

УДК 621.8: 621.825

DOI: 10.15276/pidtt.2.61.2019.03

¹Малашенко В. О., ²Стрілець В. М., ²Андрушков В. І., ²Стрілець О. Р.,
²Шаран А. С.¹Національний університет «Львівська політехніка»²Національний університет водного господарства та природокористування

БУДОВА, ПРИНЦИП РОБОТИ ТА РОЗРАХУНКИ МУФТИ ФЛАНЦЕВО-ПАЛЬЦЕВОЇ ПРУЖНОЇ

Анотація. Розглянута будова муфти фланцево-пальцевої пружної, яка містить дві ідентичні півмуфти, у вигляді маточини на торці з фланцем-багатогранником, наприклад, рівностороннім трикутником, квадратом або правильним шестикутником з запресованими пальцями в отвори, які лежать на бісектрисах кутів на однаковій відстані від осі обертання, а вздовж плоских граней виконані наскрізні прорізи, над якими лежать пружні ділянки. Описана технологія з'єднання валів і принцип роботи такої муфти. Розроблена методика розрахунку пружної ділянки муфти при передаванні нею обертового моменту.

Ключові слова: муфта, фланець, пружна ділянка, правильний багатогранник, проріз, обертовий момент, згинальний момент, деформація.

Постановка проблеми. В сучасному машинобудуванні для з'єднання валів вантажопідйомних, транспортуючих, транспортних та інших машин і обладнання широко використовуються різноманітні муфти. Вони є достатньо відповідальними механічними пристроями, що часто визначають надійність і довговічність всієї машини. При передаванні руху та обертових моментів від одного вала до другого муфти, крім з'єднання валів, виконують ще багато відповідальних функцій, на деякі з них ми звертаємо увагу, а саме: компенсацію шкідливого впливу зміщення осей валів, що виникають унаслідок неточностей виготовлення, монтажу та умов експлуатації; амортизацію вібрацій і динамічних навантажень та інші. Такі різноманітні вимоги сприяли появі великої кількості муфт [1; 2]. У даній статті ставиться проблема удосконалення некерованих фланцевих муфт з метою виконання ними вказаних вище функцій, тобто компенсацію зміщення осей валів і амортизацію вібрацій і динамічних навантажень. Спроба удосконалити фланцеву муфту в [3] не досягла повного результату, із-за жорсткого контакту пальців однієї півмуфти з плоскою ділянкою

грані другої півмуфти обертальний момент передається миттєво, а крім того, із-за зазорів між пальцями і плоскими ділянками граней виникають удари, у випадку футерованих контактів, наприклад, гумою, із-за контактної деформації, що виникає між пальцями і плоскими ділянками граней футеровка має малу довговічність. Тому пропонується нова муфта фланцево-пальцева пружна, розроблена на рівні заявок на патенти на корисні моделі [4-7], які усувають вказані недоліки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Муфтам механічних приводів машин і пристроїв, які згідно ДСТУ 2278:1993 поділені на чотири класи, присвячена велика кількість робіт, з яких тут розглянуті [8–18].

В [8] описана будова та принцип передавання обертального моменту пружними муфтами з радіальними підковоподібними пружинами, з защемленими кінцями та досліджений їх напружений стан.

В [9] наведені нові способи передавання обертального моменту інерційними муфтами. Описані конструкції інерційних муфт для реалізації нових способів передавання обертального моменту.

В [10] описано будову та принцип роботи автоматичних інерційно-фрикційних муфт зчеплення. Запропоновано методику проектування таких муфт з урахуванням особливостей процесу керування без відповідного механізму.

В [11] наведено конструкції та принцип роботи самокерованих інерційно-фрикційних муфт з проведенням попереднього аналізу умов і необхідних параметрів для надійного їх вмикання та вимикання під час різних режимів роботи.

В [12] описано будову та принцип роботи інерційно-фрикційних муфт без веденої напівмуфти з різноманітними пружними елементами. Обґрунтовано можливості отримання бажаної нелінійності їх пружної характеристики.

В [13] наведені нові способи передавання обертального моменту інерційно-вакуумними муфтами за рахунок інертності мас їх елементів та з'єднання валів способом адгезії півмуфт. Описані конструкції таких муфт для реалізації цих способів та особливості динамічних характеристик в різних формах їх виконання.

В [14] описана конструкція інерційно-вакуумних муфт і передача ними обертальних моментів у механічних приводах машин. Приведені варіанти конструкції ведучої півмуфти, яка виконана у вигляді еластичної присоски. Звернута увага на особливості та властивості присосок від яких залежить нелінійність їх жорсткості.

В [15] приведена будова та принцип передавання обертального моменту пружними муфтами з підковоподібними пружинами з

защемленими кінцями, розміщеними вздовж осі валів, та досліджений їх напружений стан.

В [16] описана конструкція та принцип передавання обертового моменту інерційно-відцентровою пружною муфтою, визначені маси інертності її елементів для створення поперечних та поздовжніх сил на канати і моменту їх закручування.

В [17] розглянуто будову запобіжної пружної муфти, яка містить внутрішню і зовнішню півмуфти, з'єднані між собою зіркоподібною пружиною з виступами параболічної форми. Описано принцип її роботи, отримано аналітичні вирази, які дозволяють робити висновки про роботу здатність таких муфт.

В [18] описана конструкція та принцип передавання обертового моменту втулковою пружною муфтою де втулка виконана профільною, наприклад, квадратною з підковоподібними вершинами і з такими профільними ділянками виконані вали, що з'єднуються. Приведені аналітичні залежності її розмірів від обертового моменту, що передається.

Із аналізу останніх публікацій видно, що науковці та проектувальники і конструктори продовжують шукати шляхи покращення конструкцій і принципу роботи муфт, але фланцевим муфтам приділено мало уваги.

Метою роботи є опис будови, принципу роботи та розрахунків нових фланцево-пальцевих пружних муфт та зробити висновки про можливість і доцільність застосування їх у вантажопідйомній, транспортуючій, транспортній та іншій техніці.

Виклад основного матеріалу. Розглядаються муфти фланцево-пальцеві пружні, які складаються з двох півмуфт, ведучої 1 і веденої 2 та пальців 3, як показано на рис. 1. Півмуфти 1 і 2 виконані у вигляді маточин 4 і фланців 5 у вигляді, наприклад, рівностороннього трикутника, а може мати форму квадрата, правильного шестикутника і таке інше. На торцевих поверхнях фланців 5 на бісектрисах кутів вершин рівностороннього трикутника виконані отвори рівновіддалені від осі обертання муфти в які запресовані пальці 3. Крім того, зі сторони торцевих поверхонь фланців 5, симетрично відносно згаданих бісектрис, паралельно плоским граням виконані наскрізні прорізи 6 на відстані δ від точки контакту з пальцем шириною b і довжиною l .

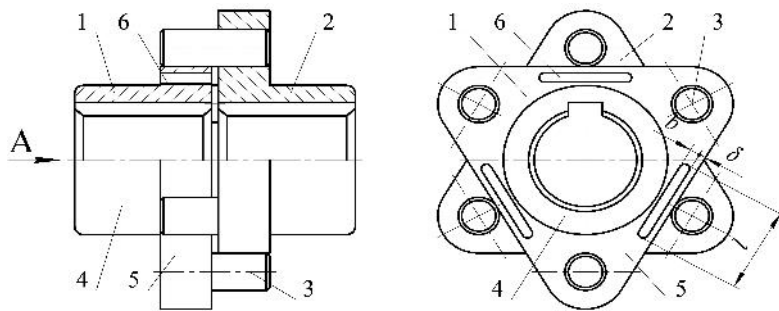


Рисунок 1 – Муфта фланцево-пальцева пружна

При збиранні муфти до півмуфти 1, з запресованими пальцями 3 у фланець 5 приєднують таку ж півмуфту 2, повернувши її на 60° відносно півмуфти 1, і встановлюють без зазорів так, що пальці 3 контактують з плоскими гранями над наскрізними прорізами 6. Передача обертального моменту від півмуфти 1 до півмуфти 2 виконується через пальці 3. При виникненні динамічних обертальних моментів плоскі ділянки граней над наскрізними прорізами 6 прогинаються. За рахунок деформації плоских ділянок граней над наскрізними прорізами 6 обертальний момент передається м'якше і гасяться радіальні коливання, які виникають із-за незначного неспівпадання збігання осей валів при їх з'єднанні.

Розглядається напружений стан пружної ділянки, як балки з защемленими кінцями. На рис. 2 показані схеми пружної ділянки: конструктивна на рис. 2, а, а розрахункова - на рис. 2, б.

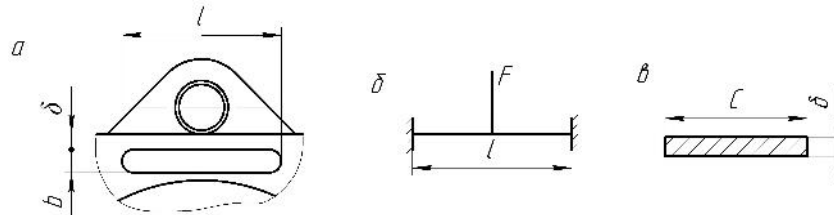


Рисунок 2 – Схеми пружної ділянки: а - конструктивна; б – розрахункова; в – поперечний переріз пружної ділянки

При вирішенні поставленої задачі прийняті наступні допущення: деформуються тільки пружні ділянки, так як розміри їх поперечного перетину найменші; навантаження F прикладене до середини пружних ділянок і рівне

$$F = \frac{2Tk_p}{zDf}, \quad (1)$$

де T – номінальний обертальний момент, який передається муфтою; $k_p = 1,0 \dots 4,0$ – коефіцієнт режиму роботи машини; D – діаметр кола

точок контакту пальців з гранями; z – число пальців контактуючих з гранями; f – коефіцієнт тертя в зоні контакту палець-грань.

Пружна балка з защемленими кінцями тричі статично не визначена. Лишні зв'язки заміняємо реакціями: X_1 , X_2 , і X_3 . Для розв'язання задачі для такої балки складаємо еквівалентну та основну системи (рис. 3) і використовуємо методику запропоновану у [19].

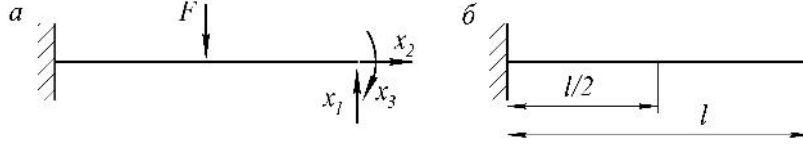


Рисунок 3 – Системи пружної ділянки грані муфти:
а – еквівалентна; б – основна

Невідомі реакції визначаємо із умови рівності нулю деформацій, що виникають за їхніми напрямками. Тоді канонічні рівняння методу сил матимуть вигляд:

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

де δ_{ij} – деформації, відповідно за напрямками x_1 , x_2 і x_3 , викликані відповідно силами $X_1=1$, $X_2=1$ і $X_3=1$. Деформації δ_{11} , δ_{12} , δ_{13} , δ_{21} , δ_{22} , δ_{23} , δ_{31} , δ_{32} , δ_{33} , δ_{1F} , δ_{2F} і δ_{3F} визначаються за допомогою інтегралів Мора, із наступних виразів:

$$\begin{aligned} \delta_{11} &= \sum_0^S \int \frac{M_1^2 ds}{EJ}; & \delta_{22} &= \sum_0^S \int \frac{M_2^2 ds}{EJ}; & \delta_{33} &= \sum_0^S \int \frac{M_3^2 ds}{EJ}; \\ \delta_{12} &= \sum_0^S \int \frac{M_1 M_2 ds}{EJ}; & \delta_{13} &= \sum_0^S \int \frac{M_1 M_3 ds}{EJ}; & \delta_{21} &= \sum_0^S \int \frac{M_2 M_1 ds}{EJ}; \\ \delta_{23} &= \sum_0^S \int \frac{M_2 M_3 ds}{EJ}; & \delta_{31} &= \sum_0^S \int \frac{M_3 M_1 ds}{EJ}; & \delta_{32} &= \sum_0^S \int \frac{M_3 M_2 ds}{EJ}; \\ \Delta_{1F} &= \sum_0^S \int \frac{M_1 M_F ds}{EJ}; & \Delta_{2F} &= \sum_0^S \int \frac{M_2 M_F ds}{EJ}; & \Delta_{3F} &= \sum_0^S \int \frac{M_3 M_F ds}{EJ}, \end{aligned} \quad (3)$$

де E – модуль пружності першого роду для матеріалу пружної ділянки фланця муфти; $J = c \delta^3 / 12$ – осьовий момент інерції перетину, δ – товщина, а c – ширина пружної ділянки фланця; M_1 , M_2 , M_3 і M_F – згинаючі моменти, відповідно, від сил X_1 , X_2 , X_3 і F .

Використовуючи схему (рис. 3, б) і значення $X_1=1$, $X_2=1$, $X_3=1$ і F отримаємо для визначення згинаючих моментів у защемленні наступні аналітичні вирази:

$$M_1 = 0,5l; M_2 = 0; M_3 = 1 \text{ i } M_F = 0,5Fl. \quad (4)$$

Далі використовуємо (4) і рис. 3, б) будуємо епюри M_1 , M_2 , M_3 і M_F згинаючих моментів, відповідно від сил X_1 , X_2 , X_3 і F , показаних на рис. 4.

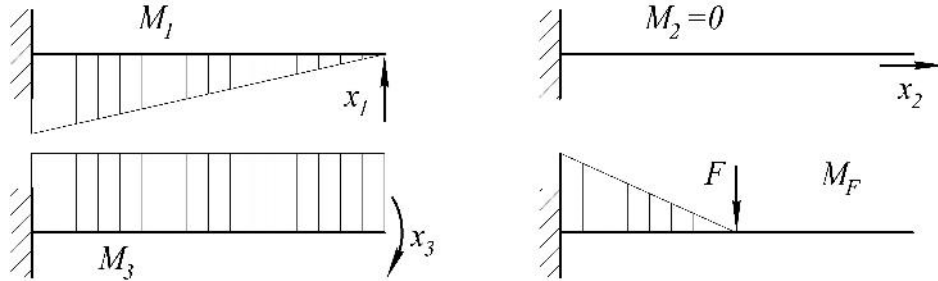


Рисунок 4 - Епюри згинаючих моментів M_1 , M_2 , M_3 і M_F , відповідно від сил X_1 , X_2 , X_3 і F

Після визначення згинаючих моментів M_1 , M_2 , M_3 і M_F , відповідно, від сил X_1 , X_2 , X_3 і F та аналізу виразів (3), маємо: $\delta_{12} = \delta_{21} = \delta_{22} = \delta_{23} = \delta_{32} = \delta_{2F} = 0$ і тоді канонічні рівняння (2) приймають вигляд:

$$\begin{aligned} \delta_{11}X_1 + \delta_{13}X_3 + \Delta_{1F} &= 0; \\ \delta_{31}X_1 + \delta_{33}X_3 + \Delta_{3F} &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Використовуючи епюри згинаючих моментів (див. рис. 4) і інтеграли Мора (3), методом Сімпсона або Верещагіна отримаємо такі значення для деформацій:

$$\begin{aligned} \delta_{11} &= \frac{1}{EJ} \cdot \frac{l^3}{3}; \quad \delta_{13} = \delta_{31} = -\frac{1}{EJ} \cdot \frac{l^2}{2}; \quad \delta_{33} = \frac{1}{EJ} \cdot l; \\ \Delta_{1F} &= -\frac{1}{EJ} \cdot \frac{5Fl^3}{48}; \quad \Delta_{3F} = -\frac{1}{EJ} \cdot \frac{Fl^2}{8}. \end{aligned} \quad (6)$$

Розв'язком системи канонічних однорідних рівнянь (5), за допомогою, наприклад, визначників (формул Крамера і правилом Саррюса) [20], знаходимо невідомі X_1 і X_3 , маємо:

$$X_1 = \frac{\Delta_{3F}\delta_{13} - \Delta_{1F}\delta_{33}}{\delta_{11}\delta_{33} - \delta_{13}\delta_{31}} = \frac{F}{2}; \quad X_3 = \frac{\Delta_{1F}\delta_{31} - \Delta_{3F}\delta_{11}}{\delta_{11}\delta_{33} - \delta_{13}\delta_{31}} = \frac{Fl}{8}. \quad (7)$$

Сумарний згинаючий момент в точці дії сили F для балки з защемленими кінцями буде:

$$M_{F\Sigma} = M_F + X_1 M_1 + X_3 M_3 = \frac{Fl}{8}. \quad (8)$$

На рис. 5 показана епюра загального згинаючого моменту від дії сили F , у балці з защемленими кінцями

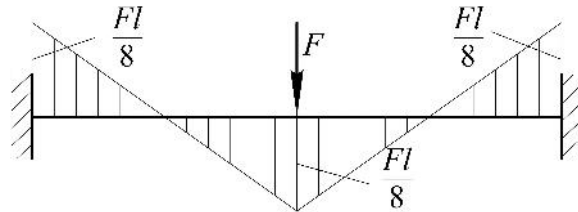


Рисунок 5 - Епюра загального згинаючого моменту від дії сили F

Для визначення величини деформації δ_F для балки з защемленими кінцями використаємо інтеграл Мора. У напрямку деформації прикладаємо одиничну силу ($X=1$) і від неї будемо епюру моменту згину $M_4=l/8$, показану на рис. 6.

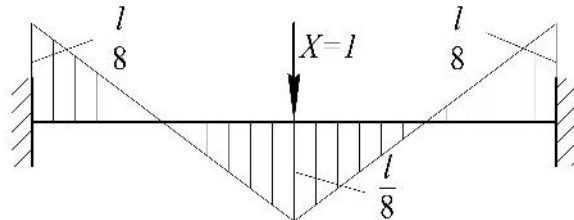


Рисунок 6 - Епюра згинаючого моменту M_4 відповідно від сили $F=1$ в напрямку сили F

Далі використовуємо значення моментів $M_{F\Sigma}$ і M_4 , за допомогою методу Сімпсона отримуємо:

$$\delta_F = \frac{F}{EJ} \cdot \frac{l^3}{192} \quad (9)$$

Характер деформації пружної ділянки, як балки з защемленими кінцями, показаний на рис. 7.

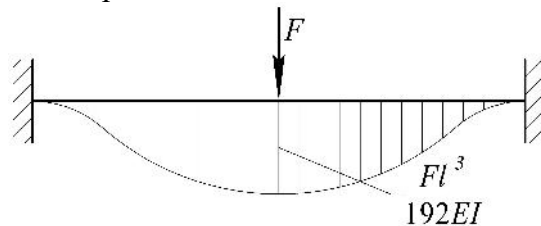


Рисунок 7 - Характер деформації пружної ділянки муфти

За допомогою виразів (8) і (9) можна визначити величини згинаючого моменту і деформації пружної ділянки грані муфти та відомими методами оцінити її міцність.

Такі муфти поліпшують експлуатаційні показники механічних приводів машин – м'якіше передають динамічний обертальний момент, компенсують неспіввісності і покращують технологічність з'єднання валів.

Висновки:

1. Обґрунтована конструкція та принцип роботи нової муфти фланцево-пальцевої пружної зі збільшенням експлуатаційних функцій;

2. Запропоновані узагальнені аналітичні вирази для розрахунків пружної ділянки нової муфти фланцево-пальцевої пружної;

3. Розглянута нова муфта є простою за конструкцією, компенсує шкідливий вплив зміщення осей валів, що виникають внаслідок неточностей виготовлення, монтажу та умов експлуатації, амортизує вібрації і динамічні навантаження, має простішу технологію з'єднання валів та може бути застосована у механічних приводах різноманітних машин.

Список використаної літератури

1. Малащенко В.О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків: навчальний посібник. Львів: НУ «Львівська політехніка», 2006. - 196 с.

2. Малащенко В. О., Стрілець В.М., Стрілець О.Р., Федорук В.А. Нові муфти механічних приводів машин. Монографія. Рівне : НУВГП, 2019. - 198 с.

3. Муфта: пат. 129902 Україна: МПК F16D 3/00. у №2017 02003; заявл. 02.03.17; опубл. 26.11.18, Бюл. № 22. - 2 с.

4. Муфта фланцево-пальцева пружна: заявка у 2019 01624 на патент України на корисну модель. МПК F 16 D 3/00: заявлено 18.02.2019.

5. Муфта фланцево-пальцева пружна: заявка у 2019 01713 на патент України на корисну модель. МПК F 16 D 3/00: заявлено 19.02.2019.

6. Муфта фланцево-пальцева пружна: заявка у 2019 02227 на патент України на корисну модель. МПК F 16 D 3/00: заявлено 05.03.2019.

7. Муфта фланцево-пальцева пружна: заявка у 2019 02235 на патент України на корисну модель. МПК F 16 D 3/00: заявлено 05.03.2019.

8. Стрілець В.М., Федорук В.А., Стрілець О.Р., Герасимчук А.Л. Муфти з підковоподібними радіальними пружинами та їх розрахунки.

Вісник НУВГП. Збірник наукових праць. Серія «Технічні науки». Рівне: НУВГП, 2011. Вип. 3 (55). - С. 93 – 108.

9. Малащенко В.О., Федорук В.А., Стрілець В.М. Новий напрямок в конструюванні муфт – інерційно-фрикційні муфти. Вісник НУВГП. Збірник наукових праць. Серія «Технічні науки». Рівне: НУВГП, 2011. Вип. 4 (56). - С.106–118.

10. Малащенко В.О., Федорук В. А., Стрілець В.М. Автоматичні інерційно-фрикційні муфти зчеплення транспортних засобів та принципи передавання енергії. Науковий вісник Херсонської державної морської академії. Херсон: ХДМА, 2012. №1(6). - С.274–284.

11. Малащенко В.О., Федорук В. А., Стрілець В.М. Принцип передавання енергії двигунів інерційно-фрикційними муфтами та їх аналіз Науковий вісник Херсонської державної морської академії. Херсон: ХДМУ, 2012. № 2 (7). - С. 176–182.

12. Малащенко В.О., Федорук В. А., Стрілець В.М. Інерційно-фрикційні муфти без веденої напівмуфти, їх принцип роботи та деякі динамічні характеристик. Журнал « Підйомно-транспортна техніка». Одеса, ОНПУ, 2013. № 1. - С.76–85.

13. Малащенко В.О., Федорук В. А., Стрілець В.М. Принцип передачі енергії двигунів автоматичними інерційно-вакуумними муфтами та їх динамічні характеристики. Вісник НУВГП. Збірник наукових праць. Серія «Технічні науки». Рівне: НУВГП, 2013. Вип. 3 (63). - С. 250–263.

14. Малащенко В.О., Федорук В. А., Стрілець В.М. Передавання енергії та динамічні характеристики приводів з автоматичними інерційно-вакуумними муфтами. Вісник Національного технічного університету «ХП». Збірник наукових праць. Тематичний випуск «Проблеми механічного приводу». Харків: НТУ «ХП», 2013. №41(1014). - С.65–73.

15. Стрілець В.М., Федорук В.А., Стрілець О.Р., Ковальчук Р. В. Будова, принцип роботи та розрахунки інерційно-відцентрової пружної муфти Вісник Хмельницького національного університету. Науковий журнал. Технічні науки. Хмельницький: ХНУ, 2013. Вип. 6. - С. 22–28.

16. Стрілець В.М., Стрілець О.Р. Завальський В.В. Напружений стан підковоподібних пружин з зацемленими кінцями у пружних муфтах. Вісник Хмельницького національного університету. Науковий журнал. Технічні науки. Хмельницький: ХНУ, 2014. Вип. 6. - С. 12–17.

17. Стрілець В.М., Лисанець О.В., Стрілець О.Р. Обґрунтування кінематико-силових параметрів зіркоподібної пружини запобіжної пружної муфти. Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету. Серія: галузеве машинобудування, будівництво. Полтава: ПНТУ, 2015. Вип. 3(45). - С. 40–46.

18. Стрілець В.М., Стрілець О.Р., Брошук Ю.М. Розробка конструкцій та обґрунтування параметрів втулкових пружних муфт Вісник Хмельницького національного університету. Науковий журнал. Технічні науки. Хмельницький: ХНУ, 2016. Вип. 5. - С. 18–23.

19. Ржаницын А.Р. Строительная механика: Учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1982. 400 с.

20. Смирнов В.И. Курс высшей математики. М.: Наука, 1974. Том 3. Часть 1. - 323 с.

THE STRUCTURE, PRINCIPLE OF OPERATION AND CALCULATION OF THE FLANGE-PIN ELASTIC COUPLING

¹Malashchenko V. O., ²Strilets V. M., ²Andrushkov V. I., ² Strilets O. R.,
²Sharan A. S.

¹ *Lviv National Polytechnic University*

² *National University of Water And Environmental Engineering*

Annotation. The structure of the flange-pin elastic coupling has been considered, which consists of two identical half-muffs, in the form of a hub with a flange-polyhedron on the end, for example, an equilateral triangle, a square, or a regular hexagon with pins pressed in the holes lying on the bisector of the angles at the same distance from the axis of rotation. Along the flat faces the through slots are made with elastic areas over them. The technology of joining the shafts and the principle of the operation of such coupling have been described. The method of calculating the elastic area of the coupling during the transmission of the torque has been developed. The elastic area has been considered as a beam with pinched ends. In solving the problem, the following assumptions has been taken: only the elastic areas are being deformed, since the dimensions of their cross-section are minimal, and the load from the torque applied to the middle of three or more elastic regions is distributed evenly. Using the method of solving statically indefinable problems of material resistance or building mechanics, analytical expressions have been obtained for determining the maximum bending moment and deformation. With the help of the obtained analytical expressions it is possible to determine the values of the maximum bending moment and the deformation of the elastic area of the coupling face and to evaluate its durability and performance by known methods.

Such couplings improve the performance of mechanical drives of machines - softly transmit dynamic torque, compensate for inconsistencies and improve the manufacturability of jointing shafts.

Keywords: coupling, flange, elastic area, regular polyhedron, slot, torque, bending moment, deformation.