

УДК 621.431.75

Л.А. ФИНКЕЛЬБЕРГ, Ю.Н. НИКИТИН, А.Н. КОСТЮЧЕНКОВ

*Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И.Баранова», Москва, Россия***ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И МАТЕРИАЛОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СОВРЕМЕННЫХ АВИАЦИОННЫХ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Приведены сведения и основные характеристики методики по измерению толщины масляного слоя в зазорах цилиндропоршневой группы двигателей внутреннего сгорания. Описана методология выбора оптимальных диаметральных зазоров, и формирования овальной и бочкообразной боковых поверхностей поршня, применительно к авиационному поршневому двигателю внутреннего сгорания. Также описана технология создания современной поршневой группы на основе поршня, изготовленного методом изотермической штамповки и стальных поршневых колец, кроме того, указаны преимущества данных технологий перед другими методами изготовления деталей. Описанные в статье технологии и методики были опробованы при стендовых испытаниях двигателя-демонстратора.

Ключевые слова: *изотермическая штамповка, масляный слой, цилиндропоршневая группа, поршень, кольца.*

Введение

Ведущие отечественные и зарубежные двигателестроительные предприятия постоянно ведут разработки новых авиационных поршневых двигателей (АПД). При этом ускорение научно-технического прогресса диктует необходимость внедрения новейших научных разработок и освоения прогрессивных технологий. С другой стороны объективно возрастают требования к эффективности выпускаемой техники, комплексной экономии всех ресурсов, рациональной организации эксперимента, производства и эксплуатации.

Основным сопряжением поршневого авиационного двигателя является цилиндропоршневая группа (ЦПГ). Выбор конструкции деталей сопряжения, новейшие технологии изготовления, задание диаметральных зазоров в сопряжении во многом определяют параметры технического уровня, экологичность и надежность двигателя в целом.

ЦИАМ получен патент на разработку конструкции и оценку характера трения в сопряжении ЦПГ. Разработан расчетно-экспериментальный метод оценки характера трения в сопряжении ЦПГ, который дает возможность уточнять граничные условия расчета напряженно-деформированного состояния деталей сопряжения, определять критические режимы работы двигателя, при которых происходят необратимые процессы задира и схватывания поверхностей трения. Метод включает разработку измерителя толщины масляного слоя на работающем двигателе, датчиков и средств контроля и запи-

си оценочных критериев надежной работы сопряжения (рис. 1).

Методика измерения

Предлагаемый метод измерения толщины масляного слоя в ЦПГ включал: повышение выходных характеристик усилителя с 10 до 15 кГц с целью более детальной оценки характера трения в сопряжении, доработка конструкции датчика по посадочному пояску, исключаяющее его проседания при длительном режиме контактирования. Сбор, обработка и визуализация данных осуществляется программой L-Graph II [1], позволяющей наблюдать осциллограмму в процессе записи сигнала в режиме реального времени. Имеется возможность экспорта записанных данных в файлы в формате *.txt и *.bmp.

Поршни авиационного двигателя работают в условиях значительных температурных и динамических нагрузок, причем различные их зоны отличаются уровнем тепловой и динамической напряженности. В связи с этим для определения профиля поршня необходимо знать особенности работы каждого его элемента в условиях напряженно-деформированного и теплового состояния сопрягаемых деталей. Особое внимание заслуживает головка поршня, которая в зависимости от месторасположения на ней поршневых колец, тепловой деформации и динамики движения влияет на масло-распределение по зеркалу цилиндра и тем самым на характер трения деталей сопряжения в целом.

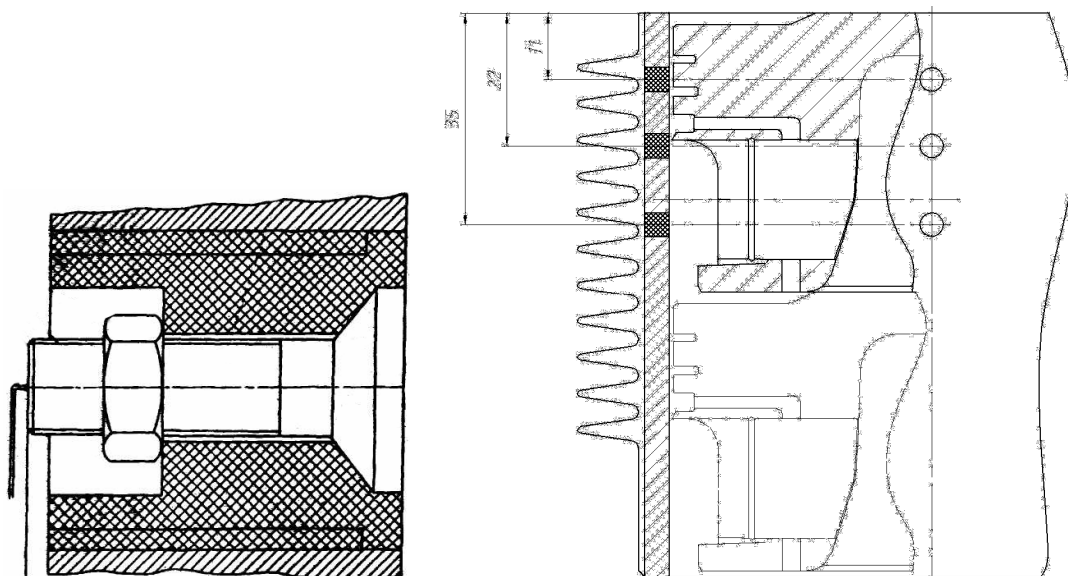


Рис. 1. Конструкция датчиков толщины масляного слоя и установка их в цилиндре двигателя

Поршни авиационного двигателя работают в условиях значительных температурных и динамических нагрузок, причем различные их зоны отличаются уровнем тепловой и динамической напряженности. В связи с этим для определения профиля поршня необходимо знать особенности работы каждого его элемента в условиях напряженно-деформированного и теплового состояния сопрягаемых деталей. Особое внимание заслуживает головка поршня, которая в зависимости от месторасположения на ней поршневых колец, тепловой деформации и динамики движения влияет на маслораспределение по зеркалу цилиндра и тем самым на характер трения деталей сопряжения в целом.

Следующим шагом необходимо на основании экспериментальных исследований выбрать диаметральный зазоры по головке и юбке поршня, задать оптимальным профилем и овалом. При диаметральном зазоре по головке поршня 0,4 мм сопряжение работает в режиме нарушения ТМС, с увеличением овальности с 0,075 до 0,1 мм режим жидкостного трения восстанавливается. При диаметральном зазоре 0,5 мм по головке поршня режим жидкостного трения обеспечивается даже с температурой масла до 110 °С и с уменьшением скорости охлаждающего потока воздуха.

За оценочный критерий при выборе профиля поршня были приняты диапазон и амплитуда колебаний ТМС за рабочий цикл. Это связано с тем, что как поршень, так и поршневые кольца чрезвычайно чувствительны к возмущающим скоростным и нагрузочным факторам. Поэтому чем больше диапазон колебаний, тем вероятность нарушения режима

жидкостного трения. Изменение колебаний ТМС отдельных зон поршня влияют на резонансную частоту системы сопряжения ЦПГ в целом и как следствие на режимы полужидкостного трения первого поршневого кольца.

Значительное влияние на амплитуду колебаний ТМС оказывают диаметральный зазоры в сопряжении. Так, на колебания головки поршня на масляном слое при крейсерском режиме достигают 45 мкм при диаметральном зазоре 0,6 мм. С уменьшением диаметрального зазора до 0,45 мм величина колебаний ТМС уменьшается до 25 мкм. Аналогичная картина наблюдается при изменении диаметральных зазоров по отдельным зонам юбки поршня. Для верхней зоны юбки поршня изменение диаметрального зазора с 0,15 до 0,12 мм уменьшается амплитуда колебаний в данной зоне от 50 до 20 мкм, в зоне наибольшего диаметра с изменением диаметрального зазора от 40 мкм до 20 мкм амплитуда уменьшается от 50 мкм до 20 мкм.

В процессе исследований было установлено, что минимальный диаметральный зазор в сопряжении поршень – цилиндр в холодном состоянии, при котором обеспечивается режим жидкостного трения и малые амплитуды колебаний ТМС, равен 15 мкм.

Исследование особенностей колебания ТМС в основных характерных зонах поршня в процессе движения его за рабочий цикл при минимальных диаметральных зазорах позволили выявить некоторые закономерности в динамике формирования масляного слоя на различных режимах работы двигателя.

Влияние нагрузки двигателя на изменение ТМС по отдельным зонам поршня показывает, что

головка поршня наиболее подвержена изменению нагрузки. Разница в значениях ТМС по отдельным тактам на режимах крейсерском и взлетном соответствует 10 – 15 мкм. Для верхней зоне юбки поршня это влияние ослаблено, а для средней и максимального диаметра почти незаметно. В зоне наибольшего диаметра поршня разница в значениях ТМС на режимах взлетном и крейсерском почти не наблюдается.

Предлагаемые технологии

Создание поршневой группы носит комплексный характер с учетом технологии изготовления компонентов.

Отличительной особенностью технологии стальных поршневых компрессионных колец для авиационного поршневого двигателя является:

- формирование формы кольца в свободном состоянии в процессе навивки и закалки спирали на копирной оправке, не требующей механической обработки по радиальной толщине кольца;

- методика микрохонингования (маслокарманы) на рабочей хромированной поверхности поршневого кольца, обеспечивающей сравнительно быструю приработку без задигов и прижогов;

- молебденирование, бочкообразный профиль рабочей поверхности кольца;

- радиальная толщина кольца формируется окончательно и не подвергается дальнейшей лезвийной или шлифовальной обработке. Точность радиальной толщины получается в пределах 0,02 мм.

При этом сохраняется текстура металла, полученная при волочении, что обеспечивает высокие пружинные свойства и крепостность (сопротивляемость на релаксацию – изменение геометрических параметров в заневоленном напряженном состоянии при температурах до 300°C до 5% при норме 8% (для самых дорогих сталей) по нормативам стандарта ISO);

- пружинная хромисто-ванадиевая сталь марки 50ХФА(SR-34 азотируются с большим содержанием никеля, хрома (17%) и ванадия, припуск по толщине металла в заготовке кольца составляет в пределах 0,15 мм, что в 5...6 раз меньше, чем чугуновых колец.

Применение стальных поршневых колец позволяет поднять верхнее поршневое кольцо к днищу поршня, благодаря более высокой теплопередаче по сравнению с чугуном, тем самым сократить вредные объемы, снизить высоту и вес поршня.

В сравнении с чугунными кольцами отход металла сокращается в 6 раз, парк обрабатывающего оборудования в 4 раза, трудоемкость изготовления в 2,5 раза.

Для разработки конструкции поршня выбирается технология получения заготовок поршня.

Сравнительные характеристики методов получения заготовки поршня приведены в табл. 1. На основании данных таблицы для нашего типа двигателей принимаем технологию изготовления заготовки поршня – изотермическую штамповку, имеющую более высокие прочностные и износостойкие характеристики.

Таблица 1

Сравнительные характеристики методов получения заготовки поршня

Характеристики поршня	Литье в кокиль	Изотермическая штамповка	Жидкая штамповка	Результат
Прочность, МПа	230 – 245	320 – 360	270 – 300	Повышение прочности, снижение размеров и веса
Твердость, НВ	95 – 110	120 – 135	115 – 125	Увеличивает износостойкость
Пористость, баллы	1 – 2	0	0	Стабильность размеров, снижение «роста»
Зазор в сопряжении «поршень – гильза»	100%	70%	60%	Уменьшение: вредных объемов, шума, выброса твердых частиц

Заключение

Расчетные и экспериментальные исследования позволили разработать современную конструкцию поршня, выбрать диаметральные зазоры 0,5 мм вме-

сто 0,65 мм по головке поршня в сопряжении. Применение изотермической штамповки позволило уменьшить вес поршня на 20 г. На основании экспериментальных исследований по измерению толщины масляного слоя удалось уменьшить на 8 мм вы-

соту поршня, диаметральный зазор по головке поршня сократить на 0,15 мм. В результате повысились эффективные параметры двигателя по экономичности на 3 – 5%, уменьшились вредные выбросы, повысилась надежность сопряжения ЦПГ.

Литература

1. *L-Graph II [Электронный ресурс]. – Режим доступа к описанию программы: <http://www.lcard.ru/download>.*

Поступила в редакцию 11.05.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.А. Пономарев, ФГУП «Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И.Баранова», Москва, Россия.

ЗАСТОСУВАННЯ НОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ І МАТЕРІАЛІВ ПРИ РОЗРОБЦІ СУЧАСНИХ АВІАЦІЙНИХ ПОРШНЕВИХ ДВИГУНІВ

Л.А. Фінкельберг, Ю.М. Нікітін, О.М. Костюченко

Приведено відомості і основні характеристики методики по вимірюванню товщини масляного шару в зазорах циліндропоршневої групи двигунів внутрішнього згорання. Описано методологію вибору оптимальних діаметральних зазорів, і формування овальною і бочкоподібною бічних поверхонь поршня, стосовно авіаційного поршневого двигуна внутрішнього згорання. Також описано технологію створення сучасної поршневої групи на основі поршня виготовленого методом ізотермічного штампування і сталевих поршневих кілець, крім того вказані переваги даних технологій перед іншими методами виготовлення деталей. Описані в статті технології і методики були випробувані при стендових випробуваннях двигуна-демонстратора.

Ключові слова: ізотермічне штампування, масляний шар, циліндропоршнева група, поршень, кільця.

APPLICATION OF NEW TECHNOLOGIES AND MATERIALS BY WORKING OUT OF MODERN AVIATION PISTON ENGINES

L.A. Finkelberg, J.N. Nikitin, A.N. Kostychenkov

Data and the basic characteristics of a technique on measurement of a thickness of an oil layer in backlashes piston group of internal combustion engines are resulted. The methodology of a choice of optimum diametrical backlashes, and formations oval lateral surfaces of the piston, with reference to an aviation piston internal combustion engine is described. Also the technology of creation of modern piston group on the basis of the piston made by a method of isothermal punching and steel piston rings is described, advantages of the given technologies before other methods of manufacturing of details besides are described. The technologies described in article and techniques have been tested at bench tests of the engine-demonstrator.

Key words: isothermal punching, oil layer, piston group, the piston, rings.

Фінкельберг Лев Аронович – канд. техн. наук, начальник сектора авиационных поршневых двигателей Центрального института авиационного моторостроения, Москва, Россия, e-mail: piston@ciam.ru.

Никитин Юрий Николаевич – канд. техн. наук, старший научный сотрудник сектора авиационных поршневых двигателей Центрального института авиационного моторостроения, Москва, Россия, e-mail: piston@ciam.ru.

Костюченко Александр Николаевич – научный сотрудник сектора авиационных поршневых двигателей Центрального института авиационного моторостроения, Москва, Россия, e-mail: piston@ciam.ru.