

Wahlfach Fertigungstechnik

Musterlösung zu Übung K – Zerspanung

Prof. Konrad Wegener Thomas Lorenzer

FS 2008

1. Wirkrichtungswinkel

Sie bohren mit einem HSS-Bohrer ein Loch mit einem Durchmesser von $d = 14 \text{ mm}$ in unlegierten Baustahl S235JR. Die Bohrmaschine ist auf $n = 680 \text{ U/min}$ eingestellt und wird mit konstanter Vorschubgeschwindigkeit $v_f = 150 \text{ mm/min}$ in das Material bewegt. Geben Sie an, in welchen Grenzen sich der Wirkrichtungswinkel η bewegt!

Lösung:

$$\tan(\eta) = \frac{\sin(\varphi)}{\frac{v_c}{v_f} + \cos(\varphi)} \quad \text{Bohren} \Rightarrow \varphi = 90^\circ$$

$$\text{Fall 1: } v_c = 0: \tan(\eta) = \frac{\sin(90^\circ)}{\frac{0}{0.15} + \cos(90^\circ)} = \frac{1}{0+0} \rightarrow \infty \\ \Rightarrow \eta_{\max} = 90^\circ$$

Fall 2: $v_c = v_{c,\max}$: $v_{c,\max}$ am Bohrerrand bei $r = 7 \text{ mm}$

$$v_{c,\max} = \pi \cdot d \cdot n = \pi \cdot 0.014 \text{ m} \cdot 680 \text{ 1/min} = 29.908 \text{ m/min}$$

$$\tan(\eta) = \frac{\sin(90^\circ)}{\frac{29.908}{0.15} + \cos(90^\circ)} = \frac{1}{199.39+0} = 0.005015 \\ \Rightarrow \eta_{\min} = 0.287^\circ$$

2. Zeitspannungsvolumen

Sie führen Untersuchungen an den beim Bohren entstehenden Spänen durch. Messungen ergeben durchschnittliche Spandicken von 0.30 mm bei einem Spanstauchfaktor $\lambda_h = 3.15$. Berechnen Sie das Zeitspannungsvolumen sowie den Einstellwinkel κ des Bohrers. Zeichnen Sie die Bohrerspitze und tragen Sie den Winkel κ ein.

Lösung:

$$f = \frac{v_f}{n} = \frac{150 \text{ mm/min}}{680 \text{ 1/min}} = 0.22 \text{ mm}$$

$$A = a_p \cdot f = 7 \text{ mm} \cdot 0.22 \text{ mm} = 1.544 \text{ mm}^2$$

oder:

$$\text{Vorschub pro Schneide: } f_z = \frac{f}{z} = 0.11 \text{ mm}$$

$$A = a_p \cdot f_z \cdot 2 = 7 \text{ mm} \cdot 0.11 \text{ mm} \cdot 2 = 1.544 \text{ mm}^2$$

Angepasste Formel für Q_w , weil Bohrer: Es wird mit $\frac{v_{c,\max}}{2}$ als Mittelwert gerechnet.

$$Q_w = A \cdot \frac{v_{c,\max}}{2} = 1.544 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot 14.95 \text{ m/min} = 0.00138 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$h_0 = \frac{h_{ch}}{\lambda_h} = \frac{0.30 \text{ mm}}{3.15} = 0.09524 \text{ mm}$$

$$\sin(\kappa) = \frac{h_{theor}}{f} = \frac{2 \cdot h_0}{f} = \frac{2 \cdot 0.09524 \text{ mm}}{0.22 \text{ mm}} = 0.8635 \Rightarrow \kappa = 59.71^\circ, \text{ also } \simeq 60^\circ$$

oder:

$$\sin(\kappa) = \frac{h_0}{f_z} = \frac{0.09524 \text{ mm}}{0.11 \text{ mm}} = 0.8635 \Rightarrow \kappa = 59.71^\circ, \text{ also } \simeq 60^\circ$$

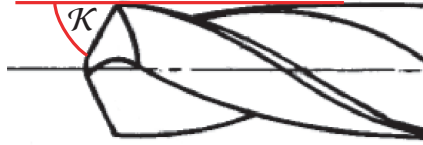


Abbildung 1: Bohrerspitze mit Einstellwinkel κ

3. Schnittkraft

Berechnen Sie die Schnittkraft F_c bei Verwendung eines scharfen (= neuen) Bohrers. Wie gross ist die Zerspanungsleistung?

Lösung:

Berechnung der Schnittkraft mittels Kienzle-Gleichung:

$$F_c = k_{c1.1} \cdot b \cdot h^{(1-z)} \quad \text{mit} \quad h = h_0 \quad \text{und} \quad b = \frac{a_p}{\sin(\kappa)} \quad (1)$$

$k'_{c1.1} = 1780 \text{ N/mm}$ und $(1 - z) = 0.83$ aus Tabelle im Skript.

$\Rightarrow$ Schnittkraft pro Schneide

$$F_c = 1780 \cdot \frac{7}{0.8635} \cdot 0.09524^{(0.83)} = 2049.6 \text{ [N]} \quad (2)$$

Da am Bohrer zwei Schneiden gleichzeitig im Eingriff sind errechnet sich die gesamte Schnittkraft zu:

$$F_{c,ges} = 2 \cdot F_c = 4099.2 \text{ N} \quad (3)$$

Zerspanungsleistung:

$$P = F_c \cdot v_c = F_{c,ges} \cdot \frac{v_{c,max}}{2} = 4099.2 \text{ N} \cdot 14.95 \text{ m/min} = 61300 \text{ Nm/min} = 1021.7 \text{ W}$$

4. Optimale Schnittgeschwindigkeit

Für ein neues Drehteil möchten Sie die optimale Schnittgeschwindigkeit bestimmen. Für die Taylor-Gleichung stehen Ihnen als Information die Proportionalitätskonstante $c_v = 7.5413 \cdot 10^{18}$ sowie der Exponent $k = -11.11$ für den Werkstoff Ck45 zur Verfügung. Des Weiteren wissen Sie, dass eine Schneidplatte 20 CHF kostet und der Werkzeugwechsel 2 Minuten dauert. Für die Maschine wird ein Stundensatz von 30 CHF veranschlagt und die Personal- und Arbeitsplatzkosten für den Werker betragen 70 CHF pro Stunde.

Berechnen Sie die optimale Schnittgeschwindigkeit zur Erzielung des

- a) Kostenoptimums
- b) Stückzeitoptimums

und leiten Sie daraus die Formel zur Berechnung der jeweils zugehörigen Standzeit her.

Lösung:

Werkzeugkosten $K_{WT} = 20 \text{ CHF}$

Maschinensatz $K_{ML} = 100 \text{ CHF/h}$

Werkzeugwechselzeit $t_W = 2 \text{ min}$

Fertigungszeit t_e pro Stück:

Hauptzeit t_h + Werkzeugwechselzeit t_W umgelegt auf Anzahl n gefertigter Teile: $t_e = t_h + \frac{t_W}{n}$

Anzahl n gefertigter Teile:

Standzeit T des Werkzeuges / Hauptzeit t_h pro Stück. Also die Zeit, während der das Werkzeug auch benutzt wird: $n = \frac{T}{t_h}$

Die Kosten setzen sich nun folgendermassen zusammen:

- Für jedes Stück wird die Zeit je Einheit t_e benötigt. Verrechnet mit dem Maschinenstundensatz ergeben sich die Kosten, die die Maschine während Fertigung, aber auch Werkzeugwechsel verursacht:

$$K_{ML} \cdot t_e = K_{ML} \cdot \left(t_h + \frac{t_W}{n}\right) = K_{ML} \cdot \left(t_h + \frac{t_W}{\frac{T}{t_h}}\right) = K_{ML} \cdot t_h \cdot \left(1 + \frac{t_W}{T}\right)$$

- Die Werkzeugkosten pro Standzeit werden auf die in der Standzeit gefertigten Teile umgelegt: $\frac{K_{WT}}{n} = K_{WT} \cdot \frac{t_h}{T}$

Als Gesamtkostenfunktion ergibt sich somit:

$$K_F = K_{ML} \cdot t_h \cdot \left(1 + \frac{t_W}{T}\right) + K_{WT} \cdot \frac{t_h}{T} = t_h \cdot K_{ML} \cdot \left(1 + \frac{t_W}{T}\right) + \frac{t_h}{T} \cdot (K_{ML} \cdot t_W + K_{WT})$$

a) Stückzeitoptimum:

Mit $T = c_v \cdot v_c^k$ und $t_h = a \cdot \frac{1}{v_c}$ ergibt sich:

$$t_e = t_h + \frac{t_W}{n} = \dots = \frac{a}{v_c} + \frac{t_W}{\frac{c_v \cdot v_c^k}{a/v_c}} = a \cdot \left(v_c^{-1} + \frac{t_W}{c_v} \cdot v_c^{-(k+1)}\right)$$

Hinweis: Im Faktor a werden die Geometrie- und weitere Eigenschaften zusammengefasst, von denen die Hauptzeit neben der Bearbeitungsgeschwindigkeit auch abhängt.

Dieser Faktor kürzt sich jedoch am Ende heraus, daher ist eine genauere Betrachtung in diesem Fall nicht notwendig. Von Interesse ist hier nur die reziproke Proportionalität von t_h zur Schnittgeschwindigkeit v_c .

Bedingung: $\frac{dt_e}{dv_c}|_{v_{c,oT}} = 0$

$$\begin{aligned}\frac{dt_e}{dv_c} &= a \cdot [-v_c^{-2} - (k+1) \cdot \frac{t_W}{c_v} \cdot v_c^{-(k+2)}] = -\frac{a}{v_c^2} \cdot [1 + (k+1) \cdot \frac{t_W}{c_v} \cdot \frac{1}{v_c^k}] \\ \Rightarrow \frac{1}{v_{c,oT}^k} \cdot (k+1) \cdot \frac{t_W}{c_v} &= -1 \\ \Rightarrow v_{c,oT} &= \sqrt[k]{-\frac{t_W}{c_v} \cdot (k+1)} = {}^{-11.11}\sqrt{-\frac{2}{7.5413 \cdot 10^{18}} \cdot (-11.11 + 1)} = 38.2 \text{ m/min}\end{aligned}$$

Einsetzen ergibt:

$$T_{ot} = c_v \cdot v_{c,ot}^k = c_v \cdot (-\frac{t_W}{c_v} \cdot (k+1)) = \underline{-t_W \cdot (k+1)}$$

Standzeit:

$$T_{ot} = -2 \text{ min} \cdot (-11.11 + 1) = 20.22 \text{ min}$$

b) Kostenoptimum:

Mit $T = c_v \cdot v_c^k$ und $t_h = a \cdot \frac{1}{v_c}$ ergibt sich:

$$\begin{aligned}K_F &= a \cdot \frac{1}{v_c} \cdot K_{ML} + \frac{a \cdot \frac{1}{v_c}}{c_v \cdot v_c^k} \cdot (K_{ML} \cdot t_W + K_{WT}) \\ &= a \cdot [\frac{1}{v_c} \cdot K_{ML} + \frac{1}{c_v \cdot v_c^{k+1}} \cdot (K_{ML} \cdot t_W + K_{WT})] \\ &= a \cdot [v_c^{-1} \cdot K_{ML} + v_c^{-(k+1)} \cdot \frac{1}{c_v} \cdot (K_{ML} \cdot t_W + K_{WT})]\end{aligned}$$

Bedingung: $\frac{dK_F}{dv_c}|_{v_{c,oK}} = 0$

$$\begin{aligned}\frac{dK_F}{dv_c} &= a \cdot [-v_c^{-2} \cdot K_{ML} - (k+1) \cdot v_c^{-(k+2)} \cdot \frac{1}{c_v} \cdot (K_{ML} \cdot t_W + K_{WT})] \\ &= -\frac{a}{v_c^2} \cdot [K_{ML} + (k+1) \cdot \frac{1}{v_c^k} \cdot \frac{1}{c_v} \cdot (K_{ML} \cdot t_W + K_{WT})] \\ \Rightarrow \frac{-c_v \cdot K_{ML}}{K_{ML} \cdot t_W + K_{WT}} &= (k+1) \cdot \frac{1}{v_c^k} \\ \Rightarrow v_{c,oK} &= \sqrt[k]{-\frac{(k+1)}{c_v} \cdot (t_W + \frac{K_{WT}}{K_{ML}})} \\ &= {}^{-11.11}\sqrt{-\frac{-11.11 + 1}{7.5413 \cdot 10^{18}} \cdot (2 + \frac{20}{\frac{100}{60}})} = 32.0 \text{ m/min}\end{aligned}$$

Einsetzen ergibt:

$$T = c_v \cdot v_{c,oK}^k = c_v \cdot \frac{-(k+1)}{c_v} \cdot (t_W + \frac{K_{WT}}{K_{ML}}) = \underline{-(k+1) \cdot (t_W + \frac{K_{WT}}{K_{ML}})}$$

Standzeit:

$$T_{oK} = -(11.11 + 1) \cdot (\frac{1}{30} \text{ h} + \frac{20 \text{ CHF}}{100 \text{ CHF/h}}) = 2.36 \text{ h} = 141.5 \text{ min}$$

5. Arbeitsfolge und Werkzeugauswahl

Legen Sie die Arbeitsfolge und zugehörige Werkzeuge für das abgebildete Drehteil fest. Das Teil wird in grosser Stückzahl von der Stange bearbeitet und soll in einem Drehautomaten hergestellt werden, der über einen Stangenlader verfügt.

a) Geben Sie die ideale Belegung des Magazins an.

b) Ihr Magazin verfügt nur über 5 Plätze. Welche Werkzeuge müssen Sie auf jeden Fall verwenden?

Lösung: *Siehe Tabellen 1 und 2.*

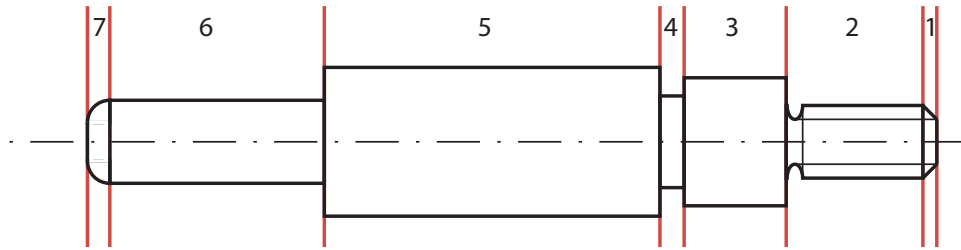


Abbildung 2: Welle mit Absätzen und Gewinde

Arbeitsgang	Bereich	Vorgang	Notwendige Werkzeuge
1	1+2	Längsrunddrehen - Schruppen	rechter Längsdrehschruppmeissel
2	1+2	Längsrunddrehen - Schlichten	rechter Längsdrehmeissel
3	1	Querplandrehen und Anfasen	rechter Längsdrehmeissel
4	2	Freistich	Profilstahl
5	2	Gewindedrehen	Spitzmeissel
6	3-5	Längsrunddrehen	rechter Längsdrehmeissel
7	4	Einstecken - Querrunddrehen	gerader Stechmeissel
8	6+7	Längsrunddrehen - Schruppen	linker Längsdrehschruppmeissel
9	6+7	Längsrunddrehen - Schlichten	linker Längsdrehmeissel
10	6	Ecke ausdrehen - Querplandrehen	linker Längsdrehmeissel
11	7	Profildrehen	Formdrehstahl
12	7	Abstechen	schräger Stechmeissel

Tabelle 1: Notwendige Werkzeuge

Magazin-Nr.	WZ-Bestückung a)	WZ-Bestückung b)
1	rechter Längsdrehschruppmeissel	
2	rechter Längsdrehmeissel	X
3	Profilstahl	X
4	Spitzmeissel	X
5	gerader Stechmeissel	X
6	linker Längsdrehschruppmeissel	
7	linker Längsdrehmeissel	X
8	linker Eckendrehmeissel	
9	Formdrehstahl	
10	schräger Stechmeissel	

Tabelle 2: Bestückung Werkzeugmagazin