

Dipl.-Ing. Manfred Kraus, Herzogenaurach

Systematische Entwicklung einer wartungsarmen Antriebskette

Reihe **1**: Konstruktionstechnik/
Maschinenelemente

Nr. **282**

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der verwendeten Kurzzeichen	XI
Zusammenfassung	XV
1 Einleitung	1
2 Grundlagen der Rollenkettengetriebe	4
2.1 Aufbau eines Rollenkettengetriebes.....	4
2.1.1 Aufbau der Rollenkette.....	4
2.1.2 Das Kettenrad.....	4
2.1.3 Kinematik des Rollenkettengetriebes.....	5
2.2 Dynamik des Kettengetriebes.....	6
2.2.1 Zügige Belastung in der umlaufenden Kette.....	6
2.2.2 Stoßartige Belastung.....	7
2.2.3 Bewegungs- und Kraftverhältnisse im Kettengelenk.....	9
2.2.4 Abknickgeschwindigkeit im Kettengelenk.....	11
2.3 Schäden an Rollenkettengetrieben unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse bei geringem Wartungsaufwand.....	11
2.4 Der Gelenkverschleiß.....	12
2.5 Maßnahmen zur Verringerung des Gelenkverschleißes.....	15
2.5.1 Beeinflussung der Stoffeigenschaften von Grund- und Gegen- körper.....	15
2.5.2 Beeinflussung der Formeigenschaften von Grund- und Gegen- körper.....	18
2.5.2.1 Verringerung der Übermaßpassung zwischen Buchse und Innenlasche.....	18
2.5.2.2 Verwendung von fließgepreßten gekonten Buchsen.....	19
2.5.3 Beeinflussung des Zwischenstoffes des Tribosystems.....	22
2.5.4 Beeinflussung des Beanspruchungskollektives.....	22
2.6 Verringerung des Wartungsaufwandes bei Rollenkettengetrieben.....	23
3 Präzisierung des Entwicklungszieles	24
3.1 Stand der Technik - Kettengetriebe mit verringertem Wartungsaufwand.....	24
3.1.1 Analyse der O-Ring-Kette.....	25
3.1.2 Analyse der Kunststoffbuchsen-Kette.....	26
3.1.3 Ergebnis der Literaturrecherche.....	26
3.2 Definition des Begriffes "Wartungsarme Kette".....	27
3.3 Ziel der Arbeit.....	27
3.4 Festlegen eines Entwicklungskonzeptes.....	28
3.5 Klären der Aufgabenstellung.....	28
3.5.1 Festlegen von Anforderungen für eine wartungsarme Kette.....	28
3.5.2 Anforderungsliste für eine wartungsarme Kette.....	30

4	Konzipieren einer "Wartungsarmen Kette"	31
4.1	Technische Funktion des Kettengelenkes.....	31
4.2	Technische Lösungsvarianten für wartungsarme Kettengelenke	31
4.3	Vergleich der wartungsarmen und -freien Lagerwerkstoffe.....	33
4.4	Auswahl von Lösungsvarianten	37
5	Auswahl der Elemente für das Tribosystem Kettengelenk in der wartungsarmen Kette	39
5.1	Auswahl eines Sinterwerkstoffes für die Buchse.....	39
5.1.1	Grundlagen	39
5.1.1.1	<i>Nachbehandlung von Sinterformteilen</i>	40
5.1.1.2	<i>Verwendete Legierungen beim Sintern</i>	40
5.1.1.3	<i>Mechanische Eigenschaften</i>	41
5.1.1.4	<i>Dauerfestigkeitsverhalten von Sinterwerkstoffen</i>	42
5.1.2	Ölgetränkte Sinterlagerwerkstoffe.....	42
5.1.2.1	<i>Belastbarkeit, Einsatzgrenzen und Reibungszahlen ölgetränkter Sinterlager</i>	43
5.1.2.2	<i>Reibungszahlen bei ölgetränkten Sinterwerkstoffen</i>	45
5.1.3	Auswahl des Sinterwerkstoffes für eine Kettenbuchse.....	45
5.1.4	Einflußfaktoren auf das Betriebsverhalten von Sinterwerkstoffen.....	49
5.1.5	Erforderliches Lagerspiel	53
5.2	Auswahl eines Schmierstoffes	53
5.3	Auswahl des Gegenlaufwerkstoffes.....	54
5.3.1	Borierter Bolzen.....	55
5.3.2	Chemisch vernickelter Bolzen.....	57
5.4	Zusammenfassung des Kapitels.....	59
6	Experimentelle Überprüfung der getroffenen Werkstoffauswahl	60
6.1	Der Antriebsprüfstand	60
6.2	Der Verspannprüfstand.....	61
6.3	Der Einzelgelenkprüfstand.....	64
6.3.1	Merkmale und Aufbau	64
6.3.2	Funktionsweise	64
6.3.3	Vergleich der Verschleißbewährungsfolge zwischen Einzelgelenkprüfstand und Zweiradkettenprüfstand	66
6.4	Versuchseinrichtungen zur Messung des Gelenkverschleißes	68
6.4.1	Kettenlängen-Meßeinrichtung.....	68
6.4.2	Koordinatenmeßmaschine.....	69
6.5	Versuchsparameter und Versuchsdurchführung.....	71
6.6	Ergebnisse der Vorversuche	71
6.6.1	Ergebnisse und Diskussion der Montageversuche	71

6.6.2	Ergebnisse der Verschleißversuche und Ermittlung der Schadensursache.....	71
6.6.2.1	<i>Ermittlung der Schadensart</i>	72
6.6.2.2	<i>Formulierung einer Schadenshypothese</i>	77
6.7	Ansatzpunkte für eine Optimierung des Tribosystems "Sintergleitlager im Kettengelenk"	79
7	Optimierungsschritte	80
7.1	Genauigkeit der erfaßten Meßwerte und Meßwertdarstellung.....	80
7.1.1	Versuche auf dem Antriebs- und Verspannkett Prüfstand.....	80
7.1.2	Versuche auf dem Einzelgelenkprüfstand	81
7.2	Zusammenstellung aller durchgeführten Optimierungsschritte.....	82
7.3	Optimierung der Buchsenwanddicke.....	84
7.3.1	Optimierungsziel.....	84
7.3.2	Geometrieänderungen und deren Auswirkungen	84
7.3.3	Versuchsparameter und Versuchsvarianten	84
7.3.4	Ergebnisse der Verschleißversuche.....	84
7.3.5	Diskussion der Verschleißversuche.....	85
7.3.6	Ableitung weiterer Optimierungsschritte	85
7.4	Optimierung der Dichte des Buchsenwerkstoffes.....	85
7.4.1	Optimierungsziel.....	85
7.4.2	Auswirkungen der Dichteänderung.....	85
7.4.3	Versuchsparameter und Versuchsvarianten	88
7.4.4	Ergebnisse der Verschleißversuche.....	88
7.4.4.1	<i>Ergebnisse auf dem Zweiradkett Prüfstand</i>	88
7.4.4.2	<i>Ergebnisse auf dem Einzelgelenkprüfstand</i>	90
7.4.5	Diskussion der Verschleißversuche.....	90
7.4.6	Ableitung weiterer Optimierungsschritte	93
7.5	Optimierung des Schmierstoffes.....	93
7.5.1	Optimierungsziel.....	93
7.5.2	Auswirkungen der Schmierstoffänderungen	93
7.5.3	Versuchsparameter und Versuchsvarianten	94
7.5.4	Ergebnisse der Verschleißversuche.....	94
7.5.4.1	<i>Ergebnisse auf dem Zweiradkett Prüfstand</i>	94
7.5.4.2	<i>Ergebnisse auf dem Einzelgelenkprüfstand</i>	96
7.5.5	Diskussion der Verschleißversuche.....	97
7.5.6	Ableitung weiterer Optimierungsschritte	98
7.6	Optimierung der Stoffeigenschaften des Sinterwerkstoffes	98
7.6.1	Optimierungsziel.....	98
7.6.2	Einfluß des Abschreckens auf das Gefüge und die Werkstoffeigenschaften.....	98
7.6.3	Versuchsparameter und Versuchsvarianten	100

7.6.4	Ergebnisse der Verschleißversuche.....	100
7.6.4.1	<i>Ergebnisse auf dem Zweiradkettenprüfstand</i>	100
7.6.4.2	<i>Ergebnisse auf dem Einzelgelenkprüfstand</i>	102
7.6.5	Diskussion der Verschleißversuche.....	103
7.6.6	Ableitung weiterer Optimierungsschritte	104
7.7	Optimierung der Stoffeigenschaften des Bolzenwerkstoffes.....	104
7.7.1	Optimierungsziel.....	104
7.7.2	Mögliche Auswirkungen des Bolzenwerkstoffes auf das Verschleißverhalten.....	104
7.7.3	Versuchsparameter und Versuchsvarianten	104
7.7.4	Ergebnisse der Verschleißversuche.....	104
7.7.4.1	<i>Ergebnisse auf dem Zweiradkettenprüfstand</i>	104
7.7.4.2	<i>Ergebnisse auf dem Einzelgelenkprüfstand</i>	106
7.7.5	Diskussion der Verschleißversuche.....	106
7.7.6	Ableitung weiterer Optimierungsschritte	108
7.8	Optimierung des Gelenkspiels	108
7.8.1	Optimierungsziel.....	108
7.8.2	Mögliche Auswirkungen des Gelenkspiels auf das Verschleißverhalten.....	108
7.8.3	Versuchsparameter und Versuchsvarianten	109
7.8.4	Ergebnisse der Verschleißversuche.....	109
7.8.5	Diskussion der Verschleißversuche.....	111
7.9	Zusammenfassung des Kapitels.....	111
8	Überprüfung der Festigkeitseigenschaften der Buchse	112
8.1	Werkstoffkennwerte von Buchse und Innenlasche.....	112
8.1.1	Zugversuche.....	112
8.1.2	Druckversuche	113
8.1.3	Werkstoffkennwerte der Lasche.....	116
8.2	Ermittlung der stationären Belastung.....	117
8.2.1	Analytische Bestimmung der Spannungen und Verformungen in der Buchse	117
8.2.2	Vergleich der analytisch ermittelten mit den gemessenen Verformungen.....	120
8.2.3	Ermittlung der Verformungen und Spannungen in der Buchse mit dem FE-Modell.....	121
8.2.3.1	<i>Vergleich der errechneten mit den gemessenen Verformungen</i>	122
8.2.3.2	<i>Bestimmung der Spannungen in der Buchse mit der FE-Methode</i>	123
8.3	Ermittlung der instationären Belastung.....	125
8.3.1	Stand der Technik - Analyse bekannter Ansätze zur Bestimmung des Einlaufstoßes	125
8.3.2	Darstellung des eigenen Lösungsweges.....	128

8.3.3	Berechnung der Stoßmassen.....	128
8.3.3.1	<i>Berechnung der reduzierten Kettenradmasse</i>	128
8.3.3.2	<i>Berechnung der reduzierten Kettenmasse</i>	129
8.3.4	Berechnung der Kontaktsteifigkeit.....	134
8.3.4.1	<i>Biegung des Kettenradzahnes</i>	134
8.3.4.2	<i>Hertz'sche Abplattung zwischen Zahn und Rolle</i>	136
8.3.4.3	<i>Hertz'sche Abplattung zwischen Rolle und Buchse</i>	138
8.3.4.4	<i>Hertz'sche Abplattung zwischen Buchse und Bolzen</i>	138
8.3.4.5	<i>Biegung der Kettenbuchse</i>	139
8.3.4.6	<i>Deformation der Kettenbuchse</i>	140
8.3.4.7	<i>Biegung des Kettenbolzens</i>	143
8.3.4.8	<i>Berechnungsergebnisse der Steifigkeiten des betrachteten Kettengetriebes</i>	145
8.3.5	Berechnung der Trumsteifigkeit.....	148
8.3.5.1	<i>Berechnungsweg</i>	148
8.3.5.2	<i>Berechnungsergebnisse der Trumsteifigkeit des betrachteten Kettengetriebes</i>	149
8.3.6	Berechnung der Stoßgeschwindigkeit.....	150
8.3.7	Berechnung der Stoßkraft	151
8.3.7.1	<i>Berechnung der Stoßkraft am ungefesselten Zwei-Massen-Stoßmodell</i>	151
8.3.7.2	<i>Berechnung der Stoßkraft am gefesselten Zwei-Massen-Stoßmodell</i>	152
8.3.7.3	<i>Ergebnisse der Stoßkraftberechnung für die wartungsarme Kette</i>	156
8.3.8	Einfluß der Dämpfung auf die Stoßkraft.....	159
8.3.9	Zusammenfassung und Bewertung des entwickelten Berechnungsweges und Vergleich mit experimentellen Untersuchungen	160
8.4	Festigkeitsnachweis für die gesinterte Buchse.....	160
8.4.1	Ergebnisse der instationären Beanspruchung und deren Diskussion.....	160
8.4.2	Auswahl einer Festigkeitshypothese.....	163
8.4.3	Festigkeitsnachweis mit der modifizierten Schubspannungshypothese	165
8.5	Zusammenfassung des Kapitels.....	166
9	Einfluß der Belastung auf das Verschleißverhalten	167
9.1	Ergebnisse und Diskussion der Versuche zum Einfluß der Belastung auf das Verschleißverhalten	167
9.2	Ergebnisse und Diskussion der Versuche zum Einfluß der Ketten- geschwindigkeit auf das Verschleißverhalten	169
9.3	Hinweise für den praktischen Einsatz	172
10	Ausblick	173

Anhang zu Kapitel 3

3-A Daten für die zu entwickelnde wartungsarme Kette 174

Anhang zu Kapitel 8

8-A Grundlagenbetrachtung zur Überführung des exzentrischen Stoßes
auf einen zentrischen Stoß 175

8-B Bestimmung der Masse und des Massenträgheitsmomentes von Innen-
und Außenglied..... 178

8-C Berechnung der Zahndicke 181

8-D Berechnung der Durchbiegung der Kettenbuchse..... 182

8-E Vergleich der Berechnungsergebnisse mit den Versuchsergebnissen..... 184

8-F Datensätze der untersuchten Kettengetriebe..... 189

8-G Ergebnisse der analytischen Berechnung der Spannungen in der
Buchse für die Dichten 6,05, 6,2 und 6,6 g/cm³ 190

8-H Ergebnisse der Umlaufbiegeversuche mit einer Rapid-II-Probe für
den Sinterwerkstoff der wartungsarmen Kette..... 191

Anhang zu Kapitel 9

9-A Verschleißversuch zur Bestimmung des p·v-Wertes 192

Literaturverzeichnis 193