

Kegelverbindung

An einem Wellenende mit zentrischem Innengewinde ist eine Kupplungsnabe mittels einer Kegelverbindung befestigt. Die Kupplungsnabe überträgt nur ein Drehmoment (keine Axiallast) und soll mit einer Sechskantschraube ISO 4017-M14 der Festigkeitsklasse 8.8 über eine 8 mm dicke Unterlegscheibe aus S 235J aufgeschoben und gesichert werden.

Die Welle hat eine Drehzahl von 600 U/min, der Anwendungsfaktor wird mit $K_A = 1,2$ angenommen.

Welle		Nabe		Schraube	
Werkstoff	E 295	Werkstoff	E 295	Flankendurchmesser	12,7 mm
Großer Durchmesser	40 mm	Außendurchmesser	100 mm	Steigung	2,0 mm
Kegellänge	50 mm			Reibbeiwert Gewinde	0,1
Kegelverhältnis	1:10			Reibbeiwert Kopf	0,1
Reibbeiwerte in der Trennfuge $\mu_a = \mu_U = 0,1$					
Rutschsicherheit $S_R = 1,5$					

- Bestimmen Sie die erforderliche Schraubenlänge und zeichnen Sie die Schraubenverbindung im Längsschnitt?
- Welches Drehmoment kann die Kegelverbindung sicher übertragen, wenn die Schraube mit einem Drehmomentschlüssel auf 90% der Streckgrenze angezogen wird?
- Welche Schäden können an der Verbindung auftreten? Überprüfen Sie die minimalen Bauteilsicherheiten von Welle, Nabe und Schraube.
- Wie groß ist das übertragbare Drehmoment der Kegelverbindung, wenn die Schraube gelöst (entfernt) wird?
- Wie groß ist das übertragbare Drehmoment der Kegelverbindung, wenn die Nabe infolge einer Überlast kurz durchrutscht?
Annahme: Reibbeiwerte und axiale Kraft bleiben konstant.

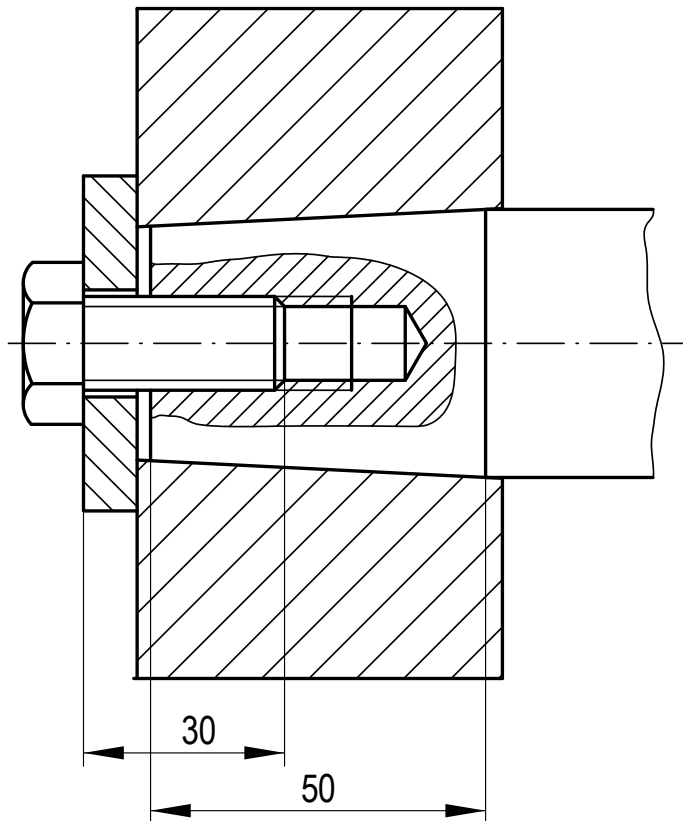
Musterlösung

a) Schraubenlänge

$$l_e > 0,9 \cdot d > 12,6 \text{ mm}$$

$$l > l_e + \text{Scheibendicke} + \text{axiales Spiel} = 12,6 + 8 + 2 = 22,6 \text{ mm}$$

Gewählt: $l = 30 \text{ mm}$ (kleinste Schraubenlänge nach HaBo Tab. 2.27)



b) Übertragbares Drehmoment

Zul. Vorspannkraft nach VDI 2230 (HaBo Tab. 2.32)

$$F_{V,zul} = 60.600 \text{ N}$$

Anziehen mit Drehmomentschlüssel:

$$\text{Anziehfaktor } \alpha_A = 1,6$$

Minimale Axialkraft am Kegel:

$$F_{a,min} = \frac{F_{V,zul}}{\alpha_A} = \frac{60.600}{1,6} = 37.875 \text{ N}$$

Übertragbares Drehmoment:

$$T \leq \frac{F_{a,\min} \cdot \mu_U \cdot d_m}{2 \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2} + \mu_a \cdot \cos\frac{\alpha}{2}\right) \cdot K_A \cdot S_R} = \frac{37.875 \cdot 0,1 \cdot 37,5}{2 \cdot \sin(2,862^\circ + 0,1 \cdot \cos 2,862^\circ) \cdot 1,2 \cdot 1,5} = \underline{\underline{263,4 \text{ Nm}}}$$

$$d_2 = d_1 - C \cdot l = 40 - 0,1 \cdot 50 = 35 \text{ mm}$$

$$d_m = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{40 + 35}{2} = 37,5 \text{ mm}$$

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{d_1 - d_2}{2 \cdot l} = \frac{40 - 35}{2 \cdot 50} = 0,05 \Rightarrow \frac{\alpha}{2} = 2,863^\circ$$

$$\text{mit: } \tan \rho_a = \mu_a = 0,1 \Rightarrow \rho_a = 5,71^\circ$$

c) Bauteilsicherheiten

Mögliche Schäden:

- Plastische Verformung der Welle (p_{\max} zu groß)
- Plastische Verformung der Nabe (p_{\max} zu groß)
- Plastische Verformung zwischen Schraubenkopf und Unterlegscheibe
- Schraube bricht (Zulässige Spannung in Schraube zu groß)
- Gewinde reißt aus (Einschraubtiefe zu klein)
- Verschleiß in Fügestelle (Verbindung rutscht durch weil F_a zu klein)

Vorhandene Pressung in der Kegelverbindung:

$$p_{\text{vorh,max}} = \frac{F_{a,\max}}{\left(\sin \frac{\alpha}{2} + \mu_a \cdot \cos \frac{\alpha}{2}\right) \cdot \pi \cdot d_m \cdot l} = \frac{60.600}{\left(\sin 2,862 + 0,1 \cdot \cos 2,862\right) \cdot \pi \cdot 37,5 \cdot 50} = 68,67 \text{ N/mm}^2$$

Bauteilsicherheit Welle (siehe Vollwelle bei zylindrischer Pressverbindung):

$$S_F = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{R_e}{p_{\text{vorh,max}}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{295}{68,67} = 5$$

Bauteilsicherheit Nabe:

$$S_F = \frac{1 - Q^2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{R_e}{p_{\text{vorh,max}}} = \frac{1 - 0,375^2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{295}{68,67} = 2,1$$

Flächenpressung zwischen Kopf und Unterlegscheibe:

$$p = \frac{F_{S,\max}}{A_P} = \frac{F_a}{\frac{\pi}{4}(d_w^2 - d_h^2)} = \frac{60.600}{\frac{\pi}{4}(21^2 - 15,5^2)} = 384,3 \text{ N/mm}^2 \quad \text{mit} \quad \begin{aligned} d_w &\approx s = 21 \text{ mm} \\ d_h &= 15,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = \frac{p_G}{p} = \frac{490}{384,3} = 1,27 \quad (\text{mit } p_G = 490 \text{ N/mm}^2 \text{ nach HaBo Tab. 2.33})$$

Abbrechen der Schraube (Auslegung siehe b):

$$F_{V,\max} = F_a \cdot \alpha_A = 37.875 \cdot 1,6 = 60.600 \text{ N} = F_{V,\text{zul}}$$

Ausreisen der Schraube:

tatsächliche Einschraubtiefe: $l_{e,\text{vorh}} = 30 - 8 - 2 = 20 \text{ mm}$

erforderliche Einschraubtiefe: $l_{e,\text{erf}} = 0,8 \cdot d = 11,2 \text{ mm}$

d) Sicher übertragbares Drehmoment ohne Schraube

$\frac{\alpha}{2} > \rho_a$ d.h. Kegelverbindung ist selbsthemmend!

$$T = \frac{\mu_U \cdot p_{\text{vorh},\min} \cdot \pi \cdot d_m^2 \cdot l}{2 \cdot K_A \cdot S_R} = \frac{0,1 \cdot 42,92 \cdot \pi \cdot 37,5^2 \cdot 50}{2 \cdot 1,2 \cdot 1,5} = \underline{\underline{263,4 \text{ Nm}}}$$

e) Übertragbares Drehmoment nach Durchrutschen

Nach Durchrutschen wird $F_R \rightarrow 0$ und somit $\mu_a \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \rightarrow 0$

Das heißt, das übertragbare Drehmoment ohne K_A und S_R ist:

$$T \leq \frac{F_a \cdot \mu_U \cdot d_m}{2 \cdot \left(\sin \frac{\alpha}{2} + \mu_a \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \right)} = \frac{37.875 \cdot 0,1 \cdot 37,5}{2 \cdot (\sin 2,862 + 0)} = \underline{\underline{1.422,3 \text{ Nm}}}$$

Übertragbares Drehmoment mit Berücksichtigung von K_A und S_R :

$$T \leq \frac{F_a \cdot \mu_U \cdot d_m}{2 \cdot \left(\sin \frac{\alpha}{2} + \mu_a \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \right) \cdot K_A \cdot S_R} = \frac{37.875 \cdot 0,1 \cdot 37,5}{2 \cdot (\sin 2,862 + 0) \cdot 1,2 \cdot 1,5} = \underline{\underline{790,1 \text{ Nm}}}$$