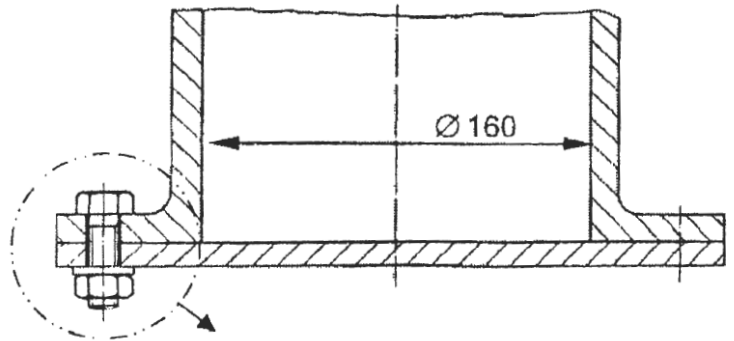


Schraubenverbindung - Druckbehälter

Der Deckel eines Druckbehälters soll mit 6 Schrauben befestigt werden (siehe Bild). Im Behälter herrscht ein statischer Druck von $p = 4 \text{ MPa}$. Die erforderliche Klemmkraft soll im Betrieb das 1,2-fache der Betriebskraft betragen. Die Krafteinleitung von F_A soll direkt am Schraubenkopf bzw. an der Mutterauflage erfolgen. Die Unterlegscheibe ist zu vernachlässigen.



Gegeben:

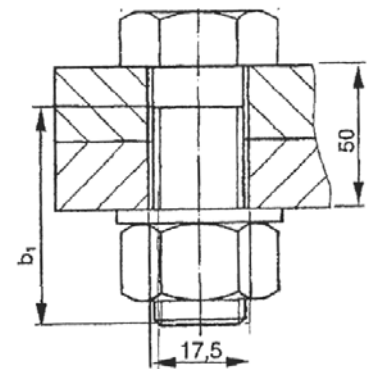
E-Modul Schraube und Flansch: $E = 210000 \text{ N/mm}^2$

Reibungskoeffizient im Gewinde: $\mu_G = 0,1$

Ersatzquerschnitt der verspannten Teile: $A_{\text{ers}} = 1004 \text{ mm}^2$

Schraube M16x70-8.8

- Kerndurchmesser $d_3 = 13,55 \text{ mm}$
- Flankendurchmesser $d_2 = 14,7 \text{ mm}$
- Gewindelänge $b_1 = 38 \text{ mm}$



(Darstellung unmaßstäblich)

- Wie groß ist die maximale Montagevorspannkraft $F_{V,\text{max}}$, wenn zum Anziehen ein Drehmomentschlüssel ($\alpha_A = 1,6$) eingesetzt wird?
- Wie groß kann die Klemmkraft im Betrieb maximal werden?
- Ermitteln Sie die maximal auftretende Schraubenkraft.
- Zeichnen Sie das maßstäbliche Verspannungsschaubild für die maximalen Kräfte.
- Sind die Schrauben ausreichend dimensioniert?

Musterlösung

a) Maximale Montagevorspannkraft

Gesamte Betriebskraft: $F_{A,ges} = p \cdot A = 4 \cdot 20106 = 80,425 \text{ kN}$

Betriebskraft pro Schraube: $F_A = F_{A,ges} / 6 = 80,425 / 6 = 13,404 \text{ kN}$

Min. Klemmkraft: $F_{K,min} = 1,2 \cdot F_A = 1,2 \cdot 13,404 = 16,085 \text{ kN}$

Nachgiebigkeit Schraube:
$$\delta_s = \frac{1}{E} \left(\frac{0,5 \cdot d}{A_N} + \frac{l_1}{A_N} + \frac{l_2}{A_{d_3}} + \frac{0,5 \cdot d}{A_{d_3}} + \frac{0,4 \cdot d}{A_N} \right)$$
$$\delta_s = \frac{1}{210000} \left(\frac{0,5 \cdot 16}{201,06} + \frac{32}{201,06} + \frac{18}{144,2} + \frac{0,5 \cdot 16}{144,2} + \frac{0,4 \cdot 16}{201,06} \right)$$
$$\delta_s = 1,958 \cdot 10^{-6} \text{ mm/N}$$

Federsteifigkeit Schraube: $R_s = 1 / \delta_s = 1 / 1,958 \cdot 10^{-6} = 510,85 \cdot 10^3 \text{ N/mm}$

Nachgiebigkeit verspannte Platten: $\delta_p = \frac{l_k}{E_p \cdot A_{ers}} = \frac{50}{210000 \cdot 1004} = 0,237 \cdot 10^{-6} \text{ mm/N}$

Federsteifigkeit verspannte Platten: $R_p = 1 / \delta_p = 1 / 0,237 \cdot 10^{-6} = 4216,8 \cdot 10^3 \text{ N/mm}$

Schraubenzusatzkraft: $F_{SA} = \Phi \cdot F_A = 0,108 \cdot 13,404 = 1,447 \text{ kN}$

Plattenzusatzkraft: $F_{PA} = (1 - \Phi) \cdot F_A = (1 - 0,108) \cdot 13,404 = 11,956 \text{ kN}$

Min. Vorspannkraft: $F_{V,min} = F_{K,min} + F_{PA} = 16,085 + 11,956 = 28,041 \text{ kN}$

Max. Vorspannkraft: $F_{V,max} = 1,6 \cdot F_{V,min} + F_{PA} = 1,6 \cdot 28,041 \text{ kN} = \underline{\underline{44,866 \text{ kN}}}$

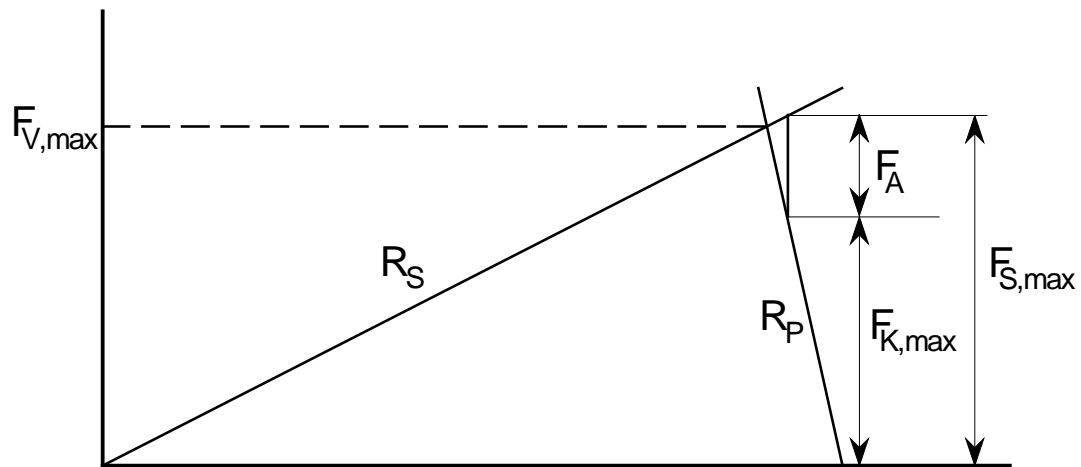
b) Maximale Klemmkraft

$$F_{K,max} = F_{V,max} - F_{PA} = 16,085 + 11,956 = \underline{\underline{32,91 \text{ kN}}}$$

c) Maximale Schraubenkraft

$$F_{S,max} = F_{V,max} + F_{SA} = 44,866 + 1,447 = \underline{\underline{46,313 \text{ kN}}}$$

d) Verspannungsschaubild



e) Dimensionierung

Zulässige Vorspannkraft nach VDI 2230:

$$F_{V,zul} = 82,9 \text{ kN}$$

$$F_{V,max} = 44,866,9 \text{ kN}$$

} ausreichend!