

УДК 621.432

## **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ФОРСИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ 4С8,2/7,56 ГАЗОТУРБИНЫМ НАДДУВОМ БЕЗ ИЗМЕНЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА**

*Г.В. Ломакин, М.А. Мацулевич, Н.М. Ломакина*

Выполнена оценка тепломеханической нагруженности поршня двигателя 4С8,2/7,56, при форсировании по среднеэффективному давлению с использованием универсальной методики оценки граничных условий, позволяющая учесть все составляющие теплового баланса и особенности газодинамического нагружения в ходе рабочего цикла.

Ключевые слова: поршень, граничные условия, газодинамическое нагружение, квазистационарный теплообмен.

Совершенствование двигателей внутреннего сгорания с искровым зажиганием связано с повышением топливной экономичности, увеличением литровой мощности, снижением массогабаритных показателей и тп. Для серийно выпускаемых двигателей номинальная частота вращения коленчатого вала составляет 4000...7000 мин<sup>-1</sup>, а ее дальнейшее повышение не является целесообразным, поскольку возрастают инерционные нагрузки, механические потери, увеличивается скорость изнашивания цилиндропоршневой группы (ЦПГ) и кривошипно-шатунного механизма (КШМ). К перспективным направлениям развития двигателей с искровым зажиганием стоит отнести их форсирование по среднему эффективному давлению, например, газотурбинный наддув. Данное техническое решение ограничено рядом факторов, в числе которых повышенные тепловой и механической нагруженности на детали КШМ и опасность возникновения детонационного сгорания.

Тепловая нагруженность поршня, как одного из наиболее нагруженных элементов, образующих внутрицилиндровое пространство камеры сгорания с рабочими температурами до 300 °С из алюминиевого сплава, лимитирует работу компрессионных колец (потеря подвижности), ограничивает срок службы и ухудшает свойства смазочного масла, является причиной появления трещин с последующим оплавлением кромки жарового пояса поршня и ограничивает дальнейшее форсирование двигателей по среднему эффективному давлению. Оценка теплового состояния поршня рассматриваемого двигателя методом конечно-элементного анализа, предусматривает следующую последовательность действий:

- определение характера изменения давления и температуры газов в цилиндре двигателя посредством синтеза рабочего цикла;

- определение параметров теплообмена со стороны рабочих газов в цилиндре двигателя, смазочного материала и сопряженных элементов цилиндро-поршневой группы;
- описание геометрических характеристик элемента, создание конечно-элементной модели и определение условий теплообмена на границах расчетной области;
- указание теплофизических свойств материалов и выполнение расчетных процедур по решению уравнения теплопроводности для нахождения распределения температур в анализируемом элементе.

Граничные условия теплового нагружения поршня двигателя 4С8,2/7,56 определены по универсальной методике, позволяющей учесть все составляющие теплового баланса и особенности газодинамического нагружения в ходе рабочего цикла [1].

При оценке прочностных параметров поршня, применительно к конечно-элементной модели, заданы граничные условия силового воздействия на режимах номинальной мощности, основными из которых являются давление газов и инерционная сила, возникающая при возвратно-поступательном движении поршня. Результирующая сила, действующая на поршень и приложенная к оси поршневого пальца, определена по результатам кинематического и динамического анализа кривошипно-шатунного механизма.

Следует отметить, для сохранения адекватности формы модели реальному исследуемому объекту линейные размеры элементов выбраны таким образом, чтобы исключить их влияние на геометрические характеристики поршня и обеспечить приемлемую точность при выполнении итерационного процесса. Для получения корректного решения термо-прочностной задачи по оценке уровня деформаций и напряжений, использована комплексная модель фрагмента кривошипно-шатунного механизма двигателя 4С 8,2/7,56. Комплексная модель, включающая поршень, поршневой палец, шатун с втулкой поршневой головки и вкладышами и фрагмент коленчатого вала.

В результате проведенного совместного квазистационарного термо-прочностного расчета получены результаты, в виде распределения температур, деформаций и напряжений, по поверхности и в объеме поршня.

Уровень температур в области первого компрессионного кольца, нефорсированного стандартного двигателя на режиме номинальной мощности при  $P_e = 0,895$  МПа соответствует значению, примерно в 220...230 °С и представляется приемлемым. С повышением среднеэффективного давления от 1,428 до 1,815 МПа на режиме соответствующем номинальной мощности температур в области первого компрессионного кольца увеличивается, примерно 20...45 °С, соответственно, и представляется чрезмерно высоким, с точки зрения обеспечения приемлемых условий работы смазочного масла. Высокотемпературное коксование, нагарообразование и возможное «пригорание» смазочного масла в области первого компрессионного кольца создает предпосылки к потере подвижности последнего, что недопустимо.

Статический прочностной расчет поршня осуществлялся при положении коленчатого вала, соответствующий углу поворота 390 град. ПКВ такта расширения. Согласно результатам синтеза рабочего цикла двигателя, в этот момент в цилиндре достигается максимальное давление газов. В ходе проведения расчета определены суммарные и осевые деформации, нормальные, и эквивалентные напряжения, значения которых, использованы для оценки запасов прочности.

Использование комплексной модели при выполнении термо-прочностного анализа целесообразно, поскольку позволяет учесть жесткость фрагмента КШМ при передаче усилия от поршня к коленчатому валу и обеспечить корректное решение контактных задач в сопряжениях «поршень – поршневой палец», «поршневой палец – втулка поршневой головки шатуна», «шатунный вкладыш – шатунная шейка коленчатого вала».

Следует отметить, что максимальные суммарные деформации в 120, 180 и 240 мкм для различных  $Pe$  режима номинальной мощности  $4Ч8,2/7,56$  наблюдаются в центральной части днища поршня, имеющем данное сечение, как наиболее нагруженное, что вполне согласуется с существующими представлениями о механической нагруженности поршня, и при данном уровне температур, и механических нагрузений, достигаемых в ходе рабочего цикла, является вполне приемлемым.

Распределение эквивалентных напряжений поршня свидетельствует о приемлемом уровне ее механической нагруженности, значения которых не превышают допустимые значения с точки зрения предела прочности используемого материала АЛ-35.

Максимальный уровень нормальных напряжений сжатия составляет, примерно, 77, 120 и 160 МПа соответственно для режимов номинальной мощности двигателя при разных  $Pe$ . Распределение нормальных напряжений поршня вдоль оси  $Y$  свидетельствует о приемлемом уровне ее механической нагруженности, значения которых не превышают допустимые значения с точки зрения предела прочности используемого материала.

Проведение поверочных расчетов поршня при форсировании двигателя  $4Ч8,2/7,56$  по среднему эффективному давлению, характеризующемуся повышенными значениями удельных показателей, позволяет прогнозировать поведение поршня в условиях реального теплового нагружения и силового воздействия, и, при необходимости внести ограничения по степени форсировки двигателя  $4Ч8,2/7,56$ .

В результате проведения поверочных расчетных оценок теплового и напряженно-деформированного состояния поршня двигателя  $4Ч8,2/7,56$  могут быть сформулированы следующие рекомендации:

- повысить эффективность охлаждения поршня смазочным маслом и использовать специальное смазочное масло, отвечающее требованию пониженного коксования при высоких температурах;

- применение охладителя наддувочного воздуха при давлении наддува более 0,15 МПа;
- понижение степени сжатия до 9...9,5 единиц.
- сечение второго компрессионного кольца для повышения его работоспособности в условиях высоких рабочих температур рекомендуется выполнять в виде трапеции;
- для снижения уровня теплового нагружения увеличить отвод теплоты от гильзы цилиндров интенсификацией движения охлаждающей жидкости, омывающей ее верхнюю область в полости системы охлаждения;

#### Библиографический список

1. Ломакин, Г.В. Методика оценки граничных условий при решении задачи определения теплового состояния поршня бензинового двигателя / Г.В. Ломакин, М.А. Мацулевич // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2014. – Т. 14. – № 1. – С. 26–31.