

Лекция 12. Муфты

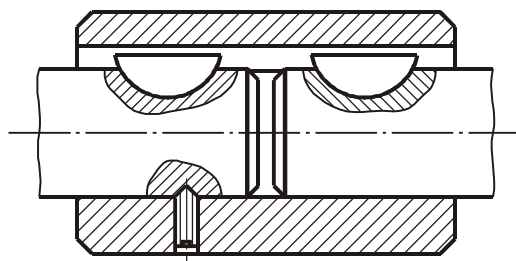
Муфтами называют устройства, предназначенные для соединения валов с целью передачи вращения между ними. Соединение валов посредством муфт не изменяет величины вращающего момента или частоту вращения. Помимо своей основной функции передачи вращения муфты могут выполнять и некоторые дополнительные функции: компенсацию несоосности валов, уменьшение динамических и вибрационных нагрузок, предохранение машины от перегрузок, включение или выключение исполнительных механизмов. В соответствии с назначением муфты делят на следующие основные виды: *глухие, компенсирующие жесткие и упругие, управляемые (сцепные), самодействующие*. Рассмотрим конструкции муфт, получивших наибольшее распространение в машиностроительной технике.

1. Глухие муфты

К глухим относятся наиболее простые в конструктивном исполнении муфты, обеспечивающие жесткое соединение валов без возможности компенсации ошибок изготовления и монтажа. Соединение глухими муфтами требует точной центровки валов. Наиболее типичными представителями этого класса муфт являются *втулочная и фланцевая*.

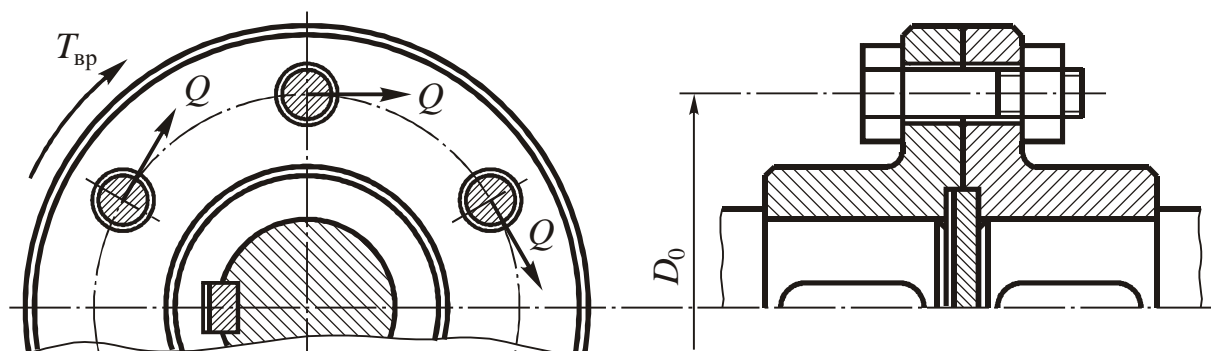
Втулочная муфта соединяется с валами при помощи шпонок, шлицев или штифтов. Достоинствами муфты являются ее простота и малые габариты. В процессе монтажа валы приходится смещать в осевом направлении, что вызывает определенные неудобства. По этой причине при соединении валов тяжелых машин или же при ограниченном доступе к месту соединения втулочные муфты стараются не использовать. Прочность соединения определяется прочностью шпонок, шлицев или штифтов, которые рассчитывают на смятие или срез.

Фланцевая муфта (поперечно-свертная) состоит из двух полумуфт, соединяемых болтами, которые ставят с зазором или без него. Постановка без зазора обеспечивает муфте большую компактность, так как номинальный диаметр болтов существенно меньше.



Вращающий момент передается силами трения в плоскости стыка полумуфт или непосредственно через болты (при постановке без зазора). Также

применяются муфты, у которых часть болтов ставят с зазором, а часть (через один) – без зазора. Диаметры соединяемых валов лежат в диапазоне от 11 до 250 мм. Посадочные поверхности могут быть как цилиндрическими, так и коническими. Для фиксации валов в окружном направлении применяют шпоночное или шлицевое соединение. Для восприятия поперечных нагрузок используют центрирующий выступ или шайбу.



Кроме поперечно-свертных известны продольно-свертные фланцевые муфты, у которых плоскость разъема полумуфт и фланцы ориентированы вдоль оси вала.

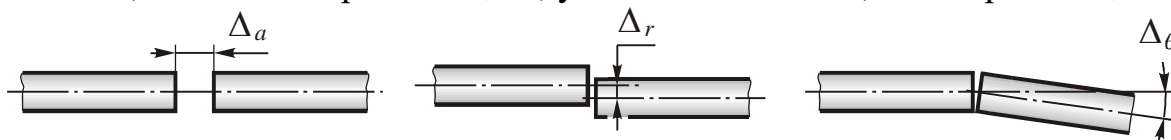
Расчет соединения фланцевой муфтой на прочность сводится к расчету болтовых соединений (с зазором или без него). Усилие, воспринимаемое одним болтом, может быть найдено по формуле

$$Q = \frac{2T_{вр}}{zD_0},$$

где $T_{вр}$ – передаваемый вращающий момент; z – число болтов; D_0 – диаметр окружности постановки болтов.

2. Компенсирующие муфты

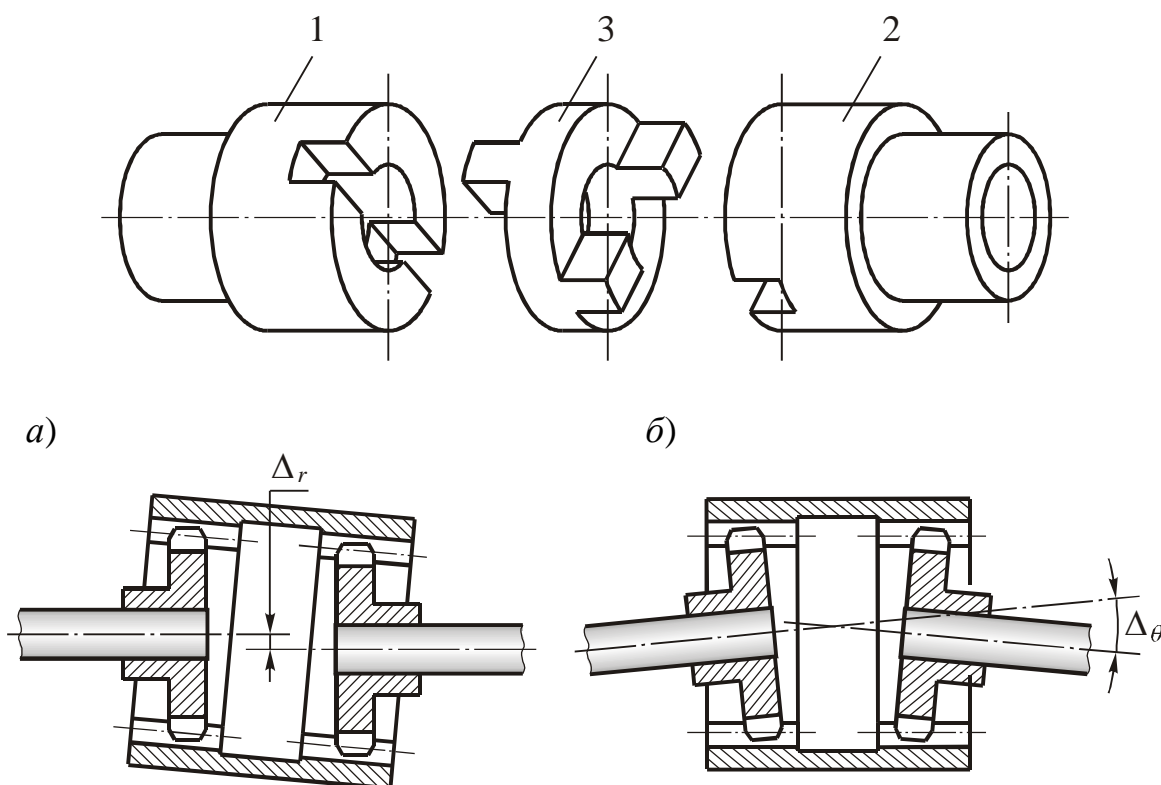
Компенсирующие муфты предназначены для компенсации различных видов несоосности валов: продольных смещений Δ_a ; радиальных смещений, или эксцентриситета, Δ_r ; угловых смещений, или перекосов, Δ_θ .



При соединении валов глухими муфтами имеющаяся несоосность может быть устранена только посредством деформирования валов и опор, что вызывает их дополнительную нагрузку. Компенсирующие муфты, в отличие от глухих, имеют внутренние степени свободы, допускающие относительные смещения полумуфт. Как следствие, дополнительная нагрузка на валы и опо-

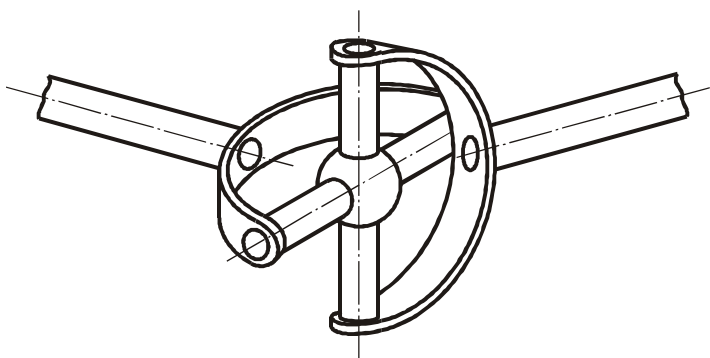
ры устраняется, так как силы взаимодействия в направлении возможных смещений не возникают.

Кулачково-дисковые муфты предназначены для соединения валов диаметром от 15 до 150 мм, имеющих, главным образом, радиальные смещения. Также компенсируются небольшие осевые смещения и перекосы. Муфта состоит из двух полумуфт 1 и 2, промежуточного плавающего диска 3 и кожуха (на рисунке не показан). На торцах диска имеются выступы, расположенные перпендикулярно друг другу. Благодаря возможности скольжения этих выступов вдоль пазов на торцах полумуфт валы получают свободу относительного перемещения в произвольном радиальном направлении.

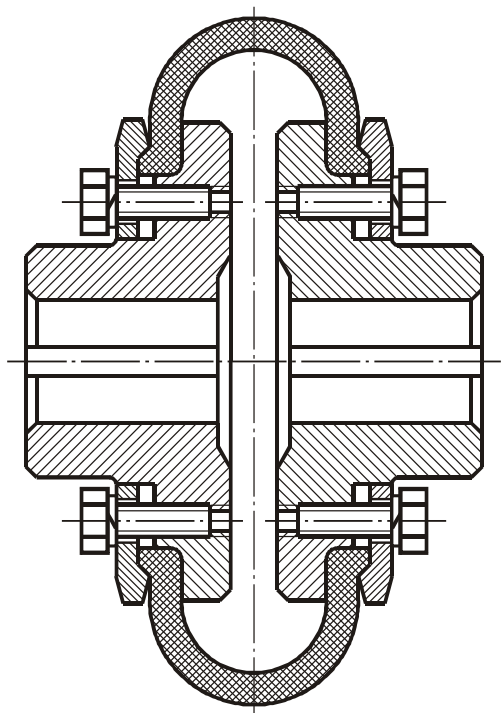


Зубчатые муфты состоят из полумуфт 1 и 2 с наружными зубьями и внешней обоймы 3 с двумя рядами внутренних зубьев. Соединение каждой полумуфты с обоймой напоминает эвольвентное шлицевое соединение. В зацеплении зубьев предусмотрены увеличенные зазоры с тем, чтобы иметь возможность небольших относительных поворотов осей (до $0,5^\circ$). Работа зубчатой муфты сопровождается интенсивным скольжением зубьев в контакте. Для предотвращения износа полость обоймы герметизируют и заливают в нее жидкую смазку.

Шарнирные муфты способны передавать вращение между валами, установленными под углом до 45° относительно друг друга. Полумуфты, выполненные в виде вилок, имеют шарнирное соединение с крестовиной, позволяющей валам свободно поворачиваться относительно двух взаимно перпендикулярных осей. Шарнирные муфты широко распространены в карданных передачах автомобилей.

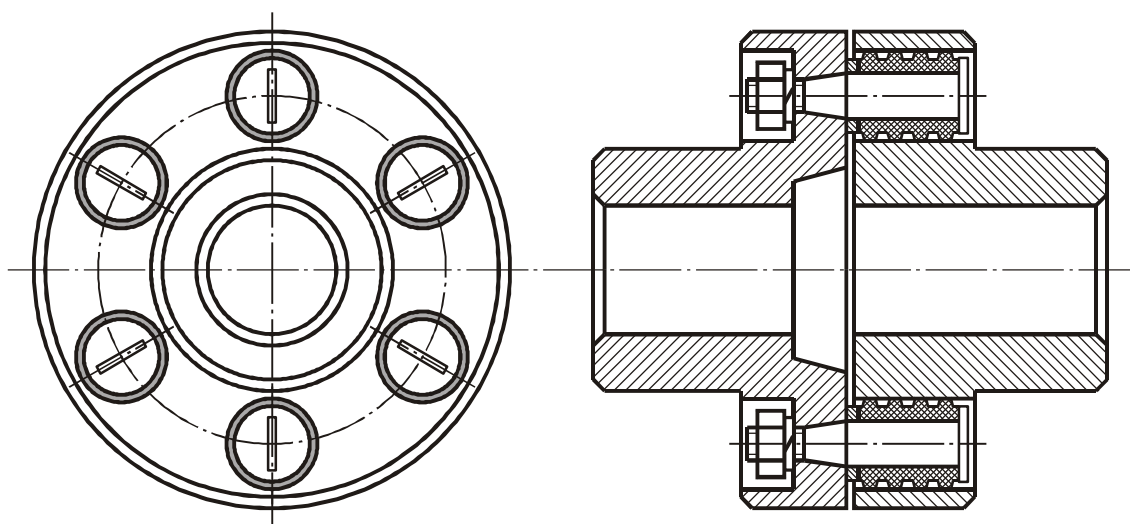


Упругие муфты компенсируют все виды несоосности валов за счет деформации упругих элементов, которые могут быть металлическими или неметаллическими, изготовленными, главным образом, из резины. Благодаря эластичности и высокой демпфирующей способности муфты с резиновыми элементами применяют для уменьшения динамических нагрузок на валы, снижения амплитуды вынужденных колебаний на частотах, близких к резонансным. Из упругих муфт наиболее известны *торовая* и *втулочно-пальцевая* муфты.



Торовая муфта состоит из двух полумуфт, соединенных резиновой торообразной оболочкой. Муфта имеет простую конструкцию, надежна в эксплуатации и компенсирует все виды несоосности валов.

Втулочно-пальцевая муфта, изображенная ниже, конструктивно подобна рассмотренной ранее фланцевой муфте, но вместо болтов на одной из полумуфт закреплены стальные пальцы, на которые надеты упругие втулки, выполненные из гофрированной резины. Пальцы свободно входят в отверстия второй полумуфты. Диапазон компенсации несоосности в зависимости от диаметра валов составляет: $\Delta_a = 1 \dots 5$ мм; $\Delta_r = 0,3 \dots 0,6$ мм; Δ_θ – до 1° .

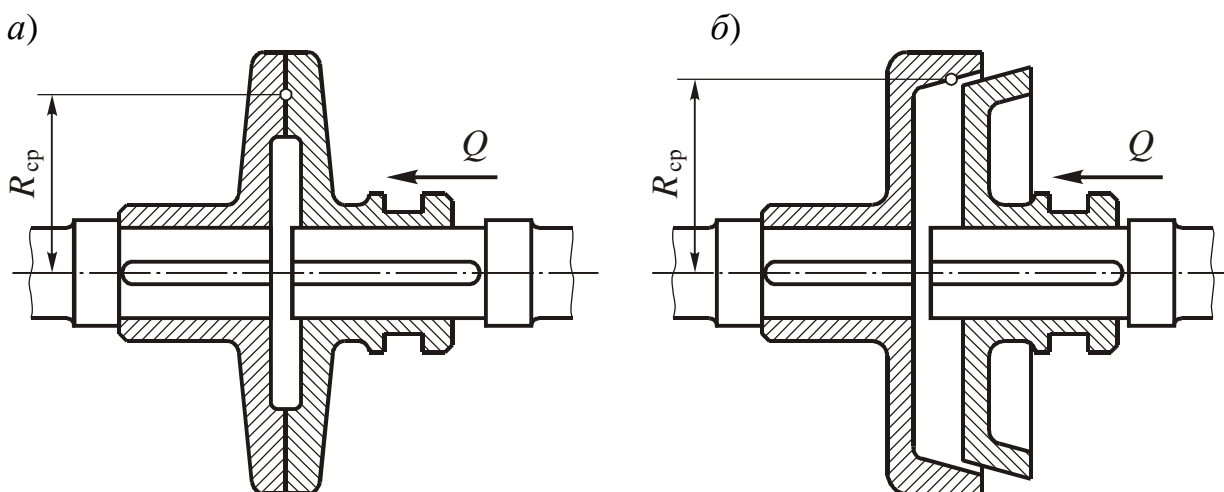


3. Управляемые (сцепные) муфты

Управляемые, или сцепные, муфты предназначены для соединения и разъединения валов в процессе их движения. Соединение может осуществляться зацеплением, с применением *кулачковых* или *зубчатых* муфт, а также с помощью *фрикционных* муфт, передающих вращение за счет сил трения.

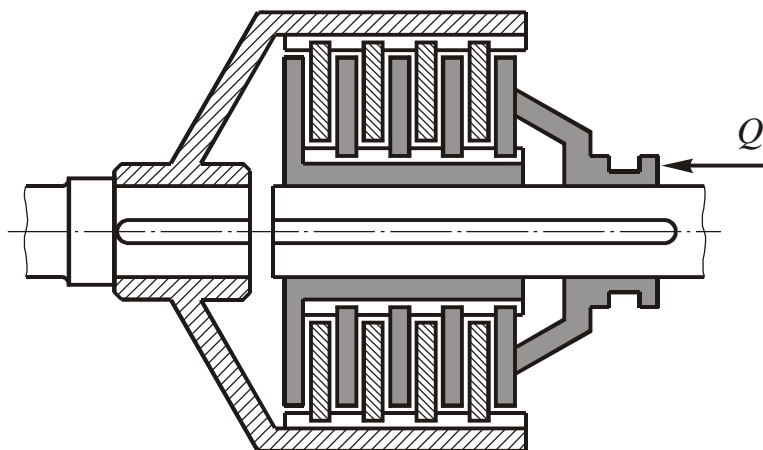
Преимуществом фрикционных муфт является высокая плавность хода и возможность включения под нагрузкой, что определяет их широкое применение в приводах различных машин. Передаваемый вращающий момент обусловлен моментом сил трения, который пропорционален осевой силе Q прижатия полумуфт:

$$M_{\text{тр}} = f'QR_{\text{ср}},$$



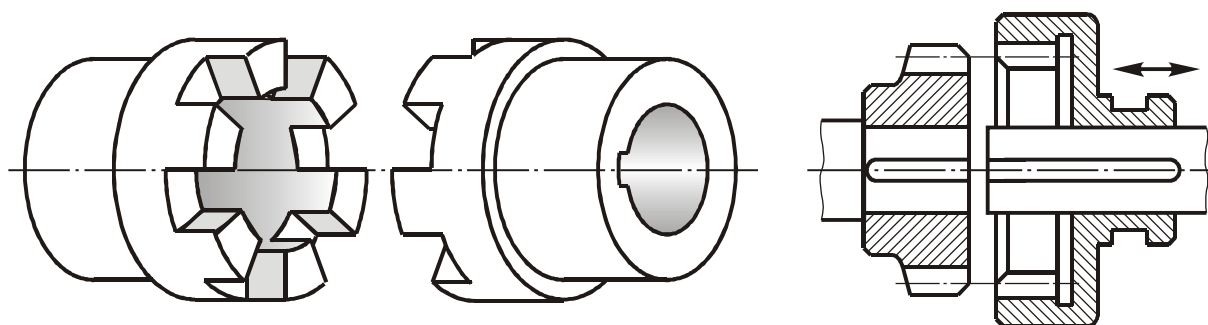
где f' – приведенный коэффициент трения, учитывающий наклон площадок контакта к оси вращения; $R_{\text{ср}}$ – средний радиус поверхности контакта. Для увеличения величины передаваемого вращающего момента применяют многодисковые сцепные муфты с двумя наборами сравнительно тонких фрикци-

онных дисков, сжимаемых между собой при включении. Диски одного набора имеют подвижное шлицевое соединение с ведущим валом, а диски второго набора – с ведомым. Поскольку диски обоих наборов устанавливаются попеременно, количество трущихся поверхностей, а следовательно, и нагрузочная способность муфты увеличиваются в несколько раз. При снятии осевой нагрузки происходит размыкание соединения и между дисками образуются зазоры.



В качестве недостатка многодисковых муфт следует отметить неудовлетворительную расцепляемость дисков при выключении, особенно если материал дисков не допускает применения смазки. Применение смазки в целом улучшает расцепляемость дисков, однако может способствовать их залипанию при низких температурах вследствие увеличения вязкости масла.

Кулачковые и зубчатые муфты применяют при пониженных требованиях к плавности включения. Кроме того, они не требуют больших осевых нагрузок для обеспечения соединения, поэтому могут передавать значительно больший вращающий момент. При включении таких муфт желательно предварительно синхронизировать вращение, т. е. выравнивать частоты вращения валов. При отсутствии синхронизирующего устройства включение муфт этого типа сопровождается довольно жесткими ударами.



В кулачковых муфтах вращение передается за счет зацепления кулачков – выступов той или иной формы на торцах полумуфт. В зубчатых сцепных муфтах одна из полумуфт подобна цилиндрическому зубчатому колесу внешнего зацепления, вторая, имея такое же число зубьев, представляет

собой колесо внутреннего зацепления. Существуют конструкции, в которых обе полумуфты имеют внешние зубья, а переключение осуществляется дополнительной подвижной обоймой, имеющей внутренние зубья и способной перекрывать зубчатые венцы обеих полумуфт.

4. Самодействующие муфты

К самодействующим относят *центробежные, обгонные и предохранительные* муфты. В отличие от управляемых муфт они не имеют механизма внешнего включения, а включаются или выключаются автоматически, в зависимости от достигнутой частоты вращения или величины нагрузки.

Центробежные муфты используются для автоматического соединения или разъединения валов при достижении ведущей полумуфтой определенного порога частоты вращения, обычно 0,7 ... 0,8 от номинального числа оборотов. Муфта состоит из ведущей 1 и ведомой 2 полумуфт. На ведущей полумуфте имеются подвижные колодки 3 (на рисунке изображена одна из четырех), которые под действием центробежных сил $\Phi_{ц}$, преодолевая сопротивление пружин 4, прижимаются к ведомой полумуфте и вовлекают ее во вращение за счет сил трения. Настройка на заданную пороговую частоту вращения производится регулировочными винтами 5, изменяющими прогиб пружин и тем самым влияющими на их восстанавливающую силу.

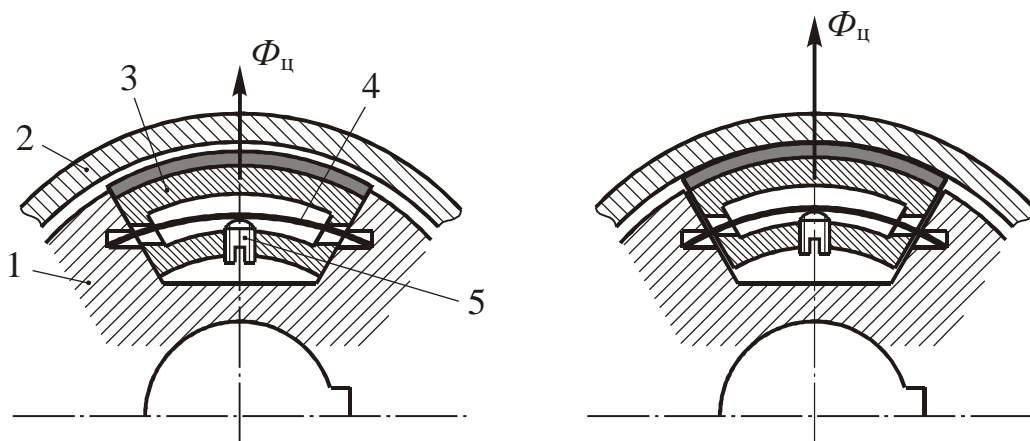


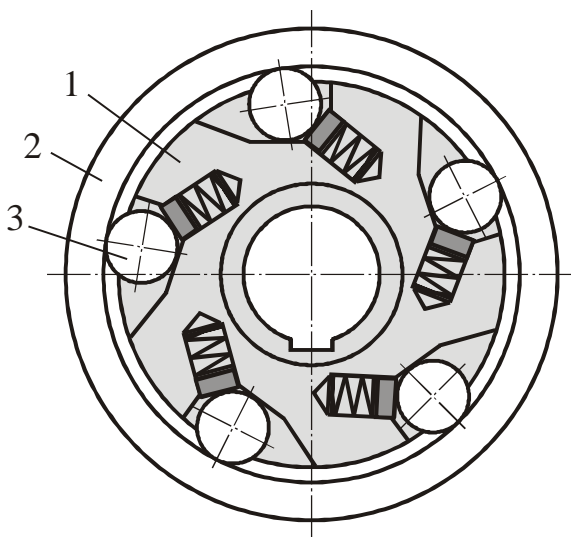
Схема работы центробежной муфты: слева – до достижения пороговой частоты вращения, справа – после ее достижения

Обгонные муфты, или муфты свободного хода, предназначены для передачи вращающего момента только в одном направлении – по ходу вращения и предотвращают передачу вращающего момента от ведомого вала обратно к ведущему в случае, если по какой-либо причине ведомый вал начинает вращаться быстрее. Обгонные муфты широко используют в передачах велосипедов, где они дают велосипедисту возможность периодически не крутить педали; в передачах мотоциклов и некоторых моделей автомобилей

с двухтактным двигателем; в пусковых приводах многих двигателей внутреннего сгорания для отключения стартера после запуска двигателя; в металлорежущих станках и других машинах.

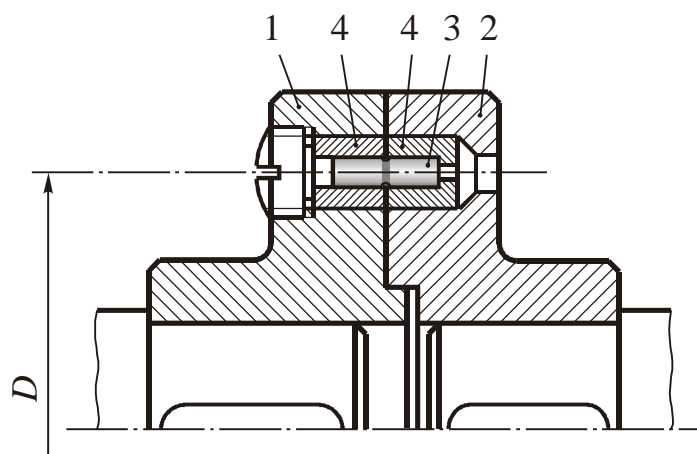
Фрикционная обгонная муфта состоит из двух полумуфт – звездочки 1 и обоймы 2. В специально проточенных пазах звездочки располагаются подпружиненные шарики или ролики 3. Профиль пазов выполнен так, что при одном направлении вращения каждый ролик при помощи пружины вкатывается в узкую часть паза и заклинивает обе полумуфты, а при обратном вращении выкатывается в широкую часть паза и полумуфты получают возможность вращаться независимо. При ведущей звездочке вращение передается по часовой стрелке. При ведущей обойме – против часовой стрелки.

В *храповых обгонных муфтах* вместо тел качения используют поворотные лепестки, упирающиеся в обойму. Подобные муфты действуют аналогично храповому механизму.



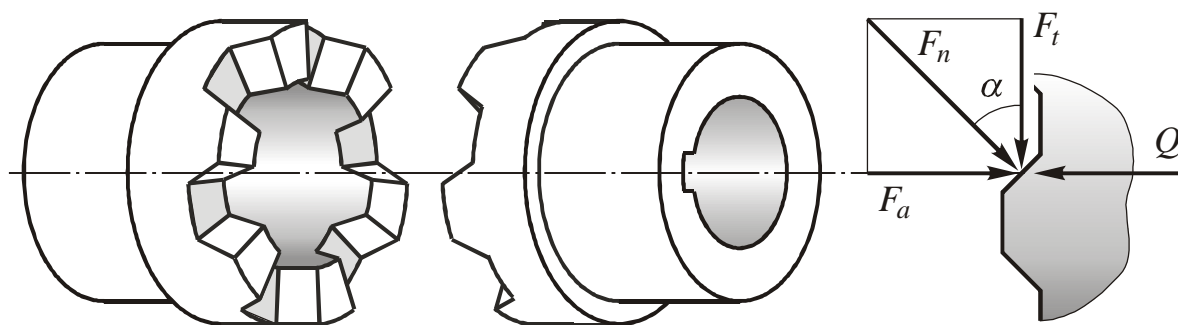
Предохранительные муфты предназначены для предотвращения разрушения деталей машины в результате перегрузок случайного характера. Муфты этой группы подразделяют на имеющие разрушающиеся элементы и не имеющие таковых. Подобные элементы рассчитывают по максимально допустимой нагрузке, превышение которой на 25% приводит к их разрушению и, соответственно, выключению сцепления валов. Для возобновления работы требуется устранение причин аварии и установка новых элементов.

На рисунке ниже представлена предохранительная *муфта со срезными штифтами*, состоящая из полумуфт 1 и 2, штифтов 3 и втулок из закаленной стали 4, кромки которых срезают штифт при возникновении перегрузки. Чтобы процесс среза не затягивался во времени, штифты также подвергают закалке для устранения пластических деформаций. Кроме того, в сечении среза штифты обычно имеют утонение. Необходимый диаметр $d_{ш}$ в опасном сечении штифтов может быть рассчитан по величине передаваемого вращающего момента T из условия среза.



К предохранительным муфтам, не имеющим разрушающихся элементов, относят *кулачковые*, *шариковые* и *фрикционные*. Принцип действия таких муфт основан на возможности одной из полумуфт при увеличении рабочей нагрузки перемещаться вдоль оси вала, вплоть до нарушения сцепления.

Ниже изображены детали кулачковой муфты, у которой рабочие поверхности кулачков расположены под углом α к осевому направлению.



С увеличением вращающего момента на валу пропорционально возрастают окружная F_t и осевая F_a составляющие сил в зацеплении кулачков. В момент, когда суммарная по всем кулачкам осевая сила превысит величину внешней силы Q прижатия полумуфт, последние разойдутся и произойдет расцепление. Предельное состояние может быть рассчитано по условию $F_a = Q$ (в упрощенной постановке задачи, не учитывающей сил трения в зацеплении и в подвижном шпоночном соединении):