

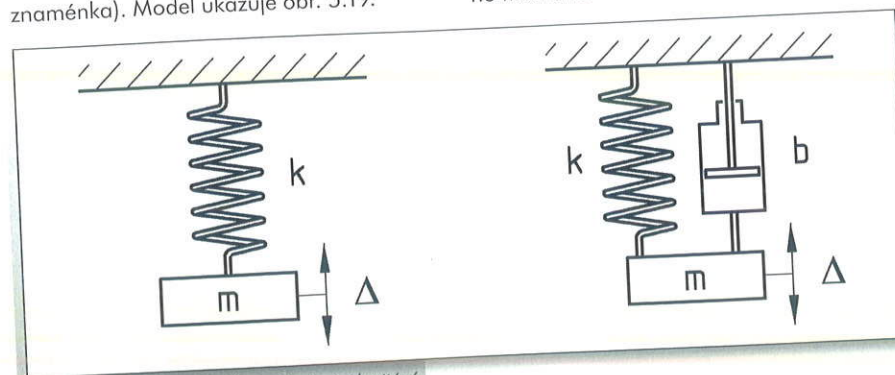
5.1 Rámy obráběcích strojů

Prinzipdarstellung der Verrippung	Nachgiebigkeit (Belastung durch 6 Einheitslasten) Modell: Prozentangaben	Materialvolumen Modell: Prozentangaben	Fügelänge Modell: Prozentangaben	Nachgiebigkeit x Volumen (Summe über 6 Lastfälle)
	0 100	0 100	0 100	0 100
	9 98	9 114	9 136	9 112.3 133
	10 93	10 129	10 171	10 120 160
	14 92	14 116	14 139	14 107.4 129
	18 92	18 107	18 121	18 99 112
	6 89	6 120	6 156	6 107 137
	19 88	19 114	19 143	19 101 126
	15 86	15 132	15 185	15 113.7 160
	16 85	16 123	16 168	16 105 143
	1 83	1 133	1 177	1 111 148
	5 82	5 126	5 173	5 103.7 142
	17 80	17 139	17 214	17 111.4 171
	3 79	3 129	3 192	3 101.6 152
	12 78	12 132	12 146	12 103.5 113
	4 78	4 136	4 179	4 100 139
	7 78	7 140	7 223	7 109.4 187
	2 77	2 140	2 177	2 108.4 137
	8 77	8 148	8 248	8 114 189
	11 70	11 140	11 177	11 98.4 124
	20 69	20 155	20 219	20 106 150
	13 64	13 164	13 218	13 110.5 147

Obr. 5.16. Porovnání uzavřených tvarů loží [5]

Řešení za prvního předpokladu dávají výsledky, které se celkem dobře shodují se skutečností. Druhý předpoklad platí pro deformace materiálu, pro něž platí Hookeův zákon. Pro materiály, pro něž tento zákon neplatí a pro deformace povrchových vrstev v místech styků dvou součástí platí lineární závislost deformace na zatížení pouze pro velmi malé deformace, jaké se obecně při kmitání vyskytují. U obráběcích strojů se vyskytují čtyři základní druhy kmitání [1]: kmitání vlastní (volné), kmitání buzené (vynucené), kmitání samobuzené a trhavé pohyby (Slip Stick). Kmitání vlastní volné může mít teoreticky dvě formy (viz obr. 5.19): kmitání vlastní netlumené či kmitání vlastní s tlumením.

Vlastní (volné) kmitání, vzniká vychýlením tuhé pružně uložené hmoty z klidové polohy účinkem síly nebo rázu s jejich následujícím zánikem. Velikost síly je přímo úměrná výchylce z klidové polohy (ale opačného znaménka). Model ukazuje obr. 5.19.



Obr. 5.19. Tlumené a netlumené vlastní kmitání



Obr. 5.18. Příčiny kmitání v obráběcích strojích [1]

Řešením diferenciální pohybové rovnice netlumeného pohybu [5.13]

$$m \cdot \frac{d^2 \Delta}{dt^2} + k \cdot \Delta = 0$$

dostaneme vlastní kruhovou frekvenci [5.14]

$$\Omega_o = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad [s^{-1}]$$

kmitavého pohybu s dobou kmitu, případně frekvencí

[5.15]

$$T = \frac{2\pi}{\Omega_o} [s] \quad f = \frac{1}{T} = \frac{\Omega_o}{2\pi} [Hz]$$

Zavedeme-li navíc do pohybové rovnice tlumící sílu s konstantou tlumení Ψ úměrnou rychlosti kmitající hmoty m [5.16]

$$m \cdot \frac{d^2 \Delta}{dt^2} + \Psi \cdot \frac{d\Delta}{dt} + k \cdot \Delta = 0$$

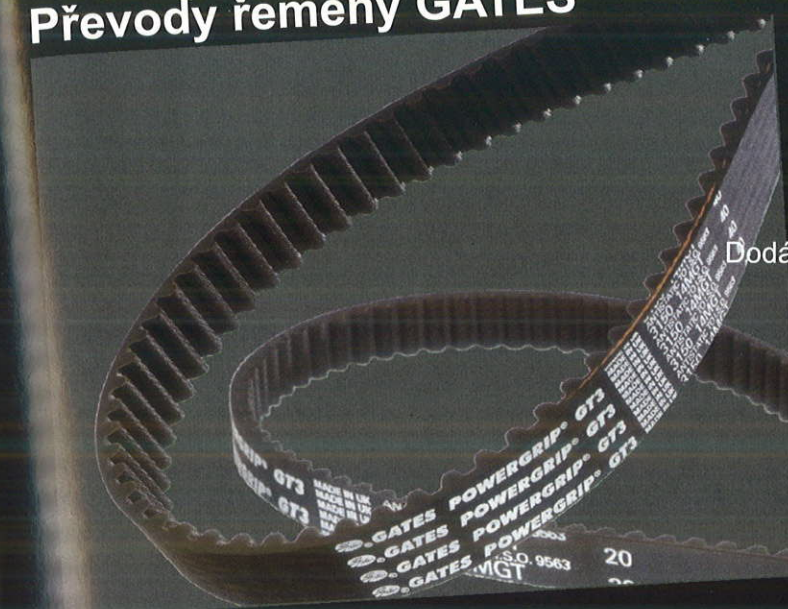
je řešením periodický pohyb s amplitudou, která se exponenciálně zmenšuje s kruhovou frekvencí [5.17]

$$\Omega_1 = \sqrt{\Omega_o^2 - \left(\frac{\Psi}{2m}\right)^2} \quad [s^{-1}]$$

Pokud je tlumící síla malá, pak $\Omega_1 \approx \Omega_o$

To vzniká tehdy, působí-li na soustavu pružně uložených a pružně spolu spojených hmot periodicky proměnlivá rušivá síla. Charakteristickým znakem je to, že frekvence vynuceného kmitání se shoduje s frekvencí budící síly. Příčinou vzniku mo-

Převody řemeny GATES



Převody řemeny GATES

Ozubené a klínové řemeny GATES
Spolupráce při návrhu pohonu
Výpočtový software
Dodávky kompletních pohonů vč. řemenic
PowerGrip® GT3
PolyChain® GT2
Polyflex® a Polyflex® JB
Ostatní profily

Normované díly



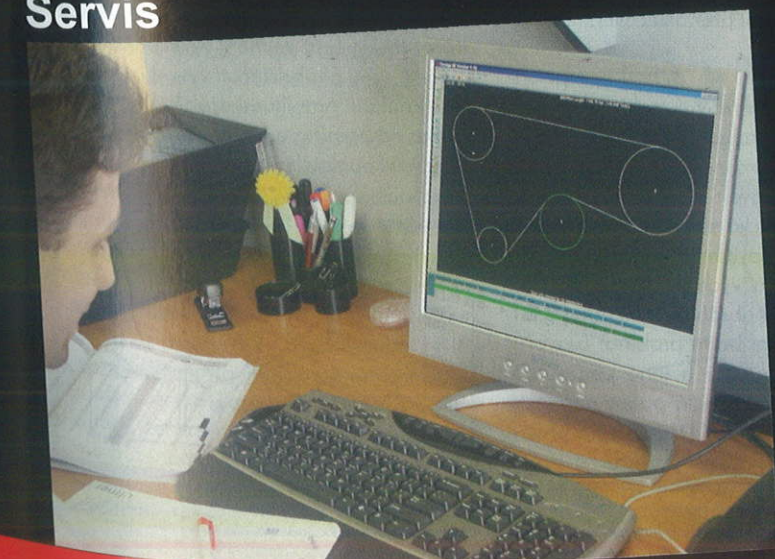
Normované díly

Zastoupení firmy Erwin Halder (SRN)
Strojní a zajišťovací prvky
Upínací prvky
Ovládací prvky
Strojní elementy
Základové desky
Upínací systémy

Dále nabízíme

Hřídelové spojky
Ozubená kola, tyče a soukolí
Polyuretanové řemeny
Řetězové převody
Dopravní řetězy
Dopravní řemeny
Příslušenství pohonů
Trapézové šrouby a matice
Hřídelové klouby

Servis



Servis

technické poradenství
výpočty a optimalizace řešení
asistence při instalaci řešení
řešení "na míru"
výroba nestandardních komponentů
řezání řemenů na šířku
svařování PU řemenů
montáž řetězů
výběr nejvhodnějších typů pohonů
instalace výpočtových softwarů

stroj.elementy@ulmer.cz // www.ulmer.cz

Ulmer s.r.o. (CZ), Generála Vlachého 305, 747 62 Mokrý Lazec, tel.: +420 553 757 154, fax: +420 553 757 127
Ulmer s.r.o. (SK), Piešťanská 44, 915 01 Nové Mesto n. Váhom, tel.: +421 32 7719 348, fax: +421 32 7711 568

5.1 Rámy obráběcích strojů

hou být vlastností stroje nebo vlastní řezný proces.

Vlastnosti stroje:

- nevyváženost rotujících součástí (nástroje, vřetena, obrobku, hřídelí, ozubených kol, spojky, rotoru elektromotoru apod.);
- setrvačné síly prvků, které konají přímočarý nebo kruhový vratný pohyb (saně, smykadla);
- nepřesnosti převodových mechanismů (házení ozubených kol, házení ložisek aj.);
- periodické síly dané principem pohonů (zubová nebo pístová čerpadla apod.);
- nesymetrickost rotačních částí (hřídele s drážkou), kdy se projeví proměnlivá hodnota tuhosti a vznikne periodická deformace během otáčení;
- periodické síly vnější přenášené z okolí přes základ na stroj.

Řezný proces:

- změna průřezu třísky (periodická budič síla úměrná otáčkám), např. při soustružení polotovaru šestihranu;
- proměnlivý řezný odpor, např. při frézování, kde vzniká periodická rušivá síla o frekvenci úměrné součinu otáček nástroje a počtu zubů;
- při broušení vzniká vynucené kmitání vlivem periodického házení obrobku nebo brusného kotouče;
- kmity vyvolané vlastním řezáním mají značnou amplitudu a projevují se hlavně při hrubování a v menší míře při dokončování.

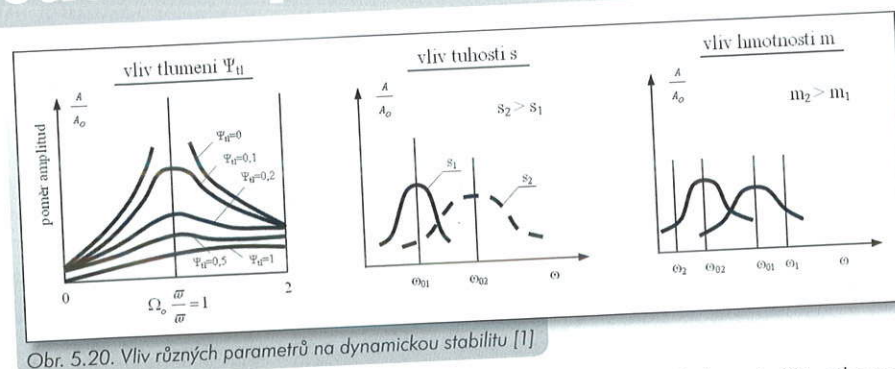
Na obr. 5.20 jsou znázorněny průběhy rezonančních charakteristik pro různé hodnoty tlumení. Pro docílení dobré dynamické stability je nutno zajistit, aby mezní hodnoty budič frekvence ω byly dostatečně menší nebo větší než hodnota vlastní kruhové frekvence Ω_0 .

Zvýšením statické tuhosti se sníží amplituda kmitání a zvýší se vlastní frekvence na hodnotu ω_{02} .

U strojů, které pracují v oblastech pouze vysokých rychlostí v relativně malém rozsahu, může být vhodnější druhý případ, kdy [5.18]

$$\frac{\omega}{\Omega_0} \gg 1$$

V tomto případě má hlavní význam volba co největší hmoty m .



Uvedme některé zásady, jejichž respektování přispěje k vyloučení vzniku vynuceného kmitání:

- rotující součásti (hřídele, ozubená kola, spojky, nástroje, rotory elektromotorů apod.) je nutno dokonale dynamicky vyvážit na speciálních strojích pro vyvažování;
- je třeba zvýšit jakost výroby ozubených kol, valivých ložisek a dalších rozhodujících součástí a zdokonalit jejich montáž;
- při frézování se použije torzní tlumič nebo frézovací hlavy s nestejnou roztečí nožů;
- zmenšením hloubky třísky se sníží amplitudy vynuceného kmitání, ovšem za cenu sníženého výkonu;
- zvýšením nebo snížením otáček hlavního vřetena se lze vyhnout rezonanci a pracovat v oblastech, ve kterých účinek kmitání není tak výrazný;
- zvýšení tuhosti rozhodujících částí obráběcího stroje má podstatný vliv na zvýšení frekvence vlastních kmitů technologické soustavy, a tím se potlačí vliv budič síly, jestliže je nelze odstranit;
- uložení obráběcího stroje na zvláštní základ se zabránil přenosu chvění z okolí na stroj.

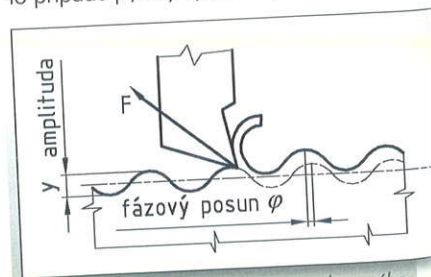
Samobuzené kmity vznikají mezi obrobkem a nástrojem bez periodického vnějšího budič účinku a projevují se hlukem (drnčení) a stopami chvění na obrobku. Technologická soustava je uvedena do samobuzeného kmitání prvním impulsem, který vyvolá výchylku z rovnovážné polohy nástroje a obrobku, a vyvolané samobuzené kmitání bude probíhat bez přívodu energie zvenjšku a jeho periodická proměnlivost bude závislá pouze na vlastním kmitavém procesu [1]. Energie přiváděná na kmitající systém nahrazuje ztráty vzniklé tlumením. Frekvence kmitání je určena vlastnostmi kmitajícího systému a je

velmi blízká vlastní frekvenci některého rozhodujícího členu systému. Jde o častý případ kmitání, jehož budič síla je vyvolána vlastním procesem řezání. Důležité však je, že toto kmitání se objevuje jen v určitém rozmezí řezných podmínek a změnou těchto podmínek lze stabilizovat řezání. Přitom však frekvence kmitání není závislá na otáčkách obráběcího stroje. Řada vědeckých pracovníků se zabývala a dosud zabývá tímto problémem, ale jeho podstata není dosud plně objasněna. Je známo více teorií, které příčinu vzniku samobuzeného kmitání vidí v různých jevech. Nejdůležitější jsou dvě, nejvíce teoreticky a experimentálně propracované teorie [1]:

- vlnitost obrobku – reprodukční princip;
- směr řezné síly nesouhlasí se směrem maximální vazby – princip polohové vazby.

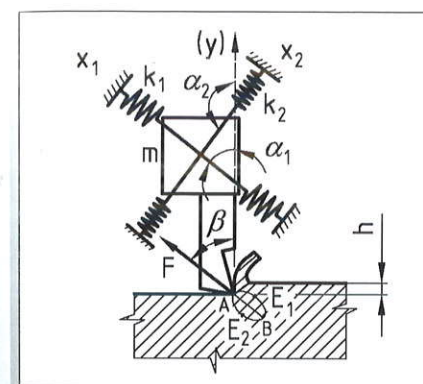
Model reprodukčního kmitání je vyznačen na obr. 5.21, pro nějž jsou předpoklady, že obráběná plocha je již zvlněná, jde tedy o sekundární buzení a dále pak, že obdoby o sekundární buzení a nástroj jsou dokonale tuhé. Při odřezávání zvlněné plochy se periodicky mění průřez třísky, čímž se mění velikost řezné síly, která svou periodičností vyvolá samobuzené kmitání. Amplituda druhé třísky je posunuta od prvního o fázový úhel ϕ .

Podmínkou stability řezného procesu v tomto případě je, aby výška vlny každé následu-



jící třísky byla menší než předcházející, tj. poměr amplitud výchylky po sobě jdoucích třísek musí být menší než 1.

Jak je uvedeno na obr. 5.22, předpokládáme, že nástroj kmitá v nárysné rovině ve dvou směrech a jeho špička opisuje elipsu. V první polovině dráhy z A do B řezný odpor působí proti tomuto pohybu, takže kmitavému pohybu se odebrá energie. V druhé části pohybu z B do A řezný odpor působí ve směru pohybu a energie kmitání je o hodnotu E_2 vyšší.



Je-li přivedená energie E_2 větší než E_1 , vlivem přebytku energie $\Delta E = E_2 - E_1$ se překoná tlumení a systém je udržován ve stálém kmitání.

K dalším předpokladům patří fakt, že řezný odpor je závislý na okamžitém průřezu třísky, systém má dva stupně volnosti a je bez tlumení, obrobek i nástroj jsou dokonale tuhé, nástrojový držák o hmotnosti m je uložen na dvou pružinách S_1, S_2 , které mohou kmitat ve dvou na sebe kolmých směrech (X_1) a (X_2). Úhel α je daný normálou k obráběnému povrchu a směrem pružiny o menší tuhosti.

Vhodnou orientací polohy systému vzhledem k normálu (Y) lze příznivě ovlivnit vznik samobuzených kmitů. Mírou stability obrábění je zpravidla mezní hloubka (šířka) třísky, která se určuje pro jednotlivé druhy obrábění. Na vznik samobuzeného kmitání má vliv řada činitelů. Na základě znalostí o jejich působení v dynamickém systému můžeme často významně ovlivnit stabilitu obráběcího procesu. Závěrem lze tedy shrnout, že hlavní prostředek jak zabránit samobuzenému kmitání vidíme ve zvyšování tuhosti všech částí technologické soustavy. Je to otázka volby vhodných rozmě-

rů základních částí obráběcího stroje. Lze připomenout nepříznivý vliv štiřhlých součástí a jejich velkého vyložení. Je nutno konstatovat, že ne ve všech případech vyšší tuhost a vyšší frekvence přináší větší odolnost proti kmitání. Tento „rozpor“ lze vysvětlit „principem polohové vazby“. Vymezení vůle ložisek vodicích ploch rovněž významně pomáhá proti kmitání, proto konstrukční řešení obráběcího stroje musí dávat možnost nastavení nebo vymezení malé vůle. Jakost výroby součástí a jejich montáž musí splnit podmínky pro minimální vůle a vysoké stykové tuhosti.

Při používání obráběcího stroje lze snižovat nebezpečí samobuzeného kmitání těmito způsoby [1]:

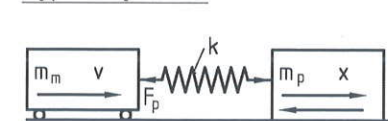
- Zvětšení řezné rychlosti nástroje a hlavně posuvu se projeví snížením radiálního kmitání. Vyšší řezná rychlost však někdy přenášá radiální kmitání na tangenciální. Snižování řezné rychlosti rychlořezného nástroje vede ke stabilizaci řezání.
- Zmenšení hloubky řezu (tj. zkrácení šířky třísky) vede ke klidnějšímu řezání, ovšem za cenu menšího výkonu. Velmi účinně se sníží kmitání zmenšením počtu současně řezajících břitů; např. při frézování se zmenší šířka frézování nebo se demontuje každý druhý nůž frézovací hlavy.
- Zvětšení úhlu nastavení hlavního břitů Ψ , zmenšení poloměru zaoblení špičky nože a zvětšení úhlu čela může vést k odstranění kmitání. Menší úhel hřbetu

α rovněž přináší snížení kmitání; ovšem někdy se pouze přenese radiální kmitání na tangenciální.

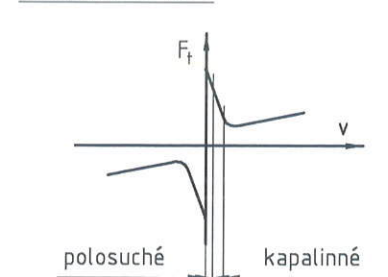
- Snížení tření na řezné části nástroje má rovněž kladný vliv. Dosáhne se snížením drsnosti řezných ploch nástroje nebo použitím řezné kapaliny, která snižuje tření na nástroji.
- Volbou tužšího uložení nástroje lze velmi výrazně snížit intenzitu kmitání; toho lze dosáhnout zkrácením vyložení nože, zvětšením průřezu nože, upínacího trnu nebo vyvrtávací tyče, uložení do těsného vodicího pouzdra atd.
- Změnou orientace řezné síly vůči obrobku lze někdy stabilizovat řezání; tohoto účinku se dosáhne změnou smyslu otáčení, změnou polohy středu nástroje vůči obrobku aj.

Při velmi malých rychlostech posuvu (řádově desetiny milimetru za sekundu) nemusí být za určitých podmínek pohyb suportů, stolů, stojanů obráběcích strojů plynulý, ale přerušovaný, trhavý. Účinkem tohoto jevu se zhoršuje vzhled obrobku, na něj se při soustružení objevují v místech, kde se pohyb suportu zpomalil nebo zastavil, lesklé proužky. Mnohem škodlivějším účinkem působí trhavé pohyby na práci souřadnicových a vodorovných vyvrtávaček, u nichž znemožňují přesné nastavení stolu, stojanu nebo vřeténku podle souřadnic. U brusek znemožňují přesné nastavení polohy brusného vřeténku a tím dosažení přesného rozměru broušené plochy [1].

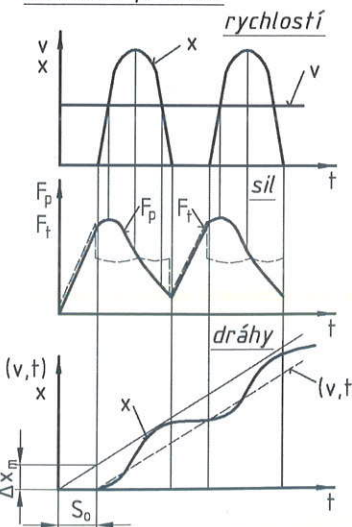
Výpočtový model



Závislost F_t na v



Závislost průběhu



Obr. 5.23. Princip trhavých pohybů [1].