最高回転速度 V_0 と同一の場合、戻り動作は切削動作と実質的に同じ速度 - 時間曲線を示すが、総戻り回転量 S_0 及び最高戻り回転速度 V_0 が切削時の総回転量 S_0 及び最高回転速度 V_0 と異なる場合、戻り動作は切削動作と必ずしも同じ速度 - 時間曲線を示さない。

【 0 0 3 5 】

ステップ S 11 で、主軸制御部 18（初期動作制御部 30、最大加速度検出部 32、残回転量検出部 34）は以下の処理を行う。初期動作制御部 30 は、最高戻り回転速度 V_0 を目標値とする速度制御により、目標ねじ深さ（速度零）から主軸 12 を、駆動源の許容電流を最大限に利用した最大能力で加速逆回転させて戻り動作を実行する。最大加速度検出部 32 は、目標ねじ深さからの最大能力での加速逆回転中に回転位置 FBS に基づき主軸 12 の逆回転の最大加速度 A_0 を検出する。残回転量検出部 34 は、総戻り回転量 S_0 と回転位置 FBS とに基づき、現在位置から戻り完了位置に至るまでの主軸 12 の残戻り回転量 S_r を逐次検出する。検出した残戻り回転量 S_r は、検出の都度、主軸制御部 18 が数値制御部 16 に通知する。

【 0 0 3 6 】

次にステップ S 12 で、主軸制御部 18（現在速度検出部 36）は、最大能力での加速逆回転中に回転位置 FBS に基づき逆回転の現在速度 V_c を逐次検出し、検出の都度、現在速度 V_c が最高戻り回転速度 V_0 に到達していないか否かを判断する。 V_c が V_0 に到達していない場合、ステップ S 13 で、主軸制御部 18 は、残戻り回転量 S_r が総戻り回転量 S_0 の $1/2$ 以下になっているか否かを判断する。 S_r が S_0 の $1/2$ 以下になっている場合、ステップ S 14 で、主軸制御部 18（減速動作制御部 38）は、最大能力での加速逆回転の後に、速度制御により主軸 12 を減速逆回転させて戻り動作を継続実行し、中間戻り回転速度 V_i に到達させる。 S_r が S_0 の $1/2$ 以下になっていない場合はステップ S 12 に戻る。

【 0 0 3 7 】

ここで図 3 を参照すると、逆回転の現在速度 V_c が最高戻り回転速度 V_0 に到達する前に残戻り回転量 S_r が総戻り回転量 S_0 の $1/2$ になった場合（ステップ S 12 及び S 13 の判断がいずれも YES の場合）の、主軸 12 の戻り動作の一例が、速度 - 時間曲線（時間軸の下側の曲線）で示されている。ステップ S 11 における主軸 12 の最大能力の加速逆回転は、図 3 の時間 T6 及び T7 で実行され、時間 T6（目標ねじ深さでの始動から前述した速度 V_b （但し逆回転）に達するまでの時間）の一定加速度の間に、逆回転の最大加速度 A_0 が検出される。主軸 12 の回転速度が V_b を超えると、主軸モータ

10

20

30

40

50

タの特性により、主軸 1 2 の加速度は最大加速度 A_0 から漸減する。残戻り回転量 S_r が総戻り回転量 S_0 の $1/2$ になった（つまり戻り開始からの回転量が総戻り回転量 S_0 の $1/2$ になった）時点 C（ステップ S 1 3 の判断が YES となった時点）で、主軸 1 2 の動作は加速逆回転から減速逆回転に変わり、時間 T 8 で、ステップ S 1 4 における主軸 1 2 の減速逆回転が実行される。

【0038】

時間 T 8（ステップ S 1 4）においても、主軸制御部 1 8（残回転量検出部 3 4、現在速度検出部 3 6）は、主軸 1 2 の現在位置からの残戻り回転量 S_r 及び逆回転の現在速度 V_c を逐次検出する。そして主軸制御部 1 8（減速動作制御部 3 8）は、時間 T 8（ステップ S 1 4）において、速度制御により点 C から主軸 1 2 を中間戻り回転速度 V_i まで減速逆回転させるが、この間、減速逆回転のための速度指令 C_v を、残戻り回転量 S_r と逆回転の現在速度 V_c とを用いて逐次更新する（速度指令 C_v を図 3 に破線で示す）。具体的には、減速動作制御部 3 8 は、主軸 1 2 を所定の中間戻り回転速度 V_i に到達させたときの主軸 1 2 の残戻り回転量 S_r が、位置決め動作制御部 4 0 による位置制御の下で戻り完了位置で停止するまでの主軸 1 2 の位置決め戻り回転量 S_{pos} と等しくなるように、速度指令 C_v を逐次更新して、逐次更新される速度指令 C_v により主軸 1 2 を減速逆回転させる。

10

【0039】

ここで、位置決め回転量 S_{pos} は、前述した位置決め回転量 S_{pos} と同様に以下の式により求められる。

20

$$S_{pos} = V_b^2 / (2 \times |A_0|)$$

なお、この実施形態では、点 D から戻り完了位置までの位置制御の演算を容易にするべく、主軸 1 2 を点 D から一定の最大減速度 A_0 （逆回転の最大加速度 A_0 に対応（負の値））で減速することを前提としている。したがって点 D では、主軸 1 2 の現在速度 V_c は V_b に達しているものとする（つまり中間戻り回転速度 $V_i = V_b$ ）。

【0040】

上記前提の下で、主軸 1 2 を中間戻り回転速度 V_i （ $= V_b$ ）に到達させたときの残戻り回転量 S_r が主軸 1 2 の位置決め戻り回転量 S_{pos} に等しいとした場合、時間 T 8 における主軸 1 2 の残戻り回転量（つまり現在位置） S_r と現在速度 V_c （ rev/s ）と現在減速度 A_c （ rev/s^2 ）との関係は、以下の式で表わされる。

30

$$\text{公式： } V_c^2 - V_b^2 = 2 \times |A_c| \times (S_r - S_{pos}) \text{ から、}$$

$$|A_c| = (V_c^2 - V_b^2) / (2 \times (S_r - S_{pos}))$$

【0041】

時間 T 8（ステップ S 1 4）において、主軸制御部 1 8（減速動作制御部 3 8）は、主軸 1 2 の残戻り回転量 S_r と逆回転の現在速度 V_c とを常時監視して、上記した現在減速度 A_c に速度指令更新周期 T_{ctl} （ sec ）を乗じた値を現在速度 V_c （つまり直前の速度指令 C_v ）から減算し、新たな速度指令 C_v とする。速度指令 C_v は以下の式で表わされる。

$$C_v = V_c - A_c \times T_{ctl}$$

この式に従って、減速動作制御部 3 8 は、速度指令 C_v を速度指令更新周期 T_{ctl} で逐次更新する。主軸 1 2 は、点 C から点 D に至る間、逐次更新される速度指令 C_v に従って、減速度 A_c を徐々に増加させながら減速逆回転し、中間戻り回転速度 V_i （ $= V_b$ ）まで減速したと同時に点 D に到達する（図 3）。

40

【0042】

再び図 5 を参照すると、ステップ S 1 5 で、主軸制御部 1 8（位置決め動作制御部 4 0）は、主軸 1 2 の残戻り回転量 S_r の絶対値 $|S_r|$ が、 $|S_r| = V_b^2 / (2 \times |A_0|)$ （以下、等式 2 と称する）を満たしているか否か（つまり主軸 1 2 の回転位置が点 D に到達したか否か）を判断する。等式 2 を満たしている場合、ステップ S 1 6 で、主軸制御部 1 8（位置決め動作制御部 4 0）は、主軸 1 2 を最大減速度 A_0 で減速逆回転して $S_r = 0$ の点（つまり戻り完了位置）で停止させるための指令を作成し、こ

50

の指令により主軸 1 2 を位置制御する。等式 2 を満たしていない場合は、等式 2 が満たされるまで判断を繰り返す。主軸 1 2 は、主軸制御部 1 8 (位置決め動作制御部 4 0) からの指令に従い、点 D から戻り完了位置に向かって最大減速度 A_0 で減速逆回転して戻り動作を実行し、 $S_r = 0$ になった時点で戻り完了位置に到達して停止する。このように、点 D から戻り完了位置に到達するまでの時間 T_9 (図 3) では、主軸制御部 1 8 は主軸 1 2 を位置制御することになる (位置指令から求められた定加速度状の速度指令を破線で例示する)。

【 0 0 4 3 】

ステップ S 1 2 で、現在速度 V_c が最高戻り回転速度 V_0 に到達していると判断した場合、ステップ S 1 7 で、主軸制御部 1 8 は、最高戻り回転速度 V_0 に到達したときの主軸 1 2 の、目標ねじ深さからの回転量 (つまり回転位置 FBS) を、戻り動作の加速時回転量 S_a として保存する。そしてステップ S 1 8 で、主軸制御部 1 8 は、残戻り回転量 S_r が加速時回転量 S_a 以下になっているか否かを判断する。 S_r が S_a 以下になっている場合、ステップ S 1 4 に進み、次いでステップ S 1 5 及びステップ S 1 6 を実行して、戻り完了位置までの戻り動作を行う。 S_r が S_a 以下になっていない場合は、 S_r が S_a 以下になるまで判断を繰り返す。

【 0 0 4 4 】

ここで図 4 を参照すると、残戻り回転量 S_r が総戻り回転量 S_0 の $1/2$ になる前に逆回転の現在速度 V_c が最高戻り回転速度 V_0 に到達した場合 (ステップ S 1 2 の判断が NO の場合) の、主軸 1 2 の戻り動作の一例が、速度 - 時間曲線 (時間軸の下側の曲線) で示されている。図 4 に示すように、ステップ S 1 1 における主軸 1 2 の最大能力の加速逆回転が時間 T_6 及び T_7 で実行され、時間 T_6 (目標ねじ深さでの始動から前述した速度 V_b (但し逆回転) に達するまでの時間) の一定加速度の間に、逆回転の最大加速度 A_0 が検出される。主軸 1 2 の回転速度が V_b を超えると、主軸モータの特性により、主軸 1 2 の加速度が最大加速度 A_0 から漸減する。主軸 1 2 の現在速度 V_c は、残戻り回転量 S_r が総戻り回転量 S_0 の $1/2$ になる前に最高戻り回転速度 V_0 に到達し、その後、時間 T_{10} に渡り一定速度 V_0 (加速度零) で主軸 1 2 が逆回転して戻り動作を継続する。残戻り回転量 S_r が加速時回転量 S_a に等しくなった時点 C (ステップ S 1 8 の判断が YES となった時点) で、主軸 1 2 の動作は加速逆回転から減速逆回転に変わる。次いで、時間 T_8 (ステップ S 1 4) で、前述した減速度 A_c を漸増させながらの主軸 1 2 の減速逆回転 (速度制御) が実行され、時間 T_9 (ステップ S 1 6) で、最大減速度 A_0 での主軸 1 2 の減速逆回転 (位置制御) が実行される。時間 T_6 、 T_7 、 T_8 及び T_9 では、主軸 1 2 は図 3 に示す動作と同様に動作する。

【 0 0 4 5 】

図 3 及び図 4 のいずれの動作例においても、主軸制御部 1 8 が主軸 1 2 の目標ねじ深さから戻り完了位置までの逆回転動作を制御する間、送り軸制御部 2 2 (図 1) は、主軸 1 2 の回転位置 FBS を用いて、送り軸 1 4 を主軸 1 2 の動作に追従するように制御して逆送り動作を行わせる。数値制御部 1 6 は、主軸制御部 1 8 がステップ S 1 0 ~ ステップ S 1 8 の処理を実行する間、主軸制御部 1 8 から通知される残戻り回転量 S_r を監視して、残戻り回転量 S_r が第 2 の所定値 (零に近い極小値) 以下になったときに、戻り動作が完了して工具がワークから引き抜かれたと判断する。

【 0 0 4 6 】

図 1 ~ 図 5 に示す実施形態による制御装置 1 0 は、主軸 1 2 に加工開始位置から目標ねじ深さまでの切削動作を行わせる際に、数値制御部 1 6 が主軸制御部 1 8 に対して、主軸 1 2 の総回転量 S_0 と最高回転速度 V_0 のみを主軸指令 CS として通知し、主軸制御部 1 8 がこの主軸指令 CS に従い、最高回転速度 V_0 を目標に許容電流を最大限に使用した最大出力で主軸 1 2 を加速させて切削動作を実行するとともに、その間の最大加速度 A_0 と逐次検出する主軸 1 2 の残回転量 S_r 及び現在速度 V_c とに基づき、主軸 1 2 を最大減速度 A_0 で減速させながら目標ねじ深さまでの切削動作を最短時間で継続実行して目標ねじ深さに到達させるように構成されている。したがって制御装置 1 0 によれば、数値制御部

10

20

30

40

50

16 に対し主軸 12 の出力特性に対応する加減速指令を作成するためのパラメータの設定や調整等を行う必要がなく、より簡単な構成で、主軸 12 の加速能力を最大限に発揮させる加減速制御を行って、タップ加工のサイクルタイムを短縮することが可能になる。

【0047】

しかも制御装置 10 は、主軸 12 の最大能力での加速回転の後に、主軸 12 の残回転量 S_r と現在速度 V_c とに応じて、減速回転のための速度指令 C_v を逐次更新し、漸増する減速度 A_c で点 A から主軸 12 を減速回転させて、中間回転速度 $V_i (= V_b)$ に達したときの残回転量 S_r が位置決め回転量 S_{pos} と等しくなる速度制御を実行するようにしたから、点 B から主軸 12 を最大減速度 A_0 で減速させる位置制御への、速度制御からの切り替えを、待ち時間を要することなく円滑に行うことができる。この待ち時間は、点 A から速度 V_b を一定の目標値として主軸 12 を最大能力で減速回転する場合に、その後の位置制御を正確に点 B から開始できるようにするべく、速度 V_b への到達後に主軸 12 を僅かに定速回転させる間に消費されるものである。したがって制御装置 10 によれば、主軸 12 の減速回転中の速度制御から位置制御への切り替えに待ち時間を要しないので、タップ加工のサイクルタイムをさらに短縮することができ、また、速度制御から位置制御への切替時における加速度の急激な変化を回避できるので、加速度の変化に起因して主軸 12 に生じ得る機械構造上の衝撃を軽減できる。

10

【0048】

また、上記実施形態による制御装置 10 は、主軸 12 に目標ねじ深さから戻り完了位置までの戻り動作を行わせる際に、数値制御部 16 が主軸制御部 18 に対して、主軸 12 の総戻り回転量 S_0 と最高戻り回転速度 V_0 のみを主軸指令 C_S として通知し、主軸制御部 18 がこの主軸指令 C_S に従い、最高戻り回転速度 V_0 を目標に許容電流を最大限に使用した最大出力で主軸 12 を加速させて戻り動作を実行するとともに、その間の最大加速度 A_0 と逐次検出する主軸 12 の残戻り回転量 S_r 及び現在速度 V_c とに基づき、主軸 12 を最大減速度 A_0 で減速させながら戻り完了位置までの戻り動作を最短時間で継続実行して戻り完了位置で停止させるように構成されている。したがって制御装置 10 によれば、数値制御部 12 に対し主軸 12 の出力特性に対応する加減速指令を作成するためのパラメータの設定や調整等を行う必要がなく、より簡単な構成で、主軸 12 の加速能力を最大限に発揮させる加減速制御を行って、タップ加工のサイクルタイムを短縮することが可能になる。

20

30

【0049】

しかも制御装置 10 は、主軸 12 の最大能力での加速逆回転の後に、主軸 12 の残戻り回転量 S_r と現在速度 V_c とに応じて、減速逆回転のための速度指令 C_v を逐次更新し、漸増する減速度 A_c で点 C から主軸 12 を減速逆回転させて、中間戻り回転速度 $V_i (= V_b)$ に達したときの残戻り回転量 S_r が位置決め戻り回転量 S_{pos} と等しくなる速度制御を実行するようにしたから、点 D から主軸 12 を最大減速度 A_0 で減速させる位置制御への、速度制御からの切り替えを、前述した待ち時間を要することなく円滑に行うことができる。したがって制御装置 10 によれば、主軸 12 の減速逆回転中の速度制御から位置制御への切り替えに待ち時間を要しないので、タップ加工のサイクルタイムをさらに短縮することができ、また、速度制御から位置制御への切替時における加速度の急激な変化を回避できるので、加速度の変化に起因して主軸 12 に生じ得る機械構造上の衝撃を軽減できる。

40

【0050】

図 1 に示す制御装置 10 は、上記した工作機械制御方法とは異なる工作機械制御方法を実行できる。図 6 は、制御装置 10 が実行できる工作機械制御方法の他の実施形態としての、タップ加工における主軸 12 の切削及び戻り動作制御方法を示す。また図 7 及び図 8 は、それぞれ図 3 及び図 4 に対応する図であって、図 6 の実施形態における主軸 12 の切削及び戻り動作の 2 つの例を示す。以下、図 1、図 2、図 5 ~ 図 8 を参照して、他の実施形態による工作機械制御方法（タップ加工の切削及び戻り動作制御方法）、並びに当該方法を実行する制御装置 10 の構成を説明する。

50

【 0 0 5 1 】

概説すると、図 6 ~ 図 8 の実施形態において、制御装置 1 0 は、主軸 1 2 を加工開始位置（回転位置）から目標ねじ深さ（回転位置）に到達させるまでの間は、図 2 に示すタップ加工の切削動作制御方法と同様のステップを実行して、主軸 1 2 の切削動作を制御する。そして制御装置 1 0 の主軸制御部 1 8（位置決め動作制御部 4 0）は、主軸 1 2 を目標ねじ深さに到達させたときに、主軸 1 2 を目標ねじ深さで停止させることなく（つまり加速度を零にすることなく）、最大能力での減速回転における最大減速度 A_0 （負の値）と同じ逆回転の最大加速度 A_0 （負の値）で、主軸 1 2 を、目標ねじ深さよりも予め定めた回転数だけ戻った回転位置（以下、初期戻り位置）まで、最大能力で加速逆回転させるように構成される。主軸 1 2 を初期戻り位置まで加速逆回転させた後は、制御装置 1 0 は、図 5 に示すタップ加工の戻り動作制御方法と同様のステップを実行して、主軸 1 2 の戻り動作を制御する。この実施形態の構成を以下に詳述するが、図 2 及び図 5 のフローチャートの構成要素に対応する構成要素の説明は適宜省略する。

10

【 0 0 5 2 】

図 6 に示すように、制御装置 1 0 はまずステップ U 1 で、図 2 に示すステップ S 1 ~ S 6、S 8、S 9 を実行する。すなわち、数値制御部 1 6（主軸指令出力部 2 6）は主軸制御部 1 8 に、主軸 1 2 の総回転量 S_0 と最高回転速度 V_0 とを指令する（ステップ S 1）。主軸制御部 1 8（初期動作制御部 3 0、最大加速度検出部 3 2、残回転量検出部 3 4）は、加工開始位置から、最高回転速度 V_0 を目標速度として主軸 1 2 を最大能力で加速回転させて切削動作を実行し、その間の最大加速度 A_0 及び残回転量 S_r を検出する（ステップ S 2）。次いで主軸制御部 1 8（現在速度検出部 3 6）は、最大能力での加速回転中に現在速度 V_c を逐次検出し、現在速度 V_c が最高回転速度 V_0 に到達していないか否かを判断する（ステップ S 3）。 V_c が V_0 に到達していない場合、主軸制御部 1 8 は、残回転量 S_r が総回転量 S_0 の $1/2$ 以下になっているか否かを判断し（ステップ S 4）、 S_r が S_0 の $1/2$ 以下になっている場合、主軸制御部 1 8（減速動作制御部 3 8）は、主軸 1 2 を中間回転速度 $V_i (= V_b)$ まで減速回転させて切削動作を継続実行する（ステップ S 5）。他方、現在速度 V_c が最高回転速度 V_0 に到達していると判断（ステップ S 3）した場合、主軸制御部 1 8 は、最高回転速度 V_0 に到達したときの主軸 1 2 の、加工開始位置からの回転量（つまり回転位置 FBS ）を、加速時回転量 S_a として保存し（ステップ S 8）、残回転量 S_r が加速時回転量 S_a 以下になっているか否かを判断する（ステップ S 9）。 S_r が S_a 以下になっている場合、主軸制御部 1 8（減速動作制御部 3 8）は、主軸 1 2 を中間回転速度 $V_i (= V_b)$ まで減速回転させて切削動作を継続実行する（ステップ S 5）。次いで主軸制御部 1 8（位置決め動作制御部 4 0）は、主軸 1 2 の現在位置における残回転量 S_r が、 $|S_r| = V_b^2 / (2 \times |A_0|)$ （等式 1）を満たしているか否かを判断する（ステップ S 6）。

20

30

【 0 0 5 3 】

ここで図 7 を参照すると、図 6 のステップ U 1 において、切削動作中に現在速度 V_c が最高回転速度 V_0 に到達する前に残回転量 S_r が総回転量 S_0 の $1/2$ になった場合（図 2 のステップ S 3 及び S 4 の判断がいずれも YES の場合）の、主軸 1 2 の切削動作の一例が、速度 - 時間曲線（時間軸の上側の曲線）で示されている。図 7 の速度 - 時間曲線における時間 T_1 、 T_2 、 T_3 及び T_4 の主軸 1 2 の動作は、前述した図 3 の速度 - 時間曲線における時間 T_1 、 T_2 、 T_3 及び T_4 の主軸 1 2 の動作に対応する。すなわち図 7 に示すように、時間 T_1 及び T_2 で、主軸 1 2 の最大能力の加速回転（速度制御）が実行され、残回転量 S_r が総回転量 S_0 の $1/2$ になった時点 A（ステップ S 4 の判断が YES となった時点）で、主軸 1 2 の動作は加速回転から減速回転に変わり、時間 T_3 で、漸増する減速度 A_c での主軸 1 2 の減速回転（速度制御）が実行され、時間 T_4 で、最大減速度 A_0 での主軸 1 2 の減速回転（位置制御）が実行される。

40

【 0 0 5 4 】

制御装置 1 0 がステップ U 1（図 2 のステップ S 1 S 2 S 3 S 4 S 5 S 6）を実行することにより、主軸 1 2 は、図 7 に示す時間 T_1 、 T_2 、 T_3 及び T_4 において

50

、上記したように図3に示す時間T1、T2、T3及びT4の動作と同様に動作する。但し主軸制御部18（位置決め動作制御部40）は、図2のステップS6で、主軸12の残回転量 S_r が前述した等式1を満たしている（つまり主軸12の回転位置が点Bに到達した）と判断したときに、図6のステップU2で、主軸12を最大減速度 A_0 で減速回転して $S_r = 0$ の点（つまり目標ねじ深さ）に到達させた後も引き続き最大減速度 A_0 と同じ逆回転の最大加速度 A_0 （つまり $A_0 = A_0$ ）で主軸12を初期戻り位置（図7の点E）まで加速逆回転させるための指令を作成し、この指令により主軸12を位置制御する。

【0055】

図7に示すように、主軸12は、主軸制御部18（位置決め動作制御部40）からの指令に従い、点Bから目標ねじ深さに向かって最大減速度 A_0 で減速回転しながら切削動作を遂行し、 $S_r = 0$ になった時点で目標ねじ深さに到達する（時間T4）。目標ねじ深さに到達した瞬間、主軸12の現在速度 V_c は零になるが、さらに主軸12は、主軸制御部18（位置決め動作制御部40）からの指令に従い、最大減速度 A_0 を維持して逆回転の最大加速度 A_0 を生じ、現在速度 V_c （負の値）を徐々に増加させる加速逆回転により、時間T6に渡って、目標ねじ深さから点Eに向かう戻り動作を遂行する。このように、点Bから目標ねじ深さに到達するまでの時間T4及び目標ねじ深さから点Eに到達するまでの時間T6において、主軸制御部18は主軸12を位置制御し（ステップU2）、主軸12を一定の加速度（すなわち最大減速度 A_0 及び逆回転の最大加速度 A_0 ）で連続的に動作させる（位置指令から求められた定加速度状の速度指令を破線で例示する）。なお主軸12は、目標ねじ深さで現在速度 V_c が零になるが、これは瞬時的なものであって、目標ねじ深さで停止するものではない。

【0056】

主軸12の初期戻り位置（点E）は任意に設定できる。例えば図7に示すように、切削動作中に最大減速度 A_0 での減速回転（位置制御）を開始した点Bと同様に、主軸12の逆回転の現在速度 V_c が所定速度 V_b に達する位置を、点Eとすることができる。この場合の点Eは、目標ねじ深さから $|S_r| = V_b^2 / (2 \times |A_0|)$ に相当する回転量だけ逆回転した位置となる。時間T6における主軸12の位置制御による戻り動作自体は、図3に示す時間T6における主軸12の速度制御による戻り動作に類似するが、制御の特性として、速度制御による最大能力の加速回転時の最大加速度 A_0 （時間T1）に比べて、位置制御による最大能力の減速回転時の最大減速度 A_0 （時間T4）は若干低く抑えられ、その結果、時間T6における逆回転の最大加速度 A_0 も、時間T1の最大加速度 A_0 より若干低くなる傾向がある。

【0057】

他方、図8を参照すると、図6のステップU1において、切削動作中に残回転量 S_r が総回転量 S_0 の1/2になる前に現在速度 V_c が最高回転速度 V_0 に到達した場合（図2のステップS3の判断がNOの場合）の、主軸12の切削動作の一例が、速度-時間曲線（時間軸の上側の曲線）で示されている。図8の速度-時間曲線における時間T1、T2、T5、T3及びT4の主軸12の動作は、前述した図4の速度-時間曲線における時間T1、T2、T5、T3及びT4の主軸12の動作に対応する。すなわち図8に示すように、時間T1及びT2で、主軸12の最大能力の加速回転（速度制御）が実行されて、主軸12の現在速度 V_c が最高回転速度 V_0 に到達し、その後、時間T5に渡り一定速度 V_0 で主軸12が回転して切削動作を継続し、残回転量 S_r が加速時回転量 S_a に等しくなった時点A（ステップS9の判断がYESとなった時点）で、主軸12の動作は加速回転から減速回転に変わり、時間T3で、漸増する減速度 A_c での主軸12の減速回転（速度制御）が実行され、時間T4で、最大減速度 A_0 での主軸12の減速回転（位置制御）が実行される。

【0058】

制御装置10がステップU1（図2のステップS1 S2 S3 S8 S9 S5 S6）を実行することにより、主軸12は、図8に示す時間T1、T2、T5、T3及び

10

20

30

40

50

T 4において、上記したように図 4 に示す時間 T 1、T 2、T 5、T 3 及び T 4 の動作と同様に動作する。但し主軸制御部 1 8 (位置決め動作制御部 4 0) は、図 2 のステップ S 6 で、主軸 1 2 の残回転量 S_r が前述した等式 1 を満たしている (つまり主軸 1 2 の回転位置が点 B に到達した) と判断したときに、図 6 のステップ U 2 で、主軸 1 2 を最大減速度 A_0 で減速回転して $S_r = 0$ の点 (つまり目標ねじ深さ) に到達させた後も引き続き最大減速度 A_0 と同じ逆回転の最大加速度 A_0 (つまり $A_0 = A_0$) で主軸 1 2 を初期戻り位置 (図 8 の点 E) まで加速逆回転させるための指令を作成し、この指令により主軸 1 2 を位置制御する。

【 0 0 5 9 】

図 8 に示すように、主軸 1 2 は、主軸制御部 1 8 (位置決め動作制御部 4 0) からの指令に従い、点 B から目標ねじ深さに向かって最大減速度 A_0 で減速回転しながら切削動作を遂行し、 $S_r = 0$ になった時点で目標ねじ深さに到達する (時間 T 4)。目標ねじ深さに到達した瞬間、主軸 1 2 の現在速度 V_c は零になるが、さらに主軸 1 2 は、主軸制御部 1 8 (位置決め動作制御部 4 0) からの指令に従い、最大減速度 A_0 を維持して逆回転の最大加速度 A_0 を生じ、現在速度 V_c (負の値) を徐々に増加させる加速逆回転により、時間 T 6 に渡って、目標ねじ深さから点 E に向かう戻り動作を遂行する。このように、点 B から目標ねじ深さに到達するまでの時間 T 4 及び目標ねじ深さから点 E に到達するまでの時間 T 6 において、主軸制御部 1 8 は主軸 1 2 を位置制御し (ステップ U 2)、主軸 1 2 を一定の加速度 (すなわち最大減速度 A_0 及び逆回転の最大加速度 A_0) で連続的に動作させる (位置指令から求められた定加速度状の速度指令を破線で例示する)。このように、図 8 に示す時間 T 4 及び T 6 における主軸 1 2 の動作は、図 7 に示す時間 T 4 及び T 6 における主軸 1 2 の動作に対応する。

【 0 0 6 0 】

図 7 及び図 8 のいずれの動作例においても、主軸制御部 1 8 が主軸 1 2 の加工開始位置から目標ねじ深さまでの回転動作を制御する間、送り軸制御部 2 2 は、主軸 1 2 の回転位置 F B S を用いて、送り軸 1 4 を主軸 1 2 の動作に追従するように制御して送り動作を行わせる。数値制御部 1 6 は、主軸制御部 1 8 が上記したステップ U 1 及びステップ U 2 の処理を実行する間、主軸制御部 1 8 から通知される残回転量 S_r を監視して、残回転量 S_r が第 1 の所定値 (零に近い極小値) 以下になったときに、タップ加工が目標ねじ深さに達したと判断する。そして数値制御部 1 6 (主軸指令出力部 2 6) は、タップ加工が目標ねじ深さに達したと判断した後に、ステップ U 2 と並行して、ステップ U 3 (図 6) で、プログラム解釈部 2 4 が解釈したタップ加工プログラム P の指令値から、目標ねじ深さから戻り完了位置に至る間の主軸 1 2 の総戻り回転量 S_0 と最高戻り回転速度 V_0 とを取得して、これら総戻り回転量 S_0 と最高戻り回転速度 V_0 とを主軸指令 C S として主軸制御部 1 8 に送る。

【 0 0 6 1 】

主軸 1 2 が初期戻り位置 (点 E) に到達した後、ステップ U 4 (図 6) で、主軸制御部 1 8 (初期動作制御部 3 0) は、最高戻り回転速度 V_0 を目標速度として初期戻り位置 (点 E) から戻り完了位置に向かって主軸 1 2 を、駆動源の許容電流を最大限に利用した最大能力で加速逆回転させて戻り動作を実行する。また主軸制御部 1 8 (残回転量検出部 3 4) は、総戻り回転量 S_0 と回転位置 F B S とに基づき、現在位置から戻り完了位置に至るまでの主軸 1 2 の残戻り回転量 S_r を逐次検出する。検出した残戻り回転量 S_r は、検出の都度、主軸制御部 1 8 が数値制御部 1 6 に通知する。この実施形態では、最大加速度検出部 3 2 は、時間 T 6 の主軸 1 2 の逆回転の最大加速度を検出せず、時間 T 4 の最大能力での減速回転における最大減速度 A_0 (時間 T 1 における最大加速度 A_0 に相当) を、主軸 1 2 が目標ねじ深さから加速逆回転する間の逆回転の最大加速度 A_0 として取得する。

【 0 0 6 2 】

次に制御装置 1 0 は、ステップ U 5 (図 6) で、図 5 に示すステップ S 1 2 ~ S 1 8 を実行する。すなわち、主軸制御部 1 8 (現在速度検出部 3 6) は、最大能力での加速逆回

10

20

30

40

50

転中に回転位置 F B S に基づき逆回転の現在速度 V_c を逐次検出し、現在速度 V_c が最高戻り回転速度 V_0 に到達していないか否かを判断する（ステップ S 1 2）。 V_c が V_0 に到達していない場合、主軸制御部 1 8 は、残戻り回転量 S_r が総戻り回転量 S_0 の $1/2$ 以下になっているか否かを判断し（ステップ S 1 3）、 S_r が S_0 の $1/2$ 以下になっている場合、主軸制御部 1 8（減速動作制御部 3 8）は、主軸 1 2 を中間戻り回転速度 V_i （ $= V_b$ ）まで減速逆回転させて戻り動作を継続実行する（ステップ S 1 4）。他方、現在速度 V_c が最高戻り回転速度 V_0 に到達していると判断（ステップ S 1 2）した場合、主軸制御部 1 8 は、最高戻り回転速度 V_0 に到達したときの主軸 1 2 の、目標ねじ深さからの回転量（つまり回転位置 F B S）を、戻り動作の加速時回転量 S_a として保存し（ステップ S 1 7）、残戻り回転量 S_r が加速時回転量 S_a

以下になっているか否かを判断する（ステップ S 1 8）。 S_r が S_a 以下になっている場合、主軸制御部 1 8（減速動作制御部 3 8）は、主軸 1 2 を中間戻り回転速度 V_i （ $= V_b$ ）まで減速逆回転させて戻り動作を継続実行する（ステップ S 1 4）。その後、主軸制御部 1 8（位置決め動作制御部 4 0）は、主軸 1 2 の現在位置における残戻り回転量 S_r が、 $|S_r| = V_b^2 / (2 \times |A_0|)$ （等式 2）を満たしているか否かを判断し（ステップ S 1 5）、等式 2 を満たしている場合、主軸 1 2 を最大減速度 A_0 （時間 T_6 における逆回転の最大加速度 A_0 に対応する値）で減速逆回転して $S_r = 0$ の点（つまり戻り完了位置）で停止させるための指令を作成し、この指令により主軸 1 2 を位置制御する（ステップ S 1 6）。主軸 1 2 は、主軸制御部 1 8（位置決め動作制御部 4 0）からの指令に従い、戻り完了位置に向かって最大減速度 A_0 で減速逆回転して戻り動作を実行し、 $S_r = 0$ になった時点で停止する。

10

20

【 0 0 6 3 】

ここで図 7 を参照すると、図 6 のステップ U 5 において、逆回転の現在速度 V_c が最高戻り回転速度 V_0 に到達する前に残戻り回転量 S_r が総戻り回転量 S_0 の $1/2$ になった場合（図 5 のステップ S 1 2 及び S 1 3 の判断がいずれも Y E S の場合）の、主軸 1 2 の戻り動作の一例が、速度 - 時間曲線（時間軸の下側の曲線）で示されている。図 7 の速度 - 時間曲線における時間 T_7 、 T_8 及び T_9 の主軸 1 2 の動作は、前述した図 3 の速度 - 時間曲線における時間 T_7 、 T_8 及び T_9 の主軸 1 2 の動作に対応する。図 7 の動作例では、主軸 1 2 は、時間 T_6 で目標ねじ深さから初期戻り位置（点 E）に到達した後に、逆回転の現在速度 V_c が V_b （負の値）を超えるので、最大能力での加速逆回転

において、主軸モータの特性により、主軸 1 2 の逆回転の加速度が A_0 から漸減する（時間 T_7 ）。残戻り回転量 S_r が総戻り回転量 S_0 の $1/2$ になった時点 C（図 5 のステップ S 1 3 の判断が Y E S となった時点）で、主軸 1 2 の動作は加速逆回転から減速逆回転に変わり、時間 T_8 で、漸増する減速度 A_c での主軸 1 2 の減速逆回転（速度制御）が実行され、時間 T_9 で、最大減速度 A_0 での主軸 1 2 の減速逆回転（位置制御）が実行される。

30

【 0 0 6 4 】

他方、図 8 を参照すると、図 6 のステップ U 5 において、残戻り回転量 S_r が総戻り回転量 S_0 の $1/2$ になる前に逆回転の現在速度 V_c が最高戻り回転速度 V_0 に到達した場合（図 5 のステップ S 1 2 の判断が N O の場合）の、主軸 1 2 の戻り動作の一例

が、速度 - 時間曲線（時間軸の下側の曲線）で示されている。図 8 の速度 - 時間曲線における時間 T_7 、 T_{10} 、 T_8 及び T_9 の主軸 1 2 の動作は、前述した図 4 の速度 - 時間曲線における時間 T_7 、 T_{10} 、 T_8 及び T_9 の主軸 1 2 の動作に対応する。図 8 の動作例では、主軸 1 2 が初期戻り位置（点 E）に到達した後の時間 T_7 で、図 7 の動作例と同様の漸減する加速度 A_0 による主軸 1 2 の最大能力の加速逆回転が実行され、主軸 1 2 の現在速度 V_c が最高戻り回転速度 V_0 に到達する。その後、時間 T_{10} に渡り一定速度 V_0 で主軸 1 2 が逆回転して戻り動作を継続する。残戻り回転量 S_r が加速時回転量 S_a に等しくなった時点 C（図 5 のステップ S 1 8 の判断が Y E S となった時点）で、主軸 1 2 の動作は加速逆回転から減速逆回転に変わり、時間 T_8 で、漸増する減速度 A_c での主軸 1 2 の減速逆回転（速度制御）が実行され、時間 T_9 で、最大減速度 A_0

40

50

での主軸 1 2 の減速逆回転（位置制御）が実行される。

【 0 0 6 5 】

図 7 及び図 8 のいずれの動作例においても、主軸制御部 1 8 が主軸 1 2 の目標ねじ深さから戻り完了位置までの逆回転動作を制御する間、送り軸制御部 2 2 は、主軸 1 2 の回転位置 F B S を用いて、送り軸 1 4 を主軸 1 2 の動作に追従するように制御して逆送り動作を行わせる。数値制御部 1 6 は、主軸制御部 1 8 が上記したステップ U 3 ~ ステップ U 5 の処理を実行する間、主軸制御部 1 8 から通知される残戻り回転量 S_r を監視して、残戻り回転量 S_r が第 2 の所定値（零に近い極小値）以下になったときに、戻り動作が完了して工具がワークから引き抜かれたと判断する。

【 0 0 6 6 】

図 6 ~ 図 8 に示す実施形態による制御装置 1 0 は、図 1 ~ 図 5 の実施形態による制御装置 1 0 と同様に、主軸 1 2 に加工開始位置から目標ねじ深さまでの切削動作を行わせる際に、数値制御部 1 6 が主軸制御部 1 8 に対して、主軸 1 2 の総回転量 S_0 と最高回転速度 V_0 のみを主軸指令 C_S として通知し、主軸制御部 1 8 がこの主軸指令 C_S に従い、最高回転速度 V_0 を目標に許容電流を最大限に使用した最大出力で主軸 1 2 を加速させて切削動作を実行するとともに、その間の最大加速度 A_0 と逐次検出する主軸 1 2 の残回転量 S_r 及び現在速度 V_c とに基づき、主軸 1 2 を最大減速度 A_0 で減速させながら目標ねじ深さまでの切削動作を最短時間で継続実行して目標ねじ深さに到達させるように構成されている。したがって制御装置 1 0 によれば、数値制御部 1 6 に対し主軸 1 2 の出力特性に対応する加減速指令を作成するためのパラメータの設定や調整等を行う必要がなく、より簡単な構成で、主軸 1 2 の加速能力を最大限に発揮させる加減速制御を行って、タップ加工のサイクルタイムを短縮することが可能になる。

【 0 0 6 7 】

しかも制御装置 1 0 は、主軸 1 2 の最大能力での加速回転の後に、主軸 1 2 の残回転量 S_r と現在速度 V_c とに応じて、減速回転のための速度指令 C_v を逐次更新し、漸増する減速度 A_c で点 A から主軸 1 2 を減速回転させて、中間回転速度 $V_i (= V_b)$ に達したときの残回転量 S_r が位置決め回転量 S_{pos} と等しくなる速度制御を実行するようにしたから、点 B から主軸 1 2 を最大減速度 A_0 で減速させる位置制御への、速度制御からの切り替えを、前述した待ち時間を要することなく円滑に行うことができる。したがって制御装置 1 0 によれば、主軸 1 2 の減速回転中の速度制御から位置制御への切り替えに待ち時間を要しないので、タップ加工のサイクルタイムをさらに短縮することができ、また、速度制御から位置制御への切替時における加速度の急激な変化を回避できるので、加速度の変化に起因して主軸 1 2 に生じ得る機械構造上の衝撃を軽減できる。

【 0 0 6 8 】

さらに、図 6 ~ 図 8 に示す実施形態による制御装置 1 0 は、主軸 1 2 に目標ねじ深さから戻り完了位置までの戻り動作を行わせる際に、切削動作の終了時に主軸 1 2 を目標ねじ深さで停止させることなく（つまり加速度を零にすることなく）、最大減速度 A_0 （負の値）と同じ逆回転の最大加速度 A_0 （負の値）で、主軸 1 2 を所定の初期戻り位置まで位置制御で加速逆回転させるように構成されている。この構成により、主軸 1 2 の動作を切削動作から戻り動作に切り替えるときの加速度の変化が無くなるので、加速度の変化に起因して主軸 1 2 に生じ得る機械構造上の衝撃や、加速度の変化に起因して主軸 1 2 と送り軸 1 4 との間に生じ得る同期誤差の増加を、未然に回避することができる。

【 0 0 6 9 】

図 6 ~ 図 8 に示す実施形態による制御装置 1 0 では、主軸 1 2 を初期戻り位置まで位置制御で加速逆回転させた後は、数値制御部 1 6 が主軸制御部 1 8 に対して通知した主軸 1 2 の総戻り回転量 S_0 と最高戻り回転速度 V_0 のみの主軸指令 C_S に従い、主軸 1 2 を最大出力で加速させて戻り動作を実行するとともに、動作反転時の逆回転の最大加速度 A_0 に対応する最大減速度 A_0 で主軸 1 2 を減速させながら戻り完了位置までの戻り動作を最短時間で継続実行して戻り完了位置で停止させるように構成されている。したがって制御装置 1 0 によれば、数値制御部 1 2 に対し主軸 1 2 の出力特性に対応する加減速

10

20

30

40

50

指令を作成するためのパラメータの設定や調整等を行う必要がなく、より簡単な構成で、主軸 1 2 の加速能力を最大限に発揮させる加減速制御を行って、タップ加工のサイクルタイムを短縮することが可能になる。

【 0 0 7 0 】

ところで、工作機械を用いたタップ加工においては、制御装置がタップ加工の間に主軸の回転位置や送り軸の送り位置を継続して認識することが望ましい。図 9 は、主軸及び送り軸の位置認識機能を付加した変形例による制御装置 5 0 の構成を機能ブロックで示す。制御装置 5 0 は、位置認識機能を付加した点以外は、図 1 の制御装置 1 0 と同様の構成を有する。対応する構成要素には共通する参照符号を付して、その詳細な説明を省略する。

【 0 0 7 1 】

制御装置 5 0 は、タップ加工プログラム P に基づき主軸指令 C S 及び送り軸指令 C F を作成する数値制御部 1 6 と、主軸指令 C S に従って主軸 1 2 の回転動作を制御する主軸制御部 1 8 と、主軸 1 2 の回転位置を検出する回転検出部 2 0 と、送り軸指令 C F に従って、回転検出部 2 0 が検出した回転位置に基づき送り軸 1 4 の送り動作を制御する送り軸制御部 2 2 と、送り軸 1 4 の送り位置を検出する送り検出部 5 2 とを備える。数値制御部 1 6 の送り軸指令出力部 2 8 は、タップ加工の開始に先立ち、プログラム解釈部 2 4 が解釈したタップ加工プログラム P の指令値から、目標ねじ深さに相当する送り軸 1 4 の総送り量 D_0 (mm) とねじピッチ P (mm/rev) とを取得して、これら総送り量 D_0 とねじピッチ P とを送り軸指令 C F として送り軸制御部 2 2 に送る。このように送り軸指令 C F は、送り軸 1 4 を目標ねじ深さまで送り運動させるための位置指令や加減速指令を含まないものとなっている。

【 0 0 7 2 】

送り軸制御部 2 2 は、回転検出部 2 0 が検出した主軸 1 2 の回転位置 F B S と、ねじピッチ P と、送り検出部 5 2 が検出した送り軸 1 4 の送り位置 F B F (すなわちフィードバック値) とに基づき、送り軸 1 4 の送り動作を制御する送り動作制御部 5 4 と、総送り量 D_0 と送り位置 F B F とに基づき、現在位置から目標ねじ深さに至るまでの送り軸 1 4 の残送り量 D_r を検出する残送り量検出部 5 6 とを備える。なお送り検出部 5 2 は、送り軸 1 4 の駆動装置の動作位置を検出するエンコーダ等の位置検出器 (図示せず) の出力から、送り位置 F B F を取得することができる。

【 0 0 7 3 】

主軸制御部 1 8 の残回転量検出部 3 4 は、主軸 1 2 を加工開始位置から目標ねじ深さまで切削動作させる間、主軸 1 2 の現在位置からの残回転量 S_r を逐次検出し、検出の都度、残回転量 S_r を数値制御部 1 6 に通知する。送り軸制御部 2 2 の残送り量検出部 5 6 は、送り軸 1 4 を加工開始位置から目標ねじ深さまで送り動作させる間、送り軸 1 4 の現在位置からの残送り量 D_r を逐次検出し、検出の都度、残送り量 D_r を数値制御部 1 6 に通知する。さらに送り軸制御部 2 2 は、加工開始時の送り軸 1 4 の初期位置 D_i (送り位置 F B F) を数値制御部 1 6 に通知する。

【 0 0 7 4 】

数値制御部 1 6 は、残回転量 S_r に基づき主軸 1 2 の現在位置を認識するとともに残送り量 D_r に基づき送り軸 1 4 の現在位置を認識する位置認識部 5 8 を備える。位置認識部 5 8 は、タップ加工プログラム P から取得した主軸 1 2 の総回転量 S_0 と、主軸制御部 1 8 から通知された主軸 1 2 の残回転量 S_r とを用いて、主軸 1 2 の現在位置を ($S_0 - S_r$) として認識する。また位置認識部 5 8 は、タップ加工プログラム P から取得した送り軸 1 4 の総送り量 D_0 と、送り軸制御部 2 2 から通知された送り軸 1 4 の残送り量 D_r 及び初期位置 D_i とを用いて、送り軸 1 4 の現在位置を ($D_0 - D_r + D_i$) として認識する。

【 0 0 7 5 】

上記構成を有する制御装置 5 0 では、数値制御部 1 6 が生成する主軸指令 C S に主軸 1 2 の位置指令や加減速指令が含まれず、また数値制御部 1 6 が生成する送り軸指令 C F に送り軸 1 4 の位置指令や加減速指令が含まれない構成であっても、数値制御部 1 6 の位置

10

20

30

40

50

認識部 58 は、主軸 12 及び送り軸 14 の現在位置を認識することができる。したがって制御装置 50 によれば、フィードバック制御を実行する主軸制御部 18 及び送り軸制御部 22 の上位コントローラである数値制御部 16 が、主軸 12 及び送り軸 14 の動作状態を、タップ加工の実行中に常に把握ないし管理でき、以て、タップ加工制御の信頼性を向上させることができる。

【0076】

制御装置 50 においては、タップ加工の戻り動作を制御する間も同様に、数値制御部 16 の位置認識部 58 が、主軸 12 及び送り軸 14 の現在位置を認識することができる。この場合、前述したように数値制御部 16 が、タップ加工が目標ねじ深さに達したと判断したときに、送り軸指令出力部 28 は、プログラム解釈部 24 が解釈したタップ加工プログラム P の指令値から、目標ねじ深さに相当する送り軸 14 の総戻り送り量 D_0 (mm) とねじピッチ P (mm/rev) とを取得して、これら総戻り送り量 D_0 とねじピッチ P とを送り軸指令 CF として送り軸制御部 22 に送る。通常、総戻り送り量 D_0 は総送り量 D_0 に一致する。

【0077】

送り軸制御部 22 の送り動作制御部 54 は、主軸 12 の戻り動作の回転位置 FBS と、ねじピッチ P と、送り軸 14 の戻り動作の送り位置 FBF とに基づき、送り軸 14 の戻り送り動作を制御する。送り軸制御部 22 の残送り量検出部 56 は、総戻り送り量 D_0 と送り位置 FBF とに基づき、現在位置から戻り完了位置に至るまでの送り軸 14 の残戻り送り量 Dr を検出する。主軸制御部 18 の残回転量検出部 34 は、主軸 12 を目標ねじ深さから戻り完了位置まで戻り動作させる間、主軸 12 の現在位置からの残戻り回転量 Sr を逐次検出し、検出の都度、残戻り回転量 Sr を数値制御部 16 に通知する。送り軸制御部 22 の残送り量検出部 56 は、送り軸 14 を目標ねじ深さから戻り完了位置まで戻り送り動作させる間、送り軸 14 の現在位置からの残戻り送り量 Dr を逐次検出し、検出の都度、残戻り送り量 Dr を数値制御部 16 に通知する。さらに送り軸制御部 22 は、戻り動作開始時の送り軸 14 の初期位置 Di (送り位置 FBF) を数値制御部 16 に通知する。数値制御部 16 の位置認識部 58 は、主軸 12 の総戻り回転量 S_0 と残戻り回転量 Sr とを用いて主軸 12 の現在位置 ($S_0 - Sr$) を認識するとともに、送り軸 14 の総戻り送り量 D_0 と残戻り送り量 Dr と初期位置 Di とを用いて送り軸 14 の現在位置 ($D_0 - Dr + Di$) を認識する。

【0078】

工作機械を用いたタップ加工においては、制御装置がタップ加工の間に主軸と送り軸との同期誤差を継続して認識することが望ましい。図 10 は、主軸と送り軸との同期誤差認識機能を付加した変形例による制御装置 60 の構成を機能ブロックで示す。制御装置 60 は、同期誤差認識機能を付加した点以外は、図 1 の制御装置 10 と同様の構成を有する。対応する構成要素には共通する参照符号を付して、その詳細な説明を省略する。

【0079】

制御装置 60 は、タップ加工プログラム P に基づき主軸指令 CS 及び送り軸指令 CF を作成する数値制御部 16 と、主軸指令 CS に従って主軸 12 の回転動作を制御する主軸制御部 18 と、主軸 12 の回転位置を検出する回転検出部 20 と、送り軸指令 CF に従って、回転検出部 20 が検出した回転位置に基づき送り軸 14 の送り動作を制御する送り軸制御部 22 と、送り軸 14 の送り位置を検出する送り検出部 52 とを備える。数値制御部 16 の送り軸指令出力部 28 は、タップ加工の開始に先立ち、プログラム解釈部 24 が解釈したタップ加工プログラム P の指令値から、目標ねじ深さに相当する送り軸 14 の総送り量 D_0 (mm) とねじピッチ P (mm/rev) とを取得して、これら総送り量 D_0 とねじピッチ P とを送り軸指令 CF として送り軸制御部 22 に送る。このように送り軸指令 CF は、送り軸 14 を目標ねじ深さまで送り運動させるための位置指令や加減速指令を含まないものとなっている。

【0080】

送り軸制御部 22 は、回転検出部 20 が検出した主軸 12 の回転位置 FBS と、ねじピ

10

20

30

40

50

ッチPと、送り検出部52が検出した送り軸14の送り位置FBF(すなわちフィードバック値)とに基づき、送り軸14の送り動作を制御する送り動作制御部54と、総送り量D0と送り位置FBFとに基づき、現在位置から目標ねじ深さに至るまでの送り軸14の残送り量Drを検出する残送り量検出部56とを備える。主軸制御部18の残回転量検出部34は、主軸12を加工開始位置から目標ねじ深さまで切削動作させる間、主軸12の現在位置からの残回転量Srを逐次検出し、検出の都度、残回転量Srを数値制御部16に通知する。送り軸制御部22の残送り量検出部56は、送り軸14を加工開始位置から目標ねじ深さまで送り動作させる間、送り軸14の現在位置からの残送り量Drを逐次検出し、検出の都度、残送り量Drを数値制御部16に通知する。

【0081】

数値制御部16は、残回転量Srと残送り量DrとねじピッチPとに基づき、主軸12と送り軸14との同期運転の同期誤差を計算する同期誤差計算部62を備える。同期誤差計算部62は、主軸制御部18から通知された主軸12の残回転量Sr(rev)と、送り軸制御部22から通知された送り軸14の残送り量Dr(mm)と、ねじピッチP(mm/rev)とを用いて、主軸12と送り軸14との同期誤差Eを下記の式により計算する。

同期誤差Eを主軸12の回転量に換算して計算する場合：

$$E(\text{rev}) = S_r - D_r / P$$

同期誤差Eを送り軸14の送り量に換算して計算する場合：

$$E(\text{mm}) = S_r \times P - D_r$$

【0082】

上記構成を有する制御装置60では、数値制御部16が主軸12及び送り軸14のフィードバック制御を行わない構成であっても、数値制御部16の同期誤差計算部62は、主軸12と送り軸14との同期誤差Eを求めることができる。したがって制御装置60によれば、フィードバック制御を実行する主軸制御部18及び送り軸制御部22の上位コントローラである数値制御部16が、主軸12と送り軸14との同期誤差Eを、タップ加工の実行中に常に把握ないし管理でき、以て、タップ加工制御の信頼性を向上させることができる。

【0083】

制御装置60の数値制御部16は、同期誤差計算部62が求めた同期誤差Eを表示装置64に表示させる表示制御部66を備えることができる。この構成によれば、工作機械がタップ加工を実行している最中に、オペレータが同期誤差Eを逐次確認でき、以て、同期誤差Eに応じた対策を迅速に遂行することが可能になる。

【0084】

制御装置60においては、タップ加工の戻り動作を制御する間も同様に、数値制御部16の同期誤差計算部62が、主軸12と送り軸14との同期誤差Eを計算することができる。この場合、前述したように数値制御部16が、タップ加工が目標ねじ深さに達したと判断したときに、送り軸指令出力部28は、プログラム解釈部24が解釈したタップ加工プログラムPの指令値から、目標ねじ深さに相当する送り軸14の総戻り送り量D0(mm)とねじピッチP(mm/rev)とを取得して、これら総戻り送り量D0とねじピッチPとを送り軸指令CFとして送り軸制御部22に送る。通常、総戻り送り量D0は総送り量D0に一致する。

【0085】

送り軸制御部22の送り動作制御部54は、主軸12の戻り動作の回転位置FBSと、ねじピッチPと、送り軸14の戻り動作の送り位置FBFとに基づき、送り軸14の戻り送り動作を制御する。送り軸制御部22の残送り量検出部56は、総戻り送り量D0と送り位置FBFとに基づき、現在位置から戻り完了位置に至るまでの送り軸14の残戻り送り量Drを検出する。主軸制御部18の残回転量検出部34は、主軸12を目標ねじ深さから戻り完了位置まで戻り動作させる間、主軸12の現在位置からの残戻り回転量Srを逐次検出し、検出の都度、残戻り回転量Srを数値制御部16に通知する。送り

10

20

30

40

50

軸制御部 22 の残送り量検出部 56 は、送り軸 14 を目標ねじ深さから戻り完了位置まで戻り送り動作させる間、送り軸 14 の現在位置からの残戻り送り量 D_r を逐次検出し、検出の都度、残戻り送り量 D_r を数値制御部 16 に通知する。数値制御部 16 の同期誤差計算部 62 は、主軸 12 の残戻り回転量 S_r と送り軸 14 の残戻り送り量 D_r とねじピッチ P とを用いて、主軸 12 と送り軸 14 との同期誤差 E ($E = S_r - D_r / P$ 又は $E = S_r \times P - D_r$) を計算する。

【0086】

上記した制御装置 10、50、60 の構成は、主軸 12 と送り軸 14 との同期運転を制御する工作機械の制御方法として記述できる。この制御方法は、制御装置 10、50、60 が、加工開始位置から目標ねじ深さに至る間の主軸 12 の総回転量 S_0 と最高回転速度 V_0 とをタップ加工プログラム P から取得するステップと、最高回転速度 V_0 を目標値とする速度制御により加工開始位置から主軸 12 を最大能力で加速回転させるステップと、最大能力での加速回転中に主軸 12 の回転位置フィードバック値 FBS に基づき主軸 12 の最大加速度 A_0 を検出するステップと、総回転量 S_0 と回転位置フィードバック値 FBS とに基づき、現在位置から目標ねじ深さに至るまでの主軸 12 の残回転量 S_r を検出するステップと、回転位置フィードバック値 FBS に基づき主軸 12 の現在速度 V_c を検出するステップと、最大能力での加速回転の後に、速度制御により主軸 12 を減速回転させて予め定めた中間回転速度 V_i に到達させるステップと、主軸 12 が中間回転速度 V_i に到達した後に、最大加速度 A_0 と残回転量 S_r と現在速度 V_c とに基づき、位置制御により主軸 12 を最大能力で減速回転させて目標ねじ深さに到達させるステップとを備え、主軸 12 を中間回転速度 V_i に到達させるステップは、減速回転のための速度指令 C_v を、残回転量 S_r と現在速度 V_c とを用いて逐次更新し、主軸 12 を中間回転速度 V_i に到達させたときの残回転量 S_r が、位置制御の下で目標ねじ深さに到達するまでの主軸 12 の位置決め回転量 S_{pos} と等しくなるように、逐次更新される速度指令 C_v により主軸 12 を減速回転させるステップを含むものである。このとき、主軸 12 を目標ねじ深さで停止させるように構成できる。或いは、主軸 12 を目標ねじ深さで停止させないように構成できる。

【0087】

また上記制御方法は、制御装置 10、50、60 が、目標ねじ深さから戻り完了位置に至る間の主軸 12 の総戻り回転量 S_0 と最高戻り回転速度 V_0 とをタップ加工プログラム P から取得するステップと、最高戻り回転速度 V_0 を目標値とする速度制御により、目標ねじ深さから、又は目標ねじ深さよりも予め定めた回転数だけ戻った初期戻り位置から、主軸 12 を最大能力で加速逆回転させるステップと、主軸 12 が目標ねじ深さから加速逆回転する間の逆回転の最大加速度 A_0 を検出又は取得するステップと、総戻り回転量 S_0 と主軸 12 の回転位置フィードバック値 FBS とに基づき、現在位置から戻り完了位置に至るまでの主軸 12 の残戻り回転量 S_r を検出するステップと、回転位置フィードバック値 FBS に基づき主軸 12 の逆回転の現在速度 V_c を検出するステップと、最大能力での加速逆回転の後に、速度制御により主軸 12 を減速逆回転させて予め定めた中間戻り回転速度 V_i に到達させるステップと、主軸 12 が中間戻り回転速度 V_i に到達した後に、逆回転の最大加速度 A_0 と残戻り回転量 S_r と逆回転の現在速度 V_c とに基づき、位置制御により主軸 12 を最大能力で減速逆回転させるとともに戻り完了位置で停止させるステップとを備え、主軸 12 を中間戻り回転速度 V_i に到達させるステップは、減速逆回転のための速度指令 C_v を、残戻り回転量 S_r と逆回転の現在速度 V_c とを用いて逐次更新し、主軸 12 を中間戻り回転速度 V_i に到達させたときの残戻り回転量 S_r が、位置制御の下で戻り完了位置で停止するまでの主軸 12 の位置決め戻り回転量 S_{pos} と等しくなるように、逐次更新される速度指令 C_v により主軸 12 を減速逆回転させるステップを含むものである。

【0088】

これら制御方法によれば、前述した制御装置 10、50、60 の効果と同等の効果が奏される。

10

20

30

40

50

【符号の説明】

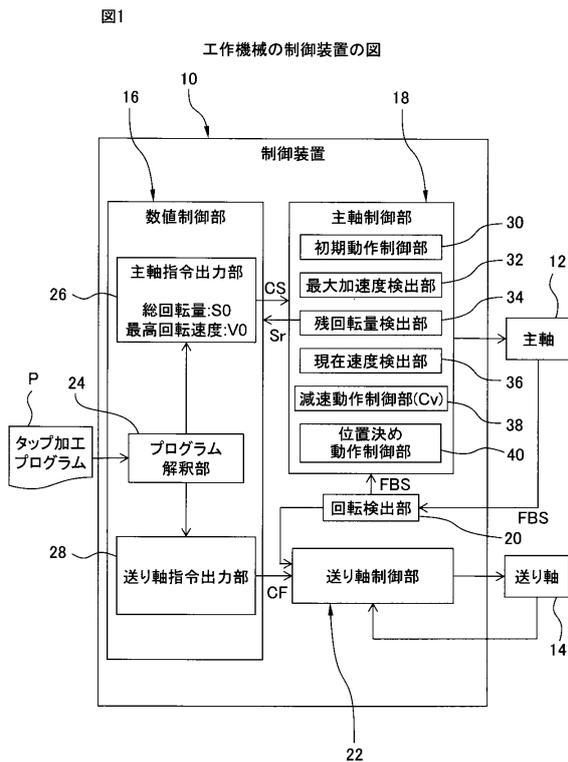
【0089】

- 10、50、60 制御装置
- 12 主軸
- 14 送り軸
- 16 数値制御部
- 18 主軸制御部
- 20 回転検出部
- 22 送り軸制御部
- 26 主軸指令出力部
- 28 送り軸指令出力部
- 30 初期動作制御部
- 32 最大加速度検出部
- 34 残回転量検出部
- 36 現在速度検出部
- 38 減速動作制御部
- 40 位置決め動作制御部
- 52 送り検出部
- 54 送り動作制御部
- 56 残送り量検出部
- 58 位置認識部
- 62 同期誤差計算部
- 66 表示制御部

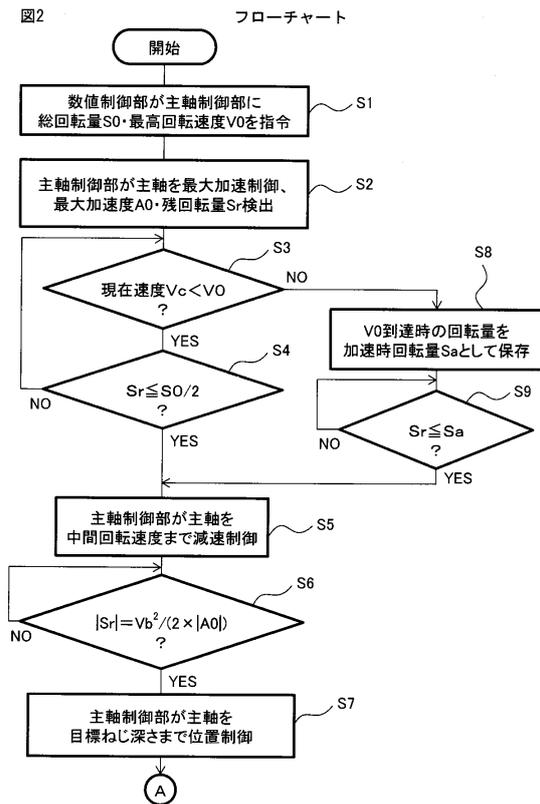
10

20

【図1】



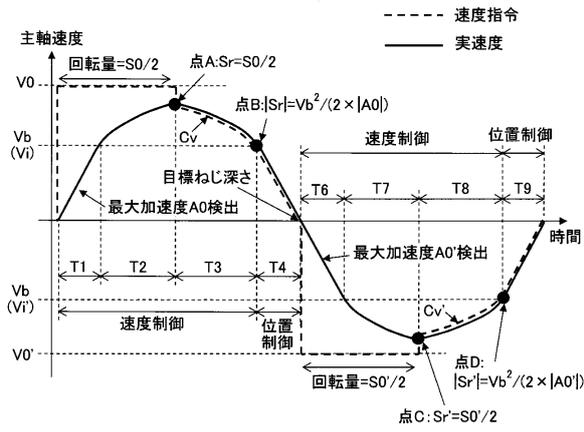
【図2】



【図3】

図3

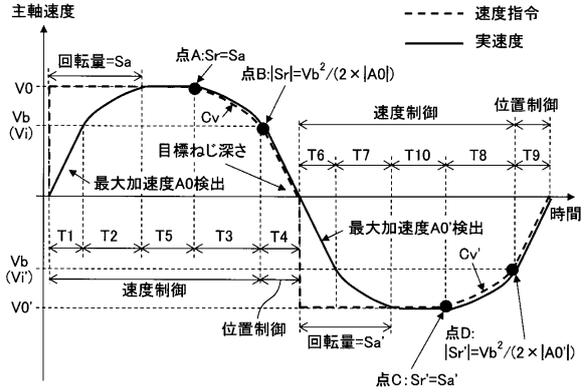
主軸の動作を示す図



【図4】

図4

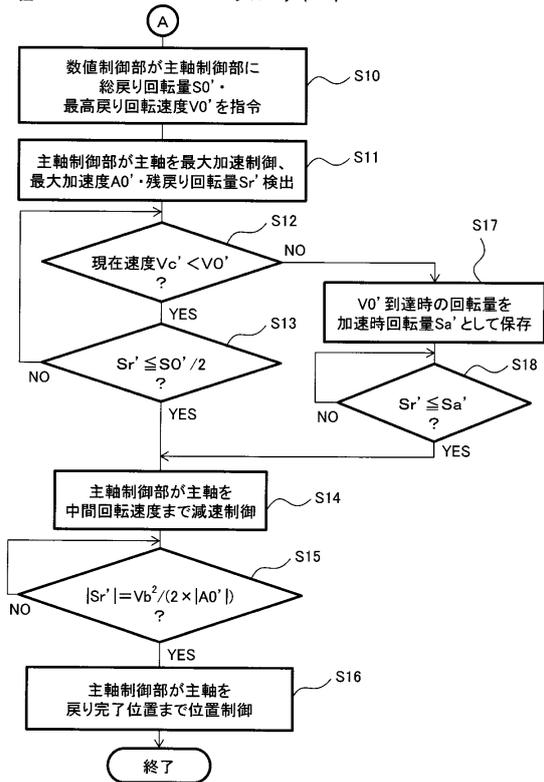
主軸の動作を示す図



【図5】

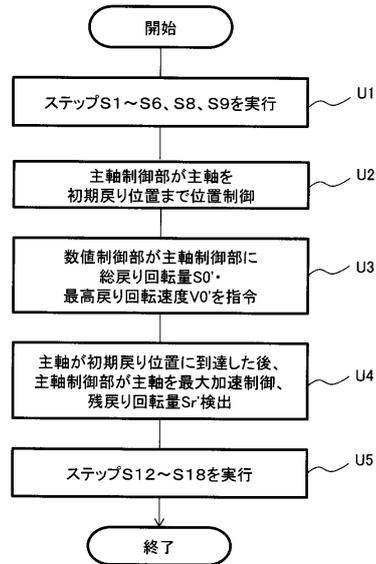
図5

フローチャート

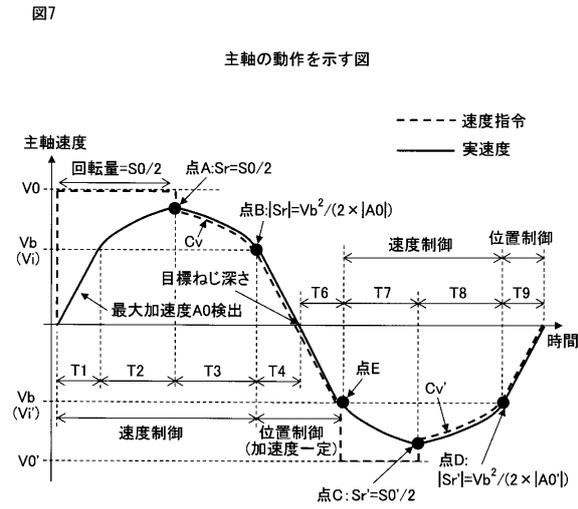


【図6】

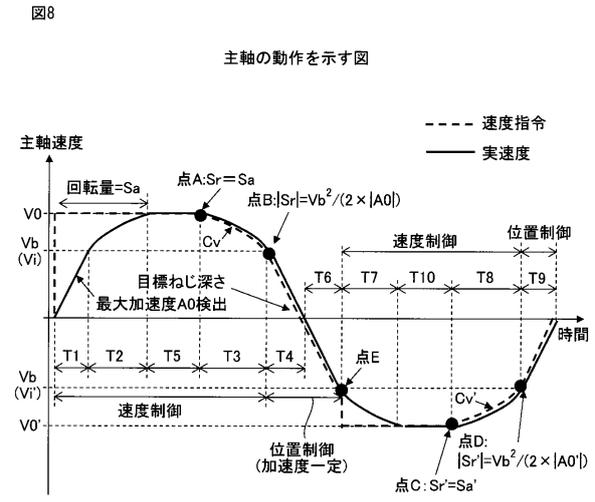
図6



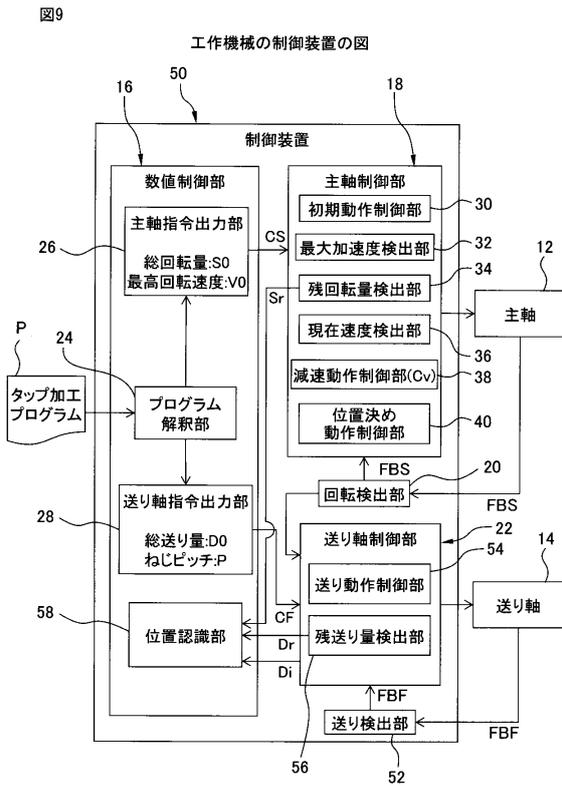
【図7】



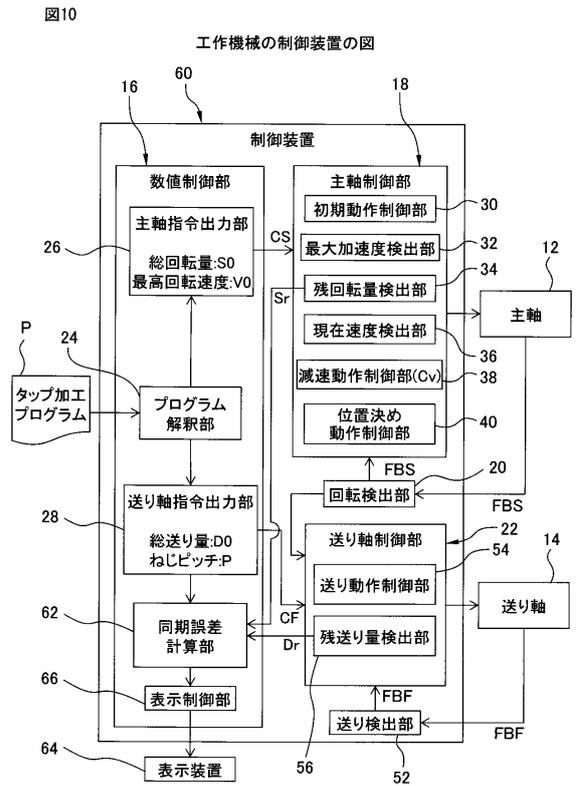
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(74)代理人 100159684

弁理士 田原 正宏

(72)発明者 森田 有紀

山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地 ファナック株式会社内

(72)発明者 田嶋 大輔

山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地 ファナック株式会社内

(72)発明者 置田 肇

山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地 ファナック株式会社内

審査官 中田 善邦

(56)参考文献 特許第3553741(JP, B2)

特開2003-181722(JP, A)

特開平10-076444(JP, A)

特表2010-511919(JP, A)

特開平06-289922(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B23Q15/00-15/28,

G05B19/18-19/416, 19/42-19/46,

B23B1/16