

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОРШНЕВОЙ ГОЛОВКИ ШАТУНА ФОРСИРОВАННОГО ДИЗЕЛЯ

С.П. Косырев, д.т.н., проф., Е.А. Горшков, асп.;
Балаковский институт техники технологии и управления

Рассматривается моделирование напряженного состояния поршневой головки шатуна форсированного дизеля на плоской модели методом фотоупругости. Получены качественные картины изохор и эпюры количественного распределения напряжений в порядках полос при нагружении растягивающей нагрузкой.

Высокие знакопеременные динамические нагрузки на КШМ высокофорсированных дизелей ставят перед дизелестроением сложную проблему повышения эксплуатационной надежности шатунов, которую невозможно решить без проведения обширного комплекса научно-исследовательских работ. Как показывает опыт ОАО «Волжский дизель им. Маминых», исследования напряженного состояния шатунов в условиях заводских стендовых испытаний дорогостоящи, требуют дополнительного времени и сдерживают сроки серийного освоения производства дизелей. Решить задачу можно аналитически, используя численные методы сопротивления материалов, теории упругости, конечных элементов. Такой подход реален лишь при наличии у исследователя современной вычислительной техники и программного обеспечения, соответствующих уровню сложности задач. Но и тогда ее быстрое решение возможно при условии, что конструкция нового шатуна мало отличается от той, которая изучена на математической модели. В противном случае затраты времени и труда заметно возрастают. Поэтому зачастую дешевле и быстрее определить напряжения, возникающие в шатуне, экспериментальными методами на физических моделях.

Целесообразно провести предварительные экспериментальные прочностные исследования шатунов на плоских прозрачных моделях методом фотоупругости, по результатам которых своевременно корректируется техническая документация. Уменьшенные модели шатуна были изготовлены из оптически активного материала на основе эпоксидной смолы ЭД-5. Основной принцип выбора параметров моделирования по отношению к натуральной конструкции согласно теории подобия — выполнение силового и гео-

метрического подобия с соблюдением масштабов α и β .

$$\alpha = \frac{P_{\text{дет}}}{P_{\text{мод}}}; \quad \beta = \frac{l_{\text{дет}}}{l_{\text{мод}}},$$

где $P_{\text{дет}}$ и $P_{\text{мод}}$ — силы, приложенные в сходственных точках шатуна и модели; $l_{\text{дет}}$ и $l_{\text{мод}}$ — длины любых сходственных отрезков между подобными точками шатуна и модели, при этом напряжения в шатуне рассчитываются по формуле

$$\sigma_{\text{дет}} = \sigma_{\text{мод}} \left(\frac{\alpha}{\beta^2} \right).$$

Масштабы α и β выбираются с учетом сложности конфигурации шатуна, его размеров, нагрузки модели, требуемой точности и применяемого метода измерения. Так, для шатунов быстроходных дизелей ЧН21/21 и моделей $\alpha = 650$, $\beta = 5$, $\sigma_{\text{дет}} = 26\sigma_{\text{мод}}$.

В качестве прибора для исследования моделей шатунов методом фотоупругости принят полярископ с диффузором (рис. 1), впервые примененный в отечественном двигателестроении. Отличиями и преимуществами полярископа с диффузором по сравнению с существующими современными линзовыми установками, имеющими точечный источник и параллельные пучки света, являются:

- неограниченность размеров рабочего поля, позволяющая использовать крупномасштабные модели;
- применение моделей с неполированной поверхностью;
- простота конструкции и легкость в работе.

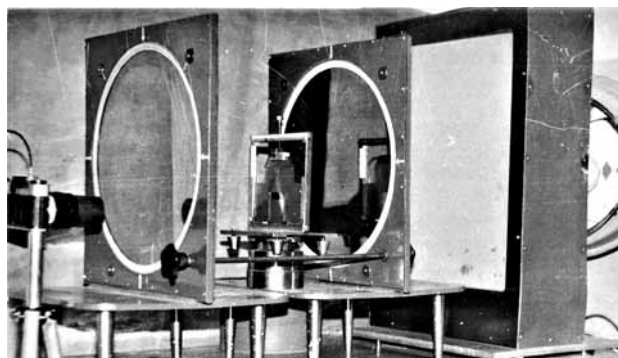


Рис. 1. Полярископ с диффузором

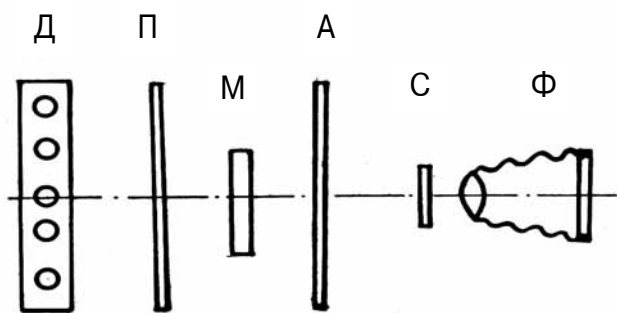


Рис. 2. Схема полярископа с диффузором

Изучение метода фотоупругости показывает, что создание параллельных пучков света при просвечивании модели с помощью линзовой системы существенно усложняет поляризационно-оптическую установку без увеличения точности измерения, а строгая параллельность пучков света не обязательна. Как видно из работы [1], погрешность измерения полярископа с диффузором не превышает допустимой величины и соизмерима с погрешностями измерений линзовыми установками.

Схема полярископа с диффузором приведена на рис. 2, где Д — диффузор, П и А — поляризатор и анализатор, М — модель, С — светофильтр желто-оранжевый для получения монохроматического света, Ф — фотоаппарат.

Чувствительность поляризационной установки характеризуется оптической постоянной материала модели C (оптическим коэффициентом материала) или ценой полосы материала σ^{tm} . Точность установки определяется ее разрешающей способностью по количеству полос на фотографии. Для оценки σ^{tm} согласно основному закону фотоупругости для центра сжатого диска как плоского тарировочного образца используется выражение

$$\sigma^{tm} = \frac{8P}{\pi D m_n}$$

При $P = 1154 \text{ Н}$ и $m_n = 3,5$ $\sigma^{tm} = 14 \cdot 10^3 \text{ Н/м}$.

Согласно теории упругости оптическая постоянная материала модели

$$C = \frac{\Gamma}{\sigma \cdot t},$$

где Γ — разность хода, измеренная компенсатором Краснова в центре диска; σ — напряжение в центре диска, $\sigma = \sigma_1 - \sigma_2$; t — толщина диска.

При $P = 296 \text{ Н}$, $\Gamma = 0,34 \text{ м}$, $t = 0,007 \text{ м}$, $C = 27,1 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{Н}$.

Для исследования методом фотоупругости модели шатунов помещались между поляризатором и анализатором, а их нагружение растяжением осуществлялось с помощью стяжных болтов, передающих нагрузку через пальцы.

Путем моделирования нагруженного состояния шатуна получены качественные картины изохор и эпюры количественного, выраженного в

порядках полос, распределения квазистатических напряжений на наружном контуре поршневой головки (рис. 3). При действии на модель растягивающей нагрузки P_j полосы в месте перехода от головки к стержню шатуна располагаются чаще (порядок полос 3,5), чем в самой головке. Это означает, что в сопряжении указанных элементов шатуна напряжения выше, чем в вершине головки.

Результаты исследования позволяют сделать следующие выводы. Путем моделирования напряженного состояния шатуна методом фотоупругости получены качественные картины изохор и эпюры количественного распределения напряжений в порядках полос при нагружении растягивающей нагрузкой P_j . Результаты физического моделирования напряженного состояния шатуна дизеля ЧН21/21 подтвердились натурными динамическими испытаниями конструкции шатуна на работающем дизеле. И хотя несоответствие между напряжениями модели и натурной детали оказалось существенным (до 20% с учетом погрешности измерений), его принято считать удовлетворительным для доводочных исследований вновь проектируемых конструкций шатунов.

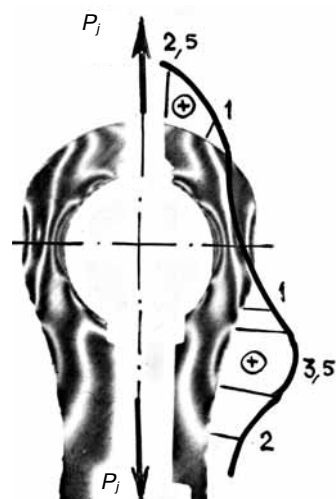


Рис. 3. Эпюра распределения квазистатических напряжений в порядках полос на наружном контуре модели поршневой головки шатуна

Литература

1. Пригоровский Н.И., Бокштейн М.Ф. Поляризационная установка ИМАШ-КБ2 // Изв. академии наук, ОТН — 1948. — № 10. — 10 с.