

**Optimierung der Spanbildung und Minimierung des
Späneintrages in das Werkstück für das
Bohren von Al-Legierungen**

Vom Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik
der Technischen Universität Kaiserslautern
zur Verleihung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)
genehmigte Dissertation

von

**Diplom-Ingenieur
Bonno Hayo Stürenburg**

aus

Esslingen

Tag der mündlichen Prüfung: 5. Mai 2009

Promotionskommission:

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Siegfried Ripperger
1. Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Jan C. Aurich
2. Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Rudolf Flierl

Kaiserslautern, 2009

Inhaltsverzeichnis

English Summary	III
Abkürzungen	V
1 Einleitung	1
2 Motivation	2
2.1 Prozesskettenbetrachtung der Fertigung von Komponenten des Antriebsstranges aus Aluminiumlegierungen.....	2
2.2 Bedeutung des Späneintrages ins Werkstück	4
3 Stand der Technik	6
3.1 Definition der Werkstückqualität	6
3.2 Das Fertigungsverfahren Bohren.....	7
3.2.1 Wirkungsweise des Bohrens ins Volle.....	7
3.2.2 Schneidstoffe für Bohrwerkzeuge.....	8
3.2.3 Mikro- und Makrogeometrie der Bohrwerkzeuge	10
3.2.4 Zerspankräfte und Schnittmomente	13
3.3 Spanbildung.....	16
3.3.1 Spanbildungsmechanismen	16
3.3.2 Einflussgrößen auf die Spanbildung	17
3.3.3 Spanarten.....	22
3.3.4 Klassifizierung von Spanformen.....	22
3.4 Gratbildung.....	26
3.4.1 Definition des Grates.....	26
3.4.2 Gratbildung beim Bohren.....	26
3.4.3 Einflussgröße und Erkenntnisstand der Gratbildung beim Bohren.....	27
4 Aufgabenstellung und Zielsetzung	29
4.1 Zusammenfassende Beurteilung des Standes der Technik.....	29
4.2 Ziele und Aufgabenstruktur.....	30
4.3 Aufbau der Arbeit.....	30
5 Experimentelle Untersuchungen.....	31
5.1 Versuchsumfeld.....	31
5.1.1 Versuchsmaschinen.....	31
5.1.2 Mess- und Analysegeräte	32
5.1.3 Werkstückstoffe	33
5.1.4 Versuchsaufbau und –werkstücke.....	34
5.1.5 Versuchsdurchführung	35
5.1.6 Versuchswerkzeuge.....	36
5.1.7 Kühlschmierstoffe	36
5.2 Untersuchungen zum Einfluss der Werkstückkonstruktion auf den Späneintrag ins Werkstück	37
5.2.1 Variation der Bohrungsaustrittsgeometrie	37
5.2.2 Untersuchungen zur Bohrungsgeometrie.....	41
5.2.3 Einfluss ausgewählter Fertigungsverfahren auf den Späneintrag ins Werkstück.....	42
5.3 Untersuchung zum Einfluss von Werkzeug und Prozessparametern auf den Späneintrag ins Bauteil	43
5.3.1 Einfluss des Kühlschmierstoffes	44
5.3.2 Parametervariation von Vorschub- und Schnittgeschwindigkeit.....	50
5.3.3 Untersuchungen zum Einfluss der Bohrer- makrogeometrie auf den Späneintrag ins Werkstück	53
5.3.4 Einfluss ausgewählter Werkzeugdurchmesser	58
5.3.5 Einfluss des Werkzeugverschleißes auf den Späneintrag ins Bauteil	62

5.3.6	Untersuchung alternativer Werkzeugkonzepte und deren Auswirkung auf den Späneintrag ins Bauteil.....	65
5.4	Einfluss des Werkstückstoffes auf den Späneintrag ins Werkstück	69
5.4.1	Auswirkungen der Wärmebehandlung auf den Zerspanungsprozess	70
5.4.2	Auswirkungen des Magnesiumgehaltes der Aluminiumlegierung auf die Spanbildung	73
5.5	Fazit zu den experimentellen Untersuchungen zum Einfluss des Zerspanprozesses auf den Späneintrages ins Werkstück	75
6	Ansatz zur Minimierung des Späneintrages ins Werkstück	77
6.1	Bestimmung der für den Späneintrag relevanten Zonen.....	77
6.1.1	Vorbetrachtungen zum Entstehungsort.....	77
6.1.2	Weiterführende Berechnung zur Bestimmung der für den Späneintrag relevanten Bereiche.....	78
6.2	Definition der für den Späneintrag relevanten Bereiche.....	82
6.3	Gesetzesmäßigkeiten für die Phase I des Späneintrages.....	83
6.3.1	Minimierung des Späneintrages in der Phase I	85
6.4	Gesetzesmäßigkeiten für die Phase II des Späneintrages.....	87
6.4.1	Bewegungsform des Spanes	87
6.4.2	Betrachtung der wirkenden Kräfte.....	90
6.4.3	Minimierung des Späneintrages in der Phase II.....	93
6.5	Gesetzesmäßigkeiten für die Phase III des Späneintrages	94
6.5.1	Minimierung des Späneintrages in der Phase III	96
6.6	Zusammenfassung der Erkenntnisse.....	96
7	Umsetzung der Erkenntnisse in der Großserienfertigung	98
7.1	Der Cannstatter Regelkreis zur Minimierung des Späneintrages ins Werkstück...98	98
7.1.1	Methoden des Six Sigmas.....	98
7.1.2	Übertragung auf das Zielsystem	99
7.1.3	Zusammenfassung und weiterer Forschungsbedarf.....	101
7.2	Werkzeugentwicklung und Erprobung	102
7.2.1	Werkzeugkonzepte für die Bearbeitung der Kernabstützungsbohrung ...	102
7.2.2	Hülsenbohrer.....	106
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	111
9	Quellenverzeichnis	113