



Doctoral Thesis

## **Feinstfräsen Fräsen von Freiformflächen mit Schleifqualität**

**Author(s):**

Knobel, Peter Paul

**Publication Date:**

2000

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004107747> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Dissertation ETH Nr. 13931

# **Feinstfräsen**

## **Fräsen von Freiformflächen mit Schleifqualität**

ABHANDLUNG  
zur Erlangung des Titels eines Doktors der technischen Wissenschaften  
der  
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE  
ZÜRICH

vorgelegt von  
PETER PAUL KNOBEL  
Dipl. Masch.-Ing. ETH  
geboren am 26. August 1956  
von Schwändi (GL)

Aufgenommen auf Antrag von:  
Prof. Dr. Fritz Rehsteiner, Referent  
Prof. René Schmutz, Korreferent  
Prof. Dr. Josef Reissner, Korreferent

2000

## Kurzfassung

Es werden Mittel und Verfahren entwickelt, welche es gestatten, komplizierte Geometrien, sogenannte Freiformflächen, wie sie typischerweise im Formen- und Gesenkbau vorkommen, mit einer hervorragenden Oberflächenqualität zu fräsen. Dabei ist die Arbeit insbesondere auf das wirtschaftliche Ziel ausgerichtet. Der bis jetzt meist übliche, aufs Fräsen folgende, zeitraubende Nachbearbeitungsprozess und dessen Programmerstellung kann in den meisten Fällen eingespart werden.

Bei den in den erwähnten Gebieten üblichen Materialien wird ein Schwergewicht auf Gesenkstahl, vergütet bis  $1200 \text{ N/mm}^2$  Festigkeit, gelegt. Daneben ist die Anwendbarkeit auf Formstahl mit  $>1200 \text{ N/mm}^2$  und Härten von 52 bis 62 HRC untersucht worden. Aluminiumlegierungen, wie sie im Formenbau Verwendung finden, sowie Kupfer und Graphit für Senkelektroden werden hingegen in dieser Arbeit nicht näher betrachtet. Einige Erkenntnisse lassen sich aber problemlos übertragen.

Das Abbild der Geometrie und der Bewegung der Werkzeugschneide auf der Werkstückoberfläche, die kinematische Rauheit, kann sehr einfach mittels der hergeleiteten Näherungsformeln berechnet werden. Die Einflüsse der Fräsbahnbreite, der Vorschubgeschwindigkeit und der Schnittgeschwindigkeit auf die Prozessrauheit wurden in Versuchen ermittelt. Zusammen mit den durch die Werkzeugmaschine vorgegebenen Maximalwerten der Verfahrgeschwindigkeiten und der Beschleunigungsvermögen der einzelnen Achsen können die Bearbeitungsstrategie und die Berechnung der Fräsbahnen gezielt optimiert werden. Die geometrische Genauigkeit ist durchwegs im Bereich von  $\pm 0.01 \text{ mm}$  und die Rauheit liegt zwischen N6 und N5 bei Gesenkstählen mittlerer Festigkeit und zwischen N4 und N3 bei gehärteten Formstählen.

Neben den allgemeinen Freiformflächen konnten auch für die problematischen Hohlkehlenbereiche optimierte Bearbeitungsstrategien hergeleitet werden.

Fünffachsfräsmaschinen sind meistens für die zuvor postulierten maximalen Abweichungen der Werkstückgeometrie zu ungenau. Anhand eines Beispiels wurden die genauigkeitsbeeinflussenden Abweichungen analysiert und im Postprozessor kompensiert.

Daneben konnte die optimale Fräsergeometrie zur wirtschaftlichen Fertigung bestimmt werden.

## Abstract

Forging dies and injection molds with complicated geometries are milled mainly on three-axis machining centers. Thereafter a time-consuming manual grinding operation takes place. It causes a long production time and leads to geometrical inaccuracies. A surface in grinding quality can be produced with the selective application of the five-axis milling technology. The production time will be reduced substantially.

The project concentrates on tool steels recompensed to  $1200 \text{ N/mm}^2$  firmness. Besides former, the applicability of these handling strategies was examined for hardened tool steels (52 to 64 HRC). Aluminum alloys, as often used in the manufacturing of forms, as well as copper and graphite for spark-erosion electrodes are not specially considered in this project. However, some results can be transferred without any problems.

The influence of the milling cutter geometry, the distance between the milling paths, the feed rate and the cutting speed on roughness and tool life are analyzed in milling experiments. The process roughness, caused by the cutting off the material, is only about ten per cent of the required roughness (N6) and can be neglected. The milling strategy concentrates on the optimization of kinematic roughness, the image of geometry and the movement of the milling cutter on the workpiece surface. The kinematic roughness or the necessary process characteristics can be exactly determined by the simplified approximation formulas.

The maximum feed speed on five-axis machining centers varies locally, especially when swiveling axis are involved. It therefore influences the kinematic roughness and reduces the tool life. The tool life can be calculated, or directly controlled in function of the cutting speed and the feed rate.

Torus-shaped milling cutters are preferably used for the five-axis milling. The geometry of the milling cutter has an important influence on the kinematic roughness and the cutting volumina per time. The form of the milling cutter is optimized on the maximum cutting volume per time.

The milling courses and parameters are calculated with the optimized milling cutter, the specification of the tool life, the kinetics and the dynamics of the milling machine. The method of milling depends on form and adjustment of the free forming surfaces. Strategies were developed for five-axis milling with inclination, for five-axis flank milling, and for three-plus-two-axis milling.

Five-axis machining centers are relatively inaccurate. Most often there are large position deviations of the swiveling axes. The use of different milling strategies on the same workpiece leads therefore to big steps at the edges of the milling areas. The deviations which have an influence on the accuracy were analyzed at an example and compensated in the kinematic module.

The accuracies obtained in milling tests at a representative test workpiece are situated throughout within the range of  $\pm 0,01 \text{ mm}$ . The surface quality is better than N6.

For the economic evaluation the five-axis strategies were compared with conventional three-axis milling. The production time and costs were determined by the creation of the milling program up to the snagging. The production time could be reduced by more than 70 percent. Due to the high capital investments in the CAD/CAM-System and the five-axis machining center, the manufacturing costs cannot be reduced. However, re-clamping operations can be saved with the application of a five-axis machining center. The building of special fixtures can therefore be omitted. At this point the manufacturing costs will be reduced considerably.