



OTTO VON GUERICKE
UNIVERSITÄT
MAGDEBURG

FAKULTÄT FÜR
MASCHINENBAU

Inverses Spanungsverhältnis – eine neue Strategie für das Planfräsen

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktoringenieur

(Dr.-Ing.)

von M.Sc. M.Eng. Dmytro Borysenko
geb. am 04.11.1992 in Mykolajiw, Ukraine

genehmigt durch die Fakultät für Maschinenbau
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. h.c. Dr. h.c. Dr. h.c. Bernhard Karpuschewski
Prof. Dr. habil. Dr. h.c. Prof. h.c. János Kundrák

Promotionskolloquium am 30.04.2020

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	I
Abstract	II
Inhaltsverzeichnis	III
Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen	VI
1 Einleitung.....	1
2 Stand der Technik	3
2.1 Konventionelles Planfräsen	3
2.2 High Feed Milling (HFM)	6
2.3 High Speed Cutting beim Planfräsen	7
2.4 Axiale und Radiale Schnittaufteilung	9
2.5 Begriff „inverse Spannungstechnologie“ und Grundprinzip	12
2.6 Zerspankraftmodelle und FEM Simulation	15
3 Zielstellung	22
4 Instrumentarium und Methoden.....	24
4.1 Versuchsmaschinen	24
4.2 Untersuchte Werkstoffe	25
4.3 Methode der Werkzeugentwicklung und Versuchswerkzeuge	26
4.3.1 Methode der Werkzeugentwicklung	26
4.3.2 Versuchswerkzeuge und -wendeschneidplatten	28
4.4 Versuchsstände.....	32
4.4.1 Versuchsaufbau für die Erfassung der Kraftkomponenten und Auslenkungen beim Fräsen.....	32
4.4.2 Versuchsaufbau für die Erfassung der Kraftkomponenten beim Drehen.....	33
4.4.3 Versuchsaufbau für die Hochgeschwindigkeitsaufnahme beim Fräsen	34
4.4.4 Versuchsaufbau für die Temperaturmessung beim Fräsen	35

4.5	Messtechnik	36
4.6	Methoden der Versuchsplanung.....	38
4.7	Eigener Beitrag zur Ermittlung und Berechnung von Kraftwirkungen beim Fräsen.....	39
4.8	Aufschlagbedingungen der Schneide und Stoßfaktors p	42
4.9	FEM-Simulationsmodell	43
5	Kräfte.....	48
5.1	Einfluss eines inversen Spanungsverhältnisses auf die Kraftkomponenten beim Planfräsen	48
5.2	Axialbelastung der Spindel.....	53
5.3	Physikalische Ursachen des Zerspankraftabfalls	54
5.4	Erweiterung des Kraftmodells nach Victor und Kienzle	58
5.5	Kraftmodell für das Planfräsen	63
5.6	Aufschlagbedingungen bei inverser Spanbildung.....	69
6	Spanbildung, Werkzeuggeometrie und Verschleiß.....	71
6.1	Spanbildung und Spanfluss bei inversem Spanungsverhältnis: Simulation und Realität.....	71
6.2	Einfluss der Schneidengeometrie auf die Prozesskenn- und Wirkgrößen bei einer inversen Spanbildung.....	75
6.2.1	Einfluss des Seitenspanwinkels γ_f auf die Prozesskenn- und Wirkgrößen.....	76
6.2.2	Einfluss des Rückspanwinkels γ_p auf die Prozess- und Wirkgrößen... ..	81
6.3	Verschleißverhalten und Verschleißmodell für die inverse Zerspangung.....	85
7	Werkstückoberfläche.....	89
7.1	Oberflächenqualität bei inverser Spanbildung	89
7.1.1	Modelle zur Vorhersage der Oberflächenqualität	90
7.1.2	Einfluss der Schnittgeschwindigkeit auf die Oberflächenqualität.....	95
7.2	Ausbildung der Randzoneneigenschaften bei inverser Spanbildung.....	96
7.2.1	Einfluss des Vorschubes auf die Randzoneneigenschaften.....	96

7.2.2	Einfluss eines Kühlschmierstoffs auf die Randzoneneigenschaften....	99
7.2.3	Erklärungsmodell zur Eigenspannungsbildung beim Planfräsen.....	100
8	Praxisrelevante Anwendungen.....	105
8.1	Inverse Spannungstechnologie und High Speed Cutting	105
8.2	Schnittaufteilung bei inverser Spanbildung	108
8.2.1	Axiale Schnittaufteilung bei inverser Spanbildung.....	108
8.2.2	Kombinierte Schnittaufteilung – Spiralanordnung der Schneiden bei inverser Spanbildung.....	109
8.3	Empfehlungen für die Werkzeug- und Prozessgestaltung für die Umsetzung einer inversen Spannungstechnologie	112
9	Zusammenfassung.....	114
10	Ausblick	118
11	Literaturverzeichnis.....	119
Anhang A.....		132
Anhang B.....		133