

В. О. Проценко, О. Ю. Клементьєва
Херсонська державна морська академія

ХАРАКТЕРИСТИКА МУФТИ З ТОРЦЕВИМИ КАНАТАМИ ТАНГЕНЦІАЛЬНОГО РОЗТАШУВАННЯ У РЕЖИМАХ АВЕРСУ ТА РЕВЕРСУ

© Проценко В. О., Клементьєва О. Ю., 2016

Розглянуто характеристики муфти з торцевим встановленням канатів тангенціального розташування у режимах аверсу та реверсу. Оцінено вплив деяких конструктивних параметрів на жорсткість муфти. Виконано порівняння характеристик муфт з хордальним та тангенціальним розташуванням канатів. Встановлено переважну галузь використання кожного типу муфти. Запропоновано напрями подальших досліджень.

Ключові слова: муфта, встановлення канатів тангенціального розташування, жорсткість муфти.

The characteristics of the coupling with face installation tangential located ropes in the obverse and reverse modes. The effect of some design parameters on the coupling torsional rigidity is rated. The comparison of the characteristics of couplings with chordal and tangential location of ropes. The area of the preferred use each type of coupling is establishing. Directions for further research are offered.

Key words: the coupling, installation tangential located ropes, coupling torsional rigidity.

Вступ. Розроблення та обґрунтування параметрів муфти із високою та низькою крутильною жорсткістю перспективне для багатьох галузей машинознавства. Зокрема, муфти металорізальних верстатів, що застосовуються для сполучення валів у кінематичних ланцюгах подачі, поділу тощо, повинні мати високу крутильну жорсткість. Тому в таких випадках часто застосовують спеціальні конструкції муфт високої крутильної жорсткості – напівжорсткі пластинчасті муфти та муфти у вигляді циліндрів із прорізами типу сифонних конструкцій. Безвідмовність таких муфт знижується зі збільшенням їх розмірів через високу радіальну жорсткість та більші значення зазорів, а відтак і неспіввісностей у приводах важких верстатів. Іншою вадою цих муфт є значні навантаження на опори та висока вартість. Приводи головного руху, навпаки, можуть потребувати встановлення муфт, піддатливих для сприяння зниженню динамічних навантажень, що збільшує довговічність деталей верстатів та якість оброблених на них поверхонь. У приводах головного руху верстатів найчастіше встановлюються муфти з неметалевими пружними елементами типу муфт МПВП та муфт з пружною зірочкою, які характеризуються відомими недоліками [1]. З огляду на викладене, удосконалення наявних, розроблення та обґрунтування параметрів нових конструкцій муфт є актуальним завданням.

Аналіз стану проблеми та постановка задачі. Автори раніше розробили, запатентували та досліджують нові конструкції муфт з торцевим встановленням канатів тангенціального розташування [2]. На рис. 1 показано схему такої муфти. Муфта складається з двох напівмуфт – зовнішньої 1 і внутрішньої 2, що сполучені за рахунок пружних елементів 3, якими є канати, кожен з яких закріплений одним кінцем 4 в пальці 5, встановленому в зовнішній напівмуфті 1, а іншим

кінцем 6 у пальці 7, встановленому у внутрішній напівмуфті 2. Пальці 5 і 7 пропущені в осьові отвори 8 втулок 9 та отвори 10 фланців 11 напівмуфт 1 і 2 та затягнуті гайками 12, що встановлені на їх різьбові кінці 13. Канати пропущені в поперечні отвори 14 втулок 9 і отвори 15 пальців 5 і 7.

Основним режимом роботи такої муфти досі вважався режим аверсу, в якому обертання муфти відбувається в напрямку розтягу канатів. Очевидно, що в цьому випадку муфта матиме високу крутильну жорсткість. В режимі реверсу канати працюватимуть на стиск, а відтак в цьому випадку крутильна жорсткість муфти зміниться. Крутильну жорсткість муфт з торцевим встановленням канатів тангенціального розташування для обох зі згаданих режимів сьогодні досліджено недостатньо, тому визначення залежності пружного моменту муфти від кута її закручування в напрямку розтягу та стиску канатів – завдання цієї роботи.

Виклад основного матеріалу. Спершу розглянемо роботу муфти в режимі реверсу, тобто в разі стискання канатів. Для оцінки її жорсткості вивчали жорсткість за стиску дослідного зразка каната діаметром $d_k = 6$ мм конструкції (6×19 + о.с.) (діаметр дротин $\delta = 0,38$ мм, довжина $L_k = 33$), що встановлювався в модельному зразку муфти (рис. 2). Канат затискали одним кінцем у шпindelному патроні токарно-гвинторізного верстата, а іншим кінцем – у патроні, встановленому в пінолі задньої бабки (рис. 3). Деформацію каната Δ заміряли індикатором годинникового типу, а зусилля стиску – за рахунок визначення моменту на маховику задньої бабки. Показник тертя в спряженнях бабки визначали попередньо за рахунок стиску тарувальної пружини жорсткістю $c = 0,35$ кг/мм, він становив $tg(\psi + \varphi) = 0,38$. Перерахунок колового зусилля на маховику бабки на осьове зусилля стискання каната виконували за відомими залежностями з теорії гвинтової пари. Результати експерименту наочно демонструє побудований на рис. 4 графік, з якого видно, що канат за стиску має власну нелінійну «м'яку» характеристику, що апроксимується рівнянням (1).

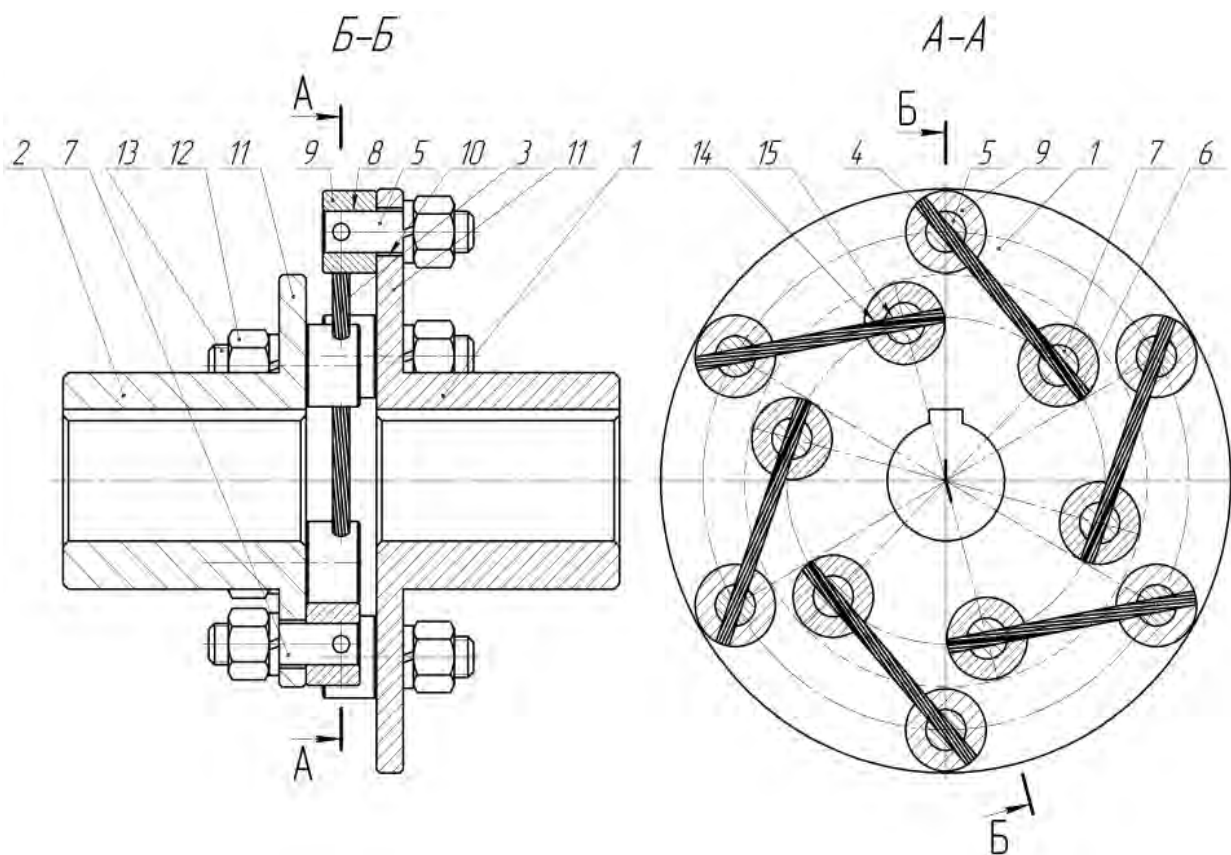


Рис. 1. Схема муфти з торцевим встановленням прямих канатів

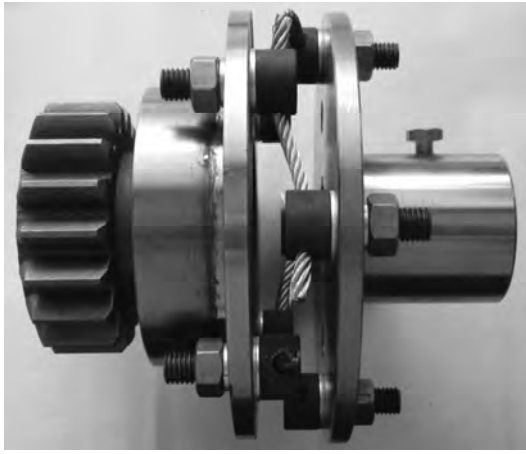


Рис. 2. Загальний вигляд модельної муфти

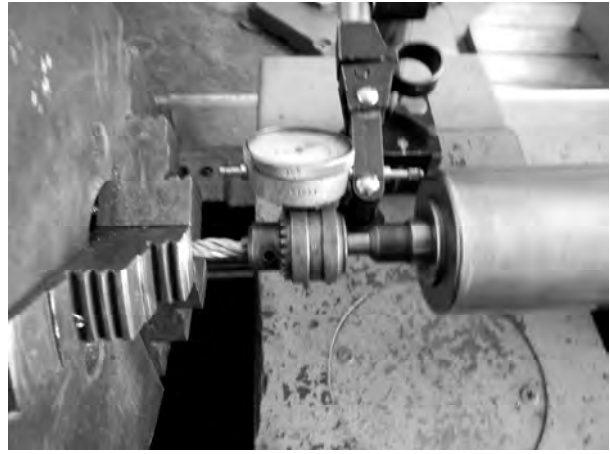


Рис. 3. Визначення жорсткості каната за стиску

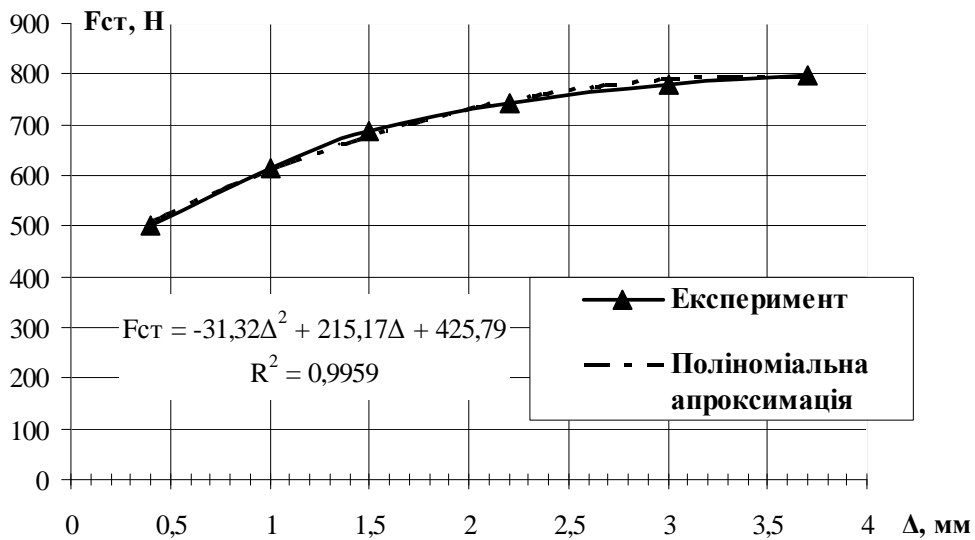


Рис. 4. Залежність пружної сили сталевго каната від деформації за стиску

$$F_{ст} = -31,32\Delta^2 + 215,17\Delta + 425,79. \quad (1)$$

Для отримання характеристики муфти, яка працює у режимі реверсу (закручування в напрямку стиску канатів), розглянемо передавання нею обертального моменту (рис. 5). При цьому на затискному елементі 1, що закріплений у фланці ведучої напівмуфти (на рисунку не показаний), виникає сила $F_{ст}$, яка стискає канат і передається на кріпильний елемент 2, що закріплений у фланці веденої напівмуфти, створюючи на ньому обертальний момент.

Одним з основних параметрів характеристик муфти є кут монтажного зміщення напівмуфт ξ , що пов'язаний з іншими геометричними параметрами (трикутник OAB) залежністю (2):

$$\cos \xi = \frac{0,25(D_{зв}^2 + D_{вн}^2) - L_k^2}{0,5D_{зв} D_{вн}}. \quad (2)$$

У разі деформування каната на величину Δ_i значення кута ξ_i становитиме:

$$\xi_i = \arccos \left(\frac{0,25(D_{зв}^2 + D_{вн}^2) - (L_k - \Delta_i)^2}{0,5D_{зв} D_{вн}} \right). \quad (3)$$

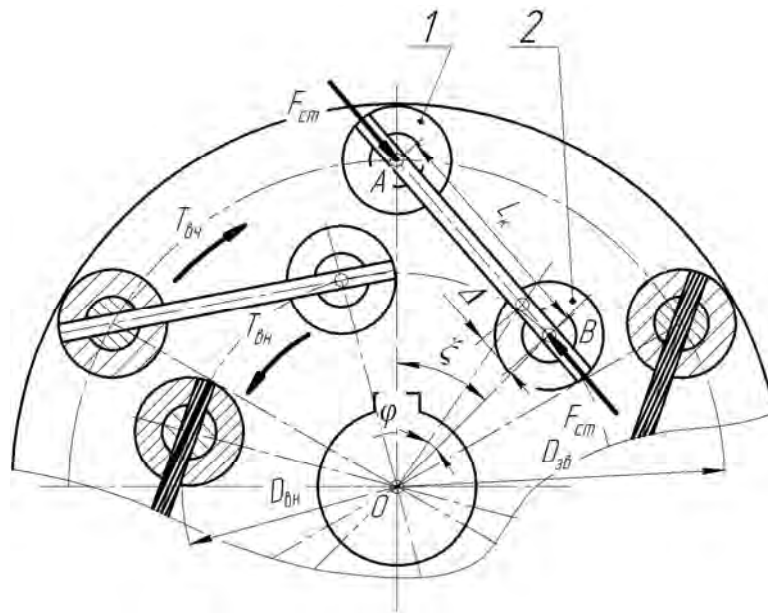


Рис. 5. Розрахункова схема муфти в режимі реверсу

А пружний момент муфти в режимі реверсу набуде значення:

$$T_{mpi} = \frac{z F_{cm} D_{зб} D_{вн} \sin \xi_i}{4(L_k - \Delta_i)} \quad (4)$$

Кут закручування муфти φ_i при цьому становитиме:

$$\varphi_i = \xi - \xi_i \quad (5)$$

Числове моделювання за отриманими формулами виконували для муфти (рис. 2), оснащеної дослідженими канатами, у якій $z = 4$, $D_{зб} = 145$ мм, $D_{вн} = 95$ мм. Кут монтажного зміщення на початковому етапі прийняли таким, що дорівнює оптимальному з погляду зниження навантаженості канатів $\xi_F = 49^\circ$ [3]. Результат моделювання, а саме характеристику муфти під час роботи в режимі реверсу – залежність її пружного моменту T_{mp} від кута закручування φ показано на рис. 6 суцільною лінією.

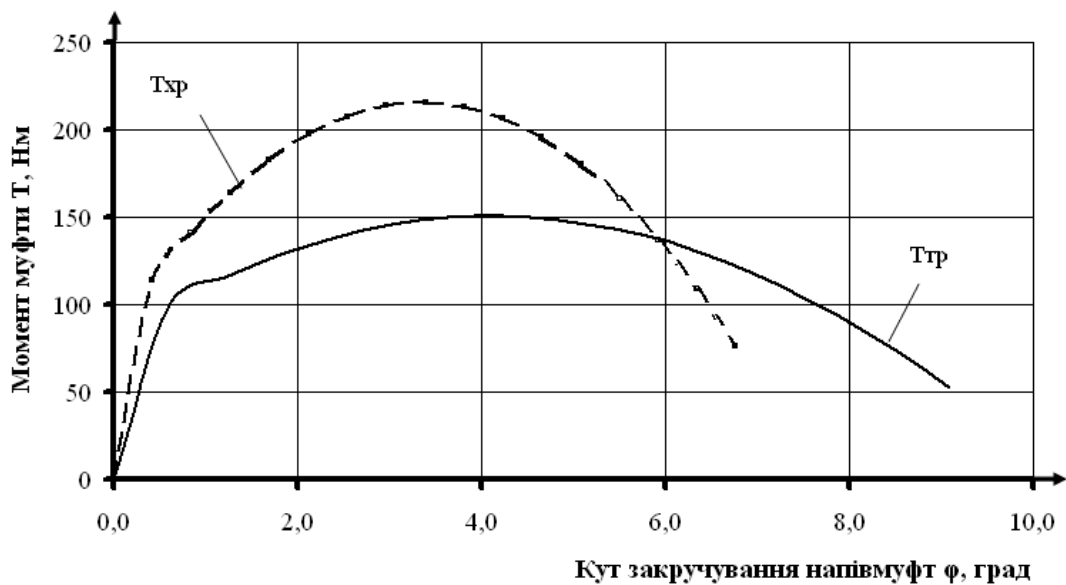


Рис. 6. Характеристики муфт у режимі реверсу

Для порівняння на рис. 6 штриховою лінією показана характеристика муфти з хордальним розташуванням канатів [4] у разі її закручування у напрямку стиску канатів, що отримана в інших роботах. Характеристика муфти з тангенціальним розташуванням канатів є пологішою, що свідчить про більшу перспективність таких муфт для захисту приводів від перевантажень. На користь цього твердження свідчить також наявність на характеристиці муфти ділянки квазінульової жорсткості. Проте муфта з тангенціальними канатами в цьому варіанті має на 30 % меншу навантажувальну здатність (момент $T_{mp} = 150$ Нм) порівняно з муфтою, оснащеною канатами хордального розташування (момент $T_{xp} = 215$ Нм).

Під час роботи муфти з тангенціальним розташуванням канатів у режимі аверсу канати від натягу силою F_n матимуть видовження Δ :

$$\Delta_i = \frac{F_n L_k}{E_k^p A_\Sigma}, \quad (6)$$

де $E_k^p = (1,0 \dots 1,2) \times 10^5$ МПа – модуль пружності каната при розтягу [5]; A_Σ – сумарна площа дротин каната.

Кут ξ_i при цьому набуде величини:

$$\xi_i = \arccos \left(\frac{0,25(D_{3\theta}^2 + D_{6\theta}^2) - (L_k + \Delta_i)^2}{0,5D_{3\theta}D_{6\theta}} \right). \quad (7)$$

Відповідно пружний момент муфти в режимі аверсу становитиме:

$$T_{mai} = \frac{zF_{cm}D_{3\theta}D_{6\theta} \sin \xi_i}{4(L_k + \Delta_i)}. \quad (8)$$

Кут закручування муфти φ_i дорівнюватиме:

$$\varphi_i = \xi_i - \xi. \quad (9)$$

Отримана характеристика муфти з тангенціальним розташуванням канатів під час її роботи в режимі аверсу показана на рис. 7 суцільною лінією, а штриховою лінією – характеристика муфти з хордальним розташуванням канатів. Графік свідчить, що муфта з тангенціальним розташуванням канатів, працюючи у режимі аверсу, за рівних розмірів також є піддатливішою, ніж муфта з хордальним розташуванням канатів, що уможливило розроблення рекомендацій щодо раціонального використання кожного типу муфт.

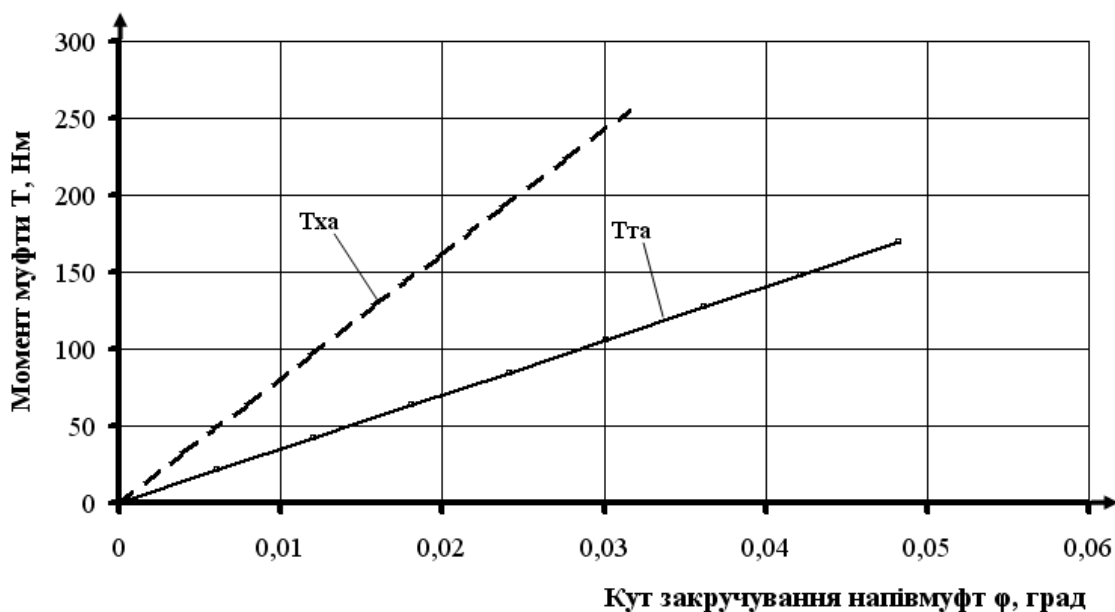


Рис. 7. Характеристики муфт у режимі аверсу

Далі досліджували вплив величини кута монтажного зміщення ζ на характеристику муфти в режимі реверсу. Результати моделювання подано на рис. 8. З аналізу наведеного графіка можна зробити висновок, що кут $\zeta_F = 49^\circ$ для муфти, що працює в режимі реверсу, забезпечує найбільшу навантажувальну здатність (найбільший момент $T_{mp} = 150$ Нм). Збільшення кута ζ порівняно зі значенням $\zeta_F = 49^\circ$ незначно знижує її навантажувальну здатність (якщо $\zeta = 65^\circ$, $T_{mp} = 148$ Нм, $\zeta = 80^\circ$ $T_{mp} = 140$ Нм) та збільшує кут закручування φ . Але зменшення кута ζ порівняно зі значенням $\zeta_F = 49^\circ$ спричиняє значне зниження навантажувальної здатності та розширення квазінульової ділянки. Так, зниження кута монтажного зміщення муфт до $\zeta = 25^\circ$ спричиняє зниження моменту муфти на 20 % (з 150 до 120 Нм) та збільшення кута закручування φ з $8,5^\circ$ до $12,5^\circ$, а подальше зниження значення кута до величини $\zeta = 20^\circ$ приводить до зниження моменту муфти на 30 % (з 150 до 100 Нм) та збільшення кута закручування φ з $8,5^\circ$ до 15° .

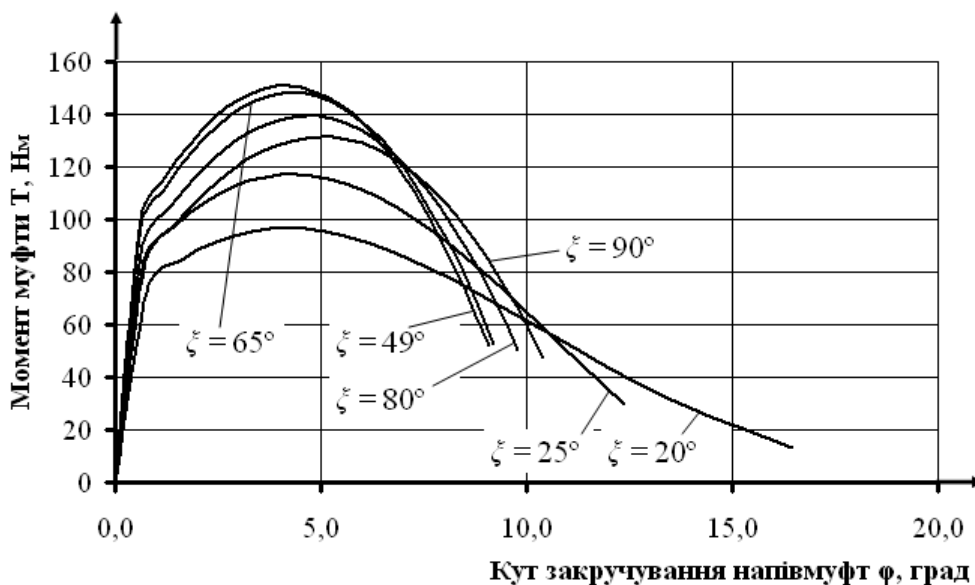


Рис. 8. Вплив кута монтажного зміщення ζ на характеристику муфти

Аналогічно побудовано графіки, показані на рис. 9, що ілюструють вплив на характеристику муфти кута монтажного зміщення напівмуфт ζ під час роботи в режимі аверсу. З наведеного на рис. 9 матеріалу можна зробити висновок, що жорсткість муфти зростає в інтервалі значення кута $\zeta = 20^\circ \dots 35^\circ$, а потім починає знижуватися, і найпіддатливішою муфта буде, якщо кут монтажного зміщення напівмуфт $\zeta = 90^\circ$. Цікаво, що характеристики муфти за $\zeta = 20^\circ$ та $\zeta = 49^\circ$ практично збігаються.

З виконаних досліджень можна зробити **висновки**:

1. Встановлено, що муфти з тангенціальним розташуванням канатів, працюючи в режимах аверсу та реверсу, за рівних розмірів є піддатливішими, ніж муфти з хордальним розташуванням канатів.

2. У режимі аверсу (в разі роботи канатів на розтяг) муфти обох типів є жорсткими і можна рекомендувати встановлювати їх у приводах, від яких вимагається висока кінематична точність.

3. У режимі реверсу (у разі роботи канатів на стиск) муфта з торцевим розташуванням канатів має пологішу характеристику, ніж муфта з хордальним розташуванням канатів, та розширену ділянку квазінульової жорсткості. Однак муфта з тангенціальними канатами має на 30 % меншу навантажувальну здатність порівняно з муфтою, оснащеною канатами хордального розташування.

4. Показано, що найбільшу навантажувальну здатність муфти з тангенціально розташованими канатами під час роботи в режимі реверсу забезпечує кут $\zeta_F = 49^\circ$. Збільшення кута ζ порівняно зі значенням $\zeta_F = 49^\circ$ неістотно знижує її навантажувальну здатність (якщо $\zeta = 65^\circ$ $T_{mp} = 148$ Нм, $\zeta = 80^\circ$ $T_{mp} = 140$ Нм) та розширює характеристику за рахунок збільшення кута закручування φ .

Зменшення кута ζ порівняно зі значенням $\zeta_F = 49^\circ$ спричиняє значне зниження навантажувальної здатності та розширення квазінульової ділянки. У разі зменшення до величини $\zeta = 25^\circ$ пружний момент муфти зменшується на 20 %, а кут закручування φ збільшується з $8,5^\circ$ до $12,5^\circ$. Зниження значення кута ζ до величини 20° спричиняє зниження моменту муфти на 30 % та збільшення кута закручування φ з $8,5^\circ$ до 15° .

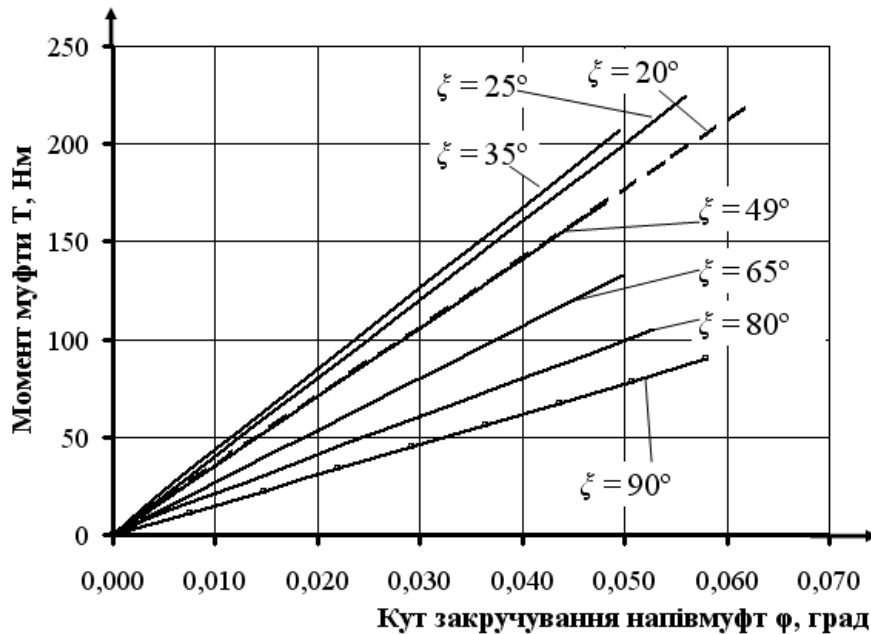


Рис. 9. Ілюстрація етапів процесу затискання каната

5. Встановлено, що під час роботи муфти з тангенціально розташованими канатами в режимі аверсу її крутильна жорсткість зростає в інтервалі значення кута $\zeta = 20^\circ \dots 35^\circ$, а у разі його подальшого збільшення починає знижуватися, і найбільшу піддатливість муфта має, якщо значення кута $\zeta = 90^\circ$.

Напрями подальших досліджень

1. Вплив зміщень поєднаних валів на характеристику муфт у режимах аверсу та реверсу.
2. Вплив характеристик муфт на динамічні характеристики приводів, оснащених ними.
3. Розроблення методики проектування нових муфт.

1. Ривин Е. И. Сравнительная оценка конструкций соединительных муфт / Е. И. Ривин // Вестник машиностроения. – 1972. – № 7. – С. 9–13. 2. Проценко В. О. Геометричні та силові параметри муфти з торцевою установкою канатів тангенціального розташування / В. О. Проценко, В. О. Настасенко, О. Ю. Клементьєва // Підійомно-транспортна техніка: науково-технічний та виробничий журнал. – Одеса: ІНТЕРПРІНТ. – 2015. – № 4. – С. 53–59. 3. Проценко В. О. Вплив компоновки муфти з торцевими канатами тангенціального розташування на силову взаємодію її елементів / В. О. Проценко, О. Ю. Клементьєва // Науковий вісник НЛТУ України. – Львів: НЛТУ України, 2016. – Вип. 26.1 – С. 292–397. 4. Проценко В. О. Проектування муфти з торцевою установкою прямих канатів / В. О. Проценко // Гірничі, будівельні, дорожні, меліоративні машини. – К.: КНУБА, 2011. – Вип. 77 – С. 44–50. 5. Комаров М.С. Определение расчетных нагрузок производственных механизмов и машин. – М.–К.: Машигиз, 1958. – 142 с.