

УДК 621.825.5

DOI: 10.18372/0370-2197.4(85).13880

В. О. МАЛАЩЕНКО¹, П. Л. НОСКО², В. В. ФЕДИК³¹Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів.²Національний авіаційний університет, м. Київ³Дрогобицький коледж нафти і газу, м. Дрогобич

СИЛОВА ВЗАЄМОДІЯ КУЛЬКОВОГО ОБМЕЖУВАЧА НАВАНТАЖЕНЬ

У статті висвітлюється наукова проблема щодо нової кульової муфти, яка може бути використана в різних галузях техніки. Розглядається силова взаємодія кульової муфти, на основі якої легко створити обмежувач крутного моменту для рівномірного затягування болтових з'єднань різних машин і механізмів. Наведено необхідні аналітичні рівняння, що описують основні значення сил при функціонуванні обмежувача крутного моменту. Це стало орієнтиром для розробки нової конструкції, що отримала патент України на корисну модель. Наведено конструкцію обмежувача крутного моменту, яка базується на відомому кулеподібному з'єднанні з повним описом його складових частин та принципу роботи. На основі конструктивних особливостей вибрана розрахункова схема, яка дозволила створити математичну модель для аналізу силового агрегату. Аналітично описуються величини сил, що діють на кульки на початку виходу їх із зачеплення з пазом приведеної напівмуфти. На основі формул проведено кількісний аналіз сили пружини на величину крутного моменту для різних кутів нахилу канавок напівмуфт. Зроблено підтвердження класичного положення про те, що величина крутного моменту розчеплення залежить від діаметра дроти пружини та є лінійною. На основі результатів досліджень наведено практичні рекомендації щодо можливостей впровадження цих обмежувачів навантажень у технічних пристроях машинобудування.

Ключові слова: обмежувач, обмежувач навантажень, кульковий обмежувач, затягування з'єднань.

Проблема. Загальновідомі запобіжні муфти, які працюють без руйнування з'єднувальних елементів, в першу чергу передають енергію через тертя [1–8]. У них при збільшенні крутного моменту до небажаних значень відбувається прослизання напівмуфт, що рухаються назустріч. Вони відомі як вільного пересування чи обгінні [1–8]. Тобто вони в основному передають енергію через тертя, крім храпових муфт. Ця обставина вимагає постійного слідкування за найбільшою силою пружини і час від часу виконувати її затягування.

Більше того, для збільшення навантаженості запобіжних муфт потрібні жорсткі пружини, що призводить до збільшення розмірів пристроїв. Це небажано у випадку застосування таких муфт у кінематичних ланцюгах переносних інструментів, які використовуються під час монтажу та демонтажу або ремонту нарізних з'єднань. Така протилежна проблема спонукала авторів та інших фахівців машинобудування та транспорту розробити інші кульові з'єднання [9–10] на основі кульових обгінних муфт [11–13]. У цьому випадку обертальний момент приводу передається до веденої напівмуфти не тертям, а робочими кульками, які знаходяться в пазах двох напівмуфт. Такі муфти, розроблені в різний час, визнавались новими та були запатентовані. Деякі з них були введені у виробничий і навчальний процес.

Попередній аналіз кінематики показав, що решту муфт можна ефективно використовувати як пристрій для обмежувачів навантаження гайкових ключів. Процес реалізації будь-яких механічних засобів вимагає комплексного вивчення кінематики, параметрів силових та проведення розрахунків на міцність усіх елементів, які беруть участь у передачі крутного моменту.

Мета даної роботи полягає в аналізі силової взаємодії кульок з боковими поверхнями пазів, що з'єднуються під час відключення муфт, тобто виконання автоматичної роботи з роз'єднання кінців валів контактуючих елементів при наперед заданому обертальному моменті.

Основна частина статті. У статті узагальнено переваги та можливості застосування нової муфти з переважанням кульок (рис. 1), яка працює за принципом зчеплення напівмуфт.

Це може бути застосовано на практиці для механізації процесів, наприклад, затягування гайок чи гвинтів нарізевих з'єднань з зусиллям потрібного значення під час операцій по монтажу та демонтажу різних технічних засобів. Розроблена муфта має основні переваги: значно спрощує технологію виготовлення та її експлуатацію; вимагає ретельного поводження з робочими поверхнями бічних поверхонь канавок; передає крутний момент за допомогою елементів менших розмірів і сили, що розвиває пружина; підходить для затягування та розкручування з'єднання правої та лівої нарізю тощо. До його недоліків можна віднести підвищені вимоги до конвергенції початкового розподілу з'єднання прорізів та їх схильність узгоджувати напрямок обертання виконавчого інструменту, тобто напрямок нарізування.

Це може бути застосовано на практиці для механізації процесів, наприклад, затягування гайок чи гвинтів нарізевих з'єднань з зусиллям потрібного значення під час операцій по монтажу та демонтажу різних технічних засобів. Розроблена муфта має основні переваги: значно спрощує технологію виготовлення та її експлуатацію; вимагає ретельного поводження з робочими поверхнями бічних поверхонь канавок; передає крутний момент за допомогою елементів менших розмірів і сили, що розвиває пружина; підходить для затягування та розкручування з'єднання правої та лівої нарізю тощо. До його недоліків можна віднести підвищені вимоги до конвергенції початкового розподілу з'єднання прорізів та їх схильність узгоджувати напрямок обертання виконавчого інструменту, тобто напрямок нарізування.

Структура обмежувача крутного моменту або зусилля затягування гайок нарізових з'єднань має: ведучу напівмуфту 1 з пазами 2, з двома похилими поверхнями 3; ведену напівмуфту 4 з пазами 5, які також є з похилими поверхнями 6 під тим же кутом α , що і у ведучій напівмуфти; кульки 7, розташовані в пазах напівмуфти; натискного кільця 8, яке притискається до кульок пружиною 9; регульовальна гайка 10, корпус 11 з гвинтами 12 для її надійної фіксації.

Розроблений пристрій є ефективним, оскільки дозволяє затягнути гайки нарізевих з'єднань з правою та лівою нарізю. Більше того, він може добре функціонувати з будь-яким джерелом обертального руху, тим більше, що він може легко змінити напрямок обертання. Це може бути електричний струм, який має перемікач на рух, або інший спеціальний гайковий ключ тощо. У цьому випадку пристрій правим кінцем може бути зафіксований у тримачі з електричної енергії, вставляючи у ведену напівмуфту корисний інструмент. Дозволяють використовувати широкий спектр інструментів: викрутки, гайкові ключі, дріль тощо. Значення крутного моменту встановлюється регулюванням гайки, яка заданою си-

лою стискає пружину, що утримує кульку в пазах напівмуфт. Щоб збільшити крутний момент або притягнути гвинтові з'єднання під час монтажних операцій, досить більше гайкою натиснути на пружину.

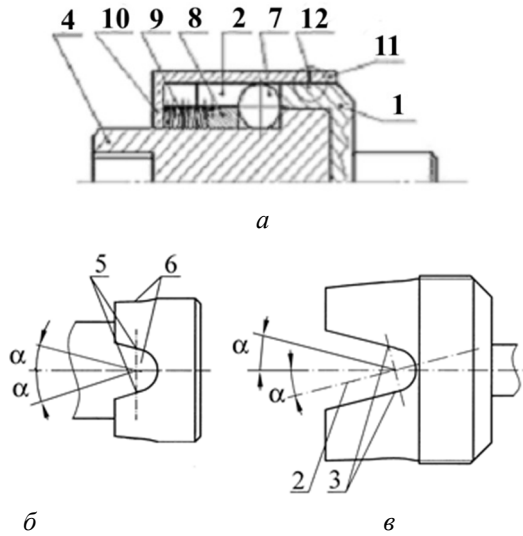


Рис. 1. Структура двосторонньої дії обмежувача крутного моменту: *a* – загальний вигляд у контексті; *б і в* – ведучої та веденої напівмуфт

Розглядаємо процес роботи пристрою, починаючи з його робочого стану (рис. 1, *a*). Тобто коли він обертається як одне ціле. Тоді крутний момент прикладається до виробничого об'єкта виконання даної операції, збільшуючи зусилля зтягування до бажаних значень, що встановлено попередньо. Зі збільшенням моменту опору гайкової осьової складової загальної сили долає опір і пружина виштовхує кульки з пазів напівмуфти, відокремлюючи таким чином кінці валів. Зчеплення є відсутнім. Цей процес супроводжується деяким стуком, що полегшує завершення процесу. Більш повно цей процес описаний в [8].

Тут ми розглядаємо лише важливий процес своєчасного завершення зтягування гайок, коли муфта перевантажена і починає відключатися. Сила взаємодії в цьому випадку показана на рис. 2.

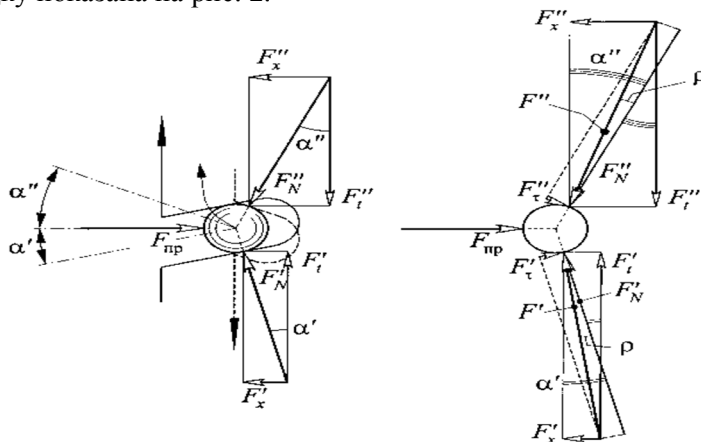


Рис. 2. Силова взаємодія між кулькою і бічними поверхнями пазів напівмуфти під час відключення: *a* – тертя не включається, *б* – враховуючи тертя

Для візуального порівняння двох випадків є те, що на рис. 2, і показано всі сили, що діють на кульку, якщо тертям між контактуючими елементами можна знехтувати. Саме під час попередніх розрахунків. А на рис. 2, б – подібний процес, проте з тертям. Слід також зазначити, що протягом усього процесу розглядаються кульки зчеплення все ще знаходяться в пазах, приведених у рух. Коли кульки починають виходити із пазів веденої напівмуфти виникає пружні зусилля пружин F_{np} і - загальна сила, що діє на кульку (рис. 2, б). З проектної схеми (рис. 2, б) випливають очевидні співвідношення:

$$F''^2 = F_N''^2 + F_\tau''^2 = F_x''^2 + F_t''^2; \quad F'^2 = F_N'^2 + F_\tau'^2 = F_x'^2 + F_t'^2; \quad F_t' = F_t'' = F_t; \\ F_x' + F_x'' = F_{np}; \quad \frac{F_\tau'}{F_N'} = \frac{F_\tau''}{F_N''} = \mu = \operatorname{tg} \rho; \quad \frac{F_x'}{F_t'} = \sin(\alpha' - \rho); \quad \frac{F_x''}{F_t''} = \operatorname{tg}(\alpha' - \rho); \\ \frac{F_x''}{F_t''} = \operatorname{tg}(\alpha'' - \rho). \quad (1)$$

Після розв'язання системи рівнянь (1) отримали важливу для даного випадку залежність між рушійною (круговою) силою, яка залежить від величини крутного моменту, та геометричними, жорсткісними параметрами у вигляді

$$F_t = \frac{Gd_\sigma^4 \lambda}{\operatorname{tg}(\alpha' - \rho) + \operatorname{tg}(\alpha'' - \rho) 8D^3 i_p}. \quad (2)$$

Позначення
$$\frac{Gd_\sigma^4 \lambda}{8D^3 i_p} = F_{np}$$

і припускаючи, що $\alpha' = \alpha'' = \alpha$, вираз (2) набуває спрощеного вигляду

$$F_{np} = \frac{F_t}{2 \operatorname{tg}(\alpha - \rho)}. \quad (3)$$

Характеристика пружини визначається загально відомою залежністю:

$$C = \sqrt[3]{Gd_\sigma \lambda \operatorname{tg}(\alpha - \rho) / (F_t i_p)}, \quad (4)$$

Відповідно до аналітичних виразів (1) – (4) проведено кількісний аналіз впливу основних геометричних параметрів пристрою на величину крутного моменту. Прийнято наступні початкові значення: діаметр кола центрів кульок кола $D_0 = 50$ мм; кількість кульок $i = 4$; діаметр кульок $d = 10$ мм; пружина з діаметром дроту $d_d = 0,5 \dots 4$ мм; осьова деформація пружини дорівнює глибині канавки $l = 4 \dots 10$ мм; середній діаметр пружини $D = 45$ мм; кількість робочих $I_p = 5$. Результати кількісного аналізу взаємозв'язку між пружною силою пружин та діаметром дроту та обертальним моментом наведено відповідно на рис. 3 та 4.

Висновки.

1. Отримані аналітичні вирази (2)-(4) мають практичне значення, яке полягає у можливості вибору зручних геометричних параметрів та бажаних характеристик жорсткості пружини, знаючи лише конкретні коефіцієнти завантаження пристрою, тобто бажане значення зусилля попереднього затягування гайок та гвинтів нарізевих з'єднань.

2. Результати аналізу потужності можуть бути важливою основою для подальших досліджень та розрахунків на міцність елементів обгінних муфт, що застосовуються у різних галузях техніки.

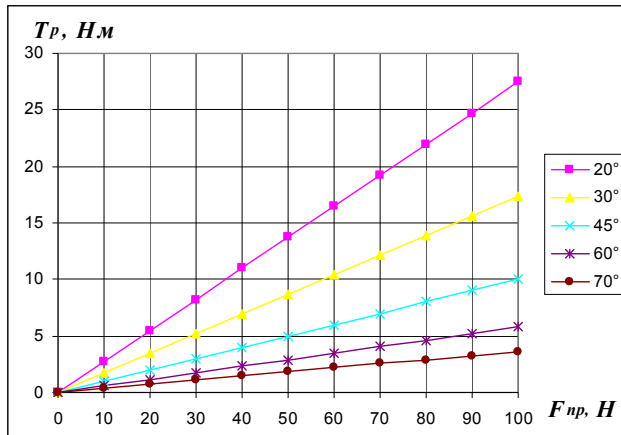


Рис. 3. Залежність величини обертального моменту від сили пружності пружини для різних кутів нахилу пазів напівмуфт

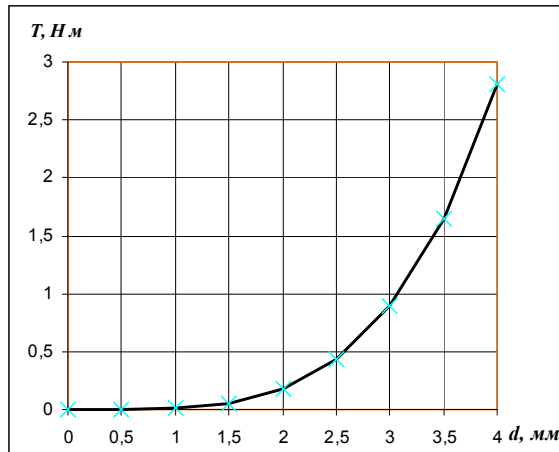


Рис. 4. Співвідношення між діаметром пружин дроту і моментом спрацьовування зчеплення $\alpha = 45^\circ$

3. Встановлено залежність величини максимального крутного моменту від кута нахилу пазів. Причому зменшується кут нахилу пазів робочої поверхні уможливило істотно змінювати величину максимального крутного моменту, що сприяє використанню більш м'яких пружин або з меншою силою затягування регулювальної гайки.

4. Діаметр пружинного дроту має найбільший вплив на переданий крутний момент.

5. Взагалі можна стверджувати, що запропоновані аналітичні залежності дають можливість широкого діапазону маневру при виборі стандартних пружин та сили затягування пружин залежно від бажаного значення крутного моменту під час складання та розбирання нарізевих з'єднань різних машин та механізмів.

Список літератури

1. А.С. № 1698520, БІ № 42, 1991. Обгонная муфта. Малащенко В.А., Рябов В.Г. – 3с.
2. Малащенко В.О. Муфти приводів. Конструктивні та прикладні дії /В.О. Малащенко //.- Львів. НУ ЛП, 2009. – 214 с.;

3. Мальцев В.Ф. Ролікові механізми вільного ходу / В.Ф. Мальцев // – М.: Машиностроение, 1968. – 415 с.;
4. Пилипенко М.Н. Механізми вільного ходу / М. Н. Пилипенко // – М.: Машиностроение, 1966. — 288 с.;
5. Ряховський О.А., Іванов С.С. Справочник по муфтам / О.А. Ряховський, С.С. Іванов //.—Л.: Політехніка, 1991. —383 с.;
6. Малащенко В.В. Підвищення ефективності роботи технологій вільного ходу використання кулькових муфт // Дис. канд. техн. наук. 2010. -146 с.;
7. Носко П.Л., Малащенко В.В., Малащенко В.О., Сало В.І. Аналіз напружено-деформованого стану нової культурологічної муфти вільного ходу // Вісник СХУ ім. В. Даля. 2012. – № 6 (177) частина 2. С.70-75. (Надр. Січень 2013 р.)
8. Патент № 66514А Україна, МКИ F16D41 / 04. Запобіжна муфта. / Гащук П.М., Малащенко В.В., Сороківський О.І. // Опубл. 2004. Бюл. №5;
9. Патент № 77435 Україна, МКИ F16D41 / 04. Запобіжна муфта. / Гащук П.М., Малащенко В.В., Сороківський О.І. // Опубл. 2006. Бюл. №12;
10. Патент № 30362 Україна, МКИ F16D41 / 06. Обгінна муфта. / Малащенко В.В. // Опубл. 2008. Бюл. № 4;
11. Патент № 53354А Україна, МКИ F16D41 / 06. Обгінна муфта. / Куновський Г.П., Кравець І.Є., Малащенко В.О., Сороківський О.І. // Опубл. 15.01.2003. Бюл. № 1;
12. Патент № 64104 Україна, МКИ F16D43 / 00. Запобіжна муфта. / Малащенко В.О., Малащенко В.В. // Опубл. 2011. Бюл. №20.
13. Пат. № 43260 Україна, МКИ F16D41 / 06. Обгінна муфта. / Малащенко В.О., Гащук П.М., Малащенко В.В., Сороківський О.І. // Опубл. 2009. Бюл. № 15.

Стаття надійшла до редакції 28.08.2019.

Малащенко Володимир Олександрович - д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри технічна механіка та динаміка машин Національного університету „Львівська політехніка”, volod.malash@gmail.com.

Носко Павло Леонідович - д-р техн. наук, професор кафедри машинознавства Національного авіаційного університету, nosko_p@ukr.net.

Федик Василь Володимирович - канд. техн. наук, викладач Дрогобицького коледжу нафти і газу, volodimirovich82@mail.ru.

V. O. MALASHENKO, P. L. NOSKO, V. V. FEDYK

POWER INTERACTION OF THE BALL LOADING LIMITER

The article brighten scientific problem concerning the new ball coupling, which can be used in different branches of engineering. A comparative analysis of the results of research known freewheel. The design features a ball coupling on the basis of which it is easy to create a torque limiter evenly zatyaguvannya bolted connections of various machines and mechanisms. Prepositional necessary analytical fallow that describe the basic values of the forces off the torque limiter, which have become a benchmark for the development of a new design, which received a patent of Ukraine for utility models. Shows a schematic design of torque limiter, which is based on the known rozroblena ball coupling s full description of its constituent parts and printsypu robots. Based konstruktivnyh especially selected design scheme, which allowed for a mathematical model for the analysis of the power unit. Analytically describes the amount of force that acts on robochem balls at the beginning of the release of their engagement with the groove of the driven coupling half, ie an analytical expression effort off the clutch. On the basis of the formulas A quantitative analysis of the impact force of the spring by the amount of torque ogranichitenya for different angles of inclination grooves of the coupling halves. Made confirmation of the classical position that the dependence of torque ogranichitenya the wire diameter of the spring is the value is not linear. On the basis of current research findings and made practical recommendations for the implementation of the results of research opportunities in galizi engineering.

Key words: limiter, load limiter, ball limiter, connection tightening.

References

1. A.S. № 1698520, BI № 42, 1991. Obgonnaja mufta. Malashhenko V.A., Rjabov V.G. - 3s.
2. Malashhenko V.O. Mufti privodiv. Konstruktivni ta prikladni dii /V.O. Malashhenko // - L'viv. NU LP, 2009. - 214 s. ;
3. Mal'cev V.F. Rolikovi mehanizmi vil'nogo hodu /V.F. Mal'cev // . - M .: Mashinostroenie, 1968. - 415 s. ;
4. Pilipenko M.N. Mehanizmi vil'nogo hodi / M. N. Pilipenko // . - M .: Mashinostroenie, 1966.— 288 s. ;
5. Rjahovs'kij O.A., Ivanov S.S. Spravochnik po muftam / O.A. Rjahovs'kij, S.S. Ivanov //.—L .: Politehnika, 1991. —383 s. ;
6. Malashhenko V.V. Pidvishhennja efektyvnosti roboti tehnologij vil'nogo hodu vikoristannja kul'kovih muft // Dis. kand. tehn. nauk. 2010. -146 s. ;
7. Nosko P.L., Malashhenko V.V., Malashhenko V.O., Salo V.I. Analiz napruzhenodeformovanogo stanu novoi kul'turologichnoi mufti vil'nogo hodu // Visnik SNU im. V. Dalja. 2012. - № 6 (177) chastina 2. S.70-75. (Nadr. Sichen' 2013 r.)
8. Patent № 66514A Ukraïna, MKI F16D41 / 04. Zapobizhna mufta. / Gashhuk P.M., Malashhenko V.V., Sorokivs'kij O.I. // Opubl. 2004. Bjul. №5;
9. Patent № 77435 Ukraïna, MKI F16D41 / 04. Zapobizhna mufta. / Gashhuk P.M., Malashhenko V.V., Sorokivs'kij O.I. // Opubl. 2006. Bjul. №12;
10. Patent № 30362 Ukraïna, MKI F16D41 / 06. Obginna mufta. / Malashhenko V.V. // Opubl. 2008. Byul. # 4;11. Patent # 53354A Ukrayina, MKY` F16D41 / 06. Obginna mufta. / Kunovs'ky`j G.P., Kravec` I.Ye., Malashhenko V.O., Sorokivs'ky`j O.I. // Opubl. 15.01.2003. Byul. # 1;
12. Patent # 64104 Ukrayina, MKY` F16D43 / 00. Zapobizhna mufta. / Malashhenko V.O., Malashhenko V.V. // Opubl. 2011. Byul. #20.
13. Pat. # 43260 Ukrayina, MKY` F16D41 / 06. Obginna mufta. / Malashhenko V.O., Gashhuk P.M., Malashhenko V.V., Sorokivs'ky`j O.I. // Opubl. 2009. Byul. # 15.