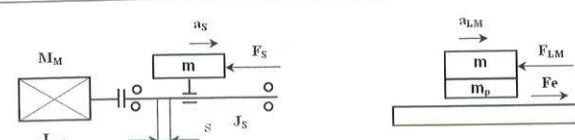


5.3. Posuvové soustavy lineární



kde: J_{mot} – moment setrvačnosti kotvy [kgm²]
 J_S – moment setrvačnosti šroubu [kgm²]
 s – stoupání šroubu [m]
 S_{opt} – optimální stoupání šroubu [m]
 F_S – posuvová síla mechanická [N]
 m – hmotnost stolu [kg]
 m_p – hmotnost primární části [kg]
 F_{LM} – posuvová síla elektrická [N]
 a_S – zrychlení mechanické [ms⁻²]
 a_{LM} – zrychlení elektrické [ms⁻²]
 M_M – moment rotačního motoru [Nm]
 F_e – elektrická síla ve vinutí [N]

$$a_S = \frac{M \cdot s}{2\pi \left[J_{mot} + J_S + m \left(\frac{s}{2\pi} \right)^2 \right]} \quad a_{LM} = \frac{F_e}{m + m_p}$$

optimální stoupání pro maximální zrychlení

- | | | | |
|---|------------------------------------|---|---------------------------------------|
| ⊕ | • tuhost | ⊕ | • jednoduchá konstrukce okolních dílů |
| ⊕ | • tlumení kmitů | ⊕ | • vysoké rychlosti a zrychlení |
| ⊕ | • vysoká posuvová síla | | |
| ⊖ | • omezené zrychlení a rychlost | ⊖ | • magnetické síly |
| ⊖ | • složitá konstrukce okolních dílů | ⊖ | • větší přesnost odměřování |
| | | ⊖ | • menší posuvová síla |

Obr. 5.98. Porovnání vlastností lineárních motorů a KŠM

Vedení kluzná

Kluzná vedení se využívají principiálně ve dvou variantách podle třecích poměrů (obr. 5.100). Při použití kluzného vedení může být jakost práce podstatně snižována nestabilitou pohybu, zejména pak u hydrodynamického typu. Nestabilita se projevuje ve dvou podobách:

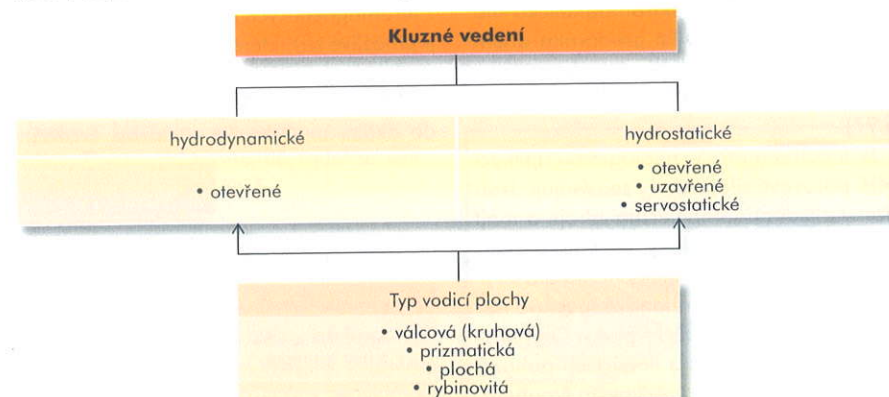
- nerovnoměrný trhavý pohyb (horší jakost povrchu);
- necitlivost (znemožnění nastavení nástroje vůči obrobku).

Při trhavých pohybech musí saně, které jsou v klidu, překonat odpor tření za klidu. Jakmile jsou saně v pohybu, je součinitel tření roven součiniteli tření v pohybu. Posuvový mechanismus však není dokonale tuhý a přebytek hnací síly je příčinou vzniku poskoku. Trhavý pohyb je tak výsledkem kombinací poklesu součinitele tření a poddajnosti posuvového mechanismu. Velikost poskoku lze určit [9]:

$$\Delta_p = \frac{2 \cdot (F_{TO} - F_T)}{k} + v \cdot t$$

kde: F_{TO} – třecí (adhezní) síla v klidu [N]
 F_T – třecí síla za pohybu [N]
 k – tuhost posuvového mechanismu [Nm⁻¹]
 v – konstantní posuvová rychlost [ms⁻¹]
 t – čas ustáleného pohybu [s]

Ze vztahu plyne, že velikost poskoku můžeme snižovat buď zvyšováním tuhosti nebo snižováním rozdílu mezi třením za klidu a za pohybu. Pokud chceme odstranit po-



Obr. 5.100. Varianty kluzného vedení

skoky zcela, nemůžeme mít sice nekonečně velkou tuhost posuvového mechanismu, ale užitím hydrostatického (kapalinného) tření docílíme příznivého součinitele tření za klidu i za pohybu.

Zmírnění a někdy i odstranění trhavých pohybů u hydrodynamického vedení docílíme pomocí speciálních aditivovaných mazacích olejů nebo obkládáním vodičích ploch umělými hmotami (Turcit, Biplast, Gamapest apod.).

Hydrodynamické vedení má svůj název od toho, že přiváděný mazací olej mezi pohyblivé části vedení vytvoří mazací film až za pohybu, kdy vzniknou podmínky tzv. hydrodynamického mazání.

Při konstrukci hydrodynamických vedení je nutno věnovat hlavní pozornost zejména otázkám, které jsou rozebrány níže.

Volby materiálu vodičích ploch

Počáteční přesnosti vedení se dosáhne vhodnou technologií obrábění a zachování této přesnosti po delší dobu je pak dáno volbou vhodného materiálu, kromě dalších podmínek, jako je mazání a ochrana vodičích ploch.

Odolnost vodičích ploch proti opotřebení závisí na četných činitelích, zejména na chemickém složení, fyzikálně mechanických vlastnostech materiálu vedení a materiálu sružených ploch, na drsnosti povrchu kluzných ploch. Tvrdost materiálu není sama o sobě zárukou velké odolnosti proti opotřebení. Někdy se tvrdý materiál odírá rychleji než měkký, neboť velmi záleží na stejnorodosti struktury materiálu a tvaru krystalů [1].

Za jinak stejných podmínek se dvě sružené vodičích plochy opotřebovávají méně, jsou-li tvrdosti rozdílné. Jsou-li obě plochy

Materiál vodičích ploch		Největší dov. měrný tlak p [MPa]	Součinitel tření f	Oblast využití
kratší plochy – stůl	delší plochy – lože			
šedá litina	šedá litina (+20 HB)	2 až 3	0,1 ... 0,15	stoly a suporty soustruhů, frézek apod.
	litina povrchově kalená (48 – 53 HRC)	0,15 až 0,8	0,06 ... 0,1	stoly hoblovek (nižší hodnota p pro velké rychlosti)
	ocelové kalené lišty (60 – 63 HRC)	0,005 až 0,1	0,06 ... 0,1	stoly brusek apod.
umělá hmota	šedá litina	2,5 ... 3, 5	0,1 ... 0,15	stoly a suporty os s vyšší odolností proti opotřebení
		0,35 ... 0,8	0,02 ... 0,06	stoly a suporty os s menším třením

Tab. 5.19. Přehled materiálů pro vodičích plochy [1]

stejně tvrdé, mohou se zadírat zvlášť při vyšších měrných tlacích a malých rychlostech pohybu. Se zřetelem na to, že tvrdší plocha se obvykle opotřebovává pomaleji, volí se vždy důležitější a delší plocha tvrdší. Například vodičích plochy lože soustruhu jsou tvrdší než odpovídající plochy suportu, přestože jejich namáhání je vždy příznivější. Vodičích plochy na loži se však opotřebovávají nerovnoměrně, a to pouze v těch místech, kde se pohybuje suport, a jejich opotřebení má tedy vliv na přesnost stroje [1].

Odolnost proti opotřebení je tedy všeobecně u tvrdých materiálů (ocel) vyšší než u měkkých (litina). To je však podmíněno utěsněním proti nečistotám (třísčím, prach) – v opačném případě je naopak opotřebení tvrdších materiálů vyšší. Nejvýhodnější je kombinace jedné tvrdší a druhé měkké plochy. Prvořadý význam má dobré utěsnění vodičích ploch.

Jako materiál pro základní kinematickou dvojici pracovní stůl – lože se využívají materiály dle tabulky 5.19, kde jsou rovněž uvedeny některé základní parametry.

Jednotlivé druhy materiálů lze charakterizovat takto [1]:

Šedá litina – využívá se jakostní šedá litina. Pro docílení vyšší tvrdosti delší vodičích plochy (cca o 20 HB) lože se odlévají vedení umístí dole a obloží chladítky. Někdy je výhodné využít očkované litiny za účelem zvýšení modulu pružnosti.

Kalená šedá litina – je používána pro výrazné zvýšení tvrdosti vodičích ploch. Využívá se povrchové kalení (indukční, středně nebo vysokofrekvenční) s povrchovou tvrdostí 48 – 53 HRC do hloubky 2 až 3 mm.

Kalená ocel – má nejvyšší tvrdost i odolnost proti opotřebení (cca 60 HRC). Vedení tvo-

ří lišty lepené nebo přišroubované na profil lože. Někdy lze též výhodně použít obložení vodičích ploch kalenými, ocelovými pásy o síle cca 0,3 – 0,8 mm – tato technologie vyžaduje velmi kvalitní obrobení ploch pro lepení obkládacích pásů vedení.

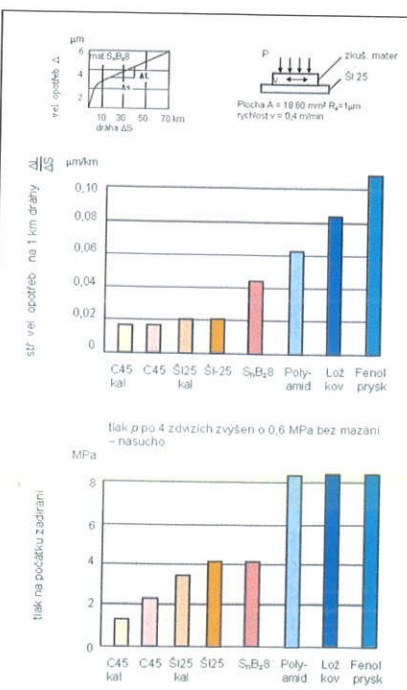
Umělé hmoty různého složení – mají stále širší využití. Při jejich použití získáváme řadu výhod, zejména výborné třecí vlastnosti, praktickou nemožnost zadření a dále to, že sružená plocha z kovu se opotřebovává velmi nepatrně. Tenké desky z plastických hmot se na kovové části obráběcích strojů mohou přišroubovat, přinýtovat nebo nejvýhodněji přilepit. V každém případě je pak oprava poškozené plochy velmi jednoduchá.

Použití umělých hmot přináší, jak již bylo řečeno, zlepšení třecích vlastností. Umělé hmoty používáme ve třech variantách provedení jejich nanášení na posuvový stůl:

- umělá hmota je připevněna v tuhém stavu: používá se náš výrobek Metaloplast – bronzová mřížka vyplněná teflonem o síle 0,5 mm se součinitelem tření v klidu $f_0 = 0,13$ nebo Turcit (Dánsko) – dodávaný v páscech o tloušťce (2 až 3,3 mm), se součinitelem tření v klidu $f_0 = 0,06$. Připevňuje se zpravidla nalepením;
- umělá hmota se nanáší v kašovitém stavu: v tomto případě použijeme stěrkování umělé hmoty. Po nanesení umělé hmoty je nutno odfrézovat cca 0,8 mm, aby byla zajištěna správná funkce vedení;
- umělá hmota se nanáší v tekutém stavu: umělá hmota se odlije do připraveného prostoru. Jako přípravek umělé hmoty lze využít umělou hmotu značky Epilox, nebo jiné vyvinuté hmoty. Umě-

lá hmota se nanáší v tloušťce cca (1,5 až 2,5 mm). Tvrdnutí umělé hmoty trvá asi 24 hodin. Součinitel tření je velmi dobrý, asi $f_0 = 0,11$.

Jak již bylo uváděno, vliv volby materiálu kluzných ploch je značný – při suchém a polosuchém tření jsou třecí vlastnosti a tím i velikost opotřebení velmi silně závislé na vlastnostech materiálů použitých na kluznou dvojici. V diagramu obr. 5.101 na levé straně jsou uvedeny výsledky zkoušek velikosti opotřebení pro různé kombinace materiálů kluzné dvojice. Uvedené hodnoty představují již stabilizovaný stav (neuvažuje se počáteč-

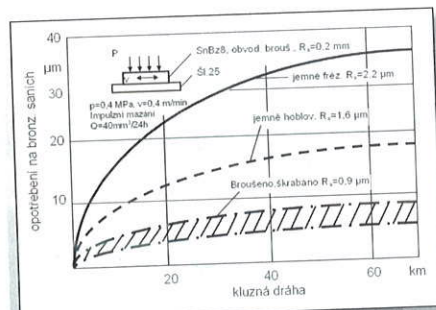


Obr. 5.101. Opotřebení a sklon k zadírání různých materiálů [1]

5.3. Posuvové soustavy lineární

ní záběh) s konstantní velikostí opotřebení. Základní plocha (lože) je ze šedé litiny a pro protiplochu jsou použity různé druhy materiálu, jak jsou uvedeny v tabulce. Je zřejmé, že protiplochy z oceli a šedé litiny vykazují nejmenší opotřebení, u bronzu a umělých hmot velikost opotřebení stoupá.

Důležitou vlastností vodicích ploch je dá- le jejich odolnost proti zadírání (při nedo- statečném mazání apod.). Na pravé stra- ně obr. 5.101 jsou shrnuty výsledky zkoušek různých materiálových dvojic kluzných ploch bez mazání, na litinovém loži, s vratným po- hybem o rychlosti $0,4 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, při postup- ném zvyšování měrného tlaku. Zkoušky pro- kázaly, že u kovových materiálů (ocel, litina, bronz) dochází při nízkých hodnotách měr- ného tlaku k zadírání poměrně, ale u mate- riálů z umělých hmot i při značně vysokých tlacích k zadírání nedochází. U těchto mate- riálů se tedy docílí vysoké provozní spo- lehlivosti i při případné dílčí poruše mazá- ní. Určitou nevýhodou umělých hmot je nižší odolnost vůči opotřebení.



Obr. 5.102. Opatření vodicích ploch různých materiálů [1]

Na opotřebení vodicích ploch má značný vliv kvalita opracování [1]. Nejlepších třecích vlastností docílíme zaškrabáním vodicích ploch dle obr. 5.102. Zejména v po- čátečním období záběhu vedení je velikost opotřebení značně závislá na jakosti opra- cování stykových ploch vedení. Čím vyš- ší je drsnost opracování, tím větší je stupeň opotřebení, jak prokazují výsledky zkou- šek. V praxi převládá technologie dokon- čování opracování povrchů vodicích ploch metodou broušení a zaškrabávání ($1,5 \text{ až } 3 \text{ plošky/cm}^2$).

Velikost opotřebení stoupá průměrně s růstem měrného tlaku ve styčných plo- chách. Směrné hodnoty dovolených měr- ných tlaků pro různé materiály jsou uvede- ny v tab. 5.19. Aby vodicí plochy byly dosta-

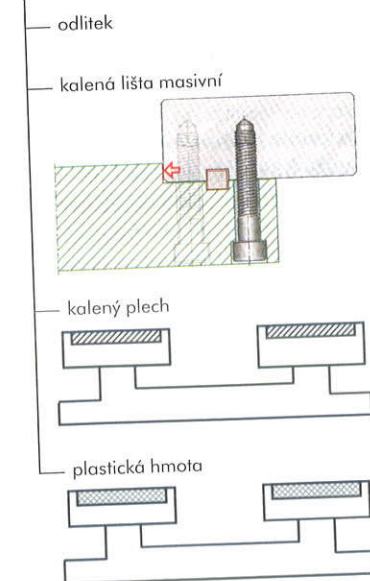
tečně odolné proti opotřebení, musí se tlak na nich rozložit pokud možno rovnoměrně. Rozměry vodicích ploch je proto nutné di- menzovat v závislosti na velikosti a směru zatížení.

Vodicí plochy mají být orientovány po- kud možno kolmo k výsledné zatěžovací sí- le. Dále má opotřebení vodicích ploch co nejmenší ovlivnit změnu polohy vedeného pracovního stolu, a toho lze docílit volbou správného profilu vedení s vhodnými roz- měry podle charakteru vnějšího zatížení. Pro obráběcí stroje se válcové vedení ne- používá pro vedení suportu, stolů, stojanů apod. Naproti tomu je válcové vedení vel- mi výhodné pro vedení pinoly koníku u sou- struhů, pinoly vřetena frézky a vrtaček.

Základním tvarem plochého vedení je čtyřboký hranol obdélníkového průřezu. Vymezení vůlí ve vodorovném směru se re- alizuje klíny, které mohou být kluzné (pří- padně valivé). Pro umístění vymežovacích klínů platí zásada, že se musí umístit tam, kde je menší zatížení. Velikost vodorovné vůle ovlivňuje také teplota.

Vůle ve svislém směru se vymezuje spod- ními lištami. Základním profilem prisma- tických vedení je trojboký hranol, jehož vr- cholový úhel a postavení mohou být různé. Vedení rybinovitě je zvláštním provedením prismatického vedení a je u CNC obrábě- cích strojů velmi málo rozšířené.

Materiál hydrodynamické kluzné plochy

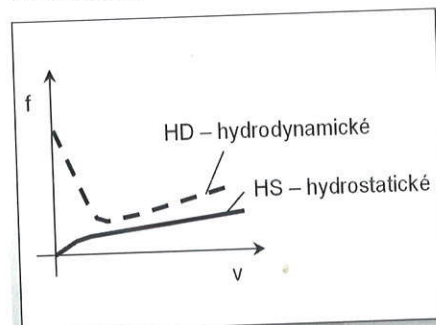


Obr. 5.103. Provedení hydrodynamických kluzných ploch [kalená lišta – INA]

Zhotovení plochých vodicích ploch hyd- rodynamického vedení kluzných je možné několika způsoby a souhrnně jej prezentu- je obr. 5.103.

Princip hydrostatického vedení je založen na dodávce tlakového oleje mezi vodicí plo- chy, např. loží a saní, čímž je docíleno tzv. kapalinného tření.

Vedení s kapalným třením se vyznačuje velmi malým součinitelem tření ($0,000\ 005$) při poměrně velkém rozsahu rychlostí. Po- rovnání kluzných vlastností vedení hydro- statického s vedením hydrodynamickým je uvedeno na obr. 5.104. Hydrostatické ve- dení se skládá z několika, nejméně tří, lo- žiskových kapes, které jsou upevněny na jedné z vodicích ploch, a druhá plocha je zcela hladká, tak jako u normálního kluz- ného vedení.



Obr. 5.104. Závislost součinitele tření na rychlosti

Vlastnosti hydrostatického vedení:

- velmi malý součinitel tření. Za pohybu se vyskytuje jen tření kapalinné $f = 10^{-4}$ až 10^{-5} , což je 10- až 100krát méně než u vedení valivých a 1000- až 10 000krát méně než u vedení kluzných (např. těle- so o hmotnosti 5500 kg se pohybuje sí- lou 4,4 N a rychlostí $100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$);
- se vzrůstem rychlosti třecí síla stoupá, což příznivě ovlivňuje stabilitu pohybu při malých rychlostech, kterými se provádí poslední fáze nastavování souřadnic;
- nemají prakticky žádné opotřebení, pro- tože pracovní plochy vedení se nedotý- kají ani za klidu, při nulové rychlosti po- hybu. Z toho plyne mimořádně vysoká životnost vedení;
- vysoká tlumicí schopnost ve směru kol- mém na vodicí plochy;
- neexistuje vůle; mezery mezi buňkami a vodicími plochami jsou zaplněny vrstvou tlakového oleje, která má vysokou tuhost;
- vysoká tuhost vedení.



Franz Kessler GmbH

Franz-Kessler-Str. 2
D-88422 Bad Buchau
Tel.: +49 7582 809 2
Fax: +49 7582 809-171
e-mail: franz-kessler@franz-kessler.de
web: www.franz-kessler.de

Prodej: Antonín Razík
tel: +420 605 247 947
e-mail: arazik@franz-kessler.de

**Vývojový partner a systémový
dodavatel výrobců obráběcích
strojů nabízí své široké
palety výrobků:**

- asynchronní motory řady DMQ a DMR
- synchronní konstrukce
- torzní motory TSM
- motorová (elektro) vřetena pro frézky soustruhy a brusky
- přímo poháněné stoly DTS
- výklopně-otočné stoly s přímým pohonem
- kompletní vřetenové jednotky pro 5-ti osé obrábění

Otočná vřetenová jednotka



Otočný stůl DTS



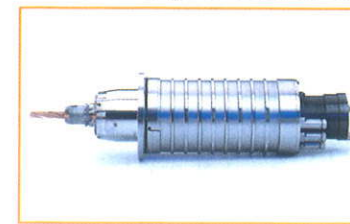
Otočný stůl



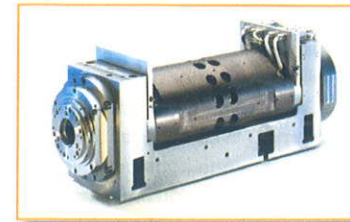
Otočně-výklopný stůl



Vertikální vřeteno pro universální stroje



Synchronní soustružnické vřeteno



Pohotově k cíli

Franz Kessler GmbH
Franz-Kessler-Str. 2
D-88422 Bad Buchau
Telefon: +49-75 82-809-0
Telefax: +49-75 82-809-170
Web: www.franz-kessler.de