

УДК 621.43-2:621.78

Н. Ю. ДУДАРЕВА

УПРОЧНЕНИЕ ВЕРХНИХ ПОРШНЕВЫХ КАНАВОК ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ МЕТОДОМ ИСКРОВОГО УПРОЧНЕНИЯ

Рассматривается методика и результаты исследований износостойкости верхних канавок поршней ДВС, упрочненных методом искрового упрочнения. Установлено, что метод искрового упрочнения снижает износ поршневой канавки, однако использование этого метода требует проведения работ по снижению износа поршневых колец. *Поршень; поршневая канавка; упрочнение; искра; алюминиевые сплавы; двигатель внутреннего сгорания*

ВВЕДЕНИЕ

Цилиндропоршневая группа (ЦПГ) является системообразующим узлом двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Надежная работа деталей этой группы способствует повышению эффективных показателей двигателя. Одной из самых нагруженных и напряженных деталей ЦПГ является поршень. В процессе эксплуатации поршень подвергается воздействию не только высоких температур и динамических нагрузок, возникающих при сгорании газов, но и сил трения. Кроме этого, поршень воспринимает усилие, действующее на его боковую поверхность со стороны цилиндра [1]. Соприкосновение с горячими газами и воспринимаемое поршнем тепло трения приводят к его нагреву до высоких температур. Однако с повышением температуры механические свойства металлов изменяются, обычно это проявляется в снижении прочности. Высокие температуры также могут стать причиной значительной деформации и повышенного износа поршня, а иногда приводят к заклиниванию поршня в цилиндре и закоксовыванию поршневых колец. Довольно сложные условия работы зачастую приводят к разрушению деталей ЦПГ ДВС, поэтому обеспечению надежности (износостойкости и долговечности) поршней двигателей сегодня уделяется пристальное внимание.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Широкое распространение в ДВС на сегодняшний день получили поршни из алюминиевых сплавов. Основными достоинствами таких поршней является их небольшая масса, технологичность в обработке, высокие значения па-

раметров теплопроводности и коррозионной стойкости [1]. Кроме того, температура поршней из алюминиевых сплавов ниже, чем чугуновых, благодаря высокой теплопроводности алюминия. В результате на днищах поршней из алюминиевых сплавов образуется меньше нагароотложений, а на юбке формируется более прочная пленка смазки, благоприятно влияющая на взаимодействие с зеркалом цилиндра. Но у алюминиевых сплавов имеется один недостаток – низкая износостойкость. Монометаллические поршни из алюминиевых сплавов чаще всего выходят из строя по причине износа двух верхних поршневых канавок [2].

На поршневую канавку действует целый ряд сил и нагрузок: сила давления газа P_g ; сила инерции кольца P_i ; сила трения, возникающая при относительном перемещении кольца в поршневой канавке; температурные нагрузки. Воздействие поршневых колец на канавку обусловлено как сочетанием знакопеременного движения поршня и давления газов, так и вибрацией колец. Обычно вибрация колец является причиной разрушения верхней торцевой поверхности канавки [3]. Нижние поверхности канавок в большей степени изнашиваются от действия давления газов на такте расширения. Также следует учитывать, что взаимодействие поршневых колец и канавок происходит при повышенной температуре (200–250 °С) с присутствием в зоне контакта твердых продуктов коксования и абразивных частиц, попадающих извне.

Обычно для повышения надежности и уменьшения износа поршней, в зоне верхней канавки применяют специальные упрочняющие покрытия или износостойкие конструктивные элементы [4–8]. Однако этим методам присущ ряд недостатков, таких как сложность химиче-

ского состава используемых материалов, необходимость финишной обработки, низкая технологичность и др. Основываясь на требованиях, предъявляемых к поверхностному слою поршневых канавок, а также учитывая условия работы поршня, был предложен метод искрового упрочнения для повышения износостойкости верхних поршневых канавок (ВПК).

Метод упрочнения поверхностей деталей – искровое упрочнение (ИУ) – разработан на кафедре ДВС УГАТУ [9, 10]. Суть этого метода заключается в том, что под действием искрового разряда в тонком поверхностном слое детали происходят значительные изменения, которые касаются химического состава поверхности, ее структуры, рельефа и механических свойств. В результате искрового упрочнения на поверхности детали формируется модифицированный слой. По своему составу этот слой состоит из корунда – $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ и обладает высокой микротвердостью [11]. Благодаря технологии искрового упрочнения можно сформировать на поверхности детали слой, прочно сцепленный с подложкой и характеризующийся высокими механическими, теплостойкими, и износостойкими свойствами. Предварительные испытания ВПК при работе двигателя в режиме холодной обкатки показали, что метод ИУ может повысить износостойкость верхних канавок поршней из алюминиевого сплава [12]. Однако условия работы деталей ЦПГ в режиме холодной обкатки значительно отличаются от условий работы на реальном двигателе. Для того чтобы однозначно говорить о возможности использования метода ИУ для повышения износостойкости ВПК, необходимо провести моторные испытания упрочненного поршня. На основании этого была сформулирована цель работы: исследовать возможность повышения износостойкости верхних канавок поршней ДВС из алюминиевых сплавов методом искрового упрочнения. Объектом исследования является поршень, предметом исследования – поверхность поршня, упрочненная методом искрового упрочнения.

2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Упрочнение канавок проводили на поршне двигателя внутреннего сгорания УМЗ-341Э, диаметр которого составляет 79 мм, поршень изготовлен из алюминиевого сплава марки АЛ30 ГОСТ 1583-93 (рис. 1).



Рис. 1. Поршень двигателя УМЗ-341Э

Предлагаемый способ упрочнения канавок поршня ДВС осуществлялся с использованием установки искрового упрочнения, создающей на электродах искровой разряд с определенными параметрами. Поршень фиксировался в патроне и вращался с постоянной скоростью относительно неподвижных электродов, которые располагались в поршневых канавках (рис. 2, а). Электрод размещался таким образом, чтобы обеспечивалась равномерная обработка одновременно обеих рабочих поверхностей канавки (рис. 2, б).

Технологические параметры обработки ВПК были выбраны следующие: межэлектродный зазор – $0,25 \div 0,35$ мм; скорость вращения поршня относительно электрода – 1 об/мин; рабочая среда – воздух; энергия искрового разряда ~ 0,1 мДж; частота импульсов ~ 6–7 Гц; количество одновременно обрабатываемых электродов – 3; продолжительность обработки – 100 часов. Технологические режимы обработки выбирались на основе ранее проведенных исследований [12].

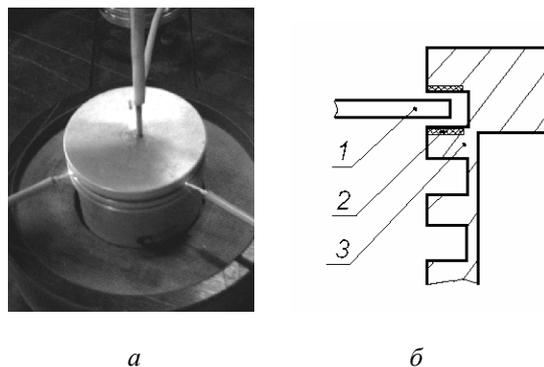


Рис. 2. Обработка верхней канавки поршня:
а – внешний вид поршня и электродов в процессе обработки; б – расположение электрода в верхней канавке поршня: 1 – электрод; 2 – упрочненный слой; 3 – поршень

Для определения механических свойств (микротвердости, толщины слоя, шероховатости) упрочненного слоя ВПК был создан образец-свидетель. Он представлял собой цилиндр, изготовленный из алюминиевого сплава АЛ30 ГОСТ 1583-93, с проточенной по диаметру канавкой высотой 1,54 мм, равной высоте верх-

ней канавки поршня двигателя УМЗ-341Э. Канавка образца-свидетеля подвергалась обработке методом искрового упрочнения с технологическими параметрами, соответствующими параметрам обработки ВПК двигателя УМЗ-341Э.

Микротвердость и толщина упрочненного слоя образца-свидетеля измерялись на микротвердомере HVS-1000 с нагрузкой 0,1 кг и составили: микротвердость $H_{\mu} = 9,3$ ГПа, толщина упрочненного слоя $h_{УС} = 14,5$ мкм. Шероховатость была измерена посредством портативного измерителя шероховатости TR 220 и составила $Ra 1,3$.

Испытания на износостойкость ВПК проводились на двигателе УМЗ 341Э, который был соединен с тормозным стендом AVL 20 (рис. 3). Стенд имеет возможность работать в режиме тормоза, а также автоматически поддерживает частоту вращения.

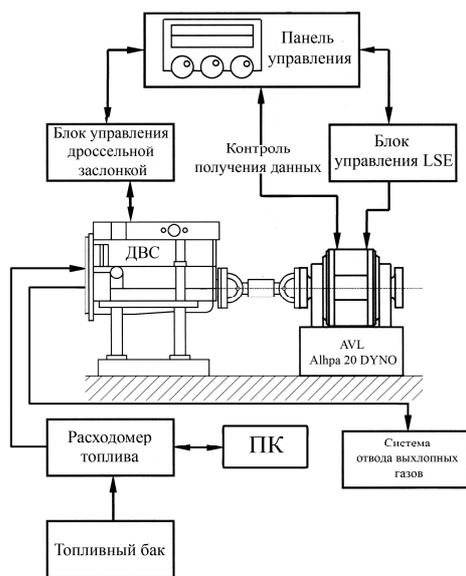


Рис. 3. Схема испытательного стенда AVL, соединенного с ДВС

Программа исследований состояла из двух частей:

- 1) исследование на износостойкость верхней канавки штатного поршня в сопряжении со штатным верхним компрессионным кольцом;
- 2) исследование на износостойкость верхней канавки поршня, обработанной методом искрового упрочнения, в сопряжении со штатным верхним компрессионным кольцом.

Каждая часть состояла из последовательно повторяющихся 5 циклов. Продолжительность каждого цикла составляла 10 часов. Общая структура цикла испытаний приведена в таблице. Суммарное время проведения моторных испытаний для каждой пары трения

составило 50 часов. После каждого цикла осуществлялась разборка двигателя и измерение исследуемых параметров – размеров поршневого кольца и поршневой канавки.

Структура испытательных циклов

№ этапа	Наименование этапа	Продолжительность этапа
1	Замер геометрических размеров поршневого кольца и верхней поршневой канавки с занесением значений в карту микрометра	–
2	Фотографирование штатного поршневого кольца	–
3	Установка поршня и штатного компрессионного кольца на двигатель УМЗ-431Э. Установка двигателя на стенд	–
4	Моторные испытания поршня и штатного компрессионного кольца на двигателе УМЗ-341Э, установленном на тормозном стенде AVL 20: – запуск тормозного стенда; – запуск двигателя; – работа двигателя без нагрузки при $n = 1300 \pm 50$ мин ⁻¹ ; – работа двигателя под нагрузкой $N_e = 1,7$ кВт, $n = 2850$ мин ⁻¹ ; – остановка двигателя; – остановка тормозного стенда	5 мин 600 мин
5	Снятие двигателя с испытательного стенда. Разборка двигателя	–

При работе двигателя без нагрузки проводился замер и контроль частоты вращения коленчатого вала, расхода топлива и барометрических показателей окружающей среды. При работе двигателя под нагрузкой проводился контроль и определение частоты вращения коленчатого вала, тормозного усилия, развиваемого стендом, расхода топлива и барометрических показателей окружающей среды.

Для определения износа ВПК и поршневого кольца проводилось измерение их размеров и фотографирование деталей, для чего использовалась фотокамера Olympus C-5060, набор плоскопараллельных мер длины по ГОСТ 9038-90 и микрометр – 4317, $d = 0,01$ мм ГОСТ 6507-60.

Замер высоты верхних канавок поршней двигателя УМЗ-341Э проводился посредством концевых мер длины, согласно ГОСТ 14846-81,

по четырем точкам h_1 , h_2 , h_3 , h_4 , где точка h_1 находилась со стороны маховика (рис. 4).

Замер геометрических параметров штатного верхнего поршневого кольца двигателя УМЗ-341Э проводился посредством микрометра, согласно ГОСТ 14846-81, по пяти точкам: напротив замка (точка 3), под углом 90° (точки 2 и 4) и под углом 30° к оси замка (точки 1 и 5) (рис. 5).

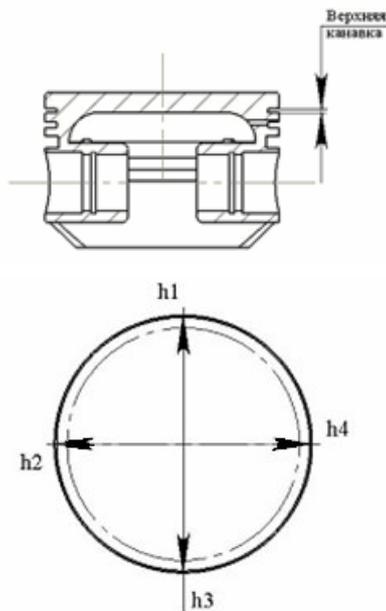


Рис. 4. Контрольные точки измерения высоты канавки поршня

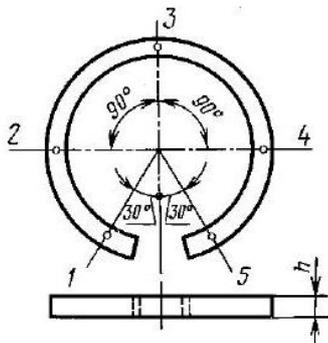


Рис. 5. Контрольные точки измерения высоты верхнего компрессионного кольца

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исходя из полученных данных был построен график изменения усредненной высоты канавки штатного поршня $h_{пк_сп1}$ и поршня, обработанного методом ИУ $h_{пк_сп2}$, от продолжительности моторных испытаний (рис. 6).

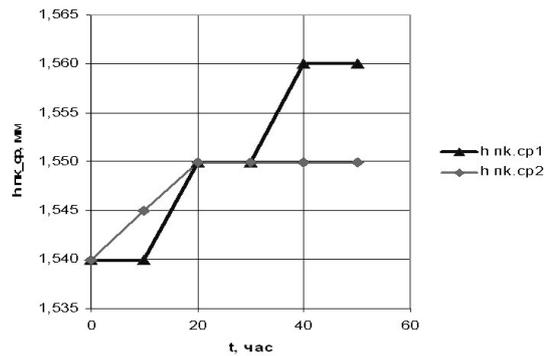


Рис. 6. Зависимость усредненных высот канавок поршня от продолжительности моторных испытаний

Также был построен график изменения усредненной высоты кольца, работающего в сопряжении со штатным поршнем $h_{к_сп1}$, и кольца, работающего в сопряжении с поршнем, обработанным методом ИУ $h_{к_сп2}$, от продолжительности моторных испытаний (рис. 7).

Анализируя рис. 6 и 7, можно утверждать, что обработка ВПК методом искрового упрочнения снижает ее износ. Также видно, что одновременно увеличивается износ поршневого кольца. Это означает, что требуются дополнительные исследования по оптимизации свойств упрочненного слоя поршневой канавки, которые позволили бы снизить износ поршневого кольца при одновременном увеличении износостойкости ВПК.

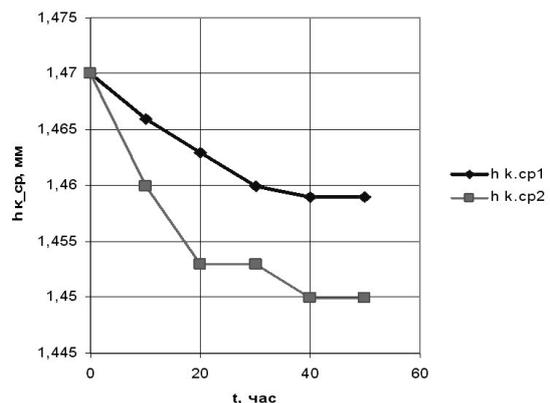


Рис. 7. Зависимость изменения усредненной высоты колец от продолжительности моторных испытаний

ВЫВОДЫ

Полученные результаты подтверждают возможность применения метода искрового упрочнения для повышения износостойкости поршневых канавок ДВС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Двигатели внутреннего сгорания. Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей: Учеб. для студ. вузов, обучающихся по спец. «Двигатели внутреннего сгорания» / Д. Н. Вырубов [и др.]. М.: Машиностроение, 1984. 384 с.

2. Трение, изнашивание и смазка: Справочник. В 2-х кн. Кн. 2. / Под ред. И. В. Крагельского и В. В. Алисина. М.: Машиностроение, 1979. 358 с.

3. **Гинцбург Б. Я.** Теория поршневого кольца. М.: Машиностроение, 1979. 271 с.

4. Технологические аспекты прочности силуминов, предназначенных для изготовления поршней / В. Н. Платонов [и др.] // Двигателестроение. 1991. № 6. С. 42–44.

5. Пат. 2060124 Россия, С 16 В 23 К 9/04. Способ обработки сжатой дугой [Текст] / Н. И. Захаров [и др.]. № 4802137/08; заявл. 18.12.89; опубл. 20.05.96, Бюл. № 17/2000. 3 с.

6. Лазер легирует материал верхней канавки поршня и упрочняет поршневые кольца / Н. Ф. Дериглазова [и др.] // Автомобильная промышленность. 1993. № 12. С. 27–28.

7. **Захаренко С. М., Поляченко А. В.** (СССР). А. с. 585006 СССР, МКИ² В23 К 11/06. Способ упрочнения и восстановления канавок [Текст]. № 2362671/25–27; заявл. 24.05.76; опубл. 25.12.77, Бюл. №47. 3 с.

8. **Воропай Н. М.** Двухдуговая наплавка алюминиевых поршней комбинированным непла-

вающимся и плавящимся электродом // Автоматическая сварка. 1996. № 6. С. 21–26.

9. Пат. 2176682 Российская Федерация, МПК⁷ С 23 С 14/40, В 23 Н 1/02, В 23 Н 9/00. Способ упрочнения поверхностей деталей [Текст] / Б. П. Рудой [и др.] // №99110333; заявл. 17.05.1999; опубл. 10.12.2001, Бюл. № 4. 3 с.

10. **Rudoy B. P., Dudareva N. J.** Strengthened oxidizing of a superficial layer of details from aluminium alloys for air engines // Symposium on actual problems of aircraft engines construction, Ufa state aviation technical university. 1999. P. 35–37.

11. **Дударева, Н. Ю.** Моделирование процесса формирования упрочненного слоя при микродуговом окислении алюминиевых образцов // Изв. вузов. Авиационная техника. 2008. № 3. С. 63–65.

12. **Дударева Н. Ю., Соколов С. А.** Исследование возможности упрочнения верхних поршневых канавок двигателя внутреннего сгорания методом искрового упрочнения // Вестник УГАТУ. 2008. Т. 10, № 1(26). С. 54–56.

ОБ АВТОРЕ



Дударева Наталья Юрьевна, доц. каф. двиг. внутр. сгорания. Дипл. инж. по технол. машиностр. (УГАТУ, 1994). Канд. техн. наук по тепл. двигателям (там же, 1999). Иссл. в обл. износостойких покрытий деталей двигателей.