

Kegeelradgetriebe

Entwicklungstendenzen in Berechnung und Fertigung

Prof. Dr.-Ing. Hans Winter

Dr.-Ing. Gerhard Funck
Dr.-Ing. Joachim Grabscheid
Dr.-Ing. Karl Heinz Hirschmann
Dr.-Ing. Kurt Kleinbach
Masch.-Ing. E. Kotthaus
Prof. Dr.-Ing. Gisbert Lechner
Dr.-Ing. Klaus Michaelis
Dipl.-Ing. Bruno Neuhaus
Dipl.-Ing. Hans Joachim Neumann
Dr.-Ing. Michael Paul
Dr.-Ing. Hermann Josef Stadtfeld
Dr.-Ing. Lothar Wech
Prof. Dr.-Ing. Manfred Weck
Ing. (grad.) Rolf Wiegand
Dr.-Ing. Dieter Wiener

Mit 168 Bildern



Kontakt & Studium
Band 298

Herausgeber:
Prof. Dr.-Ing. Wilfried J. Bartz
Technische Akademie Esslingen
Weiterbildungszentrum
DI Elmar Wippler
expert verlag

expert  verlag

Inhaltsverzeichnis

Herausgeber-Vorwort

Autoren-Vorwort

1	Geometrie und Tragfähigkeit	1
1.1	Programmkette Kegelradberechnung – Neues Werkzeug für die betriebliche Praxis und effektives Hilfsmittel der Kegelradforschung	1
	H.J. Stadtfeld, M. Weck	
1.1.1	Einleitung	1
1.1.2	Grundlagen der exakten Kegelradberechnungen	3
1.1.3	Berechnungsschnittstellen und Flankengenerierung	5
1.1.4	Lastfreie Zahnkontaktanalyse	6
1.1.5	Generierung von Strukturen und Berechnung der Lastaufteilung und Lastverteilung	9
1.1.6	Berechnung der Spannungsverteilung	13
1.1.7	Zusammenfassung	15
1.2	Zahnfußspannungen an bogenverzahnten Kegelrädern – Einflüsse von Balligkeit und Lageabweichungen	16
	H. Winter, M. Paul	
1.2.1	Einleitung	16
1.2.2	Prüfverzahnungen und Untersuchungsmethoden	19
1.2.3	Grundlegende Ergebnisse zur Spannungsverteilung	25
1.2.3.1	Spannungsverteilung über der Zahnfußausrundung	25
1.2.3.2	Spannungsverteilung über Zahnbreite und Drehweg	28
1.2.4	Einfluß der Balligkeit auf die Zahnfußspannungen	30
1.2.4.1	Einfluß der Balligkeit auf die Kraftverteilung über den Berührungslinien bei Einzeleingriff	32
1.2.4.2	Einfluß der Balligkeit auf die Lastaufteilung bei Mehrfacheingriff	36
1.2.5	Einfluß von Lageabweichungen	40
1.2.6	Optimierung der Zahnbreitenballigkeit	44
1.2.7	Zusammenfassung	45

1.3	Berechnung der Freßtragfähigkeit von Hypoidrädern	46
	H. Winter, K. Michaelis	
1.3.1	Einleitung	46
1.3.2	Grundlagen der Berechnung	48
1.3.3	Praktischer Rechengang	51
1.3.4	Überprüfung des Rechenverfahrens anhand von Versuchsergebnissen	54
1.3.5	Zusammenfassung	56
1.4	Einfluß der Flankenlängskrümmung auf die Beanspruchung von Spiralkegelrädern	57
	H.J. Stadtfeld, M. Weck	
1.4.1	Einleitung	57
1.4.2	Analyse des Kontakt- und Verlagerungsverhaltens	58
1.4.3	Flankenpressung und Vergleichsspannung bei unverschobenen Achsen	59
1.4.4	Flankenpressungen und Vergleichsspannungen bei Berücksichtigung von Achsabdrängungen	61
1.4.5	Zusammenfassung	63
2	Tribologie, Wirkungsgrad, Wärmehaushalt	64
2.1	Einflüsse auf den Wirkungsgrad von Kegelrad- und Hypoidgetrieben	64
	H. Winter, L. Weck	
2.1.1	Einführung	64
2.1.2	Untersuchungsmethoden	66
2.1.3	Untersuchungsergebnisse	68
2.1.3.1	Einfluß der Achsversetzung	69
2.1.3.2	Einfluß der Eintauchtiefe	71
2.1.3.3	Einfluß des Schmierstoffes	73
2.1.3.4	Zusammenfassung der Ergebnisse	75
2.1.4	Standardisierte Wirkungsgradtests	77
2.1.4.1	Kollektivtests FZG-W1/A12/90 bzw. W2/A12/90	77
2.1.4.2	Kurztests FZG-K1/A12 bzw. K0/A12	79
2.1.4.3	Meßergebnisse bei den Standard-Testverfahren	80
2.1.5	Zusammenfassung	83

2.2	Wärmehaushalt bei Getrieben – erläutert am Beispiel eines Kegel-Stirnradgetriebes –	84
	H. Winter, G. Funck	
2.2.1	Einleitung und Problemstellung	84
2.2.2	Wärmehaushalt eines zweistufigen Kegel-Stirnradgetriebes	84
2.2.3	Getriebeverlustleistung	86
2.2.3.1	Verzahnungsverlustleistung	86
2.2.3.1.1	Lastabhängige Verzahnungsverluste	87
2.2.3.1.2	Lastunabhängige Verzahnungsverluste	90
2.2.3.2	Lagerverlustleistung	92
2.2.3.2.1	Lastabhängige Lagerverluste	93
2.2.3.2.2	Lastunabhängige Lagerverluste	93
2.2.3.3	Dichtungsverlustleistung	94
2.2.4	Wärmeabführung	94
2.2.4.1	Wärmeabführung über die freie Gehäuseoberfläche	95
2.2.4.1.1	Wärmeabführung bei natürlicher Luftströmung	96
2.2.4.1.2	Wärmeabführung bei erzwungener Luftströmung	97
2.2.4.1.3	Wärmedurchgang durch das Getriebegehäuse	99
2.2.4.1.4	Wärmeabführung über das Getriebefundament	100
2.2.4.1.5	Wärmeabführung über Wellen und Kupplungen	102
2.2.5	Beispielrechnungen	102
2.2.6	Schlußbemerkung	104
2.2.7	Zusammenfassung	104
2.3	Bestimmung von Tragfähigkeitskennwerten für Hypoidgetriebeöle	105
	H. Winter, K. Michaelis	
2.3.1	Einleitung	105
2.3.2	Prüfstand und Prüfräder	107
2.3.3	Versuchsbedingungen	110
2.3.4	Testergebnisse mit den Referenzölen	112
2.3.5	Bewertung	113
2.3.5.1	Ergebnis gemäß CRC-L-42-Test (nach MIL-L-2105 B oder C)	113
2.3.5.2	Differenzierung von Ölen besser als RGO 110	113
2.3.6	Ergebnisse mit Praxisölen	114
2.3.7	Zusammenfassung	115

3	Fertigung und Bearbeitungsverfahren	116
3.1	Schleifen bogenverzahnter Kegelräder unterschiedlicher Systeme	116
	D. Wiener	
3.1.1	Tendenz zur Feinbearbeitung bogenverzahnter Kegelräder	116
3.1.2	Schleifprozeß	117
3.1.3	Abrichten der Schleifscheibe	121
3.1.4	Schleifen von bogenverzahnten Kegelrädern, die nach verschiedenen Methoden vorverzahnt worden sind	124
3.1.5	Korrekturmöglichkeit	129
3.1.6	Reproduzierbarkeit	131
3.2	Hartverzahnen von Spiralkegelrädern – Verfahrensmerkmale und Ergebnisse	132
	R. Wiegand	
3.2.1	Merkmale des Zylo-Palloid-Verfahrens	132
3.2.2	Hartbearbeitung von Spiralkegelrädern	136
3.2.2.1	HPB-Verfahren	136
3.2.2.2	HPG-S-Verfahren	139
3.2.3	Zusammenfassung	144
3.3	Das kontinuierliche Schleifen gehärteter Kegelräder mit bogenförmiger Flankenlinie	145
	H.J. Stadtfeld, E. Kotthaus	
3.3.1	Einleitung	145
3.3.2	Anforderungen an geeignete Feinbearbeitungsverfahren	146
3.3.3	Kinematische Grundlagen	147
3.3.4	Bearbeitungstechnologie	153
3.3.5	Werkzeuge und Maschine	156
3.3.6	Signifikante Besonderheiten des Verfahrens und Schleifresultate	161
4	Verzahnungsgenauigkeit und Messung	164
4.1	Entwicklung eines rechnergestützten Verfahrens zur automatischen Tragbilderkennung und -analyse	164
	J. Grabscheid, K.H. Hirschmann, K. Kleinbach, G. Lechner	
4.1.1	Einleitung	164

4.1.2	Die neue Laufprüfmaschine	166
4.1.3	Aufbau der Laufprüfmaschine	170
4.1.3.1	Anforderungsliste	170
4.1.3.2	Mechanischer Aufbau	170
4.1.3.3	Prüfmaschinensteuerung und Meßwerterfassung	176
4.1.3.4	Steuerungs- und Bildverarbeitungssoftware	179
4.1.4	Zusammenfassung	183
4.2	Steuerung der Formgenauigkeit von Kegelradtriebsätzen mit Hilfe der Koordinatenmeßtechnik	185
	H.J. Neumann, B. Neuhaus	
4.2.1	Einleitung	185
4.2.2	Rechnerunterstützte Entwicklung und Fertigung	186
4.2.2.1	Die Aufgabe der Korrekturmatrix	189
4.2.3	Die meßtechnische Erfassung der Flankenformabweichungen	190
4.2.3.1	Darstellung der Entwicklungsschritte	190
4.2.3.2	Die dreidimensionale Meßpunkterfassung auf einem Koordinatenmeßgerät	191
4.2.4	Die Meßtechnik mit dem Programmsystem G-AGE	194
4.2.4.1	Herstellung eines Radsatzes mit berechneter Maschinenkorrektur	195
4.2.5	Vergleich des konventionellen Herstellverfahrens mit dem Verfahren der objektivierten Maschinenkorrektur	196
4.2.5.1	Herstellen von Tellerrädern mit korrekter Flankenform	196
4.2.5.2	Herstellen von Ritzeln mit korrekter Flankenform	197
4.2.5.3	Berechnung der Maschinennachstellung	197
4.2.5.4	Übertragung von Maschineneinstellungen auf andere Maschinenzustände und Maschinentypen	198
4.2.5.5	Berücksichtigung des Härteverzugs	199
4.2.6	Beispiel für die Herstellung eines Tellerrades	199
4.2.7	Zusammenfassung	202
	Literaturverzeichnis	204
	Sachregister	210
	Autorenverzeichnis	212