



МУФТЫ. ПОДБОР СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ МУФТ

Тема 3.13.1 Назначение и классификация муфт.

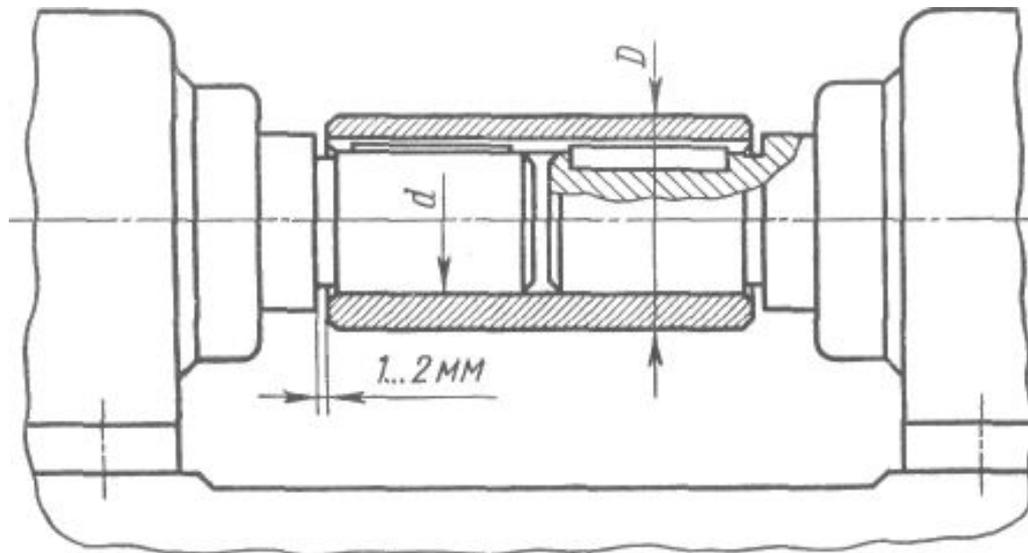
Устройство и принцип действия основных типов муфт.

Тема 3.13.2 Подбор стандартных и нормализованных муфт.

Общие сведения

- В современном машиностроении большинство машин состоит из сборочных единиц (узлов) и механизмов. Для обеспечения кинематической и силовой связи валы узлов соединяют муфтами (рис.).
- **Муфтой называется** устройство для соединения концов валов или для соединения валов со свободно сидящими на них деталями (зубчатые колеса, звездочки и т. д.).

Рис. Втулочная муфта



- *Назначение муфт* — передача вращающего момента без изменения его значения и направления. В ряде случаев муфты дополнительно поглощают вибрации и толчки, предохраняют машину от аварий при перегрузках, а также используются для включения и выключения рабочего механизма машины без остановки двигателя.
- Многообразии требований, предъявляемых к муфтам, и различные условия их работы обусловили создание большого количества конструкций муфт, которые классифицируют по различным признакам на группы.

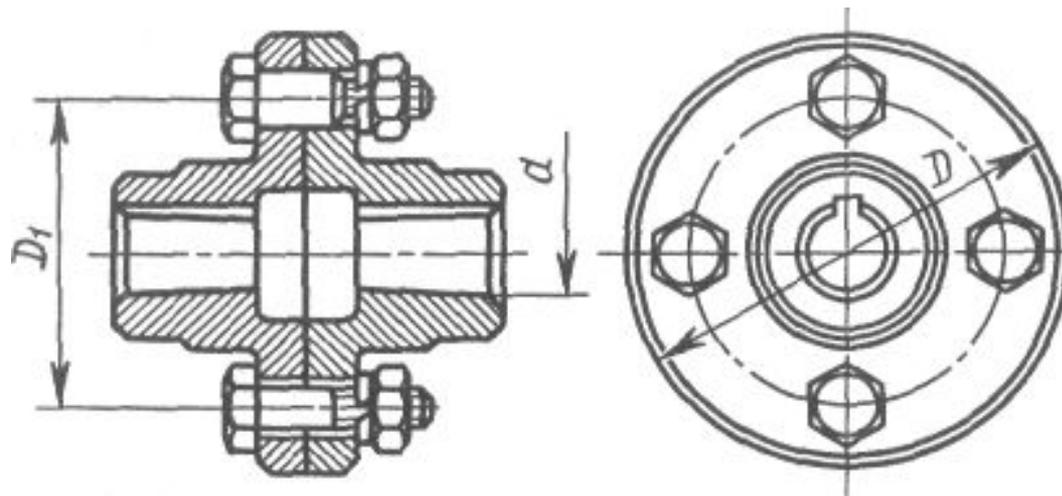
- *По принципу действия:*
- постоянные муфты, осуществляющие постоянное соединение валов между собой;
- сцепные муфты, допускающие во время работы сцепление и расцепление валов с помощью системы управления;
- самоуправляемые муфты, автоматически разъединяющие валы при изменении заданного режима работы машины.
- *По характеру работы:*
- жесткие муфты, передающие вместе с вращающим моментом вибрации, толчки и удары;
- упругие муфты, амортизирующие вибрации, толчки и удары при передаче вращающего момента благодаря наличию упругих элементов — различных пружин, резиновых втулок и др.

- Основной характеристикой муфт является передаваемый вращающий момент T . *Муфты подбирают по ГОСТу или ведомственным нормалам по большему диаметру концов соединяемых валов и расчетному моменту*
- $T_{расч} = KT$
- где K , — коэффициент режима работы муфты.
- Для приводов от электродвигателя принимают *: при спокойной нагрузке $K = 1,15 \dots 1,4$; при переменной нагрузке $K = 1,5 \dots 2$; при ударной нагрузке $K = 2,5 \dots 3$.
- *Муфты* каждого размера *выполняют для некоторого диапазона диаметров валов*, которые могут быть различными при одном и том же вращающем моменте вследствие разных материалов и различных изгибающих моментов.
- *Наиболее слабые звенья* выбранной муфты *проверяют расчетом на прочность* по расчетному моменту $T_{расч}$.

Глухие муфты

- *Глухие муфты соединяют соосные валы в одну жесткую линию. Относятся к постоянным муфтам. Применяются в тихоходных приводах. Из различных видов глухих муфт наибольшее распространение получили втулочные и фланцевые муфты.*
- **Втулочная муфта.** Эта муфта представляет втулку, насаживаемую на концы валов (см. рис.). Применяется для передачи небольших вращающих моментов. Имеет простую конструкцию, малые габариты и низкую стоимость. Недостатком муфты является неудобный монтаж и демонтаж, связанные с осевым смещением валов или муфты вдоль вала. Материал втулки — сталь 45.
- Втулочную муфту выбирают по стандарту. Шпоночное соединение проверяют на прочность.

- **Фланцевая муфта.** Состоит из двух полумуфт с фланцами, стянутыми болтами (рис.), причем половина болтов установлена с зазором, а другая — без зазора.
- Фланцевые муфты соединяют отдельные части валопровода в один вал, работающий как целый. Для того чтобы этот составной вал оставался прямолинейным, необходима строгая соосность его частей и пригонка полумуфт, в противном случае неизбежны изгиб вала, его биение и появление дополнительных нагрузок на опоры.
- Фланцевые муфты просты по конструкции, надежны в работе, могут передавать большие моменты. Они широко распространены в машиностроении. Материал полумуфт — сталь 40 или сталь 35Л, допускается также чугун СЧ20.
- Эти муфты выбирают по стандарту.



Пример

- Фланцевая муфта соединяет концы двух валов диаметром $d = 80$ мм каждый. Фланцы полумуфт соединены шестью болтами М16, три из которых поставлены в отверстия без зазора (диаметр стержня болта $d_4 = 17$ мм); остальные три болта входят в отверстия с зазором. Материал болтов класса прочности 5.6 ($\sigma_T = 300$ Н/мм²).
- Проверить на срез болты, поставленные без зазора, в предположении, что весь вращающий момент $\Gamma = 3000$ Н·м передается только этими болтами. Муфта установлена в приводе цепного транспортера, работающего при переменной нагрузке. Диаметр окружности, на которой расположены оси болтов, $D_1 = 220$ мм.

- *Решение.*
- 1. Допускаемое напряжение на срез стержня болта
 $[\tau]_{\text{ср}} = 0,255\sigma_{\text{T}} = 0,255 \cdot 300 \text{ Н/мм}^2 = 76,5 \text{ Н/мм}^2.$
- **Коэффициент режима работы муфты** при переменной нагрузке
 $K=1,7 .$
- **Окружная сила**, передаваемая одним болтом (при числе болтов $z = 3$),
- $$F_t = \frac{2T_{\text{расч}}}{zD_1} = \frac{2TK}{zD_1} = \frac{2 \cdot 3000 \cdot 10^3 \cdot 1,7}{3 \cdot 220} \text{ Н} = 15470 \text{ Н}$$
- **4. Расчетное напряжение среза в болте**
- $$\tau_{\text{ср}} = \frac{4F_t}{\pi d_4^2} = \frac{4 \cdot 15470}{\pi \cdot 17^2} \text{ Н / мм}^2 = 68 \text{ Н / мм}^2 < [\tau]_{\text{ср}} = 76,5 \text{ Н / мм}^2$$
- *что удовлетворяет условию прочности.*

3. Жесткие компенсирующие муфты

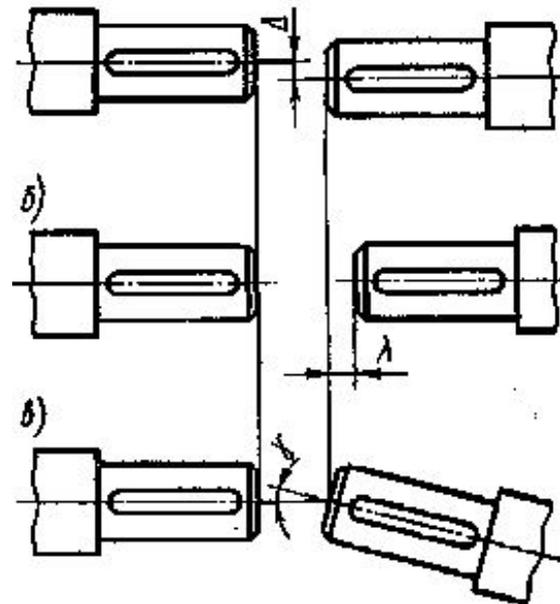
- Жесткие компенсирующие муфты относятся к постоянным муфтам и предназначены для соединения валов с компенсацией радиальных (рис., а), осевых (рис., б) и угловых (рис., в) смещений вследствие неточности изготовления и монтажа.
- Компенсация отклонений от соосности валов достигается за счет подвижности жестких деталей муфты. Эти муфты уменьшают дополнительные нагрузки на валы и подшипники, вызываемые отклонениями от соосности валов. Наибольшее распространение из группы компенсирующих муфт получили зубчатые и цепные

Рис. Погрешности монтажа валов:

а — радиальное смещение на величину Δ ;

б — осевое смещение на величину λ ;

в — угловое смещение на величину γ



- **Зубчатая муфта.** Эта муфта стандартизована (рис.). Состоит из двух обойм 1 с внутренними зубьями эвольвентного профиля, которые зацепляются с зубьями втулок 2, насаживаемых на концы валов. Обоймы соединены между собой болтами, поставленными в отверстия без зазора. Втулки и обоймы изготовляют из стали 40 или стали 45Л.
- Зубчатые муфты компенсируют радиальные, осевые и угловые смещения валов за счет боковых зазоров в зацеплении и обточки зубьев втулок по сфере. Компенсация отклонений от соосности валов сопровождается скольжением зубьев. Угол перекоса оси каждой втулки относительно оси обоймы допускается до $1^{\circ}30'$.
- Для повышения износостойкости зубья подвергают термообработке, а муфту заливают маслом большой вязкости.
- Зубчатые муфты широко применяются для соединения горизонтальных тяжело нагруженных валов диаметром $d = 40 \dots 560$ мм при окружных скоростях до 25 м/с. Эти муфты надежны в работе, имеют малые габариты. При работе зубья испытывают переменные контактные напряжения и напряжения изгиба, что затрудняет их точный расчет. Поэтому согласно ГОСТу зубчатые муфты подбирают по наибольшему диаметру концов соединяемых валов и проверяют по формуле
- $T_{\text{Гост}} \geq K_1 K_2 T$
- где $T_{\text{Гост}}$ - максимальный вращающий момент муфты по ГОСТ; T — вращающий момент, передаваемый муфтой; K_1 - коэффициент безопасности. Если поломка муфты может вызвать остановку машины, то $K_1 = 1$, аварию машины - $K_1 = 1,2$; человеческие жертвы - $K_1 = 1,8$; K_2 — коэффициент условий работы машины. При спокойной работе $K_2 = 1$; при переменной работе $K_2 = 1,2$; при тяжелой работе с толчками $K_2 = 1,5$.

- При работе муфты в условиях смещений соединяемых валов возникает неуравновешенная радиальная сила
- $$F_M = (0,3 \dots 0,4) T_{расч} / d_M$$
- где $T_{расч}$ — расчетный момент, передаваемый муфтой;
- d_M — делительный диаметр зубчатого зацепления муфты.

Потери в муфте оцениваются к.п.д. $\eta = 0,98 \dots 0,99$.

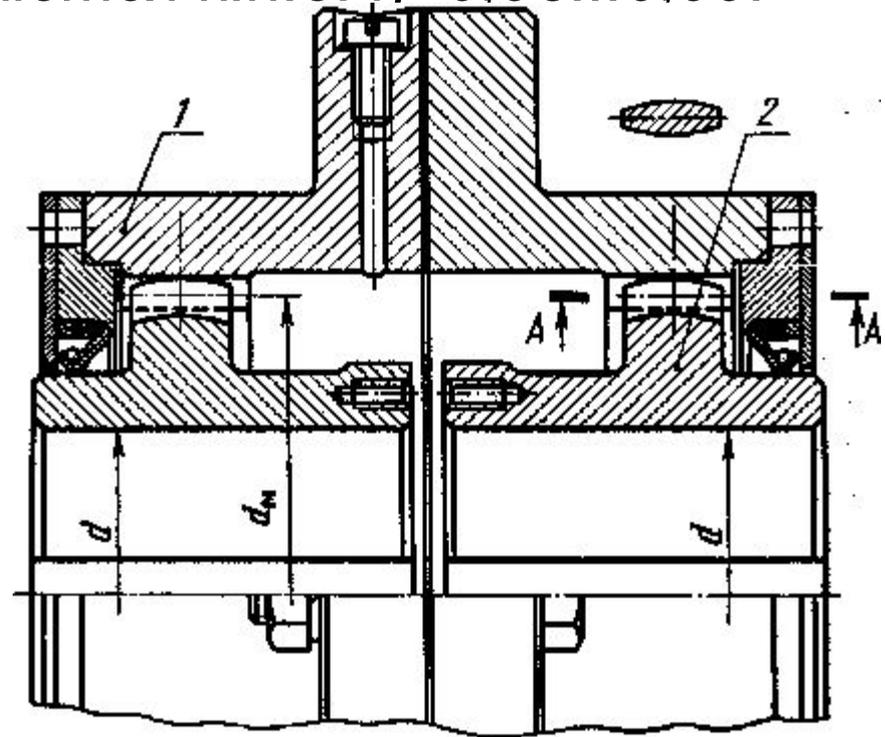
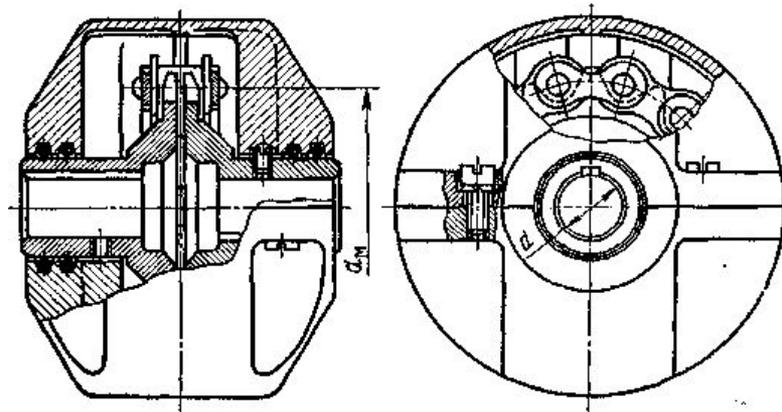


Рис. Зубчатая муфта:
1 — обойма; 2 — втулка

A-A(сечение зуба втулки)

- **Цепная муфта.** Состоит из двух полумуфт-звездочек, имеющих одинаковые числа зубьев (рис.), охватывающей их общей цепи и защитного кожуха, заполненного пластичным смазочным материалом. Применяются цепи роликовые однорядные и двухрядные, а также зубчатые.
- **Достоинства цепных муфт** — простота конструкции и обслуживания, относительно небольшие габариты. При монтаже и демонтаже не требуется осевого смещения узлов.
- Из-за наличия зазоров в шарнирах цепи и в сопряжении ее со звездочками цепные муфты имеют значительные люфты. Поэтому их не применяют в реверсивных приводах (реверс будет сопровождаться ударами). Цепные муфты допускают угловое смещение валов $\gamma \leq 1^\circ$ и радиальное смещение $\Delta = 0,15 \dots 0,7$ мм в зависимости от размера муфты. Подбираются по стандарту.
- При работе муфты из-за несоосности соединяемых валов возникает радиальная сила F_m , действующая со стороны полумуфты на вал,
- $F_m = 0,5 T_{расч} / d_m$
- где d_m — делительный диаметр звездочки муфты.
- На основе опытов принимают к.п.д. муфты $\eta \approx 0,98$.

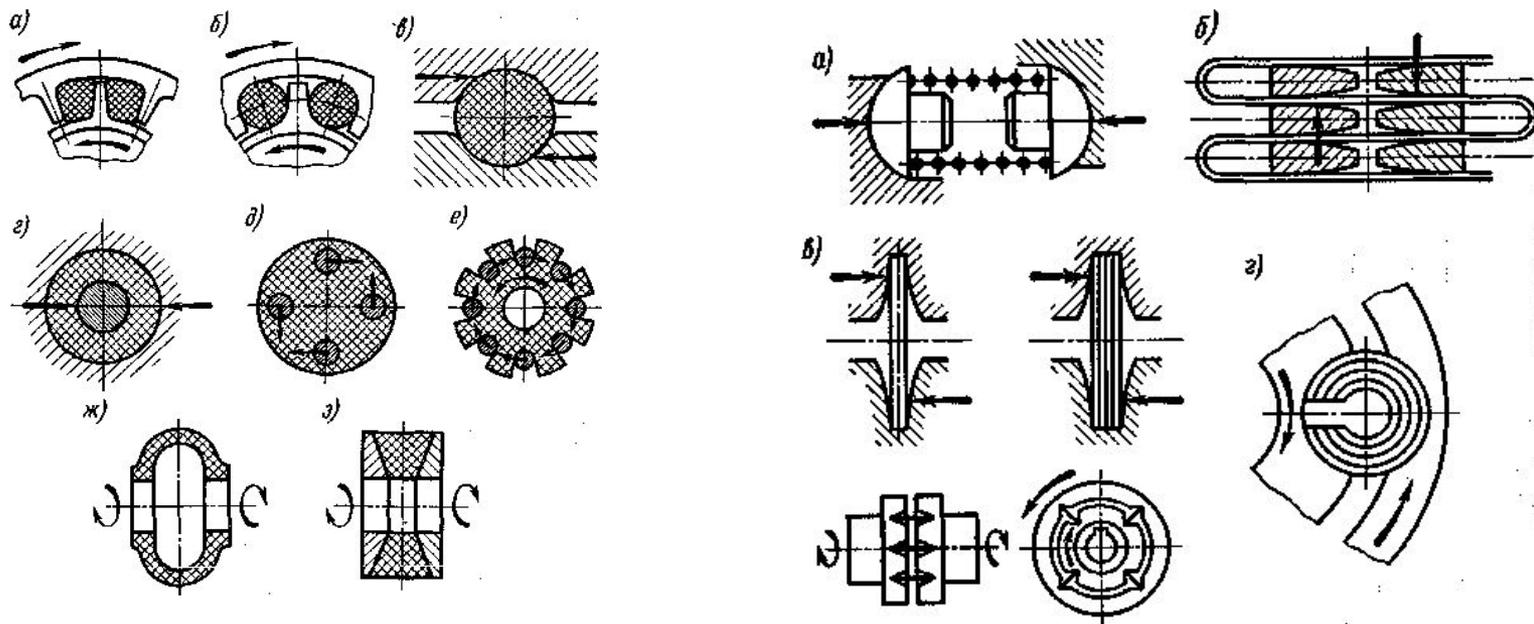


4. Упругие муфты

Упругие муфты относятся к постоянным муфтам.

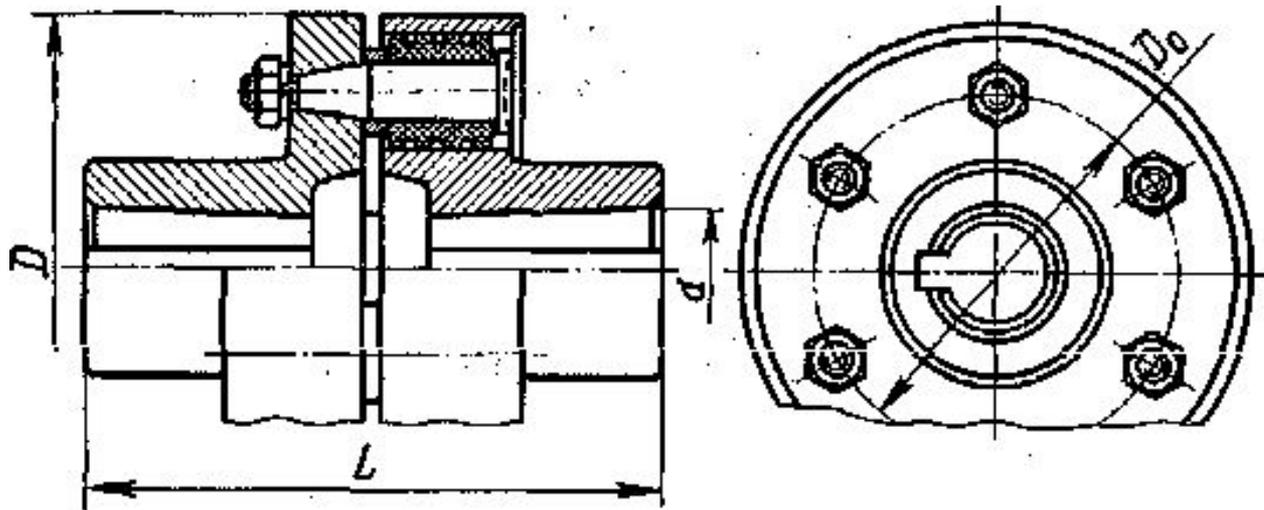
Основная часть этих муфт — упругий элемент, который передает вращающий момент от одной полумуфты к другой.

- Упругие муфты смягчают толчки и удары; служат средством защиты от резонансных крутильных колебаний, возникающих вследствие неравномерного вращения; допускают сравнительно большие смещения осей соединяемых валов.



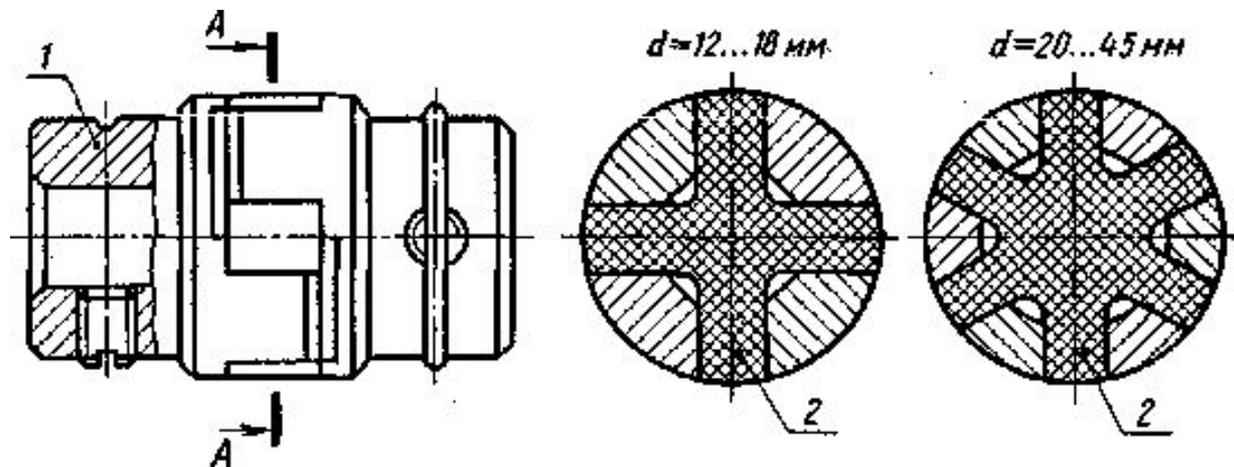
- *Основные характеристики упругих муфт — жесткость или (обратная ей величина) податливость и демпфирующая способность, т. е. способность превращать в теплоту энергию при деформации упругих элементов муфты.*
- *По конструкции упругие муфты разнообразны. По материалу упругих элементов они делятся на две группы: муфты с неметаллическими упругими элементами (обычно резиновыми) и муфты с металлическими упругими элементами.*

- **Муфта упругая втулочно-пальцевая (МУВП).** Муфта состоит из двух дисковых полумуфт (рис.), в одной из которых в конических отверстиях закреплены соединительные пальцы с надетыми гофрированными резиновыми втулками. Материал полумуфт — чугун СЧ20, сталь 35 или 35Л. Материал пальцев - сталь 45.
- Вследствие небольшой толщины резиновых втулок муфта обладает малой податливостью, компенсируя незначительные смещения валов ($\Delta=0,1...0,3$ мм, $\lambda=1...5$ мм, $\gamma \leq 1^\circ 30'$). Радиальное и угловое смещения валов снижают долговечность резиновых втулок, нагружая валы дополнительной радиальной изгибающей силой
- $F_m=(0,2...0,6)qT_{расч}/D_0$
- где D_0 — диаметр окружности расположения пальцев муфты.
- Работа муфты сопровождается потерями, которые оцениваются к.п.д. $\eta=0,95...0,97$.
- Муфта МУВП широко применяется для соединения машин с электродвигателями при передаче малых и средних вращающих моментов. Она проста в изготовлении. Наружная поверхность полумуфт может использоваться в качестве тормозного барабана. Муфту подбирают по стандарту в диапазоне диаметров валов $d=16...150$ мм.

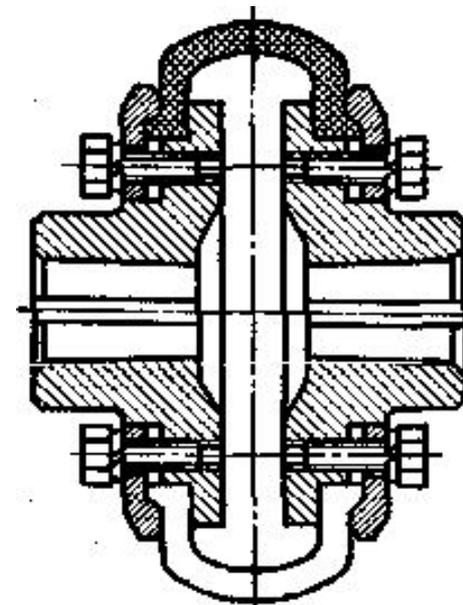


- **Муфта упругая со звездочкой.** Состоит из двух полумуфт 1 с торцовыми кулачками и резиновой звездочки 2, зубья которой расположены между кулачками (рис. 25.9). При передаче момента в каждую сторону работает половина зубьев.
- Муфта компактна и надежна, компенсирующая способность ее невелика. Применяется для соединения быстроходных валов. Допускает смещения валов: радиальное $\Delta \leq 0,1 \dots 0,2$ мм, угловое $\gamma \leq 1^\circ 30'$. Подбирается по стандарту для диаметров валов $d = 12 \dots 48$ мм,
- Радиальную силу F_M , с которой полумуфта воздействует на вал при радиальном смещении Δ , принимают:

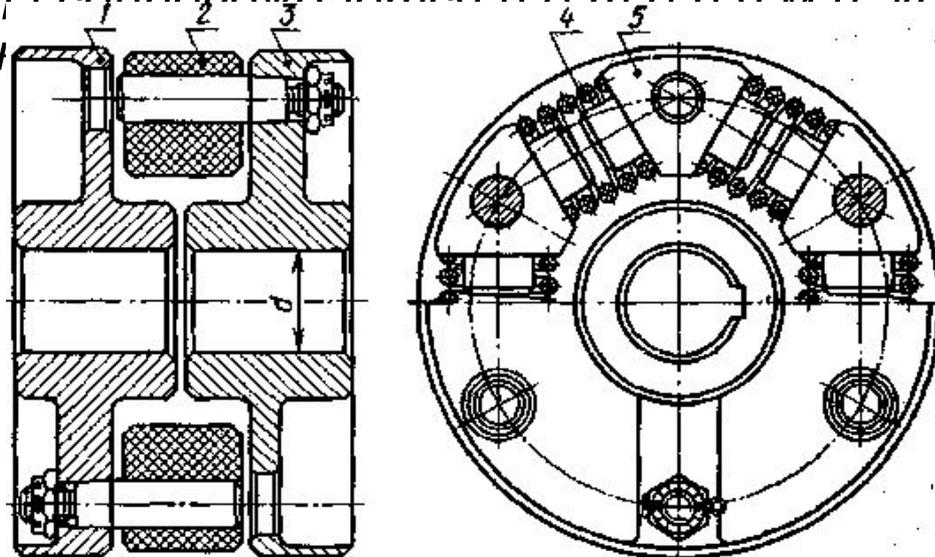
$$F_M = c_{\Delta} \Delta$$
- где c_{Δ} – радиальная жесткость муфты, Н/мм
- d вала, мм 20;22 25;28 32;36 40;45
- c_{Δ} , Н/мм 800 900 1120 1320
- Потери в муфте оцениваются к.п.д. $\eta \approx 0,98$.



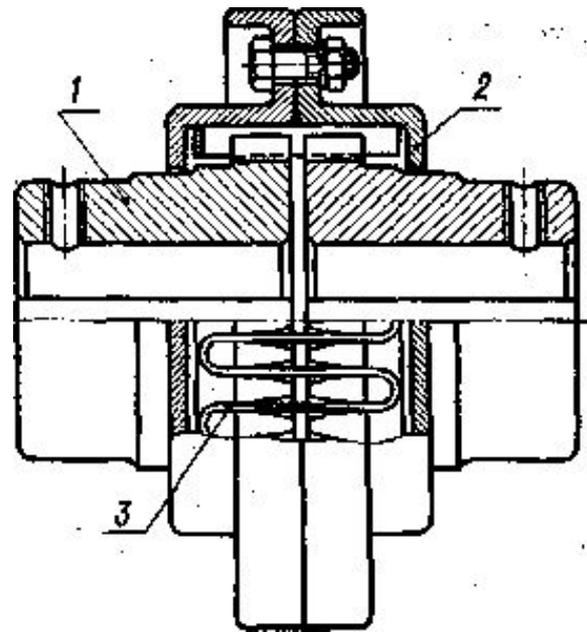
- **Муфта упругая с торообразной оболочкой.** Состоит из двух полумуфт (рис.), упругой оболочки, по форме напоминающей автомобильную шину (см. рис. ж), и двух колец, зажимающих с помощью винтов оболочку.
- Эта муфта обладает высокими упругими и демпфирующими свойствами. Обеспечивает шумо и электроизоляцию узлов привода, удобна и надежна в эксплуатации.
- Применяется в конструкциях, где трудно обеспечить соосность валов, при переменных и ударных нагрузках.
- Допускает смещения валов: радиальное $\Delta=1...6$ мм, осевое $\lambda = 1...6$ мм и угловое $\gamma \leq 2^\circ$.
- Подбирается по стандарту для валов диаметрами $d= 14. ..240$ мм.
- При допустимых для муфт смещениях Δ , λ и γ радиальная сила F_m и изгибающий момент M_m невелики, и при расчете валов и опор их не учитывают.
- Потери в муфте оцениваются к.п.д. $\eta \approx 0,98...0,99$.



- **Муфта с цилиндрическими пружинами сжатия.** Одна из конструкций таких муфт показана на рис.. Пружины 4 установлены на стержни сегментов 5 предварительно сжатыми, чтобы одним концом они опирались на сегменты, принадлежащие полумуфте 3, а другим — на сегменты полумуфты 1. При передаче вращающего момента осадка половины от общего числа пружин увеличивается, остальных — уменьшается. Сегменты имеют возможность касательного движения на пальцах 2 и изготавливаются из износостойких пластмасс или чугуна.
- Путем подбора пружин жесткость муфты изменяется в весьма широких пределах. Расчет пружин ведут методами сопротивления материалов.
- Радиальную силу F_m , действующую на валы со стороны муфты, при радиальном смещении валов Δ определяют по графикам в зависимости от расчетного момента муфты $T_{расч}$.
- Работа муфты и сопротивление ее разрыву, которые оцениваются



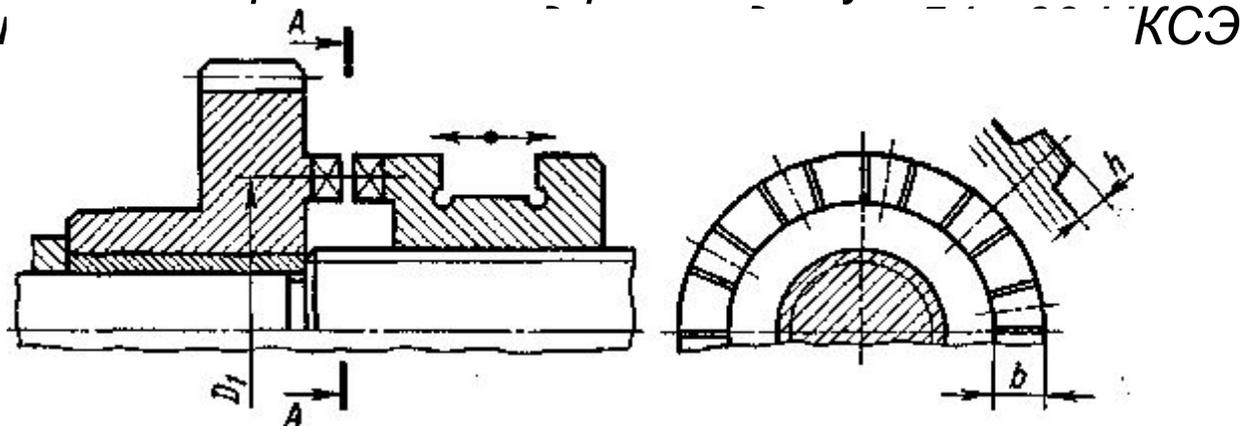
- **Муфта со змеевидной пружиной.** Муфта состоит из двух полумуфт 1 с зубьями специального очертания, между которыми свободно заложены секции ленточной змеевидной пружины 3 прямоугольного сечения (рис.). Кожух 2, состоящий из двух половин, удерживает пружину от выскакивания под действием центробежной силы и служит резервуаром для пластичного смазочного материала, который меняют через каждые четыре месяца.
- Материал полумуфт — сталь 40 или 45Л, материал пружин — сталь 65Г. Кожух отливают из чугуна СЧ15.
- Муфта со змеевидной пружиной достаточно податлива. В зависимости от размеров она допускает комбинированное с м е щ е н и е валов: радиальное $\Delta = 0,5...3$ мм, осевое $\lambda = 4...20$ мм и угловое $\gamma \leq 1^\circ 10'$.
- Муфта надежна в работе и долговечна. Применяется при передаче больших вращающих моментов.
- Размеры муфты принимают по нормальям станкостроения. Змеевидную пружину проверяют на изгиб методами сопротивления материалов как балку, защемленную с двух сторон.
- Радиальную силу F_m , с которой муфта воздействует на вал при смещении Δ , определяют по графикам.
- Потери в муфте оцениваются к.п.д. $\eta \approx 0,98$.



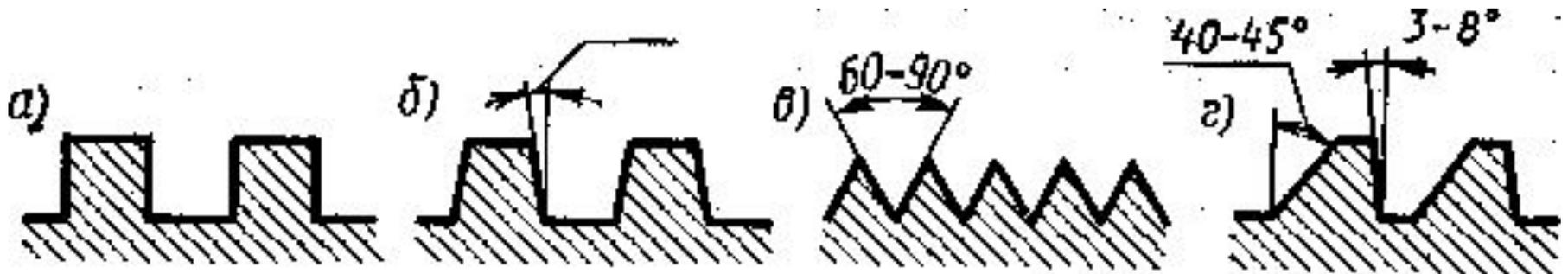
5. Сцепные муфты

Сцепные (управляемые) муфты служат для быстрого соединения и разъединения валов при работающем двигателе. Применяются при строгой соосности валов. По принципу работы делятся на кулачковые и фрикционные. Все сцепные муфты должны легко и быстро включаться при незначительной силе, а также иметь малый нагрев и небольшую изнашиваемость при частых переключениях.

- **Кулачковые муфты.** Кулачковые муфты состоят из двух полумуфт с кулачками на торцовых поверхностях (рис.). При включении кулачки одной полумуфты входят во впадины другой, создавая жесткое сцепление. Для переключения муфты одна полумуфта передвигается вдоль вала по направляющей шпонке или шлицам с помощью механизма управления муфтой.
- **Материал полумуфт — сталь 20Х или 20ХН. Для повышения износостойкости рабочие поверхности кулачков цементи**



- Основные элементы муфт — кулачки различных профилей (рис.): прямоугольного (а), трапецеидального (б), треугольного (в) соответственно для больших, средних и малых нагрузок. Асимметричный профиль кулачков (рис. г) применяют в нереверсивных механизмах для облегчения включения муфты. Число кулачков принимают $z = 3 \dots 60$ в зависимости от значения вращающего момента $T_{расч}$ и желаемого времени включения, с увеличением которого z уменьшается.



- **Недостаток кулачковых муфт** — невозможность включения на быстром ходу. Во избежание ударов и повреждения кулачков включение муфты производят без нагрузки при разности окружных скоростей на кулачках $v \leq 0,8$ м/с.
- Кулачковые муфты просты в изготовлении и малогабаритны. Применяются в механизмах, где должно быть обеспечено постоянное передаточное число (металлорежущие станки), а также при передаче больших вращающих моментов, когда переключения производят редко.
- Размеры муфт принимают конструктивно, а затем кулачки проверяют расчетом:

- на износостойкость — по среднему давлению на рабочих поверхностях

$$p_m = \frac{F_{расч}}{A} = \frac{2T_{расч}}{0,75D_1zbh} \leq [p_m]$$

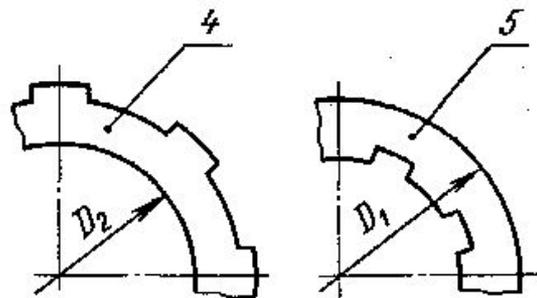
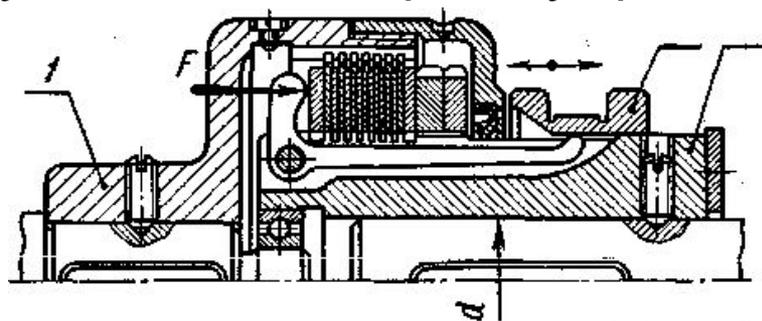
- где 0,75 — коэффициент неравномерности распределения нагрузки по кулачкам вследствие неточности изготовления; D_1 , b и h — размеры муфты; $[p_\tau] = 25 \dots 35$ Н/мм² — допускаемое давление для закаленных кулачков, включаемых на ходу; на прочность — по напряжению изгиба у основания кулачков в предположении неполного включения (сила приложена к вершинам кулачков):

$$\sigma_{и} = \frac{M}{W} = \frac{F_{расч}h}{W} = \frac{2T_{расч}}{0,75D_1zW} \leq [\sigma]_{и}$$

- где $W = a^2b/6$ — момент сопротивления кулачка изгибу; a — средняя ширина кулачка. Допускаемое напряжение на изгиб для кулачков принимают $[\sigma]_{и} \approx [p_\tau]$

- **Фрикционные муфты.** Служат для плавного сцепления валов под нагрузкой на ходу при любых скоростях. Передача вращающего момента осуществляется силами трения между трущимися поверхностями деталей муфты. В начале включения за счет проскальзывания рабочих поверхностей муфты разгон ведомого вала происходит плавно, без удара, с постепенным нарастанием передаваемого вращающего момента по мере увеличения нажимной силы P . При установившемся движении проскальзывание отсутствует, муфта замыкается и оба вала вращаются с одной и той же угловой скоростью.
- В момент перегрузок фрикционные муфты пробуксовывают, предохраняя машину от поломок.
- По форме поверхности трения фрикционные муфты делятся на **д и с к о в ы е (а), к о н у с н ы е (б) и ц и л и н д р и ч е с к и е (в)**. В дисковых муфтах рабочими поверхностями служат плоские торцовые поверхности дисков, в конусных – конические, а в цилиндрических – цилиндрические.
- По условию смазывания муфты бывают **м а с л я н ы е и с у х и е**. Масло служит для уменьшения износа, улучшения сцепления рабочих поверхностей и отвода теплоты.

- В муфтах, работающих в масле, трущиеся детали изготавливают из закаленной стали. В сухих муфтах применяют пары трения - сталь или чугун по фрикционному материалу (накладки из асбестопроволочной прессованной ткани — ферродо, фрикционные пластмассы, металлокерамическое покрытие и др.).
- В современном машиностроении применяются различные конструкции фрикционных муфт, среди которых наибольшее распространение получила многодисковая муфта.
- Многодисковая фрикционная муфта состоит из двух полумуфт в виде корпуса 1 и втулки 3, дисков 4 и 5 и нажимного механизма 2 (рис.). В продольные пазы внутренней поверхности корпуса свободно входят зубья ведущих дисков 4, а в пазы на наружной поверхности втулки — зубья ведомых дисков 5, между которыми возникают силы трения, что обуславливает передачу вращающего момента.



- Основным критерием работоспособности фрикционных муфт является износостойкость трущихся поверхностей, Поверхности трения дисков проверяют на износостойкость по значению давления.