

## 5.1 Rámy obráběcích strojů

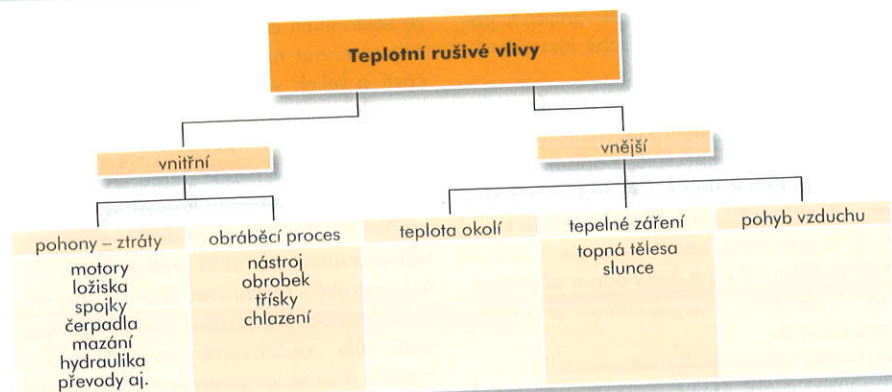
Vznik trhavých pohybů lze vysvětlit jako důsledek nelineárního průběhu závislosti mezi rychlostí posouvané části po vedení a třecí silou ve vedení. Na obr. 5.23 je znázorněn teoretický princip vzniku trhavých pohybů včetně závislosti průběhů jednotlivých parametrů při tomto jevu.

Vytvoří-li se olejový film mezi třecími povrchy teprve vzájemným pohybem vodících ploch pohyblivé části, je tečná reakce za klidu bezprostředně před vznikem pohybu větší než síla tření za pohybu.

To pak způsobuje trhavý, přerušovaný pohyb posouvané části podle časových průběhů rychlosti  $v$ , dráhy  $x$ , třecí síly  $F$  a síly  $F_p$  v pružině posuvového systému zjednodušeného na fyzikální a výpočtový model. V modelu vlevo hmotu  $m_m$  na valivém vedení se zanedbatelnými pasivními odpory představuje zredukovanou hmotu pohonného motoru posuvu, pružina výslednou zredukovanou torzní poddajností pohonného systému a hmotu  $m_p$  vpravo posouvanou část s pasivními odpory ve vedení. Oblast velmi malých rychlostí (řádově v mm za minutu), kdy třecí síla klesá se zvětšující s rychlostí, je oblast tzv. polokapalinného tření, kdy mezi částí třecích povrchů ještě existuje suché nebo mezní tření, zatímco mezi zbývající částí je již vytvořen olejový film. Jakmile se vytvoří souvislý olejový film, který oddělí třecí plochy, nastává oblast kapalinného tření a součinitel tření se jen mírně zvyšuje s rostoucí rychlostí.

Použitím valivého vedení se výrazně zlepší závislost součinitele tření na rychlosti. U valivého tření je navíc hodnota součinitele nižší než při hydrodynamickém mazání aditivovanými oleji. Pro výrazné snížení součinitele tření a zabezpečení kapalinného tření i při malých posuvových rychlostech se používá hydrostatické mazání, kdy se mezi posouvající se plochy vhání pod tlakem dostatečné množství mazacího oleje. Pak se i za klidu troucí se povrchy oddělí dostatečně tlustou vrstvou mazacího oleje a odpor proti posuvu posouvané části se rovná síle potřebné ke stírání olejové vrstvy. Výrazné zlepšení přináší rovněž využití obložení kluzných ploch umělými hmotami. Ve všech případech pak je prvořadým požadavkem konstrukce posuvového systému s maximální tuhostí.

Obráběcí stroje jsou v provozu vystaveny působení řady zdrojů tepla, které v závislosti na zatížení (výkon, otáčky) a čase ovlivňují změny teploty jednotlivých uzlů



Obr. 5.24. Tepelné rušivé vlivy [1]

stroje. Tyto jsou potom příčinou nežádoucích deformací, které mají nepříznivý vliv na přesnost a výrobnost obráběcích strojů [1]. Rušivé vlivy ovlivňující tepelnou stabilitu obráběcích strojů lze členit dle obr. 5.24 do dvou hlavních skupin.

Vnější rušivé vlivy jsou zdroje tepla v okolí (topná tělesa, stěny haly, jiné stroje aj.), sluneční záření a teplota okolního prostředí (např. vzduchu, chladicí kapaliny, mazací prostředky atd.).

Přenos tepla na obráběcí stroj je u této skupiny převážně zářením (radiací) a prouděním (konvekci). Vnitřní rušivé vlivy jsou ztráty pohonných motorů všech druhů, obráběcí proces a tření v převodech, uloženíh a vedeních.

U této skupiny rušivých vlivů se přestup tepla děje převážně vedením (kondukcí).

Všechny uvedené rušivé vlivy mohou působit současně s různým podílem jednotlivých článků tohoto termického systému. Je zřejmé, že významnou část vnitřních zdrojů tepla obráběcího stroje tvoří teplo vznikající při vlastním obráběcím procesu. Mechanická energie spotřebovaná v procesu obrábění na odebrání třísky a její odvedení z místa řezu se mění převážně v teplo. Toto teplo, které se vyvíjí v úzké oblasti u řezné hrany, je provázáno vznikem vysoké teploty, která dosahuje na kontaktních plochách mezi nástrojem, třískou a plochou řezu hodnot až 1200 °C. Vysoké teploty funkčních ploch nástroje mají nepříznivý vliv na intenzitu opotřebení nástroje, nepříznivě ovlivňují přesnost obrábění a jakost obrobene plochy. V povrchové vrstvě obrobku mohou vyvolat zbytkové pnutí a strukturální přeměny. Tyto otázky jsou důležitými součástmi v oblasti teorie obrábění. Podstatou řezného procesu je rozrušování soudržnosti

obráběného materiálu odřezáváním a odělováním vrstvy materiálu z obráběného polotovaru v podobě třísek. Je tedy řezný proces charakterizován prací deformací a prací vnitřního a vnějšího tření. Celková práce řezání se rovná součtu dílčích prací deformacních a třecích [1]:

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

kde:

A – celková práce řezání,

A1 – práce deformací (až 80 %),

A2 – práce tření na čele (~ 5 %),

A3 – práce tření na hříbetě (~ 5 %),

A4 – práce pružných deformací (~ 2 až 10 %).

Celková práce řezání A se mění v celkové teplo Q a přibližně platí:  $Q = A$

Odvod tepla z ohnisk vzniká se děje vedením (kondukcí) od částice k částici jejich přímým stykem – pružným vlněním, např. v oblasti tvoření třísky apod., dále pak prouděním (konvekci), stykem mezi tělesem a okolním prostředím, např. mezi obrobkem a řeznou kapalinou atd. a konečně sáláním (radiací), tj. elektromagnetickým vlněním v prostředí.

Z místa vzniku odchází teplo: třískou  $Q_1 = (42 \div 95) \% Q$ , obrobkem  $Q_2 = (5 \div 45) \% Q$ , nástrojem  $Q_3 = (1,5 \div 5) \% Q$  a prostředím  $Q_4 = (1 \div 8) \% Q$ .

Z uvedené bilance tepelného toku je zřejmé, že téměř všechno teplo se akumuluje v obráběcím stroji. Vyplyvá z toho rovněž důležitost požadavku plynulého odvodu třísek, které obsahují největší část vzniklého tepla (výjimku tvoří vrtání děr, kde podstatná část tepla se předává obrobku  $Q_2 = 50 \div 70 \%$ ).

Všechny uvedené teplotní vlivy způsobují v provozu postupné zvyšování teploty obráběného materiálu.



Ložiska do mrazivých hor,  
rozpálené pouště,

mořských hlubin a  
oblačných výšin.

GGB vyrábí kluzná ložiska pro nepřehledné množství výrobků – od magnetofonů přes navigační plachetnic po horkovzdušné balony.

A pokud v našem sortimentu nenajdete ložisko vhodné pro vaši potřebu, jsme připraveni s vámi spolupracovat na vývoji produktu, který přesně vyhoví vašim požadavkům.

Spojte se proto s GGB a dozvíte se, jak vám můžeme pomoci s vaším novým projektem. A navštivte také naše webové stránky [www.ggbearings.com](http://www.ggbearings.com)

GGB Czech Republic • Štěpánská 611/14 • 110 00 Praha 1  
Tel.: 222 233 550 • Fax: 222 233 304 • [czechrepublic@ggbearings.com](mailto:czechrepublic@ggbearings.com)

©2006 GGB Inc. All rights reserved.

**GGB**  
BEARING TECHNOLOGY

an EnPro Industries company



# 5.1 Rámy obráběcích strojů

běžícího stroje, až tato dostoupí určité hodnoty tzv. ustálené teploty  $t_s$ .

Průběh oteplování není lineární – největší nárůst teploty je v první fázi pracovního chodu stroje dle obr. 5.25. Hodnota ustálené teploty je dána vztahem:

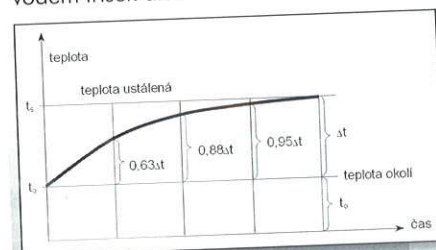
$$t_s = Q \cdot R + t_0$$

kde

$$R = \frac{1}{\alpha \cdot S}$$

$R$  – teplotní přechodový odpor,  
 $\alpha$  – součinitel přechodu tepla,  
 $S$  – velikost plochy předávající teplo.

Pro docílení co nejmenších hodnot  $t_s$  je tedy nutno dělat opatření, aby  $Q$  a  $R$  byly co nejmenší, tzn. např. zvětšování tepla předávajících ploch  $S$  (žebrování), zvyšování hodnoty  $\alpha$  (nucenou konvekcí) či snižováním tepelného toku  $Q$  – chlazení zdrojů tepla (tab. 5.3), zvyšování účinnosti, odvodem třísek atd.



Obr. 5.25. Průběh zvyšování teploty stroje [1]

Zde je však nutno upozornit na skutečnost, že uvedený průběh oteplování nastane pouze v případě plynulého a stejnoměrného provozu i zatížení stroje, bez jakéhokoliv přerušení provozu. Tyto podmínky jsou v praxi málokdy splněny z různých důvodů. Časový průběh teploty a vyvolaných deformací není konstantní ani plynulý, na což má vliv zejména to, že:

- studený stroj se ohřívá po uvedení do provozu relativně pomalu;
- v průběhu provozu se vlivem vnitřních tepelných vlivů teplota stroje zvyšuje;
- je-li provoz přerušen (přestávka, technická nebo organizační porucha aj.), stroj se relativně rychle ochladí;
- mohou zde působit další rušivé vlivy, zejména vnější (např. otevření vrat v hale ochladí vzduch, a to se přenesení na stroj, apod.).

Zlepšení teplotní tuhosti lze docílit zejména následujícími čtyřmi opatřeními:

## Konstrukční opatření

- zvyšování účinnosti všech uzlů a prvků;
- umístění zdrojů tepla pokud možno mimo vnitřní prostor stroje (motory, hydraulika aj.);
- dodržování zásad symetričnosti konstrukce uzlů, které podléhají vlivu oteplování;
- volba dělicích rovin uzlů tak, aby deformace v kritickém směru byly minimální (směr deformace volit ve směru tečny k obráběné ploše);

## Odvod tepla

- odvod vznikajícího tepla z ložisek, převodů, vedení;
- chlazení při řezném procesu nebo některých hlavních uzlů (vřeteník);
- zajištění plynulého odvodu třísek z pracovního prostoru;
- dimenzování ploch pro odvod tepla.

## Kompenzace

- využití materiálu s různými součiniteli roztažnosti;
- nahřívání určitých částí stroje;
- aktivní NC kompenzace teplotních deformací (využívání teplotně-stabilizačních zařízení zejména pro velmi přesné a nákladné stroje).

## Klimatizace

- konstantní teplota v hale (např. 20 °C ± 1 °C);
- kontrola proudění vzduchu;
- clonění zařízení.

Lze konstatovat, že teplotní stabilita obráběcích strojů představuje jednu z hlavních, dosud ne plně dořešených problematik, zejména s ohledem na neustále stoupající požadavky na přesnost obráběcích strojů.

## Odvod třísek

Zvláštní pozornost konstruktéra, především u výkonných a velkých hrubovacích strojů, zasluhuje problém odstraňování třísek. Rychlý a účinný odvod třísek od stroje je nutno řešit nejen z hlediska zamezení deformací částí obráběcích strojů, vystavených buď přímému styku s horkými třískami anebo sálavému teplu, ale i z provozněbezpečnostních důvodů při hromadění velkých množství od nástroje odvedených třísek, zejména v okolí pracovního cyklu.

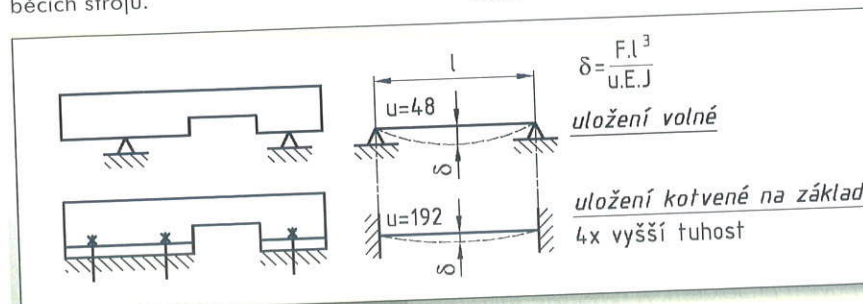
Stroje pracující v automatickém cyklu musí mít řešen plynulý, automatický odvod třísek z pracovního prostoru.

Optimálním řešením je, když základní koncepce obráběcího stroje umožňuje gravitační odvod třísek. Dále je nutno dbát na to, aby všechny plochy, na které padají třísky, měly úhel sklonu min. 50°. Pokud to není možné, je nutno využít intenzivního splachování a odplavování třísek, při obrábění za sucha potom odsávání.

Další důležitou otázkou je řešit pokud možno automatický odvod třísek mimo vlastní obráběcí stroj. K tomu účelu lze využít různé typy dopravníků třísek:

- magnetických, rotačních nebo pásových, vhodných pro drobné, ale i menší vinuté třísky magnetických materiálů;
- mechanických, článkových, vhodných pro všechny druhy třísek;
- harpunovitých s přímočarým vratným pohybem, které jsou určeny zejména pro ocelové, vinuté třísky;
- šnekové dopravníky s lícováním (opracovaným) šnekem s korytem pro drobné a menší vinuté třísky;
- šnekové dopravníky s lícováním (opracovaným) šnekem s korytem pro drobné a menší vinuté třísky.

Při porovnání teoreticky odebraného množství a skutečného objemu třísek zjistíme, že je nutné brát v úvahu tzv. součinitel přechovávání.



Obr. 5.26. Princip uložení stroje na základ [1]

tab. 5.3. Přehled vnitřních zdrojů tepla u obráběcích strojů [1]

| Zdroj tepla                      | Určení tepla   | Vstupní data  |
|----------------------------------|--|---|
| El. motory                       | asynchron. třífázový<br>$Q = N \cdot \frac{1-\eta}{\eta}$ (W)<br>SS. EM regul.<br>N – výkon EM<br>$\eta$ – účinnost EM   | $\eta = 0,6$ N < 0,2 kW – 2AP<br>$= 0,85 - 0,88$ N < 3,5 kW – 2AP<br>$= 0,87 - 0,89$ N < 100 kW – 0<br>$\eta = 0,8$ N < 7,5 kW – M603<br>$\eta = 0,84$ N < 23 kW – M604 A   |
| Spojky, brzdy (lamel., el. mag.) | teplo 1 sepnutí<br>$E_k = 1,395 \cdot 10^{-4} \cdot 60^2 (n_1 - n_2)^2 \cdot \frac{M_1}{M_1 + M_2}$ (J)<br>teplo v rozep. stavu<br>$Q = 0,104 \cdot M_0 \cdot \Delta n$ (W)  | $\delta D_2$ (N.m <sup>2</sup> ) – red. setr. mom. hmot<br>n1,2 (min <sup>-1</sup> ) – ot. spoj. hříd.<br>M1 (Nm) – spínací mom.<br>M2 (Nm) – mom. zatížení<br>M0 (Nm) – zbytl. moment = (0,015 – 0,03) M0<br>$\Delta n$ (min <sup>-1</sup> ) – rel. ot. obou skupin lamel  |
| Ložiska                          | valivá<br>$Q = 1,05 \cdot 10^{-4} \cdot F \cdot r \cdot n \cdot \mu$ (W)<br>hydrodynamická<br>$Q = 628 \cdot \frac{d \cdot l \cdot v^2}{m} \cdot \eta$ (W)<br>nebo<br>$Q = 1,72 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{d^3 \cdot n^2 \cdot l}{m} \cdot \eta$ (W)<br>hydrostatická<br>Teplo v 1 buňce:<br>$Q_b = 1,67 \cdot 10^{-5} \cdot p_b \cdot V_b + 10^{-6} \cdot \frac{v}{h} \cdot \eta$<br>celk. teplo v hydrostat. okruhu<br>$Q_c = 1,67 \cdot 10^{-5} \cdot p_b \cdot V_c \cdot \frac{2 - \eta_c}{\eta_c} + \frac{k_b}{T} \cdot Q_b$ | F (N) – zatížení lož.<br>v (mm) – poloměr čepu<br>n (min <sup>-1</sup> ) – vel. otáček<br>$\mu$ – souč. typu lož. = 0,0015; 0,0020; 0,0025 kul. válec. jehl.<br>d (cm) – průměr čepu; l (cm) – délka lož.<br>v (m.s <sup>-1</sup> ) – obv. rychl. čepu<br>$\eta$ (Pa.s) – dynam. viskozita maziva<br>m (μm) – vůle ložiska<br>n (min <sup>-1</sup> ) – otáčky<br>P (Pa) – tlak v buňce<br>Vb (l.mm <sup>-3</sup> ) – množ. al. proték. 1 buňkou<br>Ab (cm <sup>2</sup> ) – tles. plocha kolem buňky<br>V (cm.s <sup>-1</sup> ) – kluzná rychl. (obv. rychl. čepu)<br>h (cm) – výška mezery<br>$\eta$ (Pa.s) – dyn. viskoz. oleje<br>Vc (l.min <sup>-1</sup> ) – množství dod. čerp.<br>$\eta$ (l) – celk. účinnost čerp.<br>Qb (W) – tepel. výkon v 1 buňce<br>Kb (l) – počet buňek |
| Převody                          | ozub. koly<br>řemeny<br>řetězové<br>pohyb. šroub a matice  | Teplo se určí z účinnosti pro 1 pár (dvojici)<br>$\eta = 0,98 - 0,99$ čelní s přím. a šik. zuby<br>$\eta = 0,96 - 0,98$ šroub. a kužel<br>$\eta = 0,95 - 0,98$ s 1 řem. klín.<br>$\eta = 0,92 - 0,94$ s více klín.<br>$\eta = 0,98 - 0,99$ ozub. řemen<br>$\eta = 0,96$ – článkový<br>$\eta = 0,95 - 0,98$ – válečkový<br>$\eta \leq 0,5$ – kluzné h. dyn., samosvorné<br>$\eta = 0,9$ – KSM – s předpětím klesá  |
| Hydraulický obvod                | čerpadla<br>hydromotory<br>hydr. prvky (ventily, rozváděče)  | $Q = 1,67 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta p \cdot V \cdot \frac{1 - \eta_c}{\eta_c}$ (W)<br>$Q = 1,67 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta p \cdot V$ (W)<br>p (Pa) – tlak<br>$\eta_c = 0,7 - 0,8$ – lopatkové<br>V (l.min <sup>-1</sup> ) – množství<br>$\eta_c = 0,8 - 0,9$ – pístové<br>$\eta_c = 0,75 - 0,9$ – zubové<br>hydromotory $\eta_c = 0,75 - 0,9$<br>V (l.min <sup>-1</sup> ) – množství<br>$\Delta p$ (Pa) – tlak. spád na prvku   |
| Řezný proces                     | soustružení<br>frézování<br>vytvádění<br>obrábění<br>vrtání  | $Q_k = 0,0167 \cdot F_z \cdot v$ (W)<br>$Q_k = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$ (W)<br>Fz (N) – tečná složka řezné síly<br>v (m.min <sup>-1</sup> ) – řezná rychlost<br>Q1 – teplo do třísek Q2 – teplo do nást.<br>Q3 – teplo do obrabku Q4 – teplo do okolí<br>Výjimka vrtání Q5 = 50 – 70 %<br>Q6 = 5 – 15 %   |

Objem odebraných třísek je větší než teoretické odebrané množství. Správně dimenzovaný základ a uložení obráběcího stroje na základ přispějí ke zvýšení tuhosti stroje. Tuhé spojení stroje se základem zvýší celkovou tuhost dle obr. 5.26 na několiknásobek [1].

Uložení stroje na základ musí být provedeno v potřebné přesnosti (zpravidla 0,02 mm/1 m, nebo i 0,005 mm/1 m u velmi přesných strojů). Ustavení stroje se provádí různými konstrukčními principy a musí respektovat zejména možnost ustavení a zajištění stroje v potřebné poloze, možnost zvýšení celkové tuhosti stroje volbou správného základu a aktivní a pasivní izolace proti dynamickým, rušivým vlivům.

Volba provedení základu a principu uložení obráběcího stroje závisí od druhu stroje a požadavků na jeho přesnost a tuhost. V praxi se využívají různé druhy uložení strojů na základ dle obr. 5.27.

Pro uložení rozměrově malých strojů s dostatečně tuhým (samonosným) rámem se použije uložení přímo na podlahu haly. Ustavující prvky zde plní i funkci tlumení. Uložení přesných obráběcích strojů vyžaduje dokonalejší základ. Hmotu základového bloku se spojí tuhými ustavovacími prvky s rámem stroje a celý systém je dále uložen samostatně na prvcích zajišťujících aktivní i pasivní tlumení. Většina rozměrných obráběcích strojů se ukládá na

samostatné, dle druhu a velikosti stroje dimenzované základy. Pro izolaci od vnějších rušivých vlivů (sousední stroje) je základový blok oddělen sáprami.

K uložení obráběcích strojů se používají tuhé (klínové) nebo pružné podkladové prvky, z nichž nejčastěji používané jsou uvedeny na obr. 5.28.

Princip klínové podložky vykazuje vysokou tuhost uložení, což je dáno malým počtem stykových ploch. Nevýhodou je vznik třecí síly mezi podložkou a strojem vznikající při svislém ustavování. Tuhosti klínových podložek jsou cca 600 až 800 N.μm<sup>-1</sup>, podmínkou je však vysoká jakost opracování styčných ploch. Při zvlášť přesném opraco-