

Что такое турбина?

1. Что такое турбина?

Конструктивные особенности. Основой системы турбонаддува двигателя и, в то же время, наиболее сложным ее элементом является турбокомпрессор. Турбокомпрессор состоит из ротора - вала с колесами турбины и компрессора, подшипников, уплотнений ротора и корпусных деталей.

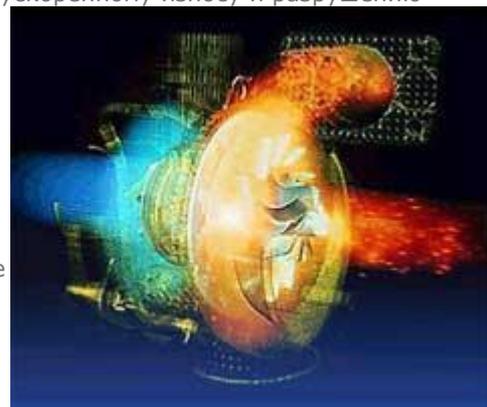


Ротор раскручивается турбиной до очень высокой частоты вращения – порядка 40...250 тыс. мин⁻¹ и более. Обычно, чем меньше объем двигателя, тем меньше размеры турбокомпрессора и тем выше максимальная частота вращения ротора, которая достигается на режимах полной нагрузки двигателя. Высокая частота вращения определяет очень серьезные требования к точности изготовления ротора, конструкции и материалам его подшипников. Ротор турбокомпрессора представляет собой выполненный за одно целое с колесом турбины вал, на другой стороне которого установлено колесо компрессора.

Компрессор фиксируется на валу гайкой, а вся конструкция балансируется динамически на рабочих частотах. Биение поверхности вала должно быть очень мало - порядка нескольких микрон, а дисбаланс всего ротора - не более 0,01 - 0,02 г-см. Превышение этих величин обычно приводит к ускоренному износу и разрушению подшипников и ротора. Ротор установлен в

подшипниках скольжения специальной "плавающей" конструкции - бронзовая втулка имеет зазор 0,03 - 0,04 мм по валу и 0,03 - 0,06 мм в корпусе. При этом втулка вращается со скоростью меньшей, чем вал. Этим обеспечивается работоспособность подшипника при высоких скоростях вращения, т.к. снижается относительная скорость скольжения деталей. Кроме того, такая конструкция опор обеспечивает их "податливость", т.е. способность небольших радиальных перемещений под действием нагрузки. Ротор турбокомпрессора является "гибким" - его рабочая частота вращения превышает частоту собственных колебаний (так называемую критическую частоту). Очень большое значение имеет гидродинамический подпятник, удерживающий ротор от осевых перемещений. Между подшипником и соответствующим колесом (компрессора или турбины) устанавливаются уплотнения с целью исключения попадания масла в газоздушный тракт двигателя. Со стороны компрессора применяют различные типы уплотнений. Встречается конструкция, аналогичная уплотнению подшипника турбины. Иногда используется торцевое уплотнение с графитовым кольцом.

Корпус турбокомпрессора имеет каналы подвода и слива масла, а у некоторых двигателей - еще и каналы для жидкостного охлаждения. На корпусе устанавливаются "улитки" компрессора и турбины. При этом зазор между внутренней поверхностью "улитки" и лопатками колеса должен быть очень малым. Зазор более 0,3 - 0,5 мм сильно снижает КПД турбины (компрессора), что заметно уменьшает мощность и крутящий момент двигателя на средних и высоких частотах вращения и нагрузках. Наиболее распространена конструкция с фиксацией "улитки" компрессора на корпусе с помощью стопорного кольца, при этом "улитка" турбины крепится болтами. Несмотря на кажущуюся простоту, турбокомпрессор является очень сложным агрегатом. Работа двигателей с турбонаддувом предполагает использование масел высокого качества с пологой характеристикой вязкости по температуре. Этим требованиям удовлетворяют современные синтетические масла. Выход из строя турбокомпрессора обычно связан с неправильной эксплуатацией, когда масло низкого качества коксует в турбокомпрессоре, закрывая отверстия для смазки подшипников, что приводит к задирам, повреждениям, ускоренному износу подшипников.



2. Рекомендации по ремонту и эксплуатации.

Ротор турбокомпрессора при работе двигателя на режимах максимальной мощности вращается с частотой, обычно превышающей 100 - 120 тыс. мин⁻¹. Поэтому любые перебои с подачей масла или его низкое качество приводят к ускоренному износу подшипников и уплотнений ротора. При дальнейшей эксплуатации износ быстро прогрессирует, возникает задевание лопаток рабочих колес ротора за корпус - появляется характерный "визг" турбокомпрессора на некоторых режимах. Нагрузки на ротор возрастают настолько, что он деформируется. Далее после непродолжительной работы происходит его разрушение. На такой стадии ремонт требует замены ротора в сборе (поменять, скорее всего придется весь турбокомпрессор, т.к. ротор отдельно в запасные части не поставляются). Вследствие высоких нагрузок на подшипники и требований к качеству масла и его фильтрации турбокомпрессор является "слабым" агрегатом двигателя с турбонаддувом. Поэтому при сложном ремонте двигателей необходимо контролировать состояние турбокомпрессора, особенно для двигателей с пробегом более 150 - 200 тыс.км. Турбокомпрессор является прецизионным агрегатом - допуски на изготовление и деформацию деталей в эксплуатации обычно не превышают нескольких микрон. В связи с этим для его ремонта необходимо иное, значительно более точное, оборудование, нежели для остальных узлов и агрегатов двигателя. Сигналом к необходимости ремонта или замены турбокомпрессора служит увеличение расхода масла свыше 1,0-1,2 л/100 км.

Для того, чтобы убедиться в неисправности именно турбокомпрессора и не спутать причину увеличения расхода масла (например, вследствие износа деталей ЦПГ), необходимо снять патрубки, соединяющие компрессор со впускным коллектором и воздушным фильтром. При неисправных уплотнениях на выходе из компрессора в патрубок обнаруживается много масла, особенно, если патрубок гофрированный. В компрессоре также обычно скапливается масло, иногда даже в виде "лужи" на входе в компрессор. При разрушении поршней и возрастании давления в картере масло может поступать на вход турбокомпрессора через систему вентиляции. В таких случаях определить причину наличия масла в компрессоре и его патрубках достаточно сложно, особенно на неработающем двигателе. По внешним признакам можно также оценить степень повреждения деталей, чтобы определить возможность ремонта. При осмотре

турбокомпрессора не должно быть чрезмерного (более 0,3 мм) радиального люфта ротора, а на лопатках компрессора и турбины не должно быть следов задевания за корпус (а также гнутых или поломанных лопаток). Турбокомпрессор с поврежденными лопатками уже не подлежит ремонту из-за недопустимой деформации ротора и должен быть заменен. В заключение необходимо рассмотреть еще один вопрос, имеющий практическое значение и связанный с турбокомпрессорами. Встречаются ситуации, когда турбокомпрессор выходит из строя, а автомобиль все же должен эксплуатироваться. Существует несколько вариантов решения проблемы. Основная задача здесь - исключить поступление масла в газоздушный тракт двигателя через разрушенные уплотнения турбокомпрессора. Это можно сделать следующим образом:

- Перекрыть трубопровод подачи масла в турбокомпрессор, не разбирая его;
- То же, но, разобрав агрегат и установив вместо ротора заглушку, препятствующую перетеканию газов из выпускной системы во впускную;
- Демонтировать турбокомпрессор, установив на его место специально изготовленный выхлопной патрубок и удлинив впускной трубопровод.

Все варианты достаточно просты и отличаются только уровнем падения мощности двигателя. В первом и втором случае к отсутствию наддува добавляется сопротивление, как во впускной, так и в выпускной системе. А при демонтаже турбокомпрессора двигатель будет работать, как обычный атмосферный - здесь потери мощности будут происходить только по причине пониженной степени сжатия и несоответствия настроек ГРМ.

3. Какой двигатель лучше - турбированный или обычный?

Как официальный представитель крупнейшего в мире производителя турбокомпрессоров, мы конечно скажем Вам, что турбированные двигатели - лучше. Но не полагайтесь просто на слово. Ознакомьтесь со следующими фактами и примите решение сами.

Турбированный двигатель - лучше, потому что:

- Турбирование обеспечивает маленькому двигателю мощность (л.с.) большого, а большой двигатель делает еще мощнее. (Турбированный двигатель может иметь мощность на 40% выше, чем у такого же двигателя без турбины).
- Он имеет пониженный выброс вредных веществ в атмосферу. (Т.к. турбокомпрессор поставляет добавочный воздух в двигатель, сгорание топлива становится более полным и беззодходным).
- Достигается дополнительная экономия топлива. (Теплоотдача и трение существенно возрастают при увеличении объема двигателя. Небольшие турбированные двигатели эффективнее переводят энергию сжигаемого топлива в полезную мощность, снижая потери последней за счет выделяемого тепла и трения).
- Он предотвращает потерю мощности на местности с большими высотами. (Двигатель и турбина настраиваются и управляются так, чтобы поддерживать давление, равное атмосферному на уровне моря, в то время как обычный двигатель теряет мощность с ростом высоты местности).

Несомненно, Вы слышали слово <турбина>, прежде всего в разговорах энтузиастов автотюнинга, но все, что Вы знаете о турбине - это то, что с ней двигатель становится мощнее. Но что именно происходит под капотом? Давайте откроем капот и посмотрим.

Все дело - в лучшем сгорании

Чтобы лучше понять, что именно дает турбокомпрессор Вашему двигателю, нужно знать основные принципы внутреннего сгорания. Двигатели внутреннего сгорания "дышат". Другими словами, они втягивают воздух и топливо для выработки энергии. Эта энергия переходит в мощность, как только воздушно-топливная смесь поджигается. После этого остатки процесса горения выбрасываются в атмосферу. Весь процесс обычно выражается в четырех тактах поршней. Турбокомпрессор делает воздушно-топливную смесь "более сгораемой" путем подачи дополнительного воздуха в цилиндры двигателя, что, в свою очередь, дает дополнительную мощность и крутящий момент, когда в результате "мини взрыва" поршень движется вниз. Турбокомпрессор конденсирует или сжимает молекулы воздуха так, чтобы поступая в двигатель, он становился плотнее. Теперь о том, как именно

турбокомпрессор это делает.

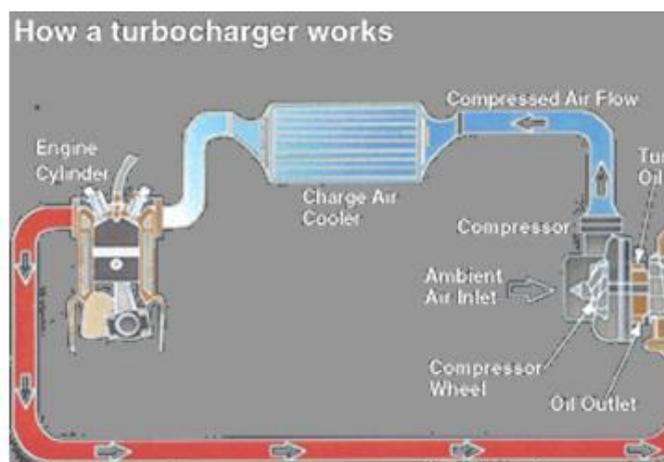
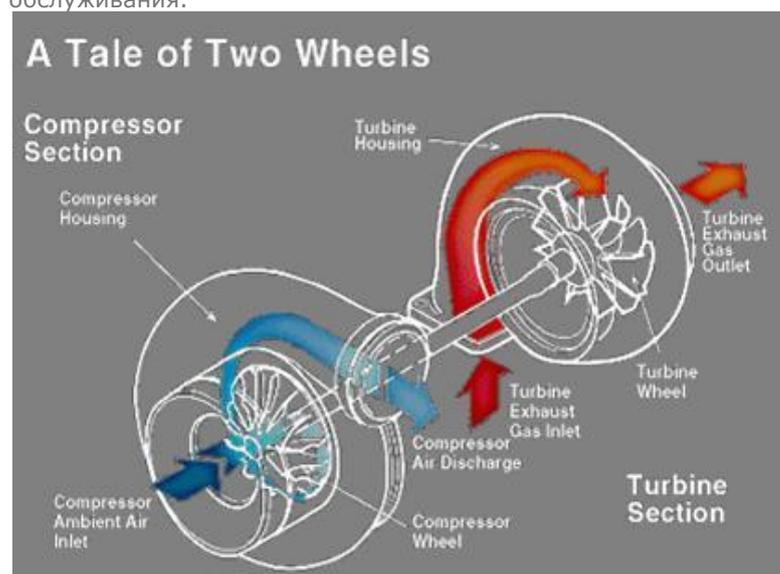
Турбокомпрессор подобен воздушному насосу. Горячие выхлопные газы, выходящие из двигателя, попадают на колесо турбины и раскручивают его. Это колесо через вал сообщается с колесом компрессора, заставляя его вращаться. Вращающееся колесо компрессора втягивает и сжимает воздух, который затем подается в цилиндры двигателя. Как можно догадаться, сжатый воздух, отходящий от колеса компрессора, сильно нагревается за счет компрессии и трения. Поэтому его приходится охлаждать перед подачей в цилиндры. Для этого используется промежуточный охладитель (или <теплообменник>). Он понижает температуру воздуха, одновременно уплотняя его (как известно, при нагревании вещества расширяются).

Некоторые системы также включают дополнительный вентилятор охлаждения, прогоняющий воздух через теплообменник.

Не все так просто, как кажется

Несмотря на достаточно простой принцип работы, сам турбокомпрессор представляет собой очень тонкое устройство.

Требуется не только исключительно точная подгонка деталей внутри турбокомпрессора, но и идеально согласованная работа турбокомпрессора и двигателя. При отсутствии такого согласования, двигатель не только будет работать неэффективно, но и может быть поврежден. Поэтому важно в точности следовать технологии установки и обслуживания.



Срок службы в составе двигателя

Общий 1,000-часовой тест работы в составе двигателя проводится в собственных лабораториях Holsett. Некоторые двигатели отказывают раньше, чем турбины!

Циклическая нагрузка на газовом стенде

500-часовой общий тест на прочность турбокомпрессора. Турбина, прошедшая его, может считаться <крепким орешком>!

Тест на прочность корпусов турбины и компрессора

Колеса турбины и компрессора ослабляются до <разрыва втулки> на заданной скорости. Ни один кусок колеса не должен оказаться за защитным кожухом турбокомпрессора. Это - тест на безопасность.

Вращение вала

Максимальные допуски в системе подшипников тестируются на динамическую стабильность при скорости вращения, превышающей максимальную. Цель: отсутствие проблем с подшипниками и долгий срок службы турбины

Тестирование упорного подшипника

Тестируя упорный подшипник в экстремальных условиях, мы должны быть уверены, что Ваша турбина **выдержит любые нагрузки**. Тест уплотнений компрессора и турбины

Несколько экземпляров турбокомпрессора подряд тестируются на двигателе при условиях, которые должны вызвать протечку. Не допускается никакая мало-мальски значимая протечка.

Теплоемкость

Турбокомпрессор, укомплектованный термopарами, разогревается до температуры, превышающей максимально допустимую рабочую и резко тормозится. Тест проводится 5 раз подряд, чтобы убедиться, что при максимальной температуре не происходит <коксовость> масла и его накопление в среднем корпусе. Это особенно критично для бензиновых двигателей.

Выполнение компрессором и турбиной рабочих характеристик

Весь рабочий цикл компрессора и турбины записывается на <Газовых стендах>. Эти стенды калиброваны в соответствии с жесточайшими стандартами по точности и стабильности.

Вибрации лопаток компрессора и турбины Holsett предъявляет очень жесткие требования к естественной вибрации лопаток. Это особенно важно при балансировке, когда лопатка должна быть установлена достаточно жестко, чтобы выдержать потенциально опасные вибрации.

Термоцикл 200-часовой тест, в течение которого турбина нагревается <докрасна> каждые 10 минут. Трещины в корпусе или повреждения тепловой изоляции недопустимы.

Инерционность ротора

Тест на вращательную инерцию колес турбины и компрессора. Турбины Holsett известны своей низкой инерционностью.

Критическая скорость вращения вала

Аналитический тест, призванный установить предельно допустимую скорость вращения вала, не приводящую к его разрушению. Например, большим колесам может понадобиться вал большего диаметра, чтобы не допустить раскрутку вала до критической скорости, при которой он погнется.

Усталость компрессора Holsett не продает литые колеса турбины или компрессора, не прошедшие тест на циклическую усталость.

Вибрация турбокомпрессора

Турбокомпрессор в сборе подвергается вибрации на специальном столе.

Сегодняшние пользователи дизельных двигателей, предназначенных для работы в тяжелых условиях, хотят видеть дизель с идеальной переходной характеристикой, большим запасом крутящего момента и максимально экономичный во всех рабочих режимах. Турбины с большой производительностью обеспечивают высокое сжатие и приличную экономию топлива при высоких оборотах двигателя, но обычно имеют большое время отклика и не обеспечивают такого запаса крутящего момента, как турбины с малой производительностью.

Низкопроизводительные турбины обычно имеют хорошую передаточную характеристику и обеспечивают приличный

наддув на малых оборотах двигателя, создавая запас крутящего момента. Однако, при высоких оборотах двигателя они начинают либо "задыхаться", либо требуют отвода существенного объема воздуха через перепускной клапан. Это существенно понижает эффективность турбины, увеличивает возвратное давление в двигателе и увеличивает расход топлива.

Адаптация турбины, таким образом, всегда - компромисс: как правило, турбокомпрессор имеет размер больше, чем нужно для хорошего отклика и запаса крутящего момента, и меньше, чем нужно для экономичности на больших скоростях.

Технология турбин с изменяемой геометрией сопла (VNT) - идеальное решение, призванное заменить большой компромисс. В VNT для направления потока в турбину используется набор настраиваемых лопаток или форсунок. Когда лопатки закрыты, поток направляется на колесо турбины по касательной. Так колесу турбины передается максимальная энергия, и оно начинает вращаться быстрее. Опуская (закрывая) лопатки, можно получить отличную переходную характеристику и добиться наддува при низких оборотах двигателя, увеличивая запас крутящего момента.

Наоборот, когда лопатки открыты, поток направляется на колесо турбины под большим углом. Это снижает угловой момент потока, существенно понижая обороты турбокомпрессора. Таким образом, при высоких оборотах двигателя лопатки могут быть открыты для управления давлением наддува без использования перепускного клапана. Это дает существенную экономию топлива.

VNT также позволяет оптимизировать баланс между разницей давлений в турбокомпрессоре и составом воздушно-топливной смеси. Закрывая лопатки, турбокомпрессор увеличивает обороты, давление наддува растет и пропорция <воздух/топливо> также растет. Обратное давление в двигателе также возрастает. Так достигается оптимальный расход топлива во всех рабочих режимах.

Способность VNT перестраиваться на ходу позволяет двигателю создавать максимальный крутящий момент, одновременно имея минимальный расход топлива. Это проиллюстрировано ниже. Способность VNT создавать наддув при низких оборотах двигателя также значительно снижает количество выбрасываемых в атмосферу на холостом ходу вредных микрочастиц.

Словарь терминов

Параметр A/R (отношение площади контрольного сечения турбины к радиусу нахождения языка корпуса турбины относительно оси) описывает геометрию корпусов компрессора и турбины. Увеличение A/R компрессора оптимизирует работу ТБК там, где требуется малый наддув. Изменение A/R имеет большое значение. При использовании большего A/R наддув начинается при больших оборотах двигателя, увеличивается пропускная способность турбины, меньший объем воздуха отводится через перепускной клапан, уменьшается возвратное давление в двигателе, объемная эффективность работы двигателя возрастает, и, следовательно, возрастает мощность.

CHRA

CHRA - картридж центрального (среднего) корпуса CHRA - это весь турбокомпрессор, но без корпусов турбины и компрессора.

Наклонные выходные кромки лопаток колеса турбины

Когда машинной обработкой создается наклон кромки лопаток рабочего колеса турбины (на внешней стороне), говорят, что колесо было "загнуто". "Загиб" вызывает незначительное увеличение пропускной способности колеса, однако, радикально снижает эффективность турбины. В результате турбина позже переходит в режим наддува. Там, где требуется серьезный наддув, использование <загнутых> колес турбины категорически не рекомендуется. Все турбокомпрессоры Garrett серии GT имеют колеса турбин с лопатками без наклонных кромок.

Корпуса турбин с радиально направленным входным патрубком

Термин относится к устаревшему исполнению входного патрубка турбины, направленного к корпусу турбины радиально, а не тангенциально. Такая конструкция существенно снижает эффективность турбины. В результате наблюдается задержка начала наддува, повышенное возвратное давление, меньшая объемная эффективность двигателя и снижение мощности. Ни один из клиентов Garrett не использует подобную конструкцию.

Перепускной клапан

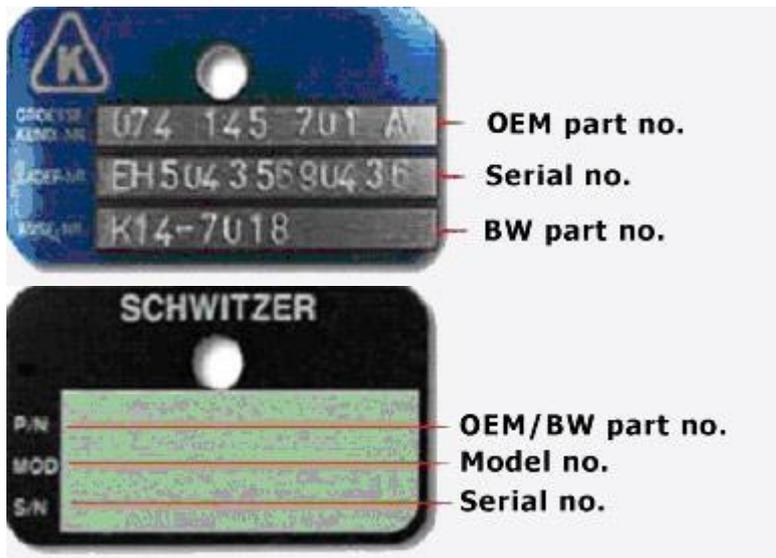
Турбокомпрессор с перепускным клапаном имеет встроенное устройство, ограничивающее наддув. Оно состоит из пневматического привода и связанного с ним клапана. Устройство смонтировано внутри турбины. С помощью пневмопривода регулируется давление наддува. Результатом являются долгий срок службы и более быстрый регулируемый наддув.

4. Подбор турбокомпрессора

Квалифицированный подбор турбокомпрессора можно осуществить при наличии следующей информации:

- Номера с таблички турбины (самого производителя турбины и оригинальный номер).
- Название производителя турбины.
- Марка, модель и номер шасси машины.





OEM part no.: Номер турбины, присвоенный производителем машины.

Serial number: Серийный номер турбины, уникален для каждого изделия.

BW part number: Каталожный номер ТКР, присвоенный BorgWarner (бывший KKK/Schwitzer кат. номер). Этот номер позволяет определить турбину

Примеры маркировки турбин разных производителей:

O.E.M	Garrett	Holset	M.H.I	KKK	Schwitzer	I.H.I
Turbo Type, this links the turbo to size and family.	GT15	H1C	TD04	K03	S2A	RHB3
	T2, T3	H2D	TE05	K04	S3B	RHF5B
	T04B	HX50	TD08	K16	S4T	RHC7
Part Number, this defines a turbo exactly.	454086-1	3522778	49177-02501	5303-970-0003	311041	VQ22
	465318-3	3525994	49189-01200	5314-970-7001	311758	VI95