

М193505

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н. Э. Баумана

В. М. ФОМИН

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОНАПРЯЖЕННОСТИ КРЫШЕК
ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО
СГОРАНИЯ

(05.190—Тепловые двигатели)

Диссертация написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Работа выполнена в МВТУ им. Н. Э. Баумана.

Научные руководители:

заслуженный деятель науки и техники РСФСР,
доктор технических наук, профессор Орлин А. С.,
кандидат технических наук, доцент Чайнов Н. Д.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Доброгаев Р. П.,
кандидат технических наук Салтыков М. А.

Ведущее предприятие — Ярославский моторный завод.

Автореферат 1973 г.

Защита 1973 г.

на заседании машино-

строения Москва,

Лефортово

Отзыв по адре-

су: Москв ВТУ.

Учен

M193505

олов Е. С.

Из опыта эксплуатации известны многочисленные случаи поломок крышек (головок) цилиндров двигателей различного назначения (Д-50 ;СМД-14; Д37И; ЯМЗ-240; АМ-41; 37Д; ДН 23/30 и другие).

Установлено, что в образовании трещин на огневом днище крышки, являющихся главным дефектом в эксплуатации, основную роль играют термические напряжения. В связи с этим важную задачу представляет создание методов определения термических напряжений, возникающих в крышке при эксплуатации двигателя. Специфика нагружения и конструктивная сложность крышки цилиндра Д.В.С. затрудняют анализ действия тепловых нагрузок, точное аналитическое описание напряженного состояния огневого днища. Учитывая прикладной характер задачи, одним из возможных и рациональных подходов к ее решению является создание упрощенных расчетных моделей, позволяющих получить приближенные, но пригодные для инженерной практики решения. Подобный подход был успешно применен в отечественных и зарубежных работах применительно к головкам цилиндров различных двигателей. Особенностью указанного метода, сводящего определение термических напряжений в перемычках к расчету стержневых систем, вследствие ряда условностей и допущений, является возможность получения лишь усредненных (номинальных) значений этих напряжений на отдельных участках днища. При этом действительные напряжения, в том числе и максимальные в наиболее нагруженных зонах и местоположение этих зон, остаются неизвестными. В связи с этим сделана попытка определения закономерностей распределения термоупругих напряжений в наиболее опасных местах огневого днища крышки в зависимости от ее конструктивных особенностей и характера температурного поля, что позволило бы определять значения наиболее опасных для крышки напряжений и наметить пути, позволяющие повысить надежность работы детали. При этом предусматривается решение следующих задач:

1. Создание на базе существующих расчетных схем уточненного метода определения термических напряжений в огневом днище крышек цилиндров Д.В.С., позволяющего оценить уровень максимальных напряжений в опасных зонах, местоположение этих зон, а также величины коэффициентов местного увеличения (концентрации) напряжений.
2. Создание экспериментальных методов исследования местных напряжений в огневом днище с применением моделей.
3. Отработка методики тензометрических измерений в стенках камеры сгорания поршневого двигателя.
4. Накопление статистических данных по отдельным видам напряжений, имеющих место в крышках при работе двигателя.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1193505

Фомин В. М. Исследование т

Крышка цилиндра двигателя внутреннего сгорания, являясь сложной деталью, состоит из многих связанных между собой элементов. При этом высокий уровень термических напряжений характерен лишь для тех элементов, которые подвержены наибольшим перепадам температур и имеют ограниченную свободу перемещений. Здесь в первую очередь следует указать на центральную область огневого днища, наиболее часто подверженную разрушениям. Термоупругое напряженное состояние данной области может быть охарактеризовано некоторой функцией Φ , заданной суммой:

$$\Phi = F + Y \quad (I)$$

где F — функция, характеризующая напряженное состояние без учета влияния местных изменений геометрических форм конструкции;

Y — дополнительная функция, учитывающая перераспределение напряжений в элементах днища вследствие местных особенностей геометрии.

Подобный подход значительно упрощает решение задачи, которое сводится к отысканию соответствующих напряжений

$$\sigma(\Phi) = \sigma(F) + \sigma(Y) \quad (2)$$

Функция F , которую можно найти в первом приближении на основе рассмотрения схематизированной стержневой модели, задает напряженное состояние, характеризующееся средними напряжениями $\sigma(F)$ для каждого сечения элемента конструкции днища. Это напряженное состояние будем в дальнейшем называть основным или задающим.

Как показали проведенные исследования в перемычках днища крышек большинства двигателей с небольшим и средним диаметром цилиндра, наибольших значений достигают нормальные напряжения сжатия, связанные с неравномерностью температуры в плоскости днища. Эти напряжения в значительной степени определяют уровень основного напряженного состояния.

Учитывая сказанное, задачу по отысканию закона распределения местных напряжений $\sigma(Y)$ в отдельных элементах днища в первом приближении можно рассматривать как плоскую. При наличии значительного перепада температур по сечению изучаемого участка следует дополнительно рассматривать влияние изгибных напряжений.

Геометрические размеры и конфигурация перемычки обусловлены величинами диаметров смежных клапанных отверстий d_1 и d_2 , определяющих кривизну ее боковых контуров, и расстоянием наименьшего сближения контуров этих отверстий δ , определяющего минимальную ширину перемычки.

Анализ конструкции крышек двигателей различных размеров и назначений показывает, что различие диаметров d_1 и d_2 незначительно. Это позволяет без заметной погрешности, введя усредненный диаметр d^* , рассматривать задачу симметричной. Таким образом распределение термических напряжений в перемычке может быть получено с использованием упрощенной модели в виде полосы ограниченной ширины $B = b + d^*$ с двумя симметричными полукруглыми вырезами $d^*/2$ (b - минимальное сближение этих вырезов), находящейся в условиях одноосновного сжатия под действием давления P , соответствующее основному напряженному состоянию.

Распределение напряжений в такой модели зависит от относительного размера $\lambda = b/d^*$, характеризующего геометрию перемычки, $G/B = f(\lambda)$. Проведенные в работе эксперименты на тензометрических моделях показали, что напряженное состояние в районе минимального сечения теоретической модели достаточно точно описывается формулами Г.Нейбера, полученными для пластины с двухсторонними глубокими гиперболическими вырезами, при условии, что радиус кривизны гиперболического выреза в данном сечении равен $d^*/2$.

Установлено, что нормальные напряжения в центральных зонах ослабленного сечения ниже величины средних (номинальных) для данного сечения напряжений; при приближении к контурам вырезов эти напряжения увеличиваются, достигая на кройках своих максимальных значений, превосходящих средние напряжения.

Таким образом, наибольшую концентрацию термических напряжений для наименьшего сечения межклапанной перемычки крышки следует ожидать на кройках клапанных каналов. При этом уровень концентрации зависит от размеров d_1 , d_2 , b и растет при уменьшении диаметров клапанов и увеличении ширины перемычки.

Распределение напряжений в перемычке с центральным форсуночным отверстием. Наличие отверстия оказывает существенное влияние на распределение местных напряжений. Для исследования воспользуемся теоретической моделью, которая, согласно принятых ранее предположений, представляет полосу, ограниченной ширины B с двумя боковыми полукруглыми вырезами $d^*/2$ и центральным круговым отверстием d , находящуюся в условиях одноосновного сжатия с интенсивностью P . В виду отсутствия точного решения задачи о распределении напряжений в модели использовался приближенный метод наложения известных контурных функций.

На основании полученных данных можно сделать ряд общих выводов о закономерности распределения термических напряжений в межклапанной перемычке, ослабленной центральным форсуночным отверстием:

1. наибольшие напряжения имеют ^{место} на контурах клапанных и форсуночного отверстий ;

2. уровень максимальных напряжений в ослабленном сечении зависит от геометрических размеров перемычки : d_1, d_2, b, d ;

3. с уменьшением относительной кривизны боковых контуров перемычки b/d^* при соответствующем возрастании приведенной ширины d/b происходит перераспределение напряжений между кромочными точками клапанных и форсуночного отверстий ; при этом на контурах клапанных отверстий происходит снижение концентрации напряжений, а на контуре форсуночного отверстия - ее возрастание; иначе: по мере относительного увеличения диаметров клапанных каналов происходит разгрузка на контурах этих каналов и усиление концентрации напряжений около форсуночного отверстия. Если принять, что прочность перемычки определяется величиной максимальных напряжений, то соотношения между ее геометрическими параметрами b/d^* и d/b , при которых коэффициенты концентрации в кромочных точках клапанных и форсуночного отверстий равны, могут быть названы оптимальными. Для удобства определения коэффициентов концентрации по данным b/d^* и d/b были составлены номограмма и таблицы.

Распределение напряжений в перемычке со смещенным относительно центра форсуночным отверстием. Как известно, смещение центра форсуночного отверстия относительно оси цилиндра является одним из средств, позволяющих увеличить диаметры клапанных каналов при сохранении допустимых сечений центральных участков днища. Однако, данные о влиянии этого смещения на характер напряженного состояния днища до настоящего времени отсутствовали.

Модель для приближенной теоретической оценки влияния смещения форсуночного отверстия может быть представлена в виде упругой полосы конечной ширины b с двумя полукруглыми вырезами $d/2$ и отверстием d , смещенными от центра вдоль продольной оси на величину x_d , находящейся в условиях одноосновного сжатия. Исследования показывают, что методика исследования напряжений в перемычке с центральным отверстием остается пригодной для смещений x_d/d^* , не превышающих 0,2. При больших относительных смещениях характер напряженного состояния в центральной области перемычки существенно меняется, что заставляет искать принципиально другие пути решения. Так, например, в области отверстия можно условно выделить элементы по трем малым внутренним перемычкам, напряжения в которых при известном усилии P в межклапанной перемычке определяется по формулам, полученным для стержневых схем. После этого закон распределения напряжений по ослабленным сечениям выделенных элементов может быть най-

ден в соответствие с рассмотренным выше методом. Естественно, что при значительном отличие диаметров d'' и d' в исследование будет вноситься известная погрешность за счет очевидного отклонения задачи от принятой симметричной схемы решения.

Данные, полученные на основе теоретической модели, дают основания полагать, что смещение форсуночного отверстия по оси межклапанной перемычки более, чем на $x_d/d' = 0,2$, способствуют уменьшению средних термических напряжений по элементам центральной области дна. При меньших относительных смещениях заметного эффекта по снижению напряжений не наблюдается.

Распределение напряжений в днище четырехклапанной крышки с центральным форсуночным отверстием. В данном случае наиболее уязвимыми местами оказываются межклапанные перемычки и зоны дна около форсуночного отверстия. Закон распределения термических напряжений и величины коэффициентов концентрации напряжений в перемычках найдутся согласно рассмотренной ранее методики.

Для исследования характера напряженного состояния в зоне форсуночного отверстия можно воспользоваться упрощенной моделью в виде двухсвязной области, ограниченной контурами клапанных отверстий, линиями минимальных сечений перемычек, имеющих в центре круговое отверстие d и находящейся в условиях двухосного сжатия по продольным осям перемычек. Напряжения на контуре отверстия d для такой модели можно получить на основе принципа сложения действия сил для сжимающих напряжений, действующих во взаимоперпендикулярных перемычках. Установлено, что в зоне форсуночного отверстия имеет место неравномерное напряженное состояние, характер которого зависит не только от геометрических соотношений элементов конструкции дна, но и от вида исходного напряженного состояния. Так, например, при увеличении разности в величинах взаимоперпендикулярных усилий в этой зоне происходит заметное возрастание неравномерности в распределении местных напряжений и уровня их концентрации, при этом в некоторых контурных точках отверстия d могут обнаруживаться растягивающие напряжения. Наиболее благоприятное условие с точки зрения прочности достигается при условии равенства усилий в перемычках.

В основу экспериментального изучения термической напряженности дна были положены исследования на нагреваемых плитах-моделях, нагружаемых механически, тензометрических моделях из оргстекла и непосредственно на натурных деталях. Основным назначением исследования на плитах, геометрически подобных днищам реальных крышек, была экспериментальная проверка некоторых предпосылок и гипотез при создании расчетных схем и моделей и установление их применимости для инженер-

них расчетов.

Изменение уровня и характера температурного поля плит-моделей в необходимых пределах осуществлялось с помощью электронагревательных устройств и специальной системы охлаждения на безмоторном стенде.

Исследование натуральных деталей в модельных условиях позволило для такой сложной детали, как крышка существенно упростить задачу моделирования. Данные этих исследований позволили оценить характер напряженного состояния днища в связи с неравномерностью его температурного поля и конструктивными особенностями.

Для экспериментального исследования местных напряжений в наиболее опасных зонах днища впервые был использован метод тензоэлектрических моделей, изготовленных из материала с низким модулем продольной упругости (оргстекло). Методика исследований на моделях из оргстекла предусматривала соблюдение масштабов геометрического и силового подобия. В соответствии с рассмотренными теоретическими моделями экспериментальное изучение напряженных состояний осуществлялось на 5 сериях плоских тензоэлектрических моделей (всего 21 модель). Нагружение моделей производилось на специально изготовленном нагрузочном стенде.

Заключительным этапом явилось исследование термических напряжений в огневом днище крышки в условиях ее работы на двигателе. Эксперимент проводился на двигателе ИЧ 8,5/II в соответствии с методикой высокотемпературного тензоэлектрирования деталей д.в.с., разработанной в МВТУ. Несмотря на достаточную известность общих положений метода тензоэлектрирования при высоких температурах, применение его в специфических условиях работы деталей двигателя, соприкасающихся с горячими газами, потребовало дополнительного решения многих вопросов технического и методического характера. В эксперименте использовались никель-молибденовые проволоочные датчики с базой 5 мм, устанавливаемые с помощью жаростойкого кремне-органического цемента ВН-15Т на поверхность днища, обращенную к камере сгорания. Для защиты от воздействия горячих газов и агрессивной среды предусматривалась экранизация датчиков с помощью листовой стали IX18Н9Т толщиной 0,3 мм.

Условия эксперимента на безмоторном стенде позволили при отсутствии заметных перепадов температуры по толщине оценить уровни номинальных напряжений сжатия в элементах днища в связи с неравномерностью температурного поля в плоскости последнего и сопоставить результаты расчета с экспериментом. В качестве объектов модельного исследования были выбраны две различные конструкции крышек - мало-

размерная двухклапанная крышка двигателя I48,5/II, имеющая много общего с автотракторными крышками, и четырехклапанная крышка тепловозного дизеля типа Д49, а также две плоские модели днищ этих крышек. Экспериментальные данные по температурным полям плит-моделей и днищ крышек, при которых производилось тензометрирование, служили исходными данными при расчете номинальных напряжений в перемычках. Сравнение экспериментальных и расчетных напряжений при различных значениях перепада температур ΔT между центральными и периферийными зонами днища, показало на достаточно близкое их совпадение. Максимальное отличие не превышало 13 %, а в ряде случаев оно значительно меньше. Результаты модельных испытаний подтвердили теоретическое представление о влиянии плоского температурного поля на величину и характер основного напряженного состояния днища, а также правильность выбора схемы расчета этого напряженного состояния.

Для изучения влияния распределения температуры по ширине перемычек на характер термонапряженного состояния днища в плитах-моделях и днищах исследуемых крышек воссоздавалось несимметричное относительно осей перемычек плоское температурное поле. Результаты исследования подтвердили в первом приближении правильность выбора расчетной модели для определения изгибных напряжений в перемычках, действующих в плоскости днища. Наибольшее отклонение расчетных напряжений от замеренных составило 17 %.

Экспериментальная проверка влияния температурного перепада по толщине днища на его напряженное состояние проводилась на крышках при различных температурных градиентах по толщине и постоянной величине ΔT . Полученные экспериментальные данные при достаточно близком совпадении с расчетными подтвердили линейный характер зависимости изгибных напряжений в плоскости, перпендикулярной плоскости днища, от величины температурного перепада по толщине.

Таким образом, результаты всего комплекса исследований на безмоторной установке свидетельствуют о рациональном выборе схемы расчета различных компонентов основного напряженного состояния и правильной оценке влияния отдельных температурных перепадов на компоненты этого состояния.

Рассмотренные теоретические исследования предусматривали сведение задачи о распределении термоупругих напряжений в отдельных элементах днища, являющегося частью объемной конструкции, к плоской, без учета силового влияния других элементов этой конструкции (боковых стенок, стенок газозвудушных каналов, форсуночного стакана). Возможность такого подхода была показана экспериментально путем сравнения результатов тензометрических измерений днищ цельных кры-

шек и днищ, отделенных от основной конструкции с помощью механической обработки. При этом во всех сравниваемых случаях температура отдельных зон днища и величина соответствующих температурных перепадов поддерживалась постоянной. При переходе от цельной крышки цилиндра двигателя ГЧ 8,5/II к отдельному днищу термические напряжения в межклапанной перемычке уменьшаются в среднем на 19 %. Результаты тензометрирования на цельной крышке дизеля типа Д49 и на отдельном днище этой крышки при перепаде температуры $\Delta T = 50^\circ$ приведены в таблице I. Для сравнения здесь же приводятся данные испытания на плите-модели днища (коэффициент геометрического подобия $\alpha_r = 1$). Средние напряжения по перемычкам, приведенные в таблице, отнесены к соответствующим напряжениям для цельной крышки.

Таблица I

Площадь перемычек в см ²	Объект исследования		
	Цельная крышка	Отдельное днище	Модель-плита днища крышки
3,8	1,0	0,88	0,88
9,6	1,0	0,93	0,91
4,2	1,0	0,90	0,90
9,6	1,0	0,93	0,91

Из приведенных данных видно, что при отделении от конструкции крышки днища наблюдается некоторое уменьшение средних напряжений во всех характерных элементах днища, при этом большее снижение напряжений происходит в зонах наиболее тонких сечений. Данные эксперимента на двух крышках могут быть использованы для соответствующей коррекции результатов расчета термических напряжений в днищах этих крышек, полученных на основе метода стержневой аналогии.

Для выявления характера взаимодействия между отдельными элементами конструкции были проведены дополнительные исследования с крышкой цилиндра двигателя Д49, у которой верхняя часть была равномерно срезана, параллельно плоскости днища до высоты $H=50$ мм. У оставшейся части крышки в процессе эксперимента последовательно удалялись сначала центральные элементы (стенки патрубков и форсуночного стакана), затем периферийные (боковые стенки) до высоты собственно днища. Замеренные напряжения в перемычках, отнесенные к соответствующим напряжениям в цельной крышке, для режима $\Delta T = 50^\circ$ приведены в таблице 2.

Таблица 2

Площадь перемычек, см ²	Объект исследования		
	Нижняя часть крышки H=50 мм	Нижняя часть крышки без пат- рубков и фор- суночного стакана	Собственно днище
3,8	0,86	0,92	0,88
9,6	0,94	0,98	0,93
4,2	0,88	0,94	0,89
9,6	0,94	0,98	0,93

Как видно из таблицы 2 с удалением центральных элементов конструкции наблюдается некоторое увеличение напряжений по всем перемычкам.

При последующем отделении боковых стенок, то есть при переходе к собственно днищу, напряжения уменьшаются примерно до начальных величин. Последнее связано с уменьшением жесткости периферийной зоны. Таким образом, изменение напряженного состояния днища в целом оказалось не столь значительным, и полученные данные подтверждают возможность построения плоских теоретических и экспериментальных моделей (при соответствующей корректировке конечных результатов) для оценки уровня термических напряжений в днищах исследованных крышек. Учитывая общие особенности конструктивного оформления крышек с двумя и четырьмя клапанами, результаты данного исследования могут быть использованы в первом приближении и для других крышек подобных конструкций. Однако, более обобщающее и точное суждение по этому вопросу можно будет сделать при накоплении необходимого количества соответствующих экспериментальных данных.

Экспериментальное исследование на моделях из оргстекла в виде пластины с двумя боковыми полукруглыми вырезами подтвердили приемлемость решения Г.Нейбера для исследования распределения напряжений по наименьшему сечению перемычки. Сопоставление соответствующих расчетных и экспериментальных эпюр напряжений для четырех моделей ($\beta/d^* = 0,2; 0,5; 1,0; 1,5$) показало на удовлетворительную их сходимость. Максимальное расхождение расчетных значений коэффициентов концентрации напряжений в кромочных точках от эксперимента не превышало 5 %.

Проверка приближенного решения для перемычки с центральным отверстием производилась на трех тензоделах. Сопоставление расчетных и экспериментальных значений коэффициентов концентрации для наиболее опасных кромочных точек центрального отверстия $\alpha_s^{(\alpha)}$ и боковых вырезов $\alpha_s^{(\beta)}$ представлено в таблице 3.

Таблица 3.

Модель		α (d^*)		d/d^*	
d/d^*	d/d	расчет	эксперимент	расчет	эксперимент
2	0,23	1,57	1,62	1,52	1,44
I	0,31	1,11	1,18	1,66	1,46
0,5	0,46	0,75	0,87	1,73	1,51

Измерения на моделях со смещенным отверстием показали на удовлетворительное совпадение результатов эксперимента и расчета для центральных зон ослабленных сечений. Для контурных точек этих сечений, как и предполагалось, расхождение расчетных и экспериментальных величин α более значительное, достигающее в наиболее неблагоприятном случае 20 %.

Тензометрирование плоских моделей центральной зоны днища четырехклапанной крышки производилось для нескольких видов задающего напряженного состояния, воссоздаваемых на нагрузочном стенде путем комбинирования величинами взаимноперпендикулярных усилий. Результаты измерений подтвердили основные теоретические предположения о распределении напряжений в ослабленных сечениях переминок и в районе центрального отверстия под форсунку.

Исследование напряжений в условиях работающего двигателя производилось на экспериментальной крышке дизеля ИЧ 8,5/II, которая отличалась от серийной отсутствием вихревой камеры. Выбор такой крышки в качестве объекта исследования позволил дополнительно рассмотреть влияние форсуночного отверстия на термонапряженное состояние днища.

Экспериментом установлено возрастание температурного уровня огневого днища по мере увеличения нагрузки. Одновременно с этим отмечался рост неравномерности распределения температуры в плоскости днища. Перепад между средними температурами центральной и периферийной зон днища (ΔT) изменялся от 30° (холостой ход) до 75° (режим полной цикловой подачи топлива). Максимальный перепад температуры по ширине межклапанной переминок не превышал 110°, а по толщине днища находился в пределах 23°. Значительного изменения температуры в верхней плите и боковых стенках крышки обнаружено не было.

Результаты тензометрических измерений для различных установившихся режимов работы двигателя приведены в таблице 4.

Таблица 4.

Место расположения датчиков	Напряжения в кг/см ² при различных значениях среднего эффективного давления P/A_n			
	0,25	0,50	0,75	1,0
межклапанная перемычка	610	700	815	965
перемычка между форсуночным и клапанным отв.	650	770	890	980

При расчете напряжений модуль упругости чугуна принимался $I, I \cdot 10^6$ кг/см². Для оценки степени искажения температурного поля из-за установки тензодатчиков и экранов было проведено предварительное термометрирование крышки перед монтажом датчиков. Максимальная температура в центре дна ~~двигателя~~ ^{показалась ниже} крышки с датчиками в среднем на 55°; различия в температурах периферийных зон при этом практически не наблюдалось. В связи с этим температурный перепад для непрепарированной крышки был соответственно на 25-30 % выше. С учетом эффекта экранизации максимальные термические напряжения в двух, исследуемых зонах составят 1380 кг/см (межклапанная перемычка) и 1440 кг/см². Сопоставление расчетных напряжений с экспериментальными показало хорошую сходимость.

На переходных режимах работы двигателя происходит быстрое изменение температур и термических напряжений в первые 30-50 сек. В течение всего переходного периода максимальные напряжения не превышают значений на номинальном режиме работы двигателя.

Здесь следует однако, заметить, что в условиях эксплуатации частое изменение режимов работы двигателя способствует накоплению теплосмен и, следовательно, циклов изменения термических напряжений. В определенных условиях действие циклических напряжений может привести к усталостному разрушению, которое наступает в первую очередь в зонах концентрации, где имеют место наибольшие циклические деформации. Последнее еще раз подтверждает важность постановки вопроса об изучении местных напряжений и дальнейшего его углубления. Действительный механизм термоусталостного разрушения материала дна окончательно может быть установлен на основе изучения свойств материала в условиях повышенных температур при воздействии различных ассиметричных циклов нагружения, явлений ползучести и физико-хими-

ческого взаимодействия материала с газами. Эти вопросы должны стать предметом дальнейших исследований.

С целью сопоставления отдельных видов рабочих нагрузок, воздействующих на днище, проводились тензометрические исследования напряжений, вызываемых повышением давления газов в цилиндре в течении цикла, и монтажных напряжений. Напряжения в днище при максимальном давлении сгорания для данного двигателя оказались невелики и не превышали 120 кг/см^2 . Величины монтажных напряжений в днище от затяжки шпилек моментом 16 кгм находились в пределах 45 кг/см .

Выводы:

1. Проведенное теоретическое исследование термоупругого напряженного состояния огневого днища крышек цилиндров двигателей внутреннего сгорания дает возможность выявить местоположения зон локализации термических напряжений, оценить величины максимальных напряжений в этих зонах по известному температурному полю днища, проанализировать и наметить пути снижения уровня термической напряженности конструкции.

2. Эксперимент показал пригодность принятого метода высоко-температурного тензометрирования для исследования термонапряженности крышки цилиндра на работающем двигателе.

3. Разработанная методика исследования крышек и их моделей в безмоторных условиях позволяет сравнительно быстро и с меньшими затратами по сравнению с испытаниями на двигателе выявить влияние конструктивных параметров и характера распределения температуры на термонапряженное состояние огневого днища.

4. Предположенный метод тензометрических моделей из материала с низким модулем продольной упругости дает возможность оценить распределение термических напряжений и уровень их концентрации в элементах конструкции днища.

5. Результаты экспериментальных исследований на двигателе подтвердили теоретические выводы о высоком уровне термических напряжений в огневом днище малоразмерной крышки цилиндра, значительно превышающих другие виды напряжений.

Основные материалы диссертации опубликованы в статьях:

1. Чайнов Н.Д., Мосин В.С., Фомин В.М., Сазонов Ю.И.

Применение высокотемпературного тензометрирования при исследовании температурных напряжений в деталях двигателей внутреннего сгорания "Известия вузов. Машиностроение". 1971 г. № 6.

2. Фомин В.М. Оценка уровня механической и тепловой напряженности днищ крышек малоразмерных дизелей. Сборник "ДВС" НИИИФОРТИАМШ, 1972.

Найнов Н.Д., Фомин В.М. Исследование напряжений в днище крышки
цилиндра дизеля с помощью тензометрических моделей.
Сборник "ДВС". НИИИНФОРТЯКМАШ, 1972г.