

В.З. Зубер, Ч.Б. Дробышевский, А.Т. Гринюк
ПОВЫШЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ПОРШНЕЙ
ДВИГАТЕЛЯ Д-240

Обладающая известными достоинствами камера сгорания типа ЦНИДИ [1] вместе с тем содержит ослабленный в термическом отношении элемент – кромку горловины, которая может растрескиваться при длительной эксплуатации двигателя (несколько тысяч моточасов). Как показали наблюдения, трещины располагаются радиально, преимущественно вблизи главных осей поршней. Размеры трещин не выходили за пределы наибольшего диаметра камеры сгорания. Трещины не влияют на эффективные показатели двигателей и не являются признаком, требующим немедленной замены поршней. Однако как потенциальный очаг разрушения поршней при длительной эксплуатации двигателей трещины недопустимы, и возможность их возникновения должна быть исключена на стадии разработки конструкции.

В настоящей статье излагаются результаты исследования условий работы поршней и факторов, вызывающих образование термических трещин, а также результаты работ по повышению термической стойкости поршней двигателя Д-240 за счет подбора наиболее рациональной формы камеры сгорания.

Все опыты проводились на поршнях, отлитых из силумина АЛ-25 по ГОСТу 2685-63.

Методически исследование построено на полученных ранее другими авторами [2, 3] выводах об усталостной природе подобных трещин.

Имеющие место при работе тракторного двигателя изменения тепловых и механических нагрузок на поршень определя-

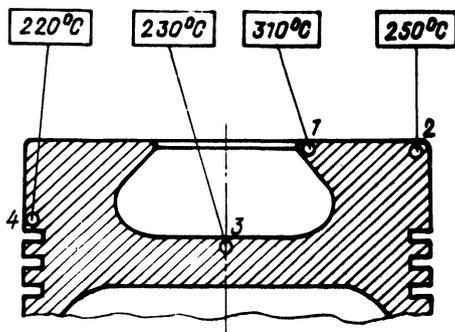


Рис. 1. Температура в характерных точках поршня двигателя Д-240 на режиме максимальной мощности $N_e = 80$ л.с., $n = 2200$ об/мин.

Таблица 1. Влияние режимов работы двигателя на температуру поршня

Параметры	Приращение температуры в точке 1, °С
Увеличение p_e на 1 кгс/см ²	15
Увеличение скорости вращения коленвала на 100 об/мин	4
Увеличение температуры воды в системе охлаждения двигателя на 10 °С	6
Увеличение угла опережения подачи топлива на 1 град. п.к.в.	4

ются, с одной стороны, последовательным чередованием тактов рабочего процесса, а с другой – непрерывным изменением нагрузочного, скоростного и теплового режимов, диктуемым условиями эксплуатации.

На рис. 1 представлены результаты замера температуры в отдельных точках головки поршня двигателя Д-240 на режиме максимальной мощности 80 л.с. при 2200 об/мин. При замере температуры поршня использовались медь-константановые термомпары, вмонтированные на глубину 1,5–2 мм от исследуемых поверхностей. Съем термо-э.д.с. осуществлялся контактным способом. Наиболее нагретой зоной поршня является кромка горловины камеры сгорания. В точке 1 $t = 310$ °С, на краю днища поршня, в точке 2 – 250 °С.

Влияние изменяющейся нагрузки, скоростного режима, теплового состояния двигателя и угла опережения подачи топлива на температуру поршня в точке 1 представлены в табл. 1.

На практике возможны разнообразные условия работы тракторного двигателя, при которых то или иное сочетание рассмотренных факторов будет определять различную степень нагрева поршней в диапазоне от температуры окружающей среды при стоянке до максимальной температуры на режиме полной мощности.

Механизм образования усталостных трещин на кромке горловины камеры сгорания можно объяснить следующим образом.

При нагружении двигателя в наиболее нагретой кольцевой зоне, примыкающей к горловине камеры, вследствие ее боль-

шого линейного расширения, по сравнению с соседними менее нагретыми зонами, возникают напряжения сжатия и, как следствие, пластическая деформация материала. При охлаждении поршня в деформированных слоях напряжения сжатия сменяются напряжениями растяжения. Естественно ожидать, что знакопеременные нагрузки вызовут усталостное повреждение поршней, интенсивность которых будет определяться частотой повторяемости температурного воздействия и амплитудой изменения температуры.

Опытные поршни устанавливались на двигатель Д-240, который затем подвергался испытанию на стенде чередующимися режимами полной мощности и холостого хода с резким переходом с режима на режим. После каждых 100 циклов поршни осматривались. Для более глубокого охлаждения поршней при работе на холостом ходу температура воды в системе охлаждения во время испытаний поддерживалась минимально возможной - 40-50°С, а для интенсификации нагрева поршней при полной мощности угол опережения подачи топлива был намеренно увеличен до 40 град. п.к.в. вместо 26 град. п.к.в., являющихся наивыгоднейшими по расходу топлива. Увеличение угла опережения сопровождалось также ростом максимального давления сгорания P_z с 78 кгс/см² до 100 кгс/см², что усиливало действие на поршень механических нагрузок.

Использование описанного метода термоциклических испытаний поршней на двигателе в сравнении с известными безмоторными методами повышало достоверность результатов благодаря сохранению всего сложного комплекса факторов, воздействующих на поршень: тепловых потоков, условий теплопередачи, механических нагрузок, агрессивного влияния продуктов сгорания и т.д. Кроме того, в этом методе испытаний на двигателе предусматриваются всего две варьируемые величины - нагрузка и обороты двигателя, что упрощает задачу автоматизации испытаний.

Продолжительность работы двигателя на режимах полной мощности и холостого хода выбрана по результатам исследования закономерности изменения температуры поршня на переменных режимах и принята равной времени, на протяжении которого температура поршня стабилизируется. Согласно представленной на рис. 2 экспериментальной диаграмме изменения температуры поршня, стабилизация температуры наступает в течение 2 мин. Как видим, вся операция нагрев - охлаждение поршня, представляющая собой температурный цикл, длится

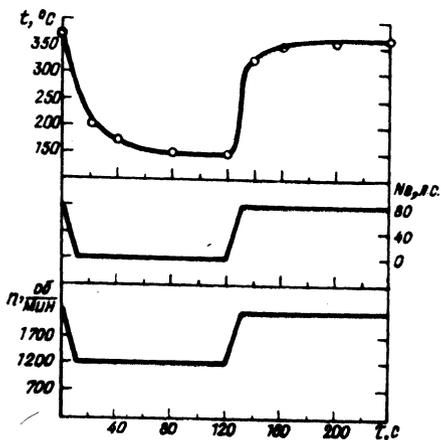


Рис. 2. Диаграмма изменения температуры поршня в зоне кромки горловины камеры (точка 1) в зависимости от режима работы двигателя.

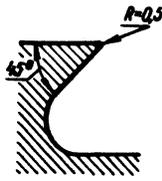
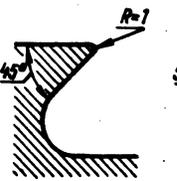
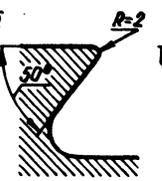
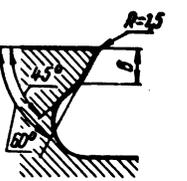
4 мин. За это время температура поршня в точке 1 изменяется в пределах 150 – 370°С, т.е. примененный метод испытаний дает возможность не только увеличить перепад температур, но и существенно повысить температурный уровень поршня в зоне горловины камеры. Отмеченное обстоятельство должно способствовать ускорению растрескивания поршней, так как при температуре выше 300°С у силуминов наблюдается резкое снижение предела прочности [3, 4].

Испытания подтвердили правильность предположений при организации температурного цикла с точки зрения быстрого получения результатов. На поршнях, работавших в эксплуатации до растрескивания 4500 – 5500 моточасов при ускоренных испытаниях, трещины возникали через 4800 циклов, т.е. через 320 ч работы двигателя.

При разработке мер по повышению термической стойкости поршней двигателя Д-240 в первую очередь были исследованы возможности, скрытые в самой геометрии камеры при условии сохранения ее энергетических качеств. Уменьшить скорость перемещения потока газов в горловине камеры и, следовательно, снизить ее нагрев можно введением закругления кромки [3]. При этом влияние кромки как концентратора напряжений также уменьшится. С другой стороны, за счет увеличения угла наклона боковой стенки камеры к днищу и наращивания массы металла в примыкающей к горловине зоне могут быть улучшены условия охлаждения этой зоны.

Эскизы камер сгорания испытанных поршней приведены в табл. 2.

Таблица 2. Показатели сопротивляемости растрескиванию поршей двигателя Д-240 с различными вариантами выполнения камеры сгорания

Отличительные элементы испытанных камер сгорания	I 	I 	II 	II 	I 
Количество циклов до появления 1-й трещины	1200	1500	4800	7000	8800
Общее количество циклов, предусмотренное объемом испытаний	5200	5200	10100	10100	8800
Суммарное количество трещин к концу испытаний, шт.	12	4	1	1	трещин нет
Наибольшая длина трещин в конце испытаний, мм	21	15	12,5	4,5	-

В качестве оценочных показателей сопротивляемости поршней разрушению были приняты: количество температурных циклов, отработанных поршнем к моменту возникновения первой трещины; общее количество трещин в конце испытаний; размер наибольшей трещины в конце испытаний.

Сравнение всех показателей сопротивляемости растрескиванию (табл. 2) показывает, что введение закругления кромки радиусом 1 мм вместо притупления радиусом 0,5 мм при неизменном угле наклона боковой стенки 45° (камеры I и II) повышает стойкость поршней, но незначительно.

Время работы поршня в циклах при этом увеличивается на 25% (с 1200 до 1500 циклов). Количество трещин в конце испытаний уменьшается с 12 до 4. Увеличение радиуса закругления с 1,5 мм до 2 мм сказывается более существенно (камеры III и IV). В этом случае время до появления первой трещины возрастает на 45%. Максимальное снижение склонности поршней к растрескиванию обеспечивает одновременное использование увеличенного угла наклона боковой стенки и максимально допустимого радиуса закругления кромки (камеры III и V). Нарботка поршня с камерой III до появления первой трещины превосходит время работы поршня II в 3,2 раза (1500 и 4800 циклов соответственно). Поршни с камерой V даже после 8800 циклов трещин не имели.

Трещины, возникшие раньше других, имели максимальную длину и располагались, как правило, вдоль главных осей поршня. В ходе экспериментов установлено также, что при систематическом попадании в цилиндры двигателя воды через нарушенное уплотнение стыка между головкой цилиндров и блоком трещины на всех вариантах поршней возникают примерно в 2 раза быстрее, чем на исправном двигателе. Существенно сокращают время работы поршней до растрескивания различные забоины и глубокие риски на поверхности кромки горловины.

Таким образом, в результате исследований можно выделить следующие основные факторы, которые вызывают образование усталостных термических трещин на кромках поршней и определяют их развитие:

- 1) величина перепада температуры поршня при многократном чередовании режимов работы двигателя, вызывающих нагрев и охлаждение поршней;
- 2) максимальная температура поршня в зоне кромки горловины камеры сгорания;
- 3) наличие концентраторов напряжений.

Полученные сведения дают возможность выбрать для каждого из этапов планомерного наращивания мощности двигателей свои, наиболее целесообразные средства, позволяющие исключить растрескивание поршней в эксплуатации. Для двигателя Д-240 эффективной мерой, обеспечивающей достаточную надежность поршней в пределах заданного моторесурса, является применение камеры сгорания усовершенствованной конструкции (камера У).

Л и т е р а т у р а

1. Рожанский В.А. и др. Влияние параметров камеры сгорания на показатели рабочего цикла дизеля Д-240. - "Тракторы и сельхозмашины", 1974, №9.
2. Прочность и деформация в неравномерных температурных полях. Сб. науч. работ МУФИ под ред. д-ра техн. наук, проф. Я.Б. Фридмана. М., 1962.
3. Rohrlé Manfred. Rißneigung von Leichtmetall Kolben-Legierungen durch periodische Wärmebeanspruchung. - "MTZ", 1969, N9, N12.
4. Schumann H., Reiland K. Termische Werkstoffermüdung als Rißursache bei Leichtmetallkolben von Großdieselmotoren. - "Schiffbautechnik", 1964, N3.

Д.М. Пинский, Г.М. Кухаренок, В.А. Рожанский

МЕТОДИКА РАСЧЕТА РАСПОЛОЖЕНИЯ СОПЛОВЫХ ОТВЕРСТИЙ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ ФОРСУНОК ДИЗЕЛЕЙ С КАМЕРОЙ СГОРАНИЯ В ПОРШНЕ

Показатели рабочего цикла дизелей с камерой сгорания в поршне зависят от геометрических параметров факела топлива: длины, угла и места встречи топливных струй со стенками камеры сгорания. Эти параметры определяются расположением сопловых отверстий распылителя форсунки.

При доводке рабочего процесса дизелей в ряде случаев необходимо спроектировать опытные распылители, обеспечивающие различные длины топливных струй, угол и место встречи со стенкой камеры сгорания.

Решение таких задач графическим методом при наклонном и смещенном относительно осей камеры сгорания расположении форсунки затруднено и связано с рядом допущений [1]. Поэтому была разработана методика расчета расположения со-