

УДК 620.192.7, 621.436

ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ ПОРШНЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Абулханов В.И., Демин Э.В., Чемакин П.А.,
Ягин В.С., студенты гр.ТЭб-201, II курс,
Богомолов А.Р.^{1,2}, д.т.н., зав.каф. ТЭ,
Темникова Е.Ю.¹, к.т.н., доцент

¹Кузбасский государственный технический
университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

²Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск

Цилиндропоршневая группа (ЦПГ) двигателя внутреннего сгорания (ДВС) осуществляет термодинамический круговой процесс преобразования теплоты в механическую работу [1]. ЦПГ можно представить как систему совместно действующих элементов: поршня, компрессионных, масляеъемных колец и цилиндровой втулки [2].

Поршень представляет собой подвижный элемент, перемещающийся между нижней и верхней точкой цилиндра. Движение поршня возникает вследствие давления газов при сгорании воздушно-топливной смеси.

В процессе работы поршень нагревается и существенно увеличивается в размерах из-за расширения металла. Избежать заклинивания внутри цилиндра позволяет конусообразная конструкция детали. Максимально увеличенная в диаметре нижняя часть поршня (юбка) нагревается и расширяется не так сильно, как верхняя часть поршня. В результате при высоких температурах поршень приобретает цилиндрическую форму и свободно перемещается внутри цилиндра [3].

Причины разрушения поршневой группы обуславливаются наличием одновременно нескольких различных исходных дефектов: конструкционных, производственных или эксплуатационных. Около 30 % отказов возникают вследствие эксплуатационных причин, 70 % приходится на конструкционные и производственные дефекты. Из всех вышеприведенных 50 % составляют отказы ЦПГ [1].

К основным причинам выхода поршня из строя можно отнести следующее.

Перегрев поршня в результате нарушения циркуляции моторного масла и охлаждающей жидкости, выхода из строя термостата, засорения радиатора, повреждения помпы, неисправности вентилятора охлаждения [4].

При недостатке смазки поршневой палец приобретает синий цвет, в зоне бобышек возникают зазоры. Перегрев головки поршня между нижней

частью поршня и верхней канавкой компрессионного кольца ведет к образованию задигов [4].

Подобные неисправности могут появляться не только из-за общего перегрева двигателя, но и по причине использования несоответствующего (низкооктанового) топлива, нарушения регулировки топливных форсунок, неисправности системы зажигания и т.д.

При работе двигателя поршни могут ломаться от воздействия силы или в результате усталостного излома.

Поломка от воздействия силы всегда вызывается инородным телом, сталкивающимся с поршнем при работе двигателя. Инородными телами могут быть отломившиеся части шатуна, коленчатого вала, клапанов и тому подобное. В случае попадания воды или топлива в цилиндры также возможна поломка поршня от воздействия силы [5].

Чтобы определить не всегда однозначные причины разрушений при оценке повреждений двигателей требуется целостный подход.

Целью данной работы является исследование элементного состава и микроструктурных характеристик образца поршня с целью определения возможных причин разрушения ЦПГ газодизельного двигателя карьерного самосвала БелАЗа компании ООО «Сибирь-Энерго».

Материалом для изготовления двухкомпонентных поршней среднеоборотных двигателей служат серые чугуны марки СЧ28, СЧ32, высокопрочные чугуны ВЧ45, ВЧ50 и алюминиевые литейные сплавы АЛ1, АЛ19, АЛ25 [2].

На рис. 1 представлены фотографии разрушенного цилиндра и поршня газодизельного двигателя карьерного самосвала БелАЗа компании ООО «Сибирь-Энерго». Части цилиндра и поршня были собраны и склеены.

Для исследования были вырезаны образцы №1П и №2П с верхней части поршня и с юбки поршня, соответственно, фотографии которых представлены на рис. 1.

Образцы были подвергнуты обработке шлифованием и физико-химической процедуре, относящимся ко всем исследуемым образцам (травление азотно-кремнистой кислотой и далее обработка спиртовым раствором натриевой щелочи).

Аналитические исследования образцов №1П и №2П были проведены с использованием метода сканирующей электронной микроскопии с применением сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-6390 LA с энергодисперсионным детектором рентгеновского излучения JED 2300 Центра коллективного пользования ФИЦ УУХ СО РАН. На рис. 2 и 3 представлены микрофотографии поверхности разрушения и излома образца №1П, а в табл. 1-2 – содержание химических элементов (в масс.%) на участках 017, 018, 003 и 004 поверхности излома и тоже относительно А1.



Рис. 1. Фотографии поршня, цилиндра, вырезанных образцов №1П и №2П

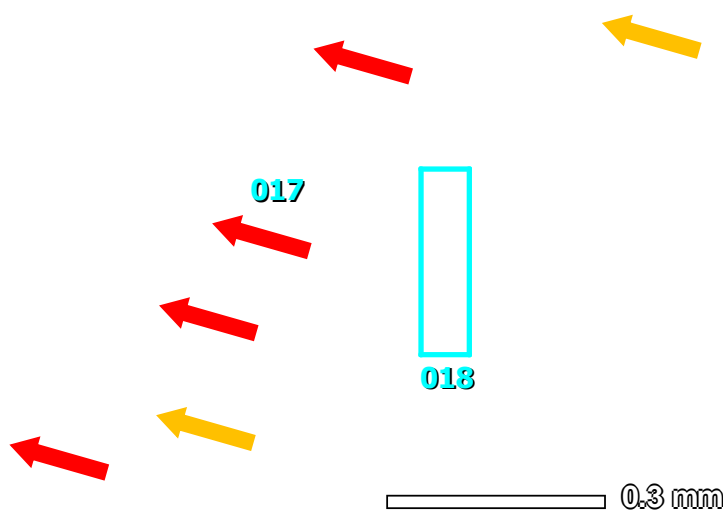


Рис. 2. Микрофотография поверхности разрушения (образец №1П)

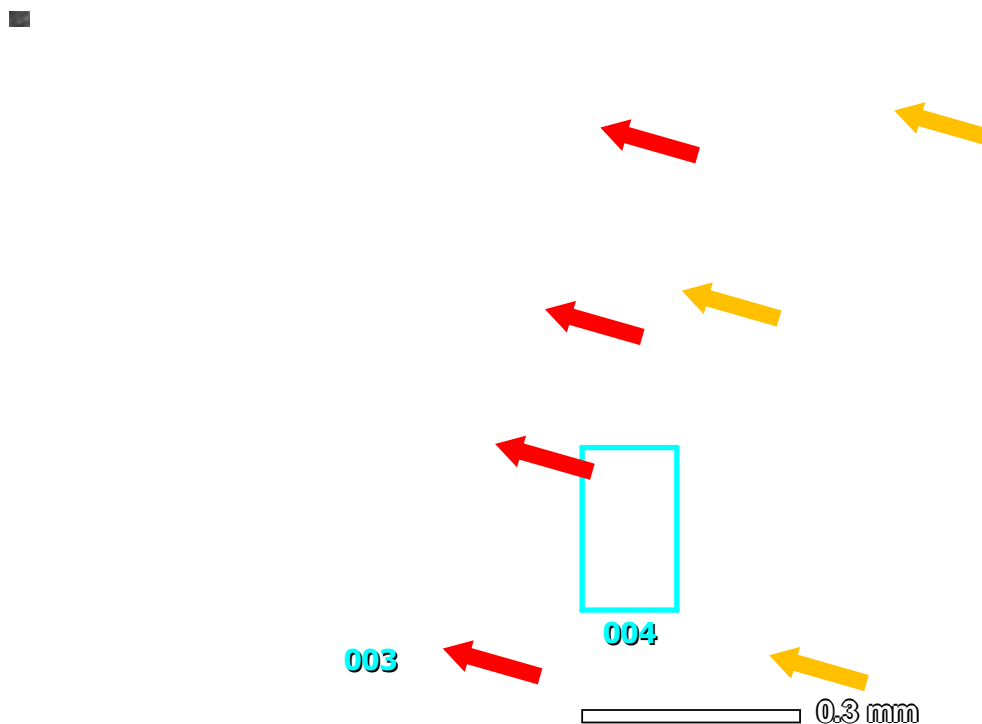


Рис. 3. Микрофотография поверхности излома (образец №1П)

Излом образца №1П имеет кристаллическое строение, характерное для хрупкого разрушения. Вдоль трещины наблюдается протяженное включение (рис. 2), отличающееся элементарным составом от матрицы. Проведенный локальный элементный анализ этого включения, показывает, что в нем наблюдается значительно большее содержание кислорода (до 3-х раз) в сравнении с матрицей, при этом содержание других элементов практически не отличается (табл. 2). Таким образом, включение является оксидом алюминия. Компактные включения скоплений частиц с размерами порядка нескольких десятков микрон (рис. 2), содержащих более тяжелые химические элементы являются железосодержащими частицами. В матрице на участках, находящихся вне области излома железосодержащие частицы находятся в виде включений отдельных частиц, равномерно распределенных по поверхности.

На рис. 3 красными стрелками указано протяженное включение, содержащее более легкие химические элементы в сравнении с матрицей; желтыми стрелками показаны включения, содержащие более тяжелые химические элементы относительно матрицы.

Таблица 1

Содержание химических элементов на участках 017 и 018
поверхности излома (% масс.), образец №1П

Участок	C	O	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Fe	Ni	Cu
017	45,81	18,09	0,44	26,51	3,15	0,46	0,04	0,28	0,12	3,82	0,77	0,49
018	50,8	7,83	0,56	35,41	3,52	0,19	0,02	0,18	0,07	0,55	0,42	0,43
003	60,55	8,45	0,32	25,71	3,29	0,17	0,05	0,18	0,09	0,7	0,19	0,29
004	53,17	6,51	0,48	30,53	5,03	0,08	0,08	0,11	0,3	2,61	0,57	0,53

Таблица 2

Содержание химических элементов относительно Al
на участках 017 и 018 поверхности излома, образец №1П

Участок	C/Al	O/Al	Mg/Al	Al	Si/Al	P/Al	S/Al	K/Al	Ca/Al	Fe/Al	Ni/Al	Cu/Al
017	1,73	0,68	0,02	1,00	0,12	0,02	0,00	0,01	0,00	0,14	0,03	0,02
018	1,43	0,22	0,02	1,00	0,10	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01
003	2,36	0,33	0,01	1,00	0,13	0,01	0,00	0,01	0,00	0,03	0,01	0,01
004	1,74	0,21	0,02	1,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,01	0,09	0,02	0,02

На рис. 4 и 5 представлены микрофотографии поверхности разрушения и излома образца №2П, а в табл. 3-6 – содержание химических элементов (в масс.%) на участках 019, 020, 025-028 поверхности излома и тоже относительно Al.

Таблица 3

Содержание химических элементов на участках 019 и 020
поверхности излома (рис. 4) (% масс), образец №2П

Участок	C	O	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Fe	Ni	Zn
019	77,11	14,45	0,26	3,5	1,54	0,79	0,17	0,27	1,05	0,11	0,05	0,71
020	66,07	5,68	0,57	19,42	6,63	0,12	0,09	0,12	0,28	0,49	0,41	0,12

Таблица 4

Содержание химических элементов относительно Al
на участках 019 и 020 поверхности излома (рис. 4), образец №2П

Участок	C/Al	O/Al	Mg/Al	Al	Si/Al	P/Al	S/Al	K/Al	Ca/Al	Fe/Al	Ni/Al	Zn/Al
019	22,03	4,13	0,07	1,00	0,44	0,23	0,05	0,08	0,30	0,03	0,01	0,20
020	3,40	0,29	0,03	1,00	0,34	0,01	0,00	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01

Таблица 5

Содержание химических элементов на участках 025, 026, 027 и 028
поверхности (рис. 5) (% масс.), образец №2П

Участок	C	O	Mg	Al	Si	Fe	Ni	Cu
025	19,59	2,06	0,73	68,16	7,67	0,41	0,66	0,71
026	30,61	1,72	0,54	60,67	4,79	0,22	0,65	0,81
027	13,99	1,69	0,61	71,37	11,05	0,3	0,32	0,65
028	18,72	1,88	1,39	62,66	13,66	0,55	0,49	0,64

Таблица 6

Содержание химических элементов на участках 025-028 поверхности
(рис. 5) относительно Al (сплав на основе алюминия), образец №2П

Участок	C/Al	O/Al	Mg/Al	Al	Si/Al	Fe/Al	Ni/Al	Cu/Al
025	0,29	0,03	0,01	1,00	0,11	0,01	0,01	0,01
026	0,50	0,03	0,01	1,00	0,08	0,00	0,01	0,01
027	0,20	0,02	0,01	1,00	0,15	0,00	0,00	0,01
028	0,30	0,03	0,02	1,00	0,22	0,01	0,01	0,01

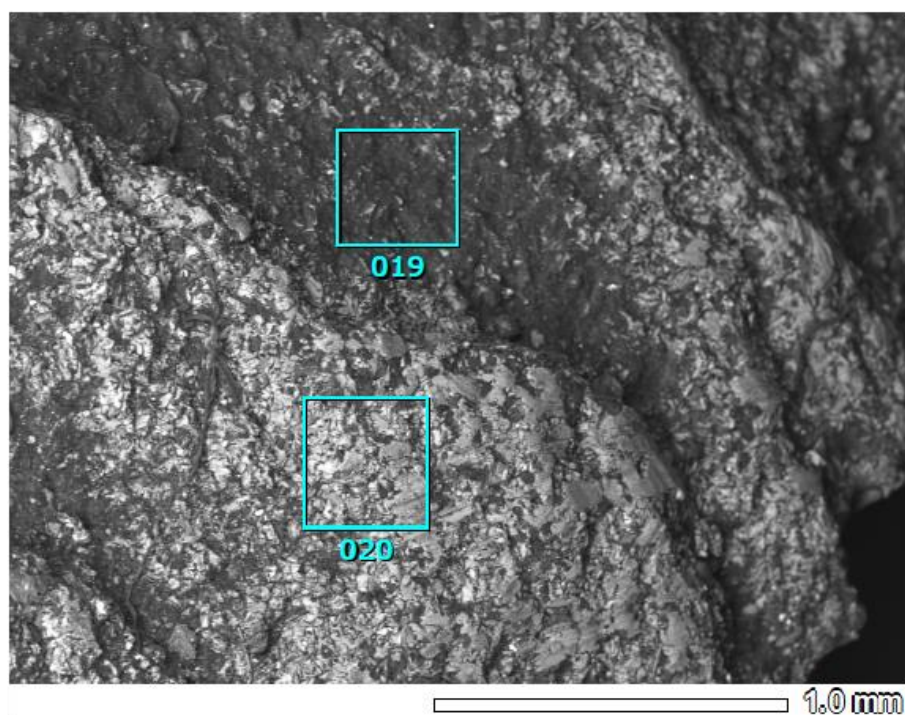


Рис. 4. Микрофотография поверхности разрушения (образец №2П)

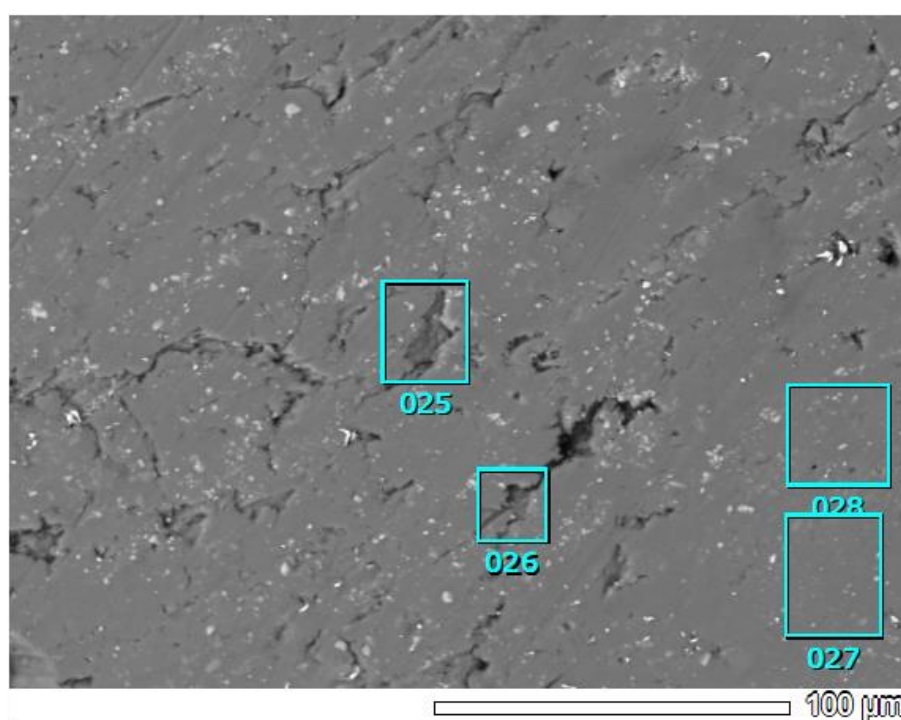


Рис. 5. Микрофотография поверхности участка, локализованного в нескольких миллиметрах от места излома (образец №2П)

На участке (рис. 5), локализованном в нескольких миллиметрах от места излома по всей поверхности наблюдаются сеть микротрещин. Микротрещины не имеют какого-либо выделенного направления распространения. Вероятно, их образование произошло вдоль границ зерен сплава. Каких-либо существенных различий в локальном химическом составе в

области микротрещин и бездефектных областях практически не наблюдается.

Микроскопический анализ как образца верхней части поршня, работающего в напряженном температурном диапазоне и циклически изменяющемся давлении, так и образца нижней части поршня, воспринимающего температуру, типичную для моторного масла при отсутствии циклически повторяющегося изменения давления, показал наличие в обеих частях поршня дефектов в виде микротрещин.

Наличие напряженных состояний в алюминиевом сплаве поршня из-за имеющихся микротрещин может привести к разрушению при воздействии высоких температур и переменного давления.

Косвенно можно предположить, что воздействие высоких температур и переменных давлений в области верхней части поршня оказало влияние на развитие размеров микротрещин, т.е. их увеличение в сравнении с размерами микротрещин нижней части поршня.

Причиной наличия микротрещин в алюминиевом сплаве может быть некачественное литье или штамповка.

Список литературы:

1. Судовые дизели и их эксплуатация / И. В. Возницкий, Е. Г. Михеев – М.: Транспорт, 1990. – 360 с.
2. Исследование причин отказов цилиндропоршневой группы среднеоборотных двигателей / И. Н. Рубан, В. П. Булгаков. // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2020. – № 3. – С. 64-70.
3. Повреждение поршней двигателя причины возникновения // Все о двигателе. Сборник информации о двигателях различных модификаций: [сайт]. – 16 нояб. 2020. – URL: <https://avtika.ru/povrezhdenie-porshney-dvigatelya-prichiny-vozniknoveniya/> (дата обращения 30.03.2022)
4. От чего может лопнуть поршень в двигателе // Все о двигателе. Сборник информации о двигателях различных модификаций: [сайт]. – 16 нояб. 2020. – URL: <https://avtika.ru/ot-chego-mozhet-lopnut-porshen-v-dvigatele/> (дата обращения 30.03.2022).
5. Изломы поршней и поршневых колец // Технпедия. Motorservice [сайт]. – URL: <https://www.motorservice.com/ru/tekhnpedija/post/izlomy-porshnei-i-porshnevykh-kolec/> (дата обращения 30.03.2022).