

А.Н. АВРАМЕНКО (г. Харьков)

РАСЧЕТНЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ БЛОЧНОЙ ГОЛОВКИ ЦИЛИНДРОВ

В роботі приводяться результати порівняльного розрахункового аналізу теплового стану блочної головки циліндрів швидкохідного дизеля, виконаної зі спеціального чавуна та алюмінієвого сплаву. Задача стаціонарної теплопровідності вирішується в тримірній постановці за допомогою методу скінчених елементів (МСЕ).

Results of the comparative calculated analysis thermal condition of the head cylinder high-speed diesel engine, executed of special iron and an aluminum alloy are presented. The problem of a stationary thermal conduction is solved in three-dimensional statement by means of finite element method (FEM).

Введение

Дальнейшее форсирование быстроходных дизелей по среднему эффективному давлению P_e до уровня $P_e = 2,1 - 2,3$ МПа [1] сопровождается неизбежным ростом максимальной температуры цикла, температуры отработавших газов, увеличением максимального давления сгорания, что в свою очередь приводит к увеличению составляющих теплового и напряженно-деформированного состояния головки цилиндров (ГЦ) и ухудшает условия её работы.

Основными требованиями к ГЦ быстроходных дизелей являются: надежный теплоотвод от наиболее нагретых участков головки, минимальные температурные градиенты, способность материала головки сопротивляться длительному термоусталостному разрушению, минимальные масса и габариты.

Анализ публикаций

Решение задачи теплового и напряженно-деформированного состояния ГЦ в трехмерной постановке связано со значительными вычислительными сложностями, а также сложностями, обусловленными необходимостью задавать нагрузки и ограничения для объемной модели ГЦ. Вышеуказанные проблемы ограничивали, до недавнего времени, развитие расчетного анализа теплового и напряженно-деформированного состояния таких деталей, как ГЦ [2].

Наиболее проблемными участками ГЦ форсированных дизелей, как следует из ряда публикаций [3, 4], являются перемычки между отверстиями под седла клапанов и перемычки между отверстиями под седло клапана и форсунку. Один из характерных эксплуатационных дефектов ГЦ быстроходного дизеля – трещина перемычки между отверстиями под седло клапана и форсунку представлен на рис. 1.

Как видно из проведенного литературного обзора проблема улучшения

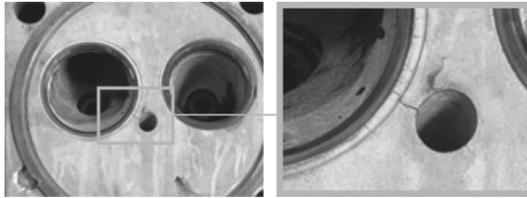


Рис. 1. Характерный эксплуатационный дефект ГЦ дизеля КамАЗ-740 (8Ч 12/12) – трещина перемычки между отверстиями под седло клапана и форсунку [3]

условий работы ГЦ форсированных дизелей является актуальной и требует дальнейших исследований с использованием расчетных и экспериментальных методов.

Цель и постановка задачи

Цель работы – улучшение условий работы блочной ГЦ за счет применения материала с увеличенным коэффициентом теплопроводности.

В проведенном исследовании ставились такие задачи:

- разработать модель теплового состояния блочной ГЦ выполненной из алюминиевого сплава;
- провести сравнительный расчетный анализ полей температур серийной ГЦ, выполненной из специального чугуна и головки, выполненной из алюминиевого сплава Ак4-М;
- сделать выводы и рекомендации по улучшению условий работы ГЦ быстроходных дизелей.

Основные этапы и результаты исследования

Объект исследования – блочная ГЦ дизеля 4ЧН12/14 (СМД-23). Головка представляет собой сложную отливку из специального чугуна весом 51,8 кг. Геометрическая модель ГЦ была выполнена по чертежам завода-изготовителя (завод “Серп и Молот, г. Харьков”). Для крепления к блоку ГЦ имеет 17 отверстий диаметром 17,5 мм под силовые шпильки.

Задача стационарной теплопроводности решалась в трехмерной постановке, в декартовых координатах с использованием метода конечных элементов (МКЭ).

Общий вид конечноэлементной модели представлен на рис. 2. Для дискретизации на конечные элементы (КЭ) использовались КЭ в виде прямоугольных призм. Конечноэлементная модель насчитывает 132280 узловых точек, 72425 КЭ.

Схема задания и сами значения ГУ задач теплопроводности и механики подробно рассмотрены в работе [4].

Сравнительный расчетный анализ теплового состояния ГЦ был выполнен для режима нагрузки с $N_e = 105 \text{ кВт}$, $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ при $P_e = 0,9 \text{ МПа}$ [5].

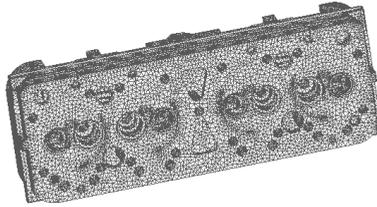


Рис. 2. Дискретизация расчетной модели ГЦ на КЭ

Для идентификации модели теплового состояния ГЦ, выполненной из специального чугуна, использовались экспериментальные данные термометрирования приведенные в работе [5].

Расчетный анализ теплового состояния ГЦ, выполненной из специального чугуна сводится к следующему.

Температурное поле огневого днища ГЦ характеризуется высокой степенью неравномерности (рис. 3).

Максимальная температура зарегистрирована в центральной части огневого днища ГЦ, в зоне перемычки между отверстиями под седла клапанов, и достигает $315\text{ }^{\circ}\text{C}$. В районе седла выпускного клапана температура достигает $280\text{ }^{\circ}\text{C}$, а впускного – $190\text{ }^{\circ}\text{C}$. В районе отверстия под форсунку температура не превышает $250\text{ }^{\circ}\text{C}$. На периферии огневого днища температура изменяется от 180 до $150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Такой перепад температур между центральной частью огневого днища ГЦ и периферией объясняется сложными теплообменными процессами между огневым днищем ГЦ и рабочим телом, неравномерным теплоотводом от поверхностей полостей охлаждения в систему охлаждения, конструктивными особенностями ГЦ и сравнительно низкой теплопроводностью специального чугуна по сравнению с алюминиевым сплавом [6].

С учетом опыта применения алюминиевых сплавов для производства ГЦ быстроходных дизелей зарубежными моторостроительными компаниями (Caterpillar, ЯМЗ, КамАЗ и др.) был проведен расчетный анализ блочной ГЦ, выполненной из алюминиевого сплава АК4-М.

Расчетный анализ теплового состояния ГЦ, выполненной из алюминиевого сплава сводится к следующему.

Максимальная температура огневого днища ГЦ не превышает $192\text{ }^{\circ}\text{C}$, т.е. на $123\text{ }^{\circ}\text{C}$ ниже, чем у серийной ГЦ (рис. 5). Температура в районе седла выпускного клапана достигает $180\text{ }^{\circ}\text{C}$, а впускного – $160\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура в районе отверстия под форсунку не превышает $180\text{ }^{\circ}\text{C}$. На периферии температура изменяется от 160 до $130\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, перепад температур между центральной частью огневого

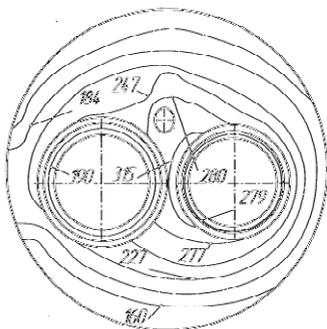


Рис.3. Расчетное температурное поле, °С огневого днища ГЦ, выполненной из специального чугуна ($P_e = 0,9 \text{ МПа}$)

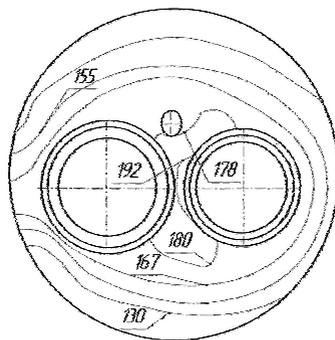


Рис. 4. Расчетное температурное поле, °С огневого днища ГЦ, выполненной из сплава Ак4-М ($P_e = 0,9 \text{ МПа}$)

днища и периферией составил $62 \text{ }^\circ\text{C}$ у ГЦ, выполненной из алюминиевого сплава, тогда как у серийной ГЦ перепад температур составил порядка $155 \text{ }^\circ\text{C}$, т.е. в 2,5 раза больше.

Выводы

Из проведенного расчетного анализа видно, что использование алюминиевых сплавов для производства блочных ГЦ быстроходных дизелей позволяет существенно снизить максимальную температуру огневого днища ГЦ (более $120 \text{ }^\circ\text{C}$), в 2,5 раза уменьшить перепад температур между центральной частью огневого днища и периферией, снизить термические деформации огневого днища и, тем самым улучшить условия работы ГЦ.

Список литературы: 1. Курилов А.Г., Гальгофский В.Р., Субботин Ю.Г., Попов Ю.В. Направление разработок нового семейства дизельных двигателей ЯМЗ для тяжелой транспортной техники / Совершенствование мощностных, экономических и экологических показателей ДВС. – Владимир, 2001. – С. 162–164. 2. Чайнов Н.Д., Григорьев О.А. Трехмерная конечноэлементная модель анализа термических перемещений и напряжений головки цилиндров тракторного дизеля / “Известия вузов”. Машиностроение. – 1988, № 5 – С. 79-83. 3. www.academserve.ru. 4. Шеховцов А.Ф., Тринев А.В., Авраменко А.Н. Разработка конечноэлементной модели теплонапряженного и деформированного состояния головки цилиндров быстроходного дизеля / Двигатели внутреннего сгорания // Научно-технический журнал. Харьков: НТУ “ХПИ”, 2007. - № 1. – С. 20-30. 5. Абрамчук Ф.И., Марченко А.П., Разлейцев Н.Ф., Третяк Е.И., Шеховцов А.Ф., Шокотов Н.К.; Под общ. ред. Шеховцова А.Ф. Современные дизели: повышение топливной экономичности и длительной прочности. – К.: Техника, 1992. – 272 с. 6. Михеев М.А. Михеева И.М. Основы теплопередачи // М.: Энергия, 1977. – 344 с.

Поступила в редколлегию 26.09.08