

## КОМПЕНСАЦИЯ МИКРОДЕФОРМАЦИЙ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАР ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

### Введение

Качество и надежность работы ДВС находятся в прямой зависимости от точности реализации геометрических размеров деталей, входящих в конструкцию. Особенно это актуально для элементов, составляющих кинематические пары. Многолетний опыт разработки и изготовления поршневых машин позволяет наглядно проследить тенденции их совершенствования, связанные с повышением точности деталей, составляющих кинематические пары. Так, например, российский изобретатель И. И. Ползунов, делая первую паровую машину, проверял зазоры в ней екатерининским пятакон, толщина которого достигала 6 мм. Джеймс Уатт с гордостью сообщал, что в его машине между поршнем и цилиндром «нельзя просунуть даже маленький палец» [1]. За два с лишним века совершенствования поршневых машин существенный рост технических характеристик происходил с одновременным повышением точности изготовления деталей и уменьшением зазоров в кинематических парах. В современных ДВС зазоры между поршнем и цилиндром измеряются десятками микрон, а в некоторых агрегатах ДВС, например, плунжерных насосах высокого давления, зазор между втулкой и плунжером измеряется единицами микрон.

Совершенствование конструкции ДВС, связанное с повышением уровня весового совершенства двигателей, привело к тому, что на работоспособность механических узлов существенное влияние начали оказывать не только рабочие нагрузки, но технологические особенности сборки. Сборочные погрешности носят наследственный характер, так

например, сборочные деформации могут приводить к отклонениям формы деталей, близких по величине к значениям предельных допусков. Вопросам исследования технологической наследственности посвящены работы А.М. Дальского [2], П.И. Ящерицина и др. В то же время управление процессом технологического наследования не может обеспечить полного исключения свойств деталей, отрицательно влияющих на работоспособность кинематических пар ДВС.

### 1. Формулирование проблемы

Деформирование деталей в процессе сборки приводит к существенному изменению их формы. Так например, в работе [3] показано, что сборка головки с блоком цилиндров ДВС приводит к значительному формоизменению поверхности зеркала цилиндра, что сказывается на ресурсе, надежности двигателя и его кинематическом КПД. На рис.1 показан один из графиков изменения макрогеометрии отверстия гильзы цилиндра дизеля 12ЧН18/20 при запрессовке гильзы и после затяжки силовых шпилек в процессе сборки. Наблюдается существенное изменение овальности отверстия гильзы, которая в 10 % всех измерений превзошла границы поля допусков. По результатам исследований для компенсации влияния сборочных деформаций было предложено изменить конструкцию сопрягаемых деталей и технологию сборки соединения.

Проведенные в работе [3] исследования базировались на измерении перемещений отдельных точек зеркала цилиндра, что приводит к потере части информации о реальном характере формоизменения зеркала цилиндра при выполнении сборочных операций. Такой подход допустим для крупногабарит-

ных ДВС, где рабочие зазоры в кинематических парах измеряются сотнями микрон, а проблема весового совершенства не является актуальной.

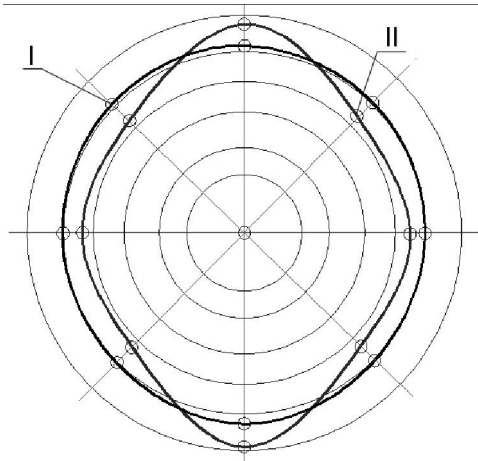


Рис. 1. Изменение макрогеометрии отверстий гильз (по [3]): I – после запрессовки; II – после затягивания шпилек

Для широкораспространенных ДВС, реализованных на основе блок-картерных конструкций, в которых поверхность блока цилиндров используется в качестве рабочей, такой подход не может быть признан оптимальным. В таких конструкциях, особенно малогабаритных, воздействие рабочих и сборочных нагрузок вызывает более сложное формоизменение контактирующих поверхностей кинематических пар, а необходимость обеспечения высокого весового совершенства конструкции приводит к усложнению геометрической формы деталей. Это значительно усложняет расчетный анализ состояний и процессов в кинематических парах ДВС, а экспериментальное исследование деформирования поверхностей кинематических пар затруднено в силу наличия зон высокоградиентных деформаций. Кроме того, прецизионные элементы кинематических пар в ДВС зачастую являются частью геометрически сложных деталей (блок-картер, головка), изменение геометрического облика которых сопряжено со значительными финансовыми затратами. В этом случае особую роль приобретает возможность оценки при-

менимости новых технологических решений, не требующих существенного изменения геометрического облика конструкции.

Таким образом, для оптимизации конструкции и технологии изготовления кинематических пар ДВС необходимо повышение информационной насыщенности процесса разработки и доводки конструкции, что требует применения расчетно-экспериментальных методов, оперирующих не дискретной информацией, а интегральными полями перемещений и деформаций.

## 2. Решение проблемы

В наибольшей степени указанным требованиям отвечают лазерно-интерференционные методы, которые позволяют проводить измерения полей перемещений и деформаций на натуральных объектах. Исследованиям могут быть подвергнуты как отдельные детали, так и конструкции в сборе. Чувствительность методов обеспечивает проведение измерений в диапазоне перемещений 0.1 - 100 мкм. Бесконтактность и безынерционность позволяет проводить эксперименты в широком диапазоне статических и динамических нагрузок. Регистрируемое поле перемещений содержит информацию одновременно для множества точек объекта, а результат может быть представлен в виде пространственных векторов перемещений.

Практическое применение лазерно-интерференционных методов исследования деформаций и перемещений деталей и узлов ДВС показывает их высокую информативность. Так, в работе [4] приведены описание устройства и метода получения поля радиальных деформаций зеркала цилиндра двигателя внутреннего сгорания ЗМЗ 406.10. На рис.2, для примера, представлена интерферограмма деформации зеркала цилиндра протяженностью 50мм от плоскости стыка блок-головка. Измерительная схема позволила получить поле радиальных перемещений и представить его в виде панорамной развертки.

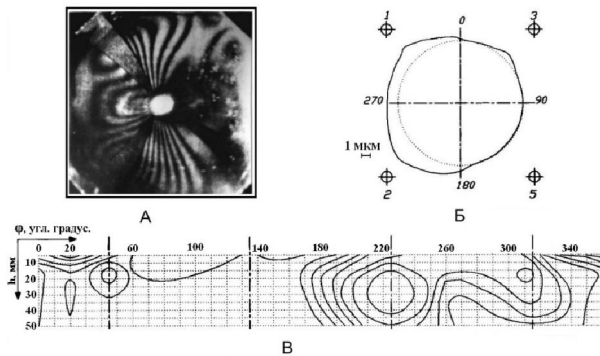


Рис.2. А-интерферограмма; Б - формоизменение сечения цилиндра. В – панорамная развертка поля перемещений

Анализ формоизменения поперечного сечения зеркала цилиндра позволяет установить, что для данной конструкции затяжка болтов крепления головки с блоком цилиндров приводит к существенно неравномерному изменению сечения цилиндра, весьма далекому от простой, овальной формы. Максимальные величины локальных перемещений достигают 35-40 микрон, что сопоставимо с нормативными зазорами между поршнем и цилиндром. Реализованные сборочные деформации приводят к снижению технических характеристик ДВС.

Различия в жесткости зон установки крепежных элементов также оказывает существенное влияние на величину деформации зеркала цилиндра. Вполне очевидно, что при одинаковых усилиях затяжки болтов, реализуемые деформации значительно отличаются.

Для компенсации влияния сборочных деформаций на формоизменение рабочих поверхностей цилиндров представляется весьма эффективным использование экспериментальных данных с целью верификации конечноэлементных математических моделей сопрягаемых деталей с целью их конструктивного изменения и уменьшения нежелательных деформаций. Этот же подход с применением CAD/CAE технологий может быть использован и при отработке логически обоснованной технологии

неравномерной затяжки крепежных единиц в групповом резьбовом соединении головка-блок цилиндров.

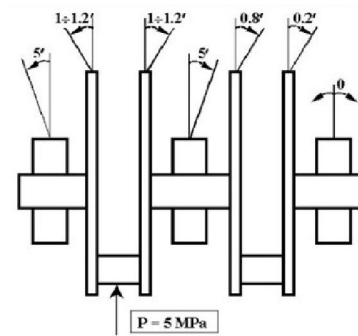
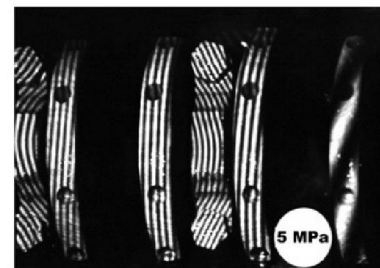


Рис.3. Микродеформации опор коленчатого вала

Однако большое число факторов, влияющих на совместную работу деталей кинематического соединения, не всегда позволяют изменением конструкции или технологии сборки в достаточной степени уменьшить влияние нежелательных деформаций. Так, например, кинематические пары коленчатого вала ДВС в процессе работы подвергаются переменным деформациям. На рис.3 представлены поля деформации опор коленчатого вала при нагружении усилием, соответствующим максимальному давлению в камере сгорания. Изменение нагрузки приводит к постоянному изменению геометрических характеристик контактирующих поверхностей. Анализ полей перемещений позволяет установить, что в данном случае целесообразно применение материалов, обеспечивающих компенсацию локальных микродеформаций за счет постоянного «перетекания» части поверхностного слоя контактирующих деталей. Такую возможность обеспечивает, например, применение политетрафторэтилена (ПТФЭ), фторо-

пласт-4, “Teflon”) – термостойкого термопласта. При использовании субмикронных частиц ПТФЭ (от 0,1 до 0,6 мкм.) в узлах трения удастся не только получить необычно высокую адгезию политетрафторэтилена, но использовать свойство «псевдотекучести» фторопласта, когда частицы запрессовываются в микропоры, микронеровности, зоны выкрашивания и образуют долговечное покрытие, компенсирующее локальное поле микродеформации. Помимо значительного уменьшения импульсных нагрузок, трения и износа, покрытия из ультрадисперсного ПТФЭ обеспечивают дополнительную антикоррозионную защиту деталей кинематических пар. Последнее свойство представляется весьма важным при использовании перспективных биотоплив с кислородосодержащими добавками.

Термостойкость ПТФЭ позволяет использовать такое покрытие и для компенсации обнаруженных микродеформаций цилиндра ДВС, что положительно сказывается на экологических характеристиках двигателя, его ресурсе и надежности.

#### **Заключение**

Исследование микродеформаций прецизионных кинематических пар показывает, что применение лазерно-интерференционных методов для контроля

полей перемещений деталей и узлов обеспечивает возможность целенаправленной конструктивной и технологической доработки кинематических пар для повышения технических характеристик ДВС.

#### **Список литературы:**

1. В. А. Четвергов, С. М. Овчаренко. *Научно-технический прогресс и проблема надежности техники: Конспект лекций по дисциплине «Надежность и диагностика локомотивов»/ Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2002. 33 с.*
2. Дальский А.М., Кулешова З.Г. *Сборка высокоточных соединений в машиностроении.* - М.: Машиностроение, 1998. - 302с.
3. Бочкарев В.Н., Яхьяев Н.Я. *Расчетно-экспериментальные модели напряженно-деформированных деталей сложной конструкции в судовом машиностроении: Монография / Дагестанский филиал АН СССР, 4988, 173 с.*
4. Кесарийский А.Г. *Влияние затяжки групповых резьбовых соединений на деформацию блока цилиндров двигателя внутреннего сгорания //В сборнике научных статей " Прогресс-Технология-Качество: Труды Второго конгресса двигателестроителей Украины с иностранным участием, Киев-Харьков-Рыбачье, 22-25 сентября 1997г." - Харьков, ИМиС, 1997, С.235-237.*

УДК 621.43.016.4

**В.В.Шпаковский, канд. техн. наук, В.В. Осейчук, инж.**

## **ВЛИЯНИЕ КОРУНДОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОРШНЕЙ ДИЗЕЛЯ ТЕПЛОВОЗА ЧМЭ-3 НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ**

#### **Введение**

Возрастающие требования к надёжности и долговечности тепловозных дизелей вызывают необхо-

димость применения для деталей камеры сгорания (КС), материалов с высокими теплостойкими, антифрикционно- и износостойкими свойствами. Термо-