

Ressourceneffizientes Hochleistungsbohren mit Spiralbohrern – Analyse und Prozessgestaltung

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur
(Dr.-Ing.)

vorgelegt
der Fakultät für Maschinenbau der
Technischen Universität Chemnitz

von Dipl.-Ing. Martin Dix
geboren am 14.10.1981 in Karl-Marx-Stadt jetzt Chemnitz
eingereicht am 13.03.2013

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr.-Ing. E. h. mult. Dr. h. c. Reimund Neugebauer
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dr. h.c. Dr. h.c. Fritz Klocke

Chemnitz, den 07.10.2013

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis	12
Abkürzungsverzeichnis	14
1 Einleitung	17
1.1 Motivation.....	17
1.2 Aufgabenstellung und Lösungsweg.....	18
2 Grundlagen	21
2.1 Energie- und ressourceneffiziente Gestaltung der Produktion	21
2.1.1 Technologische Ansätze zur energieeffizienten Prozessketten- und Prozessgestaltung	24
2.1.2 Energie- und Ressourceneffizienz beim Spanen	25
2.2 Kühlschmierstrategien bei der spanenden Bearbeitung	29
2.2.1 Anforderungen und Ziele der Kühlschmierung	29
2.2.2 Nassbearbeitung – Überflutungskühlschmierung	31
2.2.3 Minimalmengenschmierung.....	33
2.2.4 Trockenbearbeitung.....	36
2.2.5 Kryogene Kühlung	38
2.2.6 Übergeordneter technologischer und ressourcenspezifischer Vergleich der Kühlschmierstrategien	57
2.3 Bohren ins Volle mittels Spiralbohrer	60
2.3.1 Verfahrensbesonderheiten und Werkzeuggeometrien	61
2.3.2 Kräfte, Momente und Energieberechnung	63
3 Zielsetzung der Arbeit und Vorgehensweise	65
3.1 Ziele	65
3.2 Vorgehensweise	66
4 Experimentelle Analyse der Ressourcenverbräuche beim Bohren	67
4.1 Betrachtungsraum, -größen und Versuchsaufbau	67
4.2 Analyse – Einfluss der Bearbeitungsparameter bei Überflutungskühlschmierung	70
4.2.1 Parameterwahl und Versuchsaufbau.....	70
4.2.2 Ergebnisse	72
4.2.3 Diskussion	79
4.3 Analyse – Energetischer und ressourcenspezifischer Vergleich konventioneller Kühlschmiersysteme	83

4.3.1	Parameterwahl und Versuchsaufbau.....	83
4.3.2	Ergebnisse	86
4.3.3	Diskussion	93
4.4	Analyse – Kryogene Kühlung und angepasste Werkzeugkonzepte.....	96
4.4.1	Parameterwahl und Versuchsaufbau.....	97
4.4.2	Ergebnisse	98
4.4.3	Diskussion	101
4.5	Ökonomischer und ökologischer Vergleich der Bearbeitungsstrategien	106
5	Ressourceneffiziente Gestaltung der kryogenen Kühlung beim Bohren	111
5.1	Temperaturverteilung am kryogen gekühlten Bohrer	112
5.1.1	Experimentelle Analyse der Temperaturverteilung	113
5.1.2	Modellierung der kryogenen Kühlung am Bohrwerkzeug	115
5.2	Kryogen gekühlter Bohrer und Werkstück	123
5.2.1	Temperaturverteilung am kryogen gekühlten Werkzeug und Werkstück.....	123
5.2.2	Vergleich des Abkühlverhaltens mit und ohne Werkstück	126
5.3	Modellierung des Bohrprozesses mit kryogener Kühlung sowie experimentelle Verifikation	128
5.3.1	Modellbildung Bohren.....	128
5.3.2	Temperaturen beim kryogen gekühlten Bohren	130
5.3.3	Verifikation der Simulationsergebnisse.....	133
5.4	Vergleich des gekühlten und ungekühlten Bohrprozesses mit verschiedenen Bohrwerkzeugen.....	134
5.5	Berechnung der Temperaturverteilung an der Schneide im anwendungsnahen Bohrzyklus	138
5.6	Methodik zur Bestimmung des minimalen Kühlmittelbedarfs.....	143
6	Ableitung von Strategien zur Prozessgestaltung beim Bohren	149
7	Zusammenfassung.....	153
8	Ausblick	157
9	Literaturangaben	159
10	Anhang	173