

## ЛАЗЕРНО-ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ РАЗРАБОТКИ ДВС

### Введение

Современный двигатель внутреннего сгорания являет собой продукт столь разных отраслей науки и техники, что многие из них еще совсем недавно казались чрезвычайно далекими друг от друга. По сути ДВС к началу XXI века превратился из тепловой механической машины в электро-электронную тепло-механическую систему с компьютерным управлением. Вполне вероятно, что уже в ближайшем будущем в составе ДВС будут работать элементы на основе нано- и био- технологий. Но как и на заре развития двигателестроения совершенство механических элементов во многом определяет технические характеристики двигателя.

Формирование рационального распределения поля деформаций и напряжений (НДС) всегда составляло важнейшую задачу конструктора. Применение аналитических методов расчета позволяло сформировать только общий облик изделия, предполагая в дальнейшем использование опыта и «чутья» разработчика. В результате для получения совершенной конструкции требовался либо фантастический талант, либо значительные временные и финансовые ресурсы.

### Проблемы автоматизированной разработки ДВС

Развитие компьютерных технологий позволило использовать численные методы, значительно расширившие возможности анализа НДС конструкции. Воплощенные в виде CAD/CAM/CAE систем, с 90-х годов прошлого века автоматизированные системы разработки успешно вытеснили традиционные культуры из двигателестроительных конструкторских

бюро. Несомненно, что математическое моделирование раскрывает для конструктора широчайшие возможности анализа процессов и состояний, но в то же время безраздельное доверие результатам расчета может привести к печальным последствиям. Очевидно, что для эффективного применения таких передовых технологий крайне необходима доскональная верификация математических моделей, применяемых при разработке конструкции.

Для двигателестроительных предприятий Украины сложность этой проблемы обостряется еще и тем, что период становления компьютерных технологий совпал с периодом экономической стагнации. В силу этой причины конструкторы обладавшие колоссальным опытом и «чутьем» конструкции, «разминулись» с новым поколением инженеров, накапливающих навыки работы с CAD/CAM/CAE системами. В виду значительного недостатка информации они вынуждены оценивать результаты моделирования на непротиворечивость только собственным представлениям. При этом анализ напряжений и деформаций конструкции часто теряет практическую ценность. Даже сравнение расчетов с результатами последующих разрушающих испытаний реальной конструкции не позволяет однозначно утверждать об адекватности математической модели и реальной конструкции. Очевидно при разработке сложных деталей и узлов ДВС крайне необходимо применение экспериментальных методов измерения НДС, обеспечивающих не только получение данных для верификации математических моделей, но и позволяющих раскрыть перед конструктором физическую сущность процессов деформирования деталей и уз-

лов.

### Лазерно-интерференционные методы измерения НДС

В паровой машине Уатта точность изготовления деталей была такова, что между поршнем и цилиндром не проходил даже маленький пальчик. В современных ДВС этого явно недостаточно. Необходимо проводить измерения деформаций реальных конструкций с микронной точностью, одновременно на значительных поверхностях с возможностью определения пространственного вектора перемещений в любой точке. Для выяснения физических процессов взаимодействия деталей особый интерес представляют зоны высокоградиентных деформаций, а тестовые нагрузки должны быть максимально приближены к рабочим.

Как показал опыт практического исследования ряда ДВС [1,2], в наибольшей степени этим требованиям отвечают лазерно-интерференционные методы, среди которых особо следует отметить голографическую интерферометрию, спекл-фотографию и электронную корреляционную спекл-интерферометрию. Указанные методы позволяют проводить измерения в широком диапазоне статических, динамических, вибрационных и тепловых нагрузок.

Работа многих изделий машиностроения сопряжена с возникновением вибраций. Их влияние может приводить как к изменению работоспособности самой конструкции, так и к созданию акустических шумов. Для успешной борьбы с нежелательными вибрациями необходимо знать резонансные частоты и формы колебаний излучающих поверхностей. Простейший в практической реализации метод голографической интерферометрии усреднения по времени позволяет получить чрезвычайно емкую, информационно насыщенную картину. На рис.1 показана последовательность интерферограмм, отображающих изменение формы собственных колебаний

крышки группового резьбового соединения на частоте 2784 Гц при изменении усилия затяжки одного из болтов.

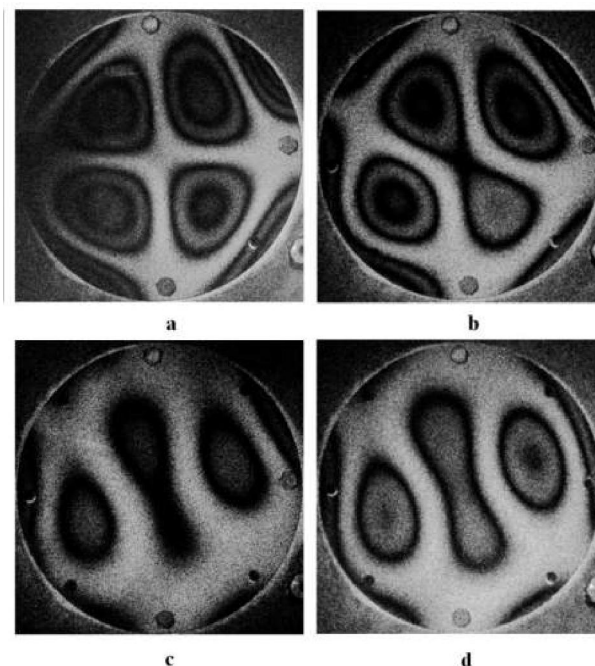


Рис.1. Изменение формы колебаний крышки группового резьбового соединения

Неподвижные участки детали визуализируются в виде светлых полос. Настройка измерительной системы проводилась на нормальную компоненту вектора перемещений, что значительно упрощает анализ интерферограмм. Наглядный характер интерференционной картины позволяет легко отслеживать изменение поведения конструкции при изменении характера нагрузки. Учитывая, что частота и форма колебаний характеризует не только геометрические особенности детали, но и особенности взаимодействия деталей в соединении, полученная информация может быть успешно использована также и для верификации конечноэлементной модели такого соединения. Вполне очевидно, что методы могут быть применены не только на стадии разработки конструкции, но, например и для диагностики технического состояния соединения в процессе эксплуатации.

Весьма показательным является применение метода голографической интерферометрии двойной

экспозиции для исследования деформации блока цилиндров. На рис.2 показана интерферограмма деформации боковой стенки блока ДВС ВАЗ 21083 при нагружении внутренним давлением 4 МПа второго цилиндра поршень которого установлен в положении, соответствующем приложенному давлению по индикаторной диаграмме. Интерференционные полосы имеют цену полосы 0.315 мкм и соответствуют эквидистантам нормальных перемещений. График отчетливо иллюстрирует активную деформацию в зоне нагруженного цилиндра и реакцию картера, вызванную силопередачей посредством цепочки поршень-шатун-коленчатый вал-коренные опоры.

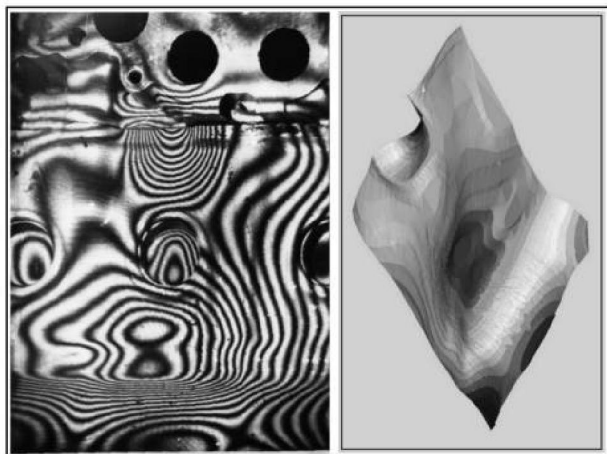


Рис.2 Интерферограмма и график деформации блока цилиндров при внутрикамерном нагружении

Использование полученной информации позволяет провести верификацию математической модели до уровня, обеспечивающего устойчивые результаты

расчетов при различных видах нагружения, что гарантирует успешную отработку конструкции.

### Заключение

Комплексное использование расчетно-экспериментальных методов, основанных на симбиозе лазерно-интерференционных методов измерений и конечноэлементных методов расчета, является логичным дополнением современных CAD/CAM/CAE систем разработки ДВС. Важное условие успешного применения таких методов на практике - разработка методов и средств адаптированных к задачам исследования двигателей и предполагающих «приборный» стиль измерения.

### Список литературы:

1. Кесарийский А.Г. Голографические исследования работоспособности двигателей внутреннего сгорания// в кн. Когерентная оптика и голография; Труды XXV школы-симпозиума, Ярославль: Изд-во ЯГПУ,1997г,- С.191 - 197.
2. Кесарийский А.Г. Комплексное применение методов голографической интерферометрии и конечноэлементного математического моделирования при отработке конструкции двигателя внутреннего сгорания// Актуальные проблемы теории и практики современного двигателестроения: Труды Международной научно-технической конференции, 23-25 апреля 2003 г., г. Челябинск – Челябинск: Изд-во ЮурГУ, 2003.- С.92-95.