

Проценко В.О. (ХНТУ, м. Херсон, Україна)

E-mail: bronenosec@ukr.net

Анотація. На основі аналізу умов навантаження канатів побудовано розрахункові схеми і виведено аналітичні залежності для проектного та перевіркового розрахунку затискних гвинтів канатних муфт на міцність. Отримані залежності для визначення моменту затяжки гвинтів при складанні муфт. Розглянуті технологічні особливості визначення діаметра гвинтів. Запропонована методика визначення діаметра гвинтів.

Ключові слова: муфта, канат, гвинт, міцність, технологічність

Всі процеси сучасної промисловості здійснюються високопродуктивними машинами або із застосуванням засобів механізації. В нинішніх умовах, у зв'язку з ростом експлуатаційних швидкостей та потужностей, підвищені вимоги щодо працездатності (міцності, надійності та ін.) пред'являються до всіх деталей і вузлів машин. Особливо важливою є працездатність таких відповідальних частин приводів як з'єднувальні муфти, що пояснюється підвищенням динамічності навантаження на машини та їх елементи. Забезпечення вказаних вимог потрібно виконувати на етапі проектування, яке неможливе без виконання розрахунків. Для муфт з канатними пружними елементами (канатних муфт) аналітичних залежностей для розрахунку деталей і методик визначення їх параметрів досі не існує. Вказані муфти характеризуються рядом суттєвих переваг у порівнянні з поширеними конструкціями муфт, а саме, високою навантажувальною здатністю та довговічністю за рахунок високої міцності канатів, високою компенсуючою здатністю за рахунок високої гнучкості канатів високою демпфуючою здатністю за рахунок великого конструкційного демпфування канатів [1], технологічністю пружного елементу, оскільки канатне виробництво знаходиться у світі на високому рівні, зменшенням періодичності та спрощення нагляду і мащення, оскільки мастилом просочене осердя каната, канатні пружні елементи можуть бути виготовлені з неліквідів канатних заводів та утилізовані після відбракування з вантажопідйомних машин за рахунок застосування в муфтах.

Наявність названих переваг робить задачу отримання вказаних залежностей і створення методик актуальною і важливою.

Для канатних муфт особливо відповідальним є вузол кріплення канатів до муфти, яке може бути роз'ємним чи нероз'ємним. Для забезпечення ремонтоздатності муфти раціональнішим є роз'ємне кріплення канатів, яке допускає їх зміну після втрати працездатності.

Найбільш простим серед роз'ємних є кріплення каната в отворі напівмуфти затискним гвинтом, вісь якого перпендикулярна до осі каната. Канат при цьому утримується в отворі силою тертя, що виникає при затиску гвинта. Отримання аналітичних залежностей для розрахунку затискних гвинтів (далі – гвинтів) на міцність та створення методики визначення їх діаметра для муфт з осьовою паралельною та радіальною установкою канатів становить головну мету даної роботи, а відсутність в сучасному рівні техніки вказаних залежностей та методики характеризує її наукову новизну.

Розглянемо роботу муфти з осью паралельною установкою канатів прямолінійної форми та складемо її розрахункову схему (рис. 1). При складанні схеми вважаємо що навантаження між канатами розподіляється рівномірно.

При навантаженні муфти обертальним моментом T ведуча напівмуфта отримує зміщення a , виміряне по колу діаметра D розташування канатів та поворот на кут φ .

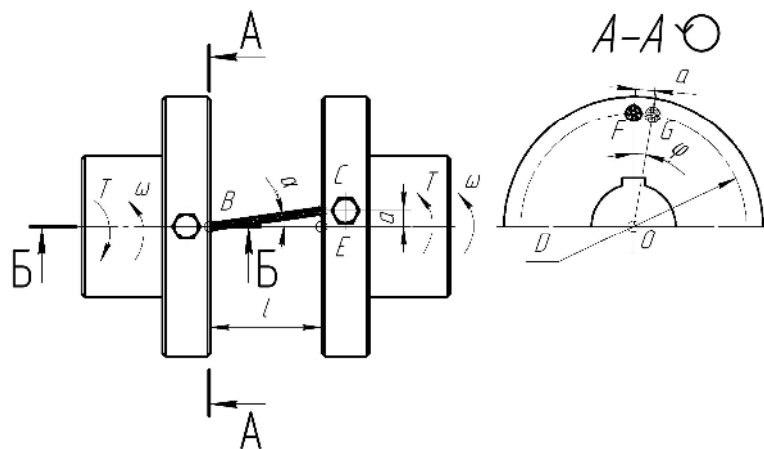


Рис. 1. Розрахункова схема муфти з осью паралельною установкою канатів прямолінійної форми

З трикутника OFG:

$$\sin \varphi = \frac{FG}{OG}, \quad (1)$$

оскільки $FG = a$, $OG = D/2$, то

$$\sin \varphi = \frac{2a}{D}, \text{ або} \quad (2)$$

$$a = \frac{D \sin \varphi}{2}. \quad (3)$$

Водночас, з трикутника BCE, кут повороту канатів α :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{l} = \frac{D \sin \varphi}{2l}. \quad (4)$$

Кожен канат при роботі муфти знаходиться в рівновазі відносно напівмуфт під дією сил – колової F_t , яка згинає канат, сили натягнення F_H , яка розтягує канат, сили тертя в отворі напівмуфти F_{mp} , яка перешкоджає вириванню каната з напівмуфти.

Оскільки сили F_H і F_{mp} розташовані під кутом α (рис. 2), то

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_t}{F_{mp}}, \quad (5)$$

звідки

$$F_{mp} = \frac{F_t}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (6)$$



Рис. 2. Сили, що діють на канат

Так як колова сила, що діє на кожен із z канатів муфти:

$$F_t = \frac{2T}{zD}, \quad (7)$$

то формула (6) після підстановки в неї (4) і (7), матиме вигляд:

$$F_{mp} = \frac{4Tl}{zD^2 \sin \varphi}. \quad (8)$$

Тертя розвивається в двох стиках: каната з торцем гвинта (F_{mp1}): та каната з отвором напівмуфти (F_{mp2}) (рис. 3 – розріз Б-Б по рис. 1). Тоді сумарна сила тертя, в припущенні що коефіцієнти тертя в обох стиках однакові ($f_1 = f_2 = f$; $F_{mp1} = F_{mp2}$):

$$F_{mp} = F_{mp1} + F_{mp2} = 2F_N f, \quad (9)$$

де F_N - сила нормального тиску на поверхні тертя [2, 3].

Сила нормального тиску F_N забезпечується затяжкою гвинта силою $F_{зам}$, яка, з урахуванням (8) і (9), становить:

$$F_{зам} = F_N = \frac{F_{mp}}{2f} = \frac{2Tl}{fzD^2 \sin \varphi}. \quad (10)$$

В таких умовах навантаження стрижень гвинта стискається силою затяжки і скручується моментом тертя в різьбі. При цьому умова міцності гвинта на стиск [3-6]:

$$\sigma_E = 1,3 \frac{4F_{зам}}{\pi d_3^2} \leq [\sigma_{cm}], \quad (11)$$

де σ_E – еквівалентне напруження в стрижні гвинта від стиску і кручення;

d_3 – внутрішній діаметр різьби гвинта;

$[\sigma_{cm}]$ – допустиме напруження стиску матеріала гвинта.

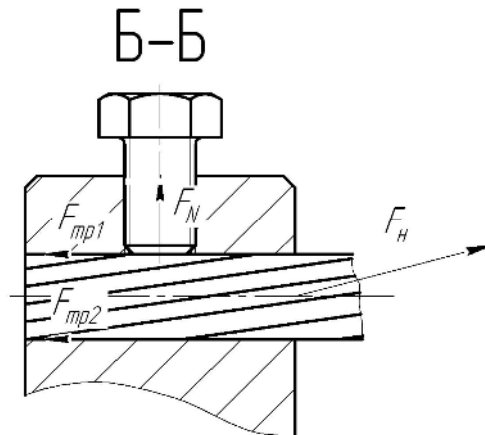


Рис. 3. До визначення сили тертя

Підставивши (10) в (11), після перетворень, отримаємо формулу для перевіркового розрахунку гвинта:

$$\sigma_E = \frac{3,31Tl}{d_3^2 f z D^2 \sin \varphi} \leq [\sigma_{cm}]. \quad (12)$$

Перетворивши (12) отримаємо формулу для проектного розрахунку внутрішнього діаметра різьби гвинта:

$$d_3 = \sqrt{\frac{3,31Tl}{f z D^2 \sin \varphi [\sigma_{cm}]}}. \quad (13)$$

За формулою (13), знаючи кут повороту напівмуфт φ , відстань між напівмуфтами та кількість канатів, можна розрахувати потрібний внутрішній діаметр різьби та визначити інші її параметри за ГОСТ. Після цього стає можливим підбір гвинта за ГОСТ або довідником, наприклад [7].

Відомо, що момент тертя в різьбі гвинта навантаженого осьюовою силою $F_{зам}$ можна визначити за формулою [2-5]:

$$T_{mp} = 0,5F_{зам} d_2 tg(\varphi_1 + \psi), \quad (14)$$

де d_2 – середній діаметр різьби гвинта;

φ_1 – зведений кут тертя в різьбі;

ψ – кут підйому гвинтової лінії різьби.

Підставивши (10) в (14), отримаємо формулу для визначення моменту тертя в різьбі затискного гвинта:

$$T_{mp} = \frac{Tld_2 tg(\varphi_1 + \psi)}{fzD^2 \sin \varphi}. \quad (15)$$

Момент тертя на торці гвинта як на суцільній круговій площині [2, 3]:

$$T_m = \frac{F_{зам} fd_m}{4}, \quad (16)$$

де d_m – діаметр торця гвинта.

Або, після підстановки (10) в (16) матимемо:

$$T_m = \frac{Tld_m}{2zD^2 \sin \varphi}. \quad (17)$$

Тоді, потрібний момент затяжки гвинта, з урахуванням тертя в різьбі та на торці, на який будуть налагоджуватися гайковерти (ключі граничного моменту або динамометричні) при складанні муфт:

$$T_{зам} = T_{mp} + T_m = \frac{Tld_2 tg(\varphi_1 + \psi)}{fzD^2 \sin \varphi} + \frac{Tld_m}{2zD^2 \sin \varphi} = \frac{Tl}{zD^2 \sin \varphi} \left(\frac{d_2 tg(\varphi_1 + \psi)}{f} + \frac{d_m}{2} \right). \quad (18)$$

Наближено прийнявши для метричної різьби з крупним кроком $\varphi_1 \approx 6^\circ$, $\psi \approx 2^\circ 30'$ [3-6], $d_m \approx d_2$, $f = 0,1$ (за умови наявності змазки), отримаємо:

$$\left(\frac{d_2 tg(\varphi_1 + \psi)}{f} + \frac{d_m}{2} \right) \approx 2d_2 \quad (19)$$

тоді:

$$T_{зам} = \frac{2Tld_2}{zD^2 \sin \varphi}. \quad (20)$$

Для муфти з радіальною установкою канатів прямолінійної форми (рис. 4) справедливі співвідношення:

$$tg\varphi = \frac{2a}{D}, \quad (21)$$

$$tg\alpha = \frac{a}{l}. \quad (22)$$

Таким чином, кут повороту напівмуфт φ і кут повороту канатів α пов'язані співвідношенням:

$$tg\alpha = \frac{Dtg\varphi}{2l}. \quad (24)$$

Сила тертя, з урахуванням (6), (7) і (21) складе:

$$F_{mp} = \frac{4Tl}{zD^2 tg\varphi}. \quad (25)$$

Сила затяжки гвинта, з урахуванням (10) становитиме:

$$F_{зам} = \frac{2Tl}{fzD^2 \operatorname{tg} \varphi}. \quad (26)$$

Підставивши (25) в (11), після перетворень отримаємо формулу для перевіркового розрахунку гвинта:

$$\sigma_E = \frac{3,31Tl}{d_3^2 fzD^2 \operatorname{tg} \varphi} \leq [\sigma_{cm}] \quad (27)$$

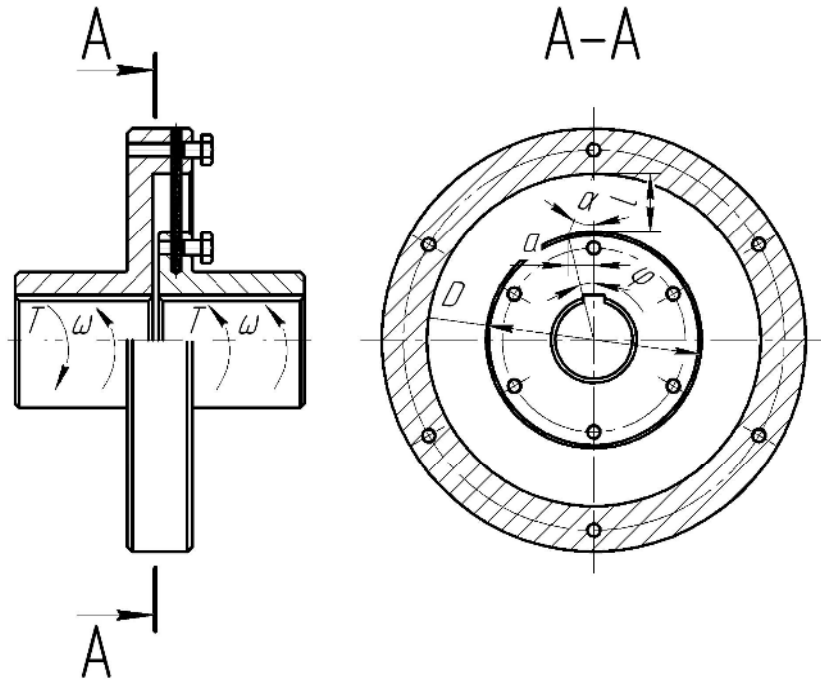


Рис. 4. Розрахункова схема муфти з радіальною установкою канатів прямолінійної форми

Формула для проектного розрахунку внутрішнього діаметра різьби гвинта матиме вигляд:

$$d_3 = \sqrt{\frac{3,31Tl}{fzD^2 \operatorname{tg} \varphi [\sigma_{cm}]}}, \quad (28)$$

Підставивши (26) в (14), отримаємо формулу для визначення моменту тертя в різьбі гвинта:

$$T_{mp} = \frac{Tld_2 \operatorname{tg}(\varphi_1 + \psi)}{fzD^2 \operatorname{tg} \varphi}. \quad (29)$$

Підставивши (26) в (16), отримаємо формулу для визначення моменту тертя на торці гвинта:

$$T_m = \frac{Tld_m}{2zD^2 \operatorname{tg} \varphi}. \quad (30)$$

Потрібний момент затяжки гвинта згідно (18):

$$T_{зам} = T_{mp} + T_m = \frac{Tld_2 \operatorname{tg}(\varphi_1 + \psi)}{fzD^2 \operatorname{tg} \varphi} + \frac{Tld_m}{2zD^2 \operatorname{tg} \varphi} = \frac{Tl}{zD^2 \operatorname{tg} \varphi} \left(\frac{d_2 \operatorname{tg}(\varphi_1 + \psi)}{f} + \frac{d_m}{2} \right) \quad (31)$$

З урахуванням (19) вираз (31) набуде вигляду:

$$T_{\text{зат}} = \frac{2Tld_2}{zD^2 \operatorname{tg} \varphi} . \quad (32)$$

Машинобудівні підприємства нині працюють здебільшого в умовах дрібносерійного та одиничного виробництва. Для цих типів виробництва особливого значення набуває забезпечення технологічності конструкції деталей машин, а саме скорочення номенклатури технологічного оснащення (допоміжного, різального інструменту, верстатних пристосувань, контрольно-вимірювальних засобів) [8]. Відпрацювання конструкції муфти на технологічність складання та її деталей на технологічність механічної обробки для зниження собівартості повинно відбуватися на етапі проектування.

Окрім центрального посадкового отвору напівмуфта має отвори під установку канатів та різьбові отвори під установку затискних гвинтів. Для скорочення номенклатури свердел діаметри отворів під установку канатів та нарізання різьби, які є одного порядку, доцільно брати однаковими. Дані табл. 1, в якій для порівняння вибірково наведено діаметри отворів під нарізання метричних різьб з крупним кроком і основним відхиленням 7H [7, 9] та одних з найбільш поширених в підйомно-транспортному машинобудуванні канатів типу ЛК 6×19 [7, 10, 11], підтверджують можливість застосування однакових свердел для обробки отворів під нарізання різьби та під установку канатів, оскільки між канатом та отвором у всіх випадках забезпечено зазор.

Таблиця 1. Діаметри отворів під нарізання різьби та сталевих канатів

Діаметр різьби ГОСТ 8724	Діаметр отвору під нарізання ГОСТ 19257	Діаметр каната ГОСТ 2688
M8	6,70	6,20
M10	8,43	8,30
M12	10,20	9,90
M14	11,90	11,00
M16	13,90	13,90
M18	15,35	15,00

В такому випадку, після визначення діаметра каната і характеристик муфти потрібно вибрати діаметр отвору під установку каната з ряду діаметрів під нарізання різьби, визначити діаметр різьби, вибрати гвинт за ГОСТ і виконати перевірковий розрахунок за однією з формул (12), (27).

Таким чином, в результаті виконання даної роботи за рахунок проведених теоретичних досліджень:

- на основі аналізу роботи пружних канатних муфт з осьовою паралельною та радіальною установкою прямолінійних канатів запропоновано їх розрахункові схеми;
- отримано аналітичні залежності для проектного та перевіркового розрахунку затискних гвинтів канатних муфт на міцність;
- на основі отриманих розрахункових залежностей та відпрацювання конструкцій муфт на технологічність запропоновано методику визначення діаметру затискних гвинтів.

Подальші пошуки в даній галузі слід спрямувати на:

- дослідження статичної міцності муфт та її залежності від монтажних, технологічних та експлуатаційних факторів;

- експериментальні дослідження силових та енергетичних параметрів при складанні муфт;
- дослідження рівномірності розподілу навантаження між канатами та її залежності від монтажних, технологічних та експлуатаційних факторів;
- дослідження жорсткості закріплення канатів та її вплив на характеристики муфт.

Список літератури: 1. Малиновский В.А. Стальные канаты. Часть 1: Некоторые вопросы технологии, расчета и проектирования. – Одесса: Астропринт, 2001. – 188 с. 2. Прикладная механика / [Заблонский К.И., Беляев М.С., Телис И.Я. и др.] ; Под ред. К.И. Заблонского. – К.: Вища школа, 1979. – 280 с. 3. Павлице В.Т. Основы конструирования та розрахунок деталей машин. – К.: Вища школа, 1993. – 558 с. 4. Иосилевич Г.Б. Детали машин. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с. 5. Иванов М.Н. Детали машин / Под ред. В.А. Финогенова. – М.: Высшая школа, 2000. – 383 с. 6. Шевченко С.В. Детали машин. Расчеты, конструирование, задачи. – К.: Кондор, 2008. – 492 с. 7. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. / Под ред. Н.И. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2006. – Т. 1. – 928 с. 8. Гевко Б.М. Технологія сільськогосподарського машинобудування. / Б.М. Гевко, І.Б. Гевко, Д.Л. Радик. – К: «Кондор», 2006. – 496 с. 9. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / [А.А. Панов, В.В. Аникин, Н.Г. Бойм и др.] Под общ. ред. А.А. Панова. – М.: Машиностроение, 2004. – 784 с. 10. Александров М.П. Грузоподъемные машины. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 552 с. 11. Підйомно-транспортні машини: Розрахунки підймальних і транспортувальних машин / [Бондарев В.С., Дубинець О.І., Колісник М.П. та ін.] – К.: Вища школа, 2009. – 734 с.

Надійшла до редколегії 14.05.2010 р.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАМЕТРА ЗАЖИМНЫХ ВИНТОВ КАНАТНЫХ МУФТ

Проценко В.А. (ХНТУ, г. Херсон, Украина)

На основе анализа условий нагружения канатов построены расчетные схемы и выведены аналитические зависимости для проектного и проверочного расчета зажимных винтов канатных муфт на прочность. Получены зависимости для определения момента затяжки винтов при сборке муфт. Рассмотрены технологические особенности определения диаметра винтов. Предложена методика определения диаметра винтов.

Ключевые слова: муфта, канат, винт, прочность, технологичность.

DEFINITION OF DIAMETER OF TIGHTENING SCREWS ROPE MUFFS

Procenko V.O. (KNTU, Kherson, Ukraine)

On the basis of the analysis of conditions weighting ropes settlement schemes are constructed and analytical dependences for design and verifying calculation of tightening screws rope muffs on strength are offered. Associations for definition of the torque of an inhaling of screws are received. Technological features of definition of diameter of screws are considered. The technique of definition of diameter of screws is offered.

Keywords: muff, rope, screw, durability, adaptability to manufacture.