Wahlfach Fertigungstechnik
Musterlösung zur Übung L – Trennen

Prof. Konrad Wegener   Thomas Lorenzer

SS 2008

1. Offener Schnitt
   Sie möchten Halbkreise gemäss Abbildung 1 aus Blech stanzen. Der Stempel hat die Länge $l = 50\,mm$, der Durchmesser beträgt $d = 20\,mm$. Das Blech aus dem Material ZSte340 ($R_m = 470\,N/mm^2$) hat eine Dicke von $s = 3\,mm$. Wie müssen Sie den Stempel platzieren, um trotz der Abdrängkräfte aus der Querkraft exakt geschnittene Halbkreise zu erhalten? Hinweis: Messungen zeigen, dass die Querkraft beim geraden Schnitt 20% der Schnittkraft beträgt.

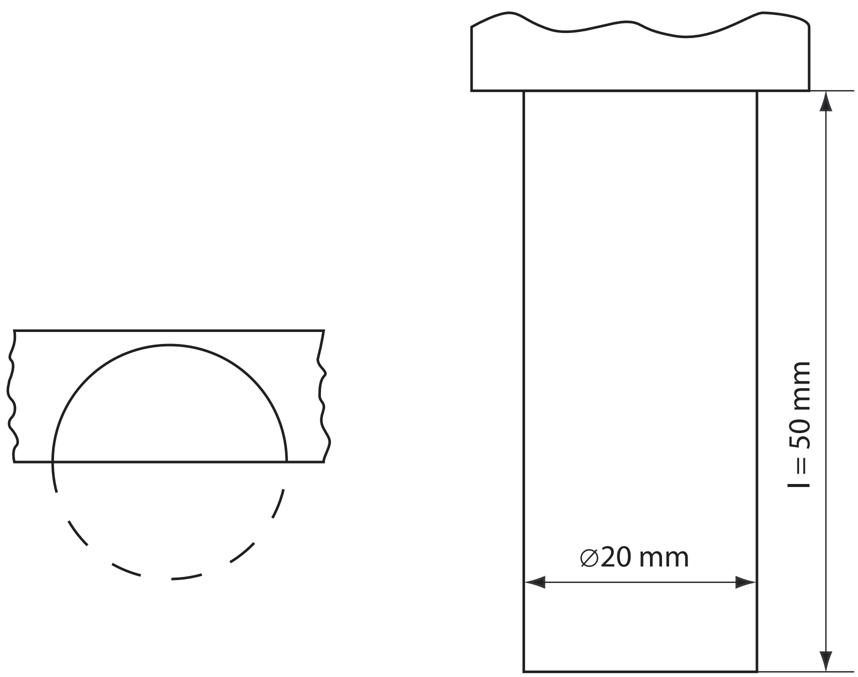


Abbildung 1: Stanzteilgeometrie für offenen Schnitt

Lösung:

Beim Stanzen entstehen Querkräfte, radial zum Werkzeug. Bei geschlossenem Schnitt heben sich diese Querkräfte gegenseitig auf, bei dem hier betrachteten offenen Schnitt bleibt eine Komponente der Querkraft übrig. Die Schnittkraft beträgt $|F_s| = c_v \cdot s \cdot l_s \cdot k_s$. *wobei wir* $c_v = 1$ *annehmen und* $k_s = 0.8 \cdot R_m$ *gilt. In x-Richtung gleichen sich die Querkräfte aus (Symmetrie!), eine Verschiebung des Stempels erfolgt nur in y-Richtung, wo* F_q *versucht, den Stempel nach aussen* $(-y)$ *zu drängen. Demnach interessiert nur der Anteil von* F_q *parallel zu* y.

Da der Anteil von F_q *in y-Richtung entlang dem Halbkreis nicht konstant ist, beziehen wir die Schnittkraft auf eine „infinitesimal kurze" Schnittlänge* dl:

$$|dF_s| = c_v \cdot s \cdot k_s \cdot dl$$

Gemäss Aufgabenstellung gilt auch

$$|dF_q| = 0.2 \cdot |dF_s|$$

Damit ergibt sich für die gesuchte Querkraft:

$$\begin{aligned}
dF_{q_y} &= -|dF_q| \cdot \sin(\alpha) = -0.2 \cdot s \cdot k_s \cdot \sin(\alpha) \cdot dl \\
&= -0.2 \cdot s \cdot k_s \cdot r \cdot \sin(\alpha) \cdot d\alpha \\
F_{q_y} &= -0.2 \cdot s \cdot k_s \cdot r \cdot \int_0^{\pi} \sin(\alpha)\, d\alpha = -0.2 \cdot s \cdot k_s \cdot r \cdot cos(\alpha)|_0^{\pi} \\
&= -4512\, N
\end{aligned}$$

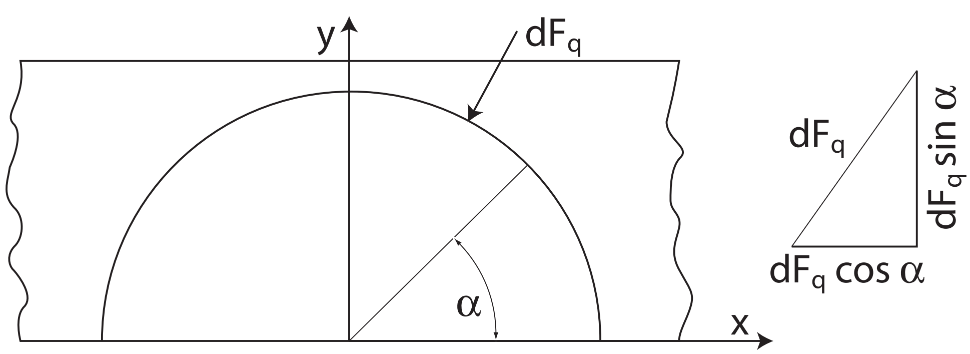


Abbildung 2: Winkel für Kraftangriff bei offenem Schnitt

Für die Verschiebung wird der Stempel als einseitig fest eingespannter Stab angenommen. Die Verschiebung am Stabende ergibt sich nach:

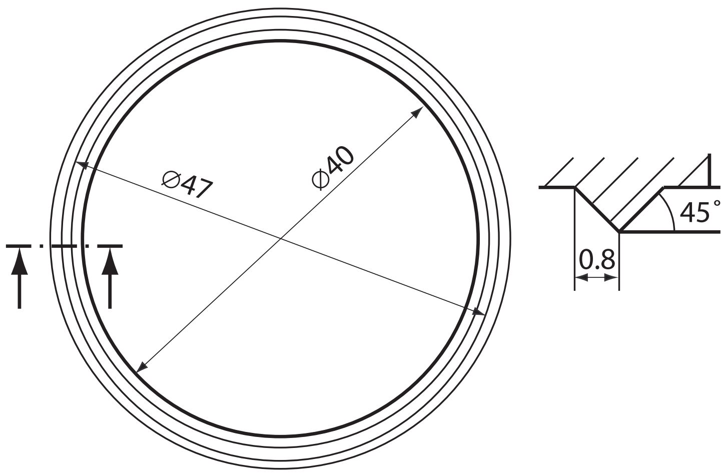
$$f = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I_x} = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot \frac{\pi \cdot d^4}{64}} = \frac{4512\, N \cdot (50\, mm)^3}{3 \cdot 210\, GPa \cdot \frac{\pi \cdot (20\, mm)^4}{64}} = 0.114\, mm \tag{1}$$

Der Stempel muss also um $f = 0.11\, mm$ *nach innen versetzt montiert werden.*

2. <u>Feinschneiden</u>

   Ihr Kunde möchte Scheiben mit Durchmesser $d = 40\,mm$ aus Blech der Dicke $s = 4\,mm$ feinschneiden und bestellt bei ihnen eine Presse dafür.

   a) Skizzieren Sie den Werkzeugaufbau (Seitenansicht).
   b) Berechnen Sie die notwendige Presskraft.
   c) Erklären Sie die Funktionsweise des Verfahrens.
   d) Klären Sie Ihren Kunden über Vor- und Nachteile gegenüber einem Normalstanzverfahren auf.



Materialkennwerte:

R_m	$500\,N/mm^2$
$R_{p0,2}$	$330\,N/mm^2$

Lösung:

a) S. Abbildung 3

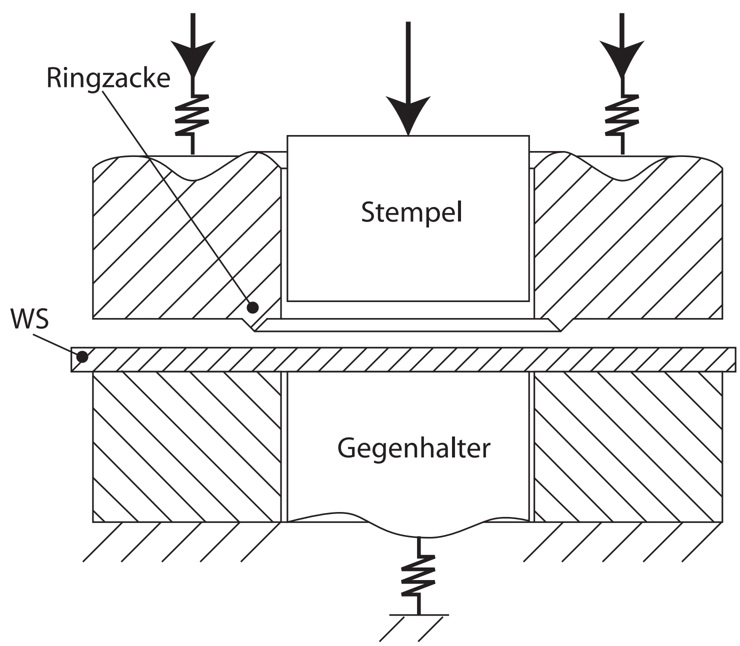


Abbildung 3: Werkzeugaufbau beim Feinschneiden

b) *Die Presskraft beim Feinschneiden setzt sich zusammen aus der Kraft für die Ringzacke, der Kraft für den Gegenhalter und der Kraft für den Stempel.*

Die Schnittkraft berechnet sich aus Schnittlänge l_s*, Blechdicke* s *und Scherfestigkeit* k_s*:*

$F_s = l_s \cdot s \cdot k_s = d \cdot \pi \cdot s \cdot 0.8 \cdot R_m = 40\,mm \cdot \pi \cdot 4\,mm \cdot 0.8 \cdot 500\,N/mm^2 = 201.06kN$

Für den Gegenhalter setzt man 20% der Schnittkraft an:

$F_{Geg} = 0.2 \cdot F_s = 0.2 \cdot 201.1\,kN = 40.21\,kN$

Die Kraft für die Ringzacke ergibt sich aus der in das Blech eingedrückten Fläche und $R_{p0.2}$*:*

$F_{RZ} = A_{RZ} \cdot R_{p0.2} = \pi \cdot d_m \cdot b \cdot R_{p0.2} = \pi \cdot 47\,mm \cdot 1.6\,mm \cdot 330\,N/mm^2 = 77.96\,kN$

$\Rightarrow F_{ges} = F_s + F_{Geg} + F_{RZ} = 319.2\,kN$

c) *Beim Feinschneiden wird vor dem Stempel erst die sogenannte Ringzacke auf das Blech gedrückt. Die Ringzacke fixiert einerseits das Blech auf der Matrize und drückt andererseits Material in Richtung des Schneidspaltes, was dort zum Aufbau von rissverhindernden Druckspannungen führt. Der Stempel drückt nun auf das Blech, das von einem gefederten Gegenhalter gestützt wird, welcher eine Durchbiegung des Bleches verhindert. Der Schneidspalt beträgt dabei nur ca. 1% der Blechdicke.*

d) *Vorteil:*

- *Grosser Glattschnittanteil durch kleine Schneidspalte*
  $\Rightarrow$ *Funktionsfläche, Einsparen von Nachbearbeitungsschritten*

Nachteile:

- *Langsamerer Prozess, weil Automatisierung für Teileentnahme erforderlich*
- *Aufwendige Mechanik, teure Maschinen*

3. Spanbildung

a) Welche Parameter (Schnittparameter, Werkzeuggeometrie) begünstigen die Fliessspanbildung?

Lösung:

- *Duktiles Material:* $\frac{R_{p0,2}}{R_m}$ *klein*
- *Hohe Schnittgeschwindigkeit* v_c
- *Grosser Spanwinkel* γ
- *Geringe Schnittbreite* a_p
- *Schwingungsarme Maschine*

b) Erklären Sie das Temperaturfeld in der Zerspanungstelle.
Was zeichnet HSC (High Speed Cutting) aus?

Lösung:

Der Hauptanteil (etwa 75%) der mechanischen Energie wird in der Scherzone umgesetzt und wird über Wärmeleitung, Strahlung und Konvektion an die Umgebung abgegeben. Beim Abgleiten des Spanes heizt sich dieser aufgrund der Reibung an der Spanfläche weiter auf. Spanfläche und Spanunterseite heizen sich um so stärker auf, je weniger Zeit zur Wärmeableitung zur Verfügung steht. Bei höheren Schnittgeschwindigkeiten treten demnach höhere Temperaturen auf.

Beim HSC ist die Schnittgeschwindigkeit so hoch, dass keine Wärme mehr von der Scherzone auf das Werkstück abgeleitet wird. Ausserdem erfolgt keine Wärmeabgabe vom Span auf das Werkzeug. Der Span nimmt die Umform- und Trennarbeit als Wärmeenergie mit und wird in der sekundären Scherzone auf der Spanfläche weiter aufgeheizt. Dadurch entsteht die wärmste Stelle an der Reibstelle Span – Spanfläche

4. <u>Laserschneiden</u>

Die Fähigkeit eines Lasers zum Schneiden hängt ab vom Produkt der Leistung des Lasers mit dem Absorptionsgrad A des Materials.

$$A \cdot (P_L - P_V) = d \cdot b \cdot v_c \cdot \rho \cdot [c_p \cdot (T_S - T) + h_s] + P_{WL}$$

Sie verwenden einen CO_2 Laser mit $P_L = 6\,kW$ Leistung, der einen Strahl der Qualität $K = 0.4$ liefert. Der Strahl wird über 4 Spiegel mit jeweils 2% Verlust gelenkt. Die Brennweite der Linse ist mit $f = 7.5\,in$ gegeben, der Strahldurchmesser auf der Linse beträgt $d_S = 32\ mm$.

Mit dieser Anlage wird bei einer Umgebungstemperatur von 20° C Stahl (Material: S355J0) mit einem Absorptionskoeffizienten von 0.4 geschnitten. Berechnen Sie die auf diesem Material erreichbare Schnittgeschwindigkeit v_c.

ρ	$7.85\,kg/dm^3$
d	$2\,mm$
c_p	$460\,J/kgK$
T_S	$1500°\,C$
h_s	$268\,kJ/kg$

Lösung:

$$
\begin{aligned}
P_L - P_V &= P_L \cdot (1-0.02)^4 = 6\,kW \cdot 0.9224 = 5.534\,kW && (2)\\
K &= \frac{\lambda}{\pi \cdot SPP} && (3)\\
\Rightarrow\ SPP &= \frac{\lambda}{\pi \cdot K} = \frac{10.6\,\mu m}{\pi \cdot 0.4} = 8.435\mu m && (4)\\
tan(\theta) &= \frac{\frac{d_S}{2}}{f} = \frac{16\,mm}{7.5 \cdot 25.4\,mm} = 0.0839\ \Rightarrow\ \theta = 4.80° = 0.0838 && (5)\\
SPP &= \theta \cdot w_0 && (6)\\
\Rightarrow\ w_0 &= \frac{SPP}{\theta} = \frac{8.435\,\mu m}{0.0840} = 1.00 \cdot 10^{-4}\,m = 0.1\,mm && (7)\\
b &= 2 \cdot w_0 = 2 \cdot 1.00 \cdot 10^{-4} = 2.01 \cdot 10^{-4} = 0.201\,mm && (8)\\
& && (9)
\end{aligned}
$$

Berechnen der maximalen Schnittgeschwindigkeit v_c unter der Annahme, dass keine Verlustleistung aus Wärmeleitung im Material entsteht, d.h. $P_{WL} = 0$. Die real erreichbare Schnittgeschwindigkeit liegt jedoch niedriger ($v_c \approx 20\frac{m}{min}$)

$$
\begin{aligned}
v_c &= \frac{A \cdot (P_L - P_V)}{d \cdot b \cdot \rho \cdot [c_p \cdot (T_S - T) + h_s]} && (10)\\
&= \frac{0.4 \cdot (5.534\,kW)}{2\,mm \cdot 0.201\,mm \cdot 7850\frac{kg}{m^3} \cdot [460\frac{J}{kgK} \cdot (1500° - 20°) + 268\frac{kJ}{kg}]} && (11)\\
&= \frac{2213.7\,W}{3.1498 \cdot 10^{-3}\,\frac{kg}{m} \cdot [460\frac{J}{kgK} \cdot (1480\,K) + 268000\frac{J}{kg}]} && (12)\\
&= 0.74\,\frac{m}{s} = 44.4\,\frac{m}{min} && (13)\\
& && (14)
\end{aligned}
$$