

д'Аламбера для систем, які характеризуються позовжнім рухом // Зб. науково-технічних праць: УкрДЛТУ – 2003. – Вип. 13.4. – С. 64–67. 6. Кошляков Н.С. Уравнения в частных производных математической физики. – М.: Высшая школа. – 712 с. 7. Найфе А.Х. Методы возмущений. М.: Мир, 1976. – 456 с. 8. Митропольский Ю.А. Метод усреднения в нелинейной механике. – К.: Наукова думка, 1972. – 440 с.

УДК 621.825.5

**Я.М. Новіцький, В.В. Ступницький\*, О.Й. Коцюмбас\*\***  
Національний Університет “Львівська політехніка”,  
кафедра деталей машин,  
\*кафедра технології машинобудування,  
\*\*кафедра експлуатації та ремонту автомобільної техніки

## **РОЗРАХУНОК ТА КОНСТРУЮВАННЯ ПРОРІЗНОЇ КОМПЕНСАЦІЙНОЇ МУФТИ**

© Новіцький Я.М., Ступницький В.В., Коцюмбас О.Й., 2005

**Розглянуто основи розрахунку та конструювання пружної компенсаційної муфти. Наведено основні залежності та методи їх встановлення, критерії оптимізації та способи вдосконалення конструкції. Перелічуються переваги та недоліки конструкції та можливі галузі її використання.**

**Bases of calculation and designing of resilient compensative muff are examined. The main dependences and methods of their mounting, criteria of optimization and methods of perfection of the unit are given here. Advantages and lacks of the unit and possible spheres of its use are counted.**

Один із найпоширеніших способів з'єднання неспіввісних валів – використання пружних компенсаційних муфт, характерною деталлю яких є еластичний компенсаційний елемент, що деформується в процесі експлуатації муфти.

Еластичні компенсаційні елементи таких муфт зазвичай виготовляють із гумових (рідше поліуретанових) матеріалів [1], які не витримують підвищених температур, що нерідко трапляється під час гасіння пожеж. Інший різновид компенсаційних елементів – металеві пружини та мембрани [3] – стійкі до високих температур, але мають деякі недоліки, а саме – високу вартість, низьку надійність, великі габаритні радіальні розміри.

Метою статті є розробка і дослідження нової конструкції компенсаційної муфти з меншими вартістю та габаритами і підвищеною надійністю завдяки двом особливостям: по-перше, муфта виготовлена з металу; по-друге – вона є суцільною, тобто не має складальних одиниць.

Конструкцію такої муфти наведено на рис. 1. Як видно із рисунка, основою муфти є труба із пружинної сталі, в якій з допомогою електроерозійного верстата виконано дуже вузькі ( $0,25 \pm 0,75$  мм) меандроподібні прорізи, що надають муфті високої податливості, і, як наслідок, компенсації неспіввісності валів.

Особливістю електроерозійної обробки [4] є висока точність ( $\pm 0,01 \pm 0,02$  мм) отриманих пазів, а також те, що пази можна виконувати після термообробки заготовки, що виключає короблення деталі. Для знімання дефектного шару металу з поверхні пазів та покращання параметрів шорсткості ( $Ra1 \pm 2,5 \rightarrow Ra0,16 \pm 0,25$ ), а також для підвищення корозійної стійкості застосовують [4] електрохімічне полірування виробу.

Принцип дії муфти такий. Муфта в ненавантаженому стані має високу податливість (рис. 2, область 1), що дозволяє легко з'єднати вали між собою. Під час навантаження муфти (передача моменту) вузькі пази змикаються, і жорсткість муфти різко зростає (область 3).

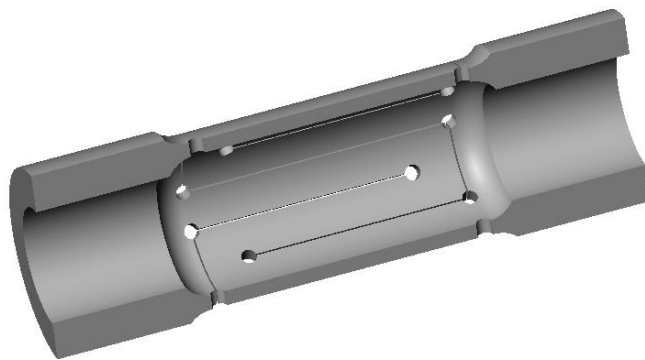


Рис. 1. Конструкція прорізної компенсаційної муфти

Тобто напружено-деформований стан муфти характеризується напруженнями згину, які виникають в “пружинках” під час з’єднання валів та деформації муфти до змикання пазів, а також контактних напружень між “пружинками” впродовж подальшого зростання крутного моменту (після змикання пазів).

Недоліком згинальних напружень є втомна міцність муфти, тому треба за змогою зменшувати як самі напруження, так і їх концентратори. Ці параметри регулюють переважно шириною прорізаного паза: вужчому пазу притаманна менша величина деформації пружинки, які контактують між собою, внаслідок цього меншими будуть напруження. Концентрацію напружень визначають діаметром попередньо просвердлених отворів (рис. 1), які замикають пази, та чистотою їх поверхні, тому їх виконують більшими та чистішими.

Недоліком контакту є нагрівання муфти внаслідок тертя в замкнених пазах, тому контактні напруження теж обмежуються. Тобто необхідно проектувати муфту за критерієм оптимального поєднання згинальних та контактних напружень в елементах конструкції.

Розраховувати напружено-деформований стан конструкції як до контакту її елементів між собою (область 1, рис. 2), так і після завершення формування плями контакту (область 3, рис. 2) зручно методом скінченних елементів (МСЕ) [2] з використанням ЕОМ, а деформації в області 2, рис. 2, тобто збільшення плями контакту під навантаженням та зменшення робочої довжини пружинки, краще розраховувати аналітично, вважаючи початковими умовами дані числового розрахунку в області 1.

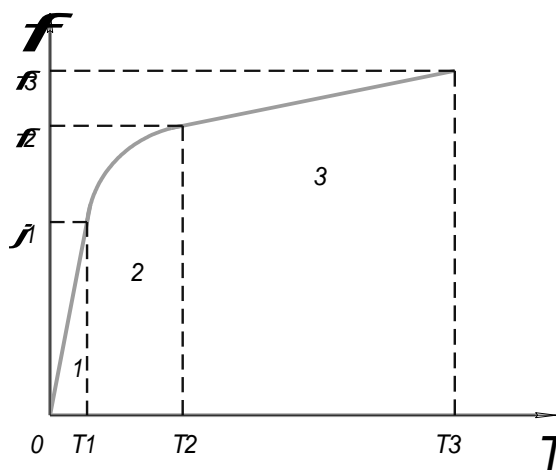


Рис. 2. Залежність куткової деформації муфти від моменту, що передається

Із аналізу роботи муфти випливає, що основним навантаженням на елементи конструкції є неспіввісність валів  $\Delta$  (рис. 3) (поперечна деформація муфти) та обертовий момент  $T$ , що передається муфтою (кручення муфти). Тобто пружні елементи муфти (до контакту між собою) наван-

тажені складним згинальним моментом  $M_{3Г}$ , який складається із суми моментів  $M_x$ ,  $M_y$  та  $M_z$ . Моменти  $M_y$  та  $M_z$  є наслідком деформації муфти  $\Delta$  і/або  $\delta$  по осях  $Y$  та  $Z$ . Момент  $M_x$  виникає внаслідок кручення муфти обертовим моментом  $T$  на величину  $\varphi$  (рис.2), що призводить до згину пружних елементів муфти відносно осі  $X$  та їх кручення на величину  $\varphi$ , внаслідок чого в елементах виникає внутрішній крутний момент  $M_{кр}$ .

Як зазначалось, пружні елементи муфти контактують між собою за умови зникнення зазору між ними, що є наслідком їх взаємної деформації.

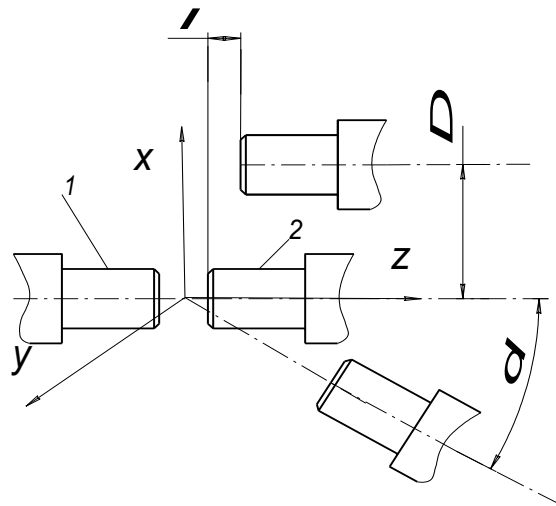


Рис. 3. Відхилення валів від ідеально правильного співвісного розташування

Розрізняють деформацію елементів внаслідок з'єднання валів муфтою ( $L_{\Delta}$ ) та деформацію елементів від передавання обертового моменту ( $L_{\varphi}$ ).

Якщо, наприклад, величина зміщення валів  $\Delta$  лежить на осі  $Y$  (рис. 3), то горизонтально розташовані елементи муфти деформуються в напрямі зміни (збільшення/зменшення) зазорів, а вертикально – в поперечному до зазорів напрямі, і тому їх деформація безпосередньо не впливає на процес зміни зазору. Якщо муфту навантажити обертовим моментом  $T$ , то при деякому його значенні величина рівномірної деформації елементів  $L_{\varphi}$  призведе до контакту елементів, розташованих біля горизонтальних зазорів. При цьому елементи, які розташовані біля вертикальних зазорів, не контактуватимуть. Оскільки муфта обертається відносно нерухомої осі зміщення валів, то елементи по чергові, з певним перекриттям, то вступатимуть в контакт, то виходитимуть з нього. При цьому у муфт з парною кількістю елементів процес вступу в контакт та виходу з нього відбуватиметься парами елементів (звичайно, при абсолютно однаковій жорсткості).

Еквівалентні напруження згину, які виникають під час експлуатації муфти, концентруються біля отворів, які замикають пази. На рис. 4 зображено картину еквівалентних напружень (4-та теорія міцності), що виникають за умови з'єднання валів та передавання такого граничного значення моменту, за якого замикаються пази ( $\Delta = 0,2$  мм;  $T = 40$  Нм).

Подальше збільшення обертового моменту призводить до виникнення та зростання контактних напружень за незмінних напружень згину. Контактні напруження можна істотно зменшити формуванням конструктивним шляхом необхідної площі контакту (довжини контактної лінії). Якщо муфту припрацювати в середовищі абразивної суспензії з достатнім відведенням тепла на регульованих навантаженнях, то можна отримати досить великі площадки контакту. Як видно із рис. 4, вони формуються по 2 шт. на один пружний елемент (2 пари тертя) біля отворів, що замикають пази. Причому максимумами контактних та еквівалентних згинальних напружень розташовані на різних боках пружних елементів. Те, що контактні та згинальні напруження додаються, не

погіршує ситуацію з двох причин. По-перше, напруження в зоні контакту не збігаються за напрямом, по-друге, вони невеликі. Наприклад, для цієї муфти за довжини контактної лінії 10 мм і товщини площадки 5 мм збільшення обертового моменту на 100 Нм після контакту ( $\Sigma 140$  Нм) зумовлює контактні напруження величиною 20 МПа.

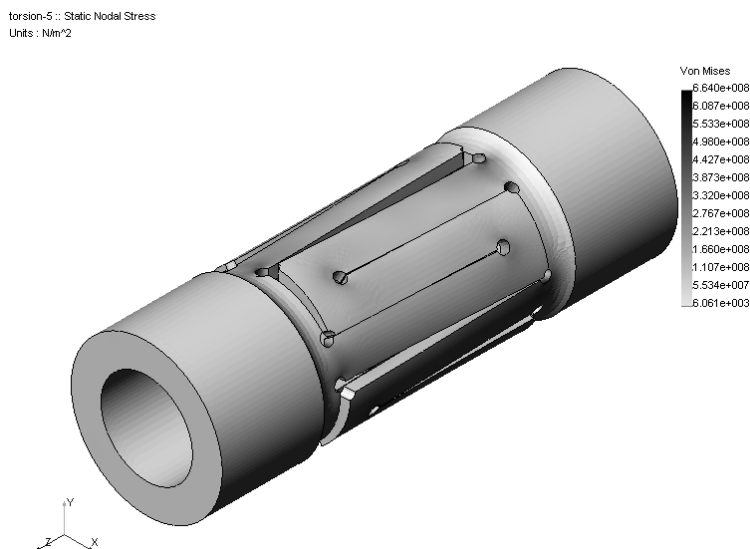


Рис. 4. Картина напружено-деформованого стану муфти (деформації утрировані)

Очевидно, що рекомендоване електрохімічне полірування муфти краще виконувати після її припрацьовування.

Дещо іншою є ситуація з нагріванням, що виникає під час контакту пружних елементів муфти між собою. Як відомо [3], температура в зоні контакту залежить від потужності тертя та величини тепловідведення. Потужність тертя [1] визначають за формулою:

$$P_T = \frac{2\Delta T f i \omega \Delta}{\sqrt{2}d_c}, \quad (1)$$

де  $\Delta T = T_{\text{ном}} - T_{\text{поч}}$  – різниця між номінальним обертовим моментом та значенням моменту, за якого починається контакт елементів конструкції;  $f$  – коефіцієнт тертя між елементами;  $i$  – кількість пар тертя;  $\omega$  – кутова частота обертання муфти;  $\Delta$  – величина неспіввісності валів (поперечної деформації муфти);  $d_c$  – середній діаметр муфти (площадки тертя).

Після підстановки  $\Delta T = 100$  Нм;  $f = 0,2$ ;  $i = 2$ ;  $\omega = 314$  рад/с;  $\Delta = 2 \times 10^{-4}$  м;  $d_c = 55 \times 10^{-3}$  м отримаємо  $P_T = 65$  Вт.

Тепловий розрахунок муфти зручно виконати МСЕ за допомогою ЕОМ. Коефіцієнт тепловіддачі муфти, що обертається, за конвективного теплообміну з атмосферою  $\alpha = 50$  Вт/(м<sup>2</sup>×°С) та температури навколишнього середовища 30 °С. Результат розрахунку наведено на рис. 5. Як видно із картини температурного розподілу, максимальною температура є на середній ланці пружного елемента муфти, який нагрівається з обох боків (106 °С). Мінімальна температура дорівнює 40 °С і спостерігається на краях муфти.

Як впливає із аналізу рівняння (1), максимальна величина температури залежить від  $\Delta T$  за незмінних інших чинників та умов, а для заданого значення  $T_{\text{ном}}$  – лише від  $T_{\text{поч}}$ .

З цього можна зробити висновок, що оптимізація робочої температури муфти та її напружено-деформованого стану може здійснюватися зміною ширини паза, оскільки *максимізація робочої температури муфти зумовлює мінімізацію згинальних напружень і навпаки*.

Для оцінки відносної втрати енергії під час її передавання муфтою між валами доцільно визначити коефіцієнт корисної дії. Як відомо:

$$\eta = \frac{P_{вих}}{P_{вх}} = \frac{P_{вх} - P_T}{P_{вх}} = 1 - \frac{P_T}{P_{вх}} = 1 - \frac{P_T}{T_{ном} \times \omega} = 1 - \frac{65}{140 \times 314} = 0,998$$

forson-2; Thermal Time Step: 1  
Units: Celsius



Рис. 5. Тепловий розрахунок муфти МСЕ за допомогою ЕОМ

Хоч вказано не всі чинники, що впливають на значення  $\eta$  (впливом внутрішнього тертя в металі знехтували), з цього можна зробити висновок щодо відносно малої роботи сил тертя. Цьому сприяють: низькі значення коефіцієнта тертя ( $f = 0,2$  – можна зменшити застосуванням оливи), мала кількість пар тертя ( $i = 2$ ), висока точність монтажу валів ( $\Delta = 0,2$  мм) та великі значення внутрішніх сил (згинальних напружень) в пружних елементах конструкції.

Недоліками муфти можна назвати аксіальні габарити та неможливість з'єднання валів нерухомих агрегатів (один з них до з'єднання повинен мати можливість руху в напрямі осі вала).

1. Детали машин. Расчет и конструирование: Справочник. В 3 т. Т.1. / Под ред. Н.С. Ачеркана. Изд. 3-е, перераб. – М.: Машиностроение, 1968. – 440 с. 2. Расчеты машиностроительных конструкций методом конечных элементов: Справочник. / Под общ. ред. В.И. Мяченкова. – М.: Машиностроение, 1989. – 520 с. 3. Справочник машиностроителя. В 6 т. Т. 4, кн.1. / Под ред. Н.С. Ачеркана. Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: МАШГИЗ, 1963. – 448 с. 4. Технологичность конструкции изделия: Справочник. Под общ. ред. Ю.Д. Амирова. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с.