

W. Steinhilper · R. Röper

Maschinen- und Konstruktionselemente 3

Elastische Elemente, Federn
Achsen und Wellen
Dichtungstechnik
Reibung, Schmierung, Lagerungen

Erste Auflage

Mit 275 Abbildungen und 43 Tabellen

Springer-Verlag

Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo
Hong Kong Barcelona
Budapest

Inhaltsverzeichnis

7	Elastische Elemente, Federn	1
7.1	Federkennlinie, Federrate, Federarbeit und -dämpfung	2
7.2	Federwerkstoffe	6
7.3	Zusammenschaltung von Federn	8
7.3.1	Parallelschaltung	8
7.3.2	Hintereinanderschaltung	9
7.3.3	Mischschaltung	11
7.4	Beanspruchung von Federn	11
7.4.1	Zug-/druckbeanspruchte Federn	12
7.4.1.1	Stabfedern	12
7.4.1.2	Ringfedern	14
7.4.2	Torsionsbeanspruchte Federn	18
7.4.2.1	Drehstabfedern	18
7.4.2.2	Schraubenfedern	22
7.4.3	Biegebeanspruchte Federn	41
7.4.3.1	Einfache und geschichtete Blattfedern	41
7.4.3.2	Gewundene Biegefedern	54
7.4.3.3	Tellerfedern	59
7.5	Gummifedern	68
7.5.1	Gestaltung von Gummifedern	68
7.5.2	Beanspruchung von Gummifedern	70
7.5.3	Werkstoffkennwerte	72
7.5.4	Berechnung von Gummifedern	74
7.5.5	Anwendung von Gummifedern	74
7.6	Gas- und Flüssigkeitsfedern	76
7.6.1	Gas- bzw. Luftfedern	76
7.6.2	Flüssigkeitsfedern	79
7.6.3	Gas-Flüssigkeitsfedern	81
7.7	Berechnungsbeispiele	83
7.8	Schrifttum	91

8	Achsen und Wellen	95
8.1	Begriffsbeschreibung	95
8.2	Bemessung auf Tragfähigkeit	100
8.2.1	Beanspruchungsarten	100
8.2.1.1	Beanspruchung durch Querkräfte	100
8.2.1.2	Beanspruchung durch Biegung	101
8.2.1.3	Beanspruchung durch Torsion	101
8.2.2	Dimensionierung	102
8.2.2.1	Dimensionierung der Achsen	102
8.2.2.2	Dimensionierung der Wellen	103
8.3	Bemessung auf Verformung	106
8.3.1	Durchbiegung	107
8.3.1.1	Einfache Grundfälle	107
8.3.1.2	Wellen mit veränderlichem Querschnitt	110
8.3.1.3	Vollständige Berechnung	117
8.3.1.4	Richtwerte	119
8.3.2	Verdrehung	119
8.3.2.1	Richtwerte	120
8.4	Dynamisches Verhalten der Wellen	120
8.4.1	Biegeschwingungen	120
8.4.2	Drehschwingungen	124
8.5	Ausführung der Achsen und Wellen	125
8.5.1	Normung	125
8.5.2	Werkstoffe und Fertigung	126
8.5.3	Gestaltung der Wellen	127
8.5.3.1	Wellengestaltung für gute Tragfähigkeit	127 ³
8.5.3.2	Wellengestaltung für kleine Verformungen	128
8.5.3.3	Dreifach gelagerte Wellen	130
8.5.3.4	Hohlwellen	131
8.5.4	Flexible Wellen	132
8.5.5	Gelenkwellen	133
8.6	Berechnungsbeispiel	134
8.6.1	Biegeverformung einer Getriebewelle	134
8.7	Schrifttum	141
9	Dichtungstechnik	144
9.1	Zweck und Einteilung der Dichtungen	144
9.1.1	Abzudichtendes Medium	146
9.1.2	Konstruktion der abzudichtenden Bauteile	146
9.1.3	Güte der Dichtflächen	147
9.1.4	Konstruktion des Dichtungselementes	147
9.1.5	Dichtungswerkstoff	147

9.2	Berührungsdichtungen für Dichtflächen ohne Relativbewegung	148
9.2.1	Gliederung der Dichtungen	148
9.2.1.1	Unlösbare Dichtungen	148
9.2.1.2	Lösbare Berührungsdichtungen	150
9.2.2	Dichtungswerkstoffe	154
9.2.3	Dichtungsfunktion	156
9.2.3.1	Vorverformung	157
9.2.3.2	Betriebskraft der Dichtung	160
9.2.3.3	Einbauschraubenkraft	162
9.2.3.4	Abdichtung von Heißeleitungen	163
9.2.4	Flachdichtungen	164
9.2.4.1	Flachdichtungen aus Weichstoffen	164
9.2.5	Metallische Dichtungen (Formdichtungen)	170
9.2.6	Selbsttätige Dichtungen	172
9.2.6.1	Selbstverstärkende Weichstoffdichtungen	176
9.2.7	Muffendichtungen	182
9.3	Berührungsdichtungen für Dichtflächen mit Relativbewegung	182
9.3.1	Packungsstopfbuchsen	184
9.3.2	Formdichtungen für Längs- und Drehbewegungen	188
9.3.2.1	Nutringe	191
9.3.2.2	Manschetten und Packungen	193
9.3.2.3	Kompaktdichtungen	195
9.3.2.4	Ringdichtungen	196
9.3.2.5	Radial- Wellendichtungen	198
9.3.2.6	Dichtungen für Hydraulikgelenke und -drehdurchführungen	217
9.3.3	Axial wirkende Dichtungen	217
9.3.3.1	Axialdichtscheiben	218
9.3.3.2	Gleitringdichtungen	219
9.4	Schrifttum	221
10	Reibung, Schmierung, Lagerungen	224
10.1	Reibung	225
10.1.1	Reibungsarten	225
10.1.2	Reibungszustände	226
10.1.3	Übergangskriterien	229
10.1.4	Reibungszahlen, Reibmoment	232
10.2	Schmierung	238
10.2.1	Grundlagen der Schmierung	238
10.2.2	Schmierstoffe	239
10.2.2.1	Schmieröle	240

10.2.2.2	Schmierfette	243
10.2.2.3	Festschmierstoffe	245
10.2.3	Viskosität von Schmierstoffen	247
10.2.3.1	Temperaturabhängigkeit der Viskosität	249
10.2.3.2	Druckabhängigkeit der Viskosität	252
10.2.3.3	Zustandsgleichung der Schmierstoffe	254
10.2.4	Dichte von Schmierstoffen	254
10.2.5	Spezifische Wärme und Wärmeleitkoeffizient von Schmierstoffen	255
10.2.6	Schmierstoffklassifikation	256
10.2.6.1	Klassifikation der Schmieröle	256
10.2.6.2	Klassifikation der Schmierfette	259
10.2.7	Physikalisches Wirkprinzip bei der Schmierung	259
10.2.7.1	Hydrostatische Schmierung	260
10.2.7.2	Hydrodynamische Schmierung	260
10.2.7.3	Elastohydrodynamische Schmierung	261
10.3	Lagerung von Wellen	262
10.3.1	Anordnung von Lagern	263
10.3.1.1	Festlager-Loslager-Anordnung	263
10.3.1.2	Stützlager-Anordnung	264
10.3.1.3	Schwimmende Lager-Anordnung	265
10.3.1.4	Lageranordnung mit elastisch verspannten Stützlagern	266
10.3.2	Belastungsfall	267
10.4	Wälzlager	268
10.4.1	Eigenschaften von Wälzlagern	268
10.4.2	Bauformen und Bezeichnungen	268
10.4.2.1	Radiallager	270
10.4.2.2	Axiallager	276
10.4.2.3	Das Wälzlagerbezeichnungssystem nach DIN 623	278
10.4.3	Kraftfluß und Belastungsfälle	280
10.4.4	Die Gestaltung von Wälzlagerungen	282
10.4.4.1	Wälzlageranordnungen	282
10.4.4.2	Radiale Lagerbefestigungen	286
10.4.4.3	Axiale Lagerbefestigungen	288
10.4.4.4	Anstellen von Lagern	289
10.4.4.5	Wälzlagerabdichtungen	290
10.4.4.5.1	Abdichtung bei Fettschmierung	291
10.4.4.5.2	Abdichtung bei Ölschmierung	291
10.4.5	Montage, Schmierung und Wartung von Wälzlagern	293
10.4.5.1	Ein- und Ausbau	293
10.4.5.2	Schmierung und Wartung	295
10.4.5.2.1	Fettschmierung	295
10.4.5.2.2	Ölschmierung	296
10.4.6	Tragfähigkeit, Lebens- oder Gebrauchsdauer	297

10.4.6.1	Begriffsdefinitionen	297
10.4.6.2	Tragzahlen und Berechnung der äquivalenten Lagerbelastung	299
10.4.6.3	Lagerdimensionierung nach der statischen Tragfähigkeit	300
10.4.6.4	Lagerdimensionierung nach der nominellen Lebensdauer	301
10.4.6.5	Lagerdimensionierung nach der modifizierten Lebensdauer	304
10.4.6.6	Lastkollektive, mittlere Drehzahlen	307
10.4.7	Zulässige Drehzahlen	309
10.4.8	Werkstoffe	311
10.4.8.1	Werkstoffe für Lagerringe und Wälzkörper	311
10.4.8.2	Werkstoffe für Lagerkäfige	312
10.5	Gleitlager	313
10.5.1	Hydrostatisch arbeitende Gleitlager	313
10.5.1.1	Spaltströmung viskoser Flüssigkeiten	314
10.5.1.2	Schmierfilm zwischen kreisförmigen Platten	315
10.5.1.3	Hydrostatisch arbeitende Axiallager (Spurlager)	318
10.5.1.4	Hydrostatisch arbeitende Radial- oder Querlager	324
10.5.1.5	Hydrostatische Anhebevorrichtung	330
10.5.1.6	Schmierstoffversorgungssysteme	331
10.5.2	Hydrodynamisch arbeitende Gleitlager	333
10.5.2.1	Hydrodynamische Theorie	333
10.5.2.2	Vereinfachungen und Annahmen in der Gleitlagertechnik	335
10.5.2.3	Reynoldssche Gleichung für die Druckverteilung	339
10.5.2.4	Keil- oder Gleitschuhlager unter stationärer Belastung	340
10.5.2.5	Radialgleitlager unter stationärer Belastung	348
10.5.2.5.1	Unendlich breite Radialgleitlager ($B/D > 1,5$)	351
10.5.2.5.2	Sehr schmale Radialgleitlager ($B/D < 1/4$)	356
10.5.2.5.3	Endlich breite Radialgleitlager	358
10.5.2.6	Radialgleitlager unter instationärer Belastung	368
10.5.2.6.1	Gleichung für die Druckverteilung	368
10.5.2.6.2	Kinematik der Lagerkomponenten	369
10.5.2.6.3	Grundlösungen und ihre Bedeutung	371
10.5.2.6.4	Ergebnisse der numerischen Auswertung	371
10.5.2.6.5	Zusammenbruch der Tragfähigkeit, Halbfrequenzwirbel	374
10.5.2.6.6	Verlagerungswinkel, Lastwinkel, Verlagerungsdiagramm	375
10.5.2.6.7	Feder- und Dämpfungseigenschaften des Schmierfilms	378
10.5.3	Gleitlagerwerkstoffe	380
10.5.3.1	Allgemeine und physikalisch-mechanische Eigenschaften	381
10.5.3.2	Aufbau von Gleitlagern	382
10.5.3.3	Charakteristische Eigenschaften der metallischen Lagerwerkstoffe	382
10.5.3.4	Charakteristische Eigenschaften von thermo- plastischen Kunststoffen als Gleitlagerwerkstoffe	389
10.5.3.5	Werkstoffe und Ausführungsformen für Gleitlager mit besonderen Anforderungen	391

10.5.4	Gestaltung von Gleitlagern	393
10.5.4.1	Gestaltung von hydrostatisch arbeitenden Gleitlagern	394
10.5.4.2	Gestaltung von hydrodynamisch arbeitenden Gleitlagern	395
10.5.4.2.1	Radialgleitlager (Querlager)	396
10.5.4.2.2	Axialgleitlager (Längslager)	411
10.5.4.2.3	Radial-Axial-Gleitlager	421
10.6	Schrifttum	421
Sachverzeichnis	428