

Bibliography:

1. V.P. Belyakovsky, S.V. Kipcharsky Indicators of accuracy of kinematic chains, international scientific-technical conference "University Science - 2007": Proceedings of the Sat / Azov State Technical University - Mariupol, 2007. - Volume 2, pp. 14-15. (Rus.)
2. V.P. Belyakovsky Positioning error of the working bodies of CNC machines, associated with the dead move the actuator, the International Scientific Conference "Universities of technical science - 2008": Proceedings of the Sat / Azov State Technical universities - Mariupol, 2008. - Volume 2, pp. 16-18. (Rus.)
3. Machine tools with numerical control (special) / V.A. Leshchenko, N.A. Bogdanov, I.V. Weinstein [and others] : Ed. V.A. Leshchenko. - 2nd ed. rev. and add. - Moscow Machine-Building, 1988 - 568 p. (Rus.)
4. V.P. Belyakovsky Positioning accuracy of the working bodies of heavy CNC / V.P. Belyakovsky, S.M. Shvets. - Proceedings of the International Scientific and Methodological Conference, PSTU. - Mariupol. - 2003. - pp.3-5. (Rus.)
5. A.V. Levashov Fundamentals of kinematic chains accuracy of machine tools. - Moscow: Mashinostroenie, 1966 - 212 p. (Rus.)
6. V.A. Kutsokon, precision instruments kinematic chains - L.: Mechanical Engineering, 1980 - 221 p. (Rus.)

Рецензент: М.В. Маргулис
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 22.11.2011

УДК 621. 825.7

©Корчагина Т.В.*

**АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
МУФТ УПРУГИХ ПАЛЬЦЕВО-ДИСКОВЫХ (МУПД)**

В статье изложен алгоритм определения геометрических размеров упругого диска из полиуретана с бандажами, на основании которого предложен параметрический ряд пальцевых муфт МУПД.

Ключевые слова: муфта пальцевая, упругий диск, полиуретан, бандаж.

Корчагина Т.В. Алгоритм проектування муфт пружних пальцево-дисккових (МУПД). У статті викладений алгоритм визначення геометричних розмірів пружного диска з поліуретану з бандажами, на підставі якого запропонований параметричний ряд пальцевих муфт МУПД.

Ключові слова: муфта пальцева, пружний диск, поліуретан, бандаж.

T. Korchagina. Design algorithm of the elastic couplings finger-disk (MUPD). The article describes an algorithm for determining the geometric dimensions of an elastic disk of polyurethane bandages, on the basis of which suggested a number of finger couplings parametric MUPD.

Keywords: coupling finger, elastic disk, polyurethane, bandage.

Постановка проблемы. Оборудованию металлургических заводов свойственны большие габариты, массы и моменты инерции вращающихся масс, вследствие чего оно подвержено воздействию циклических паразитных нагрузок ударного или колебательного характера [1]. Для передачи крутящего момента с вала привода на вал исполнительной машины металлургическое оборудование в основном оснащено жесткими зубчатыми муфтами типа МЗ или МЗП (ГОСТ 5006-83), рассчитанными на крутящий момент от 1000 до 63000 Н·м. Предпочтение отдается зубчатым муфтам в связи с их надежностью и высокой нагрузочной способностью при малых габаритах. Однако они не защищают оборудование от паразитных нагрузок, которые могут в несколько раз превышать технологические и вызывать разрушение деталей оборудова-

* ассистент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

ния.

Одним из эффективных средств защиты оборудования от поломок является применение упруго-компенсирующих муфт, позволяющих снизить влияние паразитных нагрузок. Препятствием их широкому применению является низкая нагрузочная способность и недостаточный ресурс упругих элементов.

Наибольшее распространение на металлургических заводах получили муфты упругие втулочно-пальцевые (МУВП), ГОСТ 21424-75, с крутящим моментом от 6,3 до 16000 Н·м и муфты с торообразной резиновой оболочкой (ГОСТ 20884-82) с крутящим моментом от 20 до 40000 Н·м. Эти муфты применяются, в основном, на второстепенных участках из-за повышенных габаритов, масс и моментов инерции. Для сравнения в таблице 1 приведены основные характеристики различных типов муфт при одинаковом крутящем моменте, равном 16000 Н·м.

Таблица 1

Основные характеристики распространенных типов муфт при $M_{кр} = 16000$ Н·м

Тип муфты	Наружный диаметр D , мм	Масса m , кг	Динамический момент инерции GD^2 , кгс·м ²	Угол закручивания, град.
МЗ (ГОСТ 5006-83)	300	62	1,15	0,1
МУВП (ГОСТ 21424-73)	500	355	35,72	0,5
Муфта с торообразной оболочкой (ГОСТ 20884-82)	710	336	16,00	3,5

Не все упругие муфты можно считать функционально упругими; так, муфта МУВП является практически жесткой, а резиновые втулки на ее пальцах являются не чем иным как адаптерами [2]. Термин «упругая» оправдан для муфт, энергоемкость которых сопоставима с энергоемкостью привода машины, не имеющей упругих муфт.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросам расчета и проектирования пальцевых муфт посвящена работа [3]. На основании этой работы предложен параметрический ряд муфт с шестью пальцами и упругими дисками из резины с крутящими моментами от 4 до 200 Н·м (ГОСТ 25021-81). В продолжение этой темы в работе [4] даны рекомендации по проекторочному расчету упругого диска. Затем на стадии проверочного расчета конструктивные размеры упругого диска уточняются. В проекторочном расчете рекомендуется допускаемые напряжения принять равными 15-20% от модуля упругости материала диска. Наружный диаметр диска предлагается принять за базовый и определить по формуле (4.19) [4]. Каждый без-

размерный параметр, входящий в формулу, задан в определенных интервалах. Количество пальцев рекомендуется принять равным от 4 до 8 при крутящем моменте от 10 и более 80 Н·м. Такая методика расчета не приемлема для средних и больших крутящих моментов. Так, например, наружный диаметр упругого диска из резины, определенный по этой формуле для $M_{кр} = 16000$ Н·м, получается равным 2000 мм, что сравнимо с габаритами оборудования. Кроме того неоднозначно определяются количество пальцев, их диаметр и диаметр расположения.

Такой подход затрудняет работу конструкторов, занимающихся проектированием упругих муфт, и сдерживает их дальнейшее совершенствование. Несмотря на то, что пальцевые муфты с упругим диском просты, технологичны в изготовлении, отличаются высокой крутильной податливостью и хорошим демпфированием, они имеют основной недостаток – низкую нагрузочную способность.

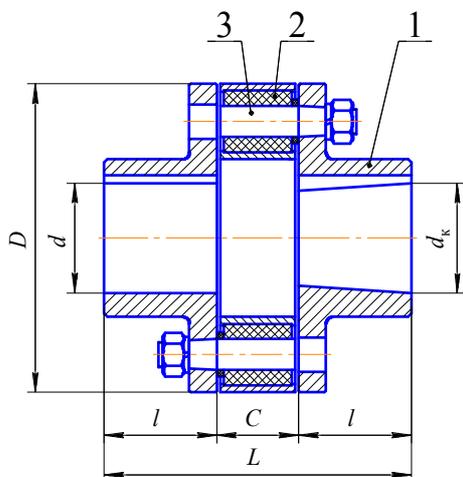


Рис. 1 – Муфта упругая пальцево-дисковая МУПД: 1 – полумуфта; 2 – упругий диск;

В Приазовском государственном техническом университете (ПГТУ) на кафедре сопротивления материалов разработана муфта упругая пальцево-дисковая (МУПД) с высокой нагрузочной способностью (рис. 1), а также аналогичная муфта с промежуточным валом (рис. 2) [5-7]. Нагрузочная способность этих муфт сравнима с муфтами типа МЗ и достигнута за счет применения в качестве материала упругого диска полиуретана и установки бандажей на его внешний и внутренний диаметры. В работе [8] предложена аналитическая зависимость нагрузочной способности и крутильной жесткости, подтвержденная экспериментально на промышленных муфтах с упругими дисками из различных эластомеров [9] и крутящими моментами до 8000 Н·м, а также многолетней эксплуатацией на оборудовании металлургических заводов «Азовсталь» и «им. Ильича».

Цель статьи – разработать методику расчета для создания параметрического ряда пальцевых муфт МУПД с целью замены жестких муфт для их применения в металлургическом оборудовании.

Изложение основного материала. Для определения конструктивных параметров параметрического ряда упругих муфт предлагается: 1) по заданному моменту выбрать наружный диаметр в пределах параметрического ряда известных конструкций типа МЗ или МУВП; 2) по

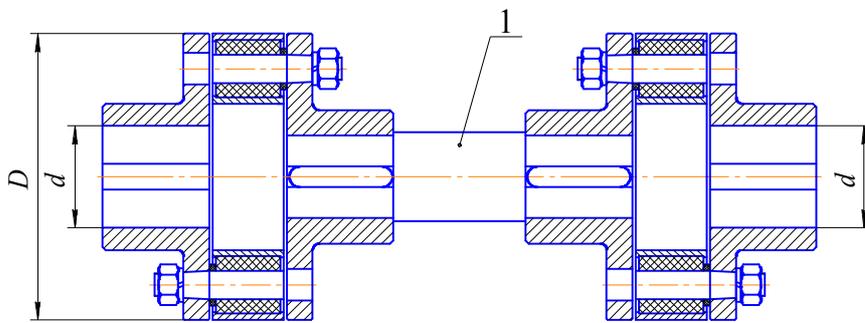


Рис. 2 – МУПД с промежуточным валом: 1 – промежуточный вал

может быть найден по формуле

$$M_{кр} = \frac{k \cdot z \cdot R \cdot E \cdot h \cdot d_n \cdot \varphi \cdot \cos(\alpha - \frac{\varphi}{2})}{\varphi_0}, \quad (1)$$

где $k = 2,2$ – коэффициент бандажирования упругого диска [10];
 z – количество пальцев на полумуфте;
 R – радиус окружности расположения центров отверстий под пальцы;
 $E = 30$ МПа – модуль упругости материала упругого диска (полиуретана);

$[\varepsilon] = \frac{\varphi}{\varphi_0} = 0,2$ – допускаемая относительная деформация;

φ – относительный угол поворота полумуфт (угол закручивания);

φ_0 – центральный угол между смежными пальцами;

$\alpha = 30^\circ$ при $z = 3$ – угол между окружным усилием и усилием сжатия;

$d_n = 0,7 \cdot h$ – диаметр пальца;

h – толщина упругого диска.

Тогда момент, приходящийся на один палец, с учетом вышеприведенных величин определится по упрощенной формуле:

$$M_{z=1} = 4 \cdot 10^6 \cdot D_n \cdot h^2, \quad (2)$$

где D_n – диаметр окружности расположения центров отверстий под пальцы.

По заданному номинальному моменту определяем посадочный диаметр полумуфты d , используя известные методики, или берем его из таблицы параметрического ряда ГОСТ 5006-83 на муфты МЗ. Затем определяем наружный диаметр упругого диска D_d

$$D_d = 2,25 \cdot d + 50. \quad (3)$$

Формула (3) устанавливает наружные диаметры упругих дисков в пределах габаритов па-

раметрического ряда зубчатых муфт типа МЗ и минимального количества пальцев с запасом прочности не менее трех.

Диаметр ступицы полумуфты $D_{ст}$ также берем из таблицы параметрического ряда ГОСТ 5006-83 на муфты МЗ или определяем по формуле

$$D_{н0} = 1,5 \cdot d. \quad (4)$$

Внутренний диаметр упругого диска принимаем равным диаметру ступицы $D_{ст}$.

Диаметр окружности расположения центров отверстий под пальцы на упругом диске D_n (рис. 3) определяем по формуле

$$D_i = \frac{D_{\bar{a}} + D_{н0}}{2}. \quad (5)$$

Принимаем для упругого диска диаметрально сечение квадратным, то есть $b = h$ (рис. 3), тогда

$$b = h = \frac{D_{\bar{a}} - D_{н0}}{2}. \quad (6)$$

При $z = 2, 3, 4$ угол α в исходном положении находится в пределах $(45; 30; 22,5)^\circ$. Для примера в проектном расчете принимаем $\alpha = 30^\circ$ (для трех пальцев полумуфты).

Определяем по формуле (2) момент, приходящийся на один палец с учетом полученных значений D_n и h .

По заданному номинальному моменту $M_{ном}$ и моменту на один палец $M_{z=1}$ определяем требуемое количество пальцев z по формуле, округляя количество пальцев до целого числа,

$$z = \frac{I}{I_{z=1}}. \quad (7)$$

Вычисляем неизвестные углы (рис. 4) с учетом количества пальцев [8]:

$\gamma = \frac{180^\circ}{z}$ – центральный угол между смежными пальцами;

$\beta = \frac{d_i \cdot 360^\circ}{\pi \cdot D_i}$ – центральный угол между касательными к пальцу;

$\varphi_0 = \gamma - \beta$ – центральный угол между касательными к двум смежным пальцам;

$\varphi = [\varepsilon] \cdot \varphi_0$ – угол поворота полумуфт друг относительно друга.

По уточненной формуле (1) определяем расчетный момент.

При расхождении $M_{расч}$ с заданным $M_{ном}$ более чем на 5% корректируем ширину диска h по формуле

$$h' = h \cdot \frac{M_{ном}}{M_{расч}}. \quad (8)$$

Толщину наружного и внутреннего бандажей m принимаем равной

$$m = 0,1 \cdot d. \quad (9)$$

Тогда наружный диаметр бандажа D_6 составит

$$D_6 = D_n + 2 \cdot m. \quad (10)$$

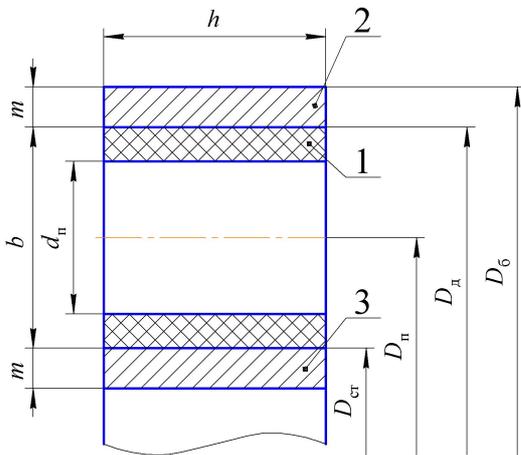


Рис. 3 – Диаметрально сечение упругого диска по отверстию под палец: 1 – упругий диск; 2 – наружный бандаж; 3 – внутренний бандаж

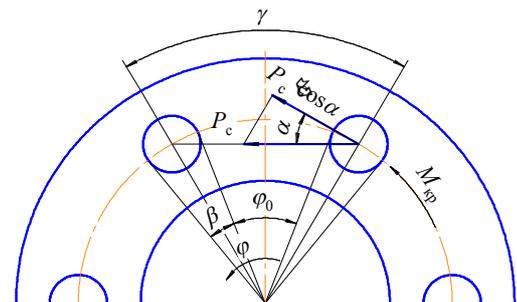


Рис. 4 – Расчетная схема упругого диска муфты МУПД

Окончательно определяем габарит полумуфты, увеличивая диаметр бандажа на 5 мм для обеспечения контроля соосности полумуфт при монтаже

$$D = D_6 + 5. \quad (11)$$

На основе предложенного алгоритма расчета по заданному крутящему моменту определены конструктивные параметры муфт упругих пальцево-дисковых (МУПД) и представлены в таблице 2 в виде параметрического ряда. В качестве заданного номинального момента и посадочного диаметра муфт использован параметрический ряд муфт зубчатых типа МЗ с перспективной замены их на муфты упругие пальцево-дисковые [11].

Таблица 2

Параметрический ряд муфт МУПД

№ п/п	$M_{ном}$, Н·м	d, d_k , мм	D , мм	$D_{ст}$, мм	l , мм	L^* , мм	C , мм	z , шт.	$d_{п}$, мм	α , град.	n , с ⁻¹	GD^2 , Н·м ²	m , кг
1	1000	40	153	60	82	214	50	2	28	45	90	1,0	9
2	1600	55	190	85		219	55		30		80	2,5	15
3	2500	60	200	90	105	278	68		35		75	3,6	20
4	4000	65	225	100		273	63	3		30	62	5,7	25
5	6300	80	255	120	130	334	74		38		55	10,5	37
6	10000	100	300	150	165	415	85		45		47	24,7	63
7	16000	120	355	180		425	95		50		40	53,2	94
8	25000	140	400	210	200	510	110	60	22,5	35	104,7	146	
9	40000	160	445	240		515	115			4	29	162,4	183
10	63000	200	545	300	240	613	133	65			20	409,1	314

* Габаритный размер для справок.

Основные геометрические размеры упругих дисков из полиуретана определялись при допустимой относительной деформации $[\epsilon] = 0,2$ и модуле упругости материала диска $E = 30$ МПа. Материал для упругого диска выбран, исходя из многолетнего опыта эксплуатации. Муфты допускают кратковременные двукратные перегрузки $M_{max} = 2 \cdot M_{ном}$.

Выводы

Разработан простой и экономичный алгоритм для определения геометрических размеров упругого диска из полиуретана с наружным и внутренним бандажами для любых крутящих моментов.

На основании алгоритма предложен параметрический ряд пальцевых муфт с упругим диском, способный заменить параметрический ряд жестких муфт типа МЗ (ГОСТ 5006-83).

Фундаментальное отличие упругих муфт МУПД от жестких зубчатых муфт типа МЗ заключается в том, что при одинаковой несущей способности муфты МУПД являются активными деталями, снижающими паразитные нагрузки, а, следовательно, в приведенных расчетах заложен дополнительный резерв прочности этих муфт.

На основании предложенного метода проектирования решен ряд задач по созданию амортизирующих конструкций, которые были изготовлены и прошли промышленное опробование на оборудовании металлургических заводов.

Список использованных источников:

1. Артюх Г.В. Амортизация нагрузок в металлургических машинах / Г.В. Артюх // Захист металургійних машин від поломок : Міжвуз. темат. зб. наук. пр. / ПДТУ. – Маріуполь, 1999. – Вип. 4. – С. 160-165.
2. Артюх Г.В. Об эффективности муфт МУВП / Г.В. Артюх, В.З. Мазай, Т.В. Корчагина // Захист металургійних машин від поломок : Міжвуз. темат. зб. наук. пр. / ПДТУ. – Маріуполь, 2000. – Вип. 5. – С. 156-159.
3. Михайлов Ю.К. Вопросы расчета пальцевых муфт с резиновым диском / Ю.К. Михайлов, В.С. Поляков // Тр. ЛПИ. – Ленинград, 1970. – № 314. – С. 42-50.
4. Михайлов Ю.К. Муфты с неметаллическими упругими элементами. Теория и расчет / Ю.К. Михайлов, В.С. Иванов. – Л. : Машиностроение, 1987. – 144 с.

5. Пат. 71616 Україна, МПК F 16 D 3/78. Муфта пружна пальцево-дискова / Т.В. Корчагіна, В.Г. Артюх, Г.В. Артюх, В.О. Корчагін; ПДТУ. – № 2001117868; заявл. 19.11.01; опубл. 15.12.04, Бюл. № 12. – 3 с.
6. Пат. 2280790 Россия, МПК F 16 D 3/78. Муфта упругая пальцево-дисковая / Т.В. Корчагина, В.Г. Артюх, Г.В. Артюх, В.А. Корчагин; ПГТУ. – № 2002135794/11; заявл. 30.12.02; опубл. 27.07.06, Бюл. № 21. – 4 с.
7. Пат. 53938 Україна МПК F 16 D 3/28. Пружний шпindel / Т.В. Корчагіна, В.Г. Артюх, Г.В. Артюх, В.О. Корчагін; ПДТУ. – № 2002032240; заявл. 20.03.02; опубл. 17.01.05, Бюл. № 1 – 3 с.
8. Корчагіна Т.В. Исследование рабочих характеристик муфты упругой пальцево-дисковой (МУПД) / Т.В. Корчагіна // Захист металургійних машин від поломок : Міжвуз. темат. зб. наук. пр. / ПДТУ. – Маріуполь, 2010. – Вип. 12. – С. 185-192.
9. Корчагіна Т.В. Испытания муфт с упругими элементами, изготовленными из эластомеров / Т.В. Корчагіна // Захист металургійних машин від поломок : Міжвуз. темат. зб. наук. пр. / ПДТУ. – Маріуполь, 2002. – Вип. 6. – С. 149-152.
10. Корчагіна Т.В. Исследование жесткости и напряженного состояния упругих пальцево-дисковых муфт / Т.В. Корчагіна, В.Г. Артюх // Захист металургійних машин від поломок : Міжвуз. темат. зб. наук. пр. / ПДТУ. – Маріуполь, 2005. – Вип. 8. – С. 152-158.
11. Перспективы замены муфт типа МЗ и МЗП / В.Г. Артюх [и др.] // Захист металургійних машин від поломок : Міжвуз. темат. зб. наук. пр. / ПДТУ. – Маріуполь, 2002. – Вип. 6. – С. 129-131.

Bibliography:

1. Artiukh G. Depreciation pressures in metallurgical machinery / G. Artiukh // Zakhist metalurgiiinikh mashin vid polomok : Interuniversity thematic collection of scientific papers / PGU. –Mariupol, 1999. – № 4. – P. 160-165. (Rus.)
2. Artiukh G. On the efficiency of coupling MUVP / G. Artiukh, V. Mazai, T. Korchagina // Zakhist metalurgiiinikh mashin vid polomok : Interuniversity thematic collection of scientific papers / PGU. – Mariupol, 2000. – №. 5. – P. 156-159. (Rus.)
3. Mikhailov U. Questions of finger joints with rubber disc / U. Mikhailov, V. Polyakov // Proceedings of the LPI. – Leningrad, 1970. – № 314. – P. 42-50. (Rus.)
4. Mikhailov U. Couplings with non-metallic elastic elements. Theory and design / U. Mikhailov, V. Ivanov. – L. : Mashinostroenie, 1987. – 144 p. (Rus.)
5. Pat. 71616 Ukraine, IPC F 16 D 3/78. Coupling elastic finger-disc / T. Korchagina, V. Artiukh, G. Artiukh, V. Korchagin; PGU. – № 2001117868; stated 19.11.01; published 15.12.04, Bull. № 12. – 3 p. (Ukr.)
6. Pat. 2280790 Russia, IPC F 16 D 3/78. Coupling elastic finger-disc / T. Korchagina, V. Artiukh, G. Artiukh, V. Korchagin; PGU. – № 2002135794/11; stated 30.12.02; published 27.07.06, Bull. № 21. – 4 p. (Rus.)
7. Pat. 53938 Ukraine IPC F 16 D 3/28. Elastic spindle / T. Korchagina, V. Artiukh, G. Artiukh, V. Korchagin; PGU. – № 2002032240; stated 20.03.02; published 17.01.05, Bull. № 1 – 3 p. (Ukr.)
8. Korchagina T. Study the performance of an elastic finger-clutch disc (MUPD) / T. Korchagina // Zakhist metalurgiiinikh mashin vid polomok : Interuniversity thematic collection of scientific papers / PGU. – Mariupol, 2010. – № 12. – P. 185-192. (Rus.)
9. Korchagina T. Tests of joints with elastic elements made from elastomeric / T. Korchagina // Zakhist metalurgiiinikh mashin vid polomok : Interuniversity thematic collection of scientific papers / PGU. – Mariupol, 2002. – № 6. – P. 149-152. (Rus.)
10. Korchagina T. Investigation of stiffness and stress state of elastic finger-disc clutches / T. Korchagina, V. Artiukh // Zakhist metalurgiiinikh mashin vid polomok : Interuniversity thematic collection of scientific papers / PGU. – Mariupol, 2005. – № 8. – P. 152-158. (Rus.)
11. Prospects for the replacement clutch type MZ and MZP / V. Artiukh [and other] // Zakhist metalurgiiinikh mashin vid polomok : Interuniversity thematic collection of scientific papers / PGU. – Mariupol, 2005. – № 6. – P. 129-131. (Rus.)

Рецензент: А.А. Ищенко
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 19.10.2011