М 320612

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

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

На правах рукописи

ОЗЕРОВ Михаил Алексеевич

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КРЫШЕК ЦИЛИНДРОВ МОЩНЫХ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

(специальность 05.04.02 – Тепловые двигатели)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва 1977

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

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

На правах рукописи

ОЗЕРОВ Михаил Алексеевич

НА ДО
НЕ ВЫДАЕ

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1320612
Озеров М.А. Экспериментальное

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КРЫШЕК ЦИЛИНДРОВ МОЩНЫХ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

(специальность 05.04.02 - Тепловые двигатели)

Р/1320612

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва 1977

КТБИ

Работа выполнена в Брянском институте транспортного машиностроения, экспериментальная часть - в указанном институте и на Брянском ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени машиностроительном заводе.

Научные руководители: Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор ОРЛИН А.С.; доктор технических наук, доцент ЧАЙНОВ Н.Д.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор ИСТОМИН П.А., кандидат технических наук САЛТЫКОВ М.А.

Ведущее предприятие: Дизельный завод "Двигатель революции", г.Горький

Защита состоится "6" марта 1978 г. на заседании специализированного Совета (шифр К33/5) "Тепловые машины и теоретические основы теплотехники" МВТУ им. Н.Э. Баумана по адресу: Москва, Лефортовская набережная, д.I, факультет "Энергомашиностроение".

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим высылать по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, МВТУ им. Н.Э.Баумана, Ученому секретарю специализированного Совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ им. Н.Э. Баумана.

Автореферат разослан "____" _____ 1977 г.

Ученый секретарь специализированного Совета к.т.н., доцент Э.А.ЛАНУШИН

ЗАК. 1787 Объем I п.л. тир.100 экз. Л 80674 Подп.к печ. 6/XII-77г.
Ротапринт МВТУ им. Н.Э. Баумана; Москва Б-5, 2я Бауманская, 5

МВТУ
им. Н. Э. Баумана
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ
БИБЛИОТЕКА

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Развитие конструкции мощных судовых дизелей идёт в направлении повышения цилиндровой и агрегатной мощности. Это осуществляется в основном за счёт повышения среднего эффективного давления (P_e), что приводит к росту механической и тепловой напряжённости деталей цилиндро- поршневой группы (ЦПГ). Одной из наиболее сложных и ответственных деталей ЦПГ является крышка (головка) цилиндра. К настоящему времени достигнуты успехи в области исследования напряжённо-деформированного состояния крышек цилиндров дизелей в основном малой и средней размерности. Крышки цилиндров мощных судовых дизелей имеют большие размеры, вес и стоимость. Это создаёт затруднения при проведении экспериментальных исследований на натурных образцах, особенно на стадии проектирования при выборе лучшего варианта конструкции. Поэтому применительно к крышкам цилиндров мощных судовых дизелей необходимы дальнейшие исследования, направленные в первую очередь на совершенствование экспериментальных методов исследований, а также конкретизацию существующих методов расчёта на прочность и долговечность. Особую важность эта проблема приобретает в связи с тем, что в нашей стране сравнительно недавно начато серийное изготовление мощных судовых дизелей и достаточного опыта в проектировании их не имеется.

Цель исследования. Настоящая диссертация посвящена разработке рациональных методик экспериментального исследования и расчёта на прочность крышек цилиндров мощных судовых дизелей с учётом особенностей их конструкции.

Методы исследования. Экспериментальные - исследование прочности крышек цилиндров мощных судовых дизелей на натурных образцах и на уменьшенных (масштабных) моделях; расчётные - определение температурных напряжений в огневом днище многоклапанных крышек цилиндров по предложенной методике.

Научная новизна. Разработана методика экспериментального исследования напряжённо-деформированного состояния и термопрочности крышек цилиндров мощных судовых дизелей в безмоторных условиях на натурных образцах и масштабных моделях и впервые в нашей стране проведены такие исследования. Выяснены возможности применения упрощённых масштабных моделей при создании новых конструкций крупногабаритных крышек цилиндров судовых дизелей.

Предложена приближённая методика расчёта температурных напряжений в огневом днище многоклапанных крышек цилиндров с применением ЭЦВМ и сравнительной оценки прочности различных вариантов конструкции.

Практическая ценность. Разработанные методики экспериментальных исследований и расчёта на прочность могут быть использованы на практике при создании новых конструкций многоклапанных крышек цилиндров мощных судовых дизелей и, в частности, на начальной стадии проектирования при выборе лучшего варианта конструкции, включая и материал. Полученные опытные и расчётные данные, а также рекомендации по совершенствованию крышек цилиндров судовых дизелей представляют практический интерес для конструкторов и исследователей по дизелям. Результаты работы использованы Брянским машиностроительным заводом при разработке конструкции крышки цилиндра судового дизеля.

Апробация работы. По материалам диссертации сделаны доклады на Всесоюзном научно-техническом семинаре по ДВС в МВТУ им. Н.Э.Баумана в 1971 и 1974гг. и на секции "Дизелестроение" НТО Брянского машиностроительного завода в 1975 и 1977 гг.

Публикации. Основное содержание диссертационной работы отражено в семи статьях.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диссертация состоит из введения, пяти глав и выводов. Она содержит 149 страниц основного текста, 42 страницы иллюстраций, список использованной литературы, включающий 125 наименований и приложения (программы расчёта).

Первая глава посвящена анализу конструкций, условий работы и состояния вопроса об оценке прочности крышек цилиндров судовых дизелей. Окончанием главы является постановка задачи.

Анализ имеющихся сведений о крышках цилиндров мощных судовых дизелей фирм: "Фиат", МАН, "Бурмейстер и Вайн", "Сторк", "Мицубиси", Завода Цегельского и Брянского машиностроительного завода показал разнообразие их конструкций, а также необходимость систематического поиска принципиально новых конструктивных решений. За последнее время, в связи с повышением форсировки дизелей, увеличилось количество случаев повреждений крышек цилиндров при эксплуатации по причине образования термоусталостных трещин в наиболее нагретой части огневого днища. Например,

в крышках цилиндров судовых дизелей фирмы "Бурмейстер и Вайн" при повышении P_z до II кГ/см^2, несмотря на частичное изменение конструкции, не удалось избежать образования трещин в огневых днищах. Это заставило фирму применить новую конструкцию крышки: кованую, монолитную с внутренней системой охлаждения в виде сверлёных отверстий, по которым циркулирует вода.

Достигнуты определённые успехи в разработке расчётных и экспериментальных методов исследования теплового и напряжённо-деформированного состояния крышек цилиндров. При этом большинство исследований проведено применительно к двигателям малой и средней размерности (автотракторным и тепловозным). Наибольший вклад в этой области внесли из советских учёных Костин А.К., Чайнов Н.Д., Овсянников М.К., Давыдов Г.А. и из зарубежных - Ирмлер Х., Диарден А., Хьюз Р.В., Элкок И.

Крышки цилиндров мощных судовых дизелей имеют существенные особенности, а именно: большие размеры, вес и стоимость (наружный диаметр достигает I,8м, вес 5т, стоимость свыше I0 тыс.руб). Отсюда возникают осложнения при проведении натурных экспериментальных исследований:

- натурные испытания таких крышек цилиндров весьма трудоемки, длительны и требуют специального оборудования;

- практически исключается возможность испытаний нескольких образцов одной конструкции для обобщения полученных данных и тем более сравнительных испытаний вариантов конструкции для выбора лучшего на стадии разработки, а также проведение испытаний в условиях лабораторий;

- вследствие высокой наработки на отказ (до 35000 часов) испытания на долговечность возможны только ускоренные).

В связи с этим весьма целесообразным является выяснение вопроса о возможности проведения прочностных исследований крышек цилиндров мощных судовых дизелей на масштабных моделях.

На основании изложенного в данной работе поставлены следующие задачи:

I. Разработка рациональной методики экспериментального исследования напряжённо-деформированного состояния крышек цилиндров мощных судовых дизелей с учётом особенностей их конструкции.

2. Проведение экспериментальных прочностных исследований крышки цилиндра мощного судового дизеля.

3. Конкретизация и уточнение имеющихся методик расчёта на прочность крышек цилиндров применительно к судовым дизелям.

4. Сравнительный анализ конструкций крышек цилиндров мощных судовых дизелей (по напряжённости и прочности) и рекомендации по их совершенствованию.

Вторая глава посвящена решению основных вопросов методики экспериментального исследования.

В настоящее время разработка новых конструкций крышек цилиндров мощных судовых дизелей осуществляется в основном по прототипам, а принятые конструктивные решения проверяются в ходе доводки.

Моделирование при исследовании прочности крупногабаритных крышек цилиндров в настоящее время ограничивается испытаниями натурных образцов на безмоторных установках или на работающем двигателе в стендовых условиях. Исследования на уменьшенных моделях не проводятся, что можно объяснить дополнительными трудностями в обеспечении подобия действительного (эксплуатационного) и моделируемого процессов, связанных с влиянием масштабного фактора. При исследовании механических напряжений не всегда возможно обеспечить геометрическое подобие (например, для сложных литых конструкций) и подобие граничных условий. При исследовании температурных напряжений полное теплофизическое подобие невыполнимо. При исследовании термопрочности положение ещё более осложняется; для этого случая теория подобия не разработана вследствие:

- невозможности выполнения теплофизического подобия;
- недостаточной изученности влияния масштабного фактора, отражающегося на свойствах материала, градиентах напряжений, характере разрушения;
- большого разброса результатов опытов.

Практическим путем выхода из указанных затруднений является применение приближённого и частичного моделирования.

При исследованиях механических напряжений (монтажных $\sigma_{мон}$ и от давления газов σ_{p_z}) можно использовать закон подобия $p/El^2 = Const$. При этом пересчёт результатов модельных испытаний на натурные условия производится по известным соотношениям:

$$\sigma_{мон\,н} = \sigma_{мон\,м}\frac{p_{zн}}{p_{zм}}; \qquad \sigma_{p_{zн}} = \sigma_{p_{zм}}\frac{p_{zн}}{p_{zм}},$$

где p_z – давление на днище крышки цилиндра;
индекс "н" относится к натурной конструкции, а индекс "м" – к модели.

При исследовании температурных напряжений представляется

возможным осуществить только приближённое моделирование, приняв граничные условия первого рода (квазистационарное распределение температур в огневом днище). При этом температурные напряжения в сходственных точках находятся в тех же соотношениях, как и температурные перепады. Принимается также используемое в инженерных расчётах допущение о том, что напряжения независимо от величины являются термоупругими. Пересчёт температурных напряжений на натурные производится по формуле

$$\sigma_{t_н} = \sigma_{\Delta t_{Rм}} \frac{\Delta t_{Rн}}{\Delta t_{Rм}} \pm \sigma_{\Delta t_{\delta м}} \frac{\Delta t_{\delta н}}{\Delta t_{\delta м}},$$

где: $\sigma_{t_н}$ – суммарные температурные напряжения в исследуемой точке огневого днища;

$\sigma_{\Delta t_{Rм}}$ – напряжения в модели, вызванные температурным перепадом Δt_R в радиальном направлении;

$\sigma_{\Delta t_{\delta м}}$ – то же, вызванные температурным перепадом Δt_δ по толщине днища.

При исследовании термопрочности масштабные модели возможно использовать только для проведения сравнительных испытаний вариантов конструкции. Полученные результаты могут служить для сравнительной оценки термопрочности самих моделей и затем приближённо – термопрочности вариантов конструкции крышки цилиндра.

Следующим вопросом исследования являлась отработка методики определения при испытаниях крышек цилиндров механических и температурных напряжений.

В качестве основного метода применено электротензометрирование, а для исследования картины распределения напряжений в отдельных зонах – поляризационно-оптический метод.

При исследовании температурных напряжений в натурной крышке цилиндра закономерно применение высокотемпературных тензодатчиков, например, типа НМП-430. На масштабных моделях, несмотря на ограниченные возможности по температуре, целесообразно применение обычных тензодатчиков вместо НМП-430, так как сравнительно большая база и наличие стальной подложки у последних затрудняет их применение из-за недостатка места для размещения и значительного осреднения показаний в зонах с большими градиентами напряжений.

В данной работе произведено уточнение методики расчёта тарировочной балки консольного типа, выявлена эффективность метода схемной термокомпенсации тензодатчиков, проведено сравнение работоспособности обычных (проволочных и фольговых) тензодатчиков при повышенной температуре и выяснены границы их возможного

применения. Установлено, что при испытаниях масштабных моделей при температуре до +160°С могут быть использованы малобазные фольговые тензодатчики типа 2ФПКА, и в качестве связующего - клей БФ-2.

В третьей главе изложены результаты экспериментальных прочностных исследований крышек цилиндров мощных судовых дизелей, проведенных в нашей стране впервые.

Основным объектом исследования являлась опытная стальная литая двухклапанная крышка цилиндра судового дизеля ДКРН 75/160, разработанная Брянским машиностроительным заводом (Рис.1). Основанием для выбора послужило наличие на заводе подробных опытных данных по этой крышке, а также участие автора диссертации в испытаниях опытного образца в период разработки конструкции.

Исследования проведены в безмоторных условиях на натурных образцах и масштабных моделях. Определялось напряжённо-деформированное состояние крышки цилиндра при действии механической и тепловой нагрузки (раздельно), а также её термопрочность. Опытные данные о напряжённо-деформированном состоянии натурного образца крышки цилиндра при тепловой нагрузке, а также о термопрочности заимствованы из работы, выполненной Козловым Ю.С. и использованы для анализа и сопоставления с результатами, полученными при испытаниях масштабной модели и при расчёте.

Испытания натурной крышки цилиндра при определении механических напряжений проведены на специальной установке. Монтажные нагрузки имитировались затяжкой крышечных шпилек и шпилек крепления корпусов выпускных клапанов, а давление рабочих газов - давлением масла на огневое днище (равным p_z = 65кГ/см^2). Наибольшие механические напряжения получены в периферийной зоне огневого днища (точка 22): $\sigma_{мон}$ = 140кГ/см^2, σ_{p_z} = 1560кГ/см^2. В опасной зоне (в перемычке - точки 25,26,27) напряжения значительно ниже: $\sigma_{мон}$ = 30÷390кГ/см^2, σ_{p_z} = 145 ÷ 625кГ/см^2.

Испытания крышки цилиндра на жёсткость проведены на той же установке с некоторым дооборудованием её. С помощью индикаторов замерялся прогиб (выпучивание) верхней части крышки относительно плоскости в зоне отверстий под крышечные шпильки. При давлении масла, равном p_z, этот прогиб составил 0,16 мм.

Таким же образом проведены испытания серийной одноклапанной крышки цилиндра дизеля ДКРН 74/160. У этой крышки механические напряжения ниже, а прогиб выше, а именно - 0,2 мм.

Испытания опытной крышки цилиндра на температурные

воздействия проведены на специальном стенде, обеспечивающем регулируемый нагрев огневого днища и циркуляцию воды по системе охлаждения крышки цилиндра. Режим испытаний: максимальная температура центральной зоны огневого днища t_{max}=290°С; Δt_R = 145°С; $\Delta t_в$ = 160°С. При испытании с помощью высокотемпературных тензодатчиков типа НМП-430 замерялись относительные деформации ε_t, а по ним подсчитывались термоупругие напряжения σ_t.

Испытания масштабной модели крышки цилиндра проведены также на специальных установках. Модель крышки выполнена в масштабе 1:3 сварной с упрощениями конструктивных элементов (Рис.2). Материал модели - углеродистая сталь марки 20. В целях возможности раздельного исследования нижней части крышки и крышки цилиндра в целом, сначала была изготовлена модель нижней части крышки (модель днища), а после проведения опытов к ней были приварены остальные детали и получена модель целой крышки.

Для определения температурных и механических напряжений использовались обычные константановые фольговые тензодатчики с базой 1 и 5мм (типа 2ФКПА). Располагались они розетками на обеих сторонах огневого днища (Рис.2). Температуры поверхности модели замерялись медь-константановыми термопарами. Нагрев моделей осуществлялся секционным электронагревателем, а охлаждение периферийной части модели - водой. Максимальная температура огневого днища составляла 140°С. Установлено, что на модели днища температурные напряжения примерно на 12% меньше, чем в модели целой крышки. Это можно объяснить большей податливостью модели днища по сравнению с моделью крышки. При исследовании механических напряжений давление масла составляло 30 кГ/см^2.

В таблице приведены величины напряжений для двух точек на огневом днище (см. Рис.2) по результатам испытаний натурного образца крышки цилиндра и масштабной модели.

№ исследуемых точек	Обозначение напряжений	напряжения σ кГ/см²								
		по результатам испытаний натурного образца			по результатам испытаний масштабной модели					
					опытные данные			пересчитанные на натурные условия		
		$\sigma_{мон}$	σ_{pz}	σ_t	$\sigma_{мон}$	σ_{pz}	σ_t	$\sigma_{мон}$	σ_{pz}	σ_t
1	σ_z	195	415	-1300	120	180	-660	260	390	-1120
	$\sigma_в$	100	-270	-5450	40	-310	-3175	85	-690	-4780
2	σ_z	-35	-315	-2960	-45	-115	-1660	-100	-250	-2760
	$\sigma_в$	-140	-95	-2720	-90	-70	-1480	-195	-150	-2460

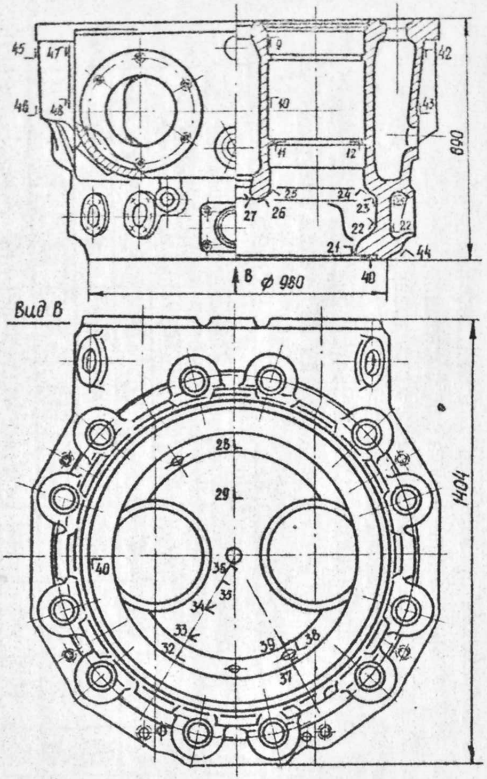


Рис. 1. Опытная крышка цилиндра

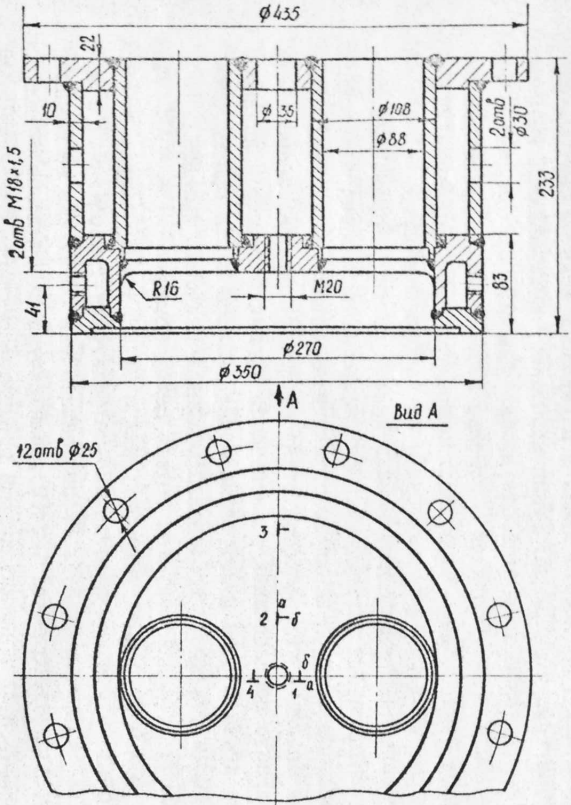


Рис. 2. Модель крышки цилиндра

Наибольшие напряжения имеют место в перемычках между клапанными и форсуночным отверстиями (точки I и 4). В этой зоне напряжения, полученные по результатам натурных и модельных испытаний, имеют заметные расхождения, например, по σ_t до 20%. Это можно объяснить приближённым подобием модели и некоторой условностью определения σ_t в области пластических деформаций. В точке 2, удалённой от зоны перемычки, эти расхождения меньше и составляют I4%.

Испытания опытной крышки цилиндра на термопрочность проведены при режиме: цикл нагрев-охлаждение 50 $\rightleftharpoons$ 440°С, продолжительность цикла $\tau_ц$ =I25 минут. Через I85 циклов теплосмен в перемычке огневого днища при полном остывании внезапно образовалась сквозная трещина. Отмечен также процесс непрерывного нарастания пластических деформаций центральной зоны огневого днища.

При испытании на термопрочность модели крышки цилиндра нагрев огневого днища осуществлялся газовым пламенем, а охлаждение периферийной части - водой. Режим испытаний, по сравнению с испытаниями натурной крышки, принят более интенсивный: цикл нагрев-охлаждение 40 $\rightleftharpoons$ 580°С, продолжительность цикла $\tau_ц$ =I2мин. После I20 циклов теплосмен появилась трещина в центральной зоне у кромки клапанного отверстия. При следующих циклах теплосмен эта трещина развивалась и появились новые, что вполне закономерно при малой величине $\tau_ц$. Отмечено непрерывное нарастание пластических деформаций в центральной зоне огневого днища. После I50 циклов теплосмен испытания были прекращены и из огневого днища изготовлены образцы для испытаний на ударную вязкость. Результаты испытаний:

- образцы из центральной зоны $a_н$ = 8,5 кГм/см^2;
- образцы из периферийной зоны $a_н$ = I4,2 кГм/см^2.

Снижение ударной вязкости материала центральной зоны огневого днища свидетельствует об охрупчивании материала, что характерно при термической усталости и подтверждает сказанное выше о причинах разрушения огневого днища крышки цилиндра.

Четвёртая глава посвящена конкретизации и уточнению методики расчёта на прочность крышек цилиндров судовых дизелей.

На современном этапе расчёты, кроме проверки правильности выбора размеров и материала, должны включать также и задачи оптимизации конструкций. При этом целесообразно иметь методики расчётов различных степеней сложности, но базирующиеся на одной физической основе. В процессе проектирования при выборе лучшего

варианта конструкции крышки цилиндра целесообразно производить сравнительные расчёты на прочность по приближённой методике.

В данной работе предложена такая методика расчёта для многоклапанных крышек цилиндров двигателей внутреннего сгорания. В отличие от приближённой методики Чайнова Н.Д., в данной методике периферийная часть днища представлена в виде замкнутого контура, построенного с использованием метода вписанных окружностей, предложенного Салтыковым М.А., что позволяет более полно учесть влияние этой части на напряжённо-деформированное состояние огневого днища; центральные стержни принимаются по сечению ступенчато-переменными; при раскрытии статической неопределимости учитываются нормальные силы, изгибающие момента и поперечные силы; определение напряжений в межклапанных перемычках огневого днища производится как в пластине, ослабленной круговыми вырезами, а в центральной зоне - с использованием метода неплоских сечений.

Необходимыми данными для расчёта являются: геометрическая форма и размеры крышки, температурное состояние огневого днища, физико-механические свойства материала крышки.

Схемы к расчёту 2-х клапанной крышки цилиндра приведены на Рис.3,4,5. Из геометрических соотношений определяются линейные размеры, а затем характеристики сечений стержней.

Эквивалентная площадь сечения стержня (Рис.4)

$$F_{12} = \frac{H_1}{2E_э\left[\frac{h_{1(1)}}{E_{1(1)}b_{1(1)}\delta_1} + \frac{1}{E_{2(1)}\delta_2}\left(\frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2-1}}\operatorname{arctg}\frac{\alpha+1}{\sqrt{\alpha^2-1}} - \frac{\pi}{4}\right)\right]}; \qquad \alpha = \frac{b_{2(1)}}{d}+1$$

здесь: $E_{1(1)}, E_{2(1)}, E_э$ - модули упругости материала стержня на участках $h_{1(1)}, h_{2(1)}$ и эквивалентный (можно принимать $E_э = E_{2(1)}$).

Эквивалентная площадь и момент инерции сечения стержня 5

$$F_{5э} = \frac{F_{5max} - F_{5min}}{\ln\frac{F_{5max}}{F_{5min}}}; \qquad J_{5э} = \sqrt{J_{5min}\cdot J_{5max}}$$

Стержень 3 принимается постоянным по сечению $F_3 = F_{5min}$, а стержень 4 - абсолютно жёстким.

Неизвестные усилия в стержнях определяются из уравнений

$$X_1\delta_{11} + X_2\delta_{12} - \Delta_{1t} = 0$$
$$X_1\delta_{21} + X_2\delta_{22} = 0$$

Коэффициенты δ_{ik} подсчитываются по способу Верещагина.

Свободный член уравнения:

$$\Delta_{it} = 2(\alpha_i t_i - \alpha_{3,5} \cdot t_{3,5}) l_i$$

здесь: α_i и t_i – расчётные коэффициенты линейного расширения и температуры соответствующих стержней.

Напряжения в перемычке огневого днища от температурного перепада $\sigma_{\Delta t_R}$ определяются с использованием метода неплоских сечений (Рис.5)

$$\sigma_{\Delta t_{RA}} = -\frac{X_1}{\delta_2\left(\ln\frac{R_1}{r_1} - \frac{R_2}{R_1}\ln\frac{r_1}{R_2}\right)r_1}; \quad \sigma_{\Delta t_{RB}} = -\frac{X_1}{\delta_2\left(\ln\frac{R_1}{r_1} - \frac{R_2}{R_1}\ln\frac{r_2}{R_2}\right)R_1}; \quad \sigma_{\Delta t_{RC}} = -\frac{X_1}{\delta_2\left(\ln\frac{R_1}{r_1} - \frac{R_2}{R_1}\ln\frac{r_2}{R_2}\right)r_2}\frac{R_2}{R_1}$$

Напряжения от температурного перепада Δt_δ

$$\sigma_{\Delta t_\delta} = \pm \frac{\alpha_t \cdot E_t \cdot \Delta t_\delta}{2(1-\mu_t)} \cdot K_\varphi$$

где α_t; E_t; μ_t – физические характеристики материала крышки цилиндра при расчётной температуре;

K_φ – коэффициент, учитывающий степень защемления краёв плиты (на основании полученных опытных данных $K_\varphi = 0{,}I + 0{,}2$).

Суммарные и приведенные напряжения:

в точке A $\sigma_{t\theta\Sigma A} = \sigma_{\Delta t_{RA}}$; в точке B $\sigma_{t\theta\Sigma B} = \sigma_{\Delta t_{RB}}$;

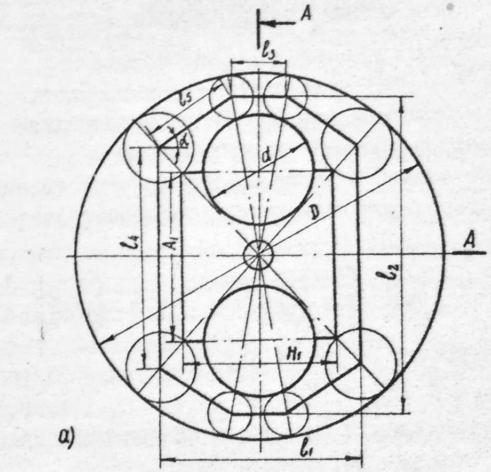
в точке C $\sigma_{tz\Sigma C} = \sigma_{\Delta t_\delta} - \sigma_{zc}$; $\sigma_{t\theta\Sigma C} = \sigma_{\Delta t_{RC}} + \sigma_{\Delta t_\delta} = \sigma_{3c}$; $\sigma_{t_{np}c} = \sqrt{\sigma_{zc}^2 + \sigma_{3c}^2 - \sigma_{zc}\cdot\sigma_{3c}}$

Наиболее опасной является точка A, что согласуется с опытными данными (отсюда начинается развитие трещины). В этой точке условные температурные напряжения составляют: расчётные – 5920 кГ/см^2, а опытные – 5430 кГ/см^2 (расхождение 9%).

Предложенная в работе методика расчёта пригодна для ручного счёта, но наиболее эффективна при применении ЭЦВМ. С этой целью составлены программы расчётов для 2-х, 3-х и 4-х клапанных крышек цилиндров. Расчёты по этой методике позволяют произвести сравнительную оценку прочности вариантов создаваемой конструкции, отличающихся размерами конструктивных элементов и температурным состоянием огневого днища.

В пятой главе изложены предложения по совершенствованию конструкций крышек цилиндров судовых дизелей.

Для обеспечения необходимой прочности создаваемых конструкций крышек цилиндров судовых дизелей весьма важным является выбор материала и варианта конструкции на стадии проектирования. При этом необходимо использование в сочетании расчётных и



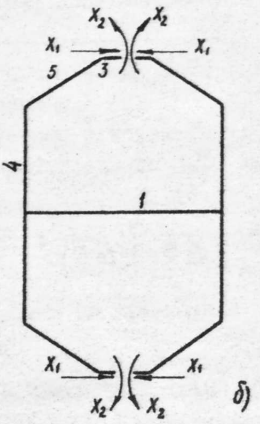
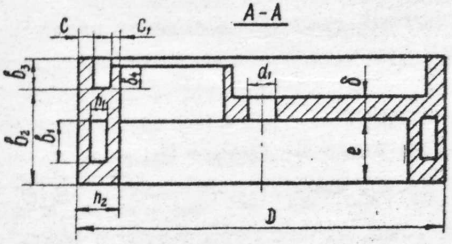


Рис. 3.

Исходные размеры и схемы к расчету 2^xклапанной крышки цилиндра

а) построение стержневой системы

б) расчетная схема стержневой системы



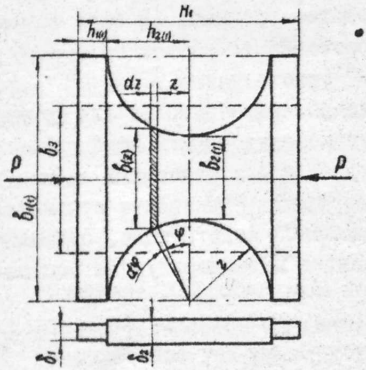


Рис. 4.

Схема к расчету эквивалентной площади сечения стержня 1

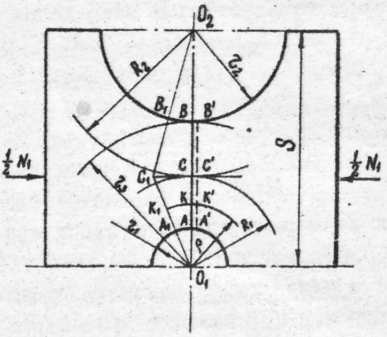


Рис. 5.

Схема к расчету напряжений в центральной зоне огневого днища

экспериментальных методов.

Выбор материала для крышек цилиндров по приводимым в справочниках физико-механическим характеристикам является недостаточно обоснованным. Необходимы опытные данные о термопрочности не только самого материала (по результатам испытаний трубчатых образцов), но и данные об особенностях поведения его в конструкции. Одним из практических путей получения этих данных является проведение сравнительных испытаний на термопрочность масштабных моделей крышки цилиндра, выполненных из разных материалов.

Для выяснения эффективности некоторых конструктивных решений были проведены сравнительные испытания четырёх вариантов конструкции нижней части 2-х клапанной крышки цилиндра на стальных уменьшенных моделях (М I:4): I - исходная конструкция; 2 - с терморазгрузочными канавками на огневой поверхности днища; 3 - с уменьшенной толщиной днища и двумя форсуночными отверстиями; 4 - с кольцевым пазом на периферии огневого днища. При испытаниях определялись температурные напряжения в центральной зоне огневого днища. Наиболее эффективным оказался 4-й вариант.

По программе на ЭЦВМ был произведен сравнительный расчёт 9 вариантов конструкции 4-х клапанной крышки цилиндра мощного среднеоборотного судового дизеля, создаваемого на Брянском машиностроительном заводе. Установлено, что эффективным является выполнение огневого днища с толщиной, убывающей к периферии.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

I. Крышки цилиндров современных судовых дизелей характеризуются повышенной напряжённостью, вызванной главным образом температурными воздействиями, что является основной причиной образования термоусталостных трещин на огневых днищах.

2. Испытания натурных образцов крупногабаритных крышек цилиндров судовых дизелей в безмоторных условиях позволяют получить надёжные результаты, но требуют больших затрат средств и времени и практически не применимы на стадии проектирования.

3. Предложена методика экспериментального исследования прочности крупногабаритных крышек цилиндров судовых дизелей на упрощённых масштабных моделях, которая позволяет на стадии проектирования более обоснованно выбрать лучший вариант конструкции

или конструктивного решения с учётом примененного материала.

4. Разработана приближённая методика расчёта на прочность многоклапанных крышек цилиндров дизелей с применением ЭЦВМ, которая по сравнению с имеющейся приближённой методикой позволяет более полно учесть влияние конструктивных элементов на напряжённо-деформированное состояние огневого днища.

5. Проведённые прочностные экспериментальные исследования и расчёты крышек цилиндров судовых дизелей подтвердили практическую пригодность предложенных методик. Результаты расчёта использованы заводом при проектировании 4-х клапанной крышки цилиндра мощного среднеоборотного судового дизеля.

6. Результаты и рекомендации данной работы могут быть использованы при исследованиях и разработке конструкций теплонапряжённых деталей ЦПГ судовых и других типов дизелей.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

I. Озеров М.А., Ляшков В.М. Некоторые пути повышения прочности крышек цилиндров дизелей от температурных воздействий. - "Энергомашиностроение", I967, № 2.

2. Озеров М.А. Экспериментальное исследование напряжений в крышке цилиндра судового дизеля в безмоторных условиях. (Тезисы доклада).- "Материалы 33-й научно-технической конференции Брянского института транспортного машиностроения", Брянск, I972.

3. Озеров М.А. Определение характеристик тарировочной балки консольного типа. -"Научно-технический сборник", № 2, Брянск, I972.

4. Чайнов Н.Д., Озеров М.А., Фомин В.М. К оценке уровня напряжений, возникающих в днище крышек цилиндров двигателей внутреннего сгорания от механической нагрузки. - "Известия ВУЗов. Машиностроение", I973, № 3.

5. Озеров М.А., Кащеева Н.А., Яценко В.П. Сравнение работоспособности различных типов невысокотемпературных тензодатчиков при повышенной температуре. - РЖ 32 "Метрология и измерительная техника", I975, № 9, реф.9.32.5I8 Деп.

6. Озеров М.А. Применение упрощённых масштабных моделей при исследовании прочности крышек цилиндров мощных судовых дизелей. - РЖ 39 "Двигатели внутреннего сгорания", I976, № 9.

7. Озеров М.А. Приближённая методика расчёта температурных напряжений в многоклапанных крышках цилиндров двигателей внутреннего сгорания с применением ЭЦВМ. - РЖ 39 "Двигатели внутреннего сгорания", I977, №8.реф. 8.39.46 Деп.