

Berechnungsgrundlagen Für Schrumpfscheibenverbindungen

Die nachfolgend aufgeführten Berechnungsgrundlagen dienen zur überschlägigen Prüfung von Schrumpfscheibenverbindungen.

Ausgenommen sind Wellenkupplungen der Baureihe WK 160 sowie Klemm- und Einschweißnaben. Verbindungen mit diesen Bauteilen werden nach den Berechnungsgrundlagen für Spannsätze geprüft.

Verwendete Formelzeichen

Grundabmessungen der ungespannten Elemente:

d = Nabenaußendurchmesser (Hohlwelle) / Schrumpfscheibeninnendurchmesser
 d_w = Wellenaußen-/ Nabeninnendurchmesser
 d_B = Hohlwelleninnendurchmesser
 h_1 = Spannlänge
 i = Anzahl der Spannschrauben in der Schrumpfscheibe

Leistungsangaben:

M_t = Übertragbares Drehmoment der Schrumpfscheibe
 $M_{t\text{res}}$ = Übertragbares resultierendes Drehmoment der Schrumpfscheibe
 F_{ax} = Übertragbare Axialkraft der Schrumpfscheibe
 p_N = Flächenpressung auf der Nabe
 p_w = Flächenpressung an der Welle
 N = Normalkraft
 F_v = Vorspannkraft (von den Spannschrauben erzeugt)

Werkstoffkennwerte und Faktoren:

$R_{p0,2}$ = Streckgrenze (R_e) des Naben-/ Wellenwerkstoffes
 E_N = E-Modul des Nabenwerkstoffes
 E_w = E-Modul des Wellenwerkstoffes
 v = Sicherheit gegen plastische Verformung
 C = Nabenformfaktor, bei Wellen ist $C = 0,6$
 Δ_{dw} = Passungsspiel zwischen Welle und Nabe
 μ_w = Reibwert der Welle
 μ_k = Reibwert der Konen
 α = Kegelwinkel der Kone

Naben- / Hohlwellenberechnung Weiterführende Berechnungen auf Seite 2 und 3

Erforderlicher Nabenaußendurchmesser Schrumpfscheiben

Der Nabenaußendurchmesser ist in den Datentabellen festgelegt. Als Nabenmaterial ist Stahl, Stahlguss oder Sphäroguss mit einer Streckgrenze von ca. 360 N/mm² zu verwenden. Bei Verbindungen, die auch Biegemomente übertragen müssen oder bei dünnwandigen Naben ist der Werkstoff 42 CrMo 4, eine vergleichbare oder höherwertige Qualität einzusetzen. Ggf. ist die Nabe rechnerisch zu überprüfen.

Maximaler Bohrungsdurchmesser

Bei Einsatz einer Schrumpfscheibe auf einer Hohlwelle

In der Praxis wird der erforderliche Wellendurchmesser überschlägig, unter Vernachlässigung der Radialspannung ermittelt.

$$d_B \leq d_w \cdot \sqrt{\frac{R_{p0,2w} - 2 \cdot p_w \cdot C}{R_{p0,2w}}} [mm]$$

Für Wellen gilt: $C = 0,6$

Kräfte und Momente

Haftreibungswert μ

Der gewählte Reibwert hat großen Einfluss auf die Berechnung des Drehmomentes. In der Literatur werden folgende Haftreibungswerte genannt:

- trocken für Stahl / Stahl: $\mu = 0,45$ bis $0,80$
- geölt für Stahl / Stahl: $\mu = 0,10$ bis $0,15$

Die Katalogwerte für Schrumpfscheiben basieren auf folgende Haftreibungswerte:

- Welle geölt : $\mu_w = 0,12$
- Konen molykottiert (MoS2): $\mu_k = 0,05$

Normalkraft

Die Schraubenvorspannkraft erzeugen die notwendige Normalkraft, die zur Übertragung des Drehmomentes erforderlich ist.

$$N = \frac{F_v \cdot i}{\tan \alpha + \mu_k} [N]$$



Die Formel für die Normalkraft muss dem Aufbau der Schrumpfscheiben entsprechend angepasst werden.

Flächenpressung

Mittlere Flächenpressung, die beim Anziehen der Spannschrauben im Bereich von Nabe (Hohlwelle) und Welle wirkt.

Auf der Nabe:

$$p_N = \frac{N}{d \cdot \pi \cdot h_1} \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

An der Welle:

$$p_W = p_N - \frac{\Delta d_w \cdot \left[1 - \left(\frac{d_w}{d} \right)^2 \right]}{2 \cdot d_w} \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$



Die Wahl anderer Passungen als die von uns vorgegebenen Passungen für Welle und Nabe sind möglich, führen aber bei verändertem Passungsspiel Δd_w zu Abweichungen in den Übertragungswerten.

Drehmoment

Das von der Schrumpfscheibe übertragbare Drehmoment

$$M_t = \frac{\pi \cdot \mu_w \cdot 10^{-3} \cdot p_w \cdot h_1 \cdot d_w^2}{2} [Nm]$$

Wird ein Wellendurchmesser gewählt, der zwischen zwei in den Datentabellen vorgegebenen Durchmessern liegt, so kann das übertragbare Drehmoment auch überschlägig durch Interpolation ermittelt werden.



Bei gleichzeitiger Übertragung von Drehmoment und Axialkraft ergeben sich resultierende Übertragungswerte der Spanverbindung.

Resultierendes Drehmoment

Von der Schrumpfscheibenverbindung übertragbares Drehmoment

$$M_{tres} = \sqrt{M_t^2 - \left(F_{ax} \cdot \frac{d_w}{2} \right)^2} [Nm]$$

Axialkraft

Die von der Schrumpfscheibe übertragbare Axialkraft

$$F_{ax} = \frac{2 \cdot M_t}{d_w} [N]$$



Der ermittelte maximale Wert für die Axialkraft kann nur realisiert werden, wenn kein Drehmoment übertragen wird.

Erweiterte Berechnungsgrundlagen Naben- / Hohlwellenberechnung

Verwendete Formelzeichen

Spannungen:

- σ_v = Vergleichsspannung
- σ_{vNi} = Vergleichsspannung in der Nabe
- σ_{vWi} = Vergleichsspannung in der Hohlwelle

- σ_t = Tangentialspannung
- σ_{tNi} = Tangentialspannung am Nabeninnendurchmesser
- σ_{tNa} = Tangentialspannung am Nabenaußendurchm.
- σ_{tWi} = Tangentialspannung am Hohlwelleninnendurchm.

- σ_r = Radialspannung
- σ_{rNi} = Radialspannung am Nabeninnendurchmesser

- τ_t = Schubspannung
- τ_{tNi} = Schubspannung am Nabeninnendurchmesser
- τ_{tWi} = Schubspannung am Hohlwelleninnendurchmesser

Werkstoffkennwerte und Faktoren:

- $R_{p0,2}$ = Streckgrenze (R_e) des Naben-/Wellenwerkstoffes
- E_N = E-Modul des Nabenwerkstoffes
- E_W = E-Modul des Wellenwerkstoffes

- V = Sicherheit gegen plastische Verformung
- C = Nabenformfaktor, bei Wellen ist $C = 0,6$

- a_w = Durchmesser Verhältnis der Hohlwelle
- Δ_{DN} = Aufweitung der Nabe
- Δ_{dB} = Einschnürung der Hohlwelle

Spannungszustand

Grundlage zur Berechnung der Spannungen sind die Gleichungen für dickwandige Rohre, wobei Axialspannungen vernachlässigt werden.

Die größte Beanspruchung tritt in der Bohrung der Nabe auf. Für den hier herrschenden mehrachsigen Spannungszustand ist die Vergleichsspannung nach der Gestaltänderungsenergiehypothese zu bestimmen.

Vergleichsspannung

Fasst man die an der Innenfaser auftretenden Tangential-, Radial- und Schubspannungen unter Beachtung der Vorzeichen zu einer Vergleichsspannung zusammen, so muss jeweils die Bedingung erfüllt sein:

Vergleichsspannung in der Nabe:

$$\sigma_{vNi} \approx \sqrt{\sigma_{tNi}^2 + \sigma_{rNi}^2 - \sigma_{tNi} \cdot \sigma_{rNi} + 3\tau_{tNi}^2} \leq \frac{R_{p0,2N}}{\nu}$$

Vergleichsspannung in der Hohlwelle:

$$\sigma_{vWi} \approx \sqrt{\sigma_{tWi}^2 + 3\tau_{tWi}^2} \leq \frac{R_{p0,2W}}{\nu}$$

Tangentialspannung am Nabeninnendurchmesser:

$$\sigma_{tNi} \approx \frac{p_W \cdot \left[1 + \left(\frac{d_W}{d} \right)^2 \right] - 2p_N}{1 - \left(\frac{d_W}{d} \right)^2} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Tangentialspannung am Nabenaußendurchmesser:

$$\sigma_{tNa} \approx \frac{2 \cdot p_W \cdot \left(\frac{d_W}{d} \right)^2 - p_N \cdot \left[1 + \left(\frac{d_W}{d} \right)^2 \right]}{1 - \left(\frac{d_W}{d} \right)^2} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Radialspannung am Nabeninnendurchmesser:

$$\sigma_{rNi} \approx -p_W \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Schubspannung am Nabeninnendurchmesser:

$$\tau_{tNi} \approx \frac{16 \cdot M_t \cdot d_W \cdot 10^3}{\pi \cdot (d^4 - d_W^4)} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Tangentialspannung am Hohlwelleninnendurchmesser:

$$\sigma_{tWi} \approx -C \cdot \frac{2 \cdot p_W \cdot a_W^2}{a_W^2 - 1} \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad ; a_W = \frac{d}{d_B}$$

Schubspannung am Hohlwelleninnendurchmesser:

$$\tau_{tWi} \approx \frac{16 \cdot M_t \cdot d_B \cdot 10^3}{\pi \cdot (d_W^4 - d_B^4)} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Aufweitung der Nabe

Am Außendurchmesser

$$\Delta_{d_N} \approx \frac{d \cdot \sigma_{tNa}}{E_N} [mm]$$

Einschnürung der Hohlwelle

Am Innendurchmesser

$$\Delta_{d_B} \approx \frac{d_B \cdot \sigma_{tWi}}{E_W} [mm]$$