

М 417485

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

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

НА АСН
НЕ ВЫДАЕТСЯ

На правах рукописи

БЕЛОВ Владимир Владимирович

УДК 621.43-762

ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ГАЗОВОГО СТЯКА
ДИЗЕЛЕЙ С ВОЗДУШНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

(05.04.02 - тепловые двигатели)

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

Москва 1984

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана.

- Научный руководитель - доктор технических наук, профессор Н.Д.Чайнов.
- Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор Р.П.Доброгаев,
- кандидат технических наук Е.В.Исаев.
- Ведущее предприятие - Научно-исследовательский конструкторско-технологический институт тракторных и комбайновых двигателей.

Защита диссертации состоится "___" _____ 1984 г.
в _____ часов на заседании специализированного совета
К.053.15.05 "Тепловые машины и теоретические основы тепло-
техники" МВТУ им. Н.Э.Баумана по адресу:

107005, Мос

пус

"Энергом

С д
имени Н.

ке МВТУ

Авт

4 г.

Уч
со

С.И.Ефимов

M417485

МВТУ им. Н.Э.Баумана



417485

Пов. В.В.Повышение работ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Основные направления экономического и социального развития СССР на 1981-1985 гг. и на период до 1990 года, утвержденные XXVI съездом КПСС, предусматривают дальнейшее увеличение производства и расширение области применения дизелей. Особое внимание уделено повышению надежности, технического уровня и качества, снижению трудоемкости производства, сокращению сроков внедрения новой техники.

К числу важнейших элементов дизеля, определяющих его надежность и технико-экономические показатели, относятся уплотнения и в первую очередь уплотнение соединения "головка-цилиндр" (газовый стык).

При создании новых конструкций и форсировании серийно выпускаемых дизелей требования, предъявляемые к уплотнению газового стыка, возрастают. В значительной степени это относится к дизелям с воздушным охлаждением. Большое число отказов из-за снижения герметичности соединения "головка-цилиндр" свидетельствует о том, что проблема уплотнения газового стыка далеко не решена. Это объясняется сложностью условий, в которых работает уплотнение, а недостаточность теоретических исследований и в ряде случаев противоречивость имеющихся экспериментальных данных затрудняет разработку и доводку конструкции соединения и уплотнения газового стыка.

Актуальной научной задачей, имеющей практическое значение, является отыскание путей повышения работоспособности уплотнения газового стыка дизеля с воздушным охлаждением.

Цель работы и постановка задач исследования. Целью данной работы является определение путей и средств повышения работоспособности уплотнения газового стыка, обеспечивающих необходимый уровень герметичности на весь период эксплуатации дизеля. Поставленная цель достигается решением следующих основных задач:

1. Исследование механизма герметизации и уточнение методики расчета металл-металлических уплотнений.
2. Выявление причин снижения герметичности газового стыка.
3. Обоснование, выбор и расчетно-экспериментальное исследование основных факторов, влияющих на работоспособность газового стыка дизеля с воздушным охлаждением.
4. Разработка конструктивных и технологических мероприятий, направленных на повышение работоспособности газового стыка дизеля с воздушным охлаждением.

Научная новизна. Разработана уточненная методика расчета герметичности металл-металлических уплотнений. Обоснованы и предложены показатели оценки технического состояния газового стыка дизеля. Установлено, что основными факторами, влияющими на работоспособность газового стыка дизеля с воздушным охлаждением, являются: амплитуда переменных напряжений цикла на стыке σ_a , среднее напряжение цикла на стыке σ_m , тепловое состояние уплотнительных поверхностей, характеризуемое максимальной температурой T_{max} и неравномерностью температур по периметру стыка ΔT . Исследовано совместное влияние основных факторов на работоспособность уплотнения и получена математическая модель работы газового стыка.

Практическая ценность. Сформулированы требования к степени герметичности уплотнения газового стыка дизеля с воздушным охлаждением и установлены допустимые величины утечек. Определены пути повышения герметичности газового стыка, основным из которых является повышение чистоты обработки уплотнительных поверхностей. Выявлены основные факторы и установлена степень их влияния на работоспособность газового стыка. Разработанная математическая модель уплотнения газового стыка дает возможность определять пути повышения его работоспособности, прогнозировать долговечность существующих и разрабатываемых конструкций уплотнений, сократить время доводки двигателя. Даны конкретные рекомендации, позволяющие значительно увеличить срок службы газового стыка. Разработаны конструктивные и технологические предложения, направленные на повышение работоспособности газового стыка дизеля с воздушным охлаждением.

Результаты исследований приняты к внедрению на Владимирском и Челябинском тракторных заводах и могут быть использованы в других организациях и предприятиях, занимающихся разработкой и доводкой двигателей с воздушным охлаждением.

Годовой экономический эффект от внедрения разработанных мероприятий составляет 167000 рублей.

Апробация работы. Результаты работы докладывались в МВТУ им. Н.Э. Баумана: на семинарах молодых ученых и специалистов кафедры КДВС в 1980 - 1982 годах, на заседаниях кафедры КДВС в 1980 - 1982 годах, на Владимирском тракторном заводе в 1981 - 1983 годах, на внутривузовских конференциях во Владимирском политехническом институте в 1982 - 1983 годах, в НИИТИДе.

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в шести печатных работах.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов и библиографии. Она содержит 138 страниц основного текста, 86 рисунков и 8 таблиц. Библиография включает 179 литературных источников.

Первая глава посвящена обзору исследований отечественных и зарубежных авторов, направленных на повышение работоспособности газового стыка ДВС. Рассмотрены пути и выявлены тенденции развития конструкций уплотнений газового стыка и силовых схем соединения "головка-цилиндр". Предложена их классификация. Установлено, что с ростом уровня форсирования осуществляется переход на металл-металлические уплотнения, а исследуемые дизели с воздушным охлаждением имеют только металл-металлические уплотнения газового стыка.

Анализ конструкций и условий работы стыка показал, что последний работает при переменных тепловых и механических нагрузках, наибольшие значения которых зафиксированы у дизелей с воздушным охлаждением. Имеет место значительная неравномерность температур по периметру стыка, достигающая 100°C и более.

При изменении режимов работы двигателя наблюдаются относительные перемещения уплотнительных поверхностей, измеряемые десятками мкм, что может являться причиной возникновения фреттинг-коррозии, а разнородность материалов контактирующих поверхностей, высокая температура и наличие агрессивных компонентов способствует развитию контактной коррозии.

Выполнен обзор существующих методов расчета герметичности уплотнений, показавший, что большинство используемых в практике методов основано на результатах экспериментальных исследований отдельных конструкций и материалов, в которых под герметичностью понимается полное отсутствие утечек, а расчет сводится в основном к отысканию силы предварительной затяжки. В этом случае остается нераскрытым механизм герметизации, а для металл-металлических уплотнений, образованных шероховатыми поверхностями, полная герметичность практически недостижима даже при высоких сжимающих давлениях. Показано, что в последние годы получают распространение аналитические методы расчета герметичности уплотнений, базирующиеся на решении уравнений гидродинамики и теории контактирования шероховатых поверхностей, предлагаются различные модели механизма герметизации и дается физическая трактовка работы уплотнения.

Находясь в стадии развития, аналитические методы расчета гер-

метичности имеют недостаточную сходимость теоретических и экспериментальных результатов и нуждаются в уточнении.

На основании рассмотренных работ сделан вывод о том, что основными причинами снижения герметичности газового стыка являются: пластическая деформация уплотнительных поверхностей, их коррозионно-механический износ и снижение усилия предварительной затяжки соединения. Выбрана исследуемая конструкция соединения "головка-цилиндр" и тип уплотнения газового стыка, сформулированы основные задачи исследования и намечены пути их решения.

Во второй главе обоснованы и приняты показатели оценки технического состояния газового стыка дизеля с воздушным охлаждением. Такими показателями являлись: величина утечки уплотняемой среды Q , величина относительной неплоскостности уплотняющих поверхностей Δh , коэффициент стабильности усилия затяжки $K_{ст}$, равный произведению двух коэффициентов, один из которых K_c учитывает общее снижение усилия затяжки (по сравнению с первоначальной), а другой K_p - равномерность этого снижения

$$K_{ст} = K_c K_p = \left(\frac{\sum P}{\sum P^0} \right) \left(1 - \frac{P_{\max} - P_{\min}}{P_{\text{ср}}} \right),$$

где $\sum P$, $\sum P^0$ - соответственно суммы текущих и первоначальных усилий затяжки шпилек; $P_{\max}$, $P_{\min}$, $P_{\text{ср}}$ - соответственно максимальные, минимальные и средние значения текущих усилий затяжки.

Для расчета и нормирования герметичности газового стыка экспериментально определено влияние утечки газа на основные показатели дизеля, его пусковые качества, тепловое состояние головки и цилиндра. Установлено, что наибольшее влияние утечка газа оказывает на тепловое состояние уплотнительных поверхностей головки и цилиндра, чем и определяется ее допустимое значение, которое для исследуемого дизеля принято равным 10^{-2} см³/цикл.

Разработана уточненная методика расчета герметичности металл-металлических уплотнений. Выбрана расчетная модель уплотнения, в соответствии с которой стык рассматривается как контакт двух шероховатых поверхностей. При их сближении остающееся межконтактное пространство образует сложную и разветвленную систему каналов и отдельных пор, вся совокупность которых рассматривается как пористое тело, а течение газа в нем - как фильтрация. При малых значениях критерия Re течение газа в подобной системе описывается законом Дарси, согласно которому при плоскорадиальном течении газа через кольцевой стык его объемный расход определяется

$$Q = \frac{2\pi kh(P_2^2 - P_1^2)}{\mu P_1 \ln(z_2/z_1)}, \quad (1)$$

где K - коэффициент проницаемости, h - высота пористого слоя, P_2 и P_1 - давления уплотняемой и окружающей среды, μ - коэффициент динамической вязкости газа, z_2 и z_1 - наружный и внутренний радиусы уплотнения.

Высота пористого слоя, образованного двумя шероховатыми поверхностями, имеющими волнистость и макроотклонения, находится из выражения

$$h = H - \alpha = (R_{max_1} + R_{max_2}) + (H_{B_1} + H_{B_2}) + (W_{Z_1} + W_{Z_2}) - (a_{yn_1} + a_{yn_2}) + (a_{nn_1} + a_{nn_2}), \quad (2)$$

где h - высота пористого слоя в контакте без нагрузки, a_{yn} и a_{nn} - упругая и пластическая составляющие сближения уплотняющих поверхностей, R_{max_1} , R_{max_2} , H_{B_1} , H_{B_2} , W_{Z_1} , W_{Z_2} - соответственно наибольшая высота микронеровностей, волн и макроотклонений поверхностей. Сближение рассчитывается по зависимостям, полученным Э.В. Рыжовым и А.Г. Сусловым.

Для пластической и упругой составляющих сближения получено

$$a_{nn} = \pi \left(\frac{2\pi P_{ynn} R_\alpha H_B W_Z}{A K'_T \sigma_T} \right)^{1/3}; \quad (3)$$

$$a_{yn} = 2\pi \frac{1 - \mu_n^2}{E} K'_T \sigma_T S_m \frac{a_{nn}}{R_\alpha}, \quad (4)$$

где P_{ynn} - нагрузка на стык, R_α - среднее арифметическое отклонение профиля, A - геометрическая площадь стыка, σ_T - предел текучести материала уплотнения, S_m - средний шаг микронеровностей, K'_T - коэффициент, зависящий от формы микронеровностей.

Проницаемость стыка определяется по известной формуле Козени-Кармана

$$K = c\pi^3 / T S^2, \quad (5)$$

где c - коэффициент, зависящий от формы каналов, π - объемная пористость, S - удельная внутренняя поверхность пористого слоя, T - извилистость каналов.

Удельная внутренняя поверхность и общая объемная пористость находятся из выражений

$$S = F_n / V_m ; \quad \Pi = 1 - (V_m / V_{cr}) ,$$

где V_m - объем металла в пористом слое, V_{cr} - объем всего пористого слоя, $V_{cr} = A \cdot h$, F_n - внутренняя поверхность стыка.

При расчете V_m и F_n требуется получить объемную характеристику микрорельефа контактирующих поверхностей. Для этого необходимо задаться формой микронеровностей и законом распределения их высот. Анализ профилограмм, снятых с уплотнительных поверхностей, обработанных алмазной расточкой и притиранием, показывает, что в большинстве случаев микронеровности представляют собой конусы с различными размерами оснований и высотой от 0 до R_{max} с равными углами γ при вершинах, а распределение их высот подчиняется закону

$$\Phi(z) = \alpha_1 H^2 e^{-\frac{H^2}{\alpha_2^2}} . \quad (6)$$

Значения параметров α_1 и α_2 определяются выражениями

$$\alpha_1 = 4 / \sqrt{\pi} \alpha_2^3 ; \quad \alpha_2 = 1,99 k_n H_{cp} ,$$

где k_n - коэффициент заполнения профиля, H_{cp} - средняя высота микронеровностей.

Имея закон распределения высот микронеровностей и задавшись их формой, находим число выступов на поверхности:

$$N = A / F_{cp} ,$$

где F_{cp} - средняя площадь основания выступа, определяемая выражением

$$F_{cp} = \frac{1}{2} \pi \alpha_1 t g^2 \gamma \alpha_2^5 \frac{3}{4} \sqrt{\pi} .$$

Боковая поверхность выступов

$$F_{бок} = \frac{3}{2} \pi \alpha_2^2 t g \gamma \sqrt{t g^2 \gamma + 1} .$$

Число конусов на исследуемой поверхности

$$N = 2A / 3 \pi \alpha_2^2 t g^2 \gamma .$$

Общая внутренняя площадь одной контактирующей поверхности

$$F = A \sqrt{1 + (1/tg^2 \gamma)}$$

Объем выступов, находящихся между базовыми поверхностями для всего стыка

$$V_m = \frac{2\pi\alpha_1 N tg^2 \gamma}{3} \int_0^{\infty} H^5 e^{-\frac{H^2}{\alpha_1^2}} dH = A K_n H_{cp}$$

Общая объемная пористость слоя определяется из выражения

$$\Pi = 1 - (Z/h) = 1 - (K_n H_{cp}/h), \quad (7)$$

где Z - расстояние от плоскости, касательной к трем нижним точкам наиболее глубоких впадин неровностей, до средней линии профиля.

Учитывая, что фактическая площадь контакта металл-металлических поверхностей не превышает нескольких процентов от номинальной, внутренняя поверхность стыка равна

$$F_n = F_1 + F_2,$$

где F_1 и F_2 - общая внутренняя площадь первой и второй контактирующих поверхностей.

При одинаковом качестве обработки уплотняющих поверхностей удельная внутренняя поверхность пористого слоя находится по формуле

$$S = 2 \sqrt{1 + (1/tg^2 \gamma)} / K_n H_{cp}. \quad (8)$$

В реальном контакте двух шероховатых поверхностей в силу случайного распределения микронеровностей и их высот возможно перекрытие некоторых сквозных каналов и блокирование отдельных зон, что уменьшает проницаемость стыка, а следовательно, и утечку. Таким образом, в расчет должна входить только активная пористость Π_a , учитывающая каналы и поры, через которые возможно течение газа в радиальном направлении. Кроме того, в зависимость (5) входит параметр T , учитывающий извилистость каналов.

Определение Π_a и T аналитически не представляется возможным, и в настоящей работе они находятся экспериментально.

Количественная связь между общей Π и активной пористостью Π_a устанавливается через коэффициент

$$K_a = 1 - (A_T/A_a), \quad (9)$$

где A_T - площадь блокированных зон и глухих каналов, A_a - площадь сквозных каналов.

С учетом (7), (8), (9) формула для определения коэффициента проницаемости стыка будет иметь вид

$$K = C \left\{ K_a [1 - (K_n H_{cp}/h)] \right\}^3 / \left\{ T [2\sqrt{1 + (1/tg^2 \delta)}/K_n H_{cp}]^2 \right\}. \quad (10)$$

В следующем разделе второй главы на основании выводов о причинах снижения герметичности уплотнений выполнен краткий обзор и анализ основных факторов, влияющих на работоспособность газового стыка. Рассмотренные факторы разделены на три группы: механические, тепловые и коррозионно-механические. К механическим отнесены величина и характер сил, действующих на уплотнительные поверхности и определяемые амплитудой переменных напряжений цикла σ_a , средним напряжением цикла σ_m и равномерностью распределения уплотняющего давления по периметру стыка, характеризуемой коэффициентом равномерности

$$K_p^q = 1 - \frac{q^{max} - q^{min}}{q^{cp}},$$

где q^{max} , q^{min} , q^{cp} - соответственно максимальное, минимальное и среднее значение уплотняющего давления в стыке.

К тепловым факторам отнесены величина максимальной температуры T^{max} и неравномерность температур уплотняющих поверхностей $\Delta T = T^{max} - T^{min}$, к коррозионно-механическим - абразивный износ уплотнительных поверхностей, щелевая и контактная коррозия, фреттинг-коррозия.

Далее, с помощью известной диаграммы усилий в резьбовом соединении ($P-e$) подробно рассмотрена работа исследуемой силовой схемы соединения "головка-цилиндр". Показано, что путем подбора рационального соотношения жесткости деталей соединения имеется возможность снизить амплитуду и среднее напряжение цикла на стыке без уменьшения минимального значения уплотняющей силы. Кроме того, это позволяет снизить усилие предварительной затяжки соединения, что уменьшает монтажные деформации цилиндра и головки и повышает равномерность распределения уплотняющего давления по периметру газового стыка.

В третьей главе описана безмоторная установка для исследования различных конструкций соединений "головка-цилиндр" и уплотнений газового стыка, которая позволяла определять следующие параметры затянутого и нагруженного внутренним давлением соединения: усилие предварительной затяжки P_3 , уплотняющее давление на стыке $P_{упл}$, коэффициенты жесткости основных деталей, давление уплотняемой среды P_2 , осевую и радиальную деформацию головки и цилиндра, распределение уплотняющего давления по периметру стыка, утечку газа через стык. Для этого использовалась тензометрическая аппаратура, индикаторы перемещений, манометры, специально изготовленный расходомер, позволяющий замерять утечки газа в диапазоне 10^{-3} см³/с - 20 см³/с.

Изложена методика исследования герметичности металл-металлических уплотнений, по которой оценивалось влияние на герметичность таких факторов, как чистота обработки поверхностей, геометрические размеры стыка, усилие уплотнения, неравномерность распределения уплотняющего давления.

Приведена конструкция установки для исследования топографии уплотнительных поверхностей, выполненная на базе профилографа-профилометра модели 20I завода "Калибр".

Изложена методика получения топографических карт поверхностей и стыка с целью определения значений K_α и T , используемых при расчете герметичности уплотнений. Топографические карты исследуемых поверхностей строятся по результатам обработки профилограмм, снятых с участка поверхности размером 0,5 x 0,5 мм путём параллельного трассирования с шагом в 5 мкм. Карты имеют вид таблиц, в ячейки которых двухзначным числом записывается высота соответствующего участка поверхности, замеряемая от линии впадин. Для построения топографических карт стыка полученные таблицы совмещают и значения высот суммируют. По трем наибольшим суммам высот ΣR_{max} определяют точки соприкосновения поверхностей без нагрузки. Вычитая из ΣR_{max} сумму высот в противоположащих ячейках и величину сближения α , получают таблицу зазоров (каналов), образующихся между контактирующими поверхностями. Отрицательные и нулевые значения показывают точки контакта поверхностей. По площади глухих каналов и заблокированных зон рассчитывается коэффициент K_α . Полученные топографические карты стыка позволяют определить параметр извилистости каналов T , входящий в формулу (10).

Описана моторная установка, включающая дизель с воздушным

охлаждением 4 ЧН 10,5/12, балансирующую машину и необходимую контрольно-измерительную аппаратуру.

Приведена методика ускоренных моторных испытаний, разработанная для исследования факторов, влияющих на работоспособность газового стыка. Методика предусматривает резкую смену режимов работы дизеля от холостого хода до M_e^{max} с последующим остановом и охлаждением. Для увеличения тепловых и механических нагрузок угол опережения впрыска топлива увеличивается с 28° до ВМТ до 40° до ВМТ, а температура окружающей среды поддерживается в пределах $40 - 45^\circ\text{C}$. Один цикл продолжается 30 минут. Полный период испытаний состоит из 80 циклов. Коэффициент ускорения испытаний равен 20. Оценочными показателями технического состояния газового стыка являются максимальная величина относительной неплоскостности уплотняющих поверхностей головки и цилиндра Δh и стабильность усилия затяжки соединения, характеризуемая коэффициентом $K_{ст}$.

Четвертая глава содержит результаты экспериментальных исследований топографии уплотнительных поверхностей головки и цилиндра, обработанных алмазной расточкой, притиранием микропорошком и обкатанных роликом. Приведены профилограммы поверхностей исследуемых уплотнений, их топографические карты и полученные на их основе таблицы зазоров в стыке. Исследования показали, что при сближении металл-металлических поверхностей образуются обширные блокированные зоны, имеющие замкнутый непрерывный контур, а значительная часть каналов перекрыта. Особенно интенсивно этот процесс происходит в начальный период при малых и средних нагрузках. На рис. 1 приведены графические зависимости $Ka = f(\alpha)$, построенные для исследуемых поверхностей. Из графиков видно, что при сближениях, соответствующих реальным уплотняющим давлениям на стыке (на рис. 1 эти области выделены штриховкой), величина Ka изменяется в достаточно узком диапазоне и при ориентировочных расчетах может быть принята равной 0,3 - 0,4. С увеличением сближения контактирующих поверхностей извилистость каналов T значительно возрастает и при сближениях, соответствующих реальным уплотняющим давлениям, ее величина достигает 1,5 - 1,8 (рис. 2).

В следующем разделе четвертой главы приведены результаты исследований герметичности металл-металлических уплотнений, выполненных на безмоторной установке, которые показали, что для исследуемой конструкции газового стыка увеличение усилий затяжки соединения свыше 160 кН, создающих уплотняющее давление на контактирующих поверхностях 90 МПа, не является эффективным средством по-

вышения герметичности стыка (рис. 3). Наибольшее влияние на герметичность оказывает чистота обработки уплотняющих поверхностей и геометрические размеры стыка. Из рис. 4 видно, что уменьшение R_z с 10 мкм до 0,5 мкм снижает утечку газа почти в 50 раз.

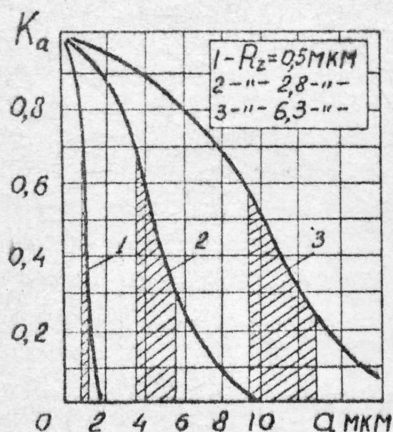


Рис. 1

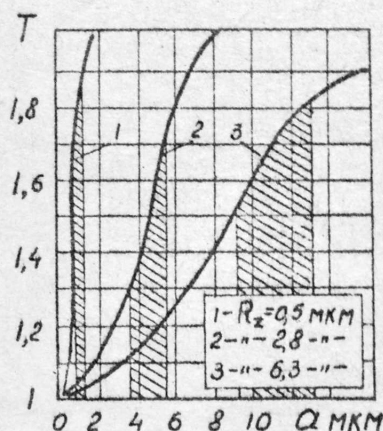


Рис. 2

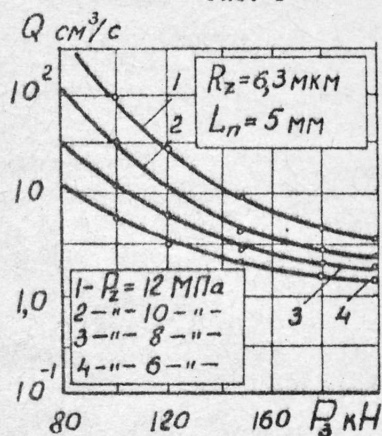


Рис. 3

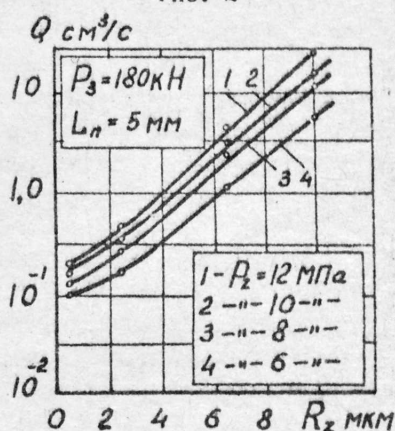


Рис. 4

Выполненные экспериментальные исследования позволили провести сравнение результатов расчета герметичности металл-металлических уплотнений с опытными данными, показавшее удовлетворительную сходимость результатов теории и эксперимента. Приведен пример расчета герметичности газового стыка дизеля 4 ЧН 10,5/12.

В результате моторных исследований, проведенных по ускоренной методике, установлено, что основными факторами, влияющими на работоспособность исследуемой конструкции газового стыка, являются: амплитуда переменных напряжений цикла на стыке σ_a (рис. 5), среднее напряжение цикла на стыке σ_m (рис. 6), максимальная температура уплотняющих поверхностей T (рис. 7) и неравномерность температур по периметру стыка ΔT (рис. 8).

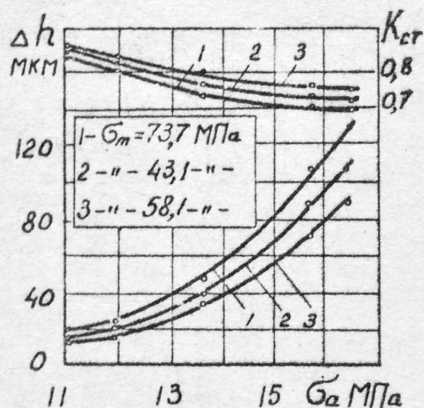


Рис. 5

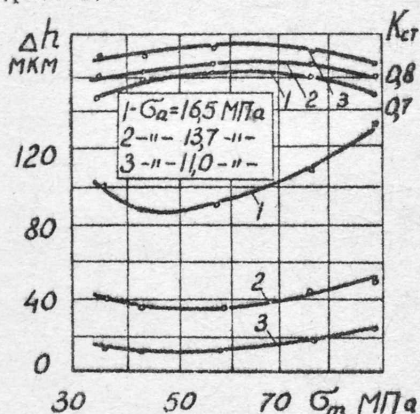


Рис. 6

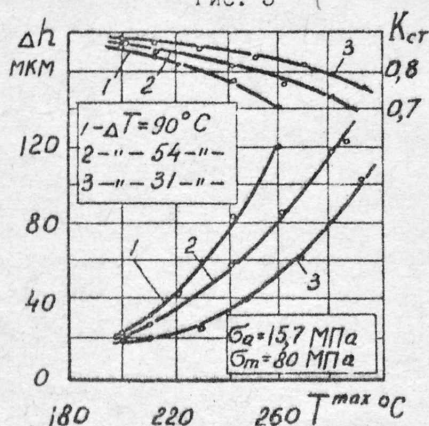


Рис. 7

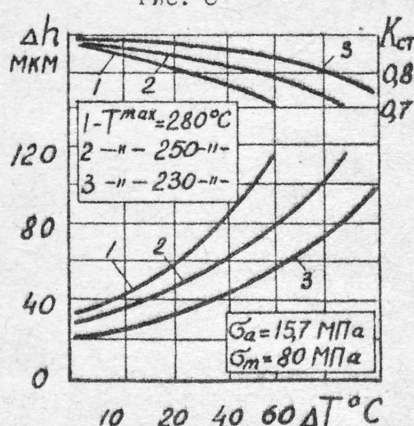


Рис. 8

Коррозионно-механический износ уплотняющих поверхностей, оцениваемый по уменьшению их массы, и неравномерность распределения давления по периметру газового стыка (при изменении K_p^* от 0,5 до 0,9) не оказывают значительного влияния на его работоспособность.

С целью исследования совместного влияния основных факторов на работоспособность газового стыка проведен эксперимент с использованием теории математического планирования, при этом в качестве функциональной зависимости показателей работоспособности стыка ($\Delta h, K_{ст}$) от значений выбранных факторов ($B_a, B_m, T_{max}, \Delta T$) принят полином второго порядка, а в качестве плана эксперимента – ортогональный центральный композиционный план второго порядка. В результате эксперимента и обработки на ЭВМ полученных данных определены коэффициенты математической модели исследуемого процесса, которая после исключения незначимых коэффициентов имела вид

$$\Delta h = 37,9 + 2,2X_1 + 11,8X_2 + 9,9X_3 + 6,5X_4 + 8,6X_1^2 + 19X_2^2 + 7,6X_3^2 + 8,9X_4^2 + 2,1X_1X_2 - 3X_1X_3 - 4,4X_1X_4,$$

где X_1 – амплитуда переменных напряжений цикла на стыке, X_2 – среднее напряжение цикла на стыке, X_3 – максимальная температура уплотняющих поверхностей, X_4 – неравномерность температур по периметру стыка.

Полученная математическая модель позволяет оценивать влияние основных факторов на работоспособность газового стыка дизеля с воздушным охлаждением, определять пути повышения его работоспособности, решать вопросы прогнозирования.

Пятая глава посвящена разработке и экспериментальной проверке конструктивных и технологических мероприятий, направленных на повышение работоспособности газового стыка дизеля с воздушным охлаждением, основной целью которых являлось снижение теплового состояния зоны газового стыка и улучшение механических свойств материала уплотнительных поверхностей.

Исследована эффективность использования теплоизолирующих покрытий днища головки и выпускного канала, применения биметаллических цилиндров и возможности рационального использования охлаждающего воздуха.

Эксперименты, проведенные на одноцилиндровой моторной установке, показали, что введение разработанных мероприятий позволяет на 16 – 20°C снизить максимальную температуру уплотняющих поверхностей и на 12 – 18°C уменьшить неравномерность температур по периметру, что увеличивает срок службы уплотнения газового стыка дизеля на 600 – 800 часов.

Из технологических мероприятий, направленных на повышение

работоспособности газового стыка дизеля, исследовано применение отделочно-упрочняющей обработки уплотняющих поверхностей. В качестве метода обработки применена обкатка поверхностей роликом. Разработана конструкция инструмента и выбраны режимы обкатки. Исследованы механические свойства материала уплотнений при различных видах обработки поверхностей. Показано, что при обработке роликом в поверхностных слоях формируются благоприятные сжимающие напряжения. Микротвердость имеет максимум на глубине 100–150 мкм при незначительном ее увеличении на поверхности.

Проведены сравнительные моторные испытания, показавшие, что отделочно-упрочняющая обработка уплотнительных поверхностей позволяет более чем в два раза увеличить ресурс газового стыка.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана уточненная методика расчета герметичности металл-металлических уплотнений, учитывающая извилистость каналов и наличие заблокированных зон, образующихся при контактировании шероховатых поверхностей. Методика позволяет на стадии проектирования формулировать требования к конструкции и технологии изготовления газового стыка.

2. Экспериментально установлена предельно допустимая величина утечек газа через стык, которая составляет для исследуемого соединения 10^{-2} см³/цикл. Выполненные расчеты и эксперименты показали, что наиболее эффективными средствами повышения герметичности металл-металлических уплотнений являются повышение чистоты обработки уплотнительных поверхностей, увеличение ширины уплотнения и уменьшение разгрузки стыка от действия газовых сил.

3. Показано, что основными причинами снижения герметичности газового стыка дизеля с воздушным охлаждением являются контактные пластические деформации уплотнительных поверхностей и снижение усилия предварительной затяжки соединения "головка-цилиндр".

4. На базе теории математического планирования эксперимента исследована группа факторов, влияющих на работоспособность газового стыка дизеля с воздушным охлаждением. Установлено, что основными факторами являются: амплитуда переменных напряжений цикла на стыке σ_a , среднее напряжение цикла на стыке σ_m , максимальная температура уплотнительных поверхностей T_{max} и неравномерность температур по периметру газового стыка ΔT . Полученная математическая модель работы газового стыка позволяет определять

наиболее эффективные пути повышения работоспособности стыка и прогнозировать его долговечность.

5. Показано, что наиболее рациональным способом снижения амплитуды и среднего напряжения цикла на стыке является увеличение коэффициента основной нагрузки до 0,35 - 0,45, что достигается применением жестких силовых шпилек и введением упругих элементов в систему цилиндра.

6. Разработанные конструктивные и технологические предложения по снижению теплового состояния газового стыка и улучшению механических свойств материала уплотнительных поверхностей позволяют более чем в два раза увеличить срок службы уплотнения.

Результаты диссертационной работы использованы на Челябинском и Владимирском тракторных заводах. Годовой экономический эффект от внедрения разработанных мероприятий составляет 167 тыс. руб.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Исследование теплового состояния биметаллических цилиндров двигателя с воздушным охлаждением / М.Г. Акимов, В.В. Белов, В.Г. Овчинников и др. - Сб. тр./ ЧИМЭСХ. - Челябинск, 1975, вып. 9, с. 118-124.

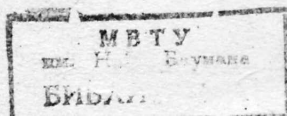
2. Исследование возможности улучшения теплового состояния головок и цилиндров двигателей с воздушным охлаждением / А.И. Астахов, В.В. Белов, Ю.С. Мосин и др. - В кн.: Проблемы форсирования и надежности тракторных двигателей и их агрегатов. - Ярославль, 1976, с. 96-99.

3. Белов В.В., Мосин Ю.С., Акимов М.Г. Исследование влияния теплоизолирующих покрытий на тепловое состояние двигателей. - М., 1978. - 69 с. - Рукопись представлена Владимир. политехн. ин-том. Деп. в НИИ Автопром, 1977, № Д333.

4. Ускоренные испытания по оценке герметичности газового стыка автотракторных двигателей / А.Н. Салов, В.Я. Кольцов, В.В. Белов. - Информ. листок/ Владимирский ЦНТИ. Владимир, 1982, № 29-82 НТД.

5. Чайнов Н.Д., Белов В.В. Повышение надежности газового стыка дизеля с воздушным охлаждением. - Изв. вузов. Машиностроение, 1983, № 11, с. 67-70.

6. Чайнов Н.Д., Белов В.В. Повышение работоспособности газового стыка дизеля с воздушным охлаждением поверхностно-пластическим деформированием уплотняющих поверхностей. - Двигатели внутреннего сгорания. - М.: ЦНИИТМАШ, 1983, вып. 4-83-II, с. 7-9.



Ж 02890. Подписано в печать 24.04.84, формат 60х84 1/16. Бумага для
множит. техники. Печать офсетная. Объем 0,93 усл. печ. л., 0,88 уч.-изд. л.
Тираж 100 экз. Заказ № 106 Бесплатно.

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

107005 Москва, Лефортовская набережная, 1

Ротапринт Владимирского политехнического института
600026 Владимир, Горького, 87