
Pneumatické pružné hriadel'ové spojky v pohonoch mechanických sústav

Peter Kaššay, doc. Ing., PhD.*

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 1/9, 042 00 Košice - Sever.
E-mail: peter.kassay@tuke.sk, Tel.: +421 55 602 2369

Matej Urbanský, Ing., PhD.

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Strojnícka fakulta
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 1/9, 042 00 Košice - Sever.
E-mail: matej.urbansky@tuke.sk, Tel.: +421 55 602 2368

Pneumatic flexible shaft couplings in drives of mechanical systems

Abstract: The article presents a newly developed pneumatic flexible shaft coupling with hose flexible element usable, among other applications, in drives of mechanical systems. The presented coupling uses a hose-shaped flexible element winding between the supporting surfaces of coupling's driving and driven hub. As the torque transfer is ensured with compressed air, the torsional stiffness of coupling can be adapted to actual operating parameters (rotational speed) with change of air pressure inside the flexible elements. This makes the presented coupling suitable for semi-active torsional vibration control. A patent was also granted for the presented coupling design. The design of hose-shaped element enables reliable sealing of compression volume and it is also easy to assemble and dismantle.

Keywords: pneumatic flexible shaft coupling, semi-active vibration isolation, patent.

ÚVOD

V súčasnosti bežne používané pružné hriadel'ové spojky zabezpečujú pružný prenos krútiaceho momentu pomocou kovových alebo gumových pružných elementov. Pružné hriadel'ové spojky okrem toho, že prenášajú krútiaci moment, zabezpečujú aj ďalšie dôležité funkcie ako vyrovnanie malých radiálnych a axiálnych odchýlok polohy spájaných hriadel'ov, a hlavne tlmia torzné kmitanie a momentové rázy. Dôležitým mechanickým parametrom pružných spojok v mechanických sústavách s periodicky sa meniacim krútiacim momentom je ich dynamická torzná tuhosť. Dynamická torzná tuhosť ovplyvňuje hodnotu vlastnej frekvencie torzného kmitania mechanickej sústavy. Hodnota dynamickej torznej tuhosti hriadel'ových spojok počas prevádzky závisí nielen od použitých pružných elementov, ale aj prevádzkových parametrov ako napríklad: stredná (statická) hodnota prenášaného krútiaceho momentu, amplitúda a frekvencia budiacich harmonických zložiek krútiaceho momentu, teplota pružného elementu a ďalších. Aby bola mechanická sústava dobre vyladená z hľadiska torzného kmitania, tak je potrebné vybrať pružnú hriadel'ovú spojku, ktorá bude mať vhodnú dynamickú torznú tuhosť. Túto

však už potom nie je možné (aktívne) meniť. K zmene mechanických vlastností gumených pružných elementov dochádza aj vplyvom starnutia materiálu pružných elementov a opotrebenia od premenlivej záťaže. Preto platí, že aj keď je pružná spojka vhodne zvolená, tak po určitom čase môže dôjsť k rozladieniu mechanickej sústavy z hľadiska torzného kmitania.

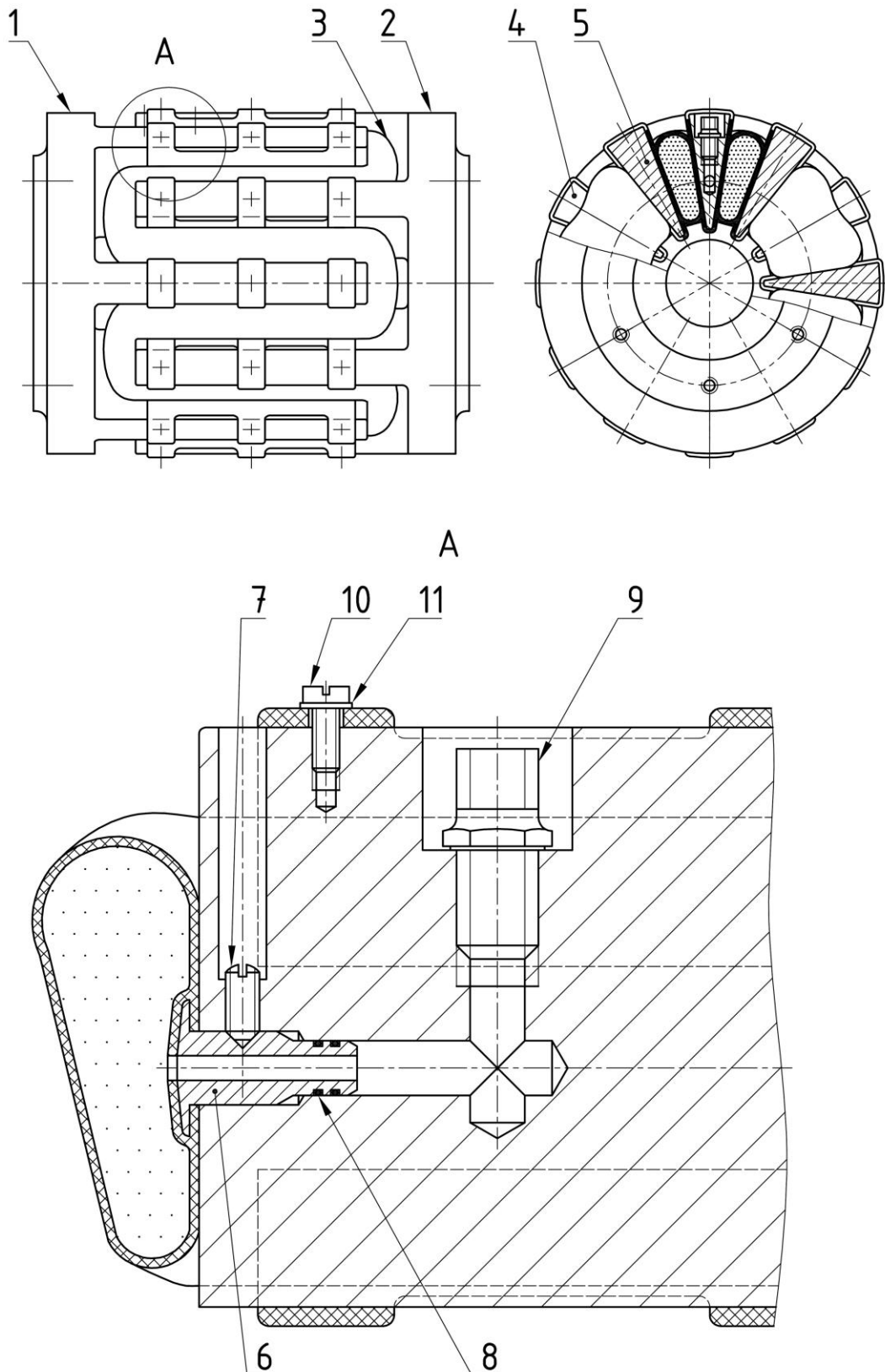
Nevýhody doteraz používaných pružných hriadel'ových spojok je možné eliminovať použitím pneumatických pružných elementov, v ktorých je pružný prenos krútiaceho momentu zabezpečený pomocou stlačeného plynného média. Tlak plynného média v týchto pružných elementoch je možné meniť. Tým je možné vhodne prispôbiť dynamickú torznú tuhosť spojky aktuálnemu prevádzkovému režimu mechanickej sústavy, čo umožňuje ich využitie ako prvku pre semiaktívnu vibroizoláciu torzne kmitajúcich mechanických sústav. Je však nutné spomenúť, že zmenu tuhosti je možné dosiahnuť rôznymi spôsobmi, ako napríklad listovými pružinami s meniteľnou aktívnou dĺžkou, magnetmi, magnetoreologickými elastómerni, predpätými mechanizmami atď. [1-30]. Ďalšou veľkou výhodou týchto pneumatických pružných elementov je to, že plynné médium nepodlieha starnutiu ani opotrebeniu. Spojky využívajúce pneumatické pružné elementy sa

zaraďujú do skupiny pneumatických pružných hriadeľových spojok.

Cieľom príspevku je predstaviť novo vyvinutú „Pneumatickú pružnú hriadeľovú spojku s hadicovým pružným elementom“, na ktorej technické riešenie bola udelená ochrana formou patentu [13].

1 PNEUMATICKÁ PRUŽNÁ HRIADEĽOVÁ SPOJKA S HADICOVÝM PRUŽNÝM ELEMENTOM

Táto spojka, znázornená na obr. 1, využíva na pružný prenos krútiaceho momentu nový typ pneumatického pružného elementu - hadicový pružný element. Ide o



Obr. 1. Pneumatická pružná hriadeľová spojka s hadicovým pružným elementom

pružný element tvaru hadice vinúcej sa medzi opornými plochami hnacieho a hnaného kotúča spojky. Pneumatická pružná hriadeľová spojka s hadicovým pružným elementom sa skladá z hnacieho kotúča (1) a hnaného kotúča (2), ktoré sú pružne spojené pomocou hadicového pružného elementu (3). Hadicový pružný element sa vinie medzi opornými plochami (4) hnacieho kotúča spojky a opornými plochami (5) hnaného kotúča spojky. Stlačené plynné médium je do pružného elementu privádzané cez pneumatickú koncovku (6), ktorá je v otvore opornej plochy zaistená nastavovacou skrutkou (7). Utesnenie koncovky v kotúči je riešené pomocou tesniacich krúžkov (8). Stlačené plynné médium je do spojky privádzané cez plniaci ventil (9). Upevnenie pružného elementu k oporným plochám kotúčov spojky je zabezpečené pomocou skrutiek (10) a podložiek (11). Vplyvom vzájomného pootočenia kotúčov spojky z neutrálnej polohy dochádza ku stláčaniu kompresného objemu hadicového pružného elementu, čím sa zabezpečí pružný prenos krútiaceho momentu medzi hnacím a hnaným kotúčom.

Výhodou tohto hadicového pružného elementu je to, že kompresný objem celej pneumatickej pružnej spojky s hadicovým pružným elementom je potom nutné utesniť len v mieste pneumatickej koncovky a plniaceho ventilu zabezpečujúcich prívod stlačeného plynného média. Konštrukcia hadicového pružného elementu navyše umožňuje jeho rýchlu a jednoduchú montáž, a v prípade potreby aj demontáž.

ZÁVER

Pneumatickú pružnú hriadeľovú spojku s hadicovým pružným elementom je možné aplikovať v sústavách mechanických pohonov. Umožňuje pružný prenos krútiaceho momentu a vďaka možnosti zmeny jej torznej tuhosti sa zabezpečí vyladenie týchto sústav pri rôznych pracovných režimoch. Konštrukcia hadicového pružného elementu navyše zabezpečuje spoľahlivé utesnenie kompresného objemu, a jeho jednoduchú montáž prípadne demontáž. Pneumatická pružná hriadeľová spojka s hadicovým pružným elementom preto bude zvyšovať technickú úroveň a spoľahlivosť mechanických sústav, v ktorých bude zaradená.

Pod'akovanie

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia grantových projektov:

KEGA 029TUKE-4/2021 - Implementácia moderných edukačných prístupov pri konštruovaní prevodových mechanizmov.

KEGA 037TUKE-4/2024 - Vytvorenie interaktívneho nástroja pre zvýšenie zručností a kompetencií študentov v rámci výučby predmetov zameraných na tvorbu konštrukčnej dokumentácie.

VEGA 1 /0346/24 - Vývoj inovatívnych systémov a prvkov pre redukciu torzných vibrácií v mechanických pohonoch

LITERATÚRA

- [1] BEHROOZ, M. - WANG, X. - GORDANINEJAD, F. (2014): *Modeling of a new semi-active/passive magnetorheological elastomer isolator*. In: Smart Materials and Structures, Vol. 23, No. 4.
- [2] DUDA, M. - ŁAZARZ, B. - CZECH, P. - MAŃKA, A. - MATYJA, T. (2015): *Vibration-isolating action of seats in a passenger car*. In: TTS Technika Transportu Szynowego, Vol. 22, No. 12, pp. 453-458.
- [3] FANG, L. - WANG, Y. (2017): *Stiffness analysis of a variable stiffness joint using a leaf spring*. In: Lecture Notes in Computer Science, Vol. 10463 LNAI, pp. 225-237.
- [4] FILIPOWICZ, K. (2019): *Vibration damping in torsionally flexible metal clutch for applications in mining machines*. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 261.
- [5] HAM, V. R. - SUGAR, T. G. - VANDERBORGHT, B. - HOLLANDER, K. W. - LEFEBER, D. (2009): *Compliant actuator designs: Review of actuators with passive adjustable compliance/controllable stiffness for robotic applications*. In: IEEE Robotics and Automation Magazine, Vol. 16, No. 3, pp. 81-94.
- [6] HOMIŠIN, J. (2002): *Nové typy pružných hriadeľových spojok, vývoj - výskum - aplikácia*. Košice, Viena, ISBN 80-7099-834-2.
- [7] HOMIŠIN, J. (2016): *Characteristics of pneumatic tuners of torsional oscillation as a result of patent activity*. In: Acta Mechanica et Automatica, Vol. 10, No. 4 (38), pp. 316-323, ISSN 1898-4088.
- [8] HOMIŠIN, J. - KAŠŠAY, P. (2012): *Influence of temperature on characteristics properties of flexible coupling*. In: Transport Problems, Vol. 7, No. 4, pp. 123-129.
- [9] CHOI, J. - HONG, S. - LEE, W. - KANG, S. (2009): *A variable stiffness joint using leaf springs for robot manipulators*. In: Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 4363-4368.
- [10] CHOI, J. - HONG, S. - LEE, W. - KANG, S. - KIM, M. (2011): *A robot joint with variable stiffness using leaf springs*. In: IEEE Transactions on Robotics, Vol. 27, No. 2, pp. 229-238.
- [11] JIN, H. - LUO, M. - LU, S. - HE, Q. - LIN, Y. (2023). *Design and Analysis of a Novel Variable Stiffness Joint for Robot*. In: Actuators, Vol. 12, No. 1.

- [12] JÍROVÁ, R. - PEŠÍK, L. (2021): *Pneumatic vibroisolation system of the base desk with natural frequency regulation*. In: Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport, Vol. 113, pp. 91-100.
- [13] KAŠŠAY, P. (2020): *Pneumatická pružná hriadel'ová spojka s hadicovým pružným elementom: Patent SK 288800 B6*. ÚPV SR, Banská Bystrica.
- [14] KAŠŠAY, P. - URBANSKÝ, M. - MALÁKOVÁ, S. - KRAJŇÁK, J. (2021): *Verification of Torsional Vibration Extremal Control*. In: Projektowanie, badania i eksploatacja, pp. 157-162.
- [15] KINNUNEN, K. - LAINE, S. - TIAINEN, T. - VIITALA, R. (2022): *Method for Adjusting Torsional Natural Frequencies of Powertrains with Novel Coupling Design*. In: Machines, Vol. 10, No. 3.
- [16] KINNUNEN, K. - LAINE, S. - TIAINEN, T. - VIITALA, R. - SEPPÄNEN, A. - TURRIN, T. - VIITALA, R. (2021): *Coupling with adjustable torsional stiffness*. In: Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Vol. 70, No. 4, pp. 470-476.
- [17] KOŁODZIEJ, P. - BORYGA, M. (2014): *Frequency analysis of coupling with adjustable torsional flexibility*. In: Eksploatacja i Niezawodność, Vol. 16, No. 2, pp. 325-329.
- [18] KOWAL, A. - FILIPOWICZ, K. (2007): *The construction of metal flexible torsional coupling*. In: Transport Problems, Vol. 2, No. 3, pp. 69-76.
- [19] LEDEZMA-RAMIREZ, D. F. - FERGUSON, N. S. - BRENNAN, M. J. (2011): *Shock isolation using an isolator with switchable stiffness*. In: Journal of Sound and Vibration, Vol. 330, No. 5, pp. 868-882.
- [20] LEE, K. H. - PARK, J. E. - KIM, Y. K. (2019): *Design of a stiffness variable flexible coupling using magnetorheological elastomer for torsional vibration reduction*. In: Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol. 30, No. 15, pp. 2212-2221.
- [21] LI, Z. - CHEN, W. - ZHANG, J. - LI, Q. - WANG, J. - FANG, Z. - YANG, G. (2022): *A novel cable-driven antagonistic joint designed with variable stiffness mechanisms*. In: Mechanism and Machine Theory, Vol. 171.
- [22] LIU, Y. - LIU, X. - YUAN, Z. - LIU, J. (2019). *Design and analysis of spring parallel variable stiffness actuator based on antagonistic principle*. In: Mechanism and Machine Theory, Vol. 140, pp. 44-58.
- [23] LUBIN, T. - VAHAJ, A. A. - RAHIDEH, A. (2020): *Design optimisation of an axial-flux reluctance magnetic coupling based on a two-dimensional semi-analytical model*. In: IET Electric Power Applications, Vol. 14, No. 5, pp. 901-910.
- [24] OPASIAK, T. - MARGIELEWICZ, J. - GAŠKA, D. - HANISZEWSKI, T. (2022): *Influence of changes in the working temperature of flexible couplings on their stiffness characteristics*. In: Transport Problems, Vol. 17, No. 4, pp. 177-186.
- [25] SARANI, B. - AHMADI, H. (2022): *Mechanical design and control of a novel variable impedance actuator (VIA) for knee joint of a rehabilitation exoskeleton*. In: Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, Vol. 44, No. 3.
- [26] SYAM, T. M. I. - HEGAZI, A. A. A. - MUTHALIF, A. G. A. - BADRI, Y. (2021): *Magnetorheological elastomer-based variable stiffness flexible coupling for vibration isolation*. In: Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering, Vol. 46, No. 1.
- [27] VANDERBORGHT, B. - ALBU-SCHAEFFER, A. - BICCHI, A. - BURDET, E., CALDWELL, D. G. - CARLONI, R. - WOLF, S. (2013): *Variable impedance actuators: A review*. In: Robotics and Autonomous Systems, Vol. 61, No. 12, pp. 1601-1614.
- [28] WIECZOREK, A. N. - KONIECZNY, Ł. - WOJNAR, G. - WYROBA, R., FILIPOWICZ, K. - Kuczaj, M. (2024): *Reduction of dynamic loads in the drive system of mining scraper conveyors through the use of an innovative highly flexible metal coupling*. In: Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability, Vol. 26, No. 2.
- [29] WOLF, S. - HIRZINGER, G. (2008). *A new variable stiffness design: Matching requirements of the next robot generation*. In: Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1741-1746. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2008.4543452>
- [30] ZHU, Y. - WU, Q. - CHEN, B. - XU, D. - SHAO, Z. (2022): *Design and Evaluation of a Novel Torque-Controllable Variable Stiffness Actuator with Reconfigurability*. In: IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 27, No. 1, pp. 292-303.