

2.1 Walzen

2.1.1 Verwendete Formelzeichen

α_0	[°]	Greifwinkel
ε	[%]	bezogene Stauchung
η_f	[%]	Formänderungswirkungsgrad
μ		Reibungszahl
ρ	[°]	Reibungswinkel
φ	[%]	Umformgrad
ω	[s ⁻¹]	Winkelgeschwindigkeit
a	[Nmm/mm ³]	bezogene Formänderungsarbeit
A_0	[mm ²]	Ausgangsquerschnitt
A_1	[mm ²]	umgeformter Querschnitt
d_0	[mm]	Ausgangsdurchmesser
d_1	[mm]	Durchmesser nach dem Umformen
F	[N]	Umformkraft
F_m	[N]	mittlere Stauchkraft
F_N	[N]	Normalkraft
F_{NW}	[N]	waagerechte Komponente der Normalkraft
F_R	[N]	Reibkraft
F_{RW}	[N]	waagerechte Komponente der Reibkraft
h_0	[mm]	Werkstückdicke vor der Bearbeitung
h_1	[mm]	Werkstückdicke nach der Bearbeitung
Δh	[mm]	maximale Dickenabnahme
k_{f0}	[N/mm ²]	Ausgangsformänderungsfestigkeit
k_{fE}	[N/mm ²]	Endformänderungsfestigkeit
k_{fm}	[N/mm ²]	mittlere Formänderungsfestigkeit

l	[mm]	Walzlänge, Rohlingslänge
M	[Nm]	Drehmoment
P_a	[kW]	Antriebsleistung
r	[mm]	Walzenradius
s		Stauchverhältnis
$T(\vartheta)$	[°]	Temperatur des Walzgutes
v	[m/s]	Walzengeschwindigkeit
V	[mm ³]	umgeformtes Volumen
V_0	[mm ³]	Volumen des Rohlings
W	[Nm]	Umformarbeit

2.1.2 Auswahl verwendeter Formeln

Umformgrad

$$\varphi = \ln \frac{A_0}{A_1}$$

Mittlere Formänderungsfestigkeit

$$k_{\text{fm}} = \frac{a}{\varphi}$$

Umformkraft

$$F = \frac{A_1}{2} \cdot \frac{k_{\text{fm}}}{\eta_f} \cdot \varphi$$

Umformarbeit

$$W = 2 \cdot F \cdot l_1$$

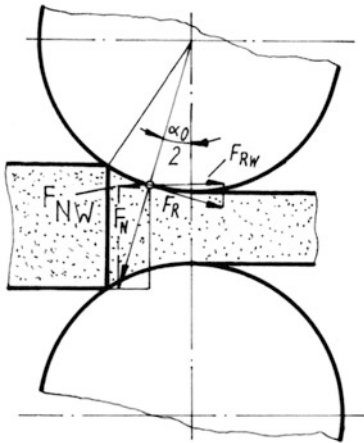
Drehmoment je Walze

$$M = F \cdot r$$

Antriebsleistung

$$P_a = \frac{2 \cdot F \cdot v}{60 \cdot 10^3} = 2 \cdot M \cdot \omega$$

$$1 \text{ W} = 1 \frac{\text{Nm}}{\text{s}}; P_a \text{ in kW}$$



Kräfte beim Walzen

Waagerechte Komponente der Normalkraft

$$F_{\text{NW}} = F_N \cdot \sin \frac{\alpha_0}{2}$$

Waagerechte Komponente der Reibkraft

$$F_{\text{RW}} = F_R \cdot \cos \frac{\alpha_0}{2}$$

Reibungszahl beim Warmwalzen (700 °C – 1200 °C)

$$\mu = 1,05 - 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot T - 0,056 \cdot v$$

Reibkraft

$$F_R = \mu \cdot F_N$$

Maximale Dickenabnahme

$$\Delta h = h_0 - h_1 = 4 \cdot r \cdot \sin^2 \frac{\alpha_0}{2}$$

Druckwalzbedingung

$$\alpha_0 < 2 \cdot \rho$$

2.1.3 Berechnungsbeispiele

1. Eine durch Wärmebehandlung weichgeglühte Stange aus E 360 (St 70-2) mit dem Durchmesser von 25 mm soll auf einen Durchmesser von 20 mm gewalzt werden, der Formänderungswirkungsgrad beträgt 60 %. Die Stange längt sich dabei auf 20 m.

Ermitteln Sie:

- die Umformkraft
- die Umformarbeit.

2. Durch Kaltwalzen wird ein 1000 mm breites Stahlblech aus C35 normal-geglüht von 10 mm Dicke auf 5 mm verformt. Die Walzen, 600 mm Durchmesser, laufen mit einer Umfangsgeschwindigkeit von 0,12 m/s.

Der Formänderungswirkungsgrad beträgt 55 %.

Ermitteln Sie:

- die Walzenkraft
- das Walzendrehmoment
- die Leistung am Walzenpaar.

3. Ein Blechstreifen aus S275JR (St 42-2), 200 mm breit, wird auf eine Dicke von 22 mm kaltgewalzt. Die Ausgangstemperatur beträgt 50 °C, die Walzgeschwindigkeit 1,5 m/min, Walzenradius 40 mm, der Formänderungswirkungsgrad beträgt 60 %.

Ermitteln Sie:

- die Umformkraft
- das Walzendrehmoment
- die Antriebsleistung, wenn mit größtmöglichem Eingriffswinkel gearbeitet wird.
- Wie verändern sich die Daten, wenn bei einer Walztemperatur von 1000 °C auf eine Blechdicke von 6 mm gewalzt wird?

2.1.4 Lösungen

Lösung zu Beispiel 1

- a) Umformkraft

$$F = \frac{A_1}{2} \cdot \frac{k_{\text{fm}}}{\eta_f} \cdot \varphi$$

Umformgrad

$$\varphi = \ln \frac{A_0}{A_1} = \ln \frac{d_0^2}{d_1^2} = \ln \frac{25^2}{20^2} = \ln \frac{625}{400} = 0,446 \hat{=} 44,6 \%$$

Mittlere Formänderungsfestigkeit

$$k_{\text{fm}} = \frac{a}{\varphi} = \frac{310}{0,446} = 695,1 \text{ N/mm}^2$$

Fließkurven aus Anhang 4.1.2

E 360 (St 70-2):

bei $\varphi = 46 \%$ \Rightarrow

$$a = 310 \text{ Nmm/mm}^3$$

Umformkraft je Walze

$$F = \frac{A_1}{2} \cdot \frac{k_{\text{fm}}}{\eta_f} \cdot \varphi = \frac{20^2 \cdot \pi}{2 \cdot 4} \cdot \frac{695,1}{0,6} \cdot 0,446 = \underline{\underline{81161,6 \text{ N}}}$$

b) Umformarbeit

$$W = 2 \cdot F \cdot l_1 = 2 \cdot 81161,6 \cdot 20 = 3246465 \text{ Nm} \approx \underline{\underline{3246,5 \text{ kNm}}}$$

Lösung zu Beispiel 2

a) Walzenkraft je Walze

$$F = \frac{A_1}{2} \cdot \frac{k_{\text{fm}}}{\eta_f} \cdot \varphi$$

$$\varphi = \left| \ln \frac{h_1}{h_0} \right| = \left| \ln \frac{5}{10} \right| = 0,693 \approx 69,3 \%$$

$$k_{\text{fm}} = \frac{a}{\varphi} = \frac{540}{0,693} = 779,2 \text{ N/mm}^2$$

aus Anhang 4.1.2, C35:
 $\Rightarrow a = 540 \text{ Nmm/mm}^3$

$$F = \frac{1000 \cdot 5}{2} \cdot \frac{779,2}{0,55} \cdot 0,693 = 2454480 \text{ N} \approx \underline{\underline{2454,5 \text{ kN}}}$$

Querschnittsfläche:

$$A_1 = l \cdot b = 1000 \cdot 5 = 5000 \text{ mm}^2$$

b) Drehmoment der Walze

$$M = F \cdot r = 2454,5 \cdot \frac{600}{2} = \underline{\underline{736,35 \text{ kNm}}}$$

c) Antriebsleistung

$$P_a = \frac{2 \cdot F \cdot v}{60 \cdot 10^3} = \frac{2 \cdot 2454,5 \cdot 0,12 \cdot 60 \cdot 1000}{60 \cdot 10^3} = \underline{\underline{589,1 \text{ kW}}}$$

Lösung zu Beispiel 3

a) Umformkraft beim Kaltwalzen

Für das Greifen des Walzgutes ist die Reibung eine wesentliche Voraussetzung, es gilt:

Gleichgewichtsbedingungen

$$F_{\text{NW}} \leq F_{\text{RW}}$$

$$F_{\text{NW}} = F_{\text{N}} \cdot \sin \frac{\alpha_0}{2}$$

$$F_{\text{RW}} = F_{\text{R}} \cdot \cos \frac{\alpha_0}{2}$$

Durchwalzbedingung:

$$a_0 \leq 2\rho$$

aus der Gleichgewichtsbedingung ergibt sich mit $F_{\text{R}} = \mu \cdot F_{\text{N}}$

$$\tan \frac{\alpha}{2} \leq \mu = \tan \rho$$

Zwischen Dickenabnahme des Walzgutes und Eingriffswinkel gilt folgende Beziehung:

$$\Delta h = h_0 - h_1 = 4 \cdot r \cdot \sin^2 \cdot \frac{\alpha_0}{2}$$

$$\alpha_0 \leq 2 \cdot \rho = 2 \cdot 43,3^\circ = 86,6^\circ$$

$$\Delta h = h_0 - h_1 = 4 \cdot r \cdot \sin^2 \cdot \frac{\alpha_0}{2} = 4 \cdot 40 \cdot \sin^2 \cdot \frac{86,6}{2} = 75,26 \text{ mm} \quad \begin{array}{l} \text{aus Anhang 4.1.2,} \\ \text{S 275 JR (St 42-2):} \\ \Rightarrow a = 1150 \text{ Nmm/mm}^3 \end{array}$$

$$h_0 = \Delta h + h_1 = 75,26 + 22 = 97,26 \text{ mm}$$

$$\varphi = \ln \frac{h_0}{h_1} = \ln \frac{97,26}{22} = 1,48 \triangleq 148 \%$$

$$k_{\text{fm}} = \frac{a}{\varphi} = \frac{1150}{1,48} = 777 \text{ N/mm}^2$$

Walzenkraft je Walze

$$F = \frac{A_1}{2} \cdot \frac{k_{\text{fm}}}{\eta_f} \cdot \varphi = \frac{200 \cdot 22}{2} \cdot \frac{777}{0,6} \cdot 1,48 = 4216520 \text{ N} \approx \underline{\underline{4217 \text{ kN}}}$$

b) Walzendrehmoment je Walze

$$M = F \cdot r = 4217 \cdot 40 = 168680 \text{ kNmm} \approx \underline{\underline{169 \text{ kNm}}}$$

c) Antriebsleistung

$$P_a = \frac{2 \cdot F \cdot v}{60 \cdot 10^3} = \frac{2 \cdot 4217000 \cdot 1,5}{60 \cdot 10^3} = \underline{\underline{211 \text{ kW}}}$$

d) Umformkraft beim Warmwalzen

$$\mu = 1,05 - 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot T - 0,056 \cdot v = 1,05 - 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 - 0,056 \cdot 1,5 = 0,466$$

$$\mu = \tan \rho = 0,466 \triangleq 24,99^\circ$$

$$2 \cdot \rho = 2 \cdot 24,99^\circ = 49,98^\circ$$

$$\Delta h = h_0 - h_1 = 4 \cdot 40 \cdot \sin^2 \cdot \frac{49,98}{2} = 28,55 \text{ mm}$$

$$h_0 = \Delta h + h_1 = 28,55 + 6 = 34,5 \text{ mm}$$

aus Anhang 4.1.2, S275JR (St 42-2):

$$\Rightarrow k_{f0} = 380 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow k_{f1} = 890 \text{ N/mm}^2$$

$$\varphi = \ln \frac{h_0}{h_1} = \ln \frac{34,5}{6} = 1,75 \triangleq 175 \%$$

$$k_{\text{fm}} = \frac{k_{f0} + k_{f1}}{2} = \frac{380 + 890}{2} = 635 \text{ N/mm}^2$$

Walzenkraft je Walze

$$F = \frac{A_1}{2} \cdot \frac{k_{\text{fm}}}{\eta_f} \cdot \varphi = \frac{200 \cdot 6}{2} \cdot \frac{635 \cdot 1,75}{0,6} = 1111250 \text{ N} \approx \underline{\underline{1111,3 \text{ kN}}}$$

Walzendrehmoment

$$M = F \cdot r = 1111,3 \cdot 40 = 44452 \text{ kNmm} \approx \underline{\underline{44,5 \text{ kNm}}}$$

Antriebsleistung

$$P_a = \frac{2 \cdot F \cdot v}{60 \cdot 10^3} = \frac{2 \cdot 1111250 \cdot 1,5}{60 \cdot 10^3} = \underline{\underline{55,6 \text{ kW}}}$$

oder

$$P_a = 2 \cdot M \cdot \omega$$

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$$

$$n = \frac{v \cdot 1000}{\alpha \cdot \pi} = \frac{1,5 \cdot 1000}{2 \cdot 40 \cdot \pi} = 5,97 \text{ min}^{-1}$$

$$\omega = \frac{\pi \cdot 5,97}{30} = 0,625 \text{ s}^{-1}$$

$$\begin{aligned} P_a &= 2 \cdot M \cdot \omega \\ &= 2 \cdot 44,5 \cdot 0,625 = \underline{\underline{55,6 \text{ kW}}} \end{aligned}$$

2.2 Stauchen

2.2.1 Verwendete Formelzeichen

ε	[%]	bezogene Stauchung
η_f	[%]	Formänderungswirkungsgrad
η_M	[%]	Maschinenwirkungsgrad
μ		Reibwert
φ	[%]	Umformgrad
a	[Nmm/mm ²]	bezogene spezifische Formänderungsarbeit
A_0	[mm ²]	Ausgangsquerschnitt
A_1	[mm ²]	umgeformter Querschnitt
b_0	[mm]	Ausgangsbreite
b_1	[mm]	Breite am Ende des Stauchens
d_0	[mm]	Ausgangsdurchmesser
d_1	[mm]	Durchmesser nach dem Umformen
D	[mm]	Durchmesser
F	[N]	Umformkraft
F_m	[N]	mittlere Stauchkraft
h_0	[mm]	Werkstückdicke vor der Bearbeitung
h_1	[mm]	Werkstückdicke nach der Bearbeitung
k_{f0}	[N/mm ²]	Formänderungsfestigkeit vor der Umformung

k_{fE}	[N/mm ²]	Formänderungsfestigkeit am Ende der Umformung
k_{fm}	[N/mm ²]	mittlere Formänderungsfestigkeit
l	[mm]	Rohlingslänge
l_0	[mm]	Ausgangslänge
l_1	[mm]	Länge am Ende des Stauchens
n	[min ⁻¹]	Drehzahl
P_a	[W]	Leistungsbedarf
s		Stauchverhältnis
V	[mm ³]	an der Umformung beteiligtes Volumen
V_0	[mm ³]	Volumen des Rohlings
V_1	[mm ³]	Volumen nach dem Umformen
V_d	[mm ³]	Volumen des Drahtabschnittes
V_k	[mm ²]	Volumen der Kugel
W	[Nm]	Umformarbeit

2.2.2 Auswahl verwendeter Formeln

Rohlänge

$$h_0 = h_1 \cdot \frac{d_1^2}{d_0^2}$$

$$h_0 = \frac{h_1 \cdot l_1 \cdot b_1}{l_0 \cdot b_0}$$

Stauchverhältnis

$$s = \frac{h_0}{d_0} = \frac{h_0}{h_1} = \frac{l}{d_0}$$

Stauchungsgrad

$$\varphi = \left(\ln \frac{h_0}{h_1} \right) \cdot 100$$

mittlere
Stauchkraft

$$F_m = A_1 \cdot k_{fm} \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot \frac{d_1}{h_1} \right)$$

Umform-
arbeit

$$W = \frac{V \cdot k_{fm} \cdot \varphi}{\eta_f}$$

Ausgangs-
durchmesser

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot s}}$$

Leistungs-
bedarf

$$P_a = \frac{W \cdot n}{\eta_M \cdot 60}$$

mittlere Formänderungs-
festigkeit

$$k_{fm} = \frac{k_{f0} + k_{fE}}{2} = \frac{a}{\varphi}$$

Volumen des
Drahtabschnitts

$$V_d = \frac{d_0^2 \cdot \pi}{4} \cdot l$$

Volumen der
Kugel

$$V_K = \frac{D^3 \cdot \pi}{6}$$

$$k_{fe} \triangleq k_{fl}$$

Ausgangslänge

$$l_0 = \frac{d_1^2}{d_0^2} \cdot h_1$$

bezogene Stauchung

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h_1}{h_1} \cdot 100$$

zulässiges Stauchverhältnis:

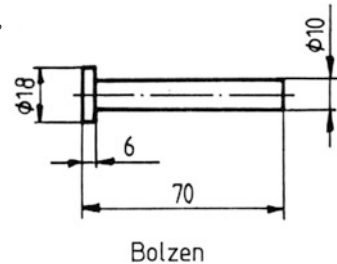
eine Operation $s \leq 2,6$
zwei Operationen $s \leq 4,5$
drei Operationen $s \leq 8$

2.2.3 Berechnungsbeispiele

1. Der skizzierte Bolzen aus C10E (Ck10) wird durch Kaltstau-
chen gefertigt. Der Rohlingsdurchmesser beträgt 10 mm,
Reibwert $\mu = 0,2$, Formänderungswirkungsgrad 80 %.

Ermitteln Sie:

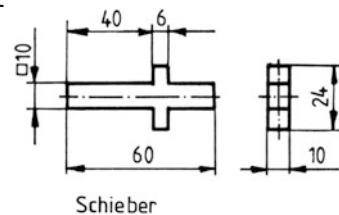
- die Länge des Rohlings
- das Stauchverhältnis
- Stauchungsgrad
- die gesamte Umformkraft
- die Umformarbeit.



2. Der Rohling des skizzierten Schiebers soll gestaucht werden.
Werkstoff C10E (Ck 10), Reibwert $\mu = 0,15$, Formände-
rungswirkungsgrad 65 %.

Ermitteln Sie:

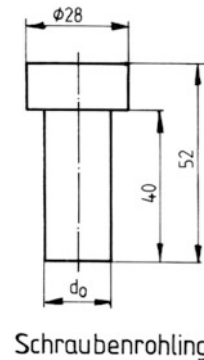
- die Rohlingslänge
- das Stauchverhältnis
- die Umformkraft
- die Umformarbeit.



3. Aus Stangenmaterial E 360 (St 70-2) sollen Schraubenroh-
linge hergestellt werden. Die Rohlingslänge ist so festzule-
gen, dass das Stauchverhältnis 1,2 nicht überschritten wird.
Reibwert $\mu = 0,15$, Formänderungswirkungsgrad 80 %.

Ermitteln Sie:

- den Stangendurchmesser (aufgerundet)
- die Gewindegröße (Kerndurchmesser)
- die Länge des Stangenabschnitts
- das Formänderungsverhältnis (Stauchungsgrad)
- die maximale Stauchkraft
- die mittlere Staucharbeit.



4. Wälzlagerkugeln sollen durch Kaltstau-
chen hergestellt werden.

Ermitteln Sie:

- den Drahtdurchmesser, wenn das günstige Stauchverhältnis l/d zwischen 2,2 und 2,3
liegt. Das Volumen vor und nach dem Stauchvorgang ist gleich!
- die notwendige Rohlingslänge.

5. Sechskantschrauben, DIN 931 - M 10×50 - 8.8, aus C35 C sollen durch Stauchen herge-
stellt werden.

Schraubendurchmesser $d_0 = 10$ mm, das Eckenmaß entspricht dem Durchmesser des ge-
stauchten Kopfes $d_1 = 18,9$ mm, Kopfhöhe 7 mm, Reibwert $\mu = 0,15$, Formänderungswir-
kungsgrad 60 %.

Ermitteln Sie:

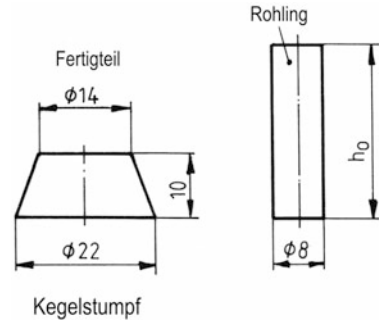
- a) die Ausgangslänge
- b) die maximale Umformkraft
- c) die Umformarbeit.

6. Der skizzierte Kegelstumpf aus C35 C soll durch Anstauchen hergestellt werden.

Reibwert $\mu = 0,15$, Formänderungswirkungsgrad 80 %.

Berechnen Sie:

- a) die Rohlingshöhe
- b) den Stauchungsgrad
- c) die bezogene Stauchung
- d) das Stauchverhältnis
- e) die Stauchkraft
- f) die Staucharbeit.



2.2.4 Lösungen

Lösung zu Beispiel 1

a) Länge des Rohlings

$$h_0 = \frac{D^2}{d^2} \cdot h_1 = \frac{18^2}{10^2} \cdot 6 = 19,44 \text{ mm}$$

$$L = h_1 + h_0 = 19,44 + 64 = \underline{\underline{83,44 \text{ mm}}}$$

b) Stauchverhältnis

$$s = \frac{h_0}{d_0} = \frac{19,44}{10} = \underline{\underline{1,94}} \quad s_{\text{vorh}} \leq s_{\text{zul}}$$

$1,94 \leq 2,6 \Rightarrow$ Fertigung mit einer Operation möglich!

c) Stauchungsgrad

$$\varphi = \ln \frac{h_0}{h_1} = \ln \frac{19,44}{6} = 1,176 \triangleq \underline{\underline{117,6\%}}$$

d) Mittlere Stauchkraft

$$F_m = A_1 \cdot k_{\text{fm}} \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot \frac{d_1}{h_1} \right)$$

$$k_{\text{fm}} = \frac{a}{\varphi} = \frac{620}{1,176} = 527,2 \text{ N/mm}^2$$

aus Anhang 4.1.2, C10E (Ck10):

bei $\varphi = 117,6\% \Rightarrow a = 620 \text{ Nmm/mm}^3$

oder

$$k_{\text{fm}} = \frac{k_{\text{f0}} + k_{\text{fE}}}{2} = \frac{280 + 690}{2} = 485 \text{ N/mm}^2 \quad \text{aus Anhang 4.1.2, C10E (Ck10):}$$

$$k_{\text{f0}} = 280 \text{ N/mm}^2 \quad k_{\text{fE}} = 690 \text{ N/mm}^2$$

Hinweis: Die Berechnung des k_{fm} -Wertes mittels der spezifischen Formänderungsfestigkeit a ist genauer, da bei der Ermittlung über k_{f0} und k_{fE} ein linearer Kurvenverlauf unterstellt wird!

$$F_{\text{m}} = A_1 \cdot k_{\text{fm}} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot \frac{d_1}{h_1}\right) = \frac{18^2 \cdot \pi}{4} \cdot 527,2 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0,2 \cdot \frac{18}{6}\right) = 160987 \text{ N} \approx \underline{\underline{161 \text{ kN}}}$$

e) Umformarbeit

$$W = \frac{V_1 \cdot k_{\text{fm}} \cdot \varphi}{\eta_{\text{f}}} = \frac{18^2 \pi}{4} \cdot 6 \cdot \frac{527,2 \cdot 1,176}{0,8} = 1183256 \text{ Nmm} \approx \underline{\underline{1183,3 \text{ Nm}}}$$

Lösung zu Beispiel 2

a) Rohlingslänge

$$h_0 = \frac{h_1 \cdot l_1 \cdot b_1}{l_0 \cdot b_0} = \frac{6 \cdot 10 \cdot 24}{10 \cdot 10} = 14,4 \text{ mm}$$

$$h_0 + l' = 14,4 + 54 = \underline{\underline{68,4 \text{ mm}}}$$

b) Stauchverhältnis

$$s = \frac{h_0}{h_1} = \frac{14,4}{6} = \underline{\underline{2,4}}$$

$$s_{\text{vorh}} \leq s_{\text{zul}}$$

$2,4 \leq 2,6 \Rightarrow$ Fertigung mit **einer** Operation möglich!

c) Stauchungsgrad

$$\varphi = \ln \frac{h_0}{h_1} = \ln \frac{14,4}{6} = 0,875 \hat{=} \underline{\underline{87,5 \%}}$$

Mittlere Stauchkraft

aus Anhang 4.1.2, C10E (Ck10):

bei $\varphi = 87,5 \% \Rightarrow a = 450 \text{ Nmm/mm}^3$

$$F_{\text{m}} = A_1 \cdot k_{\text{fm}} \cdot \left(1 + \mu \cdot \frac{l_1}{h_1}\right)$$

$$F_{\text{m}} = b_1 \cdot l_1 \cdot k_{\text{fm}} \cdot \left(1 + \mu \cdot \frac{l_1}{h_1}\right)$$

$$k_{\text{fm}} = \frac{a}{\varphi} = \frac{450}{0,875} = 514 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{\text{m}} = 10 \cdot 24 \cdot 514 \cdot \left(1 + 0,15 \cdot \frac{24}{6}\right) =$$

$$= 197376 \text{ N} \approx \underline{\underline{197,4 \text{ kN}}}$$

d) Umformarbeit

$$W = \frac{V \cdot k_{\text{fm}} \cdot \varphi}{\eta_f} = 6 \cdot 10 \cdot 24 \cdot 514 \cdot \frac{0,875}{0,65} = 996369 \text{ Nmm} \approx \underline{\underline{996,4 \text{ Nm}}}$$

Lösung zu Beispiel 3

a) Ausgangsdurchmesser

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot s}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 28^2 \cdot \pi \cdot 12}{4 \cdot \pi \cdot 1,2}} = 19,9 \text{ mm} \quad \text{gewählt} \Rightarrow d_0 = \underline{\underline{20 \text{ mm}}}$$

b) geeignet für M 24: Kerndurchmesser 20,32 mm (s. Tabellenbuch)

c) Rohlingslänge

$$l_0 = l' + \frac{V}{A} = 40 + \frac{28^2 \cdot \pi \cdot 12 \cdot 4}{4 \cdot 20^2 \cdot \pi} = 40 + 23,52 = \underline{\underline{63,52 \text{ mm}}}$$

d) Formänderungsverhältnis

$$\varphi = \ln \frac{h_0}{h_1} = \ln \frac{23,52}{12} = 0,673 \hat{=} \underline{\underline{67,3 \%}}$$

e) Stauchkraft

aus Anhang 4.1.2, E360 (St 70-2):

bei $\varphi = 67,3 \% \Rightarrow k_{\text{fE}} = 920 \text{ N/mm}^2$

$$\begin{aligned} F &= A_1 \cdot k_{\text{fE}} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot \frac{d_1}{h_1} \right) \\ &= \frac{28^2 \cdot \pi}{4} \cdot 920 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0,15 \cdot \frac{28}{12} \right) \\ &= 634471 \text{ N} \approx \underline{\underline{634,5 \text{ kN}}} \end{aligned}$$

f) Umformarbeit

aus Anhang 4.1.2, E360 (St70-2):

 $\Rightarrow a = 440 \text{ Nmm/mm}^3$

$$\begin{aligned} W &= \frac{V \cdot k_{\text{fm}} \cdot \varphi}{\eta_f} \\ W &= \frac{28^2 \cdot \pi}{4} \cdot 12 \cdot \frac{653 \cdot 0,673}{0,8} = 4059059,8 \text{ Nmm} \\ &= \underline{\underline{4,1 \text{ kNm}}} \end{aligned}$$

$$k_{\text{fm}} = \frac{a}{\varphi} = \frac{440}{0,673} = 653 \text{ N/mm}^2$$

Lösung zu Beispiel 4

a) Drahtdurchmesser

$$\text{Zylinder: } V_d = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot l$$

Volumen des Drahtabschnitts

bei konstantem Umformvolumen gilt:

$$\text{Kugel: } V_d = \frac{D^3 \cdot \pi}{6}$$

$$V_d = V_k$$

$$\frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot s \cdot d = \frac{D^3 \cdot \pi}{6}$$

$$\frac{d^3 \cdot \pi \cdot s}{4} = \frac{D^3 \cdot \pi}{6}$$

somit:

$$d = \sqrt[3]{\frac{2}{3 \cdot s} \cdot D^3} = \underline{\underline{0,662 \cdot D}}$$

b) notwendige Abschnittslänge $l = s \cdot d$
 $l = (2,2 \div 2,3) \cdot 0,662 \cdot D$
 $\underline{\underline{l = (2,2 \div 2,3) \cdot 0,662 \cdot D}}$

Lösung zu Beispiel 5

a) Ausgangslänge

$$l_0 = \frac{d_1^2}{d_0^2} \cdot h_1 = \frac{18,9^2}{10^2} \cdot 7 = \underline{\underline{25 \text{ mm}}} \hat{=} h_0$$

b) maximale Umformkraft

$$F_{\max} = A_1 \cdot k_{\text{fm}} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot \frac{d_1}{h_1}\right)$$

Stauchverhältnis

$$s = \frac{h_0}{d_0} = \frac{25,0}{10} = 2,5$$

$$s_{\text{vorh}} \leq s_{\text{zul}}$$

$2,5 \leq 2,62 \Rightarrow$ somit **eine** Operation notwendig!

Stauchungsgrad

$$\varphi = \ln \frac{h_0}{h_1} = \ln \frac{25}{7} = 1,273 \hat{=} 127,3 \%$$

aus Anhang 4.1.2, C35C (Cq35):

$$k_{\text{fmax}} = 710 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{\text{f0}} = 410 \text{ N/mm}^2$$

maximale Umformkraft

$$\begin{aligned} F_{\max} &= A_1 \cdot k_{\text{fmax}} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot \frac{d_1}{h_1}\right) = \frac{18,9^2 \cdot \pi}{4} \cdot 710 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0,15 \cdot \frac{18,9}{7}\right) = \\ &= 226083 \text{ N} \approx \underline{\underline{226,1 \text{ kN}}} \end{aligned}$$

c) mittlere Umformarbeit

$$W = \frac{V \cdot k_{\text{fm}} \cdot \varphi}{\eta_{\text{f}}}$$

$$k_{\text{fm}} = \frac{k_{\text{f0}} + k_{\text{fmax}}}{2} = \frac{410 + 710}{2} = 560 \text{ N/mm}^2$$

$$W = \frac{18,9^2 \cdot \pi}{4} \cdot 7 \cdot \frac{560 \cdot 1,273}{0,6} = 2333333 \text{ Nmm} \approx \underline{\underline{2,3 \text{ kNm}}}$$

Lösung zu Beispiel 6

a) Rohlingshöhe

$$\begin{aligned} h_0 &= \frac{\pi \cdot h_1}{12} \cdot (D^2 + d^2 + D \cdot d) \cdot \frac{4}{d_0^2 \cdot \pi} = \frac{\pi \cdot 10}{12} \cdot (22^2 + 14^2 + 22 \cdot 14) \cdot \frac{4}{8^2 \cdot \pi} \\ &= \frac{10}{12} \cdot (484 + 196 + 308) \cdot \frac{4}{64} = 51,46 \approx \underline{\underline{52 \text{ mm}}} \end{aligned}$$

b) Stauchungsgrad

$$\varphi = \ln \frac{h_0}{h_1} = \ln \frac{52}{10} = 1,65 \triangleq \underline{\underline{165 \%}}$$

c) bezogene Stauchung

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \cdot 100 = \frac{52 - 10}{52} \cdot 100 = \underline{\underline{81 \%}}$$

d) Stauchverhältnis

$$s = \frac{h_0}{d_0} = \frac{52}{8} = 6,5$$

$$s_{\text{vorh}} > s_{\text{zul}}$$

6,5 > 4,6 das bedeutet: für die Fertigung sind **drei** Arbeits-Operationen notwendig!

e) Stauchkraft

$$F_{\text{m}} = A_1 \cdot k_{\text{fm}} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot \frac{d_1}{h_1} \right)$$

aus Anhang 4.1.2, C35C (Cq35):

$$k_{\text{fmax}} = 960 \text{ N/mm}^2 \quad k_{\text{f0}} = 410 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{\text{fm}} = \frac{k_{\text{f0}} + k_{\text{fmax}}}{2} = \frac{410 + 960}{2} = 685 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{\text{m}} = \frac{22^2 \cdot \pi}{4} \cdot 685 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0,15 \cdot \frac{22}{10} \right) = 289034 \text{ N} \approx \underline{\underline{289 \text{ kN}}}$$

f) Umformarbeit

$$W = \frac{V \cdot k_{\text{fm}} \cdot \varphi}{\eta_{\text{f}}} = \frac{10 \cdot \pi}{12} (22^2 + 14^2 + 22 \cdot 14) \cdot \frac{685 \cdot 1,65}{0,8} = 3654349 \text{ Nmm} \approx \underline{\underline{3,65 \text{ kNm}}}$$

2.3 Schmieden

2.3.1 Verwendete Formelzeichen

ρ	[kg/m ³]	Dichte des Materials
φ	[%]	Umformgrad, Formänderungsverhältnis
η_f	[%]	Formänderungswirkungsgrad
a	[Nmm/mm ³]	spezifische Formänderungsarbeit
A_d	[mm ²]	Projektionsfläche des fertig geformten Werkstücks einschl. Gratfläche
A_0	[mm ²]	Querschnitt des Rohlings
A_s	[mm ²]	Projektionsfläche des Fertigteils
b	[mm]	Gratbahnbreite
d	[mm]	Stempeldurchmesser
D_d	[mm]	Projektionsdurchmesser
f	[mm/min]	Stangenvorschub
F	[N]	Umformkraft
h	[mm]	Weg des Stößels
h_0	[mm]	Rohlingshöhe
k_f	[N/mm ²]	Formänderungsfestigkeit
k_{fl}	[N/mm ²]	Formänderungsfestigkeit (bei $w = s^{-1}$ und der Temperatur T_1)
k_{wa}	[N/mm ²]	Formänderungswiderstand am Anfang
k_{we}	[N/mm ²]	Formänderungswiderstand am Ende der Umformung
m	[kg]	Masse
m		Werkstoffexponent
m_A	[kg]	Einsatzmasse mit Grat
m_E	[kg]	Masse des Fertigteils
n	[min ⁻¹]	Schlagzahl des Hammers
s^x	[mm]	Gratdicke
$T(\vartheta)$	[°]	Umformtemperatur
v	[mm/s]	Pressengeschwindigkeit
v_m	[s ⁻¹]	mittlere Umformgeschwindigkeit
v_{St}	[mm/s]	Stempelgeschwindigkeit
v_{StR}	[mm/s]	Austrittsgeschwindigkeit
V	[mm]	Volumen des Schmiedestücks
V_0	[mm ³]	Volumen des Rohlings
W	[Nmm]	tatsächliche Formänderungsarbeit
w_0	[s ⁻¹]	Anfangsumformgeschwindigkeit
w_m	[s ⁻¹]	mittlere Umformgeschwindigkeit
w^x		Massenverhältnisfaktor (Zuschlag)
y		Faktor der Werkstückform

2.3.2 Auswahl verwendeter Formeln

Volumen $V = A_0 \cdot h_0$	Anfangsumformgeschwindigkeit $w_0 = \frac{v}{h_0}$	Materialeinsatzmasse $m_E = (D^2 \cdot h_1 - d_m^2 \cdot h_2) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \rho$	
Einsatzmasse $m_A = w^x \cdot m_E$	Rohlingsvolumen $V = \frac{m}{\rho}$	mittlere Umformgeschwindigkeit $w_m = 1,6 \cdot w_0$	Gratdicke $s^x = 0,015 \cdot \sqrt{A_s}$
Gratbahnbreite $b = 4 \cdot s$	Projektionsfläche $A_d = D_d^2 \cdot \frac{\pi}{4}$	Formänderungsverhältnis $\varphi = \ln \frac{V}{A_d \cdot h_0} = \ln \frac{A_0}{A_d}$	Projektionsdurchmesser $D_d = D + 2b$
Formänderungsfestigkeit $k_f = k_{f1} \cdot w_0^m$	Formänderungswiderstand $k_{we} = y \cdot k_f$	Umformkraft $F = A_d \cdot k_{we}$	Umformarbeit $W = \frac{V_0 \cdot k_f \cdot \varphi}{\eta_F}$
Rohlingsdurchmesser $D = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot h}}$	Formänderungsarbeit je Hub $W = \frac{A_0 \cdot a \cdot f}{\eta_F \cdot n}$	Mittlere Umformkraft $F = \frac{W}{h}$	

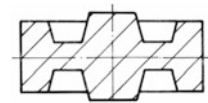
2.3.3 Berechnungsbeispiele

- Die skizzierte Scheibe soll im Gesenk durch eine hydraulische Presse mit einer Umformgeschwindigkeit von $v = 0,55 \text{ m/s}$ geformt werden. Die Rohlingstemperatur beträgt 1200°C , Rohlingshöhe 85 mm.

Die Schmiedestückprojektionsfläche mit Grat beträgt 6300 mm^2 , das Rohlingsvolumen 722500 mm^3 .

Ermitteln Sie:

- die erforderliche Umformkraft
- die Umformarbeit.

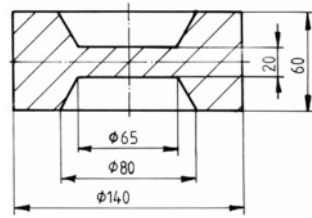


Scheibe

- Riemenscheiben sollen aus C45 hergestellt werden. Eine Kurbelpresse steht als Umformmaschine zur Verfügung. Die Werkzeuggeschwindigkeit wird mit 600 mm/s angegeben, die Werkstoffdichte beträgt $7,85 \text{ kg/dm}^3$. Massenverhältnisfaktor 1,16, Umformtemperatur 1200°C .

Zu bestimmen sind mit Hilfe der im Anhang vorgegebenen Tabellen und Diagramme:

- die Materialeinsatzmasse
- das Rohlingsvolumen
- die Rohlingsabmessungen, bei einem Ausgangsdurchmesser von 120 mm
- die Schmiedestückprojektionsfläche mit Gratbahn
- die Umformkraft
- die Umformarbeit.



Riemenscheibe

- Für die Riemenscheibe – siehe Aufgabe 2 – sollen die erforderliche Umformkraft und die Umformarbeit berechnet werden.
- Eine Laufrolle aus C45 soll unter einem Gegenschlaghammer im Gesenk geschmiedet werden.

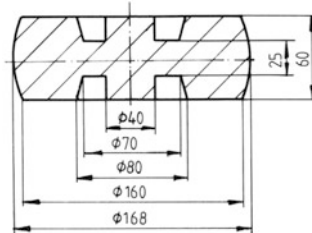
Die Schmiedetemperatur beträgt 1100 °C, die Hammergeschwindigkeit 6 m/s, die Rohlingshöhe 110 mm. Rohlingsdurchmesser 32 mm, Werkstücksprojektionsfläche mit Grat 160 cm², Formänderungsverhältnis 63 %.

Ermitteln Sie:

- die Endhöhe des Werkstücks
 - die anfängliche Umformgeschwindigkeit
 - die Formänderungskraft
 - die Formänderungsarbeit (alternative Berechnung und Ermittlung über die Diagramme).
- Das skizzierte Schwungrad aus C60 soll durch Schmieden mit dem Hammer hergestellt werden. Hammergeschwindigkeit 5600 mm/s, Werkstücksausgangshöhe 125 mm.

Zu berechnen sind:

- die Materialeinsatzmasse
- die Gratdicke
- die Gratbahnbreite
- die Umformkraft
- die Umformarbeit.



Schwungrad

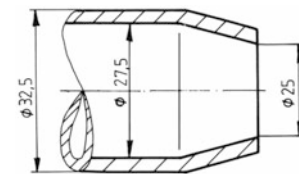
- Ein Rohr aus C10E soll durch Rundkneten verjüngt werden.

Folgende Daten liegen vor:

- Rohrdicke vor dem Umformen 2,5 mm
- mittlerer Rohrdurchmesser 30 mm
- Rohrdicke nach dem Umformen 3 mm
- mittlerer Rohrdurchmesser nach dem Umformen 22 mm
- Formänderungswirkungsgrad 40 %
- Stangenvorschub 300 mm/min
- Maschinenschlagzahl 2200 min⁻¹
- Maschinenhub 3 mm

Berechnen Sie:

- die Formänderungsarbeit je Stößelhub
- die auf jeden Stößel entfallende mittlere Umformkraft.



Rohrstück

2.3.4 Lösungen

Lösung zu Beispiel 1 (mit Hilfe von Diagrammen)

Hinweis: Die Umformkraft und Umformarbeit werden mit Hilfe der Diagramme und Tabellen – siehe Anhang 4.1.3 – ermittelt.

a) Umformkraft

aus Diagramm 1

Umformgeschwindigkeit am Anfang:

$$w_0 = \frac{v_c}{h_0} = \frac{550}{85} = 6,5 \text{ s}^{-1}$$

Mittlere Umformgeschwindigkeit:

$$w_m = 1,6 \cdot w_0 = 1,6 \cdot 6,5 = 10,4 \text{ s}^{-1}$$

Feld 1: $k_{wa} = 75 \text{ N/mm}^2$ (bei 1200°C)

Feld2: $k_{wa} = 75 \text{ N/mm}^2$ und Form 7 $\Rightarrow k_{we} = 900 \text{ N/mm}^2$

Feld 3: bei einer projiz. Fläche = 10000 mm^2 erhält man eine Umformkraft von
 $\Rightarrow \underline{\underline{F \approx 9000 \text{ kN}}}$

b) Umformarbeit

Feld 1: Umformarbeit

bei $w_m = 10,4 \text{ s}^{-1}$ und $T = 1200^\circ\text{C} \Rightarrow k_{wa} = 75 \text{ N/mm}^2$

Feld 2

und Form 6: $\Rightarrow k_{we} = 200 \text{ N/mm}^2$

Feld 3: spez. Formänderungsarbeit bei $\varphi = \ln \frac{V}{A_d \cdot h_0} = \ln \frac{722500}{6300 \cdot 85} = 0,3 \hat{=} 30 \%$

somit $\Rightarrow a = 80 \text{ Nmm/mm}^3$

Feld 4: bei $V = 722500 \text{ mm}^3$ erhält man eine Umformarbeit von $\Rightarrow \underline{\underline{W = 64\,000 \text{ Nm}}}$

Lösung zu Beispiel 2

a) Materialeinsatzmasse

$$m_E = (D^2 \cdot h_1 - d_m^2 \cdot h_2) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \rho = (140^2 \cdot 60 - 72,5^2 \cdot 40) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 7,85 = \underline{\underline{5,95 \text{ kg}}}$$

Hinweis: Die Wahl des Massenverhältnissfaktors ist von der Masse des fertigen Werkstücks und der Werkstückform abhängig!

$$m_A = w^x \cdot m_E = 1,16 \cdot 5,95 = \underline{\underline{6,9 \text{ kg}}}$$

$w^x = 1,16$ (Mittelwert)

aus Tabelle 2 und 3 erhält man bei Formen-
gruppe 2 und Einsatzmasse $m_E = 6 \text{ kg}$ den
Faktor $\Rightarrow w^x = 1,16$

b) Rohlingsvolumen

$$V_0 = \frac{m}{\rho} = \frac{6,9}{7,85} = 0,879 \text{ dm}^3 = \underline{\underline{879000 \text{ mm}^3}}$$

c) Rohlingsabmessungen

$$h_0 = \frac{V_0 \cdot 4}{d^2 \cdot \pi} = \frac{879000 \cdot 4}{120^2 \cdot \pi} = 77,7 \text{ mm, gewählt} \Rightarrow h_0 = \underline{\underline{80 \text{ mm}}}$$

d) Projektionsfläche des Schmiedeteils mit Grat

Gratdicke

$$s^* = 0,015 \cdot \sqrt{A_s}$$

$$A_s = 140^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 15394 \text{ mm}^2$$

$$s^* = 0,015 \cdot \sqrt{15386} = 1,86 \text{ mm, gewählt} \Rightarrow s^* = \underline{\underline{1,9 \text{ mm}}}$$

Ermittlung der Gratbahnbreite

Das Verhältnis b/s ist von der Werkstückform abhängig.Entsprechend Tabelle 5 und der Form b wird $b/s = 4$ gewählt.

somit:

$$b = 4 \cdot s^*$$

$$b = 4 \cdot 1,9 = 7,6 \text{ mm, gewählt} \Rightarrow b = \underline{\underline{8 \text{ mm}}}$$

Projektionsfläche mit Gratbahn

$$A_d = D_d^2 \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$D_d = D + 2b = 140 + 2 \cdot 8 = 156 \text{ mm}$$

$$A_d = 156^2 \cdot \frac{\pi}{4} = \underline{\underline{19113 \text{ mm}^2}}$$

e) Umformkraft aus Diagramm

Feld 1

$$w_0 = \frac{v}{h_0} = \frac{600}{80} = 7,5 \text{ s}^{-1} \quad \text{gewählt} \Rightarrow 1,4$$

$$w_m = (1,3 \dots 1,6) \cdot w_{0m} = 1,4 \cdot 7,5 = 10,5 \text{ s}^{-1}$$

Formänderungswiderstand

$$\text{bei } T = 1200^\circ\text{C und } w_m = 10,5 \text{ s}^{-1} \text{ erhält man:} \quad \Rightarrow k_{wa} = 70 \text{ N/mm}^2$$

Feld 2

$$\text{bei Umformgrad 7 (Tab. 1) erhält man:} \quad \Rightarrow k_{we} = 750 \text{ N/mm}^2$$

Feld 3Bei der errechneten Projektionsfläche von 19113 mm^2 ergibt sich eine Umformkraft von

$$\Rightarrow \underline{\underline{F = 15000 \text{ kN}}}$$

f) Umformarbeit aus Diagramm

Feld 1: bei $w_m = 10,5 \text{ s}^{-1}$ und $T = 1200 \text{ °C}$ erhält man $\Rightarrow k_{wa} = 70 \text{ N/mm}^2$

Gewählter Umformvorgang Form 5 $\Rightarrow k_{we} = 190 \text{ N/mm}^2$

Umgeformtes Volumen: $V = \frac{120^2 \cdot \pi}{4} \cdot 80 = 904779 \text{ mm}^3$

$$h_0 = \frac{879000 \cdot 4}{120^2 \cdot \pi} = 78 \text{ mm}$$

$$\varphi = \ln \frac{V_0}{A_d \cdot h_0} = \frac{879000}{19113 \cdot 78} = -0,53 \hat{=} 53\%$$

bei $\varphi = 53 \%$ und $k_{we} = 190 \text{ N/mm}^2$ erhält man eine spezifische Umformarbeit von $a = 75 \text{ Nmm/mm}^3$, bei $V_0 = 879000 \text{ mm}^3$ und $a = 75 \text{ Nmm/mm}^3$ erhält man eine Umformarbeit von $W = 60000 \text{ Nm}$

Lösung zu Beispiel 3

a) Umformkraft (rechnerische Lösung)

Umformgrad

$$A_d = 19113 \text{ mm}^2$$

$$\varphi = \ln \frac{A_0}{A_d} = \ln \frac{120^2 \cdot \pi}{4 \cdot 19113} = -0,53 \hat{=} 53\%$$

$$d = 120 \text{ mm}$$

Ermittlung der Formänderungsfestigkeit

Die Formänderungsfestigkeit steht in Abhängigkeit der Umformungsgeschwindigkeit und Umformtemperatur: (Basiswerte k_{f1} für $\varphi_1 = 1 \text{ s}^{-1}$ bei den angegebenen Umformtemperaturen und Werkstoffexponenten m zur Berechnung von $k_f = f(\varphi)$).

$$k_f = k_{f1} \cdot w_{0m} \quad \text{C45} \Rightarrow m = 0,163$$

$$k_{f1} = 70 \text{ N/mm}^2 \text{ bei } T = 1200 \text{ °C}$$

somit

$$k_f = k_{f1} \cdot w_{0m} = 70 \cdot 7,5^{0,163} = 97,2 \text{ N/mm}^2 \quad w_0 = \frac{v}{h_0} = \frac{600}{80} = 7,5 \text{ s}^{-1}$$

Formänderungswiderstand

$$y = 5,5$$

$$k_{we} = y \cdot k_f$$

$$k_f = 97,2 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{we} = 5,5 \cdot 97,2 = 535 \text{ N/mm}^2$$

Umformkraft

$$F = A_d \cdot k_{we} = 19113 \cdot 535 = 10225455 \text{ N} = \underline{\underline{\underline{10225 \text{ kN}}}}}$$

b) Umformarbeit

$$\eta_F = 0,45$$

$$W = \frac{V_0 \cdot k_f \cdot \varphi}{\eta_F} = \frac{120^2 \cdot \pi \cdot 80 \cdot 97,2 \cdot 0,53}{4 \cdot 0,45} = 103579064 \text{ Nmm} \approx \underline{\underline{\underline{104 \text{ kNm}}}}}$$

Hinweis: Die Berechnung zeigt, dass die Ablesewerte aus den Schaubildern nur Übersichtswerte darstellen!

Lösung zu Beispiel 4

a) Werkstückendhöhe

$$\varphi = \ln \frac{V_0}{A_d \cdot h_0} \quad \text{bzw.} \quad \varphi = \ln \frac{h_0}{h_1}$$

$$h_1 = h_0 \cdot e^{-\varphi} = 110 \cdot 2,718^{-0,63} = \underline{\underline{58,59 \text{ mm}}}$$

Hinweis: In der Regel ist an Schmiedeteilen die Höhe h_1 (exakte Höhe des Fertigteils) nicht genau definiert, man berechnet φ über das Rohlingsvolumen, die Projektionsfläche und die Rohlingshöhe. Da in o.a. Aufgabe das Formänderungsverhältnis gegeben ist, erfolgt die Berechnung von h_1 (Werkstückendhöhe) aus:

b) mittlere Umformgeschwindigkeit

$$w_0 = \frac{v}{h_0} = \frac{6000}{110} = 55 \text{ s}^{-1} \quad \text{gewählte } 1,4$$

$$w_m = (1,3 \dots 1,6) \cdot w_0 = 1,4 \cdot 55 = \underline{\underline{77 \text{ s}^{-1}}}$$

c) Formänderungskraft (analytisch)

$$k_f = k_{f1} \cdot w_{0m}$$

$$\Rightarrow k_f = 90 \cdot 55^{0,163} = 173 \text{ N/mm}^2$$

für C45 $\Rightarrow m = 0,163$

$k_{f1} = 90 \text{ N/mm}^2$ bei $T = 1100^\circ\text{C}$

gewählt Form 2

$$\Rightarrow y = 5,5, \eta_f = 0,45$$

$$k_{we} = y \cdot k_f = 5,5 \cdot 173 = 952 \text{ N/mm}^2$$

Formänderungskraft

$$F = A_d \cdot k_{we} = 16000 \cdot 952 = 15232000 \text{ N} = \underline{\underline{15232 \text{ kN}}}$$

d) Formänderungsarbeit

$$W = \frac{V_0 \cdot k_f \cdot \varphi}{\eta_F} = \frac{32^2 \cdot \pi \cdot 110 \cdot 173 \cdot 0,63}{4 \cdot 0,45} = 21426768 \text{ Nmm} \approx \underline{\underline{21,4 \text{ kNm}}}$$

Formänderungskraft mittels Diagramm

$$\Rightarrow F = 21000 \text{ kN}$$

gewählt \Rightarrow Form 7

Formänderungsarbeit mittels Diagramm

$$\Rightarrow W = 19,000 \text{ kNm}$$

gewählt \Rightarrow Form 5

Lösung zu Beispiel 5

a) Materialeinsatzmasse

$$m_A = W \cdot m_E$$

$$m_E = V \cdot \rho$$

$$V = 1185 \text{ cm}^3 \text{ (nach Skizze ermitteln)}$$

$$m_E = 1185 \cdot 7,85 = 9300 \text{ g} = 9,3 \text{ kg}$$

$$\Rightarrow W \text{ nach Formgruppe 2} \Rightarrow 1,08$$

$$m_A = 1,08 \cdot 9,3 \text{ kg} = \underline{\underline{10,05 \text{ kg}}}$$

Rohlingsvolumen

$$V_o = \frac{m}{\rho} = \frac{10,05}{7,85} = \underline{\underline{1,28 \text{ dm}^3}}$$

Rohlingsdurchmesser

$$D = \sqrt{\frac{V_o \cdot 4}{h \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{1280000 \cdot 4}{125 \cdot \pi}} = \underline{\underline{114,2 \text{ mm}}} \quad \text{gewählt} \Rightarrow D = \underline{\underline{115 \text{ mm}}}$$

b) Gratdicke

$$s^* = 0,015 \cdot \sqrt{A_s} = 0,015 \cdot \sqrt{\frac{168^2 \cdot \pi}{4}} = \underline{\underline{2,23 \text{ mm}}} \quad \text{gewählt} \Rightarrow s^* = \underline{\underline{2,3 \text{ mm}}}$$

c) Gratabnbreite

$$b = 7 \cdot s^* = 7 \cdot 2,3 = 16,1 \text{ mm} \quad \text{gewählt} \Rightarrow b = 16 \text{ mm}$$

 \Rightarrow nach Form 3

$$b/s = 6 \div 8 \quad \text{gewählt} \Rightarrow 7$$

Projektionsfläche mit Grat

$$A_d = D_d^2 \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$D_d = D + 2b = 168 + 2 \cdot 16 = 200 \text{ mm}$$

$$A_d = 200^2 \cdot \frac{\pi}{4} = \underline{\underline{31416 \text{ mm}^2}}$$

d) Umformkraft

$$F = A_d \cdot k_{we}$$

$$k_{we} = y \cdot k_f$$

$$k_f = k_{f1} \cdot w_0^m$$

aus Diagramm für C 60 $\Rightarrow m = 0,167$

$$k_{f1} = 80 \text{ N/mm}^2 \text{ bei } w_1 = 1 \text{ s}^{-1} \text{ und}$$

$$T = 1100^\circ \text{C}$$

$$v = 5600 \text{ mm/s}$$

$$h_o = 125 \text{ mm}$$

$$m = 0,163$$

$$v_0 = \frac{v_c}{h_0} = \frac{5600}{125} = 44,8 \text{ s}^{-1}$$

$$k_f = k_{f1} \cdot w_0^m = 80 \cdot 44,8^{0,163} = 149 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{we} = y \cdot k_f$$

$$k_{we} = 7,5 \cdot 149 = 1117,5 \text{ N/mm}^2$$

 $\Rightarrow y = 7,5$ nach Formgruppe 3

$$F = A_d \cdot k_{we} = 31416 \cdot 1117,5 = 35107380 \text{ N}$$

$$\approx \underline{\underline{35107 \text{ kN}}}$$

e) Umformarbeit

$$W = \frac{V_o \cdot k_F \cdot \varphi}{\eta_F}$$

$$\varphi = \ln \frac{A_0}{A_d} = \frac{114,2^2 \cdot \pi}{31400 \cdot 4} = 1,12 \hat{=} 112 \%$$

$$\eta_F = 0,4$$

$$W = \frac{1280000 \cdot 149 \cdot 1,12}{0,4} =$$

$$= 534016000 \text{ Nmm} \approx \underline{\underline{534 \text{ kNm}}}$$

$$V_0 = 1,28 \text{ dm}^3$$

Lösung zu Beispiel 6

a) Formänderungsarbeit je Hub

$$\varphi = \ln \frac{A_0}{A_1}$$

$$A_0 = d_{m0} \cdot \pi \cdot s_0 = 30 \cdot \pi \cdot 2,5 = 235,6 \text{ mm}^2$$

$$A_1 = d_{m1} \cdot \pi \cdot s_1 = 22 \cdot \pi \cdot 3 = 207,35 \text{ mm}^2$$

$$\varphi = \ln \frac{235,6}{207,35} = 0,13 \hat{=} 13 \%$$

aus Fließkurve für C10E die spez.
Umformarbeit

$$\Rightarrow a \approx 50 \text{ Nmm/mm}^3$$

$$W = \frac{A_0 \cdot a \cdot f}{\eta_F \cdot n} = \frac{235,6 \cdot 50 \cdot 300}{0,4 \cdot 2200} = \underline{\underline{4015,9 \text{ Nmm}}}$$

$$f = 300 \text{ mm}$$

$$n = 2200 \text{ min}^{-1}$$

$$h = 3 \text{ mm}$$

b) mittlere Umformkraft

$$F = \frac{W}{h} = \frac{4015,9}{3} = \underline{\underline{1339 \text{ N}}}$$

2.4 Strangpressen

2.4.1 Verwendete Formelzeichen

η_F	[%]	Formänderungswirkungsgrad
μ		Reibwert
φ	[%]	Umformgrad (Umformverhältnis)
A_1	[mm ²]	Querschnitt nach der Umformung
A_0	[mm ²]	Querschnitt des Rohlings
D_0	[mm]	Blockdurchmesser
D_1	[mm]	Strangdurchmesser
F	[N]	Presskraft
k_F	[N/mm ²]	Formänderungsfestigkeit am Anfang des Umformens
k_{F1}	[N/mm ²]	Formänderungsfestigkeit am Ende des Umformens

l	[mm]	Länge Rohling
m		Werkstoffexponent
V_0	[mm ³]	Rohlingsvolumen
v_{St}	[mm/s]	Stempelgeschwindigkeit
v_{Str}	[mm/s]	Austrittsgeschwindigkeit des Pressstrangs
W	[Nmm]	Umformarbeit
w_0	[s ⁻¹]	Anfangsumformgeschwindigkeit
w_m	[s ⁻¹]	mittlere Umformgeschwindigkeit
w_u	[s ⁻¹]	Umformgeschwindigkeit

2.4.2 Auswahl verwendeter Formeln

Tatsächlicher Umformgrad	Austrittsgeschwindigkeit	Stempelgeschwindigkeit	Formänderungsfertigkeit
$\varphi = \ln \frac{A_0}{A_1} \quad \varphi_{tat} < \varphi_{zul} = 6,9$	$v_{Str} = \frac{v_{St} \cdot 60 \cdot A_0}{10^3 \cdot A_1}$	$v_{St} = \frac{10^3 \cdot v_{Str} \cdot A_1}{60 \cdot A_0}$	$k_f = k_f \cdot w_0^m$
Presskraft	Umformgrad	Umformarbeit	Anfangsumformgeschwindigkeit
$F = \frac{A_0 \cdot k_f \cdot \varphi}{\eta_F} + D_0 \cdot \pi \cdot l \cdot \mu \cdot k_f$	$w_u \cong \frac{6 \cdot v_{St} \cdot \varphi}{D}$ oder $w_u \cong \frac{2 \cdot v_{St}}{D_1}$	$W = \frac{V_0 \cdot k_f \cdot \varphi}{\eta_F}$	$w_0 = \frac{6 \cdot v_{St} \cdot \varphi}{D_0}$

2.4.3 Berechnungsbeispiele

- Aus Al 99,5 sind Vierkantprofile mit den Abmessungen 20 mm × 20 mm durch Vorwärtsstrangpressen herzustellen. Die Geschwindigkeit des Pressstempels beträgt 1,6 mm/s, Dichte des Werkstoffs 2,7 kg/dm³, Abmessungen des Rohlingsblockes Ø 200 mm, Länge 800 mm, Umformtemperatur 450 °C, zulässiger Umformgrad 6,9, Formänderungswirkungsgrad 40 %, Reibwert 0,15.
Ermitteln Sie:
 - die Austrittsgeschwindigkeit des Pressstrangs
 - die Formänderungsfestigkeit
 - die Presskraft
 - die Umformarbeit.
- Durch Rückwärtsstrangpressen (indirektes Strangpressen) soll ein Rohrprofil hergestellt werden. Der verarbeitete Werkstoff ist CuZn 37, Presstemperatur 750 °C, zulässiger Umformgrad

5,5, Stranggeschwindigkeit 180 m/s, Stempelgeschwindigkeit 8 mm/s, Blockdurchmesser 80 mm, Blocklänge 350 mm, Formänderungswirkungsgrad 0,4, Rohraußendurchmesser 20 mm, Rohrrinnendurchmesser 18 mm.

Ermitteln Sie:

- die Presskraft
- die Umformarbeit.

2.4.4 Lösungen

Lösung zu Beispiel 1

- a) Austrittsgeschwindigkeit des Pressstrangs

Tatsächlicher Umformgrad

$$\varphi = \ln \frac{A_0}{A_1} = \ln \frac{200^2 \cdot \pi}{4 \cdot 20 \cdot 20} = \underline{\underline{4,36}}$$

$$\varphi_{\text{tat}} < \varphi_{\text{zul}}$$

4,36 < 6,9, d. h. Umformung ist möglich!

$$v_{\text{Str}} = \frac{v_{\text{St}} \cdot 60 \cdot A}{10^3 \cdot A_1} = \frac{1,6 \cdot 60 \cdot 200^2 \cdot \pi}{4 \cdot 10^3 \cdot 20 \cdot 20} = \underline{\underline{7,54 \text{ m/min}}}$$

- b) Formänderungsfertigkeit

$$k_f = k_{f1} \cdot w_0^m$$

$$w_0 \approx \frac{6 \cdot v_{\text{St}} \cdot \varphi}{D_0}$$

$$w_0 = \frac{6 \cdot 1,6 \cdot 4,36}{200} \approx 0,21 \text{ s}^{-1}$$

aus Anhang 4.1.3:

$$k_f = 24 \cdot 0,21^{0,159} = \underline{\underline{18,73 \text{ N/mm}^2}} \Rightarrow k_{f1} = 24 \text{ N/mm}^2, m = 0,159$$

bei Temperatur von 450 °C

- c) Presskraft

$$F = \frac{A_0 \cdot k_f \cdot \varphi}{\eta_F} + D_0 \cdot \pi \cdot l \cdot \mu \cdot k_f = \frac{200^2 \cdot \pi \cdot 18,73 \cdot 4,36}{4 \cdot 0,4} + 200 \cdot \pi \cdot 800 \cdot 0,15 \cdot 18,73 =$$

$$= 7825990 \approx \underline{\underline{7826 \text{ kN}}}$$

- d) Umformarbeit

Es wird unterstellt, dass das gesamte Rohlingsvolumen umgeformt wird.

$$W = \frac{V_0 \cdot k_f \cdot \varphi}{\eta_F} = \frac{200^2 \cdot \pi \cdot 800 \cdot 18,73 \cdot 4,36}{4 \cdot 0,4} = \underline{\underline{5131 \text{ kNm}}}$$

Lösung zu Beispiel 2**a) Presskraft**

Tatsächlicher Umformgrad

$$\varphi = \ln \frac{A_0}{A_1} = \ln \frac{80^2 \cdot \pi \cdot 4}{4 \cdot \pi (20^2 - 18^2)} = \ln \frac{6400}{400 - 324} = \underline{\underline{4,43}}$$

$$\varphi_{\text{tat}} < \varphi_{\text{zul}}$$

4,43 < 5,5, d. h. Umformung ist möglich!

Presskraft

$$F = \frac{A_0 \cdot k_f \cdot \varphi}{\eta_f}; \text{ es entfällt die Reibungskraft im Rezipienten}$$

$$k_f = k_{f1} \cdot v_0^m$$

$$w_0 \approx \frac{6 \cdot v_{\text{St}} \cdot \varphi}{D_0}$$

aus Anhang 4.1.3:

 $\Rightarrow k_{f1} = 44 \text{ N/mm}^2$, $m = 0,201$ bei Temperatur 750°C

$$w_0 \approx \frac{6 \cdot 8 \cdot 4,43}{80} = 2,7 \text{ s}^{-1}$$

$$k_f = 44 \cdot 2,7^{0,201} = 53,7 \text{ N/mm}^2$$

$$F = \frac{80^2 \cdot \pi}{4} \cdot 53,7 \cdot \frac{4,43}{0,4} = 2989427 \text{ N} \approx \underline{\underline{2989 \text{ kN}}}$$

b) Umformarbeit

$$W = \frac{V_0 \cdot k_f \cdot \varphi}{\eta_f}$$

$$W = \frac{80^2 \cdot \pi \cdot 350}{4} \cdot 4,43 \cdot \frac{53,7}{0,4} = 2987911 \text{ Nmm} \approx \underline{\underline{2,99 \text{ kNm}}}$$

2.5 Fließpressen und Stauchen**2.5.1 Verwendete Formelzeichen**

$\alpha, \hat{\alpha}$	[°]	Neigungswinkel der Matrize / Bogenmaß
μ		Reibwert
η_F	[%]	Formänderungswirkungsgrad
φ_1	[%]	Formänderungsverhältnis (bei axialer Stauchung)
φ_2	[%]	Formänderungsverhältnis (bei radialer Stauchung)
φ_h	[%]	Hauptformänderung (Stauchungsgrad)
a	[Nmm/mm ³]	spezifische Formänderungsarbeit
A_1	[mm ²]	Fläche nach der Umformung

A_0	[mm ²]	Fläche vor der Umformung
d	[mm]	Innendurchmesser der Vorform
d_1	[mm]	Durchmesser nach der Umformung
d_0	[mm]	Durchmesser der Matrice (Rohlingsdurchmesser)
D_0	[mm]	Rondendurchmesser
F	[N]	Stauchkraft
F_1	[N]	Umformkraft (bei axialer Stauchung)
F_2	[N]	Umformkraft (bei radialer Stauchung)
F_{id}	[N]	Ideelle Umformkraft
F_m	[N]	mittlere Stauchkraft
F_{R1}	[N]	Reibkraft am Stempel und Matrice
F_{R2}	[N]	Reibkraft an der Wandung
F_{Sch}	[N]	Schubkraft
h_1	[mm]	Hohlkörperlänge
h_b	[mm]	Bodenhöhe
h_0	[mm]	Höhe des Rohlings
k_{f0}	[N/mm ²]	Fließspannung vor der Umformung
k_{f1}	[N/mm ²]	Fließspannung am Ende des Stauchvorganges
k_{fm}	[N/mm ²]	mittlere Formänderungsfestigkeit
l	[mm]	Reiblänge an der Matrizenwand
p_1	[N/mm ²]	Umformdruck in axialer Richtung
p_2	[N/mm ²]	Umformdruck in radialer Richtung
s		Stauchverhältnis
s	[mm]	Wanddicke
V_l	[mm ³]	Volumen, das an dem Umformvorgang nicht beteiligt ist
V_R	[mm ³]	Volumen des Rohlings
V_{umf}	[mm ³]	tatsächlich umgeformtes Volumen
W	[Nmm]	Umformarbeit (Formänderungsarbeit)

2.5.2 Auswahl verwendeter Formeln

Fließpressen

Formänderungs-
verhältnis

$$\varphi_h = \ln \frac{A_0}{A_1}$$

Mittlere Formänderungs-
festigkeit

$$k_{fm} = \frac{a}{\varphi_h} = \frac{k_{f0} + k_{f1}}{2}$$

Gesamt-
umformkraft

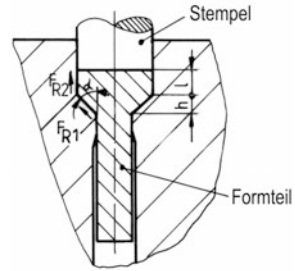
$$F_{ges} = F_{id} + F_{R1} + F_{R2} + F_{Sch}$$

Ideelle Umformkraft

$$F_{id} = A_0 \cdot k_{fm} \cdot \varphi_h$$

Kraft zur Überwindung der Reibung an der Matrizenöffnung
(am Stempel und Matrize)

$$F_{R1} = F_{id} \cdot \frac{\mu}{\cos \alpha \cdot \sin \alpha}$$



Kräfte beim Fließpressen

Kraft zur Überwindung der Reibung am
zylindrischen Teil der Matrize
(an der Wandung)

$$F_{R2} = d_0 \cdot \pi \cdot l \cdot \mu \cdot k_{f0}$$

Schubkräfte in der Umformzone

a) Vollkörper

$$F_{Sch} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\tilde{\alpha}}{\varphi_h} \cdot F_{id}$$

$$\tilde{\alpha} = 0,017453 \cdot \alpha$$

b) Hohlkörper

$$F_{Sch} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\tilde{\alpha}}{\varphi_h} \cdot F_{id}$$

Formänderungswirkungsgrad (beim Vorwärtsfließpressen)

a) Vollkörper

$$\eta_F = \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{\tilde{\alpha}}{\varphi_h} + \frac{\mu}{\cos \alpha \cdot \sin \alpha} + \frac{4 \cdot l \cdot \mu \cdot k_{f0}}{d \cdot \varphi_h \cdot k_{fm}}}$$

b) Hohlkörper

$$\eta_F = \frac{1}{1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\tilde{\alpha}}{\varphi_h} + \frac{\mu}{\cos \alpha \cdot \sin \alpha} + \frac{4 \cdot l \cdot \mu \cdot k_{f0}}{d \cdot \varphi_h \cdot k_{fm}}}$$

Formänderungsarbeit

$$W = \frac{V_1 \cdot k_{fm} \cdot \varphi_h}{\eta_m}$$

vorhandene Druckspannung (Festigkeit) der Fließpressung

$$p_{vorh} = \frac{F}{A} \quad \tilde{\alpha} = 0,01745 \cdot \alpha$$

oder

$$W = V_1 \cdot \frac{a}{\eta_F}$$

$$W_{ges} = W_{id} + W_{sch} + W_{R1} + W_{R2} \quad \text{oder}$$

$$W_{ges} = V \cdot k_{fm} \cdot \varphi_h \left[1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\tilde{\alpha}}{\varphi_h} + \frac{\mu}{\cos \alpha \cdot \sin \alpha} + \frac{4 \cdot l \cdot \mu \cdot k_{f0}}{d_o \cdot \varphi_h \cdot k_{fm}} \right]$$

Rückwärtsfließpressen (Gegenfließpressen)

Formänderungsverhältnis beim Rückwärtsfließpressen

a) axiale Richtung

$$\varphi_1 = \ln \frac{h_0}{h_1}$$

b) radiale Richtung

$$\varphi_2 = \ln \frac{h_0}{h_1} \cdot \left(1 + \frac{d_1}{8 \cdot s} \right)$$

axialer Staudruck

$$p_1 = k_{f1} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot \frac{d}{h_0} \right)$$

radialer Stauchdruck

$$p_2 = k_{f2} \cdot \left(1 + \frac{h_0}{s}\right) \cdot \left(0,25 + \frac{\mu}{2}\right)$$

Umformarbeit

$$W = V \cdot (p_1 + p_2)$$

oder

$$W = F \cdot (h_0 - h_B)$$

Gesamtumformkraft

(Rückwärtsfließpressen)

$$F_{\text{ges}} = F_1 + F_2$$

Stauchkraft in axialer Richtung

$$F_1 = A \cdot k_{f1} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot \frac{d}{h_0}\right)$$

Stauchkraft in radialer Richtung

$$F_2 = A \cdot k_{f2} \cdot \left(1 + \frac{h_0}{s}\right) \cdot \left(0,25 + \frac{\mu}{2}\right)$$

Umformkraft

$$F = A \cdot (p_1 + p_2)$$

Stauchen

Stauchungsgrad

$$\varphi = \ln\left(\frac{h_0}{h_1}\right) \cdot 100$$

Stauchverhältnis

$$s = \frac{h_0}{d_0}$$

zulässiges Stauchverhältnis

$$s \leq 2,6 \Rightarrow \text{eine Operation}$$

$$s \leq 4,5 \Rightarrow \text{zwei Operationen}$$

Rohlingsdurchmesser

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_K}{\pi \cdot s}}$$

Rohlingslänge

$$L = \frac{V_{\text{ges}}}{A_0}$$

Rohlingslänge für den Kopfteil

$$h_0 = \frac{V_{\text{Kopf}}}{A_0}$$

mittlere Stauchkraft
(zylindrische Teile)

$$F_m = A_1 \cdot k_{f1} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot \frac{d_1}{h_1}\right)$$

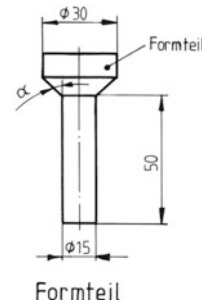
2.5.3 Berechnungsbeispiele

1. Durch Vorwärtsfließpressen ist ein Rohling mit dem Durchmesser $\varnothing 30$ mm und der Höhe 26 mm in das skizzierte Formteil umzuformen.

Werkstoff AlMgSi, Neigungswinkel der Matrizenöffnung 40° , Reibwert $\mu = 0,1$.

Berechnen Sie:

- das Formänderungsverhältnis
- die spezifische Formänderungsarbeit
- die mittlere Formänderungsfestigkeit
- die Gesamtumformkraft
- den Formänderungswirkungsgrad
- die Formänderungsarbeit.



2. Das Formteil – Aufgabe 1 – soll bei gleichen Rohlingsabmessungen – aus C10E (Ck10) durch Vorwärtsfließpressen gefertigt werden.

Ermitteln Sie mit Hilfe des Diagramms 2.5.1 die zum Umformen erforderliche maximale Stempelkraft.

3. Ein Rohling aus AlMgSi mit den Maßen $\varnothing 15 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ soll durch Vorwärtsfließpressen in einen Stift von 10 mm Durchmesser umgeformt werden. Es wird davon ausgegangen, dass der ganze Rohling durchgepresst wird.

Die Reiblänge soll 8 mm betragen, Matrizenwinkel 30° , Reibwert $\mu = 0,2$.

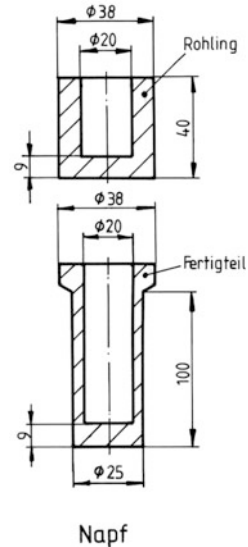
Ermitteln Sie:

- die Umformkraft
- die Umformarbeit.

4. Der skizzierte Napfrohling aus C10E (Ck10) ist zu einem Hohlkörper durch Vorwärtsfließpressen umzuformen. Abmaße siehe Skizzen, Neigungswinkel an der Matrize 60° , Reibwert $\mu = 0,1$.

Ermitteln Sie:

- die erforderliche Umformkraft
- die Umformarbeit.



5. Durch Vorwärtsfließen soll Stangenmaterial aus E 360 (St 70-2) umgeformt werden. Technische Daten: $d_0 = 60 \text{ mm}$, $d_1 = 35 \text{ mm}$, $h_0 = 125 \text{ mm}$, Matrizenöffnungswinkel 50° .

Ermitteln Sie:

- die erforderliche Umformkraft
- überprüfen Sie die Haltbarkeit des Fließpressdorns, wenn $p_{\max} = 2100 \text{ N/mm}^2$ nicht überschritten werden darf.

Reibwert $\mu = 0,1$, es wird eine Reiblänge von 60 mm angenommen.

6. Aus C10E (Ck10) soll ein Stangenabschnitt durch Rückwärtsfließpressen zu einem Napf umgeformt werden. Maße des Stangenabschnitts: Durchmesser $\varnothing 40 \text{ mm}$, Höhe 22,7 mm.

Maße des Napfs: Napfaußendurchmesser $\varnothing 40 \text{ mm}$, Napfinnendurchmesser $\varnothing 26 \text{ mm}$, Wandungs- und Bodenhöhe 7 mm, Napfhöhe 18,5 mm, Reibwert $\mu = 0,1$.

Ermitteln Sie:

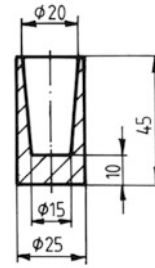
- die Umformkraft
- den Umformdruck
- die Umformarbeit.

7. Durch Rückwärtsfließpressen sind Hülsen aus CuZn 40 (Messing 63) herzustellen – siehe Skizze.

Der Rohlingsdurchmesser beträgt 20 mm, Reibwert $\mu = 0,1$.

Ermitteln Sie:

- die Rohlingshöhe
- die erforderliche Kraft für das Stauchen auf den notwendigen Ausgangsdurchmesser
- die Umformkraft
- die Umformarbeit beim Fließpressen.



8. Ermitteln Sie mit Hilfe des Diagramms 2.5 den Umformdruck und die Umformkraft für ein Vorwärtsfließpressteil, Rohling ist ein Hülsenabschnitt aus C35.

Gegeben sind:

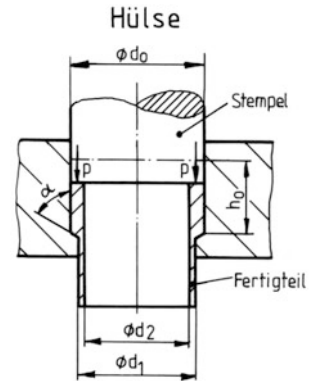
Ausgangsdurchmesser $d_o = 95 \text{ mm}$

Fertigungsteildurchmesser $d = 86 \text{ mm}$

Ausgangsdurchmesser $d = 78 \text{ mm}$

Rohlingshöhe $h = 55 \text{ mm}$

Matrizenwinkel $\alpha = 60^\circ$



Hülse

9. Führungsbolzen aus C15E (Ck15) sind gemäß der Skizze durch Umformen herzustellen. Der Rohlingsdurchmesser soll so bestimmt werden, dass zunächst ein Stauchungsverhältnis von 1,5 gewählt wird. Der Rohlingsdurchmesser und die Rohlingslänge sind auf volle Millimeter zu runden.

Ermitteln Sie:

- die Rohlingsabmessungen
- die für das Vorwärtsfließpressen erforderliche Umformkraft und Umformarbeit, Neigungswinkel $\alpha = 50^\circ$, Reibwert $\mu = 0,2$
- die für den Stauchvorgang erforderliche Stauchkraft und Staucharbeit bei $\varphi_{zul} = 150 \%$, Reibwert $\mu_2 = 0,15$ und einem Stauchungsgrad von 70 %.

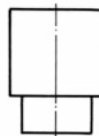
Stadienplan

Werkstoff: Ck 15

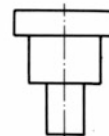
$\eta_F = 0,7$ $\mu_1 = 0,2$ $\mu_2 = 0,15$



Rohling
absägen

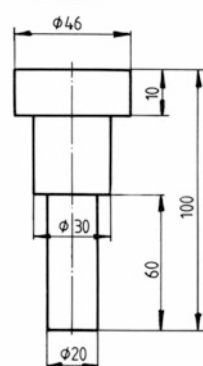


Vorwärts-
fließpressen



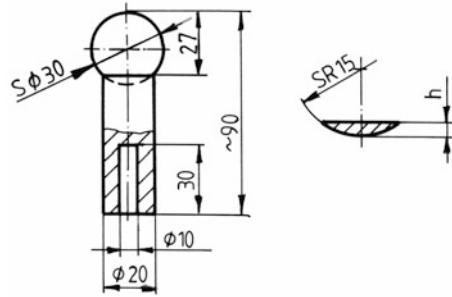
Kopf
stauchen

Fertigteil



10. Der skizzierte Kugelaufsteckgriff soll durch Umformen gefertigt werden. Der Rohlingsdurchmesser beträgt 20 mm; Werkstoff C35, Reibwert $\mu = 0,15$, maximales Stauchverhältnis 2,4, Formänderungswirkungsgrad 60 %.

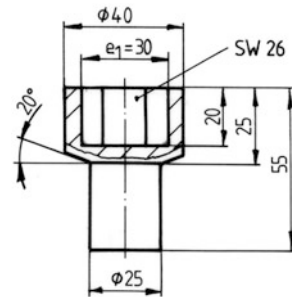
- Entwerfen Sie den Stadienplan
- Ermitteln Sie die Rohlingslänge
- Ermitteln Sie die erforderliche Umformkraft beim Fließpressen
- Wie groß ist die Umformarbeit für das Fließpressen?
- Wie groß ist die Umformarbeit für das Stauchen?



11. Die skizzierte Montagehilfe aus E 360 (St 70-2) ist durch Fließpressen herzustellen. Der Rohlingsdurchmesser wird mit $\varnothing 40$ mm gewählt. Matrizenwinkel 70° , Reibwert 0,1, Formänderungswirkungsgrad 42 %.

Ermitteln Sie:

- die Rohlingshöhe
- die Umformkräfte
- die Umformarbeit.



2.5.4 Lösungen

Lösung zu Beispiel 1

- a) Formänderungsverhältnis

$$\varphi_h = \ln \frac{A_0}{A_1} = \ln \frac{30^2 \cdot \pi \cdot 4}{4 \cdot 15^2 \cdot \pi} = 1,386 \hat{=} 139 \%$$

- b) Spezifische Formänderungsarbeit

$$\text{bei } \varphi_h = 139 \% \Rightarrow a = \underline{\underline{280 \text{ Nmm/mm}^3}}$$

aus Fließkurve (Anhang 4.1.2), AlMgSi:

$$\Rightarrow a = 280 \text{ Nmm/mm}^3$$

- c) Mittlere Formänderungsfestigkeit

$$k_{\text{fm}} = \frac{a}{\varphi_h} = \frac{280}{1,39} = \underline{\underline{201 \text{ N/mm}^2}}$$

- d) Gesamtumformkraft

$$F_{\text{ges}} = F_{\text{id}} + F_{\text{R1}} + F_{\text{R2}} + F_{\text{Sch}}$$

Ideelle Umformkraft

$$F_{id} = A_0 \cdot k_{fm} \cdot \varphi_h = \frac{30^2 \cdot \pi}{4} \cdot 201 \cdot 1,39 = \underline{\underline{197489 \text{ N}}}$$

Kraft zur Überwindung der Reibung an der Matrizenöffnung

$$F_{R1} = F_{id} \cdot \frac{\mu}{\cos \alpha \cdot \sin \alpha} = 197389 \cdot \frac{0,1}{\cos 40^\circ \cdot \sin 40^\circ} = \underline{\underline{40107 \text{ N}}}$$

Kraft zur Überwindung der Reibung am zylindrischen Teil der Matrice

Ermittlung der Reiblänge:

Das umgeformte Volumen errechnet sich aus einem Zylinder und einem Kegelstumpf.

Volumen des Rohlings

$$V_R = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot h = \frac{30^2 \cdot \pi}{4} \cdot 26 = 18378 \text{ mm}^3$$

Umzuformendes Volumen

$$h = \frac{D_0 - d_1}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{30 - 15}{2 \cdot \tan 40^\circ} = 8,94 \text{ mm}$$

$$V_{Umf} = V_{Zyl} + V_{Kegelst}$$

$$V_{Zyl} = \frac{d_1^2 \cdot \pi}{4} \cdot h_1 = \frac{15^2 \cdot \pi}{4} \cdot 50 = 8831,25 \text{ mm}^3$$

$$V_{Kegelst} = \frac{\pi \cdot h}{12} (D_0^2 + d_1^2 + D_0 \cdot d_1) = \frac{\pi \cdot 8,94}{12} (30^2 + 15^2 + 30 \cdot 15) = 3684,40 \text{ mm}^3$$

$$V_{Umf} = 8831,25 + 3684,4 = 12515,65 \text{ mm}^3$$

Querschnittsfläche des Rohlings

$$A_0 = \frac{30^2 \cdot \pi}{4} = 706,88 \text{ mm}^2$$

Reiblänge an der Matrizenwand

$$V_l = V_R - V_{Umf} = 18378 - 12515,65 = 5862 \text{ mm}^3$$

$$l_1 = \frac{V_l}{A_0} = \frac{5862}{706,88} = 8,29 \text{ mm}$$

Reibkraft am Stempel und Matrice

$$F_{R2} = D_0 \cdot \pi \cdot l_1 \cdot \mu \cdot k_{f0} = 30 \cdot \pi \cdot 8,29 \cdot 0,1 \cdot 130 = \underline{\underline{10152 \text{ N}}}$$

aus Fließkurve AlMgSi:

$$\varphi_h = 139 \% \Rightarrow$$

$$k_{f0} = 130 \text{ N/mm}^2$$

Schubkräfte in der Umformzone

$$F_{Sch} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\hat{a}}{\varphi_h} \cdot F_{id} = \frac{2}{3} \cdot \frac{0,698}{1,39} \cdot 197389 = \underline{\underline{66080 \text{ N}}}$$

$$\hat{\alpha} = 0,01745 \cdot \alpha^\circ$$

$$= 0,01745 \cdot 40^\circ = 0,698$$

Gesamtumformkraft

$$F_{ges} = F_{id} + F_{R1} + F_{R2} + F_{Sch} = 197389 + 40076 + 10152 + 66080 = 313697 \text{ N} = \underline{\underline{313,7 \text{ kN}}}$$

e) Formänderungswirkungsgrad Vollkörper

$$\eta_F = \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{\hat{a}}{\varphi_h} + \frac{\mu}{\cos \alpha \cdot \sin \alpha} + \frac{4 \cdot l \cdot \mu \cdot k_{f0}}{d \cdot \varphi_h \cdot k_{fm}}}$$

$$\eta_F = \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{0,698}{1,39} + \frac{0,1}{\cos \alpha \cdot \sin 40^\circ} + \frac{4 \cdot 8,28 \cdot 0,1 \cdot 130}{30 \cdot 1,39 \cdot 201}} = 0,63 \hat{=} \underline{\underline{63 \%}}$$

f) Formänderungsarbeit

$$W = \frac{V_{umf} \cdot k_{fm} \cdot \varphi_h}{\eta_F}$$

$$W = V_1 \cdot \frac{a}{\eta_F} = 12515,65 \cdot \frac{280}{0,63} = 5562511 \text{ Nmm} \approx \underline{\underline{5,56 \text{ kNm}}}$$

Lösung zu Beispiel 2 (grafische Lösung)

aus Anhang 4.1.5, Diagramm 1

Feld 1

bei Stempel $\varnothing 30 \text{ mm}$ und Fertigteil- $\varnothing 15 \text{ mm}$ ergibt sich eine Querschnittsänderung $\Rightarrow \varepsilon = 75 \%$

Feld 2

bei C10E (Ck10) ergibt sich ein Stempeldruck (eine bezogene Stempelkraft) von $\Rightarrow F = 1300 \text{ N/mm}^2$

Feld 3

bei einem Verhältnis $\frac{h_0}{d_0} = \frac{26}{30} = 0,87$ und einem Öffnungswinkel $2\alpha = 2 \cdot 40^\circ = 80^\circ$ ergibt

sich ein maximaler Stempeldruck (eine max. bezogene Stempelkraft) von $\Rightarrow F = 1500 \text{ N/mm}^2$

Feld 4

bei $F = 1500 \text{ N/mm}^2$ und einem Stempel $\varnothing 30 \text{ mm}$ erhält man $\Rightarrow F_{\max} = \underline{\underline{1000 \text{ kN}}}$

Lösung zu Beispiel 3

a) Gesamtumformkraft

aus Fließkurve AlMgSi:

$$\varphi_h = \ln \frac{A_0}{A_1} = \ln \frac{15^2}{10^2} = 0,81 \hat{=} \underline{\underline{81 \%}}$$

$$\varphi_h = 0,81 \Rightarrow a = 140 \text{ Nmm/mm}^3$$

$$k_{fm} = \frac{a}{\varphi} = \frac{140}{0,81} = 173 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{\text{ges}} = F_{\text{id}} + F_{\text{R1}} + F_{\text{R2}} + F_{\text{sch}}$$

Ideelle Umformkraft

$$F_{id} = A_0 \cdot k_{fm} \cdot \varphi_h = \frac{15^2 \cdot \pi}{4} \cdot 173 \cdot 0,81 = 24750 \text{ N}$$

Reibkraft am Stempel und Matrize

$$F_{R1} = F_{id} \cdot \frac{\mu}{\cos \alpha \cdot \sin \alpha} = 24750 \cdot \frac{0,2}{\cos 30^\circ \cdot \sin 30^\circ} = 11432 \text{ N}$$

Reibkraft an der Wandung

$$F_{R2} = \pi \cdot d_0 \cdot l \cdot \mu \cdot k_{f0} = \pi \cdot 15 \cdot 8 \cdot 0,2 \cdot 130 = 9797 \text{ N} \quad \hat{a} = 0,01745 \cdot 30^\circ = 0,524$$

Schubkraft

$$F_{Sch} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\hat{a}}{\varphi_h} \cdot F_{id} = \frac{2}{3} \cdot \frac{0,524}{0,81} \cdot 24750 = 10664 \text{ N}$$

$$F_{ges} = 24750 + 11432 + 9797 + 10664 = \underline{\underline{56643 \text{ N}}}$$

b) Umformarbeit

$$W = V_1 \cdot \frac{a}{\eta_F}$$

Formänderungswirkungsgrad

$$\eta_F = \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{\hat{a}}{\varphi_h} + \frac{\mu}{\cos \alpha \cdot \sin \alpha} + \frac{4 \cdot l \cdot \mu \cdot k_{f0}}{d \cdot \varphi_h \cdot k_{fm}}} = \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{0,524}{0,81} + \frac{0,2}{\cos 30^\circ \cdot \sin 30^\circ} + \frac{4 \cdot 8 \cdot 0,2 \cdot 130}{15 \cdot 0,81 \cdot 173}} = 0,43 \hat{=} 43 \%$$

$$W = \frac{15^2 \cdot \pi}{4} \cdot 40 \cdot \frac{140}{0,43} = 2300233 \text{ Nmm} \approx \underline{\underline{2,3 \text{ kNm}}}$$

Lösung zu Beispiel 4

a) Gesamtumformarbeit

$$F_{ges} = F_{id} + F_{R1} + F_{R2} + F_{Sch}$$

Umformverhältnis

$$\varphi_h = \ln \frac{A_0}{A_1} = \ln \frac{D_0^2 - d_0^2}{D_1^2 - d_1^2} = \ln \frac{38^2 - 20^2}{25^2 - 20^2} = \ln 4,64 = 1,53 \hat{=} \underline{\underline{153 \%}}$$

spezifische Formänderungsarbeit aus Fließkurve C10E (Ck10)

bei $\varphi_h = 153 \%$ $\Rightarrow a = 900 \text{ Nmm/mm}^3$

$$k_{fm} = \frac{a}{\varphi_h} = \frac{900}{1,53} = 588 \text{ N/mm}^2$$

Ideelle Umformkraft

$$F_{id} = A_0 \cdot k_{fm} \cdot \varphi_h = \frac{\pi}{4} \cdot (D_0^2 - d_0^2) \cdot k_{fm} \cdot \varphi_{fm} = \frac{\pi}{4} \cdot (38^2 - 20^2) \cdot 588 \cdot 1,53 = 737665 \text{ N}$$

Reibkraft am Stempel und Matrice

$$F_{R1} = F_{id} \cdot \frac{\mu}{\cos \alpha \cdot \sin \alpha} = 737665 \cdot \frac{0,1}{\cos 60^\circ \cdot \sin 60^\circ} = 170356 \text{ N} \quad \text{aus Diag. C10E (Ck10):} \\ \Rightarrow k_{f0} = 280 \text{ N/mm}^2$$

Reibkraft an der Wandung

$$F_{R2} = \pi \cdot D_0 \cdot l \cdot k_{f0} \cdot \mu = \pi \cdot 38 \cdot 16,3 \cdot 280 \cdot 0,1 = 54485,3 \text{ N}$$

Berechnung der Reiblänge von l_1 (entsprechend Aufgabe 1)

$$V = V_{Rohl} - V_{Zyl} - V_{Kegelst} = 32782 - 17671,4 - 1786 = 13324,6 \text{ mm}^3$$

Reiblänge

$$L = \frac{V}{\frac{(D^2 - d^2) \cdot \pi}{4}} = \frac{13324,6}{820} = \underline{\underline{16,2 \text{ mm}}}$$

Schubkraft

$$F_{sch} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\hat{\alpha}}{\varphi_h} \cdot F_{id} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1,05}{1,53} \cdot 737291 = 252269 \text{ N} \quad \hat{a} = 0,01745 \cdot 60^\circ = 1,05$$

Gesamtumformkraft

$$F_{ges} = 737291 + 170270 + 54485,3 + 252269 = 1214315 \text{ N} \approx \underline{\underline{1214 \text{ kN}}}$$

b) Umformarbeit

$$W = \frac{V_1 \cdot k_{fm} \cdot \varphi_h}{\eta_F}; \quad V_1 \cdot \frac{\alpha}{\eta_F}; \quad V_1 = \frac{(D^2 - d^2) \cdot \pi}{4} \cdot h - V$$

$$V_1 = \frac{(38^2 - 20^2) \cdot \pi}{4} \cdot 40 - 13324,6 = 19473,6 \text{ mm}^3$$

Formänderungswirkungsgrad

$$\eta_F = \frac{1}{1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\hat{a}}{\varphi_h} + \frac{\mu}{\cos \alpha \cdot \sin \alpha} + \frac{4 \cdot l \cdot \mu \cdot k_{f0}}{d \cdot \varphi_h \cdot k_{fm}}} \\ = \frac{1}{1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{1,05}{1,53} + \frac{0,1}{\cos 60^\circ \cdot \sin 60^\circ} + \frac{4 \cdot 18,2 \cdot 0,1 \cdot 280}{38 \cdot 1,53 \cdot 588}} = 0,612 \hat{=} \underline{\underline{61,2 \%}}$$

Gesamtumformarbeit

$$W = \frac{V_1 \cdot k_{fm} \cdot \varphi_h}{\eta_F} = \frac{19473,6 \cdot 588 \cdot 1,53}{0,612} = 28626192 \text{ Nmm} \approx \underline{\underline{29 \text{ kNm}}}$$

oder

$$W = V_1 \cdot \frac{a}{\eta_F} = 19473,6 \cdot \frac{900}{0,612} = 28637647 \text{ Nmm} \approx \underline{\underline{29 \text{ kNm}}} \quad a = 900 \text{ Nmm/mm}^3$$

Lösung zu Beispiel 5

a) Umformkraft

$$F_{\text{ges}} = F_{\text{id}} + F_{\text{R1}} + F_{\text{R2}} + F_{\text{Sch}}$$

$$F_{\text{id}} = A_0 \cdot k_{\text{fm}} \cdot \varphi$$

$$\varphi = \ln \frac{A_0}{A_1} = \ln \frac{60^2}{35^2} = 1,08 \hat{=} \underline{\underline{108 \%}}$$

spezifische Formänderungsarbeit aus Fließkurve E 360 (St 70-2):

$$\Rightarrow a = 790 \text{ Nmm/mm}^3 \Rightarrow k_{\text{f0}} = 510 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{\text{fm}} = \frac{a}{\varphi_{\text{h}}} = \frac{790}{1,08} = 731 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{\text{id}} = \frac{60^2 \cdot \pi}{4} \cdot 731 \cdot 1,08 = 2232202 \text{ N}$$

$$F_{\text{R1}} = F_{\text{id}} \cdot \frac{\mu}{\cos \alpha \cdot \sin \alpha} = 2232202 \cdot \frac{0,1}{\cos 50^\circ \cdot \sin 50^\circ} = 455551 \text{ N}$$

$$F_{\text{R2}} = \pi \cdot d_0 \cdot l \cdot \mu \cdot k_{\text{f0}} = \pi \cdot 60 \cdot 60 \cdot 0,1 \cdot 510 = 576504 \text{ N}$$

$$F_{\text{Sch}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\hat{a}}{\varphi_{\text{h}}} \cdot F_{\text{id}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{0,873}{1,08} \cdot 2231070 = 1202909 \text{ N} \quad \hat{\alpha} = 0,01745 \cdot 50^\circ = 0,873$$

$$F_{\text{ges}} = 2232202 + 455551 + 576504 + 1202909 = 4467166 \text{ N} = \underline{\underline{4467 \text{ kN}}}$$

b) Druckspannung (Festigkeit) des Fließpressteils

$$p_{\text{vorh}} = \frac{F}{A} = \frac{4467166 \cdot 4}{60^2 \cdot \pi} = \underline{\underline{1580 \text{ N/mm}^2}}$$

$$p_{\text{max}} > p_{\text{vorh}}$$

2100 N/mm² > 1579 N/mm², d. h. das Stangenmaterial kann umgeformt werden!

Lösung zu Beispiel 6

a) Gesamtumformkraft

$$F_{\text{ges}} = F_1 + F_2$$

Stauchkraft in axialer Richtung

Stauchkraft in radialer Richtung

$$F_1 = A \cdot k_{\text{f1}} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot \frac{d}{h_0} \right)$$

$$F_2 = A \cdot k_{\text{f2}} \cdot \left(1 + \frac{h_0}{s} \right) \cdot \left(0,25 + \frac{\mu}{2} \right)$$

Formänderungsverhältnis bei axialer Stauchung

$$\varphi_1 = \ln \frac{h_0}{h_1} = \ln \frac{22,7}{7} = 1,18 \hat{=} 118 \%$$

Formänderungsverhältnis bei radialer Stauchung

$$\varphi_2 = \ln \frac{h_0}{h_1} \cdot \left(1 + \frac{d_1}{8 \cdot s} \right) = \ln \frac{22,7}{7} \cdot \left(1 + \frac{26}{8 \cdot 7} \right) = 1,72 \hat{=} 172 \%$$

Formänderungsfestigkeit aus Fließkurve C10E (Ck10):

$$\Rightarrow k_{f1} = 650 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow k_{f2} = 720 \text{ N/mm}^2$$

somit

$$F_1 = \frac{26^2 \cdot \pi}{4} \cdot 650 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0,1 \cdot \frac{26}{22,7} \right) = 358098 \text{ N}$$

$$F_2 = \frac{26^2 \cdot \pi}{4} \cdot 720 \cdot \left(1 + \frac{22,7}{7} \right) \cdot \left(0,25 + \frac{0,1}{2} \right) = 486327 \text{ N}$$

$$F_{\text{ges}} = F_1 + F_2 = 844,4 \text{ kN}$$

b) Umformdruck für axiale Stauchung

$$p_1 = k_{f1} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \frac{d_0}{h_0} \right) = 650 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0,1 \cdot \frac{26}{22,7} \right) = \underline{\underline{675 \text{ N/mm}^2}}$$

c) Umformdruck für radiale Stauchung

$$p_2 = k_{f2} \cdot \left(1 + \frac{h_0}{s} \right) \cdot \left(0,25 + \frac{\mu}{2} \right) = 720 \cdot \left(1 + \frac{22,7}{7} \right) \cdot \left(0,25 + \frac{0,1}{2} \right) = \underline{\underline{916,5 \text{ N/mm}^2}}$$

d) Umformarbeit

$$W = V \cdot (p_1 + p_2)$$

oder

$$W = F(h_0 - h_b)$$

$$V = A \cdot (h_0 - h_1) = \frac{26^2 \cdot \pi}{4} \cdot (22,7 - 7) = 8331,362 \text{ mm}^3$$

$$W = 8331,4 \cdot (675 + 916,5) = 13259423 \text{ Nmm} = \underline{\underline{13,26 \text{ kNm}}}$$

oder

$$W = 844,4 \cdot (22,7 - 7) = \underline{\underline{13,25 \text{ kNm}}}$$

Lösung zu Beispiel 7

a) Rohlingshöhe

$$V_{\text{Zyl}} = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot h = \frac{25^2 \cdot \pi}{4} \cdot 45 = 22089 \text{ mm}^3$$

$$h_0 = \frac{V \cdot 4}{d^2 \cdot \pi} = \frac{13613 \cdot 4}{20^2 \cdot \pi} = \underline{\underline{43,33 \text{ mm}}}$$

$$V_{\text{Keg}} = \frac{\pi \cdot h}{12} (D^2 + d^2 + D \cdot d) = \frac{\pi \cdot 35}{12} (20^2 + 15^2 + 20 \cdot 15) = 8475,7 \text{ mm}^3$$

$$V = V_{\text{Zyl}} - V_{\text{Keg}} = 22089 - 8476 = 13613 \text{ mm}^3$$

b) Stauchkraft

$$F = A_1 \cdot k_{f1} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot \frac{d_1}{h_1} \right)$$

Rohlingslänge

$$h_1 = \frac{V \cdot 4}{d^2 \cdot \pi} = \frac{13613 \cdot 4}{25^2 \cdot \pi} = \underline{\underline{27,7 \text{ mm}}}$$

aus Diagramm CuZn40:

$$\Rightarrow k_{f1} = 210 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow k_{f2} = 530 \text{ N/mm}^2$$

$$\varphi = \ln \frac{h_0}{h_1} = \ln \frac{43,3}{27,7} = 0,446 \hat{=} 45\%$$

$$F = \frac{25^2 \cdot \pi}{4} \cdot 530 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0,1 \cdot \frac{25}{27,7} \right) = 267990 \text{ N} \approx 268 \text{ kN}$$

c) Umformkraft

Formänderungsverhältnis bei axialer und radialer Stauchung

$$\varphi_1 = \ln \frac{h_0}{h_1} = \ln \frac{27,7}{10} = 1,02 \hat{=} \underline{\underline{102\%}}$$

$$d_1 = d_m = \frac{D_1 + d}{2} = \frac{20 + 15}{2} = 17,5 \text{ mm}$$

$$\varphi_2 = \ln \frac{h_0}{h_1} \cdot \left(1 + \frac{d_1}{8 \cdot s} \right) =$$

$$s_m = \frac{D^2 - d_m^2}{2} = \frac{25^2 - 17,5^2}{2} = 3,75 \text{ mm}$$

$$= \ln \frac{27,7}{10} \cdot \left(1 + \frac{17,5}{8 \cdot 3,75} \right) \hat{=} 1,61 \hat{=} \underline{\underline{161\%}}$$

Umformdruck für axiale Stauchung

aus Diagramm CuZn40:

$$\Rightarrow k_{f1} = 710 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow k_{f2} = 800 \text{ N/mm}^2$$

$$p_1 = k_{f1} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot \frac{d_1}{h_0} \right) = 710 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0,1 \cdot \frac{17,5}{27,7} \right) = \underline{\underline{725 \text{ N/mm}^2}}$$

Umformdruck für radiale Stauchung

$$p_2 = k_{f2} \cdot \left(1 + \frac{h_0}{s} \right) \cdot \left(0,25 + \frac{\mu}{2} \right) = 800 \cdot \left(1 + \frac{22,7}{3,75} \right) \cdot \left(0,25 + \frac{0,1}{2} \right) = 1692 \text{ N/mm}^2$$

Umformkraft

$$F = A \cdot (p_1 + p_2) = \frac{17,5^2 \cdot \pi}{4} \cdot (725 + 1692) = 581357 \text{ N} \approx \underline{\underline{581,4 \text{ kN}}}$$

d) Umformarbeit

$$W = V(p_1 + p_2)$$

$$V = A_1 \cdot (h_0 - h_1) = \frac{25^2 \cdot \pi}{4} \cdot (27,7 - 10) = 8688 \text{ mm}^3$$

$$W = 8688 \cdot (725 + 1692) = 209988968 \text{ Nmm} = \underline{\underline{21 \text{ kNm}}}$$

Lösung zu Beispiel 8

Anhang 4.1.5, Diagramm 2

aus **Feld 1** bei:

$$A_0 = (d_0^2 - d_2^2) \cdot \frac{\pi}{4} = (95^2 - 78^2) \cdot \frac{\pi}{4} = 2308,69 \text{ mm}^2$$

$$A_1 = (d_1^2 - d_2^2) \cdot \frac{\pi}{4} = (86^2 - 78^2) \cdot \frac{\pi}{4} = 1029,92 \text{ mm}^2$$

⇒ aus **Feld 2** ergibt sich die bezogene Querschnittsänderung:⇒ $\varepsilon_a = 56 \%$ mit einem bezogenen Stempeldruck (Stempelkraft) von $p = \underline{\underline{1000 \text{ N/mm}^2}}$ aus **Feld 3** ergibt sich der Umformdruck:

$$\frac{h_0}{d_0} = \frac{55}{95} = 0,58$$

$$2 \cdot \alpha = 2 \cdot 60^\circ = 120^\circ$$

$$\Rightarrow p = \underline{\underline{1300 \text{ N/mm}^2}}$$

aus **Feld 4** ergibt sich die Umformkraft:

$$\Rightarrow F \approx \underline{\underline{2600 \text{ kN}}}$$

Lösung zu Beispiel 9

a) Rohlingsabmessungen

Gesamtvolumen des Fertigteils

$$V_{\text{Kopf}} = 46^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 18 = 29899 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{Schaft}_{30}} = 30^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 30 = 21195 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{Zapfen}_{20}} = 20^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 52 = 16328 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{ges}} = \underline{\underline{67422 \text{ mm}^3}}$$

Rohlingsdurchmesser (aus Stauchverhältnis ermittelt)

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_K}{\pi \cdot s}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 29899}{\pi \cdot 1,5}} = 29,39 \text{ mm}$$

gewählt ⇒ $d_0 = \underline{\underline{30 \text{ mm}}}$

Rohlingslänge

$$L = \frac{V_{\text{ges}}}{A_0} = \frac{67422 \cdot 4}{30^2 \cdot \pi} = 95,43 \text{ mm gewählt}$$

gewählt ⇒ $L = \underline{\underline{96 \text{ mm}}}$

Rohlingslänge für den Kopfteil

$$h_0 = \frac{V_{\text{Kopf}}}{A_0} = \frac{29899 \cdot 4}{30^2 \cdot \pi} = \underline{\underline{42,32 \text{ mm}}}$$

b) Gesamtumformkraft beim Vorwärtsfließpressen

$$F_{\text{ges}} = F_{\text{id}} + F_{\text{R1}} + F_{\text{R2}} + F_{\text{Sch}}$$

$$\varphi = \ln \frac{A_0}{A_1} = \ln \frac{30^2}{20^2} = \ln 2,25 = 0,81 \triangleq \underline{\underline{81\%}}$$

aus Fließkurve C15E (Ck15):

bei $\varphi = 81\%$

$$\Rightarrow a = 380 \text{ Nmm/mm}^2$$

$$\Rightarrow k_{\text{f0}} = 200 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{\text{fm}} = \frac{a}{\varphi_{\text{h}}} = \frac{380}{0,81} = 469 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{\text{id}} = A_0 \cdot k_{\text{fm}} \cdot \varphi_{\text{h}} = \frac{30^2 \cdot \pi}{4} \cdot 469 \cdot 0,81 = 268392 \text{ N}$$

$$F_{\text{R1}} = F_{\text{id}} \cdot \frac{\mu}{\cos \alpha \cdot \sin \alpha} = 268392 \cdot \frac{0,2}{\cos 50^\circ \cdot \sin 50^\circ} = 109236 \text{ N}$$

$$\text{Reiblänge } l = L - l_1 = 96 - 52 = 44 \text{ mm}$$

$$l_1 = 100 - (30 + 18) = 52 \text{ mm}$$

$$F_{\text{R2}} = \pi \cdot D_0 \cdot l \cdot \mu \cdot k_{\text{f0}} = \pi \cdot 30 \cdot 44 \cdot 0,2 \cdot 200 = 165792 \text{ N} \quad \hat{\alpha} = 0,01745 \cdot 50^\circ = 0,873$$

$$F_{\text{Sch}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\hat{\alpha}}{\varphi_{\text{h}}} \cdot F_{\text{id}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{0,87}{0,81} \cdot 268392 = 192182 \text{ N}$$

$$F_{\text{ges}} = 268392 + 109236 + 165792 + 192182 = \underline{\underline{735602 \text{ N}}}$$

Umformarbeit

$$W = \frac{V_1 \cdot k_{\text{fm}} \cdot \varphi_{\text{h}}}{\eta_{\text{F}}}$$

Formänderungswirkungsgrad

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{\hat{\alpha}}{\varphi_{\text{h}}} + \frac{\mu}{\cos \alpha \cdot \sin \alpha} + \frac{4 \cdot l \cdot \mu \cdot k_{\text{f0}}}{d \cdot \varphi_{\text{h}} \cdot k_{\text{fm}}}}$$

$$= \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{50^\circ}{0,81} + \frac{0,2}{\cos 50^\circ \cdot \sin 50^\circ} + \frac{4 \cdot 44 \cdot 0,2 \cdot 200}{30 \cdot 0,81 \cdot 469}} = 0,36 \triangleq 36\%$$

$$W = \frac{20^2 \cdot \pi \cdot 52 \cdot 469 \cdot 0,81}{4 \cdot 0,36} = 17230122 \text{ Nmm} \approx \underline{\underline{17,23 \text{ kNm}}}$$

c) Stauchkraft

$$F = A_1 \cdot k_{\text{f1}} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot \frac{d_1}{h_1} \right)$$

$$\varphi_{\text{h}} = \ln \frac{h_0}{h_1} = \ln \frac{42,32}{18} = 0,85 \triangleq 85\%$$

Kontrolle des Stauchverhältnisses

$$s_{\text{vorh}} = \frac{h_0}{d_0} = \frac{42,32}{30} = \underline{\underline{1,41}}$$

$$s_{\text{vorh}} < s_{\text{zul}}$$

$1,41 < 1,5$, d. h. Fertigung ist möglich!

$$F = \frac{46^2 \cdot \pi}{4} \cdot 670 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0,15 \cdot \frac{46}{18}\right) = \underline{\underline{125759 \text{ N}}}$$

aus Fließkurve C15E (Ck15):

$$\Rightarrow k_{f1} = 670 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow a = 410 \text{ Nmm/mm}^3$$

Staucharbeit

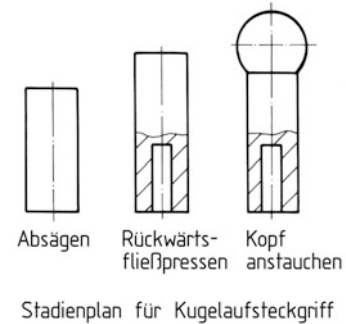
$$W = \frac{V_K \cdot k_{f1} \cdot \varphi_h}{\eta_F}$$

$$k_{f1} = \frac{a}{\varphi_h} = \frac{410}{0,81} = 506 \text{ N/mm}^2$$

$$W = \frac{29899 \cdot 410}{0,7} = 17512271 \text{ Nmm} \approx \underline{\underline{17,5 \text{ kNm}}}$$

Lösung zu Beispiel 10

a) Stadienplan



I. **Vorwärtsfließpressen** (Außensechskant)

b) Rohlingslänge

$$V_{\text{Kopf}} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 - \pi \cdot h^2 \cdot \left(r - \frac{h}{3}\right) = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot 15^3 - \pi \cdot 3^2 \cdot \left(15 - \frac{3}{3}\right) = 13734 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{Schaft}} = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot h - \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot h = \frac{20^2 \cdot \pi}{4} \cdot 63 - \frac{10^2 \cdot \pi}{4} \cdot 30 = 17427 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{ges}} = \underline{\underline{31161 \text{ mm}^3}}$$

$$L = \frac{V_{\text{ges}} \cdot 4}{D^2 \cdot \pi} = \frac{31161 \cdot 4}{20^2 \cdot \pi} = 99,24 \text{ mm} \text{ gewählt} \Rightarrow L = \underline{\underline{100 \text{ mm}}}$$

Rohlingslänge des Kugelkopfes

$$h_{0K} = \frac{V_K}{A_0} = \frac{13734 \cdot 4}{20^2 \cdot \pi} = \underline{\underline{43,74 \text{ mm}}}$$

Kontrolle des Stauchverhältnisses

$$s = \frac{h_0}{d_0} = \frac{43,74}{20} = \underline{\underline{2,19}}$$

zulässig $s = 2,4 > 2,2$

$s_{\text{vorh}} < s_{\text{zul}}$

$2,19 < 2,4$, d. h. eine Operation erforderlich!

- c) Umformkraft beim **Rückwärtsfließpressen** (axiale Richtung):

$$F = A_1 \cdot k_{f1} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot \frac{d_1}{h_1} \right)$$

Formänderungsverhältnis (axiale Richtung):

$$\varphi_1 = \ln \frac{h_0}{h_1} = \ln \frac{100}{70} = 0,36 \triangleq \underline{\underline{36 \%}}$$

Umformkraft (axiale Richtung)

$$F_1 = \frac{10^2 \cdot \pi}{4} \cdot 760 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0,15 \cdot \frac{10}{100} \right) = 59958,3 \text{ N}$$

aus Fließkurve C35:

$$\Rightarrow k_{f0} = 480 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow k_{f1} = 760 \text{ N/mm}^2$$

Umformkraft beim Rückwärtsfließpressen (radiale Richtung):

$$F_2 = A_1 \cdot k_{f2} \cdot \left(1 + \frac{h_1}{s} \right) \cdot \left(0,25 + \frac{h}{2} \right)$$

Formänderungsverhältnis (radiale Richtung):

$$\varphi_2 = \ln \left[\frac{h_0}{h_1} \cdot \left(1 + \frac{d_1}{8 \cdot s} \right) \right] = \ln \left[\frac{100}{70} \cdot \left(1 + \frac{10}{8 \cdot 5} \right) \right] = 0,58 \triangleq 58 \%$$

aus Fließkurve C35:

$$\Rightarrow k_{f2} = 830 \text{ N/mm}^2$$

$$F_2 = \frac{10^2 \cdot \pi}{4} \cdot 830 \cdot \left(1 + \frac{100}{5} \right) \cdot \left(0,25 + \frac{0,15}{2} \right) = 444683 \text{ N}$$

Gesamtumformkraft

$$F_{\text{ges}} = F_1 + F_2 = 59958 + 444683 = 504641 \text{ N} \approx \underline{\underline{504,6 \text{ kN}}}$$

- d) Umformarbeit beim Fließpressen

$$W = V \cdot (p_1 + p_2)$$

axialer Stauchdruck

$$p_1 = k_{f1} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot \frac{d}{h_1} \right) = 760 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0,15 \cdot \frac{10}{100} \right) = 763,8 \text{ N/mm}^2 \approx 764 \text{ N/mm}^2$$

radialer Stauchdruck

$$p_2 = k_{f2} \cdot \left(1 + \frac{h_1}{s} \right) \cdot \left(0,25 + \frac{\mu}{2} \right) = 830 \cdot \left(1 + \frac{100}{5} \right) \cdot \left(0,25 + \frac{0,15}{2} \right) = 5665 \text{ N/mm}^2$$

$$W = (20^2 - 10^2) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 30 \cdot (764 + 5665) = 49402330 \text{ Nmm} \approx \underline{\underline{49,4 \text{ kNm}}}$$

- e) Stauchkraft

$$F = A_1 \cdot k_f \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot \frac{d_1}{h_1} \right)$$

$$\varphi = \ln \frac{h_{0K}}{h_1} = \ln \frac{43,74}{27} = 0,48 \triangleq \underline{\underline{48 \%}}$$

aus Diagramm C35:

$$\Rightarrow k_{f1} = 800 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow a = 350 \text{ Nmm/mm}^3$$

$$F = \frac{30^2 \cdot \pi}{4} \cdot 800 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0,15 \cdot \frac{30}{27} \right) = \underline{\underline{599112 \text{ N}}}$$

f) Staucharbeit

$$W = \frac{V_k \cdot a}{\eta_F} = \frac{13734 \cdot 350}{0,6} = 8011500 \text{ Nmm} \approx \underline{\underline{8 \text{ kNm}}}$$

Lösung zu Beispiel 11

a) Höhe des Rohlings

Volumen des Fertigteils = Volumen des Rohlings

$$V_0 = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_1 = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot h = \frac{25^2 \cdot \pi}{4} \cdot 30 = 14726 \text{ mm}^3$$

$$h' = \frac{40 - 25}{2} = 7,5 \text{ mm}$$

$$h = \tan 20^\circ \cdot 7,5 = 2,73 \text{ mm}$$

$$V_2 = \frac{\pi \cdot h}{12} (D^2 + d^2 + D \cdot d) = \frac{\pi \cdot 2,73}{12} (40^2 + 25^2 + 40 \cdot 25) = 2305 \text{ mm}^3$$

Sechskant

$$e = 1,155 \cdot SW = 1,155 \cdot 26 = 30 \text{ mm} \hat{=} D$$

$$A = 0,649 \cdot D^2 = 0,649 \cdot 30^2 = 584 \text{ mm}^2$$

$$V_3 = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot h_1 - A \cdot h = \frac{40^2 \cdot \pi}{4} \cdot 22,71 - 584 \cdot 20 = 27985 - 11680 = 16305 \text{ mm}^3$$

$$V_0 = 14726 + 2305 + 16305 = 33336 \text{ mm}^3$$

$$h_0 = \frac{V_0 \cdot 4}{d^2 \cdot \pi} = \frac{33336 \cdot 4}{40^2 \cdot \pi} = \underline{\underline{26,5 \text{ mm}}}$$

b) Umformkraft beim Vorwärtsfließpressen

$$F_{\text{ges}} = F_{\text{id}} + F_{\text{R1}} + F_{\text{R2}} + F_{\text{Sch}}$$

$$F_{\text{id}} = A_0 \cdot k_{\text{fm}} \cdot \varphi_h$$

$$\varphi_h = \ln \frac{A_0}{A_1} = \ln \frac{40^2 \cdot \pi \cdot 4}{4 \cdot 25^2 \cdot \pi} = 0,94 \hat{=} 94 \%$$

$$k_{\text{fm}} = \frac{a}{\varphi_h} = \frac{740}{0,94} = 787 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{\text{id}} = \frac{40^2 \cdot \pi}{4} \cdot 787 \cdot 0,94 =$$

$$= 929164 \text{ N} \approx 929,2 \text{ kN}$$

aus Diagramm E 360 (St 70-2):

$$\Rightarrow a = 740 \text{ Nmm/mm}^3$$

$$\Rightarrow k_{\text{f0}} = 520 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{\text{R1}} = F_{\text{id}} \cdot \frac{\mu}{\cos \alpha \cdot \sin \alpha} = 929,2 \cdot \frac{0,1}{\cos 70^\circ \cdot \sin 70^\circ} = 289,2 \text{ kN}$$

$$F_{\text{R2}} = \pi \cdot D_0 \cdot l \cdot \mu \cdot k_{\text{f0}} = \pi \cdot 40 \cdot 25 \cdot 0,1 \cdot 520 = 163,3 \text{ kN}$$

$$F_{\text{Sch}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\bar{a}}{\varphi_h} \cdot F_{\text{id}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{1,22}{0,94} \cdot 929,2 \text{ kN} = 805,3 \text{ kN}$$

$$F_{\text{ges}} = 929,2 + 289,2 + 163,3 + 805,3 \approx \underline{\underline{2187 \text{ kN}}}$$

c) Umformarbeit

$$V_{\text{umf}} = V_1 + V_2$$

$$V_1 = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot h = \frac{25^2 \cdot \pi}{4} \cdot 30 = 14726 \text{ mm}^3$$

$$d \triangleq SW = 26 \text{ mm}$$

$$e = 1,115 SW$$

$$V_2 = \frac{\pi \cdot h}{12} (D^2 + d^2 + D \cdot d) = \frac{\pi \cdot 2,73}{12} (40^2 + 25^2 + 40 \cdot 25) = 2305 \text{ mm}^3$$

$$= 1,155 \cdot 26 = 30 \text{ mm}$$

$$h' \triangleq s = \frac{40 - 30}{2} = 5 \text{ mm}$$

$$V_{\text{umf}} = 14726 + 2305 = 17031 \text{ mm}^3$$

$$W = \frac{V_1 \cdot k_{\text{fm}} \cdot \varphi_h}{\eta_F} = V_1 \cdot \frac{a}{\eta_F}$$

$$W = \frac{17031 \cdot 787}{0,42} = 319121850 \text{ Nmm} \approx \underline{\underline{31,9 \text{ kNm}}}$$

II. Rückwärtsfließpressen (Innensechskant)

a) Rohlingshöhe

$$h_0 = \frac{(V_0 - V_1) \cdot 4}{d_0^2 \cdot \pi} = \frac{(33336 - 17030) \cdot 4}{40^2 \cdot \pi} = 12,975 \approx \underline{\underline{13 \text{ mm}}}$$

b) Umformkraft

Formänderungsverhältnis (axialer Richtung)

$$\varphi_1 = \ln \frac{h_0}{h_1} = \ln \frac{13}{5} = 0,96 \triangleq \underline{\underline{96 \%}}$$

$$d_1 = \frac{e + SW}{2} = \frac{30 + 26}{2} = 28 \text{ mm}$$

Formänderungsverhältnis (radialer Richtung)

$$\varphi_2 = \ln \left[\frac{h_0}{h_1} \cdot \left(1 + \frac{d_1}{8 \cdot s} \right) \right] = \ln \left[\frac{13}{5} \cdot \left(1 + \frac{28}{8 \cdot 5} \right) \right] = 1,49 \triangleq \underline{\underline{149 \%}}$$

Umformdruck (axial)

$$p_1 = k_{f1} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot \frac{d}{h_0} \right) = 960 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0,1 \cdot \frac{26}{13} \right) = \underline{\underline{1027 \text{ N/mm}^2}}$$

aus Diagramm E 360:

$$\Rightarrow k_{f1} = 960 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow k_{f2} = 1100 \text{ N/mm}^2$$

Umformdruck (radial)

$$p_2 = k_{f2} \cdot \left(1 + \frac{h_0}{s} \right) \cdot \left(0,25 + \frac{\mu}{2} \right) = 1100 \cdot \left(1 + \frac{13}{6} \right) \cdot \left(0,25 + \frac{0,1}{2} \right) = 1045 \text{ N/mm}^2$$

Sechskant:

$$A = 0,649 \cdot D^2 = 0,649 \cdot 30 = 584 \text{ mm}^2$$

$$F = A_{\text{St}}(p_1 + p_2) = 584 (1027 + 1045) = 1210048 \text{ N} \approx \underline{\underline{1210 \text{ kN}}}$$

c) Umformarbeit

$$V = 0,649 \cdot D^2 \cdot h = 0,649 \cdot 30 \cdot 20 = 11682 \text{ mm}^3$$

$$W = V_2 \cdot (p_1 + p_2) = 11682 \cdot (1027 + 1045) = 24205104 \text{ Nmm} \approx \underline{\underline{24,2 \text{ kNm}}}$$

2.6 Prägen

2.6.1 Verwendete Formelzeichen

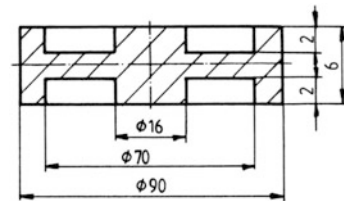
A	[mm ²]	Projektionsfläche des Prägeteils
A_p	[mm ²]	Stempelfläche
F	[N]	Prägekraft
h	[mm]	Stempelweg
h'	[mm]	Verbleibende Dicke nach dem Prägen
h_0	[mm]	Rohlingsdicke
k_w	[N/mm ²]	Formänderungswiderstand
s	[mm]	Wandungsdicke, Gravurtiefe
V_G	[mm ³]	Volumen der Gravur
W	[Nm]	Prägearbeit
x		Verfahrensfaktor ($x = 0,5$)

2.6.2 Auswahl verwendeter Formeln

Prägekraft $F = k_w \cdot A$	Stempelweg $h = \frac{V_G}{A_p}$	Prägearbeit $W = F \cdot h \cdot x$
Volumen der Gravur $V_G = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot s \cdot 2$	Projektionsfläche des Prägeteils $A_p = \frac{90^2 \cdot \pi}{4}$	Rohlingsdicke $h_0 = h' + h$

2.6.3 Berechnungsbeispiele

1. Eine Stahlscheibe aus DC03 (RRSt13) soll entsprechend der Skizze geprägt werden. Berechnen Sie:
 - a) die Prägekraft
 - b) die Prägearbeit
 - c) die Rohlingsdicke.

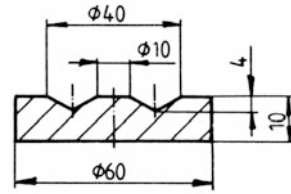


Scheibe

2. Eine Gravur soll massiv geprägt werden (s. Skizze).
Als Werkstoff wird Al 99 gewählt, der Formänderungswiderstand beträgt 100 N/mm^2 .

Berechnen Sie:

- die Prägekraft
- die Prägearbeit, wenn der Verfahrensfaktor $x = 0,5$ beträgt.



Profilstück

2.6.4 Lösungen

Lösung zu Beispiel 1

- a) maximale Prägekraft

aus Anhang 4.1.6:

$$\text{DC03 (RRSt 13)} \Rightarrow k_w = 1200 \text{ N/mm}^2$$

$$F = k_w \cdot A = 1200 \cdot \frac{90^2 \cdot \pi}{4} = 7634070 \text{ N} \approx \underline{\underline{7634 \text{ kN}}}$$

- b) Prägearbeit

$$W = F \cdot h \cdot x$$

$$V_G = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot s \cdot 2 = \frac{\pi}{4} \cdot (70^2 - 16^2) \cdot 2 \cdot 2 = 14590 \text{ mm}^3$$

$$A_p = \frac{90^2 \cdot \pi}{4} = 6361,7 \text{ mm}^2$$

$$h = \frac{V_G}{A_p} = \frac{14590}{6358,5} = 2,3 \text{ mm}$$

$$W = 7630 \cdot 2,3 \cdot 0,5 = 8775 \text{ kNmm} \approx \underline{\underline{8,8 \text{ kNm}}}$$

- c) Rohlingsdicke

$$h_0 = h' + h$$

$$h' = 6 - 2 \cdot 2 = 2 \text{ mm}$$

$$h_0 = 2 + 2,3 = \underline{\underline{4,3 \text{ mm}}}$$

Lösung zu Beispiel 2

- a) Prägekraft

k_w aus Anhang 4.1.6:

$$\Rightarrow k_w = 100 \text{ N/mm}^2$$

$$F = k_w \cdot A = 100 \cdot \frac{60^2 \cdot \pi}{4} = 282743 \text{ N} = \underline{\underline{282,7 \text{ kN}}}$$

- b) Prägearbeit

$$W = F \cdot h \cdot x$$

geprägtes (verdrängtes) Volumen

$$V_G = \frac{g \cdot h}{2} \cdot d_m \cdot \pi = \frac{15 \cdot 4}{2} \cdot 25 \cdot \pi = 2355 \text{ mm}^3$$

Prägefläche

$$A_p = \frac{60^2 \cdot \pi}{4} = 2826 \text{ mm}^2$$

$$h = \frac{V_G}{A_p} = \frac{2355}{2826} = 0,833 \text{ mm}$$

$$W = 282,6 \cdot 0,833 \cdot 0,5 = 11770 \text{ kN mm} \approx \underline{\underline{11,77 \text{ Nm}}}$$

2.7 Durchziehen

2.7.1 Verwendete Formelzeichen

α	[°]	Ziehwinkel
η_F	[%]	Formänderungswirkungsgrad
η_M	[%]	Maschinenwirkungsgrad
μ		Reibwert
φ_{grenz}	[%]	Grenzumformgrad
φ_n	[%]	Umformgrad bei den Zügen 1 bis „n“
φ_{zug}	[%]	Formänderungsgrad pro Zug
A_0	[mm ²]	Ausgangsquerschnitt
A_1	[mm ²]	Drahtquerschnitt beim 1. Zug
A_n	[mm ²]	Drahtquerschnitt nach dem n-ten Zug
d_0	[mm]	Ausgangsdurchmesser
d_1	[mm]	Durchmesser nach dem 1. Zug
d_2	[mm]	Durchmesser nach dem 2. Zug
F_2	[N]	Umformkraft (radiale Stauchung)
F_{Z1}	[N]	Ziehkraft beim 1. Zug
k_{fm}	[N/mm ²]	mittlere Formänderungsfestigkeit
P_a	[kW]	Antriebsleistung/Ziehleistung
Q	[%]	Gesamtquerschnittsabnahme
q	[%]	prozentuale Querschnittsabnahme nach dem 1. und 2. Zug
s	[mm]	Blechdicke
v_1	[m/s]	Ziehgeschwindigkeit beim 1. Zug
v_n	[m/s]	Ziehgeschwindigkeit beim n-ten Zug
v_0	[m/s]	Ziehgeschwindigkeit
z		Anzahl der Züge

2.7.2 Auswahl verwendeter Formeln

Formänderungs- verhältnis	Formänderungsgrad pro Zug	Durchmesser nach den 1. Zug und 2. Zug	
$\varphi = \ln \frac{A_0}{A_1}$	$\varphi_{\text{Zug}} = \frac{\varphi}{z}$	$d_1 = \frac{d_0}{e^{0,5 \cdot \varphi_{\text{Zug}}}}$	$d_2 = \frac{d_1}{e^{0,5 \cdot \varphi_{\text{Zug}}}}$
Ziehkraft $F_Z =$	Formänderungsfestigkeit $k_{\text{fm}} \cdot \varphi = a$	mittlere Antriebsleistung $P_a = \frac{F_Z \cdot v}{\eta_M}$	
$A_1 \cdot k_{\text{fm}} \cdot \varphi_n \left(\frac{\mu}{\alpha} + \frac{2}{3} \cdot \frac{\bar{\alpha}}{\varphi_n} + 1 \right)$			
Ziehgeschwindigkeit beim 1. Zug	Gesamtquerschnitts- abnahme	Anzahl der Züge	Zieh- leistung
$v_1 = \frac{v_n \cdot A_n}{A_1}$	$Q = \frac{A_0 - A_n}{A_0} \cdot 100$	$z = \frac{\varphi}{\varphi_{\text{Zug}}}$	$P_{a1} = \frac{A_1 \cdot a \cdot v_1}{\eta_F \cdot \eta_M}$
optimaler Ziehwinkel	Grenzumformgrad		
$\hat{a} = \sqrt{\frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \varphi}$	$\varphi_{\text{Grenz}} = \left(\sqrt{\frac{2}{3} \cdot \mu + 1} - \sqrt{\frac{2}{3} \cdot \mu} \right)^2$	oder $\varphi_{\text{Grenz}} = \frac{1 - \frac{2 \cdot \bar{\alpha}}{3}}{1 + \frac{\mu}{\bar{\alpha}}}$	

2.7.3 Berechnungsbeispiele

1. Stangenmaterial aus AlMgSi mit dem Ausgangsdurchmesser von 20 mm soll in einem Mehrfachzug auf einen Fertigdurchmesser von 9 mm gezogen werden. Durch Nasszug wird ein Reibwert $\mu = 0,03$ erreicht. Es steht eine Ziehmaschine mit 10 Stufen zur Verfügung. Der Ziehring hat einen Einlaufwinkel von $\alpha = 16^\circ$, Zugabstufung zwischen 2 Zügen $\varphi_{\text{zug}} = 20\% - 25\%$, Gesamtformänderung (Mehrfachzug) $\varphi_{\text{ges}} = 200\%$, Maschinenwirkungsgrad 80 %, Ziehgeschwindigkeit 25 m/s.

Ermitteln Sie:

- a) den Gesamtformänderungsgrad
 - b) die Formänderung pro Zug bei 10 Stufen
 - c) die Zwischendurchmesser vom 1. – 10. Zug
 - d) die Ziehkraft für die Züge 1 – 10
 - e) die jeweils erforderliche Antriebsleistung, wenn keine Festigkeitsveränderung des Werkstoffs durch das Ziehen unterstellt wird.
2. Stahldraht aus C35E (Ck35) soll von 2,15 mm Einlaufdurchmesser auf 1,2 mm Durchmesser fertiggezogen werden. Die Einzelquerschnittsabnahme soll je Zug 22 % betragen.

Ziehgeschwindigkeit 20 m/s,
 Maschinenwirkungsgrad 75 %,
 Formänderungswirkungsgrad 0,6.

Ermitteln Sie:

- die Gesamtquerschnittsabnahme
 - den Gesamtformänderungsgrad
 - die Anzahl der Züge bei einem φ_{Zug} von 25 %
 - den Durchmesser pro Zug
 - die Querschnitte nach jedem Zug
 - die additive Querschnittsabnahme je Zugfolge in %
 - die Ziehgeschwindigkeit für jeden Zug
 - die Ziehleistung.
3. Ein kreisförmig profilierter Vollstrang von 7,54 mm Durchmesser wird durch Ziehen auf 6,18 mm verändert.
 Ermitteln Sie den günstigsten Ziehwinkel der Düse, wenn der Reibwert $\mu = 0,03$ beträgt.
4. Berechnen Sie den Grenzumformgrad für den Reibwert $\mu = 0,15$.
 Die Zieh Düse besteht aus Stahl, der Reibwerkstoff aus Al, der Ziehwinkel beträgt 12° .

2.7.4 Lösungen

Lösung zu Beispiel 1

- a) Gesamtformänderungsgrad

$$\varphi = \ln \frac{A_0}{A_E} = \ln \frac{20^2}{9^2} = 1,597 \hat{=} \underline{\underline{160 \%}}$$

- b) Formänderungsgrad pro Zug

$$\varphi_{\text{Zug}} = \frac{\varphi}{Z} = \frac{1,6}{10} = 0,16 \hat{=} \underline{\underline{16 \%}}$$

- c) Formänderung bei 10 Stufen:

$$\varphi_{10} = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \dots$$

Zwischendurchmesser:

Durchmesser nach dem 1. Zug

$$d_1 = \frac{d_0}{e^{0,5\varphi_{\text{Zug}}}} = \frac{20}{e^{0,5 \cdot 0,16}} = \underline{\underline{18,46 \text{ mm}}}$$

Durchmesser nach dem 2. Zug

$$d_2 = \frac{d_1}{e^{0,5\varphi_{\text{Zug}}}} = \frac{18,46}{e^{0,5 \cdot 0,16}} = \underline{\underline{17,04 \text{ mm}}}$$

Eulersche Zahl:

$$e = 2,718$$

d) Ziehkraft für den 1. Zug

$$\hat{\alpha} = 0,01745 \cdot 8^\circ = 0,1396$$

$$F_Z = A_1 \cdot k_{\text{fm}} \cdot \varphi_n \cdot \left(\frac{\mu}{\hat{\alpha}} + \frac{2}{3} \cdot \frac{\hat{\alpha}}{\varphi_n} + 1 \right) = \frac{18,46^2 \cdot \pi}{4} \cdot 25 \cdot \left(\frac{0,03}{\hat{8}^\circ} + \frac{2}{3} \cdot \frac{0,1396}{0,16} + 1 \right)$$

$$= 267,5 \cdot 25 \cdot \left(\frac{0,03}{0,1396} + \frac{2}{3} \cdot \frac{0,1396}{0,16} + 1 \right) = 267,5 \cdot 25 \cdot 1,797 = 12017 \text{ N} \approx \underline{\underline{12,02 \text{ kN}}}$$

$$k_{\text{fm}} \cdot \varphi = a$$

aus Diagramm für AlMgSi

$$\Rightarrow \text{bei } \varphi_1 = 16 \% \Rightarrow a = 25 \text{ Nmm/mm}^3$$

$$\Rightarrow \text{bei } \varphi_2 = 32 \% \Rightarrow a = 40 \text{ Nmm/mm}^3$$

$$\Rightarrow \text{bei } \varphi_3 = 48 \% \Rightarrow a = 70 \text{ Nmm/mm}^3 \text{ usw.}$$

e) Antriebsleistung

$$P_a = \frac{F_Z \cdot v}{\eta_M}$$

$$v_1 \cdot A_1 = v_n \cdot A_n$$

Ziehgeschwindigkeit beim 1. Zug

$$v_1 = 25 \cdot \frac{9^2 \cdot \pi}{4} \cdot \frac{4}{\pi \cdot 18,46^2} = 5,94 \text{ m/s}$$

Ziehgeschwindigkeit beim 2. Zug

$$v_2 = 25 \cdot \frac{9^2 \cdot \pi}{\pi \cdot 17,04} = 6,97 \text{ m/s usw.}$$

Antriebsleistung beim 1. Zug

$$P_a = \frac{12000 \cdot 5,94}{0,8} = \underline{\underline{89,1 \text{ kW}}}$$

Hinweis: Die weiteren Lösungen siehe Anhang 4.1.7.

Die theoretischen Maschinenantriebsleistungen sind in der Praxis nicht realisierbar!

Folge: Um die Umformarbeiten ausführen zu können, muss der Werkstoff nach jeder Ziehstufe zwischengeglüht werden!**Lösung zu Beispiel 2**

a) Gesamtquerschnittsabnahme

$$Q = \frac{A_0 - A_n}{A_0} \cdot 100 = \frac{2,15^2 - 1,2^2}{2,15^2} \cdot 100 = \underline{\underline{68,6 \%}}$$

b) Gesamtformänderungsgrad

$$\varphi = \ln \frac{A_0}{A_1} = \ln \frac{2,15^2}{1,2^2} = 1,17 \hat{=} \underline{\underline{117 \%}}$$

c) Anzahl der Züge

$$z = \frac{\varphi}{\varphi_{\text{Zug}}} = \frac{1,17}{0,25} = 4,68 \text{ Züge} \Rightarrow 5 \text{ Züge} \Rightarrow \varphi_{\text{proZug}} = 0,234 \hat{=} \underline{\underline{23,4 \%}}$$

d) + e) Durchmesser und Querschnitte nach jedem Zug

$$d_1 = \frac{d_0}{e^{0,5\varphi_{\text{Zug}}}} = \frac{2,15}{2,718^{0,5 \cdot 0,234}} = 1,91 \text{ mm} \Rightarrow A_1 = 2,87 \text{ mm}^2 \Rightarrow q_1 = 21,0 \%$$

$$d_2 = \frac{d_1}{e^{0,5\varphi_{\text{Zug}}}} = \frac{1,91}{2,718^{0,5 \cdot 0,234}} = 1,7 \text{ mm} \Rightarrow A_2 = 2,27 \text{ mm}^2 \Rightarrow q_2 = 37,5 \%$$

$$d_3 = \frac{d_1}{e^{0,5\varphi_{\text{Zug}}}} = \frac{1,7}{2,718^{0,5 \cdot 0,234}} = 1,51 \text{ mm} \Rightarrow A_3 = 1,79 \text{ mm}^2 \Rightarrow q_3 = 50,77 \%$$

$$d_4 = \frac{d_1}{e^{0,5\varphi_{\text{Zug}}}} = \frac{1,51}{2,718^{0,5 \cdot 0,234}} = 1,34 \text{ mm} \Rightarrow A_4 = 1,42 \text{ mm}^2 \Rightarrow q_4 = 61,1 \%$$

$$d_5 = \frac{d_1}{e^{0,5\varphi_{\text{Zug}}}} = \frac{1,34}{2,718^{0,5 \cdot 0,234}} = 1,2 \text{ mm} \Rightarrow A_5 = 1,12 \text{ mm}^2 \Rightarrow q_5 = 68,8 \%$$

f) Additive Querschnittsabnahme je Zug

$$q_1 = \frac{A_0 - A_1}{A_0} = \frac{2,15^2 - 1,91^2}{2,15^2} \cdot 100 = \underline{\underline{21 \%}}$$

g) Ziehgeschwindigkeit beim 1. - 5. Zug

$$v_1 = \frac{v_n \cdot A_n}{A_1} = \frac{20 \cdot 1,12}{2,87} = \underline{\underline{7,8 \text{ m/s}}}$$

$$v_1 = 7,8 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 9,9 \text{ m/s}$$

$$v_3 = 12,5 \text{ m/s}$$

$$v_4 = 15,8 \text{ m/s}$$

$$v_5 = 20,0 \text{ m/s}$$

h) Ziehleistung beim 1. - 5. Zug

$$P_{a1} = \frac{A_1 \cdot a \cdot v_1}{\eta_F \cdot \eta_M} = \frac{2,87 \cdot 160 \cdot 7,8}{0,8 \cdot 0,75} = \underline{\underline{7,96 \text{ kW}}}$$

aus Diagramm C35:

$$\varphi_1 = 23,4 \% \Rightarrow a = 160 \text{ Nmm/mm}^3 \Rightarrow P_{a1} = 7,96 \text{ kW} \text{ beim 1. Zug}$$

$$\varphi_2 = 46,8 \% \Rightarrow a = 350 \text{ Nmm/mm}^3 \Rightarrow P_{a2} = 17,48 \text{ kW} \text{ beim 2. Zug}$$

$$\varphi_3 = 70,2 \% \Rightarrow a = 540 \text{ Nmm/mm}^3 \Rightarrow P_{a3} = 26,35 \text{ kW} \text{ beim 3. Zug}$$

$$\varphi_4 = 93,6 \% \Rightarrow a = 720 \text{ Nmm/mm}^3 \Rightarrow P_{a4} = 33,90 \text{ kW} \text{ beim 4. Zug}$$

$$\varphi_5 = 117 \% \Rightarrow a = 910 \text{ Nmm/mm}^3 \Rightarrow P_{a5} = 44,80 \text{ kW} \text{ beim 5. Zug}$$

Lösung zu Beispiel 3

Ziehwinkel

$$\hat{\alpha} = \sqrt{\frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \varphi}$$

$$\varphi = \ln \frac{A_0}{A_1} = \ln \frac{7,54^2}{6,18^2} = 0,398 \hat{=} \underline{\underline{39,8 \%}}$$

$$\hat{\alpha} = \sqrt{\frac{2}{3} \cdot 0,03 \cdot 0,398} = 0,0892$$

$$\hat{\alpha} = 0,01745 \cdot a^\circ$$

$$a^\circ = \frac{0,0892}{0,01745} = 5,1^\circ \Rightarrow \text{Ziehwinkel } \alpha \approx \underline{\underline{10^\circ}}$$

Lösung zu Beispiel 4

Grenzumformgrad

$$\varphi_{\text{Grenz}} = \left(\sqrt{\frac{2}{3} \cdot \mu} + 1 - \sqrt{\frac{2}{3} \cdot \mu} \right)^2 = \left(\sqrt{\frac{2}{3} \cdot 0,15} + 1 - \sqrt{\frac{2}{3} \cdot 0,15} \right)^2 = 0,537 \hat{=} \underline{\underline{54 \%}}$$

oder

$$\varphi_{\text{Grenz}} = \frac{1 - \frac{2 \cdot \hat{\alpha}}{3}}{1 + \frac{\mu}{\hat{\alpha}}} = \frac{1 - \frac{2 \cdot 12 \cdot 0,01745}{3}}{1 + \frac{0,15}{12 \cdot 0,01745}} = 0,50 \hat{=} \underline{\underline{50 \%}}$$

2.8 Abstreckziehen**2.8.1 Verwendete Formelzeichen**

η_F	[%]	Formänderungswirkungsgrad
φ	[%]	Formänderungsverhältnis
a	[Nmm/mm ³]	spezifische Formänderungsarbeit
A_0	[mm ²]	Ausgangsquerschnitt
A_1	[mm ²]	umgeformter Querschnitt
F	[N]	Gesamtumformkraft
h_x	[mm]	Stößelweg
k_{f0}	[N/mm ²]	Formänderungsfestigkeit vor dem Stauchen
k_{f1}	[N/mm ²]	Formänderungsfestigkeit am Ende des Stauchens
k_{fm}	[N/mm ²]	mittlere Formänderungsfestigkeit

n		Anzahl der erforderlichen Züge
s	[mm]	Wanddicke
W	[Nm]	Umformarbeit
x		Verfahrensfaktor

2.8.2 Auswahl verwendeter Formeln

Formänderungsverhältnis	Anzahl der Züge	Gesamtumformkraft
$\varphi = \ln \frac{A_0}{A_1} = \ln \frac{D_0^2 - d_0^2}{D_1^2 - d_1^2} = \ln \frac{s_0}{s_1}$	$n = \frac{\varphi}{\varphi_{zul}}$	$F = \frac{A_1 \cdot k_{fm} \cdot \varphi}{\eta_F}$

mittlere Formänderungsfestigkeit	kleinstmöglicher Durchmesser	Arbeit für den 1. Zug
$k_{fm} = \frac{a}{\varphi}$ oder $k_{fm} = \frac{k_{f0} + k_{f1}}{2}$	$D_1 = \sqrt{\frac{D_0^2 - d_0^2}{e^\varphi} + d_0^2}$	$W = F \cdot h_x \cdot x$

Wanddicke nach jedem Zug	Abstreckkraft		
$e^{\varphi_w} = \ln \frac{s_0}{s_1}$	$F_1 = \frac{A_1 \cdot a_1}{\eta_F}$	$F_2 = \frac{A_2 \cdot a_2}{\eta_F}$	$F_3 = \frac{A_3 \cdot a_3}{\eta_F}$

Formänderungswirkungsgrad
$\eta_F = \frac{1}{1 + \frac{\mu_R}{\hat{\alpha}} + \varphi_{zul} \cdot \frac{\mu_{St}}{2\hat{\alpha}} + \frac{\hat{\alpha}}{2\varphi_{zul}}}$

2.8.3 Berechnungsbeispiele

1. Durch Abstreckziehen soll die Wanddicke eines Napfes von 2,5 mm auf 1,6 mm reduziert werden. Der Napfennendurchmesser beträgt 100 mm. Werkstoff C35 C, Formänderungswirkungsgrad 0,6.

Berechnen Sie:

- a) das Formänderungsverhältnis
 - b) die Anzahl der erforderlichen Züge
 - c) die prozentuale Wanddickenveränderung
 - d) die Gesamtumformkraft.
2. Ein vorgeformter Napf aus CuZn37 (Ms63), mit den nachfolgend genannten Maßen, soll durch Abstreckziehen in eine Hülse umgeformt werden. Abmessungen des Napfes: Au-

ßendurchmesser 50 mm, Innendurchmesser 30 mm, Höhe 70 mm, Bodendicke 10 mm.
Formänderungswirkungsgrad 70 %.

Berechnen Sie:

- die Werkstückhöhe
 - das Formänderungsverhältnis
 - die Anzahl der Züge
 - den kleinstmöglichen Außendurchmesser beim 1. Zug, Verfahrensfaktor 0,9
 - die erforderliche Ziehkraft
 - die Umformarbeit für den 1. Zug.
3. Ein Napfrohling aus C15E (Ck15) mit dem Innendurchmesser 70 mm und der Wanddicke 0,4 mm soll durch Abstreckziehen auf eine Wanddicke von 0,16 mm reduziert werden. Der Rohling wurde nach der Formung zurückgeglüht, Öffnungswinkel des Abstreckrings 16°.

Zusätzliche Daten: Reibwert an der Abstreckmatrize $\mu = 0,1$

Reibwert am Stempel $\mu_{St} = 0,07$ (dünnwandig)

$\mu_{St} = 0,15$ (dickwandig)

Ermitteln Sie:

- die Anzahl der erforderlichen Züge
- das wirkliche Formänderungsverhältnis
- die Wanddicken nach jedem Zug
- die jeweils erforderlichen Abstreckkräfte
- den entsprechenden Formänderungswirkungsgrad.

2.8.4 Lösungen

Lösung zu Beispiel 1

- a) Formänderungsverhältnis

$$\begin{aligned}\varphi &= \ln \frac{A_0}{A_1} = \ln \frac{D_0^2 - d_0^2}{D_1^2 - d_1^2} = \\ &= \ln \frac{105^2 - 100^2}{103,2^2 - 100^2} = 0,455 \hat{=} \underline{\underline{46 \%}}\end{aligned}$$

$$D_0 = d + 2 \cdot s_1 = 100 + 2 \cdot 2,5 = 105 \text{ mm}$$

$$D_1 = d + 2 \cdot s_2 = 100 + 2 \cdot 1,6 = 103,2 \text{ mm}$$

Tabelle 1: $\varphi_{zul} = 0,45$ bei C35 C

- b) Anzahl der Züge

$$n = \frac{\varphi}{\varphi_{zul}} = \frac{0,455}{0,45} \hat{=} 1,01 \Rightarrow \underline{\underline{1 \text{ Zug}}}$$

- c) prozentuale Wanddickenveränderung

$$x = \frac{s_0 - s_1}{s_0} \cdot 100 = \frac{2,5 - 1,6}{2,5} \cdot 100 = \underline{\underline{36 \%}}$$

aus Fließkurve C 35 C:

$$\Rightarrow k_{f0} = 410 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow k_{f1} = 740 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{fm} = \frac{k_{f0} + k_{f1}}{2} = \frac{410 + 740}{2} = 575 \text{ N/mm}^2$$

d) Gesamtumformkraft

$$F = \frac{A_1 \cdot k_{\text{fm}} \cdot \varphi}{\eta_F}$$

$$F = (103,2^2 - 100^2) \cdot \frac{\pi}{4} = \frac{575 \cdot 0,455}{0,6} = 222572 \text{ N} \approx \underline{\underline{222,6 \text{ kN}}}$$

Lösung zu Beispiel 2a) Werkstückhöhe h

$$V_R = V_F$$

$$V_R = \frac{(D^2 - d^2) \cdot \pi}{4} \cdot h_1 + \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot h_2 = \frac{(50^2 - 30^2) \cdot \pi}{4} \cdot 70 + \frac{30^2 \cdot \pi}{4} \cdot 10 = 94985 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{Boden}} = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot h = \frac{40^2 \cdot \pi}{4} \cdot 10 = 12560 \text{ mm}^3$$

$$h = \frac{(V_R - V_{\text{FBoden}}) \cdot 4}{(D_1^2 - d_1^2) \cdot \pi} + 10 = \frac{(94985 - 12560) \cdot 4}{(40^2 - 28,7^2) \cdot \pi} + 10 = \underline{\underline{145,25 \text{ mm}}}$$

b) Formänderungsverhältnis

$$\varphi = \ln \frac{A_0}{A_1} = \ln \frac{D_0^2 - d_0^2}{D_1^2 - d_1^2} = \ln \frac{50^2 - 30^2}{40^2 - 28,7^2} = \ln \frac{1600}{776,31} = 0,72 \hat{=} \underline{\underline{72 \%}}$$

c) Anzahl der Züge

aus Anhang 4.1.8:

 $\Rightarrow \text{CuZn37} \Rightarrow \varphi_{\text{zul}} = 0,45$

$$n = \frac{\varphi}{\varphi_{\text{zul}}} = \frac{0,72}{0,45} = 1,6 \quad n = \underline{\underline{2 \text{ Züge}}}$$

Nach jedem Zug ist ein Weichglühen erforderlich!

d) kleinstmöglicher Durchmesser

$$D_1 = \sqrt{\frac{D_0^2 - d_0^2}{e^\varphi} + d_0^2} = \sqrt{\frac{50^2 - 30^2}{2,718^{0,45}} + 30^2} = \sqrt{\frac{1600}{1,568} + 900} = 43,82 \text{ mm} \Rightarrow D_1 = \underline{\underline{43 \text{ mm}}}$$

e) Umformkraft für den 1. Zug

Zug aus Fließkurve CuZn37:

 $\Rightarrow a = 170 \text{ Nmm/mm}^3$

$$F = \frac{A_1 \cdot k_{\text{fm}} \cdot \varphi}{\eta_F}$$

$$F = \frac{A_1 \cdot k_{\text{fm}} \cdot \varphi}{\eta_F} = (43^2 - 28,7^2) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \frac{170}{0,72} = 195409 \text{ N} \approx \underline{\underline{195,4 \text{ kN}}}$$

$$k_{\text{fm}} = \frac{a}{\varphi} = \frac{170}{0,72} = 236 \text{ Nmm/mm}^3$$

f) Umformarbeit für den 1. Zug

 $h \hat{=} h_x = 145,25 \text{ mm}$

$$W = F \cdot h_x \cdot x = 195,4 \cdot 145,25 \cdot 0,9 = 25544 \approx \underline{\underline{25,5 \text{ kNm}}}$$

Lösung zu Beispiel 3

a) Anzahl der erforderlichen Züge

$$n = \frac{\varphi}{\varphi_{\text{zul}}}$$

$$D_0 = d + 2 \cdot s = 70 + 2 \cdot 0,4 = 70,80 \text{ mm}$$

$$D_1 = d + 2 \cdot s = 70 + 2 \cdot 0,6 = 70,32 \text{ mm}$$

$$\varphi = \ln \frac{D_0^2 - d_0^2}{D_1^2 - d_1^2} = \ln \frac{70,8^2 - 70^2}{70,32^2 - 70^2} = 0,92 \hat{=} \underline{\underline{92 \%}}$$

oder

$$\varphi = \ln \frac{s_0}{s_1} = \ln \frac{0,4}{0,16} = 0,92$$

$$n = \frac{\varphi}{\varphi_{\text{zul}}} = \frac{0,92}{0,45} = \underline{\underline{2,04}} \Rightarrow n = 3 \text{ Züge} \Rightarrow \text{somit: 3 Abstreckhälften!}$$

aus Anhang 4.1.8:

$$\text{C15E(CK15)} \Rightarrow \varphi_{\text{zul}} = 0,45$$

b) tatsächliches Formänderungsverhältnis

$$\frac{\varphi_{\text{W}}}{n} = \frac{0,92}{3} = 0,31 \hat{=} \underline{\underline{31 \%}}$$

c) Wanddicke nach jedem Zug

$$e^{\varphi_{\text{W}}} = \ln \frac{s_0}{s_1} = \ln \frac{s_1}{s_2} = \ln \frac{s_n - 1}{s_n}$$

$$s_1 = \frac{s_0}{e^{\varphi_{\text{W}}}}$$

$$s_1 = \frac{0,4}{e^{0,31}} = 0,293 \text{ mm} \Rightarrow 1. \text{ Zug}$$

$$s_2 = \frac{0,293}{e^{0,31}} = 0,215 \text{ mm} \Rightarrow 2. \text{ Zug}$$

$$s_3 = \frac{0,215}{e^{0,31}} = 0,158 \text{ mm} \approx \underline{\underline{0,16 \text{ mm}}} \Rightarrow 3. \text{ Zug}$$

d) erforderliche Abstreckkräfte

Mit jedem Zug verändert sich das Formänderungsverhältnis, somit:

aus Diagramm:

$$1. \text{ Zug: } \varphi = 0,31$$

$$\varphi_1 = 31 \% \Rightarrow a_1 = 120 \text{ Nmm/mm}^3$$

$$2. \text{ Zug: } \varphi = 0,31 + 0,31 = 0,62$$

$$\varphi_2 = 62 \% \Rightarrow a_2 = 280 \text{ Nmm/mm}^3$$

$$3. \text{ Zug: } \varphi = 0,62 + 0,31 = 0,93 = \varphi = 93 \%$$

$$\varphi_3 = 93 \% \Rightarrow a_3 = 450 \text{ Nmm/mm}^3$$

$$F_1 = \frac{A_1 \cdot a_1}{\eta_F} = \frac{(70,586^2 - 70^2) \cdot \pi}{4} \cdot \frac{120}{0,5} = 15521 \text{ N}$$

$$d_1 = d + 2 \cdot s_1 = 70 + 2 \cdot 0,293 = 70,586 \text{ mm}$$

$$F_2 = \frac{A_2 \cdot a_2}{\eta_F} = \frac{(70,43^2 - 70^2) \cdot \pi}{4} \cdot \frac{280}{0,50} = 26545 \text{ N}$$

$$d_2 = d + 2 \cdot s_1 = 70 + 2 \cdot 0,215 = 70,43 \text{ mm}$$

$$F_3 = \frac{A_3 \cdot a_3}{\eta_F} = \frac{(70,32^2 - 70^2) \cdot \pi}{4} \cdot \frac{450}{0,50} = 31723 \text{ N}$$

$$d_3 = d + 2 \cdot s_1 = 70 + 2 \cdot 0,16 = 70,32 \text{ mm}$$

e) Formänderungswirkungsgrad beim 1. bis 3. Zug

$$\eta_{F1} = \frac{1}{1 + \frac{\mu_R}{\hat{\alpha}} + \varphi_{zul} \cdot \frac{\mu_{St}}{2\hat{\alpha}} + \frac{\hat{\alpha}}{2\varphi_{zul}}} = \frac{1}{1 + \frac{0,1}{8^\circ} + 0,31 \cdot \frac{0,07}{2 \cdot 8^\circ} + \frac{8^\circ}{2 \cdot 0,31}} =$$

$$= \frac{1}{1 + 0,716 + 0,078 + 0,225} = 0,495$$

$$\eta_{F2} = \frac{1}{1 + \frac{\mu_R}{\hat{\alpha}} + \varphi_{zul} \cdot \frac{\mu_{St}}{2\hat{\alpha}} + \frac{\hat{\alpha}}{2\varphi_{zul}}} = \frac{1}{1 + \frac{0,1}{8^\circ} + 0,62 \cdot \frac{0,07}{2 \cdot 8^\circ} + \frac{8^\circ}{2 \cdot 0,62}} =$$

$$= \frac{1}{1 + 0,716 + 0,155 + 0,113} = 0,504$$

$$\eta_{F3} = \frac{1}{1 + \frac{\mu_R}{\hat{\alpha}} + \varphi_{zul} \cdot \frac{\mu_{St}}{2\hat{\alpha}} + \frac{\hat{\alpha}}{2\varphi_{zul}}} = \frac{1}{1 + \frac{0,1}{8^\circ} + 0,93 \cdot \frac{0,07}{2 \cdot 8^\circ} + \frac{8^\circ}{2 \cdot 0,93}} =$$

$$= \frac{1}{1 + 0,716 + 0,223 + 0,075} = 0,494$$

Hinweis: Die Rechnung zeigt, dass der Formänderungswirkungsgrad für alle Züge nahezu gleich groß ist !

2.9 Tiefziehen

2.9.1 Verwendete Formelzeichen

β		Ziehverhältnis
β_{0zul}		zulässiges größtes Ziehverhältnis
β_{tat}	[-]	Größtes Ziehverhältnis
η_F	[%]	Formänderungswirkungsgrad
μ		Reibwert
a	[mm]	Länge des Napfes ohne Bodenradius
A_N	[mm ²]	Niederhalterfläche

b	[mm]	Breite des Napfes ohne Bodenradius
D	[mm]	Rondendurchmesser
d_1	[mm]	Innendurchmesser des Napfes
d_2	[mm]	Durchmesser des Napfes
d_m	[mm]	mittlerer Durchmesser
D_0	[mm]	Außendurchmesser des Flansches bei Erreichen des Ziehkraft-Maximums
d_{St}	[mm]	Stempeldurchmesser
F_B	[N]	Rückbiegekraft in der Ziehringrundung
F_{BR}	[N]	Bodenreißkraft
F_{id}	[N]	ideelle Umformkraft (ohne Reibungsverluste)
F_N	[N]	Niederhalterkraft
F_{RN}	[N]	Reibkraft zwischen Ziehring und Blechhalter
F_{RR}	[N]	Reibkraft an der Ziehringrundung
F_z	[N]	Ziehkraft
F_{zw}	[N]	Ziehkraft im Weitenschlag
h	[mm]	Höhe des Napfes = Ziehweg
h_1	[mm]	Napfhöhe nach 1. Zug
H_a	[mm]	Abwicklungslänge
H_b	[mm]	Abwicklungslänge
k		Werkstofffaktor
k_{fm}	[N/mm ²]	mittlere Formänderungsfestigkeit
l	[mm]	Länge des Teilsegments
n		Korrekturfaktor
n	[min ⁻¹]	Pressendrehzahl
p	[N/mm ²]	Niederhalterdruck
P	[kW]	Pressenleistung
q		Korrekturfaktor
q		Werkstofffaktor
R	[mm]	Konstruktionsradius
R_1	[mm]	korrigierter Konstruktionsradius
R_b	[mm]	Bodenradius
R_e	[mm]	Eckenradius
r_M	[mm]	Ziehkantenrundung
R_m	[N/mm ²]	Zugfestigkeit
r_s	[mm]	Schwerpunktradius des Teilsegments zur Rotationsachse
r_{St}	[mm]	Stempelradius
s	[mm]	Blechdicke
v	[mm/min]	Ziehgeschwindigkeit
W	[Nmm]	Zieharbeit
w	[mm]	Ziehspalt
x		Verfahrensfaktor

2.9.2 Auswahl verwendeter Formeln

zulässiges Grenzziehverhältnis

Ziehverhältnis

a) gut ziehbare Werkstoffe, z. B. DC04 b) weniger gut ziehbare Werkstoffe, z. B. DC01

$$\beta_{\text{tat}} = \frac{D}{d} \quad \beta_{\text{ges}} = \beta_{\text{tat}1} \cdot \beta_{\text{tat}2} \quad \beta_{\text{zul}} = 2,15 - \frac{d}{1000 \cdot s} \quad \beta_{\text{zul}} = 2 - \frac{1,1 \cdot d}{1000 \cdot s}$$

Napfhöhe nach dem 1. Zug

Ziehkraft für den 1. Zug
(ohne Reibung) nach **Schuler**

Ziehkraft für den 2. Zug
nach **Schuler**

$$h = \frac{D^2 - d_1^2}{4 \cdot d_1} \quad F_{Z1} = d_1 \cdot \pi \cdot s \cdot R_m \cdot n \quad F_{Z2} = \frac{F_{Z1}}{2} + d_2 \cdot \pi \cdot s \cdot R_m \cdot n$$

Bemerkung: n = Korrekturfaktor; $n = 1,2 \cdot \frac{\beta_0 - 1}{\beta_{\text{max}} - 1}$

Ziehkraft (mit Reibung) nach **Siebel** für zyl. Teile

$$F_{Z\text{max}} = \pi \cdot d_m \cdot s \cdot \left[1,1 \cdot \frac{k_{\text{fm}}}{\eta_F} \cdot \left(\ln \frac{D}{d_1} - 0,25 \right) \right] \quad k_{\text{fm}} = 1,3 \cdot R_m \quad d_m = d_1 + s$$

Ziehkraft (ohne Reibung) für rechteckige Teile nach **Siebel**

$$F_Z = \left(2 \cdot r_e \cdot \pi + \frac{4(a+b)}{2} \right) \cdot R_m \cdot s \cdot u$$

Bodenreißkraft

Zieharbeit
doppeltwirkende Presse

Niederhalterkraft

$$F_{\text{BR}} = \pi(d_1 + s) \cdot s \cdot R_m$$

$$W = F_Z \cdot x \cdot h$$

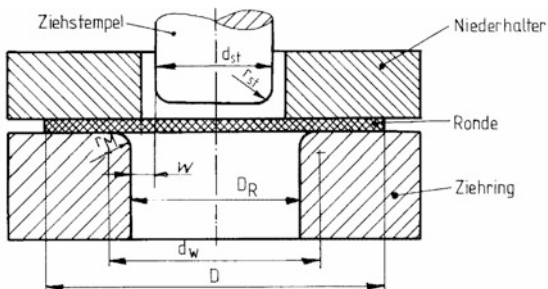
$$F_N = p \cdot A_N$$

Niederhalterdruck

Niederhalterfläche

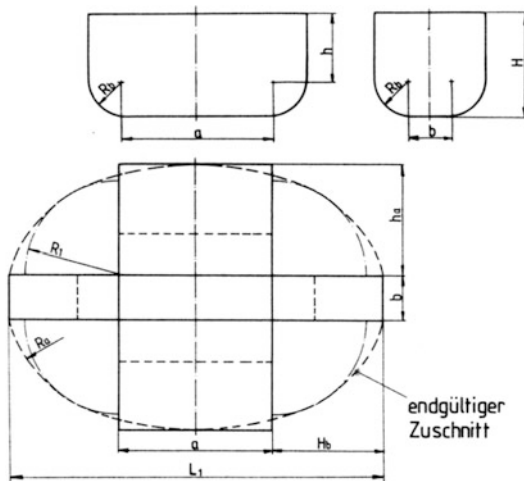
$$p = \left[(\beta_{\text{tat}} - 1)^2 + \frac{d}{200 \cdot s} \right] \cdot \frac{R_m}{400} \quad A_N = (D^2 - d_w^2) \frac{\pi}{4}$$

Konstruktionsdaten für das Ziehwerkzeug



Ziehspalt $w = s + k \cdot \sqrt{s}$	Stempelradius für zylindrische Teile $r_{st} = (4 \text{ bis } 5) \cdot s$	Ziehkantenrundung für zylindrische Teile $r_M = 0,035 \cdot [50 + (D - d)] \cdot \sqrt{s}$
wirksamer Durchmesser des Niederhalters $d_w = d + 2 \cdot w + 2 \cdot r_M$		
Gesamtumformkraft (nach Schmoeckel)	ideelle Umformkraft	
$F_Z = F_{id} + F_{RN} + F_{RR} + F_B$	$F_{id} = \pi \cdot d_m \cdot s \cdot 1,1 \cdot k_{fm} \cdot \ln \frac{D_0}{d_1} \cdot e^{\mu \cdot \frac{\pi}{2}}$	$D_0 = 0,77 \cdot D$
$k_{fm} = 1,3 R_m$		
Reibkraft zwischen Ziehring und Blechhalter	Reibkraft an der Ziehringrundung	Rückbiegekraft in der Ziehringrundung
$F_{RN} = \pi \cdot d_m \cdot 2\mu \cdot \frac{F_N}{\pi \cdot d_1} \cdot e^{\mu \cdot \frac{\pi}{2}}$	$F_{RR} = (F_{id} + F_{RN}) \cdot e^{\mu \hat{a}}$	$F_B = \pi \cdot d_m \cdot s^2 \cdot k_{fm} \cdot \frac{1}{2 \cdot r_m}$
		$k_{fm1} \approx k_{fm2}$
Ziehgeschwindigkeit	Pressendrehzahl	Pressenleistung
$v = 3272,5 \cdot \frac{\beta_{0zul}}{\beta_{tat} \cdot \sqrt{R_m}}$	$n = 62500 \cdot \frac{\beta_{0zul}}{h \cdot \beta_{tat} \cdot \sqrt{R_m}}$	$P = W \cdot \frac{n}{60}$

Ermittlung des Zuschnitts für rechtwinklige Teile



Zerlegung eines rechteckigen Hohlteils in flächengleiche Elemente

Zuschnittsermittlung für rechtwinklige Teile nach dem Klappverfahren (AWF 5791)

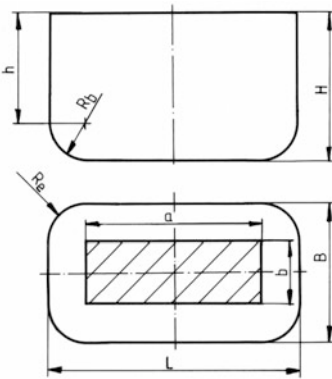
Zur Berechnung der Platinengröße prismatischer Hohlkörper wird das Klappverfahren angewandt. Bei diesem Verfahren werden die gestreckten Längen L_1 und L_2 , ($L_2 = h_a + b$) des Biegekreuzes nach den Verfahren der Biegezuschnittsberechnung (Abklappen der senkrechten

Wände einschließlich der Kantenrundungen in die Ebene) berechnet. Die vier Eckenrundungen mit den Eckenradien R_e denkt man sich zu einem zylindrischen Hohlkörper zusammengesetzt. Der Rondenndurchmesser D_0 für diesen Flächenanteil berechnet sich nach der Formel für zylindrische Ziehteile mit Halbkugelboden:

$$D_0 = \sqrt{2 \cdot d^2 + 4 \cdot d \cdot h} \quad \text{mit} \quad d = 2 \cdot R_e$$

Der Eckenscheibenradius R_1 entspricht dem Rondenradius und errechnet sich aus: $R = D_0/2$. Der endgültige Zuschnitt ergibt sich nach dem Festlegen der Übergangsrundungen von den abgeklappten Wandhöhen h_a an die Eckenscheiben mit dem Radius R .

Zuschnittsermittlung rechteckiger Teile



Konstruktionsmaße am rechteckigen Teil

Fall 1: Eckenradius gleich Bodenradius

Eckenradius	Konstruktionsradius	Korrekturfaktor	Korrigierter Konstruktionsradius
$R_e = R_b = r$	$R = 1,42 \cdot \sqrt{r \cdot h + r^2}$	$x = 0,074 \cdot \left(\frac{R}{2 \cdot r} \right)^2 + 0,982$	$R_1 = x \cdot R$
Abwicklungslänge H_a		Abwicklungslänge H_b	
$H_a = 1,57 \cdot r + h - 0,785 \cdot (x^2 - 1) \cdot \frac{R^2}{a}$		$H_b = 1,57 \cdot r + h - 0,785 \cdot (x^2 - 1) \cdot \frac{R^2}{b}$	
		$a = L - 2 \cdot R_e$	
		$b = B - 2 \cdot R_e$	
		$h = H - 2 \cdot R_b$	
		$R_e = R_b$	

Fall 2: Eckenradius ungleich Bodenradius

Eckenradius	Konstruktionsradius	Korrekturfaktor
$R_e \neq R_b$	$R = \sqrt{1,012 \cdot R_e^2 + 2 \cdot R_e \cdot (h + 0,506 \cdot R_b)}$	$x = 0,074 \cdot \left(\frac{R}{2 \cdot r} \right)^2 + 0,982$

Korrigierter Konstruktionsradius	Abwicklungslänge H_a
$R_l = x \cdot R$	$H_a = 0,57 \cdot R_b + h + R_e - 0,785 \cdot (x^2 - 1) \cdot \frac{R^2}{a}$
Abwicklungslänge H_b	
$H_b = 0,57 \cdot R_b + h + R_e - 0,785 \cdot (x^2 - 1) \cdot \frac{R^2}{b}$	
Rondendurchmesser für zyl. Teile mit kleinen Radien	Rondendurchmesser beliebiger zyl. Körper (Guldin'sche Regel)
$D = \sqrt{d_l^2 + 4 \cdot d_l \cdot h}$	$D = \sqrt{8 \cdot \sum (r_s \cdot l)}$
	r_s [mm] Schwerpunktradius
	l [mm] Länge der rotierenden Kurve

Zuschnittsermittlung für ovale und verschieden gerundete zylindrische Ziehteile

Fall 3:

In der Regel geht man hier vom zylindrischen Zuschnitt aus, soweit das Verhältnis der Halbachsen der

Ellipse $\frac{a}{b} \leq 1,3$ ist!

Eckenradius ungleich			korrigierter Konstruktionsradius
Bodenradius	Konstruktionsradius	Korrekturfaktor	radius
$\frac{a}{b} \leq 1,3$	$R = 1,42 \cdot \sqrt{R_b \cdot h + R_b^2}$	$x = 0,074 \cdot \left(\frac{R}{2 \cdot r} \right)^2 + 0,982$	$R_l = R \cdot x$
Abwicklungslänge H_a		Abwicklungslänge H_b	
$H_a = 1,57 \cdot R_b + h + R_e - 0,785 \cdot (x^2 - 1) \cdot \frac{R^2}{a}$		$H_b = 1,57 \cdot R_b + h + R_e - 0,785 \cdot (x^2 - 1) \cdot \frac{R^2}{b}$	
Eckenrundung	Zugabstufung für zylindrische Teile		
$R_a \approx R \approx \frac{a}{4} \approx \frac{b}{4}$	n -ter Zug: $d_n = \frac{d_n - 1}{\beta_1}$		

Zugabstufung für rechteckige Teile

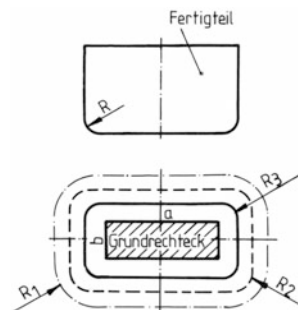
DC01 bis DC04 (St 12 bis St 14)

1. Zug: $r_1 = 1,2 \cdot q \cdot R_1$

2. Zug: $r_2 = 0,6 \cdot R_1$,

3. Zug: $r_3 = 0,6 \cdot R_2$

Korrekturfaktor $q = 0,3$

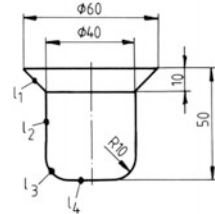


2.9.3 Berechnungsbeispiele

1. Der Zuschnittsdurchmesser der Ausgangsronde für das skizzierte Formteil ist zu ermitteln. Die Blechdicke soll vernachlässigt werden.

Ermitteln Sie:

- durch Anwendung der entsprechenden Berechnungsformel den Rondendurchmesser
- durch Anwendung der „Guldinschen Regel“ den Rondendurchmesser.

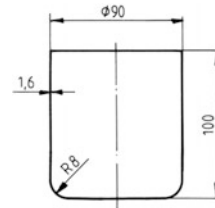


Formteil

2. Es sind Blechgehäuse – siehe Skizze – aus DC03 durch Tiefziehen zu fertigen.

Zu berechnen sind:

- der Rondendurchmesser
- das tatsächliche und das zulässige Ziehverhältnis
- die Zugabstufung
- die Napfhöhe nach dem ersten Zug.



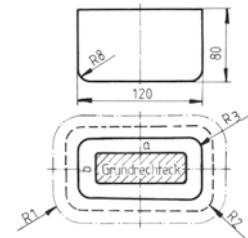
Blechgehäuse

3. Berechnen Sie für die vorhergehende Aufgabe:

- den Ziehspalt
- die Ziehkantenrundung
- die Ziehkraft nach Schuler
- die Zieharbeit bei einem Verfahrensfaktor von 0,63
- die Niederhalterkraft
- die Bodenreißkraft.

4. Für das skizzierte rechteckige Ziehteil aus 1,2 mm dickem Blech, DC03, ist die Zugabstufung und die notwendige Ziehkraft nach Schuler zu berechnen.

Breite des Fertigteils: 100 mm



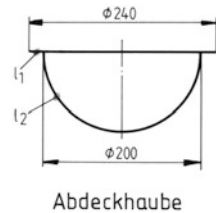
5. Auf einer doppeltwirkenden Presse – Verfahrensfaktor $x = 0,63$ – soll ein Napf aus CuZn28 gezogen werden. Der Rondendurchmesser beträgt 246 mm, Blechdicke 1,5 mm, Stempeldurchmesser 130 mm, Formänderungswirkungsgrad 0,6. Zu berechnen sind:

- das Ziehverhältnis
- die Ziehkraft nach Siebel
- die Bodenreißkraft
- die Zieharbeit
- die maximale Ziehgeschwindigkeit des Stempels
- die erforderliche Pressenleistung
- die Niederhalterkraft.

6. Die skizzierte Abdeckhaube aus DC04 soll durch Tiefziehen hergestellt werden. Die Blechdicke beträgt 1,5 mm, Formänderungswirkungsgrad 40 %.

Berechnen Sie:

- den Blechzuschnitt
- das Ziehverhältnis
- die Zugabstufung
- die Ziehkraft nach Schuler
- die Ziehkraft nach Siebel
- die Niederhalterkraft
- die Bodenreißkraft.

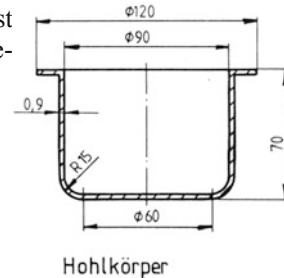


7. Unter Verwendung der Daten aus der Aufgabe 6 ist die Umformkraft nach Schmoekel zu berechnen. Reibwert $\mu = 0,3$, Zugfestigkeit 380 N/mm^2 .

8. Der skizzierte Hohlkörper mit Flansch und Bodenrundung ist durch Tiefziehen herzustellen. Werkstoff DC0261 – wärmebehandelt – Blechdicke 0,9 mm, Reibwert $\mu = 0,15$.

Zu berechnen sind:

- der Blechzuschnitt
 - nach der „Zuschnittsformel“
 - nach der „Guldinschen Regel“
- die Anzahl der Züge bei $\beta_{0\text{zul}} = 2,15$
- die Umformkraft nach Schmoekel
- die Umformkraft nach Siebel, wenn $\eta_F = 0,6$
- die Bodenreißkraft.



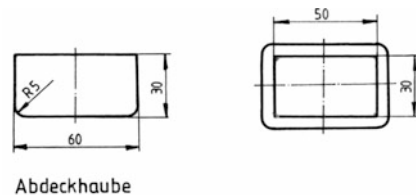
9. Unter Verwendung der Daten aus Aufgabe 8 soll berechnet werden:

- das tatsächliche Zugverhältnis
- die Ziehkraft nach Siebel
- die Bodenreißkraft bei der Fertigung des Ziehteils in zwei Zügen.

10. Die skizzierte Abdeckhaube aus Al 99,5, Blechdicke 0,4 mm, Korrekturwert $q = 0,3$, ist durch Tiefziehen herzustellen.

Berechnen Sie:

- die Zugabstufung
- die Ziehkraft nach Siebel
- die Niederhalterkraft
- die Bodenreißkraft.



2.9.4 Lösungen

Lösung zu Beispiel 1

Die Oberfläche des rotationssymmetrischen Formteils muss der Rondenfläche entsprechen.

a) Rondendurchmesser (Anhang 4.1.9) $a = \sqrt{10^2 + 10^2} = 14,142$

$$\begin{aligned} D &= \sqrt{d_1^2 + 8r^2 + 2 \cdot \pi \cdot r \cdot d_1 + 4 \cdot d_2 \cdot h + 2 \cdot a \cdot (d_2 + d_3)} \\ &= \sqrt{20^2 + 8 \cdot 10^2 + 2 \cdot \pi \cdot 10 \cdot 20 + 4 \cdot 40 \cdot 30 + 2 \cdot 14,142 \cdot (40 + 60)} \\ &= \sqrt{400 + 800 + 1257 + 4800 + 2828,4} = \underline{\underline{100,4 \text{ mm}}} \end{aligned}$$

b) Rondendurchmesser nach „Guldin'scher Regel“

$$l_1 = \sqrt{10^2 + 10^2} = 14,142 \text{ mm}$$

$$r_{s1} = 25 \text{ mm}$$

$$l_2 = 30 \text{ mm}$$

$$r_{s2} = 20 \text{ mm}$$

$$l_3 = \frac{d \cdot \pi}{4} = \frac{20 \cdot \pi}{4} = 15,7 \text{ mm}$$

$$r_{s3} = 0,64 \cdot 10 + 10 = 16,4 \text{ mm}$$

$$l_4 = 10 \text{ mm}$$

$$r_{s4} = 5 \text{ mm}$$

$$D = \sqrt{8 \cdot \Sigma \cdot (r_s \cdot l)} = \sqrt{8 \cdot (14,142 \cdot 25 + 30 \cdot 20 + 15,7 \cdot 16,4 + 10 \cdot 5)} = \underline{\underline{100,4 \text{ mm}}}$$

Lösung zu Beispiel 2

a) Rondendurchmesser

$$D = \sqrt{d^2 + 4 \cdot d \cdot h} = \sqrt{90^2 + 4 \cdot 90 \cdot 100} = \underline{\underline{210 \text{ mm}}}$$

b) tatsächliches und zulässiges Ziehverhältnis

$$\beta_{\text{tat}} = \frac{D}{d} = \frac{210}{90} = \underline{\underline{2,33}}$$

aus Anhang 4.1.10, DC03:

$$\text{bei } \frac{d}{s} = \frac{90}{1,6} = 56,23 \Rightarrow \beta_{0\text{zul}} = 2,05$$

oder zulässiges Ziehverhältnis rechnerisch ermittelt

bei gut ziehbaren Werkstoffen:

$$\beta_{0\text{zul}} = 2,15 - \frac{d}{1000 \cdot s} = 2,15 - \frac{90}{1000 \cdot 1,6} = \underline{\underline{2,09}}$$

da $\beta_{\text{tat}} > \beta_{0\text{zul}} \Rightarrow 2,33 > 2,09$ bzw. $2,05 \Rightarrow$ sind 2 Züge erforderlich!

Bemerkung: zul. Ziehverhältnisse im Weitenschlag (2. und 3. Zug) liegt bei Tiefziehblechen im Bereich von $\beta_{1\text{zul}} = 1,2$ bis $1,3$.

c) Zugabstufung (Napfdurchmesser) weitergerechnet mit kleinem $\beta_{0\text{zul}}$

1. Zug

$$d_1 = \frac{D}{\beta_{0\text{zul}}} = \frac{210}{2,05} = 102,43 \text{ mm} \Rightarrow \text{gewählt } 105 \text{ mm} \Rightarrow d_1 = \underline{\underline{105 \text{ mm}}}$$

2. Zug

$$d_2 = \frac{d_1}{\beta_{lzul}} = \frac{105}{1,3} = \underline{\underline{80,76 \text{ mm}}}$$

$$d_2 < d$$

80,76 mm < 90 mm, das Gehäuse ist also in **2 Zügen** herstellbar!

Überprüfung des Ziehverhältnis

1. Zug (Ziehverhältnis)

$$\beta_{tats1} = \frac{D}{d_1} = \frac{210}{105} = \underline{\underline{2,0}} \quad \Rightarrow \beta_{tats1} < \beta_{tats} < \beta_{zul}$$

2. Zug

$$\beta_{tats2} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{105}{90} = \underline{\underline{1,17}} \quad \Rightarrow \beta_{tats2} < \beta_{zul}$$

d) Napfhöhe nach dem 1. Zug

$$D = \sqrt{d_1^2 + 4 \cdot d_1 \cdot h}$$

$$h = \frac{D^2 - d_1^2}{4 \cdot d_1} = \frac{210^2 - 105^2}{4 \cdot 105} = \underline{\underline{78,75 \text{ mm}}}$$

Bei einer Zipfelbildung von = 1,5 mm wird die Napfhöhe nach dem 1. Zug: $h = 80,25 \text{ mm}$.

Lösung zu Beispiel 3

a) Ziehspalt nach Oehler

$$w = s + k \cdot \sqrt{s} = 1,6 + 0,07 \cdot \sqrt{1,6} = \underline{\underline{1,69 \text{ mm}}}$$

aus Anhang 4.1.10:

Stahl $\Rightarrow k = 0,07$

b) Ziehkantenrundung beim **1. Zug**

$$r_M = 0,035[50 + (D - d)] \cdot \sqrt{s} = 0,035 [50 + (210 - 105)] \cdot \sqrt{1,6} = \underline{\underline{6,86 \text{ mm}}}$$

$$\text{gewählt} \Rightarrow r_M = \underline{\underline{7 \text{ mm}}}$$

Ziehkantenrundung beim **2. Zug**

$$r_M = 0,035[50 + (D - d)] \cdot \sqrt{s} = 0,035 [50 + (105 - 90)] \cdot \sqrt{1,6} = \underline{\underline{2,87 \text{ mm}}}$$

$$\text{gewählt} \Rightarrow r_M = \underline{\underline{3 \text{ mm}}}$$

c) Ziehkraft (nach Schuler) für den **1. Zug**

$$F_{Z1} = d_1 \cdot \pi \cdot s \cdot R_m \cdot n$$

$$\begin{aligned} F_{Z1} &= 105 \cdot \pi \cdot 1,6 \cdot 400 \cdot 1,14 = \\ &= 240671 \text{ N} \approx \underline{\underline{240,5 \text{ kN}}} \\ &\approx 241 \text{ kN} \end{aligned}$$

aus Anhang 4.1.10, DC0261:

$$\Rightarrow R_m = 400 \text{ N/mm}^2$$

Korrekturfaktor

$$n = 1,2 \cdot \frac{\beta_{tats} - 1}{\beta_{0zul} - 1} = 1,2 \cdot \frac{2 - 1}{2,05 - 1} = \underline{\underline{1,14}}$$

Ziehkraft (nach Schuler) für den **2. Zug** $n = 1,2 \cdot \frac{\beta_{\text{tat}} - 1}{\beta_{0\text{zul}} - 1} = 1,2 \cdot \frac{1,17 - 1}{1,3 - 1} = \underline{\underline{0,68}}$

$$F_{Z2} = \frac{F_{Z1}}{2} + d_2 \cdot \pi \cdot s \cdot R_m \cdot n = \frac{240671}{2} + 90 \cdot \pi \cdot 1,6 \cdot 400 \cdot 0,68 = 243385 \text{ N} \approx \underline{\underline{243,4 \text{ kN}}}$$

d) Zieharbeit für den **1. Zug**

$$W = F_1 \cdot x \cdot h = 241 \cdot 0,63 \cdot 80,25 = 12184 \text{ kNmm} \approx \underline{\underline{12,2 \text{ kNm}}}$$

Verfahrensfaktor:
 $x = 0,63$ doppelwirkende Presse

e) Niederhalterkraft

1. Zug

$$p_1 = \left[(\beta_{\text{tat}} - 1)^2 + \frac{d}{200 \cdot s} \right] \cdot \frac{R_m}{400} = \left[(2,0 - 1)^2 + \frac{105}{200 \cdot 1,6} \right] \cdot \frac{400}{400} = 1,33 \text{ N/mm}^2$$

2. Zug (zur Kontrolle)

$$p_2 = \left[(\beta_{\text{tat}} - 1)^2 + \frac{d}{200 \cdot s} \right] \cdot \frac{R_m}{400} = \left[(1,17 - 1)^2 + \frac{90}{200 \cdot 1,6} \right] \cdot \frac{400}{400} = 0,31 \text{ N/mm}^2$$

wirksamer Durchmesser des Niederhalters

$$d_w = d + 2 \cdot w + 2 \cdot r_M = 105 + 2 \cdot 1,69 + 2 \cdot 7 = 122,38 \text{ mm}$$

$$A_N = (D^2 - d_w^2) \cdot \frac{\pi}{4} = (210^2 - 122,38^2) \cdot \frac{\pi}{4} = 22873,3 \text{ mm}^2$$

$$F_N = p \cdot A_N = 1,33 \cdot 22861,6 = 30421,5 \text{ N} \approx \underline{\underline{30,4 \text{ kN}}}$$

f) Bodenreißkraft

$$F_{BR} = \pi(d_1 + s) \cdot s \cdot R_m = \pi(105 + 1,6) \cdot 1,6 \cdot 400 = 214332 \text{ N} = \underline{\underline{214,3 \text{ kN}}}$$

Hinweis: Die Berechnung von F_{BR} zeigt, dass bei einer Zugkraft $F_{Z1} = 241 \text{ kN}$ der Blechgehäuseboden ausreißen würde!

Abhilfe: Fertigung in 3 Zügen oder Blech glühen!

Lösung zu Beispiel 4

Die Zuschnittsermittlung für rechteckige Zienteile erfolgt nach der AWF 5791.

Die Abmaße des Grundrechtecks ergeben sich aus:

$$\text{Länge } a = 120 - 2 \cdot 8 = 104 \text{ mm}$$

$$\text{Breite } b = 100 - 2 \cdot 8 = 84 \text{ mm}$$

Weitere Daten sind aus der Zuschnittsermittlung „korrigierter Konstruktionsradius“ $R_1 = x \cdot R$ zu entnehmen.

Gewählter Werkstofffaktor $q = 0,34$.

Die Anzahl der erforderlichen Züge ergibt sich aus den zulässigen Eckenradien.

a) Konstruktionsradius

$$R = 1,42 \cdot \sqrt{r \cdot h + r^2} = 1,42 \cdot \sqrt{8 \cdot 72 + 8^2} = 35,9 \text{ mm}$$

Korrekturfaktor:

$$x = 0,074 \cdot \left(\frac{R}{2r} \right)^2 + 0,982 = 0,074 \cdot \left(\frac{35,9}{2 \cdot 8} \right)^2 + 0,982 = 1,35$$

Korrigierter Konstruktionsradius

$$R_1 = x \cdot R = 1,35 \cdot 35,9 = 48,5 \text{ mm}$$

Eckenradius nach dem **1. Zug**

$$r_1 = 1,2 \cdot q \cdot R_1 = 1,2 \cdot 0,34 \cdot 48,5 = 19,8 \text{ mm}$$

Eckenradius nach dem **2. Zug**

$$r_2 = 0,6 \cdot r_1 = 0,6 \cdot 19,8 = 11,9 \text{ mm}$$

Eckenradius nach dem **3. Zug**

$$r_3 = 0,6 \cdot r_2 = 0,6 \cdot 11,9 = 7,14 \text{ mm}$$

Hinweis: Da der Eckenradius r_3 mit 7,14 mm < als der Fertigradius $r = 8$ mm ist, kann das Fertigteil in 3 Zügen hergestellt werden!

b) Ziehkraft (nach Schuler)

aus Anhang 4.1.10, DC03:

$$\Rightarrow R_m = 400 \text{ N/mm}^2$$

$$F_z = \left(2 \cdot r \cdot \pi + \frac{4 \cdot (a + b)}{2} \right) \cdot R_m \cdot s \cdot n$$

tatsächliches Ziehverhältnis

$$\beta = \sqrt{\frac{A_0}{A_{St}}}$$

Hinweis: Berechnung von A_0 und A_{St} , erfolgt nach AWF 5791

Abwicklungslängen

$$H_a = 1,57 \cdot r + h - 0,785 \cdot (x^2 - 1) \cdot \frac{R^2}{a} = 1,57 \cdot 8 + 80 - 0,785 \cdot (1,35^2 - 1) \cdot \frac{35,9^2}{104} = 84,56 \text{ mm}$$

$$H_b = 1,57 \cdot r + h - 0,785 \cdot (x^2 - 1) \cdot \frac{R^2}{a} = 1,57 \cdot 8 + 80 - 0,785 \cdot (1,35^2 - 1) \cdot \frac{35,9^2}{84} = 82,66 \text{ mm}$$

Zuschnittsfläche

$$A_0 \approx 2 \cdot H_a \cdot a + 2 \cdot H_b \cdot b + a \cdot b = 2 \cdot 84,56 \cdot 104 + 2 \cdot 82,66 \cdot 84 + 104 \cdot 84 = 40211,4 \text{ mm}^2 \approx 402 \text{ cm}^2$$

$$A_{St} = a \cdot b + (2 \cdot a + 2 \cdot b \cdot r + \pi \cdot r^2) = 104 \cdot 84 + 2(104 + 84) \cdot 8 + \pi \cdot 8^2 = 11945 \text{ mm}^2 \approx 119,5 \text{ cm}^2$$

aus Anhang 4.1.10, DC03:

$$\beta = 1,8 \Rightarrow n = 0,9 \Rightarrow R_m = 400 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta_{\text{tats}} = \sqrt{\frac{372,2}{119,5}} = 1,76 \approx 1,8$$

$$F_Z = [2 \cdot r \cdot \pi + 2 \cdot (a + b)] \cdot R_m \cdot s \cdot n = [2 \cdot 8 \cdot \pi + 2 \cdot (104 + 84)] \cdot 400 \cdot 1,2 \cdot 0,9 = 184144 \text{ N} \approx \underline{\underline{184,1 \text{ kN}}}$$

Lösung zu Beispiel 5

a) Ziehverhältnis

gut ziehfähige Werkstoffe, z. B. CuZn28:

$$\beta_{\text{tat}} = \frac{D}{d} = \frac{246}{130} = \underline{\underline{1,9}}$$

$$\beta_{\text{zul}} = 2,15 - \frac{d}{1000 \cdot s} = 2,15 - \frac{130}{1000 \cdot 1,5} = 2,06$$

$$\beta_{\text{tat}} < \beta_{\text{zul}}$$

1,9 < 2,06 d. h., die Napfherstellung ist in **einem Zug** möglich!

b) Ziehkraft nach Siebel

$$d_m = d + s$$

$$k_{\text{fm}} = 1,3 R_m$$

aus Anhang 4.1.10,
CuZn28:

$$\Rightarrow R_m = 300 \text{ N/mm}^2$$

$$F_Z = d_m \cdot \pi \cdot s \cdot \left[1,1 \cdot \frac{k_{\text{fm}}}{\eta_F} \cdot \left(\ln \frac{D_1}{d_1} - 0,25 \right) \right] =$$

$$= (130 + 1,5) \cdot \pi \cdot 1,5 \cdot \left[1,1 \cdot \frac{300 \cdot 1,3}{0,6} \cdot \left(\ln \frac{246}{130} - 0,25 \right) \right] =$$

$$\approx \underline{\underline{172 \text{ kN}}}$$

c) Bodenreißkraft

$$F_{\text{BR}} = \pi \cdot (d_1 + s) \cdot s \cdot R_m = \pi \cdot (130 + 1,5) \cdot 1,5 \cdot 300 = 185904 \text{ N} \approx \underline{\underline{185,9 \text{ kN}}}$$

d) Zieharbeit

Verfahrensfaktor

$$h = \frac{D^2 - d_1^2}{4 \cdot d} = \frac{246^2 - 130^2}{4 \cdot 130} = 83,9 \text{ mm}$$

$$x = 0,63$$

$$W = F_Z \cdot x \cdot h = 172 \cdot 0,63 \cdot 83,9 = 9091,4 \text{ kNmm} = \underline{\underline{9,1 \text{ kNm}}}$$

e) Ziehgeschwindigkeit

$$v = 3272,5 \cdot \frac{\beta_{0\text{zul}}}{\beta_{\text{tat}} \cdot \sqrt{R_m}} = 3272,5 \cdot \frac{2}{1,9 \cdot \sqrt{300}} = \underline{\underline{199 \text{ mm/min}}}$$

f) Leistung der Presse

$$n = 62500 \cdot \frac{\beta_{0\text{zul}}}{h \cdot \beta_{\text{tat}} \sqrt{R_m}} = 62500 \cdot \frac{2}{83,9 \cdot 1,9 \cdot \sqrt{300}} = 45 \text{ min}^{-1}$$

$$P = W \cdot \frac{n}{60} = 9091 \cdot \frac{45}{60} = 6818 \text{ W} \approx \underline{\underline{6,8 \text{ kW}}}$$

g) Niederhalterkraft

$$F_N = p \cdot A_N$$

$$p = \left[(\beta_{\text{tat}} - 1)^2 + \frac{d}{200 \cdot s} \right] \cdot \frac{R_m}{400} = \left[(1,9 - 1)^2 + \frac{130}{200 \cdot 1,5} \right] \cdot \frac{300}{400} = 0,93 \text{ N/mm}^2$$

$$w = s + k \sqrt{s} = 1,5 + 0,04 \cdot \sqrt{1,5} = 1,55 \text{ mm}$$

aus Anhang 4.1.10:

$$r_M = 0,035 \cdot [50 + (D - d)] \cdot \sqrt{s} =$$

NE-Metall $\Rightarrow k = 0,04$

$$= 0,035 \cdot [50 + (246 - 130)] \cdot \sqrt{1,5} = 7,1 \text{ mm}$$

$$d_w = d + 2 \cdot w + 2 \cdot r_M = 130 + 2 \cdot 1,55 + 2 \cdot 7,1 = 147,2 \text{ mm}$$

$$A_N = (D^2 - d_w^2) \cdot \frac{\pi}{4} = (246^2 - 147,2^2) \cdot \frac{\pi}{4} = 30511 \text{ mm}^2$$

$$F_N = p \cdot A_N = 0,93 \cdot 30511 = 28376 \text{ N} = \underline{\underline{28,4 \text{ kN}}}$$

Lösung zu Beispiel 6

a) Blechzuschnitt

nach Zuschnittsformel

$$D = \sqrt{d_1^2 + d_2^2} = \sqrt{200^2 + 240^2} = 312,4 \text{ mm} \Rightarrow \text{gewählt} \Rightarrow D = \underline{\underline{313 \text{ mm}}}$$

$$l_1 = \frac{d - 2 \cdot r}{2} = \frac{240 - 2 \cdot 100}{2} = 20 \text{ mm}$$

$$r_{s1} = \frac{d - l_1}{2} = \frac{240 - 20}{2} = 110 \text{ mm}$$

$$l_2 = \frac{r \cdot \pi}{2} = \frac{100 \cdot \pi}{2} = 157 \text{ mm}$$

$$r_{s2} = 0,64 \cdot r = 0,64 \cdot 100 = 64 \text{ mm}$$

nach Guldin'scher Regel

$$D = \sqrt{8 \cdot \Sigma(r_s \cdot l)}$$

$$D = \sqrt{8 \cdot (20 \cdot 110 + 157 \cdot 64)} = \underline{\underline{313 \text{ mm}}}$$

b) Ziehverhältnis

$$\beta_{\text{tat}} = \frac{D}{d} = \frac{313}{200} = \underline{\underline{1,57}}$$

bei gut ziehbarem Werkstoff

$$\beta_{0\text{zul}} = 2,15 - \frac{d}{1000 \cdot s} = 2,15 - \frac{200}{1000 \cdot 1,5} = \underline{\underline{2,0}}$$

c) Zugabstufung

$$\beta_{\text{tat}} < \beta_{0\text{zul}}$$

 $1,57 < 2 \Rightarrow$ Fertigung in **einem Zug** möglich!

d) Ziehkraft nach Schuler

$$\begin{aligned}
 F_Z &= d \cdot \pi \cdot s \cdot R_m \cdot n = \\
 &= 200 \cdot \pi \cdot 1,5 \cdot 380 \cdot 0,68 = \\
 &= 243536 \text{ N} \approx \underline{\underline{243,5 \text{ kN}}}
 \end{aligned}$$

aus Anhang 4.1.10:

$$\text{DC04} \Rightarrow R_m = 380 \text{ N/mm}^2$$

$$n = 1,2 \cdot \frac{\beta_{\text{tats}} - 1}{\beta_{0\text{zul}} - 1} = 1,2 \cdot \frac{1,57 - 1}{2 - 1} = 0,68$$

e) Ziehkraft nach Siebel

$$F_{\text{zmax}} = \pi \cdot d_m \cdot s \left[1,1 \cdot \frac{k_{\text{fm}}}{\eta_F} \cdot \left(\ln \frac{D}{d_1} - 0,25 \right) \right]$$

$$\begin{aligned}
 d_m &= d_1 + s \\
 k_{\text{fm}} &= 1,3 \cdot R_m
 \end{aligned}$$

$$F_{\text{zmax}} = \pi \cdot (200 + 1,5) \cdot 1,5 \cdot \left[1,1 \cdot \frac{1,3 \cdot 380}{0,4} \cdot \left(\ln \frac{313}{200} - 0,25 \right) \right] = \underline{\underline{255,3 \text{ kN}}}$$

f) Niederhalterkraft

$$\begin{aligned}
 p &= \left[(\beta_{\text{tat}} - 1)^2 + \frac{d}{200 \cdot s} \right] \cdot \frac{R_m}{400} = \left[(1,57 - 1)^2 + \frac{200}{200 \cdot 1,5} \right] \cdot \frac{380}{400} = \text{aus Anhang 4.1.10:} \\
 &= 0,94 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Stahl} \Rightarrow k = 0,07
 \end{aligned}$$

$$w = s + k \cdot \sqrt{s} = 1,5 + 0,07 \cdot \sqrt{1,5} = 1,6 \text{ mm}$$

$$r_M = 0,035 \cdot [50 + (D - d)] \cdot \sqrt{s} = 0,035 \cdot [50 + 313 - 200] \cdot \sqrt{1,5} = 6,99$$

$$\text{gewählt} \Rightarrow r_M = \underline{\underline{7 \text{ mm}}}$$

$$d_w = d + 2 \cdot w + 2 \cdot r_M = 200 + 2 \cdot 1,6 + 2 \cdot 7 = 217,2 \text{ mm}$$

$$A_N = (D^2 - d_w^2) \cdot \frac{\pi}{4} = (313^2 - 217,2^2) \cdot \frac{\pi}{4} = 39892,9 \text{ mm}^2$$

$$F_N = p \cdot A_N = 0,94 \cdot 39892,9 = \underline{\underline{37,5 \text{ kN}}}$$

g) Bodenreißkraft

$$F_{\text{BR}} = \pi \cdot (d + s) \cdot s \cdot R_m = \pi \cdot (200 + 1,5) \cdot 1,5 \cdot 380 = 360828 \text{ N} \approx \underline{\underline{360,8 \text{ kN}}}$$

$$F_Z < F_{\text{BR}}$$

255,3 kN < 360,6 kN d. h. die Haube kann in **einem Zug** gefertigt werden!

Lösung zu Beispiel 7

Die gesamte Umformkraft errechnet sich nach Schmoekel:

$$F_{\text{ges}} = F_{\text{id}} + F_{\text{RN}} + F_{\text{RR}} + F_{\text{B}}$$

$$F_{\text{id}} = \pi \cdot d_m \cdot s \cdot 1,1 \cdot k_{\text{fm}} \cdot \ln \frac{D_o}{d_1} \cdot e^{\mu \cdot \frac{\pi}{2}} = \pi \cdot (200 + 1,5)$$

$$\cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 1,3 \cdot 380 \cdot \ln \frac{0,77 \cdot 313}{200} \cdot e^{0,3 \cdot \frac{\pi}{2}} \approx \underline{\underline{154 \text{ kN}}}$$

$$e = 2,718 \text{ (Eulerzahl)}$$

$$D_o = 0,77 \cdot D$$

$$d_m = d_1 + s$$

$$k_{\text{fm}} = 1,3 \cdot R_m$$

$$\text{DC04} \Rightarrow R_m = 380 \text{ N/mm}^2$$

Reibkraft zwischen Ziehring und Blechhalter

$$k_{fm1} = k_{fm2} = 1,3 \cdot R_m$$

$$F_{RN} = \pi \cdot d_m \cdot 2\mu \cdot \frac{F_N}{\pi \cdot d_1} \cdot e^{\mu \cdot \frac{\pi}{2}} = \pi \cdot (200 + 1,5) \cdot 2 \cdot 0,3 \cdot \frac{37500}{\pi \cdot 200} \cdot e^{0,3 \cdot \frac{\pi}{2}} =$$

$$= 36315 \text{ N} \approx \underline{\underline{36,3 \text{ kN}}}$$

$$F_B = \pi \cdot d_m \cdot s^2 \cdot k_{fm} \cdot \frac{1}{2 \cdot r_M} = \pi \cdot (200 + 1,5) \cdot 1,5^2 \cdot 1,3 \cdot 380 \cdot \frac{1}{2 \cdot 7} =$$

$$= 50258 \text{ N} \approx \underline{\underline{50,2 \text{ kN}}}$$

Hinweis: Die Reibkraft F_{RR} an der Ziehringrundung ist von den Reibverhältnissen (Werkstoff, Schmierung) abhängig. Sie ist im Verhältnis zur Gesamtstempelkraft F_{ges} so gering, dass sie in der Praxis vernachlässigt werden kann ($F_{RR} \approx 4\%$ von F_{ges}).

F_{RR} wird vernachlässigt, somit:

$$F_{ges} = F_{id} + F_{RN} + F_B = 154 + 36,3 + 50,2 = \underline{\underline{240,5 \text{ kN}}}$$

Lösung zu Beispiel 8

a) Rondendurchmesser

I) nach **Zuschnittsformel** $f = \frac{120 - 90}{2} = 15 \text{ mm}$

$$D = \sqrt{d_1^2 + 2\pi \cdot d_1 + 8 \cdot r^2 + 4 \cdot d_2 \cdot h + 2 \cdot f \cdot (d_2 + d_3)}$$

$$= \sqrt{60^2 + 6,28 \cdot 15 \cdot 60 + 8 \cdot 15^2 + 4 \cdot 90 \cdot 55 + 2 \cdot 15 \cdot (90 + 120)}$$

$$= 192,7 \text{ mm gewählt} \Rightarrow D = \underline{\underline{193 \text{ mm}}}$$

II) nach der **Guldinschen Regel**

$$l_1 = \frac{d - 2 \cdot r}{2} = \frac{120 - 90}{2} = 15 \text{ mm}$$

$$r_{s1} = \frac{d - 2 \cdot r}{4} = \frac{120 - 90}{4} + 45 = 52,5 \text{ mm}$$

$$l_2 = h - r = 70 - 15 = 55 \text{ mm}$$

$$r_{s2} = \frac{d}{2} = \frac{90}{2} = 45 \text{ mm}$$

$$l_3 = \frac{2r \cdot \pi}{4} = \frac{2 \cdot 15 \cdot \pi}{4} = 23,55 \text{ mm}$$

$$r_{s3} = 0,64 \cdot r + \frac{d_1}{2} = 0,64 \cdot 15 + \frac{60}{2} = 39,6 \text{ mm}$$

$$l_4 = 30 \text{ mm}$$

$$r_{s4} = 15 \text{ mm}$$

$$D = \sqrt{8 \cdot \Sigma \cdot (r_s \cdot l)} = \sqrt{8 \cdot (15 \cdot 52,5) + (55 \cdot 45) + (23,55 \cdot 39,6) + (30 \cdot 15)}$$

$$= \sqrt{8 \cdot (787,5 + 2475 + 932,58 + 450)} = 192,77 \text{ mm gewählt} \Rightarrow D = \underline{\underline{193 \text{ mm}}}$$

b) Anzahl der Züge

$$\beta_{tat} = \frac{D}{d} = \frac{193}{90} = \underline{\underline{2,14}}$$

bei gut ziehbarem Werkstoff, z. B. DC03:

$$\beta_{zul} = 2,15 - \frac{d}{1000 \cdot s} = 2,15 - \frac{90}{1000 \cdot 0,9} = 2,05$$

oder aus Anhang 4.1.10:

$$\beta_{\text{tat}} > \beta_{\text{zul}} \quad \text{bei } \frac{d}{s} = \frac{90}{0,9} = 100 \Rightarrow \beta_{\text{zul}} = 2$$

$2,14 > 2,05 \Rightarrow$ es sind **2 Züge** erforderlich

c) Umformkraft nach Schmoeckel:

$$F_{\text{ges}} = F_{\text{id}} + F_{\text{RN}} + F_{\text{RR}} + F_{\text{B}}$$

F_{RR} wird vernachlässigt!

aus Anhang 4.1.10:

$$\text{DC03} \Rightarrow R_{\text{m}} = 400 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{\text{fm}} = 1,3 \cdot R_{\text{m}} = 1,3 \cdot 400 \text{ N/mm}^2$$

$$D_0 = 0,77 \cdot D$$

ideelle Umformkraft

$$\begin{aligned} F_{\text{id}} &= \pi \cdot d_{\text{m}} \cdot s \cdot 1,1 \cdot k_{\text{fm}} \cdot \ln \frac{D_0}{d_1} \cdot e^{\mu \cdot \frac{\pi}{2}} \\ &= \pi \cdot (90 + 0,9) \cdot 0,9 \cdot 1,1 \cdot 1,3 \cdot 400 \cdot \ln \frac{0,77 \cdot 193}{90} \cdot e^{0,15 \cdot \frac{\pi}{2}} \approx \underline{\underline{93,3 \text{ kN}}} \end{aligned}$$

Niederhalterkraft

$$F_{\text{N}} = p \cdot A_{\text{N}}$$

$$p = \left[(\beta_{\text{tat}} - 1)^2 + \frac{d}{200 \cdot s} \right] \frac{R_{\text{m}}}{400} = \left[(2,144 - 1)^2 + \frac{90}{200 \cdot 0,9} \right] \cdot \frac{400}{400} = 1,81 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{\text{N}} = (D^2 - d_{\text{w}}^2) \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$d_{\text{w}} = d + 2 \cdot w + 2 \cdot r_{\text{M}}$$

aus Anhang 4.1.10:

$$w = s + k \cdot \sqrt{s} = 0,9 + 0,07 \cdot \sqrt{0,9} = 0,97 \text{ mm} \quad \text{Stahl} \Rightarrow k = 0,07$$

$$r_{\text{M}} = 0,035[50 + (D - d)] \cdot \sqrt{s} = 0,035[50 + (193 - 90)] \cdot \sqrt{0,9} = 5,08 \text{ gewählt} \Rightarrow 5,1 \text{ mm}$$

$$d_{\text{w}} = 90 + 2 \cdot 0,97 + 2 \cdot 5,1 = 102,14 \text{ mm}$$

$$A_{\text{N}} = (193^2 - 102,14^2) \cdot \frac{\pi}{4} = 21061,5 \text{ mm}^2$$

$$F_{\text{N}} = 1,81 \cdot 21061,5 = \underline{\underline{38,12 \text{ kN}}}$$

Reibkraft zwischen Ziehring und Blechhalter

$$\begin{aligned} F_{\text{RN}} &= \pi \cdot d_{\text{m}} \cdot 2\mu \cdot \frac{F_{\text{N}}}{\pi \cdot d_1} \cdot e^{\mu \cdot \frac{\pi}{2}} = \pi \cdot (90 + 0,9) \cdot 2 \cdot 0,1 \cdot \frac{38121}{\pi \cdot 90} \cdot e^{0,15 \cdot \frac{\pi}{2}} = \\ &= 9746,1 \text{ N} \approx \underline{\underline{9,75 \text{ kN}}} \end{aligned}$$

Rückbiegekraft

$$F_{\text{B}} = \pi \cdot d_{\text{m}} \cdot s^2 \cdot k_{\text{fm}} \cdot \frac{1}{2 \cdot r_{\text{M}}} = \pi \cdot (90 + 0,9) \cdot 0,9^2 \cdot 1,3 \cdot 400 \cdot \frac{1}{2 \cdot 5,1} = \underline{\underline{11,79 \text{ kN}}}$$

Gesamtumformkraft

$$F_{\text{ges}} = F_{\text{id}} + F_{\text{RN}} + F_{\text{B}} = 93,3 + 9,75 + 11,79 = \underline{\underline{114,84 \text{ kN}}}$$

d) Umformkraft nach Siebel

$$\begin{aligned} F_Z &= \pi \cdot d_m \cdot s \cdot \left[1,1 \cdot \frac{k_{\text{fm}}}{\eta_F} \cdot \left(\ln \frac{D}{d_1} - 0,25 \right) \right] = \\ &= \pi \cdot (90 + 0,9) \cdot 0,9 \cdot \left[1,1 \cdot \frac{1,3 \cdot 400}{0,6} \cdot \left(\ln \frac{193}{90} - 0,25 \right) \right] \\ &= 125666 \text{ N} \approx \underline{\underline{125,7 \text{ kN}}} \end{aligned}$$

e) Bodenreißkraft

$$F_{\text{BR}} = \pi \cdot (d + s) \cdot s \cdot R_m = \pi \cdot (90 + 0,9) \cdot 0,9 \cdot 400 \approx \underline{\underline{102,8 \text{ kN}}}$$

$$F_Z > F_{\text{BR}}$$

$$124,9 \text{ kN} > 102,8 \text{ kN}$$

Hinweis: $F_Z > F_{\text{BR}}$. Das Teil kann nicht in einem Zug hergestellt werden, da der Boden reißt, d. h. es ist eine erneute Berechnung unter Zugrundelegung von zwei Zügen durchzuführen!

Lösung zu Beispiel 9

a) Ziehverhältnis

für DC03 gilt:

$$\beta_{\text{tat}} = \frac{D}{d} = \frac{193}{90} = 2,14$$

$$\beta_{\text{zul}} = 2,15 - \frac{d}{1000 \cdot s} = 2,15 - \frac{90}{1000 \cdot 0,9} = 2,05$$

$$\beta_{\text{tat}} > \beta_{\text{zul}}$$

$2,14 > 2,05 \Rightarrow$ das Werkstück muss in 2 Zügen gefertigt werden!

Hinweis: Das zulässige Ziehverhältnis für den 2. Zug (Weiterschlag) beträgt $\beta_{\text{zul}} = 1,6$ (wenn Zwischenglühen erfolgt).

$$\text{bei } \beta_1 = \frac{d_1}{d_2} = 1,6$$

somit:

$$d_1 = \beta_1 \cdot d_2 = 1,6 \cdot 90 = 144 \text{ mm} \text{ gewählt} \Rightarrow d_1 = \underline{\underline{140 \text{ mm}}}$$

für den 1. Zug

$$\beta_{\text{tat}1} = \frac{D}{d_1} = \frac{193}{140} = 1,38$$

für den 2. Zug

$$\beta_{\text{tat}2} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{140}{90} = 1,56 \quad \Rightarrow \beta_{\text{tat}1} < \beta_{\text{tat}2} < \beta_{\text{zul}}$$

Gesamtziehverhältnis

$$\beta_{\text{ges}} = \beta_{\text{tat1}} \cdot \beta_{\text{tat2}} = 1,38 \cdot 1,56 = \underline{\underline{2,15}}$$

b) Ziehkraft nach Siebel

aus Anhang 4.1.10:

für den **1. Zug**

$$\Rightarrow R_m = 400 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{Z1} = \pi \cdot d_m \cdot s \cdot \left[1,1 \cdot \frac{k_{fm}}{\eta_F} \cdot \left(\ln \frac{D}{d_1} - 0,25 \right) \right]$$

$$k_{fm} = 1,3 \cdot R_m$$

$$= \pi \cdot (140 + 0,9) \cdot 0,9 \cdot \left[1,1 \cdot \frac{1,3 \cdot 400}{0,6} \cdot \left(\ln \frac{193}{140} - 0,25 \right) \right] = 26965,4 \text{ N} \approx \underline{\underline{26,97 \text{ kN}}}$$

für den **2. Zug**

$$F_{Z2} = \pi \cdot d_m \cdot s \cdot \left[1,1 \cdot \frac{k_{fm}}{\eta_F} \cdot \left(\ln \frac{D}{d_2} - 0,25 \right) \right]$$

$$= \pi \cdot (90 + 0,9) \cdot 0,9 \cdot \left[1,1 \cdot \frac{1,3 \cdot 400}{0,6} \cdot \left(\ln \frac{140}{90} - 0,25 \right) \right] = 46994,8 \text{ N} \approx \underline{\underline{47,0 \text{ kN}}}$$

c) Bodenreißkraft

für **den 1. Zug**

$$F_{BR1} = \pi \cdot (d_1 + s) \cdot s \cdot R_m = \pi \cdot (140 + 0,9) \cdot 0,9 \cdot 400 = 159354 \text{ N} \approx \underline{\underline{159,3 \text{ kN}}}$$

für **den 2. Zug**

$$F_{BR2} = \pi \cdot (90 + 0,9) \cdot 0,9 \cdot 400 = 102805 \text{ N} \approx \underline{\underline{102,8 \text{ kN}}}$$

1. Zug:**2. Zug:**

$$F_{BR1} > F_{Z1}$$

$$F_{BR2} > F_{Z2}$$

$$159,3 \text{ kN} > 29,5 \text{ kN}$$

$$102,8 \text{ kN} > 51,7 \text{ kN}$$

Hinweis: Das Werkstück kann also in **2 Zügen** gefertigt werden !**Lösung zu Beispiel 10**

a) Zugabstufung

Die Anzahl der erforderlichen Züge ergibt sich aus den zulässigen Eckenradien.

$$1. \text{ Zug (Anschlag)} \quad r_1 = 1,2 \cdot q \cdot R_1 \quad q = 0,3$$

$$2. \text{ Zug} \quad r_2 = 0,6 \cdot R_1$$

$$3. \text{ Zug} \quad r_3 = 0,6 \cdot R_2$$

$$n. \text{ Zug} \quad r_n = 0,6 \cdot r_{n-1}$$

$$\text{Konstruktionsradius (bei Eckenradius = Bodenradius, } R_c = R_b = r) \quad h = 25 \text{ mm}$$

$$r = 5 \text{ mm}$$

$$R = 1,42 \cdot \sqrt{r \cdot h + r^2} = 1,42 \cdot \sqrt{5 \cdot 25 + 5^2} = 17,39 \text{ mm}$$

Korrigierter Konstruktionsradius

$$R_1 = x \cdot R$$

$$R_1 = 1,21 \cdot 17,39 = 21 \text{ mm} \quad x = 0,074 \cdot \left(\frac{R}{2 \cdot r} \right)^2 + 0,982 = 0,074 \cdot \left(\frac{17,39}{2 \cdot 5} \right)^2 + 0,982 = 1,206 = 1,21$$

1. Zug

$$r_1 = 1,2 \cdot q \cdot R_1 = 1,2 \cdot 0,3 \cdot 21 = \underline{\underline{7,56 \text{ mm}}}$$

2. Zug

$$r_2 = 0,6 \cdot r_1 = 0,6 \cdot 7,56 = \underline{\underline{4,54 \text{ mm}}}$$

$$r_2 < r_{\text{vorh}}$$

4,54 mm < 5 mm \Rightarrow die Abdeckhaube ist also in 2 Zügen zu fertigen!

b) Ziehkraft nach Siebel für rechteckige Teile

aus Anhang 4.1.10

$$F_z = \left[2 \cdot r \cdot \pi + \frac{4(a+b)}{2} \right] \cdot R_m \cdot s \cdot n \quad \Rightarrow R_m = 100 \text{ N/mm}^2$$

Zuschnittsfläche

$$A = H_a \cdot H_b$$

Abwicklungslänge H_a

$$H_a = 1,57 \cdot r + h - 0,785 \cdot (x^2 - 1) \cdot \frac{R^2}{a} =$$

$$= 1,57 \cdot 5 + 25 - 0,785 \cdot (1,21^2 - 1) \cdot \frac{17,39^2}{50} = \underline{\underline{30,76 \text{ mm}}}$$

Abwicklungslänge H_b

$$H_b = 1,57 \cdot r + h - 0,785 \cdot (x^2 - 1) \cdot \frac{R^2}{b} =$$

$$= 1,57 \cdot 5 + 25 - 0,785 \cdot (1,21^2 - 1) \cdot \frac{17,39^2}{30} = \underline{\underline{29,18 \text{ mm}}}$$

Zuschnittsfläche (überschlägich)

$$A_0 = a \cdot b + a \cdot H_a \cdot 2 + b \cdot H_b \cdot 2 =$$

$$= 50 \cdot 30 + 50 \cdot 30,76 \cdot 2 + 30 \cdot 29,18 \cdot 2 = 6327 \text{ mm}^2 = \underline{\underline{63 \text{ cm}^2}}$$

Stempelfläche

$$A_{St} = a \cdot b + (2a + 2b) \cdot r + \pi \cdot r^2 =$$

$$= 50 \cdot 30 + (2 \cdot 50 + 2 \cdot 30) \cdot 5 + \pi \cdot 5^2 = 2378,5 \text{ mm}^2 \approx \underline{\underline{23,78 \text{ cm}^2}}$$

tatsächliches Ziehverhältnis

$$\beta_{\text{tat}} = \sqrt{\frac{A_0}{A_{\text{St}}}} = \sqrt{\frac{63}{23,78}} = \underline{\underline{1,63}}$$

aus Anhang 4.1.10:

$$\text{bei } \beta_{\text{tat}} = 1,63 \Rightarrow n = 0,7$$

aus Anhang 4.1.10:

$$\text{Al 99,5} \Rightarrow R_m = 100 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} F_Z &= \left[2 \cdot r \cdot \pi + \frac{4(a+b)}{2} \right] \cdot R_m \cdot s \cdot n = \\ &= \left[2 \cdot 5 \cdot \pi + \frac{4(50+30)}{2} \right] \cdot 100 \cdot 0,4 \cdot 0,7 = \\ &= 5359,65 \text{ N} = \underline{\underline{5,36 \text{ kN}}} \end{aligned}$$

c) Niederhalterkraft

$$F_N = p \cdot A_N$$

$$D_p = 1,13 \cdot \sqrt{A_{\text{St}}} = 1,13 \cdot \sqrt{2378,5} = 55,1 \text{ mm}$$

$$D = 1,13 \cdot \sqrt{A_0} = 1,13 \cdot \sqrt{6300} = 89,9 \text{ mm}$$

$$p = \left[(\beta_{\text{tat}} - 1)^2 + \frac{D_p}{200 \cdot s} \right] \cdot \frac{R_m}{400} = \left[(1,63 - 1)^2 + \frac{55,1}{200 \cdot 0,4} \right] \cdot \frac{100}{400} = 0,27 \text{ N/mm}^2$$

aus Anhang 4.1.10:

$$\text{Al 99,5} \Rightarrow k = 0,02$$

$$w = s + k \cdot \sqrt{s} = 0,4 + 0,02 \cdot \sqrt{0,4} = 0,41 \text{ mm}$$

$$r_M = 0,035 \cdot [50 + (D - d)] \cdot \sqrt{s} = 0,035 \cdot [50 + (89,9 - 55,1)] \cdot \sqrt{0,4} = 1,87 \text{ mm}$$

$$d_w = D_p + 2 \cdot w + 2 \cdot r_M = 55,1 + 2 \cdot 0,41 + 2 \cdot 1,87 = 59,7 \text{ mm}$$

$$A_N = (D^2 - d_w^2) \cdot \frac{\pi}{4} = (89,9^2 - 59,7^2) \cdot \frac{\pi}{4} = 3547 \text{ mm}^2$$

$$F_N = p \cdot A_N = 0,27 \cdot 3548 = 957,9 \text{ N} \approx \underline{\underline{958 \text{ N}}}$$

d) Bodenreißkraft

$$F_{\text{BR}} = \pi \cdot (D_p + s) \cdot s \cdot R_m = \pi \cdot (55,1 + 0,4) \cdot 0,4 \cdot 100 = 6974 \text{ N} \approx \underline{\underline{6,97 \text{ kN}}}$$

$$F_Z < F_{\text{BR}}$$

5,36 kN < 6,97 kN \Rightarrow Abdeckhaube kann in einem Zug gefertigt werden!

2.10 Biegen

2.10.1 Verwendete Formelzeichen

α	[°]	Biegewinkel
A	[mm ²]	Werkstückfläche
b	[mm]	Breite des Biegefeldes
c		Werkstoffkoeffizient
d_a	[mm]	Außendurchmesser
E	[N/mm ²]	Elastizitätsmodul
F_b	[N]	Biegekraft
h	[mm]	Stempelweg
k		Korrekturfaktor
L	[mm]	gestreckte Länge
l_1, l_n	[mm]	Teillängen des Biegestücks
R_e	[N/mm ²]	Streckgrenze
r_i	[mm]	innerer Biegeradius
r_{imax}	[mm]	größter Biegeradius
r_{imin}	[mm]	kleinster Biegeradius
r_K	[mm]	korrigierter Biegeradius
R_m	[N/mm ²]	Zugfestigkeit
r_{min}	[mm]	zulässiger Biegeradius
s	[mm]	Blechdicke
v	[mm]	Vorschub
W	[Nm]	Biegearbeit
w	[mm]	Gesenkweite
x		Verfahrensfaktor

2.10.2 Auswahl verwendeter Formeln

Gestreckte Länge	Kreisbogen	korrigierter Biegeradius	kleinster Biegeradius
$L = l_1 + l_2 + l_3 + \dots l_n$	$L_B = \frac{r_k \cdot \pi \cdot \alpha}{180^\circ}$	$r_K = r + \frac{s}{2} \cdot k$	$r_{\text{imin}} = s \cdot c$

größter Biegeradius

Biegekraft

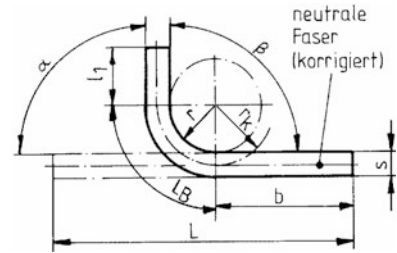
$$r_{i\max} = \frac{s \cdot E}{2 \cdot R_e}$$

$$F_b = \frac{1,2 \cdot b \cdot s^2 \cdot R_m}{w}$$

Biegearbeit

$$W = x \cdot F \cdot h$$

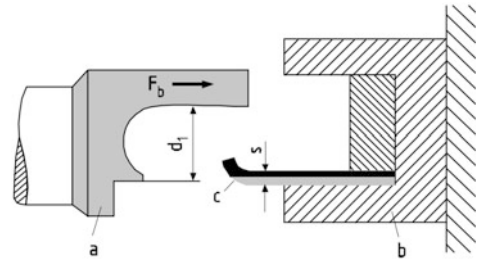
$$h = \frac{w}{2} \quad d_a = 2r + 2s$$



Abmessungen am Biegeteil

Biegekraft F_b beim Rollbiegen

$$F_b = \frac{0,7 \cdot s^2 \cdot b \cdot R_m}{d_1}$$

 d_1 [mm] äußerer Durchmesser der Rolle s [mm] Blechdicke b [mm] Breite des Biegeteils

Ausbildung von Werkzeug und Werkstück beim Rollbiegen.

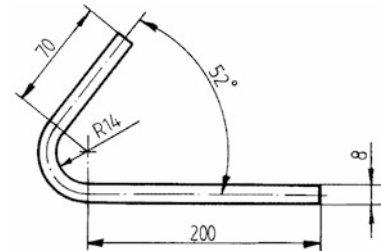
a) Stempel, b) Matritze, c) Werkstück

2.10.3 Berechnungsbeispiele

- Ein Profilstück $10 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$, aus S245JR (St37-2), soll entsprechend der Skizze gebogen werden.

Berechnen Sie die gestreckte Länge, wenn das Verhältnis:

$$r : s \leq 5 \text{ ist.}$$



Lasche

- Für ein 4 mm dickes Blechteil aus CuZn30 ist die gestreckte Länge zu berechnen.

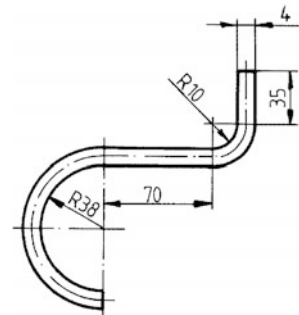
Vergleichen Sie den Biegeradius mit dem zulässigen Wert.

- Bestimmen Sie den kleinsten und den größten Biegeradius für eine Lasche, wenn folgende Daten gegeben sind:

Blechdicke 2,5 mm, Werkstoff E 275 JR (St 44-2),

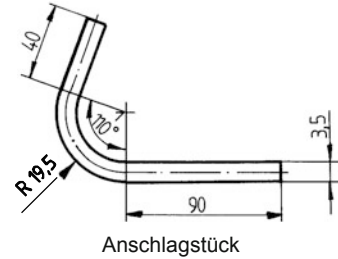
$$R_e = 260 \text{ N/mm}^2,$$

$$\text{Elastizitätsmodul } E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2.$$



Schelle

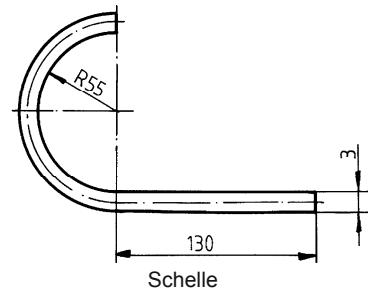
4. Ein Anschlagstück aus DC03 soll entsprechend der Skizze hergestellt werden. Blechdicke 3,5 mm, Werkstückbreite 25 mm, Werkstoffkennzahlen $R_e = 280 \text{ N/mm}^2$, $R_m = 400 \text{ N/mm}^2$, $c = 0,5$, Gesenkweite 80 mm. Kleinst zulässiger Biegeradius $r_{\min} = 1 \text{ mm}$. Berechnen Sie:



- die Zuschnittslänge
- den kleinsten zulässigen Biegeradius
- die Biegekraft
- die Biegearbeit, wenn der Verfahrensfaktor 0,33 gewählt wird.

5. Aus 3 mm dickem kaltgewalztem Bandstahl, DC03, $R_m = 420 \text{ N/mm}^2$ sollen Schellen der skizzierten Form durch Rollbiegen hergestellt werden. Die Bandbreite beträgt 40 mm.

Die Biegelinie liegt quer zur Walzrichtung des Materials. Berechnen Sie:



- die Zuschnittslänge für das Werkstück
- die erforderliche Umformkraft.

2.10.4 Lösungen

Lösung zu Beispiel 1

Gestreckte Länge

$$L = l_1 + l_2 + l_3 + \dots l_n$$

$$l_1 = 70 \text{ mm}$$

$$l_2 = \frac{r_K \cdot \pi \cdot \alpha}{180^\circ} = \frac{17,08 \cdot \pi \cdot (180^\circ - 52^\circ)}{180^\circ} = 38,16 \text{ mm}$$

$$r_K = r + \frac{s}{2} \cdot k = 14 + \frac{8}{2} \cdot 0,77 = 17,08 \text{ mm}$$

$$l_3 = 200 \text{ mm}$$

$$L = 70 + 38,14 + 200 = \underline{\underline{308,16 \text{ mm}}}$$

3.8.10 aus Anhang 4.1.11:

$$\text{bei } \frac{r}{s} = \frac{14}{8} = 1,75 \Rightarrow k = 0,77$$

Lösung zu Beispiel 2

- a) Gestreckte Länge:

$$L = l_1 + l_2 + l_3 + \dots l_n$$

$$l_1 = \frac{r_K \cdot \pi \cdot \alpha}{180^\circ} = \frac{40 \cdot \pi \cdot 180^\circ}{180^\circ} = 125,7 \text{ mm}$$

aus Anhang 4.1.11:

$$\text{bei } \frac{r}{s} = \frac{38}{4} = 9,5 \Rightarrow k = 1$$

$$r_K = r + \frac{s}{2} \cdot k = 38 + \frac{4}{2} \cdot 1 = 40 \text{ mm}$$

$$l_2 = 70 \text{ mm}$$

$$l_3 = \frac{r_K \cdot \pi \cdot \alpha}{180^\circ} = \frac{11,7 \cdot \pi \cdot 90^\circ}{180^\circ} = 18,38 \text{ mm}$$

$$r_K = r + \frac{s}{2} \cdot k = 10 + \frac{4}{2} \cdot 0,85 = 11,7 \text{ mm}$$

$$l_4 = 35 \text{ mm}$$

$$L = 125,7 + 70 + 18,38 + 35 = \underline{\underline{249,1 \text{ mm}}}$$

$$\text{bei } \frac{r}{s} = \frac{10}{4} = 2,5 \Rightarrow k = 0,85$$

b) zulässiger Biegeradius

Mindest-Biegeradius

$$r_{\min} = s \cdot c = 4 \cdot 0,25 = 1 \text{ mm}$$

Alle Biegeradien, die über 1 mm liegen, sind zulässig!

aus Anhang 4.1.11:

$$\text{Cu} \Rightarrow c = 0,25$$

Lösung zu Beispiel 3

Stahl: $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$

a) größter Biegeradius

$$r_{i\max} = \frac{s \cdot E}{2 \cdot R_e} = \frac{2,5 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{2 \cdot 260} \approx \underline{\underline{1010 \text{ mm}}}$$

b) kleinster Biegeradius

$$r_{i\min} = s \cdot c = 2,5 \cdot 0,5 = \underline{\underline{1,25 \text{ mm}}}$$

aus Anhang 4.1.11:

$$\text{S275JR} \Rightarrow c = 0,5$$

Lösung zu Beispiel 4

a) Zuschnittslänge

$$L = l_1 + l_2 + l_3$$

$$l_1 = 90 \text{ mm}$$

$$l_2 = \frac{r_K \cdot \pi \cdot \alpha}{180^\circ} = \frac{17,7 \cdot \pi \cdot 110^\circ}{180^\circ} = 33,98 \text{ mm}$$

$$r_K = r + \frac{s}{2} \cdot k = 16 + \frac{3,5}{2} \cdot 0,97 = 17,7 \text{ mm}$$

$$l_3 = 40 \text{ mm}$$

$$L = 90 + 33,98 + 40 = \underline{\underline{163,98 \text{ mm}}}$$

aus Anhang 4.1.11:

$$\text{bei } \frac{r}{s} = \frac{16}{3,5} = 4,6 \Rightarrow k = 0,97$$

b) kleinster Biegeradius

$$r_{i\min} = s \cdot c = 3,5 \cdot 0,5 = \underline{\underline{1,75 \text{ mm}}}$$

aus Anhang 4.1.11:

$$\text{Stahl} \Rightarrow c = 0,5$$

$$r_{\text{tat}} > r_{i\min}$$

$1,75 \text{ mm} > 1 \text{ mm} \Rightarrow$ das Anschlagstück kann hergestellt werden!

- c) Biegekraft beim Gesenkschmieden Verfahrensfaktor 1,2

$$F_b = \frac{1,2 \cdot b \cdot s^2 \cdot R_m}{w} = \frac{1,2 \cdot 25 \cdot 3,5^2 \cdot 400}{80} = \underline{\underline{1837,5 \text{ N}}} \quad h = \frac{w}{2} = \frac{80}{2} = 40 \text{ mm}$$

- d) Biegearbeit

$$W = x \cdot F \cdot h = 0,33 \cdot 1837,5 \cdot 40 = 24255 \text{ Nmm} \approx \underline{\underline{24,255 \text{ Nm}}}$$

Lösung zu Beispiel 5

- a) Zuschnittslänge

$$L = l_1 + l_2$$

$$l_1 = \frac{r_K \cdot \pi \cdot \alpha}{180^\circ} = \frac{56,5 \cdot \pi \cdot 180^\circ}{180^\circ} = 177,5 \text{ mm}$$

aus Anhang 4.1.11:

$$\text{bei } \frac{r}{s} = \frac{55}{3} = 18,3 \Rightarrow k = 1$$

$$r_K = r + \frac{s}{2} \cdot k = 55 + \frac{3}{2} \cdot 1 = 56,5 \text{ mm}$$

$$L = 177,5 + 130 = \underline{\underline{307,5 \text{ mm}}}$$

- b) Biegekraft beim Rollbiegen Verfahrensfaktor 0,7

$$F_b = \frac{0,7 \cdot s^2 \cdot b \cdot R_m}{d_1} = \frac{0,7 \cdot 3^2 \cdot 40 \cdot 420}{2 \cdot 55 + 6} = \underline{\underline{912,4 \text{ N}}}$$

2.11 Stanzen

2.11.1 Verwendete Formelzeichen

α	[°]	Freiwinkel
β	[°]	Keilwinkel
η	[%]	Ausnutzungsgrad
μ		Reibwert
τ_a	[N/mm ²]	Scherspannung
τ_{aB}	[N/mm ²]	Scherfestigkeit
φ	[°]	Schrägschnittwinkel
a	[mm]	Randbreite
A	[mm ²]	Scherfläche (Schnittfläche)
A_1	[mm ²]	Fläche der Werkstücke
a_1	[mm]	Stempelmaß
B	[mm]	Streifenbreite
b	[mm]	Werkstückbreite

c		Werkstoffkoeffizient
c_1	[mm]	Abstand Niederhalterkraft/Schnittkraft
E	[N/mm ²]	Elastizitätsmodul
e	[mm]	Stegbreite
F	[N]	Schneidkraft
F_k	[N]	Knickkraft
F_s	[N]	Schnittkraft
F_{Schub}	[N]	Schubkraft
F_w	[N]	Niederhalterkraft
F_x	[N]	Schnittkomponente
F_y	[N]	Schnittkomponente
J	[mm ⁴]	äquatoriales Trägheitsmoment
l	[mm]	Stanzlänge
l_k	[mm]	Knicklänge
l_{max}	[mm]	zulässige Knicklänge
M	[Nm]	Kippmoment
p	[N/mm ²]	Flächenpressung
R		Anzahl der Schnittreihen
R_m	[N/mm ²]	Zugfestigkeit
S		Sicherheitsfaktor
s	[mm]	Werkstückdicke
u	[mm]	Schneidspalt
U	[mm]	Umfang der Scherfläche
v	[mm]	Streifenvorschub
W	[Nm]	Schneidarbeit
x		Verfahrensfaktor
x_0, y_0	[mm]	Schwerpunktkoordinaten
z		Anzahl der Werkstücke
z_1		Anzahl der Werkstücke pro Bandlänge

2.11.2 Auswahl verwendeter Formeln

Schnittkraft für
das Ausschneiden

$$F_s = A \cdot \tau_{aB}$$

Scherfläche

$$A = U \cdot s$$

Schneidplattendurchbruch

$$a = a_1 + 2 \cdot u$$

Scherfestigkeit

$$\tau_{aB} = 0,8 \cdot R_m$$

Stempelmaß

$$a_1 = a - 2 \cdot u$$

Schnittkraft beim Schrägschnitt

$$F = 0,5 \cdot \frac{s^2}{\tan \varphi} \cdot \tau_{aB}$$

Abstand des Einspannzapfens
(Lage des Schwerpunktes in x-Richtung)

$$x_0 = \frac{U_1 \cdot x_1 + U_2 \cdot x_2 + U_2 \cdot x_3 + \dots}{\Sigma U}$$

Abstand des Einspannzapfens
(Lage des Schwerpunktes y-Richtung)

$$y_0 = \frac{U_1 \cdot y_1 + U_2 \cdot y_2 + U_2 \cdot y_3 + \dots}{\Sigma U}$$

Ausnutzungsgrad Anzahl der Werkstücke
pro Bandlänge

$$\eta = \frac{z \cdot A_1}{L \cdot B} \cdot 100\%$$

$$z_1 = \frac{L}{v} \cdot R$$

Schnittkraft beim
Parallelschnitt

$$F_s = l_{\text{ges}} \cdot s \cdot \tau_a$$

Schneidarbeit

$$W = F \cdot s \cdot x$$

Flächenpressung Knicklänge (mittels
Euler'scher Gleichung)

$$p = \frac{F_s}{A_s}$$

$$l_{\text{max}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{F \cdot S}}$$

Knickkraft

$$F_K = \frac{E \cdot J \cdot \pi^2}{l_K^2 \cdot S}$$

äquatoriales Trägheits-
moment (Vollkreis)

$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$

Schnittkraft beim
Rollenschnitt

$$F_s = \frac{0,5 \cdot h_{\text{St}} \cdot s}{\tan \alpha} \cdot \tau_B$$

Schnittkraft bei zweiseitiger
Schneidkantenabschrägung

$$F = 2,1 \cdot d \cdot s \cdot \tau_{aB}$$

Schneidspalt
(bis 3 mm Blechdicke)

$$u = 0,007 \cdot s \cdot \sqrt{\tau_a}$$

Schneidspalt
(Blechdicke > 3 mm)

$$u = (0,007 \cdot s - 0,005) \cdot \sqrt{\tau_{aB}}$$

Schneidkraft-
komponenten

$$F_x = F \cdot \cos \beta$$

$$F_x = F \cdot \sin \beta$$

Kipp-
moment

$$M = F_y \cdot l$$

Niederhalter-
kraft

$$F_N = \frac{M}{c_1}$$

Schubkraft

$$F_{\text{Schub}} = F \cdot \sin \varphi$$

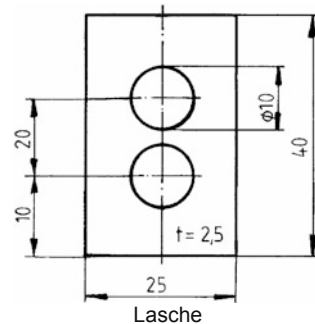
$$F_N = \frac{F_{\text{Schub}}}{\mu}$$

2.11.3 Berechnungsbeispiele

- Das skizzierte Schnittteil soll aus 2,5 mm dickem Blech, S 245 JR(St 37-2), mit einer Zugfestigkeit von $R_m = 510 \text{ N/mm}^2$ durch Stanzen hergestellt werden. Rohteilmaße $45 \text{ mm} \times 35 \text{ mm}$.

Berechnen Sie:

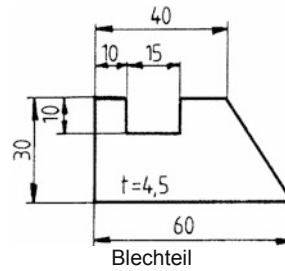
- die erforderliche Schnittkraft bei geschlossenem Schneidvorgang mit geradem Messer für das Ausschneiden
- die Schnittkraft für das Lochen
- den Durchmesser des Schneidplattendurchbruchs für das Lochen; Schneidspalt 0,06 mm
- die Stempelmaße für das Ausschneiden, wenn der Schneidspalt 0,06 mm betragen soll.



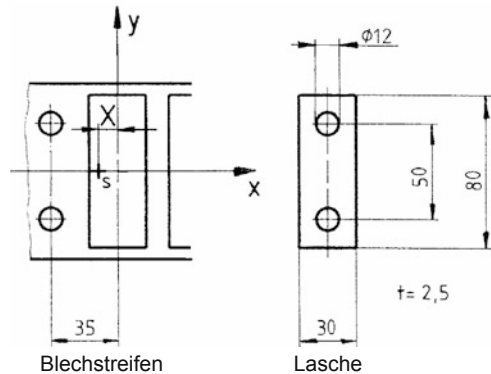
2. Das abgebildete Blechteil soll durch Scherschneiden hergestellt werden. Die Blechdicke beträgt 4,5 mm, Zugfestigkeit $R_m = 420 \text{ N/mm}^2$, Neigungswinkel 5° .

Ermitteln Sie:

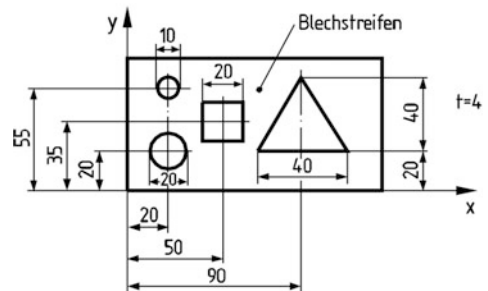
- die erforderliche Schnittkraft im Parallelschnitt
- die aufzuwendende Schnittkraft im Schrägschnitt.



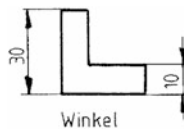
3. Berechnen Sie die Lage des Einspannzapfens (Lage des Kraftschwerpunktes) für das Folgeschneidwerkzeug zur Herstellung der skizzierten Laschen.



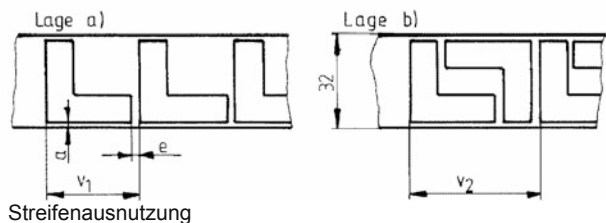
4. Ermitteln Sie für die vorgegebene Werkzeuganordnung – s. Skizze – den Kraftschwerpunkt zur Aufnahme des Einspannzapfens.



5. Es sollen gleichschenklige Winkelstücke – siehe Skizze – aus 0,3 mm dicken Streifen geschnitten werden.



Berechnen Sie den Ausnutzungsgrad für die Anordnung der Teile in Streifen nach Darstellung a) und nach Lage b).



6. Mit einem ungeführten Lochstempel sollen in 1,25 mm dickes Stahlblech Bohrungen von 3,2 mm Durchmesser gestanzt werden. Die Scherfestigkeit des Stahlblechs beträgt 240 N/mm^2 . Der Stempelkopfdurchmesser 8 mm, die zulässige Flächenpressung am Stempelkopf darf 20 kN/cm^2 nicht überschreiten, da sonst eine gehärtete Druckplatte eingelegt werden muss.

Berechnen Sie:

- die auftretende Flächenpressung
- die maximale Länge des Lochstempels, ohne dass Knickgefahr besteht.

7. Aus Werkstoff C30 (Scherfestigkeit mit $\tau_{aB} = 500 \text{ N/mm}^2$) sind 1,5 mm dicke Ronden mit einem Durchmesser von 35 mm auszustanzen.

Berechnen Sie:

- die erforderliche Kraft
- die aufzuwendende Stanzarbeit bei einem Verfahrensfaktor von 0,6.

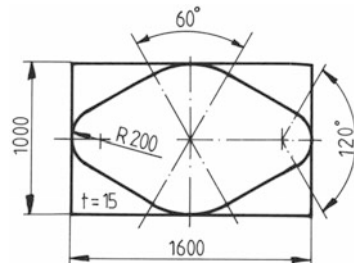
8. Auf einer hydraulischen Presse mit 300 kN Presskraft sollen runde Werkstücke aus 8 mm dickem Blech, Werkstoff E360(St 70-2), mit einer Zugfestigkeit von 830 N/mm^2 , gelocht werden.

- Wie groß darf der Durchmesser des Lochstempels höchstens sein, wenn der Sicherheitsfaktor 2,5 betragen soll?
- Überprüfen Sie, ob die zulässige Knickkraft des Stempels bei einer ungeführten Stempellänge von 10 mm nicht überschritten wird, wenn der Lastfall I, ($l_k = 2 \cdot l$), zugrunde gelegt wird. Gewählte Sicherheit 2.

9. Aus einem Blech $1000 \text{ mm} \times 1600 \text{ mm}$, Werkstoff E295 (St50-2), soll der skizzierte Deckel mit einer Rollenschere mit parallelen Rollenachsen geschnitten werden. Die Blechdicke beträgt 15 mm, Schneidspalt $= 0,2 \times$ Blechdicke, Anschnittswinkel 13° , Scherfestigkeit $\tau_{aB} = 400 \text{ N/mm}^2$, Verfahrensfaktor $x = 0,6$.

Ermitteln Sie:

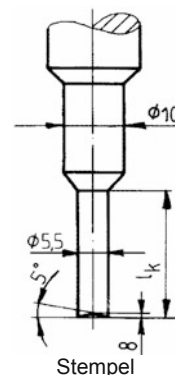
- den Umfang des Schnittteils
- die Schnittkraft bei 30 % Verschleiß
- das Arbeitsvermögen der Maschine.



10. Ein Stempel – s. Skizze – kann eine zum Ausschneiden wirksame Länge von 36 mm und eine freie Knicklänge von 60 mm haben. Der zu schneidende Werkstoff ist 16MnCr5 mit einer Scherfestigkeit von $\tau_a = 600 \text{ N/mm}^2$. Die Blechdicke beträgt 4 mm, Elastizitätsmodul $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$, Verfahrensfaktor $x = 0,6$, Sicherheit 1.

Zur festigkeitstechnischen Untersuchung des Stempels und der leistungsgerechten Auslegung der Presse sind zu berechnen:

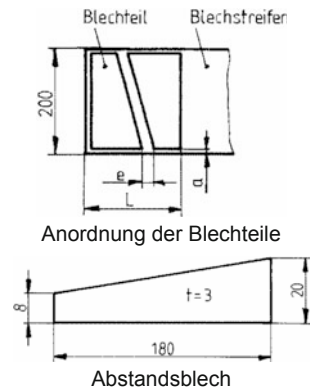
- welche Schnittart (parallel oder zweiseitig schräg) des Stempels ist vom Kraftaufwand am günstigsten?
- die Knickkraft bei $l_k = 60 \text{ mm}$ (ungeführt)
- die Knickkraft bei $l_k = 36 \text{ mm}$ (ungeführt)
- die zu wählende Stempellänge



- e) der erforderliche Schneidspalt
- f) das aufzuwendende Arbeitsvermögen.

11. Aus einem Blechstreifen $200 \text{ mm} \times 3000 \text{ mm}$ sollen Abstandsbleche – s. Skizze – geschnitten werden. Blechwerkstoff ist nichtrostender Stahl X12CrNi188 mit einer Abscherfestigkeit von 600 N/mm^2 . Die Blechdicke beträgt 3 mm , gewählte Steg- und Randbreite $2,3 \text{ mm}$ (VDI-Blatt 3367). Als Schnittwerkzeug wird eine Schlagschere mit Schrägschnitt $\varphi = 5^\circ$ und einem Keilwinkel von 80° verwendet. Berechnen Sie:

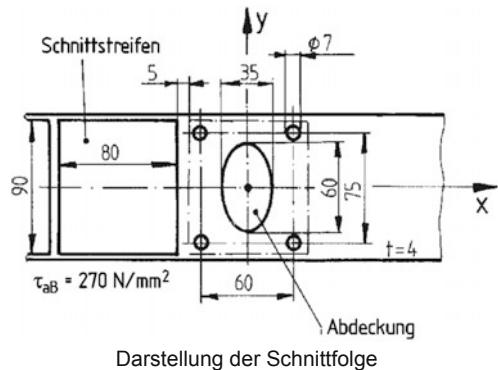
- a) die Anzahl der geschnittenen Bleche
- b) den Ausnutungsgrad
- c) die Schnittkraft
- d) die Schnittkraftkomponente F_x und F_y
- e) das Kippmoment bei einem Wirkabstand von $2 \cdot a$, Abstand $a = 0,1 \cdot s$
- f) die Niederhalterkraft bei $c = 45 \text{ mm}$ (Abstand Niederhalterkraft/Schnittkraft)
- g) die Niederhalterkraft, wenn das Gleiten des Bleches aus den Scheren vermieden werden soll, Reibwert $0,1$.



12. Das skizzierte Teil wird mit einem Folgewerkzeug aus Streifen geschnitten.

Zu berechnen sind:

- a) die Gesamtschnittkraft (Ausschneiden und Lochen), Blechdicke 4 mm , Scherfestigkeit $\tau_a = 270 \text{ N/mm}^2$
- b) die Flächenpressung für den Stempel mit einem Durchmesser von 7 mm . Entscheiden Sie, ob eine Druckplatte erforderlich ist, wenn $p_{zul} = 200 \text{ N/mm}^2$ die Druckbelastung der Stempelaufnahme begrenzt.
- c) die Lage des Einspannzapfens für das Folgewerkzeug.



2.11.4 Lösungen

Lösung zu Beispiel 1

- a) Schnittkraft für das Ausschneiden

$$F_s = A \cdot \tau_{aB}$$

$$U = 2 \cdot 40 + 2 \cdot 25 = 130 \text{ mm}$$

$$A = U \cdot s = 130 \cdot 2,5 = 325 \text{ mm}^2$$

$$F_s = 325 \cdot 0,8 \cdot 510 = 132600 \text{ N} = \underline{\underline{132,6 \text{ kN}}}$$

$$\tau_{aB} = 0,8 \cdot R_m$$

- b) Schnittkraft für das Lochen

$$F_s = A \cdot \tau_{aB}$$

$$U = 2 \cdot d \cdot \pi = 2 \cdot 10 \cdot \pi = 62,8 \text{ mm}$$

$$A = U \cdot s = 62,8 \cdot 2,5 = 157 \text{ mm}^2$$

$$F_s = 157 \cdot 0,8 \cdot 510 = 64056 \text{ N} = \underline{\underline{64,1 \text{ kN}}}$$

- c) Durchmesser des Schneidplattendurchbruchs (Lochen)

$$a = a_1 + 2 \cdot u = 10 + 2 \cdot 0,06 = \underline{\underline{10,12 \text{ mm}}}$$

- d) Stempelmaße für den Schneidplattendurchbruch (Ausschneiden)

$$a_1 = a - 2u = 25 - 2 \cdot 0,06 = \underline{\underline{24,88 \text{ mm}}}$$

$$b_1 = 40 - 2 \cdot 0,06 = \underline{\underline{39,88 \text{ mm}}}$$

Lösung zu Beispiel 2

- a) Schnittkraft beim Parallelschnitt

$$F_s = l_{\text{ges}} \cdot s \cdot \tau_{aB}$$

$$l = 30 + 60 + 10 + 10 + 15 + 10 + 15 + \sqrt{20^2 + 30^2} = 186,06 \text{ mm}$$

$$\tau_{aB} \approx 0,8 \cdot R_m$$

$$F_s = 186,06 \cdot 4,5 \cdot 0,8 \cdot 420 = 281323 \text{ N} = \underline{\underline{281,3 \text{ kN}}}$$

- b) Schrägschnitt

$$F_s = 0,5 \cdot \frac{s^2}{\tan \varphi} \cdot \tau_{AB} = 0,5 \cdot \frac{4,5^2}{\tan 5^\circ} \cdot 0,8 \cdot 420 = 38885 \text{ N} \approx \underline{\underline{38,9 \text{ kN}}}$$

Lösung zu Beispiel 3

Hinweis: Das Stanzteil ist symmetrisch, es hat keine Abweichung in y-Richtung in Bezug auf den Koordinatenursprung.

Lage des Schwerpunktes in x-Richtung

$$x = \frac{U_1 \cdot x_1 + U_2 \cdot x_2 + U_3 \cdot x_3}{\Sigma U}$$

Abstände

$$a_1 = 0 \quad a_2 = a_3 = 35 \text{ mm}$$

$$U_1 = 2 \cdot (l + b) = 2 \cdot (30 + 80) = 220 \text{ mm}$$

$$U_2 = U_3 = d \cdot \pi = 12 \cdot \pi = 37,69 \text{ mm}$$

$$x = \frac{220 \cdot 0 + (37,69 \cdot 35) \cdot 2}{220 + 2 \cdot 37,69} = \underline{\underline{8,93 \text{ mm}}}$$

Lösung zu Beispiel 4

Lage des Schwerpunktes in y-Richtung

$$y_0 = \frac{U_1 \cdot y_1 + U_2 \cdot y_2 + U_3 \cdot y_3 + U_4 \cdot y_4}{\Sigma U}$$

Schwerpunktabstand:

$$\text{Umfang } \Delta \quad U_1 = 40 + 2\sqrt{20^2 + 40^2} = 129,443 \text{ mm} \quad y_1 = 33,32 \text{ mm} \quad x_1 = 90 \text{ mm}$$

$$\text{Umfang } \square \quad U_2 = 4 \cdot 20 = 80 \text{ mm} \quad y_2 = 35 \text{ mm} \quad x_2 = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Umfang } \bigcirc \quad U_3 = 20 \cdot \pi = 62,8 \text{ mm} \quad y_3 = 20 \text{ mm} \quad x_3 = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Umfang } \bigcirc \quad U_4 = 10 \cdot \pi = 31,4 \text{ mm} \quad y_4 = 55 \text{ mm} \quad x_4 = 20 \text{ mm}$$

$$y_0 = \frac{129,443 \cdot 33,32 + 80 \cdot 35 + 62,8 \cdot 20 + 31,4 \cdot 55}{129,443 + 80 + 62,8 + 31,4} = \underline{\underline{33,25 \text{ mm}}}$$

$$x_0 = \frac{129,443 \cdot 90 + 80 \cdot 50 + 62,8 \cdot 20 + 31,4 \cdot 20}{129,443 + 80 + 62,8 + 31,4} = \underline{\underline{57,75 \text{ mm}}}$$

Lösung zu Beispiel 5

Werkstück

Randbreite = $a = 1,0 \text{ mm}$

Stegbreite = $e = 0,9 \text{ mm}$

Streifenvorschub nach Anordnung „a“

$$v_1 = 30 + e = 30,9 \text{ mm}$$

Streifenvorschub nach Anordnung „b“

$$v_2 = 30 + 0,9 + 10 + 0,9 = 41,8 \text{ mm}$$

Ausnutzungsgrad

$$\eta = \frac{n \cdot A}{v \cdot B}$$

$$A = 30 \cdot 10 + 20 \cdot 10 = 500 \text{ mm}^2$$

$$B = 30 + 2 \cdot a = 30 + 2 \cdot 1 = 32 \text{ mm}$$

nach Anordnung „a“

$$\eta = \frac{1 \cdot 500}{30,9 \cdot 32} \cdot 100 \% = \underline{\underline{50,57 \%}}$$

nach Anordnung „b“

$$\eta = \frac{2 \cdot 500}{41,8 \cdot 32} \cdot 100 \% = \underline{\underline{74,76 \%}}$$

Lösung zu Beispiel 6

a) Flächenpressung

$$p_{\text{vorh}} = \frac{F_s}{A_s}$$

$$F_s = U \cdot s \cdot \tau_{\text{aB}} = 3,2 \cdot \pi \cdot 1,25 \cdot 240 = 3015,9 \text{ N}$$

$$A_s = \frac{8^2 \cdot \pi}{4} = 50,27 \text{ mm}^2$$

$$p_{\text{vorh}} = \frac{3015,9}{50,27} = \underline{\underline{60 \text{ N/mm}^2}}$$

$$p_{\text{vorh}} < p_{\text{zul}}$$

$60 \text{ N/mm}^2 < 200 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow \text{Druckplatte ist nicht erforderlich!}$

b) Berechnung der maximalen Knicklänge

$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 3,2^4}{64} = 5,1446 \text{ mm}^4$$

$$l_{\max} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{F_s \cdot S}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 5,1446}{3014,4 \cdot 4}} = \underline{\underline{29,72 \text{ mm}}} \quad \text{Sicherheitsfaktor: } S = 4$$

Lösung zu Beispiel 7

a) Stanzkraft

$$F_s = U \cdot s \cdot \tau_{aB} = 35 \cdot \pi \cdot 1,5 \cdot 500 = 82425 \text{ N} \approx \underline{\underline{82,4 \text{ kN}}}$$

b) Stanzarbeit

Verfahrens faktor:

$$W = F_s \cdot s \cdot x = 82425 \cdot 1,5 \cdot 0,6 = 74182,5 \text{ Nmm} \approx \underline{\underline{74,2 \text{ Nm}}} \quad x = 0,6$$

Lösung zu Beispiel 8

a) maximaler Stempeldurchmesser

$$F_{\text{vorh}} = 300 \text{ kN}$$

$$F_s = U \cdot s \cdot \tau_{aB} = d \cdot \pi \cdot s \cdot \tau_{aB}$$

$$d = \frac{F_s}{\pi \cdot s \cdot \tau_{aB} \cdot S} = \frac{300000}{\pi \cdot 8 \cdot 0,8 \cdot 830 \cdot 2,5} = \underline{\underline{7,2 \text{ mm}}}$$

b) zulässige Knickkraft

$$F_K = \frac{E \cdot J \cdot \pi^2}{l_K^2 \cdot S} = \frac{E \cdot \pi \cdot d^4 \cdot \pi^2}{l_K^2 \cdot S \cdot 64} = \frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot \pi \cdot 7,2^4 \cdot \pi^2}{2 \cdot 10^2 \cdot 2 \cdot 64} = 683037 \text{ N} \approx \underline{\underline{683 \text{ kN}}}$$

$$F_k > F_s$$

683 kN > 300 kN \Rightarrow Stempel knickt nicht aus!**Lösung zu Beispiel 9**

a) Umfang

$$U = l_1 + l_2 + l_3 + \dots$$

$$l_1 = \frac{r \cdot \pi \cdot \alpha}{180^\circ} = \frac{200 \cdot \pi \cdot 120^\circ \cdot 2}{180^\circ} = 837,76 \text{ mm}$$

$$l_2 = \frac{r \cdot \pi \cdot \alpha}{180^\circ} = \frac{500 \cdot \pi \cdot 60^\circ \cdot 2}{180^\circ} = 1046,7 \text{ mm}$$

$$l_3 = 4 \cdot 519,62 = 2078,49 \text{ mm}$$

Hinweis: Die Tangentenlänge kann grafisch oder analytisch ermittelt werden, sie beträgt 519,62 mm.

$$U = \Sigma l = \underline{\underline{3962,95 \text{ mm}}}$$

b) Schnittkraft

$$F_s = \frac{0,5 \cdot h_{St} \cdot s}{\tan \alpha} \cdot \tau_{aB} = \frac{0,5 \cdot 0,2 \cdot 15^2 \cdot 400}{\tan 13^\circ} = 38961 \text{ N} \approx 39 \text{ kN}$$

Bei 30 % Verschleiß: $F_s = 39 \text{ kN} \cdot 1,3 = \underline{\underline{50,7 \text{ kN}}}$

c) Stanzarbeit

$$W = F_s \cdot s \cdot x = 50,7 \cdot 1,5 \cdot 0,6 = 456,3 \text{ kNmm} \approx \underline{\underline{0,5 \text{ kNm}}}$$

Verfahrensfaktor:

$$x = 0,6$$

Lösung zu Beispiel 10

a) Schnittkraft bei Parallelschnitt

$$F_s = d \cdot \pi \cdot s \cdot \tau_{aB} = 5,5 \cdot \pi \cdot 4 \cdot 600 = 41469 \text{ N} \approx \underline{\underline{41,5 \text{ kN}}}$$

Schnittkraft bei zweiseitiger Schneidkantenabschrägung

$$F_s = 2,1 \cdot d \cdot s \cdot \tau_{aB} = 2,1 \cdot 5,5 \cdot 4 \cdot 600 = 27720 \text{ N} \approx \underline{\underline{27,7 \text{ kN}}}$$

b) Knickkraft nach Euler

$$F_K = \frac{E \cdot J \cdot \pi^2}{l_K^2 \cdot S}$$

$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 5,5^4}{64} = 44,92 \text{ mm}^4$$

bei einer Stempellänge von 60 mm:

$$F_{K1} = \frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 44,92 \cdot \pi^2}{60^2 \cdot 1} = 25862 \text{ N} \approx \underline{\underline{25,9 \text{ kN}}}$$

c) bei einer Stempellänge von 36 mm:

$$F_{K2} = \frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 44,92 \cdot \pi^2}{36^2 \cdot 1} = 71838 \text{ N} \approx \underline{\underline{71,4 \text{ kN}}}$$

d) Die erforderliche Stanzkraft beim Parallelschnitt und beim Schrägschnitt ist größer als die Knickkraft des Stempels bei einer Stempellänge von $l = 60 \text{ mm}$. Es kann also nur eine Stempellänge von 36 mm eingesetzt werden, am günstigsten ist die zweiseitige Schneidkantenabschrägung!

e) Schneidenspalt (Blechdicke $> 3 \text{ mm}$)

$$u = (0,007 \cdot s - 0,005) \cdot \sqrt{\tau_{aB}} = (0,007 \cdot 4 - 0,005) \cdot \sqrt{600} = \underline{\underline{0,56 \text{ mm}}}$$

f) Arbeitsvermögen bei zweiseitiger Schneidkantenabschrägung

$$W = F_s \cdot s \cdot x = 27720 \cdot 4 \cdot 0,6 = 66528 \text{ Nm} \approx \underline{\underline{66,5 \text{ kNm}}}$$

Verfahrensfaktor:

$$x = 0,6$$

Lösung zu Beispiel 11

a) Anzahl der Bleche

aus der Skizze:

Stegbreite e und Randbreite a nach VDI-Blatt 3367 $\Rightarrow e = 2,3 \text{ mm}$ $l = 2e + 20 + 8 = 4,6 + 20 + 8 = 32,6 \text{ mm} \approx$ Schnittlänge für zwei Werkstücke

bei einer Streifenlänge von 3000 mm:

$$n = \frac{L_{\text{ges}}}{L} = \frac{3000}{32,6} = 92 \text{ Werkstücke}$$

bei zweireihiger Anordnung $n = 184$ Werkstücke

b) Ausnutzungsgrad

$$\eta = \frac{z \cdot A}{L \cdot B} \quad A = b \cdot h_1 + b \cdot \frac{h_2}{2} = 180 \cdot 8 + 180 \cdot \frac{20 - 8}{2} = 2520 \text{ mm}^2$$

$$\eta = \frac{L \cdot R \cdot A}{v \cdot L \cdot B} = \frac{2 \cdot 2520}{32,6 \cdot 200} = 0,77 \hat{=} 77\%$$

c) Schnittkraft

$$F_s = \frac{0,5 \cdot s^2 \cdot \tau_{\text{aB}}}{\tan \varphi} = \frac{0,5 \cdot 3^2 \cdot 600}{\tan 5^\circ} = 30861 \text{ N} \approx \underline{\underline{30,9 \text{ kN}}}$$

d) Schnittkraftkomponente F_x und F_y

$$F_x = F_s \cdot \cos \beta = 30861 \cdot \cos 80^\circ = \underline{\underline{5359 \text{ kN}}}$$

$$F_y = F_s \cdot \sin \beta = 30861 \cdot \sin 80^\circ = \underline{\underline{30392 \text{ N}}}$$

e) Kippmoment

$$l = 2a \quad a = 0,1 \cdot s = 0,1 \cdot 3 = 0,3 \text{ mm}$$

$$M = F_y \cdot l = 30392 \cdot 2 \cdot 0,1 \cdot 3 = \underline{\underline{18235 \text{ Nmm}}}$$

f) Niederhalterkraft

$$F_N \cdot c = M$$

Hebelarmlänge

$$c = 45 \text{ mm}$$

$$F_N = \frac{M}{c} = \frac{18235}{45} = \underline{\underline{405,2 \text{ N}}}$$

g) Der Schrägschnitt bewirkt, dass das Blech aus den Schneidblättern geschoben wird. Diese Schubkraft errechnet sich aus:

$$F_{\text{Schub}} = F_s \cdot \sin \varphi = 30861 \cdot \sin 5^\circ = \underline{\underline{2689,7 \text{ N}}}$$

Die Niederhalterkraft (Normalkraft) mit dem Reibwert μ muss dieser Kraft entgegenwirken!

$$F_N = \frac{F_{\text{Schub}}}{\mu} = \frac{2689,7}{0,1} = \underline{\underline{26897 \text{ N}}}$$

Lösung zu Beispiel 12

a) Gesamtschnittkraft (Ausschneiden und Lochen)

Schnittfläche Bohrung

$$(\text{Schermesser } \varnothing 7,4 \text{ Bohrungen}) \Rightarrow A = U \cdot s = d \cdot \pi \cdot s \cdot n = 7 \cdot \pi \cdot 4 \cdot 4 = 351,85 \text{ mm}^2$$

Ellipsenumfang

$$U = \frac{\pi}{2} \cdot (D + d) = \frac{\pi}{2} (60 + 35) = 149,22 \text{ mm}$$

Schnittfläche Ellipse

$$\Rightarrow A = U \cdot s = 149,22 \cdot 4 = 596,88 \text{ mm}^2$$

Schnittfläche der
ausgeschnittenen Kontur

$$\Rightarrow A = U \cdot s = 2 (80 + 90) \cdot 4 = 1360 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{ges}} = 315,68 + 596,88 + 1360 = 2308,73 \text{ mm}^2$$

$$F_s = \Sigma A \cdot \tau_{\text{ab}} = 2308,73 \text{ mm}^2 \cdot 270 = 61359 \text{ N} \approx \underline{\underline{623,36 \text{ kN}}}$$

b) Flächenpressung

$$F_s = A \cdot \tau_{\text{ab}} = d \cdot \pi \cdot s \cdot \tau_{\text{ab}} = 7 \cdot \pi \cdot 4 \cdot 270 = 23738 \text{ N}$$

$$p_{\text{vorh}} = \frac{F_s}{A_{\text{St}}} = \frac{23738 \cdot 4}{7^2 \cdot \pi} = 617,1 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{\text{vorh}} > p_{\text{zul}}$$

$$617,1 \text{ N/mm}^2 > 200 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow \text{Druckplatte ist erforderlich!}$$

c) Lage des Einspannzapfens

Lage auf der y -Achse = 0 mm, da symmetrisch zur x -AchseLage auf der x -Achse

$$x = \frac{U_1 \cdot a_1 + U_2 \cdot a_2 + \dots}{\Sigma U} = \frac{2 \cdot 7 \cdot \pi \cdot 30 - (2 \cdot 7 \cdot \pi \cdot 30) - 340 \cdot 85 - 149,22 \cdot 0}{4 \cdot 7 \cdot \pi + 340 + 154,23} =$$

$$= \frac{-28900}{582,15} = \underline{\underline{-49,64 \text{ mm}}}$$

Aufgabensammlung Fertigungstechnik

Mit ausführlichen Lösungswegen und Formelsammlung

Wojahn, U.

2014, IX, 210 S. 148 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-658-04800-6