

УДК 621.43.001.4

А.А. Зотов, инж., Ю.А. Гусев, канд. техн. наук, А.В. Белогуб, канд. техн. наук

ПРИМЕНЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В ходе проектирования деталей ДВС, возникает необходимость проведения большого объема расчетов с использованием современной вычислительной техники. Часто, для сокращения машинного времени, используются упрощенные расчетные модели, позволяющие быстро получить предварительные результаты. Однако, в этом случае трудно задать корректные ГУ, что негативно сказывается на достоверности результатов. Более сложные расчетные модели, учитывающие взаимодействия нескольких входящих в узел деталей, способны дать более точный результат, но требуют больших временных и технических ресурсов, что приводит к замедлению проектных работ и их удорожанию. Наиболее достоверную информацию можно получить из натурального эксперимента, но это, в большинстве случаев, является сложным и ещё более дорогостоящим мероприятием. Таким образом, для успешного решения конструкторских задач необходим инструмент, позволяющий достоверно определить ГУ для упрощенного расчета с возможностью использования его для решения типовых или оптимизационных задач.

В частности, при проектировании деталей ДВС сложной геометрической формы, таких как поршень, возникает необходимость проведения оптимизации изделия сразу по нескольким параметрам [1]. Это обусловлено тем, что к конструкции предъявляются противоречивые требования: минимально возможная масса поршня с одной стороны, а с другой – заданная прочность, жесткость и долговечность.

Упрощенная расчетная модель поршня и расчетная модель узла (поршень и поршневой палец), а также результаты расчета показаны на рис.1. Хорошо видно, что характер распределения полей напря-

жений в обоих случаях схожий (рис.1, в, г), но величина максимальных значений в одноименных точках отличается. Это обусловлено недостаточной корректностью задания ГУ в расчетной модели поршня. В частности, закрепление по верхней поверхности отверстия под поршневой палец приводит к значительному занижению напряжений на внутренней кромке и искажению поля распределения напряжений. Таким образом, основной задачей в этом примере будет определение размера и формы опорной площадки, по которой происходит закрепление модели при расчете.

Уточнить ГУ можно, решив обратную задачу ГУ (2): получив значения деформаций (напряжений) в контрольных точках из эксперимента или полно-размерного расчета узла, можно определить параметры, характеризующие ГУ – площадь и форму пятна контакта поршневого пальца с бобышкой поршня, а также давление в этой зоне.

Для измерения деформаций (напряжений) в ходе натурального эксперимента, поршень препарируют тензодатчиками. Выбор тензодатчиков зависит от условий, работы, которые, в свою очередь, определяются типом проводимого эксперимента [3]. Ниже приведена схема препарирования поршня тензодатчиками (Рис.2). Показана только половина поршня, - вторая является её зеркальным отражением и препарируется аналогично. Однако проведение полноценного натурального эксперимента является трудоемким и дорогостоящим мероприятием. Поэтому на первом этапе для упрощения допустимо проведение последнего без учета термической и динамической составляющих нагружения. Результаты его являются основой оценки приемлемости допущений, приня-

тых при задании ГУ в упрощенном расчете напряженно-деформированного состояния, обусловленного механическими воздействиями на поршень. Такое допущение считается приемлемым ввиду того, что температурные нагрузки оказывают незначительное влияние на распределение напряжений в теле

поршня и основной задачей является определение корректности задания ГУ именно для силового нагружения. В частности, необходимо определить площадь и форму пятна контакта поршневого пальца и бобышки поршня.

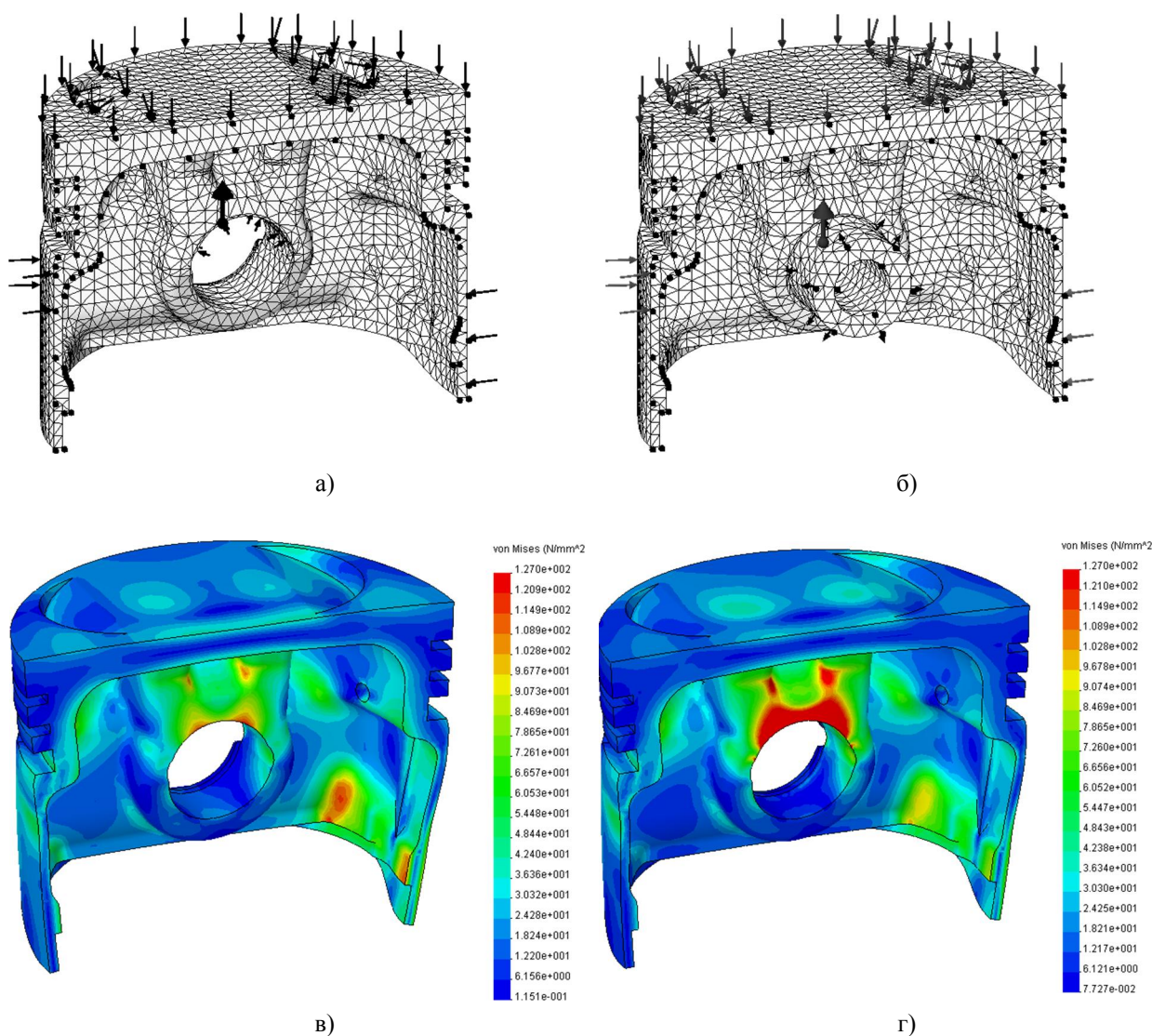


Рис.1. Расчетная модель и результат расчета поршня ДВС: а, в – для одиночной модели поршня; б, г – для модели узла поршень – поршневой палец

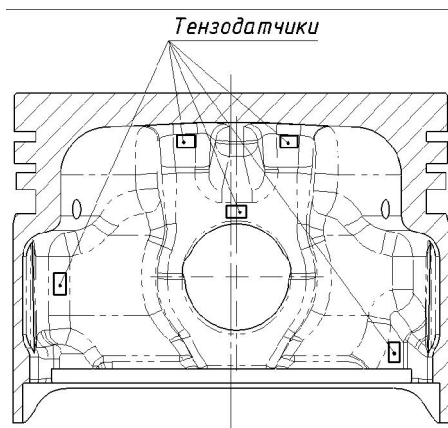


Рис.2. Схема препарирования поршня тензодатчиками

В предложенном варианте проводится статическое нагружение неподвижно закрепленного поршня без подвода теплоты. Установка для нагружения поршня имитирует условия его закрепления в цилиндре двигателя внутреннего сгорания [5]. В этом случае перечень подготовительных работ значительно сокращается и упрощается сам эксперимент.

Таким образом, получив экспериментальным путем значения деформаций или напряжений в контрольных точках, и, решая обратную задачу теории упругости, можно оценить корректность задания ГУ, накладываемых при решении прямой задачи теории упругости и уточнить их.

Также этой методикой можно воспользоваться для уточнения ГУ для упрощенного расчета, опираясь на результаты расчета узла поршень - поршневой палец, заменяя, таким образом, сложный эксперимент детальным расчетом. Результат использования этого метода приведен на рис.3.

На нем изображена альтернативная схема закрепления поршня, обеспечивающая более достоверный результат (показано только закрепление, которое подвергалось корректировке).

Наиболее простой вариант – исполнение опорной площадки в отверстии под поршневой палец прямоугольной формы в проекции на горизонталь-

ную плоскость. Искомый параметр – размер c – глубина площадки (рис.4).

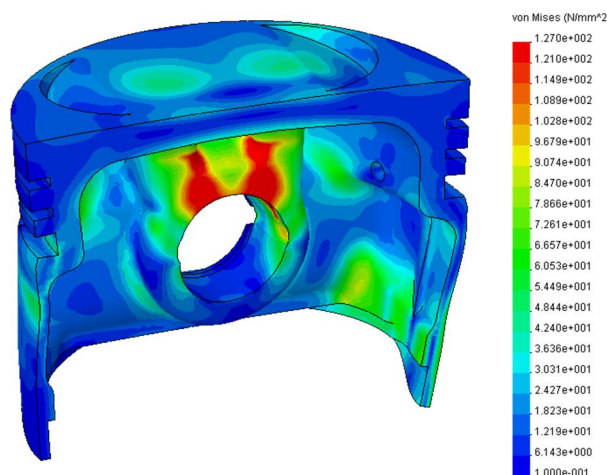
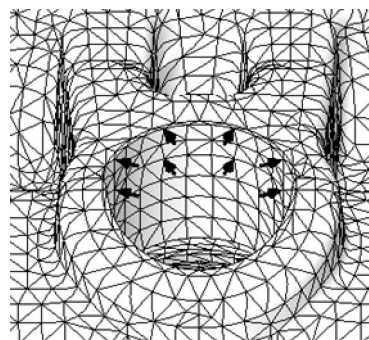


Рис.3. скорректированная расчетная модель и результат расчета поршня ДВС

Для определения этого параметра можно записать следующую зависимость:

$$c = \alpha \beta \gamma b/2, \quad (1)$$

где $\alpha = (b-a)/b$ – коэффициент, учитывающий величину заделки и величину вылета поршневого пальца;

a – величину вылета поршневого пальца, мм;

b – величину заделки поршневого пальца, мм;

$\beta = b/D$ – коэффициент, учитывающий величину заделки и диаметр поршневого пальца;

D – диаметр поршневого пальца, мм;

$\gamma = (1-d^4/D^4)$ – коэффициент, учитывающий наличие полости в поршневом пальце;

d – внутренний диаметр поршневого пальца, мм.

После подстановки всех коэффициентов выражение примет вид:

$$c = (b-a)b/2D(1-d^4/D^4) \quad (2)$$

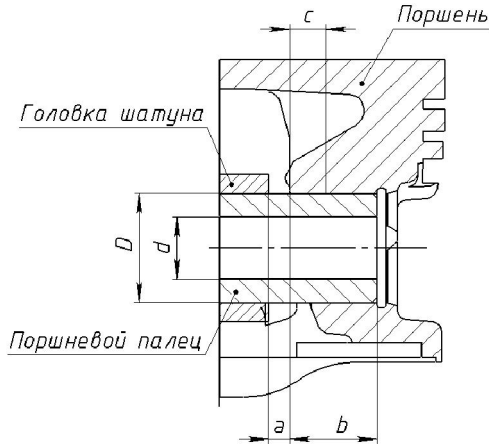


Рис.4. Поршень с поршневым пальцем и верхней головкой шатуна

На рис.5 показан вариант опорной площадки более сложной формы, но вывести зависимость её размеров от внешних факторов на данном этапе не представляется возможным ввиду слишком большой сложности её геометрии.

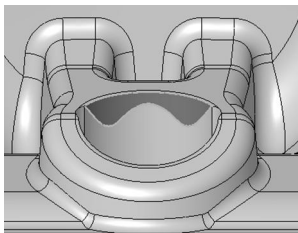


Рис.5. Контактная площадка

Таким образом, решение обратной ТУ позволяет уточнить ГУ для упрощенного расчета НДС поршня, опираясь на результаты более сложного и достоверного расчета узла поршень - поршневой палец или результаты натурного эксперимента. В свою очередь, использование упрощенного расчета для проведения оптимизационных конструкторских работ позволяет сократить время и снизить трудозатра-

ты на проведение этих работ. Такой расчет может использоваться для решения типовых задач, например, при проектировании однотипных поршней схожей размерности. Предложенная методика использовалась на ОАО "АВТРАМАТ" при проектировании серии поршней с наружным диаметром 72 – 92 мм и диаметром отверстия под поршневой палец 19 – 22 мм для легкотопливных ДВС, а проведенные ресурсные испытания спроектированных поршней подтвердили её жизнеспособность.

Список литературы

1. Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей: Учебник для студентов ВТУЗов, обучающихся по специальности "Двигатели внутреннего сгорания" / Вырубов Д.Н., Ефимов С.И., Иващенко Н.А. и др. / Под ред. А.С. Орлина, М.Г.Круглова. - изд. перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1984, - 384 с., ил. 2. Экспериментально-расчетные методы определения силовых граничных условий решением обратной задачи теории упругости / А.В. Олейник, А.А. Зотов, Ю.А. Гусев, А.В. Белогуб // Вестник двигателестроения. Научно-технический журнал. – Запорожье, ОАО "Мотор Сич", 2004. №2 – С.109-112. 3. Тензорезистор для оценки напряженно-деформированного состояния поршня двигателя внутреннего сгорания / Ю.А. Гусев, Д.Ф. Симбирский, А.В. Белогуб, А.А. Зотов // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков, 2002. Вып. 34. – С. 185-187. 4. Исследование температурного поля поршня. / А.В. Белогуб, А.Г. Щербина, А.А. Зотов, Ю.А. Гусев // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков, 2002. Вып. 31. – С. 120-123. 5. Исследование напряженно-деформированного состояния поршня / А.А. Зотов // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков, 2003. Вып. 42/7. – С. 165-167.