

30. Setkání kateder mechaniky tekutin a termomechaniky



22.-24.6. 2011

Špindlerův Mlýn

Jednotlivý příspěvek ze sborníku



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Pneumatické motory s elastickými pracovními členy

Kamil FOJTÁŠEK¹, Jaroslav KOPÁČEK², Lukáš DVOŘÁK³

¹ Ing. Kamil Fojtášek, VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 17.listopadu, Ostrava – Poruba, 708 00, kamil.fojtasek@vsb.cz

² prof. Ing. Jaroslav Kopáček, CSc., VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 17.listopadu, Ostrava – Poruba, 708 00, jaroslav.kopacek@vsb.cz

³ Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D., VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 17.listopadu, Ostrava – Poruba, 708 00, lukas.dvorak@vsb.cz

Abstrakt: *Mezi pneumatické motory s elastickými pracovními členy lze zařadit membránové motory, měchové motory a fluidní svaly. Problémem u všech těchto typů motorů je, že dochází ke kontaktu dvou pružných prostředí, stlačeného vzduchu a jeho termodynamických vlastností a pružnosti samotného materiálu elastického členu. V teorii lze tyto problémy řešit jen s jistým přiblížením, proto je třeba všechny závěry ověřit na experimentálním zařízení, na jehož základě je možná tvorba matematických modelů uvedených pneumatických motorů.*

1. Úvod

V rámci své doktorské práce se zabývám pneumatickými motory s elastickými pracovními členy a jejich matematickým modelováním. Jedná se tedy o motory, obsahující určitou elastickou část, u které za působení tlaku stlačeného vzduchu, popřípadě vnějšího hmotného zatížení, dochází k její deformaci a výslednému pracovnímu účinku. Modelování takovýchto motorů je obtížné, protože kromě konstrukčních a termodynamických vlastností musíme brát v úvahu již zmiňovanou elastickou deformaci pružného členu. Obecně lze tyto motory rozdělit na měchové motory, membránové motory a fluidní svaly. Ačkoliv všechny tyto tři typy motorů patří do stejné skupiny pneumatických prvků, značně se liší svými konstrukčními i funkčními parametry. V tomto příspěvku jsou představeny základní typy pneumatických motorů s elastickými pracovními členy, jejich vlastnosti a pracovní parametry [1].

2. Měchové motory

Měchové motory Obr.1, jsou jednočinné pracovní prvky, zpětný chod je z části způsoben pružným účinkem měchu, ale častěji

zatížením od břemene. Axiálně symetrický měch je vyroben z vyztužené gumy, teflonu nebo syntetického kaučuku. Pružná konstrukce měchů vyžaduje menší nároky na montáž, musí ovšem být vybaveny dorazem na koncích zdvihu, jinak by bylo zatížení stěn měchu příliš vysoké. Při srovnání s tradičními vzduchovými válci, neobsahují žádné kovové pohyblivé části a poskytují tak plynulý pohyb prakticky bez tření. Zatímco běžné pneumatické válce potřebují dokonalé vetknutí, vedení a pracují pouze v jedné ose, měchové motory nabízejí možnost naklopení měchu až 30° bez vlivu na správnou funkci motoru. Během provozu se měchy nesmí dotýkat svou stěnou jiných částí. Pracovním médiem je stlačený vzduch, který může být přimazávaný olejem.



Obrázek 1: Měchový motor

V závislosti na zdvihu, se vyrábějí v jednoduchém, dvojitém či trojitém provedení, přičemž v trojitém provedení je maximální

zdvih uváděný výrobcí 375 mm . Měchové motory jsou tedy ideální volba pro aplikace požadující nízký zdvih a velké síly až 70 kN , při v pneumatických mechanismech standardním a relativně nízkém pracovním tlaku max. 1 MPa . V pracovních aplikacích mohou být užívány jako akční člen, kdy pomocí zdvihu a tlaku vytvářejí silový účinek, nebo mohou být použity jako tzv. vzduchová pružina, kdy slouží jako izolace k tlumení vibrací a chvění. Výhodou těchto motorů je jednoduchost konstrukce, nízká montážní výška, možnost použití v drsném a prašném prostředí prakticky bez nároků na údržbu a při použití antikorozivních materiálů také použitelnost pod vodní hladinou [2].

Zvláštním typem měchového motoru, který má ve svém sortimentu firma FESTO, je tzv. výsuvný neboli teleskopický měch Obr.2. Tento válec vyrábí ve dvou rozměrových variantách a to s průměrem 80 mm o zdvihu 110 mm a s průměrem 100 mm s maximálním zdvihem 105 mm .



Obrázek 2: Teleskopický měch

Provozní tlak je $0,9 \div 8\text{ bar}$, to vychází z faktu že tyto měchy potřebují minimální tlak $0,9\text{ bar}$, aby se mohly začít rozbalovat. Výsuvné měchy také nesmí být zasouvány zpět do výchozí polohy když nejsou pod tlakem, protože by se poškodila jejich membrána. Maximální naklonění tohoto válce je 15° a pracuje v rozmezí sil $0,2 \div 3,5\text{ kN}$.

3. Membránové motory

Membránové motory jsou lineární akční členy, určené pro velké síly ve výhodném poměru vzhledem k velikosti zařízení. Vyrábějí se

v rozsahu sil $0 \div 25000\text{ N}$ (při 6 barech), jednočinné i dvojčinné, v pístovém či membránovém designu Obr.3. Jednočinná verze motoru má obvykle vestavěnou silnou ocelovou pružinu, zajišťující zpětný chod. U aplikací kde je požadována velká síla v obou směrech se používá dvojčinný typ motoru. Těleso válce je z pozinkované oceli a stejně tak pístnice je ocelová, vedena ve dvou volných ložiscích a vybavena vnějším závitem. Membrána je textilní, vyztužená nitrilovou pryží.



Obrázek 3: Membránový motor

Membránové motory jsou používány jako výkonné zařízení s elastickým členem ve tvaru ploché nebo tvarované membrány. Ploché membrány jsou sice jednodušší, ovšem dochází u nich k mnohem větší změně efektivní plochy a také lze docílit menšího zdvihu než u tvarovaných membrán. Tyto motory se používají pro realizaci malých přímočarých pohybů max. 100 mm , při malých pracovních tlacích do $0,8\text{ MPa}$, se zajištěním neprodyšnosti spoje a současně s malým třením.

Důležitou hodnotou membránových motorů je již zmiňovaná efektivní plocha membrány, která definuje ve středu membrány namáhání ve směru kolmém k ploše jejího vetknutí. Efektivní dnem o rozloze membrány zhruba chápeme takovou plochu, která bude znásobena tlakovým rozdílem účinkujícím na membránu a definuje sílu působící na její střed. Je zřejmé že taková definice neurčuje fyzikální význam efektivní plochy, jelikož na

samotné membráně není pevný útvar (geometrická plocha) kterou by se zjistila její efektivní plocha. Efektivní plocha tedy závisí jak na konstrukčních parametrech, tak i na řadě ostatních faktorů (posuvu středu membrány a vyztužení jejího materiálu, tlakovém spádu atd.), tedy vlivů jejichž definice je obvykle obtížná. Proto efektivní plochu počítáme při malých (blízkých nule) průhybech z přibližného vzorce s následným experimentálním ověřením. Tento typ motoru je ideální pro použití při upínání, nýtování, děrování a v podobných aplikacích, kde je požadována velká síla [3].

4. Fluidní svaly

Fluidní sval je výhradně tažný prvek, který je podobný biologickému svalu Obr.4. Je složený z elastické části, kontrakční hadice a příslušných připojovacích prvků. Kontrakční hadice je vyrobena ze vzduchotěsné gumové, latexové či silikónové hadice ovinuté velmi pevnými vlákny. Tato vlákna vytvářejí kosočtvercový vzor s trojrozměrnou mřížkovou strukturou. Dají se tedy specifikovat jako pružná síť, která je ke konci svalu pevně uchycena a pracuje na principu umělých šlach. Také proto nalézají tyto motory uplatnění v pohyblivých, antropomorfních, humanoidních robotech a protézách. Po přivedení vnitřního tlaku se fluidní sval rozšiřuje vnějším směrem, což vyvolává tažnou sílu a kontrakční pohyb v podélném směru svalu (dojde ke zkrácení svalu). Užitečná tažná síla je maximální na začátku kontrakce a během zdvihu se snižuje téměř lineárně. Hospodárny pracovní rozsah je až 15% jmenovité délky, přičemž tyto svaly se vyrábějí s jmenovitou délkou až 9000 mm. Jmenovitá délka fluidního svalu se definuje v nezatíženém stavu bez působení tlaku a odpovídá délce viditelné membrány mezi oběma spoji. Stejně jako měchový motor, může fluidní sval pracovat jako jednočinný akční prvek, nebo jako pneumatická pružina. V nejjednodušším případě pracuje fluidní sval jako jednočinný akční prvek s konstantní zátěží. Je-li tato zátěž trvale připojena ke

svalu, bude se v beztlakovém stavu sval natahovat ze své původní polohy. S ohledem na technické vlastnosti svalu je tento druh provozu ideální. Při přivedení tlaku dosahuje takto zatížený sval maximální síly s ohledem na optimální dynamiku a nižší spotřebu vzduchu a dosahuje v takovýchto případech maximálního zdvihu. Změnou vnější síly, sval začne vyrovnávat silové zatížení a začne se chovat jako tzv. vzduchová pružina s variabilní tuhostí a předpětím. V takovém případě pracuje buď s konstantním tlakem, nebo objemem.



Obrázek 4: Fluidní sval

Jak již bylo řečeno, pneumatický sval je výhradně tažný prvek. Nelze ho použít pro upínací úlohy, protože by se membrána poškodila vnějším třením. Ve srovnání s typickým pneumatickým válcem (pístovým nebo membránovým), pneumatický sval ukazuje rozdílné charakteristiky zdvihu a síly. Vzhledem k jejich hmotnosti a příčnému řezu, je tažná síla generovaná pneumatickými svaly velká a to až 6000 N. S fluidními svaly lze dosahovat velmi krátkých pracovních časů, což je způsobeno právě jejich nízkou hmotností a také absencí pohyblivých částí. Životnost pneumatického svalu závisí na kontrakci, provozním tlaku a teplotě. Ke zvýšení teploty dochází v důsledku vysokých pracovních frekvencí nebo velké zátěže. Fluidní svaly se vyznačují plynulými pohyby, bez stick-slip efektu. Za další výhody lze považovat velkou počáteční sílu a zrychlení, snadné polohování nebo hermeticky těsnou konstrukci [4].

V České republice má zastoupení několik firem FESTO, BOSCHREXROTH, PARKER atd., které vyrábí zmíněné pneumatické prvky s elastickými pracovními členy. Při tvorbě

tohoto příspěvku byly použity parametry a podklady, které uvádějí ve svých katalozích.

5. Závěr

V příspěvku jsem uvedl přehled pneumatických motorů s elastickými pracovními členy a jejich základní parametry. Obecně jsou tyto motory používány v aplikacích požadujících nízké zdvihy a velké síly, při běžných pracovních tlacích v pneumatických mechanismech. Jejich konstrukce nabízí možnost uplatnění v obtížných podmínkách a při použití vhodných materiálů dokonce pod vodní hladinou. Absence pohyblivých kovových částí, zaručuje plynulost pohybu bez tření. Hlavním problémem u těchto typů motorů je, že zde dochází ke kontaktu dvou pružných prostředí, stlačeného vzduchu z hlediska termodynamiky a pružnosti samotného materiálu měchu, membrány nebo fluidního svalů. Výpočtové vztahy vedou k teoreticky lineárním charakteristikám, které ovšem nepostihují

přesně skutečné vlastnosti elastického členu. Jelikož lze tyto problémy řešit v teorii jen s jistým přiblížením, bude moje práce v tomto směru pokračovat návrhem zkušebního zařízení, které by umožňovalo měření na všech uvedených typech pneumatických motorů s elastickými pracovními členy. Porovnání teoretických výsledků s výsledky experimentu, bude použitelné v praxi. Završením práce bude vytvoření matematických modelů uvedených pneumatických motorů.

6. Literatura

- [1] KOPÁČEK, J., Pneumatické mechanismy Díl I. - Pneumatické prvky a systémy Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2005 (Skriptum), 265 s. ISBN 80-248-0879-X.
- [2] QUAGLIA, G., GUALA, A., Evaluation and validation of an air spring analytical model. International Journal of Fluid Power 4, 2003, No.2, p. 43-54. ISSN 1439-9776.
- [3] BAŠTA, S., M., Gidroprivod i gidropnevmo-avtomatika, Mašinostrojenije, Moscow 1972.
- [4] DINDORF, R., Static and dynamic models of pneumatic muscle actuator. The 18th International Conference on Hydraulics and Pneumatics, Prague 2003, p. 295-304. ISBN 80-02-01567-3.