

明 細 書

加工処理装置

技術分野

本発明は、未加工ワークを投入し、最終的な製品の加工形状に関するデータ（以下、加工形状データと記載する）を入力することにより、未加工ワークが前記加工形状データに基づき加工され、目的とする加工製品を得ることができる工作機械の制御装置及びこの制御装置と工作機械とを具備する加工装置に関する。

背景技術

従来、NC工作機械で製品を加工する場合、まず、目的とする加工製品の形状を表した図面が作成される。プログラマは、その図面から加工工程を決定し、手動または自動プログラミング装置でNCプログラムを作成する。オペレータは、そのNCプログラムをNC工作機械に入力すると共に、加工すべき未加工ワークを手動またはワーク自動交換装置でNC工作機械に装着する。そして使用工具のプリセットと工具オフセット量の設定を行い、NC工作機械の工具マガジンに使用工具を装着する。その後、NCプログラムを実行することによりワークが加工され製品が製作される。これらの工程を可及的に自動化し、かつ、プログラマやオペレータが蓄積しているノウハウを加工に反映させるために種々の発明がなされてきた。

まず、第1の従来技術として、特開平4-315550号公報に開示された自動プログラミング装置がある。これは、ワークの加工形状を表すデータから加工形状を抽出する形状認識手段と、加工されるワークの加工形状について、最適な加工条件が格納されている

加工条件記憶手段と、前記形状認識手段からの出力に基づいて、前記加工条件記憶手段に格納されている最適な加工条件を自動的に設定する自動加工条件設定手段とを備えている。これにより、オペレータが加工条件を設定することなく自動的に設定可能となり、オペレータの人的過誤が排除され良好な加工が行え、さらに、オペレータの負荷が軽減され、かつ、作業時間も短縮されるものである。

第2の従来技術として、特開平4-138504号公報に開示された加工システムがある。このシステムでは、素材、表面あらさ、寸法精度などのワークに関するデータを予め記憶し、第1のニューラルネットワークにより加工条件が決定される。この加工条件は、オペレータが修正することもできる。そして、実際に加工された後、加工結果に基づき加工条件を修正して修正加工条件を求めると共に、第1のニューラルネットワークの重みを修正する学習手段を備えている。さらに、加工中に発生する火花、音、力などを検出するセンサを有しており、このセンサからの入力データを時系列データとして第2のニューラルネットワークに入力し、ある時点での加工状況を所定の時間幅で平均化して把握し、加工条件を動的に修正する適応制御手段を具備している。こうして熟練作業でなくとも最適な加工条件で加工を行うことを可能としたものである。

第3の従来技術として、特開平9-26811号公報に開示された数値制御を用いた加工方法がある。これは、各種情報ファイルの登録、加工図形のデータの入力、仕上図形の処理、パターン認識及び加工プロセスの決定処理に基づいて、簡素化されたデータ入力により、加工プロセスや工作機械を最適に選択し、生産効率の高い加工領域、加工手順を設定し、入力図形に最適な工具や加工条件、工具経路を決定し、加工後の測定及び補正により、生産効率を高めると共に、加工精度を高めようとするものである。

加工すべき製品の形状データから工具経路を自動生成する技術は周知であり、これに種々の加工条件を付加することによりNCプログラムが自動的に作成可能となる。第1の従来技術による発明は、加工すべき製品の形状データに基づいて、この加工条件をデータベースから所定のアルゴリズムに従って選択するようにしたものである。これは、いわば静的な加工条件である。これに対して、第2の従来技術による発明は、刻々の加工状態をセンサで検出し、検出結果に基づいて設定した加工条件をニューラルネットワークの学習機能を用いて適応制御し、刻々の加工状態に応じた動的な加工条件を求めるようにしたものである。第1と第2の従来技術は、加工条件の自動決定に重点を置いている。

第3の従来技術は、オペレータがデータ入力することにより、第1と第2の従来技術と同様な技術を用いて加工条件を自動決定し、さらに、工具及び工具経路の自動決定、加工後の測定及び補正の技術を組合せ、目的とする製品を無人で加工する発明である。

然しながら、これらの従来技術は、加工状態をフィードバックして補正する方法にて高い精度と生産効率を確保するという技術思想であるが、加工状態を予測して、その予測結果に基づいて工具経路や加工条件を決定し、より高精度、高効率な加工を実現するものではない。

発明の開示

本発明の目的は、加工すべき製品の形状データと未加工ワークに関するデータとを入力するのみで要求精度に合致した加工が高効率を以て実行され、目的とする製品を自動的に加工できるようにした工作機械の制御装置及びこの制御装置と工作機械とを備えた加工装置を提供するものである。

また、本発明の他の目的は、加工状態を予測して、予測した加工状態に合致するように工具経路、加工条件を自動的に決定して、高精度な加工を高速にて実行可能な工作機械の制御装置及びこの制御装置と工作機械とを備えた加工装置を提供するものである。

本発明は、加工形状データを入力してワークを加工する工作機械の制御装置であって、最終的なワークの形状に関する加工形状データ、加工前のワークの材質、形状に関するワークデータを入力する入力手段と、前記ワークを加工する前記工作機械の機械仕様を表す機械データ、前記工作機械が保有する工具の工具仕様を表す工具データのうち少なくとも1つを格納するデータ格納手段と、前記入力手段により入力されたデータ、前記データ格納手段に格納されたデータに基づき、前記ワークを加工する工具経路を生成すると共に、前記工作機械の主軸回転速度、送り速度等の前記ワークを加工する際の加工条件を決定する工具経路決定手段と、を具備して構成される工作機械の制御装置を要旨とする。

さらに本発明の他の構成によれば、加工形状データを入力してワークを加工する加工装置であって、前記ワークを加工する工作機械と、最終的なワークの形状に関する加工形状データ、加工前のワークの材質、形状に関するワークデータを入力する入力手段と、前記ワークを加工する前記工作機械の機械仕様を表す機械データ、前記工作機械が保有する工具の工具仕様を表す工具データのうち少なくとも1つを格納するデータ格納手段と、前記入力手段により入力されたデータ、前記データ格納手段に格納されたデータに基づき、少なくとも加工負荷、または工具とワークとの干渉を予測する予測演算手段と、前記予測演算手段による予測演算結果、前記入力手段により入力されたデータ、前記データ格納手段に格納されたデータに基づき、工具及び加工パターンを選択するとともに、加工工程を決

定する加工工程決定手段と、前記加工工程決定手段により選択、決定された工具、加工パターン及び加工工程、前記予測演算手段による予測演算結果、前記入力手段により入力されたデータ、前記データ格納手段に格納されたデータに基づき、前記ワークを加工する工具経路を生成すると共に、前記工作機械の主軸回転速度、送り速度等の前記ワークを加工する際の加工条件を決定する工具経路決定手段と、前記工具経路決定手段により生成、決定された工具経路及び加工条件から前記工作機械の動作を制御する数値制御手段と、を具備して構成される加工装置が提供される。

図面の簡単な説明

図 1 は、本発明実施形態による工作機械の制御装置のブロック図である。

図 2 は、データベースのブロック図である。

図 3 は、工具経路決定部のブロック図である。

図 4 は、加工工程決定部のフローチャートである。

図 5 A から図 5 H は加工パターンの種類を示す略図である。

図 6 は、予測演算部のブロック図である。

図 7 A、7 B は加工領域の決定方法を説明するための略図である。

。

図 8 A、8 B は本発明の効果を説明するための略図であり、図 8 A は入力される加工形状データに基づく図面形状であり、図 8 B は本発明の制御装置を用いて加工した場合と、従来技術とを比較する図である。

発明を実施する最良の態様

本発明の実施形態を添付図面を参照して説明する。

図 1 は、本発明実施形態による工作機械の制御装置 100 のブロック図である。

制御装置 100 は、入力部 1、データベース 3、工具経路決定部 5、予測演算部 7 を主要な構成要素として含んでいる。詳細には図示されていないが、制御装置 100 は、CPU、RAM、ROM、入出力インターフェース、データ記憶装置及びこれらを相互接続する双方向バスにより構成することができる。

オペレータは、入力部 1 から目的とする加工製品の加工形状データ 1a を入力する。この加工形状データ 1a は、例えば CAD データ等の電子化された図形情報とすることができる。また、加工形状データ 1a には、加工精度や表面あらさ等に関するデータが含まれている。

入力部 1 には、さらに、当該製品を加工する未加工ワークの形状、材質に関するデータであるワークデータ 1b が入力される。ワークデータ 1b は、未加工ワークを工作機械 11 に装着、固定するための取付具やパレット等の治具の寸法、形状、工作機械 11 上での取付位置、及び治具への未加工ワークの取付位置に関するデータをも含んでいる。なお、入力部 1 は、キーボードのみならず、フロッピディスクや光磁気ディスク等の情報媒体及びその駆動装置、さらには、上記データを格納したネットワークとのインタフェース装置等を含んでいる。

入力部 1 から入力されたデータは、データ格納手段としてのデータベース 3 に格納される。データベース 3 は、機械データベース 3a、工具／ホルダデータベース 3b、加工条件データベース 3c、材料データベース 3d、NC／サーボデータベース 3e、入力データベース 3f を含んでいる。データベース 3 は、例えばハードディスク装置や光ディスク装置等のデータ格納装置により構成すること

ができる。また、データベース 3 内の機械データベース 3 a、工具／ホルダデータベース 3 b、加工条件データベース 3 c、材料データベース 3 d、NC／サーボデータベース 3 e、入力データベース 3 f の各々は、個別のデータ格納装置により構成しても或いは 1 つのデータ格納装置内を複数の領域に区切って、各データベース 3 a ～ 3 f としてもよい。

図 2 を参照すると、機械データベース 3 a に格納されるデータには、工作機械 1 1 の各送り軸のストローク、主軸最高回転速度、最大送り速度、温度に対する機械の変形特性に関するデータ、ワークの重量による機械の変形特性に関するデータ等が含まれる。工具／ホルダデータベース 3 b に格納されるデータには、工具の管理番号、工具及び工具ホルダの寸法、形状、工具の材質、工具寿命、工具の負荷に対する倒れ特性、及び振れ特性に関するデータ、主軸先端部の寸法、形状等が含まれる。加工条件データベース 3 c に格納されるデータには、1 刃当たりの送り量、切込量、ピックフィード量、クーラント使用の有無、加工パターン、加工面を複数の加工領域に区分するための領域区分データ、ある加工面を加工する最適な工具を選択するための基礎データ等が含まれる。材料データベース 3 d に格納されるデータには、材料の種類、硬さ、引張強さ、弾性係数等が含まれる。NC／サーボデータベース 3 e に格納されるデータには、数値制御装置の諸元、設定パラメータ、サーボの時定数、ゲイン等が含まれる。入力データベース 3 f には、入力部 1 から入力された加工形状データ 1 a 及びワークデータ 1 b が格納される。

ここで、データベース 3 に格納されるデータは、オペレータが任意に入力するデータ、工作機械 1 1 に既に登録されているデータ、所定の記憶手段にあらかじめ記憶されたデータのうち少なくとも 1 つであればよい。

図 3、4 を参照して、工具経路決定部 5 を説明する。

工具経路決定部 5 は、以下に詳細に説明する加工工程決定部 5 a、工具経路生成部 5 b、加工条件決定部 5 c、及び補正部 5 d を含んで成る。

先ず、入力データベース 3 f に格納されている加工形状データ 1 a 及びワークデータ 1 b が加工工程決定部 5 a に送られる（ステップ S 1 1）。このデータに基づいて、加工工程決定部 5 a は、未加工ワークおよび最終的に製作されるワークの加工面の形状を認識する。次いで、加工工程決定部 5 a は加工条件データベース 3 c 内に格納されている領域区分データと認識した加工面の形状に基づいて、加工表面の曲率、傾斜角度及び深さ等を表面パラメータとして、加工表面を複数の加工領域に区分する（ステップ S 1 3）。次いで、加工工程決定部 5 a は、前記加工領域の各々の表面パラメータに対応させて、当該加工領域を加工するために最適な工具及び加工パターンを、加工条件データベース 3 c 内に格納されている加工面を加工する最適な工具を選択するための基礎データ及び加工パターンから選択する（ステップ S 1 5）。例えば、急傾斜面をスキャンパスで加工すると、工具に過負荷がかかったり、異常振動が発生したりする。これを防止するために、急傾斜面では等高線加工パスが選択される。また、このとき、加工条件データベース 3 c からクーラント供給の要否に関するデータも導入される。次いで、各々の加工領域を加工する加工順序が決定される（ステップ S 1 7）。

図 5 A から図 5 H に加工パターンの例を示す。図 5 A はスキャン（走査）加工パスであり、図 5 B は等高輪郭加工パスである。図 5 C はワークが存在している部位のみを加工領域として切削効率の向上を図るスキャン（走査）加工パス、いわゆるキャラクタライン加工パス、図 5 D は O を中心とする放射加工パスである。

図 5 E は鋳物等、仕上形状からほぼ一定量の取り代があるワークでその形状の法線方向に一定量ずつ追い込んでいく、例えばワークをオフセットしていくことで繰り狭めていくような等高輪郭加工パス、図 5 F は鋳物等、仕上形状からほぼ一定量の取り代があるワークでその形状の法線方向に一定量ずつ追い込んでいくスキャン（走査）加工パスである。

図 5 G はワークが存在している部位のみを加工領域として、例えばワークが存在している部位から加工を開始したり、ワークが加工すべき加工形状に近くなった場合にピックフィード量を小さくする等して、切削効率の向上を図る等高線加工パス、図 5 H は加工領域の境界部を隣の加工領域と自動的にオーバーラップさせ、オーバーラップ部分をスムーズに工具をリトラクトさせることで境界部の段差を防止する、例えば加工領域における所定距離離れている退避位置から前記加工領域に向かい、使用する工具径での工具経路より所定量だけ法線方向に離れた位置から工具の移動を開始し、前記加工領域では使用する工具径での工具経路に一致するよう前記工具を移動させ、前記加工領域の加工を行う加工パスである。これらの加工パターンは、蓄積されたノウハウを反映させて、加工領域の曲率、傾斜角度、深さ等の表面パラメータと対応させて加工パターンが選択できるようにデータベース 3 に格納されている。また、図示する加工パターンは、一例であって本発明を限定する趣旨ではない。

加工工程決定部 5 a にて決定された加工領域、工具、加工パターン、加工順序に関するデータが工具経路生成部 5 b に送られる。工具経路生成部 5 b は、この加工領域、工具、加工パターンに関するデータと、入力データベース 3 f に格納されているワークデータ 1 b、特に未加工ワークの材料データと、材料データベース 3 d に格納されている材料の種類、引張強さ、弾性係数に関するデータとに

対応させて、加工条件データベース 3 c に格納されている 1 刃当たりの送り量、切込み量、ピックフィード量のデータ群から当該ワークを加工するために最適な値を決定すると共に、工具パス及びピックフィードパスを生成する。工具パス及びピックフィードパスの生成は、加工条件データベース 3 c に格納されている演算式により行われる。

ここで、加工工程決定部 5 a で工具、加工パターン及び加工工程を選択、決定せずに、オペレータが任意に工具、加工パターン及び加工工程を入力するようにしてもよい。

次いで、加工条件決定部 5 c が工具経路生成部 5 b からの演算結果に基づいて、1 刃当たりの送り量、切込み量、ピックフィード量から工作機械 1 1 の主軸回転速度、送り速度を決定すると共に、各加工工程毎の工具交換指令、後述するセンサ部 1 3 による測定工程の挿入に関する指令を数値制御部 9 に発生する。

補正部 5 d は、後述する予測演算部 7 からの予測演算結果に基づき、工具経路生成部 5 b または加工工程決定部 5 a へ補正指令を発生する。

ここで、加工条件決定部 5 c で加工条件を決定せずに、オペレータが任意に入力した加工条件、所定の記憶手段にあらかじめ記憶された加工条件を利用してもよい。

数値制御部 9 は、一般的に周知の NC 装置 9 a と、サーボモータ、アンプを含むサーボシステム 9 b とを具備しており、工作機械 1 1 の軸送り及び主軸の回転を制御する。つまり、NC 装置 9 a は周知の通り、工具経路データ及び加工条件データから X、Y、Z の各送り軸の移動指令を生成すると共に、工作機械 1 1 の主軸の起動、停止、クーラントの ON/OFF、自動工具交換、自動パレット交換等の動作指令を発する。サーボシステム 9 b は NC 装置 4 1 から

移動指令を受け取り、送り軸のサーボモータを制御する。こうして、数値制御部 9 により工作機械 11 が制御される。

工作機械 11 は、例えば自動工具交換装置を備えたマシニングセンタなどの一般的に周知の工作機械である。工作機械 11 には、工作機械 11 のコラムやベッドなどの機体各部の温度、クーラントの温度、工作機械 11 が設置されている環境温度を測定するためのサーミスタ等の温度センサおよび工作機械 11 のモータに供給される電流値を測定する電流計等を含む機械センサ、工作機械 11 に装着されている工具の工具長、工具径、工具先端形状等を測定するための工具センサ、及び、加工されているワークの形状を実際に測定するワークセンサを含むセンサ部 13 が設けられている。センサ部 13 で測定された値は後述する予測演算部 7 へ送られる。さらに、センサ部 13 の工具センサで測定された工具径、工具長、回転中の工具の振れ、中心位置変動等はデータ補正部 15 を介してデータベース 3 の工具／ホルダデータベース 3b に送られ、データベース 3 の内容、特に、工具の摩耗特性、工具寿命、工具の振れ特性が補正、更新される。

また、センサ部 13 の機械センサの温度センサで測定された機体各部の温度、クーラントの温度、環境温度等はデータ補正部 15 を介してデータベース 3 の機械データベース 3a に送られ、機械データベース 3a の該当部が補正、更新される。さらに、センサ部 13 のワークセンサで測定された加工誤差から工作機械 11 の動作時の位置決め誤差を演算し、データ補正部 15 を介してデータベース 3 の機械データベース 3a に送り、機械データベース 3a の該当部を補正、更新するようにしてもよい。センサ部 13 のワークセンサで測定された加工誤差を工具経路決定部 5 の補正部 5d へ送り、ここで加工誤差データから補正データを生成し、工具経路生成部 5b で

補正工具経路を生成して再加工することもできる。

次に、図 6 を参照して予測演算部 7 を説明する。

予測演算部は、加工状態シミュレーション部 7 a、機械挙動シミュレーション部 7 b、ワークシミュレーション部 7 c、工具挙動シミュレーション部 7 d を主要な構成要素として具備している。

加工状態シミュレーション部 7 a は、入力データベース 3 f から加工形状データ 1 a 及びワークデータ 1 b を受け取り、工具／ホルダデータベース 3 b から、加工工程決定部 5 a にて決定された工具及び工具ホルダの寸法、形状、主軸先端部の形状、寸法を受け取る。さらに、加工状態シミュレーション部 7 a は、工具経路生成部 5 b で決定、演算された 1 刃当たりの送り量、切込み量、ピックフィード量、工具パス及びピックフィードパスを受け取り、かつ、加工条件決定部 5 c で決定された主軸回転速度、送り速度を受け取る。

加工状態シミュレーション部 7 a は、加工に先立って、つまり、一番最初に工具経路決定部 5 が工具パス等を生成する際に、加工形状データ 1 a 及びワークデータ 1 b と、工具、工具ホルダ及び主軸先端部の形状、寸法と、工具パスと、ピックフィードパスとから工具、工具ホルダ、主軸先端部とワークとが、加工中に干渉するか否かを予測する。ある加工領域での加工中に干渉が生じることが予測される場合には、加工状態シミュレーション部 7 a は加工工程決定部 5 a に対して、当該加工領域を加工不可領域とするように指令する。このとき、当該加工不可領域を他の工具により加工可能である場合または加工不可領域の加工パターンを変更できる場合には、加工工程決定部 5 a は、工具または加工パターンを変更して加工領域、工具、加工パターン、加工順序を決定し直し、工具経路決定部 5 に送出する。そして、上記手順が繰り返される。工具や加工パターンが変更できない場合には、加工工程決定部 5 a は、当該加工不可

領域を加工工程から外した加工順序を工具経路決定部 5 に送出する。

図 7 A、7 B を参照して加工領域の決定方法の一例を説明する。ある工具に対して干渉の発生しない領域 2 1 a が加工状態シミュレーション部 7 a により予測演算された場合に、当該工具で加工可能な領域、例えば面傾斜角度が 6 6 度以下の領域が 2 1 b の領域で示されるような場合（図 7 A）、両者の重なり合う部分が加工領域 2 1 c として決定される（図 7 B）。

加工工程決定部 5 a は、図 7 A、7 B に示す方法と同様に、工具とワークとの干渉チェックにより決定された加工領域、または入力部 1 から入力した加工形状データ 1 a に対して任意に決定した工具とワークとの干渉チェックにより決定された加工領域と、入力部 1 から入力した加工形状データ 1 a の面傾斜角度、面の曲率、深さに基づき決定された加工領域との重複領域を加工すべき範囲とすることもできる。

加工状態シミュレーション部 7 a は、さらに、加工が開始された後にも同様の干渉チェックをリアルタイムで実行している。その結果、工具とワークの干渉が予測される場合には、その旨のデータを工具経路生成部 5 b に送出する。工具経路生成部 5 b は、この干渉を避ける工具経路、例えば Z 軸方向に逃げる干渉回避加工パスを演算、生成する。

また、加工状態シミュレーション部 7 a は、実際に加工が行われている間、加工形状データ 1 a、ワークデータ 1 b、加工パターン、工具パスに関するデータに基づき、加工が進捗するワークにおける入隅部（インコーナ部）を予測する。この予測結果は加工条件決定部 5 c へ送出され、加工条件決定部 5 c が、前記入隅部（インコーナ部）で工具の送り速度を減速させる加工条件を生成する。

さらに、加工状態シミュレーション部 7 a は、ワークデータ 1 b と、工具経路生成部 5 b で決定、演算された 1 刃当たりの送り量、切込み量、ピックフィード量、工具パスと、加工条件決定部 5 c で決定された主軸回転速度、送り速度から加工負荷を予測演算する。さらに、加工状態シミュレーション部 7 a は、加工形状データ 1 a と、ワークデータ 1 b と、加工工程決定部 5 a で決定された工具、工具ホルダ及び主軸先端部の形状、寸法と、工具経路生成部 5 b で決定、演算されたピックフィード量、工具パスから、加工中のワークの現時点の形状を予測すると共に、工具とワークとの接触点、ワークの重量を予測する。

また、加工状態シミュレーション部 7 a は、予想されるワークの重量変化と加工条件決定部 5 c で決定された加工条件とに基づきワークの負荷イナーシャを予測する。この予測される負荷イナーシャは数値制御部 9 へ送られ、数値制御部 9 のサーボシステム 9 b のパラメータが補正される。

工具とワークとの接触点の予測に基づいて、例えば、工具がある工具パスを移動中にワークを切削していない、いわゆるエアカットが生じることが予測される場合、加工状態シミュレーション部 7 a は、その旨のデータを加工条件決定部 5 c に送出する。これにより、加工条件決定部 5 c は、エアカットが予測される領域を通過する工具パスに沿って工具移動する際、最大送り速度で移動するよう数値制御部 9 に指令を出すことが可能となる。

機械挙動シミュレーション部 7 b は、機械データベース 3 a に格納されている温度に対する機械の熱変形特性に関するデータと、センサ部 1 3 の温度センサからの温度データに基づき工作機械 1 1 の熱変形を予測する。また、加工状態シミュレーション部 7 a で予測演算されたワークの重量データ及び機械データベース 3 a に格納さ

れているワークの重量による機械の変形特性に関するデータに基づき、工作機械 11 のワークの重量による変形を予測する。

ワークシミュレーション部 7 c は、入力データベース 3 f から加工形状データ 1 a 及びワークデータ 1 b を受け取り、工具／ホルダデータベース 3 b から、加工工程決定部 5 a にて決定された工具及び工具ホルダの寸法、形状、主軸先端部の形状、寸法を受け取る。さらに、ワークシミュレーション部 7 c は、工具経路決定部 5 b で決定、演算された 1 刃当たりの送り量、切込み量、ピックフィード量、工具パス及びピックフィードパスを受け取り、かつ、加工条件決定部 5 c で決定された主軸回転速度、送り速度を受け取る。そして、ワークシミュレーション部 7 c は、受け取ったデータベースに基づき加工が進捗する刻々のワークの中間形状を予測演算し、その予測演算結果を加工状態シミュレーション部 7 a、機械挙動シミュレーション部 7 b へ送る。

工具挙動シミュレーション部 7 d は、加工状態シミュレーション部 7 a で予測される加工負荷、工具／ホルダデータベース 3 b に格納されている工具の負荷に対する倒れ及び振れ特性に関するデータから工具の倒れ量、振れ量を予測する。また、工具／ホルダデータベース 3 b に格納されている工具寿命に関するデータと、前記加工状態シミュレーション部 7 a で予測された加工負荷、加工接点、切込み量、加工時間から工具の摩耗量、摩耗分布を予測演算する。摩耗分布とは、例えばボールエンドミルの場合、先端が摩耗するのか、或いは、先端からどの位置で摩耗するのか、ストレート部か等の工具の摩耗部位を予測するものである。この摩耗の予測演算により、工具寿命に達したか否かの判断が行われる。さらに、センサ部 13 の工具センサによっても回転中の工具の形状（工具径、工具長、中心位置、姿勢など）の変化から予測値の修正が行われる。

また、工具挙動シミュレーション部 7 d において予測演算された工具の倒れ量は工具経路決定部 5 の補正部 5 d に送られ、予測される工具の倒れ量が所定値よりも大きいときには、工具の倒れを考慮した工具経路を生成するよう、工具経路生成部 5 b に送出する。例えば、ワークと工具とを水平方向に相対移動させるときに加工負荷が大きい場合には、工具は移動方向に対して前方に倒れるように変形するために主軸の座標位置よりも工具の先端位置が遅れて移動する。そのために、必要な加工を行うために主軸の工具の先端位置が所定の加工位置まで移動するように送り量を補正しなければならない。これにより、高精度な加工が可能となる。

次に、表示部 1 7 を説明する。表示部 1 7 は画像処理部 1 7 a と、C R T 等のモニタ 1 7 b とを具備している。表示部 1 7 は工具経路決定部 5 の加工工程決定部 5 a において決定された加工領域、加工パターン、工具の形状及び管理番号等を表示することができる。画像処理部 1 7 a は、加工工程決定部 5 a からの前記加工領域の曲率、傾斜角度、深さに関するデータを受け取り、各々の領域を色分けして三次元表示するためのデータを生成することができる。さらに、詳細には図 1 に示されていないが、データベース 3、予測演算部 7、数値制御部 9、センサ部 1 3 と接続されており、各々からの情報をグラフィック表示またはテキスト表示することができる。例えば表示部 1 7 は予測演算部 7 からのデータに基づき工具とワークとの干渉チェックの結果をグラフィック表示することができる。さらに、入力データベース 3 f に入力されている加工形状データ 1 a における加工精度のデータと、センサ部 1 3 において測定されたワークの形状測定データを比較して表示させてもよい。また、既述したように、ワークと工具との干渉を回避するための干渉回避加工パスにより、ワークの削り残された部分をグラフィック表示すること

もできる。

本発明の実施形態の作用について説明する。

まず、オペレータは入力部 1 から加工形状データ 1 a 及びワークデータ 1 b をデータベース 3 に入力すると、入力した加工形状データ 1 a 及びワークデータ 1 b と、データベース 3 に格納されている各データとに基づき、工具経路決定部 5 の加工工程決定部 5 a で加工領域、工具、加工パターン、及び加工工程が選択、決定される。次いで、工具経路決定部 5 の工具経路生成部 5 b で工具経路が、加工条件決定部 5 c で加工条件が決定される。このように生成、決定された工具経路、加工条件等の機械駆動データにより数値制御部 9 を介して工作機械 11 が駆動制御され、ワークの加工が行われ加工製品が完成する。

このとき、予測演算部 7 では、オペレータが入力部 1 から加工形状データ 1 a 及びワークデータ 1 b と、データベース 3 に格納されている各データとに基づき、加工負荷、工具とワークとの干渉等の各種の予測演算が行われ、その予測演算結果が工具経路決定部 5 の加工工程決定部 5 a へ送られ、予測演算部 7 での予測演算結果に基づき工具、加工パターン、及び加工工程が決定される。同様に、予測演算部 7 での予測演算結果に基づき工具経路決定部 5 の工具経路生成部 5 b で工具経路が、加工条件決定部 5 c で加工条件が決定される。

このように本発明は、入力部 1 から入力した加工形状データ 1 a 及びワークデータ 1 b と、データベース 3 に格納されている各データとに基づき、予測演算部 7 で加工負荷、工具とワークとの干渉等の各種の予測演算が事前に行われるのである。つまり、従来はまず加工を行い、そのときの加工状態を検出してフィードバックして最適な制御を試みていたのに対して、本発明ではまず予測演算をして

、その予測演算結果でフィードフォワード制御して加工を行う。また、検出した加工状態をフィードバックしてフィードフォワード制御の精度を更に向上させるようにしている。よって、最適化される速度が従来より速くなり、高精度な加工をより速く遂行できる。

以上説明したように、本発明によれば、オペレータは加工すべき製品の形状データと、投入する未加工ワークの形状および材料に関するデータのみを入力することにより、要求精度に合致した加工が適切な工具、工具経路、加工条件で自動的に実行され、短時間で製品の加工が可能となる。

従来技術と本発明の比較例を図 8 A、8 B に示す。

図 8 A に示すような図面形状に基づく加工形状データが入力された場合に、従来技術では、工具の送り速度を高速のまま、例えば 16 m/min で加工すると、図 8 B において一点鎖線で示すように隅部がだれてしまうこと（参照番号 23 a、23 b で示す部分）、湾曲面の半径が小さくなってしまうこと（参照番号 23 c で示す部分）があった。さらに、従来技術では高速で工具を円周動作させたときに、参照番号 23 d で示すように真円度が低下したり、参照番号 23 E で示すように肉厚が厚くなる。従来技術でも工具の送りを低速にする、例えば 200 mm/min で加工すれば、参照番号 23 f、23 g で示すように高精度な加工が可能となる。これに対して本発明では、図 8 B において実線で示すように、工具の送り速度を高速に保ったまま加工してもこうしたことが生じない。これは、予測演算部 9 において、加工負荷の予測値の算出や、工具とワークとの干渉回避チェックが事前に行われ、かつ予めデータベース 3 に格納されている各種データベースを利用することにより初めて達成される。



請 求 の 範 囲

1. 加工形状データを入力してワークを加工する工作機械の制御装置であって、

最終的なワークの形状に関する加工形状データ、加工前のワークの材質、形状に関するワークデータを入力する入力手段と、

前記ワークを加工する前記工作機械の機械仕様を表す機械データ、前記工作機械が保有する工具の工具仕様を表す工具データのうち少なくとも1つを格納するデータ格納手段と、

前記入力手段により入力されたデータ、前記データ格納手段に格納されたデータに基づき、前記ワークを加工する工具経路を生成すると共に、前記工作機械の主軸回転速度、送り速度等の前記ワークを加工する際の加工条件を決定する工具経路決定手段と、

を具備して構成されることを特徴とした工作機械の制御装置。

2. 前記入力手段により入力されたデータ、前記データ格納手段に格納されたデータに基づき、少なくとも加工負荷、または工具とワークとの干渉を予測する予測演算手段を更に具備して構成される請求項1に記載の工作機械の制御装置。

3. 前記データ格納手段に格納されるデータは、オペレータが任意に入力するデータ、前記工作機械に登録されているデータ、所定の記憶手段にあらかじめ記憶されたデータのうち少なくとも1つを含む請求項1に記載の工作機械の制御装置。

4. 前記工具経路決定手段は、工具及び加工パターンを選択するとともに、加工工程を決定する加工工程決定手段を含んで構成される請求項1に記載の工作機械の制御装置。

5. 前記加工工程決定手段で選択、決定される工具、加工パターン及び加工工程は、オペレータが任意に入力するデータでなる請求



項 4 に記載の工作機械の制御装置。

6. 前記工具経路決定手段は、工具及び加工パターンを選択するとともに、加工工程を決定する加工工程決定手段を含んで構成され、

前記加工工程決定手段は、前記入力手段により入力されたデータ、前記データ格納手段に格納されたデータ、及び前記予測演算手段による予測演算結果に基づき、工具、加工パターン及び加工工程を選択、決定する請求項 2 に記載の工作機械の制御装置。

7. 前記工具経路決定手段で決定される加工条件は、オペレータが任意に入力するデータ、所定の記憶手段にあらかじめ記憶されたデータのうち少なくとも 1 つでなる請求項 1 に記載の工作機械の制御装置。

8. 前記工具経路決定手段は、前記データ格納手段に格納されたデータ、生成された工具経路、前記予測演算手段による予測演算結果、及び前記加工工程決定手段により選択、決定された工具、加工パターン及び加工工程に基づき、加工条件を決定する請求項 6 に記載の工作機械の制御装置。

9. 加工した製品の形状を測定する加工形状測定手段を更に具備し、測定結果を前記工具経路決定手段へフィードバックして、加工精度を改善するように工具経路を修正する請求項 1 に記載の工作機械の制御装置。

10. 前記加工形状測定手段の測定結果に基づき、前記データ格納手段が格納する機械データの内容を更新し、前記予測演算手段における予測演算の精度を向上させる請求項 9 に記載の工作機械の制御装置。

11. モータの電流、工作機械の機体の温度等を検出する機械センサを更に具備し、検出結果を前記予測演算手段にフィードバック



する請求項 2 に記載の工作機械の制御装置。

1 2. 前記工作機械に装着されている工具の寸法、形状を検出する工具センサを更に具備し、検出結果を前記予測演算手段にフィードバックする請求項 2 に記載の工作機械の制御装置。

1 3. モータの電流、工作機械の機体の温度等を検出する機械センサと前記工作機械に装着されている工具の寸法、形状を検出する工具センサとを更に具備し、検出結果を前記予測演算手段にフィードバックする請求項 2 に記載の工作機械の制御装置。

1 4. 前記機械センサまたは工具センサの検出データに基づき、前記データ格納手段が格納する機械データまたは工具データの内容を更新し、前記予測演算手段における予測演算の精度を向上させる請求項 1 3 に記載の工作機械の制御装置。

1 5. 前記予測演算手段は、前記入力手段から入力したワークデータ、前記データ格納手段のデータ、前記工具経路決定手段で生成、決定した工具経路及び加工条件に基づき、加工が進捗するワーク形状の予測を行うワークシミュレーション手段を具備する請求項 2 に記載の工作機械の制御装置。

1 6. 前記予測演算手段は、前記データ格納手段のデータ及び前記機械センサの検出データに基づき、温度、送り軸の加速度、荷重移動等による工作機械の姿勢変化の予測を行う機械挙動シミュレーション手段を有する請求項 2 に記載の工作機械の制御装置。

1 7. 前記予測演算手段の機械挙動シミュレーション手段は、加工中に実際に測定した前記工作機械の熱変形量、または前記機械センサの検出データに基づき予測演算した熱変形量を前記工具経路決定手段へ送出し、前記工作機械の熱変形量に起因する加工精度の低下が生じない工具経路を生成するよう指令する請求項 1 6 に記載の工作機械の制御装置。



18. 前記予測演算手段は、前記データ格納手段のデータ及び前記工具センサの検出データに基づき、回転中の工具の工具長、工具径、倒れ、刃先位置、工具摩耗等の予測を行う工具挙動シミュレーション手段を有する請求項2に記載の工作機械の制御装置。

19. 前記予測演算手段の工具挙動シミュレーション手段は、工具の倒れ、摩耗等を予測演算して前記予測演算結果を前記工具経路決定手段へ送出し、前記工具の倒れ、摩耗に起因する加工精度の低下が生じない工具経路を生成するよう指令する請求項18に記載の工作機械の制御装置。

20. 前記予測演算手段は、前記入力手段から入力したワークデータ、前記データ格納手段のデータ、前記工具経路決定手段で生成、決定した工具経路及び加工条件に基づき、加工が進捗するワーク形状の予測を行うワークシミュレーション手段と、

前記データ格納手段のデータ及び前記機械センサの検出データに基づき、温度、送り軸の加速度、荷重移動等による工作機械の姿勢変化の予測を行う機械挙動シミュレーション手段と、

前記データ格納手段のデータ及び前記工具センサの検出データに基づき、回転中の工具の工具長、工具径、倒れ、刃先位置、工具摩耗等の予測を行う工具挙動シミュレーション手段とを具備し、

各シミュレーション手段での予測演算結果を前記工具経路決定手段へ送出し、

前記工具経路決定手段は、前記予測演算結果に応じた工具経路及び加工条件を生成、決定する請求項13に記載の工作機械の制御装置。

21. 前記予測演算手段は、加工負荷の予測演算をして前記予測演算結果を前記工具経路生成手段へ送出し、前記工具経路決定手段が予測される加工負荷による工具の変形を低減する工具経路を生成



する請求項 2 に記載の工作機械の制御装置。

2 2 . 前記予測演算手段は、前記入力手段から入力した加工形状データ及びワークデータに基づき、工具がワークを切削しない領域であるエアカット領域を予測し、前記工具経路決定手段が、前記エアカット領域にて最大送り速度で工具を移動させる加工条件を決定する請求項 2 に記載の工作機械の制御装置。

2 3 . 前記予測演算手段は、前記入力手段から入力した加工形状データ及びワークデータに基づき、工具がワークを切削しない領域であるエアカット領域を予測し、前記工具経路生成手段が、前記エアカット領域をスキップさせる工具経路を生成する請求項 2 に記載の工作機械の制御装置。

2 4 . 前記予測演算手段は、前記入力手段から入力した加工形状データ及びワークデータに基づき、加工が進捗するワークにおける入隅部を予測し、前記予測結果を前記工具経路決定手段へ送出し、前記入隅部で送り速度を減速させる加工条件を決定する請求項 2 に記載の工作機械の制御装置。

2 5 . 前記工作機械が数値制御手段を具備しており、前記データ格納手段はワークの種々の材料に関する硬さ、引張強さ、及び弾性係数等の材料データを更に格納し、

前記予測演算手段は、加工が進捗するワーク形状データ、及び前記データ格納手段が格納する材料データに基づき、ワークの重量変化を予測し、予測されるワークの重量変化と前記工具経路決定手段で決定された加工条件とに基づき負荷イナーシャを予測し、予測される負荷イナーシャを前記数値制御手段へ送出し、前記数値制御手段がパラメータを補正する請求項 1 5 に記載の工作機械の制御装置。

2 6 . 前記予測演算部は、現在行っている加工工程及び要求精度



を認識して、前記認識した加工工程及び要求精度を前記数値制御手段へ送出し、前記数値制御手段がパラメータを補正するよう指令する請求項 25 に記載の工作機械の制御装置。

27. 前記予測演算手段は、前記ワークシミュレーション手段における加工が進捗するワーク形状の予測結果に基づき、工具とワークとの干渉チェックを行う請求項 15 に記載の工作機械の制御装置。

28. 前記入力手段から入力されたワークデータ及び加工形状データに基づき選択された加工領域と前記加工領域を加工する工具とが決定された後に、前記予測演算手段は、前記加工領域における工具とワークとの干渉チェックを行い、工具とワークとの干渉を予測し、前記加工工程決定手段は、その干渉予測演算の結果、干渉が発生しないとき前記加工領域を加工可能領域とし、干渉が発生するとき前記加工領域を加工不可領域とする請求項 2 に記載の工作機械の制御装置。

29. 前記予測演算手段は、前記入力手段から入力した加工形状データに対して任意に決定した工具とワークとの干渉チェックを行い、工具とワークとの干渉チェックの結果、干渉が発生しない加工可能領域と干渉が発生する加工不可領域とを決定し、前記加工可能領域を加工すべき範囲とする請求項 2 に記載の工作機械の制御装置。

30. 前記加工工程決定手段は、前記入力手段から入力した加工形状データの面傾斜角度を認識して、面傾斜角度の違いに基づき加工領域を区分する請求項 4 に記載の工作機械の制御装置。

31. 更に、加工領域毎に色分け表示する表示手段を具備する請求項 30 に記載の工作機械の制御装置。

32. 前記加工工程決定手段は、前記入力手段から入力した加工



形状データの面の曲率を認識し、曲率の違いに基づき加工領域を区分する請求項 4 に記載の工作機械の制御装置。

3 3. 更に、加工領域毎に色分け表示する表示手段を具備する請求項 3 2 に記載の工作機械の制御装置。

3 4. 前記加工工程決定手段は、前記入力手段から入力した加工形状データの深さを認識し、深さの違いに基づき加工領域を区分する請求項 4 に記載の工作機械の制御装置。

3 5. 更に、加工領域毎に色分け表示する表示手段を具備する請求項 3 4 に記載の工作機械の制御装置。

3 6. 前記予測演算手段は、工具とワークとの干渉チェックにより決定された加工領域、または前記入力手段から入力した加工形状データに対して任意に決定した工具とワークとの干渉チェックにより決定された加工領域と、前記入力手段から入力した加工形状データの面傾斜角度、面の曲率、深さに基づき決定された加工領域との重複領域を加工すべき範囲とする請求項 2 に記載の工作機械の制御装置。

3 7. 前記加工工程決定手段は、前記予測演算手段における工具とワークとの干渉チェックの結果、決定した加工不可領域における工具が干渉する領域を表示するよう表示手段へ指令する請求項 6 に記載の工作機械の制御装置。

3 8. 前記加工工程決定手段は、前記予測演算手段における工具とワークとの干渉チェックの結果、決定した加工可能領域に加工すべき範囲を任意に設定し、前記設定した範囲を表示するよう表示手段へ指令する請求項 6 に記載の工作機械の制御装置。

3 9. 前記工具経路決定手段は、前記入力手段から入力した加工形状データ及びワークデータを認識し、選択された等高加工パターンでワークが存在している領域のみを加工領域とする工具経路を生



成する請求項 1 に記載の工作機械の制御装置。

40. 前記工具経路決定手段は、前記入力手段から入力した加工形状データ及びワークデータを認識し、選択された等高加工パターンでワークの法線方向に一定量ずつ追いついて行く工具経路を生成する請求項 1 に記載の工作機械の制御装置。

41. 前記工具経路決定手段は、前記入力手段から入力した加工形状データ及びワークデータを認識し、選択された走査加工パターンでワークが存在している領域のみを加工領域とする工具経路を生成する請求項 1 に記載の工作機械の制御装置。

42. 前記工具経路決定手段は、前記入力手段から入力した加工形状データ及びワークデータを認識し、選択された走査加工パターンでワークの法線方向に一定量ずつ追いついて行く工具経路を生成する請求項 1 に記載の工作機械の制御装置。

43. 前記工具経路決定手段は、前記入力手段から入力した加工形状データ及びワークデータを認識し、選択された等高加工パターンでワークの隅部における工具の減速を防止する工具経路を生成する請求項 1 に記載の工作機械の制御装置。

44. 前記工具経路決定手段は、前記入力手段から入力した加工形状データ及びワークデータを認識し、選択された走査加工パターンでワークの隅部における工具の減速を防止する工具経路を生成する請求項 1 に記載の工作機械の制御装置。

45. 前記工具経路決定手段は、前記入力手段から入力した加工形状データ及びワークデータを認識し、加工領域における所定距離離れている退避位置から前記加工領域に向かい、使用する工具径での工具経路より所定量だけ法線方向に離れた位置から工具の移動を開始し、前記加工領域では使用する工具径での工具経路に一致するように前記工具を移動させ、前記加工領域の加工を行う工具経路を生



成する請求項 1 に記載の工作機械の制御装置。

46. 加工形状データを入力してワークを加工する加工装置であって、

前記ワークを加工する工作機械と、

最終的なワークの形状に関する加工形状データ、加工前のワークの材質、形状に関するワークデータを入力する入力手段と、

前記ワークを加工する前記工作機械の機械仕様を表す機械データ、前記工作機械が保有する工具の工具仕様を表す工具データのうち少なくとも 1 つを格納するデータ格納手段と、

前記入力手段により入力されたデータ、前記データ格納手段に格納されたデータに基づき、少なくとも加工負荷、または工具とワークとの干渉を予測する予測演算手段と、

前記予測演算手段による予測演算結果、前記入力手段により入力されたデータ、前記データ格納手段に格納されたデータに基づき、工具及び加工パターンを選択するとともに、加工工程を決定する加工工程決定手段と、

前記加工工程決定手段により選択、決定された工具、加工パターン及び加工工程、前記予測演算手段による予測演算結果、前記入力手段により入力されたデータ、前記データ格納手段に格納されたデータに基づき、前記ワークを加工する工具経路を生成すると共に、前記工作機械の主軸回転速度、送り速度等の前記ワークを加工する際の加工条件を決定する工具経路決定手段と、

前記工具経路決定手段により生成、決定された工具経路及び加工条件から前記工作機械の動作を制御する数値制御手段と、

を具備して構成されることを特徴とした加工装置。

47. ワークと加工形状データとを投入し、前記ワークが前記加工形状データに基づき所望形状に加工される工作機械の制御装置で



あって、

前記加工形状データ及び前記ワークの材質、形状等のワークデータを予め入力する入力手段と、

前記ワークを加工する前記工作機械の送り軸ストローク、主軸回転速度、送り速度等の機械仕様を表す機械データ、前記工作機械を制御する数値制御装置の各種パラメータ等の制御データ、及び前記工作機械が保有する工具の種類、材質、寸法等の工具仕様を表す工具データのうち少なくとも1つを格納するデータ格納手段と、

前記入力手段により入力されたデータ、前記データ格納手段に格納されたデータに基づき、少なくとも加工負荷、工具とワークとの干渉、工具の加工接触点のうち少なくとも1つを予測する予測演算手段と、

前記予測演算手段による予測演算結果、前記入力手段により入力されたデータ、及び前記データ格納手段に格納されたデータに基づき、少なくとも工具及び加工パターンを選択するとともに、加工工程を決定する加工工程決定手段と、

前記加工工程決定手段により選択、決定された工具、加工パターン及び加工工程、前記入力手段により入力されたデータ、前記データ格納手段に格納されたデータ、及び前記予測演算手段による予測演算結果に基づき、前記ワークを加工する工具経路を生成する工具経路生成手段と、

前記工具経路生成手段により生成された工具経路、前記データ格納手段に格納されたデータ、及び前記予測演算手段による予測演算結果に基づき、前記工作機械の主軸回転速度、送り速度等の前記ワークを加工する際の加工条件を決定する加工条件決定手段と、

前記工具経路生成手段により生成された工具経路及び前記加工条件決定手段により決定された加工条件から前記工作機械の動作を制



御する数値制御手段と、

を具備して構成されることを特徴とした工作機械の制御装置。

48. ワークと加工形状データとを投入し、前記ワークが前記加工形状データに基づき所望形状に加工される加工装置であって、

前記ワークに加工を施し加工製品を出力する工作機械と、

前記加工形状データ及び前記ワークの材質、形状等のワークデータを予め入力する入力手段と、

前記ワークを加工する前記工作機械の送り軸ストローク、主軸回転速度、送り速度等の機械仕様を表す機械データ、前記工作機械を制御する数値制御装置の各種パラメータ等の制御データ、及び前記工作機械が保有する工具の種類、材質、寸法等の工具仕様を表す工具データのうち少なくとも1つを格納するデータ格納手段と、

前記入力手段により入力されたデータ、前記データ格納手段に格納されたデータに基づき、少なくとも加工負荷、工具とワークとの干渉、工具の加工接触点のうち少なくとも1つを予測する予測演算手段と、

前記予測演算手段による予測演算結果、前記入力手段により入力されたデータ、及び前記データ格納手段に格納されたデータに基づき、少なくとも工具及び加工パターンを選択するとともに、加工工程を決定する加工工程決定手段と、

前記加工工程決定手段により選択、決定された工具、加工パターン及び加工工程、前記入力手段により入力されたデータ、前記データ格納手段に格納されたデータ、及び前記予測演算手段による予測演算結果に基づき、前記ワークを加工する工具経路を生成する工具経路生成手段と、

前記工具経路生成手段により生成された工具経路、前記データ格納手段に格納されたデータ、及び前記予測演算手段による予測演算



結果に基づき、前記工作機械の主軸回転速度、送り速度等の前記ワークを加工する際の加工条件を決定する加工条件決定手段と、

前記工具経路生成手段により生成された工具経路及び前記加工条件決定手段により決定された加工条件から前記加工機械部の工作機械の動作を制御する数値制御手段と、

を具備して構成されることを特徴とした加工装置。