

## Força de corte específica, valores de referência

## Força de corte específica

- $k_c$  Força de corte específica em N/mm<sup>2</sup>  
 $k$  Valores da tabela para a força de corte específica em N/mm<sup>2</sup>  
 $k_{c1,1}$  Valor principal da força de corte específica em N/mm<sup>2</sup>  
 $m_c$  Constante do material  
 $h$  Espessura do cavaco  
 $C_1$  Fator de correção para a velocidade de corte  
 $C_2$  Fator de correção para o processo de fabricação  
 $v_c$  Velocidade de corte em m/min

## Força de corte específica

$$k_c = k \cdot C_1 \cdot C_2$$

$$k_c = \frac{k_{c1,1}}{h^{m_c}} \cdot C_1 \cdot C_2$$

## Fatores de correção

| Velocidade de corte $v_c$ em m/min | $C_1$ |
|------------------------------------|-------|
| 10-30                              | 1,3   |
| 31-80                              | 1,1   |
| 81-400                             | 1,0   |
| > 400                              | 0,9   |
| Processos de fabricação            | $C_2$ |
| Fresar                             | 0,8   |
| Tornear                            | 1,0   |
| Furar                              | 1,2   |

## Exemplo:

Um eixo de C45 é torneado com  $v_c = 75$  m/min e  $h = 0,31$  mm.

Procurado: Fatores de correção  $C_1$  e  $C_2$ ; força de corte específica  $k_c$

Solução: Tabela de fatores de correção:  $C_1 = 1,1$  e  $C_2 = 1,0$

Tabela  $k = 1990$  N/mm<sup>2</sup>

$$k_c = k \cdot C_1 \cdot C_2 = 1990 \text{ N/mm}^2 \cdot 1,1 \cdot 1,0 = 2189 \text{ N/mm}^2$$

ou

$$k_c = \frac{k_{c1,1}}{h^{m_c}} \cdot C_1 \cdot C_2 = \frac{1450}{0,31^{0,27}} \cdot 1,1 \cdot 1,0 = 2188,2 \text{ N/mm}^2$$

Valores de referência para a força de corte específica<sup>1)</sup>

| Material    | $k_{c1,1}$<br>N/mm <sup>2</sup> | $m_c$ | Força de corte específica $k$ em N/mm <sup>2</sup><br>para uma espessura de cavaco $h$ em mm |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|-------------|---------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
|             |                                 |       | 0,08                                                                                         | 0,1  | 0,16 | 0,2  | 0,31 | 0,5  | 0,8  | 1,0  | 1,6  |  |
| E295        | 1500                            | 0,3   | 3200                                                                                         | 2995 | 2600 | 2430 | 2130 | 1845 | 1605 | 1500 | 1305 |  |
| C35, C45    | 1450                            | 0,27  | 2870                                                                                         | 2700 | 2380 | 2240 | 1990 | 1750 | 1540 | 1450 | 1275 |  |
| C60         | 1690                            | 0,22  | 2945                                                                                         | 2805 | 2530 | 2410 | 2185 | 1970 | 1775 | 1690 | 1525 |  |
| 9S20        | 1390                            | 0,18  | 2190                                                                                         | 2105 | 1935 | 1855 | 1715 | 1575 | 1445 | 1390 | 1275 |  |
| 9SMn28      | 1310                            | 0,18  | 2065                                                                                         | 1985 | 1820 | 1750 | 1615 | 1485 | 1365 | 1310 | 1205 |  |
| 35S20       | 1420                            | 0,17  | 2180                                                                                         | 2100 | 1940 | 1865 | 1735 | 1600 | 1475 | 1420 | 1310 |  |
| 16MnCr5     | 1400                            | 0,30  | 2985                                                                                         | 2795 | 2425 | 2270 | 1990 | 1725 | 1495 | 1400 | 1215 |  |
| 18CrNi8     | 1450                            | 0,27  | 2870                                                                                         | 2700 | 2380 | 2240 | 1990 | 1750 | 1540 | 1450 | 1275 |  |
| 20MnCr5     | 1465                            | 0,26  | 2825                                                                                         | 2665 | 2360 | 2225 | 1985 | 1755 | 1555 | 1465 | 1295 |  |
| 34CrMo4     | 1550                            | 0,28  | 3145                                                                                         | 2955 | 2590 | 2430 | 2150 | 1880 | 1650 | 1550 | 1360 |  |
| 37MnSi5     | 1580                            | 0,25  | 2970                                                                                         | 2810 | 2500 | 2365 | 2115 | 1880 | 1670 | 1580 | 1405 |  |
| 40Mn4       | 1600                            | 0,26  | 3085                                                                                         | 2910 | 2575 | 2430 | 2170 | 1915 | 1695 | 1600 | 1415 |  |
| 42CrMo4     | 1565                            | 0,26  | 3020                                                                                         | 2850 | 2520 | 2380 | 2120 | 1875 | 1660 | 1565 | 1385 |  |
| 50CrV4      | 1585                            | 0,27  | 3135                                                                                         | 2950 | 2600 | 2450 | 2175 | 1910 | 1685 | 1585 | 1395 |  |
| X210Cr12    | 1720                            | 0,26  | 3315                                                                                         | 3130 | 2770 | 2615 | 2330 | 2060 | 1825 | 1720 | 1520 |  |
| EN-GJL-200  | 825                             | 0,33  | 1900                                                                                         | 1765 | 1510 | 1405 | 1215 | 1035 | 890  | 825  | 705  |  |
| EN-GJL-300  | 900                             | 0,42  | 2600                                                                                         | 2365 | 1945 | 1740 | 1470 | 1205 | 990  | 900  | 740  |  |
| CuZn37      | 1180                            | 0,15  | 1725                                                                                         | 1665 | 1555 | 1500 | 1405 | 1310 | 1220 | 1180 | 1100 |  |
| CuZn36Pb1,5 | 835                             | 0,15  | 1220                                                                                         | 1180 | 1100 | 1065 | 995  | 925  | 865  | 835  | 780  |  |
| CuZn40Pb2   | 500                             | 0,32  | 1120                                                                                         | 1045 | 900  | 835  | 725  | 625  | 535  | 500  | 430  |  |

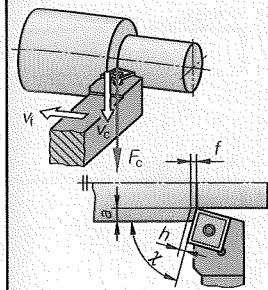
Significado dos valores da força de corte  $k_{c1,1}$  e  $k_c$ 

| Valor      | Força de corte $F_c$ para a seção transversal do cavaco $A = 1$ mm <sup>2</sup> sob as seguintes condições: |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $k_{c1,1}$ | Largura do cavaco $b = 1$ mm, espessura do cavaco $h = 1$ mm                                                |
| $k$        | Espessura do cavaco $h$ conforme planejamento de produção                                                   |
| $k_c$      | Força de corte específica considerando o processo de fabricação e a velocidade de corte $v_c$ .             |

<sup>1)</sup> Os valores de referência são válidos para ferramentas de metal duro com os seguintes ângulos de cavaco:  
 $\gamma_0 = +6^\circ$  para aços  
 $\gamma_0 = +2^\circ$  para ferros fundidos  
 $\gamma_0 = +8^\circ$  para ligas de cobre

## Forças e potências no torneamento e na furação

## Tornear



- $F_c$  Força de corte em N  
 $A$  Seção transversal do cavaco em mm<sup>2</sup>  
 $a$  Profundidade de corte em mm  
 $f$  Avanço em mm  
 $\chi$  Ângulo de posição em graus (°)  
 $h$  Espessura do cavaco em mm  
 $v_c$  Velocidade de corte em m/min  
 $k_c$  Força de corte específica em N/mm<sup>2</sup> (página 298)  
 $Q$  Volume de cavaco mm<sup>3</sup>/min  
 $P_c$  Potência de corte em kW

## Seção do cavaco

$$A = a \cdot f$$

## Força de corte

$$F_c = A \cdot k_c$$

## Espessura do cavaco

$$h = f \cdot \sin \chi$$

## Volume de cavaco

$$Q = A \cdot v_c = a \cdot f \cdot v_c$$

## Potência de corte

$$P_c = F_c \cdot v_c = Q \cdot k_c$$

## Exemplo:

Um eixo de 16MnCr5 é usinado com  $a = 5$  mm,  $f = 0,32$  mm,  $\chi = 75^\circ$  e  $v_c = 160$  m/min.

Procurado:  $h$ ;  $k_c$ ;  $A$ ;  $F_c$ ;  $P_c$

Solução:  $h = f \cdot \sin \chi = 0,32 \text{ mm} \cdot \sin 75^\circ = 0,31 \text{ mm}$

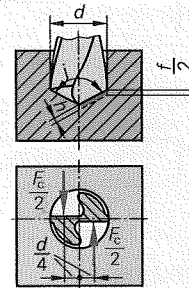
$$k_c = k \cdot C_1 \cdot C_2; k = 1990 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \text{ (p. 298)}$$

$$= 1990 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1990 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$F_c = a \cdot f \cdot k_c = 5 \text{ mm} \cdot 0,32 \text{ mm} \cdot 1990 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 3184 \text{ N}$$

$$P_c = F_c \cdot v_c = \frac{3184 \text{ N} \cdot 160 \text{ m}}{60 \text{ s}} = 8491 \text{ W} = 8,49 \text{ kW}$$

## Furar



- $F_c$  Força de corte em N  
 $A$  Seção transversal do cavaco em mm<sup>2</sup>  
 $d$  Diâmetro da broca em mm  
 $f$  Avanço a cada rotação em mm  
 $\sigma$  Ângulo do vértice em graus (°)  
 $h$  Espessura do cavaco em mm  
 $v_c$  Velocidade de corte em m/min  
 $k_c$  Força de corte específica em N/mm<sup>2</sup> (página 298)  
 $M_c$  Torque de corte em N x m  
 $Q$  Volume de cavaco mm<sup>3</sup>/min  
 $P_c$  Potência de corte em kW

## Espessura do cavaco

$$h = \frac{f}{2} \cdot \sin \frac{\sigma}{2}$$

## Seção do cavaco

$$A = \frac{d \cdot f}{2}$$

## Força de corte

$$F_c = A \cdot k_c$$

## Torque de corte

$$M_c = \frac{F_c \cdot d}{4}$$

## Volume de cavaco

$$Q = \frac{A \cdot v_c}{2}$$

## Potência de corte

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{2} = Q \cdot k_c$$

## Exemplo:

Material 37MnSi5, diâmetro da broca  $d = 16$  mm,  $v_c = 12$  m/min,  $f = 0,18$  mm,  $\sigma = 118^\circ$

Procurado:  $h$ ;  $k_c$ ;  $F_c$ ;  $M_c$

Solução:  $h = \frac{f}{2} \cdot \sin \frac{\sigma}{2} = \frac{0,18 \text{ mm}}{2} \cdot \sin 59^\circ = 0,08 \text{ mm}$

$$k_c = k \cdot C_1 \cdot C_2 \text{ (p. 298)}$$

$$= 2970 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 1,3 \cdot 1,2 = 4633 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

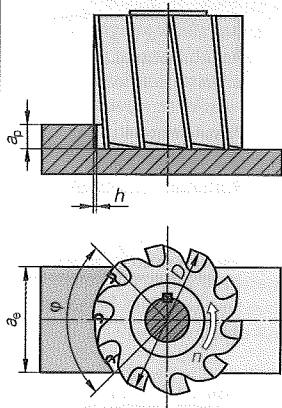
$$A = \frac{d \cdot f}{2} = \frac{16 \text{ mm} \cdot 0,18 \text{ mm}}{2} = 1,44 \text{ mm}^2$$

$$F_c = A \cdot k_c = 1,44 \text{ mm}^2 \cdot 4633 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 6672 \text{ N}$$

$$M_c = \frac{F_c \cdot d}{4} = \frac{6672 \text{ N} \cdot 0,016 \text{ m}}{4} = 26,7 \text{ N} \cdot \text{m}$$

## Forças e potências no fresamento frontal

## Fresamento frontal



- $F_c$  Força de corte em N  
 $A$  Seção transversal do cavaco em mm<sup>2</sup>  
 $k_c$  Força de corte específica em N/mm<sup>2</sup> (página 298)  
 $a_p$  Profundidade de corte em mm  
 $a_e$  Largura fresada em mm  
 $v_c$  Velocidade de corte em m/min  
 $v_f$  Velocidade de avanço em m/min  
 $n$  Rotação em 1/min  
 $D$  Diâmetro da fresa em mm  
 $z$  Número de gumes  
 $f$  Avanço a cada rotação em mm  
 $f_z$  Avanço a cada corte em mm  
 $h$  Espessura do cavaco em mm  
 $z_e$  Número de gumes em ação  
 $\phi_s$  Ângulo entre a entrada e a saída da fresa em graus (°)  
 $Q$  Volume de cavaco em mm<sup>3</sup>/min  
 $P_c$  Potência de corte em kW

## Exemplo:

Material 16MnCr5,  $D = 160$  mm,  $z = 12$ ;  $a_e = 120$  mm;  $a_p = 6$  mm  $f_z = 0,2$  mm;  $v_c = 85$  m/min,

Procurado:  $n$ ;  $v_f$ ;  $\phi_s$ ;  $z_e$ ;  $h$ ;  $A$ ;  $k_c$ ;  $F_c$ ;  $Q$ ;  $P_c$

$$\text{Solução: } n = \frac{v_c}{\pi \cdot d} = \frac{85 \text{ m/min}}{\pi \cdot 0,16 \text{ m}} = 169/\text{min}$$

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n = 0,2 \text{ mm} \cdot 12 \cdot 169/\text{min} = 406 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

$$\sin \frac{\phi_s}{2} = \frac{a_e}{D} = \frac{120 \text{ mm}}{160 \text{ mm}} = 0,75; \phi_s = 97,2^\circ$$

$$z_e = \frac{\phi_s \cdot z}{360^\circ} = \frac{97,2^\circ \cdot 12}{360^\circ} = 3,24$$

$$h = 0,9 \cdot f_z = 0,9 \cdot 0,2 \text{ mm} = 0,18 \text{ mm}$$

$$A = a_p \cdot h \cdot z_e = 6 \text{ mm} \cdot 0,18 \text{ mm} \cdot 3,24 = 3,5 \text{ mm}^2$$

$$k_c = k \cdot C_1 \cdot C_2;$$

$$k = 2348 \text{ N/mm}^2 \text{ (valor médio, página 298)}$$

$$k_c = 2348 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,8 \cdot 1 = 1879 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$F_c = A \cdot k_c = 3,5 \text{ mm}^2 \cdot 1879 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 6577 \text{ N}$$

$$Q = a_p \cdot a_e \cdot v_f = 6 \text{ mm} \cdot 120 \text{ mm} \cdot 405,6 \frac{\text{mm}}{\text{min}} = 292 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

$$P_c = F_c \cdot v_c = \frac{6577 \text{ N} \cdot 85 \text{ m}}{60 \text{ s}} = 9317 \text{ W} = 9,3 \text{ kW}$$

ou:

$$P_c = Q \cdot k_c = \frac{292 \text{ cm}^3 \cdot 187900 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}}{60 \text{ s}} = 91447 \frac{\text{N} \cdot \text{cm}}{\text{s}} = 9,1 \text{ kW}$$

## Avanço

$$f = f_z \cdot z$$

## Velocidade de avanço

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n = f \cdot n$$

## Espessura do cavaco

$$h = 0,9 \cdot f_z$$

## Ângulo de ataque

$$\sin \frac{\phi_s}{2} = \frac{a_e}{D}$$

## Gumes em ação

$$z_e = \frac{\phi_s \cdot z}{360^\circ}$$

## Seção do cavaco

$$A = a_p \cdot h \cdot z_e$$

## Força de corte

$$F_c = A \cdot k_c$$

## Volume de cavaco

$$Q = a_p \cdot a_e \cdot v_f$$

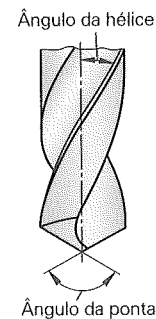
## Potência de corte

$$P_c = F_c \cdot v_c = Q \cdot k_c$$

## Furar

## Broca helicoidal de aço rápido (HSS)

veja DIN 1414-1 (1998-06)



| Ângulo da hélice | Tipo <sup>1)</sup> | Aplicação                                                                                                                                  | Ângulo da hélice <sup>2)</sup> | Ângulo da ponta <sup>3)</sup> |
|------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
|                  | N                  | Aplicação universal para materiais até $R_m$ 1000 N/mm <sup>2</sup> , p.ex.: aços estruturais, aços para cementação, aços de revenimento   | 30°–40°                        | 118°                          |
|                  | H                  | Furação de metais não ferrosos quebradiços de cavaco curto e plásticos, p. ex., ligas de CuZn e PMMA polimetacrilato de metila (Plexiglas) | 13°–19°                        | 118°                          |
|                  | W                  | Furação de metais não ferrosos macios de cavaco longo e plásticos, p. ex., ligas de alumínio e magnésio, PA (poliamida) e PVC              | 40°–47°                        | 130°                          |

<sup>1)</sup> Grupo de aplicação para ferramentas HSS conforme DIN 1835

<sup>2)</sup> Dependendo do diâmetro da broca e do passo

<sup>3)</sup> Fabricação regular

Valores de referência para furar com brocas helicoidais HSS<sup>1)</sup>

| Material da peça usinada               |                                                                       | Velocidade de corte <sup>2)</sup><br>vc<br>m/min | Diâmetro da broca <i>d</i> em mm |      |       |        |        |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------|------|-------|--------|--------|
| Grupo do material                      | Resistência à tração R <sub>m</sub> em N/mm <sup>2</sup> ou dureza HB |                                                  | 2-3                              | >3-6 | >6-12 | >12-25 | >25-50 |
|                                        |                                                                       |                                                  | Avanço <i>f</i> em mm/rotação    |      |       |        |        |
| Aços de baixa resistência              | R <sub>m</sub> ≤ 800                                                  | 40                                               | 0,05                             | 0,10 | 0,15  | 0,25   | 0,35   |
| Aços de alta resistência               | R <sub>m</sub> > 800                                                  | 20                                               | 0,04                             | 0,08 | 0,10  | 0,15   | 0,20   |
| Aços inoxidáveis                       | R <sub>m</sub> ≥ 800                                                  | 12                                               | 0,03                             | 0,06 | 0,08  | 0,12   | 0,18   |
| Ferro fundido, ferro fundido temperado | ≤ 250 HB                                                              | 20                                               | 0,10                             | 0,20 | 0,30  | 0,40   | 0,60   |
| Ligas de alumínio                      | R <sub>m</sub> ≤ 350                                                  | 45                                               | 0,10                             | 0,20 | 0,30  | 0,40   | 0,60   |
| Ligas de cobre                         | R <sub>m</sub> ≤ 500                                                  | 60                                               | 0,10                             | 0,15 | 0,30  | 0,40   | 0,60   |
| Termoplásticos                         | –                                                                     | 50                                               | 0,10                             | 0,15 | 0,30  | 0,40   | 0,60   |
| Plásticos termorrígidos                | –                                                                     | 25                                               | 0,05                             | 0,10 | 0,18  | 0,27   | 0,35   |

Valores de referência para furar com brocas de metal duro<sup>1)</sup>

| Material da peça usinada               |                                                              | Velocidade de corte <sup>2)</sup><br>$v_c$<br>m/min | Diâmetro da broca $d$ em mm |      |       |        |        |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------|------|-------|--------|--------|
| Grupo do material                      | Resistência à tração $R_m$ em N/mm <sup>2</sup> ou dureza HB |                                                     | 2–3                         | >3–6 | >6–12 | >12–25 | >25–50 |
|                                        |                                                              |                                                     | Avanço $f$ em mm/rotação    |      |       |        |        |
| Aços de baixa resistência              | $R_m \leq 800$                                               | 90                                                  | 0,05                        | 0,10 | 0,15  | 0,25   | 0,40   |
| Aços de alta resistência               | $R_m > 800$                                                  | 80                                                  | 0,08                        | 0,13 | 0,20  | 0,30   | 0,40   |
| Aços inoxidáveis                       | $R_m \geq 800$                                               | 40                                                  | 0,08                        | 0,13 | 0,20  | 0,30   | 0,40   |
| Ferro fundido, ferro fundido temperado | $\leq 250$ HB                                                | 100                                                 | 0,10                        | 0,15 | 0,30  | 0,45   | 0,70   |
| Ligas de alumínio                      | $R_m \leq 350$                                               | 180                                                 | 0,15                        | 0,25 | 0,40  | 0,60   | 0,80   |
| Ligas de cobre                         | $R_m \leq 500$                                               | 200                                                 | 0,12                        | 0,16 | 0,30  | 0,45   | 0,60   |
| Termoplásticos                         | –                                                            | 80                                                  | 0,05                        | 0,10 | 0,20  | 0,30   | 0,40   |
| Plásticos termorrígidos                | –                                                            | 80                                                  | 0,05                        | 0,10 | 0,20  | 0,30   | 0,40   |

## Valores de referência para furar em condições diversas

Os valores de referência para a velocidade de corte e o avanço são válidos para condições médias:

- duração aprox. 30 min
- Resistência média do material
- Profundidade do furo  $< 5 \times d$
- Broca curta
- Os valores de referência serão
- aumentados sob condições favoráveis
- reduzidos sob condições desfavoráveis.

<sup>1)</sup> Refrigeração-lubrificação página 292 e 293

<sup>2)</sup> Valores para brocas revestidas