

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen und Formelzeichen	xv
1 Einleitung und Motivation	1
2 Stand der Technik	3
2.1 Tiefbohren kleinster Durchmesser mit Wendeltiefbohrern	4
2.1.1 Anwendungsgebiete von Tiefbohrungen kleinster Durch-	
messer	6
2.1.2 Merkmale und Eigenschaften von Wendeltiefbohrern . .	6
2.1.3 Prozessgestaltung beim Wendeltiefbohren mit kleinsten	
Durchmessern	9
2.1.4 Eigenschaften schwer zerspanbarer Werkstoffe	13
2.2 Kühlschmierstoffe und Kühlschmierstoffsysteme in spanenden	
Produktionsprozessen	19
2.2.1 Bedeutung von Kühlschmierstoffen in der spanenden	
Fertigung	19
2.2.2 Kühlschmierstoffsysteme zum Bohren schwer zerspanba-	
rer Werkstoffe	22
2.2.3 Zusammensetzung von Kühlschmierstoffen	27
2.2.4 Zusatzstoffe für Kühlschmierstoffe	29
2.2.5 Schmierstoffkennwerte und Prüfverfahren	30
2.3 Merkmale von CO ₂ -Schmierstoffmischungen	32
3 Zielsetzung und Vorgehensweise	35
4 Experimentelle Randbedingungen	39
4.1 Versuchsaufbau zur Durchführung von Zerspanversuchen mit	
unterschiedlichen MMS-Systemen	39
4.1.1 Konfiguration des Maschinensystems zur Anwendung	
konventioneller interner Minimalmengenschmierung . . .	39
4.1.2 Aufbau und Integration der kryogenen Minimalmengens-	
schmierung	41
4.1.3 Aufbau des Messsystems zur Erfassung der Prozesssignale	
beim Bohren	42
4.1.4 Versuchswerkzeuge und -werkstücke zur Bewertung der	
Leistungsfähigkeit der MMS-Anwendungen	44
4.2 Auswahl von Versuchsschmierstoffen zur konventionellen und	
kryogenen Minimalmengenschmierung	45
4.3 Prüfstände und Versuchsplan zur Bestimmung des Phasenver-	
haltens von Schmierstoff-CO ₂ -Mischungen	46
4.3.1 Untersuchung des Phasengleichgewichts in einer Hoch-	
drucksichtzelle	47
4.3.2 Untersuchung der Lösungskinetik in einer durchström-	
baren Sichtzelle	49

4.3.3	Anwendungstechnischer Nachweis der Bedeutung des Phasenverhaltens auf den Schmierstofftransport	51
4.4	Versuchsplan zur Bewertung des Einsatzverhaltens verschiedener Schmierstoffe mit konventioneller und kryogener Minimalmengenschmierung	53
4.4.1	Durchführung der Zerspanversuche	53
4.4.2	Methoden zur Bewertung der Bohrungsqualität	55
5	Phasenverhalten von binären CO₂-Schmierstoff-Systemen	59
5.1	Untersuchung des Phasengleichgewichts von binären CO ₂ -Schmierstoff-Systemen innerhalb der Hochdrucksichtzelle	59
5.1.1	Phasengleichgewicht von CO ₂ mit dem Polyolesterschmierstoff POE	61
5.1.2	Phasengleichgewicht von CO ₂ mit den Monoesterschmierstoffen S ₊ und S ₊₊	62
5.1.3	Phasengleichgewicht von CO ₂ mit dem Schmierstoff Proto1	65
5.1.4	Phasengleichgewicht von CO ₂ mit den Schmierstoffen Proto2 und Proto2 _{ADD}	65
5.2	Lösungskinematik der Schmierstoffe innerhalb einer CO ₂ -Strömung	67
5.3	Anwendungstechnischer Nachweis der Bedeutung des Phasenverhaltens auf den Schmierstofftransport	70
6	Einfluss der technologischen Parameter auf den Zerspanprozess bei Anwendung kryogener Minimalmengenschmierung	75
6.1	Schnittparameteroptimierung zur Bestimmung des geeigneten Prozessfensters bei der Bearbeitung des Edelstahl X90CrMoV18	76
6.1.1	Bewertung der mechanischen Werkzeugbelastung im Hinblick auf die Stabilität des Zerspanprozesses	76
6.1.2	Einfluss der technologischen Parameter auf die Spanbildung und das Verschleißverhalten der Werkzeuge	80
6.1.3	Einfluss der Prozessparameter auf die Qualität der erzeugten Bohrung	85
6.2	Schnittparametervariation zur Einstellung eines stabilen Zerspanprozesses bei der Bearbeitung der Nickelbasislegierung Inconel 718	87
6.2.1	Bewertung der mechanischen Werkzeugbelastung im Hinblick auf die Stabilität des Zerspanprozesses	89
6.2.2	Einfluss der technologischen Parameter auf die Spanbildung und das Verschleißverhalten der Werkzeuge	93
6.2.3	Einfluss der Prozessparameter auf die Qualität der erzeugten Bohrung	96
6.3	Abschließende Bewertung und Festlegung der technologischen Parameter	98

Inhaltsverzeichnis	xiii
7 Tiefbohren mit Hochdruck-Minimalmengenschmierung	101
7.1 Optimierung des Hochdruck-iMMS-Systems für den Einsatz mit Kleinstwerkzeugen	101
7.2 Bearbeitung des Werkstoffes X90CrMoV18 mit interner Hochdruck-Minimalmengenschmierung	102
7.2.1 Mechanische Werkzeugbelastung beim Bohren mit interner Hochdruck-Minimalmengenschmierung	102
7.2.2 Werkstück- und Prozessqualität beim Bohren mit interner Hochdruck-Minimalmengenschmierung	108
7.3 Bearbeitung des Werkstoffes Inconel 718 mit interner Hochdruck-Minimalmengenschmierung	113
7.3.1 Mechanische Werkzeugbelastung beim Bohren mit interner Hochdruck-Minimalmengenschmierung	114
7.3.2 Werkstück- und Prozessqualität beim Bohren mit interner Hochdruck-Minimalmengenschmierung	117
7.4 Abschließende Bewertung des Einsatzverhaltens der inneren Hochdruckminimalmengenschmierung	118
8 Tiefbohren mit kryogener Minimalmengenschmierung	119
8.1 Tiefbohren des härtbaren Edstahls X90CrMoV18	119
8.1.1 Einfluss der Schmierstoffauswahl auf die mechanische Belastung der Werkzeuge	119
8.1.2 Qualität der erzeugten Bohrungen in Abhängigkeit von dem gewählten Schmierstoff	126
8.2 Tiefbohren der hochwarmfesten Nickelbasislegierung Inconel 718	132
8.2.1 Einfluss der Schmierstoffeigenschaften auf die mechanische Belastung der Werkzeuge	132
8.2.2 Qualität der erzeugten Bohrungen in Abhängigkeit von dem eingesetzten Schmierstoff	139
9 Vergleichende Bewertung der realisierten MMS-Systeme	147
9.1 Vergleich der MMS-Varianten beim Bohren in X90CrMoV18 . .	147
9.2 Vergleich der MMS-Varianten beim Bohren in Inconel 718 . .	151
10 Zusammenfassung und Ausblick	157
Literaturverzeichnis	161