

Турбины, устройство, работа, причины выхода из строя и способы ремонта

дата публікації: 2018.06.21



Прежде чем начать обзор разновидностей устройств нагнетания воздуха в камеру сгорания ДВС (двигателя внутреннего сгорания), имеет смысл привести некоторые характеристики двигателя одного типа и производителя для сравнения показателей после применения принудительного нагнетания воздуха, при помощи рассматриваемых далее устройств.

По моему мнению, наиболее выразительным является пример эволюции двигателя от производителя Mazda (я ни в коем случае не умаляю заслуг в развитии у других производителей). Так сложилось, что именно на предлагаемом примере наиболее наглядно наблюдается рост качественных показателей двигателя с применением принудительного нагнетания воздуха:

- Mazda 626 2.0 дизель mot.RF атмосферный, 60 л.с. - 1984-1992 г.в.;

фото 1.

- Mazda 626 2.0 дизель mot.RF-CX Comprex, 75 л.с. - 1984-1992 г.в.;

- Mazda 626 2.0 дизель mot.RF turboHP с промежуточным охлаждением воздуха, 100 л.с. - 1998-2002 г.в.;

- Mazda 6 2.0 дизель MZR-CD (RFturbo) Common Rail, 136 л.с. - 2002-2005 г.в.;

- Mazda 6 2.0 дизель MZR-CD (RFturbo) Common Rail, 143 л.с. - 2002-2007 г.в.

Дизельная версия автомобиля взята также из соображений наглядности, так как в бензиновых версиях двигателей не настолько ярко проявляются преимущества применения нагнетания воздуха. Все же дросселирование по впуску не позволяет стремительно достичь результатов от применения наддува. В дизельном же двигателе впускной коллектор не ограничен по проходимости, поэтому всякое совершенствование в поступлении воздуха располагает к получению весомых результатов в итоге.

Дальше следует принять во внимание конструктивные особенности и типовые схемы применения нагнетателей.

Типы нагнетателей

Принято различать нагнетатели с внутренним сжатием и без него. Тип сжатия зависит от геометрии роторов и оттого, как они соединены между собой. Практически все нагнетатели работают с внутренней степенью сжатия (нагнетания) больше единицы. Исключением являются варианты спирального нагнетателя и «рутсы», которые лишь пропускают воздух, работая без внутреннего сжатия. Естественно, нагнетатели с внутренним сжатием имеют больше преимуществ, так как КПД у таких конструкций выше, а шумовые параметры ниже. Но, с другой стороны, важным достоинством нагнетателей без внутреннего сжатия является возможность регулировки давления наддува, не прибегая к дополнительным конструктивным усложнениям. То есть, например, при частичной нагрузке двигатель ни в каком сжатии и не нуждается, соответственно при таком режиме снижается расход мощности.

Шумовые параметры очень важны, поэтому часто приходится проводить исследования, чтобы сбалансировать нагнетатель и его окружение в отношении снижения уровня шума. Поэтому все эти факторы имеют основное влияние при выборе производителем подходящего нагнетателя для своего двигателя.

Следует обратить внимание, что винтовые нагнетатели, нагнетатели Ванкеля и «рутсы» относятся к двухосевым нагнетателям – и внешнеосевыми (фото 1).

Имеется еще один вид механических нагнетателей, так называемые «Scroll» (от англ. спиральный нагнетатель), типичным представителем которых является известный G-нагнетатель, созданный VW (фото 2 и фото 3).

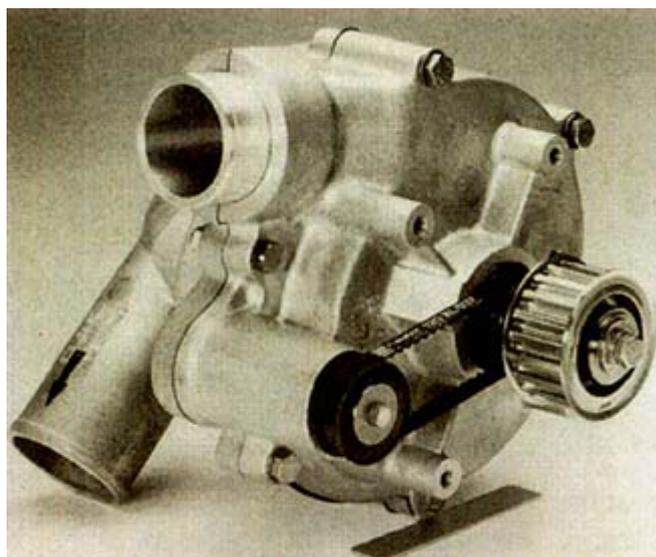


фото 2 и фото 3

Эти представители нагнетателей не очень завязаны с внутренними системами двигателя, и их

неисправности носят характер обычных дефектов износа от продолжительной работы или недостаточного получения смазывающего материала, еще характерны повреждения от попадания посторонних предметов в полости снабжения воздухом двигателя или недостаточно отфильтрованного воздуха.

В нашей практике преимущественно встречаются турбонагнетатели, использующие дармовую энергию потока отработавших выхлопных газов.



фото 4

Говоря о турбонагнетателях, нельзя не вспомнить об одной очень интересной разработке, объединяющей, и энергию выхлопных газов, и механический привод от коленчатого вала. Идею использования принципа волнового ротора впервые в 1942 году предложил Клод Сейппел из Brown Boveri Company (BBC), Швейцария. Легковой автомобиль Mazda 626 Capella был первым автомобилем, на который устанавливался COMPREX (COMPRession-EXpansion – сжатиерасширение) в качестве компрессора для дизельного мотора (фото 4). Именно на дизельных моторах это устройство показывало самые лучшие результаты. Принципиальная идея волнового обменника (именно так его иногда называют) такова (фото 5). Сердцем конструкции является цилиндрический ячеистый ротор, имеющий множество сквозных, продольных каналов (фото 6). С одного торца к нему подходит воздух, а с другого – выхлопные газы.

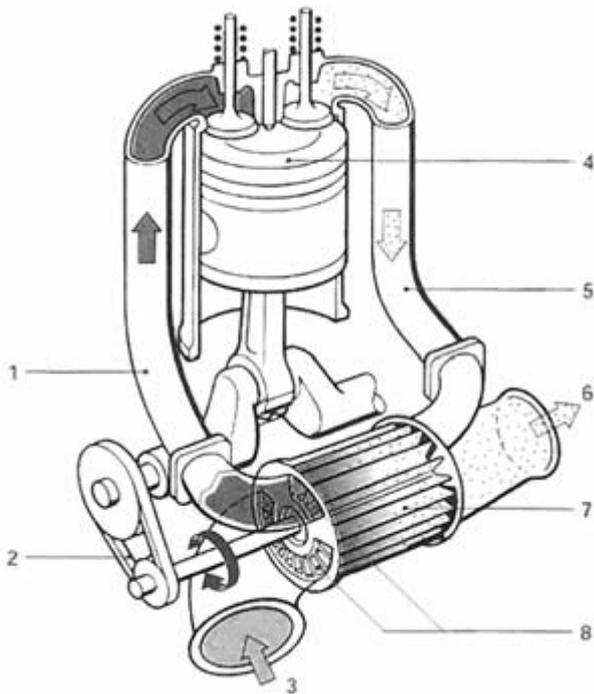


фото 5.

1. Поток свежего воздуха под высоким давлением.
2. Приводной ремень.
3. Поток свежего воздуха под низким давлением.
4. Поршень двигателя.
5. Поток ОГ под высоким давлением.
6. Поток ОГ под низким давлением.
7. Ротор.
8. Щелевые окна.

Ротор приводится во вращение от коленчатого вала. С торцов его прикрывают заслонки, имеющие расположенные особым образом перепускные отверстия. Процесс сжатия происходит следующим образом. Воздух с одного конца заполняет каналы ротора, ротор проворачивается; с другого конца в те же каналы подаются выхлопные газы. Сама работа ДВС придает выхлопным газам определенное давление. Это давление и сжимает свежий воздух. Далее, ротор снова проворачивается, и уже сжатый воздушный заряд проходит во впускной коллектор. Процесс происходит непрерывно. Ротор вращается со скоростью, задаваемой оборотами двигателя и передаточным числом привода. Разумеется, необходим охладитель воздуха (интеркуллер), поскольку воздух от прямого контакта с выхлопными газами нагревается особенно сильно. Некоторая примесь выхлопных газов в питающий воздух для дизельного двигателя только плюс для сохранения экологии, поскольку это обеспечивает необходимую рециркуляцию и снижает токсичность дизеля.



фото 6

Одним из основных преимуществ волнового нагнетателя было то, что, в отличие от механических нагнетателей, его эффективные рабочие обороты были существенно ниже, а в отличие от турбонагнетателей – у волнового отсутствовал эффект «турбоямы», и рабочий диапазон не ограничивался лишь высокими оборотами. В 90-е годы прошлого века двигатели Mazda, оборудованные волновым нагнетателем, по показателю крутящего момента на низких оборотах превосходили аналогичные турбодизели. Однако с 1997 года производство машин с компрессором COMPREX было свернуто. Из неисправностей данного вида нагнетателей наиболее характерны: износ опорных подшипников ротора и деформация стенок каналов ротора.

Первое связано с долговечностью самих подшипников качения. А вот второе чаще происходит за счет попадания твердых частиц сажи между корпусом и ротором. Сажа накапливается в центральной полости ротора (см. фото 6), затем попадает между корпусом и ротором. Основная причина накопления сажи неправильная работа топливной системы. Если рассматривать это подробнее: несвоевременный ремонт топливных форсунок, изменение начала момента впрыска топлива (после замены ремня ГРМ или других работ по двигателю), приводит к образованию большого количества сажи в выхлопе. Которая из полости ротора, попадая между ротором и корпусом, приводит к деформации стенок каналов ротора, нарушая при этом синхронность газообмена. Основным визуальный признак – появление большого количества черной сажи в каналах подачи воздуха после воздушного фильтра автомобиля, до впускных каналов ротора нагнетателя.

С течением времени конструкция турбин становилась более совершенной, применение новых

материалов и технологий для изготовления роторов позволили заметно продвинуться вперед, тем самым, обеспечивая снижение стоимости изделия. Поэтому в большинстве автомобильных моторов как дизельных, так и бензиновых преобладает установка турбокомпрессоров (использование энергии ОГ для нагнетания воздуха). В основном это касается автомобилей массового использования, с которыми нам чаще всего, и приходится иметь дело (фото 7).

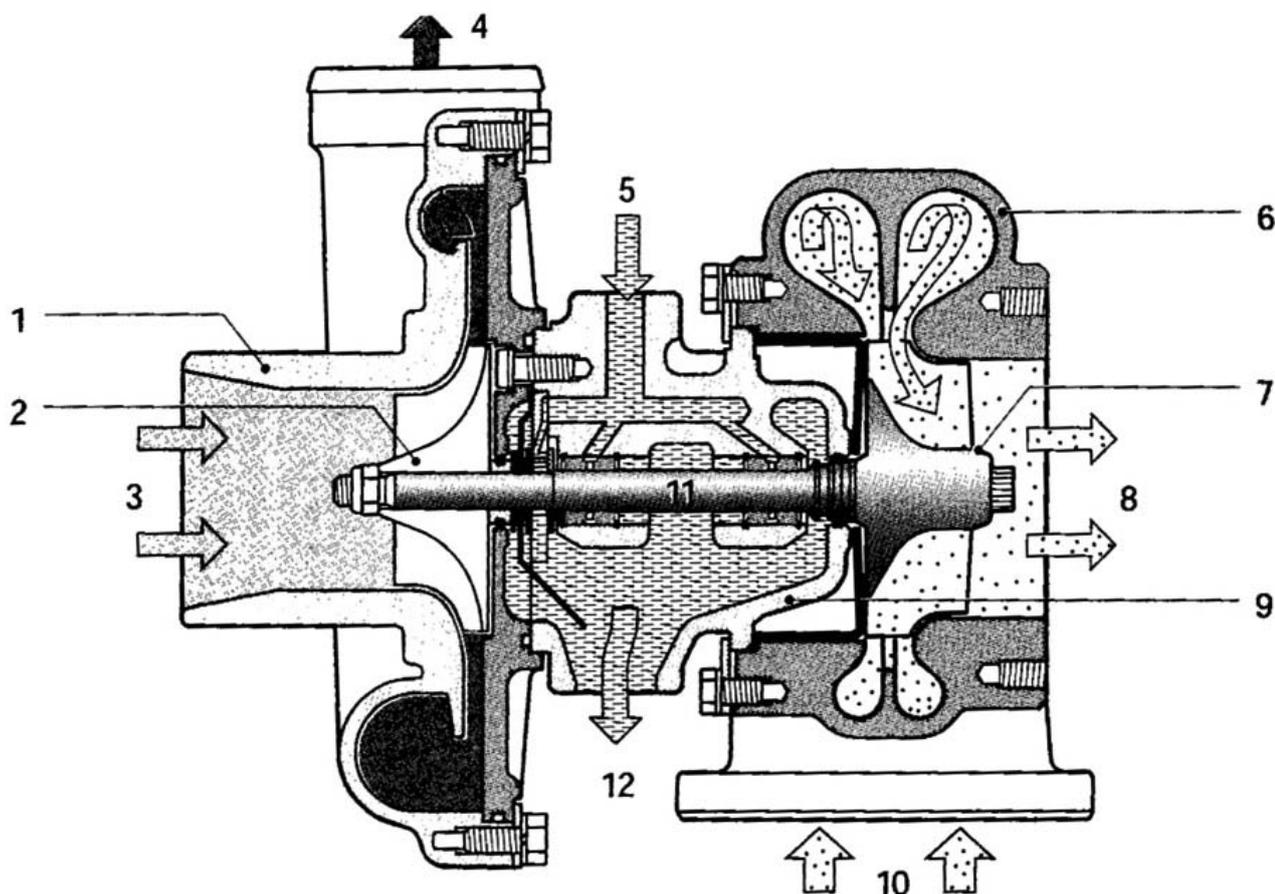


фото 7. Схематическое изображение основного конструктивного образца.

1. Улитка компрессорная (нагнетающая)
2. Крыльчатка нагнетающая.
3. Всасывающий канал.
4. Нагнетающий патрубок.
5. Подача масла от системы смазки двигателя.
6. Улитка турбинная (подающая ОГ).
7. Крыльчатка турбинная.
8. Выход ОГ
9. Корпус вала турбины.
10. Вход ОГ от выхлопной системы двигателя.
11. Вал турбокомпрессора.
12. Отвод масла из ТРК в масляную ванну двигателя.

Следующую фразу я обязан выделить любым способом, дабы обратить ваше внимание на основные причины выхода из строя турбин.

Около 60% неисправностей турбин, возникают по причине неисправностей самого двигателя. Оставшиеся 40% могут быть распределены приблизительно так:

- 1. Нарушены условия смазки турбокомпрессора 10%**

- 2. Не обеспечена необходимая степень чистоты при установке агрегата 10%**
- 3. Перегрев корпуса и деталей его, вследствие чего образуется сажа (понимай абразив) внутри картера ТРК 10%.**
- 4. Попадание посторонних предметов в полости ТРК во время обслуживания 8%.**
- 5. Низкое качество материалов, а также нарушение технологического процесса используемых при ремонте или изготовлении ТРК 2%.**

Далее рассмотрим в подробностях каждый пункт предложенного меню.

Прежде, чем выносить «приговор» ТРК, следует тщательно исследовать условия его работы, в частности условия его смазки. Ведь он находится в системе смазки общей с остальными деталями двигателя, поэтому износ деталей двигателя неизбежно приведет к увеличению расхода масла из подающей магистрали, соответственно, и к снижению его давления в системе смазки, как двигателя, так и ТРК. Учитывая скорость вращения ТРК (от 15000 об/мин до 150000 об/мин), при недостаточном потоке масла на входе, масляное голодание обеспечено на всех режимах работы двигателя (для ТРК). Наблюдение за изменением давления масла достаточно доступно обеспечивается применением переходников, с соответствующим резьбовым присоединением, и механического манометра. В большинстве случаев выхода из строя ТРК давление на его входе составляло менее 1,2 Bar. Поэтому при установке нового или отремонтированного ТРК, следует убедиться, что необходимое давление обеспечивается на всех температурных режимах двигателя. К условиям смазки также относится и сброс масла из выходного отверстия смазки ТРК. Очень часто, при выявлении причин выхода из строя ТРК, обнаруживается непригодность самого патрубка сброса масла в масляную ванну двигателя. Это может быть расслоение эластичного материала, из которого он изготовлен. Также в металлическом трубопроводе образовывается масляный нагар, уменьшая проходное сечение отверстия. Примерно к таким же последствиям приводит применение при сборке прокладок не соответствующего размера (смещение при монтаже), и применение жидких герметизирующих составов.

Большое влияние на работу ТРК имеет расход (давление) картерных газов самого двигателя. Динамические масляные уплотнения вала ТРК не предназначены (по конструкции) удерживать основную массу рабочего масла, после выполнения его предназначения (фото 8).

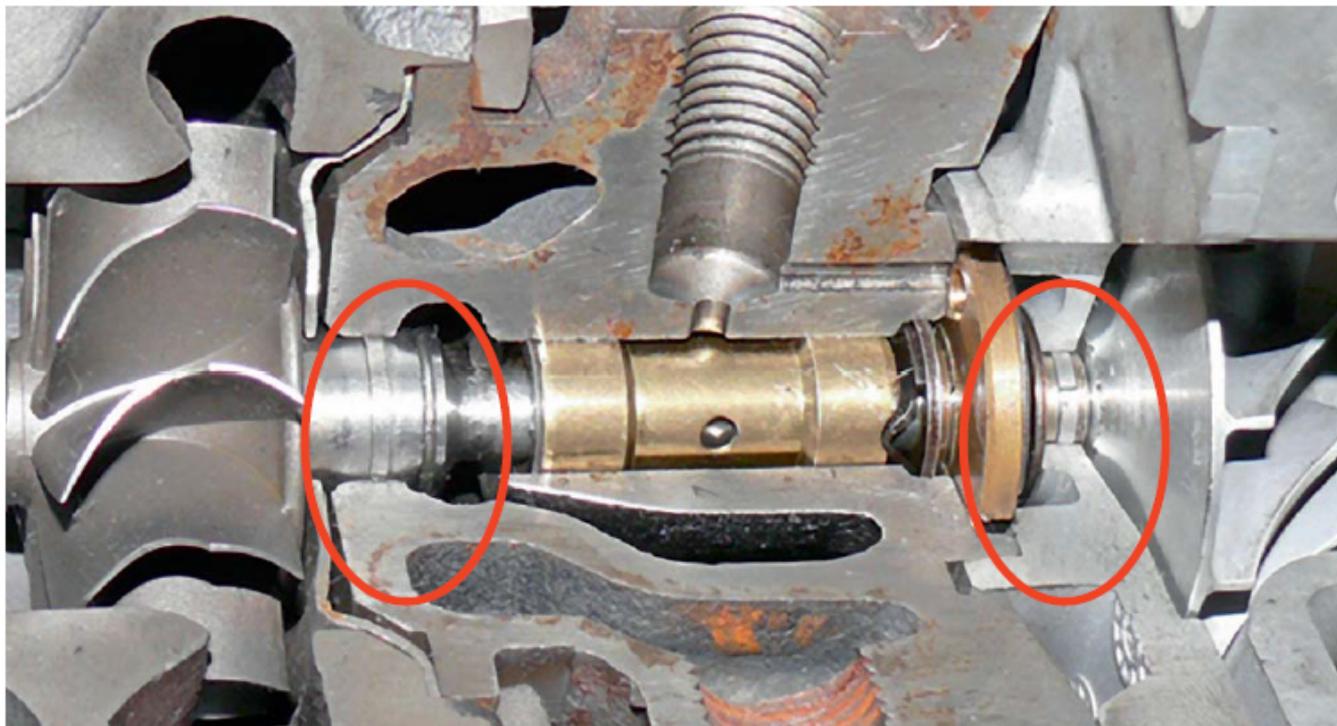


фото 8

Масло свободно должно покинуть полость низкого давления картера ТРК, и уйти в масляную ванну двигателя. Но, существующий подпор давления картерных газов двигателя, выталкивает «обратку смазки» ТРК через динамические уплотнения вала в «горячую» улитку, а также в патрубок нагнетания воздуха в двигатель. При этом вина всех проблем приписывается невинной турбине. А если это происходит на протяжении длительного времени, то между экраном и тыльной стороной крыльчатки ротора накапливается масляный нагар (фото 9).



фото 9

Впоследствии это приводит к затормаживанию вращения вала, и снижению эффективности работы ТРК. Подобная картина наблюдается и в нагнетающем патрубке турбины, и это по внешнему виду очень напоминает признаки износа уплотнений вала ТРК (фото 10).



фото 10

Поэтому различить эти неисправности без демонтажа ТРК можно только на ощупь, проверяя люфт вала. При износе вала или подшипников люфт будет заметно увеличен, а при закоксованности, наоборот, даже не заметен, при этом очень затруднено вращение вала от руки. Также, для диагностики, успешно можно применить отдельный слив масла от турбины в специальную емкость, которая не соединена с полостью картера двигателя по давлению газов, и через некоторое время работы двигателя, вполне вероятно уменьшение (отсутствие) появления моторного масла в полостях турбины.

Следующее негативное воздействие на работу ТРК после ремонта отношение обслуживающего персонала к выполнению работ. Практически не приходилось наблюдать случая, чтобы перед демонтажем, или проведением профилактических работ на ТРК, происходила наружная мойка двигателя, или хотя бы той части его, где установлен ТРК. Ревизия подающих воздухопроводов происходит только при появлении явной утечки воздуха, там, где это визуально наблюдается. Зона низкого давления (подача воздуха от воздушного фильтра), практически никогда не подвергается осмотру, что подтверждают повторные обращения по ремонту ТРК. Результаты такой установки всегда отражаются на крыльчатке и корпусе нагнетания. Через разрывы в гибких воздухопроводах абразив проникает в нагнетающую часть ТРК и «пескоструит» все на своем пути (фото 11).



фото 11

При этом увеличиваются зазоры между корпусом и нагнетающей крыльчаткой, что приводит к снижению производительности ТРК, далее, к нарушению балансировки всего ротора, и выходу из строя ТРК. Как правило, это сопровождается увеличением акустических шумов, создаваемых ТРК.

Замена рабочего масла двигателя перед установкой нового (см. отремонтированного) ТРК также является чрезвычайно редким явлением при ремонте. Разве только в том случае, когда это совпало с периодичным сроком смены масла двигателя. А воздушному фильтру, и того меньше внимания. Самое большее, чего можно ожидать, это продуют сжатым воздухом из ресивера компрессора. Хотя производитель воздушных фильтров категорически против этой процедуры.

Проблема - перегрев корпуса турбины. Пожалуй, это одна из самых сложных тем, для быстрого ее понимания. Что приводит к перегреву корпуса ТРК? Давайте вспомним, что основное охлаждение всех деталей и корпуса турбины (как и деталей двигателя) осуществляется протоком моторного масла. Тут полная зависимость от температурных условий работы самого двигателя, и не только. Низкое давление в масляной магистрали приводит к уменьшению проходящего объема масла через корпус турбины, соответственно уменьшается и отбор тепла. Повреждения сливного патрубка, также уменьшает скорость и объем проходящего масла. Дальше сложнее: при определенном износе цилиндропоршневой группы двигателя значительная часть моторного масла остается в камере сгорания и участвует в рабочем процессе горения. К этому всему добавляется и масляный пар в смеси с картерными газами, подаваемый из сапуна на впуск двигателя. Образуется смесь с более низкой скоростью горения, что приводит к увеличению температуры выхлопных газов и перегреву всего, где они проходят. Наглядно результаты такой работы двигателя отражаются на цвете деталей выхлопной системы, изготовленных из чугуна. Выпускной коллектор и корпус турбины приобретают синевато-серый оттенок, а не как обычно коричневокрасноватый (фото 12).



фото 12

Чаще всего это заканчивается разрушением этих деталей, в дальнейшем, не подлежащим ремонту. Это же приводит и к резкому снижению производительности турбины, которая еще не до конца пришла в негодность. В ремонт турбину привозят зачастую без улитки горячей стороны, более того без сопроводительного листа об условиях эксплуатации, и предполагаемых причин выхода ее из строя. Ремонтники могут очень добросовестно выполнить свою работу, но результат не удовлетворит потребителя в этом случае, потому что в первую очередь не была

устранена причина поломки агрегата. Если поставить перед собой задачу выявить причину выхода из строя турбины, сначала обращаем внимание на повреждения самой турбины. Поскольку вопрос о перегреве, то и осматриваем детали, работающие в зоне высоких температур. При тщательном осмотре основным повреждением ротора ТРК, является оплавление кончиков лопастей турбинного колеса (фото 13).



фото 13

Это всегда должно настораживать при определении причины выхода из строя турбины. К похожим последствиям также, приводит неправильно установленный угол опережения зажигания, и неправильная работа топливной системы в целом. Имеется ввиду приготовление, как слишком «богатой», так и сильной «бедной» смеси.

Чтобы уменьшить влияние перегрева, многие производители давно уже устанавливают ТРК с жидкостной охлаждающей «рубашкой» корпуса, но это позволяет уменьшить нагрев только при нормальных условиях работы двигателя. Примерно такая же эффективность в применении электронных устройств называемых «турботаймер», которые позволяют двигателю поработать без нагрузки некоторое время до полной остановки, что обеспечивает охлаждение корпуса турбины протоком моторного масла. Но все это имеет смысл только при исправном двигателе, и не «спасает», имея проблемы, признаки которых представлены выше.

Последствия перегрева деталей двигателя приводят к выходу из строя и ТРК. Поэтому ремонт одной турбины никак не обойтись, придется принимать меры по устранению неисправностей цилиндро-поршневой группы двигателя, и обязательно исправление или замена деформированных «пострадавших» деталей выпускной системы. В лучшем случае, прибегаем к шлифовке привалочных плоскостей выпускного коллектора и ТРК, хотя нередко это может быть очень запоздалой мерой (фото 14).



фото 14

С появлением дизельных двигателей с системой впрыска топлива при помощи электронных насосфорсунок и, соответственно большей литровой мощностью, а также и более напряженным условиям работы деталей двигателя. С каждым годом, все чаще появляются турбины, причиной выхода из строя которых является присутствие этиленгликоля (охлаждающей жидкости) в моторном масле. Причем расход охлаждающей жидкости из системы охлаждения мотора не вызывает резких опасений. Один литр в месяц не так катастрофично, если не смотреть вглубь возникающей проблемы.

На самом деле все намного хуже, чем оценка с первого взгляда. Присутствие этиленгликоля в смазке двигателя приводит к химическому воздействию на детали из цветных металлов. При работе двигателя в корпусе турбины температура смазки никак не ниже 130 градусов, а по законам химических процессов, с повышением температуры скорость протекания процессов повышается. Вот имеем картину последствий попадания антифриза в систему смазки двигателя и выход со строя турбины (фото 15).

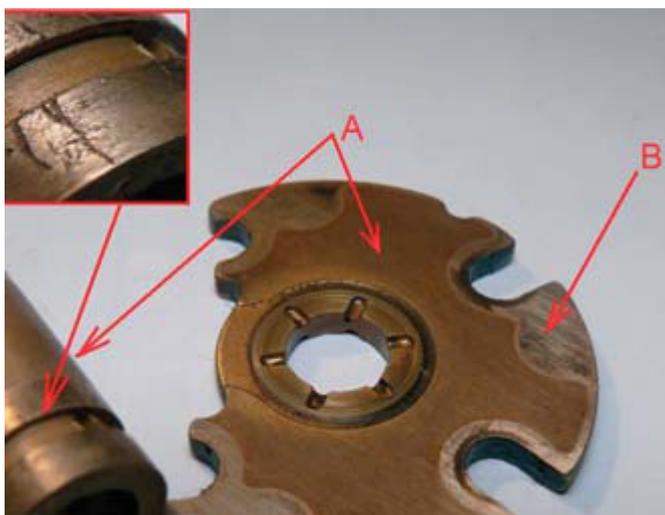


фото 15

На фото верхний фрагмент демонстрирует воздействие этиленгликоля на бронзовую втулку на протяжении одной тысячи км пробега с температурой до 200 градусов. Указателем «А»

обозначены поверхности, подвергшиеся влиянию этиленгликоля при более низких температурах (около 130 град.) при том же пробеге. «В» - зона деталей не контактировавшая со смазкой с при месью этиленгликоля.

Нередко невнимательность обслуживающего персонала при работе, приводит к повреждениям различных частей ТРК в связи с проникновением в рабочие полости деталей крепежа, а то и просто мусора. Здесь особо разьяснять нечего, достаточно посмотреть предложенные фотографии (фото 16, фото 17 и фото 18).



фото 16, 17 и 18

Так же как и везде при ремонте и изготовлении ТРК возможно присутствие факторов качества, зависящего только от работающего персонала. Поскольку при ремонте, для очистки деталей турбины применяется пескоструйная установка, то и загрязнения от этого, тоже встречаются, хотя и очень редко. В отличие от загрязнений после авторемонтников, это на вид, кристаллы белого речного песка. Поэтому виновника спутать почти невозможно. К тому же проявляется его присутствие, в первые секунды вращения вала после запуска турбины, а недобросовестно проведенная сборка ТРК и двигателя может проявиться только через несколько дней. Но последствия выглядят примерно одинаково (фото 19).



фото 19

Отклонение допустимых размеров деталей при ремонте турбины, довольно редкое явление, потому как последующая балансировка ротора ТРК, как правило, выносит на поверхность такие дефекты. Теперь о самой балансировке ротора. Не всегда, даже у новой турбины, с этим все благополучно. В моем присутствии на ремонтном предприятии вскрыли упаковку нового ТРК и предложили наглядно провести измерение балансировки ротора на стенде, имитирующем рабочий режим ТРК на автомобиле. Результат исследования озадачил. При допустимых рабочих оборотах этого образца ТРК не ниже 160 тысяч об/мин., первые резонансные проявления биения ротора начались уже при достижении 110 тысяч об/мин, причем далеко за пределами допусков самого производителя этого ТРК. И только после 15 минут проведенных работ по балансировке ротора, этот показатель переместился в зону 170 тысяч об/мин., которых ТРК этого типа в рабочем режиме практически не достигает никогда. Как проявляется подобная неисправность визуально? Чаще всего это акустические проявления, называемые «свистит турбина», при общем благополучном внешнем виде вначале на некоторых режимах работы двигателя появляется этот шум. Если очень внимательно осматривать детали компрессорной части ТРК несложно обнаружить места касания крыльчатки корпуса, они более темного цвета чем основной материал улитки (фото 20).



фото 20

Это и есть основное проявление некачественно проведенного ремонта ТРК, а точнее –

балансировки ротора. Выход со строя ТРК также может привести неисправность систем, ограничивающих ее собственную производительность. К этим устройствам относятся клапаны. Регулирующие производительность турбины. Для более ранних типов конструкций ТРК характерно применение клапана ограничивающего обороты турбины, в зависимости от давления во впускном коллекторе двигателя (фото 21).



фото 21

Разрыв мембраны неизбежно приведет к отсутствию реакции на давление, и превышению рабочих оборотов вала турбины и, в последствии, выходу ее из строя (фото 22).



фото 22

Для двигателя избыточный наддув также не проходит бесследно. Как правило, продолжительная работа в таком режиме приводит к прогоранию поршня двигателя или же нескольких поршней. У некоторых производителей на этот случай предусмотрен редукционный клапан, встроенный во впускном коллекторе или патрубках подающих воздух во впускной коллектор после турбокомпрессора (фото 23).



фото 23

Эти устройства предохраняют только двигатель от повреждения, а турбине это никак не поможет, поэтому водителю следует немедленно реагировать на предупреждающие хлопки «подрыва» клапана.

(Продолжение следует)

Сергей Григорьев

Джерело: