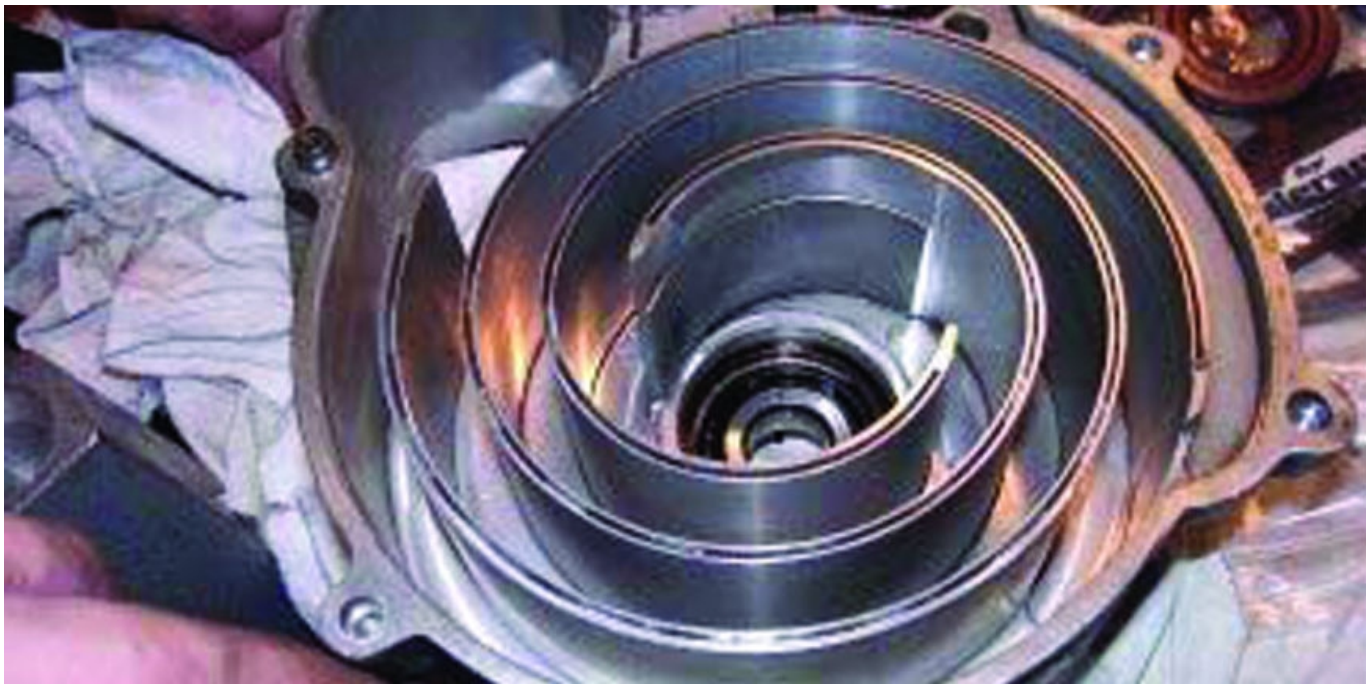
Турбины: устройство, работа, причины выхода из строя и способы ремонта (часть 1)

дата публікації: 2017.07.12



Прежде чем начать обзор разновидностей устройств нагнетания воздуха в камеру сгорания 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.

Мазда 626 2.0 дизель mot.RF атмосферный 60 л.с. - 1984-1992 г.в.

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

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

Мазда 6 2.0 дизель MZR-CD (RF-turbo) Common Rail 136 л.с. - 2002-2005 г.в.

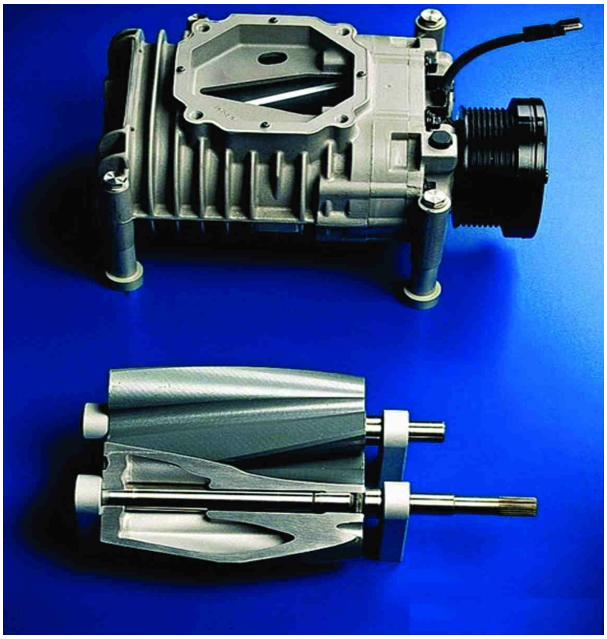
Мазда 6 2.0 дизель MZR-CD (RF-turbo) Common Rail 143 л.с. – 2002-2007 г.в.

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

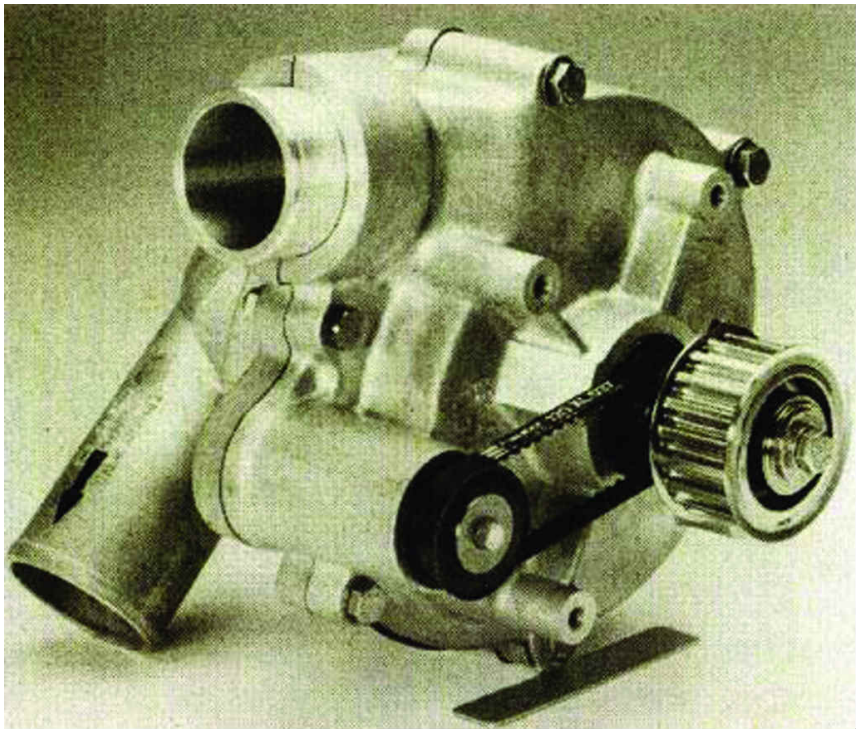
проходимости, поэтому всякое совершенствование в поступлении воздуха располагает к получению весомых результатов в итоге.
Дальше следует принять во внимание конструктивные особенности и типовые схемы применения нагнетателей.

Типы нагнетателей

Принято различать нагнетатели с внутренним сжатием и без него. Тип сжатия зависит от геометрии роторов и от того, 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, поскольку 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.



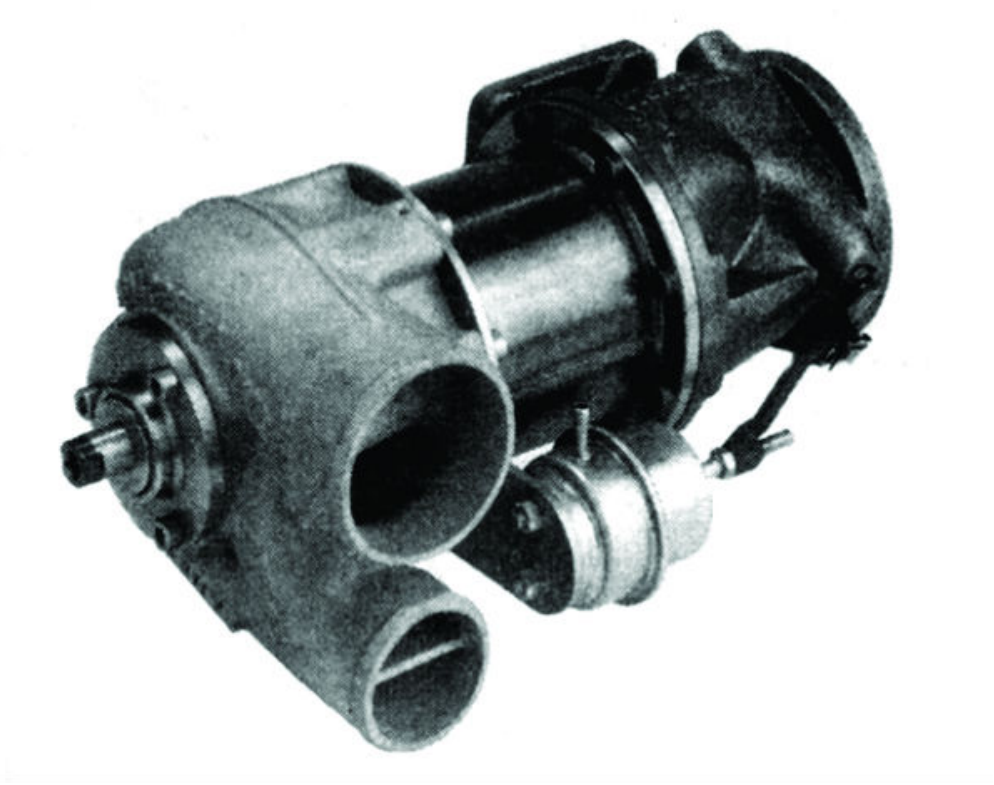
Имеется еще один вид механических нагнетателей, так называемые «Scroll» (от англ. – спиральный нагнетатель), типичным представителем которых является известный G-нагнетатель, созданный VW.



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.

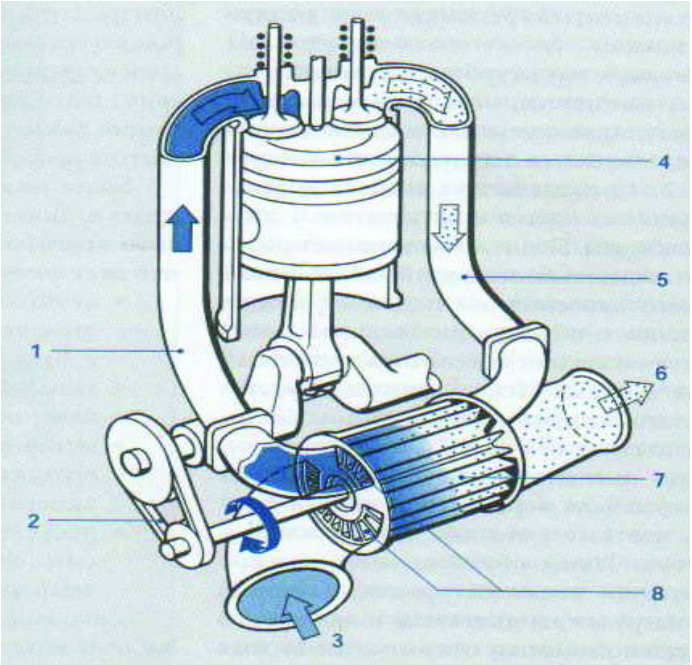
В нашей практике преимущественно встречаются турбонагнетатели, использующие дармовую энергию потока отработавших выхлопных газов.

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 г. предложил Клод Сейппел из Brown Boveri Company (BBC), Швейцария. Легковой автомобиль Mazda 626 Capella был первым автомобилем, на который серийно устанавливался COMPREX (COMPRession-EXpansion – сжатие-расширение) в качестве компрессора для дизельного мотора.



Именно на дизельных моторах это устройство показывало самые лучшие результаты. Принципиальная идея волнового обменника (именно так его иногда называют) такова.

Сердцем конструкции является цилиндрический ячеистый ротор, имеющий множество сквозных, продольных каналов.



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.

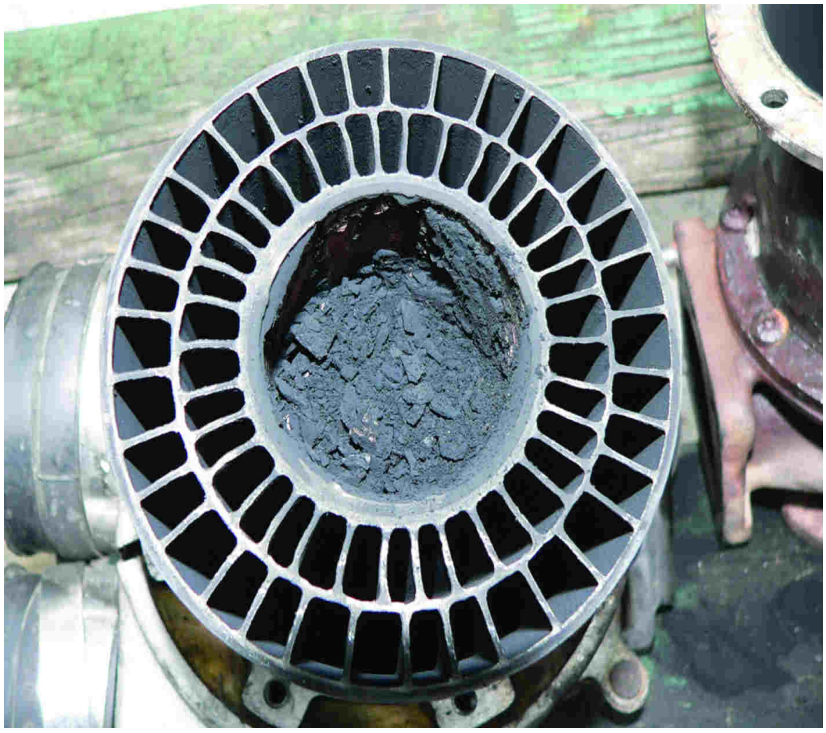
6. Поток ОГ под низким давлением.

7. Ротор.

8. Щелевые окна.

С одного торца к нему подходит воздух, а с другого – выхлопные газы.

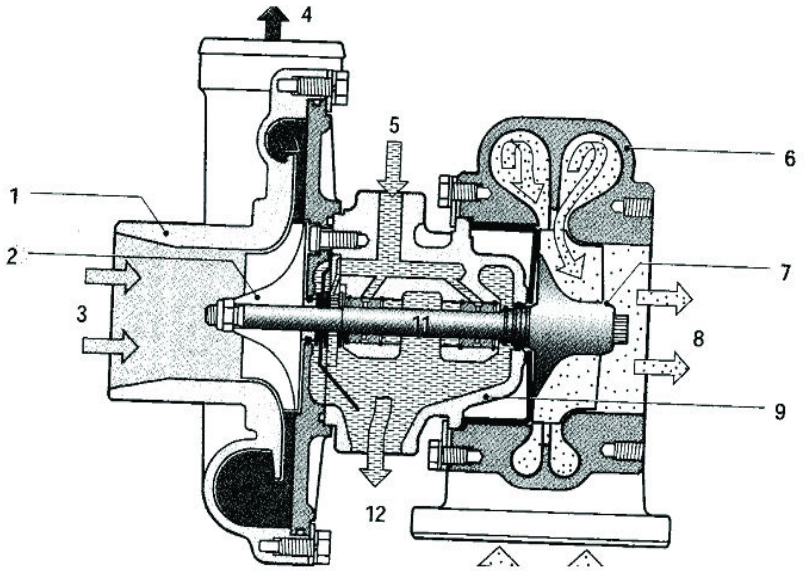
Ротор приводится во вращение ремнем с приводом от коленчатого вала. С торцов его прикрывают заслонки, имеющие расположенные особым образом перепускные отверстия. Процесс сжатия происходит следующим образом. Воздух с одного конца заполняет каналы ротора, ротор проворачивается; с другого конца в те же каналы подаются выхлопные газы. Сама работа ДВС придает выхлопным газам определенное давление. Это давление и сжимает подаваемый в двигатель 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 частичную рециркуляцию отработанных газов, чем и снижает токсичность дизеля. 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 других производителей. Однако с 1997 г. 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., затем попадает между корпусом и ротором, что приводит к деформации каналов ротора, нарушая при этом, синхронность газообмена.



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. Основной 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 «мирных» автомобилей массового использования, с которыми нам чаще всего, и приходиться иметь дело.

Схематическое изображение основного конструктивного образца.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.

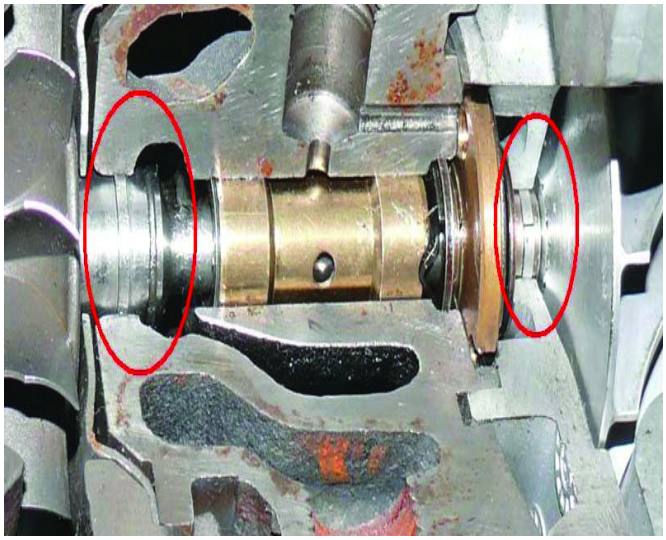
Следующую фразу я обязан выделить любым способом, дабы обратить ваше внимание на основные причины выхода из строя турбин. Около 60% неисправностей турбин, возникают по причине неисправностей самого двигателя. Оставшиеся 40 % могут быть распределены приблизительно так:

1. ***Нарушены условия смазки турбокомпрессора – 10%***

2. ***Не обеспечена необходимая степень рабочей 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 15000об/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. По результатам многолетних наблюдений, 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. Только достаточный объем, протекающего через корпус турбины масла, способен обеспечить необходимую степень ее охлаждения.



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. Масло свободно должно покинуть полость низкого давления картера ТРК, и уйти в масляную ванну двигателя. Но, существующий подпор увеличенного давления картерных газов двигателя, выталкивает «обратку смазки» ТРК через динамические

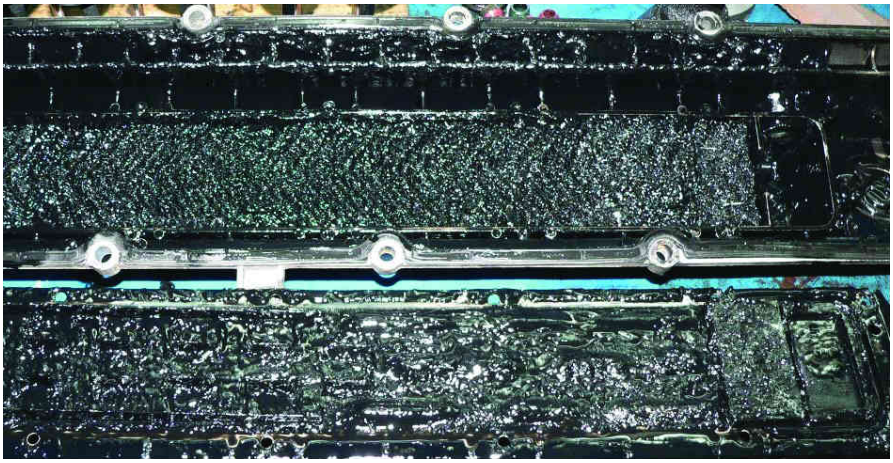
уплотнения вала в «горячую» улитку, а также в патрубок нагнетания воздуха в двигатель. При этом причиной всех проблем считают невиновную турбину. А если это происходит на протяжении длительного времени, то между экраном и тыльной стороной горячей крыльчатки ротора накапливается масляный нагар.

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.

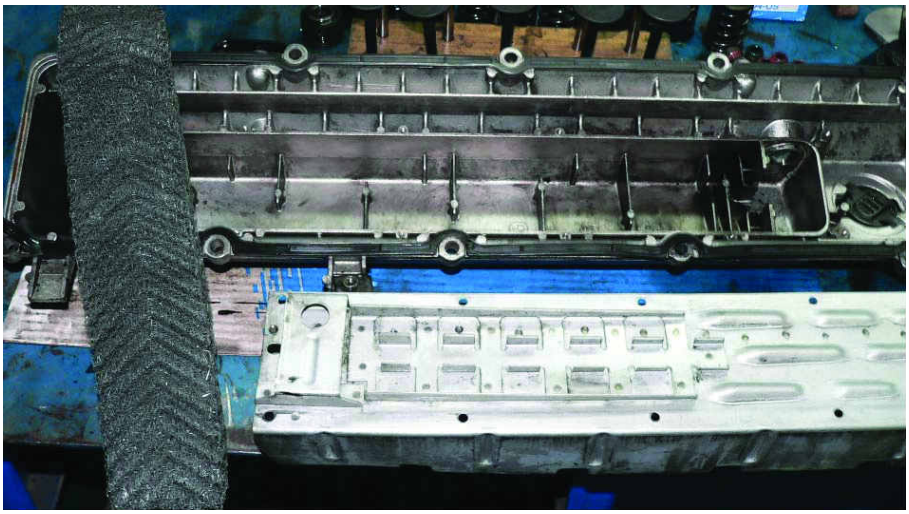
Поэтому различить эти неисправности без демонтажа ТРК можно только приблизительно на ощупь, проверяя люфт вала. При износе вала или подшипников люфт будет заметно увеличен, а при закоксованности, наоборот, даже не заметен, при этом очень затруднено вращение вала от руки. Также, для диагностики, успешно можно применить раздельный 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 (полное отсутствие) появления моторного масла в газовых полостях турбины.

Если рассматривать причину попадания масла в двигатель из турбины более основательно, можно обнаружить еще очень интересную особенность двигателей

внутреннего сгорания оборудованных турбокомпрессором. Выходной патрубок устройства сброса картерных газов соединяется с воздуховодом, соединяющим корпус воздушного фильтра и входное отверстие турбонагнетателя. Все хорошо, до тех пор, пока элемент воздушного фильтра в состоянии пропускать необходимое двигателю количество воздуха. Как только элемент воздушного фильтра получит значительную дозу загрязнений, его пропускная способность резко ухудшается, и именно тогда, когда двигатель должен развивать максимальную мощность с помощью турбокомпрессора. В этом случае значительно меньшим сопротивлением для подачи является система вентиляции картера двигателя, в том числе и сальники валов двигателя, которые рассчитаны удерживать давление с двигателя наружу, а не наоборот. По такой схеме получается, что турбокомпрессор потребляет недостающий объем воздуха через патрубок вентиляции картера двигателя, даже прокачивая его через сопряжения сальника и вала. При этом, увлекая из картера двигателя вместе с потоком газов также и масляный туман, но ещё не обслуженный масляный сепаратор системы вентиляции картера не выполняет свою задачу. Существенное влияние на расход моторного масла может привести состояние маслоотделительного элемента системы вентиляции картерных газов. Как яркий пример приведу состояние этого устройства, которое обычно встречается во время обслуживания автомобилей BMW mot M51 Как более старый вариант.



После квалифицированого обслуживания.



Такой вид после обслуживания имеет этот узел у более «свежих» моделях двигателей BMW и очень похожее у двигателей Mercedes Benz.

Признаки забитых систем вентиляции картера очень напоминают признаки изношенных турбин и состояние двигателя перед предстоящим капитальным ремонтом.

Следующее негативное воздействие на работу ТРК после ремонта, отношение обслуживающего персонала к выполнению работы. 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 воздуховодов 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 воздуховодах абразив проникает в нагнетающую часть ТРК и «пескоструит» все на своем пути.

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, в последствии, это сопровождается увеличением акустических шумов, создаваемых ТРК.

Если рассматривать вопрос о возникновении посторонних шумов, также существует множество причин, не зависящих от состояния износа турбины. Выход воздуха через поврежденные патрубки подачи воздуха турбиной, также часто определяют в вину турбине, не разобравшись до конца. При работе двигателя с высоким расходом моторого масла, возникает перегрев деталей выпускного тракта (коллектор выпускной, детали горячей стороны улитки турбины). В них образовываются трещины и коробление прилегающих плоскостей, которые приводят к выходу выхлопных газов с характерным свистом.

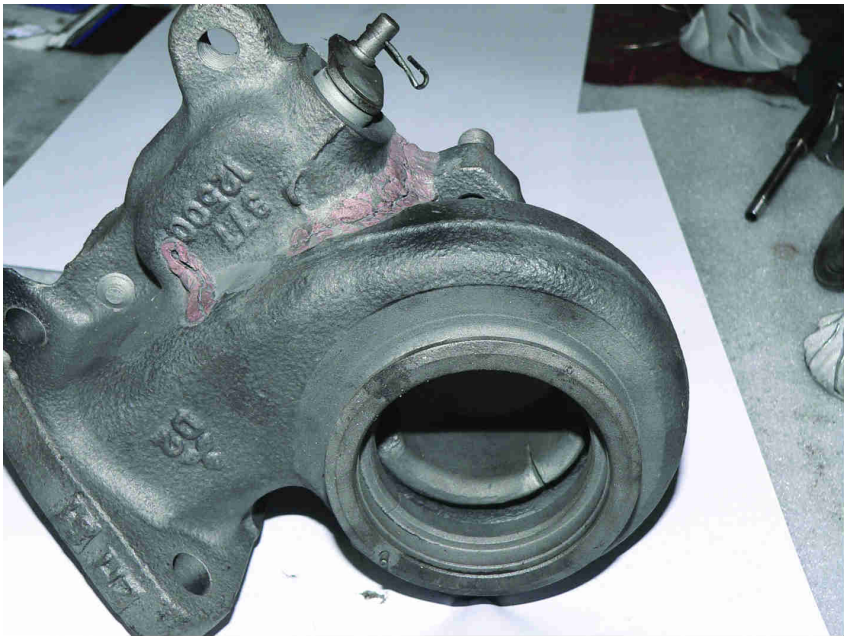
Этот дефект проверяется не сложно, достаточно запереть выход отработанных газов (заткнуть выхлопную трубу). Значительное увеличение шума (свиста) проинформирует о месте «утечки».

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 (непредусмотренная скорость потока воздуха приводит к разрывам фильтровального материала).

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 коричнево-красноватый .



"Сучасна Автомайстерня" № 3 (110) 2017

Джерело: