

Конструкция планетарных автоматических коробок передач легковых автомобилей

Так же, как автомобиль, АКП по компоновке подразделяются на:

- заднеприводные;
- переднеприводные поперечные (с поперечным размещением двигателя);
- переднеприводные продольные (с продольным размещением двигателя);
- полноприводные на базе заднеприводных;
- полноприводные на базе переднеприводных поперечных;
- полноприводные на базе переднеприводных продольных.

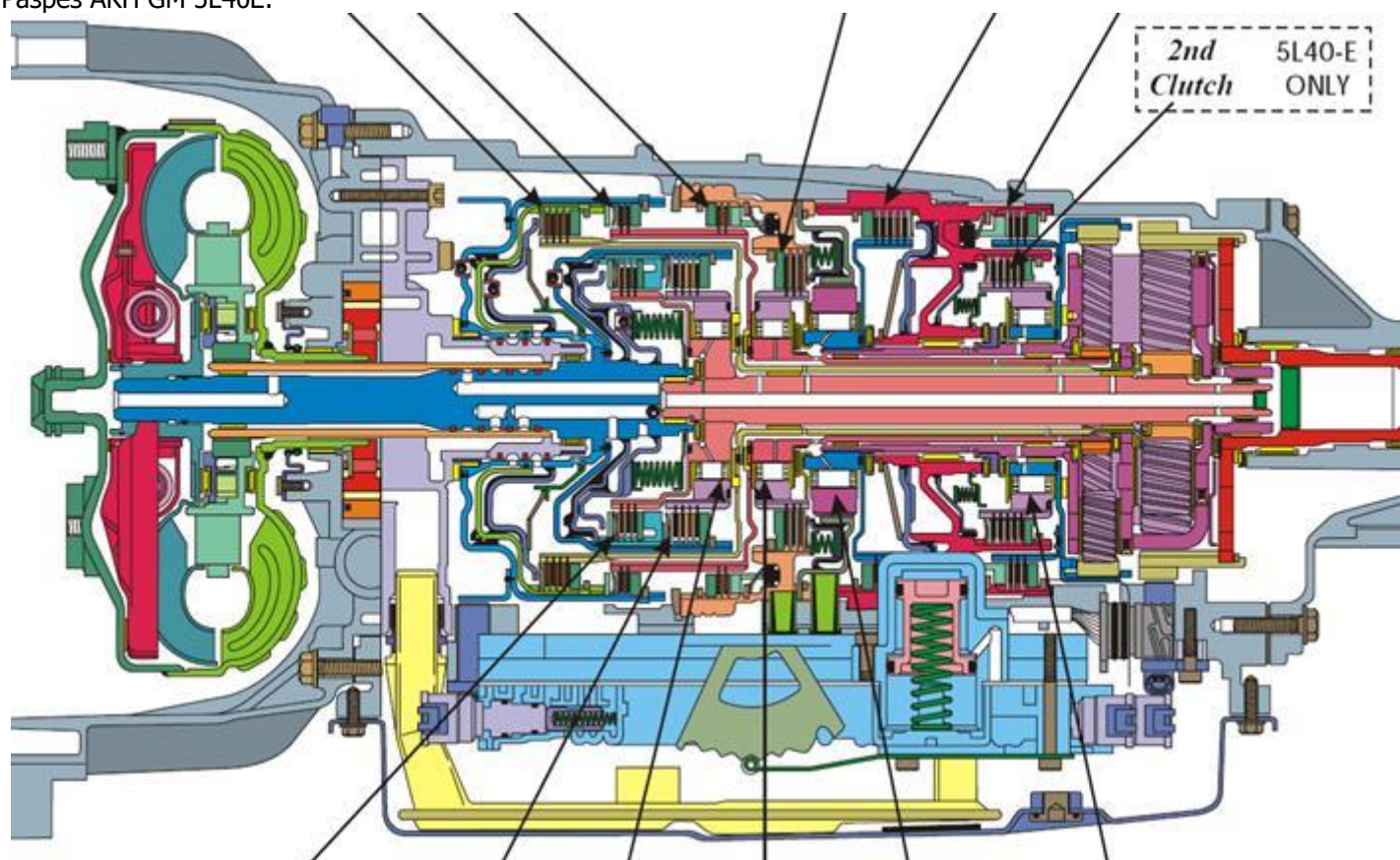
Поскольку габариты АКП несколько больше габаритов обычных механических коробок передач, их компоновка и размещение на автомобиле отличаются некоторыми особенностями.

Общая компоновка АКП и особенности их размещения на легковом автомобиле.

Заднеприводные АКП имеют наиболее свободную компоновку. Они не ограничены ни по длине, ни по поперечным размерам. Единственное ограничение – вертикальный размер (от оси АКП до нижней точки поддона), влияющий на дорожный просвет автомобиля. Поэтому эти АКП быстрее реагируют на изменение тенденций в их развитии, в первую очередь, на потребность в увеличении передач.

Они имеют развитый нижний поддон, в котором располагается гидравлическая система управления, масляный фильтр и резервуар для рабочей жидкости. В заднеприводных АКП нет ограничений и на размеры гидротрансформатора, поэтому он может выполняться с размерами, соответствующим идеальным теоретическим, при этом возможно использование трехканального управления сцеплением блокировки ГТ и охлаждения ГТ. Примером такой АКП может являться модель GM 5L40E.

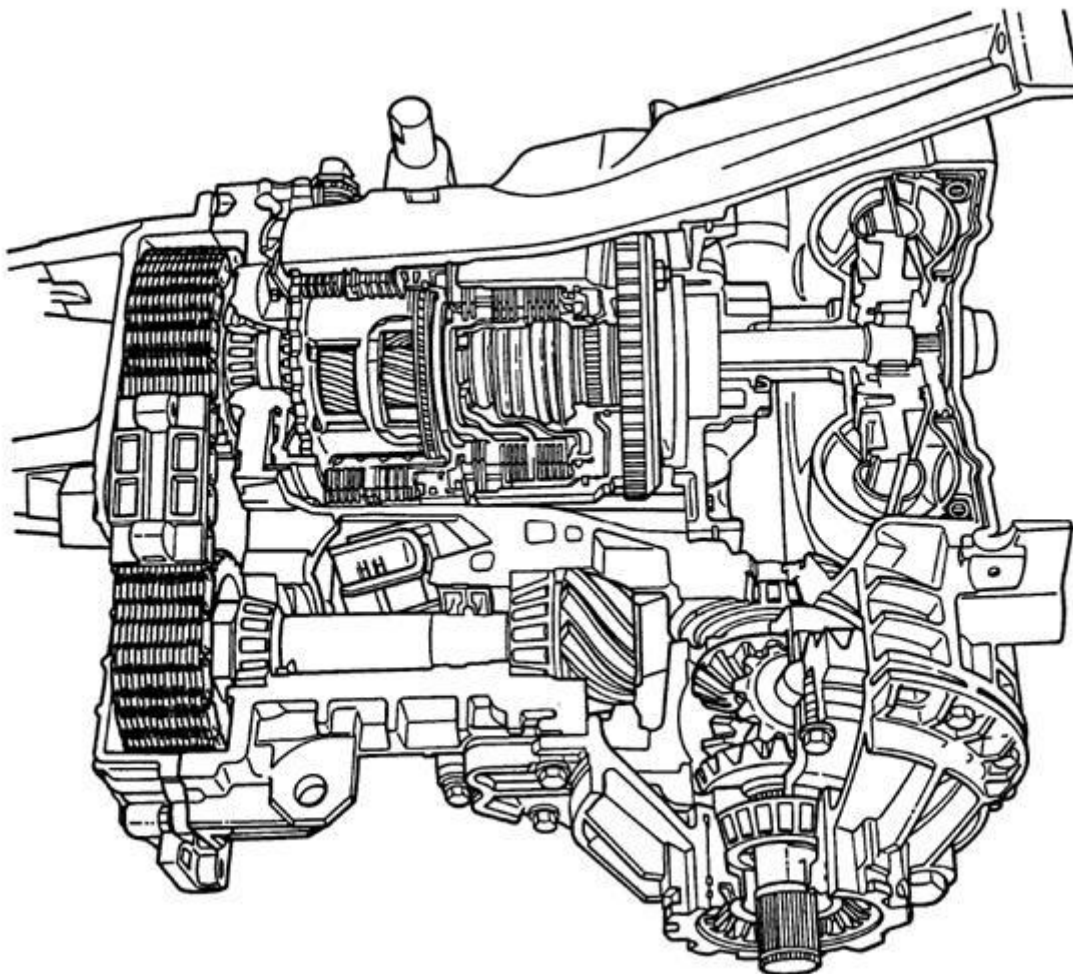
Разрез АКП GM 5L40E.



Аналогично обстоит дело и с переднеприводными продольными АКП. Некоторые ограничения накладываются в связи с необходимостью расположения гипоидной главной передачи между ГТ и планетарной коробкой передач, а

также в связи с передачей крутящего момента с выхода планетарной коробки передач на промежуточный вал через согласующую зубчатую или цепную передачу. Это требует размещения в картере АКП радиально-упорных подшипников для восприятия продольных и поперечных сил от этих передач, повышение жесткости картера, применение отдельных масляных систем для АКП и дополнительных передач. Все это приводит к увеличению массогабаритных показателей таких АКП и к снижению их КПД.

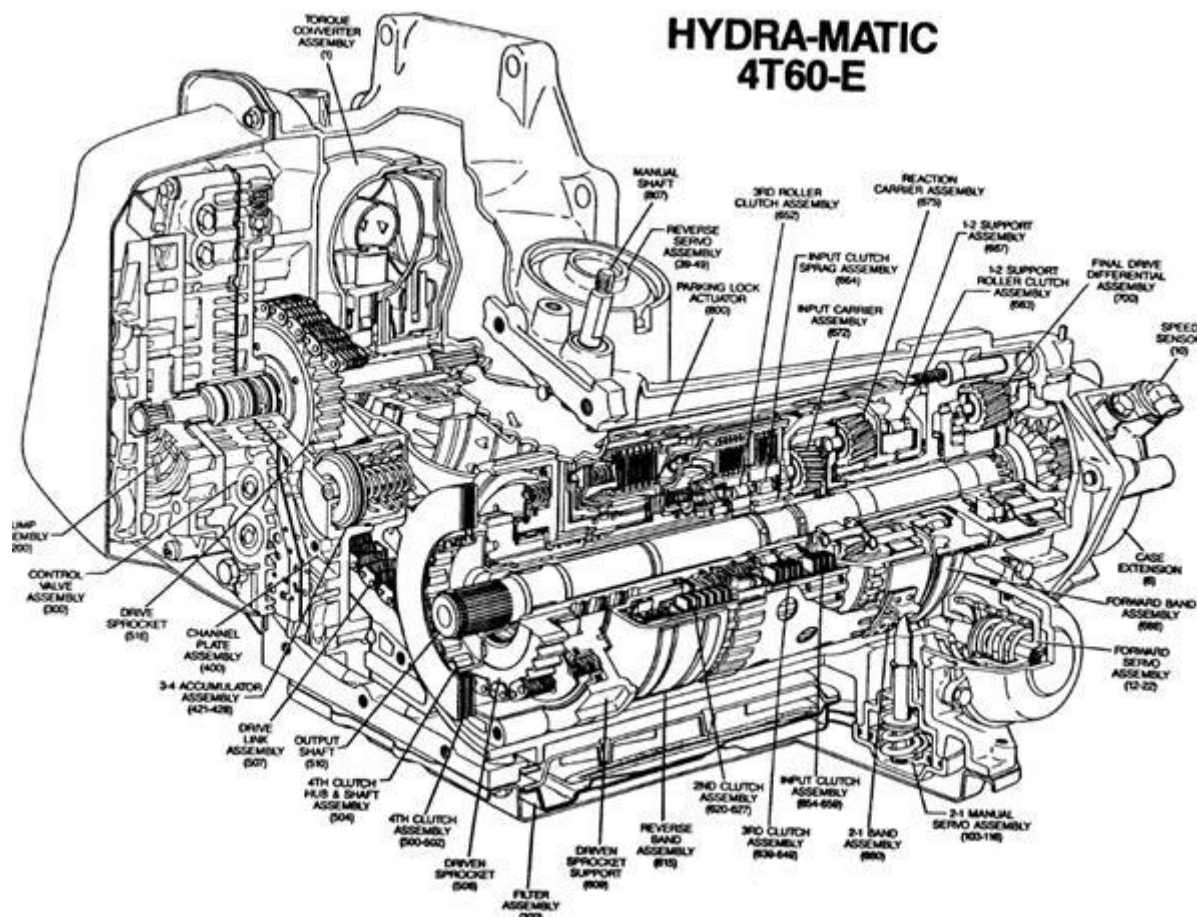
Вид АКП 42 LE фирмы Chrysler.



Переднеприводные поперечные АКП имеют наиболее жесткие требования к продольным размерам и к размеру до нижней точки. Последнее ограничение приводит к тому, что у некоторых АКП отсутствует нижний поддон, а система управления располагается либо сверху, либо сбоку. Гидротрансформатор исполняется со сжатой до 70% рабочей полостью, что снижает его КПД.

Переднеприводные поперечные АКП выполняются в нескольких вариантах. Первый и наиболее распространенный вариант – линейный, т.е. ГТ и планетарная коробка передач располагаются в линию, по оси коленвала двигателя, а главная передача перемещена вниз. Передачу крутящего момента между ними осуществляет согласующая зубчатая или цепная передача. Такая схема применяется при объемах двигателя до 3 литров, имеющих относительно небольшую длину и позволяющих разместить АКП в пространстве между двигателем и лонжероном. В качестве примера таких конструкций представлены АКП JATCO JF 506 и Aisin Warner. Большинство таких переднеприводных АКП имеют выход планетарных рядов назад, в сторону от двигателя, поэтому для соединения с главной передачей и согласования направления вращения требуется промежуточная согласующая зубчатая передача и промежуточный вал, что дополнительно снижает КПД АКП на 2-2.5% по сравнению с заднеприводными. Некоторые АКП, например, мод. CD4E фирмы Ford имеют цепную передачу для согласования направления вращения, и планетарный редуктор в качестве главной передачи.

Двигатели большего объема (от 3 до 5 литров) имеют значительную длину, и места для размещения АКП на такую мощность двигателя между ним и лонжероном недостаточно. В этом случае на автомобилях фирмы Ford и GM применяется второй вариант компоновки АКП - Г-образный (рис. 1.37).



Он отличается тем, что гидротрансформатор, масляный насос и система управления располагаются по оси двигателя, а планетарная коробка передач – на параллельном валу. Передача крутящего момента от турбинного вала на первичный вал планетарной коробки передач осуществляется зубчатой цепью. При такой конструкции вал привода левого колеса проходит через всю коробку. Отметим, что в АКП, выполненных по указанной Г-образной схеме, используется планетарный редуктор главной передачи, что несколько повышает суммарный КПД и снижает уровень шума. В таких передачах применяются ленточные тормозные механизмы, что позволяет уменьшить поперечный размер коробки и увеличить дорожный просвет.

Для двигателей с рабочим объемом до 3л с передним приводом и поперечным расположением может быть использован третий вариант – пятиступенчатая АКП фирмы JATCO JF506E, кинематическая схема которой была приведена выше. К ее особенностям следует отнести размещение планетарной коробки в две линии, что позволило существенно уменьшить ее длину. Этот вариант отличается тем, что гидротрансформатор и два планетарных ряда располагаются соосно с коленчатым валом двигателя, а третий планетарный ряд размещается на другом параллельном валу.

Анализ конструкций компонентов АКП

Все представленные выше АКП состоят из функционально однотипных узлов, таких как: масляный насос, картер, планетарные механизмы, муфты свободного хода и тормоза, валы и опоры, системы гидравлического или электронногидравлического управления. Далее рассмотрим конструкции основных узлов и особенности их размещения в АКП.

Картер АКП

Картер АКП является технологически наиболее сложным и дорогостоящим узлом АКП. Современные картеры получают методом кокильного литья под высоким давлением из алюминиевых сплавов. При этом в отливке получают многие конструктивные элементы окончательно, без последующей механической обработки. К таким элементам относятся отверстия под крепеж, шлицевые соединения, масляные каналы, соединяющиеся с системой управления.

Картеры АКП занеприводных автомобилей имеют в основном схожую конструкцию, при этом картер функционально состоит из трех частей:

- картер гидротрансформатора,
- картер коробки передач;

- ХВОСТОВИК.

В некоторых АКП их конструктивно объединяют. Это повышает жесткость конструкции, уменьшает количество крепежа и обрабатываемых поверхностей, но затрудняет унификацию АКП для различных автомобилей и двигателей. Так, АКП фирмы MB мод. 722.0 и 722.1 имели отдельные все 3 картера, мод. 722.3, 722.4 и 722.5 имели только съемный хвостовик и массу вариантов картеров из-за большого разнообразия двигателей, а мод. 722.6 имеет отдельный изменяемый картер ГТ и единый картер редуктора с хвостовиком.

Картеры АКП переднеприводных автомобилей как правило функционально делятся на две части:

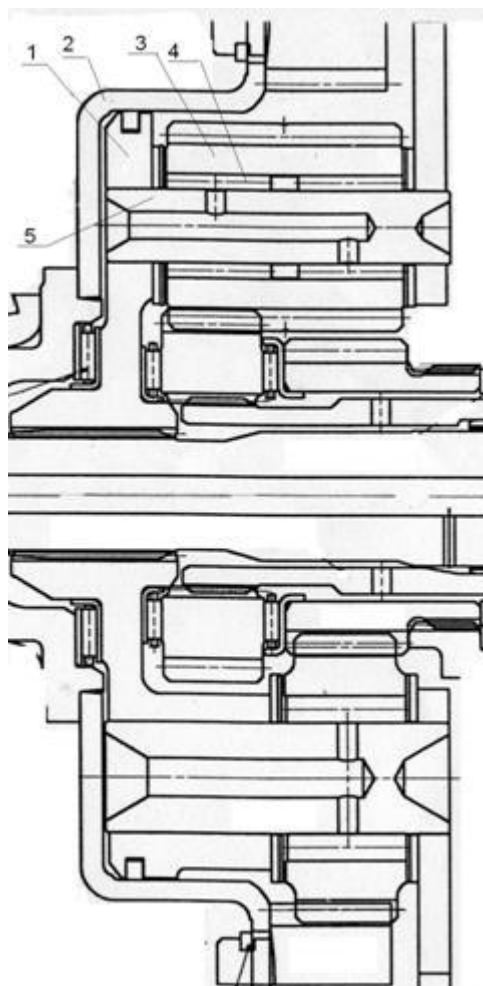
- картер гидротрансформатора, объединенный с картером главной передачи;
- картер планетарной коробки передач.

В некоторых случаях (например, АКП мод. 42LE) применяется моноблочный картер, в котором располагаются все узлы АКП.

Планетарные механизмы

Планетарные механизмы состоят из центральных зубчатых колес с наружным зубом (солнечная шестерня), центральных зубчатых колес с внутренним зубом (коронная, или эпициклическая шестерня) и блока промежуточных шестерен (сателлитов), собранных в единый узел.

Вид типового водила.



- 1-корпус водила
- 2- экран-уловитель смазки
- 3-сателлит
- 4-игольчатый подшипник
- 5- ось сателлита

Самый сложный узел планетарного ряда - это водило. Оно должно обеспечивать точность геометрического расположения сателлитов, передачу крутящего момента, смазку зацеплений и подшипников сателлитов. Водила изготавливают из чугуновых и стальных отливок, алюминиевых сплавов под высоким давлением, методом порошковой металлургии, штампованными. Они бывают разборными и неразборными.

Ось сателлитов 5 - наиболее нагруженная деталь планетарного ряда. На нее воздействует поперечная тангенциальная сила от зубчатого зацепления, передаваемая через игольчатый подшипник 4 сателлита 3, поэтому она должна иметь высокую твердость поверхности (HRC 56-62) и вязкую сердцевину. Часто в осях сверлят каналы для подвода смазки к подшипникам сателлитов. Оси сателлитов должны быть зафиксированы от проворота, чтобы исключить разбивание отверстия в водиле, и от продольных смещений. Для фиксации применяют раскернивание осей, штифтование, кольца в канавках осей, приварку осей к стальному водилу и т.д. В любом случае фиксация должна быть надежной и компактной. Поэтому приварка осей - наименее предпочтительна из-за низкой надежности, хотя она и очень компактна.

Теоретически сателлиты разгружены от осевых сил, но реально за счет отклонений от идеальных геометрических форм и размеров осевые силы все-таки присутствуют. Для их восприятия применяются упорные подшипники скольжения, выполняемые, как правило, в виде набора стальных и бронзовых шайб. Первая шайба - стальная - прикрывает торцы игольчатого подшипника и защищает торец сателлита от износа. Вторая шайба - бронзовая - является антифрикционной. Третья шайба - стальная - предохраняет водило от износа. Желательно, чтобы третья шайба была зафиксирована от вращения.

Торцевой зазор между сателлитом и водилом должен быть 0.2-0.4 мм. В этом случае игольчатый подшипник работает как насос и засасывает масляный туман внутрь себя, таким образом самосмазываясь. Такого типа смазки

достаточно, если относительная угловая скорость подшипника сателлита невысока, что бывает, если планетарный ряд работает только на понижающих передачах.

С целью удешевления в массовом производстве шестерни термообрабатывают методом нитроцементации, поэтому их изготавливают из стали 20ХН3А и аналогичных.

Муфты свободного хода

Муфты свободного хода широко применяются в АКП практически всех производителей. Их количество в некоторых АКП доходит до 3. Они обеспечивают хорошую плавность переключения передач, компактны и передают значительные крутящие моменты при минимальных габаритах. Чаще всего их применяют в качестве реактивного элемента на первой передаче, но используют и для передачи активного крутящего момента.

В АКП применяют два типа муфт свободного хода (МСХ):

- роликовые МСХ;
- кулачковые МСХ.

Типы муфт свободного хода.



Оба типа имеют свои преимущества и недостатки.. Так, роликовые МСХ имеют в качестве элемента заклинивания стандартный ролик, но при этом одна из обойм имеет технологически сложную форму. Кулачковые МСХ имеют обе обоймы простой цилиндрической формы, но элементы заклинивания - кулачки - имеют сложную геометрическую форму. Их производство очень специфично, поэтому его осуществляют специализированные фирмы (например, Borg Warner).

Контактные поверхности обойм МСХ требуют обязательную смазку, поскольку в большинстве случаев в разомкнутом состоянии заклинивающие элементы постоянно контактируют с обоймами. При этом относительная линейная скорость в контакте может превышать 60 м/с. С этой точки зрения лучше, если наружная обойма

вращается, а внутренняя неподвижна. В этом случае центробежная сила, воздействующая на заклинивающие элементы, отжимает их от внутренней обоймы, уменьшая трение и износ МСХ.

Обоймы и элементы заклинивания изготавливают из подшипниковых сталей типа ШХ 15 с закалкой до твердости 58...62 HRC.

Валы и опоры

В планетарных коробках передач валы передают только крутящий момент, поэтому от них не требуется высокой жесткости на изгиб. Валы изготавливаются из легированных цементуемых малоуглеродистых хромоникелиевых сталей. Такие стали хорошо поддаются ковке, раскатке, сварке, накатке шлиц, поверхностному упрочнению участков под подшипники и канавок под уплотнительные кольца. Можно также использовать и нитроцементуемые стали, если не требуется большой глубины закаленного слоя, что, например, необходимо для игольчатых подшипников.

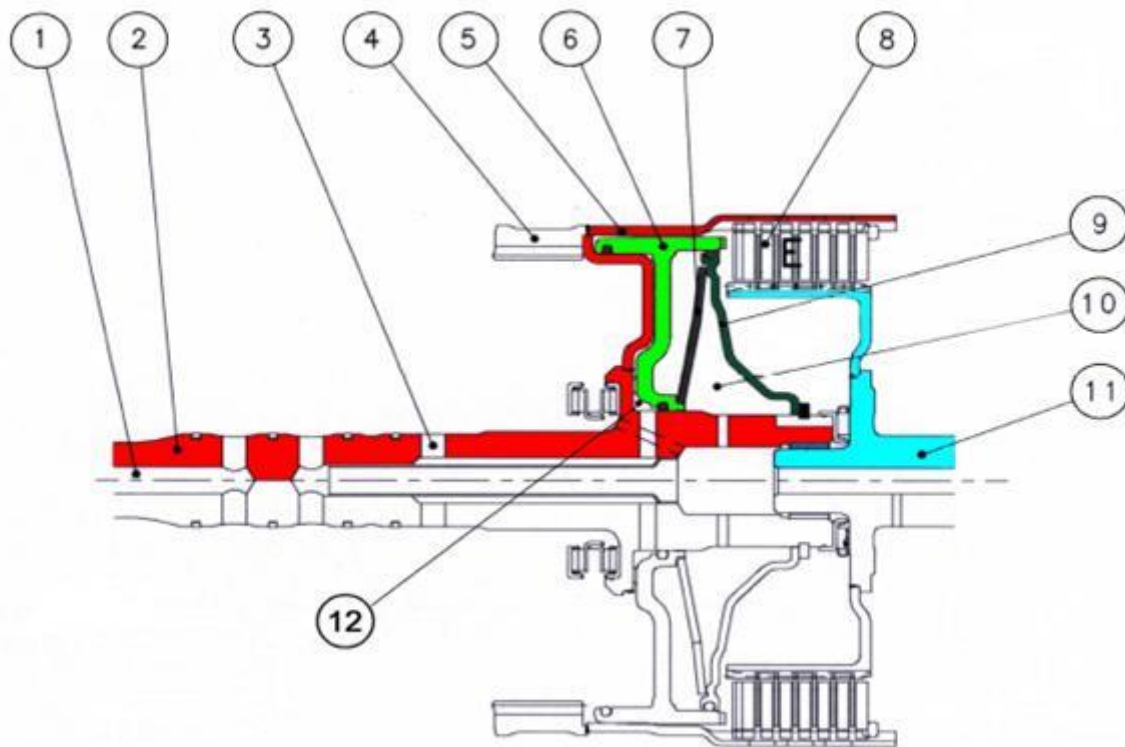
Дисковые сцепления и тормоза

Наиболее часто в качестве элементов управления используются дисковые сцепления и тормоза. Указанные фрикционные элементы позволяют получить большие поверхности трения по сравнению с ленточными тормозами, а также обеспечить более высокое качество переключения передач. Принцип работы дискового тормоза не отличается от принципа работы блокирующего сцепления, при этом тормоз соединяет какое-либо звено АКП с картером, а блокирующее сцепление соединяет какие-либо два звена АКП между собой.

Корпуса сцеплений и тормозов

В АКП ранних конструкций корпуса сцеплений изготавливались механической обработкой из стальных или чугунных заготовок. Увеличение масштабов производства потребовало применения более дешевых способов, таких, как листовая штамповка или порошковая металлургия.

Пример конструкции сцепления штампованной конструкции.



- 1- канал подвода в гидротрансформатор
- 2- ведущий вал
- 3- канал подвода к поршню сцепления
- 4- связанная с корпусом сцепления коронная шестерня
- 5- корпус сцепления
- 6- поршень
- 7- отжимная тарельчатая пружина
- 8- комплект дисков сцепления
- 9- центробежная разгрузка

Такие способы позволяют получать корпуса с минимальными отходами исходного металла. В последнее время все чаще корпуса изготавливаются из алюминиевых сплавов литьем под высоким давлением. При применении любого из этих методов практически без дополнительной механической обработки выполняются цилиндрические поверхности, шлицевые элементы, фаски и т.д. Механической обработкой изготавливают канавки для уплотнительных и стопорных колец и обеспечивают необходимую чистоту поверхностей.

Уплотнения поршней сцеплений.

Уплотнения поршней, как правило, изготавливаются из резины. Применяются уплотнения круглого, прямоугольного и Г-образного сечения. Прямоугольное сечение наименее предпочтительно, так как при необходимом радиальном натяге, обеспечивающем требуемую герметичность, создает значительное трение. Иногда для его уменьшения поверхность уплотнительного кольца, обеспечивающую подвижный контакт, изготавливают скругленной радиусом 1.5-2.0 мм. Самым предпочтительным является Г-образное сечение. Для уменьшения габаритов иногда такое кольцо вулканизируют прямо к штампованному поршню, что удорожает его стоимость, особенно при ремонте АКП.

Сливные клапана.

В полости между корпусом и поршнем в выключенном сцеплении остается рабочая жидкость, которая за счет центробежного давления, возникающего при вращении сцепления, может создать значительное усилие $P_{ц}$ на поршень, определяемое формулой:

$$P_{ц} = \frac{\pi}{4} \rho \omega^2 (R_1^2 - R_2^2 - 2R_0)$$

где $P_{ст}$ - статическое давление жидкости;

R_1 - наружный радиус поршня;

R_2 - внутренний радиус поршня;

R_0 - радиус подвода жидкости;

ω - частота вращения цилиндра;

ρ - плотность жидкости.

Для максимального снижения этого эффекта применяются сливные клапаны, располагаемые на максимально возможном радиусе корпуса (рис.). Фирма Хонда применяет пластинчатые сливные клапана (рис...). Крайне редко применяются также постоянно открытые сливные отверстия, требующие значительного увеличения производительности масляного насоса.

Конструкция отжимных устройств.

Отжимные устройства необходимы для возврата поршня в исходное положение и обеспечения тем самым необходимого зазора между дисками в выключенном состоянии. Отжимные устройства, как правило, пружинные, реже гидравлические и иногда комбинированные. Пружинные делятся на центральные и периферийные. Центральные содержат одну жесткую короткоходную пружину, соосную с осью вращения корпуса сцепления. Пружины могут быть как витыми, так и тарельчатыми (пружинами Бельвиля). Периферийные пружины выполняются в виде блока из нескольких (6-12) пружин, расположенных по окружности. Поскольку на каждую из периферийных пружин действует центробежная сила, изгибающая и сдвигающая их, они должны иметь хорошо развитые направляющие, препятствующие всяческому радиальным перемещениям пружин. Суммарная сила отжимных устройств должна быть настолько большой, чтобы обеспечить возврат поршня за минимальное время, но в то же время слишком большая отжимная сила потребует увеличения либо давления, либо площади поршня для сжатия дисков требуемой силой. Обычно отжимная сила не должна превышать 10% от требуемой сжимающей силы. При этом время выключения сцепления не должно превышать 0.2 секунды. В последнее время для исключения влияния центробежного давления применяется устройство центробежной разгрузки поршня, состоящее из перегородки со стороны поршня, обратной рабочей, неподвижной в осевом направлении, но вращающейся вместе с корпусом сцепления. Полость, образованная поршнем и перегородкой, заполняется жидкостью из системы смазки, и центробежное давление в этой полости уравнивает центробежное давление, возникающее в рабочей полости под поршнем. Это позволяет уменьшить усилие отжимных пружин, отказаться от сливных клапанов и стабилизировать работу сцепления.

Диски сцеплений.

Диски сцеплений делятся обычно на стальные и фрикционные. Стальные диски в свою очередь подразделяются на нажимные, промежуточные и опорные. Стальные диски изготавливаются из среднеуглеродистой стали типа Ст 55, поскольку такие стали обладают максимальной теплоемкостью. Промежуточные диски изготавливают листовой рубкой из специального стального проката с высокой чистотой поверхности. В последнее время начали

применяться листы не с полированной поверхностью, а имеющей специально нанесенный микрорельеф для удержания масляной пленки. Толщина промежуточных дисков должна быть такой, чтобы поглотить тепло, выделяемое в процессе включения (буксования) сцепления, при этом температура поверхности диска не должна повыситься более чем на 15° за одно включение.

Опорный диск самый нагруженный. Его жесткость определяет работоспособность всего сцепления. Поэтому его делают довольно толстым - 4~6 мм. Иногда для придания большей жесткости его сечение делают L-образным.

Фрикционный диск состоит из основы - стального диска толщиной 0.8-1.0 мм и приклеенных к нему фрикционных накладок толщиной 0.4~0.6 мм. Фрикционные накладки в современных АКП изготавливаются из бумажных композиций с различными наполнителями, обеспечивающими в совокупности с соответствующей рабочей жидкостью необходимые качества. Так, за счет примененных наполнителей можно, например, повысить коэффициент трения, либо максимальную температуру, выдерживаемую накладкой, либо максимально допустимое усилие сдвига. Конечно, увеличение одного параметра приводит к снижению других. В последнее время применяются диски с накладкой, приклеенной с одной стороны, т.е. каждый диск является как стальным, так и фрикционным. Это делается для того, чтобы в теплоотводе участвовала вся масса металла. Это улучшает работу сцепления, но и удорожает стоимость самих дисков.

На поверхности фрикционных накладок наносятся канавки для прохождения жидкости, необходимой для смазки и теплоотвода во время включения сцепления. Форма канавок влияет на коэффициент трения дисков и на потери крутящего момента в выключенном состоянии. Наиболее универсальным рисунком канавок является «вафля». Но форма канавок влияет и на потери крутящего момента при выключенном сцеплении. Наибольшие потери крутящего момента создают гладкие накладки. При зазоре между дисками менее 0,15 мм на пару трения эти потери также резко возрастают (примерно в 1.5 раза), а при увеличении зазора до 0,6 мм снижаются крайне незначительно (примерно на 20%). Необходимо отметить, что канавки занимают от 10 до 20% площади накладки, и это следует учитывать при расчете сцепления на нагрев.

Многие фирмы применяют не плоские, а волнистые фрикционные диски. Высота волны делается обычно 0.3-0.5 мм. Это позволяет уменьшить суммарную поверхность трения дисков в выключенном состоянии, что также снижает потери крутящего момента. Кроме того, такие диски позволяют улучшить плавность включения сцепления. Зазоры между трущимися поверхностями при таких дисках значительно меньше - 0,05 мм, но ход поршня определяется суммой зазоров и толщиной дисков в сжатом состоянии. Так, при 5 дисках с высотой волны 0.4 мм и зазором между поверхностями трения 0.05 мм ход поршня H будет равен:

$$H = 5 * 0.4 + 5 * 2 * 0.05 = 2,5 \text{ мм.}$$

При плоских дисках и зазоре 0.15 мм ход поршня будет меньше:

$$H = 5 * 2 * 0.15 = 1.5 \text{ мм.}$$

Ленточные тормоза

Для управления автоматическими коробками передач (остановки звеньев планетарного ряда) наряду с дисковыми тормозами применяются также ленточные тормоза. Ленточный тормоз включает два основных элемента: тормозную ленту и тормозной барабан. Управление ленточным тормозом осуществляется с помощью сервопривода. Крутящий момент, воспринимаемый ленточным тормозом, определяется по известным формулам, при этом воспринимаемый крутящий момент зависит от направления вращения барабана.

Если направление вращения совпадает с направлением усилия, затягивающего ленту, то крутящий момент определяется по формуле:

$$M_{\Phi} = P_{\pi} (e^{\mu \alpha} - 1) r_{\text{б}} \quad (1.17),$$

где P_{π} - усилие, затягивающее ленту в H .

$r_{\text{б}}$ - радиус барабана в м;

μ - коэффициент трения;

α - угол охвата барабана лентой;

$$e = 2,72.$$

Если направление вращения противоположно направлению усилия, затягивающего ленту, то момент определяется по формуле:

$$M_{\phi} = \frac{P_{\pi} (e^{\mu\alpha} - 1) \cdot r_{\phi}}{e^{\mu\alpha}} \quad (1.17a)$$

При этом давление q возрастает от одного конца ленты к другому против направления вращения. Требуемая ширина ленты определяется по формуле:

$$b = \frac{P_{\pi}}{r_{\phi} \cdot q}, \text{ где } b - \text{ ширина ленты.}$$

Тормозная лента используется с фрикционными накладками, при этом статический коэффициент трения в масле по стали обычно равен 0,12 – 0,16. Допустимое давление q изменяется в широких пределах от 1 до 5 МПа в зависимости от применяемых материалов накладок и условий работы.

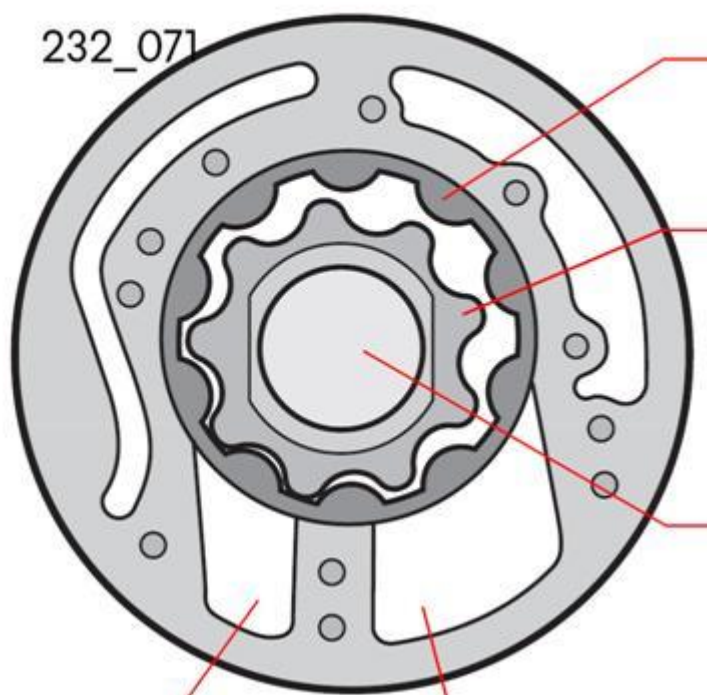
Тормозные ленты изготавливаются из полосы листовой стали, на которой закрепляется специальная фрикционная накладка. Накладки изготавливаются из асбеста, металлокерамики, специальной бумаги и пластических материалов. Для сильно нагруженных ленточных тормозов используются металлокерамические накладки. В АКП легковых автомобилей обычно используются накладки на бумажно-целлюлозной основе, которые не вызывают большого износа поверхности барабана, а также из кевлара. Барабаны ленточных тормозов изготавливаются из качественной стали.

Все же ленточные тормоза ввиду их повышенной склонности к износу и менее плавного процесса переключения в последние годы используются реже. Вместе с тем, в некоторых случаях использование ленточных тормозов вместо дисковых позволяет уменьшить поперечные габариты АКП. Например, в связи с этим они применяются на некоторых АКП с поперечным расположением двигателя, что способствует увеличению дорожного просвета автомобиля.

Масляные насосы.

Как правило, в АКП применяются шестеренные насосы внутреннего зацепления с неподвижным разделителем (серпом), но также встречаются насосы пластинчатые регулируемые, бессерповые героторные и совсем редко наружного зацепления (Honda).

Масляный насос героторного типа.



Насос АКП выполняет две функции: создает давление для функционирования системы управления и сжатия включаемых сцеплений, и обеспечивает подачу масла для охлаждения и смазки АКП. При давлении 1-1.2 МПа и рабочей температуре 100°С утечки в масляной системе составляют 3-5 л/мин. Для охлаждения и смазки требуется 4-6 л/мин при давлении 0.2-0.3 МПа. В современных АКП всю эту подачу обеспечивает единый насос, качающий 10-12 л/мин на 1000 оборотов насоса при давлении 1-1.2 МПа (на полной нагрузке двигателя).