

В.А. Пылев, Р. Ариан

ВЛИЯНИЕ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ВЫБОРОК В ЗОНЕ КРОМКИ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ПОРШНЯ ДИЗЕЛЯ НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ КРОМКИ

В работе на основе экспериментальных данных выполнена идентификация температурного состояния поршня для условий изменения уровня форсирования дизеля и угла опережения подачи топлива. На этой основе установлено влияние формоизменения выборок в огневом днище поршня в зоне кромки камеры сгорания на температурное состояние кромки. Показано, что это влияние соизмеримо с эффектом масляного охлаждения конструкции. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости учета локальных изменений геометрии поршня в зоне кромки камеры сгорания при выполнении оценок ресурсной прочности поршня при форсировании дизеля.

Введение

Общей тенденцией развития двигателестроения является постоянное повышение уровня форсирования двигателей. При этом показатель скорости повышения литровой мощности достаточно велик и составляет, например, для дизелей грузовых автомобилей 0,5 кВт/л в год. Это обстоятельство определяет направление работ по обеспечению ресурса основных нагруженных деталей. В полной мере сказанное относится к поршню, показатели физической и параметрической надежности которого во многом влияют на уровень критериев качества двигателя.

Анализ проблемы

Надежная работа поршня, в целом, определяется совокупностью его критических зон, характеризующихся различными условиями термомеханического нагружения. Соответственно, в различных работах рассматриваются различные аспекты обеспечения высоких показателей надежности конструкции [1-3]. При этом значительное внимание уделяется вопросу отсутствия растрескивания кромки камеры сгорания (КС) [4].

Время до растрескивания кромки определяется множеством влияющих факторов, связанных с особенностями конструкции поршня, уровнем форсирования двигателя, эффективностью теплоотвода через кольца, интенсивностью масляного охлаждения, очередностью и частотой смен режимов работы двигателя в эксплуатации [5]. При этом в практических расчетах, особенно на начальных стадиях проектирования либо доводки конструкции, часто осуществляют упрощение геометрии детали. В [6] показано, что учет в геометрической модели поршня имеющих место выборок под клапана приводит к существенному уточнению температурного состояния поршня в зоне кромки КС.

При рассмотрении реальных вариантов конструкций указанные выборки могут иметь в зоне кромки КС поршня различные геометрические исполнения, что вызывает необходимость дальней-

шего исследования указанного фактора.

Цель и задачи исследования

Целью работы является анализ влияния формы выборки в днище поршня на температурное состояние кромки КС.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи:

– осуществить идентификацию граничных условий задачи теплопроводности поршня исходно конструкции;

– на основе численного моделирования с учетом принятых допущений установить температурное состояние кромки КС поршня при формоизменении выборок под клапана;

– выполнить анализ влияния формы выборки на температурное состояние кромки КС при изменении уровня форсирования двигателя и угла опережения подачи топлива.

Основная часть

Для достижения поставленной цели на основе проведенного экспериментального исследования в работе выполнена идентификация температурного состояния поршня дизеля 4СН12/14. Объектом исследования был выбран поршень, изготовленный из алюминиевого сплава АК12М2МгН [7]. На огневом днище поршня выполнены выборки под клапаны.

На рис. 1 представлены места размещения хромель-алюмелевых термопар. Термопары заглублены на 1 мм в тело поршня от его поверхности. На данном этапе исследований рассмотрена осесимметричная постановка задачи и неизменность частоты вращения КВ, $n=1800$ мин⁻¹. На первом этапе исследования был принят угол опережения подачи топлива Θ , равный 24 градуса поворота коленчатого вала (КВ). Как видно из рис. 1 исходный поршень не имеет кольцевой полости для охлаждения маслом.

Рассмотрены уровни форсирования дизеля, приведенные в табл. 1. При этом идентификация модели осуществлена для уровней нагружения ди-

зеля 1,3 кВт и 75 кВт. Сравнение результатов эксперимента и расчета также выполнены для уровня нагружения 38 кВт.

Для прогнозирования температурного состояния поршня граничные условия (ГУ) теплообмена задавались для 24 либо 25 зон поршня, представленных на рис.2 и в табл. 2.

Аналогичные результаты получены для угла опережения подачи топлива, равному 18 градусов поворота КВ.

Вариант расчетного распределения температур в теле поршня при исходной геометрии выборок под клапана представлен на рис. 3.

Результаты идентификации модели приведены в табл. 3. Видно, что расхождение между расчетными t_p и экспериментально установленными значениями температур $t_{\text{эсп}}$ для всех исследованных точек во всем исследованном диапазоне не превышает 8°C (6%), а на нагруженных режимах – 4°C (2%).

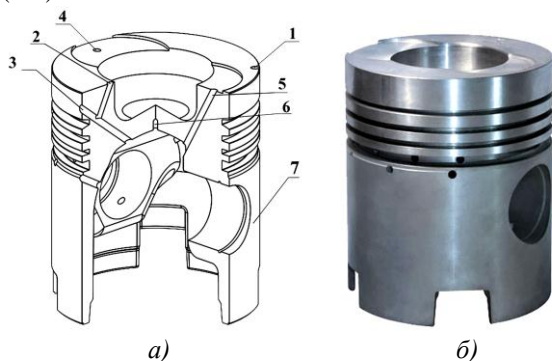


Рис. 1. Места размещения термодпар (а) поршне дизеля 4СН12/14 (б)

Таблица 1. Уровни форсирования дизеля 4СН12/14

Показатель	Натурный и численный эксперимент			Численный эксперимент
	0,2	5,9	11,85	
Нл, кВт/л	0,2	5,9	11,85	23,7
Ne, кВт	1,3	38	75	150

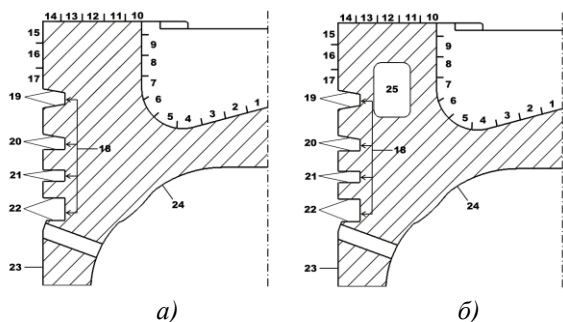


Рис. 2. Зоны задания ГУ для модели поршня без полости масляного охлаждения (а) и с полостью масляного охлаждения (б)

Таблица 2. Значение ГУ теплопроводности поршня дизеля 4СН12/14

№ зоны	Ne=1,3 кВт, Θ=24°		Ne=75 кВт, Θ=24°	
	α, Вт/м²К	t _{ос} , °С	α, Вт/м²К	t _{ос} , °С
1	169	660	354	770
2	198		415	
3	223		466	
4	242		506	
5	256		537	
6	266		557	
7	271		567	
8	271		567	
9	266		557	
10	256		536	
11	242		506	
12	222		465	
13	198		414	
14	169		353	
15	120	330	195	385
16		219		260
17		109		134
18	200	105	200	130
19	16000	101	16000	125
20	12000	98	12000	120
21	6000	94	6000	116
22	3000	90	3000	111
23	500	83	500	102
24	2200	79	2200	97
25	2200	79	2200	97

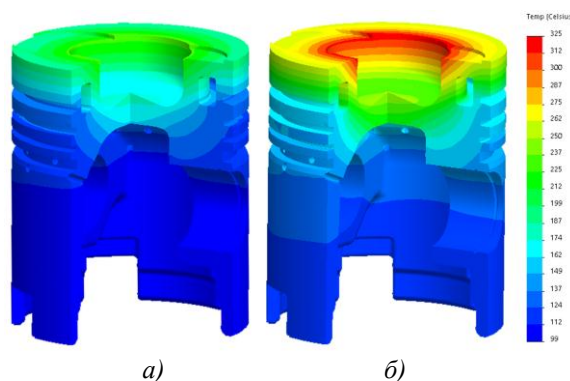


Рис. 3. Температурное состояние поршня исходной конфигурации выборок под клапана и с полостью масляного охлаждения при Θ=24°: а - Ne = 75 кВт; б - Ne = 150 кВт

На втором этапе исследований было принято допущение о малом изменении значений ГУ в зоне кромки КС при малом изменении геометрии поршня в данной зоне. Принятая для исследования модель поршня с измененной геометрией выборок под клапана представлена на рис. 4.

Рассмотрены следующие варианты сравниваемых конструкций:

– модель I – поршень с исходной геометрией выборок без полости масляного охлаждения (см. рис.1);

Таблица 3. Сравнение экспериментальных данных и расчетных результатов

№ точки	Ne= 1,3 кВт			Ne= 38 кВт			Ne= 75 кВт		
	t _{эксп} , °C	t _р , °C	Δt, °C	t _{эксп} , °C	t _р , °C	Δt, °C	t _{эксп} , °C	t _р , °C	Δt, °C
1	139	136	-3	171	168	-3	205	201	-4
2	141	149	8	185	187	2	224	228	4
3	117	118	1	141	138	-3	159	161	2
4	132	140	8	170	172	2	210	209	-1
5	137	140	3	175	174	-1	213	210	-3
6	114	114	0	143	139	-4	169	166	-3
7	88	82	-6	95	92	-3	104	103	-1

– модель II – поршень с исходной геометрией выборок и с полостью масляного охлаждения (см. рис.3);

– модель III – поршень с измененной геометрией выборок без полости масляного охлаждения;

– модель IV – поршень с измененной геометрией выборок и с полостью масляного охлаждения (см. рис.4).

Для каждого варианта модели при сопоставимых ГУ устанавливалось максимальное значение температуры в зоне кромки КС. Исследования выполнены для углов опережения подачи топлива 24 и 18 градусов поворота КВ. Результаты расчетов представлены в табл. 4.

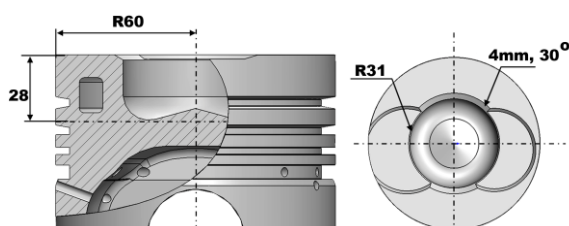


Рис. 4. Модель поршня с измененной геометрией выборок под клапана

Таблица 1. Максимальная температура поршня в зоне кромки КС, °C

Варианты сравниваемых моделей	Θ=24°		Θ=18°	
	Ne, кВт			
	75	150	75	150
I	240	331	234	322
II	234	325	227	314
III	233	321	228	313
IV	227	315	220	305

Из представленных данных видно, что незначительное внесение изменений в геометрию поршня может повлечь существенное изменение температурного состояния кромки КС. Для различных рассмотренных условий теплоподвода и теплоотвода эти изменения влекут изменение температурного состояния поршня на 6-11 °C. Такие значения температур соответствуют эффекту масляного охлаждения конструкции.

Выводы

Форсирование дизелей приводит к необходимости выполнения достоверного анализа ресурса кромки КС поршня на стадии его проектирования либо доводки. При этом одной из важных стоит задача достоверных оценок влияния геометрии поршня в зоне кромки КС на температурное состояние этой зоны.

Выполненный в работе анализ свидетельствует, что распространение зоны выборок под клапана в окружном направлении КС поршня приводит к снижению температуры кромки КС на величину, соизмеримую с эффектом масляного охлаждения поршня.

Дальнейшее направление работ связано с исследованием термических напряжений в зоне кромки КС и установлением влияния локальных деформаций в исследуемой зоне на ее ресурсную прочность.

Список литературы:

1. Зотов А.А. Разработка и научное обоснование методики эффективного проектирования поршней двигателей внутреннего сгорания / А.А. Зотов, Ю.А. Гусев, А.В. Белогуб // Двигатели внутреннего сгорания. - 2007. - № 1. с. 40-46.
2. Шпаковский В. В. Науково-технічні основи поліпшення показників ДВЗ застосуванням поршнів з корундовим шаром : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 05.05.0 „Двигуни та енергетичні установки” / Шпаковський В. В. – Харків, 2010. – 37 с.
3. Бабич А.А. Расчётная оценка теплового состояния поршня транспортного дизеля / А.А. Бабич, С.А. Громов, А.М. Левтеров // Двигатели внутреннего сгорания. - 2016. - № 1. С. 47-51.
4. Анализ поврежденных деталей ДВС, DFCDIESEL / [Электронные ресурсы]: <http://www.dfcdiesel.com/warranty-info/failure-analysis>.
5. Пильов В.О. Автоматизоване проектування поршнів швидкохідних дизелів із заданим рівнем тривалої міцності / В.О. Пильов. – Харків: Видавничий центр НТУ “ХП”, 2001. – 332 с.
6. Ариан Р. Оценка теплонапряженности поршня с учётом конструктивных особенностей в зоне кромки камеры сгорания/ Р. Ариан, В.А. Пылёв, // Двигатели внутреннего сгорания. – 2015. №2. – С. 47-51.
7. Марочник сталей и сплавов / [Электронные ресурсы]: http://www.splav-kharkov.com/en/e_mat_start.php.

Bibliography (transliterated):

1. Zotov A.A., Gusev Yu.A. Belogub A.V. (2007) “Development and scientific substantiation of methods of efficient design of Pistons of internal combustion engines” [Razrobotka i nauchnoe obosnovanie

metodiki effektivnogo proektirovaniya porshney dvigateley vnutrennego sgoraniya] *Internal combustion engines*, №.1 pp. 40-46. 2. Shpakovsky V. (2010) *Scientific and technical basis of improved-performance of internal combustion engines use pistons with corundum layer: autoref. Dis. on competition sciences. Doctor degree. Sc. Sciences specials. 05.05.03 "Engines and Power Plants" [Naukovo-tehnichni osnovy polipshennya pokaznykiv DVZ zastosovannyam porshniv z korundovym sharom: avto-ref. dys. na zdobuttya nauk. stupenya dokt. tekhn. nauk : spets. 05.05.03 „Dvyhuny ta enerhetychni ustanovy”], Kharkiv, 37 p. 3. Babich A.A. (2016) “The estimated score of piston thermal condition of transport diesel” [Raschyotnaya otsenka teplovogo sostoyaniya porshnya transportnogo dizelya] *Internal combustion engines*, №.1 pp. 47-51, DOI: 10.20998/0419-8719.2016.1.09. 4. *Damage analy-**

*sis of details of ICE, DFCDIESEL available at: <http://www.dfcdiesel.com/warranty-info/failure-analysis>. 5. Pylyov V.A. (2001) *Computer-aided design piston speed diesel engines with a specified level of long-term strength [Avtomatyzovane proektuvannya porshniv shvydkokhidnykh dyzeliv iz zadanyim rivnem tryvaloyi mitsnosti] Kharkiv: Publishing Center of NTU "KhPI" 332 p. 6. Pylyov V. A. Aryan R. (2015) Evaluation thermal-stress piston taking into account its constructive especially in the zone edges combustion chamber [Otsenka teplonapryazhennosti porshnya s uchytom konstruktivnykh osobennostey v zone kromki kamery sgoraniya] *Internal combustion engines*, №.2 pp 47-51. 7. *Database of Steels and Alloys (Russian title is the Marochnik) / available at: http://www.splav-kharkov.com/en/e_mat_start.php.***

Поступила в редакцию 14.07.2016 г.

Пильов Владимир Александрович – доктор техн. наук, профессор, зав. кафедри двигателів внутрішнього згорання Національного технічного університету «ХПІ», Харків, Україна, e-mail: pylyov@meta.ua.

Ариан Расул – аспірант кафедри двигателів внутрішнього згорання Національного технічного університету «ХПІ», Харків, Україна, e-mail: rasoul.aryan6970@gmail.com.

ВПЛИВ ФОРМОЗМІНИ ВИБІРОК В ЗОНІ КРОМКИ КАМЕРИ ЗГОРЯННЯ ПОРШНЯ ДИЗЕЛЯ НА ТЕМПЕРАТУРНОГО СТАНУ КРОМКИ

В.О. Пильов, Р. Ариан

У роботі на основі експериментальних даних виконана ідентифікація температурного стану поршня для умов зміни рівня форсування дизеля і кута випередження подачі палива. На цій основі встановлено вплив формозміни вибірок в вогневому днищі поршня в зоні кромки камери згорання на температурний стан кромки. Показано, що цей вплив можна порівняти з ефектом масляного охолодження конструкції. Отримані результати свідчать про необхідність врахування локальних змін геометрії поршня в зоні кромки камери згорання при виконанні оцінок ресурсної міцності поршня при форсуванні дизеля.

INFLUENCE OF FORMING SAMPLING IN THE ZONE OF THE EDGE OF THE COMBUSTION CHAMBER OF DIESEL PISTON THERMAL STATE EDGES

V. Pylyov, R. Aryan

In the work on the basis of experimental data is made identifying the thermal state of the piston for the conditions of changes in the level of forcing the diesel and fuel supply advance angle. On this basis, the effect of forming sampling in piston firing into combustion chamber at the edge zone thermal State edges. It is shown that this effect is comparable with the effect of oil cooling design. The results suggest the need to incorporate local changes the geometry of the piston in the edge zone combustion chamber when performing assessments of resource strength piston forcing the diesel.