

В.О. Малащенко, П.С. Коруняк*, І.О. Ніщенко*
Національний університет “Львівська політехніка”,
* Львівський державний аграрний університет

ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК МУФТИ ІЗ ЗІРКОПОДІБНИМ ПРУЖНИМ ЕЛЕМЕНТОМ

© Малащенко В.О., Коруняк П.С., Ніщенко І.О., 2008

Запропоновано принципову схему муфти із зіркоподібним металевим пружним елементом. Проаналізовано роботу муфти та визначено напруження, що виникають у пружному елементі.

The chart of clutch is offered with a star-shaped metallic resilient element. Work of the given clutch is analyzed and tensions, which arise up in a resilient element, are certain.

Постановка проблеми. Основним призначенням муфт є передавання обертального руху і моменту з одного вала механізму на інший. Проте, поряд із кінематичним і силовим зв'язком окремих частин машини, муфти виконують ще такі функції, як компенсація неспіввісності валів, амортизація під час вібрації, поштовхів та ударів, запобігання перевантаженням і швидке роз'єднання елементів машини та інше [3].

Різновид інженерно-технічних задач, які доводиться розв'язувати в машинобудуванні та в споріднених галузях виробництва, вимагає використовувати не тільки стандартні муфти, але розробляти нові багатофункціональні пристрої.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значно поширені в техніці пружні муфти. Як вказує сама назва, характерним елементом цих муфт є ланка, особливістю якої є пружна деформація. Завдяки цьому вони допускають кутові відносні переміщення, які сприяють плавній роботі машини та запобігають появі резонансних крутних коливань. Крім того, цей тип муфт не вимагає точної співвісності з'єднаних кінців валів.

У машинобудуванні використовується велика кількість пружних муфт різноманітної конструкції [1, 2, 4]. За матеріалом пружних елементів ці муфти поділяються на дві групи: муфти з металевими і неметалевими пружними елементами, перші з яких залежно від своїх характеристик бувають з постійною і змінною жорсткістю.

Крім перерахованих особливостей, пружні муфти можуть використовуватися як запобіжні пристрої, в яких пружний елемент, розрахований на передавання певного крутного моменту, під час перевантажень у більшості конструкцій руйнується.

Постановка завдання. Метою цих досліджень є розроблення принципової схеми та конструкції нової муфти з пружним металевим елементом з компенсаційними і запобіжними функціями без руйнування останнього під час перевантаження.

Виклад основного матеріалу. Проналізувавши конструкції та роботу пружних муфт з металевими елементами, нами запропоновано конструктивну схему муфти із зіркоподібною плоскою пружиною (рис. 1). Ця муфта розрахована на передавання невеликих крутних моментів і залежно від кріплення проміжної пружини може виконувати функції пружної або пружно-запобіжної муфти. Пружина є слабшою ланкою муфти, тому вона є об'єктом дослідження у цій роботі. На початку її зводимо до окремих елементів, що мають аркоподібну форму, причому під час

розрахунків припускаємо, що один кінець умовно зачеплений, а до іншого прикладаються дві реакції та обертальний момент. Зрозуміло, що такі припущення необхідні тому, що ця частина пружини знаходиться у складному напружено-деформованому стані (5).

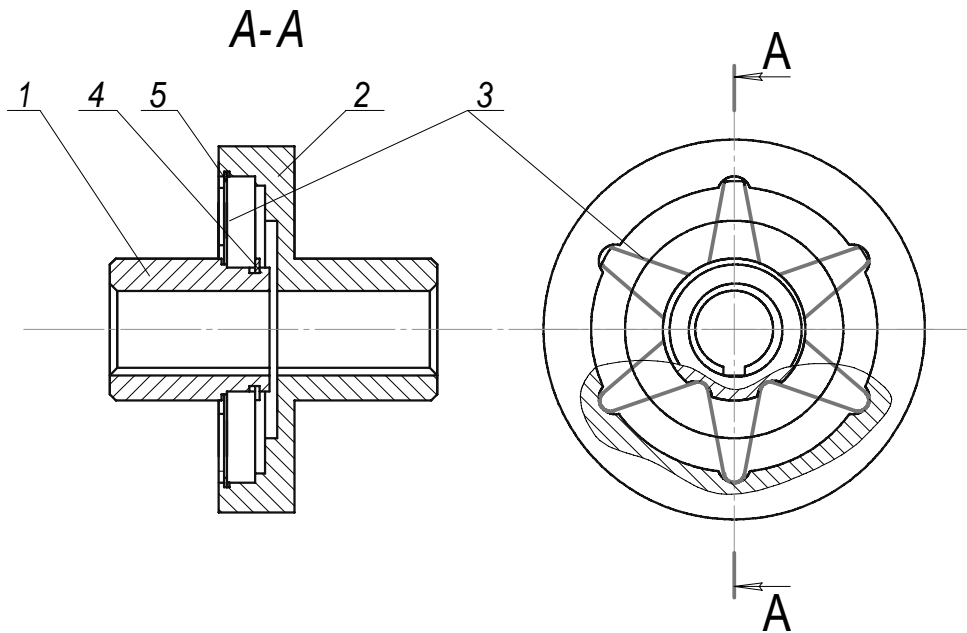


Рис. 1. Конструктивна схема муфти із зіркоподібною плоскою пружиною:
1, 2 – напівмуфти; 3 – пружний елемент; 4, 5 – стопорні кільця

Розглянемо напруження, які виникають у пружині під час роботи муфти. Нехай одна з частин пружного елемента муфти має вигляд, як зображено на рис. 2. Для знаходження напружень у цьому елементі і переміщень деяких характерних його точок розраховуємо арку, кінці якої жорстко зачеплені. На цю арку діє сила

$$F = 2T/d, \quad (1)$$

де T – момент, який передає муфта; d – діаметр кола точок доторкання пружини із зовнішньою напівмуфтою.

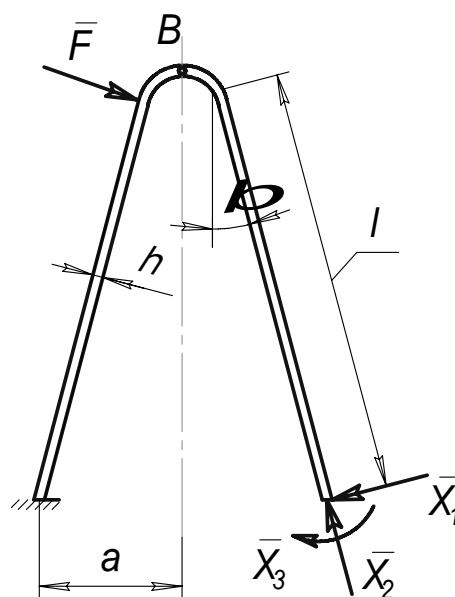
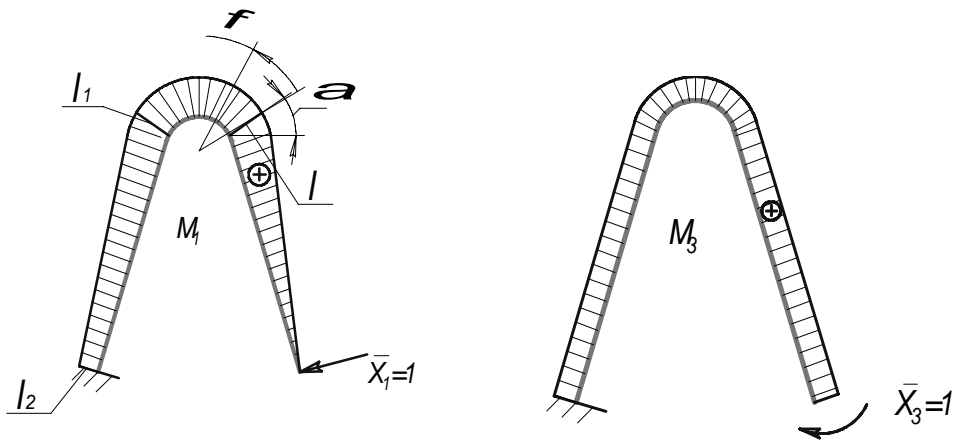


Рис. 2. Розрахункова схема пружного елемента

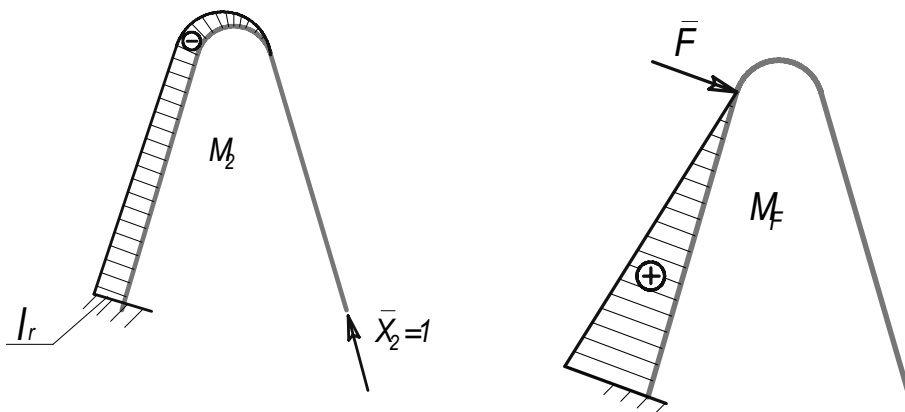
Виберемо основну систему, як показано на рис. 2, тобто умовно відкинемо праву опору, а її дію замінимо силами X_1 , X_2 і опорним моментом X_3 . За методом сил невідомі X_1 , X_2 і X_3 знаходимо з системи лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{aligned} \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \delta_{13}X_3 + \Delta_{1F} &= 0; \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \delta_{23}X_3 + \Delta_{2F} &= 0; \\ \delta_{31}X_1 + \delta_{32}X_2 + \delta_{33}X_3 + \Delta_{3F} &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Для обчислення коефіцієнтів δ_{ij} і вільних членів Δ_{iF} ($i, j = 1, 2, 3$) необхідно побудувати епюри згинальних моментів від одиничних сил ($X_1=1$; $X_2=2$; $X_3=3$) і від заданого зовнішнього навантаження F (рис.3):



$$\begin{aligned} M_1(X_1) &= x, \quad 0 \leq x \leq l; \quad M_1(\varphi) = l \sin \varphi, \quad 0 \leq \varphi \leq \pi - 2\alpha; \\ M_1(X_4) &= l + r \sin(2\alpha) - x_4 \cos(2\alpha), \quad 0 \leq x_4 \leq l; \\ l_1 &= l + r \sin 2\alpha, \quad l_2 = l_1 - l \cos 2\alpha. \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} M_2(X) &= 0, \quad 0 \leq x \leq l; & M_F(X_4) &= Fx_4, \quad 0 \leq x_4 \leq l; \\ M_2(\varphi) &= -r + r \cos \varphi, \quad 0 \leq \varphi \leq \pi - 2\alpha; \\ M_2(X_4) &= -r = r \cos 2\alpha - x_4 \sin 2\alpha, \quad 0 \leq x_4 \leq l; \\ l_3 &= -r(1 + \cos 2\alpha), \quad l_4 = l_3 - l \sin 2\alpha. \end{aligned}$$

Рис. 3. Епюри згинальних моментів від одиничних сил $X_1=1$; $X_2=2$; $X_3=3$ і від заданого зовнішнього навантаження

Використовуючи інтеграл Мора та спосіб Верещагіна, перемножуємо побудовані епюри (рис.3) і визначаємо шукані коефіцієнти і вільні члени системи рівнянь (2) у такому вигляді:

$$\begin{aligned}
 \delta_{33} &= \frac{1}{EI} \int_0^l M_3 M_3 ds = \frac{1}{EI} (2l + r_1); \\
 \delta_{13} = \delta_{31} &= \frac{1}{EI} \int_0^l M_1 M_3 ds = \frac{1}{EI} \left(\frac{1}{2} l^2 + \frac{1}{2} l (l_1 + l_2) + l r_1 + r \cdot r_2 \right); \\
 \delta_{11} &= \frac{1}{EI} \int_0^l M_1 M_1 ds = \frac{1}{EI} \left(\frac{1}{3} l^3 + \frac{l}{3} (l_1^2 + l_2^2 + l_1 l_2) + l^2 r_1 + 2l r r_2 + \frac{1}{2} r^2 r_1 + \frac{1}{4} r^3 \sin 4\alpha \right); \\
 \delta_{22} &= \frac{1}{EI} \int_0^l M_2 M_2 ds = \frac{1}{EI} \left(\frac{l}{3} (l_3^2 + l_4^2 + l_3 l_4) + \frac{3}{2} r^2 r_1 - 2r^3 \sin 2\alpha - \frac{1}{4} r^3 \sin 4\alpha \right); \\
 \delta_{23} = \delta_{32} &= \frac{1}{EI} \int_0^l M_2 M_3 ds = \frac{1}{EI} \left(\frac{1}{2} (l_4 + l_3) - r r_1 + r^2 \sin 2\alpha \right); \\
 \delta_{12} = \delta_{21} &= \frac{1}{EI} \int_0^l M_3 M_2 ds = \frac{1}{EI} \left(\frac{l}{6} (l_1 l_4 + l_2 l_3 + 2l_1 l_3 + 2l_2 l_4) - r l r_1 - r^2 r_2 + l r \sin 2\alpha \right); \\
 \Delta_{1F} &= \frac{1}{EI} \int_0^l M_1 M_F ds = \frac{1}{EI} \left(\frac{1}{2} F l^2 \cdot \left(\frac{1}{3} l_1 + \frac{2}{3} l_2 \right) \right); \\
 \Delta_{2F} &= \frac{1}{EI} \int_0^l M_2 M_F ds = \frac{1}{2EI} F l^2 \cdot \left(\frac{1}{3} l_3 + \frac{2}{3} l_4 \right); \\
 \Delta_{3F} &= \frac{1}{EI} \int_0^l M_3 M_F ds = \frac{1}{2EI} F l^2. \tag{3}
 \end{aligned}$$

де E – модуль Юнга; $I = \frac{bh^3}{12}$ – момент інерції поперечного перерізу;

$$r_1 = r(\pi - 2\alpha);$$

$$r_2 = r(1 + \cos 2\alpha).$$

Підставивши значення δ_{ij} і Δ_{iF} в систему рівнянь (2), знаходимо невідомі реакції у правій опорі: X_1 , X_2 , X_3 . Після цього можна знайти згинальні моменти M , поздовжні сили N і поперечні Q сили у довільному перерізі арки:
згинальні моменти

$$M = M_F + M_1 X_1 + M_2 X_2 + M_3 X_3,$$

поздовжні сили

$$\begin{aligned}
 N &= -X, & 0 \leq x \leq l; \\
 N &= -X_2 \cos \varphi - X_1 \sin \varphi, & 0 \leq \varphi \leq \pi - 2\alpha; \\
 N &= X_2 \cos 2\alpha - X_1 \sin 2\alpha, & 0 \leq x_4 \leq l
 \end{aligned} \tag{4}$$

і поперечні сили

$$\begin{aligned}
 Q &= X_1, & 0 \leq x \leq l; \\
 Q &= X_1 \cos \varphi - X_2 \sin \varphi, & 0 \leq \varphi \leq \pi - 2\alpha; \\
 Q &= -X_1 \cos 2\alpha - X_2 \sin 2\alpha + F, & 0 \leq x_4 \leq l.
 \end{aligned}$$

Максимальні нормальні напруження в перерізах пружини обчислюємо за формулами:
для прямолінійної ділянки

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W}, \quad (5)$$

а для криволінійної ділянки

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{A} + \frac{M}{A(r-r_0)} \cdot \frac{r-r_0-\frac{h}{2}}{r-\frac{h}{2}}, \quad (6)$$

де $A = bh$ – площа поперечного перерізу пружини; $W = \frac{bh^2}{6}$ – осьовий момент інерції;

$r_0 = \frac{h}{\ln \left[\frac{(r+h/2)}{(r-h/2)} \right]}$ – радіус кривизни нейтрального шару пружини при чистому згині.

Висновки. Отримані рівняння (5) і (6) для визначення максимальних напружень пружини у будь-якому її перерізі сприяють розширенню сфери застосування методики розрахунку на міцність прямолінійних і криволінійних ділянок пружних елементів та у сукупності з новою принциповою схемою і конструктивними особливостями запропонованої муфти є підґрунтям для подальших досліджень цього класу муфт, що мають широке застосування у різних галузях машинобудування.

1. ДСТУ 2278-93. Муфти механічні. Терміни та визначення. 2. Малащенко В.О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків. – Львів: Нац. Ун-т «Львівська політехніка». – 2006. – 196 с. 3. Поляков В.С., Барбаши І.Д. Муфты. Конструкции и расчет. – Л.: Машиностроение, 1973. – 336 с. 4. Поляков В.С., Барбаши І.Д., Ряховский О.А. Справочник по муфтам. – Л.: Машиностроение, 1974. – 352 с. 5. Райко М.В. Расчет деталей машин и узлов машин. – К.: Техника, 1966. – 498 с.