

М 412 275

МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА,
ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ
ИМЕНИ Н. Э. БАУМАНА

На правах рукописи

ШИРЯЕВ ВАДИМ МИХАЙЛОВИЧ

УДК 621.436-33-19

**ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ
ВЫПУСКНЫХ КЛАПАНОВ ФОРСИРОВАННЫХ
ДИЗЕЛЕЙ**

(05.04.02—тепловые двигатели)

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва—1984 г.

Работа выполнена на Коломенском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени тепловозостроительном заводе имени В. В. Куйбышева.

Научный руководитель—заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор А. С. Орлин.

Официальные оппоненты—доктор технических наук, профессор Н. Н. Иванченко, кандидат технических наук С. А. Абрамов.

Ведущее предприятие—Пензенский дизельный завод.

Защита диссертации состоится «27» февраля 1984 года «14» часов

на заседании специализированного совета К053.15.05 «Тепловые машины и теоретические основы теплотехники» Московского высшего технического училища имени Н. Э. Баумана по адресу: 107005, Москва, Лефортовская наб., д. 1, корпус факультета «Энергомашин

С диссертацией м
им. Н. Э. Баумана.

Автореферат раз

Ваш отзыв на авто
печатью учреждения,
Москва, 2-я Бауманс
ученому секретарю с

Ученый секретарь
кандидат техниче

МЧ 12275

Актуальность темы. Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1981...1985 годы и на период до 1990 года проблема повышения надежности машин и механизмов, в том числе тепловых двигателей, отнесена к числу важнейших. Перед двигателестроением стоит задача дальнейшего увеличения удельных мощностей комбинированных двигателей внутреннего сгорания (ДВС), что достигается главным образом повышением среднего эффективного давления. Это приводит к росту механической и тепловой напряженности выпускных клапанов, которые являются наиболее нагруженными деталями комбинированных ДВС и часто ограничивают их моторесурс. Основными дефектами клапанов, как правило, являются прогорание посадочных фасок и образование на них трещин.

Срок службы выпускных клапанов значительно повышается за счет снижения их теплонапряженности, что может быть осуществлено при знании зависимостей температурного состояния клапанов от конструктивных, регулировочных и эксплуатационных факторов, фактического уровня рабочих напряжений в тарелках клапанов, применении рациональной конструкции головки цилиндра и формы клапана. Значительные резервы повышения надежности и долговечности клапанов имеются в совершенствовании технологии их изготовления.

Однако перечисленные вопросы недостаточно изучены, что затрудняет проведение необходимых мероприятий по повышению работоспособности выпускных клапанов. Поэтому тема диссертационной работы, посвященная повышению надежности и долговечности выпускных клапанов комбинированных двигателей, весьма актуальна.

Цель работы. Разработка мероприятий и рекомендаций, обеспечивающих необходимую эксплуатационную надежность и долговечность выпускных клапанов комбинированных ДВС, на основе исследования их теплонапряженного состояния.

Методы исследований. Изложенные в настоящей работе результаты исследований получены экспериментальными и расчетными методами.

Экспериментальные исследования проводились в реальных условиях на работающих двигателях типа ДН23/30, ЧН 26/26 и на

модельных установках с использованием современных технических средств и способов измерений.

Теоретические и расчетные исследования проведены с использованием современных методов, принятых в теории тепловых двигателей, теории теплопередачи, теории упругости и металловедении. Расчетные исследования выполнены на ЭВМ.

Достоверность результатов. Исходные положения, теоретические исследования подтверждены контрольными испытаниями на моделях, экспериментами на реальных двигателях и эксплуатационными испытаниями. При проведении экспериментов и испытаний использовались типовые и специально разработанные программы и общепринятые способы измерений регистрируемых величин с погрешностями, удовлетворяющими требованиям ГОСТов.

Внедрение мероприятий, разработанных на основании проведенных исследований, обеспечило эксплуатационную надежность выпускных клапанов двигателей типа ДН 23/30 и ЧН 26/26, что на практике подтверждает обоснованность научных выводов.

Научная новизна. Установлена зависимость температурного состояния клапанов от конструктивных и регулировочных факторов, разработаны практические рекомендации по снижению тепловой напряженности клапанов и головок цилиндров комбинированных ДВС. Определены основные факторы, влияющие на напряженное состояние, работоспособность и долговечность клапанов, установлены причины их разрушения. Установлена необходимость четкой регламентации микроструктуры материалов клапанов, разработан рациональный способ изготовления клапанов с наплавкой фасок, позволяющий значительно повысить их срок службы.

Практическая ценность. Разработаны методики, нормативно-технические документы и рекомендации, направленные на повышение надежности и долговечности двигателей, использование которых позволяет существенно сократить затраты на проведение конструкторских и доводочных работ. Внедрен в серийное производство на Коломенском тепловозостроительном заводе им. В.В. Куйбышева для двигателей типа ДН 23/30 и ЧН 26/26 разработанный способ изготовления клапанов, позволивший исключить появление трещин на фасках клапанов в эксплуатации. Рекомендованные мероприятия обеспечили снижение тепловой напряженности головок цилиндров и выпускных клапанов двигателей ДН 23/30 и

ЧН 26/26. Разработанные рекомендации по техническим требованиям к материалу клапанов включены в ГОСТ 19332-73 "Клапаны выпускные и выпускные" и внедрены в отрасли.

Реализация результатов исследования позволила в 2 раза повысить сроки эксплуатации между переборками тепловозных двигателей 14Д40 и 11Д45.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались на Всесоюзной научно-технической отраслевой и межвузовской конференции "Проблемы развития комбинированных двигателей внутреннего сгорания" в 1967 г., на заседаниях кафедры "Комбинированные ДВС" МВТУ им. Н.Э.Баумана в 1971 и 1983 г.г., на отраслевом совещании Главных металлургов Главного Управления дизелестроения в 1973 г., на научно-технической конференции ИТР Коломенского тепловозостроительного завода им.В.В.Куйбышева в 1973 г., на конструкторской секции НТО "Машпром" Коломенского тепловозостроительного завода им.В.В.Куйбышева в 1974 и 1983 г.г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 статей и получено 2 авторских свидетельства на изобретения.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав и выводов, изложена на 112 страницах основного текста, содержит 19 таблиц и 47 рисунков. Список литературы составляет 117 наименований.

В первой главе проведен анализ работы выпускных клапанов комбинированных ДВС и имеющихся в литературе данных по исследованию теплонпряженного состояния выпускных клапанов и основных факторов, определяющих их надежность и долговечность.

Проведенный анализ показал:

1. Выпускные клапаны форсированных комбинированных ДВС работают в тяжелых условиях, испытывая при работе одновременное действие переменных механических и тепловых нагрузок, коррозийное воздействие продуктов сгорания, что часто приводит к выходу их из строя.

2. На двигателях ДН 23/30 (11Д45 мощностью 2200 кВт и 14Д40 мощностью 1470 кВт) магистральных тепловозов имелись типичные дефекты выпускных клапанов, практически срывавшие их эксплуатацию. Клапаны без наплавки фасок имели ограниченный ресурс из-за необходимости проточки фасок при каждом осмотре

для удаления вмятин и язвин. По этой причине после 3000 часов работы требовалась замена 50% клапанов. При эксплуатации двигателей на топливе с содержанием серы до 1 % имелись массовые прогары тарелок клапанов, не имевших наплавки фасок. По этой причине в течение года эксплуатации двигателей I4D40 требовалась неплановая замена 60% клапанов и 20% головок цилиндров. При работе двигателей I4D45 с клапанами с наплавкой фасок жаростойким сплавом имели место растрескивания и прогары фасок. По этой причине также в течение 3000 часов работы требовалась замена 60...70% клапанов.

3. Надежность и долговечность выпускных клапанов может быть существенно повышена при знании зависимостей их температурного состояния от конструктивных, регулировочных и эксплуатационных факторов, фактического уровня рабочих напряжений в тарелках клапанов.

4. Отсутствует универсальная клапанная сталь, которая имела бы свойства, удовлетворяющие разнообразным требованиям, предъявляемым к материалу выпускного клапана. Обеспечение необходимых требований, предъявляемых к выпускным клапанам достигается комбинированными решениями: наплавка фасок жаростойкими сплавами, азотирование или хромирование стержней, приварка к тарелке стержня из другой стали и др.

5. При выборе клапанных сталей и изготовлении клапанов часто недооценивается необходимость достаточной теплоустойчивости стали и регламентации величины зерна в микроструктуре материала, а также не придается должного внимания роли структурных превращений и связанных с ними объемных изменений, приводящих к возникновению внутренних напряжений в тарелках клапанов.

6. Для повышения точности современных методов расчета теплонапряженного состояния выпускных клапанов необходимо накопление и обобщение экспериментальных данных по изменению граничных условий при работе клапанов для конкретных двигателей в зависимости от изменения конструктивных параметров и рабочего процесса.

В соответствии с проведенным анализом были сформулированы следующие задачи:

I. Установить главные конструктивные, технологические и

эксплуатационные факторы, определяющие напряженное состояние, надежность и долговечность выпускных клапанов.

2. Установить зависимости температурного состояния выпускных клапанов от конструктивных, регулировочных и эксплуатационных факторов и рекомендовать мероприятия по снижению их теплонапряженности.

3. Разработать методику расчета напряжений в тарелках клапанов различных конструктивных исполнений от действия рабочих тепловых и механических нагрузок. На основании экспериментального и расчетного исследований клапанов двигателей ДН 23/30 и ЧН 26/26 определить напряжения, возникающие при работе в тарелках клапанов, и установить возможные причины их разрушения.

4. Разработать рациональные технологические процессы изготовления клапанов, позволяющие снизить уровень рабочих напряжений на фасках клапанов, повысить их надежность и долговечность.

Вторая глава посвящена исследованию температурного состояния выпускных клапанов, проведенному на комбинированных двигателях типа ДН 23/30 и ЧН 26/26.

Для получения полных температурных полей клапанов разработаны схемы измерения и препарировки клапанов с применением метода релаксации твердости материала и термокомпенсационного метода. При принятой методике препарировки при термокомпенсационном методе на одном клапане размещалось до 8 термопар, которые надежно работали в течение 200 часов.

Измерения температур проводились на 5-ти модификациях двигателей ДН 23/30 и ЧН 26/26 (I4D40, II4D40, II4D45, I-5D49, 2-5D49) мощностью от 1470 до 2940 кВт при различных конструктивных исполнениях клапанных узлов, головок цилиндров и при изменении регулировок и режимов работы двигателей.

Установлено, что клапаны двигателей имеют неравномерный нагрев тарелок в окружном и радиальном направлениях, зависящий от формы топливного факела, направления газового потока, охлаждения головки цилиндра, конструкции посадочного седла.

Формы тарелки клапана оказывают влияние на его температурное поле: уменьшение радиуса перехода от участка посадочной фаски к стержню клапана снижает нагрев его переходной радиус-

ной части; сферическая выемка в тарелке увеличивает общий уровень нагрева клапана, но при этом уменьшается неравномерность нагрева периферийной части тарелки и в радиальном направлении.

Значительное влияние на формирование температурного поля выпускных клапанов оказывает конструкция головки цилиндра. По результатам проведенных исследований проведено усовершенствование конструкции головок цилиндров двигателей ДН 23/30 и ЧН 26/26. Уменьшение толщины и увеличение податливости нижних плит, увеличение поверхности охлаждения днищ позволили снизить максимальные температуры головок на $\sim 100^{\circ}\text{C}$, нагрев тарелок клапанов в центре на $25\ldots 30^{\circ}\text{C}$, а на периферии у фасок на $30\ldots 40^{\circ}\text{C}$.

Имеется принципиальное различие в распределении температурных полей клапанов в зависимости от конструкции посадочного гнезда в головке. При работе выпускных клапанов с головкой цилиндра без вставных седел общий температурный уровень тарелок клапанов снижается, но резко возрастает радиальный перепад температур при большем нагреве центра клапана. Этот перепад составляет в тарелках клапанов двигателей ДН 23/30 $130\ldots 150^{\circ}\text{C}$, у двигателей ЧН 26/26 $120\ldots 130^{\circ}\text{C}$.

Применение в головках цилиндров двигателей ЧН 26/26 вставных "плавающих" седел позволяет обеспечить радиальный перепад температур в тарелке клапана не более 15°C , при большем нагреве периферийной части тарелки, и хотя температура тарелки повышается при этом в среднем на 100°C , максимальные рабочие температуры клапана остаются на допустимом уровне (не более 560°C) при работе с усовершенствованной головкой цилиндра.

Сравнение теплонапряженности выпускных клапанов двухтактных двигателей ДН 23/30 и четырехтактных двигателей ЧН 26/26 показывает, что при близком литраже и близкой удельной поршневой мощности, равной цилиндровой мощности (138 кВт), средняя температура нагрева клапанов у двигателей ДН 23/30 на $\sim$

100°C выше, даже при наличии в головках двигателей ЧН 26/26 седел "плавающего" типа. Высокий уровень рабочих температур клапанов двигателей ДН 23/30 (более 600°C) не позволяет применить для выравнивания температур в тарелке головку цилиндра с вставными седлами.

Исследования влияния на температуру клапанов регулировоч-

ных факторов, параметров и режимов работы двигателей показало, что об изменении нагрева клапанов можно с достаточной степенью точности судить по величине изменения температуры выпускных газов за цилиндром. Работа двигателя по характеристике, выбранной исходя из оптимального удельного расхода топлива, является наиболее благоприятной для клапанов. При резких сбросах и набросах нагрузки время стабилизации температур клапана практически не зависит от конструкции головок цилиндров, а максимальные градиенты температур в тарелках при этом незначительно отличаются от значений, зафиксированных на режиме полной мощности.

Эксплуатационные нарушения (увеличение разрежения на всасывании, ухудшение охлаждения наддувочного воздуха, разрегулировка двигателей по цикловой подаче) могут вызывать значительное повышение рабочих температур клапанов.

В третьей главе излагается методика расчета напряжений и деформаций в тарелках клапанов.

Для расчета главных напряжений на внутренней и наружной поверхностях тарелки при действии сил давления газов в цилиндре, неравномерного по радиусу и толщине нагрева тарелки используется теория тонких оболочек вращения.

Исходная геометрия тарелки клапана заменяется замкнутой оболочкой вращения переменной толщины. Наибольшая погрешность при такой схеме получается в центральной части тарелки, ввиду наличия значительной толщины и малого радиуса кривизны расчетной оболочки, однако эта часть не является исследуемым районом, так как в эксплуатации трещин в центре клапана обычно не наблюдается.

Для построения образующей оболочки, эквивалентной тарелке клапана, используется метод вписанной окружности, позволяющий определить в каждом месте детали положение эффективного сечения с относительным минимумом высоты и геометрических характеристик.

Исходными данными для расчета температурных напряжений являются значения температур на внутренней и наружной поверхностях расчетной оболочки.

Расчет полученной оболочки вращения с переменными по образующей и толщине параметрами упругости при действии давления газов в цилиндре и неравномерного осесимметричного нагрева сво-

дится к решению двух дифференциальных уравнений второго порядка, описывающих осесимметричную деформацию изотропной оболочки с переменным модулем упругости по толщине и вдоль меридиональной кривой, представленных в работах Биргера И.А., которые имеют замкнутое решение только в некоторых частных случаях.

Учитывая условия работы тарелки клапана (замкнутость расчетной оболочки при вершине и отсутствие защемления её по периферии), для расчетной оболочки приняты следующие граничные условия:

1. Вблизи вершины ($S = 0$) равны окружные и радиальные усилия, а также окружные и радиальные моменты

$$N_{\theta}(0) = N_r(0); M_{\theta}(0) = M_r(0)$$

2. На периферии тарелки ($S=b$) действие давления газов P_z на цилиндрический поясok высотой h приводит к появлению сжимающей продольной силы

$$N_r(b) = -P_z \cdot h \cos \beta/2,$$

где β — посадочный угол уплотнительной фланки.

3. На контуре $S=b$ отсутствует радиальный (в направлении оболочки) изгибающий момент

$$M_r(b) = 0.$$

После интегрирования дифференциальных уравнений, получается система уравнений, решение которых находится методом последовательных приближений. В результате решения определяются: величины относительных деформаций в окружном направлении и в направлении образующей на основной поверхности (нейтральном слое), на внутренней и наружной поверхностях; перемещения то-

чек основной поверхности вдоль оси оболочки и перпендикулярно к ней; главные напряжения на внутренней и наружной поверхностях оболочки, возникающие при действии нагрузки.

При определении напряжений только от действия давления газов в цилиндре коэффициент линейного расширения в исходных данных задается равным нулю, соответственно при вычислении температурных напряжений давление газов принимается равным нулю.

При определении напряжений в наплавленном на посадочную фаску слое, от различия коэффициентов линейного расширения наплавки и основного материала клапана, наплавка и тарелка клапана представляются в виде сопрягаемых цилиндров с заданной величиной натяга. Давление P_T , возникающее вследствие этого на сопрягаемых поверхностях, определяется по формуле расчета прессовых соединений.

Окружные напряжения на наружной поверхности кольца-наплавки определяются из выражения:

$$\sigma_{\theta} = \frac{2P_T \cdot r_K^2}{r^2 - r_K^2},$$

где r - внешний радиус наплавки;
 r_K - радиус посадочной поверхности.

Проведенный по изложенной методике расчет толстой пластины линейно-переменной толщины, имеющий известное точное, приведенное в работе Тимошенко С.П. решение, показал совпадение в пределах 1%.

По предлагаемой методике разработана и реализуется программа на ЭВМ.

В четвертой главе изложено расчетно-экспериментальное исследование напряженного состояния выпускных клапанов, определены причины разрушения клапанов в эксплуатации и влияние на напряженное состояние выпускных клапанов распределения температурных полей в тарелках клапанов, форм тарелок и других конструктивных факторов.

Для оценки напряженности выпускных клапанов определены распределения напряжений в тарелках клапанов двигателей

ДН 23/30 и ЧН 26/26 при различных конструктивных исполнениях клапанного узла.

Из полученных результатов следует, что от действия сил давления газов в цилиндре в тарелке клапана возникают: на наружных поверхностях (поверхности перехода от фаски клапана к стержню со стороны выпускного канала) напряжения растяжения, на внутренних поверхностях (поверхности со стороны камеры сгорания, подвергающиеся непосредственному воздействию сил давления газов в цилиндре при закрытом клапане) напряжения сжатия, на посадочных фасках сжимающие окружные напряжения. У клапанов двигателей ДН 23/30 и ЧН 26/26, имеющих диаметр тарелки 75 мм, при давлении сгорания 12 МПа эти напряжения не превышают 78 МПа и не могут вызывать разрушения клапанов. При "тыльной" форме тарелки уровень этих напряжений увеличивается в 1,8...2,2 раза.

От наличия температурного перепада между центром и периферией тарелок клапанов, работающих с головками цилиндров без вставных седел, на периферийной части тарелок возникают окружные растягивающие напряжения. При радиальном перепаде температур до 150°C они достигают ~ 150 МПа на внутренней и ~ 132 МПа на наружной поверхностях периферийной части тарелки. При "тыльной" форме тарелки эти напряжения снижаются на 15%.

Имеющееся различие в коэффициентах линейного расширения материала клапана и наплавленного на фаску сплава (ВЖ или ЗХН-1), при нагреве тарелки клапана до рабочих температур (500...700°C), вызывает в слое наплавки дополнительные окружные растягивающие напряжения, достигающие 300 МПа.

Суммарные окружные растягивающие напряжения в слое наплавки достигали у клапанов двигателей ДН 23/30 430 МПа и у клапанов двигателей ЧН 26/26 380 МПа при работе их с головками цилиндров без вставных седел.

Снижение радиального перепада температур в тарелке клапана и даже некоторое превышение температуры фаски над центром тарелки при работе клапанов двигателей ЧН 26/26 с головкой цилиндра с вставными "плавающими" седлами приводит к принципиальному изменению распределения температурных напряжений в тарелке клапана. На фаске образуются не растягивающие, а благоприятные сжимающие окружные напряжения. Вследствие этого сум-

марные растягивающие напряжения в слое наплавки снижаются с 380 до 270 МПа.

Уровень радиальных напряжений для всех вариантов температурного состояния клапанов относительно невисок.

Для оценки точности полученных расчетных напряжений проведено тензометрирование моделей клапанов и определены напряжения на поверхности тарелки от имитированного давления газов на созданной модельной установке. Сравнение расчетных и экспериментальных результатов показало их хорошую сходимость, погрешность не превышала 10%.

В результате исследования установлено, что появление трещин в наплавленном слое фасок клапанов может вызываться растягивающими окружными напряжениями, возникающими при работе в слое наплавки. Эти напряжения в клапанах двигателей ДН 23/30 превышали предел текучести и были близки к пределу прочности сплавов ВХН-1, ВЗК при рабочих температурах. Незначительные нарушения качества наплавки или неравномерное опирание клапана на седло при деформации от нагрева днища головки цилиндра, местный повышенный нагрев участка фаски при неплотном прилегании клапана к седлу, при высокой напряженности фасок клапанов двигателей ДН 23/30, вызывали появление трещин и прогары тарелок клапанов.

Более низкая температура клапанов у двигателей ЧН 26/26, в сравнении с двигателями ДН 23/30, позволила применить для них головку цилиндра с вставными "плавающими" седлами и в ~ 1,4 раза снизить уровень опасных напряжений в тарелке клапана.

В пятой главе дан анализ возможных путей снижения напряженности наплавленного на фаску клапана слоя, представлены результаты разработки рациональных технологических процессов изготовления клапанов, проведены исследования свойств материалов для клапанов, остаточных напряжений в тарелках клапанов, приведены результаты стендовых и эксплуатационных испытаний вариантов клапанов.

Проведенный анализ показал целесообразность и возможность снижения напряженности наплавленного на фаску слоя и обеспечения необходимой работоспособности клапанов, при минимальных изменениях клапанного узла, за счет создания в слое наплавки при изготовлении клапанов необходимого уровня стабильных сжимающих остаточных напряжений, компенсирующих рабочие растяги-

вающие напряжения.

У большинства аустенитных сталей с карбидным упрочнением перевод при закалке составляющих фаз выделения (карбидов) в твердый раствор сопровождается увеличением объема стали, а выделение дисперсных карбидных фаз при старении вызывает уменьшение их объема. Чем выше температура аустенизации, тем больше после закалки увеличение объема стали. Наиболее полное выделение карбидных фаз в процессе старения стали вызывает наибольшее сокращение её объема.

Наплавляемые сплавы при термической обработке характеризуются иными объемными изменениями. Выдержка при температуре выше 700°C кобальтовых стеллитов приводит к их упрочнению и увеличению объема.

Эти положения подтверждены проведенными исследованиями изменений размеров образцов из стали 4ХГ4НГ4В2М (ЭИ-69) и сплава ВЖ при различных режимах их термообработки. Эти исследования также показали, что объемные изменения в этих материалах, в связи с их структурными превращениями, и релаксация напряжений в кольцах из материала наплавки, напрессованных на модель клапана с натягом 0,02 мм, завершаются в первые 8 часов выдержки при температуре 775°C .

При разработке способа изготовления клапанов, обеспечивающего создание в наплавленном на фаску слое необходимого стабильного уровня остаточных сжимающих напряжений, выбор режимов термической обработки и их последовательность основывались на следующих предпосылках, вытекающих из исследований автора:

1. При старении наплавленного клапана, при температуре превышающей рабочую температуру клапана, вследствие большей величины коэффициента линейного расширения у клапанной стали, чем у наплавленного сплава, в наплавленном слое образуется пластическая деформация от растяжения. После равномерного охлаждения клапана в наплавке возникнут остаточные сжимающие напряжения.

2. При старении клапана, после наплавки фаски сплавом на закаленную заготовку, произойдет уменьшение объема клапанной стали и в наплавленном слое образуются напряжения сжатия в результате следования наплавки за уменьшением объема осново-

го материала клапана и собственного увеличения объема сплава ВЗК при старении.

3. Режим закалки заготовки клапана должен назначаться с учетом получения наибольшего удельного объема при закалке и обеспечения после наплавки размера зерна не ниже 5-го номера по ГОСТ 5639-65. Необходимость регламентации размера зерна была установлена проведенными испытаниями клапанов с различной микроструктурой. Клапаны с размерами зерна ниже 5-го номера имели растрескивание при испытаниях из-за снижения термостойкости материала.

4. Температура и продолжительность старения, режим охлаждения клапанов после старения должны обеспечивать завершение процессов объемных изменений в материалах клапанов и релаксации напряжений в наплавке.

Для сравнения вариантов изготовления клапанов экспериментально определялись остаточные напряжения в наплавке методом освобождения разрезкой клапанов на секторы с использованием тензорезисторов.

Стендовые и эксплуатационные испытания вариантов клапанов с различными уровнями остаточных напряжений сжатия в наплавке показали, что с увеличением этого уровня повреждаемость клапанов резко снижалась.

Увеличение толщины слоя наплавки, уменьшение съема металла при механической обработке фаски после старения клапана, наличие увеличенного припуска на торце тарелки перед старением клапана повышают уровень создаваемых остаточных напряжений в слое наплавки.

В клапанах, изготовленных по технологическому процессу, построенному с использованием изложенных выше принципов, был создан в наплавке уровень фактических остаточных сжимающих напряжений 175 МПа. В результате уровень рабочих напряжений на фасках клапанов снизился в 1,7 раза у двигателей ДН 23/30 и в 2,7 раза у двигателей ЧН 26/26.

Изготовление для двигателей ДН 23/30 и ЧН 26/26 выпускных клапанов по рекомендованному технологическому процессу позволило полностью исключить дефекты клапанов в эксплуатации, резко сократить сменяемость клапанов при ремонтах, повысить моторесурс двигателей.

В шестой главе приведены результаты внедрения исследований в производство и расчет экономической эффективности.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Показаны пути обеспечения необходимой надежности выпускных клапанов форсированных комбинированных двигателей, основными из которых являются: рациональный выбор материалов; совершенствование технологии изготовления; снижение температур за счет соответствующей организации рабочего процесса; правильная организация теплоотвода от клапанов; выбор рациональной геометрической формы; уменьшение динамических нагрузок.

2. Разработана, проверена на моделях и в реальных условиях работы двигателя методика расчетно-экспериментального исследования напряженного состояния клапанов, позволяющая с достаточной точностью определять: напряжения в тарелках клапанов и наплавленном на посадочную фаску жаростойком сплаве от действия давления газов, неравномерного нагрева, различия коэффициентов линейного расширения материалов клапанной стали и наплавки; температурные поля в тарелках клапанов и головках цилиндров; остаточные напряжения в тарелках клапанов.

3. На основе экспериментальных исследований, проведенных на двухтактных и четырехтактных двигателях, установлена зависимость температур выпускных клапанов от конструкции головок цилиндров, форм тарелок, режимов работы двигателей, от регулировочных и эксплуатационных факторов и разработаны практические рекомендации по снижению тепловой напряженности клапанов и головок цилиндров.

4. В результате расчетных и экспериментальных исследований выявлены основные причины разрушения тарелок клапанов с наплавкой и без наплавки посадочных фасок жаростойкими сплавами и влияние конструктивных факторов на напряженное состояние клапанов. Показано, что появление трещин в наплавленном слое фасок клапанов может вызываться растягивающими напряжениями в слое наплавки из-за различия коэффициентов линейного расширения клапанной стали и наплавленного на фаску сплава и радиального перепада температур в тарелке клапана. Установлено, что эти суммарные температурные напряжения вызвали массовое повреждение клапанов двигателей ДН 23/30 с наплавкой

фасок сплавами ВХН-I и ВЗК.

5. Экспериментальными и расчетными исследованиями установлено принципиальное различие в распределении температурных полей и напряжений в тарелках клапанов при работе их с седлами, образованными непосредственно в днищах головок и с вставными "плавающими" седлами. При работе клапанов с вставными седлами общий температурный уровень клапанов возрастает, но резко снижается радиальный перепад температур в тарелке. На примере двигателей ЧН 26/26 впервые показана возможность значительного снижения уровня напряжений в слое наплавки клапанов при применении вставных "плавающих" седел в головках цилиндров.

6. Разработан и впервые внедрен при производстве двигателей ДН 23/30 и ЧН 26/26 на Коломенском тепловозостроительном заводе им. В.В.Куйбышева способ изготовления выпускных клапанов, позволяющий снизить напряженность наплавленного на фаску слоя за счет создания в наплавке необходимого уровня внутренних сжимающих напряжений, компенсирующих рабочие растягивающие напряжения.

7. Установлена необходимость регламентации размера зерна микроструктуры клапанов с наплавкой и без наплавки фасок. На основе проведенных исследований рекомендованы технические требования к материалу клапанов, которые включены в ГОСТ 19332-73 "Клапаны впускные и выпускные" и внедрены в отрасли.

8. Внедрение разработанных рекомендаций позволило практически исключить дефекты выпускных клапанов двигателей ДН 23/30 и ЧН 26/26 и в 2 раза повысить их межремонтные сроки.

Среднегодовой экономический эффект от снижения сменяемости выпускных клапанов и днищ головок цилиндров при эксплуатации тепловозных двигателей ДН 23/30, изготовленных только в 1980 г., составляет 642716 руб., что подтверждается актом внедрения на Коломенском тепловозостроительном заводе им.В.В.Куйбышева. При этом не учитывались затраты на проведение неплановых ремонтов двигателей и вывод тепловозов из эксплуатации при прогарах клапанов и разгаре гнезд головок цилиндров.

9. Полученные результаты использованы на Коломенском тепловозостроительном заводе им.В.В.Куйбышева при разработке новых форсированных двигателей ЧН 32/32 и могут быть использованы при совершенствовании и создании других двигателей.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Ширяев В.М. Устранение повышенных нагароотложений на клапанах. - Двигатели внутреннего сгорания, М.: НИИинформтяжмаш, 1967, № 5, с.44-47.

2. Ширяев В.М., Каменский Г.Д. Выбор оптимального режима термической обработки клапанов из стали ЭИ-69 для двигателей ДН 23/30. - Двигатели внутреннего сгорания, М.: НИИинформтяжмаш, 1967, № 5, с.58-61.

3. Ширяев В.М., Лодягин В.Э. Исследование напряженного состояния днища головки цилиндра двигателей ДН 23/30 и мероприятия по повышению срока их службы. - В кн.: Проблемы развития комбинированных двигателей внутреннего сгорания. М., 1968, с.82-96.

4. Эксплуатационная стойкость биметаллических дизельных клапанов /Б.И.Максимович, Д.А.Дудко, В.М.Ширяев и др.- Автоматическая сварка, 1968, № I, с.60-62.

5. Кужелев В.П., Салтыков М.А., Ширяев В.М. Метод расчета напряжений и деформаций в тарелках клапанов ДВС.- Энергомашиностроение, 1968, № II, с.5-7.

6. Ширяев В.М., Рябкин А.А., Кузнецов Г.К. Термометрирование выпускных клапанов двигателей ДН 23/30. - Двигатели внутреннего сгорания, М.: НИИинформтяжмаш, 1970, № 4, с.30-32.

7. Ширяев В.М. Исследование температурного состояния выпускных клапанов ДВС.- Труды /Коломенск. филиал Всесоюз. заочн. политех. ин-та, 1970, вып.4, с.98-109.

8. Ширяев В.М. Выбор сплавов для наплавки фасок клапанов. - Двигатели внутреннего сгорания, М.: НИИинформтяжмаш, 1970, № 12, с.57-60.

9. А.с. 287068 (СССР). Способ изготовления наплавляемых клапанов из дисперсионно твердеющих сталей /В.М.Ширяев, В.В.Пахомов, М.А.Салтыков.- Оpubл. в Б.И., 1970, № 35, МПК С 21 d /78 УДК 621.785.79 (088.8).

10. А.с. 502731 (СССР). Состав для наплавки /Каменский Г.Д., Александров И.И., Ширяев В.М. и др.-Оpubл. в Б.И., 1976, № 6. Кл. В 23К 35/30 УДК 621.791.92.042.2 (088.8).

