

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ КЛАПАНОВ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА ДВИГАТЕЛЯ УМЗ-4216 ПОСЛЕ ВЫРАБОТКИ РЕСУРСА В ТЯЖЕЛЫХ РЕЖИМАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

А. Я. Бабанин¹, д.т.н., доцент; А. В. Чухаркин¹; Т. А. Кикош²; Ю. А. Любивый¹

¹ ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

² ООО «ФИРМА ВИ-ВА», г. Донецк

Аннотация. На основании выполненных визуальных и инструментальных исследований дефектов и величины износа клапанов и сопряженных поверхностей клапанов газораспределительного механизма (ГРМ) двигателя внутреннего сгорания (ДВС) УМЗ-4216, выработавшего свой ресурс на газовом топливе (сжатый природный газ) в тяжелых режимах эксплуатации, установлен и проанализирован ряд присутствующих дефектов. Определены величины изменения твердости поверхностного слоя характерных поверхностей клапанов в процессе их работы в двигателе.

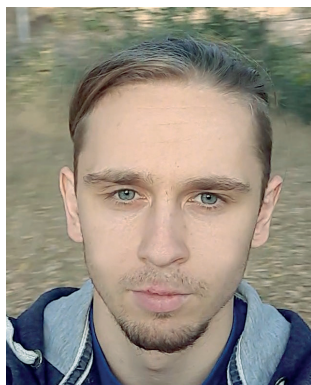
Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, технологический узел «клапан – седло – направляющая втулка», износ деталей газораспределительного механизма, сопряженные поверхности, твердость поверхностного слоя.



Бабанин
Анатолий Яковлевич



Чухаркин
Артем Витальевич



Кикош
Тарас Андреевич



Любивый
Юрий Александрович

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Эксплуатационный характер работы автомобильного двигателя определяется комплексом нагрузочных, скоростных и тепловых параметров его работы, формируемых режимами разгона, движения с постоянной скоростью, торможения и холостого хода. При этом до 97 % времени эксплуатации автомобиля в условиях городского режима движения, до 90...95 % времени – при движении по грунтовым дорогам и до 30...35 % времени – при движении на автомагистралях приходится на неустановившийся режим работы. Нагрузка на двигатель при этом составляет 13...78 % от номинальной [1].

Автопроизводители относят использование автомобиля в городских режимах работы к тяжелым условиям его эксплуатации. Высокие переменные эксплуатационные нагрузки на двигатель автомобиля, значительная часть которых приходится на пониженные частоты вращения коленчатого вала, интенсифицируют износ деталей и ускоряют процесс снижения его работоспособности по сравнению с базовыми требованиями производителей [2]. Двигатель, коробка передач, сцепление и другие агрегаты работают в нестационарных режимах с переменными нагрузками, что снижает их долговечность. «Рваный» ритм движения пассажирского автомобильного транспорта в городских условиях, постоянные остановки, замедления и ускорения, езда на пониженных передачах значительно увеличивают расход топлива, нарушают температурный режим работы ДВС, что существенно влияет на снижение ресурса его работы.

Начиная с 2010 г. двигатели УМЗ-4216 производства Ульяновского моторного завода нашли широкое применение на автомобилях марки «ГАЗель», в частности автобусах особо малого класса ГАЗ-3221-288, малотоннажных грузовых ГАЗ-3302-288, их модификациях и моделях на их шасси (автобусах БАЗ-22155 «Дельфин» Бориспольского и Черниговского автозаводов, «Рута 25» Часоваярского ремонтного завода).

Основные характеристики ДВС УМЗ-4216 [3, 4]:

Рабочий объем – 2 890 см³;

Количество цилиндров – 4;

Порядок работы цилиндров – 1-2-4-3;

Степень сжатия – 9,2;

Количество клапанов – 8, OHV;

Диаметр цилиндра – 100 мм;

Ход поршня – 92 мм;

Мощность л.с. (кВт) – 123 (90,5) при 4 000 об/мин;

Крутящий момент – 235 Н·м при 2 200 – 2 500 об/мин.

Отличительными положительными особенностями двигателя 4216 является применение комплексной микропроцессорной системы управления впрыском топлива и зажиганием, имеющей обратную связь через датчики кислорода и детонации. Кроме того, при его проектировании закладывались необходимые требования для обеспечения устойчивой работы двигателя на газовом топливе, и установка газобаллонного оборудования не приводит к отказу производителя двигателя от выполнения гарантийных обязательств.

Следует обратить внимание, что в настоящее время практически все автомобили с двигателями 4216 эксплуатируются в тяжелых условиях, в частности, микроавтобусы используются для перевозки пассажиров в режиме городского пассажирского транспорта, малотоннажные – для перевозки грузов в городских условиях, что приводит к значительному снижению ресурса работы двигателя.

Поэтому исследование износа технологического узла «седло – клапан – направляющая втулка» ГРМ двигателя 4216 при работе на газовом топливе в тяжелых условиях эксплуатации является актуальной задачей.

ЦЕЛЬ

Целью данной работы является определение обнаруживаемых дефектов и величины износа впускного и выпускного клапанов газораспределительного механизма двигателя 4216, выработавшего свой ресурс в тяжелых режимах эксплуатации, а также изменение твердости поверхностного слоя клапанов в процессе работы.

Методика проведения исследований. Для определения величин износа применялись микрометры серии МК. Для определения твердости применялся твердомер портативный комбинированный МЕТ-УД (ТУ 4271-004-18606393-04).

Твердомер предназначен для измерения твердости металлов и сплавов по всем стандартизованным в РФ шкалам твердости – Роквелла (HRC), Бринелля (HB), Виккерса (HV) и Шора (HSD), и позволяет проводить измерение твердости поверхностного слоя металла, подвергнутого наплавлению, напылению, механиче-

ской, термической или другим видам поверхностной обработки металла (так как не продавливает поверхностный слой), проводить экспресс-анализ твердости изделия непосредственно на месте его эксплуатации или производства.

Твердомер представляет собой малогабаритный прибор для измерения твердости, состоящий из электронного блока с подключенным к нему датчиком (рис. 1). Выбор между ультразвуковым и динамическим датчиком осуществляется в зависимости от массы, конфигурации, структуры, степени механической и термической обработки измеряемого изделия.



Рис. 1. Твердомер портативный комбинированный МЕТ-УД: 1 – электронный блок; 2 – датчик ультразвуковой У1; 3 – датчик динамический Д1

При проведении данных исследований применялся датчик ультразвукового принципа действия (метод ультразвукового контактного импеданса УСИ), который представляет собой отдельно выполненное устройство, связанное с электронным блоком при помощи кабеля.

Датчик ультразвуковой (рис. 2) в основе своей использует стальной стержень с алмазной пирамидой Виккерса на конце (угол между гранями 136 °), который является акустическим резонатором (вибратором) встроенного автогенератора ультразвуковой частоты. При внедрении пирамиды в контролируемое изделие под действием фиксированного усилия калиброванной пружины происходит изменение собственной частоты резонатора, определяемое твердостью материала. Относительное изменение частоты резонатора преобразуется электронным блоком в значение твердости выбранной шкалы и выводится на дисплей.

Данный метод подходит для измерений твердости на изделиях различной массы и толщины и, особенно, на готовых изделиях с глянцевой поверхностью, поскольку не оставляет видимых отпечатков после измерений. Конструкция датчика ультразвукового позволяет проводить измерения в труднодоступных местах (например, поверхность зубьев шестерён и пр.), а также на тонкостенных конструкциях (например, трубопроводах и пр.). Следует учитывать, что результат измерения ультразвуковым методом зависит от модуля упругости E контролируемого изделия.

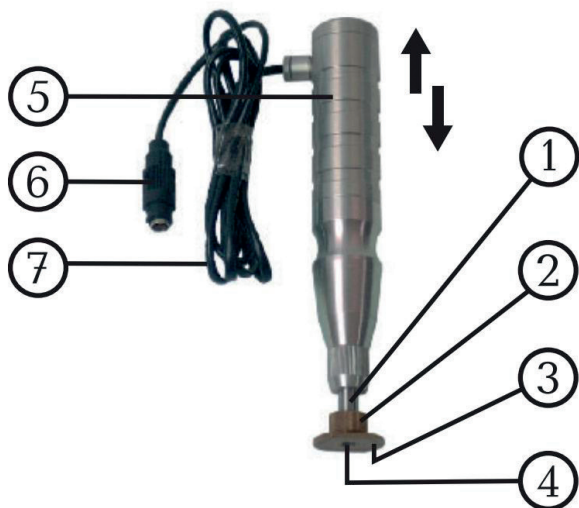


Рис. 2. Устройство ультразвукового датчика У1:
1 – втулка; 2 – прижимное кольцо насадки;
3 – нижняя плоскость насадки; 4 – торец втулки;
5 – корпус датчика; 6 – штекер разъёма датчика;
7 – соединительный кабель

Измерение твёрдости поверхностного слоя металла впускного и выпускного клапанов проводили именно ультразвуковым датчиком, так как клапаны ГРМ имеют небольшую массу и толщину металла, без нанесения механических повреждений («продавливания» поверхностного слоя) в последовательности, схематически показанной на рис. 3. Измерение производится на чистом, сухом, закреплённом неподвижно клапане ГРМ.

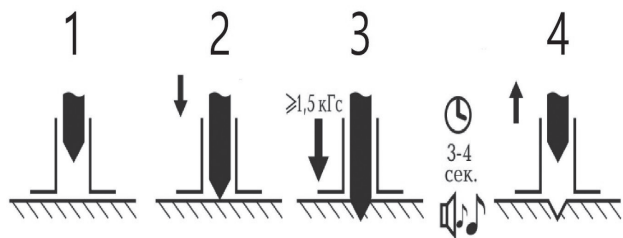


Рис. 3. Схема измерения твёрдости датчиком ультразвуковым У1: 1 – установка датчика; 2 – приложение небольшого усилия; 3 – увеличение усилия ($\geq 14,7 \text{ Н}$) и выдерживание его в течении 3...4 секунд до звукового сигнала и появления результата измерения на экране; 4 – прекращение усилия

Клапаны двигателя 4216 изготавливаются из жаропрочных сталей, в частности, впускной – из хромокремнистой, выпускной – из хромоникельмарганцевистой с азотированием. На рабочую фаску выпускного клапана дополнительно наплавляется жаростойкий хромоникелевый сплав. Диаметр стержня клапанов – 9 мм. Тарелка впускного клапана имеет диаметр 47 мм, а выпускного – 39 мм. Угол рабочей фаски обоих клапанов – 45 градусов.

В верхней части стержня клапана выполнена выточка для сухариков тарелки пружины клапана. Тарелки пружин клапанов и сухарики изготовлены из стали и подвергнуты поверхностному упрочнению.

На каждый клапан устанавливается по две пружины: наружная с переменным шагом с левой навивкой и внутренняя с правой навивкой. Пружины изготовлены из термически обработанной высокопрочной проволоки и подвергнуты дробеструйной обработке.

Под пружины устанавливаются стальные шайбы. Наружная пружина устанавливается вниз концом, имеющим меньший шаг витков. Клапаны работают в металлокерамических направляющих втулках. Втулки изготовлены прессованием с последующим спеканием из смеси железного, медного и графитового порошков с добавлением для повышения износостойкости дисульфида молибдена. Внутреннее отверстие втулок окончательно обрабатывается после их запрессовки в головку. Втулка впускного клапана снабжена стопорным кольцом, препятствующим самопроизвольному перемещению втулки в головке. Для уменьшения количества масла, просачиваемого через зазоры между втулкой и стержнем клапана, на верхние концы всех втулок напрессованы маслоотражательные колпачки, изготовленные из маслостойкой резины.

Для проведения данных исследований при проведении капитального ремонта двигателя 4216, выработавшего свой ресурс при работе на компримированном природном газе (КПГ) на автобусе особо малого класса БАЗ-22155 «Дельфин» в городском режиме пассажирского транспорта, были отобраны 7 клапанов: три впускных и четыре выпускных.

В результате визуальной дефектовки отработанных клапанов установлен ряд присутствующих дефектов, которые по снижению их отрицательного действия можно расположить в следующей последовательности: прогар клапана; перекос рабочей фаски тарелки клапана и раковины на ее поверхности, ее асимметрия и неравномерный износ, задиры и раковины на стержне клапана, удлинение клапана. Характерный вид поверхности клапанов, двигателя, выработавшего ресурс на метане, представлен на рис. 4.

Конструкция исследуемых клапанов двигателя 4216 с обозначениями его основных размеров и областей их замера представлена на рис. 5.

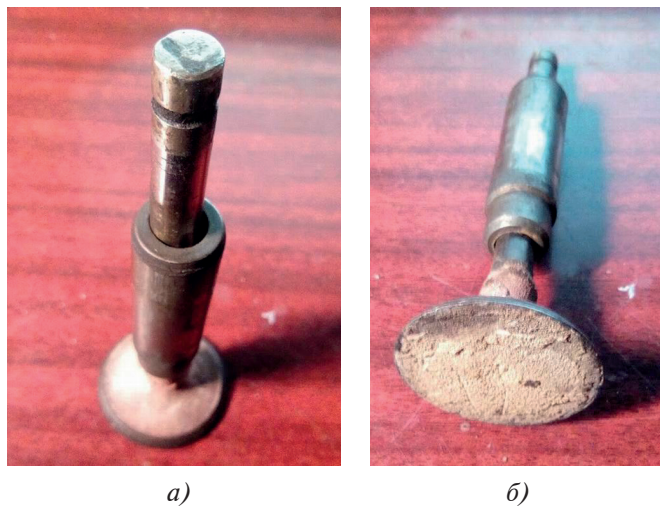


Рис. 4. Характерный вид выпускного клапана с направляющей втулкой (а) и состояния поверхности днища его тарелки (б) двигателя, выработавшего ресурс на КПГ

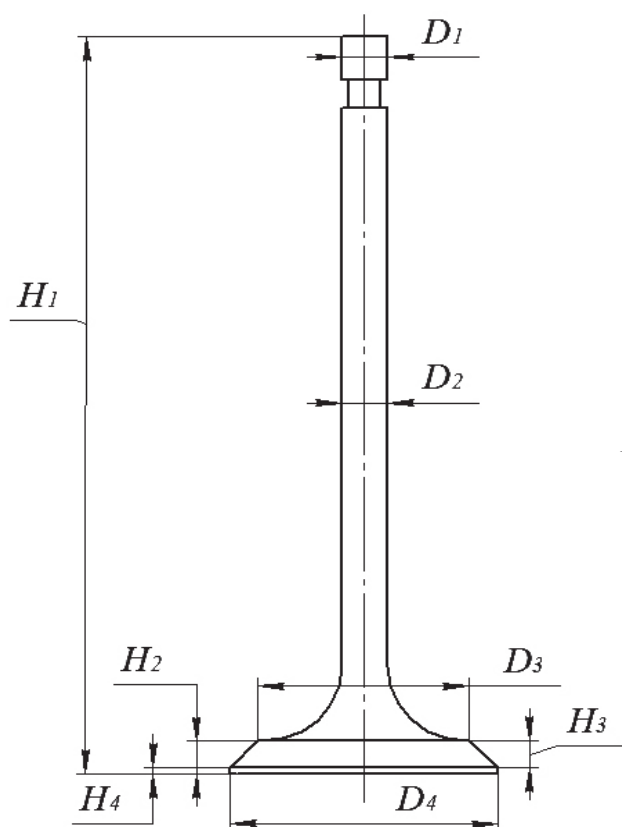


Рис. 5. Схематическое изображение конструкции клапана и обозначение его основных геометрических параметров

Результаты замера геометрических размеров и дефектовки клапанов двигателя представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты замера основных геометрических размеров и дефектовки клапанов двигателя 4216, выработавшего ресурс на КПП

Название образца	№ образца	Контролируемые диаметры, мм				Контролируемые высоты, мм				Дефекты клапанов
		Диаметр стержня D1, мм	Диаметр рабочей части стержня под втулкой D2, мм	Диаметр верха фаски D3, мм	Диаметр низа фаски D4, мм	Высота клапана H1, мм	Высота тарелки H2, мм	Высота фаски H3, мм	Высота кромки H4, мм	
Впускной клапан	1	8,93	8,83	41,5	47,24	117	4,1	3,6	0,5	Износ стержня, перекос фаски
Выпускной клапан	2	8,93	8,93	34,2	39,28	117,6	4,44	3,44	1	Задир на стержне, раковины на фаске
Впускной клапан	3	8,91	8,87	41	47,05	117	4	3	1	Задир на стержне, перекос фаски, прогар тарелки
Выпускной клапан	4	8,9	8,82	34,5	38,97	117	3,74	3,24	0,5	Задир на стержне, прогар клапана, неравномерный износ фаски, асимметрия
Впускной клапан	5	8,92	8,91	37,7	44,05	117	4,67	3,17	1,5	Раковины на фаске
Выпускной клапан	6	8,89	8,92	33,6	39,13	117,4	4,03	2,03	2	Раковины на стержне, неравномерный износ фаски
Выпускной клапан	7	8,89	8,88	33,6	39,18	117,1	3,71	1,71	2	Задир на стержне, раковины на фаске, неравномерный износ фаски, асимметрия

Анализ представленных в таблице 2 данных свидетельствует, что дефекты образуются на стержне клапана и на фаске тарелки. Основными дефектами стержня клапана являются его чрезмерный

износ и задиры на поверхности под направляющей втулкой. В таблице 2 представлены данные об износе сопряженных поверхностей клапана с втулкой и седлом.

Таблица 2.

Изменение геометрических размеров клапанов двигателя 4216, выработавшего свой ресурс на КПП

№ образца	Геометрические размеры клапанов							
	Диаметр стержня, D ₁ , мм	Диаметр рабочей части стержня под втулкой, D ₂ , мм	Диаметр верхней фаски, D ₃ , мм	Диаметр низа фаски, D ₄ , мм	Высота клапана, H ₁ , мм	Высота тарелки, H ₂ , мм	Высота верхней кромки, H ₃ , мм	Высота низа кромки, H ₄ , мм
Впускные клапаны								
Стандарт	8,93	8,92	41,18	47,3	117,2	4,56	3,5	1,06
1	8,93	8,83	41,5	47,24	117	4,1	3,6	0,5
Износ, мм	0	0,09	-0,32	0,06	0,2	0,46	-0,1	0,56
3	8,91	8,87	41	47,05	117	4	3	1
Износ, мм	0,02	0,05	0,18	0,25	0,2	0,56	0,5	0,06
5	8,92	8,91	37,7	44,05	117	4,67	3,17	1,5
Износ, мм	0,01	0,01	3,48	3,25	0,2	-0,11	0,33	-0,44
Среднее значение износа	0,01	0,05	1,11	1,1867	0,2	0,30	0,2433	0,06
Выпускные клапаны								
Стандарт	8,9	8,89	35,1	39,15	117,2	3,8	1,8	2
2	8,93	8,93	34,2	39,28	117,6	4,44	3,44	1
Износ, мм	-0,03	-0,04	0,9	-0,13	-0,4	-0,64	-1,64	1
4	8,9	8,82	34,5	38,97	117	3,74	3,24	0,5
Износ, мм	0	0,07	0,6	0,18	0,2	0,06	-1,44	1,5
6	8,89	8,92	33,6	39,13	117,4	4,03	2,03	2
Износ, мм	0,01	-0,03	1,5	0,02	-0,2	-0,23	-0,23	0
7	8,89	8,88	33,6	39,18	117,1	3,71	1,71	2
Износ, мм	0,01	0,01	1,5	-0,03	0,1	0,09	0,09	0
Среднее значение износа	-0,0025	0,0025	1,125	0,01	-0,075	-0,18	-0,805	0,625

Основными дефектами тарелки является ее прогар, неравномерный износ фаски, перекося фаски и ее асимметрия.

Следует обратить внимание, что наиболее тяжелым дефектом, присутствующим как на впускном, так и выпускном клапане, оказывающем значительное отрицательное влияние на работу двигателя, является прогар фаски тарелки клапана. Анализ изменения геометрических размеров отработанных клапанов свидетельствует, что на клапанах с прогоревшей тарелкой наблюдается значительный износ стержня под направляющей втулкой. В частности, для образования прогара износ на впускном и выпускном клапанах составляет, соответственно, 0,04 и 0,08 мм.

Таким образом, с точки зрения износа деталей, механизм прогара фаски клапана следующий. По мере износа сопрягающихся поверхностей клапана и направляющей втулки и увеличения между ними зазора увеличивается перекося клапана и его отклонение движения от направляющей оси. Это способствует увеличению зазора между фаской тарелки клапана и фаской седла, а, следовательно, и к снижению компрессии в цилиндре.

Кроме того, в результате просачивания под давлением горячих отработавших газов через образующийся зазор между сопряженными поверхностями фасок тарелки и седла происходит постоянный нагрев клапана,

ускоренное образование раковин и прогар фаски тарелки. Все это значительно сокращает ресурс работы клапана, а, следовательно, и двигателя.

Представленные данные свидетельствуют, что величина среднего износа сопряженных поверхностей впускного клапана составляет: диаметр рабочей части стержня под втулкой – 0,05 мм при норме 0,022 мм; диаметр верхней части фаски – 1,11 мм; диаметр нижней части фаски – 1,19 мм; высота тарелки – 0,30 мм, высота фаски – 0,24 мм.

Величина среднего износа сопряженных поверхностей выпускного клапана составляет: изменение диаметра рабочей части стержня под втулкой – от -0,4 до +0,7 мм при норме 0,022 мм; диаметр верхней части фаски – 1,13 мм; диаметр нижней части фаски – от -0,13 до +0,18 мм; высота тарелки – -0,18 мм, высота фаски – -0,81 мм.

Измерения твердости проводили на впускных и выпускных клапанах ГРМ стандартных (сравнительных) и стандартных, отработавших срок. На каждом из клапанов было произведено измерение твердости поверхностного слоя в шести позициях (рис. 6), в каждой позиции производилось измерение минимум пять раз, после чего данные измерений были собраны в таблицу 3. Из полученных данных были определены средние значения, исходя из которых можно делать выводы о твердости поверхностного слоя клапана ГРМ.

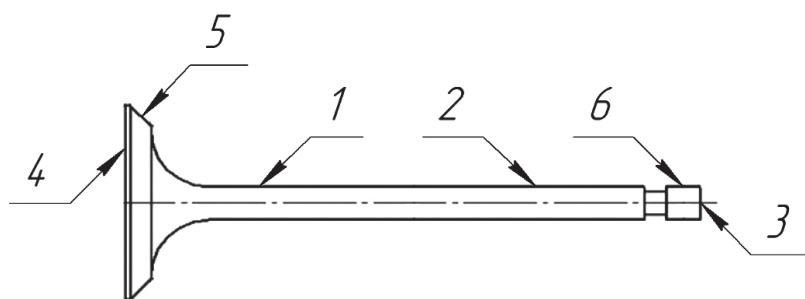


Рис. 6. Позиции замера твердости поверхности клапана ГРМ

Таблица 3.

Средние значения по позициям замеров твердости поверхностного слоя стандартного и стандартного отработанного клапанов выработавшего ресурс двигателя 4216

Позиции измерения твердости	Средние значения твердости по шкале Роквелла (HRC)		Разность значений твердости
	Клапан стандартный	Клапан стандартный отработанный	
Клапан впускной			
1	37,6	29,0	8,6
2	37,9	31,3	6,6
3	52,8	52,3	0,5
4	51,0	26,1	4,9
5	31,4	20,3	11,1
6	26,7	45,5	-18,8
Клапан выпускной			
1	37,9	36,5	0,6
2	39,6	44,1	-4,5
3	48,0	59,3	-11,3
4	48,6	46,6	2,0
5	38,6	36,7	1,9
6	38,6	41,3	-3,3

Представленные в таблице 4 результаты свидетельствуют об изменении твердости поверхностного слоя в процессе его работы в двигателе. Так, на впускном клапане по первым пяти позициям наблюдается снижение твердости поверхностного слоя, наибольшее на 8,6 и 11,1 ед. HRC, соответственно позиция 1 (сопрягающая поверхность стержня клапана и направляющей втулки) и позиция 5 (поверхность фаски клапана). В позиции 6 (верхняя часть стержня клапана) наблюдается значительное увеличение твердости на 18,8 ед. HRC, что следует объяснить образованием наклепа поверхности в результате образующихся ударных нагрузок взаимодействия клапана и коромысла.

На выпускном клапане также наблюдается повышение твердости в верхней части стержня клапана, в частности на срезе верха стержня (позиция 3) на 11,3 ед. HRC, что следует объяснить образованием наклепа поверхности в результате образующихся ударных нагрузок взаимодействия клапана и коромысла. В позиции 1 (сопрягающая поверхность стержня клапана и направляющей втулки) и позиция 5 (поверхность фаски клапана) твердость находится на одном уровне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований применительно к двигателю УМЗ-4216, работавшему в тяжелом режиме городского пассажирского транспорта на КППГ (метане), определены основные дефекты впускного и выпускного клапанов ГРМ, значительно сни-

жающие ресурс его работы. К ним следует отнести и разместить по вредности следующие дефекты: прогар клапана; перекос рабочей фаски тарелки клапана и раковины на ее поверхности, асимметрия и неравномерный износ фаски, задиры и раковины на стержне клапана, удлинение клапана. Определены величины среднего износа сопряженных поверхностей клапанов, Так средний износ выпускного клапана, как работающего в более тяжелых условиях составляет: изменение диаметра рабочей части стержня под втулкой – от -0,4 до +0,7 мм при норме 0,022 мм: диаметр верхней части фаски – 1,13 мм; диаметр нижней части фаски – от -0,13 до +0,18 мм; высота тарелки – -0,18 мм, высота фаски – -0,81 мм. Определены величины изменения твердости поверхностного слоя клапанов в процессе их работы в двигателе. На впускном клапане почти по всей поверхности наблюдается снижение твердости поверхностного слоя, наибольшее – на 8,6 и 11,1 ед. HRC, соответственно на сопрягающейся поверхности стержня клапана и направляющей втулки и на поверхности фаски клапана, а в верхней части стержня клапана в результате наклепа от ударных нагрузок клапана и коромысла наблюдается значительное увеличение твердости на 18,8 ед. HRC. На выпускном клапане также наблюдается повышение твердости в верхней части стержня клапана, в частности на срезе верха клапана на 11,3 ед. HRC, что объясняется также образованием наклепа. На сопрягающейся поверхности стержня клапана и направляющей втулки, а также на поверхности фаски твердость находится на одном уровне.

Список литературы

1. Охотников, Б. Л. Эксплуатация двигателей внутреннего сгорания : учебное пособие / Б. Л. Охотников. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 140 с.
2. Паничкин, А. В. Оценка ресурса двигателя автобусов, работающих на газовом топливе, эксплуатируемых в режиме городских перевозок пассажиров / А. В. Паничкин, Н. В. Голубенко // Мир транспорта и технологических машин. – 2015. – № 3 (50). – С. 123-129.
3. УМЗ-4213, УМЗ-4216 : Устройство. Ремонт. Техническое обслуживание. – Ульяновск : ОАО «УМЗ», Автоальфа, 2008. – 66 с.
4. Двигатель 4216 и его исполнения : Руководство по эксплуатации 4216.3902010 РЭ. – Ульяновск : ОАО «УМЗ», 2007. – 45 с.