
РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА ДВС В СИСТЕМЕ AUTODESK INVENTOR

П.Р. Вальехо Мальдонадо, Д.К. Гришин

Кафедра комбинированных ДВС
Кафедра конструкций машин
Российский университет дружбы народов
Ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В.А. Лодня

Кафедра графики
Белорусский государственный университет транспорта
Ул. Кирова, 34, Гомель, Беларусь, 246653

Проанализирован опыт применения системы объемного машиностроительного конструирования Autodesk Inventor применительно к кривошипно-шатунному механизму ДВС.

В практике конструирования ДВС часто возникает необходимость оптимизации конструкции, оценки напряжений и определения ресурса двигателя и его узлов. Эксперименты с прототипами — длительный и весьма дорогостоящий процесс, альтернативой которому служит внедрение в практику конструирования средств компьютерного твердотельного моделирования.

Задачи, характерные для двигателестроения, можно успешно решать, используя такие программы, как CATIA, PRO/E Wildfire, Unigraphics и др. Однако применение данных программных продуктов затруднено из-за их сложной внутренней структуры. Наиболее целесообразным является применение интегрированных программных средств, позволяющих производить моделирование и расчеты в полностью автоматизированном режиме с высокой степенью визуализации процесса проектирования. В этих программах графическое моделирование производится на основе построения ключевых геометрических объектов: линий, поверхностей, объемов на основе использования в качестве основных процедур таких часто встречающихся технологических операций, как сгибание поверхностей, экструзия, создание отверстий, разделка кромок и т.д. Затем геометрические объекты «наполняются физическим смыслом», т.е. определяются нагрузки, закрепления и производится вычисление напряжений в рамках теории вязко-упругих систем.

Указанным требованиям удовлетворяет система Autodesk Inventor 9 (AI9) с передачей твердых моделей для анализа в COSMOS WORKS 6.0. Высокая скорость вычислений достигается за счет применения этой системой технологии FFE (метод «быстрых» конечных элементов) и возможности оперативного моделирования технически сложных объектов.

Преимущество Autodesk Inventor пред другими программными продуктами состоит в наличии параметрической технологии организации работы со сборочными элементами и ориентации системы на работу с большим количеством сбо-

рочных единиц. При традиционном проектировании создается общая схема изделия, разрабатываются отдельные детали, и только после этого их собирают вместе. Методология проектирования, при которой основой является изделие, позволяет применять любые стратегии проектирования. Если проектирование начинается с чистого листа, то вначале создается пустое изделие, которое последовательно заполняется деталями. Если дорабатывается уже имеющееся изделие, новые детали создаются по месту так, чтобы они максимально точно сопрягались с уже имеющимися деталями.

В Autodesk Inventor применяется технология адаптивного моделирования, когда сопрягаемые детали автоматически изменяются при изменении геометрических параметров других деталей. Эта технология позволяет:

- монтировать детали и элементы конструкции, адаптируя их размеры под размеры других элементов изделия;
- создавать новые детали по месту, также подстраивая их параметры под параметры других деталей изделия;
- модифицировать изделие, автоматически обновляя при этом размеры деталей и их геометрию.

В настоящей статье ставились задачи прогнозирования поведения и оптимизации реальной конструкции кривошипно-шатунного механизма (КШМ) дизеля МД-8 с использованием САД-системы. Особое внимание уделялось получению максимальной точности и адекватности 3D моделей реальным деталям КШМ.

Исходными данными для проектирования являлись результаты теплового, кинематического и динамического расчетов ДВС, на основе которых определялись величины, характеризующие основные геометрические параметры деталей. В силу того, что детали КШМ ДВС подвергаются периодическим знакопеременным механическим и тепловым нагрузкам при высоких частотах вращения, к проектированию деталей КШМ и оптимизации его прочностных характеристик предъявляются повышенные требования. Отклонение действительной массы деталей КШМ от теоретически определенной приводит к нарушению уравновешенности двигателя и более интенсивному износу деталей КШМ и цилиндра ДВС.

При доводке реальной конструкции изделие проходит ряд последовательных стадий измерения и уточнения конструктивных параметров, что значительно удорожает и замедляет процесс проектирования. Метод математического моделирования процессов в конструируемом механизме параллельно с проектированием позволяет предсказать его работу и характеристики с высокой степенью адекватности без построения реальных прототипов.

Проектирование происходило в несколько стадий. На первой стадии с помощью Autodesk Inventor создавались твердотельные 3D модели (рис. 1, 2) деталей КШМ и цилиндра. Одновременно в процессе построения оценивалась технологичность производства деталей с помощью Autodesk Inventor. Также на этом этапе велась оптимизация по массе и ее распределению по деталям КШМ с целью уравновешивания сил инерции вращающихся масс, т.е. обеспечивалось соблюдение двух условий:

- центр тяжести приведенной системы вала находится на оси вращения;

— сумма моментов центробежных сил инерции вращающихся масс относительно любой точки оси вала равняется нулю, что, в свою очередь, отражалось на инерционных показателях деталей КШМ.

Далее, исходя из предполагаемых схем распределения величин расчетных сил и температур, действующих в кривошипно-шатунном механизме и его деталях, производился прочностной расчет конструкций, особенно механически и термически нагруженных деталей, методом конечных элементов с использованием среды CosmosWorks.

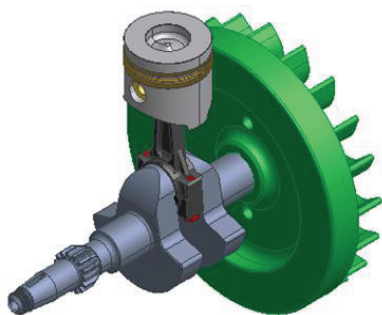


Рис. 1. 3D модель кривошипно-шатунного механизма дизеля



Рис. 2. 3D модели цилиндра, поршня, поршневых колец и поршневого пальца дизеля

Существенно, что в процессе физического моделирования можно изменять способ разбиения трехмерного тела на конечные элементы, менять методы вычислений, добиваясь требуемой точности. На рис. 3 приведена конечно-элементная модель и распределение температур по объему поршня дизеля МД-8 на режиме номинальной мощности ($N_e = 5,9$ кВт, $n = 3000$ мин⁻¹).

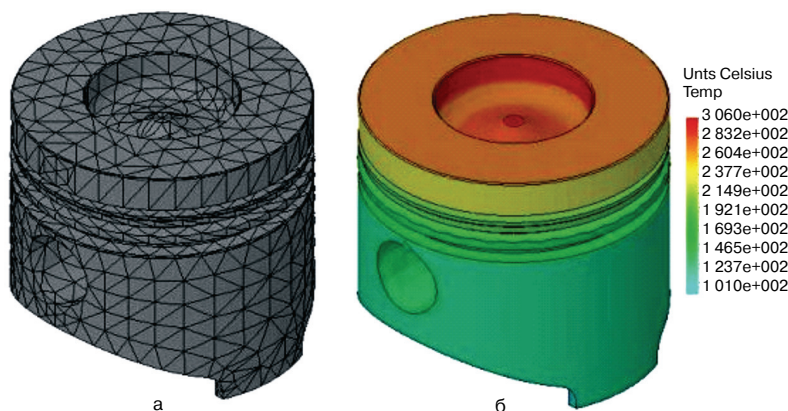


Рис. 3. Конечно-элементная модель (а) и распределение температур по объему поршня (б)

Система CosmosWorks выполняет все основные функции анализа механических конструкций. Данное обстоятельство позволило редактировать геометрию детали в связи с результатами расчета прямо на мониторе, изменять параметры материала и граничные условия и, запустив систему на расчет, получать ответ в виде наглядной картины распределения напряжений или деформации модели. Результаты анализа также могут быть представлены как отчет в формате HTML, либо в графическом (форматы BMP, JPG) или мультимедийном (форматы AVI, VRML, XGL) видах.

На второй стадии происходила сборка деталей КШМ в единый механизм и визуализация его работы с применением модуля создания сборок A19 и анализом их взаимодействия на различных траекториях и при различных видах контактов. Одновременно уточнялись и устранялись выявленные неточности проектирования. Исследование взаимодействия деталей в сборках с применением средств динамического анализа движения помогло быстро и корректно решить поставленную задачу. Логические связи и условия, накладываемые на детали в сборке, практически однозначно определяют степень свободы каждой из них.

Полученные законченные модели деталей КШМ служат основанием для проектирования в A19 технологической оснастки и литейных форм с определением специфических параметров (литейных радиусов и уклонов, припусков на обработку, требуемой конструкции литейных форм исходя из метода литья и т.д.).

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Предложенный подход к проектированию и анализу КШМ ДВС существенно повысил точность и визуализацию процесса проектирования.
2. Были выявлены причины возникающих на практике проблем, таких как «задир» поршня, повышенные уровни виброскорости вследствие несбалансированности деталей КШМ, деформация и обрыв шатуна.
3. Существующая в AI концепция организации и построения сборок наиболее приемлема в практике двигателестроения с учетом большого объема изменяющихся анализируемых параметров.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Захаров В. Программное обеспечение CATIA V5 для проектирования двигателей // САПР и графика. — 2002. — № 9. — С. 72—75.
- [2] Григорьев Е.А., Ющенко А.А. Экспериментальное исследование пространственного движения поршня в пределах зазора // Двигателестроение. — 1989. — № 1. — С. 14—16.

**REALIZATION OF PROCESS OF DESIGNING
ICE CRANKSHAFT-ROD MECHANISM IN AUTODESK
INVENTOR SYSTEM**

P.R. Vallejo Maldonado, D.K. Grishin

Department of Internal Combustion Engines
Department of Machine Design
Peoples' Friendship University of Russia
Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198

V.A. Lodnya

Department of Graphics
The Belarus State University of Transport
Kirov str., 34, Gomel, Belarus, 246653

Experience of application of system of volumetric machine-building designing Autodesk Inventor with reference to crankshaft-rod to mechanism ICE is analyzed.