



Institut für
Integrierte Produktion Hannover

Andreas Krause

Eignung von wasserstoffhaltigen amorphen
Kohlenstoffschichten zur Verschleißreduzierung
in der Halbwarmmassivumformung

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	III
Kurzfassung	IV
Inhaltsverzeichnis	V
Formelzeichen und Abkürzungen	VII
1 Einleitung	1
2 Stand der Wissenschaft.....	3
2.1 Gesenkformen.....	3
2.1.1 Einfluss der Umformtemperatur in der Massivumformung.....	5
2.1.2 Gesenkbeanspruchung in der Halbwarmmassivumformung	6
2.2 Tribologie in der Massivumformung.....	8
2.2.1 Reibung.....	9
2.2.2 Verschleiß	12
2.2.3 Maßnahmen zur Verschleißminderung	18
2.2.4 Verschleißschutzschichten.....	19
2.3 Wasserstoffhaltige amorphe Kohlenstoffschichten	21
2.3.1 Einteilung	22
2.3.2 Eigenschaften	23
2.3.3 Herstellverfahren.....	27
2.3.4 Anwendung.....	28
3 Aufgabenstellung und Zielsetzung.....	31
4 Auswahl geeigneter Dotierungen für DLC.....	33
4.1 Auswahl der Dotierungselemente.....	33
4.2 Variation der Dotierungsanteile	40
4.3 Reibverhalten der Schichten in der Halbwarmmassivumformung	41
4.3.1 Versuchsaufbau und -durchführung.....	43
4.3.2 Ergebnisse.....	43
5 Untersuchungsprozess zur Verschleißanalyse	46
5.1 Beschreibung des Untersuchungsprozesses	46
5.2 Versuchsaufbau und -durchführung	47
5.3 Vorgehensweise zur Versuchsauswertung.....	49

5.4	FE-Analyse des Untersuchungsprozesses	49
5.4.1	Aufbau des FE-Modells	49
5.4.2	Vorgehensweise zur Auswertung der FE-Analyse	53
5.4.3	Ergebnisse der FE-Analyse	54
6	Eingrenzung potenziell geeigneter DLC-Schichten	58
6.1	Untersuchungsgegenstand und Versuchsplan	58
6.2	Analyse der Schichten	59
6.2.1	Ermittlung von Oberflächenkenngrößen	59
6.2.2	Optische Analyse der Oberfläche	67
6.3	Potenziell geeignete DLC-Schichten	71
7	Ermittlung des Verschleißes im Dauerversuch	73
7.1	Untersuchungsgegenstand und Versuchsplan	73
7.2	Analyse der Schichten	73
7.2.1	Ermittlung von Oberflächenkenngrößen	74
7.2.2	Optische Analyse der Oberfläche	76
7.3	Erkenntnisse zum Verschleiß im Dauerversuch	82
8	Ermittlung des Temperatureinflusses für Cr40-DLC	83
8.1	Untersuchungsgegenstand und Versuchsplan	83
8.2	Analyse der Schichten	84
8.2.1	Ermittlung von Oberflächenkenngrößen	84
8.2.2	Optische Analyse der Oberfläche	87
8.3	Erkenntnisse zum Temperatureinfluss für Cr40-DLC	93
9	Untersuchung des Temperatureinflusses mittels FE	95
9.1	Anpassung des FE-Modells	95
9.2	Ergebnisse der FE-Analyse und Diskussion	96
9.3	Empfehlungen für den Einsatz von Cr40-DLC	100
10	Zusammenfassung und Ausblick	101
10.1	Zusammenfassung	101
10.2	Ausblick	102
11	Literaturverzeichnis	104
12	Anhang	110