

УДК 621. 825.1

К.К. Колесник

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра деталей машин

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ ТА ФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГУМОВИХ КІЛЕЦЬ НА ЖОРСТКІСНІ ВЛАСТИВОСТІ ПРУЖНОЇ ВТУЛКОВО-ПАЛЬЦЕВОЇ МУФТИ

© Колесник К.К., 2002

Викладається методика визначення впливу геометричних і фізичних параметрів гумових кілець пружної втулково-пальцевої муфти на її крутильну та лінійну (в напрямі паралельного зміщення осі однієї півмуфти щодо іншої) жорсткості. Розрахунок ґрунтується на аналізі деформованого стану кільця гумової втулки методом скінченних елементів. При побудові моделей для дослідження муфти використовувалася методика ділення деталей складальної одиниці на частини, а при їх розбитті на скінченні елементи використовувалися скінченні елементи із зазорами.

The method of the definition of influence geometric and physical properties of the rubber rings on torsional and linear (in a direction of parallel displacement by one half-clutch to another) stiffness of elastic bush-finger clutch is directed. The calculation is grounded on the analysis of strained state of a ring of a rubber bush by a finite element method. At constructing models the method of division of details of assembly on a part was applied to research of a clutch, and at their separation on finite elements - the finite gap-elements were applied.

Пружна втулково-пальцева муфта містить податливі елементи у вигляді гумових кілець, якими передається зусилля від пальців, жорстко зв'язаних з однією півмуфтою, до іншої півмуфти. Набір гумових кілець, насаджених на один і той же палець, утворює втулку муфти [1]. Аналіз роботи пружної втулки з достатньою для практики точністю може бути здійснений розрахунком напружено-деформованого стану окремо взятого гумового кільця [2]. У даній роботі досліджується вплив геометричних і фізичних параметрів гумових кілець на крутильну і лінійну (в напрямі паралельного зміщення осі однієї півмуфти щодо іншої) жорсткості муфти. Напружено-деформований стан гумових кілець аналізується із застосуванням методу скінченних елементів.

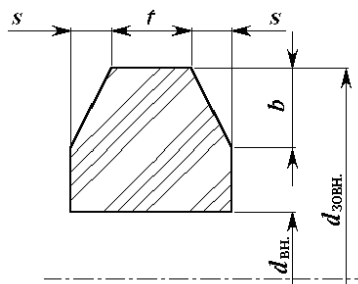


Рис. 1. Геометричні параметри гумового кільця

За об'єкт дослідження прийнято стандартну муфту типу МПВП (ГОСТ 21424-75 [3]), номінальний момент якої становить  $M_{\text{ном}} = 31,5$  Н·м. Гумове кільце муфти має такі розміри (рис. 1):  $s = 1,25$  мм;  $t = 2,5$  мм;  $d_{\text{вн.}} = 10$  мм;  $d_{\text{зовн.}} = 19$  мм;  $b = 2,5$  мм.

Під час дослідження впливу геометричних параметрів пружних елементів на крутильну  $c_{\phi}$  та лінійну  $c_x$  жорсткості пружної муфти змінювали один з розмірів гумового кільця, залишаючи постійними інші. Фізичні властивості матеріалу муфти визначаються значеннями модуля пружності  $E$  та коефіцієнта Пуассона  $\nu$ .

Використання сучасних обчислювальних систем I-Deas, Algor, CosmosWorks [4 – 6] для проведення розрахунків методом скінченних елементів дає можливість спростити розбиття твердотільних моделей на скінченні елементи і врахування у створених скінченно-елементних моделях крайових умов та зовнішніх навантажень. Існує, зокрема, можливість створення елементів із зазорами і врахування тертя між робочими поверхнями деталей складальної одиниці. Крім цього, перевагами комп'ютерних програм є можливість побудови за їх допомогою мережі з урахуванням характерних особливостей геометрії виробу, розпізнавання областей з сильною зміною геометричних параметрів виробу, генерування сіток скінченних елементів різних розмірів, які відповідають геометрії виділених областей, автоматичної заміни фізичних властивостей матеріалу деталей та значень переміщень і навантажень вузлів скінченних елементів. Робота з обчислювальними системами вимагає спільного використання комп'ютерних програм для твердотільного моделювання, таких, як Solid Edge, SolidWorks, Компас [7 – 8] тощо або вбудованих модулів для побудови моделей, що мають у своїй структурі такі програми, як I-Deas, Algor та інші програми, з програмами для проведення розрахунків. У той же час застосування сучасних обчислювальних систем пов'язане зі складністю зміни геометричних параметрів досліджуваних твердотільних моделей та довготривалістю обчислювальних процесів у випадку застосування скінченних елементів надто малих розмірів.

Моделі для дослідження впливу геометричних та фізичних параметрів гумового кільця на жорсткості муфти  $c_x$  і  $c_\phi$  будуємо для випадків деформування пружного елемента без зазороутворення та із зазороутворенням. Перший з них характеризується тим, що під час деформування кільця зберігається контакт втулки з пальцем та півмуфтою на циліндричних поверхнях. Дана особливість роботи кілець проявляється у муфтах, в яких пружні елементи міцно склеєні зі сталевими деталями або встановлені на пальцях та в отворах зі значним натягом. Для цього випадку, створивши новий файл для побудови деталі, вибираємо вертикальну площину, на якій будуємо ескіз контуру поперечного перерізу обода гумового кільця та наносимо розміри для полегшення зміни геометрії деталі (рис. 2).

Обертаючи створений контур навколо осі  $z$  на  $360^\circ$ , отримуємо твердотільну модель кільця. Створивши нові файли для побудови деталей, будуємо частину умовного сталюого пальця у вигляді циліндра та частини сталюого кільця. Після побудови контурів цих деталей наносимо розміри для можливої зміни їх геометрії. У новому файлі “складальна одиниця” згрупуємо створені деталі і отримуємо твердотільну модель для проведення розрахунків (рис. 3, а).

У другому випадку враховуємо можливість утворення зазорів між робочими поверхнями гумового кільця і пальця, а також гумового кільця та півмуфти. Таке явище проявляється у муфтах, в яких пружні елементи не з'єднані зі сталевими деталями. У даному випадку, обертаючи контур поперечного перерізу обода кільця (рис. 2) навколо осі  $z$  на  $180^\circ$ , створюємо половину твердотільної моделі гумового кільця. У нових файлах будуємо половину умовного сталюого пальця у вигляді півциліндра та половину сталюого кільця, відокремлену від іншої його частини осьовою площиною. Створивши файл “складальна одиниця”, згрупуємо в ньому отримані деталі і завершуємо побудову твердотільної моделі (рис. 3, б).

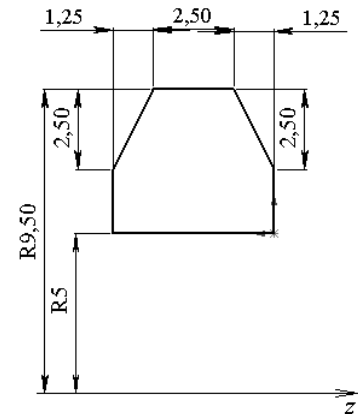


Рис. 2. Контур поперечного перерізу обода кільця із розмірами

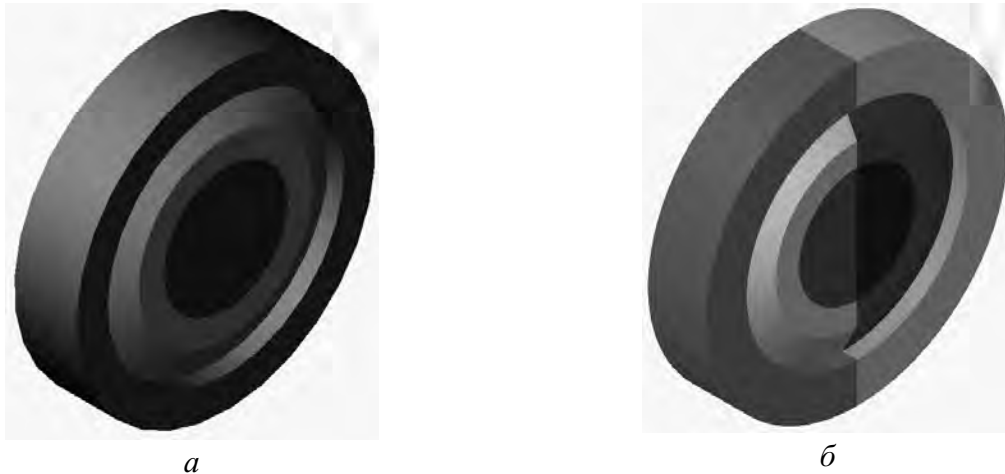


Рис. 3. Твердотільні моделі для проведення розрахунків напружено-деформованого стану пружного елемента муфти під час його деформування без зазороутворення (а) та із зазороутворенням (б)

В моделі, призначеній для розрахунку гумового кільця із зазороутворенням, перш за все, між поверхнями гумових та сталевих деталей, які дотикаються, але не вступають в контакт, створюємо елементи із зазорами (Gaps-element).

За допомогою однієї зі згаданих обчислювальних систем задаємо характеристики матеріалів гумових і сталевих деталей моделі вибраного типу (сталь: модуль пружності першого роду  $E = 2,1 \cdot 10^{11}$  Па, модуль пружності другого роду  $G = 8,3 \cdot 10^{10}$  Па, коефіцієнт Пуассона  $\nu = 0,29$ , густина  $\rho = 7,8 \cdot 10^3$  кг·м<sup>3</sup>; гума 7В-14: модуль пружності першого роду  $E = 7 \cdot 10^6$  Па, модуль пружності другого роду  $G = 2,349 \cdot 10^6$  Па, коефіцієнт Пуассона  $\nu = 0,49$ , густина  $\rho = 1000$  кг·м<sup>3</sup>). Відтак розбиваємо твердотільну модель на скінченні елементи, що мають форму тетраедра з додатковим вузлом на кожному ребрі. Довжини ребер тетраедрів дорівнюють 1 мм. До торцевих поверхонь умовного пальця прикладаємо зусилля по 40 Н. Переміщення вузлів, розташованих на зовнішній циліндричній поверхні сталевих кільця твердотільної моделі, в напрямках осей  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , а також переміщення вузлів, розташованих на торцевих поверхнях гумового кільця, в напрямку осі  $z$  (рис. 4, а, б), дорівнюють нулю.

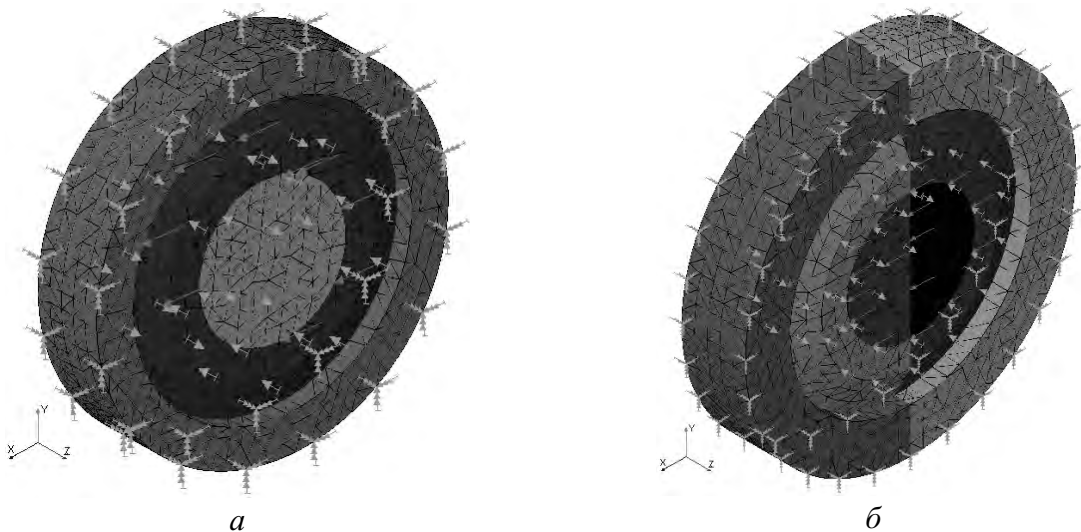


Рис. 4. Скінченно-елементні моделі для проведення розрахунків напружено-деформованого стану пружного елемента муфти під час його деформування без зазороутворення (а) та із зазороутворенням (б)

Для вивчення впливу геометричних та фізичних параметрів пружного елемента на жорсткості  $c_x$  і  $c_\phi$  муфти змінювали нахил трапецеїдальної частини гумового кільця варіюванням параметром  $s$  в межах 0 – 1,75 мм, ширину кільця  $t$  змінювали в межах 1,5 – 5 мм, внутрішній діаметр  $d_{\text{вн.}}$  – в межах 3 – 7 мм, а зовнішній діаметр  $d_{\text{зовн.}}$  – в межах 8,5 – 15 мм (рис. 1).

Жорсткості пружної втулково-пальцевої муфти в напрямі паралельного зміщення осі однієї півмуфти щодо іншої, а також в обертальному напрямі знаходимо за формулами

$$c_x = \frac{F_x z k}{\Delta_x}; \quad c_\phi = \frac{c_x D_0^2}{4}, \quad (1)$$

де  $\Delta_x$  – зміщення осі пальця щодо осі отвору;  $z$  – кількість пальців;  $k$  – кількість гумових кілець, що утворюють одну втулку;  $D_0$  – діаметр циліндричної поверхні, на якій розташовані осі пальців.

Алгоритм для проведення розрахунку жорсткостей  $c_x$  і  $c_\phi$ , що використовувався для дослідження впливу геометричних параметрів гумового кільця і фізичних властивостей його матеріалу на жорсткісні властивості муфти, наведений на рис. 5.

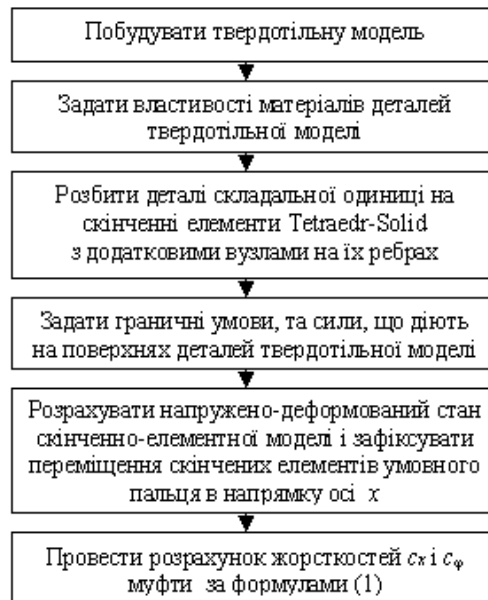
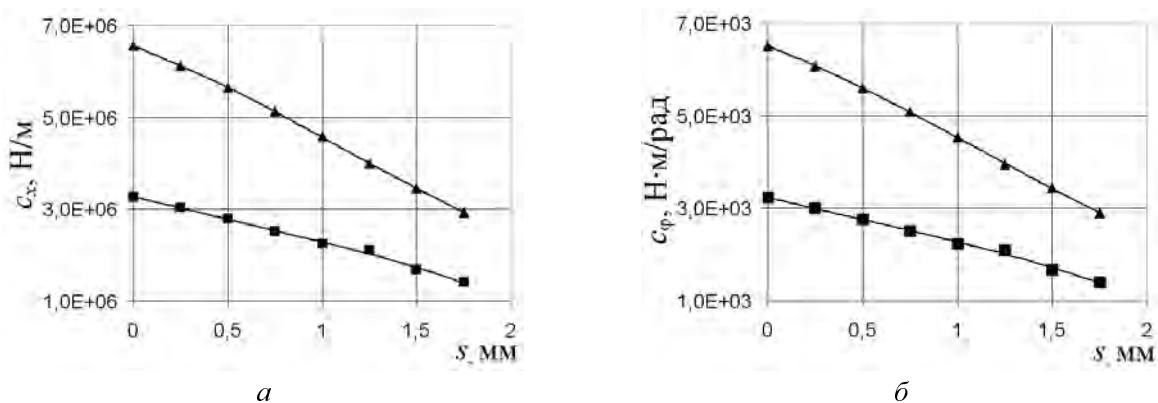
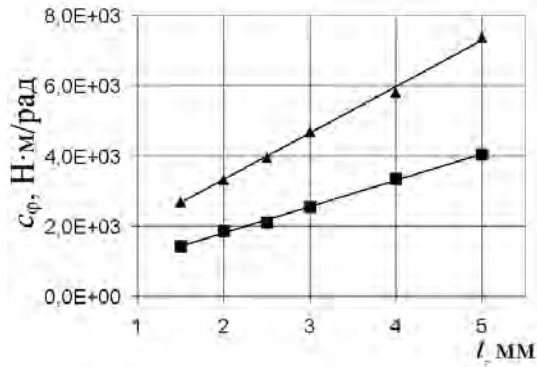


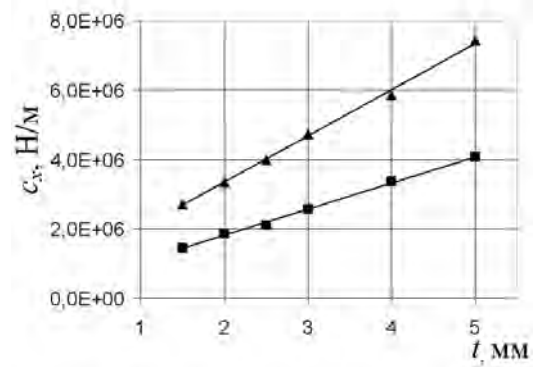
Рис. 5. Алгоритм для проведення розрахунку жорсткостей  $c_x$  і  $c_\phi$  муфти

На рис. 6 та 7 зображено залежності жорсткостей пружної втулково-пальцевої муфти  $c_x$  і  $c_\phi$  від геометричних параметрів пружних елементів (кілець) та модуля пружності першого роду  $E$  матеріалу.

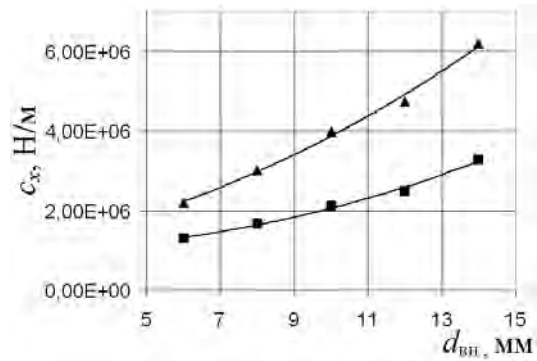




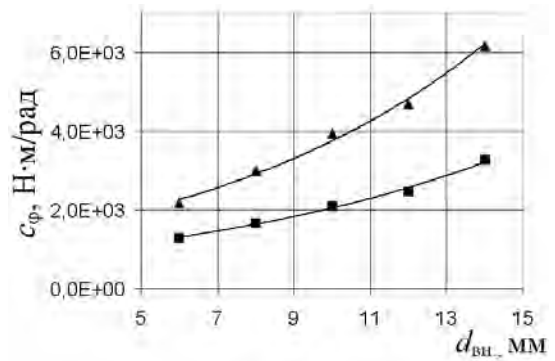
a



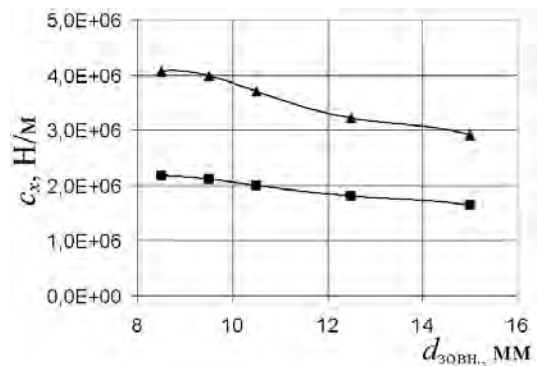
b



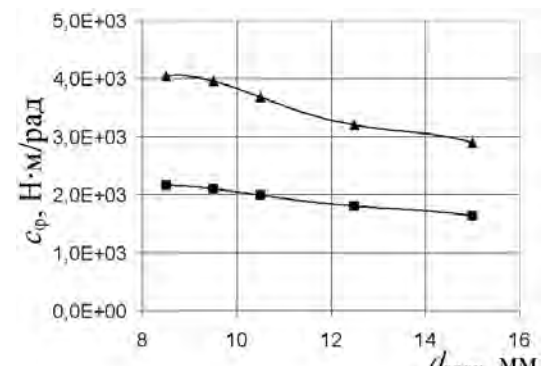
c



d



e



z

Рис. 6. Залежності жорсткості  $c_x$ , що відповідає радіальному зміщенню осей півмуфт (а, в, д, е) і жорсткості  $c_{\varphi}$ , що відповідає обертовому зміщенню півмуфт (б, г, е, ж) від геометричних розмірів пружного елемента муфти

Криві, позначені трикутниками, одержані для випадку деформування втулок без зазорування, а криві, позначені квадратами, – для випадку їх деформування з зазоруванням. У таблиці наведено аналітичні залежності квазіупругих коефіцієнтів (жорсткостей) пружної втулково-пальцевої муфти від геометричних параметрів кілець та модуля пружності їх матеріалу, одержані апроксимацією зображених на рис. 6 і 7 кривих. Ці залежності можуть використовуватися для проведення аналізу жорсткісних властивостей пружних втулково-пальцевих муфт в процесах їх проектування і модернізації.

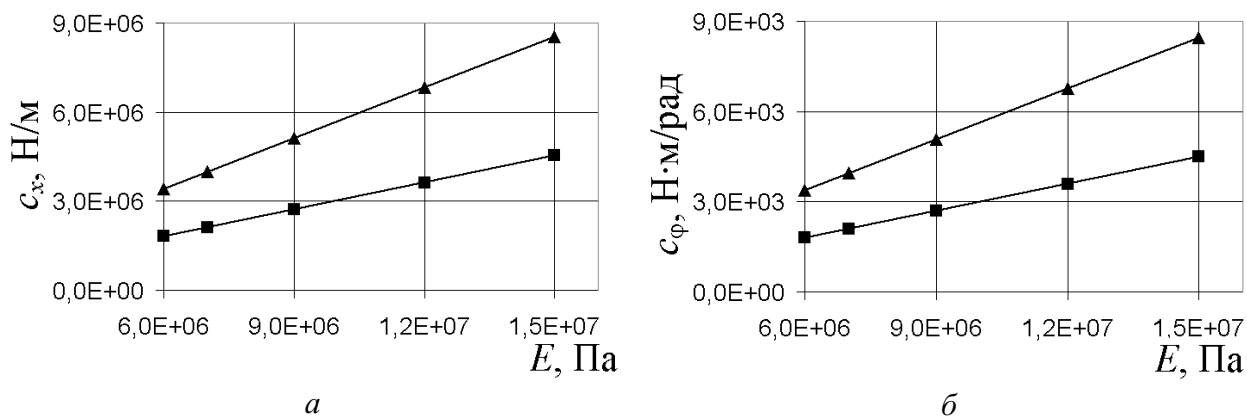


Рис. 7. Залежності жорсткості  $c_x$ , що відповідає радіальному зміщенню осей півмуфт (а) і жорсткості  $c_\phi$ , що відповідає обертальному зміщенню півмуфт (б) від модуля пружності  $E$  пружного елемента муфти

### Аналітичні вирази для визначення жорсткостей пружної втулково-пальцевої муфти

s, мм	t, мм	$d_{\text{вн.}}$ , мм	$d_{\text{зовн.}}$ , мм	E, МПа	Залежності для визначення жорсткостей муфти $c_x$ (Н/м) і $c_\phi$ (Н·м/рад)	
					без зазороутворення	із зазороутворенням
–	2,5	10	19	7	$c_x = -225038s^5 + 10^6s^4 - 10^6s^3 + 464357s^2 - 2 \cdot 10^6s + 7 \cdot 10^6$ ; $c_\phi = 175,21s^3 - 594,63s^2 - 1553,9s + 6505,4$ ;	$c_x = -109692s^4 + 276486s^3 - 244810s^2 - 901127s + 3 \cdot 10^6$ ; $c_\phi = -106,56s^3 - 169,92s^2 - 1033,4s + 3241,9$ ;
1,25	–	10	19	7	$c_x = 10^6t + 679324$ ; $c_\phi = 1321,6t + 674,4$ ;	$c_x = 754353t + 307108$ ; $c_\phi = 748,71t + 304,22$ ;
1,25	2,5	–	19	7	$c_x = 19018 d_{\text{вн.}}^2 + 106193 d_{\text{вн.}} + 912343$ ; $c_\phi = 1061,2e^{0,1264 d_{\text{вн.}}}$ ;	$c_x = 14018 d_{\text{вн.}}^2 - 41407 d_{\text{вн.}} + 10^6$ ; $c_\phi = 668,46 e^{0,1122 d_{\text{вн.}}}$ ;
1,25	2,5	10	–	7	$c_x = -3783,3 d_{\text{зовн.}}^4 + 182365x$ $x d_{\text{зовн.}}^3 - 3 \cdot 10^6 d_{\text{зовн.}}^2 + 2 \cdot 10^7 x$ $x d_{\text{зовн.}} - 7 \cdot 10^7$ ; $c_\phi = -3,741 d_{\text{зовн.}}^4 + 180,32x$ $x d_{\text{зовн.}}^3 - 3205,6 d_{\text{зовн.}}^2 + 24696x$ $x d_{\text{зовн.}} - 65488$ ;	$c_x = -1284,8 d_{\text{зовн.}}^4 + 61136x$ $x d_{\text{зовн.}}^3 - 10^6 d_{\text{зовн.}}^2 + 8 \cdot 10^6 x$ $x d_{\text{зовн.}} - 2 \cdot 10^7$ ; $c_\phi = -1,2804 d_{\text{зовн.}}^4 + 60,747x$ $x d_{\text{зовн.}}^3 - 1063,7 d_{\text{зовн.}}^2 + 8056,5x$ $x d_{\text{зовн.}} - 20097$ ;
1,25	2,5	10	19	–	$c_x = 0,5687 \cdot E + 2518,2$ ; $c_\phi = 0,0006 \cdot E + 1,7518$ ;	$c_x = 0,302 \cdot E - 343,07$ ; $c_\phi = 0,0003 \cdot E - 0,1095$

Аналізуючи отримані результати, можна стверджувати, що зі збільшенням ширини і внутрішнього діаметра пружного елемента муфти у наведеному діапазоні їх зміни суттєво зростають жорсткості пружної втулково-пальцевої муфти. Збільшення нахилу трапецієдальної частини і зовнішнього діаметра пружного елемента веде до зменшення жорсткісних параметрів муфти. Підвищення модуля пружності гумової втулки в наведеному діапазоні приводить до зниження податливості пружної втулково-пальцевої муфти майже вдвічі.

Запропонована методика розрахунку напружено-деформованого стану гумового кільця із застосуванням сучасних обчислювальних систем дає змогу проводити детальний аналіз впливу геометричних та фізичних параметрів пружного елемента муфти на її жорсткісні властивості. Розроблений розрахунковий алгоритм сприяє пришвидшенню процесів проектування привідних установок.

1. *Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике.* – М.: Мир, 1975. – 541 с.
2. *Харченко Є.В., Колесник К. К. Розрахунок жорсткісних характеристик пружних втулково-пальцевих муфт // Вісн. Національного університету “Львівська політехніка”. – 2000. – № 412. – С. 96–100.*
3. *Поляков В.С., Барбаш И.Д., Ряховский О.А. Справочник по муфтам / Под. ред. В. С. Полякова. – 2-е изд. – Л.: Машиностроение, 1979. – С. 127–131.*
4. *Аведьян А., Данилин А. Прочность не для прочнистов. Опыт 3.* – М.: ООО “Тесис”, 2000. – 12 с.
5. *В. Klein FEM: Grundlagen und Anwendungen der Finite-Elemente-Methode, Vieweg, 3., ueberarbeitete Auflage, 1999. – 345 s.*
6. *Algor: Mechanical event simulation tutorial. Algor.inc, Pittsburgh, 2000.*
7. *Богданов М., Бахин Е. SolidWorks: от проектирования к производству // “Комп’ютерПресс”. – 1998. – № 8.*
8. *Аведьян А.Б., Аверкина Л.А., Бузлаев Д.В., Данилин А.Н., Зуев Н.Н. “CAD/CAE-программы для проектирования и расчёта инженерных конструкций”. RM-magazineю. – 1998. – № 2. – С. 44 – 45.*

УДК 621.791

**І.С. Коцюбинський**

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра зварювального виробництва, діагностики  
та відновлення металоконструкцій

## **ОСОБЛИВОСТІ КРАПЛЕПЕРЕНЕСЕННЯ ЕЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛУ ПРИ ДВОДУГОВОМУ НАПЛАВЛЕННІ (ДДН)**

© Коцюбинський І.С., 2002

**Досліджено вплив особливостей краплеперенесення електродного металу на стабільність процесу дводугового наплавлення (ДДН) при зміні зварювального струму на дузі.**

**Influence of an electrode metal drop transfer peculiarity and a welding current value modification on double-arc surfacing process stability have been investigated.**

Ефективність нанесення на металеві вироби електродуговим наплавленням захисних покриттів із спеціальними властивостями досягається тільки при мінімальному перемішуванні присадного металу з основним, що в більшості випадків на практиці реалізується використанням стрічкових електродів. При наплавленні порівняно невеликих деталей, особливо складної форми, застосування стрічкових електродів пов’язане із значними труднощами, а часто зовсім неможливо. У цих випадках звичайно використовують дротяні електроди, але при цьому спостерігається це значне проплавлення основного металу – його частка в наплавленому шарі знаходиться в межах 30 – 60%, і тому для одержання покриття необхідного хімічного складу потрібно здійснювати багатопередове наплавлення.