

УДК 621.833.65

А.М. Лимаренко, канд. техн. наук, доц.,
А.А. Романов, бакалавр,
М.А. Алексеенко, бакалавр,
Одес. нац. политехн. ун-т

ОПТИМИЗАЦИЯ ШАТУНА АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

О.М. Лимаренко, О.А. Романов, М.О. Олексієнко. **Оптимізація шатуна автомобільного двигуна методом скінченних елементів.** Виконано підбір оптимального співвідношення розмірів спрощеної моделі шатуна автомобільного двигуна, що забезпечують зниження об'єму конструкції при допустимому значенні напружень. Проведене дослідження показало, що раціональне проектування з використанням сучасних програмних комплексів скорочує час, а також фізичні і фінансові витрати на виготовлення або доопрацювання тієї або іншої деталі автомобільного двигуна.

Ключові слова: оптимізація, шатун, напружено-деформований стан, метод скінченних елементів, ANSYS.

А.М. Лимаренко, А.А. Романов, М.А. Алексеенко. **Оптимизация шатуна автомобильного двигателя методом конечных элементов.** Выполнен подбор оптимального соотношения размеров упрощенной модели шатуна автомобильного двигателя, обеспечивающих снижение объема конструкции при допустимом значении напряжений. Проведенное исследование показало, что рациональное проектирование с использованием современных программных комплексов сокращает время, а также физические и финансовые затраты на изготовление или доработку той или иной детали автомобильного двигателя.

Ключевые слова: оптимизация, шатун, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов, ANSYS.

A.M. Limarenko, A.A. Romanov, M. A. Olekseyenko. **Optimization of a motor-car engine piston-rod by the finite element method.** The selection of optimal correlation of sizes of the simplified model of a motor-car engine piston-rod to reduce the volume of construction with the acceptable value of tensions is performed. The conducted research has shown that rational design, with the use of modern software complexes, reduces time, as well as physical and financial expenses on making or improving of one or another detail of the motor-car engine.

Keywords: optimization, piston-rod, stress-strain state, finite element method, ANSYS.

При проектировании автомобильного мотора с увеличенным рабочим объемом или подготовке гоночных автомобилей к соревнованиям детали двигателя, как правило, требуют серьезной доработки. Цель доработки — облегчение движущихся деталей (уменьшение веса вращающихся и движущихся возвратно-поступательно масс) и соответственно подгонка их веса (все поршни и шатуны должны иметь одинаковый вес), чтобы двигатель смог достичь высоких оборотов с меньшими потерями на трение. Облегчение вращающихся масс делает мотор более динамичным.

К возвратно-поступательно движущимся деталям относятся поршень, поршневой палец и от 25 до 30 % веса шатуна. Сокращение веса этих деталей приводит к тому, что при высоких числах оборотов уменьшатся силы инерции кривошипно-шатунного механизма, что в результате снижает механические потери. В этом случае важно уравнивать вес поршней, поршневых пальцев и шатунов, чтобы избежать разных нагрузок на шейки коленвала и, как следствие, уменьшить динамическую нагрузку от крутильных колебаний.

Целью работы является подбор оптимального соотношения размеров упрощенной модели шатуна, обеспечивающих уменьшение объема конструкции и, как следствие, массы в рамках допустимых напряжений. Алгоритм оптимизации был реализован в конечно-элементном пакете Ansys.

С учетом симметрии шатуна рассматривается только половина конструкции. Геометрическая модель включает нижнюю и верхнюю головки в виде полуколец (рис. 1, а), соединенных ребром толщиной $T3$ и стенкой толщиной $T4$. Кроме параметров толщин $T3$ и $T4$, модель шатуна включает еще 6 конструкторских параметров (толщина верхней и нижней головки — $Dt1$, $Dt2$, углы ориентации ребра — $Ug11$, $Ug21$, $Dug1$, $Dug2$), которые в процессе оптимизации варьируются в пределах заданных ограничений. Буквенные обозначения (T , Ug , Dt) используются для параметрического программирования величин, которые приняты в расчете.

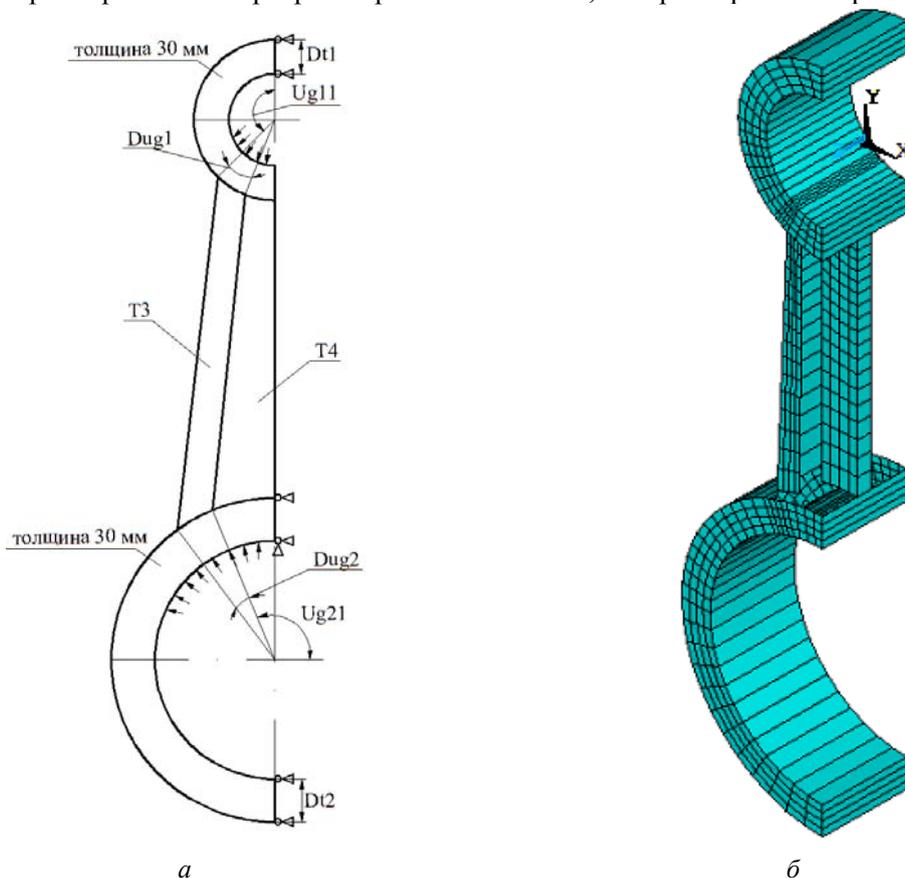


Рис. 1. Расчетная схема и параметры, подлежащие оптимизации (а), и конечно-элементная модель шатуна (б)

Выполнено нагружение от действия на шатун сил давления газа со стороны камеры сгорания и со стороны картера. Для упрощения принимается, что на нижнюю и верхнюю головку действует равномерное давление в пределах дуги 60° . Давления подобраны так, чтобы суммарная нагрузка, действующая на верхнюю головку, была равна суммарной силе, действующей на нижнюю головку. Закрепление узлов в направлении оси X обеспечивает условие симметрии. Один из узлов закрепляется в направлении оси Y для компенсации небольшой разницы в суммарных нагрузках, действующих на нижнюю и верхнюю головку.

Конечно-элементная модель шатуна состоит из 368 элементов типа Solid45 и 443 узлов. Для расчета использовалась регулярная схема разбиения на конечные элементы. Материал модели — сталь с модулем упругости $E = 2 \cdot 10^5$ МПа и коэффициентом Пуассона $\mu = 0,28$.

После анализа напряженно-деформированного состояния модели шатуна с заданными граничными условиями проводится ее оптимизации. Основным задачей оптимизации является ориентация ребра жесткости и толщина перемычки между ребрами.

В программе ANSYS имеется два метода оптимизации: метод аппроксимации и метод первого порядка.

Метод аппроксимации – это метод нулевого порядка, обеспечивающий эффективное решение большинства конструкторских задач. Метод первого порядка основан на оценке чувствительности проекта к изменению определенных факторов и более подходит для решения задач, требующих высокой точности [1]. В данном случае наилучшие результаты дал метод первого порядка.

В тексте программы ANSYS, написанной на языке параметрического программирования APDL, заданы ограничения на параметры конструкции и переменную состояния [2]. В качестве переменной состояния использовалось эквивалентное напряжение, соответствующее критерию Губера-Мизеса. Минимизируемой объектной переменной являлся вес конструкции.

В результате проведенной оптимизации программа выводит информационное окно с номером наилучшего набора параметров. В представленной работе сходимость была достигнута на 5 итерации. Эквивалентные напряжения увеличились с 140 до 157 МПа, что находится в допустимых пределах. Изменение габаритов шатуна после оптимизации представлены в таблице.

Значения оптимизируемых параметров

Параметр оптимизации	До оптимизации	После оптимизации	Изменение параметра
Объем шатуна, мм ³	69597,8	59018,9	уменьшение на 15,2 %
Толщина ребра, мм	20	17,6	уменьшение на 12 %
Толщина стенки, мм	5	4,82	уменьшение на 3,6 %
Толщина верхней головки, мм	10	8,9	уменьшение на 11%
Толщина нижней головки, мм	10	10,1	увеличение на 1 %

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

— в настоящее время геометрическая форма деталей кривошипно-шатунной группы, как правило, выбирается на основе общих рекомендаций, не учитывающих условия работы конкретной детали и требования, предъявляемые к ней;

— облегчение вращающихся масс позволяет двигателю быстрее выходить на высокие обороты;

— использование современных программных комплексов сокращает время, а также финансовые затраты на изготовление или доработку той или иной детали автомобильного двигателя;

— предложенный подход позволяет оптимизировать детали автомобильных двигателей сколь угодно сложной формы, что создает новые возможности для конструирования, при этом форма детали определяется исходя из обеспечения ее наилучших эксплуатационных характеристик.

Литература:

1. Численные методы в механике. / В.А. Баженов, А.Ф. Дашченко, Л.В. Коломиец и др. — Одесса: СТАНДАРТЬ, 2005. — 563 с.
2. Дашченко, А.Ф. ANSYS в задачах инженерной механики / А.Ф. Дашченко, Д.В. Лазарева, Н.Г. Сурьянинов; под ред. Н.Г. Сурьянинова. — Одесса: Астропринт, 2007. — 484 с.

References

1. Chislennyye metody v mekhanike, [Numerical methods in mechanics]. / V.A. Bazhenov, A.F. Dashchenko, L.V. Kolomiets and others — Odessa, STANDART, 2005. — 563 pp.
2. Dashchenko, A.F. ANSYS v zadachakh inzhenernoy mekhaniki [ANSYS in the tasks of engineering mechanics] / A.F. Dashchenko, D.V. Lazareva, N.G. Sur'yaninov. Edited by N.G. Sur'yaninov. — Odesa, 2007. — 484 pp.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Дашченко А.Ф.

Поступила в редакцию 26 января 2012 г.