

Příklady k procvičení

podklad pro výuku předmětu TECHNOLOGIE III - OBRÁBĚNÍ

Příklad 1 - ŘEZNÁ RYCHL. A OBJEMOVÝ SOUČINITEL TŘÍSEK PŘI PROTAHOVÁNÍ

Doporučený objemový výkon protahovacího stroje, na kterém se vyrábí pouzdro pro drážkovaný hřídel, je $Q_W = 215 \text{ [cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}]$. Polotovarem pro pouzdro je součást s otvorem $\varnothing D = 100 \text{ [mm]}$ ve kterém se protahováním vyrobí $i = 12 \text{ [1]}$ stejných drážek hloubky $a = 7 \text{ [mm]}$ šířky $b = 12 \text{ [mm]}$ a délky $l = 40 \text{ [mm]}$. Délka řezné a kalibrovací části vnitřního protahovacího trnu činí $l_{RK} = 3\,400 \text{ [mm]}$. Náběh a přeběh trnu zanedbejte. Po obrobení $x = 800 \text{ [1]}$ součástí bylo zjištěno, že volně ložené třísky zaujmají objem $V_t = 2,580 \text{ [m}^3]$. Pro daný případ obrábění určete :

- a) maximální možnou řeznou rychlost protahovacího nástroje $v_c = ? \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}]$,
- b) objemový součinitel třísky $w = ? \text{ [1]}$.

Příklad 2 - TEORETICKÁ DRSNOST POVRCHU PŘI SOUSTRUŽENÍ

Užitečný výkon potřebný pro soustružení je $P_{Už} = 6,00 \text{ [kW]}$. Jaká bude při obrábění hodnota teoretické drsnosti povrchu $R_{tt} = ? \text{ [μm]}$, jestliže soustružíme hřídel $\varnothing D = 160 \text{ [mm]}$ z materiálu, jehož měrný řezný odpor je $k_s = 2\,300 \text{ [MPa]}$ soustružnickým nožem s $r_\epsilon = 0,50 \text{ [mm]}$ za následujících řezných podmínek : hloubka záběru $a_p = 5 \text{ [mm]}$, otáčky $n = 280 \text{ [min}^{-1}]$.

Příklad 3 - MAXIMÁLNÍ OTÁČKY PŘI FRÉZOVÁNÍ VÁLCOVOU FRÉZOU

Na kopírovací frézce FKH 80 se válcovou frézou $\varnothing D = 70 \text{ [mm]}$ s přímými zuby $z = 12 \text{ [1]}$ frézuje součást z oceli, jejíž měrný řezný odpor je $k_s = 1\,800 \text{ [MPa]}$. Šířka součásti je $b = 100 \text{ [mm]}$, hloubka záběru $a_p = 6 \text{ [mm]}$ a posuv na zub $f_z = 0,12 \text{ [mm]}$. Motor pohánějící vřeteno frézky má výkon $P_M = 7,5 \text{ [kW]}$ a účinnost $\eta = 0,8 \text{ [1]}$. Rozsah otáček vřetene frézky $n = 36, 45, 56, 71, 89, 113, 142, 179, 226, 284, 358, 451, 568, 716, 902, 1137, 1433, 1805 \text{ [min}^{-1}]$. Pro uvedený případ frézování určete:

- maximální počet zubů frézy v záběru $z' = ? \text{ [1]}$,
- jaké nejvyšší otáčky z uvedené řady je možno nastavit $n_{MAX} = ? \text{ [min}^{-1}]$.

Při výpočtu použijte přibližnou metodu, kdy zuby v záběru odebírají třísku tloušťky a_{STR} .

(Pomůcka : $\sin \frac{\varphi_{MAX}}{2} = \sqrt{\frac{a_p}{D}}$)

Příklad 4 - VÝROBA DRÁŽEK NA AUTOMATICKÉM SOUSTRUHU

Úkolem je za 1 hodinu zajistit výrobu drážek (zápichů) u $n_{ZAD} = 200 \text{ [1]}$ součástí na automatickém soustruhu. Průměr součásti $\varnothing D = 70 \text{ [mm]}$, drážka je hluboká $h = 7 \text{ [mm]}$ a široká $b = 10 \text{ [mm]}$. Pro obrábění je k dispozici zapichovací soustružnický nůž, na stroji je nastaven posuv $f_{ot} = 0,25 \text{ [mm]}$ a otáčky $n = 360 \text{ [min}^{-1}]$. Při určování času je třeba uvažovat náběh $l_n = 1,25 \text{ [mm]}$. Vedlejší čas pro každou součást činí $t_{A11} = 12 \text{ [s]}$.

- a) Sečtením strojního a vedlejšího času určete jednotkový čas $t_A = ? \text{ [s]}$.
- b) Kolik součástí lze za 1 hodinu maximálně obrobít $n_{HOD} = ? \text{ [1]}$.
- c) Je možné úkol splnit $n_{HOD} > n_{ZAD} ?$

Příklad 5 - DODANÁ ENERGIE PŘI PODÉLNÉM SOUSTRUŽENÍ

Při podélném soustružení součásti o průměru $\varnothing D = 100 \text{ [mm]}$, délky $l = 156 \text{ [mm]}$, z litiny 24 24 25, jejíž měrný řezný odpor $k_s = 1\,200 \text{ [MPa]}$, byl použit stranový uběrací soustružnický nůž s úhlem

nastavení $\kappa_r = 90 [^\circ]$. Obrábění probíhalo při řezné rychlosti $v_c = 120 [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$ a posuvu na otáčku $f_{ot} = 0,25 [\text{mm}]$. Délka náběhu soustružnického nože činila $l_n = 2,0 [\text{mm}]$ a délku přeběhu uvažujte $l_p = 1,25 [\text{mm}]$. Pro obrobení celé součásti byla spotřebována energie $E_{\text{DOD}} = 300\,000 [\text{kJ}]$.

a) Určete strojní čas obrábění

$$t_{A12} = ? [\text{s}].$$

b) Určete maximální hloubku záběru nástroje kterou bylo možno při obrábění nastavit.

$$a_p = ? [\text{mm}],$$

Příklad 6 - STROJNÍ ČAS PŘI ČELNÍM FRÉZOVÁNÍ

Strojní čas při hrubovacím obrábění součásti šířky $A = 80 [\text{mm}]$ a délky $B = 500 [\text{mm}]$ čelní frézou $\varnothing D = 120 [\text{mm}]$ s počtem zubů $z = 10 [1]$ je $t_{A12} = 0,5 [\text{min}]$. Obrábění probíhá s řeznou rychlostí $v_c = 113,1 [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$, s hloubkou záběru $a_p = 2,0 [\text{mm}]$ a s náběhem $l_n = 2,0 [\text{mm}]$ a přeběhem $l_p = 1,17 [\text{mm}]$, přičemž je fréza přesazena mimo střed obrobku o hodnotu $e = 10 [\text{mm}]$. Pro uvedený případ frézování určete :

a) Délku posuvného pohybu nástroje (délku záběru)

$$L = ? [\text{mm}]$$

- při stanovení délky záběru L zohledněte, že ve fázi hrubování nezáleží na drsnosti povrchu součásti.

b) Velikost posuvu na zub

$$f_z = ? [\text{mm}].$$

c) Objemový výkon při frézování

$$Q_W = ? [\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}].$$

Příklad 7 - INDEX OBROBITELNOSTI MATERIÁLU PŘI PODÉLNÉM SOUSTRUŽENÍ

Z konstrukčních důvodů bude nutno změnit materiál součásti z původní oceli 11 375 s indexem obrobitelnosti $i_o = 1,59 [1]$ na ocel 12 050 s indexem obrobitelnosti $i_o = 1,00 [1]$. Jedná se o válcovou součást $\varnothing D = 200 [\text{mm}]$, obráběnou soustružnickým nástrojem na délce $l = 500 [\text{mm}]$. Podmínky obrábění součásti z oceli 11 375 jsou :

- řezná rychlost

$$v_{c1} = 2,83 [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}],$$

- posuv na otáčku

$$f_{ot1} = 0,2 [\text{mm}],$$

- hloubka záběru

$$a_p = 3,0 [\text{mm}],$$

- náběh

$$l_n = 2,0 [\text{mm}],$$

- přeběh

$$l_p = 1,27 [\text{mm}].$$

Součást bude soustružena stejným nástrojem, jehož úhel nastavení hlavního ostří je $\kappa_r = 60 [^\circ]$ a u tohoto nástroje budeme požadovat stejnou trvanlivost břitů. Hloubka záběru, náběh i přeběh zůstanou zachovány. Pro uvedený případ soustružení určete :

a) Délku posuvného pohybu nástroje (délku záběru)

$$L = ? [\text{mm}].$$

b) Strojní čas obrábění při soustružení součásti z oceli 11 375

$$t_{S1} = ? [\text{s}].$$

c) Strojní čas obrábění při soustružení součásti z oceli 12 050

$$t_{S2} = ? [\text{s}].$$

d) O kolik procent se zvýší strojní čas soustružení při změně materiálu

$$x = ? [\%].$$

Příklad 8 - OPTIMALIZACE ŘEZNÝCH PODMÍNEK NA SOUSTRUŽNICKÉM OBRÁBĚCÍM CENTRU

Na soustružnickém obráběcím centru je obráběna rotační součást z oceli 12 050.1 o průměru $\varnothing D = 100 [\text{mm}]$ a délce $l = 247 [\text{mm}]$. Řezné podmínky při obrábění :

- hloubka záběru

$$a_p = 4,0 [\text{mm}],$$

- posuv na otáčku

$$f_{ot1} = 0,5 [\text{mm}],$$

- úhel nastavení hlavního ostří

$$\kappa_r = 90 [^\circ],$$

- náběh

$$l_n = 2,0 [\text{mm}],$$

- přeběh

$$l_p = 1,00 [\text{mm}].$$

Vedlejší čas pro každou součást činí $t_{A11} = 7,4 [\text{s}]$. Řezné rychlosti pro různé zadané trvanlivosti vypočítejte s použitím komplexního Taylorova vztahu pro výpočet v_c . Pro daný případ obrábění byla zjištěna hodnota konstanty $C_v = 1\,583 [1]$, exponentu pro trvanlivost nástroje $T : 1/m = 0,571 [1]$, exponentu pro posuv $f_{ot} : x_v = 0,46 [1]$ a exponentu pro hloubku záběru $a_p : y_v = 0,10 [1]$. K obrábění je použit nástroj s břitovou destičkou P20, která má celkem $i = 8 [1]$ břitů a nakupuje za cenu $N_{\text{VBD}} = 384,00 [\text{Kč}]$. Náklady na 1 hod. provozu stroje činí $N_{\text{STROJ}} = 290,00 [\text{Kč/hod}]$ a hodinové náklady na řeznou kapalinu byly vyčísleny na $N_{\text{KAPAL}} = 150,00 [\text{Kč/hod}]$. Pro výše uvedený případ obrábění vypočítejte, jaké budou pro dvě uvažované trvanlivosti břitů :

A) $T = 15,00 [\text{min}]$,

B) $T = 20,00 [\text{min}]$,

- hodinové náklady na nástroje (uvažujte pouze podíl z pořizov. ceny nástroje)
 - jak se změní řezná rychlost
 - jak se změní jednotkový čas (součet strojního a vedlejšího času)
 - kolik součástí bude vyrobeno za jednu hodinu
 - a při jaké trvanlivosti budou dosaženy nižší celkové náklady na soustružení jedné součásti
- $N_{NASTR_A,B} = ? [Kč/hod]$,
 $v_{c_A,B} = ? [m.s^{-1}]$,
 $t_{A_A,B} = ? [s]$,
 $x_{A,B} = ? [ks/hod]$
 $N_{ks_A,B} = ? [Kč/ks]$.

Příklad 9 - STROJNÍ ČAS PŘI BROUŠENÍ DO KULATA

Broušení rotační plochy na součásti z oceli 14 109.4 je při axiálním broušení na automatické hrotové brusce prováděno ve třech fázích - hrubování, hlazení a vyjiskřování. Součást se brousí na délce $l = 120 [mm]$ z výchozího průměru $\varnothing d_0 = 50,2 [mm]$ na konečný průměr $\varnothing d_1 = 50,0 [mm]$. Podmínky obrábění :

- průměr brousicího kotouče
 - šířka brousicího kotouče
 - otáčky brousicího kotouče
- $\varnothing D_s = 300 [mm]$,
 $B_s = 32 [mm]$,
 $n_s = 35,00 [s^{-1}]$.

fáze hrubování

- otáčky broušené součásti při hrubování
 - hrubovací hloubka záběru brousicího kotouče
- $n_{WHR} = 2,0 [s^{-1}]$,
 $a_{eHR} = 0,005 [mm]$,

fáze hlazení

- přídavek materiálu na hlazení uvažujte
 - otáčky broušené součásti při hlazení
 - hladicí hloubka záběru brousicího kotouče
- $H_{HL} = 0,005 [mm]$,
 $n_{WHL} = 1,5 [s^{-1}]$,
 $a_{eHL} = 0,001 [mm]$,

fáze vyjiskřování

- počet vyjiskřovacích záběrů
- $i_{zV} = 3 [1]$.

Ve všech fázích broušení bude posuv obrobku na otáčku $f_{ot} = 10 [mm]$ a ve všech fázích broušení uvažujte náběh a přeběh $l_n = l_p = 2,0 [mm]$. Přísuv brousicího kotouče do záběru probíhá v obou úvratích. Pro výše uvedený případ broušení vypočítejte :

- Přídavek na hrubování
 - Počet zdvihů a strojní čas pro fázi hrubování
 - Počet zdvihů a strojní čas pro fázi hlazení
 - Strojní čas pro fázi vyjiskřování
 - Celkový strojní čas
- $H_{HR} = ? [mm]$.
 $i_{zHR} = ? [1]$,
 $t_{A12HR} = ? [s]$.
 $i_{zHL} = ? [1]$,
 $t_{A12HL} = ? [s]$.
 $t_{A12V} = ? [s]$.
 $t_{A12} = ? [s]$.

Příklad 10 - TEPLO VZNIKLÉ PŘI VRTÁNÍ, VYHRUBOVÁNÍ A VYSTRUŽOVÁNÍ

Pro výrobu přesného průchozího otvoru délky $l = 80 [mm]$ v součásti z oceli 12 050, pro kterou byl v tabulkách vyhledán jednotkový měrný řezný odpor $k_{s1.1} = 2\,220 [MPa]$ a exponent $m = 0,14 [1]$, použijeme postupně šroubovitý vrták, výhrubník a výstružník. Pro uvedené úseky této výrobní operace určete :

- tloušťku třísky
 - řeznou sílu
 - strojní čas
 - množství tepla, které bude přecházet do nástroje
- $a = ? [mm]$,
 $F_c = ? [N]$,
 $t_{A12} = ? [s]$,
 $Q_{NASTR} = ? [kJ]$.

Pro všechny úseky uvažujte stejnou hodnotu náběhu

a přeběhu nástroje

Řezné podmínky při vrtání do plného materiálu :

- průměr vrtáku
 - počet břitů nástroje
 - úhel nastavení hlavního ostří
 - otáčky
 - posuv na otáčku
- $\varnothing D = 28,25 [mm]$,
 $i = 2 [1]$,
 $\kappa_r = 60 [^\circ]$,
 $n = 250 [min^{-1}]$,
 $f_{ot} = 0,15 [mm]$,

Řezné podmínky při vyhrubování :

- průměr výhrubníku
 - počet břitů nástroje
 - úhel nastavení hlavního ostří
 - otáčky
- $\varnothing D = 29,75 [mm]$,
 $i = 4 [1]$,
 $\kappa_r = 45 [^\circ]$,
 $n = 180 [min^{-1}]$,

- posuv na otáčku
- Řezné podmínky při vystružování :
 - průměr výstružníku
 - počet břitů nástroje
 - úhel nastavení hlavního ostří
 - otáčky
 - posuv na otáčku

$$f_{ot} = 0,4 \text{ [mm]},$$

$$\varnothing D = 30,00 \text{ [mm]},$$

$$i = 16 \text{ [1]},$$

$$\kappa_r = 45 \text{ [}^\circ\text{]},$$

$$n = 60 \text{ [min}^{-1}\text{]},$$

$$f_{ot} = 0,8 \text{ [mm]},$$

Při výpočtu lze předpokládat, že se veškerá energie vzniklá při obrábění přemění na teplo a že do nástroje bude při vrtání, vyhrubování i vystružování přecházet vždy $x = 20 \text{ [%]}$ z celkového tepla. Zanedbejte rozdíly výkonu v počáteční fázi obrábění.

ŘEŠENÍ :

Příklad 1 - ŘEZNÁ RYCHL. A OBJEMOVÝ SOUČINITEL TŘÍSEK PŘI PROTAHOVÁNÍ

a) maximální možnou řeznou rychlost protahovacího nástroje

$$v_c = 18,3 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}$$

b) objemový součinitel třísky

$$w = 80 \text{ [1]}$$

Příklad 2 - TEORETICKÁ DRSNOST POVRCHU PŘI SOUSTRUŽENÍ

teoretická drsnost povrchu

$$R_{tt} = 12,4 \text{ [}\mu\text{m]}$$

Příklad 3 - MAXIMÁLNÍ OTÁČKY PŘI FRÉZOVÁNÍ VÁLCOVOU FRÉZOU

a) maximální počet zubů frézy v záběru

$$z' = 2 \text{ [1]}$$

b) jaké nejvyšší otáčky z uvedené řady je možno nastavit

$$n_{MAX} = 113 \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

Příklad 4 - VÝROBA DRÁŽEK NA AUTOMATICKÉM SOUSTRUHU

a) Sečtením strojního a vedlejšího času určete jednotkový čas

$$t_A = 17,5 \text{ [s]}$$

b) Kolik součástí lze za 1 hodinu maximálně obrobít

$$n_{HOD} = 205 \text{ [1]}$$

c) Je možné úkol splnit

$$n_{HOD} > n_{ZAD} - \text{ano}$$

Příklad 5 - DODANÁ ENERGIE PŘI PODÉLNÉM SOUSTRUŽENÍ

a) strojní čas obrábění

$$t_{A12} = 100 \text{ [s]}$$

b) maximální hloubka záběru nástroje, kterou bylo možno nastavit

$$a_p = 5,0 \text{ [mm]}$$

Příklad 6 - STROJNÍ ČAS PŘI ČELNÍM FRÉZOVÁNÍ

- a) délka posuvného pohybu nástroje (délka záběru)
 b) posuv na zub
 c) objemový výkon při frézování

$$L = 530 \text{ [mm]}$$

$$f_z = 0,35 \text{ [mm]}$$

$$Q_W = 170 \text{ [cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}\text{]}$$

Příklad 7 - INDEX OBROBITELNOSTI MATERIÁLU PŘI PODÉLNÉM SOUSTRUŽENÍ

- a) délka posuvného pohybu nástroje (délka záběru)
 b) strojní čas obrábění při soustružení součásti z oceli 11 375
 c) strojní čas obrábění při soustružení součásti z oceli 12 050
 d) procentuální zvýšení strojního času soustružení při změně materiálu

$$L = 505 \text{ [mm]}$$

$$t_{S1} = 560,6 \text{ [s]}$$

$$t_{S2} = 891,4 \text{ [s]}$$

$$x = 59 \text{ [%]}$$

Příklad 8 - OPTIMALIZACE ŘEZNÝCH PODMÍNEK NA SOUSTRUŽNICKÉM OBRÁBĚCÍM CENTRU

- a) hodinové náklady na nástroje (při variantě A a B)
 b) řezná rychlost (při variantě A a B)
 c) jednotkový čas (při variantě A a B)
 d) počet součástí vyrobených za jednu hodinu (při variantě A a B)
 e) celkové náklady na soustružení jedné součásti (při variantě A a B)
 (a varianta, kdy budou dosaženy nižší celkové náklady)

$$N_{NASTRA} = 192 \text{ [Kč/hod]}$$

$$N_{NASTRB} = 144 \text{ [Kč/hod]}$$

$$v_{cA} = 6,73 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

$$v_{cB} = 5,71 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

$$t_{AA} = 30,74 \text{ [s]}$$

$$t_{AB} = 34,90 \text{ [s]}$$

$$x_A = 117 \text{ [ks/hod]}$$

$$x_B = 103 \text{ [ks/hod]}$$

$$N_{ksA} = 5,40 \text{ [Kč/ks]}$$

$$N_{ksB} = 5,67 \text{ [Kč/ks]}$$

Příklad 9 - STROJNÍ ČAS PŘI BROUŠENÍ DO KULATA

- a) přídavek na hrubování
 b) počet zdvihů a strojní čas pro fázi hrubování
 c) počet zdvihů a strojní čas pro fázi hlazení
 d) strojní čas pro fázi vyjiskřování
 e) celkový strojní čas

$$H_{HR} = 0,095 \text{ [mm]}$$

$$i_{zHR} = 19 \text{ [1]}$$

$$t_{A12HR} = 148,2 \text{ [s]}$$

$$i_{zHL} = 5 \text{ [1]}$$

$$t_{A12HL} = 52,0 \text{ [s]}$$

$$t_{A12V} = 31,2 \text{ [s]}$$

$$t_{A12} = 231,4 \text{ [s]}$$

Příklad 10 - TEPLA VZNIKLE PŘI VRTÁNÍ, VYHRUBOVÁNÍ A VYSTRUŽOVÁNÍ**I. obrábění šroubovitým vrtákem**

- a) tloušťka třísky
 b) řezná síla
 c) strojní čas
 d) množství tepla do nástroje

$$a = 0,065 \text{ [mm]}$$

$$F_c = 6\,897,2 \text{ [N]}$$

$$t_{A12} = 145,9 \text{ [s]}$$

$$Q_{NASTR} = 74,4 \text{ [kJ]}$$

II. obrábění výhrubníkem

- a) tloušťka třísky
 b) řezná síla
 c) strojní čas
 d) množství tepla do nástroje

$$a = 0,071 \text{ [mm]}$$

$$F_c = 965,0 \text{ [N]}$$

$$t_{A12} = 69,8 \text{ [s]}$$

$$Q_{NASTR} = 3,78 \text{ [kJ]}$$

III. obrábění výstružníkem

- a) tloušťka třísky
 b) řezná síla
 c) strojní čas
 d) množství tepla do nástroje

$$a = 0,035 \text{ [mm]}$$

$$F_c = 364,5 \text{ [N]}$$

$$t_{A12} = 103,9 \text{ [s]}$$

$$Q_{NASTR} = 0,69 \text{ [kJ]}$$