

В.А. Пылев, А.В. Белогуб, О.Ю. Линьков, В.В. Пылев, С.В.Лыков, П.С. Баглай, И.С. Романенко, А.А. Терно

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПОРШНЯ ФОРСИРОВАННОГО БЫСТРОХОДНОГО ДИЗЕЛЯ

В работе рассмотрена проблема обеспечения надежной работы поршня форсированного дизеля в части возникновения задиrow на его юбке в специфических зонах. Проведено исследование процесса ползучести и релаксации напряжений для поршневого алюминиевого сплава АЛ25. Определен порог ползучести сплава на краткосрочной временной базе. Установлена зона ползучести материала на поверхности поршня. Предложен подход по устранению задиrow в исследуемой зоне.

Анализ проблемы и постановка цели исследования

Общие тенденции развития транспортных дизелей предполагают повышение их экологических и экономических показателей, а также надежности элементов конструкции при увеличении уровня форсирования. При этом одной из возможных проблем является возникновение задиrow поршня.

Задиры или даже прогары могут возникать от целого ряда влияющих факторов, как конструктивных, так и регулировочных, при нарушениях в работе систем, влияющих на температурное состояние поршня. Наиболее часто встречающимся типом задира является заDIR опорной поверхности юбки (рис. 1), к которому приводит как рост температуры поршня, так и увеличивающаяся при увеличении давления газов сила, действующая нормально к стенке цилиндра.



Рис. 1. Распространенный тип задира поршня [1]

В ряде случаев при форсировании двигателя по мощности может появляться заDIR в зоне отверстия под поршневой палец (рис. 2). Такой специфичный тип задира объяснить сложнее, но без объ-

яснения причины его возникновения невозможно выработать рекомендации по обеспечению работоспособности поршня.



Рис. 2. Специфичный вид задира поршня [1]

Цель исследования – поиск причин неспецифичного задира поршня при форсировании транспортного дизеля.

Изложение основного материала

На основе анализа тепловых потоков в двигателе [2] известно, что тепловой поток от газов в поршень составляет до 6 % от теплоты сгорания топлива. При этом известно, что поршни из алюминиевых сплавов форсированных дизелей в ряде случаев работают на границе прочности [3]. В транспортных двигателях, вследствие частых изменений режимов эксплуатации, интенсифицируются процессы усталости и ползучести материалов. В первую очередь это относится к кромкам камер сгорания. Можно предположить, что явление ползучести материала с ростом форсирования двигателя либо его перегрева может возникнуть также и в зоне, представленной на рис.2.

Тогда циклическое деформирование материала будет отвечать условной диаграмме, представ-

ленной на рис. 3. Здесь при набросе нагрузки материал поршня сначала подвергается упругому деформированию на участке 0-1. Дальше, не достигнув предела текучести σ_T , материал, вследствие ползучести, деформируется во времени, как это показано на участке 1-2. После сброса нагрузки материал переходит в новое состояние по отрезку 2-3. При этом после прохождения цикла сброса-наброса нагрузки по участкам 0-1, 1-2, 2-3 в материале будет иметь место накопленная деформация. Она возникает в связи с тем, что расширение материала не ограничено с внешней стороны поршня. В дальнейшем, при повторных нагружениях, величина накопленных деформаций ползучести будет увеличиваться, см. участки 3-4(2), 4-5, 5-6.

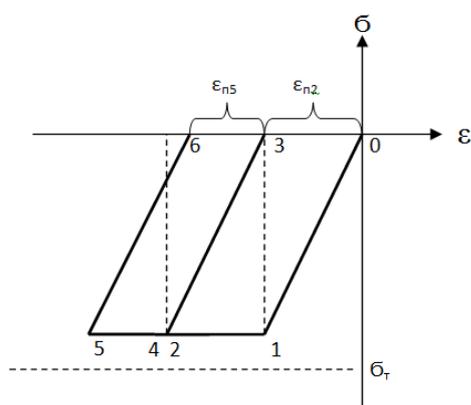


Рис. 3. Процесс деформирования материала: $\epsilon_{n2}, \epsilon_{n5}$ – деформация ползучести

Из рис. 4 видно, что зоны поршня в районе бобышек под палец имеют большие температуры, чем зоны в перпендикулярной плоскости. Таким распределением температур в сочетании с предложенным процессом деформирования юбки поршня форсированного дизеля можно объяснить появление задиров.

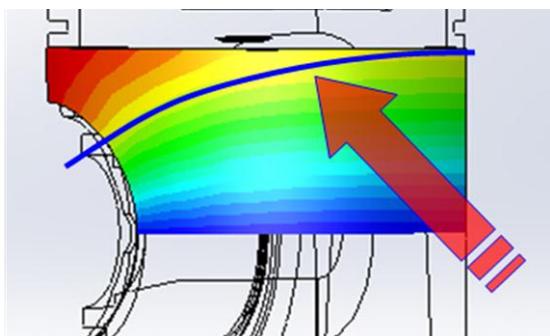


Рис. 4. Температурное состояние юбки поршня в зоне бобышки поршневого пальца

С учетом представленных данных следует ожидать формоизменение юбки поршня в зонах, изображенных на рис. 5. В реальных конструкциях все четыре зоны на юбке поршня симметричны, имеют одинаковый вид. Это обстоятельство также свидетельствует в пользу выдвинутых предположений о деформации ползучести.

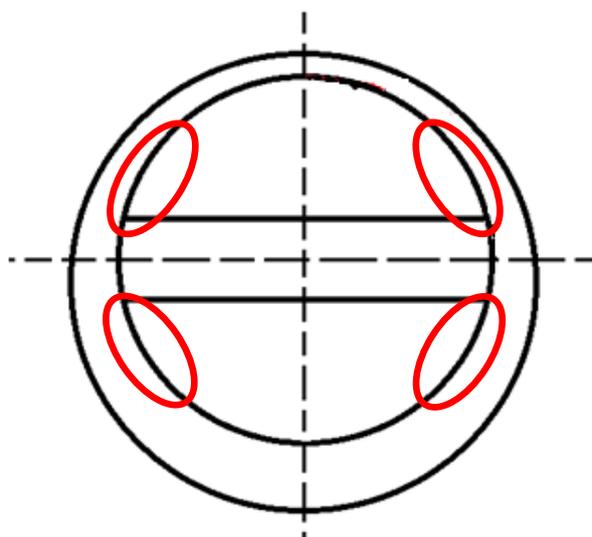


Рис. 5. Схема расположения задиров в реальных конструкциях

Типичная кривая ползучести материала представлена на рис. 6. Здесь участок I характеризует упрочнение материала вначале нагружения; участок II – деформацию ползучести с неизменной скоростью; участок III – последующее разупрочнение материала.

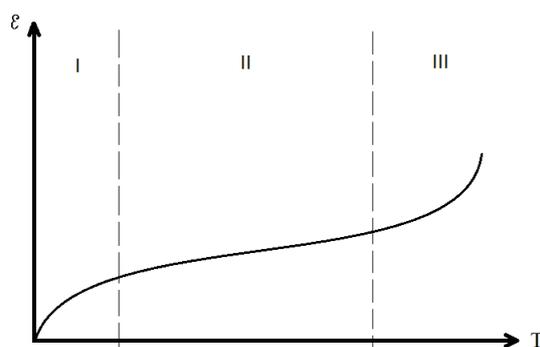


Рис. 6. Характерные участки деформации ползучести материала во времени

Для описания этого процесса в [3] использованы следующие зависимости.

Скорость ползучести:

$$\dot{\epsilon} = A \left[\frac{\sigma}{1 - \omega} \right]^n \cdot (1 + D e^{-a}), \quad \epsilon(0) = 0; \quad (1)$$

$$\dot{\omega} = B \left[\frac{\sigma}{1 - \omega} \right]^n, \quad \omega(0) = 0 \quad (2)$$

где ϵ – деформация ползучести;

$\dot{\epsilon}$ – скорость ползучести материала;

σ – действующее напряжение;

D, α – константы материала, характеризующие первый участок кривой ползучести (рис. 6);

A, n – константы материала, характеризующие второй участок кривой ползучести (рис. 6);

r – константа материала, характеризующая процесс накопления повреждений в материале на третьем участке кривой ползучести (рис. 6);

ω – показатель, характеризующий степень поврежденности материала (вначале равняется 0, при разрушении равняется 1).

B – константа материала, характеризующая третий участок кривой ползучести.

Для учета влияния температуры на процесс ползучести использованы следующие зависимости [3]:

$$A = A_0 \cdot \exp(-K_1/T); \quad (3)$$

$$B = B_0 \cdot \exp(-K_2/T), \quad (4)$$

где A_0, B_0, K_1, K_2 – константы материала, не зависящие от температуры; T – температура.

Релаксация напряжений может быть рассчитана на основе выражения:

$$\frac{d\epsilon}{d\tau} = -\frac{1}{E} \cdot \frac{d\sigma}{d\tau}; \quad (5)$$

На основе (1)-(5) можно установить порог ползучести конкретного материала. Здесь важно, что на различной временной базе нагружения материала эта характеристика будет изменяться. Поэтому для сплава АЛ25 нами установлен порог ползучести на временной базе, не превышающей 1 час. Значения коэффициентов ползучести приняты для условия сжатия по данным [3]. Полученная зависимость представлена на рис. 7.

Модельный эксперимент, нацеленный на установление возможности появления зоны ползучести на юбке поршня, осуществлен применительно к поршню диаметром 120 мм. Зона возможного возникновения специфичного задира была разбита на сетку, представленную на рис. 8. Значения температур и термических напряжений на поверхности

поршня для случая превышения порога ползучести сведены в табл. 1.

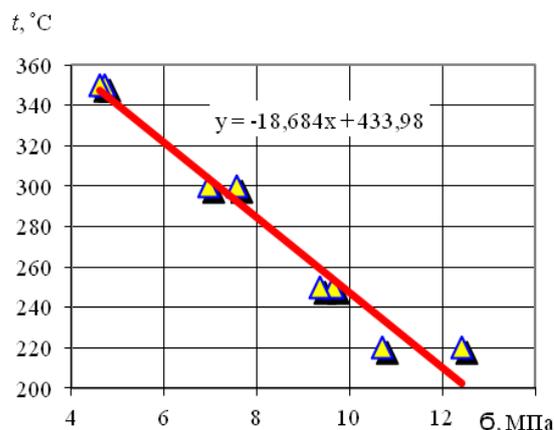


Рис. 7. Порог ползучести сплава АЛ-25: Δ – расчётные значения; — - аппроксимирующая прямая

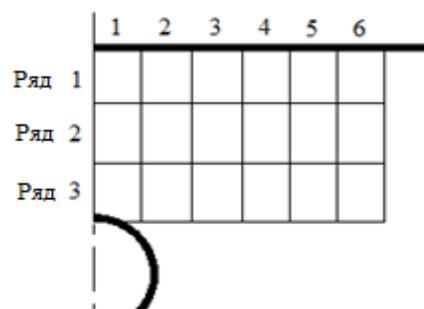


Рис. 8. Исследуемая зона термонапряженного состояния боковой поверхности поршня

Здесь ползучесть имеет место для ячеек, выделенных шрифтом.

Полученный результат свидетельствует, что для исключения специфичных задиры на юбке поршня возможно применение известных мероприятий, направленных на снижение уровня и перепадов действующих температур. Кроме этого следует рассматривать возможность применения материалов с более высоким порогом ползучести.

Эффективность применяемых мероприятий может быть установлена расчетными методами.

Таблица 1. Вариант термонапряженного состояния юбки поршня в зоне пальцевого отверстия

Номер зоны	Температура, $^{\circ}\text{C}$ / Напряжение, H/m^2					
	1	2	3	4	5	6
Ряд 1	254,19/1,791·10 ⁷	253,41/1,451·10 ⁷	253,2/1,346·10 ⁷	245,6/7,461·10 ⁶	243,27/4,744·10 ⁶	241,3/1,287·10 ⁶
Ряд 2	253,45/1,391·10 ⁷	252,72/1,256·10 ⁷	250,31/1,281·10 ⁷	243,78/5,339·10 ⁶	241,7/9,955·10 ⁵	239,87/2,146·10 ⁶
Ряд 3	252,93/1,866·10 ⁷	250,32/1,451·10 ⁷	245,42/1,045·10 ⁷	240,51/9,368·10 ⁶	237,85/9,245·10 ⁶	235,5/2,82·10 ⁶

Заключення

В роботі виконано дослідження, пояснює виникнення задири на юбці поршня в зоні пальцевого отвору.

Представлено схематизовану діаграму навантаження поверхні юбки поршня з урахуванням процесу повзучості матеріалу.

Встановлено поріг повзучості поршневого сплаву АЛ25 на часовій базі до 1 години навантаження в умовах стиснення.

Встановлено зону виникнення процесу повзучості матеріалу на поверхні поршня.

Представлені результати свідчать, що поряд з традиційними напрямками підвищення надійності поршневих форсованих дизелів слід розглядати застосування матеріалів з вищим порогом повзучості.

Дальніша робота пов'язана з глибшими дослідженнями процесу повзучості поршневих алюмінієвих сплавів і умов, що викликають задири на поверхні юбки поршня.

Список літератури:

1. Повреждения поршней – как выявить и устранить их / Motor Marketing DIE NECKARPRINZEN GmbH, Heilbronn, 2 изд., – 2010. – 92 с.
2. Чайнов Н.Д. Влияние масляного охлаждения на тепловое состояние поршней ДВС [Текст] / Н.Д. Чайнов, Л.Л. Мягков, А.В. Кареньков // Двигатели внутреннего сгорания. – 2005. - № 2. – С. 66-70.
3. Пильов В.О. Автоматичне проектування поршнів швидкохідних дизелів із заданим рівнем тривалості міцності [Текст]: Монографія. – Харків: Видавничий центр НТУ «ХПІ»: 2001. - 332 с.

Bibliography (transliterated):

1. Motor Marketing (2010) "Piston damages - how to identify and eliminate them", 2nd edition ["Povrezhdeniya porshney – kak vyivayt' y ustranyt' ykh"] 2-e izd., DIE NECKARPRINZEN GmbH, Heilbronn, 92 p.
2. Chaynov M.D., Mjagkov L.L., Karenkov A.V. (2005) "The impact of the oil cooling of ICE pistons thermal state", Internal combustion engines, ["Vplyv maslyanoho okholodzhennya na teplovyy stan porshniv DVZ", Dvyhuny vnutrishn'oho z'horyannya], № 2, pp. 60 – 70.
3. Pylov V.A. (2001) Automatic design of speed diesel engines piston with a specified level of long-term strength : Monograph [Avtomatychne proektuvannya porshniv shvydkokhidnykh dyzeliv iz zadanyim rivnem tryvuloyi mitsnosti : Monohrafiya], Kharkiv: Publishing center of NTU "KPI", 332 p.

Поступила в редакцію 15.07.2016 г.

Пылев Владимир Александрович – доктор техн. наук, профессор, зав. кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального технического университета «ХПИ», Харьков, Украина, e-mail: pylyov@meta.ua

Белогуб Александр Витальевич – доктор техн. наук, профессор, профессор кафедры конструкции авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: a_belogub@mail.ru

Линьков Олег Юрьевич – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: linkov@ukr.net

Пылев Вячеслав Владимирович – канд. техн. наук, мл. научн. сотрудник кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: vv3pylyov@i.ua

Лыков Сергей Валентинович – начальник отдела КП «Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению», Харьков, Украина

Баглай Павел Сергеевич – магистрант кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина.

Романенко Игорь Сергеевич – студент кафедры конструкции авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

Терно Александр Анатольевич – магистрант кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПОРШНЯ ФОРСОВАНОГО ШВИДКОХІДНОГО ДИЗЕЛЯ

В.О. Пильов, О.В. Білогуб, О.Ю. Линьков, В.В. Пильов, С.В. Ликов, П.С. Баглай, І.С. Романенко, О.А. Терно

В роботі розглянуто проблему забезпечення надійної роботи поршня форсованого дизеля в частині виникнення задири на його юбці в специфічних зонах. Проведено дослідження процесу повзучості і релаксації напружень для поршневого алюмінієвого сплаву АЛ25. Встановлено поріг повзучості сплаву на короткотерміновій базі. Встановлено зону повзучості матеріалу на поверхні поршня. Запропоновано підхід з усунення задири в досліджуваній зоні.

IMPROVING THE RELIABILITY OF THE PISTON OF HIGH-SPEED DIESEL BOOSTED

V.O. Pylyov, O.V. Bilogub, O.U. Linkov, V.V. Pylyov, S.V. Likov, P.S. Baglay, I.S. Romanenko, O.A. Terno

The problem of a piston reliability ensuring in the high-power diesel engine service and specifically the tear in particular areas of the piston skirt is discussed in the paper. The creep process and stress relaxation simulation for aluminium silicon alloy Al-25 is performed. The alloy creep threshold in a short-time term is ascertained. The material creep area on the piston surface is determined. The approach for tear elimination in the investigated area is suggested.