
Inhalt

I	Einführung	1
	<i>G. Mennig</i>	
	1 Entwicklung der Verschleißproblematik	2
	2 Wirtschaftliche Bedeutung	4
II	Tribologische Grundlagen	9
	1 Allgemeine technische Verschleißvorgänge	10
	<i>K. H. Kloos</i>	
	1.1 Tribologische Beanspruchung von Bauteilpaarungen	10
	1.1.1 Reibung und mechanische Beanspruchung	12
	1.1.2 Reibung und thermische Beanspruchung	15
	1.1.3 Reibung und chemische Beanspruchung	16
	1.1.4 Tribomechanische Beanspruchung	18
	1.2 Systemanalyse von Verschleißvorgängen	20
	1.2.1 Struktur des Tribosystems und dessen technische Funktion	20
	1.2.2 Aufbau und Eigenschaften technischer Oberflächen	22
	1.2.3 Verschleißarten	27
	1.3 Verschleißmechanismen	29
	1.3.1 Adhäsiver Verschleiß	30
	1.3.2 Abrasiver Verschleiß	32
	1.3.3 Verschleiß durch Oberflächenermüdung	35
	1.3.4 Schichtverschleiß durch tribochemische Reaktionen	37
	1.4 Grundsätze der Verschleißprüfung und -berechnung	38
	1.4.1 Prüfkette und Verschleißsimulationsverfahren	38
	1.4.2 Berechnungsansätze zum Verschleiß	40
	2 Tribosysteme in der Kunststoffverarbeitung	42
	<i>G. Mennig</i>	
	2.1 Verschleißrelevante Verfahrensbereiche	42
	2.1.1 Feststoffbereich	43
	2.1.2 Umwandlungsbereich	44
	2.1.3 Schmelzebereich	46
	2.1.3.1 Strömungen mit bewegter Wand	46
	2.1.3.2 Einfache Druckströmung	48
	2.2 Definition des Tribosystems	49
	2.3 Verschleißmechanismen und -arten in der Kunststoffverarbeitung	52
	2.3.1 Abrasion	52
	2.3.2 Adhäsion	60
	2.3.3 Sonstige Mechanismen	61
	2.3.3.1 Schichtverschleiß	61
	2.3.3.2 Ermüdungverschleiß	62
	2.3.4 Überlagerte Verschleißmechanismen	63
	2.4 Werkstoffspezifischer Einfluß auf den Verschleiß	64

3 Korrosion bei der Kunststoffverarbeitung	68
<i>D. Braun</i>	
3.1 Korrosionserscheinungen durch plastifizierte Kunststoffe	69
3.1.1 Thermoplaste	69
3.1.2 Duroplaste	71
3.2 Untersuchungen an Metalloberflächen	72
3.3 Korrosionsmechanismen	73
III Die Verschleißpartner	79
1 Kunststoff-Formmassen und Zusatzstoffe	80
<i>G. Paller</i>	
1.1 Die Kunststoffe	80
1.1.1 Bedeutung der Kunststoffe	80
1.1.2 Makromolekularer Aufbau der Kunststoffe	82
1.1.3 Ausgewählte Kunststoff-Formmassen	85
1.1.4 Das Verhalten von Polymerschmelzen	92
1.1.4.1 Fließeigenschaften	92
1.1.4.2 Effekte des viskoelastischen Verhaltens	97
1.1.4.3 Schmelzen unter Langzeitbelastung	98
1.2 Kunststoff-Additive	99
1.2.1 Füllstoffe und Verstärkungsmittel	100
1.2.1.1 Ausgewählte Materialien	101
1.2.1.2 Zusammenfassung der Eigenschaftsänderungen	105
1.2.2 Funktionsstoffe	106
1.3 Einfluß der Formmasse auf den Verschleiß	108
1.3.1 Polymerspezifische Einflußgrößen	109
1.3.2 Zusatzstoffspezifische Einflußgrößen	111
1.3.2.1 Feststoffbereich	111
1.3.2.2 Schmelzebereich	115
2 Metallische Werkstoffe und Verschleißschuttschichten	118
2.1 Stähle für die Kunststoffverarbeitung	120
<i>W. Kortmann</i>	
2.1.1 Werkstoffauswahl für Plastifiziereinheiten	121
2.1.1.1 Nitrierstähle	121
2.1.1.2 Durchhärtende Stähle	122
2.1.1.3 Korrosionsbeständige Stähle	126
2.1.1.4 Martensitaushärtbarer Stahl	126
2.1.1.5 Schnellarbeitsstähle	127
2.1.2 Werkstoffauswahl für Kunststoffformen	127
2.1.2.1 Formrahmenstahl	127
2.1.2.2 Einsatzstähle	127
2.1.2.3 Vergütete Stähle	128
2.1.2.4 Korrosionsbeständige Stähle	129
2.1.2.5 Durchhärtende und martensitaushärtbare Stähle	129
2.1.3 Wärmebehandlung der Werkzeugstähle	130
2.1.3.1 Weichglühen und Spannungsarmglühen	131

2.1.3.2 Härten	132
2.1.3.3 Anlassen	133
2.1.3.4 Einfluß des Werkstückdurchmessers bei legierten Kaltarbeitsstählen	134
2.2 Gußwerkstoffe	135
<i>A. Oldewurtel</i>	
2.3 Zerspanbare Hartstoffe	139
<i>J. Baurmann</i>	
2.4 Hartmetalle	142
<i>J. Blum</i>	
2.4.1 Herstellung und Veredelung	142
2.4.2 Legierungstypen	143
2.4.3 Anwendung	146
2.5 Oberflächenbehandlungsverfahren	147
<i>W. Kortmann</i>	
2.5.1 Thermochemische Verfahren (Diffusionsverfahren)	149
2.5.1.1 Nitrieren und Nitrocarburieren	149
2.5.1.2 Borieren	157
2.5.1.3 Aufkohlen und Einsatzhärten	158
2.5.1.4 Chromieren und Vanadieren	158
2.5.2 Elektrochemische bzw. chemische Verfahren	159
2.5.2.1 Hartverchromen	159
2.5.2.2 Vernickeln	161
2.5.3 Oberflächenbehandlung durch Gasphasenabscheidung	162
2.5.3.1 CVD-Verfahren	162
2.5.3.2 PVD-Verfahren	165
2.6 Werkstoffe für Bimetallzylinder und steggepanzerter Schnecken	167
<i>P. Lülsdorf</i>	
2.6.1 Verschleißbeständige Legierungssysteme	167
2.6.2 Anforderungen an Hartstofflegierungen	168
2.6.3 Konventionelles Panzern	170
2.6.3.1 Innenpanzern von Zylindern	170
2.6.3.2 Panzern von Schnecken	175
2.6.4 Heiß-Isostatisches Pressen (HIP)	177
2.6.4.1 HIP-Schichten in Zylindern	178
2.6.4.2 Pulvermetallurgische Schneckenherstellung	180
IV Verschleißprüfung	183
<i>G. Mennig</i>	
1 Der Kategoriedanke	184
2 Verschleißmeßgrößen	187
3 Prüfmethode	190
3.1 Betriebsnahe Prüfmethode	190

3.1.1	Verschleißuntersuchungen in der Praxis	190
3.1.2	Praxisgerechte Labormethoden	191
3.2	Prüfung am Modellsystem	193
3.2.1	Prüfverfahren für plastifizierte Formmassen	194
3.2.2	Prüfverfahren für feste Formmassen	197
3.2.3	Prüfverfahren für korrosiven Verschleiß	199
3.2.4	Prüfverfahren für adhäsiven Verschleiß	200
4	Messen mit Modellprüfverfahren	202
5	Übertragung auf die Praxis	205
6	Ausblick	207
V	Verschleiß in der betrieblichen Praxis	209
1	Aufbereiten	210
	<i>R. Wutke, W. Wörz</i>	
1.1	Charakterisierung des Verfahrens	210
1.1.1	Verfahrensschritte beim Aufbereiten	210
1.1.2	Aufbereitungsmaschinen	211
1.1.2.1	Kontinuierliches Aufbereiten	212
1.1.2.2	Diskontinuierliches Aufbereiten	214
1.1.3	Anwendungsbeispiele	215
1.1.3.1	Aufbereiten von PVC	215
1.1.3.2	Füllen und Verstärken von Kunststoffen	217
1.1.3.3	Herstellen von Pigment-Konzentraten	219
1.1.3.4	Entgasen von Polysulfon (PSU)	220
1.1.3.5	Aufbereiten von Härtbaren Formmassen	221
1.1.3.6	Aufbereiten von Kautschuk auf Innenmischern	221
1.2	Verschleißerscheinungen an Aufbereitungsmaschinen	222
1.2.1	Beanspruchungsanalyse	222
1.2.2	Abrasiver Verschleiß	226
1.2.3	Adhäsiver Verschleiß	231
1.2.4	Korrosiver Verschleiß	232
1.3	Verschleißschutzmaßnahmen	233
1.3.1	Konstruktive Lösungen	233
1.3.1.1	Schneckengehäuse-Baukasten	233
1.3.1.2	Schnecken-Baukasten	234
1.3.2	Beanspruchungsgerechte Werkstoffauswahl	235
1.3.2.1	Werkstoffe für Schneckengehäuse	236
1.3.2.2	Werkstoffe für Schneckensatzelemente	239
1.3.2.3	Werkstoffe für diskontinuierliche Maschinen	243
1.3.3	Verfahrenstechnische Maßnahmen	243
1.4	Ausblick	245
2	Granulieren	246
	<i>M. Reinhard</i>	
2.1	Charakterisierung des Verfahrens	246
2.2	Granulieren aus der Schmelze	247

2.2.1 Einsatzbereiche	247
2.2.2 Verfahrensspezifische Systematisierung der Granuliertorrichtungen	248
2.2.3 Verschleißproblematik	251
2.2.3.1 Tribosysteme im Bereich des Schnitts	251
2.2.3.2 Sonstige Tribosysteme	254
2.2.3.3 Einfluß des Verschleißes auf Produktqualität und Wirtschaftlichkeit	255
2.2.4 Werkstoffauswahl	256
2.2.4.1 Schneidwerkstoffe	256
2.2.4.2 Werkstoffe für sonstige Bereiche	258
2.2.4.3 Entwicklungstendenzen	259
2.3 Granulieren von Formkörpern aus festem Kunststoff	260
2.3.1 Einsatzbereiche	260
2.3.2 Aufbau und Wirkungsweise von Feststoffgranulatoren	260
2.3.3 Verschleißproblematik	261
2.3.4 Werkstoffauswahl	261
2.4 Neue Verfahren	262
3 Pressen und Spritzpressen	263
<i>W. Schönthaler, W. Danne</i>	
3.1 Das Verfahren	263
3.1.1 Allgemeines	263
3.1.2 Verfahrensablauf	265
3.1.3 Werkzeuge zum Pressen und Spritzpressen	266
3.2 Besonderheiten beim Pressen und Spritzpressen von Duroplasten	269
3.2.1 Aufbau Härtpbarer Formmassen	269
3.2.2 Übliche Verschleißprüfung	269
3.3 Einfluß von Rezepturbestandteilen auf den Verschleiß bei duroplastischen Formmassen	272
3.3.1 Einfluß des Bindemittels	272
3.3.2 Einfluß der Füllstoffe	273
3.3.3 Einfluß sonstiger Rezepturbestandteile	275
3.3.4 Einfluß des Fließ-/Härtungsverhaltens der Formmasse	276
3.4 Verfahren zur Verschleißminderung	277
3.4.1 Wahl der Stahlqualität	277
3.4.2 Oberflächenveredelung	279
3.5 Ausblick	280
4 Spritzgießen	281
<i>F. Johannaber, A. Kaminski, W. Schönthaler</i>	
4.1 Die Verschleißproblematik	281
4.2 Spritzgießfertigung	284
4.2.1 Verfahren	284
4.2.2 Vorbereitung der Fertigung	286
4.2.3 Unterbrechung und Beendigung der Fertigung	287
4.3 Verfahrensbedingte Beanspruchungen	288
4.3.1 Spritzgießaggregate	288
4.3.2 Spritzgießwerkzeuge	290
4.4 Verschleiß an Plastifiziereinheiten	291
4.5 Verschleißschutz beim Spritzgießen	299

4.5.1	Plastifiziereinheiten	299
4.5.1.1	Konstruktive Maßnahmen	300
4.5.1.2	Werkstoffauswahl	304
4.5.1.3	Reparaturmaßnahmen mit Verbesserung des Verschleißschutzes	307
4.5.2	Werkzeuge	308
4.6	Wirtschaftlichkeit des Verschleißschutzes	312
5	Extrudieren	313
	<i>P. Stommel</i>	
5.1	Verfahrensbeschreibung	313
5.1.1	Einschnecken-Extruder	313
5.1.2	Doppelschnecken-Extruder	314
5.2	Beanspruchung der Plastifiziereinheit	316
5.2.1	Verschleißmechanismen	316
5.2.2	Erfahrungen und Beobachtungen aus der Praxis	317
5.3	Verschleißreduzierung und Abhilfemaßnahmen	320
5.3.1	Werkstoffauswahl	320
5.3.1.1	Nitrierstähle nitriert	322
5.3.1.2	Panzerungen	323
5.3.2	Konstruktion und Fertigungstechnik	324
5.3.3	Verfahrenstechnische Entwicklung	327
5.4	Reparieren von Plastifiziereinheiten	329
5.4.1	Zylinder	329
5.4.2	Schnecken	329
5.5	Einflüsse auf die Standzeiten von Zylindern und Schnecken	330
5.6	Check-Liste zur Verschleißanalyse	330
5.7	Ausblick	331
6	Reaktions-Spritzgießen (RIM)	332
	<i>W. Dausch</i>	
6.1	Füllstoffe in der RRIM-Technik	332
6.2	Anlagen für gefüllte Mehrkomponenten-Systeme	332
6.3	Versuche zur Bestimmung der Abrasion im Mischkopf	335
6.4	Folgerungen	337
7	Spanabhebende Bearbeitung	338
	<i>H. Schulz, W. Reimann</i>	
7.1	Anwendung spanabhebender Fertigungsverfahren	338
7.2	Zerspankriterien	339
7.2.1	Zerspanmechanismen	339
7.2.2	Verschleißursachen	340
7.2.3	Verschleißformen und Auswirkungen	341
7.2.4	Zerspanbarkeit und Standvermögen	342
7.3	Kennzeichen und Verschleißformen von Schneidstoffen	343
7.3.1	Schnellarbeitsstahl	343
7.3.2	Hartmetall	343
7.3.3	Schneidkeramik	345
7.3.4	Polykristalline Schneidstoffe	345
7.3.5	Naturdiamant	346

7.4 Verschleißkenngrößen bei spanenden Bearbeitungsverfahren	347
7.4.1 Drehen	347
7.4.2 Fräsen	352
7.4.3 Bohren	354
7.5 Maßnahmen zur Verschleißminimierung	355
7.6 Ausblick	356
VI Entwicklungstendenzen	357
1 Kunststoff-Formmassen	358
<i>R. Theysohn</i>	
1.1 Weiter- und Neuentwicklungen	359
1.2 Abrasivverschleißkritische Entwicklungen	359
1.2.1 Glasfaserverstärkung	359
1.2.1.1 Einfluß der Glasfasergeometrie	359
1.2.1.2 Einfluß des Glasfasergehalts	361
1.2.2 Andere faserförmige Verstärkungsmaterialien	362
1.2.3 Globuläre und blättchenförmige Verstärkungsfüllstoffe	362
1.2.4 Spezielle Additive	363
1.3 Korrosionsverschleißkritische Entwicklungen	363
1.3.1 Reaktivschichten	364
1.3.2 Chemische Reaktionen beim Konfektionieren	364
1.3.3 Neue Polymere	366
1.4 Schlußbemerkung	367
2 Werkstoffe für Verschleißschutz	368
2.1 Metallische Werkstoffe	368
<i>E. Bayer, H. Seilstorfer</i>	
2.1.1 HIP-Werkstoffe und Verbundbauteile	368
2.1.1.1 Verfahren und Anwendungen	369
2.1.1.2 Verfahrensvorteile	371
2.1.1.3 Leistungsbewertung	374
2.1.1.4 Wirtschaftlichkeit	379
2.1.2 Verbundschmieden	379
2.1.2.1 Verfahren	379
2.1.2.2 Werkstoffauswahl	380
2.1.2.3 Eigenschaften	381
2.1.2.4 Wirtschaftlichkeit	382
2.2 Nicht-metallische Werkstoffe – Keramik	383
<i>M. Reinhard</i>	
2.2.1 Herstellen von Formkörpern	384
2.2.2 Bisherige Einsatzgebiete	384
2.2.3 Verhalten gegenüber verschleißintensiven Formmassen	386
2.2.3.1 Feststoffbereich	386
2.2.3.2 Schmelzebereich	387
2.2.4 Eignung für Kunststoffverarbeitungsmaschinen	388
2.2.4.1 Reibwerte im Feststoffbereich	388
2.2.4.2 Wandhaften im Schmelzebereich	389
2.2.5 Anwendungen in Kunststoffverarbeitungsmaschinen	391

VII	Literatur	397
VIII	Anhang	409
	1 Abkürzungen für Kunststoffe	410
	2 Stahlschlüssel und Abkürzungen bei Metallen	411
	Sachregister	413