

¹А. Н. Михайлов, д-р техн. наук, проф., ²Б. С. Котляров, к.т.н.

³В. Б. Котляров, инженер, ²С. Б. Котляров, инженер

¹ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР

²Ялта, Россия, ³Москва, Россия

Тел: +7(988)-55-40-021; +7(985) 021-79-06, +7(964) 70-45-362;

E-mail: tm@fimm.donntu.org; boris.kotlyarov@mail.ru; velidarkotlarov@mail.ru

К ВОПРОСУ СИНТЕЗА СТРУКТУРНЫХ СХЕМ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ С ПЛЕНОЧНЫМИ ОБРАЗОВАНИЯМИ МЕТОДАМИ ФОТ

В настоящей работе описаны результаты проведенных исследований вопросов формирования поверхностных свойств деталей, заданных согласно требованиям КД - конструкторской документации, достигаемые с применением функционально-ориентированных технологических технологий (ФОТ) путем создания пленочных образований. Способы формирования различных свойств деталей с помощью пленочных образований на поверхности термохимической, электрохимической, физико-химической, ионно-плазменной, лазерной и иными видами обработки обеспечивается повышение механических, физических, химических, коррозионных, триботехнических и иных характеристик деталей в эксплуатации. Установлен алгоритм поиска оптимальных схем формирования эксплуатационных свойств функционально значимых поверхностей, относящихся к частям, участкам, зонам, микрозонам и нанозонам деталей, на основе итеративного рекуррентного выбора оптимального способа функционально-ориентированного технологического воздействия из определенного множества ФОТ.

Ключевые слова: деталь, часть, участок, зона, функционально-ориентированное технологическое воздействие, пленочное образование поверхности, твердость, износостойкость

A. N. Mihailov, B. S. Kotlyarov, V. B. Kotliarov, S. B. Kotliarov

TO THE QUESTION OF SYNTHESIS OF STRUCTURAL SCHEMES OF FORMATION SURFACE PROPERTIES OF PARTS WITH FILM EDUCATION BY PHOT METHODS

This paper describes the results of the studies carried out on the formation of the surface properties of parts specified in accordance with the requirements of design documentation - design documentation, achieved using functionally oriented technological technologies (FOT) by creating film formations. Methods of forming various properties of parts using film formations on the surface of thermochemical, electrochemical, physicochemical, ion-plasma laser and other types of processing provide an increase in mechanical, physical, chemical, corrosive, tribotechnical and other characteristics of parts in operation. An algorithm for finding optimal schemes for the formation of the operational properties of functionally significant surfaces related to parts, sections, zones, microzones and nanozones of parts, based on an iterative recurrent selection of the optimal method of functionally-oriented technological impact from a certain set of FOT, has been established.

Keywords: detail, part, area, zone, functionally oriented technological impact, film formation of the surface, hardness, wear resistance.

1. Введение

Дополнительно к проведенным ранее исследованиям по синтезу структурных схем формирования поверхностных свойств обрабатываемых деталей, в частности чистоты и шероховатости поверхностей согласно КД, на основе функционально-ориентированных технологических воздействий, осуществлен синтез структурных схем формирования пленочных образований, улучшающих эксплуатационные характеристики деталей. Виды пленочных образований имеют отличающиеся между собой характеристики, и создаются на поверхностях путем технологического воздействия в различ-

ных рабочих средах с применением механических, физических, химических, лазерных, полевых и иных средств.

В большинстве случаев производства эксплуатационные свойства деталей определяются в процессе формирования геометрии, формы деталей [1, 2] с заданными размерами и поверхностью, обладающей определенными качественными показателями.

Вопросы формообразования нами подробно исследованы ранее и их результаты изложены в опубликованных ранее работах. В настоящей работе исследуются вопросы формирования свойств поверхностей, исходя из функционального предназначения самих поверхностей деталей и проявляемых в виде твердости, изменения триботехнических характеристик, износостойкости, и их взаимосвязь с технологическими воздействиями, гарантирующими достижение установленных конструкторской документацией (КД) характеристических показателей.

Выполнены работы по систематизации функционально значимых характеристик и признаков поверхностей деталей относительно функционально ориентированных технологических воздействий в процессе обработки. Рассмотрены функции поверхностей образованных деталей с точки зрения выполнения назначения в детали. Рассмотрены также технологические воздействия на обрабатываемые поверхности в плане их направленности на обеспечение конструктивных функций поверхностей.

Формализованы функционально-конструктивные признаки деталей в отношении к функционально-ориентированным технологическим воздействиям, формирующим такие свойства, которые повышают эксплуатационные характеристики деталей. Определено формальное множество структурных схем, из которого на основе итеративного рекуррентного подхода выбираются оптимальные способы обработки деталей.

2. Цель и задачи

Цель настоящей работы заключается в создании формализованной взаимосвязи функционально значимых функциональных признаков поверхностей детали с комплексом функционально ориентированных технологических схем воздействия, формирующих свойства поверхностей, заданных конструкторской документацией. При этом способы формирования поверхностных свойств элементов деталей рассматриваются как функции функциональных конструктивных целей элементов деталей, выраженных посредством механических физических, химических, электрических и т.д. принципов, принятых для формирования свойств в поверхностном слое материала. Установить множество схем технологических воздействий, которые обеспечивают достижение назначенных конструкторской документацией требований к поверхностям обрабатываемых деталей и заданных характеристик поверхностных свойств. Представить взаимосвязи функциональных проявлений деталей и функционально-ориентированных технологических воздействий в формализованном выражении.

Поставленная цель достигается решением некоторых частных задач:

– установить возможные эксплуатационные функции поверхностей деталей во взаимосвязи с требованиями к качественным показателям поверхностей деталей, заданных в КД;

– установить принципиальные возможности функционально-ориентированных технологических воздействий, образующих свойства в пленочных локализованных зонах на обрабатываемых поверхностях деталей, и представить все их многообразие в формализованном виде;

– создать предпосылки для синтеза возможного множества структурных схем технологического воздействия на обрабатываемую поверхность инструментом с учетом

известных способов создания покрытий и использования дополнительных материальных физико-химических, газовых и иных сред, позволяющих достигать требуемых характеристик и формируемых свойств поверхностей деталей;

– установить формализованную взаимосвязь требований КД на детали ко всем показателям качества обработанных поверхностей, функционально значимым и заданным для конкретно локализованных участков поверхностей в эксплуатации, и функционально-ориентированными технологическими воздействиями, осуществляемыми в составе технологических обрабатывающих комплексов, реализующих механические, физические, химические и др. материальные принципы преобразования свойств материалов.

3. Основное содержание и результаты работы

В процессе изготовления деталей независимо от вида и метода инструментального воздействия обработке подвергаются отдельные поверхности заготовки, составляющие в совокупности полную поверхность детали. Обработка производится различными инструментами и в разнообразных сочетаниях режимов – силы резания, скорости резания, величин подачи и др. [1, 2, 3]. В результате получается деталь с заданной геометрической формой и размерами, состоящая из элементарных поверхностей.

Всего можно выделить элементарные формы поверхности: поверхности вращения, плоскости, контурно-сложные линейчатые поверхности, винтовые поверхности и пространственно-сложные поверхности, которые могут быть образованы в процессе формирования последовательным чередованием элементарных поверхностей, причем это могут быть как наружные поверхности, так и внутренние.

Из-за различия функционального назначения участки поверхностей могут обладать и различными свойствами. Часто свойства поверхностям деталей сообщаются в процессе не только формообразования, но дополнительным воздействием в различных физических, химических и иных средах, в состояниях твердой субстанции, жидкостей, газов, плазмы и в виде электронно-ионного излучения. В результате обработки в приповерхностном слое детали и на ее поверхности образуется слой материала, имеющий отличные от основного материала свойства в пределах определенной глубины.

Набор функциональных характеристик поверхностей и способы технологического обеспечения таких характеристик с образованием некоторого слоя заданной толщины (на заданную глубину от границы поверхности) приведены в таблице 1.

Принимаются во внимание характеристические свойства поверхностей частей и отдельных участков поверхностей детали, обозначающие следующие аспекты:

– собственно функциональную предназначенность задаваемых конструкторским документом (КД) свойств поверхности для рассматриваемого участка элемента детали;

– локализацию рассматриваемого участка поверхности элемента детали, топологию которого можно определить в системе полярных или декартовых координат детали;

– сущностные характеристики заданных конструкторским документом свойств участков поверхности, определяющие физическую суть, например, твердость, шероховатость, поглощаемость, проницаемость и т.д.;

– дополнительные свойства указанных в КД требований к поверхности, которые параллельно придаются поверхности при реализации технологического воздействия для исполнения требований;

– определение возможных технологических методов и способов обеспечения указанных требований и достижения требуемых размерных значений свойств;

– выявление возможных побочных эффектов при обеспечении требований КД к поверхности путем выполнения различными технологическими воздействиями (например, излишняя твердость, хрупкость, недопустимая проницаемость для определенных сред, излишняя отражающая способность и др.);

– анализ возможности объединения или отдельного технологического обеспечения получения требуемых свойств с аналогичными или одинаковыми показателями для различных участков поверхностей для разных элементов детали.

Каждый отдельный участок поверхности, свойства которого необходимо обеспечить, обозначается индексами символами П с верхними и нижними комплексами индексов, обозначающих указанные выше аспекты требований.

Предложенный вид обозначения конструкторских функциональных характеристик отдельных поверхностей обеспечивает полноту наполнения информацией о возможных одиночных или комплексных свойствах рассматриваемых участков элементов деталей, и одновременно является основой для выбора и формализации функционального технологического воздействия, выбираемого для получения указанных свойств.

Таблица 1.

Основные функциональные задачи поверхностей деталей				
Свойства поверхности	Локализация в детали	Обозначение	Функциональные задачи	Факторы влияния
Формообразование		$F_{P_j}^{\Phi_i^{kS_j}}$	Формирование детали - геометрии и размеров	
Защитные (сохранность и стабильность)		$F_{P_j}^{\mathcal{Z}_i^{kS_j}}$	Сохранять форму Сохранять размеры Сохранять структуру материала Сохранять свойства поверхности Сохранять свойства материала	Атмосфера Механические воздействия Рабочие химические среды (жидкости, газы) Рабочие физические среды (электромагнитные воздействия, излучения, поля)
Ориентирующие и координатные		$F_{P_j}^{O_i^{kS_j}}$	Определять положение детали в системе координат Устанавливать положение детали относительно других деталей в механизме	Сфера проектирования и производства
Скрепляющие и фиксирующие	Внутренние Наружные Переходные	$F_{P_j}^{C_i^{kS_j}}$	Соединение с другими деталями в механизме	Фиксация неподвижная Соединение подвижное
Технологические		$F_{P_j}^{T_i^{kS_j}}$	Базы	Сфера производства Конструктивные Технологические Измерительные

Динамические	Внутренние Наружные	$F_{P_j}^{D_i k_{S_j}}$	Передача усилий Восприятие усилий Стопорение (упоры)	Внешние или внутренние усилия любой природы
Кинематические	Внутренние Наружные	$F_{P_j}^{K_i k_{S_j}}$	Передача движений Восприятие движений	Прямолинейные Плоскопараллельные Вращательные Комбинированные
Отражательные и поглотительные	Внутренние Наружные	$F_{P_j}^{Omp_i k_{S_j}}$	Способность отражать, излучать энергию или воспринимать воздействие элементов окружающей среды	Тепловые Радиационные Химические Лазерные Оптические (световые)
Счетно-информационные	Внутренние Наружные	$F_{P_j}^{I_i k_{S_j}}$	Восприятие воздействий и счет импульсов Передача сигналов и импульсов	Механические воздействия Состояния среды Электромагнитные Электронно-лучевые Полевые
Эргономические	Внутренние Наружные	$F_{P_j}^{Эр_i k_{S_j}}$	Удобство пользования Экономия пространства	Сфера эксплуатации
Эстетические	Внутренние Наружные	$F_{P_j}^{Эст_i k_{S_j}}$	Гармонические (соотношения формы, размеров, цвета, тактильные ощущения)	Сфера эксплуатации
Внешне-информационные	Внутренние Наружные	$F_{P_j}^{ВИ_i k_{S_j}}$	Надписи Символы Обозначения	Сфера эксплуатации Предупреждения Управление

Все приведенные в таблице 1 виды поверхностей могут применяться в деталях в любых сочетаниях и комбинациях. При этом некоторые поверхности могут сопрягаться с поверхностями других деталей, а другие остаются свободными.

Важной особенностью является тот факт, что покрытия пленочного типа зачастую задаются КД как многослойные, выполненные из однородного материала, или имеющие в своем составе слои из разных материалов, например – покрытие медь-никель-хром. Могут быть и неметаллические многослойные покрытия деталей, например лакокрасочные покрытия, состоящие из грунтовки и эмали, а также другие виды покрытий. Металлизированные защитные покрытия в настоящее время чаще всего обеспечиваются гальваническим методом, подтвердившим за годы использования свою эффективность и надежность деталей в эксплуатации [4]. Основные виды таких покрытий приведены в таблице 2.

Согласно ГОСТ 9.306-85 в настоящий момент приняты следующие условные обозначения видов защитных покрытий различных деталей и крепежных изделий:

Таблица 2.

Вид покрытия	Обозначение согласно ГОСТ 9.306-85	Обозначение цифровое
Цинковое, хромированное	<i>Ц.хр</i>	01
Кадмиевое, хромированное	<i>Кд.хр</i>	02

Многослойное: медь-никель	<i>М.Н</i>	03
Многослойное: медь-никель-хром	<i>М.Н.Х.б</i>	04
Окисное, пропитанное маслом	<i>Хим. Окс.прм</i>	05
Фосфатное, пропитанное маслом	<i>Хим.Фос.прм</i>	06
Оловянное	<i>О</i>	07
Медное	<i>М</i>	08
Цинковое	<i>Ц</i>	09
Цинковое, горячее	<i>Гор. Ц</i>	09
Окисное, наполненное хроматами	<i>Ан. Окс. Нхр</i>	10
Окисное, из кислых растворов	<i>Хим. Пас</i>	11
Серебряное	<i>Ср</i>	12
Никелевое	<i>Н</i>	13

Наименование покрытия ставится после точки, в конце обозначения элемента крепежа. А число, которое ставится сразу после обозначения покрытия, означает толщину наносимого слоя в микронах. Например: Болт М14-6gx80.58.019 ГОСТ 7798-70 – это обозначает, что болт имеет покрытие 01(цинковое, хромированное) с толщиной 9мкм.

Формализованное обозначение видов целевых покрытий деталей, являющихся конструктивно-технологическими признаками и атрибутами [5] изготавливаемых деталей, заданные КД, одновременно являются основой выбора функционально-ориентированных технологических способов нанесения покрытий [6]. Обозначение признаков защитных покрытий, указывающее вид заданной защиты при эксплуатации детали в определенных условиях [7, 8, 9, 10, 11, 12], и указывает на определенное множество технологий, в области которых предпочтительно рассматривать функционально-ориентированные способы достижения установленных КД показателей свойств. Но область выбора технологий не ограничивается и может быть расширена до нахождения лучшего варианта.

Известные методы и способы технологических воздействий и приемов при нанесении различного вида покрытий металлическими и неметаллическими пленками, а также технологические аспекты и различия методов приведены в таблице 3 и таблице 4.

Таблица 3.

Типы и виды функциональных пленочных покрытий	Технологии создания пленочных покрытий	Особенности процессов нанесения покрытий	Основное оборудование для нанесения пленочных покрытий	Примечание
Металлизированные виды покрытий				
Горячий метод (покрытие свинцом, оловом) Покрытие металлом неметаллических деталей	Осаждение мягких расплавленных металлов на поверхность готовых деталей	Опускание детали в расплав металла и выдерживание в течение времени	Емкость с расплавленным металлом, подъемный механизм	Отсутствие контроля толщины наносимого металла, высокий расход

Термомеханический метод (алюминий, хром, кремний, бор и др.)	Принцип взаимной диффузии металлов при сжатии высоким давлением	Прокатка в горячем состоянии основного и защитного металла	Прокатный стан, валки, оборудование нагрева	Прочное со-единение двух металлов
Цианирование и нитроцементация (алитирование, борирование, цинкование и др.)	Диффузионное насыщение поверхности азотом и углеродом	Выдерживание в ваннах с расплавленными солями при высокой температуре	Ванны, камеры с твердой, жидкой или газообразной средой с составом наносимых металлов	Высокая твердость и прочность покрытий ядовитые выделения цинка
Напыление				
Газотермическое напыление (алюминий, хром, цинк, и др.)	Соударение расплавленного металла о поверхность воздушным потоком	Нанесение расплавленного металла на поверхность с потоком воздуха	Электрометаллизатор, протяжной механизм, проволока из защитного металла	Пористость и слабое сцепление материала с поверхностью детали
Плазменное напыление на металлы и неметаллы (карбиды вольфрама, хрома, оксиды хрома, титана, циркония и др.)	Нанесение аморфизированных структур композиционных плазменных покрытий	Осаждение частиц металлов, карбидов и иных структур на поверхность при высоких температурах потоком плазмы	Плазмотрон, узел ввода металлических порошков, источник напряжения прутки, проволока, порошки металлов, плазмообразующие газы	Регулирование пористости, финишная обработка после плазменного напыления
Детонационный метод	Глубокое проникновение частиц металла в поверхность с огромной скоростью	Нанесение с помощью металлического порошка за счет энергии взрыва вещества	Взрывная камера, порошок из защитного металла, транспортирующий газ, кислород, взрывное вещество	Надежное покрытие, повышенное сцепление материала с поверхностью детали
Гальванический метод (нанесение меди, цинка, хрома, железа, никеля, латуни, серебра, золота, родия и др.)	Принцип нанесения в использовании электролиза, осаждение металла в электролитах	Последовательное размещение деталей в ваннах с растворами и электродами при подаче постоянного тока с промежуточной промывкой	Гальванические ванны, транспортная система, источник подвода постоянного тока на электроды в ваннах	Малая пористость, высокая износостойкость, твердость, коррозионная стойкость, простота процесса

Таблица 4.

Типы покрытий, виды пленочных функциональных свойств	Технологии создания функциональных пленочных покрытий	Отличительные особенности процессов нанесения покрытий	Основное оборудование для пленочных покрытий	Примечание
Не металлические покрытия поверхностей деталей				
Лакокрасочные покрытия (ЛКП) Защита от коррозии и декоративные	Распыление ЛКМ на поверхность детали, окунание, облив, осаждение, нанесение вальцами, в барабанах и др.	Жидкие ЛКМ, порошковые ЛКМ, распыление в электрическом поле, с применением ультразвука и др. методы	Окрасочные и сушильные камеры, конвейеры, (грунтовки, лаки, эмали, шпатлевки, наполнители, растворители и пигменты, др.)	Нанесение на металлические и не металлические детали. Надежное сцепление с поверхностью. Процесс легко автоматизируется
Полимерные пленки (ПП) Защитные, антикоррозионные и декоративные	Распыление материала на поверхность – анод (подается отрицательный заряд, а на бак краскопульта – положительный)	Наносятся полимерные материалы только на токопроводящие детали – металлы, (пластик, полиэфир, пурал, ПВХДФ и др.)	Окрасочные камеры, краскопульта, источник постоянного тока, камеры сушильные, транспортные системы	Высокое сцепление с поверхностью, стойкость к механическим воздействиям и к средам
Силикатные эмали (СЭ), фритты ГОСТ 24405-80 Защита от кислотных и щелочных сред и декоративные покрытия	Нанесение индукционное, электролитическое, в эмалировочных печах, кистью, вальцами, распылителем для вязких веществ, электролитическое нанесение	Нагрев в печах эмалировочных для труб, и нагрев индукционный в любой зоне детали с разной толщиной стенок с регулировкой поступающего тепла	Эмалировочные печи, индукторы, экраны, силикатные краски с пигментами и фиксативами на основе жидкого стекла, мел, и др. модификаторы	Высокая стойкость к кислотным и щелочным средам, к атмосферному воздействию, долговечность, трение с низким коэффициентом
Резины (Р) Защита от износа, агрессивных сред, электричества, коррозии, от механических ударов	Гуммирование обкладкой, прессованием, литьем под давлением, методом вулканизации	Обрезинивание деталей вращения из металла сырой или жидкой резиной с последующей балансировкой, емкостей, труб	Вулканизаторы, обкатывающие ролики, пресс-формы, ванны, резины, полиуретан, силикон, клеящие вещества	Стойкость к агрессивным средам, повышение коэффициента сцепляемости, снижение трения и износа
Оксиды металлов (ОМ) Формирование защитных и декоративных оксидных пленок на поверхности	Оксидирование химическое, термическое, плазменное, микродуговое, анодирование	Обработка в растворах, расплавах окислителей, в электролитах при повышенных температурах	Термопечи, ванны, парогенераторы, растворы электролитов, камеры вакуумированные	Толщина пленки до 70% в слое детали и до 30% слоя над поверхностью, антикоррозионная стойкость

Композитные покрытия (КП) Высокопрочные и твердые с наличием керамики	Электрофизический, электрохимический метод осаждения, вакуумное низко- и высоко-температурное осаждение и др.	Высокие температуры, высокоэнергетические процессы, ионизация и вакуумирование	Камеры, ванны, источники энергетического воздействия, поликомпонентные порошки и др.	Высокая прочность, снижение трения и износа, стойкость к средам
Пасты, смазки и др(ПС) Защита от коррозии, эрозии снижение трения и износа	Нанесение кистью, окунанием, тампоном из эластичного поропласта	Соблюдение температурного режима, обеспечивающего смазываемость	Емкости, смазочные материалы, инструменты	Повышение антифрикционных свойств при трении, снижение износа деталей

Приведенные выше метода и способы формирования пленочных покрытий для металлических и неметаллических поверхностей укладываются в общую условную классификацию покрытий, приведенную в таблице 5.

Таблица 5.

Все множество видов функциональных покрытий								
Неорганические покрытия					Органические		Комбинированные	
Металлические			Неметаллические		ЛКП	Полимерные	Много-слойные	Композиционные
Физические	Химические	Электрохимические	Конверсионные	Силикатные				

На основании анализа приведенных видов функциональных покрытий деталей и методов и способов технологических воздействий для их получения можно сделать выводы о многовариантности достижения аналогичных показателей качества поверхностей. Поскольку технологические методы получения пленочных покрытий с похожими результатами свойств на поверхностях деталей существенно отличаются как по видам применяемого оборудования и видам расходных материалов, так и по времени для осуществления процессов и себестоимости производства, то необходимо выработать комплексный критерий оценки способов нанесения покрытий. Данный критерий должен учитывать все имеющиеся существенные признаки функционально-ориентированных технологических воздействий при формировании пленочных видов покрытий на деталях (независимо от материалов самих деталей, включая неметаллические изделия). В то же время критерий оценки выбранного метода реализации должен учитывать уровень соответствия функциональных признаков покрытий детали по КД и выбранного способа функционально-ориентированного технологического воздействия, обеспечивающего эти качественные показатели покрытий.

Алгоритм назначения технологии создания пленочных покрытий должен, в рамках общей технологии изготовления детали, должен соответствовать порядку, приведенному на схеме рис. 1.

На рисунке 1 представлены следующие аспекты реализации технологии:

– в нижней ячейке схемы приведены все системы обеспечения функционально ориентированного технологического процесса формирования пленочного покрытия, учитывая оборудование, применяемые материалы, дополнительные приспособления,

оснастку и инструменты, энергетическое, информационное и управленческое обеспечение процесса, и экономические показатели процесса;

– в левой ячейке приведены функционально значимые требования к покрытиям поверхностей согласно конструкторской документации;

– в правой ячейке приведены рассматриваемые последовательно функционально-ориентированные технологические процессы формирования пленочных покрытий поверхности с учетом всего материального обеспечения процессов и достижимые качественные показатели указанных в конструкторской документации свойств;

– в средней ячейке указан сформированный комплексный функциональный критерий оценки уровня качества рассматриваемого технологического процесса, с помощью которого обеспечивается формирование пленочных покрытий согласно показателям, заданным требованиями конструкторской документации, а также с учетом экономических показателей для конкретного производства и программы изделий.

– в верхней ячейке фиксируется выбранный по критериальному показателю технологический процесс формирования пленочных покрытий поверхностей детали, который направляется в производство.

С целью формализации процесса (при рекуррентном подходе) выбора технологии покрытия поверхностей деталей в заданных геометрических пределах и с достижением параметров, удовлетворяющих эксплуатационным требованиям, проведено формальное отражение реальных процессов известного множества и качественных показателей поверхности в семиотических знаках выражения, представленного ниже вида.

$$\text{Выражение } P_{A(j)}^{\Pi_l \Pi_i} \in M_{P^U_{A(j)}}^{\Pi_l \Pi_i} \text{ означает, что некоторый па-}$$

раметр P , отражающий комплекс требований в отношении атрибутов A_j (конструктивных, технологических или критериальных), включающий или объединяющий все конструктивные существенные требования $\Pi_l \Pi_i$ к покрытиям поверхностей с пленочным обеспечением, учитывающим локализацию $L_{(XYZ)}$ в системе координат детали и с разделением по частям, участкам, зонам, макрозонам, микрозонам, а также по нанозонам, описанным в системах координат частей и зон, принадлежит некоторому множеству M . Это множество в выражении включает в себя все свойства и объекты по однородным параметрам A атрибутов объектов (параметр A может отражать конструктивные атрибуты, технологические системы воздействия на деталь, критериальные граничные показатели, в рамках которых осуществляется оптимизационная сравнительная оценка формирующих свойства поверхностей технологий). Конструктивные параметры включают в себя все свойства поверхностей, отраженные в КД детали (например – твердость, шероховатость, пористость, цвет и др.). Технологические атрибуты отражают известное множество способов достижения свойств поверхностей со схожими характеристиками, реализуемыми разными технологическими средствами и функционально-ориентированными воздействиями (например – гальваническое покрытие, газопламенная или газоплазменная наплавка, лазерное нанесение, ионно-плазменное или индукционное напыление и др.). Это множество является замкнутым, но переменной мощности, т.к. в него могут включаться новые элементы в зависимости от появления новых материалов, новых процессов, разных режимов осуществления процессов по ходу совершенствования технологий [13].

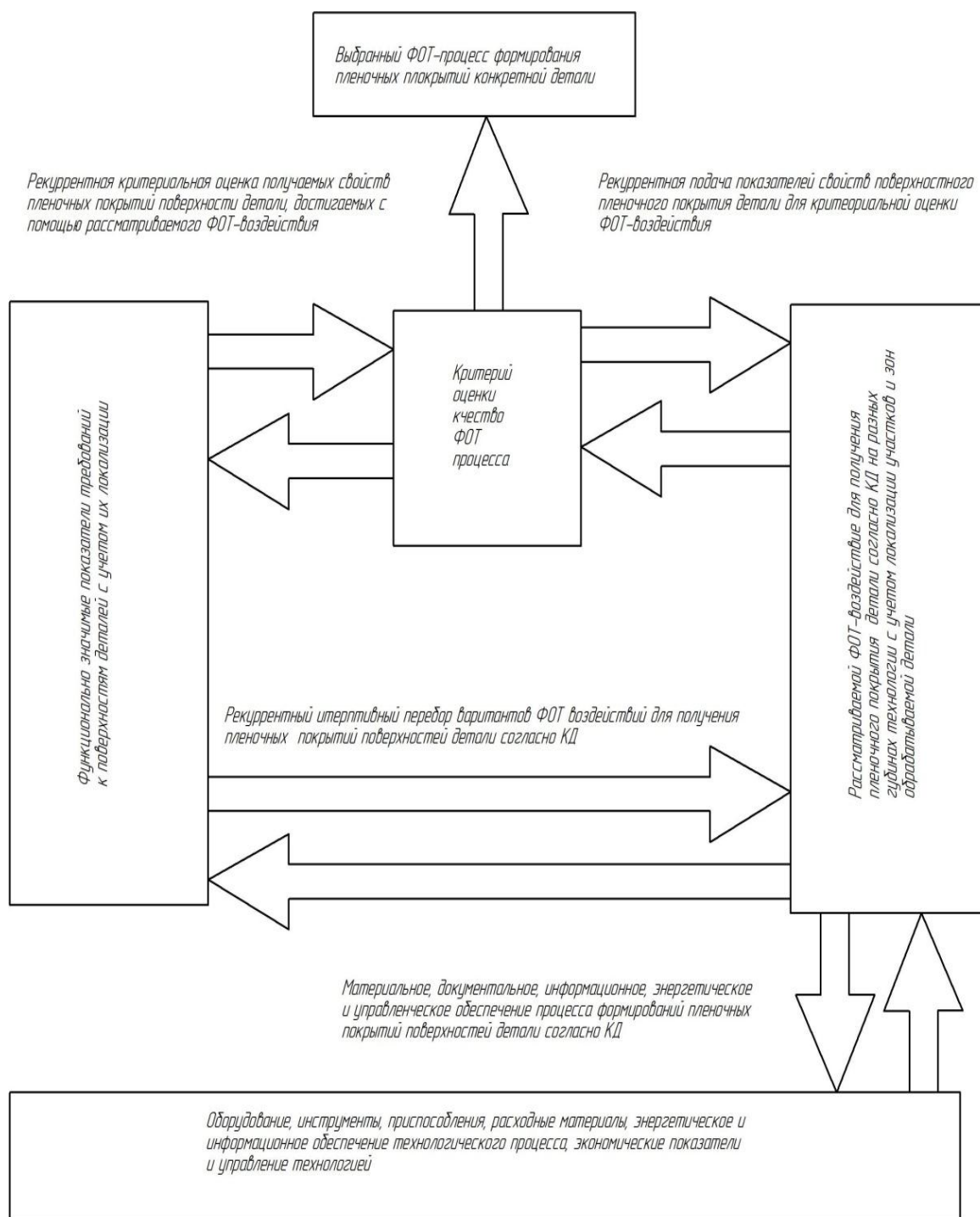


Рисунок 1. Алгоритм выбора технологического воздействия формирования пленочных покрытий поверхностей детали по функциональному критерию оценки качества технологии

Множество атрибутов критериального параметра $P_{A_{кр}}^{Пл}$, в общем случае, отражают рамки показателей по нижней и верхней границам, в пределах которых процесс может считаться приемлемым для конкретного производства. Учитываются в первую оче-

редь возможности технической осуществимости, экономических показателей нанесения покрытий, точности, управляемости и других показателей процесса. При осуществлении многофакторной критериальной оценке процесса каждому фактору придается весовая часть от общей оценки в зависимости от степени приближения к номинальному установленному показателю. Тогда долевая часть оценки по каждому фактору является величиной переменной, а интегральный показатель оценки технологического каждого процесса нанесения покрытий может сравниваться с показателями других процессов по абсолютной величине показателя. Значение интегрального показателя, безразмерное и максимальное по абсолютной величине, может приниматься как индекс оптимального варианта нанесения покрытий рассматриваемой функционально-ориентированной технологии, формирующей заданное пленочное покрытие детали.

Заключение.

Проведенные исследования позволили достичь поставленной в настоящей работе цели путем решения ряда конкретных задач, поставленных для проведения исследований, которые выражаются в следующих результатах.

1. В процессе исследований установлены возможные эксплуатационные функции поверхностей деталей во взаимосвязи с требованиями к качественным показателям пленочных покрытий поверхностей деталей, заданных в КД.

2. Определены принципиальные возможности функционально-ориентированных технологических воздействий, образующих требуемые эксплуатационные свойства пленочных покрытий в локализованных зонах на обрабатываемых поверхностях деталей. Представлено максимально полное многообразие функционально-ориентированных технологических воздействий формирования пленочных покрытий на локализованных и контролируемых участках и зонах элементов деталей в формализованном виде.

3. Выявлено множество способов технологического формирования пленочных покрытий поверхностей с установленными показателями, и с применением различных материалов и сред технологического воздействия, что создает предпосылки для синтеза возможного множества структурных схем функционально-ориентированных технологических воздействий на обрабатываемые поверхности участков и зон деталей для создания требуемых свойств, с учетом основных форм исполнительных элементов, использования дополнительных материальных физико-химических, газовых и иных сред, кинематических и динамических возможностей процессов.

4. Установлена формализованная взаимосвязь требований КД на детали ко всем показателям качества обработанных поверхностей, функционально значимым и заданных для конкретно локализованных участков поверхностей в эксплуатации, и функционально-ориентированными технологическими воздействиями, осуществляемыми в составе технологических обрабатывающих комплексов, реализующих механические, физические, химические и др. материальные принципы преобразования свойств материалов, позволяющих наносить покрытия пленочного типа. При этом применим принцип оценки выбранного рекуррентным сравнительным подходом функционально-ориентированного технологического воздействия по безразмерному критериальному показателю, дающему возможность определять оптимальный вариант принятия технологии нанесения покрытий.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Заблонский, К. И. Детали машин / К. И. Заблонский – К.: Вища школа, 1985. – 518с.
2. Гордин, П. В. Детали машин и основы конструирования: пособие по курсовому проектированию / П. В. Гордин, Е. М., Росляков, В. И. Эвелеков. –2-е изд. – Спб.: СЗТУ, 2005 – 113 с.
3. Базров, Б. М. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов / Б. М. Базров – М.: Машиностроение, 2003. – 178 с.
4. Ватолин, А. Н. Коррозия и защита металлов (конспект лекций). Учебное электронное текстовое издание. Подготовлено кафедрой «Теория металлургических процессов» / А. Н. Ватолин, В. В. Рогачев; научный редактор: проф., к.т.н. А. М. Панфилов. – Екатеринбург, 2008. – 59 с.
5. Михайлов, А. Н. Проявление атрибутов деталей машин как факторов разработки функционально-ориентированных технологий / А.Н. Михайлов. Б. С. Котляров, В.Б. Котляров, С. Б. Котляров // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Международный сборник научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2020. – Вып. 3(70). – С. 22-33.
6. Михайлов, А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения / А. Н. Михайлов. – Донецк, ДонНТУ, 2009. – 346 с.
7. Технология машиностроения: в 2 т. Т.1. Основы технологии машиностроения / Бурцев В. М., Васильев А. С., Дальский А. М. и др.; под ред. Дальского А. М. – Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001.
8. Довгалев, А. М. Совмещенная отделочно-упрочняющая обработка деталей машин вибродинамическим накатыванием и вращающимся магнитным полем / А.М. Довгалев // Вестник Белорусско-Российского университета. – Государственное учреждение высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет», 2016. – № 4(53).
9. Сковородин, В. Я. Оценка эффективности антифрикционной обработки восстановленных гильз цилиндров ДВС в условиях холодной обкатки / В. Я. Сковородин, Е. Е. Пуршель // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 1/9. – С. 245-252.
10. Нефедьев, С. П. Абразивная и ударно-абразивная износостойкость твердых наплавленных покрытий / С. П. Нефедьев, Р. Р. Дема, Д. А. Котенко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2015. – Т. 15. – № 1. – С. 103-106.
11. Улиг, Г. Г. Коррозия и борьба с ней / Г. Г. Улиг, Р. У. Ревин: пер. с англ., под ред. А. М. Сухотина. – Л.: Химия, 1989. – 455 с.
12. Грабчиков, С. С. Аморфные электролитически осажденные металлические сплавы / С. С. Грабчиков – Мн.: Изд. центр БГУ, 2006. – 188 с.
13. Бледнова, Ж. М. Научно-образовательный курс. Современное состояние и перспективы использования материалов с памятью формы для формирования наноструктурированных поверхностных слоев на изделиях машиностроительного назначения / Ж.Ю. Бледнова, П.О. Русинов. – Краснодар, 2013. – 78 с.

Поступила в редколлегию 17.01.2021 г.