

УДК 621.432.3

**С.Б. Таран, инж., А.П. Марченко, д-р техн. наук, Б.П. Таран, канд. техн. наук,
О.В.Акимов, д-р техн. наук**

МОДУЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЧУГУННЫХ ПОРШНЕЙ ВЫСОКОФОРСИРОВАННЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВС

Достижения в области производства литых деталей из высокопрочного чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом (ЧВГ) в последние десятилетия вызывают повышенное внимание к чугуну как материалу для поршней высокофорсированных дизельных двигателей. В конце 80-х годов прошлого столетия совместными исследованиями кафедр двигателей внутреннего сгорания и литейного производства НТУ «ХПИ» были разработаны и изготовлены тонкостенные монолитные и составные поршни из ЧВГ. Однако, в силу объективных причин, до производства чугунных поршней дело не дошло, хотя кратковременные стендовые испытания на реальных стендовых двигателях были проведены. Кроме того, из-за несовершенства на то время методов компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) поршня, разработать такую конструкцию было довольно трудно.

Основной целью развития современного моторостроения является создание двигателей повышенной мощности, меньшей удельной массой на единицу мощности, а также с пониженным расходом топлива, вредных выбросов и шума. Эти повышенные требования к двигателю автоматически переносятся на одну из наиболее ответственных его деталей - поршень. Увеличение мощности двигателя означает для поршня более высокие прочностные требования: устойчивость против изменения конфигурации внешней формы, обеспечение снижения трения и шума при работе в двигателе, а также уменьшение его веса с одновременным повышением эксплуатационной надежности.

К настоящему времени уровень конструкторско-технологических разработок значительно возрос [1, 2], возросли и требования, предъявляемые к конструкциям поршней и их материалу, поэтому требуется дальнейшее совершенствования конструктивных и технологических параметров чугунных поршней с использованием современных методов математического моделирования. Особое внимание этому вопросу уделено Зотовым А.А. в работе [3] при совершенствовании технологии проектирования алюминиевых поршней ДВС. Предла-

гая метод сквозного проектирования, автор делает акцент на сохранение связи между конструкторскими и технологическими разработками. Этот метод позволяет существенно улучшить качество выполняемых работ и снизить их трудоемкость. Однако, в нем не достаточно внимания уделяется технологическим вопросам проектирования.

Более широко основы компьютерно - интегрированного проектирования и производства тонкостенных поршней ДВС рассмотрены Белогубом А. В. в работе [2], на базе которых создан комплекс методов и методик, позволяющих обеспечить заданный уровень качества продукции при уменьшении затрат на проектирование, производство и эксплуатацию при сокращении времени прохождения этапов, так называемого, «жизненного цикла».

Однако, и в этой работе технологические вопросы сведены к рассмотрению механической обработки поршней, а вопросам технологии литья поршней и, особенно, вопросам формирования структуры и свойств внимания уделено мало. Последнее направление в настоящее время, применительно к алюминиевым поршням, развивается в работах О.В. Акимова и В.И. Алёхина [4]. Безусловно, технология литья алюминиевых поршней совершенствуется уже на протяжении многих десятилетий, но, прямой перенос ее на другой материал, например чугун, практически не возможен. Поршень ДВС является сложным изделием, как с точки зрения конструирования, так и с точки зрения производства, и на всех этапах его создания необходимо сохранять неразрывной связью между конструкторскими и технологическими работами для обеспечения соответствия требованиям разрабатываемой конструкции на стадии проектирования и готового поршня.

Поскольку в работе основное внимание уделено созданию неразрывной связи между конструкторским и технологическим направлениями проектирования, то возникла необходимость все основные работы разделить на модули, выполняемые одновременно по трем направлениям: организационном, конструкторском и технологическом.

Направления являются составными секторами единой модульной системы конструкторско-технологической подготовки производства чугунных поршней ДВС (рис.1).

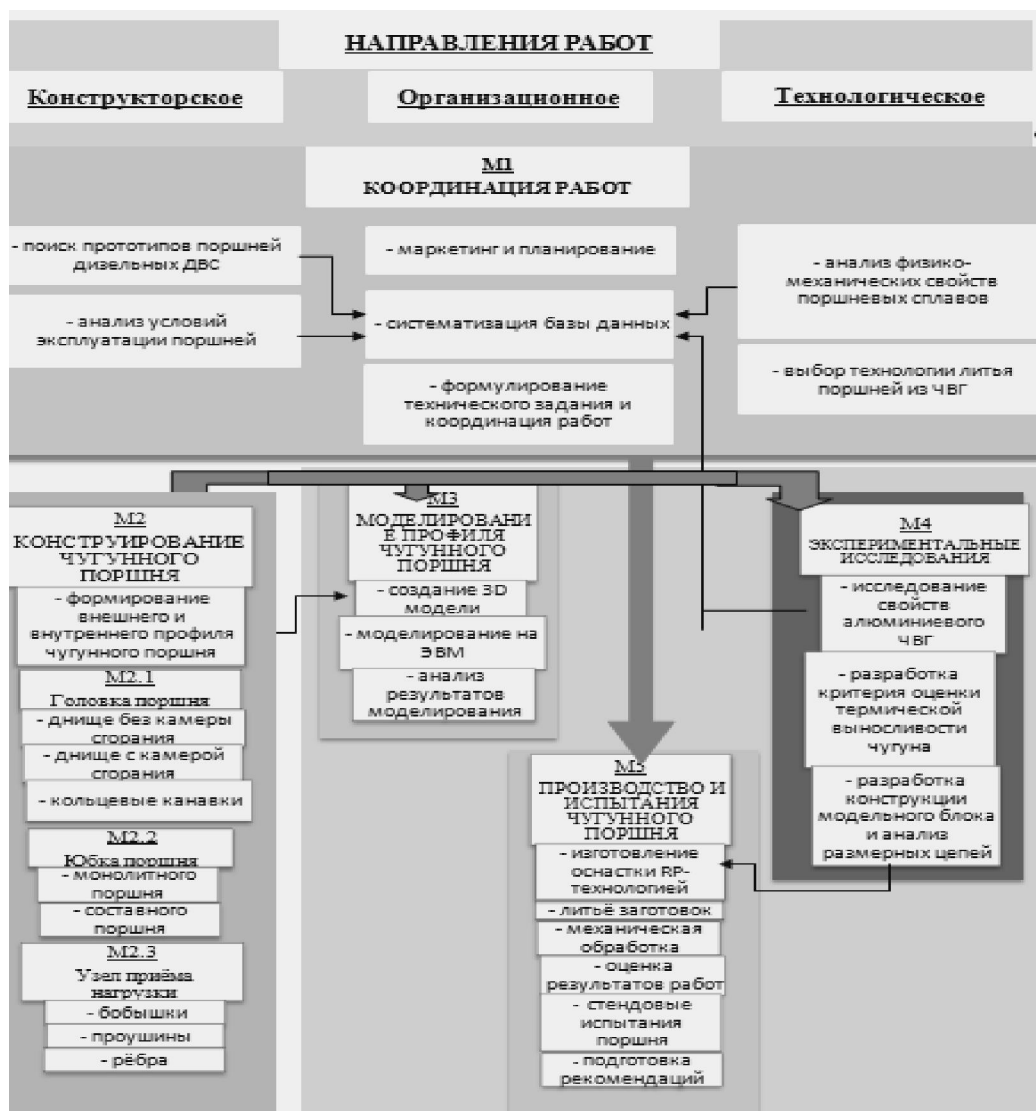


Рис. 1. Система модульного конструкторско-технологического проектирования чугунных поршней

Центральное место в этой системе занимает организационное направление, которое включает модули:

- модуль М1-маркетинг, планирование, подготовку технического задания;
- модуль М3 - моделирование профиля поршня и его НДС;
- модуль М5 - испытания поршней и подготовку рекомендаций;

Модули организационного направления осуществляют координацию работ, выполняемых в рамках модулей конструкторского и технологического направлений от начала проектирования до изготовления и испытаний опытных образцов. Подготовка технического задания на проектирова-

ние и изготовление поршня является одной из главных задач, выполняемых в рамках модуля М1. Основные положения технического задания следующие:

1. Выполнить конструкторско-технологическую подготовку производства легких чугунов для высокофорсированных дизельных ДВС.
2. Экспериментально обосновать применение ЧВГ в качестве материала поршней высокофорсированных дизельных ДВС.
3. Предложить критерий оценки термической выносливости поршневого материала.
4. Добиться получения высоких физико-механических свойств, термической выносливости

и износостойкости ЧВГ.

5. Разработать универсальные конструкции легковесных чугунных монолитных и составных поршней.

Следует отметить, что различие требований и условий эксплуатации поршней приводит к множеству их конструктивных решений. Кроме того, поршни отличаются материалом и технологией производств. Поэтому совместное решение всех этих, иногда противоречивых, задач в одной конструкции не всегда возможно. С целью создания разных вариантов конструкций поршней, например, монолитного или составного, *модуль М2* разбит на три подмодуля конструкторского направления:

- подмодуль *М2-1* – *головка поршня*, включающая днище с камерой сгорания, кольцевой пояс и ребра жесткости (универсальные варианты поршней);

- подмодуль *М2-2* – *юбка поршня* с бобышками для поршневого пальца (варианты монолитных поршней);

- подмодуль *М2-3* – *узел приема нагрузки* с проушинами для передачи нагрузки на поршневой палец и самоустанавливающуюся юбку (варианты составных поршней).

Такой подход к конструированию позволяет добиться минимальной массы чугунного поршня, обеспечить необходимую прочность и жесткость отдельных элементов его конструкции, а также использовать, например, одинаковые конструкции головок для монолитного и (или) составного вариантов (рис. 2). При выполнении *подмодуля М2-1* обосновываются конструктивные элементы головки, а также производятся расчеты на прочность и жесткость. При этом учитывается способ передачи нагрузки от головки к поршневому пальцу.

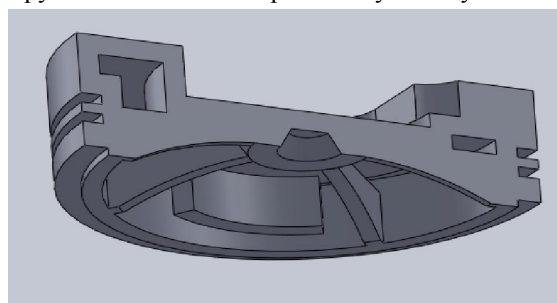


Рис. 2. Универсальная головка для монолитного или составного поршня

Также необходимо установить конфигурацию внутренней и внешней поверхности головки поршня, включая камеру сгорания и ребра жесткости, с

помощью компьютерного моделирования определить влияние формы внутренней поверхности на распределение и уровень температур и напряжений, а также зависимость этих напряжений от характера изменения радиальной толщины днища и формы ребер жесткости.

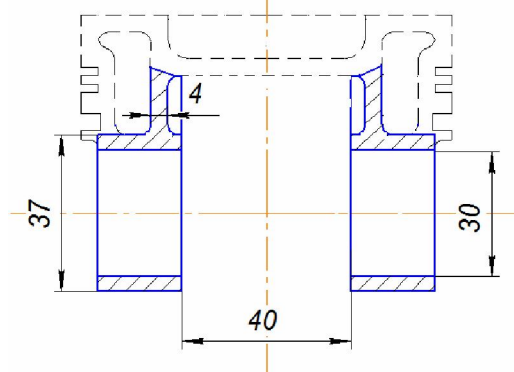


Рис. 3. Головка с проушинами для составного поршня

Предложенная конструкция головки поршня обеспечивает выполнение эксплуатационных требований и получение литых заготовок с использованием единой технологической оснастки – модельного блока «модель – стержневой ящик» со сменными вставками, изготовленными технологией быстрого прототипирования Rapid Prototyping. На рис.3. показан вариант составного поршня с проушинами для дизельного двигателя.

Профиль внутренней поверхности доньшка камеры и наружная ее часть выполнены по параболе. Высота жарового пояса составляет до 36 мм, верхнее компрессионное кольцо смещено в направлении днища на 2 мм, второе - на 3 мм, и маслоъемное- на 4 мм.

Важную роль в обеспечении достаточной жесткости доньшка камеры сгорания играют предложенные шесть тонкостенных ребер жесткости вместо применяемых до этого четырех толстостенных ребер, диаметрально расположенные между камерой сгорания и внутренним диаметром жарового пояса. Их профиль в вертикальной плоскости выполнен по параболе высотой 15 мм. В центре схождения ребер предусмотрен технологический кольцевой выступ высотой 5 мм для базирования при начальной обработке поршня, что обеспечивает отсутствие разностенности после механической обработки.

Минимально возможная масса головки может быть достигнута при толщине стенок не более 4-5 мм. При этом жесткость головки в любой плоско-

сти сечения не должна быть снижена с использованием разных вариантов передачи нагрузки на поршневой палец. Передача нагрузки может осуществляться на бобышки по всему периметру юбки, а также через ребра жесткости, параллельные или перпендикулярные оси пальцевого отверстия.

При рассмотрении основных конструктивных элементов головки, ставилась задача обеспечения работоспособности поршня в условиях сложного термоциклического нагружения. Необходимые конструктивные решения определялись с помощью расчетов и компьютерного моделирования НДС, выполняемого в рамках модуля М3.

Вопросы выполнения экспериментальных исследований и совершенствования технологии литья поршней решаются при выполнении модуля М4. Это крайне необходимо при разработке новой конструкции чугунного поршня, т.к. используется новый поршневой материал – алюминиевый ЧВГ, для получения заданной структуры и свойств в отливках из которого, требуется проведение дополнительных исследований. Также важна проработка внутреннего профиля поршня, играющего большую роль в обеспечении требований, как с конструкторской, так и с технологической точек зрения. В рамках этого модуля выполняется проектирование и изготовление модельного блока «модель-стержневой ящик» и литье опытных поршней из алюминиевого ЧВГ.

Проблема получения технически совершенных вариантов конструкций поршней решается в рамках модулей М2 и М3. При разработке монолитного чугунного поршня главным вопросом является достижение минимального его веса. В случае разработки составного поршня основное внимание необходимо уделить получению совершенной конструкции проушины, поскольку через неё передаётся вся нагрузка на поршневой палец от головки поршня и необходимая жесткость и прочность конструкции являются обязательными.

Выполнением процедур модуля М3 заканчивается разработка общей конструкции поршня, создание 3D-модели для последующего моделирования и определения напряженно-деформированного состояния.

Завершающим этапом конструкторско-технологических разработок является выполнение процедур модуля М5, в процессе которого проводятся испытания поршней в рабочих условиях ди-

зельного двигателя, а также оценка результатов всех работ модульной системы и подготовка рекомендаций.

Выводы

1. Разработана модульная система конструкторско-технологической подготовки производства чугунных поршней для высокофорсированных дизельных ДВС, путем разделения выполняемых работ на отдельные модули в организационном, конструкторском и технологическом направлениях, поддерживаемых одновременно при тесном взаимодействии между собой.

2. На примере составного поршня дизельного двигателя показаны преимущества использования модульной системы при проектировании универсальной головки поршня.

Список литературы:

1. Акимов О.В. Применение методов компьютерно-интегрированного ресурсного проектирования к литым деталям ДВС по критерию эксплуатационных характеристик на примере колеса турбины турбокомпрессора / О.В. Акимов, А.П. Марченко, В.А. // Вісник національного технічного університету «ХП», «Машинобудівництво і САПР». – 2008. – №9. – С. 3-15.
2. Белогуб А.В. Разработка и научное обоснование методики эффективного проектирования поршней двигателей внутреннего сгорания / А.А. Зотов, Ю.А. Гусев, А.В. Белогуб // Двигатели внутреннего сгорания. – 2007. – №1. – С. 38-43.
3. Зотов А.А. Разработка и научное обоснование методических подходов при проектировании поршней современных легкотопливных двигателей внутреннего сгорания / А.А. Зотов // Двигатели внутреннего сгорания. – 2009. – №2. – С. 78 - 83.
4. Алехин В.И. Методология расчета детали поршня на прочность в местах дислокации дефектов усадочного характера / В.И. Алехин, А.В. Белогуб, О.В. Акимов // Двигатели внутреннего сгорания. – 2010. – №2. – С. 62 – 65.

Bibliography (transliterated):

1. Akimov O.V. Primenenie metodov komp'yuterno-integririvannogo resursnogo projektirovaniya k litym detaljam DVS po kriteriju jekspluatacionnyh harakteristik na primere koleasa turbiny turbokompressora / O.V. Akimov, A.P. Marchenko, V.A. // Visnik nacional'nogo tehnicnogo universitetu «HPI», «Mashinovedenie i SAPR». – 2008. – №9. – S. 3-15.
2. Belogub A.V. Razrabotka i nauchnoe obosnovanie metodiki jeffektivnogo projektirovaniya porshnej dvigatelej vnutrennego sgoranija / A.A. Zotov, Ju.A. Gusev, A.V. Belogub // Dvigateli vnutrennego sgoranija. - 2007. - №1. - S. 38-43.
3. Zotov A.A. Razrabotka i nauchnoe obosnovanie metodicheskikh podhodov pri projektirovanii porshnej sovremennykh legkotoplivnykh dvigatelej vnutrennego sgoranija / A.A. Zotov // Dvigateli vnutrennego sgoranija. – 2009. - №2. - S. 78 - 83.
4. Aljohin V.I. Metodologija rascheta detali porshnja na prochnost' v mestah dislokacii defektov usadochnogo haraktera / V.I. Aljohin, A.V. Belogub, O.V. Akimov // Dvigateli vnutrennego sgoranija. – 2010. – №2. – S. 62 – 65.