

Inhalt

Vorwort 1. Auflage	11
Vorwort zur 2. Auflage	13
1 Einleitung	15
1.1 Vorbemerkungen	15
1.2 Maschinenelemente – tribologischer Kontakt – Ansätze zur Beschreibung	16
2 Kontaktmechanik	19
2.1 Grundlagen	19
2.1.1 Kontaktmechanik – Spannungszustände	20
2.1.2 Vergleichsspannung und Von-Mises-Kriterium	21
3 Werkstoffe und deren Oberflächen	25
3.1 Einleitung	25
3.2 Idealer Festkörper	28
3.3 Gitterfehler und Versetzungen	30
3.3.1 Nulldimensionale Defekte	30
3.3.2 Eindimensionale Defekte: Versetzungen	31
3.4 Umformung	36
3.4.1 Ziehen, Walzen und Rollen	36
3.4.2 Spanabhebende Bearbeitung	39
3.4.3 Schneiden von Teilchen durch Versetzungen	42
3.5 Ergänzende Vorstellungen zur Metalloberfläche	44
4 Reibung – Mischreibung und Metallbearbeitung	51
4.1 Allgemeine Regeln	51
4.2 Chemische Prozesse bei Reibung und Mischreibung	53
4.3 Einfluss von Schmierstoffen	54
4.4 Neuere Untersuchungen zur Aktivität von Grenzflächen bei Mischreibung	57
4.4.1 Grundlagenergebnisse	57

4.4.2	Endbearbeitung (Schleifen – Honen) als Sonderfall der Mischreibung	63
4.4.3	Funktionale und disfunktionale Randschichten durch Endbearbeitung	64
4.5	Zusammenfassung	66
4.5.1	Prozesse in Körper und Gegenkörper	66
4.5.2	Chemische Prozesse	66
5	Hydrodynamik und Elastohydrodynamik	69
5.1	Einleitung	69
5.2	Schmierstofftransport im Spalt	69
5.2.1	Viskositätsmodell	69
5.2.2	Strömungsverhalten in einem verengenden Spalt	69
5.2.3	Reynoldssche Zahl und Prandtlsche Strömungsgrenzschicht	70
5.2.4	Strubeck-Kurve	72
5.2.5	Struktur – Wirkungsbeziehungen	73
5.2.6	Transiente EHD	75
6	Chemie der Schmierstoffe (generelle Überlegungen)	77
6.1	Einleitung	77
6.2	Reaktionen der Schmierstoffe am Beispiel der Kohlenwasserstoffe	77
6.2.1	Wechselwirkung mit metallischen Grenzflächen	78
6.2.2	Additive (Antioxidantien)	82
6.3	Zusammenfassung	84
7	Mögliche Additivmechanismen und weitere Betrachtungen zu Metallocberflächen	85
7.1	Einleitung	85
7.2	Intermolekulare Wechselwirkungen	85
7.3	Benetzung von Oberflächen durch additivierte Schmierstoffe	90
7.4	Einfluss oxiderter Oberflächen	93
7.5	Zusammenfassung	96
8	Rehbinder-Effekt	97
8.1	Einleitung	97
8.2	Allgemeine Gesetzmäßigkeiten	98
8.2.1	Grundlagen	98
8.2.2	Einfluss von Temperatur und Verformungsgeschwindigkeit	99
8.3	Spannungszustand und Adsorptionseffekt	99
8.4	Das Kriechen von Einkristallen	100
8.5	Polykristalline Systeme	100
8.6	Eigene Versuche	101
8.7	Zusammenfassung	102

9	Metall-Additiv-Kontakt (allgemeine Betrachtungen)	103
9.1	Einleitung	103
9.2	Bowden und Tabor [Bow 59]	103
9.3	Kritische Anmerkungen zum Reibzahl-Temperatur-Diagramm	106
9.4	Bearbeitungszeiten	115
9.5	Wie stark sind Adsorptionsschichten	117
9.6	Betrachtungen zu Temperaturen	118
9.6.1	Hot Spots – Blitztemperaturen	118
9.6.2	Wärmeentwicklung in der Umformung	121
9.7	Oberflächenvergrößerung im Umformvorgang	122
9.8	Wo kann ein Schmierstoff in der Bearbeitung angreifen?	123
9.9	Zusammenfassung	126
10	Chlorparaffine	127
10.1	Einleitung	127
10.2	Besonderheiten von chlorhaltigen Ölen	128
10.3	Zur Reaktionsweise von chlorhaltigen Verbindungen (LiteratURAUSWERTUNG)	128
10.4	Eigene Laboruntersuchungen	136
10.4.1	Stift-Scheibe-Versuche	136
10.4.2	Beschichtungen auf den Stiften	138
10.4.3	Brugger-Werte	139
10.4.4	Stift-Scheibe-Versuche – keramischer Stift auf 1.4301-Scheibe ..	140
10.5	Wie funktionieren Chlorparaffine wirklich? – Versuch einer Erklärung zur Wirkungsweise	141
10.5.1	Abspaltung von Chlorwasserstoff	143
10.5.2	Radikalmechanismus	144
10.5.3	Adsorptionsmechanismus	145
10.6	Abgleich der Theorie mit den Ergebnissen aus der Literatur	147
11	Schwefelträger	149
11.1	Einleitung	149
11.2	Zur Reaktionsweise von schwefelhaltigen Verbindungen (LiteratURAUSWERTUNG)	150
11.3	Phänomene in der Metallbearbeitung mit schwefelhaltigen Additiven ..	157
11.3.1	Verfärbung von Buntmetallen durch Schwefelverbindungen ..	157
11.3.2	Verfärbungen (Schwefelkorrosion) auf Eisenoberflächen	158
11.3.3	Einfluss von aktiven Schwefelverbindungen bzw. Elementarschwefel auf die Spanlänge	161
11.3.4	Schwefeladditive funktionieren nur in Gegenwart von Sauerstoff optimal	162
11.3.5	Auch inhibierte Metallbearbeitungsflüssigkeiten funktionieren ..	162

11.4	Laboruntersuchungen	163
11.5	Wie funktionieren Schwefeladditive? – Versuch einer Erklärung zur Wirkungsweise	169
11.6	Zusammenfassung	174
12	Überbasische Sulfonate (PEP-Additive)	175
12.1	Einleitung	175
12.2	Auswertung der Literatur	175
12.3	Laboruntersuchungen	179
12.3.1	Untersuchungen am Stift-Scheibe-Tribometer (1.4301-Scheibe)	180
12.3.2	Untersuchungen zum Synergismus von überbasischen Sulfonaten mit Schwefelverbindungen	183
12.4	Fazit	185
13	Verschleißschutzadditive	187
13.1	Einleitung	187
13.2	Zinkdialkyldithiophosphate (ZDDTP)	187
13.2.1	Struktur-Wirkungs-Beziehungen	187
13.2.2	Filmdicken von ZDDTP	191
13.2.3	Zersetzungstheorie von ZDDTP	192
13.2.4	Wie wirken Zinkdialkyldithiophosphate in der Metallbearbeitung	193
13.3	Andere phosphorhaltige Additive	193
13.3.1	Molybdändialkyldithiophosphate	193
13.3.2	Saure Phosphorsäure-Partialester	194
13.3.3	Neutralisierte bzw. neutrale (metallfreie) Phosphorsäure- und Thiophosphorsäureester	194
13.3.4	(Thio-)Phosphorsäureester (cresylähnliche Verbindungen)	195
13.4	Phosphorfreie Verschleißschutzadditive	196
13.5	Laboruntersuchungen	198
13.5.1	Versuche am Stift-Scheibe-Tribometer	198
13.5.2	Versuche am Brugger-Gerät	199
13.6	Zusammenfassung	205
14	Einfluss von Sauerstoff auf die Tribologie	207
14.1	Einleitung	207
14.2	Sauerstoff als tribologisch wirksames Element	208
14.3	Wie könnte Sauerstoff im Tribokontakt wirken?	210
14.4	Antioxidantien	212
14.5	Zusammenfassung	213
15	Was bleibt offen?	215

16	Anhang - Kurze Darstellung der Grenzflächenanalytik	217
16.1	Sekundärionen-Massenspektrometrie (SIMS)	217
16.2	Sekundärneutralteilchen - Massenspektrometrie (SNMS)	218
16.3	Photoelektronenspektroskopie XPS (ESCA)	218
16.4	ESMA	219
16.5	Rasterelektronenmikroskop REM mit energiedispersiver Röntgenmikroanalyse (EDX)	219
16.6	REM - SE und REM - BSE	219
16.7	Mikrohärtemeßeinrichtung	219
16.8	Transmissionselektronenmikroskop TEM mit Elektronen-energieverlustspektrometer EELS	220
16.9	STEM [Scanning Transmission Electron-Microscope]	220
16.10	Zielpräparation mit dem fokussierten Ionenstrahl	221
16.11	FIB-TEM	221
17	Literatur	223
	Register	232
	Abbildungsverzeichnis	239
	Tabellenverzeichnis	249