

Стрілець О. Р., к.т.н., доцент, Нечипорук К. О., студент
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне), **Степанюк А. А., к.т.н., викладач**
(Рівненський автотранспортний фаховий коледж НУВГП, м. Рівне)

РОЗРОБКА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ ВИГОТОВЛЕННЯ W-ПОДІБНОЇ ПРУЖИНИ МУФТИ ПРУЖНОЇ

Розглянуто спосіб виготовлення W-подібної пружини муфти пружної, що включає в себе складений пуансон та складену матрицю, які забезпечують формування прогнозованого профілю W-подібної пружини відомої пружної муфти. Наведені аналітичні залежності обґрунтовують розміри заготовки, яка в результаті дозволить отримати W-подібну пружину з конфігурацією, що б узгоджувалась з розмірами відповідної пружної муфти та навантаженням, яке вона передає. Описано принцип утворення профілю W-подібних пружин за вищезгаданим способом. Запропоновано спосіб виготовлення W-подібних пружин дає змогу в подальшому проектувати пристрої та обладнання для виготовлення W-подібних пружин з можливістю їх автоматизації та використання в масовому виробництві пружних муфт.

Ключові слова: муфта; обертальний момент; динамічне навантаження; пружина; спосіб виготовлення.

Постановка проблеми. У різних галузях машино- та приладобудування часто виникає необхідність з'єднання валів, що знаходяться на одній осі. Для забезпечення цієї задачі використовують муфти, зокрема механічні, описані, наприклад, у [1; 2; 3]. У цих роботах стверджується, що при передаванні обертального моменту від одного вала до іншого деякі муфти, крім безпосереднього з'єднання валів, виконують ще чимало додаткових функцій, що часто можуть визначати надійність і довговічність всієї машини. Серед таких функцій виділимо компенсацію шкідливого впливу зміщення осей валів, що виникають унаслідок неточностей виготовлення, монтажу та умов експлуатації, та амортизацію вібрацій і динамічних навантажень. Такі можливості муфти отримують за рахунок особливого конструктивного виконання,

356

наприклад, удосконалення некерованих муфт зі створенням нової конструкції муфти пружної реверсивної з W-подібними пружинами [4]. Така муфта поліпшує умови роботи подібних пружних муфт, але містить в складі елемент складної геометричної форми – W-подібну пружину, яку важко виготовити з використанням існуючих інструментів та верстатів. Тому у нашій статті пропонуємо новий спосіб виготовлення W-подібної пружини пружної муфти, розроблений на рівні патенту України на корисну модель [5], який дасть змогу розробляти нові пристрої та обладнання для спрощення виготовлення пружин згаданого складного профілю та можливості його автоматизації для серійного виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для розробки способу створення пружин, що беруть участь в передаванні оберտального моменту, важливо розуміти типову будову та принципи передавання руху механічними муфтами з пружними елементами. Цьому присвячена велика кількість наукових та науково-методичних праць, зокрема [6–9].

В [6] описано будову та принцип передавання оберտального моменту пружними муфтами з радіальними підковоподібними пружинами, та досліджено їх напружений стан.

В [7] наведені способи передавання оберտального моменту та конструкції нових інерційно-вакуумних муфт та особливості динамічних характеристик при різних формах їх виконання.

В [8] 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 робото здатність таких муфт.

В [9] описано конструкцію та принцип передавання оберտального моменту реверсивною пружною муфтою де пружина виконана профільною, наприклад, квадратною з підковоподібними вершинами і з такими профільними ділянками виконані вали, що з'єднуються. Приведені аналітичні залежності її розмірів від оберտального моменту, що передається.

Із аналізу останніх публікацій видно, що науковці, проєктувальники і конструктори продовжують шукати шляхи покращення конструкцій і принципу роботи муфт, використовуючи різні профілі пружних елементів, але розробці способів виконання окремих деталей увага не приділяється.

В [10] наведено спосіб виготовлення підковоподібних пружин, за яким здійснюється формування складного профілю пружини за допомогою матриці і пуансона. Основним недоліком такого способу виготовлення підковоподібних пружин є невідповідність форми отриманого виробу необхідній W-подібній пружині та неможливість досягнення її тільки заміною форми пуансона, через геометричні особливості W-подібних пружин.

Метою роботи є створення нового способу, що забезпечить можливості формування профілю W-подібної пружини пружної муфти та обґрунтування розмірів заготовки, що б узгоджувались з розмірами відповідної пружної муфти

Виклад основного матеріалу. На рис. 1 показано відому муфту пружну реверсивну [4], яка складається з двох півмуфт зовнішньої 1 і внутрішньої 2. Зовнішня півмуфта 1 містить маточину 3, обойму 4 з внутрішніми виступами 5. Внутрішню півмуфту 2 виконано у вигляді маточини 6 та зовнішніх виступів 7. Між внутрішніми виступами 5 і зовнішніми виступами 7 поставлені W-подібні пружини 8 з центральною ділянкою 9 і зовнішніми ділянками 10.

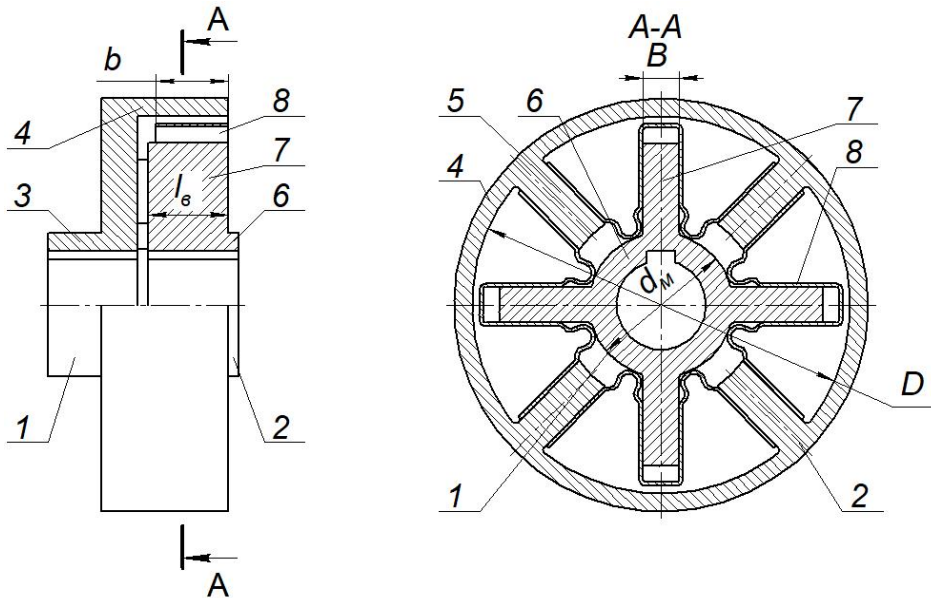


Рис. 1. Муфта пружна реверсивна

Детально, будову та принцип передавання обертального моменту за допомогою такої муфти описано в [4]. Запропонована муфта пружна реверсивна є більш надійною при передаванні

динамічних навантажень, тому що деформація W-подібних пружин забезпечує демпфування радіальних коливань, що можуть виникати через неспівпадіння осей валів, а обертальний момент передається м'якіше.

Виготовлення такої пружини неможливе за рахунок притискання пуансона, що копіював би форму вигнутості пружини до аналогічної матриці, через складний профіль з від'ємними кутами нахилу деяких ділянок, які завадять пуансону пройти в кінцеве положення при одновимірному його переміщенні.

На практиці W-подібну пружину виготовляли б ручним слюсарним інструментом чи універсальним ручним верстатом для гнуття послідовно утворюючи кожен вигин, або багатокроковим технологічним процесом на металозгинальному верстаті [11] з багаторазовим зніманням заготовки і розміщенням її в іншому положенні. Така методика прийнятна для виготовлення дослідного зразка, але не раціональна при масовому виготовленні стандартизованих муфт.

У цій роботі запропоновано спосіб для забезпечення можливості формування профілю W-подібної пружини пружної муфти та обґрунтування розмірів заготовки, що б узгоджувались з розмірами відповідної пружної муфти.

Поставлену задачу можна досягти наступним чином. Заготовку для W-подібної пружини у вигляді, наприклад, пластини з пружинної сталі з товщиною δ , шириною b , довжиною L , термічно обробленої відомими способами для отримання пластичних деформацій [12], закріплюють на середній частині складеної матриці, і, першим переміщенням складеного пуансона, формують проміжну форму W-подібної пружини, з тим, відводячи складений пуансон одночасно з середньою частиною складеної матриці та W-подібною пружиною у верхнє положення отримують остаточну форму W-подібної пружини за рахунок повороту рухомих бокових частин складеного пуансона, і далі, готову W-подібну пружину демонтують і термічно обробляють відомими способами для набуття пружних властивостей.

При цьому геометричні розміри отриманої пружини (рис. 2) повинні узгоджуватись з розмірами пружної реверсивної муфти, під яку пружина виготовляється та забезпечувати міцність.

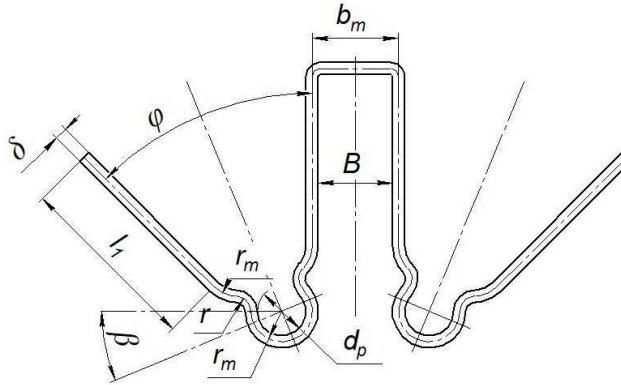


Рис. 2. Геометричні розміри W-подібної пружини

Розміри поперечного перерізу заготовки приймаються так, щоб ширина b відповідала довжині зовнішнього виступу внутрішньої півмуфти пружної муфти. Товщина δ при цьому знайдеться з умови міцності, детальніше описаної в [4]:

$$\delta \approx \sqrt{\frac{32Fl}{b\sigma_{adm}}}. \quad (1)$$

Довжину заготовки в загальному можна визначити за наступною формулою:

$$L = 4l_1 + 2r_m(4\beta + \pi) + 8r\beta + b_m. \quad (2)$$

де l_1 – довжина радіальних прямолінійних ділянок W-подібної пружини; r_m – середній радіус колової перехідної ділянки W-подібної пружини; r – радіус конструктивних скруглень по середній лінії W-подібної пружини, b_m – ширина центральної прямолінійної ділянки по середній лінії W-подібної пружини, β – кут розміщення конструктивних скруглень, відносно центра кривизни колової перехідної ділянки W-подібної пружини, рад.

Якщо прийняти наступні спрощення, отримані після оптимізації при конструюванні, що $\beta = \pi/6$ рад, $r = 0,5r_m$, та врахувати, що $2r_m = d_p + \delta$, $b_m = B + \delta$, де d_p – діаметр колової перехідної ділянки W-подібної пружини по внутрішній стінці, B – ширина зовнішніх виступів внутрішньої півмуфти пружної муфти, підставивши в (2) отримуємо остаточну формулу для довжини заготовки:

$$L = 4l_1 + 2\pi d_p + 3\delta + B. \quad (3)$$

Для забезпечення монтажу W-подібної пружини розміри колових перехідних ділянок не повинні перевищувати діаметр, при

якому відбувається дотикання їх зовнішніх стінок до бічної грані зовнішніх виступів та маточини внутрішньої півмуфти:

$$d_p \leq \frac{d_m \sin \varphi / 2}{1 - \sin \varphi / 2} - 2\delta, \quad (4)$$

де $\varphi = \pi/2$ – половина кута розстановки W-подібних пружин в муфті пружній, а z – кількість W-подібних пружин в муфті пружній

Довжини радіальних ділянок l_1 , повинні узгоджуватись з розміром простору муфти для монтажу W-подібних пружин, що в поперечному перерізі обмежується діаметром D зовнішньої півмуфти та діаметром маточини d_m внутрішньої півмуфти муфти пружної. Також потрібно врахувати остаточно прийняте значення d_p із (4). Маємо, що:

$$l_1 = \frac{1}{2}(D - 3(d_p + \delta) \sin \beta) - 3 \dots 5 \text{ мм} \quad (5)$$

Запропонований спосіб виготовлення W-подібної пружини пружної муфти дозволяє легко виготовляти W-подібні пружини для пружних муфт та інших виробів, які працюють в умовах динамічного навантаження, та обґрунтовує розміри заготовки формулою, отриманою розрахунково з врахуванням досвіду технології машинобудування так, щоб довжина заготовки дозволяла отримати профіль W-подібної пружини з геометрією, що узгоджується з розмірами відповідної пружної муфти.

Спосіб виготовлення W-подібної пружини муфти пружної здійснюється наступним чином (рис. 3). Виготовляють заготовку у вигляді плоскої пластини 1 з пружинної сталі товщиною δ , шириною b , довжиною L відповідно до формули (3), і термічно обробляють відомими способами для отримання пластичних деформацій. На складеній матриці 2, що складається з профільних бокових частин 3 та середньої частини 4, встановлюють заготовку у вигляді пластини 1, закріплюючи її на середній частині 4, наприклад, за допомогою П-подібних зачепів 5 (рис. 3, а). Далі за допомогою сили F , прикладеної до складеного пуансона 6, що складається з рухомих бокових частин 7, прикріплених до напрямної 8 так, що при переміщенні вниз рухомі бокові частини 7 зберігають визначене нерухоме положення відносно напрямної 8, формують проміжну форму 9 W-подібної пружини 10 (рис. 3, б). Затим складений пуансон 6 повертають у початкове положення, одночасно з середньою частиною 4 складеної матриці 2 і закріпленою на ній заготовкою у проміжній формі 9,

зберігаючи їх відносне розміщення (рис. 3, в). У цьому положенні, рухомі бокові частини 7 складеного пуансона 6 повертають, за допомогою момента T , вибираючи вільний простір між отриманою проміжною формою 9 і боковими гранями середньої частини 4 складеної матриці 2, тим самим утворюючи кінцеву форму W-подібної пружини 10 (рис. 3, г).

Потім виймають виготовлену W-подібну пружину 10, яку термічно обробляють відомими способами для набуття пружних властивостей.

Висновки:

1. Отримані формули для геометричних розмірів заготовки W-подібної пружини дозволяють отримати заготовку, що забезпечить формування W-подібної пружини за наведеним способом з передбачуваною конфігурацією, що узгоджується з розмірами відповідної муфти пружної.

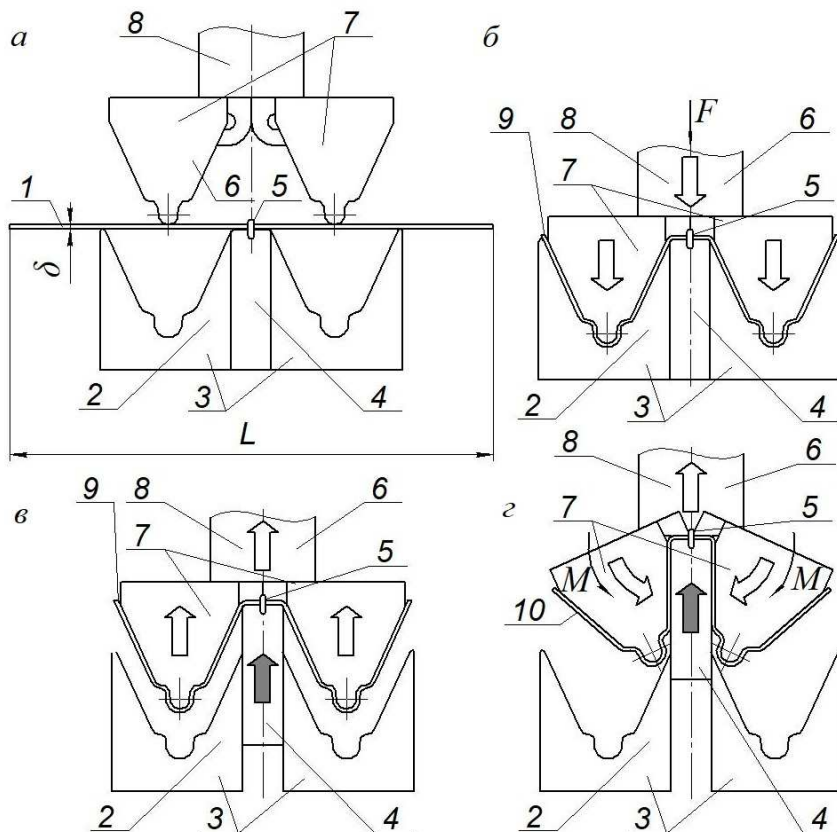


Рис. 3. Спосіб виготовлення W-подібної пружини муфти пружної

2. Запропонований спосіб виготовлення W-подібних пружин дозволяє в подальшому проектувати пристрої та обладнання для виготовлення W-подібних пружин, з можливістю їх автоматизації та використання в масовому виробництві пружних муфт.

1. Малащенко В. О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків : навч. посіб. 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. Bhandary V. V. Design of Machine Elements. New Dheli: Tata McGrew-Hill Education Private Ltd., 2007. 934 p. 4. Стрілець О. Р., Сергійчук В. Ю., Щучик В. Ю. Будова, принцип роботи та розрахунки муфти реверсивної з W-подібними пружинами. *Вісник НУВГП. Технічні науки*. Рівне : НУВГП, 2022. Вип. 1 (97). С. 324–335. 5. Спосіб виготовлення W-подібних пружин муфти пружної : пат. 140641 Україна: МПК F 16 F 1/02. u № 2024 07749; заявл. 20.02.24; опубл. 10.03.24, Бюл. № 5. 3 с. 6. Стрілець В. М., Федорук В. А., Стрілець О. Р., Герасимчук А. Л. Муфти з підковоподібними радіальними пружинами та їх розрахунки. *Вісник НУВГП. Технічні науки*. Рівне : НУВГП, 2011. Вип. 3 (55). С. 93–108. 7. 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. 8. Стрілець В. М., Стрілець О. Р., Завальський В. В. Напружений стан підковоподібних пружин з защемленими кінцями у пружних муфтах. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки : науковий журнал*. Хмельницький : ХНУ, 2014. Вип. 6. С. 12–17. 9. 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. Сер. Галузеве машинобудування, будівництво*. Полтава : ПНТУ, 2015. Вип. 3(45). С. 40–46. 10. Спосіб виготовлення підковоподібних пружин : пат. 95678 Україна : МПК F 16 F 1/02. u № 2014 09344; заявл. 22.08.14; опубл. 25.12.14, Бюл. № 4. 3 с. 11. Попов А. Ф., Пахар Т. В., Паржницький О. В., Шулепіна Г. Ю. Основи слюсарної справи : навч. посіб. Чернівці : Букрек, 2020. 224 с. 12. Пахаренко В. Л., Марчук М. М. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2009. 179 с.

REFERENCES:

1. Malashchenko V. O. Mufty pryvodiv. Konstruktsii ta pryklady rozrakhunkiv : navch. posib. Lviv : NU «Lvivska politekhnikha», 2006. 196 s. 2. Malashchenko V. O., Strilets V. M., Strilets O. R., Fedoruk V. A. Novi mufty mekhanichnykh pryvodiv

mashyn : monohrafiia. Rivne : NUVHP, 2019. 198 s. **3.** Bhandary V. B. Design of Machine Elements. New Dheli: Tata McGraw-Hill Education Private Ltd., 2007. 934 p. **4.** Strilets O. R., Serhiichuk V. Yu., Shchuchyk V. Iu. Budova, pryntsyv roboty ta rozrakhunky mufty reversyvnoi z W-podibnymy pruzhynamy. *Visnyk NUVHP. Tekhnichni nauky*. Rivne : NUVHP, 2022. Vyp. 1 (97). S. 324–335. **5.** Sposib vyhotovlennia W-podibnykh pruzhyn mufty pruzhnoi : pat. 140641 Ukraina: MPK F 16 F 1/02. u № 2024 07749; zaiavl. 20.02.24; opubl. 10.03.24, Biul. № 5. 3 s. **6.** Strilets V. M., Fedoruk V. A., Strilets O. R., Herasymchuk A. L. Mufty z pidkovopodibnymy radialnymy pruzhynamy ta yikh rozrakhunky. *Visnyk NUVHP. Tekhnichni nauky*. Rivne : NUVHP, 2011. Vyp. 3 (55). S. 93–108. **7.** Malashchenko V. O., Fedoruk V. A., Strilets V. M. Pryntsyv peredavannia enerhii dvyhuniv inertiino-fryktsiynymy muftamy ta yikh analiz *Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii*. Kherson : KhDMU, 2012. № 2 (7). S. 176–182. **8.** Strilets V. M., Strilets O. R., Zavalskyi V. V. Napruzhenyi stan pidkovopodibnykh pruzhyn z zashchemlenymy kintsiamy u pruzhnykh muftakh. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky : naukovyi zhurnal*. Khmelnytskyi : KhNU, 2014. Vyp. 6. S. 12–17. **9.** Strilets V. M., Lysanets O. V., Strilets O. R. Obgruntuvannia kinematyko-sylovykh parametriv zirkopodibnoi pruzhyny zapobizhnoi pruzhnoi mufty. *Zbirnyk naukovykh prats Poltavskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Ser. Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo*. Poltava : PNTU, 2015. Vyp. 3(45). S. 40–46. **10.** Sposib vyhotovlennia pidkovopodibnykh pruzhyn : pat. 95678 Ukraina : MPK F 16 F 1/02. u № 2014 09344; zaiavl. 22.08.14; opubl. 25.12.14, Biul. № 4. 3 s. **11.** Popov A. F., Pakhar T. V., Parzhnytskyi O. V., Shulepina H. Yu. Osnovy sliusarnoi spravy : navch. posib. Chernivtsi : Bukrek, 2020. 224 s. **12.** Pakharenko V. L., Marchuk M. M. Materialoznavstvo ta tekhnolohiia konstruktsiinykh materialiv : navch. posib. Rivne : NUVHP, 2009. 179 s.

Strilets O. R., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Nechyporuk K. O., Senior Student (National University of Water And Environmental Engineering, Rivne), **Stepaniuk A. A., Candidate of Engineering (Ph.D.), Lecturer** (Rivne Motor Vehicle Vocational College of NUWEE, Rivne)

DEVELOPMENT AND JUSTIFICATION OF THE MANUFACTURING METHOD OF W-SHAPED SPRING OF ELASTIC COUPLING

The method of manufacturing of W-shaped spring of an elastic coupling, which includes a composite punch and a composite matrix, has been considered, which ensure the formation of a predicted profile of a W-shaped spring of a known elastic coupling. Analytical dependencies justifying the dimensions of the workpiece, which as a



result will make it possible to obtain a W-shaped spring with a configuration that would be consistent with the dimensions of the corresponding elastic coupling and the load it transmits, have been given. The principle of formation of the profile of W-shaped springs according to the above-mentioned method has been described. The proposed method of manufacturing W-shaped springs makes it possible to further design devices and equipment for manufacturing W-shaped springs, with the possibility of their automation and use in the mass production of elastic couplings.

***Keywords:* coupling; torque; dynamic load; spring; method of manufacture.**