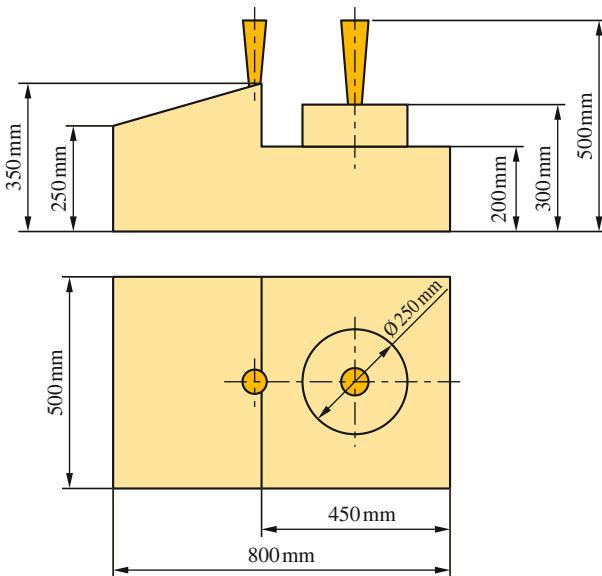


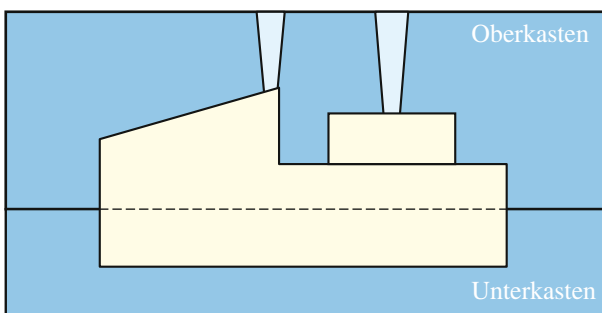
## Aus Kapitel 30

### Aufgaben

**30.1 ••** Folgendes Bauteil aus Gusseisen ( $\rho = 7200 \text{ kg/m}^3$ ) soll im Handformverfahren hergestellt werden. Das Gewicht des Oberkastens beträgt 3500 N. Skizzieren Sie die fertige Gießform im Querschnitt (mit Teilungsebene) und berechnen Sie die Deckelkraft  $F_D$  sowie das erforderliche Belastungsgewicht  $F_B$ . Die schematisch dargestellten Speiser/Einguss sind dabei zu vernachlässigen.



**Resultat:**



$$F_D = 6893 \text{ N}$$

$$F_B = 6840 \text{ N}$$

**Ausführliche Lösung:** Berechnung des „Deckelvolumens“:

Rechts, Quader minus Zylinder:

$$V_1 = (0,45 \cdot 0,5 \cdot 0,3) - \pi/4 \cdot 0,25^2 \cdot 0,1 = 0,06259 \text{ m}^3$$

Links, Trapez mit mittlerer Höhe:

$$h = (0,25 + 0,15)/2 = 0,2 \text{ m},$$

$$V_2 = 0,2 \cdot 0,35 \cdot 0,5 = 0,035 \text{ m}^3,$$

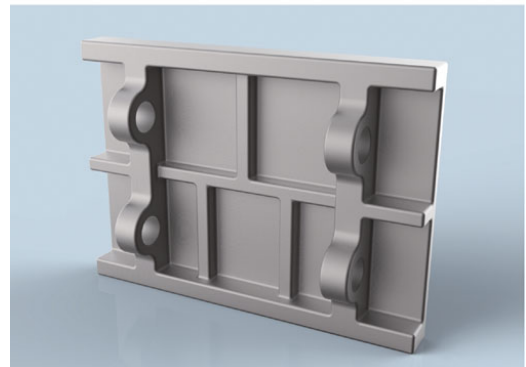
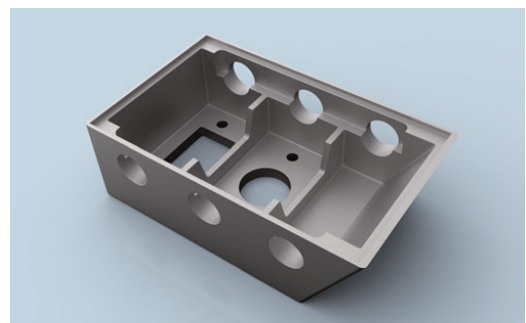
$$V_D = V_1 + V_2 = 0,09759 \text{ m}^3,$$

$$F_D = V_D \cdot \rho \cdot g = 0,09759 \text{ m}^3 \cdot 7200 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 6893 \text{ N}.$$

$$\text{Belastungsgewicht: } F_B = (F_D + F_{AK} - F_{GK}) \cdot 1,5 - F_{G0},$$

$$F_B = (5869 \text{ N} + 0 - 0) \cdot 1,5 - 3500 \text{ N} = 6840 \text{ N}.$$

**30.2 •** Folgende Bauteile aus Gusseisen (GJS) mit einem Stückgewicht von 490 kg (Rahmen) und 1700 kg (Gehäuse) sollen mit einer Stückzahl von 100 gegossen werden. Diskutieren Sie die geeigneten Verfahren mit verlorener Form.

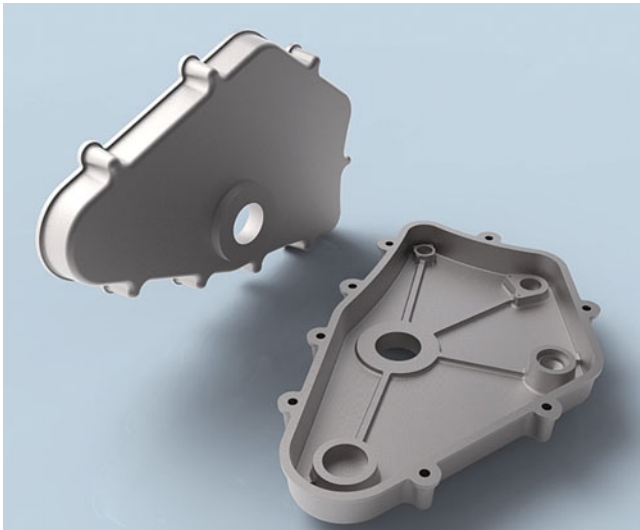


**Resultat:** Beide Werkstücke sind relativ unkompliziert aufgebaut, haben keine Hinterschneidungen und benötigen nur wenige Kerne. Bei einer Stückzahl von 100 ist das Handformverfahren prädestiniert. Das Maschinenformen ist für die geringe Stückzahl u. U. weniger wirtschaftlich, aber ebenso geeignet. Das Maskenformen ist aufgrund des Bauteilgewichtes nicht geeignet. Das Keramikformen wäre für den Rahmen noch geeignet, die erzielbare höhere Genauigkeit und bessere Oberflächengüte ist aber nicht erforderlich. Das Vakuumformen wäre ebenso für den Rahmen einsetzbar, hat eine höhere Genauigkeit und kann eine wirtschaftliche Alternative darstellen. Das Vollformgießen wäre für beide Werkstücke ebenso verwendbar, wobei jedoch die Stückzahl von 100 für eine händische Modellherstellung relativ hoch und für eine automatisierte Modellherstellung zu gering ist.

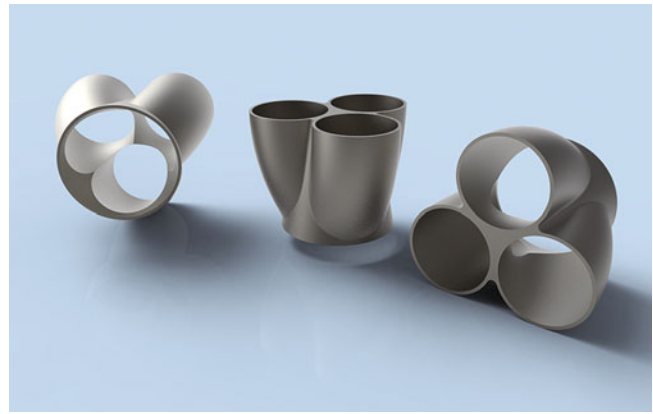
**30.3 ••** Folgende Bauteile aus einer Aluminium-Magnesium-Legierung (Deckel, Übergangsstück) sowie aus Kunststoff (Aufputzdose) sollen in großer Stückzahl produziert werden (siehe Abbildungen).

Diskutieren Sie geeignete Gießverfahren mit Dauerformen und zu erwartende Probleme.

Wie sind die entsprechenden Dauerformen zu gestalten und wie verlaufen die Teilungsebenen?



Gehäusedeckel aus Aluminium



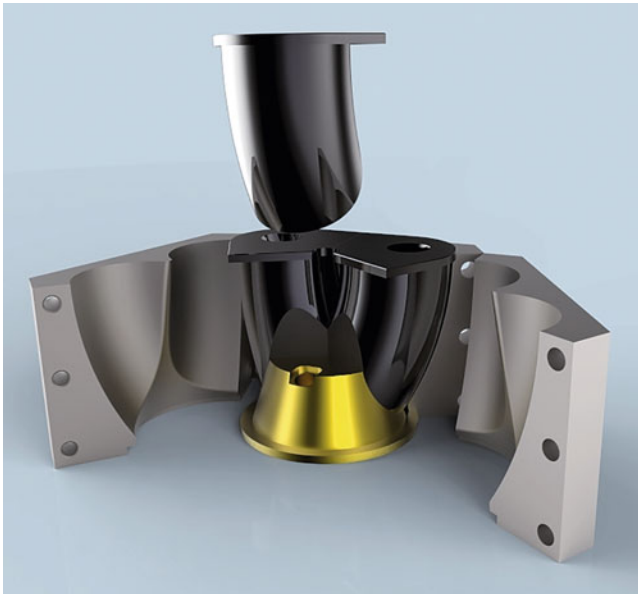
Übergangsstück aus Aluminium



Aufputzdose aus Kunststoff

**Resultat:** Das Druckgussverfahren ist sowohl für den Deckel als auch für das Übergangsstück einsetzbar. Beide Bauteile weisen gleichmäßige, nicht zu große Wandstärken auf und sind auch von den Abmessungen dafür geeignet. Das Übergangsstück könnte auch im Kokillenguss hergestellt werden (siehe Abbildung). Es ist jedoch von der Formgestaltung aufwendiger und erfordert eine dreiteilige Außenform mit drei obenliegenden Schiebern und einem Bodenstein.

Die Aufputzdose aus Kunststoff ist ein klassisches Spritzgussteil, das aufgrund seiner Größe in einer Form mit mehreren Nestern hergestellt wird.



Geteilte Kokillengussform mit drei Schiebern für das Übergangsstück aus Aluminium

**30.4 •** Ein zylindrisches Bauteil aus Ck15 mit einem Durchmesser von 40 mm wird von ursprünglich 40 mm Höhe auf 30 mm gestaucht.

1. Wie groß ist die erforderliche Umformkraft ohne Reibung?
2. Wie groß ist die Formänderungsarbeit?
3. Wie hoch sind die Umformkraft und die Formänderungsarbeit bei C35 mit Reibung ( $\eta_F = 0,7$ )?

**Resultat:**  $F_{id} = 871.000 \text{ N}$ ,

$W_{id} = V \cdot a = 5026 \text{ N m}$ ,

$F = 1723 \text{ kN}$ ,

$W = 11.489 \text{ N m}$ .

**Ausführliche Lösung:**

1. Der Umformgrad beträgt  $\varphi = \ln \frac{30 \text{ mm}}{40 \text{ mm}} = -28,7\%$ . Die Fließspannung ergibt sich aus dem Diagramm (Fließkurve Ck15) mit  $k_f = 520 \text{ MPa}$ . Die Umformkraft ergibt sich aus  $F = A \cdot k_f$  wobei die Fläche  $A$  die Querschnittsfläche am Ende der Verformung ist.  $A$  kann über die Volumenkonstanz berechnet werden:  $A_1 = A_0 \cdot \frac{h_0}{h_1} = 1675 \text{ mm}^2$ . Somit beträgt die Umformkraft  $F_{id} = 871.000 \text{ N}$ .
2. Die bezogene Formänderungsarbeit ergibt sich aus dem Diagramm mit  $a = 100 \text{ MPa}$ . Die Formänderungsarbeit beträgt somit  $W_{id} = V \cdot a = 5026 \text{ N m}$ .
3.  $k_f = 720 \text{ MPa}$ .  $a = 160 \text{ MPa}$ .  
 $F = 1723 \text{ kN}$ .  $W = 11.489 \text{ N m}$ .

**30.5 ••** Ein Stahlblech soll durch Warmwalzen in einem Stich von  $h_0 = 100 \text{ mm}$  auf  $h_1 = 50 \text{ mm}$  gewalzt

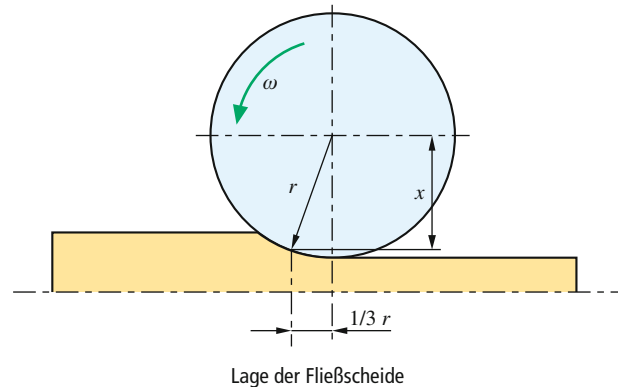
werden. Der Walzendurchmesser beträgt  $d = 250 \text{ mm}$ , die Drehzahl ist  $n = 150 \text{ U/min}$ .

Mit welcher Geschwindigkeit wird das Blech eingezogen, mit welcher Geschwindigkeit verlässt es das Walzgerüst?

**Resultat:**

$v = 1,45 \text{ m/s}$  und  $v_1 = 2,9 \text{ m/s}$ .

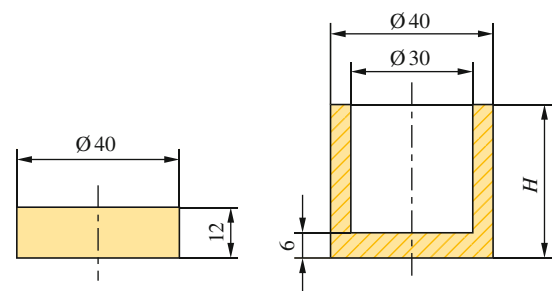
**Ausführliche Lösung:** Nur am Punkt der Fließscheide hat das Blech die gleiche Geschwindigkeit wie die Walzen, und diese beträgt  $v = \pi \cdot d \cdot n = 1,96 \text{ m/s}$ . Als Nächstes muss die Blechhöhe am Punkt der Fließscheide berechnet werden.



Es gilt  $r^2 = x^2 + (r/3)^2$  und somit beträgt  $x = 117,85 \text{ mm}$ . Die Blechhöhe am Punkt der Fließscheide beträgt somit  $h_s = h_1 + 2 \cdot (r - x) = 64,3 \text{ mm}$ . Die horizontale Geschwindigkeit des Bleches am Punkt der Fließscheide beträgt  $v \cdot \sqrt{8/9} = 1,85 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Aufgrund der Volumenkonstanz gilt  $h \cdot v = h_1 \cdot v_1 = h_s \cdot v_s$  und somit beträgt  $v_0 = 1,19 \text{ m/s}$  und  $v_1 = 2,38 \text{ m/s}$ .

**30.6 ••** Aus dem skizzierten Rohteil aus Ck10 soll durch Rückwärtsfließpressen der dargestellte Napf geformt werden ( $\mu = 0,1$ ).

1. Berechnen Sie die Höhe des fertigen Napfes.
2. Berechnen Sie die Umformkraft.



**Resultat:**  $H = 19,7 \text{ mm}$

$F = 1.160.873 \text{ N}$

**Ausführliche Lösung:**

1. Die Höhe des fertigen Napfes ergibt sich aus der Volumenkonstanz zu

$$h_2 = \frac{[(40 \text{ mm})^2 \cdot 12 \text{ mm}] - [(40 \text{ mm})^2 \cdot 6 \text{ mm}]}{[(40 \text{ mm})^2 - (30 \text{ mm})^2]} + 6$$

$$= 19,7 \text{ mm}$$

2. Beim Rückwärts-Fließpressen gibt es zwei Umformgrade:

$$\varphi_1 = \ln \left( \frac{6 \text{ mm}}{12 \text{ mm}} \right) = -69 \% \quad \text{und}$$

$$\varphi_2 = \varphi_1 \cdot \left( 1 + \frac{d_1}{8s} \right) = -120 \%$$

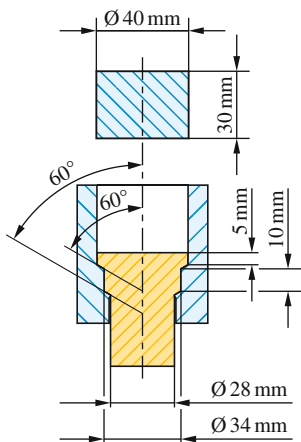
Daraus ergeben sich aus der Fließkurve  $k_{f1} = 615 \text{ MPa}$  und  $k_{f2} = 680 \text{ MPa}$ . Für einen angenommenen Reibungskoeffizienten von  $\mu = 0,1$  ergibt sich die gesamte Umformkraft für das Rückwärts-Fließpressen:

$$F = \left( \frac{d_1^2 \pi}{4} \right) \cdot \left\{ k_{f1} \cdot \left( 1 + \frac{1}{3} \mu \cdot \frac{d_1}{h_1} \right) + k_{f2} \cdot \left[ 1 + \frac{h_1}{s} \left( 0,25 + \frac{\mu}{2} \right) \right] \right\}$$

mit  $F = 1.160.873 \text{ N}$ .

**30.7** ••• Folgendes Bauteil aus Ck15 soll mittels Vorwärtsfließpressen hergestellt werden ( $\mu = 0,1$ ).

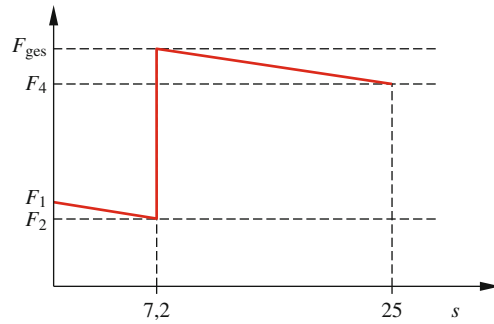
1. Berechnen Sie die Umformkraft und zeichnen Sie den Verlauf in ein Kraft-Weg-Diagramm ein (die konischen Bereiche sind bei der Berechnung zu vernachlässigen).
2. Berechnen Sie die gesamte Arbeit, die über den Umformweg aufgebracht werden muss.



**Resultat:**  $F_1 = 584.945 \text{ N}$ ,  $F_2 = 566.849 \text{ N}$ ,  $F_3 = 745.485 \text{ N}$ .

$F_{\text{ges}} = F_2 + F_3 = 1.312.334 \text{ N}$ .

Verlauf der Umformkraft:



$W = 27.107 \text{ Nm}$ .

**Ausführliche Lösung:**

Das Bauteil wird in einem Schritt zweimal vorwärts fließgepresst. Der erste Umformgrad ist dabei  $\varphi_1 = \ln \left( \frac{(34 \text{ mm})^2}{(40 \text{ mm})^2} \right) = -32,5 \%$ , der zweite ist  $\varphi_2 = \ln \left( \frac{(28 \text{ mm})^2}{(34 \text{ mm})^2} \right) = -38,8 \%$ . Die Kraft für die erste Umformung berechnet sich mit  $k_{f0} = 200 \text{ MPa}$  und einer bezogenen Umformarbeit von  $a(32,5 \%) = k_{fm} \cdot \varphi = 120 \text{ MPa}$  zu

$$F_1 = \frac{\pi}{4} \cdot (40 \text{ mm})^2 \cdot 120 \text{ MPa} \cdot \left( 1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{\pi/3}{0,325} + \frac{0,1}{\sin 60^\circ \cdot \cos 60^\circ} \right) + \pi \cdot 40 \text{ mm} \cdot 30 \text{ mm} \cdot 200 \text{ MPa} \cdot 0,1$$

$$= 584.945 \text{ N}$$

Diese Kraft fällt dabei kontinuierlich ab, bis der zweite Absatz erreicht wird, da die Reibkraft an der zylindrischen Wand des Rohteils kleiner wird, je weiter das Rohteil in die Matrize gepresst wird. Unter Vernachlässigung der Schrägen beträgt die Resthöhe bei Erreichen des zweiten Absatzes  $h = 22,8 \text{ mm}$  da gilt:  $(40 \text{ mm})^2 \cdot 30 = (34 \text{ mm})^2 \cdot 10 + (40 \text{ mm})^2 \cdot h$ . Die Umformkraft beträgt beim Erreichen des zweiten Absatzes dann  $F_2 = 566.849 \text{ N}$ .

Jetzt folgt die zweite Umformung am zweiten Absatz. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Werkstoff jetzt bereits eine Verformung von  $\varphi_1 = 32,5 \%$  und somit eine Kaltverfestigung erfahren hat. Die bezogene Umformarbeit ergibt sich jetzt aus der Differenz  $\Delta a = a(71,3 \%) - a(32,5 \%) = 370 - 120 = 250 \text{ MPa}$ . Das  $k_{f0}$  für den zweiten Umformschritt entspricht der Fließspannung  $k_{f1}(32,5 \%) = 540 \text{ MPa}$ . Somit ergibt sich die zweite Umformkraft

$$F_3 = \frac{\pi}{4} \cdot (34 \text{ mm})^2 \cdot 250 \text{ MPa} \cdot \left( 1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{\pi/3}{0,388} + \frac{0,1}{\sin 60^\circ \cdot \cos 60^\circ} \right) + \pi \cdot 34 \text{ mm} \cdot 10 \text{ mm} \cdot 540 \text{ MPa} \cdot 0,1 = 745.485 \text{ N}$$

Die gesamte Umformkraft beträgt jetzt  $F_{\text{ges}} = F_2 + F_3 = 1.312.334 \text{ N}$ .

Diese Kraft nimmt bis zum Ende der Umformung, bei der eine Resthöhe von 5 mm im oberen Teil der Matrice verbleibt, auf  $F_4 = 1.267.598 \text{ N}$  ab.

Die Arbeit, die über den gesamten Umformweg aufgebracht werden muss, ist letztendlich das Integral über den Kraftverlauf von  $s = 0$  bis 25 mm. Dieses kann über die mittleren Kräfte von 0 bis 7,2 mm und von 7,2 mm bis 25 mm einfach berechnet werden. Es ergibt sich eine Arbeit von  $W = 27.107 \text{ Nm}$ .

**30.8 •** Eine Welle aus 16 MnCr5 soll mit einer Zustellung von  $a = 5 \text{ mm}$  und einem Vorschub von  $f = 0,2 \text{ mm}$  bearbeitet werden. Der Einstellwinkel beträgt  $45^\circ$ . Bestimmen Sie die Schnittkraft nach Victor-Kienzle. Wie verändert sich die Kraft, wenn

1. die Zustellung,
2. der Vorschub halbiert wird?

**Resultat:**  $F_c = 2512 \text{ N}$

**Ausführliche Lösung:** Aus  $a = 5 \text{ mm}$ ,  $f = 0,2 \text{ mm}$  und  $\chi = 45^\circ$  ergeben sich

$$h = f \cdot \sin 45^\circ = 0,141 \text{ mm und}$$

$$b = a / \sin 45^\circ = 7,07 \text{ mm.}$$

Für 16 MnCr5 ergeben sich nach Tab. 30.10 ein  $k_{c1.1}$  von  $1400 \text{ N/mm}^2$  und ein  $m$  von 0,3. Somit berechnet sich die Schnittkraft mit

$$F_c = 7,07 \cdot 0,141^{1-0,3} \cdot 1400 = 2512 \text{ N}$$

Die Zustelltiefe  $a$  geht über die Spanungsbreite  $b$  linear in die Schnittkraft ein. Somit führt eine Halbierung der Zustellung auch zu einer Halbierung der Schnittkraft.

Der Vorschub hingegen geht nichtlinear ein. Eine Halbierung des Vorschubs führt zu einer Reduktion der Schnittkraft um etwa 38 %.

**30.9 •** Bestimmen Sie für die Welle aus der vorherigen Aufgabe die Zerspanleistung bei einer Schnittgeschwindigkeit von  $v_c = 300 \text{ m/min}$ . Welche Antriebsleistung ist bei einem Gesamtwirkungsgrad von  $\eta = 70\%$  zu installieren?

**Resultat:** Die Zerspanleistung ergibt sich aus  $P_c = F_c \cdot v_c$ .

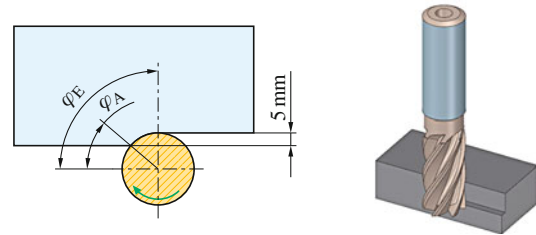
$$P_c = 2512 \text{ N} \cdot 300 \text{ m/min} / 60 \text{ s/min} = 12.560 \text{ W.}$$

Bei einem Wirkungsgrad von 70 % beträgt die zu installierende Leistung  $P = P_c / 0,7 = 17,9 \text{ kW}$ .

**30.10 ••** Ein Bauteil aus C 60 wird mit einem Stirnfräser ( $D = 30 \text{ mm}$ , acht Schneiden) bearbeitet. Dabei taucht der Fräser axial 15 mm und radial 5 mm tief in das Material ein. Berechnen Sie die theoretische Spindelleistung bei einer Fräserdrehzahl von  $n = 2650 \text{ U/min}$  und einem Vorschub  $f = 0,3 \text{ mm/U}$ .

**Resultat:** Die theoretische Spindelleistung beträgt somit  $P_c = F_c \cdot v_c = 4253 \text{ W}$ .

**Ausführliche Lösung:**



$\varphi_E$  beträgt  $90^\circ$ .

$\varphi_A$  ergibt sich aus dem Fräserradius und der radialen Zustellung mit  $\varphi_A = \arcsin(10/15) = 41,8^\circ$ .

Der Zahnvorschub ist  $f_z = 0,3/8 = 0,0375 \text{ mm/U}$ .

Somit ist die mittlere Spandicke:

$$h_m = 360^\circ / \pi / 48,2^\circ \cdot 5/30 \cdot 0,0375 \cdot \sin 90^\circ = 0,0149 \text{ mm.}$$

Die Schnittkraft pro Zahn beträgt:

$$F_{czm} = 15 \cdot 0,0149^{1-0,22} \cdot 1690 = 953 \text{ N.}$$

Es befinden sich  $z_E = 48,2^\circ / 360^\circ \cdot 8 = 1,07$  Schneiden im Eingriff.

Somit ist die Gesamtschnittkraft:

$$F_c = 953 \cdot 1,07 = 1020 \text{ N.}$$

Bei einer Drehzahl von  $n = 2650 \text{ U/min}$  beträgt die max. Schnittgeschwindigkeit:

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n = 250 \text{ m/min} = 4,17 \text{ m/s.}$$

Die theoretische Spindelleistung beträgt somit

$$P_c = F_c \cdot v_c = 4253 \text{ W.}$$

**30.11 •** Bestimmen Sie für die spanende Bearbeitung folgender Werkstoffe die dafür geeigneten Schneidstoffe (geometrisch bestimmte Schneiden):

1. Drehen von E 295 (St 50-2) mit unterbrochenem Schnitt.
2. Stirnfräsen mit einem Messerkopf von EN-GJS-400-15 (GGG 40).
3. Trockene Drehbearbeitung von gehärtetem Stahl (55 HRC).
4. Schlichtfräsen eines Schnittwerkzeuges aus X210Cr12 (60 HRC).

5. Bohren von 2000 Löchern (Durchmesser 3mm, Tiefe 15 mm) in eine Bronze-Legierung.

**Resultat:**

1. Schnellarbeitsstahl – HS10-4-3-10.
2. Hartmetall der K-Gruppe.
3. Keramischer Schneidstoff.
4. Kubisches Bornitrid.
5. TiC- oder TiN-beschichteter HM-Bohrer.