

УДК 621.43.001.57

А.Г. Кесарийский, инж.

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНО-ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЦИЛИНДРОВ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Введение

При конструировании двигателей внутреннего сгорания одной из важных задач является прочностной расчет деталей и узлов. Современная технология разработки двигателей внутреннего сгорания предполагает широкое применение автоматизированных методов математического моделирования. Использование комплексных CAD/CAM/CAE систем, оснащенных мощным инструментарием конечноэлементного математического анализа, не исключает необходимости применения экспериментального исследования напряженно-деформированного состояния конструкции в силу того, что для получения достоверных результатов расчета необходимо отчетливо представлять особенности взаимодействия элементов конструкции. Практическое применение автоматизированных систем анализа напряженно-деформированного состояния деталей и узлов ДВС показывает, что повышение темпов и качества разработки может быть достигнуто путем использования расчетных методов в сочетании с экспериментальными методами исследования напряженно-деформированного состояния ДВС.

Проблемы применения традиционных методов измерений

В машиностроении для исследования напряженно-деформированного состояния, широкое распространение получили методы электротензометрии [1]. Эти методы характеризует высокая чувствительность, сравнительная простота эксплуатации, широкий диапазон измерений, возможность исследования статических и динамических нагрузок, дистанционность, выполнение измерений на натурных объектах. Весь этот комплекс свойств обеспечил широкое применение метода. По данным [2] методы электротензометрии, основанные на использовании тензорезисторов, применяются более чем в 80% исследований напряженного состояния, производимых в промышленности США.

Однако, в зонах высокоградиентных нагрузок сложно получить неискаженную информацию, а закрепление тензодатчика на исследуемой поверхности создает дополнительные проблемы в оценке достоверности измерений. Кроме того, в силу дискретного характера измерений, использование методов электротензометрии не обеспечивает достаточной

полноты информации. При проведении экспериментальных исследований, для конструктора особый интерес представляет оценка распределения деформаций и напряжений по детали, а так же выяснение физических особенностей взаимодействия деталей, входящих в конструкцию. В этом случае информация о деформировании детали в одной точке представляется явно недостаточной, а размещение большого числа датчиков (обеспечивающих возможность отображения информации в виде поля) зачастую сопряжено со значительными техническими сложностями.

Цилиндр двигателя, как основной элемент ДВС, во многом определяет его работоспособность. Исследование изменения геометрии зеркала цилиндра, например, радиальных перемещений под воздействием рабочих и технологических нагрузок, представляет одну из важных задач разработки двигателя. Использование электротензометрии не позволяет решить эту задачу в силу того, что тензодатчики регистрируют деформации только в плоскости их установки.

Решение проблем исследования деформации цилиндра

Повышение информативности исследований может быть достигнуто путем применения экспериментальных методов, обеспечивающих получение информации в виде поля деформации или перемещения. Среди широкого многообразия таких методов, следует особо выделить лазерно-интерференционные методы голографической и спекл-интерферометрии, практическое применение которых показало их высокую эффективность при исследовании ДВС [3,4]. Информация, получаемая в виде полей, легко переносится на узлы конечноэлементной сетки математической модели и используется в качестве граничных условий для дальнейшего анализа напряжений. В то же время специфика конструкции ДВС не всегда позволяет применить стандартные методы и средства лазерно-интерференционных измерений, что требует применения специальных устройств.

Для исследования формоизменения внутренней поверхности цилиндра было разработано и изготовлено специальное устройство, позволяющее контролировать радиальные перемещения зеркала цилиндров с интерференционной точностью.

На рис.1 показана конструкция устройства для

панорамной регистрации радиальных перемещений внутренней поверхности цилиндра.

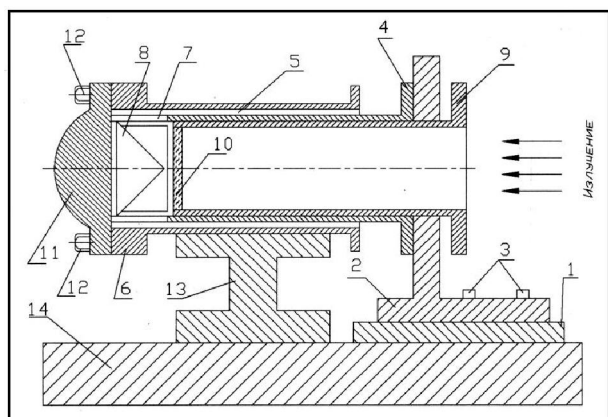


Рис.1. Схема устройства для регистрации деформации цилиндра

Устройство содержит базовую плиту 1, на которой размещен подвижный кронштейн 2, перемещающийся по направляющим штифтам 3. На кронштейне 2 жестко закреплена цилиндрическая втулка 4, вставляемая с зазором в исследуемый цилиндр 5 блока двигателя 6. Втулка 4 имеет тонкие кронштейны 7 для крепления зеркального конуса 8. Внутри втулки 4 размещен подвижный стакан 9, на торце которого установлена фотопластинка 10. Блок двигателя 6 с головкой 11 и крепежом 12 жестко закреплен при помощи опоры 13 к виброзащищенной платформе 14. На этой же платформе жестко закреплено основание 1 устройства для регистрации деформации цилиндра.

В процессе проведения измерений на торце подвижного стакана 9 закрепляют фотопластинку 10, например, при помощи пружинных зажимов. Затем стакан 9 вводят во втулку 4 и перемещают до контакта фотопластинки 10 с конусом 8.

При регистрации интерферограмм коллимированное лазерное излучение направляют по нормали к фотопластинке 10. Излучение, проходя через фотопластинку, падает на поверхность конуса 8 и освещает исследуемый участок поверхности цилиндра. Отраженное этой поверхностью излучение снова попадает на конус 8 и отражается на фотопластинку 10. При этом реализуется схема регистрации отражательных голограмм по методу Ю.Н. Денисюка. После первого экспонирования проводят нагружение исследуемого двигателя, например, путем затяжки крепежа 12. Затем выполняют повторное экспонирование, извлекают стакан 9, снимают фотопластинку 10 и направляют ее в обработку.

Интерферограмма, полученная при использовании указанного устройства, показана на рис.2.

Получаемая информация позволяет проводить

как анализ технического состояния конструкции при воздействии нагрузок, так и верифицировать математическую модель ДВС, используя поле перемещений, как, например, предложено в работах [5, 6]. Кроме того результаты измерений могут служить основой для разработки технологии оптимальной сборки блока и головки цилиндров.

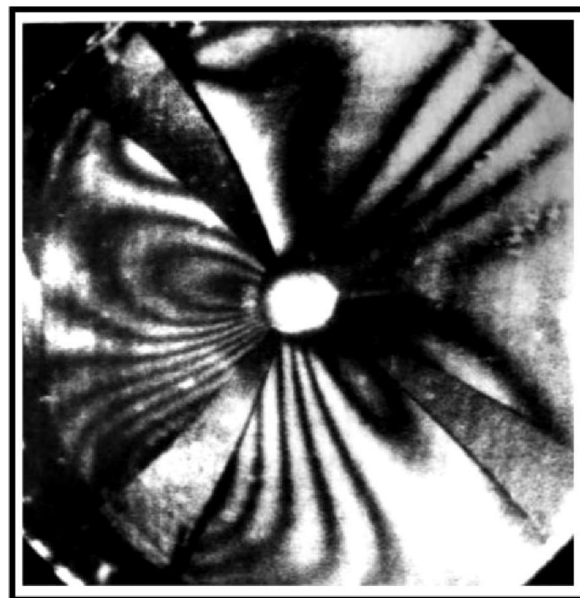


Рис.2. Интерферограмма деформации зеркала цилиндра

Предложенное устройство применялось при исследовании деформации зеркала цилиндров двигателей ВАЗ, МеМЗ и ЗМЗ.

В качестве примера приведено поле перемещений зеркала цилиндра двигателя ЗМЗ 40610 при изменении затяжки болтов крепления головки цилиндров. Полученная интерферограмма после расшифровки позволяет отобразить поле перемещений как в виде сечений цилиндра (рис.3).

Практическое применение устройства позволило провести его существенную модернизацию. Используя в качестве регистрирующего материала фотографические эмульсии на гибких, пленочных носителях и блок, состоящий из нескольких полупрозрачных зеркальных конусов, была обеспечена возможность регистрации панорамной развертки зеркала цилиндра без геометрических искажений по всей длине цилиндра. При этом устройство позволило совместно использовать методы голографической интерферометрии и спекл-фотографии. Такой комплексный подход обеспечил возможность регистрации пространственного вектора перемещений и простую обработку результатов исследования.

Дальнейшее совершенствование устройства на-

правлено на замену фотографических материалов электронными средствами регистрации, что позволит перейти от лабораторного стиля измерений к приборному, при одновременном сокращении времени получения информации с десятков минут до нескольких секунд.

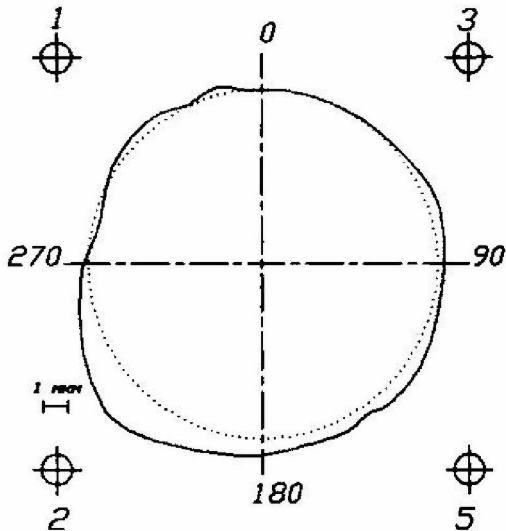


Рис.3. Формоизменение поперечного сечения цилиндра при затяжке крепежа так и в виде пространственного графика поля перемещений, как показано на рис.4

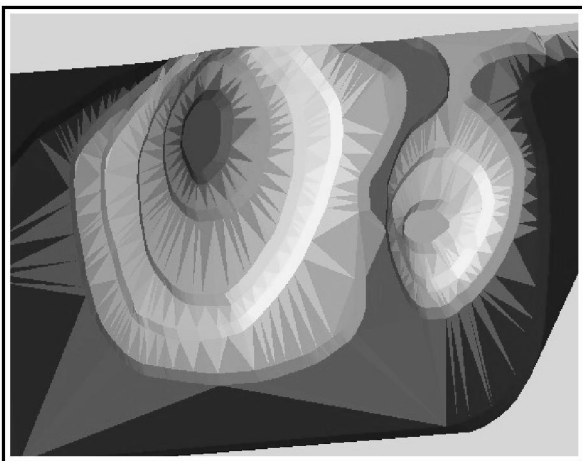


Рис. 4. 3-D представление поля перемещений

Интерферограммы и спекл-фотографии, получаемые при измерении формоизменения цилиндра, характеризуются высокой информационной насыщенностью. С целью получения полей деформаций и напряжений требуется дальнейшая их обработка с применением программно-вычислительных комплексов. Дальнейшее совершенствование методов и

средств предполагает разработку интерактивных программ обеспечивающих непосредственную передачу данных в CAD/CAM/CAE систему.

Заключение

Предложенный способ регистрации формоизменения внутренней поверхности цилиндра и устройство для его реализации позволяют за один цикл измерений получить панорамную развертку деформации зеркала цилиндра. При этом одновременно могут быть зарегистрированы радиальная, аксиальная и тангенциальная составляющие вектора перемещений. Высокая чувствительность метода, составляющая 0.2–0.3 мкм, в сочетании с полевой формой представления информации позволяют использовать результаты измерений не только для анализа работоспособности конструкции, но и для верификации математических моделей, применяемых при разработке.

Список литературы:

1. Экспериментальная механика: В 2-х кн.: кн. 1.: Пер с англ. / Под ред. А. Кобаяси. – М.: Мир, 1990. – 616 с.
2. Perry C.C. The Resistance Strain Gage Revisited, W. Murray Lecture, 5th Int. Cong. Exp. Mech., Montreal, Quebec, (Canada, June 10 – 15), 1984.
3. Кесарийский А.Г. Голографические исследования работоспособности двигателей внутреннего сгорания // Когерентная оптика и голография: Тр. XXV школы-симп. – Ярославль: Изд-во ЯГПУ, 1997 – С. 191 – 197.
4. Кесарийский А.Г. Голографические исследования деформации блока цилиндров двигателя внутреннего сгорания // Авиационно-космическая техника и технология: Сб. науч. тр. – Харьков: Гос. Аэрокосмический ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 1999. – Вып. 9. Тепловые двигатели и энергоустановки. – С. 335.
5. Kesarijskij A. Development of the methods of estimation of authenticity of the mathematical model of the parts and units of an internal combustion engine// Transactions of the 5. Symposium "Numerical simulation in automotive engineering", 5. Februar 2003, Graz, Austria.
6. 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: Тр. Междунар. науч.-техн. конф., (23 - 25 апреля 2003). – Челябинск: Изд-во ЮурГУ, 2003. – С. 92 – 95