

Упругие муфты с регулируемой жёсткостью

09, сентябрь 2014

Богачев В. Н., Байков Б. А.

УДК: 621.825

Россия, МГТУ им. Баумана

dm-rk-3@yandex.ru

Введение

Жёсткость муфт при кручении оценивают отношением вращающего момента T к углу φ относительного поворота полумуфт. Известны муфты с постоянной и с переменной жёсткостью [1], [2], [3]. Муфты с постоянной жёсткостью имеют линейную характеристику, а с переменной – нелинейную. Крутильная жёсткость муфт $C = dT/d\varphi$.

Круговая частота собственных колебаний системы двигатель – муфта – передача, рабочий орган машины зависит от крутильной жёсткости упругой муфты. Поэтому правильным выбором жёсткости муфты можно предотвратить возникновение в машине резонансных крутильных колебаний и, тем самым, значительно снизить динамические нагрузки на детали машин [1], [2], [3]. Необходимую жёсткость муфты можно определить расчётным путём, однако на результаты расчёта влияет ряд трудно учитываемых факторов. Кроме того, для каждой машины (механизма) необходимо изготовить свою муфту. Поэтому актуальной является задача регулирования жёсткости муфты. Жёсткость можно регулировать ступенчато (изменением количества, размеров и материала упругих элементов) или плавно. В настоящей работе рассмотрены некоторые способы плавного регулирования крутильной жёсткости упругих муфт.

На рис. 1 представлена муфта с упругим элементом в виде винтовой пружины 4, свёрнутой в тор [4].

Муфта содержит две полумуфты 1 с фланцами 2. На взаимно обращённых поверхностях фланцев 2 выполнены Т-образные пазы 3, состоящие из углублений 5 и сквозных прорезей 6. Полумуфты 1 соединены между собой упругим элементом, выполненным в виде свёрнутой в тор винтовой пружины 4 с равномерно расположенными по окружности витками. Оси пазов 3 наклонены к радиусам, пересекающим пазы 3 посередине их длины, под углом Ψ подъёма витков пружины 4. В углублениях 5 установлены каретки 7, снабжённые пальцами 8 с резьбой. В каретках 7 имеются отверстия 9, в которых установлены резинометаллические элементы, состоящие из наружной металлической втулки 10, резиновой втулки 11 и внутренней металлической втулки. Внутренняя металлическая втулка

имеет в сечении Б – Б форму сегмента тора. Радиусы кривизны осей сегментов равны радиусу кривизны оси витков пружины 4. В поперечном сечении В – В внутренняя металлическая втулка выполнена разрезной, состоящей из нескольких, например трёх, секторов 12. Витки пружины 4 пропущены через отверстия в резинометаллических элементах. Крепление кареток 7 к фланцам 2 полумуфт 1 осуществляют гайками 13, опирающимися на пружинные шайбы 14 и шайбы 15.

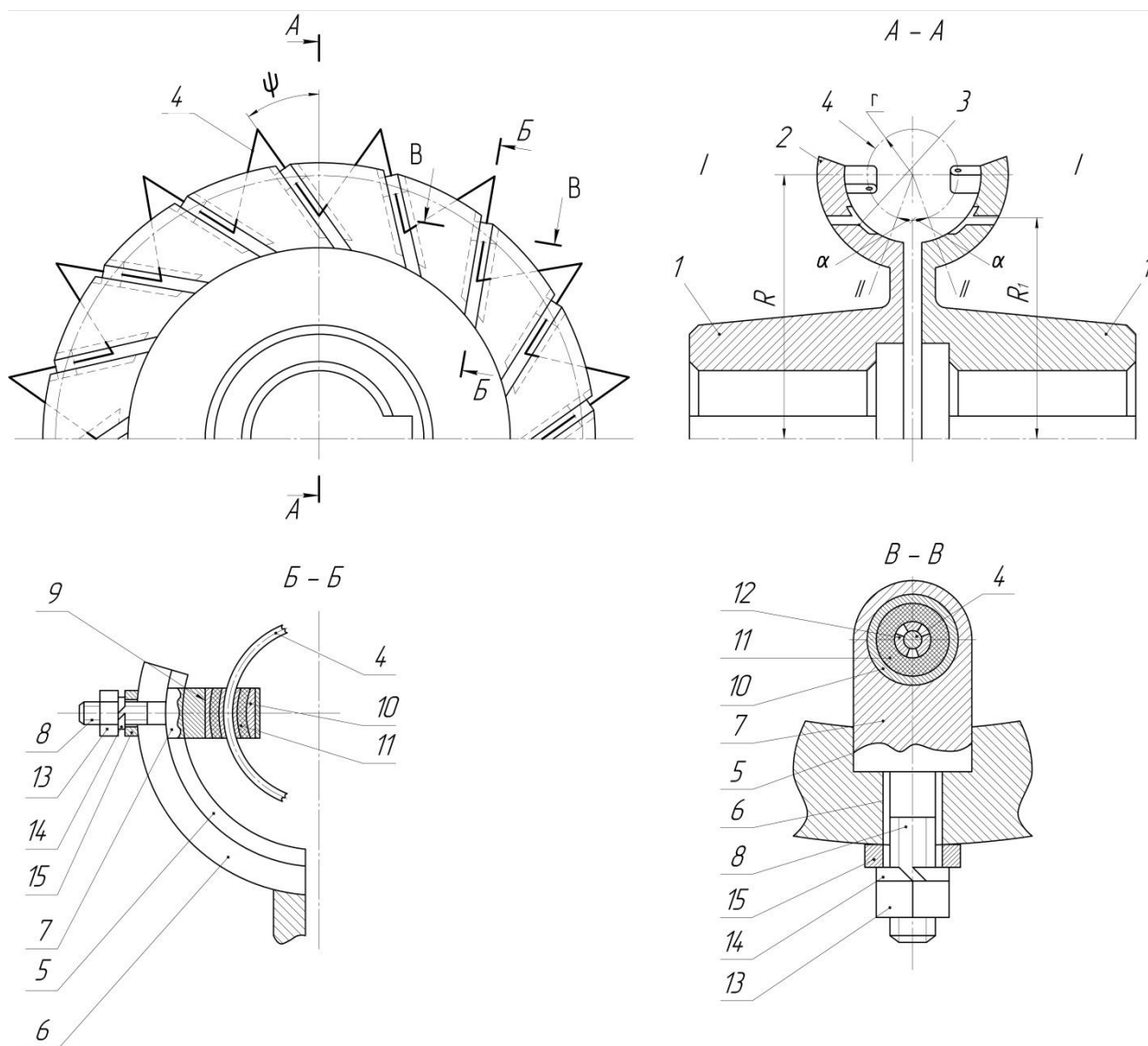


Рис. 1. Муфта с возможностью изменения положения мест закрепления на полумуфтах упругого элемента в виде стальной винтовой пружины, свёрнутой в тор.

Полумуфты могут быть соединены между собой как одним упругим элементом 4 (рис. 1), так и несколькими отдельными упругими элементами (рис. 2), расположенными радиально и выполненными в виде колец круглой, эллиптической или иной формы. Поперечное сечение витков винтовой пружины и отдельных упругих элементов может быть круглым, эллиптическим, квадратным, прямоугольным, и т.д. Крепление упругих элемен-

тов к полумуфтам может осуществляться известными в технике способами, отличными от представленного на рис 1.

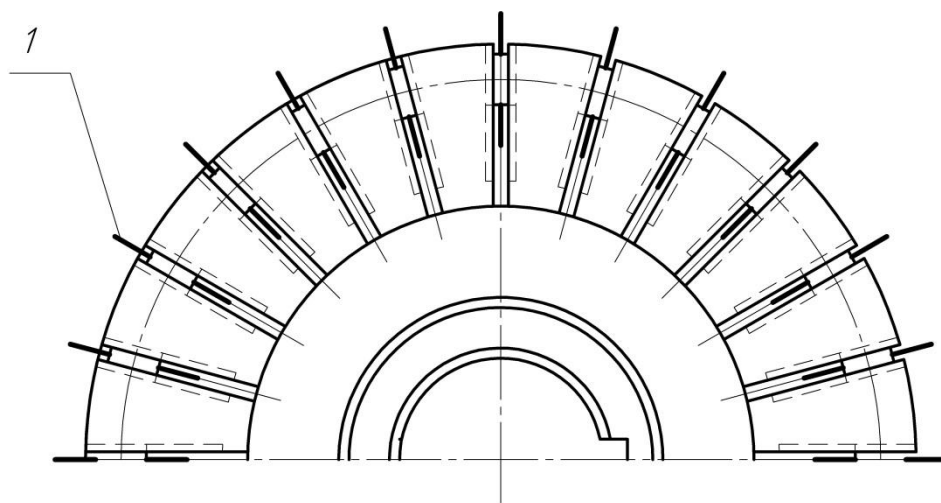


Рис. 2. Муфта с возможностью изменения положения мест закрепления на полумуфтах упругих элементов в виде радиально расположенных стальных колец.

При необходимости изменения крутильной жёсткости муфты ослабляют гайки 13 и перемещают каретки 7 в пазах 3 (рис. 1). При этом пальцы 8 перемещаются в прорезях 6, а внутренние металлические втулки кареток – по виткам (или кольцам) упругого элемента. При некруглом поперечном сечении упругого элемента крепление последнего к каретке 7 будет отличаться от описанного выше.

Рассмотрим изменение крутильной жёсткости муфты при перемещении кареток 7 из положения I в положение II (рис. 1). Расчёт приведём для муфты с отдельными упругими элементами в виде радиально расположенных стальных колец 1 с круглым поперечным сечением (рис. 2) и углом $\alpha=15^\circ$. При фиксировании кареток 7 в положении I упругий элемент рассматриваем как два полукольца 1 и 2 (рис. 3а) с заделанными концами.

Жёсткость муфты определяем по формуле

$$T_I = 2\theta Z \left\{ \frac{\pi R^2 \left(\frac{GI_k}{EI} + 1 \right) + 8Rr + 2\pi r^2}{\pi r^3 \left[\frac{\pi}{EI} + \frac{1}{GI_k} \left(\pi - \frac{8}{\pi} \right) \right]} \right\} \quad (1)$$

где T_I – вращающий момент, передаваемый муфтой;

θ – угол закручивания муфты, в радианах;

Z – число упругих элементов в муфте;

R – радиус расположения заделки;

r – радиус кривизны средней линии упругого элемента;

E – модуль упругости первого рода для материала упругого элемента;

G – модуль упругости второго рода для материала упругого элемента;

I – момент инерции сечения упругого элемента в плоскости изгибающего момента;

I_k – полярный момент инерции сечения упругого элемента.

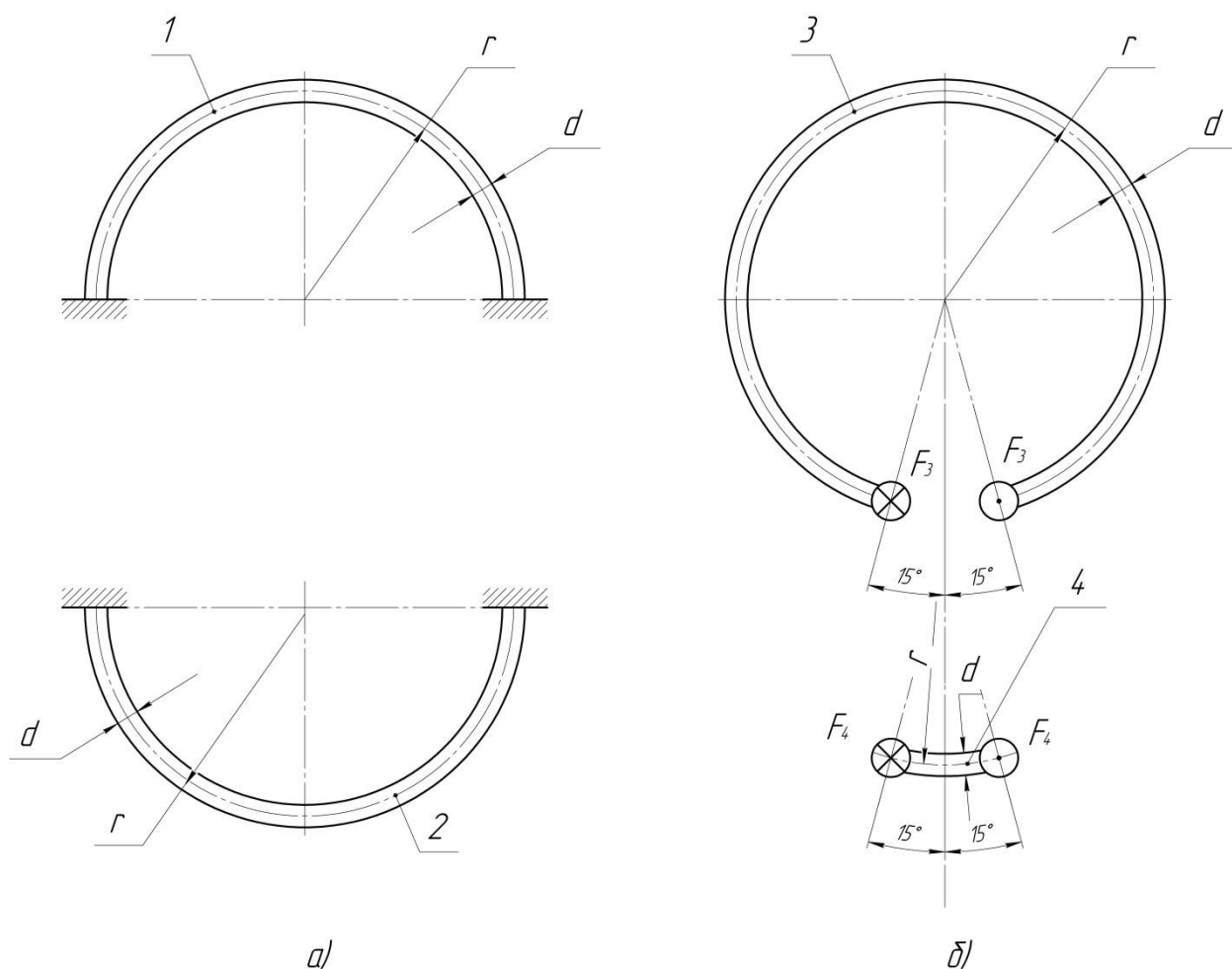


Рис. 3. Расчётные схемы для определения крутильной жёсткости муфты с возможностью изменения положения мест закрепления на полумуфтах упругих элементов в виде радиально расположенных стальных колец:

- а) упругий элемент в виде двух дуг окружности с углом 180° каждая;
- б) упругий элемент в виде двух дуг окружности с углами 330° и 30° .

Для круглого поперечного сечения

$$I = \frac{\pi d^4}{64}, I_k = \frac{\pi d^4}{32} \quad (2)$$

где d – диаметр поперечного сечения упругого элемента.

Для стального стержня с круглым поперечным сечением

$$\frac{GI_k}{EI} = 0,77. \quad (3)$$

В качестве примера рассмотрим муфту с размерами

$$r = 10d; R = 5r = 50d. \quad (4)$$

Подставляя (2), (3) и (4) в (1), получим $T_l = 0,1479\theta ZE d^3$.

При $\theta = 5^\circ = 0,08727$ рад $T_l = 0,1479 \cdot 0,08727 ZE d^3 = 0,01291 ZE d^3$.

При фиксировании кареток 7 в положении II упругий элемент рассматриваем как две дуги окружности 3 и 4 (рис. 3б). Получение для этого случая точной зависимости $T - \theta$

связано с большим объёмом вычислений [5]. Поэтому применим приближённый метод, дающий значительно заниженное значение вращающего момента T , полагая, что концы дуг 3 и 4 не заделаны, а вращающий момент T создают только окружные силы F_3 и F_4

$$T_{II} = Z(F_3 + F_4)R_1. \quad (5)$$

При $r = 10d$ и $G = 0,385E$ получим

$$F_3 = \frac{Ed\delta_3}{312369,5}, F_4 = \frac{Ed\delta_4}{972,8}, \quad (6)$$

где

$$\delta_3 = \delta_4 = R_1 \cdot \sin\theta. \quad (7)$$

Найдём смещения концов дуг 3 и 4 в плоскости, перпендикулярной плоскости их кривизны при закручивании муфты вращающим моментом T .

$$R_1 = R - r\cos\alpha = 5r - r\cos 15^\circ = 4,034r = 40,34d. \quad (8)$$

При $\theta = 5^\circ$ получим

$$\sin\theta = 0,0871558. \quad (9)$$

Подставляя (6), (7), (8) и (9) в (5) получим

$$T_{II} = 0,0871558 \cdot 40,34^2 \left(\frac{1}{312369,5} + \frac{1}{972,8} \right) ZEd^3 = 0,14569ZEd^3.$$

Тогда

$$\frac{T_{II}}{T_I} = \frac{0,14569ZEd^3}{0,01291ZEd^3} = 11,285.$$

Таким образом при перемещении кареток 7 из положения I в положение II жёсткость рассмотренной в примере муфты возрастает в 11,285 раза. Как отмечено выше, фактическое увеличение жёсткости будет больше, так как при фиксировании кареток 7 в положении II при расчёте не учитывали жёсткую заделку концов дуг 3 и 4. Фактическое отношение T_{II}/T_I может возрасти в несколько раз по сравнению с полученным в примере числом 11,285 в зависимости от размеров R , r и d , размеров и формы сечения упругого элемента, угла α , материала упругого элемента.

Плавное регулирование крутильной жёсткости упругой муфты можно осуществлять также путём изменения формы подковообразных упругих элементов [6]. Муфта (рис. 4) содержит неподвижную полумуфту 1 и подвижную в осевом направлении полумуфту 2, соединённые подковообразными упругими элементами 3, называемыми также лепестками [7]. Лепестки 3 прижаты к полумуфтам нажимными кольцами 4 с помощью винтов 5. Полумуфта 2 выполнена из двух одинаковых частей, стянутых винтами 6.

Перемещение полумуфты 2 в осевом направлении осуществляют при ослаблении затяжки винтов 6. При осевом перемещении полумуфты 2 изменяется форма лепестков (рис. 5) и, следовательно, крутильная жёсткость муфты. Недостатками рассмотренной муфты являются возникновение в лепестках дополнительных напряжений при изменении формы лепестков и ограниченный (особенно при малой податливости лепестков) диапазон изменения жёсткости муфты.

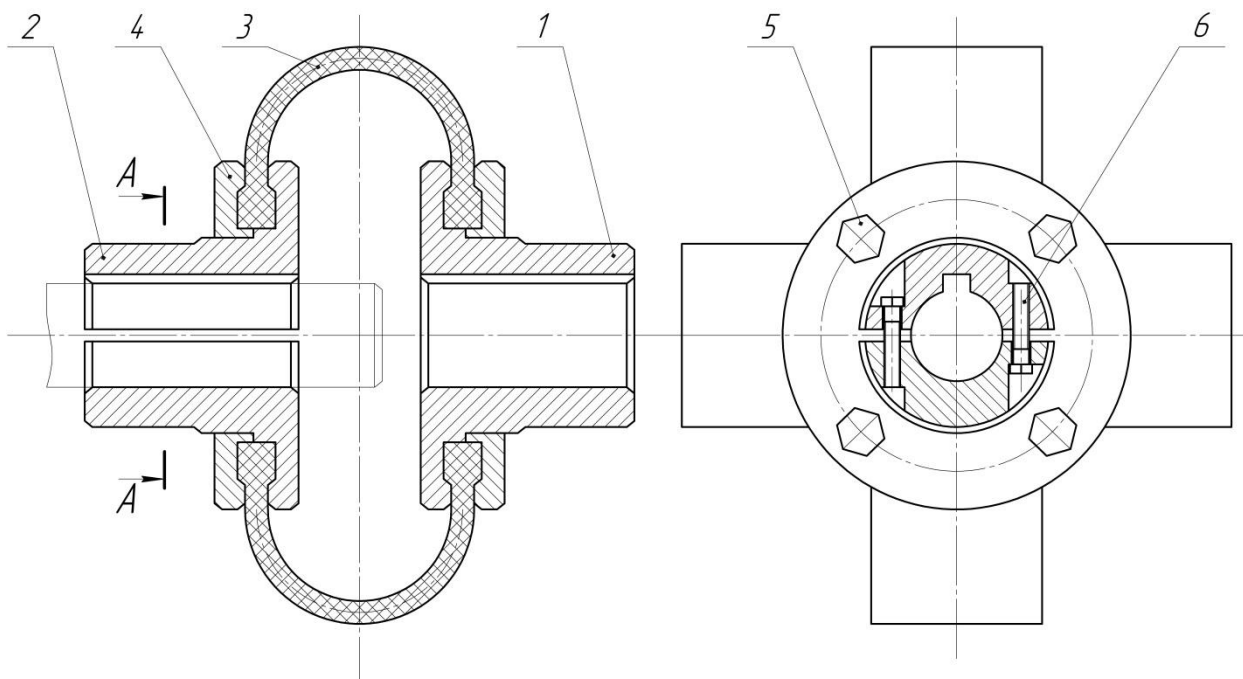


Рис. 4. Муфта с возможностью изменения формы подковообразных упругих элементов путём осевого смещения полумуфт.

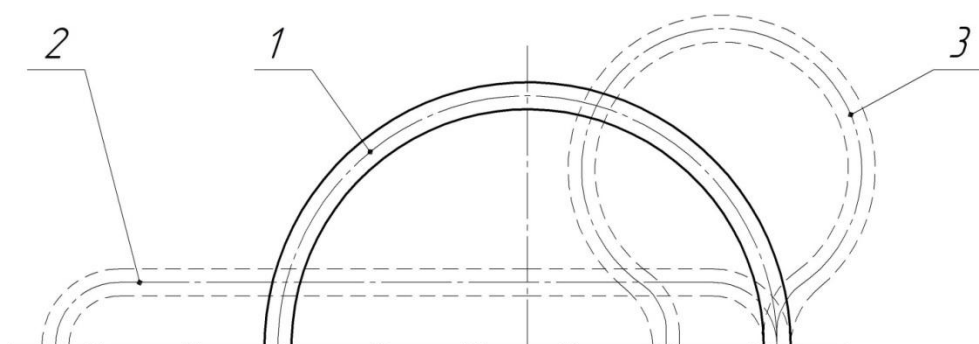


Рис. 5. Формы подковообразного упругого элемента в муфте на рис. 4:

1 – в недеформированном положении;

2, 3 – в деформированном положениях.

Отмеченных недостатков лишена муфта, в которой упругие лепестки закреплены на полумуфтах с возможностью изменения положения лепестков в диаметральной плоскости [8]. Одно из возможных конструктивных исполнений этой муфты представлено на рис. 6.

Муфта содержит полумуфты 1 и 2 с фланцами 3. Полумуфты 1 и 2 соединены между собой равномерно расположенными по окружности подковообразными упругими элементами 4, снабжёнными цапфами 5. Цапфы 5 установлены в фланцах 3 полумуфт посредством шлицевого соединения 6.

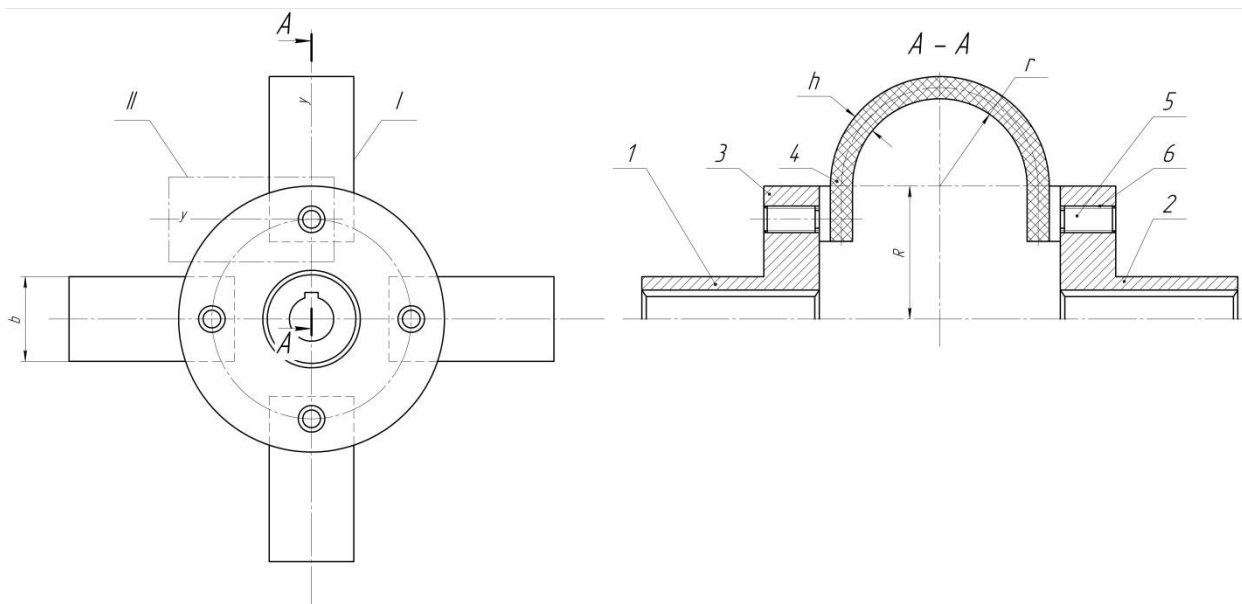


Рис. 6. Муфта с возможностью изменения положения в диаметральной плоскости подковообразных упругих элементов.

Для изменения жёсткости муфты сжимают упругие элементы 4 у основания подковы, и выводят цапфы 5 из шлицевых отверстий во фланцах 3. Затем устанавливают упругие элементы 5 в новое положение. Крайние положения упругих элементов 4 обозначены цифрами I и II. Изменение положения упругих элементов влечёт за собой изменение жёсткости последних, а следовательно, и жёсткости муфты. Вращающий момент, передаваемый муфтой при нахождении упругих элементов в положении I, обозначим T_1 , а при нахождении в положении II – T_2 . Размеры сечения упругих элементов b и h . Отношения моментов T_1/T_2 приведены в таблице 1.

Таблица 1

R/r b/h	2	10
1	1,98	2,39
4	0,92	3,96
6	-	3,95

Заключение

1. Рассмотрены три способа плавного регулирования крутильной жёсткости упругих муфт и конструкции муфт для реализации этих способов.
2. Показана возможность изменения крутильной жёсткости упругих муфт в широком диапазоне.
3. Диапазон регулирования крутильной жёсткости муфты с возможностью изменения положения мест закрепления на полумуфтах кольцеобразных стальных упругих элементов значительно шире, чем муфты с возможностью изменения формы или изменения положения в диаметральной плоскости подковообразных упругих элементов.

Список литературы

1. Ряховский О.А., Иванов С.С. Справочник по муфтам. – Л.: Политехника, 1991. – 384 с.: ил.
2. Детали машин: Учебник для вузов / Л.А. Андриенко, Б.А. Байков, И.К. Ганулюч и др.; Под ред. О.А. Ряховского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.; Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 520 с.: ил. - (Сер. Механика в техническом университете; Т.8).
3. Детали машин: Учебник для машиностроительных специальностей вузов. М.Н. Иванов, В.А. Финогенов. – 11-е изд., перераб. – М: Высш. шк., 2007. – 408 с.: ил.
4. А.с. 1803628. Упругокомпенсационная муфта. В.Н. Богачёв, О.А. Ряховский, В.А. Верещака // Бюл. №11, 1993 г.
5. Сопротивление материалов: учебник для вузов / Феодосьев В. И. - 15-е изд., испр. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. - 590 с.: ил.
6. А.с. 783505 СССР. Упругая муфта / О.А. Ряховский, В.Н. Богачёв, Е.П. Виташевский. Заявл. 29.12.78; №2710800/25-27; Оpubл. 30.11.80. Бюл. №44.
7. Ряховский О.А., Леликов О.П., ред. Атлас конструкций узлов и деталей машин. Москва, изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 400с.
8. А.с. 1783186. Упругокомпенсационная муфта. В.Н. Богачёв, О.А. Ряховский, В.А. Верещака // Бюл. №47, 1992 г.