

УДК 621.825.5

Малащенко В. О., д.т.н., Семенюк В. Ф., д.т.н., Борис А. О., асп.,
Матвіїв Б. Т., к.т.н.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ КУЛЬКОВОЇ ОБГІННО- ЗАПОБІЖНОЇ МУФТИ МЕХАНІЧНИХ ПРИВОДІВ

Анотація. Виконано порівняльний аналіз конструктивних характеристик кулькових обгінних муфт, вставлено недоліки та обґрунтовано можливості їх подолання впровадженням кулькових обгінно-запобіжних муфт, для одної із яких наведено конструктивні особливості, принцип роботи та проведено аналіз силової взаємодії основних елементів.

Ключеві слова: муфти; кулькові муфти; обгінні муфти; обгінно-запобіжні муфти.

Аннотация. Выполнено сравнительный анализ конструкционных характеристик шариковых обгонных муфт, установлено недостатки и обосновано возможности их исключения внедрением шариковых обгонных предохранительных муфт, для одной из которых приведено конструкционные особенности, принцип работы и проведено анализ силового взаимодействия основных элементов. Установлено основные параметры конструкции новой муфты, от которых зависит рабочее значение вращающего момента.

Ключевые слова: муфты; шариковые муфты; обгонные муфты; обгонные предохранительные муфты.

Abstract. A comparative analysis of the structural characteristics of the ball overrunning clutches is carried out, deficiencies are established and the possibility of their exclusion is introduced by the introduction of ball overrunning overload clutches, for one of which structural features, the principle of robots, and the analysis of the force interaction of the main elements are carried out. The basic parameters of the design of the new coupling, which determine the working value of the torque.

Keywords: couplings; ball couplings; overrunning clutches; overrunning safety clutches.

Постановка задачі. На основні аналізу недоліків відомих кулькових обгінних муфт радіальної та осьової дії виникла необхідність розроблення кулькових обгінно-запобіжних муфт з теоретичними розрахунками їх силових параметрів.

Теоретичні дослідження проведено з використанням основних положень механіки стосовно силової взаємодії в робочій зоні між кульками та робочими поверхнями пазів півмуфт під час здійснення характерних режимів функціонування механічного привода. Дані

© Малащенко В. О., Семенюк В. Ф., Борис А. О., Матвіїв Б. Т.

теоретичні розрахунки необхідні для наукового підтвердження роботоздатності та актуальності застосування таких муфт, що мають суттєві переваги перед вже існуючими подібними пристроями даного типу.

Виконані розрахунки запропонованої конструкції муфти є істотним підґрунтям для вивчення можливостей застосування кулькових обгінно-запобіжних муфт в механічних приводах різноманітних машин та механізмів.

Короткий аналіз літературних джерел. Відомо, що кулькові обгінні муфти на сьогодні створюють окремий клас нових пристроїв кінематичних ланцюгів механічних приводів, що передають обертальний момент тільки у одному напрямку за рахунок зачеплення кульок з півмуфтами і автоматично роз'єднують кінці валів якщо напрямок обертання стане протилежним. Таким муфтам в існуючих літературних джерелах надають все більше і більше уваги в основному тому, що під час робочого режиму кулькові обгінні муфти функціонують без ковзання [1-9]. У приведених та інших роботах приведені теоретичні та експериментальні дослідження кінематичних, конструктивно-силових параметрів кулькових обгінних муфт [10-16], які у повній мірі є базовими для продовження розробок нових кулькових обгінно-запобіжних муфт [17]. Необхідність розробки нових пристроїв диктується тим, що відомі кулькові обгінні муфти нездатні запобігати перевантажень у кінематичному ланцюгу приводів машин та механізмів.

Мета даних досліджень полягає у покращенні ефективності роботи кінематичних ланцюгів приводів машин та механізмів застосуванням кулькових обгінно-запобіжних муфт, які не тільки з'єднують та роз'єднують кінці валів автоматично, але і надійно запобігають їх перевантажень.

Виклад основного матеріалу. Беручи до уваги наведені вище відомості, доцільно наголосити, що кулькові обгінні муфти передають обертальний момент не за рахунок сил тертя, а функціонують за принципом зачеплення. Тому вони не схильні до проковзування під час перевантаження кінематичних ланцюгів, у яких вони застосовуються, а обертальний момент передають лише в одному напрямку. Цей недолік виникав необхідність у розробці нових пристроїв, які розширюють функціональність кулькових обгінних муфт. Розроблено декілька кулькових обгінно-запобіжних муфт, одна з яких запатентована [17]. Конструкція її представлена на рис. 1. Дана конструкція муфти створена на базі муфт [10-16], проте на відміну від існуючих вона істотно розширює свої функції оскільки не лише передає обертальний момент у одному напрямку та автоматично роз'єднує вали у разі зміни напрямку руху, але і запобігає дії перевантажень у механічному приводі.

Подібно до прототипу обгінно-запобіжна муфта складається із двох півмуфт, на яких виконано похилі пази так, що на ведучій півмуфті вони розташовані дзеркально відносно пазів веденої півмуфти, і виконані на взаємно обернених циліндричних поверхнях півмуфт.

Ця муфта (рис. 1) запатентована (патент України № 126111 на корисну модель) під час розробки основних положень та розв'язування поставлених задач дисертаційної роботи аспіранта Бориса А.О.

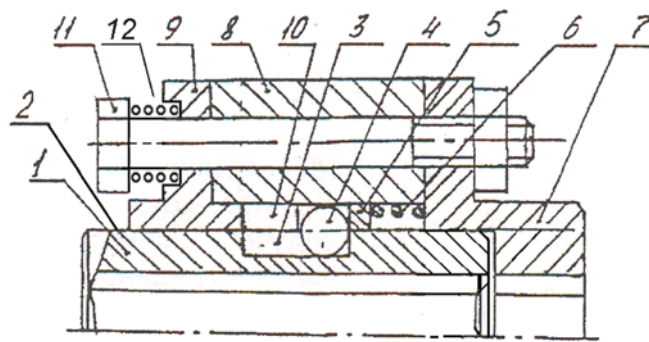


Рисунок 1 – Принципова конструкція обгінно-запобіжна муфта з пружинами під головками з'єднувальних болтів у неробочому стані

Кулькова обгінно-запобіжна муфта (рис. 1) має ведучу півмуфту 1, на зовнішній поверхні 2 якої нарізані похилі пази 3. Ведена півмуфта складається із окремих деталей 7, 8, 9, які болтовими з'єднаними 11 скріплюються в одне ціле. Під головками болтів встановлено пружини 12 з метою отримання пружного з'єднання, величина сили пружності пружин регулюється силою затягування гайок болтів, що дає змогу змінювати значення передавального муфтою обертального моменту, запобігаючи перевантажень у кінематичному ланцюгу машин та механізмів. Деталь 9 веденої півмуфти має пази 10, що похилі у протилежному напрямку ніж пази ведучої півмуфти 1. Між півмуфтами в їхніх пазах розміщено кульки 4, які натискним кільцем 5 і відносно м'якою пружиною 6 утримують кульки біля входу пазів 10 веденої півмуфти.

Процес передавання обертального моменту кульковою обгінно-запобіжною муфтою відбувається дещо подібно до відомих кулькових обгінних муфт, але вони не мають функції запобігання перевантажень елементів механічних приводів. Під час обертання ведучої півмуфти 1 за годинниковою стрілкою, якщо дивитися праворуч з лівого торця муфти, кульки 4 підпружиненим кільцем 5 заштовхуються в пази 10 веденої напівмуфти 9. Після заглиблення кульок 4 в пази 10 на величину більшу їх радіуса, боковими поверхнями пазів 3 і 10 півмуфт кульки проштовхуються до їх периферії. Коли кульки досягнуть

кінців пазів 10, вони не можуть більше рухатися ліворуч і тиснуть на ведену півмуфту, примушуючи її обертатися. Муфта буде обертатись як одне ціле та передавати обертальний момент. Цей робочий стан муфти наведено на рис. 2, де кульки 4 одночасно знаходяться в пазах 3 і 10 відповідних півмуфт.

При наростанні обертального моменту до небажаної величини, яка встановлена раніше затягуванням гайок болтів в залежності від вимог технологічного процесу, муфта переходить до нового режиму роботи, тобто запобіганню перевантажень елементів. Тепер її кульки сильніше тиснуть на ведену півмуфту, яка стискаючи регульовані пружини осьовою складовою колової сили, зміщується в осьовому напрямку ліворуч і виходить із зачеплення з кульками, які знаходяться в пазах тільки ведучої півмуфти. Півмуфти розчіплюються і не передають підвищений за величиною обертальний момент. Цим виконується функція запобігання кінематичного ланцюга від дії перевантаження. Таким режимом роботи не володіє жодна із відомих кулькових обгінних муфт. Тобто пропонується розширити функції цього класу муфт.

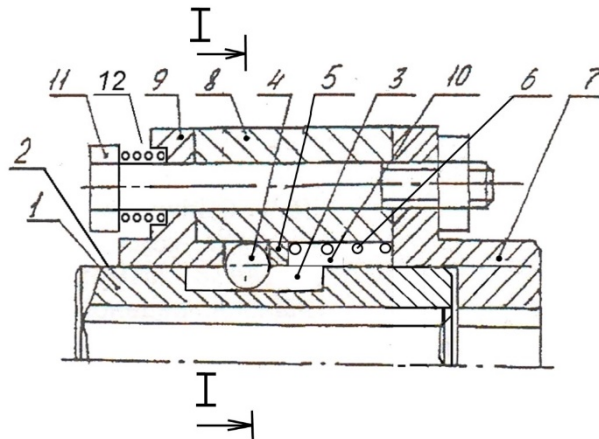


Рисунок 2 – Обгінно-запобіжна муфта з пружинами під головками з'єднувальних болтів у робочому стані

Робочий стан муфти від інших вирізняється тільки тим, що її кульки одночасно знаходяться в пазах обох півмуфт і сприяють обертанню як одне ціле. Незначним недоліком запатентованої муфти є легкий стукіт кульок, що вийшли із пазів веденої півмуфти. Це створює певний сигнал, що кінематичний ланцюг перевантажений. Стукіт припиняється при зменшенні навантаження у приводі, при цьому кульки автоматично переходять до робочого стану, з'єднавши півмуфти. У разі неможливості зменшення величини навантаження, необхідно зупинити механізм та усунути причину перевантаження. Цього можна уникнути застосовуючи принципово нову кулькову обгінно-запобіжну муфту осьової дії, яка може запобігати дії

перевантажень без зупинки чи зміни кутової швидкості кінематичного ланцюга.

При обертанні ведучої півмуфти 1 (рис. 2) у зворотному напрямку кульки боковими поверхнями пазів виштовхуються праворуч, залишаються тільки в пазах ведучої півмуфти і кінці валів автоматично роз'єднуються. Муфта переходить в режимі холостого ходу і обертальний момент до веденої півмуфти у зворотному напрямку не передає. Тобто запропонована муфта може передавати обертальний момент тільки в одному напрямку, та автоматично роз'єднувати вали як при зміні напрямку обертання так і при зростанні обертального моменту до небажаної величини. Величина максимального обертального моменту визначається технологічним процесом привода та установлюється регулюючими пружинами 12, що повністю виключає перевантаження всіх деталей машин та механізмів, що мають такі муфти. Отже запропонована муфта збільшує функціональні можливості, та значно надійніша за аналогічні пристрої, що описані у [10-16].

Обґрунтування силової взаємодії елементів кулькової обгінно-запобіжної муфти на даному етапі зводиться до теоретичного визначення колової сили, що діє на кульку з боку робочої поверхні пазів ведучої півмуфти, її осьової складової та кількісного аналізу залежності максимального обертального моменту від характеристик пружних елементів.

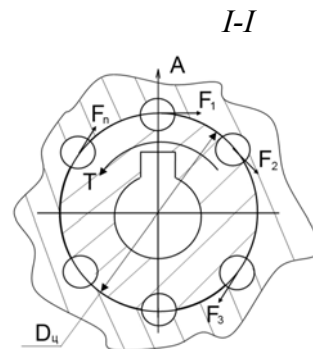


Рисунок 3 – Силова взаємодія в перерізі $I-I$ кульок та пазів півмуфт

На рис. 3 наведено перерізі $I-I$ кульок та пазів півмуфт, де робочий обертальний момент зрівноважується коловими силами, що діють на кульки, а на рис. 4 – вигляд A на кульку рис. 3, де видно колова сила F_t та її складові: F_n - нормальна і F_a - осьова.

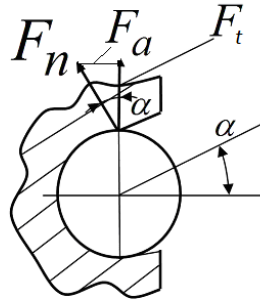


Рисунок 4 – Схема дії колових сил у обгінно-запобіжній муфті

Під час передавання обертального моменту з боку ведучої півмуфти на кульки діє колова сила, що є теоретично направлена за дотичною до кола їхніх центрів рис. 3, дорівнює:

$$F_{(1)} = \frac{2TK}{D_y i},$$

де T - номінальний обертальний момент, D_y - діаметр кола центрів кульок, i - кількість кульок, K - коефіцієнт нерівномірності навантаження внаслідок допусків на виготовлення деталей. F_t є рушійною силою тільки під час передавання номінального обертального моменту, а її осьова складова F_a використовується як рушійна сила для роз'єднання кінематичного ланцюга привода. Під час передавання робочого обертального моменту величини осьової складової є недостатньо для стискання пружин 12 (рис. 2) і муфта обертається як одне ціле.

Необхідна величина осьової сили під час стискання пружин та роз'єднання півмуфт визначається за максимально допустимим обертальним моментом T_{max} та кутом нахилу пазів півмуфт до їх твірних рис. 4.

У цьому випадку колова сила при дії максимально допустимого обертального моменту буде

$$F_{tmax} = \frac{2T_{max}K}{D_y i}. \quad (2)$$

Тоді її осьова складова рис. 4 визначається:

$$F_{avax} = \frac{2T_{max}K}{D_y i} \operatorname{tg} \alpha, \quad (3)$$

де α – кут нахилу пазів півмуфт (рис. 4).

Знаючи максимальну величину осьової сили, що необхідна для роз'єднання механічного привода, можна вибрати пружини обгінно-запобіжної муфти з умови:

$$F_n \leq F_{a \max} , \quad (4)$$

де F_n – сила пружності пружини, що визначається за відомою формулою

$$F_n = \frac{Gd_n^4 \lambda}{8D_n^3 i_n} ,$$

де $G = 8 \cdot 10^4$ МПа – модуль пружності другого роду матеріалу пружини; d_n – діаметр дроту з якого виготовляються пружини; D_n – середній діаметр пружини; i_n – кількість пружин; λ – необхідна для роз'єднання механічного ланцюга деформація пружини. Її номінальна величина у цьому випадку має дорівнювати діаметру кульок.

Із умови (4) маємо

$$\frac{Gd_n^4 \lambda}{8D_n^3 i_n} = \frac{2T_{\max} K}{Di} \operatorname{tg} \alpha . \quad (5)$$

Рівняння (5) має граничне значення, що уможлиблює у будь-якому разі запобігання дії перевантажень. Знаючи максимально допустиму величину обертального моменту можна вибрати конструктивні параметри чи кількість пружин та величину їх затягування.

Враховуючи умову $\lambda = d$ – діаметр кульок максимальний обертальний момент запишеться:

$$T_{\max} = \frac{Gd_n^4 d Di}{16D_n^3 i_n K \operatorname{tg} \alpha} , \quad (6)$$

де $G = 8 \cdot 10^4$ МПа. – модуль пружності другого роду пружинної сталі.

Отримано рівняння (6) для зручного проведення кількісного аналізу залежності максимального обертального моменту від основних характеристик параметрів кулькових обгінно-запобіжних муфт. Воно має ознаки універсальності, яка підтверджується тим, що для будь-яких габаритів муфт цього типу, знаючи їх конструктивні параметри, можна вибрати характеристики та кількість пружин, які забезпечують надійне запобігання перевантажень кінематичних ланцюгів, що істотно підвищує надійність їх роботи.

Для проведення кількісного аналізу залежності максимального обертального моменту від діаметру дроту пружин, діаметру самої

пружини та осьової її деформації в рівняння (6) зручно підставити значення модуля пружності другого роду для сталі та записати так

$$T_{\max} = \frac{5 \cdot 10^3 d_n^4 dDi}{D_n^3 i_n Ktg\alpha}. \quad (7)$$

Загальні графіки цих залежностей наведено на рис. 5. Із графіків видно, що найбільший вплив на збільшення робочого обертового моменту має діаметр елемента, із якого виготовлена регулювальна пружина. Збільшення діаметру дроту пружини у 2 рази проводить до збільшення передавального обертового моменту в 16 разів. Збільшення діаметру пружини у 3 рази проводить до збільшення передавального обертового моменту в 9 разів. Дещо менший вплив на збільшення робочого обертового моменту має осьова деформація пружини (рис. 5).

Вплив решти конструктивних параметрів на величину допустимого обертового моменту видно із аналітичної залежності (6) і (7).

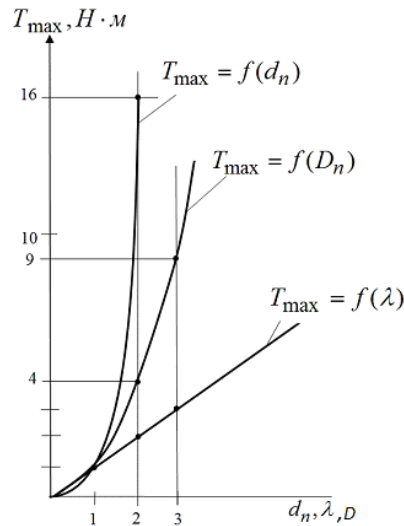


Рисунок 5 – Залежність максимального обертового моменту від діаметру дроту пружини, її осьової деформації та середнього діаметру пружини

Висновки:

1. На основі результатів проведеного аналізу відомих літературних джерел обґрунтовано концепцію необхідності покращення функціонування механічних приводів запровадженням

нових конструкцій кулькових обгінно-запобіжних муфт, одну із яких синтезовано, запатентовано та проаналізовано принцип її роботи.

2. Отримані аналітичні залежності уможливають проведення досліджень процесів надійного передавання обертальних робочих моментів без проковзування та надійного автоматичного запобігання перевантажень кінематичних ланцюгів механічних приводів машин та механізмів.

3. Побудовані графіки мають суттєве практичне значення, вони збільшують наочність степеня залежності величини обертальних моментів від основних чинників кулькових обгінно-запобіжних муфт, що має велике як під час їх проектування так і експлуатації для різних галузей машинобудування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Борис А.О. Конструкція та принцип роботи кулькової обгінної муфти транспортного засобу // Підйомно-транспортна техніка. Одеса – 2017. – С. 81-85.

2. A. Borys, V. Malaschchenko, V. Yankiv. «Влияние динамических явлений на нагрузку элементов приводов с шариковой обгонной муфтой» MOTROL Commission of motorization and energetics in agriculture Lublin-Rzeszow-2016. – С. 2-7.

3. Борис А.О. Малащенко В.О. Кириченко І.І . Тертя під час вимикання кулькових обгінних муфт. // 13-й міжнародний симпозиум українських інженерів механіків у Львові. Львів. 2017.– С. 123-124.

4. Борис А.О., Малащенко В.О., Федик В.В., «Force interaction in the elements of clutch with parallel grooves in driven half . sleeve.», Вісник НУ "Львівська політехніка". Динаміка, міцність та проектування машин і приладів, 2015. – С. 106 – 110.

5. Гомішін Я., Малащенко В.О., Сороківський О.І. Volnobeznagulekova spojka. Журнал “StrojarstvoStrojirenstvi”, № 12, 2001 (Словаччина).

6. Малащенко В.О., Гащук П.М., Сороківський О.І., Малащенко В.В. Кулькові механізми вільного ходу. – Львів. Новий Світ-2000, 2012. – 212с.

7. Малащенко В.О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків. – Львів. НУ ЛП, 2006. – 196 с. і 2009. – 216с. (2-е видання).

8. Malaschtchenko V, Homuschin J, Sorokivskiy O. Vol'nobezna qulbekova spojka. Strojarstvo Srojirenstvi, № 12, 2001. – С.56 ... 58 (Slovinsko).

9. Malaschtchenko V, Sorokivskiy O. The Selection of Parameters of a Coaster Ball clutch and Recommendation for its Construction.

Transactions of the Universities of Kosic1, № 2, 2002. – С. 1 – 6 (Slovinsko).

10. Пат. 66514А Україна, МКИ F16D41/04. Запобіжна муфта./ Гащук П.М., Малащенко В.В., Сороківський О.І. // Опубл. 2004. Бюл. №5.

11. Пат. № 77435 Україна, МКИ F16D41/04. Запобіжна муфта. / Гащук П.М., Малащенко В.В., Сороківський О.І. // Опубл. 2006. Бюл. №12.

12. Пат. № 30362 Україна, МКИ F16D41/06. Обгінна муфта. /Малащенко В.В. // Опубл. 2008. Бюл. № 4.

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.

14. Пат. 28884А Україна, МКИ F16D41/06. Кулькова муфта вільного ходу. Малащенко В.О., Сороківський О.І. Опубл. 29.123.99. Бюл. № 8.

15. Пат. 29068А Україна, МКИ F16D41/06. Конічна обгінна муфта. Малащенко В.О., Петренко П.Я., Сороківський О.І. Опубл. 29.123.99. Бюл. № 8.

16. Пат. 32809А Україна, МКИ F16D41/06. Обгінна муфта. Малащенко В.О., Петренко П.Я., Сороківський О.І. Опубл. 29.123.99. Бюл. № 8.

17. Борис А.О. Патент України "Обгінно-запобіжна муфта" №126111. 2018. – 6 с.