



Pneumatický umelý sval – perspektívny prvok mechatroniky (1)

Súčasná manipulačná zariadenia používané v automatizácii výrobných procesov sú pomerne presné a výkonné stroje. Za túto presnosť a výkonnosť však platia veľkou hmotnosťou, veľmi tuhou a neohybnou konštrukciou, ktorá v značnej miere komplikuje využívanie pracovného priestoru manipulačného zariadenia s ľuďmi a jeho spoluprácu s nimi. Naproti tomu ľudská ruka je pri manipulačných operáciách bez špeciálnych pomôcok pomerne nepresná, avšak jej manipulačná schopnosť, flexibilita a pomer výkonu k hmotnosti sú zatiaľ strojom nedosiahnuteľné. Pre konštruktérov manipulačných zariadení je preto ľudská ruka stálym zdrojom inšpirácie. Jedným z prvkov, ktorý sa konštruktéri snažia napodobniť a ktorý má podstatný vplyv na výkony ľudskej ruky, sú svaly. Medzi zatiaľ v praxi najviac použiteľné napodobneniny biologických svalov patria predovšetkým pneumatické umelé svaly [4].

Pneumatický umelý sval – história, vývoj

Prvý známy pokus skonštruovať pneumatický umelý sval vykonal ruský vynálezca S. Garasiev začiatkom 30. rokov minulého storočia. Tento jednoduchý umelý sval bol tvorený gumovou rúrkou obklopenou na viacerých miestach prstencami, ktoré boli medzi sebou spojené nerozťažnými vláknami. Avšak tento umelý sval mal veľmi obmedzené použitie v dôsledku v tom čase nedostatočnej materiállovej technológie.

Najstarší príklad tzv. opleteného pneumatického akčného člena (podobného umelým svalom používaným v súčasnosti – Braided Pneumatic Muscle) bol patent Pierca, R. C. v r. 1936, ktorý ho navrhol použiť v uholnom priemysle namiesto dynamitu. Vzduch vháňaný do akčného člena (aktuátora) v dôsledku opletenia zväčšil jeho priemer, pričom vzniknutá sila v radiálnom smere rozrušovala uhlie. Hoci Pierce objavil aj jav pozdĺžnej kontrakcie umelého svaly, k jej praktickej aplikácii došlo až v r. 1949 patentom De Havena, H., ktorý navrhol využitie umelého svaly na napínanie bezpečnostného pásu pilota pri havárii. Aktuátor bol poháňaný stlačeným plynom vznikajúcim zapálením čierneho prachu vnútri zariadenia [1].

V r. 1947 vo Francúzsku a v r. 1953 v USA Morin, A. H. patentoval pružnú membránu. V r. 1958 Gaylord, R. H. patentoval tekutinový aktuátor založený v podstate na rovnakých princípoch uvedených v predchádzajúcom texte, ale s externým zdrojom tlaku. Tento aktuátor aplikoval na otváranie dverí a priemyselné výťahy. Hlavným prínosom Gaylorda však bolo to, že systém matematicky analyzoval a prvýkrát rovnicami opísal silu generovanú aktuátorom.

Veľmi často v súčasnosti používaný termín McKibbenov sval (McKibben Muscle) sa dostal do používania po návrhu McKibbena, J. L. koncom 50. rokov minulého storočia využitím pneumatický umelý sval v konštrukcii umelých končatín (protéz) vzhľadom na jeho podobnosť kostrovému svalstvu. V r. 1962 Schulte, R. A. publikoval detaily použitia novo pomenovaného McKibbenovho svaly a tiež matematickú analýzu zahrnutú v Gaylordovom patente [1]. Hoci tento pneumatický systém ponúkal niektoré vynikajúce vlastnosti, ďalej nebol veľmi rozvíjaný v dôsledku obmedzení danými zložitou požiadavkami na riadenie, potrebou zdroja stlačeného vzduchu a tiež zlepšením parametrov konkurenčných elektrických pohonov.

Práce v oblasti konštrukcie umelých svalov však pokračovali ďalej a tejto oblasti sa venovali napr. Baldwin, H. A., Nazarczuk, K., Morecki, A., Immega, G., Liang, K., Winters, J. M., Novák-Marcinčin, J. [5].

Až vývoj riadiacich techník a ľahká dostupnosť dostatočného výpočtového výkonu znovu oživil vývoj pneumatických aktuátorov a aplikáciu ich výhodných vlastností tam, kde elektrické pohony nevyhovujú pre ich nadmernú hmotnosť, tuhosť a objem pri nízkom výkone. Bolo vyvinutých niekoľko modifikácií McKibbenovho umelého svaly, napr. Rub-

bertuator (firma Bridgestone v polovici 80. rokov), SAM (firma Shadow Robot Company v r. 2001), MAS (firma Festo v r. 2002) a Humaniform Muscle (firma Merlin Systems Corp. v r. 2003). Všetky tieto umelé pneumatické svaly sa vyznačujú vysokým pomerom výkonu a hmotnosti a dostatočnou stabilitou pružnosti. Stále však pretrvávajú problémy s polohovým riadením svalov vzhľadom na ich nelineárnu charakteristiku a s problémom spojeným so stlačiteľnosťou média.

Pre pneumatické umelé svaly (Pneumatic Artificial Muscles – PAMs) sa v literatúre používajú rôzne názvy, napr. Air Muscle, Fluidic Muscle, Pneumatic Muscle Actuator, Fluid Actuator, Fluid-Driven Tension Actuator, Axially Contractible Actuator, Tension Actuator, Braided Pneumatic Muscle Actuator [1], [7], [8], pričom väčšinou konštrukčné ide o McKibbenov pneumatický umelý sval [4].

McKibbenov pneumatický umelý sval

Najbežnejším doteraz vyrábaným a používaným druhom pneumatického umelého svaly je McKibbenov umelý sval. Z konštrukčného hľadiska ide o pomerne jednoduché zariadenie pozostávajúce vo svojej základnej forme z vnútornej vrstvy, vonkajšej vrstvy a koncoviek (obr. 1 a 2).



Obr.1 Vonkajšia a vnútorná vrstva pneumatického umelého svaly [11]

Vnútna vrstva je pružná a nepriepustná a je to najčastejšie tenká butylová gumová hadica s dvoma koncovkami. Koncovky slúžia okrem utesnenia stlačeného vzduchu vo svaly aj na prenos síl. Koncovky môžu byť vyrobené z nylonu, hliníka, mosadze, ocele alebo z iného vhodného materiálu v závislosti od špecifických prevádzkových požiadaviek. Vzhľadom na to, že celá záťaž na sval je prenášaná cez koncovky, tak tie majú veľmi dôležitý vplyv na výkon svaly a na pomer síly a hmotnosti svaly. Jedna z koncoviek zároveň slúži na prívod a odvod stlačeného vzduchu do/zo svaly. Vonkajšia vrstva je tvorená zo špirálovito vinutých vzájomne prekrížených pevných vlákien z vhodného materiálu, ktorým je veľmi často nylon. Takto vytvorená štruktúra umelého svaly môže byť natáňovaná alebo stláčaná bez poškodenia, pričom vonkajšia vrstva chráni chýlostivejšiu vnútornú vrstvu pred roztrhnutím pri natlakovaní svaly.



Obr.2 Koncovka pneumatického umelého svaly [11]

Kombinácia guma a opletený nylon umožňuje transformovať radiálne rozťažné síly na axiálne kontrakčné síly, a to tak, že po naplnení pružnej gumovej trubice stlačeným vzduchom dochádza k jej rozšíreniu, čo spôsobí aj rozšírenie a súčasne pozdĺžne skrátenie dĺžky nylonových vlákien na povrchu trubice (princíp podobný pantografu). Tým dochádza k zmršteniu (kontrakcii) celého umelého svaly. Veľkosť takto vzniknutej kontrakcie závisí od tlaku vzduchu a trvania jeho prúdenia



Obr.3 Nenatlakovaný a natlakovaný opletený pneumatický umelý sval firmy Shadow Robot Company [11]



a) pohľad na kompletný sval

b) pohľad na odkrytú vnútornú vrstvu

Obr.4 Hladký pneumatický umelý sval firmy Festo [10]

do umelého svalu, pričom s rastúcim zaťažením svalu rastie aj jeho ťahová sila pri súčasnom poklese zdvíhu (podobne ako pri biologických svaloch).

Používa sa aj konštrukcia tzv. hladkého umelého svalu, pri ktorom sú spletené nerozťažné vlákna integrované (zaliate) priamo v gumenej rúrke a koncovky sú na svaloch upevnené prevlečnou maticou (obr. 4) [10]. Táto verzia McKibbenovho pneumatického umelého svalu sa vyznačuje dlhšou životnosťou, ale za cenu zhoršenia ostatných parametrov svalu, a to najmä maximálnej kontrakcie svalu.

Literatúra

(vybrané tituly)

[1] DAVIS, S., TSAGARAKIS, N., CANDLERLE, J., CALDWELL, D.: Enhanced Modelling and Performance in Braided Pneumatic Muscle Actuators. The International Journal of Robotics Research. Vol. 22, No. 3 – 4, 2003, pp. 213 – 227.

[4] KOPEČNÝ, L., ŠOLC, F.: McKibbenův pneumatický sval v robotice. In: AT&P journal. roč. X, č. 2, 2003, s. 62 – 64.

[5] NOVÁK-MARCINČIN, J.: Umelý sval ako pohon v automatizačnej manipulačnej technike – kandidátska práca. Prešov: SJF TU, 1993. 208 s.

[7] PLETTENBURG, D. H.: Pneumatic Actuators: a Comparison of Energy-to-Mass Ratio's. In: Proceeding of the 2005 IEEE 9th International Conference on Rehabilitation Robotics, June 28 – July 1, 2005. Chicago, 2005, pp. 545 – 549.

[8] RAMASAMY, R., JAHARI, M. R., MAMAT, M. R., YAACOB, S., MOHD NASIR, N. F., SUGISAKA, M.: An Application of Finite Element Modelling to Pneumatic Artificial Muscle. American Journal of Applied Sciences. Vol. 11, No. 2 (2005), pp. 1 504 – 1 508.

[10] www.festo.com [cit. 2007-12-18].

[11] www.shadowrobot.com [cit. 2007-12-01].

Pokračovanie v budúcom čísle.

doc. Ing. Ján Pitel, PhD.

doc. Ing. Milan Balara, PhD.

Technická univerzita v Košiciach
Fakulta výrobných technológií so sídlom v Prešove
Katedra matematiky, informatiky a kybernetiky
 e-mail: balara.milan@fvt.sk
 jan.pitel@tuke.sk

42