

VÝPOČTOVÝ DOKUMENT- EXTRUDÉR MODELÁŘSKÉ HLÍNY

Zadané hodnoty

průměr trysky
výška tisknuté vrstvy
šířka tisknuté vrstvy

$$D_{tr} := 4 \text{ } mm$$

$$h_v := 3 \text{ } mm$$

$$s_v := 6 \text{ } mm$$

rychlost tisku

$$v_t := 50 \frac{mm}{s}$$

hustota hlíny

$$\rho := 1170 \frac{kg}{m^3}$$

hmotnost jednoho balení hlíny

$$m_b := 2.27 \text{ } kg$$

průměr hliněného válce

$$d_h := 36 \text{ } mm$$

zrychlení tisku

$$a_t := 3 \frac{m}{s^2}$$

TISK Z BLOKU MATERIÁLU

Základní veličiny

Tok materiálu

průřez vrstvy

$$S_v := h_v \cdot s_v = 18 \text{ mm}^2$$

průřez trysky

$$S_t := \pi \cdot \frac{D_{tr}^2}{4} = 12.566 \text{ mm}^2$$

objemový průtok

$$Q_v := S_v \cdot v_t = 900 \frac{\text{mm}^3}{\text{s}}$$

hmotnostní tok

$$Q_m := Q_v \cdot \rho = 1.053 \frac{\text{gm}}{\text{s}}$$

Rozměry tiskového válce

průřez válce hlíny

$$S_h := \pi \cdot \frac{d_h^2}{4} = 0.001 \text{ m}^2$$

objem hliněného válce z jednoho balení

$$V_h := \frac{m_b}{\rho} = 0.002 \text{ m}^3$$

výška válce z jednoho balení

$$h_h := \frac{S_h}{Q_v} = 1.906 \text{ m}$$

rychlost posuvu válce

$$v_h := \frac{Q_v}{S_h} = 53.052 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

doba tisku válce

$$t_h := \frac{m_b}{Q_m} = 35.929 \text{ min}$$

zvolená výška válce

$$h_{hf} := \frac{Q_m}{2} = 0.953 \text{ m}$$

doba tisku kratšího válce

$$t_{hf} := \frac{t_h}{2} = 17.965 \text{ min}$$

Výroba tiskového válce

přídavek na odřezání okraje

$$c_{fv} := 23 \text{ mm}$$

potřebná délka formy

$$h_f := 2 \cdot c_{fv} + h_{hf} = 0.999 \text{ m}$$

Nepřesnost způsobená výrobou válce

šířka řezu

$$s := 1 \text{ mm}$$

skutečný obvod válce

$$O_s := \pi \cdot d_h - s = 0.112 \text{ m}$$

skutečný průměr válce

$$d_{hs} := \frac{O_s}{\pi} = 35.682 \text{ mm}$$

Termodynamika

Měrná tepelná kapacita (na základě experimentu)

hmotnost vzorku hlíny

$$m_h := 47 \text{ g}$$

hmotnost vzorku vody

$$m_v := 222 \text{ g}$$

počáteční teplota hlíny

$$t_{h1} := 45.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

počáteční teplota vody

$$t_{v1} := 16.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

teplota po ustálení

$$t_{h2} := 20.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

měrná tepelná kapacita vody

$$c_v := 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

měrná tepelná kapacita hlíny

$$c_h := \frac{m_v \cdot c_v \cdot (t_{h2} - t_{v1})}{m_h \cdot (t_{h1} - t_{h2})} = (3.304 \cdot 10^3) \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Tepelný tok

počáteční teplota hlíny

$$t_0 := 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

koncová teplota hlíny

$$t_{hk} := 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

tepelný výkon

$$Q_h := Q_m \cdot c_h \cdot (t_{hk} - t_0) = 201.773 \text{ W}$$

Ztráty

průměrná teplota topných
spirál

$$t_1 := 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

průměrná teplota válce

$$t_2 := 75 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

průměrná teplota okolí

$$t_3 := 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

průměrná teplota topných
spirál

$$T_1 := t_1 = 353.15 \text{ K}$$

průměrná teplota válce

$$T_2 := t_2 = 348.15 \text{ K}$$

průměrná teplota okolí

$$T_3 := t_3 = 295.15 \text{ K}$$

emisivita topných pásů

$$\varepsilon_1 := 0.11$$

emisivita hliníku

$$\varepsilon_2 := 0.06$$

Výška topného pásu

$$h_p := 50 \text{ mm}$$

vnější průměr válce

$$d_2 := d_h + 4 \text{ mm} = 0.04 \text{ m}$$

vnější průměr obímky

$$d_1 := d_2 + 6 \text{ mm} = 0.046 \text{ m}$$

Stefan-boltzmanova konstanta

$$\sigma = (5.67 \cdot 10^{-8}) \frac{\text{kg}}{\text{s}^3 \cdot \text{K}^4}$$

počáteční délka válce

$$l_0 := 300 \text{ mm}$$

kinematická viskozita vzduchu

$$\nu_v := 18.56 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

konstanta pro válec

$$c := 0.023$$

Konstanta pro válec

$$Nv := 0.4$$

Konstanta pro laminární proudění

$$Mm := 0.5$$

tepelná vodivost vzduchu

$$\lambda := 0.028 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

Prandtlovo číslo

$$Pr := 0.71$$

obsah topných elementů

$$S_1 := \pi \cdot d_1 \cdot 2 \cdot h_p = 0.014 \text{ m}^2$$

Obsah topného válce

$$S_2 := \pi \cdot d_2 \cdot (l_0 - 2 \cdot h_p) = 0.025 \text{ m}^2$$

Tepelný tok zářením

$$Q_z := \sigma \cdot ((\varepsilon_1 \cdot S_1 \cdot ((T_1)^4 - (T_3)^4)) + (\varepsilon_2 \cdot S_2 \cdot ((T_2)^4 - (T_3)^4))) = 1.325 \text{ W}$$

tepelný tok vedením

$$\gamma_1 := \frac{2}{T_1 + T_3} = 3.085 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{K}}$$

$$\gamma_1 := \frac{2}{T_2 + T_3} = 3.109 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{K}}$$

Grashofovo číslo

$$Gr_1 := \frac{g \cdot \gamma_1 \cdot (T_1 - T_3) \cdot (2 \cdot h_p)^3}{\nu_v^2} = 5.133 \cdot 10^6$$

$$Gr_2 := \frac{g \cdot \gamma_1 \cdot (T_2 - T_3) \cdot (l_0)^3}{\nu_v^2} = 1.267 \cdot 10^8$$

Nusseltovo číslo

$$N_{u1} := c \cdot G_{r1}^{Mm} \cdot P_r^{Nv} = 45.44$$

$$N_{u2} := c \cdot G_{r2}^{Mm} \cdot P_r^{Nv} = 225.705$$

součinitel přestupu tepla

$$\alpha_1 := \frac{N_{u1} \cdot \lambda}{2 \cdot h_p} = 12.723 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\alpha_2 := \frac{N_{u2} \cdot \lambda}{l_0} = 21.066 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

tepelný tok konvencí

$$Q_k := S_1 \cdot \alpha_1 (T_1 - T_3) + S_2 \cdot \alpha_2 (T_2 - T_3) = 38.725 \text{ W}$$

celkový tepelný ztrátový tok

$$Q_l := Q_z + Q_k = 40.05 \text{ W}$$

celkový výkon topných pásů

$$Q_c := Q_l + Q_h = 241.823 \text{ W}$$

Součinitel smykového tření mezi hlinou a výtisem z ABS

zatížení

$$m_{Nf} := 1.02 \text{ kg}$$

tahová hmotnost

hladký povrch

ve směru vrstev

m_{Thlad}

m_{Tvras}

(kg)

(kg)

0.72

0.53

0.78

0.57

0.79 $m_{Tvras} := \text{mean}(m_{Tvras}) = 0.525 \text{ kg}$

0.48

$m_{Thlad} := \text{mean}(m_{Thlad}) = 0.81 \text{ kg}$

0.95

0.4

0.85

0.58

0.77

0.59

střední maximální tahová
hmotnost

$$m_T := \max(m_{Tvras}, m_{Thlad}) = 0.81 \text{ kg}$$

součinitel smykového tření

$$f_T := \frac{m_T}{m_{Nf}} = 0.794$$

Rameno valivého odporu

zatížení

$$m_{No} := 1.15 \text{ kg}$$

poloměr válečku

$$R_v := 0.025 \text{ m}$$

tahová hmotnost při rozjetí
válečku

$$m_{To}$$

$$(\text{kg})$$

$$0.04$$

$$0.04$$

$$0.03$$

$$0.04$$

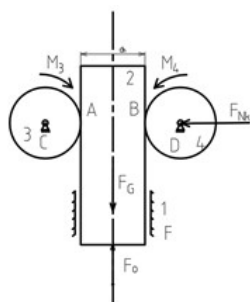
$$0.05$$

$$m_{To} := \text{mean}(m_{To}) = 0.04 \text{ kg}$$

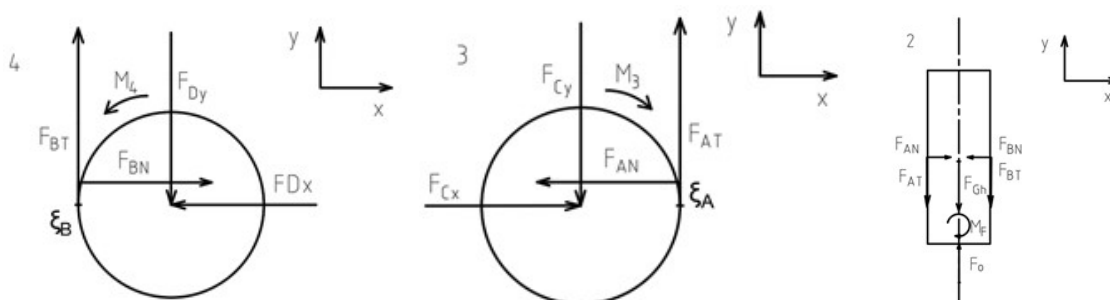
rameno valivého odporu

$$\xi := \frac{R_v \cdot m_{To}}{m_{No}} = (8.696 \cdot 10^{-4}) \text{ m}$$

Moment motoru pro tisk z tiskového válce



obr.1 Kinematické schéma podavačního zařízení



obr.2 Uvolnění

hmotnost rolny

$$m_r := 0.1 \text{ kg}$$

minimální hmotnost válce

$$m_{hmin} := S_h \cdot l_0 \cdot \rho = 0.357 \text{ kg}$$

odporová síla

$$F_o := 50 \text{ N}$$

poloměr rolničky v bodě
dotyku

$$R_r := 0.015 \text{ m}$$

zrychlení

$$a_h := \frac{D_{tr}}{d_h} \cdot a_t = 0.333 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

návrhový součinitel
bezpečnosti normálové síly
úhlové zrychlení

$$k_n := 2$$

$$\alpha_r := \frac{a_h}{R_r} = 22.222 \frac{1}{\text{s}^2}$$

tečná síla

$$F_T := \frac{F_o - m_{hmin} \cdot g - m_{hmin} \cdot a_h}{2} = 23.189 \text{ N}$$

normálová síla krajní případ

$$F_N := \frac{F_T}{f_T} = 29.2 \text{ N}$$

normálová síla s bezpečností

$$F_{Nk} := F_N \cdot k_n = 58.401 \text{ N}$$

Moment setrvačnosti

$$I := \frac{1}{2} \cdot m_r \cdot R_r^2 = (1.125 \cdot 10^{-5}) \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Potřebný točivý moment

$$M_o := 2 \cdot (F_N \cdot \xi + F_T \cdot R_r - I \cdot \alpha_r) = 0.746 \text{ N} \cdot \text{m}$$

ŠROUBOVÝ EXTRUDÉR

Přepočet veličin pro menší průměr tiskového válce

$$d_h := 31 \text{ mm}$$

rozměry tiskového válce

obsah válce hlíny

$$S_h := \pi \cdot \frac{d_h^2}{4} = (7.548 \cdot 10^{-4}) \text{ m}^2$$

objem hliněného válce z jednoho
balení

$$V_h := \frac{m_b}{\rho} = 0.002 \text{ m}^3$$

Výška válce z jednoho balení

$$h_h := \frac{V_h}{S_h} = 2.571 \text{ m}$$

Rychlost posuvu válce

$$v_h := \frac{Q_v}{S_h} = 1.192 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

Doba tisku válce

$$t_h := \frac{m_b}{Q_m} = 35.929 \text{ min}$$

zvolená výška válce

$$h_{hf} := \frac{h_h}{6} = 0.428 \text{ m}$$

doba tisku kratšího válce

$$t_{hf} := \frac{t_h}{6} = 5.988 \text{ min}$$

Výpočet momentu působícího na šroub

rozteč	$P_h := 1.25 \text{ mm}$
součinitel smykového tření ocel- mosaz	$f_z := 0.1$
uhel boku profilu	$\beta := 30^\circ$
průměr závitu	$d_z := 8 \text{ mm}$
Výška základního trojúhelníku	$H := 0.5 \cdot \sqrt{3} \cdot P_h = 1.083 \text{ mm}$
střední průměr závitu	$d_{z2} := d_z - 2 \cdot \left(\frac{3}{8} \cdot H \right) = 7.188 \text{ mm}$
Malý průměr závitu šroubu	$d_{z1} := d_z - 2 \cdot \left(\left(\frac{5}{8} + \frac{1}{4} \right) \cdot H \right) = 6.106 \text{ mm}$
Malý průměr závitu šroubu	$d_{z3} := d_z - P_h = 6.75 \text{ mm}$
Malý průměr závitu matice	$D_{z1} := \left(d_z - 2 \cdot \left(\frac{5}{8} \cdot H \right) \right) = 6.647 \text{ mm}$
Výška matice	$h_m := 15 \text{ mm}$
počet závitů v matici	$n_z := \frac{h_m}{P_h} = 12$
délka šroubu	$l_z := 550 \text{ mm}$
Průřez šroubu malý	$S_{z3} := \pi \cdot \frac{d_{z3}^2}{4} = 35.785 \text{ mm}^2$
modul pružnosti oceli	$E_z := 207 \text{ GPa}$
mez kluzu šroubu	$Re_z := 240 \cdot \text{MPa}$
Moment potřebný na otáčení šroubu	$M_T := \frac{F_o \cdot d_{z2}}{2} \cdot \left(\frac{(P_h) \cdot \cos(\beta) + \pi \cdot f_z \cdot d_{z2}}{\pi \cdot d_{z2} \cdot \cos(\beta) - f_z \cdot P_h} \right) = 0.031 \text{ N} \cdot \text{m}$

Kontrola šroubu

maximální smykové napětí od krutu	$\tau_z := \frac{16 \cdot M_T}{\pi \cdot d_{z3}^3} = 0.512 \text{ MPa}$
normálové tlakové napětí	$\sigma := \frac{F_o \cdot 4}{\pi \cdot d_{z3}^2} = 1.397 \text{ MPa}$
tlak v závitech	$p := \frac{4 \cdot F_o}{\pi \cdot (d_z^2 - D_{z1}^2) n_z} = 0.268 \text{ MPa}$

ohybové napětí u dna závitu

$$\sigma_0 := \frac{6 \cdot F_o}{\pi \cdot D_{z1} \cdot n_z \cdot P_h} = 0.958 \text{ MPa}$$

rychlost posuvu zvedání
břemene

$$v_h = 0.001 \frac{m}{s}$$

Otlačení matice v řemenici

obsah jednoho čela matice
(pomocí aplikace Inventor)

$$S_c := 41.98 \text{ mm}^2$$

maximální průměr matice

$$d_m := 14.38 \cdot \text{mm}$$

napětí působící na plochu

$$\sigma_c := \frac{M_T}{d_m \cdot 6 \cdot S_c} = 0.009 \text{ MPa}$$

napětí působící na 5 % plochy

$$\sigma_c := \frac{M_T}{d_m \cdot 6 \cdot S_c \cdot 0.05} = 0.171 \text{ MPa}$$

maximální povolené napětí

$$\sigma_{cpov} := 30 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c < \sigma_{cpov} = 1$$

Kontrola šroubu na vzpěr

součinitel vazeb vetknutí-
vetknutí

$$\alpha_z := 1.2$$

kvadratický moment průřezu
šroubu

$$I_z := \frac{d_{z3}^4 \cdot \pi}{64} = (1.019 \cdot 10^{-10}) \text{ m}^4$$

štíhlost šroubu

$$\lambda := \frac{l_z}{\sqrt[2]{\frac{I_z}{S_{z3}}}} = 325.926$$

kritická štíhlost

$$\lambda_1 := \left(\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot \alpha_z \cdot E_z}{Re_z} \right)^{\frac{1}{2}} = 142.934$$

$$\lambda < \lambda_1 = 0$$

pro kritickou sílu potom platí

$$F_{kritz} := \text{if } \lambda < \lambda_1 \left| \begin{array}{l} S_{z3} \cdot \left(Re_z - \frac{1}{\alpha_z \cdot E_z} \cdot \left(\frac{Re_z}{2 \cdot \pi} \cdot \lambda \right)^2 \right) \\ \text{else} \\ \frac{4 \cdot \pi \cdot E_z \cdot I_z}{l_z^2} \end{array} \right| = 876.274 \text{ N}$$

$$F_o < F_{kritz} = 1$$

$$k_{vz} := \frac{F_{kritz}}{F_o} = 17.525$$

Převodový poměr

otáčky matice $N_m := \frac{v_h}{P_h} = 0.954 \frac{1}{s}$

otáčky motoru minimální $N_{Mmin} := 50 \cdot \frac{1}{min}$

převodový poměr $i := \frac{N_{Mmin}}{N_m} = 0.874$

počet zubů na motoru $z_1 := 20$

Počet zubů na matici $z_2 := i \cdot z_1 = 17.471$

zvoleno vyšší s ohledem na rozměry matice $z_2 := 24$

Převodový poměr $i := \frac{z_2}{z_1} = 1.2$

otáčky motoru $N_M := N_m \cdot i = 68.683 \frac{1}{min}$

výkon motoru $P_m := 2 \cdot \pi \cdot M_T \cdot N_M = 0.222 W$

točivý moment motoru $M_{Mot} := \frac{M_T}{i} = 0.026 N \cdot m$

$$\pi \cdot f_z \cdot d_{z2} > P_h \cdot \cos(\beta) = 1$$

Poloměr řemenice 1 $d_{r2} := 16 mm$

obvodová síla na řemenici 2 $F_{r2} := \frac{M_{Mot}}{d_{r2}} = 1.609 N$

zvolená výška válce $h_{hf} := \frac{h_h}{6} = 0.428 m$

doba tisku kratšího válce $t_{hf} := \frac{t_h}{6} = 5.988 min$

Doporučené uložení

hmotnost celého extruderu ,
včetně hlíny
zrychlení extruderu

$$M_{ex} := 3.041 \text{ kg}$$

$$a_t = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

celková délka vozíku

$$H_v := 24 \text{ mm}$$

těžiště

$$x_T := 13 \text{ mm}$$

$$y_T := 0 \text{ mm}$$

dynamická únosnost vozíku

$$C_{0v} := 25.310 \text{ kN}$$

připustný statický moment

$$M_R := 170 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_P := 150 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_y := 150 \text{ N} \cdot \text{m}$$

vzdálenost od válce k upínací
ploše vedení

$$L_u := 26 \text{ mm}$$

moment od tíhové síly

$$M_g := (M_{ex} \cdot g) \cdot \left(\frac{d_2}{2} - x_T + \frac{H_v}{2} + L_u \right) = 1.342 \text{ N} \cdot \text{m}$$

ekvivalentní zatížení

$$P_E := M_{ex} \cdot g + C_{0v} \cdot \frac{M_g}{M_R} + M_{ex} \cdot a_t = 238.744 \text{ N}$$

Jmenovitá životnost

součinitel tvrdosti

$$f_h := 1$$

součinitel teploty

$$f_t := 1$$

součinitel zatížení
(malé rázy)

$$f_w := 1.5$$

jmenovitá životnost

$$L_v := \left(\frac{f_h \cdot f_t \cdot C_{0v}}{P_E \cdot f_w} \right) \cdot 50 = 3.534 \cdot 10^3$$

životnost

$$L_{hv} := \frac{L_v \cdot 10^3}{v_t \cdot 60} \cdot \text{m} = 327.201 \text{ hr}$$

Kontrola statické únosnosti

součinitel bezpečnosti
statické

$$f_{sm} := \frac{M_R}{M_g + y_T \cdot a_t \cdot M_{ex}} = 126.677$$

$$f_{sm} > 4 = 1$$

počet výměn válce

$$N_v := \frac{L_{hv}}{t_{hf}} = 3.278 \cdot 10^3$$