

Kupplung und Welle

Eine stets in die gleiche Richtung laufende Arbeitsmaschine wird über einen Elektromotor angetrieben, wobei Antrieb und Abtrieb über eine Lamellenkupplung gekoppelt und getrennt werden können. Der Schaltvorgang findet unter Last statt.

Folgende Daten liegen vor:

Leistung der Arbeitsmaschine	$P_A = 30 \text{ kW}$
Nenndrehzahl der Arbeitsmaschine	$n_A = 990 \text{ min}^{-1}$
Massenträgheit der beschleunigten Massen	$\Theta = 6 \text{ kgm}^2$
Reibpaarungsinwenddurchmesser	$d_i = 176$
Reibpaarungsaußendurchmesser	$d_a = 132$
Gleitreibungskoeffizient	$\mu_G = 0,3$
Normalkraft auf Lamellen	$F_N = 5 \text{ kN}$
Anzahl der Reibflächen	$n = 3$

Fragen:

- Wie groß ist das schaltbare Moment der Kupplung?
- Nach welcher Zeit ist der Schaltvorgang beendet? Vereinfachend kann die Motordrehzahl während des Anlaufvorgangs als konstant angenommen werden.
- Wie groß muss der Durchmesser der Eingangswelle der Arbeitsmaschine mindestens sein, wenn sie aus E 295 ist und für die Grobauslegung nur das Torsionsmoment berücksichtigt wird?
- Aus Gewichtsgründen soll untersucht werden, ob die Eingangswelle der Arbeitsmaschine als Hohlwelle ausgeführt werden kann. Wie viel Gewicht ließe sich bei gleicher Tragfähigkeit mit einem Durchmesser Verhältnis $d/D = 0,6$ einsparen?
- Was ändert sich, wenn eine Kupplung mit einem Schaltmoment von $T_{KNS} = 1,5 \text{ kNm}$ eingesetzt wird? Geben Sie die Zahlenwerte dafür an und bewerten diese.

Musterlösung

a) Schaltbare Moment der Kupplung

Annahme: Rutschmoment = Schaltmoment ($n_m = \text{konst.}$)

$$\text{mittlere Radius: } r_m = \frac{d_a + d_i}{2 \cdot 2} = \frac{176 + 132}{2 \cdot 2} = 77 \text{ mm}$$

$$\text{Kupplungsmoment: } T_{KNS} = n \cdot F_N \cdot \mu_G \cdot r_m = 3 \cdot 5000 \cdot 0,3 \cdot 77 = \underline{346,5 \text{ Nm}}$$

b) Schaltzeit

$$\text{Lastmoment: } T_L = \frac{P_A}{2\pi \cdot n_A} = \frac{30000 \cdot 60}{2\pi \cdot 990} = 289,4 \text{ Nm}$$

$$\text{Rutschzeit: } t_R = \frac{\Theta}{T_{KNS} - T_L} \cdot (\omega_{10} - \omega_{20}) = \frac{6}{346,5 - 289,4} \cdot 2\pi \cdot \left(\frac{990}{60} - 0 \right) = \underline{10,89 \text{ sec}}$$

c) Auslegung Welle

erforderlicher Wellendurchmesser der Vollwelle:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16}{\pi} \cdot \frac{T}{\tau_{t,zul}}} = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi} \cdot \frac{346,5 \cdot 10^3}{170/10}} = \underline{47 \text{ mm}}$$

d) Hohlwelle

erforderlicher Wellendurchmesser der Hohlwelle:

$$D \geq \frac{1}{\sqrt[3]{1 - (d/D)^4}} \cdot \sqrt[3]{\frac{16}{\pi} \cdot \frac{T}{\tau_{t,zul}}} = \frac{1}{\sqrt[3]{1 - 0,6^4}} \cdot \sqrt[3]{\frac{16}{\pi} \cdot \frac{346,5 \cdot 10^3}{170/10}} = \underline{49,22 \text{ mm}}$$

Außendurchmesser: $D = 49,22 \text{ mm}$

Innendurchmesser: $d = 29,53 \text{ mm}$ (mit $d/D = 0,6$)

$$\text{Querschnitt Vollwelle: } A_{Voll} = \frac{d^2 \pi}{4} = \frac{47^2 \pi}{4} = 1735 \text{ mm}^2$$

$$\text{Querschnitt Hohlwelle: } A_{Hohl} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} (49,22^2 - 29,53^2) = 1217,8 \text{ mm}^2$$

$$\text{Verhältnis Hohlwelle/Vollwelle: } \frac{A_{Hohl}}{A_{Voll}} = \frac{1217,8}{1735} = 0,7 \Rightarrow 30\% \text{ Gewichtseinsparung!}$$

Alternative Lösung:

Aus Tabelle 4.1 kann der Querschnittsverkleinerungsfaktor $K_A = 0,7$ direkt abgelesen werden!

e) Änderungen infolge größerem Schaltmoment

- Schaltzeit wird kürzer
- Belastung wird größer
- Wellendurchmesser wird größer

$$\text{Neue Rutschzeit: } t_R^* = \frac{\Theta}{T_{KNS}^* - T_L} \cdot 2\pi \cdot n_A = \frac{6}{1500 - 289,4} \cdot 2\pi \cdot \frac{990}{60} = \underline{0,5 \text{ sec}}$$

$$\text{Neuer Wellendurchmesser: } d^* \geq \sqrt[3]{\frac{16}{\pi} \cdot \frac{T^*}{\tau_{t,zul}}} = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi} \cdot \frac{1500 \cdot 10^3}{170/10}} = \underline{76,6 \text{ mm}}$$