

Kinetická energie

Pohybuje-li se mechanismus pneumatického pohonu přímočarým pohybem vratným nebo kyvným pohybem vratným v konci zdvihu vyšší rychlostí jak 500 mm/s, hrozí nebezpečí, že nárazem na pevný doraz se mechanismus pohonu, působením kinetické energie, poškodí. Proto platí všeobecné pravidlo: při rychlosti 500 mm/s a vyšší vždy použít externí dorazy s tlumiči energie.

Jakou kinetickou energii je schopen použitý pneumatický pohon absorbovat, zjistíme z příslušného katalogu nebo dotazem u firmy SMC.

Kinetická energie tělesa s přímočarým pohybem

$$E_k = \frac{m}{2} \times v^2$$

E_k - kinetická energie pohybujícího se tělesa (J = Nm)

m - hmota pohybujícího se tělesa (kg)

v - rychlost pohybujícího se tělesa v okamžiku nárazu (m/s)

Kinetická energie otáčejícího se (rotujícího) tělesa

Rovnice pro výpočet kinetické energie rotujících těles je přibližně stejná jako pro tělesa s přímočarým pohybem. Místo hmotnosti tělesa m se zavádí hmotnostní moment setrvačnosti I a místo rychlosti v úhlová rychlost na konci rotačního pohybu ω .

$$E_\omega = \frac{I}{2} \times \omega^2$$

E_ω - kinetická energie rotujícího tělesa (J = Nm)

I - hmotnostní moment setrvačnosti (kgm²)

ω - úhlová rychlost na konci rotačního pohybu (rad/s)

Různé způsoby tlumení kinetické energie

Tlumení pružnými prvky

Pružiny a nárazníky z pružných materiálů (guma, plasty a pod.) jsou prvky používané k tlumení kinetické energie. Přijatá kinetická energie je akumulována a při opačném pohybu opět předána tělesu. Tlumení s pružnými prvky je vhodné pro zařízení s menšími nároky na průběh tlumení kinetické energie.

Tlumení kapalinou

Na počátku dráhy tlumiče proudí olej kanálem, jehož průřez lze ve většině případů regulovat. Náhlá změna průřezu, kterým protéká olej, zvýší tlak oleje. Na dráze několika milimetrů se kinetická energie absorbuje, což se projeví, kromě zvýšení tlaku, také zvýšením teploty oleje. Teplo se odvádí povrchem tlumiče do okolního prostředí. Při opačném pohybu vysune tlak oleje píst tlumiče do výchozí polohy.

Tlumení vzduchem

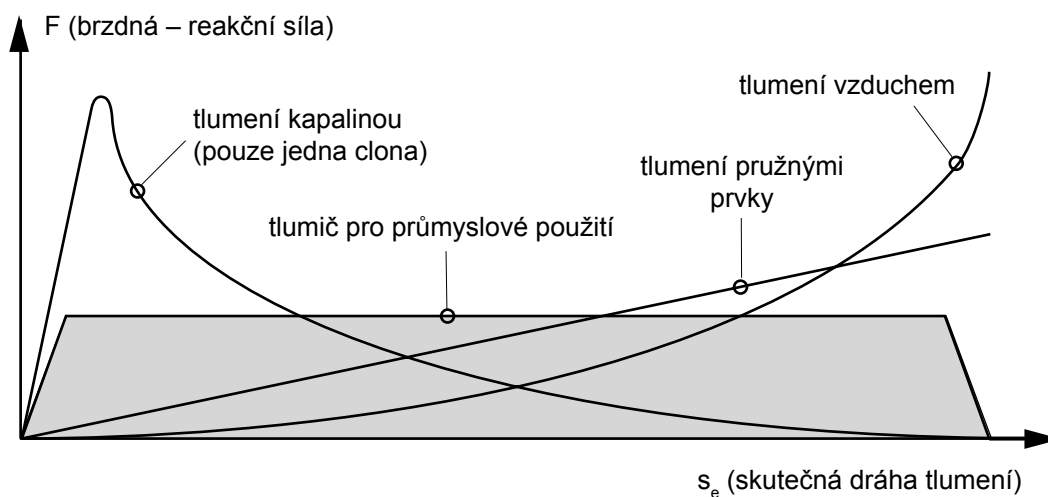
Pneumatické tlumení bývá většinou nedílnou součástí pneumatických válců a kyvných pohonů. Protože vzduch je stlačitelný, tlumí se kinetická energie pouze před koncem zdvihu pístu válce. Vzduch je stlačen v malém prostoru na velmi vysoký tlak a může akumulovanou energií působit proti pohybu pístu, který rozkmitá. Teplo, vzniklé zvýšením tlaku vzduchu se odvádí materiálem vík válců do okolního prostředí.

Hydraulické tlumiče

Tyto tlumiče absorbují kinetickou energii rovnoměrně v celé délce zdvihu tlumiče. Průmyslové tlumiče vyvinou podstatně menší sílu pro zastavení tělesa než běžné tlumicí prvky (viz. obr. 6.40). Kinetická energie se v nich mění na energii tepelnou. Současně s tlumením kinetické energie se rovnoměrně snižuje rychlost pohybu pístu tlumiče až do jeho úplného zastavení. Tento způsob tlumení kinetické energie lze označit jako optimální.

Diagram reakční síly v závislosti na dráze tlumení

Na obr. 6.43 je porovnána charakteristika průběhu funkce tlumiče pro průmyslové použití s ostatními způsoby tlumení kinetické energie.



Obr. 6.43 Diagram závislosti síly v závislosti na dráze tlumení pro různé způsoby tlumení kinetické energie

Správně zvolené tlumiče pro průmyslové použití absorbují danou kinetickou energii na nejkratší možné dráze s minimální brzdou silou. Rovněž vykonaná práce průmyslových tlumičů ($W = F \times s_e$) znázorněná v diagramu tmavou plochou, je větší než u všech ostatních způsobů tlumení.

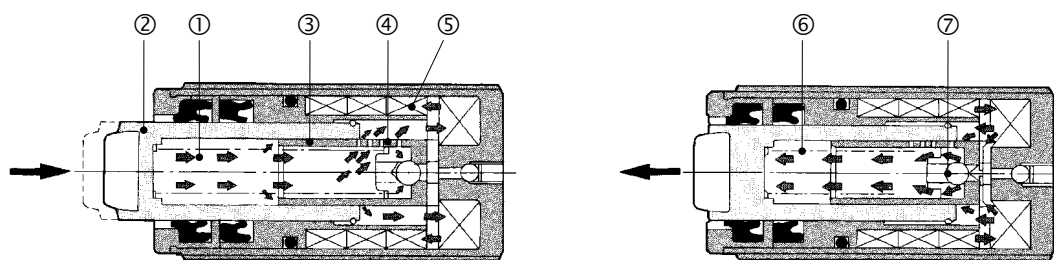
Funkce hydraulického tlumiče

V klidu je *vnitřní prostor* ① tlumiče zaplněn olejem. Pohybující se těleso tlačí po dotyku *pístnice* ② doprava a zmenšením objemu se zvýší tlak oleje v *pístu* ③. Olej zvýšeným tlakem prochází řadou *otvorů* ④ v *pístu* ③ do *akumulátoru* ⑤. Stlačením oleje se vyvine hydraulická síla, která působí proti pohybu pístu a tedy i proti směru působení kinetické energie, která se postupně tímto způsobem utlumí.

Na počátku pohybu pístnice je síla tlumiče proti pohybu tělesa malá. S postupujícím zasouváním pístnice do tělesa tlumiče stoupá až na maximální hodnotu. Tak je vyloučen při styku tělesa s pístnicí tlumiče tvrdý náraz a zajištěn postupný nárůst síly, působící proti pohybu tělesa (brzdné síly).

Olej, který protéká *otvory* ④ v *pístu* ③ do *akumulátoru* ⑤. Akumulátor tvoří prstence ze syntetické pryže. V tomto materiálu je velké množství vzduchových bublin, takže je velmi elastický a olej přivedený do akumulátoru stlačí tyto prstence a vyplní uvolněný prostor.

Při opačném pohybu tělesa se *pístnice* ② uvolní a je vytlačována z tělesa tlumiče *pružinou* ⑥. Tím se sníží tlak v *pístnici* ②, ve dně *pístu* ③ se otevře *zpětný ventil* ⑦ a olej z *akumulátoru* ⑤ je vytlačován zpět do prostoru pístu a pístnice. Tlumič je připraven k dalšímu použití.



Obr. 6.44 Podélný řez tlumičem

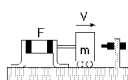
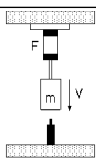
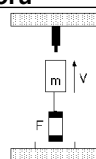
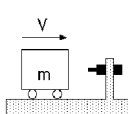
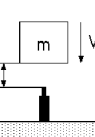
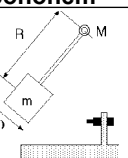
6. Pneumatické lineární pohony

Výběr tlumiče

Předpokladem pro správný výběr tlumiče jsou určité znalosti kinetiky a kinematiky. Problémem je určení správných hodnot síly, hmotnosti a rychlosti pohybu tělesa, jehož kinetickou energii má tlumič absorbovat. V okamžiku styku pohybujícího se tělesa s tlumičem jsou pro volbu tlumiče určující:

- hmotnost pohybujícího se tělesa
- rychlost v okamžiku nárazu tělesa na tlumič
- síly poháněcího mechanismu působící na pohybující se těleso
- počet pracovních cyklů tlumiče za jednotku času

S těmito údaji je možné vypočítat vhodný tlumič pro 90 % případů použití. Podle způsobu působení energie tělesa na tlumič se použije příslušný vzorec pro jeho výpočet.

způsob zatížení	válec s břemenem	válec s břemenem dolů	válec s břemenem nahoru	náraz vodorovně	náraz svisle – volný pád	hmota na rameni s pohonem
						
vzorce pro výpočet	v	v	v	v	$\sqrt{2gh}$	$= \omega$
E_1	$\frac{m \times v^2}{2}$	$\frac{m \times v^2}{2}$	$\frac{m \times v^2}{2}$	$\frac{m \times v^2}{2}$	$m \times g \times h$	$\frac{I\omega^2}{2}$
E_2	$F \times s$	$F \times s + m \times g \times s$	$F \times s - m \times g \times s$	–	$m \times g \times s$	$\frac{M}{R} \times s$
E	$E_1 + E_2$	$E_1 + E_2$	$E_1 + E_2$	E_1	$E_1 + E_2$	$E_1 + E_2$
m_e	$\frac{2E}{v^2}$	$\frac{2E}{v^2}$	$\frac{2E}{v^2}$	m	$\frac{2E}{v^2}$	$\frac{2E}{v^2}$

Obr. 6.45 Přehled vzorců pro výpočet tlumiče

V katalogových listech tlumičů je uvedena tlumičem absorbovaná energie (E) nebo efektivní hmota (m_e) včetně vypočtených příkladů pro běžné použití tlumičů v praxi.

symbol	veličina	jednotky
v	rychlost	m/s
g	tíhové zrychlení	9,81 m/s ²
h	výška volného pádu	m
ω	úhlová rychlost	rad/s
R	poloměr ramene	m
m	hmotnost	kg
I	moment setrvačnosti	kgm ²
F	síla pohonu	N
s	zdvih tlumiče	m
M	kroucí moment	Nm
E	celková energie	J = Nm
E_1	kinetická energie	J = Nm
E_2	práce pohonu	J = Nm
m_e	efektivní hmotnost	kg

Tabulka 6.46 Přehled značení veličin používaných při výpočtech tlumičů

Brzdná – reakční síla

Tuto sílu přenáší tlumič upevněním nebo přímo na konstrukci stroje. Vypočítá se podle následujícího vzorce:

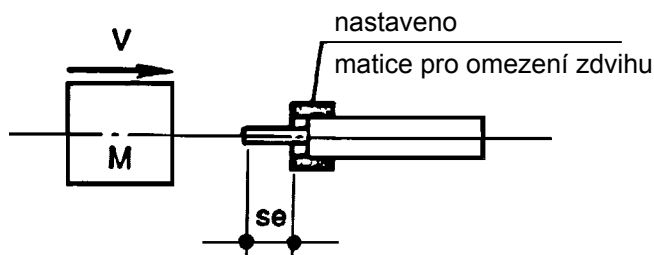
$$F_b = \frac{2 \times E}{s_e}$$

F_b	- brzdná (reakční) síla	(N)
E	- celková energie	(J = Nm)
s_e	- skutečná dráha tlumení (zdvih tlumiče)	(m)

Doporučení pro upevnění tlumičů

Aby se zaručil bezporuchový provoz tlumičů a nezkrátila se doba jejich použití, je třeba mimo správného výpočtu velikosti a typu tlumiče dodržet při jejich upevnění a montáži následující doporučení:

- Nikdy nepoužívat tlumič jako pevný doraz a nevyužívat v katalogu uvedený zdvih tlumiče „s“, ale zdvih zkrátit podle velikosti tlumiče o 0,5 až 1,5 mm. Tento zkrácený zdvih $s_e = s - (0,5 \div 1,5)$ se použije pro výpočet tlumiče. Celkový zdvih tlumiče omezit buď externím dorazem, nebo maticí pro omezení zdvihu, která poslouží současně jako doraz.



Obr. 6.47 Matice pro omezení zdvihu

6. Pneumatické lineární pohony

Vnitřní (interní) a vnější (externí) dorazy

Výstupní členy pneumatických pohonů (pístnice, hřídele kyvných pohonů) mohou bez problémů dosahovat velkých rychlostí a pracovních frekvencí. Problémem ale je tlumení – absorbování kinetické energie pohybujícího se tělesa. Je třeba pečlivě zvážit přednosti a nedostatky různých druhů dorazů, které lze použít. V praxi lze použít následující řešení:

Vnitřní pevný doraz

Klady: výhodné řešení bez velkých nároků na konstrukci.

Zápory: je třeba zvolit větší pohon, než je nezbytně nutné. Obecně platí: čím je větší pohon, tím větší je jeho schopnost pohltit kinetickou energii.



Vnitřní doraz s pneumatickým tlumením koncové polohy

Klady: pneumatickým tlumením koncových poloh je možno absorbovat až 10 × větší kinetickou energii než s pevným dorazem.

Zápory: je o něco dražší než pohon s pevným dorazem. Méně vhodné řešení pro pneumatické válce s krátkým zdvihem a velkým počtem pracovních cyklů za minutu (frekvencí).



Vnitřní doraz s hydraulickým tlumičem

Klady: hydraulický doraz je přímo vestavěn do některých typů pneumatických pohonů. Absorbuje větší hodnoty kinetické energie než pneumatické tlumení.

Zápory: v závislosti na množství kinetické energie je maximální počet pracovních cyklů (frekvence) tlumičem omezen (10 až 80 cyklů/min.).

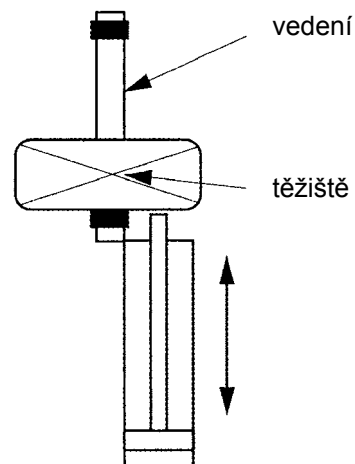


6. Pneumatické lineární pohony

Vnější pevný doraz

Klady: rozhodující pro volbu velikosti pohonu je síla potřebná pro zrychlení. Proto lze použít menší velikost pohonu než při použití pevného vnitřního dorazu.

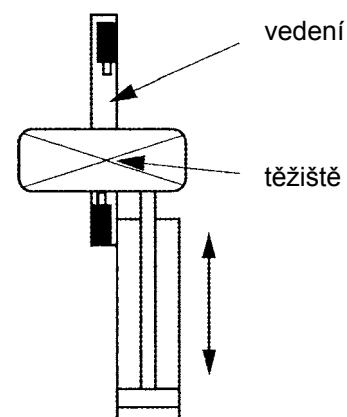
Zápory: větší nároky na konstrukci. Doraz musí působit v těžišti břemene, jinak vznikají nežádoucí momenty, které mohou pohon poškodit. Řešení může být zdrojem vibrací a rozkmitání konstrukce stroje.



Vnější doraz s hydraulickým tlumičem

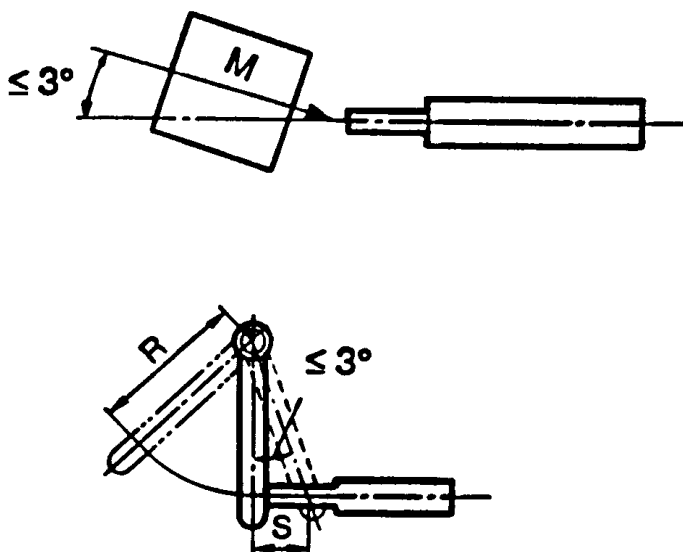
Klady: stejné přednosti jako předcházející řešení, ale možnost absorbování většího množství kinetické energie. Lze vyloučit vibrace a rozkmitání konstrukce stroje.

Zápory: větší nároky na konstrukci než u řešení s vnitřním hydraulickým tlumičem. Doraz musí působit v těžišti břemene, jinak vznikají nežádoucí momenty, které mohou pohon poškodit. V závislosti na množství kinetické energie je maximální počet pracovních cyklů (frekvence) tlumičem omezen (10 až 80 cyklů/min).



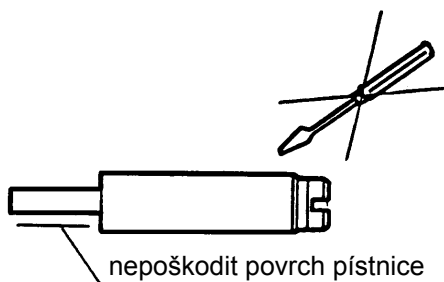
6. Pneumatické lineární pohony

- Úhel mezi osou tlumiče a silou, kterou působí tlumič na hmotu „M“, nesmí být větší než 3° . Při tlumení kinetické energie tělesa kývajícího se na rameni je třeba respektovat poměr zdvihu tlumiče „s“ k poloměru ramene „R“, který nesmí překročit hodnotu 0,05 ($s/R \leq 0,05$).



Obr. 6.48 Úhel styku tělesa vůči ose tlumiče

- Nepovolujte šroub uzavírající těleso tlumiče, protože únik oleje snižuje schopnost tlumiče absorbovat kinetickou energii. Povrch pístnice chraňte před poškrábáním a jiným mechanickým poškozením, protože poškozená pístnice podstatně zkracuje životnost tlumiče.



Obr. 6.49 Nedovolené zásahy