

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung	1
2 Gegenstand der Arbeit	3
2.1 Problemstellung	3
2.2 Zielsetzung	4
2.3 Abgrenzung des Untersuchungsgegenstands	7
2.4 Vorgehensweise	8
3 Stand der Forschung	11
3.1 Tribologie	11
3.1.1 Einführung	11
3.1.2 Reibung	11
3.1.3 Verschleiß	13
3.1.4 Betrachtungsebenen der tribologischen Analyse	14
3.2 Tribologische Beanspruchungsgrößen	15
3.3 Untersuchung von tribologischen Systemen	20
3.3.1 Reibungs- und Verschleißprüfung	22
3.3.2 Verfahren der Verschleißerfassung	23
3.4 Einfluß der Oberflächen auf Reibung und Verschleiß	24
3.5 Schmierstoffsysteme	27
3.6 Verschleißschutzschichten für metallische Werkzeuge	27
3.6.1 Anforderungen an Verschleißschutzschichten	27
3.6.2 Grundlagen der Schichtauswahl	29
3.6.3 Auswahl geeigneter Verschleißschutzschichten	31
3.6.4 Charakterisierung der Hartstoffschichten	33
3.6.5 Ionenstrahltechniken	35
4 Analyse der tribologischen Beanspruchungsgrößen	37

5	Versuchseinrichtungen und Untersuchungsmethoden	43
5.1	Verschleißprüfung	43
5.1.1	Anforderungen an einen Verschleißprüfstand	43
5.1.2	Bewertung der Prüfverfahren	45
5.1.3	Analogieversuch „Freies Napfen“	47
5.1.4	Analogieversuch „Flachstauchen“	51
5.1.5	Tribologische Beanspruchungsgrößen der Verschleißprüfung	54
5.1.6	Verschleißprüfstand	56
5.1.7	Auswahl der Versuchsparameter	57
5.1.8	Verschleißfassung	59
5.2	Reibungszahlermittlung	62
5.2.1	Verfahren der Reibungszahlermittlung	62
5.2.2	Tribologische Beanspruchungsgrößen der Reibungszahlermittlung	64
5.2.3	Auswahl der Versuchsparameter	64
5.2.4	Vorgehensweise bei der Reibungszahlermittlung	66
6	Reibungsuntersuchungen an metallisch blanken Werkstückoberflächen	69
7.1	Referenzversuche mit konventionellen Schmierstoffsystemen	69
7.2	Versuche an metallisch blanken Oberflächen	73
7.3	Vergleich der Ergebnisse	76
7	Verschleißuntersuchungen am Werkzeug im Analogieversuch	77
7.1	Charakteristisches Verschleißverhalten	77
7.1.1	Analogieversuch „Freies Napfen“	77
7.1.2	Analogieversuch „Flachstauchen“	83
7.2	Reproduzierbarkeit	85
7.3	Analogieversuche „Freies Napfen“	87
7.3.1	Verschleißverhalten von Hartstoffschichten	87
7.3.2	Verschleißverhalten ionenimplantierter Hartstoffschichten	93
7.3.2.1	Schichtcharakterisierung	93
7.3.2.2	Ionenimplantierte PVD TiN-Schichten	97
7.3.2.3	Ionenimplantierte PVD Cr _x N-Schichten	104
7.3.2.4	Ionenimplantierte CVD TiC/TiN-Schichten	109
7.4	Analogieversuche „Flachstauchen“	112
7.5	Auswertung der Ergebnisse	115

8	Produktionsversuche im Bereich der Schraubenherstellung	119
8.1	Reibungsuntersuchungen beim Verjüngen	120
8.1.1	Kraftmessungen	122
8.1.2	Grenzfallanalyse	125
8.2	Standzeituntersuchungen beim Verjüngen	129
8.2.1	Referenzversuche mit konventioneller Schmierungstechnik	131
8.2.2	Versuche zur trockenen Umformung	133
8.2.3	Versuche zur Umformung bei Minimalschmierung	133
8.2.4	Auswertung der Ergebnisse	140
8.3	Aspekte der Wirtschaftlichkeit	144
9	Zusammenfassung	147
10	Literaturverzeichnis	151