

Dipl.-Ing. Claus Schul, Darmstadt

Einfluß der Baugröße auf die Lebensdauer feststoffgeschmierter Kugellager

Reihe **1**: Konstruktionstechnik/
Maschinenelemente

Nr. **283**

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen und Indizes	IX
1 Einleitung und Zielsetzung	1
1.1 Vorgegangene Untersuchungen	2
1.2 Zielsetzung und Gliederung der Arbeit.....	5
2 Nomenklatur	8
2.1 Geometrie des Rillenkugellagers	8
2.2 Lebensdauer und Gebrauchsdauer	9
2.2.1 Definitionen nach DIN und Lagerherstellern.....	9
2.2.2 Lebensdauerdefinitionen für Feststoffschmierung.....	11
2.3 Schmierkonzept	12
2.4 Konventionelle Schmierung	12
2.5 Reibungsarten.....	13
3 Grundlagen der Feststoffschmierung	14
3.1 Einsatz von Feststoffschmierung im Wälzlager.....	14
3.2 Festschmierstoffarten.....	17
3.3 Molybdändisulfid	18
3.3.1 Beschichtungsverfahren	19
3.3.2 Die MoS ₂ -Struktur und ihr Schmiermechanismus.....	21
3.3.3 Reale Schichtmorphologie.....	22
3.3.4 Schichthaftung auf dem Substrat	24
3.3.5 Ausbildung von Gleitebenen unter tribologischer Beanspruchung ..	25
3.3.6 Reibungs- und Verschleißverhalten	29

4	Beanspruchung und Kinematik im Wälzkontakt	31
4.1	Lastverteilung.....	31
4.1.1	Kombinierte Last.....	32
4.1.2	Reine Radiallast	35
4.1.3	Hertz'sche Theorie	38
4.2	Kinematik im Wälzkontakt.....	40
4.2.1	Drehzahlen und Umfangsgeschwindigkeiten.....	42
4.2.2	Relativgeschwindigkeiten im Kugel-Ring-Kontakt	44
4.2.2.1	Rollschlupf	46
4.2.2.2	Bohrschlupf.....	47
4.2.3	Überrollhäufigkeiten.....	48
5	Das tribologische System	50
5.1	Funktionen tribologischer Systeme	50
5.2	Die Struktur tribologischer Systeme	52
5.2.1	Reibung	54
5.2.2	Verschleiß.....	55
5.3	Das Tribologische System Wälzlager mit Feststoffschmierung.....	56
5.3.1	Kugel-Käfig-Dynamik.....	60
6	Tribologische Systemanalyse für Wälzlager mit Feststoffschmierung	65
6.1	Vorgehen bei der tribologischen Systemanalyse	66
6.1.1	Klären der tribologischen Aufgabenstellung	67
6.1.2	Tribologische Systembeschreibung.....	71
6.1.3	Vergleich mit bekannten Systemen	74
6.1.4	Schadensanalyse	76
6.1.4.1	Abhilfemaßnahmen.....	79
6.1.5	Lösungssuche für neue Aufgabenstellung	80
6.1.6	Versuchsplanung	80

7	Vergleichende Lebensdauerberechnung für Kugellager mit Feststoffschmierung	83
7.1	Verschleißtheorie für feste Körper	84
7.2	Verschleißtheorien für feststoffgeschmierte Reibpaarungen	86
7.3	Ermüdungstheorie für konventionelle Schmierung	91
7.4	Das Verschleißmodell für Feststoffschmierung im Wälzkontakt.....	93
7.4.1	Umgesetzte Reibenergie im Kugel-Ring-Kontakt	96
7.5	Vergleich der Lebensdauer verschiedener Kugellagergrößen	101
7.5.1	Entwickelte Programme für die Reibenergieberechnung	101
7.5.2	Reibenergien und Lebensdauern bei reiner Radiallast.....	102
7.5.3	Reibenergien und Lebensdauern bei kombinierter Last.....	106
7.6	Ähnlichkeitsbetrachtungen	109
7.6.1	Größenvergleich anhand der Reibenergiegleichung für Punktlast	111
7.6.2	Größeneinflüsse auf den Kugel-Käfig-Kontakt	120
7.6.2.1	Gleitgeschwindigkeit im Kugel-Käfig-Kontakt	122
7.6.2.2	Gleitgeschwindigkeit im Käfig-Innenbord-Kontakt	123
7.6.2.3	Einflüsse auf das Transferverhalten	125
7.6.3	Weitere Einflußgrößen.....	127
8	Lebensdauerbewertung nach der Weibull-Verteilung	129
8.1	Graphische Darstellung der Weibull-Verteilung	132
8.2	Auswertung einer Sudden-Death-Prüfung	133
9	Versuchsdurchführung und Ergebnisse	135
9.1	Konfiguration der Versuchslager.....	136
9.1.1	Wärmedehnung	137
9.1.2	Gefügeumwandlungen	138
9.1.2.1	Restaustenitumwandlung	139
9.1.2.2	Karbidausscheidung	139
9.2	Aufbau des Vier-Lager-Prüfstands.....	143
9.3	Festlegung der Prüfbedingungen.....	150

9.4	Versuchsdurchführung	151
9.5	Versuchsergebnisse.....	152
9.5.1	Lebensdauer Verhältnis nach der Weibullauswertung.....	154
9.5.2	Tribologische Schadensanalyse der Versuchslager.....	158
9.5.2.1	Einengung des Betriebsspiels durch Schrumpfung	159
9.5.2.2	Analyse der Lagerschäden	161
10	Zusammenfassung und Ausblick	167
10.1	Zusammenfassung.....	167
10.2	Ausblick.....	169
	Anhang A	171
	Literaturverzeichnis	185
	Dissertationsrelevante Diplomarbeiten	192