

УДК 621.43

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ CAD/CAE-СИСТЕМ ДЛЯ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА ДВС

© 2011 А. А. Горшкалев, А. В. Кривцов, Е. А. Сайгаков, Д. В. Сморгалов

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)

Проведен прочностной расчет кривошипно-шатунного механизма шестицилиндрового четырехтактного двигателя внутреннего сгорания Mercedes-Benz M 115 с помощью CAD/CAE-систем. При расчете задано постоянное распределение газовой силы по поверхности поршня и распределение температуры по высоте поршня в виде степенной зависимости.

Проектирование, CAD/CAE-системы, прочностной расчет, коленчатый вал, кривошипно-шатунный механизм.

Настоящий этап развития ДВС характеризуется высокими темпами роста их удельных показателей, например литровой мощности, что приводит к существенному возрастанию тепловой и механической нагруженности деталей КШМ (поршень, палец, шатун и т.д.). Теплонапряженные детали двигателя имеют, как правило, сложную геометрическую форму, а их отдельные элементы находятся в тепловом, силовом и кинематическом взаимодействии. При проектировании, расчете и доводке двигателя необходим более полный и точный учет всех величин, определяющих надежность и ресурс.

Целью работы является разработка методики расчета прочности кривошипно-шатунного механизма в программном комплексе *Ansys Structural*.

Поставленная цель достигалась с помощью МКЭ, компьютерного моделирования и программ *SolidWorks/CosmosWorks, Ansys Structural*.

Практическая ценность исследования заключается в том, что предложенная расчетная методика позволяет более точно оценить прочность конструкции, а также сокращает время разработки и доводки двигателя.

В данной работе рассчитана секция кривошипно-шатунного механизма двигателя Mercedes M115, изображенная на рис. 1. Расчетная модель была предварительно построена в программе *SolidWorks*.

В Workbench поддерживается обширная библиотека линейных и нелинейных

элементов, множество формулировок моделей материалов.



Рис.1. Модель КШМ

В данном случае были добавлены в *EngineeringData* 5 марок материалов. Наименования приведены в табл. 1.

Таблица 1. Материалы элементов конструкции

Элемент	Материал
Поршень	АК4-1ч
Палец	15Х2ГН2ТРА
Втулка	БрАЖ9-4
Шатун	12Х2Н4А
Коленчатый вал	18Х2Н4ВА
Вкладыш	Ст45

Расчетная модель (рис.2) была создана во встроенном в AnsysCAD - редакторе *DesignModeler*.

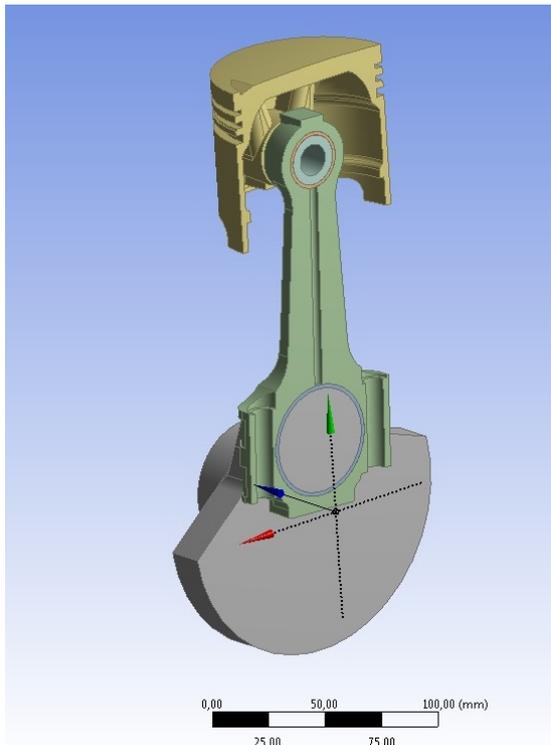


Рис.2. Расчетная модель

При импорте геометрии *ANSYS* автоматически определяет и настраивает контакты или шарниры между частями сборки. Имеется возможность изменения настроек, а также добавления новых контактов вручную.

По умолчанию все контактные пары считаются склеенными (*Bonded*). Это подходит для пар: шатун – вкладыш и шатун – втулка. Другие исправлены на контакт - Без разделения (*NoSeparation*). Меню контактов изображено на рис. 3.

Details of "No Separation - Val To Vk"	
[-] Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Contact	1 Face
Target	1 Face
Contact Bodies	Val
Target Bodies	Vk
[-] Definition	
Type	No Separation
Scope Mode	Bonded
Behavior	No Separation
Suppressed	Frictionless
	Rough
	Frictional
[-] Advanced	
Formulation	Pure Penalty
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Never
Pinball Region	Program Controlled

Рис.3. Настройка контактов

Создание сеточной модели является неотъемлемой частью процесса компьютерного инженерного моделирования (*CAE*). Качество сетки влияет на точность, сходимость и скорость получения решения. Кроме того, время, необходимое для создания сетки, часто занимает значительную часть в общем времени выполнения компьютерного инженерного расчета. Поэтому качественные и более автоматизированные инструменты построения сетки дают лучший результат.

Технологии *ANSYS* предлагают совокупность методов построения сетки, различных по сложности алгоритмов и трудоемкости построения (от простых гексаэдрических, до высокодетализированных гибридных). Обладая такими возможностями, можно расположить сетку нужного типа в требуемой зоне модели и убедиться в том, что расчет модели будет выполнен точно.

Задав размеры ячеек для каждого элемента модели, была получена приемлемая для расчета сеточная модель. Как отмечалось выше, качественная сетка скажется на производительности компьютера и соответственно на времени расчета. Этот фактор следует учитывать при разбиении модели сеткой, иначе расчет может и вовсе не запуститься. Результат разбивки сеткой изображен на рис. 4.

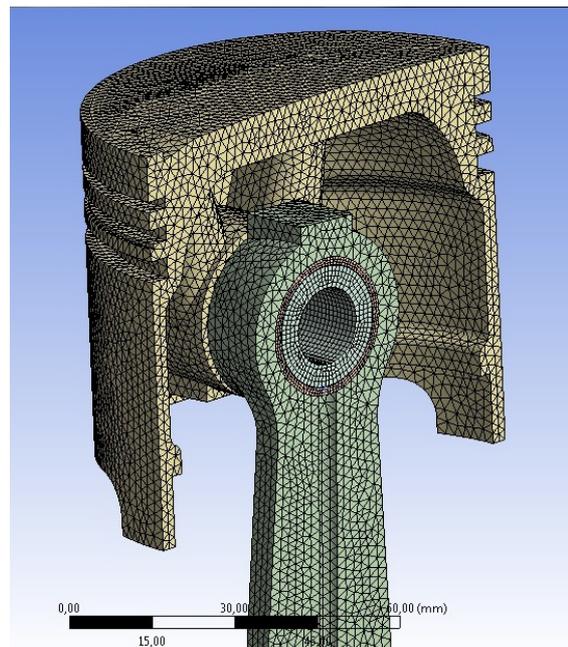


Рис.4. Сеточная модель

В качестве граничных условий используются нагрузки и закрепления, которые мо-

гут быть постоянными, параметрическими или заданы функцией по времени, координатам или шагам.

Величина и характер изменения основных нагрузок, воздействующих на детали двигателя, зависят от эксплуатационного режима работы двигателя. Необходим расчет на режиме, на котором детали работают в наиболее тяжелых условиях. Таким режимом является режим максимального крутящего момента при частоте вращения 3200 об/мин, когда давление газов в цилиндре достигает наибольшего значения. Это значение было получено из газодинамического расчета и равно 6,16 МПа при угле поворота коленчатого вала, равном 10° после ВМТ.

Давление приложено к днищу поршня в виде постоянного числа. Коренная шейка закреплена от перемещений и вращений по цилиндрической поверхности контакта с вкладышем.

Для расчета неравномерно нагретого поршня ДВС, находящегося в упругопластическом состоянии, произведено нагружение поршня температурой в зависимости от расстояния до днища поршня. Распределение температур по длине поршня имеет характер параболы. Результат отображен на рис. 5.

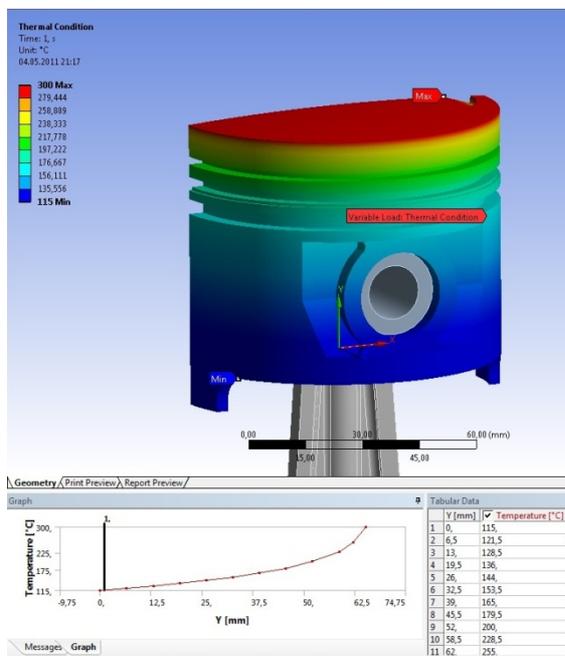


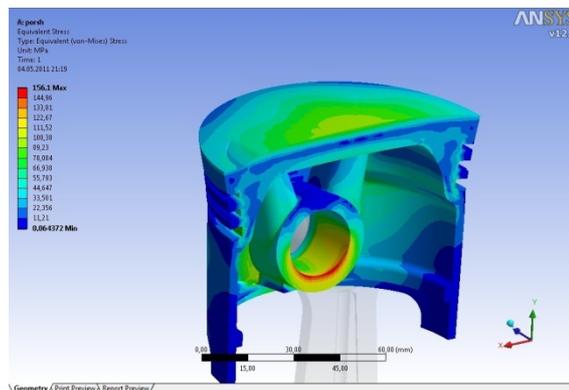
Рис. 5. Распределение температуры по оси Y

Для задач механики деформируемых твердых тел ANSYS предлагает широкий набор современных решателей: прямой решатель разреженных матриц, итерационный

решатель с предварительно заданными сопряженным градиентом (PCG), сопряженным градиентом Якоби (JCG) и т.д. Для расчета больших моделей при параллельном вычислении доступны решатель алгебраически сложных сеток (AMG), а также распределенные версии PCG, JCG и разреженных решателей.

Контактные задачи являются нелинейными и поэтому требуют собственных циклов итераций равновесия. В конце итерации равновесия контактной задачи ANSYS проверяет изменение состояния каждого контактного элемента. Он также вычисляет значения для условий сходимости (обычно равновесные усилия) и сравнивает их с критериями сходимости. Если состояние элементов не изменилось, а критерии сходимости были выполнены, то ANSYS считает, что расчет на данной итерации сошелся и переходит к следующему внешнему итерационному циклу, следующему промежуточному шагу или к следующему шагу нагрузки. А если весь расчет выполнен, то ANSYS прекращает расчет в целом. В опциях решателя выбран тип – итерационный.

По завершении вычислений построены поля напряжений для всех элементов модели (рис. 6-9).



6 - Поля напряжений поршня

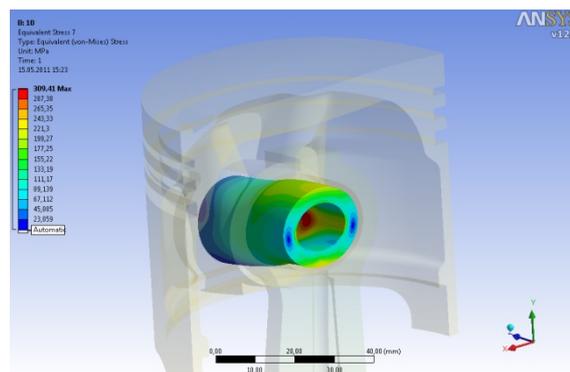


Рис. 7. Поля напряжений пальца

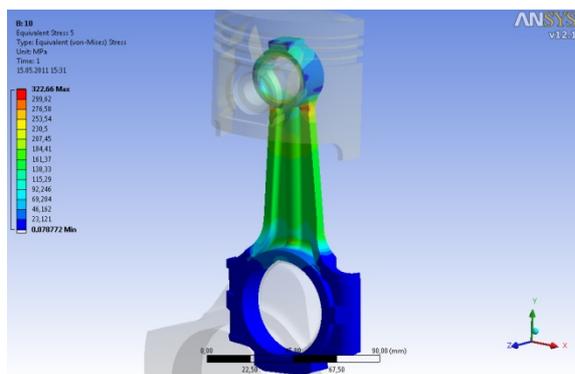


Рис. 8. Поля напряжений шатуна

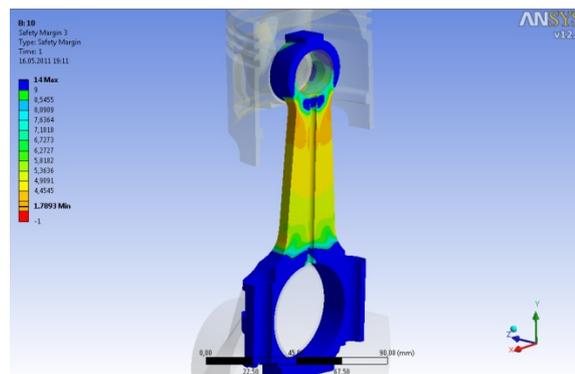


Рис. 11. Запасы прочности шатуна

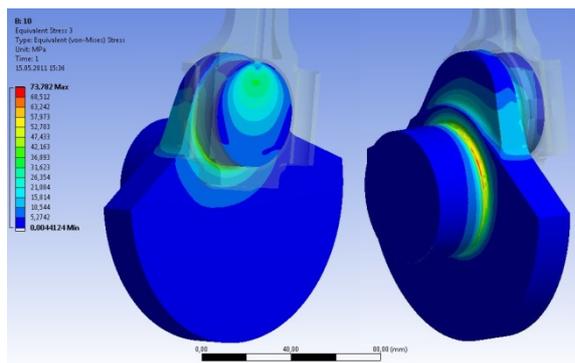


Рис. 9. Поля напряжений коленчатого вала

На рис. 10 и 11 отображены распределения запасов прочности.

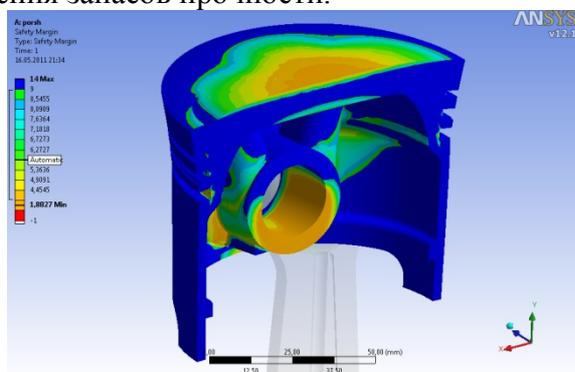


Рис. 10. Запасы прочности поршня

Коэффициент запаса оценивается по двум теориям прочности и должен превышать в надежных областях значение 1,6-2,0. Контроль над величиной смещений позволяет в целом оценить правдоподобность проведенных расчетов. Эффекты деформации визуально преувеличены в графическом окне.

При определении запаса прочности коленчатого вала необходимо учитывать динамический коэффициент λ_d , зависящий от количества цилиндров. Для 6 - цилиндрового двигателя $\lambda_d = 1,15$.

Тогда запас прочности коленчатого вала равен:

$$n = \frac{n_k}{\lambda_d} = \frac{9,8}{1,15} = 8,5.$$

Значения запасов прочности всех элементов занесены в табл. 2.

Как видно из таблицы, все элементы удовлетворяют требованиям по запасу прочности. Запас прочности всей модели принимается по наименьшему значению всех элементов и равен 1,67.

Таблица 2. Значения запасов прочности

Элемент	Напряжения, МПа	Запас прочности	Деформация, мм
Поршень	156	1,88	0,22
Палец	309/79	1,9/1,67	0,14
Втулка	261	2	0,11
Шатун	323	1,8	0,1
Вкладыш	134	2,7	0,01
Коленвал	74	8,5	0,009

APPLICATION CAD/CAE – SYSTEMS FOR CALCULATION ON DURABILITY OF DETAILS CRANK ROD MECHANISM OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE

© 2011 A. A. Gorshkalev, A. V. Krivtsov, E. A. Saigakov, D. V. Smorkalov

Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov
(National Research University)

In the given work calculation crank rod mechanism of a four-cycle six-cylinder internal combustion engine of Mercedes-Benz M-115 has been carried out durability with application CAD/CAE – systems. Calculation was spent at stationary statement of a problem and the account of distribution of temperature on piston height.

Designing ICE, CAD/CAE - systems, durability calculation, a cranked shaf.

Информация об авторах

Горшкалев Алексей Александрович, инженер кафедры теплотехники и тепловых двигателей, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). Тел.: (846) 335-18-12. E-mail: AGorsh@bk.ru. Область научных интересов: моделирование рабочих процессов тепловых машин.

Кривцов Александр Васильевич, инженер кафедры теории двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: a200009@rambler.ru. Область научных интересов: моделирование рабочих процессов тепловых машин.

Сайгаков Евгений Аркадьевич, инженер кафедры теории двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: korvin@ro.ru. Область научных интересов: моделирование рабочих процессов тепловых машин.

Сморкалов Дмитрий Владимирович, инженер кафедры теории двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: SDV89@bk.ru. Область научных интересов: моделирование рабочих процессов тепловых машин.

Gorshkalev Alexey Aleksandrovich, engineer of department heat engineering and heat engines, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). Phone: (846) 335-18-12. E-mail: AGorsh@bk.ru. Area of research: work processes of heat engines.

Krivtsov Alexander Vasilevich, engineer of department heat engineering and heat engines, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: a200009@rambler.ru. Area of research: work processes of heat engines.

Saigakov Evgeniy Arkadevich, engineer of department heat engineering and heat engines, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: korvin@ro.ru. Area of research: work processes of heat engines.

Smorkalov Dmitry Vladimirovich, engineer of department heat engineering and heat engines, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: SDV89@bk.ru. Area of research: work processes of heat engines.