DIN 3996:2019-09 (D)

Tragfähigkeitsberechnung von Zylinder-Schneckengetrieben mit sich rechtwinklig kreuzenden Achsen

Inhalt

Seite

Vorwort ... 6

1 Anwendungsbereich ... 7
1.1 Allgemeines ... 7
1.2 Schneckenwerkstoffe ... 7
1.3 Schneckenradwerkstoffe ... 7
1.4 Schmierstoffe ... 8
1.5 Flankenformen ... 8

2 Normative Verweisungen ... 8

3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen ... 9
3.1 Begriffe ... 9
3.2 Symbole und Abkürzungen ... 9

4 Allgemeines ... 15
4.1 Grundlagen, Wechselwirkungen ... 15
4.1.1 Verschleiß ... 15
4.1.2 Grübchenschäden ... 15
4.1.3 Fressen ... 16
4.1.4 Wechselwirkung zwischen Fressen und Verschleiß ... 16
4.1.5 Wechselwirkung zwischen Verschleiß und Grübchen ... 16
4.1.6 Wechselwirkung zwischen Verschleiß und Zahnbruch ... 16
4.1.7 Riefenbildung ... 16
4.2 Absolutrechnung bzw. Relativrechnung ... 16
4.2.1 Allgemeines ... 16
4.2.2 Absolutrechnung ... 16
4.2.3 Relativrechnung ... 17
4.3 Standard-Referenzgetriebe ... 17
4.4 Berechnungsansätze, Methoden A, B, C ... 18
4.4.1 Allgemeines ... 18
4.4.2 Methode A ... 18
4.4.3 Methode B ... 19
4.4.4 Methode C ... 19
4.5 Sicherheitsfaktoren ... 19
4.6 Hinweis auf Zahlenwertgleichungen ... 19
4.7 Sonstige Hinweise ... 19

5 Notwendige Eingangsgrößen ... 19

6 Kräfte, Geschwindigkeiten sowie Kennwerte für die Berechnung der Beanspruchung ... 20
6.1 Allgemeines ... 20
6.2 Zahnkräfte ... 20
6.2.1 Anwendungsfaktor ... 20
6.2.2 Zahnkraftkomponenten ... 21
6.3 Gleitgeschwindigkeit am Mittenkreis ... 22
6.4 Methoden zur Bestimmung der physikalischen Kennwerte ... 22
6.4.1 Allgemeines ... 22
6.4.2 Methode A ... 22
6.4.3 Methode B ... 22
6.4.4 Methode C ... 22

6.5 Physikalischer Kennwert für die mittlere Hertzsche Pressung 23
6.5.1 Allgemeines 23
6.5.2 Methode A 23
6.5.3 Methode B 23
6.5.4 Methode C 23
6.6 Physikalischer Kennwert für die mittlere Schmierspaltdicke 24
6.6.1 Allgemeines 24
6.6.2 Methode A 24
6.6.3 Methode B 24
6.6.4 Methode C 24
6.7 Physikalischer Kennwert für den mittleren Gleitweg 25
6.7.1 Allgemeines 25
6.7.2 Methode A 25
6.7.3 Methode B 25
6.7.4 Methode C 25
6.8 Berechnung der mittleren Flankenpressung 25
6.9 Berechnung der mittleren minimalen Schmierspaltdicke 26
6.9.1 Allgemeines 26
6.9.2 Berechnung der mittleren minimalen Schmierspaltdicke zur Bestimmung des Verschleißabtrages 26
6.9.3 Berechnung der mittleren minimalen Schmierspaltdicke zur Berechnung des Verzahnungswirkungsgrades 27
6.10 Berechnung der kinematischen Viskosität 28
6.11 Berechnung der dynamischen Viskosität beim Umgebungsdruck 28
6.12 Berechnung des Verschleißweges 29

7 Wirkungsgrad und Verlustleistung 29
7.1 Allgemeines 29
7.2 Gesamtwirkungsgrad 29
7.2.1 Methode A 29
7.2.2 Methoden B und C 29
7.3 Gesamtverlustleistung 30
7.3.1 Methode A 30
7.3.2 Methode B 30
7.4 Lastabhängiger Verzahnungswirkungsgrad 30
7.4.1 Methode A 30
7.4.2 Methode B 30
7.4.3 Methode C 30
7.4.4 Grenzreibungszahl 31
7.4.5 Festkörpertraganteil 31
7.4.6 Flüssigkeitsreibungszahl 32
7.4.7 Anpassung des Berechnungsverfahrens an eigene Versuchsergebnisse 34
7.5 Lastabhängige Verzahnungsverlustleistung 34
7.5.1 Methode A 34
7.5.2 Methode B 34
7.5.3 Methode C 34

8 Verschleißtragfähigkeit 34
8.1 Allgemeines 34
8.2 Verschleißsicherheit 35
8.3 Zu erwartender Verschleißabtrag 35
8.3.1 Methode A 35
8.3.2 Methoden B und C 35
8.4 Zulässiger Verschleißabtrag 40
8.5 Anpassung des Rechenverfahrens an eigene Versuche 41

9 Grübchentragfähigkeit 41
9.1 Allgemeines 41
9.2 Grübchensicherheit 42

9.3 Auftretende Flankenpressung 42
9.3.1 Methode A 42
9.3.2 Methoden B und C 42
9.4 Grenzwert der Flankenpressung 42
9.5 Anpassung des Berechnungsverfahrens an eigene Versuche 44

10 Durchbiegung 44
10.1 Allgemeines 44
10.2 Durchbiegesicherheit 44
10.3 Auftretende Durchbiegung 44
10.3.1 Methode A 44
10.3.2 Methode B 44
10.3.3 Methode C 44
10.4 Grenzwert der Durchbiegung 45

11 Zahnfußtragfähigkeit 45
11.1 Allgemeines 45
11.2 Zahnbruchsicherheit 45
11.3 Methode A 46
11.4 Methode B 46
11.5 Methode C 46
11.5.1 Allgemeines 46
11.5.2 Auftretende Zahnfußspannung 46
11.5.3 Grenzwert der Schub-Nennspannung am Zahnfuß 47
11.5.4 Anpassung des Berechnungsverfahrens an eigene Versuche 50

12 Temperatursicherheit 50
12.1 Allgemeines 50
12.2 Temperatursicherheit bei Tauchschmierung 50
12.3 Auftretende Ölsumpftemperatur 51
12.3.1 Methode A 51
12.3.2 Methode B 51
12.3.3 Methode C 51
12.4 Grenzwert der Ölsumpftemperatur 52
12.5 Temperatursicherheit bei Einspritzschmierung 52
12.6 Kühlleistung 53
12.6.1 Methode A 53
12.6.2 Methode B 53
12.6.3 Methode C 53

13 Bestimmung der Radmassentemperatur 53
13.1 Allgemeines 53
13.2 Radmassentemperatur bei Tauchschmierung 53
13.2.1 Methode A 53
13.2.2 Methode B 53
13.2.3 Methode C 53
13.3 Radmassentemperatur bei Einspritzschmierung 54
13.3.1 Methode A 54
13.3.2 Methode B 54
13.3.3 Methode C 54

Anhang A (informativ) Hinweise zu den inneren Kräften und zur Kraftverteilung 56

Anhang B (informativ) Hinweise zu den physikalischen Kennwerten 57

Anhang C (informativ) Methoden zur Ermittlung der Kennwerte 58

Anhang D (informativ) Schmierspaltdicke nach der EHD-Theorie 60

Anhang E (informativ) Berechnung des Verschleißweges 61

Anhang F (informativ) Hinweise zur Berechnung des Verschleißabtrags 62

Anhang G (informativ) Hinweise zur Zahnfußtragfähigkeit **63**
Anhang H (informativ) Lebensdauerabschätzung grübchengefährdeter Radsätze **64**
Anhang I (informativ) Beispiele **66**
Literaturhinweise **71**

Bilder

Bild 1 — Betrachtung der Abweichungen am Beispiel der Einflussgröße „Achsabstand“ (lineares Fehlergesetz zugrunde gelegt) **17**
Bild 2 — Zahnkraftkomponenten bei rechtssteigender Schnecke **21**
Bild 3 — Veränderung des Druckviskositätskoeffizienten über der Temperatur **28**
Bild 4 — Reibleistungskennzahl R **33**
Bild 5 — Bezugsverschleißintensitäten nach [13], [2], [5] **38**
Bild 6 — Lagerabstände **45**
Bild 7 — Kranzdickenfaktor Y_{K} **47**
Bild 8 — Lebensdauerfaktor Y_{NL} nach Versuchen [20] **50**
Bild C.1 — Berechnete Berührlinien für ein Beispiel (Projektion in die Radebene) **58**

Tabellen

Tabelle 1 — Übliche Schneckenradwerkstoffe **7**
Tabelle 2 — Formelzeichen, Benennung und Einheit **9**
Tabelle 3 — Hauptdaten des Standard-Referenzgetriebes **18**
Tabelle 4 — E-Module und Querkontraktionszahlen **26**
Tabelle 5 — Werkstoff-Schmierstofffaktor W_{ML} **39**
Tabelle 6 — Dichte für Schneckenradwerkstoffe nach [2] **41**
Tabelle 7 — Grübchenfestigkeiten nach [2] **42**
Tabelle 8 — Schub-Dauerfestigkeitswerte τ_{FlimT} für verschiedene Radwerkstoffe **48**
Tabelle 9 — Lebensdauerfaktor Y_{NL} in Abhängigkeit von der Lastspielzahl N_{L}, dem Werkstoff und der zulässigen Qualität des Schneckenrades **49**