

**Untersuchungen von Infiltrationswerkstoffen auf
Wolframschmelzkarbidbasis für den Einsatz in Bohrköpfen bei
Erdöl- und Erdgasbohrungen**

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doktor-Ingenieurs

vorgelegt von
Dipl.-Ing. Alexander Petsch
aus Fulda

genehmigt von der
Fakultät für Mathematik / Informatik und Maschinenbau
der Technischen Universität Clausthal

Tag der mündlichen Prüfung
09.10.2015

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	9
2	Ziel der Arbeit	11
3	Stand der Forschung und Technik	13
3.1	Bohrköpfe für Erdöl- und Erdgasbohrungen	13
3.2	Hartstoffe für Verschleißschutzanwendungen	15
3.2.1	Wolframkarbid WC	16
3.2.2	Wolframschmelzkarbid WSC	19
3.2.3	Grundlagen der Infiltrationswerkstoffe	20
3.3	Verschleiß	26
3.3.1	Verschleißmechanismen	27
3.3.2	Verschleißarten	33
3.3.3	Tribologische Prüftechnik	35
4	Untersuchungsmethoden	38
4.1	Infiltration und Probenfertigung	38
4.2	Binder	40
4.3	Experimentelle Untersuchungsmethoden	41
4.3.1	Metallographische Untersuchungen	41
4.3.2	Kerbschlagbiegeprüfung nach ASTM E23-07	41
4.3.3	Biegedruckprüfung nach ASTM B406-96 (Reapproved 2005)	42
4.4	Verschleißuntersuchungen	43
4.4.1	Reibradprüfung nach ASTM G65-04	43
4.4.2	Erosionsprüfung nach ASTM G75-07 (Millertest)	45
4.4.3	Reibradprüfung nach ASTM B611-85 (Reapproved 2005)	47
5	Untersuchungsergebnisse	49
5.1	Einfluss der Korngrößenverteilung	49

5.1.1	Einfluss der Korngrößenverteilung auf den Verschleiß.....	49
5.1.2	Einfluss der Korngrößenverteilung auf die mechanischen Eigenschaften.....	54
5.2	Einfluss multimodaler Korngrößenverteilungen	56
5.2.1	Einfluss multimodaler Korngrößenverteilungen auf den Verschleiß	56
5.2.2	Einfluss multimodaler Korngrößenverteilungen auf die mechanischen Eigenschaften.....	63
5.3	Einfluss des Gehalts des freien Kohlenstoffes.....	65
5.3.1	Einfluss des freien Kohlenstoffes auf den Verschleiß.....	65
5.3.2	Einfluss des freien Kohlenstoffes auf die mechanischen Eigenschaften.....	68
5.4	Einfluss des Binders.....	70
5.4.1	Einfluss des Binders auf den Verschleiß	70
5.4.2	Einfluss des Binders auf die mechanischen Eigenschaften.....	75
5.5	Einfluss des Zeilenabstandes und der Verdichtung.....	77
5.5.1	Einfluss des Zeilenabstandes und der Verdichtung auf den Verschleiß.....	78
5.5.2	Einfluss des Zeilenabstandes und der Verdichtung auf die mechanischen Eigenschaften.....	84
5.6	Einfluss von WC-Beimischungen.....	85
5.6.1	Einfluss von WC-Beimischungen auf den Verschleiß.....	86
5.6.2	Einfluss von WC-Beimischungen auf die mechanischen Eigenschaften.....	93
5.7	Einfluss von WMP-Beimischungen.....	95
5.7.1	Einfluss von WMP-Beimischungen auf den Verschleiß.....	96
5.7.2	Einfluss von WMP-Beimischungen auf die mechanischen Eigenschaften.....	99
5.8	Einfluss von randzonen aufgekohltem WSC (MacrolineTungsten Carbid)....	101
5.8.1	Einfluss von cWSC auf den Verschleiß	102

5.8.2	Einfluss von cWSC auf die mechanischen Eigenschaften.....	106
6	Beurteilung der Untersuchungsergebnisse	109
7	Zusammenfassung.....	111