

УДК 621

¹А. В. Костенко, канд. техн. наук, ²А. Н. Михайлов, д-р техн. наук, проф.,²А. В. Лукичев, канд. техн. наук¹Камчатский государственный технический университет, Россия, г. Петропавловск-Камчатский²Донецкий национальный технический университет, ДНРE-mail: andr13kost@list.ru, mntk21@mail.ru, a_lukichov@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ СУДОВЫХ АГРЕГАТОВ

Определены особенности технологических воздействий для деталей судовых агрегатов на основе функционально-ориентированного подхода. Приведена объектно-ориентированная модель синтеза структуры функционально-ориентированного технологического процесса. Приведена классификация и способ кодировки методов отделочно-упрочняющей обработки, применяемых для деталей судовых агрегатов. Показан универсализированный подход к созданию технологического процесса отделочно-упрочняющей обработки методом графов на основе функционально-ориентированного подхода.

Ключевые слова: агрегат судовой, функционально-ориентированная технология, отделочно-упрочняющая обработка, структура, граф технологического процесса.

A. V. Kostenko, A. N. Mikhaylov, A. V. Lukichov

FEATURES OF THE FUNCTIONALLY-ORIENTED FINISHING AND STRENGTHENING TREATMENT STRUCTURE OF THE SHIP'S ASSEMBLIES DETAILS

The features of technological impacts for details of ship assemblies are determined on the basis of a function-oriented approach. an object-oriented model for the synthesis of the structure of a function-oriented process is presented. a classification and coding method for finishing and strengthening treatment used for parts of ship assemblies are given. a universalized approach to the creation of the technological process of finishing and strengthening treatment by the graph method based on a function-oriented approach is shown.

Keywords: ship unit, function-oriented technology, finishing-strengthening treatment, structure, graph of the technological process.

Введение. К конструкции дизелей предъявляются новые требования, связанные не только с совершенствованием конструкций, повышением мощности и надежности, но и с изменяющимся подходом к обслуживанию и ремонту, например, увеличивающийся интерес к созданию агрегатов с заданными параметрами качества, в том числе, агрегатов, имеющих единый ресурс составляющих частей.

Решение таких задач напрямую связано с развитием существующих и созданием новых технологических процессов, в частности, на основе функционально-ориентированного подхода (ФОП).

Различные методы отделочно-упрочняющей обработки (ОУО) самым широким образом используются при производстве деталей судовых дизелей и других агрегатов, поэтому актуальной является задача не только совершенствования самих методов, но и разработки методологии с целью их использования на основе ФОП.

Целью статьи является универсализация технологического процесса ОУО методом графов.

Задачи исследования:

– определить особенности выполнения ТВ для деталей судовых агрегатов на основе ФОП;

- рассмотреть объектно-ориентированную модель синтеза структуры технологического процесса;
- привести классификацию и кодировку методов ОУО, применяемых для деталей судовых агрегатов;
- рассмотреть универсализированный подход к созданию технологического процесса ОУО методом графов на основе ФОП.

Основная часть.

Технологический процесс преобразования исходных параметров заготовки в заданные параметры детали осуществляется посредством потоков технологических воздействий (ТВ) материального, энергетического и информационного типов. В связи с этим ТВ являются в функционально-ориентированных технологиях (ФОТ) основным средством в процессе технологических преобразований заготовки в деталь с требуемым набором параметров.

Поэтому вопрос о формировании ТВ в зависимости от особенностей эксплуатации и обеспечения свойств деталей судовых агрегатов актуален в технологии машиностроения.

Поскольку практически все разрушения деталей начинаются с поверхности [1], то формирование требуемых параметров качества поверхностного слоя (ПС) является одной из наиважнейших задач технологии. Вид разрушения поверхности зависит от условий работы детали – действий эксплуатационных функций. Точный учет этих функций является залогом успешного решения задачи по изготовлению деталей с заданными параметрами качества.

Процесс создания и реализации необходимых схем ТВ в ФОТ должен основываться на анализе взаимосвязи действующих на деталь эксплуатационных функций, реализации ТВ и обеспечении требуемых свойств детали [2]. ОУО представляет собой широкий спектр методов получения ПС с заданными параметрами для деталей различных судовых агрегатов, в том числе и судовых дизелей. Поэтому необходимо структурировать ТВ ОУО, применяемые для деталей судовых агрегатов, что позволит разработать в дальнейшем методологию использования методов ОУО на основе ФОП.

Наличие большого количества альтернативных методов получения заданных характеристик ПС порождает проблему выбора такого метода, который наиболее точно подходил для реализации конкретных требований к параметрам ПС детали, как набора исполнительных поверхностей. С учетом особенностей ФОТ, где деталь представлена совокупностью функциональных элементов на различных уровнях глубины технологии (детали в целом, частей, составляющих частей, зон, макрозон, микрозон, нанозон) проблема выбора метода ОУО становится еще более актуальной.

Любое ТВ можно представить в виде множества кортежей, каждый из которых реализуется в заданную точку пространства детали. В связи с этим, ТВ, реализуемые на функциональный элемент (ФЭ) детали, можно записать множеством кортежей следующего вида [3]

$$ТВ = m_1, e_1, i_1, m_2, e_2, i_2, \dots, m_n, e_n, i_n, \quad (1)$$

где m_k, e_k, i_k – трехэлементный кортеж элементарного ТВ средств обработки материального, энергетического и информационного типов.

Для выполнения требуемых ТВ на ФЭ детали в ФОТ множество кортежей ТВ необходимо упорядочить. То есть, необходимо направить заданное количество ТВ в необходимые точки пространства ФЭ детали. Упорядочивание элементов множества выполняется на базе схем ТВ и реализации принципов их ориентации.

Параметры элементов каждого кортежа определяются из условия требуемого преобразования физико-механических свойств материала ФЭ детали в заданной точке пространства:

$$C_H : \varphi_k \rightarrow C_k \tag{2}$$

где C_H – начальные свойства точки к пространства ФЭ изделия;

C_k – конечные свойства точки к пространства ФЭ изделия;

φ_k – функция преобразования начальных свойств точки k пространства ФЭ изделия в конечные свойства под действием элементарного ТВ материального, энергетического и информационного типов.

Для каждой детали должно реализовываться свое множество ТВ, орудий и средств обработки, с учетом особенностей ТВ, реализующихся на базе ФОП.

Выделим особенности выполнения ТВ для деталей судовых агрегатов:

1) ТВ реализуется в требуемом объеме и в необходимом пространстве (поверхность) детали; при этом существуют как традиционные, так и специальные подходы, учитывающие особенности геометрии деталей или обеспечивающие специфические свойства деталей или узлов. Актуальным остается направление исследований, занимающееся поиском новых методов и подходов с целью обеспечения качественно новой совокупности свойств и мерой полезности;

2) зависимость ТВ от служебного назначения и действия эксплуатационных функций. Отметим, что данная особенность предполагает обеспечение изменения свойств детали во времени и пространстве, требуемого ресурса и полной адаптации свойств детали требованиям эксплуатации судовых агрегатов;

3) формирование ТВ осуществляется в зависимости от уровня технологии, что подразумевает возможность реализации ТВ на уровне всего изделия, частей, составляющих, зон, макрозон, микрозон и нанозон изделия;

4) требования к высокой точности ТВ, которые увеличиваются с углублением уровня технологии;

5) ориентация ТВ на базе особых принципов [4].

Для ряда методов ОУО, например, напыление, реализация ТВ существенным образом зависит от перемещения орудий и средств обработки в пространстве. Выполнение заданных ТВ на ФЭ в этом случае реализуется посредством кинематики. На рис. 1 представлена принципиальная схема кинематики ТВ, на базе которой могут быть составлены различные варианты кинематической структуры ТВ.

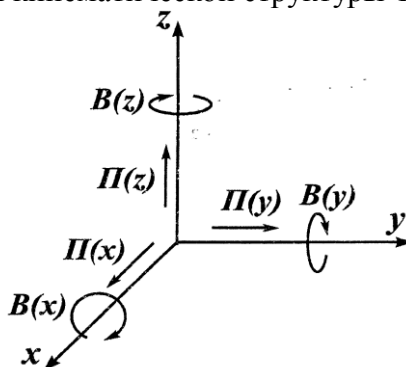


Рисунок 1. Принципиальная схема кинематики ТВ

По структуре кинематики, ТВ могут быть основаны [4]:

- на применении элементарных прямолинейных движений

$$Str_1 = \Pi \ x, y, z \ , \quad (3)$$

где $\Pi(x, y, z)$ – группа прямолинейных движений в системе координат x, y, z технологического обеспечения;

- на применении элементарных вращательных движений

$$Str_2 = B \ x, y, z \ , \quad (4)$$

где $B(x, y, z)$ – группа вращательных движений в системе координат x, y, z технологического обеспечения;

- на применении сложных движений

$$Str_3 = \Pi \ x, y, z \ \wedge \ B \ x, y, z \ , \quad (5)$$

- на применении комбинированных движений

$$Str_4 = Str_1 \ \wedge \ Str_2 \ \wedge \ Str_3 . \quad (6)$$

На базе структурных вариантов кинематики (3-6) формируются необходимые ТВ для их реализации в необходимую точку пространства ФЭ детали.

Упорядочивание множества ТВ в ФОТ производится одновременно с формированием структуры ФЭ детали по следующим параметрам: геометрическая форма, свойства материала, точность, параметры качества, эксплуатационные свойства.

Указанные выше особенности синтеза структуры технологического процесса на базе ФОП позволяет применить объектную ориентацию для решения всего круга проблем, связанных с проектированием сложных технологических систем.

Объектно-ориентированное проектирование, собственно, и позволяет рассматривать синтез структуры технологического процесса на базе ФОП, как совокупность взаимодействующих друг с другом объектов.

Под объектом понимают информационную структуру в виде совокупности атрибутов (свойств, параметров, характеристик) и совокупности методов (действий, процедур, операций). Каждый объект является представителем некоторого класса однотипных объектов, описывающего общие свойства входящих в него объектов. Описание класса включает: состав атрибутов, для каждого из которых указаны тип данных и область значений, и совокупность методов, общих для всех объектов класса. Конкретный объект, называемый экземпляром, определяется конкретными значениями атрибутов. [5]

Объектно-ориентированный подход наиболее соответствует реальному процессу разработки технологических систем, при этом является итеративным и позволяет вносить изменения в уже разработанные и отлаженные компоненты системы, что, кстати, является особенностью ФОТ.

Исходя из этого, на рис. 2 представлена объектно-ориентированная модель синтеза структуры функционально-ориентированного технологического процесса (ФОТП), направленного на обеспечение заданных, требуемых или предельных свойств ФЭ детали и всей детали в целом [2,6].

Отметим в предлагаемой модели наличие трех баз данных [6]. В базе №1 содержится набор свойств ФЭ изделия, в базе №2 накоплены принципы, методы и способы технологических преобразований, в базе №3 – схемы ТВ. С помощью схем ТВ (база №3) выполняется преобразование свойств изделия из начальных параметров в конечные свойства (база №1) на основе принципов и методов (база №2).

База №2 должна содержать весь спектр методов ОУО для групп деталей судовых агрегатов.

Основные требования к базе №2 следующие:

- охват всех групп методов ОУО;
- учет видов обрабатываемых поверхностей;
- учет применяемого оборудования и инструментов;
- включать в характеристику методов конечный результат их применения, что позволит при анализе отбирать различные по технологии методы, но формирующие одинаковые показатели качества деталей (ПС деталей);
- возможность управлять эксплуатационными свойствами деталей;
- возможность применения методов для всех уровней глубины технологии в соответствии с особенностями ФОТ.

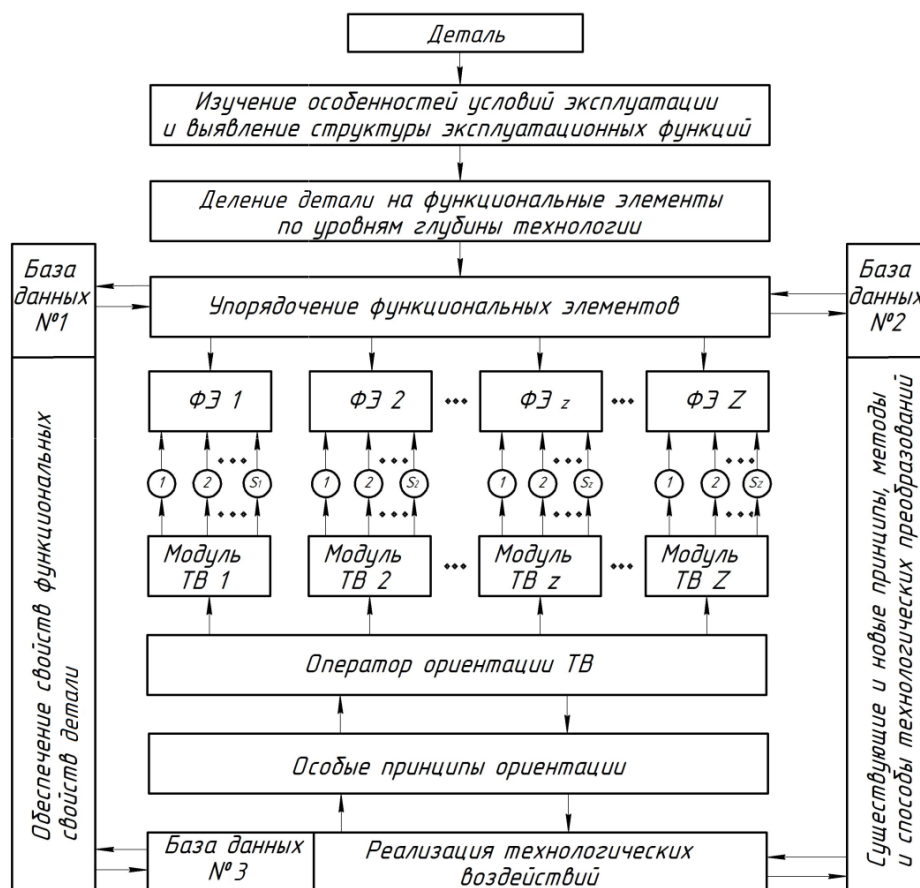


Рисунок 2. Объектно-ориентированная модель синтеза структуры ФОТП

Т.о. для использования в ФОТП изготовления деталей судовых агрегатов важна классификация методов ОУО, представленная в работе [7], в соответствии с которой все методы делятся на шесть классов.

Каждый метод или способ в базе должен быть однозначно определен цифровым обозначением:

$$A.B.CD ,$$

где *A* – класс ОУО; *B* – подкласс ОУО; *CD* – индивидуальный номер метода.

На рис. 3 показана кодировка и классификация методов ОУО для проектирования технологических процессов изготовления деталей судовых агрегатов на основе ФОП.

Полная расшифровка классификации методов ОУО приведена в [7].

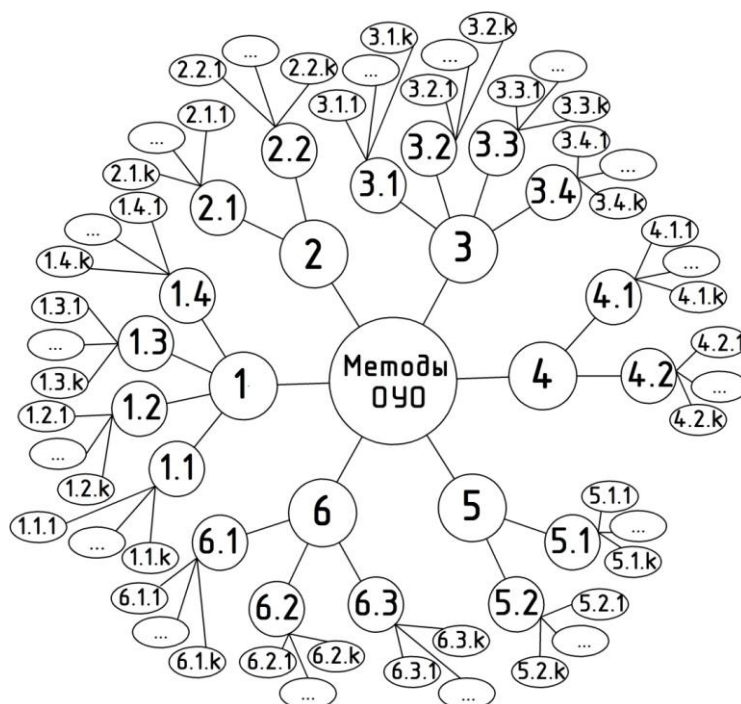


Рис. 3. Кодировка и классификация методов ОУО

Ниже, для иллюстрации, показана только часть методов ОУО, используемых при производстве деталей судовых агрегатов или представляющих перспективу для использования в судовом машиностроении, с указанием их цифрового обозначения и наименования:

1. Упрочнение с образованием пленки на поверхности:

1.1. Осаждение химической реакцией: сульфидирование (1.1.01); фосфатирование (1.1.02).

1.2. Электролитическое осаждение: хромирование (1.2.01); никелирование (1.2.02).

1.3. Напыление износостойких соединений: плазменное напыление порошковых материалов (1.3.01); детонационное напыление (1.3.02); электродуговое напыление (1.3.03); лазерное напыление (1.3.04).

2. Упрочнение с изменением химического состава поверхностного слоя металла:

2.1. Диффузионное насыщение: цианирование (2.1.01); азотирование (2.1.02).

2.2. Химическое и физико-химическое воздействие: химическая обработка (2.2.01); электроискровое легирование (2.2.02).

3. С изменением структуры поверхностного слоя:

3.1. Физико-термическая обработка: лазерная закалка (3.1.01); плазменная закалка (3.1.02).

3.2. Электрофизическая обработка: электроконтактная (3.2.01); ультразвуковая (3.2.02).

3.3. Механическая: фрикционно-упрочняющая обработка (3.3.01); дробеструйная (3.3.02).

3.4. Наплавка легированным элементом: электрической дугой (3.4.01); плазмой (3.4.02); лазерным лучом (3.4.03).

4. С изменением энергетического запаса поверхностного слоя

- 4.1. Обработка в магнитном поле: в импульсном магнитном поле (4.1.01); термомагнитная (4.1.02).
- 4.2. Обработка в электрическом поле: механическая обработка в электростатическом поле (4.2.01).
- 5. С изменением структуры по всему объему материала:
 - 5.1. Термообработка при положительных температурах: закалка (5.1.01); отпуск (5.1.02); улучшение (5.1.03); закалка ТВЧ (5.1.04); нормализация (5.1.05).
 - 5.2. Криогенная обработка: закалка с обработкой холодом (5.2.01); термоциклирование (5.2.02).
- 6. С изменением микрогеометрии поверхности и наклепом:
 - 6.1. Обработка резанием: точение (6.1.01); шлифование (6.1.02); микрорезание (6.1.03).
 - 6.2. Пластическое деформирование: накатывание, обкатывание, раскатывание (6.2.01); выглаживание (6.2.02); вибронкатывание, вибровыглаживание (6.2.03); формообразующая обработка пластическим деформированием (6.2.04); виброударное упрочнение (6.2.05).

На базе приведенной классификации методов и способов ОУО создается набор ТВ, совокупное множество которых воздействуют на заготовку, преобразуя свойства заготовки в заданные свойства деталей судовых агрегатов:

$$TB = TB_1, TB_2, \dots, TB_k . \quad (7)$$

Отдельные ТВ, преобразующие исходные свойства ФЭ заготовки в выходные параметры качества ФЭ деталей судовых агрегатов, необходимо назначать исходя из универсального подхода к созданию ФОТП.

В соответствии с иерархической структурой детали по глубине технологии будет существовать иерархическая структура технологического процесса. ТВ, входящие в эту структуру, в свою очередь, также характеризуются внутренней структурой, которая определяет внутреннюю организацию, порядок и построение ТВ на ФЭ детали:

$$Str_{TB} = T, A , \quad (8)$$

где Str_{TB} – структура ТП;
 T – множество операций;
 A – множество отношений.

Для математического описания протекания технологических процессов и отдельных технологических операций удобно использовать математический аппарат, основанный на использовании основных положений теорий множеств и графов.

На основе ФОП рассмотрим универсализированный подход к созданию технологического процесса ОУО методом графов. Поскольку для всего набора методов ОУО создание универсального графа является весьма сложной задачей, т.к. для каждой группы методов есть свои специфические особенности, то приведем пример разработки графа для напыления покрытий.

В связи с этим, представим технологический процесс напыления в виде графа $G(T, A)$: T – это множество вершин графа – элементы (операции) ТП; A – упорядоченные пары вершин – отношения между элементами (операциями). В общем случае теории множеств отношения между вершинами могут быть ориентированными и неориенти-

рованными. В графе ТП отношения являются ориентированными, что изображается в виде дуг со стрелками и означает, что начальная вершина каждой последующей цепи маршрута должна совпадать с конечной вершиной предыдущей дуги, т.е. «движение» возможно только в направлении стрелки.

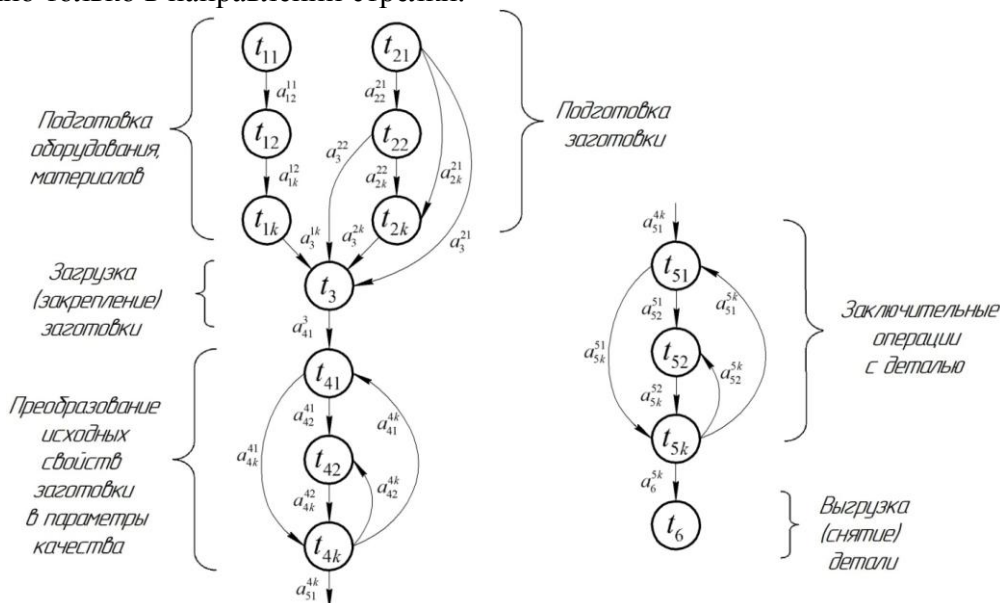


Рисунок 4. Универсализированный граф ТП напыления на основе ФОП.

На рис. 4 представлен универсализированный граф ТП напыления на основе ФОП, при этом: t_{ij} – вершины графа – возможные операции; a_{ij} – дуги (ориентированные ребра) отношения между операциями технологического процесса ОУО.

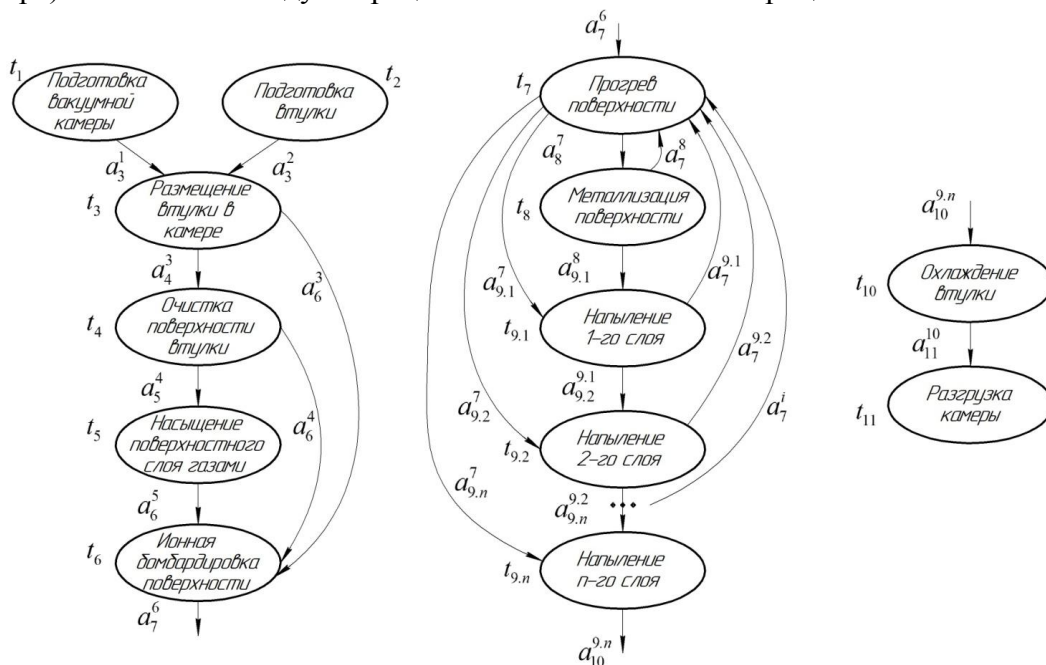


Рисунок 5. Структурный вариант операций ионно-плазменного напыления внутренней поверхности цилиндровой втулки в вакуумной ионно-плазменной установке

Применение технологии ионно-плазменного напыления позволит сформировать на внутренней поверхности цилиндрической втулки ПС с необходимыми параметрами, обеспечивающими соответствие особенностям интенсивности изнашивания материала, которая (интенсивность), как известно, в верхней части втулки более высокая.

Приведем структурный вариант (рис. 5) полного состава операций ТП ионно-плазменного напыления внутренней поверхности цилиндрической втулки в вакуумной ионно-плазменной установке.

Таким образом, используя универсализированный подход к созданию ТП ОУО можно синтезировать различные варианты ТП для методов ОУО, представленных выше по классификационной схеме (рис. 3).

Заключение.

Разработанный граф ТП напыления на основе ФОРП позволяет создавать ТП изготовления деталей судовых агрегатов на основе универсального подхода. Используя такой подход можно синтезировать различные структурные варианты функционально-ориентированных методов ОУО, что позволит создавать детали с заданными свойствами ПС, в том числе с заданным единым ресурсом, увязанным с ресурсом агрегата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инженерия поверхности деталей / Кол. авт.; под ред. А. Г. Суслова. – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.
2. Михайлов, А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения / А. Н. Михайлов. – Донецк : ДонНТУ, 2009. – 346 с.
3. Михайлов, А. Н. Структура функционально-ориентированного процесса / А.Н. Михайлов, А.В. Костенко // Механики XXI века. – 2018. - №17. – С. 206-210.
4. 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
5. Силич, В. А. Проектирование сложной системы на основе объектно-ориентированного подхода / В. А. Силич, М. П. Силич // Известия Томского политехнического университета. – 2003. – Т. 306, №2,. – С. 99-103.
6. Костенко, А. В. Синтез структуры функционально-ориентированного процесса изготовления цилиндрических 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.
7. Улашкин, А. П. Выбор отделочно-упрочняющих методов обработки (для повышения износостойкости деталей машин) / А. П. Улашкин. – Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 1998. – 103 с.

Поступила в редколлегию 19.01.2019 г.