

SYNTHESIS STRUCTURE OF FUNCTIONALLY-ORIENTED PROCESS OF CYLINDER LINERS MANUFACTURING BASED ON THE ANALYSIS OF MARINE DIESEL ENGINES WORK

A. V. Kostenko

Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russian Federation

In this paper is considered a way to solve the problem of increasing the quality parts of marine diesel engines based on the use of functionally-oriented technologies. The study of the operating conditions details is a distinctive feature functionally-oriented technologies from the traditional. The article analyzes the conditions of the stationary parts of marine diesel engines: the base frame, the crank case, the cylinder sleeve, the cylinder top. The loads acting on the parts, component malfunction and cause of component malfunction are given. It was revealed that the most stressed parts of the core is a marine diesel cylinder sleeve. It was shown that the functionally-oriented technology can significantly improve the quality of the manufacture of parts working in severe conditions, and more fully realize the potential of the details. In the work is shown and described total object-oriented model of the structure synthesis of the functionally -oriented process of manufacturing the cylinder sleeve. The design stages of technological processes of manufacture bushings is described - traditional and functionally -oriented. The synthesis stages of functionally-oriented technological process of the manufacturing the cylinder sleeve is given. Operational functions, acting on the sleeve are shown. The sleeve division process on functional elements is shown based on the depth of the division. It is indicated that in the next stage are assigned types and schemes of technological impacts. The paper notes the need to create three databases. The database №1 should contain a properties set of the sleeve functional elements, the base №2 - principles, methods and techniques of technological transformation, the base №3 - the scheme of technological impacts. The interaction databases is described. With the impact of technological schemes converts the product properties of the initial parameters in the final properties of the principles and methods.

These design features of functionally-oriented technologies have allowed to reveal their greatest advantage. They make it possible accurate selection process influences. They allow for the view, size and shape of the functional element, the value and type of loads acting on this element. This allows more fully use the potential of parts, improve the durability and reliability.

Keywords: marine diesel, functionally-oriented technology, cylinder sleeve, a functional element, an operational function, the technology impact.

For citation:

Kostenko, Andrey V. "Synthesis structure of functionally-oriented process of cylinder liners manufacturing based on the analysis of marine diesel engines work." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 9.1 (2017): 176–186. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-176-186.

УДК 621

СИНТЕЗ СТРУКТУРЫ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЦИЛИНДРОВЫХ ВТУЛОК НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РАБОТЫ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

А. В. Костенко

ФГБОУ ВО «Камчатский государственный технический университет»
Петропавловск-Камчатский, Российская Федерация

В работе рассмотрен способ решения задачи повышения качества деталей судовых дизелей на основе применения функционально-ориентированных технологий. Изучение условий эксплуатации деталей является отличительной особенностью функционально-ориентированных технологий от традиционных. В статье проанализированы условия работы неподвижных деталей судовых дизельных двигателей: фундаментной рамы, картера, втулки, крышки цилиндров. Приведены нагрузки, действующие

на детали, неисправности и причины неисправностей. Выявлено, что наиболее нагруженной деталью остова судового дизеля является цилиндровая втулка. Показано, что функционально-ориентированные технологии позволяют значительно повысить качество изготовления деталей, работающих в сложных эксплуатационных условиях, и более полно реализовать потенциал деталей. В работе приведена и описана общая объектно-ориентированная модель синтеза структуры функционально-ориентированного технологического процесса изготовления цилиндровой втулки. Описаны этапы проектирования технологических процессов изготовления втулок — традиционного и функционально-ориентированного. Представлены этапы синтеза функционально-ориентированного технологического процесса изготовления втулки: указаны эксплуатационные функции, действующие на втулку; показан процесс деления втулки на функциональные элементы, исходя из глубины деления. Указано, что на следующем этапе назначаются виды и схемы технологических воздействий. Кроме того, отмечена необходимость создания трех баз данных. База № 1 должна содержать набор свойств функциональных элементов втулки, база № 2 — принципы, методы и способы технологических преобразований, база № 3 — схемы технологических воздействий. Описано взаимодействие баз — с помощью схем технологического воздействия выполняется преобразование свойств изделия из начальных параметров в конечные свойства на основе принципов и методов.

Приведенные особенности проектирования функционально-ориентированных технологий позволили выявить их главное преимущество — возможность выбора технологических воздействий максимально точно, исходя из вида, размера и формы функционального элемента, а также величины и вида нагрузок, действующих на этот элемент. Все это позволяет более полно использовать потенциал деталей, а также повысить долговечность и надежность их работы.

Ключевые слова: дизель судовый, функционально-ориентированная технология, цилиндровая втулка, элемент функциональный, функция эксплуатационная, воздействие технологическое.

Для цитирования:

Костенко А. В. Синтез структуры функционально-ориентированного процесса изготовления цилиндровых втулок на основе анализа работы судовых дизелей / А. В. Костенко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 1. — С. 176–186. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-176-186.

Введение

Дизельные двигатели внутреннего сгорания (ДВС) составляют основу энергетических установок на современных морских и речных судах. От надежности работы ДВС зависит общая надежность всего судна, что существенно в условиях длительных рейсов. Кроме того, поломки судовых ДВС приводят не только к простоям судна и убыткам предприятия, но и к затратам на ремонт, величина которых может быть довольно значительной. В свою очередь, надежность ДВС определяется надежностью всех деталей, из которых они состоят [1]. Функционально-ориентированные технологии (ФОТ) позволяют эффективно решить задачу повышения качества деталей судовых дизелей. Для реализации при помощи технологических воздействий соответствующих эксплуатационных свойств деталей необходимо тщательное изучение эксплуатационных функций, поэтому изучение служебного назначения деталей и условий эксплуатации (эксплуатационных функций) является одной из главных задач при проектировании процессов изготовления деталей на базе ФОТ [2], [3].

Целью статьи является анализ конструкции судовых дизелей, выявление работающих в наиболее тяжелых условиях неподвижных деталей, к которым применимы методы ФОТ, составление объектно-ориентированной модели синтеза структуры функционально-ориентированного процесса.

Анализ конструкции судовых дизелей

Двигатель внутреннего сгорания представляет собой сложную тепловую машину, для реализации целевой функции которой необходимо большое число агрегатов, сборочных единиц и деталей. Каждая составляющая при работе выполняет определенную функцию, что сопровождается действием нагрузок на детали. На рис. 1 представлена схема, описывающая устройство дизельного ДВС.

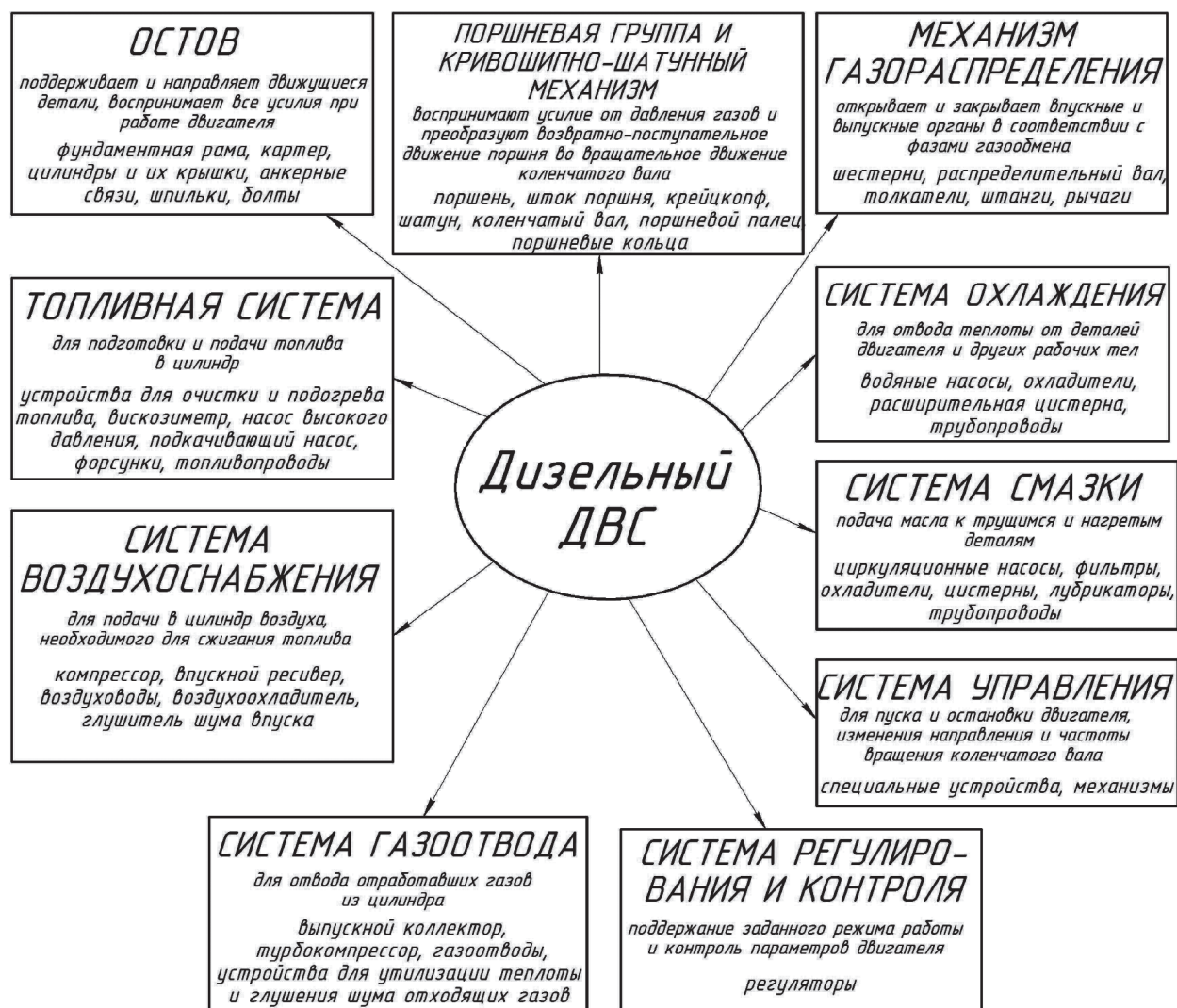


Рис. 1. Схема устройства дизельного ДВС

Из всех составляющих дизельного ДВС, представленных на рис. 1, наибольшим нагрузкам подвергаются детали поршневой группы, а также детали остова, кривошипно-шатунного механизма, механизма газораспределения, топливной системы и системы газоотвода. В данной работе будут детально рассмотрены детали остова с целью выявления деталей, работающих в наиболее сложных условиях эксплуатации.

Рассмотрим несколько работ, раскрывающих проблемы, которые возникают при решении задачи повышения надежности деталей судовых дизелей. В работе [4] исследованы случаи повреждения фундаментных рам судовых дизелей, имевших место при эксплуатации приемно-транспортных рефрижераторов. В работах [5] – [7] проанализированы неисправности узлов и деталей судовых дизелей, приведены примеры наиболее часто встречающихся неисправностей, указаны причины этих неисправностей. В работах [8] – [11] рассмотрены различные аспекты проблем эксплуатации цилиндровых втулок судовых дизелей. В частности, в работе [8] исследованы параметры, влияющие на долговечность цилиндровых втулок, указано, что наиболее распространенным видом отказа является образование трещин в галтели опорного бурта втулки; работа [9] посвящена изучению температурного нагружения втулок и способов его описания; в работе [10] рассмотрены особенности изнашивания в зоне «втулка цилиндра – верхнее компрессионное кольцо»; в работе [11] исследованы скорости изнашивания и тепловое состояние цилиндровых втулок

в районе продувочных окон. Отдельно следует отметить работу [3] в которой изложены основные положения функционально-ориентированных технологий.

Далее рассмотрены детали остова, указаны нагрузки, неисправности и их причины.

Фундаментная рама, являясь основанием для деталей остова, нагружена массой двигателя, силами давления газов, силами инерции поступательно движущихся и вращающихся масс. В табл. 1 приведены возможные неисправности фундаментной рамы и их причины.

Таблица 1

Неисправности фундаментной рамы и их причины

Возможные неисправности	Причины неисправностей
Трещины на постелях коренных подшипников, на плоскостях разъема, в силовых перегородках и в лапах для крепления	Перераспределение напряжений, механические повреждения
Повреждение поверхности под бурты вкладышей	Механические повреждения
Отклонение от прямолинейности, плоскостности опорных базовых поверхностей	Низкое качество обработки, разрушение опорных поверхностей или нарушение плотности прилегания опорных клиньев
Отклонение от соосности постелей под вкладыши коренных подшипников	Фреттинг-коррозия на поверхности постели, наклеп
Фреттинг-коррозия на постелях коренных подшипников	Микроскопическое возвратно-поступательное перемещение подшипников в постелях из-за ступенчатости постелей, повышенная влажность и наличие кислорода в картере

Картер подвергается растяжению от действия максимальной силы давления газов при отсутствии анкерных связей и сжатию усилием предварительной затяжки при наличии их, а также изгибу в крейцкопфных двигателях от действия нормального усилия. В табл. 2 приведены возможные неисправности картера и их причины.

Таблица 2

Неисправности картера и их причины

Возможные неисправности	Причины неисправностей
Нарушение опорной поверхности верхнего посадочного бурта, нижних посадочных поясов	Коррозия, механические повреждения
Сквозные трещины	Чрезмерные напряжения, механические повреждения
Трещины в опорных посадочных поясах	Чрезмерные напряжения, возникающие при работе дизеля
Риски, забоины на посадочных буртах	Механические повреждения
Местные очаговые разрушения на стенках полости охлаждения	Коррозия
Износ плоскостей разъема или наклеп на них	Неуравновешенность дизеля, длительная работа

Условия работы цилиндрических втулок определяются воздействием на них горячих газов, вызывающих большие механические и тепловые нагрузки; работой поршневых колец, приводящей к износу рабочей поверхности «зеркала»; дополнительному нагреву: коррозии и кавитационной эрозии со стороны охлаждающей воды. В табл. 3 приведены возможные неисправности цилиндрических втулок и их причины.

Таблица 3

Неисправности цилиндровых втулок и их причины

Возможные неисправности	Причины неисправностей
Трещины на втулке	Чрезмерные механические напряжения, резкое охлаждение
Откалывание верхнего посадочного бурта	Перекося втулки в блоке из-за низкой точности обработки, коррозии, попадания загрязнений под посадочную поверхность; отсутствие галтели в переходе опорного бурта вследствие чрезмерных сил при затяжке крышек цилиндров; свободное колебательное перемещение втулок в нижнем опорном бурту; неравномерное охлаждение
Износ и повреждение втулки со стороны охлаждения	Вибрационное разрушение от ударов поршня о втулку при пере-кладке, коррозия от действия охлаждающей воды; покрытие по-верхности смазочным материалом
Чрезмерный или неравномерный износ зеркала втулки	Нарушение центровки движения, монтажных зазоров, подачи то-плива в цилиндр; коррозия; наличие статического электричества и вибрации; большое число пусков, низкий уровень обслуживания и ремонтов
Заедание поршня в цилиндре	Прорыв газов из камеры сгорания и «сдувание» масляной пленки; вибрационные колебания и температурное расширение острых кро-мок выпускных окон
Микрорадиры или микроизносы зеркала цилиндра	Попадание воды со смазочным маслом; недостаточное количество масла; окисление масляной пленки кислородом свежего заряда и продуктами сгорания и ее разрыв
Задирки зеркала втулки цилиндра	Отслаивание покрытия поршневых колец поршня, деформация втулки вследствие тепловых или механических нагрузок; закоксо-вывание поршневых колец; недостаток смазочного материала
Натиры на зеркале втулки цилиндра в районе выпускных окон	Коробление втулки около перемычек окон вследствие перегрева; перекося поршня, нарушение пленки смазочного материала
Деформация втулки	Действие неравномерных монтажных сил, ударных импульсов во время работы; неравномерное температурное воздействие
Ступенчатая выработка в зоне оста-новки верхнего поршневого кольца в верхней мертвой точке	Естественное изнашивание, неудовлетворительное смазывание зеркала цилиндра; несоответствие металла колец и втулки; низкое качество распыла и сгорания топлива
Выкрашивание азотированного слоя, появление цветов побежалости и коррозии	Перегрев вследствие заедания поршня в цилиндре
Кавитационное выкрашивание ме-талла опорного бурта перпендику-лярно опорной поверхности	Пульсирующее воздействие воды, водяных паров и воздуха с высо-кими температурой и давлением через относительно малый зазор вследствие отвода охлаждающей воды ниже опорного бурта
Откалывание кромок продувочных и выпускных окон	Заедание кромок поршневых колец за кромки окон, деформация втулки; попадание посторонних предметов или кусочков поломан-ных поршневых колец
Чрезмерная коррозия наружной поверхности втулки	Низкое качество воды для охлаждения дизеля; резкая смена темпе-ратуры при переменных режимах

На крышки цилиндров действуют усилия от затяжки крышечных шпилек и переменного давления газов, а также высокая тепловая нагрузка. Крышки подвергаются воздействию больших механических и термических нагрузок. В табл. 4 приведены возможные неисправности крышек и их причины.

Таблица 4

Неисправности крышек и их причины

Возможные неисправности	Причины неисправностей
Трещины в дне крышки со стороны камеры сгорания	Температурные напряжения; работа без охлаждения крышек; неравномерная затяжка гаек
Трещины вокруг отверстия под форсунки или под пусковые клапаны	Установка холодной форсунки вместо дефектной: металл форсунки из-за нагрева расширяется и создает повышенные напряжения в теле крышки
Раковины, забоины, вмятины и риски на обрабатываемых поверхностях крышки	Механические повреждения
Смятие или другие повреждения посадочного бурта	Механические повреждения, прогары, коробление опорных поверхностей
Коррозия, выгорание и другие повреждения на опорном гнезде форсунки	Недостаточное охлаждение; низкое качество уплотнения

Причины неисправностей деталей, приведенных в таблицах, можно разделить условно на три группы: возникшие из-за нарушения технологии производства, при монтаже, при эксплуатации и техническом обслуживании. В табл. 1 – 4 не включен ряд неисправностей, возникающих в результате несоблюдения технологии производства или применения некачественных (несоответствующих) материалов, неправильной эксплуатации, монтажа. Анализ неисправностей и их причин позволяет уже на стадии проектирования технологического процесса изучить и учесть эксплуатационные особенности деталей, которые должны быть заложены в деталь для реализации ее потенциала.

Синтез структуры функционально-ориентированного технологического процесса

Функционально-ориентированные технологии направлены на значительное повышение качества изготовления деталей [1] – [3], [12]. Одно из главных отличий ФОТ от традиционных технологий заключается в скрупулезном исследовании условий эксплуатации деталей судовых агрегатов, что затем, на стадии реализации технологии, позволит более полно реализовывать потенциал деталей. Причем, в первую очередь, ФОТ рассчитаны на детали, работающие в сложных эксплуатационных условиях, подвергающиеся одновременно разным видам нагружения. Анализируя табл. 1 – 4, а также соответствующую литературу [4] – [11], можно сделать вывод о том, что цилиндровая втулка относится именно к таким деталям. Например, в верхней части втулки из-за более высоких температур и давлений износ больше. Однако наличие во втулках продувочных и выпускных окон может вносить изменения в вид кривых износа, как это показано на рис. 2 (повышенный износ в верхней части и увеличение износа в зоне окон).

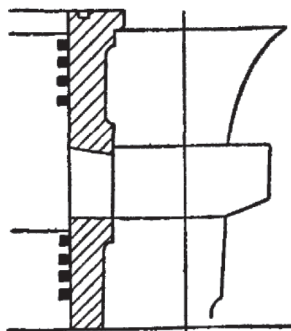


Рис. 2. Характер и величины кривой износа втулок



Рис. 3. Опорный бурт цилиндровой втулки двигателя типа ДКРН 74/160 [6]

Кроме того, для втулок цилиндров дизелей, установленных на судах Дальневосточного бассейна, наиболее распространенным видом отказа являлось образование трещин в галтели опорного бурта втулки (рис. 3) — в среднем 60 % от общего количества отказов [11]. Таким образом, на поверхности цилиндрической втулки есть места с различными видами и величинами нагрузок, что свидетельствует о необходимости изменения подхода в улучшении эксплуатационных свойств для более полной реализации потенциала втулки. Комплексное решение проблемы обеспечения надежности, долговечности деталей судовых агрегатов можно достигнуть путем применения ФОТ.

На рис. 4 представлена общая объектно-ориентированная модель синтеза структуры функционально-ориентированного технологического процесса (ФОП), направленного на обеспечение заданных, требуемых или предельных свойств функциональных элементов втулки и всей втулки в целом.

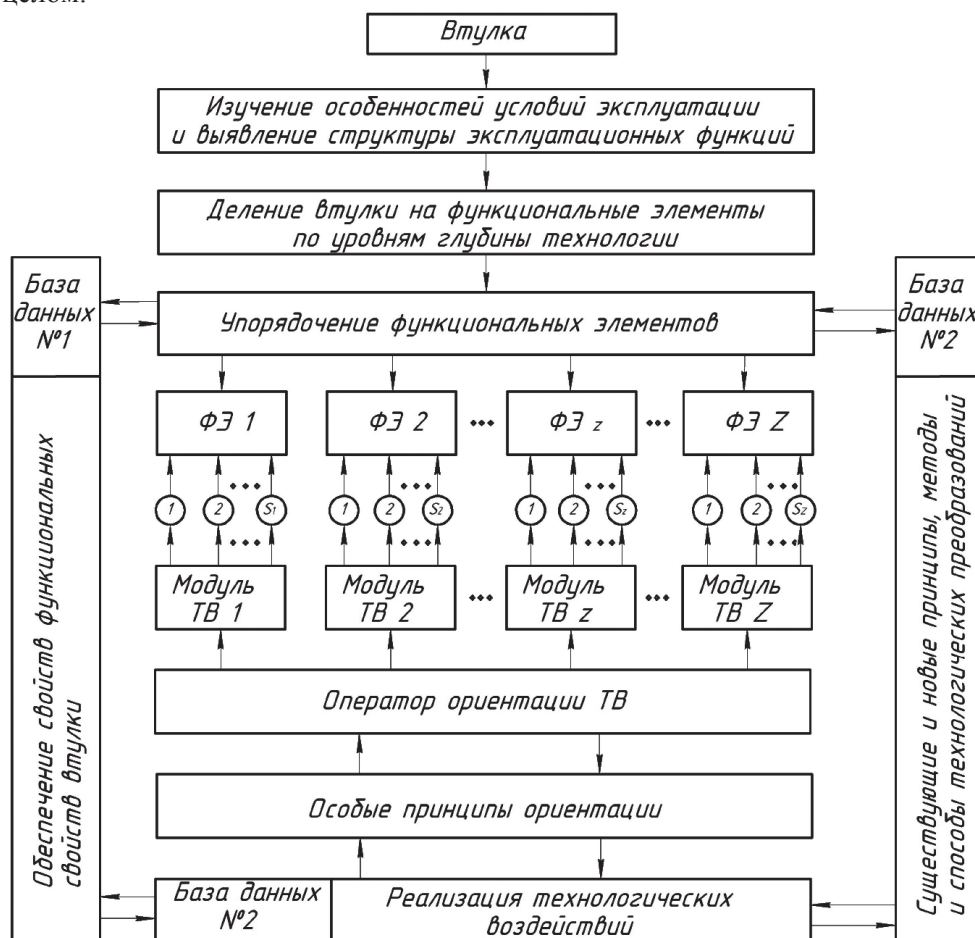


Рис. 4. Общая объектно-ориентированная модель синтеза структуры ФОП

Как видно из рис. 4, процесс синтеза структуры ФОП начинается с изучения особенностей эксплуатации изделия и выявления структуры эксплуатационных функций. Для цилиндрической втулки на уровне всей детали действуют [12]:

- напряжения растяжения и сжатия, возникающие от сил давления газов, а также из-за разности температур горячих газов и «холодной» охлаждающей жидкости;
- напряжения изгиба — от нормальной силы бокового давления поршня;
- напряжения сдвига — от сил затяжки шпилек;
- тепловая нагрузка — от температуры горячих газов;
- коррозионные процессы (коррозионно-кавитационные, кавитационно-эрозионные) — из-за взаимодействия с охлаждающей жидкостью.

Далее выполняется деление изделия на функциональные элементы по уровням глубины технологии: всего изделия в целом, частей изделия, составляющих частей изделия, зон, макрозон, микрозон, нанозон. Затем производится упорядочивание функциональных элементов изделия, которое может быть выполнено по различным параметрам для всего изделия в целом или / и для отдельных функциональных элементов: по пространственной форме, по геометрическим параметрам, по свойствам материала, по точности параметров, по эксплуатационным параметрам. В соответствии с этим множество функциональных элементов (ФЭ) делят на подмножества ФЭ1, ФЭ2, ..., ФЭz, ..., ФЭZ. И уже для каждого функционального элемента ФЭz формируется соответствующий модуль технологических воздействий $TB_1, TB_2, \dots, TB_z, \dots, TB_Z$. Модуль может содержать множество схем технологических воздействий $1, 2, \dots, s_z$.

Отметим в предлагаемой модели наличие трех баз данных. В базе № 1 содержится набор свойств функциональных элементов изделия, в базе № 2 накоплены принципы, методы и способы технологических преобразований, в базе № 3 — схемы технологических воздействий. С помощью схем технологического воздействия (база № 2) выполняется преобразование свойств изделия из начальных параметров в конечные свойства (база № 1) на основе принципов и методов (база № 2).

Базу № 1 можно представить как вектор $R^1 \in L$ требований и свойств детали, базу № 2 и базу № 3 — как векторы состояний технологической системы $R^2 \in M$ и $R^3 \in N$ (L, M, N — соответствующие области функциональных пространств). Т. е. первоначально генерируются возможные альтернативы технологических воздействий для обеспечения требуемых или заданных свойств деталей. Затем решается задача выбора альтернативы, которая будет наилучшей по соответствующим критериям. Таким образом, необходимо решение задачи многокритериальной оптимизации.

Традиционные технологические процессы изготовления втулок подразумевают наличие двух этапов: 1) деление втулки на исполнительные поверхности; 2) составление маршрута технологического процесса, придерживаясь общепринятой последовательности обеспечения свойств, полученных (или заданных) исполнительных поверхностей. Например, для втулки, показанной на рис. 5, а, обработка заготовки может состоять из следующих этапов (укрупнено): черновое растачивание и обтачивание; закалка, отпуск на воздухе; чистовое растачивание и обтачивание; сверление и фрезерование окон; азотирование внутренней поверхности; окончательное обтачивание; кадмирование наружной поверхности; хонингование внутренней поверхности втулки.

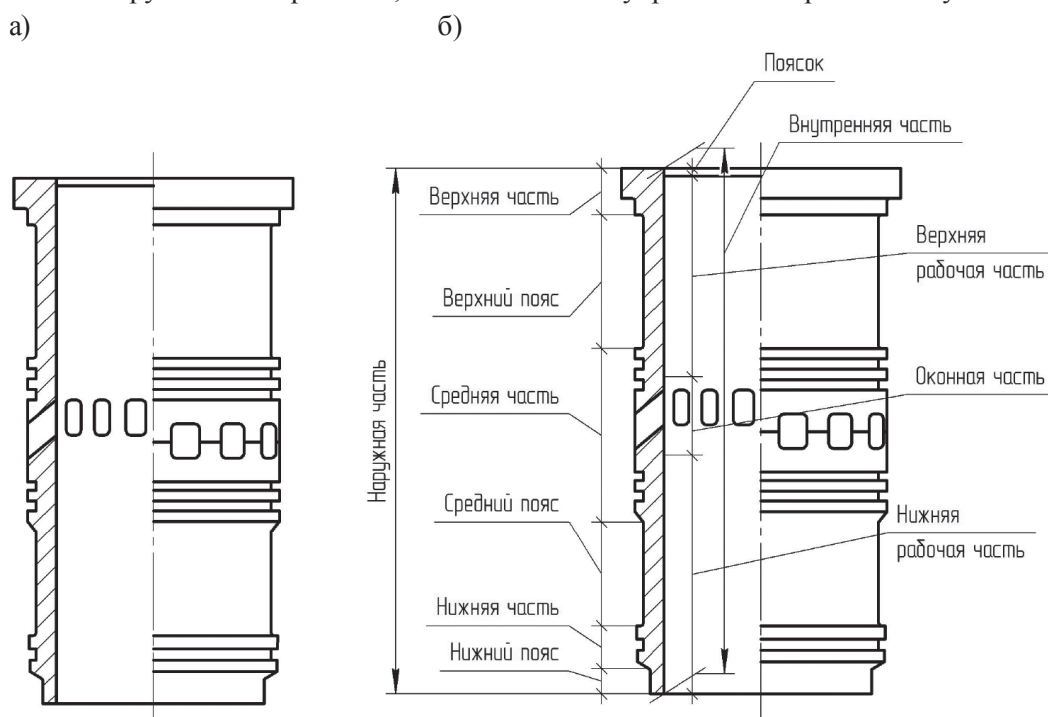


Рис. 5. Втулка двухтактного судового дизеля

Процесс синтеза функционально-ориентированного технологического процесса изготовления втулки выполняется в три этапа: 1) анализ эксплуатационных особенностей втулки; 2) деление втулки на функциональные элементы по уровням глубины технологии, создание структуры ФЭ; 3) составление схем технологического воздействия, разработка операций и др.

Ранее были показаны эксплуатационные особенности втулки: действующие силы, возникающие напряжения, тепловая нагрузка, коррозионные процессы, особенности изнашивания.

Рассмотрим деление втулки на функциональные элементы по уровням деления. Первый уровень соответствует уровню всей втулки, второй уровень — уровень частей втулки, третий — составляющие, четвертый — зоны. На рис. 5, б показана втулка, ее части (наружная, внутренняя) и составляющие. На рис. 6 представлен граф функциональных элементов цилиндрической втулки по уровням деления, в частности показано, что на 2-м уровне внутренняя часть (01.01) делится на четыре составляющих (01.01.01, 01.01.02, 01.01.03, 01.01.04), а наружная часть (01.02) втулки делится на шесть составляющих: 01.02.01, 01.02.02, 01.02.03, 01.02.04, 01.02.05, 01.02.06.

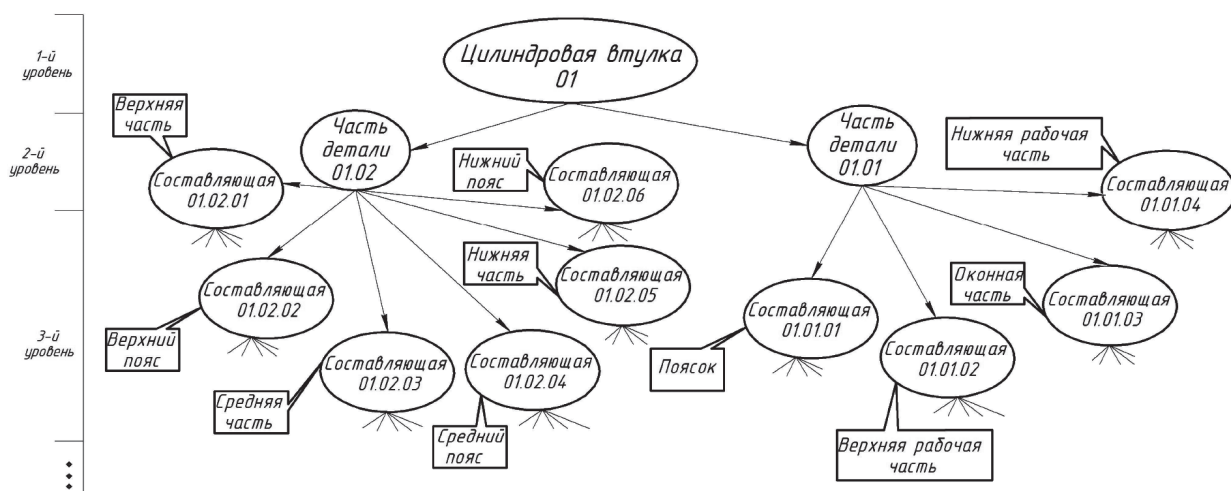


Рис. 6. Деление втулки на функциональные элементы на 1-, 2- и 3-м уровнях

При дальнейшем выполнении деления составляющие функциональные элементы делятся на зоны. На рис. 7 показано, что составляющий функциональный элемент 01.02.01 части 01.02 детали 01 делится на две зоны: 01.02.01.01, 01.02.01.02. Эти зоны в описательном виде можно представить следующим образом: верхняя поверхность (полоска), нижняя поверхность (полоска).

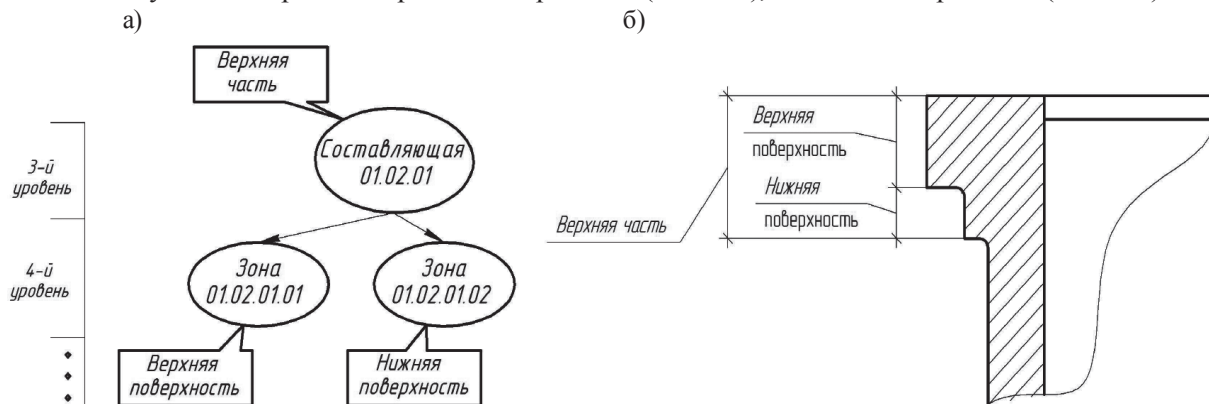


Рис. 7. Граф функциональных элементов составляющей «Верхняя часть» по уровням деления (а) и схема расположения зон на составляющей (б)

При необходимости и соответствующей возможности производства деление можно продолжать еще глубже, вплоть до наноуровня. Однако это не является обязательным, необходимо

ориентироваться на вид элемента, его назначение и способ обработки. Например, для черновой обработки втулки вполне достаточно рассматривать деталь на 1- или 2-м уровнях. При обработке средней части необходимо учитывать особенности обработки окон, поясков, галтелей и др. Значит, уровень детализации должен быть не меньше 4-го.

На третьем этапе после деления детали на функциональные элементы и составления структуры этих элементов разрабатываются виды и схемы технологического воздействия.

Заключение

Функционально-ориентированные технологии позволяют существенно повысить качество изготовления деталей. Это достигается за счет более детального рассмотрения условий работы как всей детали в целом, так и ее функциональных элементов, на которые, в зависимости от глубины или детализации, делится деталь. К каждому из выделенных элементов применяются схемы и виды технологических воздействий, реализация которых позволяет более полно использовать потенциал детали, повысить долговечность и надежность ее работы. Наиболее рационально использовать ФОТ для деталей, работающих в наиболее тяжелых условиях.

Выполненный в работе анализ работы неподвижных деталей дизельного двигателя выявил, что наиболее нагруженной как с точки зрения величины, так и характера нагрузки, является цилиндровая втулка. В частности, на поверхности цилиндровой втулки есть места с различными видами и величинами нагрузок, поэтому именно к ней необходимо применять функционально-ориентированные технологические режимы и способы обработки.

В работе приведена общая объектно-ориентированная модель синтеза структуры ФОП, иллюстрирующая три этапа синтеза структуры функционально-ориентированного технологического процесса. На первом этапе выполняется анализ эксплуатационных особенностей втулки, т. е. на основе анализа служебного назначения, условий работы и характерных неисправностей выявляется структура эксплуатационных функций. На втором этапе выполняется деление втулки на функциональные элементы по уровням глубины технологии: втулки в целом, частей втулки, составляющих частей втулки, зон, макрозон, микрозон, нанозон. На третьем этапе составляются схемы технологического воздействия, разработка операций и др.

Приведенные в работе особенности проектирования функционально-ориентированных технологий позволяют выявить их главное преимущество — возможность выбора технологических воздействий максимально точно, исходя из вида, размера и формы функционального элемента, а также величины и вида нагрузок, действующих на этот элемент.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов А. Н. Применение функционально-ориентированных технологий при производстве судовых двигателей внутреннего сгорания / А. Н. Михайлов, А. В. Костенко, А. В. Лукичев // Вестник Камчатского государственного технического университета. — 2015. — № 33. — С. 11–14. DOI: 10.17217/2079-0333-2015-33-11-14.
2. Михайлов А. Н. Общие принципы повышения эксплуатационных свойств деталей судовых агрегатов на базе функционально-ориентированных технологий / А. Н. Михайлов, А. В. Костенко // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. — 2015. — № 6 (314). — С. 82–87.
3. Михайлов А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения: монография / А. Н. Михайлов. — Донецк: Изд-во ДонНТУ, 2009. — 346 с.
4. Соболенко А. Н. Исследование причин повреждений рамовых подшипников при вибрации и деформации упругих систем фундаментных рам ВДГ / А. Н. Соболенко // Научные труды Дальневосточного государственного технического рыбохозяйственного университета. — 2015. — Т. 35. — С. 97–102.
5. Крылов Е. И. Ремонт дизелей морских судов: справочник / Е. И. Крылов. — М.: Транспорт, 1987. — 302 с.
6. Судновий механік: довідник: у 3-х т. / за ред. А. А. Фока, д-р. техн. наук, суд. ст. механіка. — Одеса: Фенікс, 2008. — Т. 1. — 1036 с. (рос. мовою).
7. Возницкий И. В. Повреждения и поломки дизелей. Примеры и анализ причин / И. В. Возницкий. — 2-е изд., перераб. — СПб.: Моркнига, 2006. — 116 с.

8. Макаренков А. С. Повышение долговечности втулок цилиндров судовых дизелей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.08.04 / А. С. Макаренков. — Владивосток, 2002. — 23 с.
9. Зеббар Джаллел. Расчет температурного состояния цилиндрической втулки судового дизеля/ Зеббар Джаллел, Б.С. Сатжанов // Вестник Астраханского государственного технического университета. — Серия: Морская техника и технология. — 2009. — № 1. — С. 151–155.
10. Пахомова Н. В. Износ втулки цилиндра и ее кавитационная стойкость / Н. В. Пахомова, А. В. Воробьев // Вестник Астраханского государственного технического университета. — Серия: Морская техника и технология. — 2014. — № 4. — С. 86–93.
11. Кучеров В. Н. Исследование теплового состояния и модернизация цилиндровых втулок двухтактного среднеоборотного двигателя с вращающимся поршнем / В. Н. Кучеров // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 4 (38). — С. 176–183. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-176-183.
12. Костенко А. В. Особенности синтеза технологических процессов деталей судовых дизелей / А. В. Костенко // Прогресивні технології і системи машинобудування. — 2016. — № 1 (52). — С. 75–83.

REFERENCES

1. Mikhaylov, A. N., A. V. Kostenko, and A. V. Lukichov. “Application of function-oriented technologies in the manufacturing of marine internal-combustion engines.” *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* 33 (2015): 11–14. DOI: 10.17217/2079-0333-2015-33-11-14.
2. Mikhaylov, A. N., and A. V. Kostenko. “General principles increase of operational properties details of ship unit on the basis functional-oriented technology.” *Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii* 6(314) (2015): 82–87.
3. Mikhailov, A. N. *Osnovy sinteza funktsional'no-orientirovannykh tekhnologii mashinostroeniya: monografiya*. Donetsk: DonNTU, 2009.
4. Sobolenko, A. N. “The investigation of reasons of bedplate bearing damages when vibration and deformations are acting on elastic system of auxiliary engine bedplates.” *Nauchnye trudy Dal'nevostochnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo rybokhozyaistvennogo universiteta* 35 (2015): 97–102.
5. Krylov, E. I. *Remont dizelei morskikh sudov: spravochnik*. M.: Transport, 1987.
6. Foka, A. A., ed. *Sudnovii mekhanik: dovidnik*. Odesa: Feniks, 2008. Vol. 1.
7. Voznitskii, I. V. *Povrezhdeniya i polomki dizelei. Primery i analiz prichin*. 2-d ed. SPb.: Morkniga, 2006.
8. Makarenkov, A. S. *Povyshenie dolgovechnosti vtulok cilindrov sudovykh dizelej*. Abstract of PhD diss. (Tech.). Vladivostok, 2002.
9. Zebbar Gallel, and B. S. Satzhanov. “Account of temperatute condition of a cylinders cartridge of marine diesel engine.” *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies* 1 (2009): 151–155.
10. Pakhomova, Nadezhda Vladimirovna, and Alexander Valentinovich Vorobyov. “Wear of cylinder liner and its cavitation resistance.” *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies* 4 (2014): 86–93.
11. Kucherov, V. N. “Investigation heat load and modernization cylinder liner two stroke medium speed diesel engine with rotating piston.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 4(38) (2016): 176–183. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-176-183.
12. Kostenko, A. “The features of the technological process synthesis of the details of marine diesel.” *Progressivnye tekhnologii i sistemy mashinostroeniya* 1(52) (2016): 75–83.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Костенко Андрей Викторович —
кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Камчатский государственный
технический университет»
683003, Российская Федерация,
Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35
e-mail: andr13kost@list.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Kostenko, Andrey V. —
PhD, associate professor
Kamchatka State Technical University
35 Klyuchevskaya Str.,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003,
Russian Federation
e-mail: andr13kost@list.ru

Статья поступила в редакцию 23 ноября 2016 г.
Received: November 23, 2016.