

УДК 629.021, 620.19
DOI: 10.12737/23234

К.С. Ремнев, О.Г. Гоманчук, С.А. Тишин

РАЗРУШЕНИЕ КОРПУСА ТОПЛИВНОГО НАСОСА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ ВСЛЕДСТВИЕ КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ

Изучено состояние материала корпуса топливного насоса высокого давления (ТНВД) легкового автомобиля, разрушенного в процессе эксплуатации. Установлено, что разрушение произошло в результате образования и развития трещины,

возникшей из-за охрупчивания границ зерен металла вследствие коррозионного растрескивания.

Ключевые слова: топливный насос высокого давления, ТНВД, впускной клапан, камера сжатия, разрушение, коррозионное растрескивание, пластическая деформация.

K.S. Remnev, O.G. Gomanchuk, S.A. Tishin

DESTRUCTION OF MOTOR CAR HIGH-LIFT FUEL PUMP CASING CAUSED BY CORROSION CRACKING

The paper reports the state of casing material of motor car high-lift fuel pump destructed during operation. With the purpose of the material study on defects existence in the structure there is carried a metallograph analysis of cap material in an inlet valve. The investigation of non-metal inclusions was carried out in accordance with the requirements of RSS 1778-70. At the same time there was carried out the investigation of a sample microstructure. The analysis of the totality of destruction facts revealed allowed drawing a conclu-

sion that a casing destruction in a HLFP took place in the area of a lower turn of cover thread of one of inlet valves. It is established that the destruction occurred as a result of crack formation and its growth. A crack arose in the course of operation as a result of edge brittleness in metal grains caused by the development of corrosion cracking processes development.

Key words: high-lift fuel pump, HLFP, inlet valve, compression chamber, destruction, corrosion cracking, plastic deformation.

В современных высокотехнологичных автомобилях всё большее значение приобретают качество исходных материалов, контроль изготовления агрегатов на каждом этапе технологической цепочки и условия работы. Рассмотрим влияние качества материала и условий работы на выход из строя одного из самых ответственных агрегатов автомобиля – топливного насоса высокого давления (ТНВД).

Предметом исследования является корпус одного из плунжеров ТНВД автомобиля Volkswagen Touareg (рис. 1). Данный ТНВД представляет собой двухплунжерный насос, который обеспечивает необходимое для работы системы впрыска давление до 2000 бар.

В процессе эксплуатации произошло разрушение камеры сжатия в области нижнего витка резьбы крышки впускного клапана ТНВД (рис. 2).

Изделие в процессе эксплуатации испытывает циклические знакопостоянные напряжения вследствие сжатия топлива плунжером. Преобладающей схемой нагружения является трехосное растяжение.

С целью изучения материала на предмет наличия дефектов структуры выполнен металлографический анализ материала крышки впускного клапана.

Приготовление микрошлифов (образцов) для металлографического анализа осуществлялось по стандартной методике на шлифовальном станке «Нерис-3882».

Шлифовку производили в шесть приемов с переходом от наждачной шкурки с более крупным абразивом к шкурке с более мелким абразивом. Полировку поверхности образцов производили на круге из драповой ткани с применением суспензии окиси хрома. Процесс полирования завершали на чистом влажном круге, периодически промываемом водой. Травле-

ние исследуемых образцов проводили стандартным реактивом, применяемым для выявления структуры железоуглеродистых сплавов (3...5 %-й раствор азотной кисло-

ты в этиловом спирте) [1; 2], при комнатной температуре погружением до потускнения поверхности. Продолжительность травления составляла 5...10 секунд.

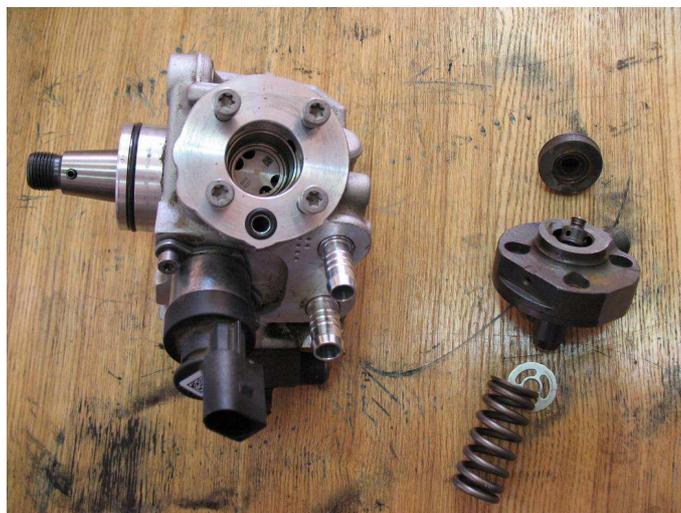


Рис. 1. Разрушенный ТНВД автомобиля Volkswagen Touareg

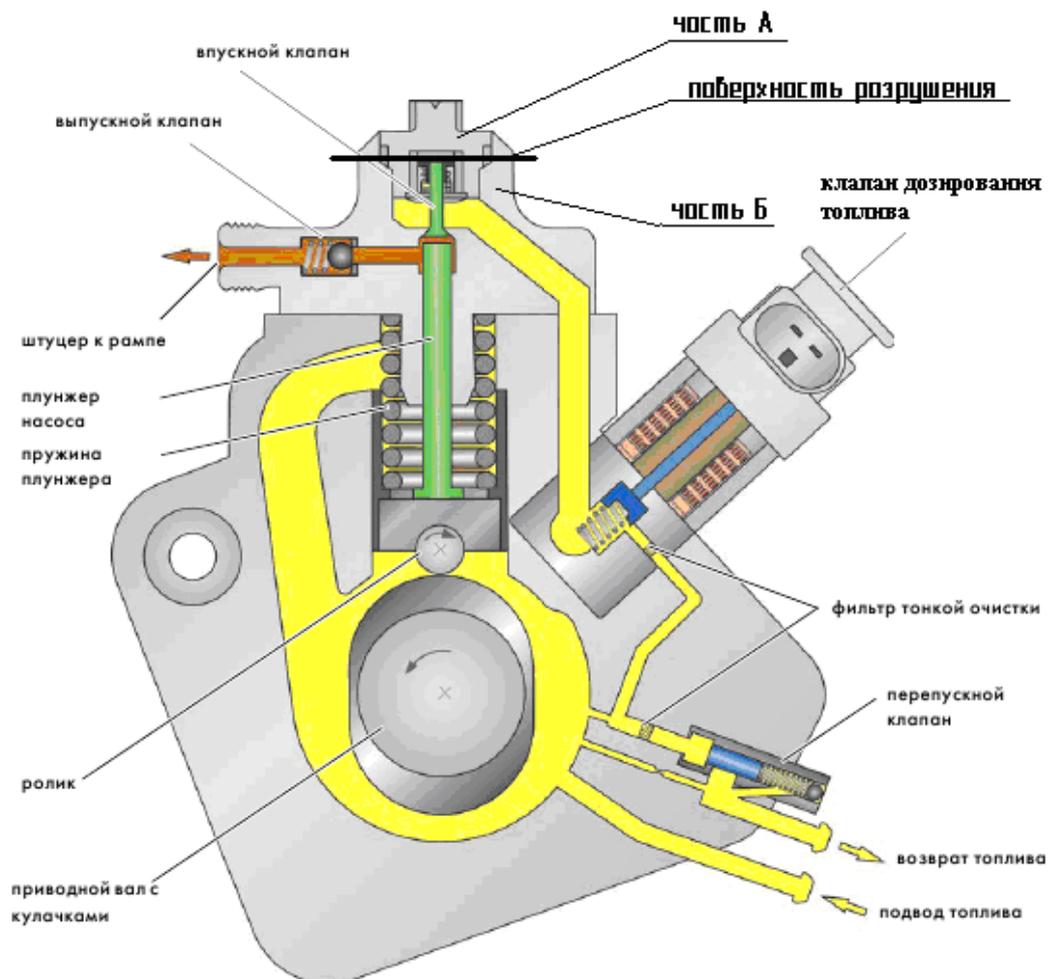


Рис. 2. Схема ТНВД

Исследование неметаллических включений

Исследование неметаллических включений проводится в соответствии с требованиями ГОСТ 1778-70 [3].

Балл неметаллических включений на шлифе оценивали сравнением со шкалой неметаллических включений, приведенной в ГОСТ 1778-70, при стандартном увеличении $\times 100$. Оценка балла проводилась отдельно для различных по природе включений (оксидов, сульфидов, нитридов, силикатов).

При исследовании поверхности шлифа при увеличении $\times 100$ были обнаружены мелкие включения темного цвета, имеющие округлую форму и расположенные хаотическим образом (рис. 3). По этим

признакам можно сделать вывод, что включениями являются оксиды.

На изучаемой поверхности шлифа при увеличении $\times 250$ были обнаружены единичные мелкие сульфиды веретенообразной формы, что свидетельствует о пластической деформации металла.

Силикаты и нитриды на поверхности шлифа не обнаружены.

Балльная оценка по неметаллическим включениям позволяет сделать вывод, что суммарная поверхность, занимаемая оксидами, соответствует 1-му баллу, и может свидетельствовать о том, что исследуемая сталь относится к группе качественных или высококачественных [3].

Исследование микроструктуры образца

Микроструктура исследуемого образца ТНВД представляет собой сорбит отпуска с мелкопластинчатым строением и равномерно распределенными мелкими карбидами примерно одного размера (рис. 4).

Структура исследуемого образца стали не является дефектной и причиной разрушения крышки впускного клапана стать не могла.



Рис. 3. Неметаллические включения на поверхности полированного шлифа крышки впускного клапана, $\times 100$

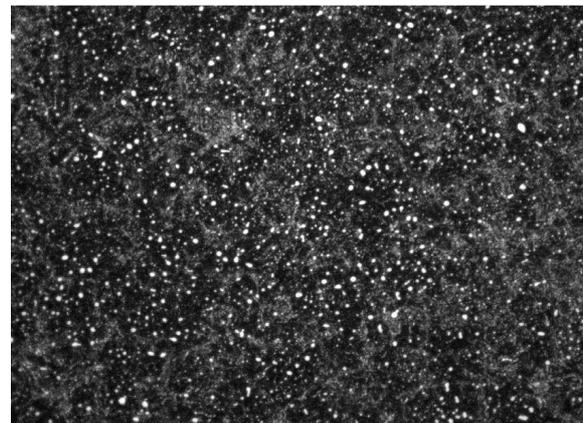


Рис. 4. Микроструктура исследуемого образца стали, $\times 1000$

При визуальном осмотре излома видна неоднородная, с мелкокристаллическим строением поверхность разрушения темно-серого цвета (рис. 5). Гладкая, с мелкокристаллическим строением поверхность излома серого цвета с тусклым металлическим оттенком, различимая только в бинокулярном микроскопе, характерна для бархатистого излома. Бархатистый из-

лом встречается у высокопрочных низкоотпущенных конструкционных сталей с мелкозернистой структурой в деформированном состоянии [1; 2].

Так как изделие работало при циклических нагрузках с преобладающим трехосным растяжением, то по характеру силового воздействия исследуемый излом

можно отнести к излому циклического нагружения - усталостному [1; 2].

С применением бинокулярного микроскопа на поверхности разрушения можно выделить несколько зон, характерных для усталостного излома:

- очаг разрушения (показан на рис. 5 и б) и рубцы, представляющие собой следы слияния отдельных, близко расположенных соседних трещин, распростра-

няющихся в одном направлении от очага разрушения;

- зону долома (зона 4 на рис. 5), которая характеризуется значительной шероховатостью;

- переходную зону (зону ускоренного развития трещины) в изломе четко выделить не удалось, однако о наличии переходной зоны свидетельствует присутствие линий усталости (показаны на рис. 5 и 7) на поверхности разрушения.

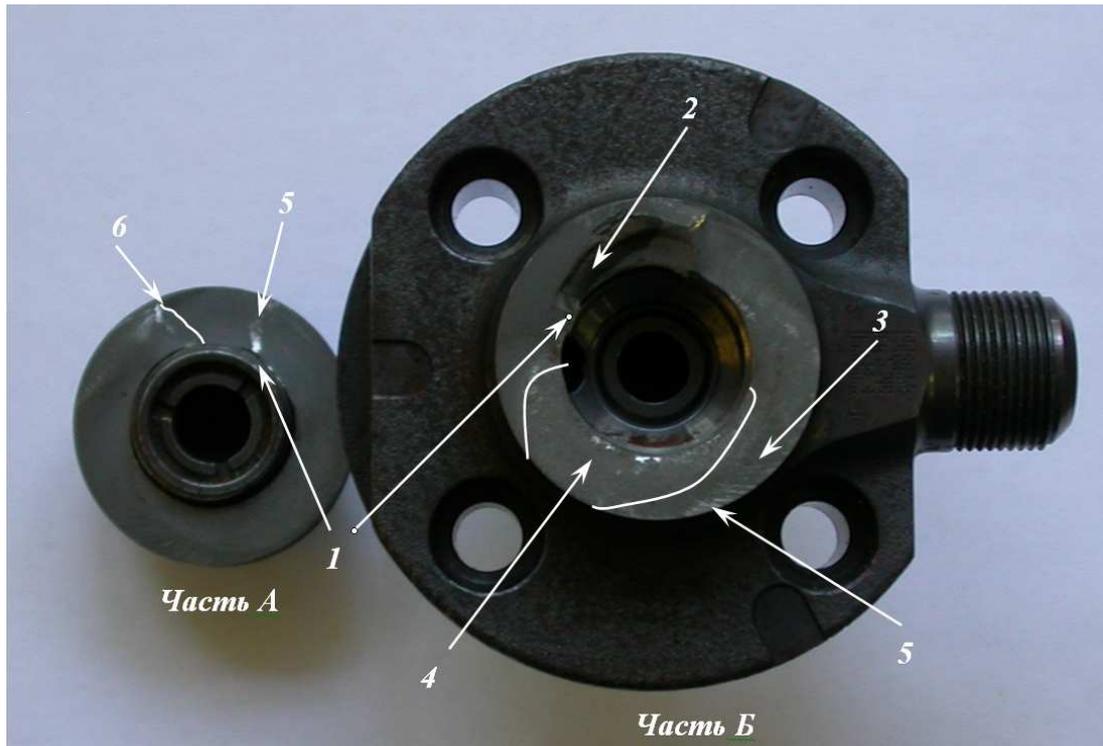


Рис. 5. Поверхность разрушения камеры сжатия ТНВД:
1 - очаг разрушения; 2 - рубцы; 3 - линии усталости; 4 - зона долома;
5 - следы затертости (пластической деформации); 6 - немагистральная трещина

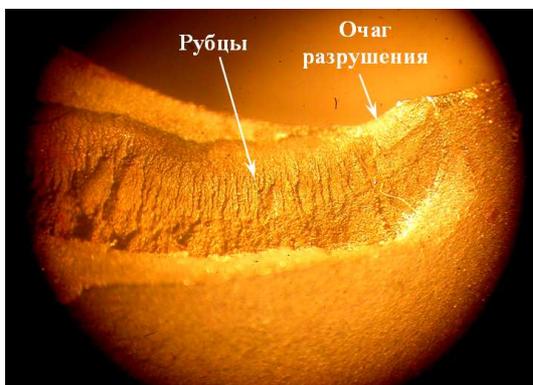


Рис. 6. Очаг разрушения и рубцы на поверхности излома камеры сжатия

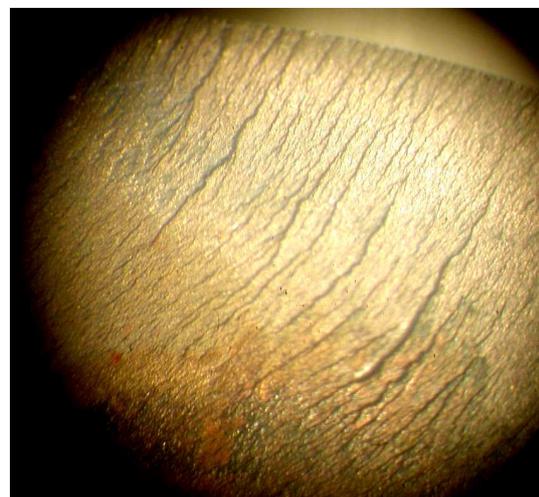


Рис. 7. Линии усталости на поверхности излома

В месте зарождения трещины (рис. 6, 8) и в зоне ее первоначального распространения на поверхности излома обнаружено темное пятно. Вблизи места зарождения трещины видны следы затертости поверхности излома (рис. 5), свидетельст-

вующие о том, что изделие работало какое-то время с уже зародившейся трещиной. При осмотре поверхности излома части А на внутреннем диаметре (в месте резьбового соединения) обнаружены сколы (рис. 5, 8).



Рис. 8. Сколы и немагистральная трещина на поверхности излома камеры сжатия (часть А): а - $\times 25$; б - $\times 50$

При визуальном осмотре места разрушения не было обнаружено признаков дефектных структур металлургического происхождения.

Как известно из технической литературы [6], высокопрочные стали обладают высокой чувствительностью к концентраторам напряжений при однократном и многократном нагружении и к воздействию внешней среды.

Концентраторами напряжений могут быть различные выточки, галтели, отверстия, резьбы и т.п. Разрушающее напряжение при испытании на изгиб образцов высокопрочных сталей с жестким концентратором (трещиной) может быть значительно меньше, чем для образцов сталей средней прочности.

К недостаткам низкоотпущенных высокопрочных сталей относится большая чувствительность к действию различных сред (водородная хрупкость, возникающая при травлении и гальванических покрытиях, хрупкость при контакте с водой, металлическими расплавами и т. д.) [6].

Водородной хрупкостью называют ухудшение одной или нескольких механи-

ческих характеристик металла в результате его наводороживания. Водородное охрупчивание отражает совокупность изменяющихся механических свойства металлов взаимосвязанных явлений, в каждом из которых участвует водород. Склонность стали к водородному охрупчиванию оценивают в основном по снижению ее пластичности.

Особенно опасный вид коррозионного разрушения сталей - коррозионное растрескивание. Коррозионное растрескивание металлов происходит при одновременном воздействии статических растягивающих напряжений (внешних или внутренних) и коррозионной среды. При этом наблюдается хрупкое разрушение, и оно направлено перпендикулярно действию растягивающих напряжений.

При коррозионном растрескивании сталей в щелочных растворах на поверхности имеются две зоны: зона хрупкого разрушения и зона долома.

Коррозионное растрескивание характеризуется хрупким изломом, наличием двух зон по месту разрушения: темноокрашенной части поверхности (трещина

коррозионного происхождения) и светлой части излома, возникшего в результате дальнейшего механического развития трещины, когда напряжения в ней достигли предельных значений. Очень часто кроме основной трещины, явившейся причиной разрушения, обнаруживаются небольшие побочные смежные трещины, развивающиеся менее интенсивно.

Анализируя совокупность выявленных в месте разрушения фактов, можно

утверждать, что разрушение корпуса ТНВД произошло в области нижнего витка резьбы крышки одного из впускных клапанов вследствие коррозионного растрескивания материала. Таким образом, повреждение высокотехнологичного качественного агрегата произошло под влиянием коррозионной среды, поступившей в корпус плунжера ТНВД вместе с топливом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД 50-672-88. Методические указания. Расчеты и испытания на прочность. Классификация видов изломов металлов.
2. Фрактография и атлас фрактограмм: справ. изд.: [пер. с англ.]/ под ред. Дж.Феллоуза. - М.: Металлургия, 1982.
3. ГОСТ 1778-70. Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений.

1. RD 50-672-88. Methodic Indications. Computations and Strength Tests. Classification of Metal Fractures.
2. Fractography and Fractogram Atlas: reference book: [transl. from Engl.]/under the editorship of J.Fellowse. - М.:Metallurgy, 1982.
3. RSS 1778-70. Steel. Metallographic Methods of Non-metal Inclusions Definition.

4. Способы металлографического травления: справ. изд.: [пер. с нем.]/ М.Беккерт, Х.Клемм. - М.: Металлургия, 1988. - 400 с.
5. Коваленко, В.С. Металлографические реактивы/ В.С.Коваленко. - М.: Металлургия, 1973. - 112 с.
6. Ажогин, Ф.Ф. Коррозионное растрескивание и защита высокоуглеродистых сталей/ Ф.Ф.Ажогин. - М.: Металлургия, 1974. - 256 с.
7. Программа самообучения VW 467.

4. Methods for Metallographic Etching: reference book: [transl. from Germ.]/ М.Беккерт, Н.Клемм. - М.: Metallurgy, 1988. - pp. 400.
5. Kovalenko, V.S. Metallographic Agents/ V.S.Kovalenko. - М.: Metallurgy, 1973. - pp. 112.
6. Azhogin, F.F. Corrosion Cracking and High-Carbon Steel Protection/ F.F.Azhogin. - М.: Metallurgy, 1974. - pp. 256.
7. Program for Self-Instruction VW 467.

Статья поступила в редколлегию 5.09.2016.

*Рецензент: д.т.н., профессор Тульского государственного университета
Анцев В.Ю.*

Сведения об авторах:

Ремнев Кирилл Сергеевич, д.т.н., доцент кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство» Тульского государственного университета, e-mail: remnev@rambler.ru.

Гоманчук Олег Геннадьевич, к.т.н., директор Испытательно-лабораторного центра ТулГУ, e-mail: ilc-tulgu@rambler.ru.

Remnev Kirill Sergeevich, D.Eng., Assistant Prof. of the Dep. "Motor Cars and Motoring Company" FSBEI HE "Tula State University", E-mail: remnev@rambler.ru.

Gomanchuk Oleg Gennadievich, Can.Eng., Director of Testing Laboratory Center of FSBEI HE "Tula State University", E-mail: ilc-tulgu@rambler.ru.

Тишин Сергей Александрович, к.т.н., доцент кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство» Тульского государственного университета, e-mail: aiah@yandex.ru.

Tishin Sergey Alexandrovich, Can.Eng., Assistant Prof. of the Dep. "Motor Cars and Motoring Company" FSBEI HE "Tula State University", E-mail: aiah@yandex.ru.