

Dissertation ETH Nr. 9066 *ex. A*

Schruppen bei der Fräsbearbeitung

Ein Algorithmus zur rechnergestützten Generierung fertigungstechnisch optimaler Werkzeugbewegungen

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels
Doktor der Technischen Wissenschaften
der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH



Vorgelegt von
Manfred Friedrich Paulus
Diplom Ingenieur der Technischen Universität Clausthal (BRD)
geboren am 2. Juni 1956
von Frankfurt/Main (BRD)

Angenommen auf Antrag von
Professor M.Flemming
Professor F. Huber

1990

Kurzfassung

Die Technologie der Bearbeitung hat grossen Einfluss auf die Fertigungsplanung. Die vorliegende Untersuchung der Schrupptechnologie und die Entwicklung eines zugehörigen Algorithmus' ist ein Beitrag zum Einsatz rechnergestützter Verfahren in den der Fertigung vorgelagerten Bereichen. Aus einer Analyse der Technologie der Schruppbearbeitung wurden geometrische Bedingungen entwickelt, die eine optimale Verarbeitung der mit dem CAD/CAM-System definierten Geometrie zulassen.

Die Aufgabenstellung dieser Arbeit ist durch die folgenden Punkte charakterisiert:

- komplexe Geometrien
- fertigungstechnisch schwierige Einzelstücke, die nur zu einem geringen Teil mit standardisierten Elementen beschrieben werden können
- hohe Genauigkeit

Als Voraussetzung des Algorithmus' wurde das in den Betrieben vorhandene 'Know-How' bezüglich der theoretischen Grundlagen der Fertigungstechnik analysiert. Dazu wurde vor allem der Zerspanungsprozess und die Effizienz der Bearbeitung betrachtet. Dadurch konnte das Vorgehen der Praxis strukturiert und für weitere Analysen aufbereitet werden. Hieraus entstand eine systematische Vorgehensweise für den Schruppprozess bei der Fräsbearbeitung komplexer Bauteile. Aus dieser Vorgehensweise resultiert der folgende Algorithmus, mit dem man die Werkzeugbewegungen basierend auf den im CAD/CAM-System gespeicherten Daten des Werkstückes ermitteln kann.

1. In einem ersten Schritt legt man die Bereiche des zu zerspanenden Volumen fest, die jeweils mit einem Werkzeug bearbeitet werden sollen. Eine Analyse der Kollisionen zwischen dem Werkzeug und Werkstückgeometrie ergibt diejenigen Bereiche, die mit diesem Werkzeug nicht bearbeitet werden können. Eine weitere Unterteilung kann an den Stellen erfolgen, an denen das zu zerspanende Volumen einen geringen Querschnitt hat.
2. In den Bereichen legt man dann die Richtung der Bearbeitung für das Vor- und Feinschruppen fest. Die Richtung der Vor- und Feinschruppbearbeitung folgt aus einer Abschätzung der Schmiegun des Werkzeuges an das Werkstück, der Werkzeugbewegungen im Eingriff und der Leerwege.
3. In einem nächsten Schritt kann man die Schichten der letzten Bearbeitung jedes Bereiches ermitteln. Wenn die ermittelte und die vorgegebene Richtung der Bearbeitung nicht übereinstimmen, oder wenn die Veränderung der Eingriffsgrössen zu schnell erfolgt, muss man Schichten definieren, die nacheinander bearbeitet werden.
4. In jedem Bereich ermittelt man die Bearbeitungsflächen, d.h. die Flächen, auf denen sich der Führungspunkt des Werkzeuges bewegt. In die Berechnung fliessen die Werkstückgeometrie, die zu erreichende kinematische Rauheit, die Eingriffslänge und die Schnitttiefe des Werkzeuges ein. Die Lage der Flächen orientiert sich auch an den Kuppen und Senken der Werkstückgeometrie.

Die Flächen des Vorschruppens liegen so, dass bei ihrer Bearbeitung das Werkzeug möglichst viel Material im vollen Eingriff wegnimmt. Ein effizientes Feinschruppen erreicht

man, wenn man jeweils die Fläche als nächste bearbeitet, die in der Mitte von zwei bereits bearbeiteten Flächen liegt.

5. Mit der Festlegung der Bearbeitungsflächen kann man die Werkzeugbewegungen generieren. Dabei werden die Algorithmen zur Taschen- und Konturbearbeitung oder zur Bearbeitung einer Fläche angewendet.

Die Anwendung des entwickelten Algorithmus' für die Schruppbearbeitung von Werkstücken mit komplexer Geometrie hat folgende Vorteile

- Zeitersparnis bei der NC-Programmierung.
- Zeitersparnis beim Testen ('Einfahren') des NC-Steuerprogrammes: Der Algorithmus schliesst aus, dass Bereiche des Rohlings beim Schruppen vergessen werden oder Grate stehen gelassen werden. Dadurch benötigt man nur noch 1 bis 2 Tests des NC-Steuerprogrammes an der Werkzeugmaschine gegenüber 5 bis 10 bei konventioneller Generierung der Schruppbearbeitung.
- Erhöhung der Sicherheit der Bearbeitung: Da die gesamte Schruppbearbeitung in einem NC-Programm definiert ist, kann der Maschinenbediener während der Bearbeitung andere Tätigkeiten ausführen, zum Beispiel eine weitere Werkzeugmaschine bedienen oder den nächsten Bearbeitungsablauf programmieren.
- Erhöhung der Qualität der Bearbeitung: Der Algorithmus erzeugt eine in engen Toleranzen (z.B. ± 0.1 mm) definierte Äquidistante zur Fertigteilgeometrie. Bei der nachfolgenden Schlicht- und Feinschlichtbearbeitung bleiben dadurch die Bearbeitungskräfte konstant, was die Masshaltigkeit und Qualität der Fertigteilgeometrie verbessert.
- Die Werkzeugbewegungen der Schruppbearbeitung werden bei allen verwendeten Werkzeugen nach dem gleichen Algorithmus generiert, wodurch die Bearbeitung systematisiert wird.

Der Funktionsumfang von CAD/CAM-Systemen berücksichtigt gegenwärtig die Technologie der Bearbeitung relativ wenig; hier können gezielte Verbesserungen erreicht werden. Die mit einer Testimplementierung erzielten Resultate wurden mit den in der Praxis gewählten Strategien der Schruppbearbeitung verglichen.

Summary

The technology of the machining process influences production planning in many ways. This paper deals about the roughing process in milling. The present examination of roughing technology and the development of an associated algorithm is a contribution towards the use of computer-aided methods in areas preceding actual production. From an analysis of the technology of the roughing process, geometric conditions are developed which allow the geometry developed by CAD/CAM-system to be optimally utilized.

The workpieces considered in this paper are characterized as follows:

- complex geometries, defined with sculptured surfaces
- one-off workpieces that are difficult to produce and can hardly be described with standardized elements
- high precision

As a prerequisite for the algorithm the know-how available in the manufacturing departments was analysed with respect to the theoretical aspects of production technology. Mainly examined were the cutting process and the efficiency of machining. This enabled the practical procedure to be structured and prepared for further analyses. They yielded a systematic procedure for the roughing process when milling complicated workpieces. From this analysis the following algorithm was derived, with which the cutter path can be determined on the basis of the workpiece data stored in the CAD/CAM-system.

1. In a first step the ranges of the volume to be machined are defined. One tool is used for each of these ranges. Analysis of the cases where the cutter and the workpiece are incompatible with each other defines the ranges which cannot be machined with the particular tool. Further subdivision may be made at those points within the ranges, where the volume to be machined has a small cross-section.
2. In these ranges the direction of the cutter paths for the first and second roughing operations is specified. The direction for these operations is derived from an estimate of the degree to which the tool presses against the workpiece, the path of the tool when cutting and the fast-return paths.
3. In a next step the layers machined in the last roughing operation can be defined for each range. If the direction determined for machining does not agree with that given, or if the cutting parameters change too rapidly, layers have to be defined which are then successively machined
4. In each range the machining faces are determined, i.e. the faces on which the cutter location point moves. The workpiece geometry, the kinematic roughness to be attained, the width and the depth of the cut, all affect this calculation. The position of these faces is also influenced by the humps and hollows in the workpiece geometry.

The faces of the first roughing are such that the cutter removes as much material as possible when fully engaged. Efficient second roughing is achieved when the next face to be machined is situated between two already machined faces.

-
5. In a last step the cutter paths can be generated on the faces of roughing. The algorithms of contouring, pocketing or milling of faces can be used in this stage of the calculation.

The application of the algorithm for roughing workpieces with complex geometry offers the following advantages

- Time is saved on NC-programming.
- Time is saved on testing (running-in) the NC-programm on the tool machine: The algorithm prevents areas on the raw workpiece being forgotten when roughing or prevents burr from remaining. Thus only one or two tests are needed to check the NC-control program, compared with 5 to 10 when the roughing operations are generated conventionally .
- The reliability of the process is enhanced: Since the whole roughing process can be defined by a single NC-program, the machine operator is able to perform other tasks while machining is in progress. For example he can supervise another machine or program the next sequence of operations.
- The quality of machining is improved: The algorithm creates a geometry that is equidistant to that of the finished part within very close tolerances (e.g. ± 0.1 mm). Consequently during the finishing operations that follow, the machining forces remain constant, which greatly improves the dimensional accuracy and quality of the finished workpiece.
- The cutter paths during the roughing process are generated according to the same algorithm for all tools used, thereby making the roughing process more systematic.

The scope of the functions of the CAD/CAM-Systems today pays relatively little attention to the machining technology; here it would be possible to achieve definite improvements. The results obtained with a first test-implementation were compared with the roughing strategies adopted in practice.
