

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ФОРСИРОВАННОГО ДИЗЕЛЯ

*С.П. Косырев, д.т.н., проф.; И.О. Кудашева, к.т.н.; Л.В. Купцова, асп; Н.Л. Марьина, асп.
Балаковский институт техники, технологии и управления*

В статье рассматривается моделирование напряженного состояния колена коленчатого вала на плоской модели поляризационно-оптическим методом.

Получены качественные картины изохор и эпюры количественного распределения напряжений в порядках полос. На основе обработки картин полос определены теоретические коэффициенты концентрации напряжений в галтелях коленчатого вала.

Проблема повышения эксплуатационной надежности коленчатых валов форсированных дизелей определяется их способностью длительное время противостоять воздействию переменных динамических нагрузок, вызывающих в металле усталостные трещины. Одним из основных средств решения задачи исследования напряжений, возникающих в коленчатых валах, является физическое моделирование элементов конструкции с высокими градиентами напряжений. В целях определения мест концентрации напряжений, а также получения качественной картины их распределения по всему полю исследуемой конструкции применяются следующие физические методы моделирования: метод хрупких лаковых покрытий, методы муаровых полос и поляризационно-оптический.

Перспективным направлением исследования напряженно-деформируемого состояния элементов конструкций двигателей является моделирование на плоских и объемных фотоупругих моделях. Известно решение задачи в напряжениях и изостатах в модели шатуна [1], в результате чего были получены качественные картины изохор и эпюры количественного распределения напряжений в порядках полос. По сравнению с другими методами поляризационно-оптический метод позволяет отказаться от исследования натуральных конструкций, требующих громоздкого и дорогостоящего оборудования и при этом зафиксировать картину напряжений по всему полю модели коленчатого вала непрерывно, что является основным его преимуществом. Точность поляризационно-оптического метода возрастает

в местах с высоким градиентом напряжений и не зависит от внешней среды. По сравнению с такими бесконтактными физическими методами, как метод хрупких лаковых покрытий и метод муаровых полос, поляризационно-оптический метод дает возможность получить результаты прямым путем с большой точностью и с меньшей затратой средств.

Для исследования напряженно-деформированного состояния элементов конструкции коленчатых валов поляризационно-оптическим методом используется полярископ с диффузором [1]. Следует отметить, что в нашей стране такие полярископы не нашли применения, а значительные усилия исследователей были направлены на разработку оптических систем для создания параллельных пучков света. В технической литературе отсутствуют сведения об исследовании модели коленчатого вала ДВС поляризационно-оптическим методом.

Уменьшенные модели коленчатого вала для двигателей ОАО «Волжский дизель им. Маминых» были изготовлены из оптически-активного материала на основе эпоксидной смолы ЭД-5 горячего отверждения. Технология изготовления материала включает разработку и получение форм, смешивание компонентов, заливку смеси в формы, полимеризацию, разборку форм и отжиг заготовки.

В разогретую до 80 °С эпоксидную смолу вводят пластификатор (дибутилфталат), затем ускоритель полимеризации (диметиланалин) и последним вводится отвердитель (метилтетрагидрофталевый ангидрид) в количестве до 40 %. После добавки каждого компонента смесь тщательно перемешивают при постоянной температуре 80 °С. Подготовленную смесь заливают в формы, предварительно подогретые до 50–60 °С. Полимеризация материала происходит в термостате при медленном подъеме температуры.

Для модели коленчатого вала использовался следующий режим полимеризации:

- выдержка модели при температуре 80 °С в течение 24 ч;
- подъем температуры до 100 °С по 5 °С в час;
- выдержка модели при температуре 100 °С в течение 24 ч;

- подъем температуры до 120 °С по 5 °С в час;
- выдержка при температуре 120 °С в течение 24 ч;
- плавное снижение температуры (по 2,5 °С в час) до 60 °С.

Изготовленная модель отжигалась для снятия остаточных температурных напряжений и стабилизации свойств материала при 130 °С. Подъем температуры при отжиге производится по 10 °С в час, снижение температуры — по 5 °С в час.

Основным свойством упругих моделей коленчатых валов, применяемых при исследовании напряжений поляризационно-оптическим методом, является их оптическая чувствительность, показатель которой — коэффициент напряжений или цена полосы материала. Именно для получения необходимой оптической чувствительности моделей была разработана ранее описанная технология их изготовления. Высокая оптическая чувствительность применяемого материала обеспечивает простоту и точность измерения.

Для определения оптического коэффициента напряжений был изготовлен плоский тарировочный образец в виде диска, который испытывали на сжатие диаметрально приложенными силами (рис. 1).

Одновременно с определением оптической постоянной проводили измерения продольных и поперечных деформаций диска для определения модуля упругости и коэффициента Пуассона по формулам теории упругости

$$E = \frac{4(4 - \pi) \cdot P}{\pi[4(D_2 - D_1)t_1 - \pi \cdot D(t_2 - t_1)]};$$

$$\mu = \frac{4 - \pi}{4 \frac{D_2 - D_1}{D_1} \cdot \frac{t_1}{t_2 - t_1} - \pi},$$

где P — усилие сжатия диска; D_1 и D_2 — длина горизонтального диаметра диска до и после нагружения; t_1 и t_2 — толщина в центре диска. В данном случае $E = 34 \cdot 10^8$ МПа, $\mu = 0,37$.

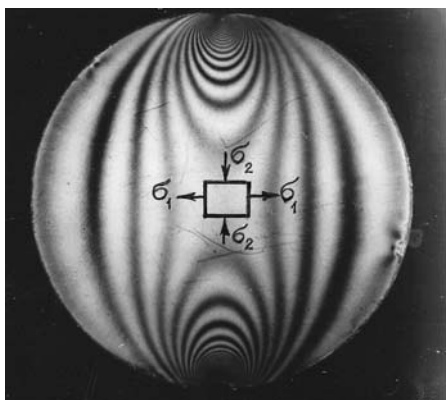


Рис. 1. Плоский тарировочный образец

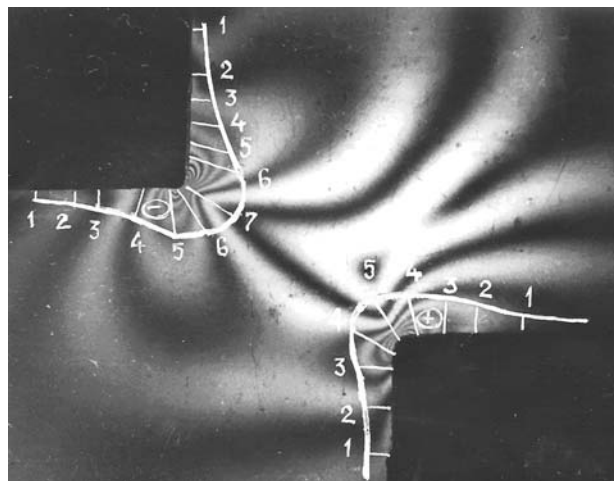


Рис. 2. Эпюры распределения квазистатических напряжений в порядках полос на наружном контуре модели коленчатого вала

Для исследования поляризационно-оптическим методом модели коленчатого вала помещались между поляризатором и анализатором, а их нагружение осуществлялось в нагрузочной рамке через жесткий диск с помощью болта.

При моделировании на упругой модели нагруженного состояния коленчатого вала были получены качественные картины изохор и эпюры количественного, выраженного в порядках полос, распределения квазистатических напряжений на нагруженном контуре модели (рис. 2).

Результаты проведенного исследования позволяют сделать следующие выводы.

Моделирование напряженного состояния коленчатого вала поляризационно-оптическим методом позволяет получить качественные картины изохор для различных моделей колена коленчатого вала и эпюры количественного распределения напряжений в порядках полос.

На основе обработки картин полос определены теоретические коэффициенты концентрации напряжений в галтелях коленчатого вала, значения которых представлены в таблице.

Таблица

Теоретические коэффициенты концентрации напряжений в галтелях коленчатого вала

Варианты галтелей коленвала	Максимальный порядок полос n_{\max}	Номинальный порядок полос $n_{\text{ном}}$	Теоретический коэффициент концентрации напряжений $k = n_{\max}/n_{\text{ном}}$
1	6	2,5	2,4
2	5	3	1,7
3	10	4,5	2,2

Выполненные с учетом результатов моделирования галтели коленчатого вала оптимального профиля для двигателя 4Н21/21 обеспечивали снижение теоретического коэффициента кон-

центраций напряжений с 2,4 до 1,7 (т. е. на 30 %).

Предложенный метод моделирования позволяет существенно оптимизировать и снизить величину максимальных напряжений при минимальных конструктивных изменениях и повысить ресурс и эксплуатационную надежность коленчатых валов форсированных дизелей. Существенная оптимизация распределения напряжений в галтелях коленчатых валов может быть достигнута совокупностью конструктивных мероприятий по снижению как общей, связанной с коленообразной формой вала, так и местной концентрацией напряжений, зависящей от относительной кривизны и формы профиля галтели.

При оценке причин аварии коленчатых валов по характеру излома необходимо определять первопричину, вызвавшую концентрацию напряжений и место, откуда началось последовательное образование усталостной трещины.

Основная задача при этом — торможение роста трещин, снятие и рассредоточение с вершин трещин концентраторов напряжений. В связи с изложенным требуется выбор технологического метода поверхностного пластического деформирования путем искусственного создания начальных технологических остаточных напряжений сжатия [2] на элементах коленчатого вала.

Литература

1. Косырев С.П., Горшков Е.А. Моделирование напряженного состояния поршневой головки шатуна форсированного дизеля // Двигателестроение. — 2007. — № 3. — С. 14–15.
2. Косырев С.П., Кудашева И.О., Марьина Н.Л. и др. Поверхностное пластическое деформирование высоконагруженных деталей транспортных дизелей // Современные технологии в машиностроении: сб. статей XI Международной конференции — Пенза: ПДЗ, 2007. — С. 62–66

ЮБИЛЕЙ!

Сергею Петровичу Косыреву 70 лет

15 ноября 2008 г. исполнилось 70 лет Сергею Петровичу Косыреву, доктору технических наук, профессору кафедр «Технология и автоматизация машиностроения» и «Управление и информатика в технических системах» Балаковского института техники, технологии и управления Саратовского государственного технического университета, члену редакционной коллегии журнала «Двигателестроение»



После окончания аспирантуры и защиты кандидатской диссертации в 1974 г. в НПЦ ЦНИИТМАШ (Москва) С.П. Косырев около 40 лет проработал в ЗАО «Волжский дизель им. Маминых», пройдя путь от рядового инженера-исследователя до ведущего научного сотрудника, где под его руководством и при непосредственном участии проводились работы по совершенствованию дизелей ЧН21/21. Работу на заводе С.П. Косырев с 1989 г. совмещает с преподавательской деятельностью в качестве профессора на кафедрах «Технология и автоматизация машиностроения» и «Управление и информатика в технических системах» БИТТУ СГТУ.

В 1993 г. С.П. Косырев защитил в НПЦ ЦНИИТМАШ докторскую диссертацию по теме: «Комплексные методы повышения работоспособности шатунов и подшипников скольжения высокофорсированных дизелей многоцелевого назначения».

В настоящее время производственная и научно-педагогическая деятельность С.П. Косырева связана с повышением эксплуатационной надежности высокофорсированных дизелей методами поверхностного пластического деформирования, с динамикой и прочностью машин, приборов и аппаратуры. По этим направлениям им опубликовано более 250 научных работ и две монографии, а также получено 35 авторских свидетельств и патентов. Под его руководством подготовлено 8 кандидатов технических наук.

В 1995 г. за разработку и внедрение в народное хозяйство эффективных изобретений С.П. Косыреву присвоено почетное звание «Заслуженный изобретатель Российской Федерации», его работы отмечены двумя серебряными медалями ВВЦ России. С.П. Косырев избран академиком Международной академии векторной энергетики, академиком российской академии проблем качества, академиком Российской академии транспорта.

Редакция журнала «Двигателестроение», коллеги, друзья и ученики поздравляют Сергея Петровича с юбилеем и желают ему крепкого здоровья и творческого долголетия.