



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Institut für
Fertigungstechnik und
Photonische Technologien



Diplomarbeit

Optimierung von Technologieparametern im NC-Code
anhand von Daten eines sensorischen Werkzeughalters
und der CNC-Fräsmaschine

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-
Ingenieurs (Dipl.-Ing. oder DI) unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dipl. Ing. Dr. Bleicher

(Institut für Fertigungstechnik und Photonische Technologien)

und der Betreuung von

Dipl. Ing. Gernot Mauthner

(Institut für Fertigungstechnik und Photonische Technologien)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

VOTRUBA Wolfgang

01325030

Getreidegasse 9/10

3454 Sitzenberg-Reidling

Wien, im November 2021

Wolfgang, Votruba

Ich nehme zur Kenntnis, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass die vorliegende Arbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen von mir selbstständig erstellt wurde. Alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, sind in dieser Arbeit genannt und aufgelistet. Die aus den Quellen wörtlich entnommenen Stellen, sind als solche kenntlich gemacht.

Das Thema dieser Arbeit wurde von mir bisher weder im In- noch Ausland einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt. Diese Arbeit stimmt mit der von den Begutachterinnen/Begutachtern beurteilten Arbeit überein.

Wien, im November 2021

Wolfgang, Votruba

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich die Möglichkeit nutzen, um mich bei allen Personen zu bedanken, welche mich bei der Erstellung dieser Diplomarbeit unterstützt haben.

Als erstes möchte ich meinen Eltern und meiner Tante Margit danken, welche mir das Studium ermöglicht und auf dem Weg immer unterstützt haben. Ebenso will ich meiner Partnerin Sophie danken, welche mich all die Jahren begleitet hat und mir eine große Stütze war.

Weiteren Dank gebührt meinem Betreuer DI Gernot Mauthner, welcher immer für Hilfestellungen und Rat zur Verfügung stand, sowie mir die Möglichkeit zum Sammeln erster wissenschaftlicher Erfahrung im Rahmen einer Anstellung ermöglichte.

Abschließend möchte ich mich bei dem gesamten Personal des Instituts für Fertigungstechnik und Photonische Technologien, insbesondere meinem Hauptbetreuer Prof. Friedrich Bleicher, bedanken, ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Kurzfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung eines Systems zur Realisierung einer automatischen Optimierung von Schnittparametern im Zuge des Einfahrprozesses mit Verknüpfung in die CAM Umgebung. Mithilfe einer bestehenden Regelung durch einen, vom IFT mitentwickelten, sensorischen Werkzeughalter, werden instabile Bereiche erkannt und automatisch Vorschub und/oder Spindeldrehzahl bis zum Erreichen eines stabilen Zustandes („Sweet Spot“) verringert. Dieses so genannte „Adaptive Control System“ findet heutzutage in vielen Bereichen der Industrie Verwendung. In einigen Unternehmen ist diese automatische Anpassung der Prozessparameter jedoch aufgrund von Anforderungen des Qualitätsmanagements nicht zulässig, da NC-Programme nach deren Freigabe nicht mehr verändert werden dürfen. Für die Aktivierung der Regelung des sensorischen Werkzeughalters wurde eine Eingabemaske in der CAM-Umgebung Siemens NX geschaffen. Der in weiterer Folge generierte NC-Code enthält nun die maschinenspezifischen Befehle zur Aktivierung der Regelung, sowie Informationen zu der jeweils aktiven CAM-Operation. Diese Information wird benötigt, um eine feature-basierte Datenerfassung und somit eine anschließende Zuordnung der Messdaten zu den betreffenden CAM-Operationen in der CAM-Umgebung zu ermöglichen. Während des Einfahrprozesses mit aktiver Regelung werden nun Fertigungsdaten wie der IFT-Wert des sensorischen Werkzeughalters, Achspositionen des Werkzeuges, Vorschub und Spindeldrehzahl aufgezeichnet und als CSV-Datei abgespeichert. In Siemens NX können diese Daten durch eine hierfür entwickelte Eingabemaske eingelesen und ausgewertet werden. Durch die Verbindung von Fertigungsdaten und virtueller CAM-Umgebung kann nun der reale Werkzeugpfad auf dem virtuellen Bauteil dargestellt werden und instabile Bereiche gekennzeichnet werden. Des Weiteren werden die Messdaten den betroffenen CAM-Operationen zugeordnet und der „Sweet Spot“ der Regelung kann in die zugehörigen Operationen übernommen werden. Diese Optimierung kann auf die gesamte CAM-Operation oder nur in betroffenen Teilsegmenten erfolgen. Das Ziel ist es, dass im Anschluss eine stabile Fertigung ohne aktive Regelung durchgeführt werden kann. In Versuchen konnte die Funktionsweise des Systems validiert werden, wodurch zuvor instabile Prozesse nach einer Optimierung der Parameter stabil abliefen.

Abstract

This thesis deals with the development of a system for the implementation of an automatic optimization of cutting parameters during the run-in process with a link to the CAM environment. With the help of an existing control system of the sensory tool holder, which was co-developed by the IFT, unstable areas are recognized and the feedrate and / or spindle speed are automatically reduced until a stable state (“sweet spot”) is reached. This so-called “Adaptive Control System” is used today in many areas of industry. In some companies, however, this automatic adjustment of the process parameters is not permitted due to quality management requirements, since NC programs may no longer be changed after they have been approved. An input mask was created in the Siemens NX-CAM environment to activate the control of the sensory tool holder. The generated NC code now contains the machine-specific commands for activating the control system, as well as information on the currently active CAM operation. This information is required to enable feature-based data collection and thus to enable the connection of the measurement data to the relevant CAM operations in the CAM environment. During the running-in process with active control, production data such as the IFT value of the sensory tool holder, axis positions of the tool, feedrate and spindle speed are recorded and saved as a CSV file. In Siemens NX, this data can be read in and evaluated using an input mask developed for this purpose. By connecting the manufacturing data and the virtual CAM environment, the real tool path can now be displayed on the virtual part and unstable areas can be identified. Furthermore, the measurement data are assigned to the relevant CAM operations and the “sweet spot” of the control can be adopted in these operations. This optimization can be carried out on the entire CAM operation or only in affected subsegments. The aim is that stable production can then be carried out without active control. The functionality of the system could be validated in tests, whereby a previously unstable process performed stably after an optimization of the cutting parameters.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	10
1 Einleitung	12
2 Grundlagen und Stand der Technik	13
2.1 Ratterschwingungen.....	13
2.1.1 Entstehung von Ratterschwingungen	13
2.1.2 Auswirkungen von Ratterschwingungen.....	15
2.1.3 Beeinflussende Prozessparameter	15
2.1.4 Methoden zur Vermeidung von Ratterschwingungen	16
2.2 Datenerfassung.....	24
2.2.1 Herstellerspezifische Protokolle.....	24
2.2.2 Offene Standards.....	25
2.3 Siemens NX	28
2.3.1 Siemens NX-CAM.....	28
2.3.2 Siemens NXOpen	28
3 Zielsetzung.....	30
4 Konzept eines automatisierten Einfahrprozesses beim Fräsen.....	32
4.1 Manueller Einfahrprozess von neuartigen Prozessen	32
4.2 Automatischer Einfahrprozess unterstützt durch sensorische Werkzeuge...33	
5 Praktische Umsetzung an Sinumerik 840D sl	37
5.1 Integration des sensorischen Werkzeughalters in NX	37
5.2 Datenerfassung während des Fertigungsprozesses	41
5.2.1 Datenbereitstellung.....	41
5.2.2 Feature-basierte Datenaufzeichnung.....	41
5.3 Verarbeitung der Messdaten in Siemens NX	46
5.3.1 Einlesen der Prozessdaten.....	46
5.3.2 Visualisierung der Prozessdaten	47
5.3.3 Optimierung der Bearbeitung basierend auf den Prozessdaten	49
5.4 Verifizierung des Systems an einer EMCO MM500	54
5.4.1 Versuchsaufbau.....	54

5.4.2	Versuchsdurchführung.....	57
5.4.3	Versuchsergebnisse	58
6	Praktische Umsetzung an Fanuc FS31IB5.....	61
6.1	Implementierung einer gemeinsamen Datenerfassung.....	61
6.2	Implementierung der Datenaufzeichnung.....	63
6.3	Änderungen zur Aktivierung der Regelung an DMU75.....	64
6.4	Verifizierung des Systems an einer DMG DMU75	65
6.4.1	Versuchsaufbau.....	65
6.4.2	Versuchsdurchführung.....	69
6.4.3	Versuchsergebnisse	69
6.5	Weiterführende Analyse der Oberflächenqualität.....	73
6.5.1	Versuchsaufbau für Fertigung und Messdatenaufzeichnung.....	73
6.5.2	Versuchsaufbau für Ermittlung der Oberflächenrauheit.....	76
6.5.3	Versuchsergebnisse	78
7	Zusammenfassung und Ausblick	83
7.1	Beantwortete Forschungsfragen	83
7.2	Ausblick.....	84
8	Literatur.....	86
	Abbildungsverzeichnis.....	90
	Tabellenverzeichnis.....	93
	Anhang.....	94

Abkürzungsverzeichnis

CAX	Computer aided ...
CAD	Computer aided Design
CAM	Computer aided Manufacturing
IFT	Institut für Fertigungstechnik und Photonische Technologien
TU	Technische Universität
STH	Sensory Tool Holder (sensorischer Werkzeughalter)
ACM	Adaptive Control & Monitoring
NC	Numerical Control (Numerische Steuerung)
CNC	Computerized Numerical Control
API	Application Programming Interface
SDK	Software Development Kit
MEMS	Micro-Electro-Mechanical System
SPU	Signal Processing Unit
STU	Stationary Transceiver Unit
HSK	Hohlschaftkegel
CLDATA / CLD	Cutter Location Data
TCL	Tool command language
PC	Personal Computer
HSSB	High Speed Serial Bus
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
IP	Internet Protocol
OPC-UA	Open Platform Communications - Unified Architecture
OPC DA	Open Platform Communications - Data Access
OPC A/E	Open Platform Communications - Alarms and Events
OPC HDA	Open Platform Communications - Historical Data Access
MQTT	Message Queue Telemetry Protocol
IoT	Internet of Things
M2M	Machine to Machine
OASIS	Organization for the Advancement of Structured Information Standards
CSV	Comma-separated values
UI	User Interface
UDE	User-Defined-Event
MSG	Message
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
JAML	Yet Another Multicolumn Layout
P _x	Punkt x

a_p	Axiale Schnitttiefe
a_e	Radiale Schnitttiefe
VHM	Vollhartmetall
v_f	Vorschubgeschwindigkeit
n	Drehzahl
Sa	Flächenbezogener Mittenrauwert
Sz	Maximale Höhe der flächenbezogenen Rauheit
Ra	Linienbezogener Mittenrauwert
V	Vertikale Auflösung
L	Laterale Auflösung
T	Belichtungszeit
l_n	Messlänge
λ_c	Einzelmessstrecke
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
d.h.	das heißt
etc.	et cetera
exkl.	exklusive
inkl.	Inklusive
lt.	laut
min	Minuten
o.g.	oben genannt
Sek.	Sekunden
u.a.	unter anderem
vgl.	vergleiche
z.B.	zum Beispiel