

УДК 621.825.5

Малашенко В.О. д.т.н.; Мартинців М.П. д.т.н.;

Малашенко В.В. к.т.н.

ВПЛИВ ТЕРТЯ НА ВЕЛИЧИНУ ПЕРЕДАВАЛЬНОГО МОМЕНТУ КУЛЬКОВОЇ ОБГІННОЇ МУФТИ СТАРТЕРА АВТОМОБІЛІВ

Постановка проблеми. Відомо, що у стартерах двигунів внутрішнього згорання традиційно застосовуються роликові муфти вільного ходу, що передають потужність за рахунок тертя. Такі механізми схильні до проковзування [1-6], а під час перевантажень або взимку, коли з боку колінчастого вала підвищений опір, часто має місце їхнє буксування. Ця проблема підштовхнула до розробки механізмів вільного ходу, які передають обертальний момент за принципом зачеплення кульок з боковими поверхнями пазів ведучої та веденої півмуфт [7-11]. Існуючі дослідження нових механізмів виконані без урахування тертя між контактуючими деталями. Це привело до деяких збільшених остаточних результатів, що впливає на габарити притискної пружини та не точності роз'єднання валів після вимкнення електродвигуна стартера автомобіля.

Метою даної роботи є проведення досліджень впливу сил тертя на величину обертального моменту в запропонованих кулькових механізмах вільного ходу, які передають потужність за принципом зачеплення кульок з боковими поверхнями пазів півмуфт.

Виклад основного матеріалу. У даній роботі проводиться аналіз однієї із запатентованих муфт [9]. Принципова її конструкція наведена на рис. 1. На перший погляд вона подібна до традиційної роликової муфти, але має такі переваги: простіша технологія виготовлення та експлуатація; не вимагає ретельного оброблення робочих поверхонь півмуфт; передає обертальний момент за рахунок зачеплення; менші габарити при однакових навантаженнях. До недоліків можна віднести: підвищені вимоги до співпадиння кінців пазів півмуфт; їх нахил необхідно погоджувати з бажаним напрямом передавання потужності.

Конструкція цієї муфти складається із: 1 – ведучої півмуфти, що має фланець 2 з похилими пазами 3; 4 – веденої півмуфти, на циліндричній поверхні 5 якої нарізані пази 6 протилежного нахилу; 7 – кульок, що розміщені в цих пазах; 8 – натискного кільця, що спирається на пружину 9; 10 – корпусу зі стопорним кільцем 11. Ведена півмуфта включає в себе привідну шестірню 12, а ведуча – внутрішні похилі пази для з'єднання з валиком

ротора електродвигуна стартера. При цьому параметри шестірні та внутрішніх пазів ведучої півмуфти погоджуються з стандартним стартером.

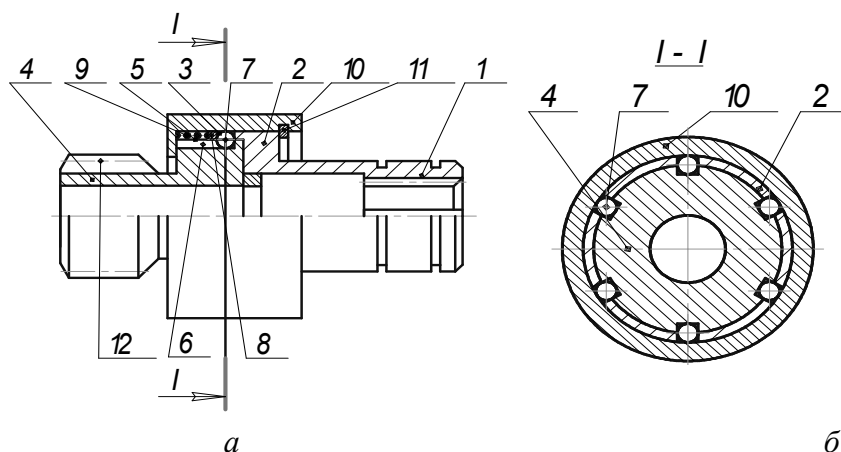


Рисунок 1 - Конструкція кулькової обгінної муфти стартера автомобілів: *а* – загальний вигляд; *б* – переріз *I-I* загального вигляду муфти

На початку наголосимо, що повний цикл функціонування кулькової муфти, подібно до традиційних роликкових, можна також поділити на чотири характерні етапи: вкочування кульок в пази веденої півмуфти; повне зачеплення кульок пазами веденої півмуфти (робочий хід); викочування кульок з пазів веденої півмуфти; проковзування кульок по торцю веденої півмуфти (холостий хід).

Той чи інший стан муфти залежать від розташування кульок в пазах півмуфт. Приміром, якщо кульки займають крайнє ліве положення (рис. 1,*а*), то передача муфтою обертального моменту неможлива. Кульки знаходяться в пазах тільки веденої півмуфти та проковзують по торцю ведучої півмуфти. Це холостий режим, муфта функціонує як звичайний підшипник.

Такий стан муфти відбувається тоді, коли ведуча півмуфта змінить напрям руху чи зупиниться, а ведена - продовжує рухатись. Це відбувається, наприклад, під час запуску двигуна внутрішнього згорання, коли зубчастий вінець маховика почав обертатися і став ведучим, а електродвигун стартера вимкнено. Час знаходження муфти в такому стані визначається терміном виходу шестірні із зачеплення з зубчастим вінцем маховика колінчастого вала основного двигуна.

Термін вкочування кульок в пази веденої півмуфти є також коротким і відбувається без зовнішнього навантаження, після чого муфта переходить до робочого стану. По вмиканні електродвигуна

стартера ведуча півмуфта обертається за годинниковою стрілкою (див. на лівий її торець) і при збіжності пазів кульки зчіплюють півмуфти. Відтак за рахунок зачеплення кульок з півмуфтами відбувається надійне передавання обертального моменту від ротора електродвигуна стартера до маховика колінчастого вала основного двигуна (муфта знаходиться у робочому стані), що приводить до навантаження робочих поверхонь як кульок так і півмуфт. Для проведення розрахунків на міцність елементів муфти та установлення їхньої навантажувальної здатності необхідно установити силову взаємодію між кульками та поверхнями пазів півмуфт.

На рис.2 наведено схеми сил, що діють на кожну кульку під час її руху, коли вона в процесі вимикання муфти перебуває ще в межах пазу веденої півмуфти, без урахування тертя (рис. 2,а) та у разі виникнення тертя між кулькою та боковими робочими гранями пазів (рис. 2,б).

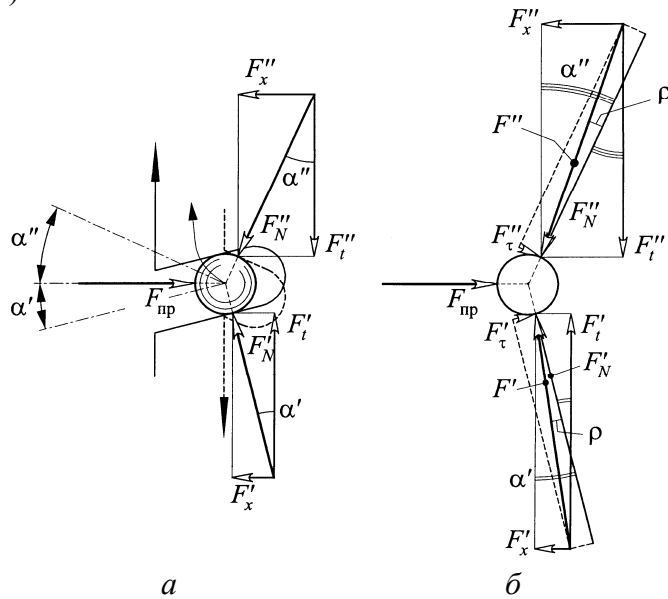


Рисунок 2 — Схеми сил, що діють на кульку в межах пазу веденої півмуфти у разі вимикання муфти за відсутності (а) та наявності (б) тертя

Із рис. 2 очевидними є співвідношення сил:

$$F''^2 = F_N''^2 + F_\tau''^2 = F_x''^2 + F_t''^2; \quad F'^2 = F_N'^2 + F_\tau'^2 = F_x'^2 + F_t'^2; \quad F_t' = F_t'' = F_t; \\ F_x' + F_x'' = F_{np}; \quad (1)$$

$$\frac{F'_\tau}{F'_N} = \frac{F''_\tau}{F''_N} = \mu = \operatorname{tg} \rho; \quad \frac{F'_x}{F'} = \sin(\alpha' - \rho); \quad \frac{F''_x}{F''} = \sin(\alpha'' - \rho);$$

$$\frac{F'_x}{F'_t} = \operatorname{tg}(\alpha' - \rho); \quad \frac{F''_x}{F''_t} = \operatorname{tg}(\alpha'' - \rho).$$

Із рівнянь (1) визначається важлива рівність

$$F_t = \frac{F_{i0}}{\operatorname{tg}(\alpha' - \rho) + \operatorname{tg}(\alpha'' - \rho)}. \quad (2)$$

У разі $\alpha' = \alpha'' = \alpha$ рівняння (2) істотно спрощується

$$F_t = \frac{F_{i0}}{2\operatorname{tg}(\alpha - \rho)}. \quad \text{Б} \quad (3)$$

Тут F' , F'' — сумарні сили, що діють на кульку з боку півмуфти.

Між напрямом сили F''_N , що діє на кульку у період огинання нею крайки a веденої півмуфти, та відповідною деформацією притискної пружини існує такий зв'язок

$$\lambda_x = (1 + \sin \beta) \frac{d}{2}, \quad (4)$$

де $\beta > \alpha''$ — кут, який саме і визначає напрям дії сили F''_N , λ_x — осьова деформація пружини. Умовно можна вважати, що кулька перебуває в пазу веденої півмуфти, доки виконуються умови: $\beta \leq \alpha''$ і $\lambda_x \leq \lambda_0 = (1 + \sin \alpha'') d / 2$.

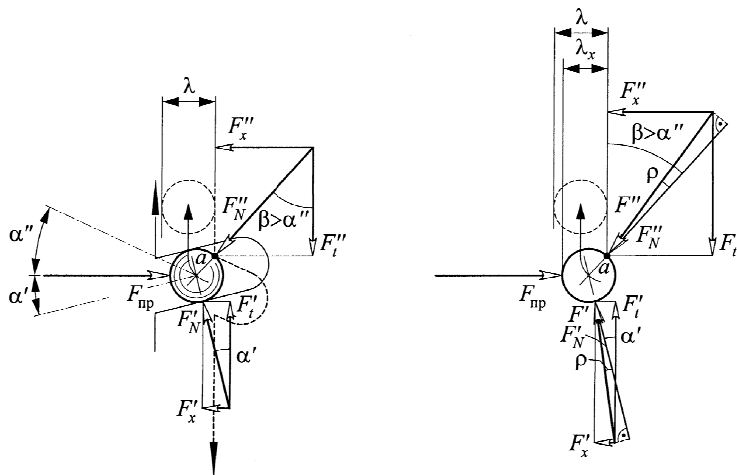


Рисунок 3— Схеми сил, що діють на кульку у разі вимикання муфти, коли кулька полишає паз веденої півмуфти за відсутності (а) та наявності (б) тертя

Для процесу вимикання муфти чинними є співвідношення (рис.3)

$$F''^2 = F_x''^2 + F_t''^2; \quad F'^2 = F_x'^2 + F_t'^2; \quad F_t' = F_t'' = F_t; \quad F_x' + F_x'' = F_{np};$$

$$\frac{F_x'}{F'} = \sin(\alpha' - \rho); \quad \frac{F_x''}{F''} = \sin(\beta - \rho); \quad \frac{F_t'}{F_t} = \operatorname{tg}(\alpha' - \rho); \quad \frac{F_t''}{F_t} = \operatorname{tg}(\beta - \rho). \quad (5)$$

Із (5), зокрема, впливає цілком подібний до попереднього вираз

$$F_t = \frac{F_{i0}}{\operatorname{tg}(\alpha' - \rho) + \operatorname{tg}(\beta - \rho)}. \quad (6)$$

Якщо позначити колову силу, що виникає за наявності тертя, через F_t , а ту саму силу, що виникає за відсутності тертя, — через F_t^0 , то на підставі (2), (3) і (5) можна встановити такі залежності: при перебуванні кульки в пазу веденої півмуфти (коли $\beta \equiv \alpha'' = \text{const}$)

$$\frac{F_{i0}}{\operatorname{tg}(\alpha' - \rho) + \operatorname{tg}(\alpha'' - \rho)} = F_t > F_t^0 = \frac{F_{i0}}{\operatorname{tg}\alpha' + \operatorname{tg}\alpha''}, \quad (7)$$

а в процесі полишення нею паза (коли $\beta = \text{var} > \alpha''$)

$$\frac{F_{i0}}{\operatorname{tg}(\alpha' - \rho) + \operatorname{tg}(\beta - \rho)} = F_t > F_t^0 = \frac{F_{i0}}{\operatorname{tg}\alpha' + \operatorname{tg}\beta}. \quad (8)$$

Тобто встановлено, що колова сила (а отже й обертальний момент) із врахуванням тертя зростають, і чим значущішим буде тертя, тим більшою виявиться колова сила за однакових інших умов.

Ураховуючи, що $\operatorname{tg}\rho = \mu$, останні вирази можна подати у вигляді

$$F_t = \frac{F_{i0}}{\frac{\operatorname{tg}\alpha' - \mu}{1 + \mu\operatorname{tg}\alpha'} + \frac{\operatorname{tg}\alpha'' - \mu}{1 + \mu\operatorname{tg}\alpha''}} (\beta \equiv \alpha''); \quad F_t = \frac{F_{i0}}{\frac{\operatorname{tg}\alpha' - \mu}{1 + \mu\operatorname{tg}\alpha'} + \frac{\operatorname{tg}\beta - \mu}{1 + \mu\operatorname{tg}\beta}}. \quad (9)$$

Унаслідок прояву тертя колова сила $F_t(\lambda)$, що виникає у мить повного вимикання обгінної муфти вже не може дорівнювати нулю. За прийнятих припущень вона визначається як

$$F_t(\lambda) = \lim_{\beta \rightarrow \pi/2} F_t = \frac{F_{i0}(\lambda)}{\frac{\operatorname{tg}\alpha' - \mu}{1 + \mu\operatorname{tg}\alpha'} + \frac{1}{\mu}}. \quad (10)$$

Беручи до уваги тертя між кульками та поверхнями пазів, поклавши $\mu = 0,1$, дістанемо дещо іншу характеристику $F_t(l)$ (ламана лінія abc), ординати якої мають помітно більші значення за $-F_t^0(l)$ (ламана лінія $a^0b^0c^0$, що побудована без врахування тертя). Характерним є і те, що точка c лінії abc (відповідна режиму вільного ходу) не лежить на осі абсцис Ol на противагу точці c^0 лінії $a^0b^0c^0$ такого самого змісту, але без врахування тертя.

Тепер легко можна проаналізувати ступень впливу тертя на силові параметри муфти. Для цього достатньо зіставити співвідношення (8) і (9), тобто поділити одне на друге і записати так.

$$\frac{F_t}{F_t^0} = \frac{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta}{\frac{\operatorname{tg} \alpha - \mu}{1 + \mu \operatorname{tg} \alpha} + \frac{\operatorname{tg} \beta - \mu}{1 + \mu \operatorname{tg} \beta}} \quad (11)$$

Із рівняння (11) видно, що на відношення зусиль F_t і F_t^0 істотно впливають кути нахилу пазів півмуфт і дещо у меншій мірі коефіцієнт тертя. Співвідношення між теоретично можливими силами $F_{t \max} / F_{t \max}^0$ набуває значення 1,5... 1,7.

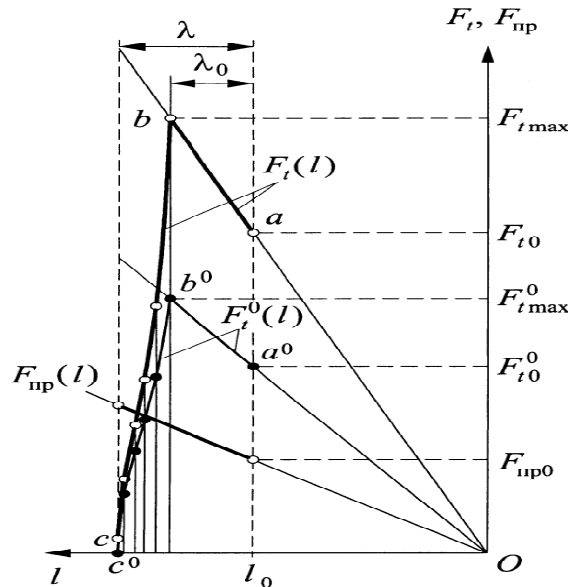


Рисунок 4 — Зміна характеристики обгінної муфти унаслідок прояву тертя

Величина сили F_t набуває максимального значення $F_{t \max}$ у разі рівності правих частин рівнянь (9), тобто за дотримання формальної умови $\beta = \alpha''$. Відтак, можна стверджувати, що муфта пересилатиме максимальний момент у мить, коли настане рівність $\beta = \alpha''$ та коли відповідно до рівняння (4) додаткова деформація пружини досягне значення

$$\lambda_x = \lambda_0 = (1 + \sin \alpha'') \frac{d}{2} \quad (12)$$

У разі загальної деформації $l = l_0 + \lambda_0$ пружина створюватиме притискну силу

$$F_{i\delta}^*(l) = \frac{Gd_a^4(l_0 + \lambda_0)}{8D^3i_\delta} \quad (13)$$

де l — загальна осьова деформація пружини, l_0 — попереднє стискання пружини, G — модуль пружності при зсуві матеріалу пружини, d_d — діаметр дроту, з якого виготовлена пружина, D — середній діаметр пружини, i_p — кількість робочих витків пружини.

На підставі (10), (11) матимемо співвідношення

$$F_{i\max} = \frac{Gd_a^4}{8D^3i_\delta} \frac{l_0 + (1 + \sin \alpha'') \frac{d}{2}}{\frac{\operatorname{tg} \alpha' - \mu}{1 + \mu \operatorname{tg} \alpha'} + \frac{\operatorname{tg} \alpha'' - \mu}{1 + \mu \operatorname{tg} \alpha''}}. \quad (14)$$

Отже максимальний обертальний момент, при якому запобіжна кулькова обгінна муфта спрацює (вимикається), слід визначати за формулою (див. (3.2.2))

$$\begin{aligned} T_\delta &= \frac{K_i D_0}{2} F_{i\max} = \frac{K_i D_0 G d_a^4}{32 D^3 i_\delta} \frac{2l_0 + (1 + \sin \alpha'') d}{\frac{\operatorname{tg} \alpha' - \mu}{1 + \mu \operatorname{tg} \alpha'} + \frac{\operatorname{tg} \alpha'' - \mu}{1 + \mu \operatorname{tg} \alpha''}} \\ &= \frac{K_i D_0 G d_a^4}{32 D^3 i_\delta} \frac{2l_0 + (1 + \sin \alpha'') d}{\operatorname{tg}(\alpha' - \rho) + \operatorname{tg}(\alpha'' - \rho)} = \\ &= k_\delta \frac{2l_0 + (1 + \sin \alpha'') d}{\frac{\operatorname{tg} \alpha' - \mu}{1 + \mu \operatorname{tg} \alpha'} + \frac{\operatorname{tg} \alpha'' - \mu}{1 + \mu \operatorname{tg} \alpha''}} = k_\delta \frac{2l_0 + (1 + \sin \alpha'') d}{\operatorname{tg}(\alpha' - \rho) + \operatorname{tg}(\alpha'' - \rho)}, \quad (15) \end{aligned}$$

де K_i — коефіцієнт, що враховує можливу нерівномірність розподілення навантаження між кульками; D_0 — діаметр кола центрів кульок;

$$k_p = K_i \frac{G D_0 d_d^4}{32 D^3 i_p}.$$

Для однакових кутів нахилу, коли $\alpha' = \alpha'' = \alpha$, вираз (15) істотно спрощується і набуває вигляду

$$T_\delta = k_\delta \frac{2l_0 + (1 + \sin \alpha) d}{2 \frac{\operatorname{tg} \alpha - \mu}{1 + \mu \operatorname{tg} \alpha}} = k_\delta \frac{2l_0 + (1 + \sin \alpha) d}{2 \operatorname{tg}(\alpha - \rho)}. \quad (16)$$

У разі $\mu \rightarrow 0$ новий вираз зводиться до подібного вигляду, який наведено в [6], що підтверджує його достовірність

$$\frac{T_\delta}{k_\delta} = \frac{l_0 + (1 + \sin \alpha) \frac{d}{2}}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (17)$$

Висновки. 1. Проведені аналітичні дослідження дозволили встановити основні чинники, що впливають на величину передавального моменту у новій кульковій обгінній муфті, яка запатентована і принцип її роботи апробований у реальних експлуатаційних умовах [6].

2. Отримані теоретично співвідношення уможливають проведення кількісного аналізу стосовно впливу тертя на значення силових характеристик важливої частини стартерів автомобілів і других транспортних засобів, що мають основні двигуни внутрішнього згорання.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 2278 – 93. Муфти механічні. Терміни на визначення.
2. Иванов М.Н. Детали машин. – М.: Высш. шк., 1991. – 383 с.
3. Малащенко В.О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків. – Львів. НУ ЛП, 2006. – 196 с.
4. Malascenko V. Sorokivskij O. The selektion of Parametr of a Coaster Ball Clutch and Rekomendation for its Konstruktion. Transaktions of the Universities of Kosise. - 2002. - № 2. – С. 1 – 6.
5. Раховский О.А., Иванов С.С. Справочник по муфтам. – Л.: Политехника, 1991. – 383 С.
6. Малащенко В.В. Підвищення ефективності роботи механізмів вільного ходу застосуванням кулькових муфт // Дис. канд. техн. наук. 2010. -146с.
7. Патент № 66514А Україна, МКИ F16D41/04. Запобіжна муфта./ Гашук П.М., Малащенко В.В., Сороківський О.І. // Опубл. 2004. Бюл. №5.
8. Патент № 77435 Україна, МКИ F16D41/04. Запобіжна муфта. / Гашук П.М., Малащенко В.В., Сороківський О.І. // Опубл. 2006. Бюл. №12.
9. Патент № 30362 Україна, МКИ F16D41/06. Обгінна муфта. /Малащенко В.В. // Опубл. 2008. Бюл. № 4.
10. 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.
11. Патент № 64104 Україна, МКИ F16D43/00. Запобіжна муфта. / Малащенко В.О., Малащенко В.В. // Опубл. 2011. Бюл. №20.