

4.6. Повышение ресурса деталей механизма привода клапанов

Проблема повышенного износа деталей газораспределительного механизма двигателей ВАЗ 2101, 03, 05, 06, 011 и в настоящее время остается открытой, несмотря на применение предприятием – производителем автомобилей современных технологий. Кроме того, в продажу поступают детали механизма газораспределения, которые производятся другими предприятиями и имеют качество намного хуже.

Для разработки путей повышения ресурсов и восстановления таких деталей механизма газораспределения, как рычаги привода клапанов и распределительные валы, сначала была проведена работа по выяснению причин их повышенных износов, а именно:

- исследование структуры и механических свойств материала распределительных валов и рычагов привода клапанов;
- изучение закономерности износа кулачков распределительных валов, рычагов привода клапанов и их макрогеометрии;
- определение причины повышенных износов кулачков и рычагов.

Исследование структуры чугуна распределительных валов проводилось на шлифах, вырезанных перпендикулярно оси вала в средней части кулачка. Шлифы изучались на металлографическом микроскопе модели МИМ-9М при увеличении 100 и 400 крат в нетравленном виде и после травления 4%-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте.

По данным металлографического анализа, в структуре закаленного слоя кулачка вала наблюдается мартенсит отпуска и включения равномерно распределенного графита глобулярной формы средних размеров. Включения свободного феррита и цементита практически отсутствуют. В структуре сердцевины наблюдается графит аналогичной формы и металлическая матрица в виде сорбитообразного перлита. Макроанализ структуры показывает, что толщина закаленного слоя кулачка максимальна возле его

вершины и достигает 4...5 мм. Твердость закаленного слоя у проверенных валов находится в пределах 53...56 HRC, сердцевины – 25...30 HRC. Шероховатость рабочих поверхностей кулачков не превышает $R_a - 0,63$ мкм. Структура и твердость говорят о высоком качестве распределительных валов.

При исследовании структуры и твердости рычагов привода клапанов выявлено, что их твердость находится в границах 25...32 HRC, что значительно ниже необходимых.

Микрометраж и внешний осмотр изношенных деталей проявляет весьма неравномерный износ кулачков распределительного вала. На одном вале есть кулачки с максимальным износом 0,05 и 5 мм, с одним или несколькими изношенными кулачками. Нет закономерности в порядковом номере изношенных кулачков.

Износ кулачков распределительного вала носит неравномерный характер (рис. 4.10). Наибольшая величина износа наблюдается у вершины кулачка, где действуют максимальные давления и скорости скольжения.

Но чаще всего изнашиваются кулачки привода впускных клапанов № 2-3, 6-7. Сильные износы вала сочетаются с сильными износами рычагов привода клапанов, но встречаются случаи и превалирования износа одной из деталей. Повышенные износы сопровождаются нарушением макрогеометрии рабочих поверхностей, их огранкою. Для объяснения причин неравномерного износа исследовалась структура и твердость в зоне выработки и у неизношенного кулачка того же вала. Твердость и структура кулачков с катастрофическим и незначительным износом практически не отличаются. Это заставляет искать причину износа не в распределительном вале.



Рис. 4.1. Профиль изношенного и восстановленного кулачков:

j - величина износа кулачка;

d - диаметр начальной окружности неизношенного кулачка;

d' - диаметр начальной окружности восстановленного кулачка;

h - высота нового кулачка;

h' - высота кулачка после восстановления.

Рычаги привода клапанов по качеству также аналогичны между собою. Вид рабочей поверхности валов и рычагов перед началом образования огранки показывает, что на поверхности трения начали образовываться очаги микросхватывания и задиров поверхностей трения. Искать причину в плохом подводе смазочного масла не следует, так как трение граничное, а не гидродинамическое, и для нормальной работы было бы достаточно подавать значительно меньше смазочного масла, чем подается. Пуски двигателя приводят, в основном, к износу опорных шеек вала, которые работают в гидродинамическом режиме трения.

Можно предположить, что перегрузка узла трения по контактными давлениями и связанные с этим катастрофические износы распределительного вала обусловлены двумя причинами:

- завышенной жесткостью клапанных пружин;
- несоответствием свойств моторного масла, которое применяется, давлениям, которые развиваются на поверхностях трения.

В пользу этой гипотезы говорит и повышенный износ кулачков привода впускных клапанов, так как их масса больше, чем выпускных, и соответственно большие силы инерции и контактные давления на поверхности трения.

Устранить причину износа вала, варьируя жесткостью клапанных пружин, довольно просто. Для этого нужно знать необходимую жесткость, которая обеспечивает неразрывность кинематической цепи деталей газораспределительного механизма на максимально возможной частоте вращения коленчатого вала. Такой частотой, с учетом 10%-ного превышения, является частота 6000 1/мин. Динамический расчет механизма привода впускного клапана (как более массивного) показывает, что для нормальной работы достаточно первоначальное максимальное усилие сжатия пружины около 100 Н. На клапан же установлены две пружины, усилием 300 и 150 Н, что значительно превышает необходимое. Кроме того, жесткость пружин клапанов на одном двигателе значительно отличается одна от другой (табл. 4.15).

Таблица 4.1

Усилие сжатия пружин в предельном рабочем состоянии и износы кулачков распределительного вала

Номер кулачка	Усилие сжатия внешней пружины, Н	Усилие сжатия внутренней пружины, Н	Суммарное усилие, Н	Износ кулачка, мм
1	445	280	625	0,02
2	460	270	630	0,05
3	480	260	640	0,25
4	460	290	650	0,04
5	455	285	640	0,03
6	485	265	670	1,72
7	490	262	652	0,07
8	470	290	660	0,52

Как видим из таблицы, на одном двигателе установлены пружины с разной жесткостью. Анализ жесткости пружин других двигателей дает

аналогичную картину. В тех случаях, если две более жесткие пружины попадают на впускной клапан, вероятность износа кулачка распределительного вала наибольшая. С учетом сил инерции контактное давление между распредвалом и рычагом привода клапана доходит до $2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$. О большей доле жесткости пружин в общем давлении на распределительный вал говорит и характер его износа: кулачок сильно изнашивается как на участке открытия клапана (если преодолевается сопротивление пружин и силы инерции), так и на участке закрытия клапана (когда усилие на распределительный вал равняется усилию пружин минус силы инерции). Дополнительные контактные давления возникают из-за наличия зазора между валом и рычагом и удара кулачка по рычагу. Здесь в особенности опасное наличие повышенного зазора.

Развиваемые контакты давления между кулачком распредвала и рычагом привода клапана превосходят допустимые для применяемого масла М63/10Г₁ и приводят к катастрофическим износам. Снижение жесткости клапанных пружин сдвигает рабочую зону в область допустимых давлений (рис. 4.11).

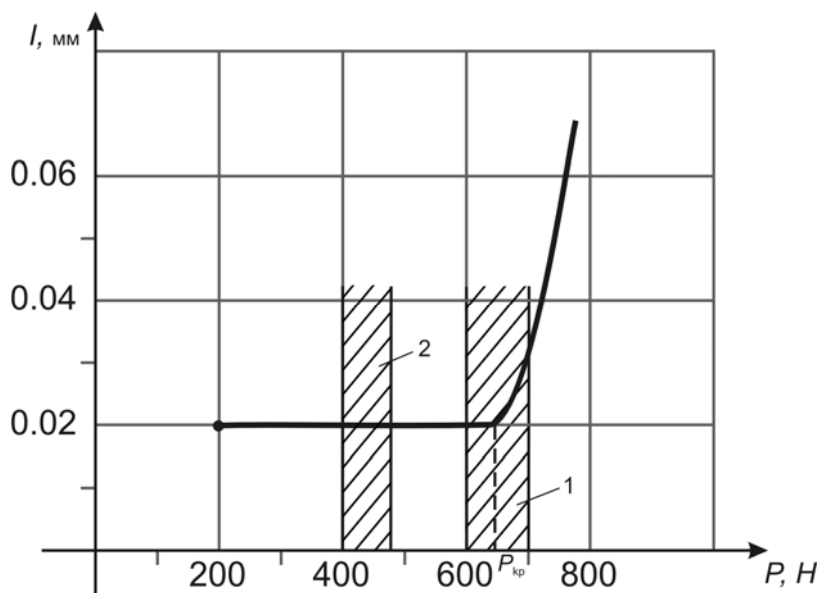


Рис. 4.2. Зависимость износа кулачков от усилия сжатия клапанных пружин:

1 - зона работы кулачков с двумя пружинами;

2 - зона работы кулачков с одной пружиной.

С учетом этих соображений проведены эксплуатационные испытания двигателей ВАЗ 2101, 21011, 2103, 2105 и 2106 при работе только с одной внешней пружиной.

Большинство автомобильных двигателей отечественного и зарубежного производства имеют одну пружину со значительно меньшей относительной жесткостью, что не вызывает проблем износа распредвалов, даже при работе на отечественных маслах.

Всего под наблюдением находилось более 50 двигателей на протяжении 15 лет. За этот период автомобили имели пробег от 30 до 250 тыс. км. Случаев катастрофических износов распределительных валов и рычагов отмечено не было. Сгиб клапанов, прогорания их и других нежелательных явлений не наблюдалось. При этом установлено, что клапаны начинают вращаться вокруг оси и износ торца стержня клапана равномерный, седла клапана также в лучшем состоянии. Снизились износы цепи и ремня привода распредвала и шумность работы двигателя. При работе двигателя с одной пружиной клапана необходима установка цельной нижней тарелки пружины (вместо двух).

Проведенные расчеты динамики и большой опыт работы двигателей всех моделей с одной пружиной позволяют рекомендовать это мероприятие для широкого внедрения. Единый противник этого решения – так называемый “втык” клапанов, который возможен при разгоне двигателей до больших оборотов. Наш опыт и опыт других (о чем свидетельствует большое количество сообщений) исключает эту возможность. И это и маловероятно, так как, по данным самого ВАЗа, двигатели на частотах больше 6000 1/мин практически никогда не работают, что и недопустимо. Кроме того, на двигателях ВАЗ 2105 в поршнях сделаны специальные проточки, которые полностью исключают столкновение клапанов с поршнем, а у двигателей ВАЗ 21011 и 2106 поршень имеет проточку, которая уменьшает вероятность встречи клапана с поршнем, у двигателей ВАЗ 2103 и 2106, кроме того, поршень еще и опущен в блоке.

С целью восстановления деталей газораспределительного механизма, которые вышли из строя, была разработана специальная технология и оборудование, которые могут найти применение в условиях любой станции технического обслуживания, даже в пунктах обслуживания или коллективе энтузиастов. Восстанавливались распределительные валы и рычаги привода клапанов с максимальными износами до 1,5...2 мм.

Технология восстановления распределительных валов состоит в следующем. При износе кулачков до 1 мм осуществлялось их эквидистантное перешлифовывание (рис. 4.11) на специальном станке. При таком перешлифовывании осуществляется сохранение всех параметров кулачка: высота подъема ($h' = h$) и фаз газораспределения. Твердость кулачка не изменяется, так как глубина закаленного слоя значительно больше слоя металла, который снимается при шлифовании. Окончательной обработкой было фосфатирование кулачков в растворе солей фосфорной кислоты при температуре 100 °С на протяжении 15...18 минут. Опорные шейки изолировались клейкой лентой.

Такой метод восстановления без наплавки и напыления исключает деформацию вала и обеспечивает качество рабочей поверхности не худшее, чем у нового вала.

Приспособление для перешлифования представляет собой настольный копировально-шлифовальный станок (рис. 4.12).

Распределительный вал 1, который обрабатывается, своими крайними опорными шейками вращается в двух корпусах 2, которые жестко крепятся на колеблющейся плите 3. Копир 4 (новый распределительный вал) установленный аналогично и симметрично относительно к оси колебания 5. Ось колеблется на шариковых подшипниках в корпусах 6, которые закреплены на станине 7. Обрабатываемый вал и копир соединены между собою зубчатыми колесами 8 и согласованно оборачиваются с помощью маховика. Обработка осуществляется абразивным кругом 9 диаметром 150 мм и шириной 40 мм, что приводится в действие электродвигателем 10 через

клиноременную передачу 11. Подача осуществляется микрометрическим винтом 12, который установлен на стойке 13 через ползун 14. Для сохранности профиля кулачка ползун имеет сектор такого же радиуса, что и шлифовальный круг. Перемещение шлифовального круга вдоль оси вращения осуществляется с помощью цангового зажима.

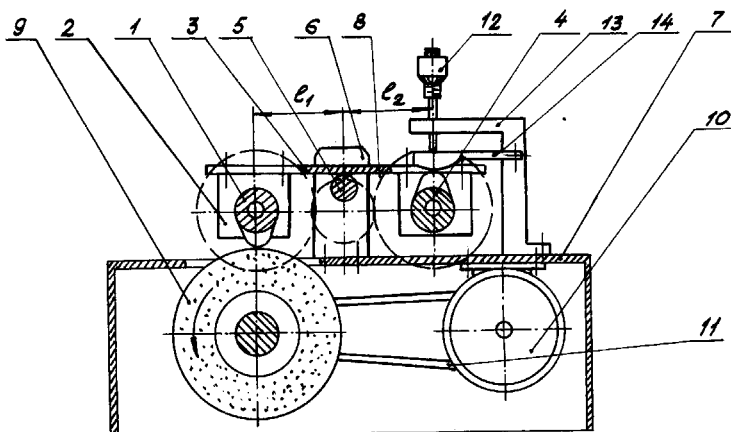


Рис. 4.3. Кинематическая схема настольного копировально-шлифовального станка:

- 1 – распределительный вал;
- 2 – корпус;
- 3 – колеблющаяся плита;
- 4 – копир;
- 5 – ось колебания;
- 6 – корпус;
- 7 – станина;
- 8 – зубчатые колеса;
- 9 – абразивный круг;
- 10 – электродвигатель;
- 11 – клиноременная передача;
- 12 – винт;
- 13 – стойка;
- 14 – ползун

Характеристики станка отражены в табл. 4.16:

Таблица 4.2

Характеристика настольного шлифовально-копировального станка

Габариты	500 x 500 x 400 мм
Масса	30 кг
Мощность электродвигателя	400 Вт
Частота вращения электродвигателя	2900 1/мин
Частота вращения абразивного круга	4500 1/мин
Род тока	220 В, 50 Гц, I фаза
Время обработки одного кулачка с износом 1 мм	3...4 мин

При больших износах распредвала, что доходят до 2 мм, возможно его неэквидистантное перешлифовывание (рис. 4.13).

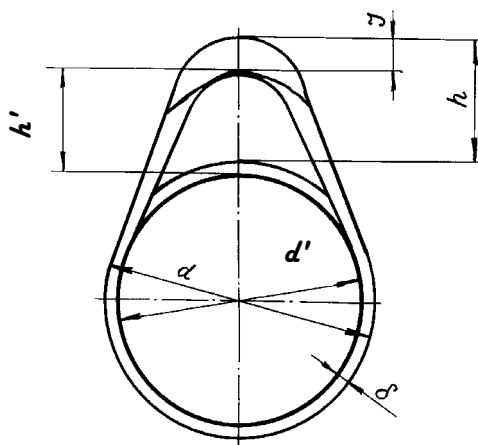


Рис. 4.4. Схема неэквидистантного шлифования распредвала при значительных величинах износа кулачка:

J – износ кулачка;

h – высота нового кулачка;

h' – высота перешлифованного кулачка $h' \neq h$;

d – диаметр начальной окружности нового кулачка;

d' – диаметр начальной окружности восстановленного кулачка;

δ – толщина снимаемого слоя.

При этом глубина слоя металла начальной окружности распредвала δ , что снимается, равняется 1 мм и меньше, чем величина износа (J). Такая обработка разрешает сохранить фазы газораспределения, но снизить параметр "время-сечение" открытия клапана за счет снижения высоты кулачка h до h' .

Но при этом происходит уменьшение сил инерции и усилий сжатия пружин и повышение ресурса вала. Возрастания затрат горючего и снижения мощности двигателя выявлено не было.

Эта обработка осуществляется на том же копировально-шлифовальном станке (рис. 4.12.), но при изменении соотношения плеч l_1 и l_2 , как 5:6.

Восстановление рычагов привода клапанов является более простой задачей. Технология состоит в следующем: рычаги отжигаются при температуре 750...780 °С и охлаждаются вместе с печью. (Желательно отжиг осуществлять в расплаве солей или изолированно от воздуха для предотвращения окисления). Потом рычаги сгибаются на величину немного большую, чем величина износа (рис. 4.14).

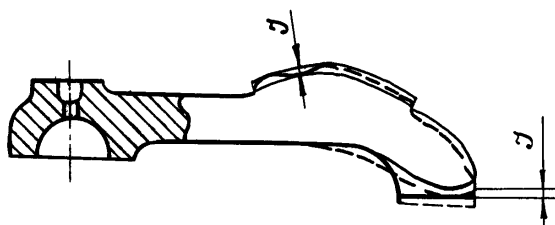


Рис. 4.5. Схема изгиба рычагов привода клапанов:

J – величина износа.

Рабочая поверхность рычага шлифуется на специальном станке до исчезновения следов износа (рис. 4.15).

Рычаг 2 устанавливается на оправку 3 с помощью винта 6 и прижимается к абразивному кругу 1. Оправка имеет возможность качаться на оси 5 с помощью рукоятки 4, расстояние от центра оси 5 до рабочей поверхности рычага 26 мм, что обеспечивает необходимый профиль. Подача осуществляется за счет передвижения оси 5 или шлифовального круга. После механической обработки рычаги подвергаются цементации в твердом карбюризаторе (активированный древесный уголь) на протяжении 6 часов при температуре 930...950 °С. Потом температура в печи снижается до 750...780 °С и осуществляется закаливание рычагов в воде с цементационного нагрева. Для снятия внутренних напряжений осуществляется отпуск при 200...220 °С на протяжении 1,5...2 часов. Твердость рычагов 55...57 HRC.

При малых величинах износа рычаги можно не отжигать и не изгибать.

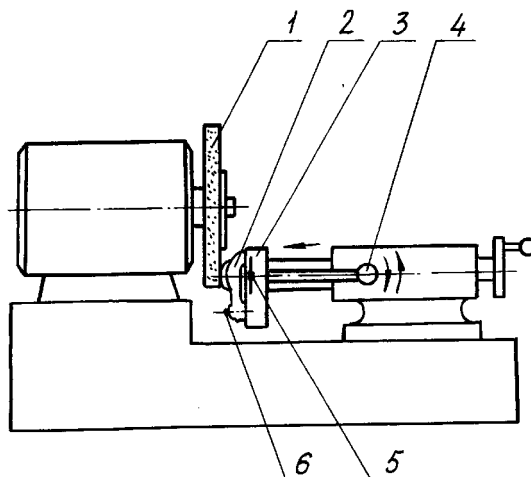


Рис. 4.6. Станок для шлифования рычагов привода клапанов:

- 1 – абразивный круг;
- 2 – рычаг привода клапана;
- 3 – оправка;
- 4 – рукоятка;
- 5 – ось качания;
- 6 – винт крепления рычага.

Кулачковый механизм является яркой иллюстрацией неравномерного износа рабочей поверхности в результате неравномерных условий трения в отдельных точках поверхности. Исходя из этого, оптимальными являются переменные свойства материала поверхности деталей в зависимости от внешних условий трения, которые обеспечиваются за счет закалки токами высокой частоты (рис. 4.16.)

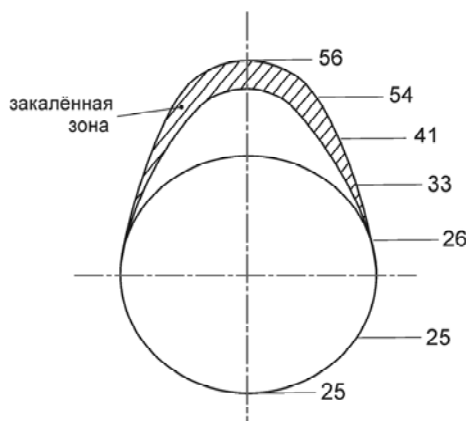


Рис. 4.7. Распределение твердости по поверхности кулачка

Эксплуатационные испытания восстановленных валов и рычагов при работе с одной пружиной доказали, что износ вала не превышает 0,03...0,04 мм за 100 тыс. км пробега. Износы рычагов еще меньше. Случаев повышенных износов не зафиксировано.

В заключение можно отметить следующее:

1. Причиной катастрофических износов распределительных валов двигателей ВАЗ является завышенная жесткость клапанных пружин, которая не соответствует применяемому маслу.

2. Эксплуатация двигателей ВАЗ с одной пружиной привода клапанов полностью исключает преждевременный износ распределительного вала и рычагов привода клапанов.

3. Установка только одной пружины привода клапана позволяет ВАЗу получить значительную экономию металла и снизить потери по рекламациям.

4. Разработана простая и доступная технология восстановления деталей газораспределительного механизма двигателей ВАЗ.