

УДК 621.01

А. Н. Михайлов¹, д-р техн. наук, проф., **Б. С. Котляров²**, канд. техн. наук,
В. Б. Котляров¹, аспирант, **С. Б. Котляров¹**, соискатель

¹ Донецкий национальный технический университет

² Москва, 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

АНАЛИЗ ДЕТАЛЕЙ ПО ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ ПРИЗНАКАМ УЧАСТКОВ И ЗОН СОГЛАСНО УРОВНЮ И ГЛУБИНЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ

В данной статье рассматривается принцип деления участков и зон характерных деталей коробки переключения передач (КПП) по признакам детализации участков и зон деталей в проявлениях их свойств и характеристик в условиях эксплуатации. Установлены и описаны признаки функциональных проявлений на различных участках поверхностей деталей, в подповерхностных зонах с учетом структурных показателей и иных свойств материала и их влияние на общую функциональную предназначенность деталей. Предложенный подход дает возможность на уровне проектирования машин и их узлов и деталей однозначно определять характерные участки, обеспечивающие целевые функции деталей, для принятия решений по их формированию и технологическому обеспечению изготовления в материале.

Ключевые слова: деталь, машина, функция, совокупность свойств, функциональные признаки, технологическое воздействие.

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

ANALYSIS OF DETAILS BY THE FUNCTIONAL FEATURES OF AREAS AND ZONES ACCORDING TO THE LEVEL AND DEPTH OF TECHNOLOGICAL SUPPORT OF THE TARGET FUNCTION

This article discusses the principle of dividing sections and zones of characteristic parts of the gear box (gear-box) on the basis of details of sections and zones of parts in the manifestations of their properties and characteristics under operating conditions. Signs of functional manifestations on various parts of the surface of parts, in subsurface zones, taking into account structural indicators and other properties of the material, and their influence on the overall functional purpose of parts, are established and described.

The proposed approach makes it possible at the level of designing machines and their components and parts to uniquely determine the characteristic areas that provide the target functions of parts, for making decisions on their formation and technological support of manufacturing in the material.

Keywords: part, machine, function, set of properties, functional features, technological impact;

1. Введение

Каждая деталь машины создается для выполнения заданной целевой функции в механизме. Проектируемая технология изготовления в виде комплекса технологических воздействий призвана обеспечить наличие этой функции детали оптимальным образом. Для оптимизации процесса изготовления детали необходимо оптимизировать все технологические воздействия на каждом характерном участке и зоне детали по всей глубине вплоть до микронзон и нанозон [1, 2, 3, 4, 5] относительно геометрических форм, поверхностных и структурных свойств материала детали.

Исходным пунктом в решении задачи оптимизации в данном подходе является разложение целевой функции детали на подфункции и актуальные конструктивные особенности, которые станут отправными точками при определении технологических воздействий в создании технологии изготовления.

Целью данной работы является выделение и конкретизации конструктивных признаков деталей машиностроения, реализованной на примере разложения целевой функции основной детали коробки переключения передач (КПП) без разрыва потока передаваемой мощности. Основной деталью является блок-вал колес, обладающий сложной геометрической формой с множеством поверхностей и участков деталей, подверженных различным динамическим воздействиям переменной величины и направления в процессе эксплуатации

Достижение поставленной цели обеспечивается решением следующих задач:

1. Выделить геометрические формы и поверхности, являющиеся функциональными для рассматриваемой детали в механизме.
2. Установить топологию характерных участков и зон детали относительно общей системы координат детали.
3. Установить соответствие характерных участков и зон по директивным направлениям: по геометрии и форме; по свойствам поверхностей; по структурным особенностям и признакам материала детали в соответствующих зонах.
4. Установить основные отличительные признаки разделения частных установленных функций детали и их соответствие целевой функции детали.

2. Основное содержание и результаты работы

Представление любой детали машины или механизма как материального объекта, с помощью которого обеспечивается исполнение предназначения, для которого создавался механизм, позволяет рассматривать деталь как совокупность определенных геометрических форм и поверхностей, оформленных в определенном материале. Если принято понимание, что деталь имеет общее предназначение, то и каждый элемент детали тоже имеет свое предназначение. Определить предназначение каждого элемента детали оказывается возможным, если проанализировать общую целевую функцию детали, раскладывая ее на частные вспомогательные функции и подфункции, изучая и рассматривая все аспекты приложения и восприятия материальных и энергоинформационных потоков на каждую часть детали. Для выполнения указанных действий каждый элемент детали должен обладать определенным набором свойств и качественных показателей, которые необходимо обеспечить при изготовлении путем определенных технологических воздействий.

Таким образом, элементарные функциональные качества и свойства элементов деталей и являются исходными для определения технологических воздействий по виду прилагаемого воздействия, по силе или объему воздействия, по граничным показателям относительно точки приложения воздействия. Указанное представление детали и является основой для конкретизации и структурной и параметрической оптимизации функционально ориентированных технологий при изготовлении машиностроительной продукции [1, 6, 7, 8], в частности – деталей машиностроительных изделий.

В качестве примера для построения такой аналитической схемы разложения целевой функции детали рассмотрим основную деталь новой механической коробки передач, работающей без разрыва потока передаваемой мощности - блок-вал колес.

Общая целевая функция блок-вала колес – принять и передать крутящий момент на выходной элемент КПП.

В принципе существует только два типа общей функции – создать воздействие, или принять воздействие, для которых и создаются механизмы и детали. В чистом виде создающие воздействие генераторы в этой работе мы не рассматриваем, так же как в чистом виде и воспринимающие функции мы тоже не рассматриваем - это накопители – черные дыры. Остается основная функция – функция приема-передачи. Для реализа-

ции этой функции создаются детали, обладающие элементами восприятия и передачи энергии в виде силы и движения. Принимаемое и передаваемое движение может быть линейным, вращательным, или сложным, при этом может быть один поток восприятия-передачи, или несколько потоков. Потоки передачи энергии-движения могут быть параллельными, или работать последовательно. Все эти отличительные признаки по уровню воздействия, по локализации на частях детали и являются функционально-ориентированными аспектами, определяющими полное множество для построения функциональной матрицы детали как стадии проектирования [9] и являющиеся основой для построения функционально-ориентированной технологии изготовления детали.

Для блок-вала элементами принятия вращательного движения являются зубья зубчатых венцов ряда колес, а передающим элементом является квадратная головка выходного конца вала (см. Рис. 1). На рис. 2, рис. 3 и рис.4 приведены проекционные виды и сечение блок-вала колес, указанные на рис. 1.

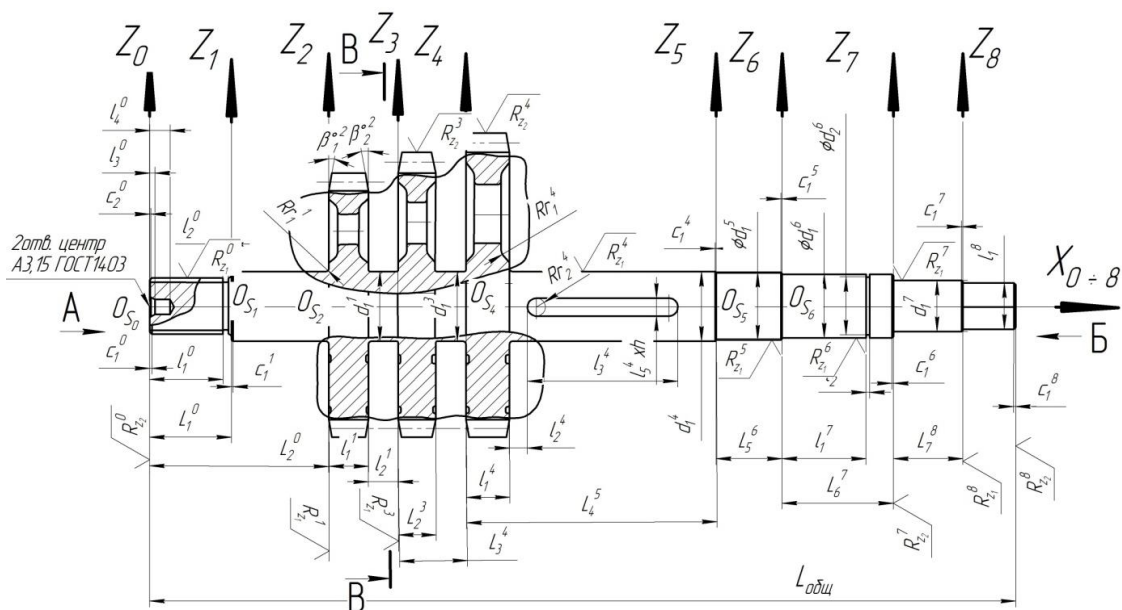


Рисунок 1.

Обозначим общую целевую функцию приема крутящего момента $M_{кр}^{вх-вых}$ для детали блок-вала колес Φ_{Σ}^0 как функцию 0 уровня. Тогда следующим подуровнем разложения целевой функции Φ_{Σ}^0 будут функции формообразования Φ_j^1 ; первого уровня для j-го элемента детали.

Функцией первого уровня является прием входящего крутящего момента $M_{кр}^{вх}$, для которого созданы зубчатые колеса в количестве 3шт, которые могут принимать входящий момент последовательно, выполняя функции $\Phi_1^1, \Phi_2^1, \Phi_3^1$ по каждому колесу отдельно. Дальнейшее разложение функции передачи по глубине будем проводить для одного потока – для одного колеса, положим для любого из них неопределенного – функция Φ_j^1 . Для принятия воздействия колесо должно иметь в наличии воспринимающие элементы - это зубчатый венец, который должен иметь некоторую опору – это ступица и возможно иные элементы. В случае с блок-валом колес из-за эксцентриситета возможен дисбаланс относительно общей оси вращения детали, поэтому добавляется функция выравнивания биения.

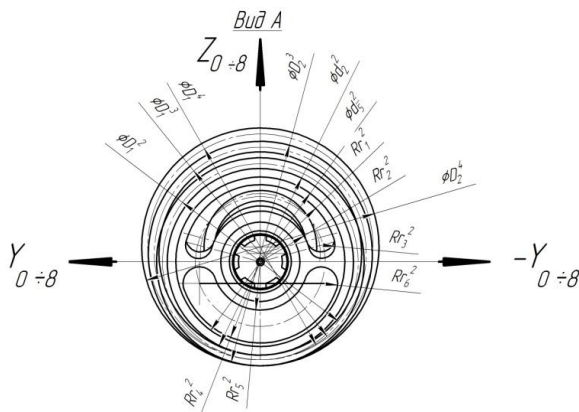


Рисунок 2.

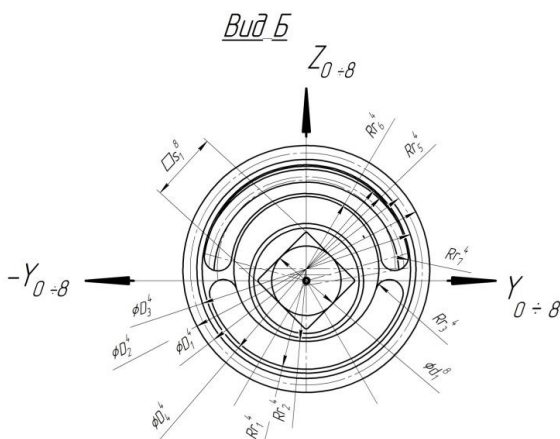


Рисунок 3.

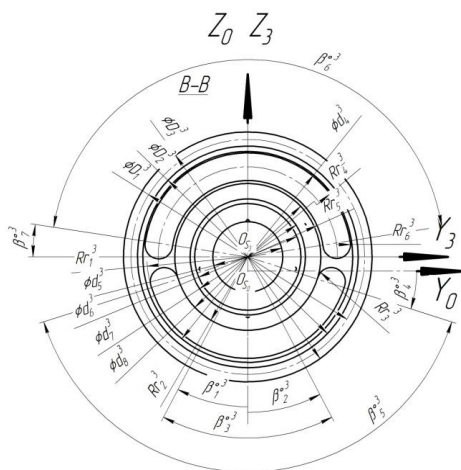


Рисунок 4.

Набор функций нижнего уровня Φ^{2-j} для j -го колеса и элементов для их реализации этих функций выглядит следующим образом:

- Φ^{2-j}_1 - прием крутящего момента – зубчатый венец с зубьями;
- Φ^{2-j}_2 - удержание зубчатого венца относительно оси колеса – диск j -го колеса;
- Φ^{2-j}_3 – передача крутящего момента на вал – ступица j -го колеса;
- Φ^{2-j}_4 – компенсация биения – элементы диск и ступица j -го колеса.

Зубчатый венец раскладывается как часть колеса на участки венца - обод и множество зубьев с функцией Φ^{2-j}_{1-k} непосредственного восприятия сил от воздействия крутящего момента $M_{кр}$ каждым k -ым зубом венца:

- Φ^{2-j-1}_{1-k} – удерживание всех зубьев венца в заданном геометрическом положении и восприятие нагрузки от каждого k -го зуба и последующая передача на диск колеса – для этого служит элемент обод венца;
- Φ^{2-j-2}_{1-k} – прямое восприятие усилия крутящего момента от предыдущего звена или детали на колесо каждым k -ым зубом из множеств z_j зубьев венца j -го колеса.

На участке зубчатого венца каждому зубу соответствует зона впадины с галтелью, воспринимающей напряжения от ножек зубьев в соответствии с количеством z_j венца каждого j -го колеса, расположенных с каждой стороны впадины. На зубчатом венце каждого j -го колеса КПШ имеется особая зона, определяемая угловым сектором β_j , соответствующим углам β^3_1, β^3_2 и β^3_3 на рис. 4, включающие в себя расположенные рядом с 1-ым зубом по 2 зуба с каждой стороны. Каждый зуб в этой зоне имеет модифицированные элементы на уровне макрозон.

На последующем уровне углубления модификации зубьев конструктивно имеют разные геометрические параметры по высоте и по ширине каждого зуба.

На наиболее глубинном уровне геометрического функционала – на уровне нанозон можно рассматривать размеры по форме зон и размерам толщины нанесения твердых покрытий и материала [10] модифицированных зубьев.

Аналогично геометрическим показателям и форме элементов с учетом показателей точности изготовления [11] рассматриваются требования к поверхностям детали, частей, участков и зон детали на глубину 7 уровней, соответствующих 7 уровням глубины технологических воздействий [1, 12], определяющих полученные свойства готовых деталей.

Требования к поверхности детали общие, без деления на участки и зоны, которые образовались при формировании геометрических форм заготовки, и которые в дальнейшем не подвергаются дополнительной обработке режущим инструментом или деформирующим, или наплавке и т.д. На уровне отдельных частей деталей и участков частей могут образовываться поверхности с другими свойствами. Чаще всего свойства таких поверхностей определяются технологией обработки, применяемым оборудованием и инструментом, а также фактором термического воздействия.

Чаще всего эти требования ограничиваются требуемой и указанной на чертежах шероховатостью, твердостью поверхности. Но могут предъявляться и специальные требования, например коррозионная стойкость, отражательная способность, цветовое решение, в том числе вид защитного или декоративного покрытия.

На глубинных уровнях функциональных проявлений участков, зон, макрозон, микрозон и нанозон детали устанавливаются более жесткие требования к шероховатости поверхностей, некоторые специальные требования к ограниченным участкам по твердости, износостойкости, видам и степени плавности перехода от одной зоны поверхности к другой и другие.

В обобщенном виде функциональное разделение поверхностей детали на разных глубинных уровнях приведено на рис. 5, где показано разделение общей целевой функции детали по трем направлениям:

- по геометрии, формообразованию и размерам элементов детали;
- по поверхностям на уровнях глубины проявления свойств поверхностей;
- по свойствам материала на всех уровнях проявления структуры материала.

Разделение функциональных свойств деталей, проявляемых на различных уровнях при использовании в механизмах во взаимодействии с сопряженными деталями.

Подобно изложенному выше описанию функционала формообразования можно представить функционал поверхностей Φ^{I_k} свойств поверхностей детали k -го уровня для j -ой детали КПП. В данном случае j -я деталь – это блок-вал колес.

На первом уровне Φ^{I_1} функция поверхностей заключается в обеспечении ограничения общей формы детали, включая части и участки.

На втором уровне $\Phi^{I_{2i}}$ функция поверхностей обеспечивает определенные требования согласно документации для частей детали, чем обеспечиваются эксплуатационные свойства, необходимые для выполнения целевой функции детали.

На третьем уровне функции поверхностей $\Phi^{I_{3k}}$ относятся к ограниченным участкам частей и обеспечивают решение частных задач, например, повышение износостойкости, прочности отражающей способности.

На уровне зон функции $\Phi^{I_{4l}}$ решают те же задачи, что и на предыдущем уровне, но требования к поверхностям могут предъявляться иные, как правило, более жесткие и относятся к зонам, непосредственно воспринимающим определенные воздействия от внешних объектов, или сами проявляющие воздействия на другие детали. Примером таких зон могут быть поверхности зубьев блок-вала колес.

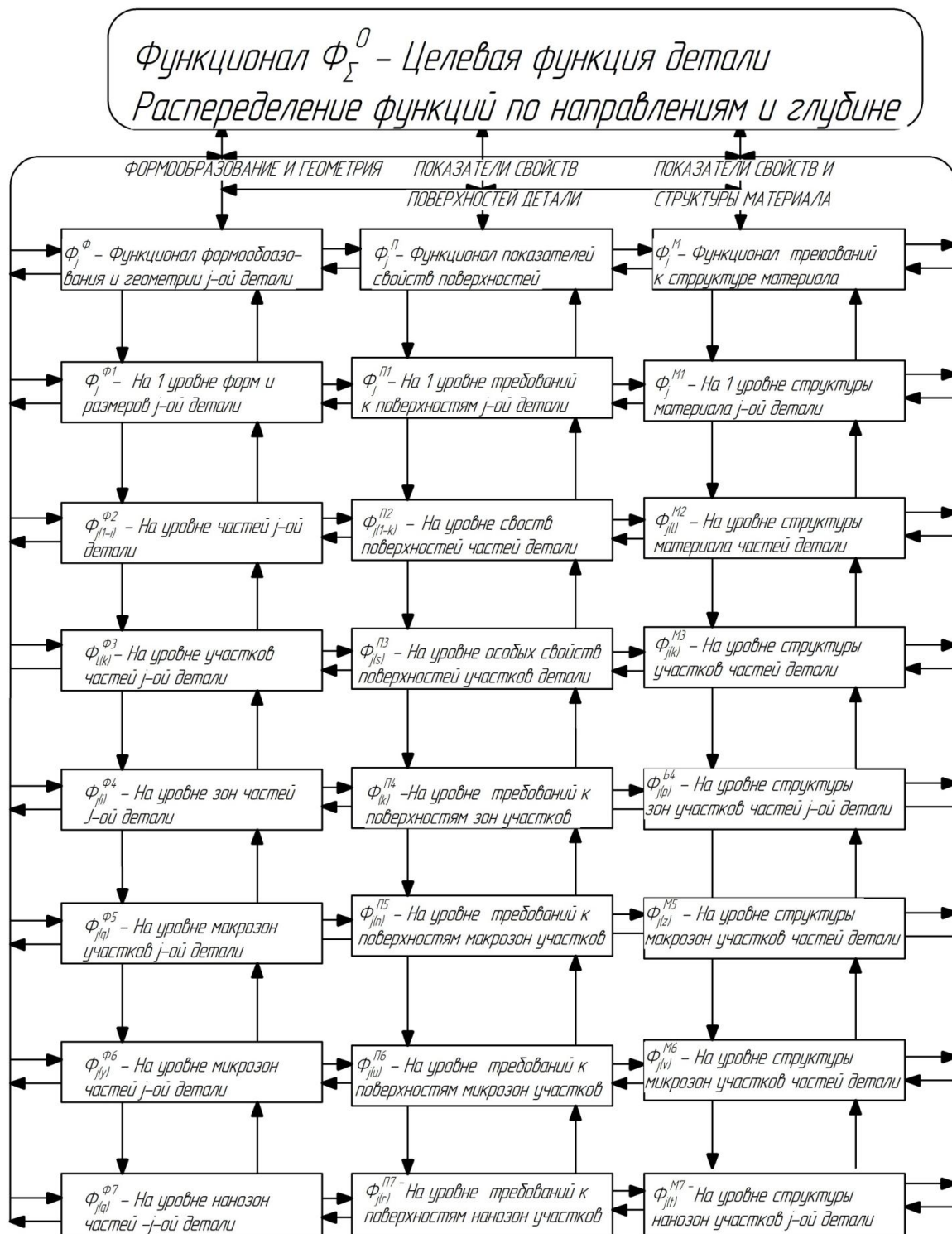


Рисунок 5.

На уровне макрозон функции $\Phi_{j(ij)}^{\Pi 5m}$ имеют четкую топологию на заданных частях детали и обеспечивают локальное проявление в процессе работы и имеющие свои особенности в их образовании [5]. Для блок-вала КПП такими макрозонами являются

поверхности модифицированных зубьев, выполненные в рамках заданных координат расположения зон на участках детали.

На уровне микрозон функции $\Phi^{\text{П6n}}_j$ определяют ограниченное топологическое и объемное локальное взаимодействие с сопряженными в механизме деталями, чем обеспечивается решение частных локальных задач с целью выполнения целевой функции детали без ее преждевременного разрушения и сбоя в работе.

На уровне нанозон функции $\Phi^{\text{П7p}}_j$ задаются сверхтонкие настройки, нацеленные на тонкое взаимодействие с сопряженными деталями в локальных зонах с четко ограниченными свойствами, достигаемыми при тонком технологическом воздействии. Такими могут быть твердость или податливость зоны поверхности в определенных заданных КД границах, отражательная или проникающая способность только для определенного вида воздействий и т.д. Для блок-вала такими нанозонами являются ограниченные зоны на боковых поверхностях модифицированных зубьев, на которых обеспечивается напыление сверхтвердых материалов, толщина нанесенного слоя которых исчисляется в микронах.

Влияние всех указанных выше подмножеств частных функций на общий функционал свойств детали можно формализовать с помощью представления в виде объединения подмножеств [13, 14] по известным алгоритмам.

Необходимо отметить, что свойства и качественные показатели поверхностей на различных участках и по различным уровням глубины разделения могут быть комплексными, и сочетать различные указания. Например, для детали с поверхностной закалкой на заданных участках может одновременно применяться защитно-декоративное или какое-либо специальное покрытие. Такое положение отражается в условных обозначениях функций набором символов, где направление проявления (геометрия с размерами формообразования, свойства поверхностей и свойства структуры материала) и уровень глубины отражения указываются верхними индексами при символе частного функционала $\Phi^{\text{Ф-П-М (1-i)}}$. Номер детали, номер части или участка и зон, макрозон и микрозон с нанозонами детали в множестве рассматриваемых функций указываются нижними индексами при символе частного функционала $\Phi_{j(1...z)}$ относительно рассматриваемой детали механизма.

Функционал структуры и свойств материала $\Phi^{\text{М}}_j$ рассматривается по алгоритму, как и для функционала поверхности. Порядок указания индексов при функционале $\Phi^{\text{М}}_j$ такой же, как и для ранее рассмотренных частных функционалов $\Phi^{\text{Ф}}_j$ и $\Phi^{\text{П}}_j$.

Исходя из приведенного анализа весь набор свойств, присущих детали можно выразить как целевую функцию детали, определяемую полным множеством или набором частных функций, отражающих свойства по направлениям – формообразования, поверхности и структуры материала. Все частные функции по направлениям формируют частные собирательные функционалы относительно формы и размеров детали $\Phi^{\text{Ф}}_j$, проявления свойств поверхности на каждом значимом участке детали $\Phi^{\text{П}}_j$, а также формирования определенных свойств и структурных особенностей материала детали в заданных локальных зонах и точках детали $\Phi^{\text{М}}_j$.

Каждый из частных функционалов образуется множеством функций по своему направлению. Так функционал формообразования $\Phi^{\text{Ф}}_j$ некой j-ой детали из всех входящих в механизм деталей представляет конъюнкцию всех частных функций [6, 7] частей и зон деталей, образующий общую форму рассматриваемой детали:

$$\Phi^{\text{Ф}}_{\Sigma j} = \Phi^{\text{Ф}}_{j1} \cap \Phi^{\text{Ф}}_{j2} \cap \dots \cap \Phi^{\text{Ф}}_{jz}, \quad (1)$$

где t – количество конечных элементов, образующих геометрическую форму с заданными размерами j -ой детали.

При этом каждая из частных функций состоит из множества подфункций на каждом уровне по глубине проявления:

$$\Phi_j^\Phi = \Phi_{j(1-k)}^{\Phi^1} \cap \Phi_{j(1-r)}^{\Phi^2} \cap \Phi_{j(1-i)}^{\Phi^3} \cap \Phi_{j(1-m)}^{\Phi^4} \cap \Phi_{j(1-n)}^{\Phi^5} \cap \Phi_{j(1-t)}^{\Phi^6} \cap \Phi_{j(1-s)}^{\Phi^7}, \quad (2)$$

где индексы верхние $\Phi^1-\Phi^7$ при символе $\Phi^{\Phi^1-\Phi^7}$ обозначают номер уровня по глубине проявления функции, а нижние индексы обозначают количество возможных частей, участков и зон на каждом рассматриваемом уровне формообразования j -ой детали из всего множества

$$\begin{aligned} \Phi_{j(1-k)}^{\Phi^1} &= \Phi_{j1}^{\Phi^1} \cap \Phi_{j2}^{\Phi^1} \cap \Phi_{j3}^{\Phi^1} \cap \dots \cap \Phi_{jk}^{\Phi^1}, \\ \Phi_{j(1-n)}^{\Phi^2} &= \Phi_{j1}^{\Phi^2} \cap \Phi_{j2}^{\Phi^2} \cap \Phi_{j3}^{\Phi^2} \cap \dots \cap \Phi_{jn}^{\Phi^2}, \\ \Phi_{j(1-s)}^{\Phi^7} &= \Phi_{j1}^{\Phi^7} \cap \Phi_{j2}^{\Phi^7} \cap \Phi_{j3}^{\Phi^7} \cap \dots \cap \Phi_{js}^{\Phi^7}, \end{aligned} \quad (3)$$

и объединение формул (2) и (3) дают в результате формулу (1), а мощность множества N^Φ функционала (1) определяется мощностями подмножеств (2) и (3).

Функционал поверхности Φ_Σ^Φ объединяет частные функции по всем уровням глубины проявления с различным количеством участков и зон на каждом уровне:

$$\Phi_{\Sigma j}^\Pi = \Phi_{j1}^\Pi \cap \Phi_{j2}^\Pi \cap \dots \cap \Phi_{jr}^\Pi, \quad (4)$$

где функционал $\Phi_{\Sigma j}^\Pi$ для j -ой детали записывается в виде:

$$\Phi_j^\Pi = \Phi_{j(1-l)}^{\Pi^1} \cap \Phi_{j(1-g)}^{\Pi^2} \cap \Phi_{j(1-i)}^{\Pi^3} \cap \Phi_{j(1-m)}^{\Pi^4} \cap \Phi_{j(1-r)}^{\Pi^5} \cap \Phi_{j(1-u)}^{\Pi^6} \cap \Phi_{j(1-s)}^{\Pi^7}, \quad (5)$$

где индексы верхние $\Pi^1-\Pi^7$ при символе $\Phi^{\Pi^1-\Pi^7}$ обозначают номер уровня по глубине проявления функции, а нижние индексы обозначают количество возможных, участков и зон на каждом рассматриваемом уровне образования поверхностных свойств j -ой детали из всего множества

$$\begin{aligned} \Phi_{j(1-k)}^{\Pi^1} &= \Phi_{j1}^{\Pi^1} \cap \Phi_{j2}^{\Pi^1} \cap \Phi_{j3}^{\Pi^1} \cap \dots \cap \Phi_{jk}^{\Pi^1}, \\ \Phi_{j(1-n)}^{\Pi^2} &= \Phi_{j1}^{\Pi^2} \cap \Phi_{j2}^{\Pi^2} \cap \Phi_{j3}^{\Pi^2} \cap \dots \cap \Phi_{jn}^{\Pi^2}, \\ \Phi_{j(1-s)}^{\Pi^7} &= \Phi_{j1}^{\Pi^7} \cap \Phi_{j2}^{\Pi^7} \cap \Phi_{j3}^{\Pi^7} \cap \dots \cap \Phi_{js}^{\Pi^7}, \end{aligned} \quad (6)$$

где каждый из элементов $\Phi_{j(1-s)}^{\Pi^7}$ правой части уравнений (6) представляет собой набор единичных частых функций на каждом уровне глубины проявлений и на каждом участке каждой зоны локализации требований к свойствам поверхностей j -ой детали. Мощность множества свойств поверхности N^Π функционала (4) определяется мощностями подмножеств (5) и (6).

Функционал структуры материала Φ_Σ^M , учитывающий свойства и структуру материала как в подповерхностном слое, так и в любой точке на заданной глубине от поверхности, локализация которой задается в конструкторской документации детали. Функционал Φ_Σ^M объединяет частные функции по всем уровням глубины проявления с различным количеством участков и зон на каждом уровне:

$$\Phi_{\Sigma j}^M = \Phi_{j1}^M \cap \Phi_{j2}^M \cap \dots \cap \Phi_{jt}^M, \quad (7)$$

где функционал $\Phi_{\Sigma j}^M$ для j -ой детали записывается в виде:

$$\Phi_j^M = \Phi_{j(1-e)}^{M1} \cap \Phi_{j(1-g)}^{M2} \cap \Phi_{j(1-k)}^{M3} \cap \Phi_{j(1-n)}^{M4} \cap \Phi_{j(1-p)}^{M5} \cap \Phi_{j(1-s)}^{M6} \cap \Phi_{j(1-t)}^{M7}, \quad (8)$$

где индексы верхние $M1-M7$ при символе Φ^{M1-M7} обозначают номер уровня по глубине проявления функции, а нижние индексы $(1-s)$ символа Φ^M обозначают количество возможных, участков и зон на каждом рассматриваемом уровне проявления свойств (структурных и иных свойств, в том числе физико-механических) из всего множества участков и зон j -ой детали

$$\begin{aligned}
\Phi_{j(1-k)=}^{M1} &= \Phi_{j1}^{M1} \cap \Phi_{j2}^{M1} \cap \Phi_{j3}^{M1} \cap \dots \cap \Phi_{jk}^{M1}, \\
\Phi_{j(1-n)=}^{M2} &= \Phi_{j1}^{M2} \cap \Phi_{j2}^{M2} \cap \Phi_{j3}^{M2} \cap \dots \cap \Phi_{jn}^{M2}, \\
\Phi_{j(1-s)=}^{M7} &= \Phi_{j1}^{M7} \cap \Phi_{j2}^{M7} \cap \Phi_{j3}^{M7} \cap \dots \cap \Phi_{jt}^{M7},
\end{aligned} \tag{9}$$

где каждый из элементов $\Phi_{j(1-t)}^{M(1-7)}$ правой части уравнений (9) представляет собой набор единичных частых функций на каждом уровне глубины проявлений свойств материала и на каждом участке каждой зоны локализации требований к свойствам и структуре материала j-ой детали.

Функционал свойств материала $\Phi_{\Sigma j}^M$ в формуле (7) представляет собой полное объединение всех подмножеств, отраженных в формулах (8) и (9).

Мощность множества свойств поверхности N^M функционала (7) определяется мощностями подмножеств (8) и (9). Общая мощность функционала целевой функции j-ой детали определяется объединением мощностей N_j^{Φ} , N_j^{Π} , N_j^M всех множеств подмножеств по всем направлениям проявления функций, объединяемых функционалами (отраженных в формулах (3-9)

$$N_j^D = N_j^{\Phi} \cap N_j^{\Pi} \cap N_j^M. \tag{10}$$

Указанный выше набор функций, включая все объединенные функционалы и подмножества частных проявлений, является отправным пунктом для формирования набора технологических воздействий на соответствующие зоны и участки детали с целью обеспечения указанных функциональных требований к детали, что и является основой для создания функционально ориентированных технологий изготовления объектов машиностроения.

Необходимо отметить, что мощности множеств по разным направлениям не совпадают, т. к. на некоторых уровнях на различных направлениях и на различной глубине некоторые функциональные проявления могут накладываться друг на друга, а на некоторых уровнях могут отсутствовать, что зависит от конкретных задач для проектируемой детали.

Заключение.

1. В данной работе установлены и формализованы показатели геометрических форм и поверхности, являющиеся функциональными для рассматриваемой детали в механизме.

2. Установлена и ограничена топология частей детали, характерных участков и зон детали относительно общем множестве функциональных проявлений по направлениям формообразования, размеров, свойств поверхностей и структуры материала детали на различных уровнях глубины проявлений.

3. Установлено и формализовано соответствие характерных участков и зон по директивным направлениям: по геометрии и форме; по свойствам поверхностей; по структурным особенностям и признакам материала детали в соответствующих зонах от общей характеристики детали до уровня микронзон и нанозон. Определен инвариант структуры множества функций в полном объеме для любой детали.

4. Установлены основные отличительные признаки разделения частных установленных функций детали как составляющих частей соответствующих функционалов и их соответствие целевой функции детали. Установлена вариативность множества частных функций по топологической, функциональной и пространственной принадлежности к конкретным участкам и зонам.

Создана основа для формализованного решения задач создания функционально ориентированных технологий и синтеза структурно-параметрических схем технологических воздействий, обеспечивающих требуемое качество и точность [8], и примени-

мых для решения задач анализа и синтеза на всех этапах инновационно - инвестиционного цикла для любых машиностроительных деталей.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Михайлов, А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения / А.Н. Михайлов – Донецк, ДонНТУ, 2009. – 346с.
2. Техническая механика: Учебник для СПО / В. В. Джамай, Е. А. Самойлов, А. И. Станкевич, Т. Ю. Чуркина. – 2-е изд., испр. и доп. – М.; Издательство Юрайт, 2018. – 360 с.
3. Детали машин и основы конструирования: Учебник и практикум для среднего профессионального технического образования / под редакцией Е.А. Самойлова, В.В. Джамая.- 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2018. – 423с.
4. Котляров, Б. С. Основы структурного синтеза модификаций зубьев цилиндрических колес и схем многоинструментальных роторных машин для их формообразования: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Б.С. Котляров— Харьков, 1989.
5. Базров, Б. М. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов / Б.М. Базров – М.: Машиностроение, 2005. – 736 с.
6. Михайлов, Д. А. Особенности формирования параметров многослойных функционально-ориентированных покрытий лопаток газотурбинных двигателей / Михайлов Д.А., Михайлов В. А., Шейко Е. А., Михайлов А. Н. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Вып. 3 (70). – 2020.
7. Хейфец, М. Л. Формирование свойств материалов при послойном синтезе деталей / М.Л. Хейфец – Новополюк: ПГУ, 2001. – 156 с.
8. Ящерицын, П. И. Проектирование технологических процессов прямого выращивания изделий / Ящерицын П.И., Полонский Л. Г., Хейфец М. Л., Кухта С. В. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк: ДонГТУ, 2000. – Вып. 14. – С. 147-152.
9. Буч, Г. Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения: пер. с англ. / Г. Буч. – М.: Конкорд, 1992. – 519 с.
10. Машиностроительные материалы: краткий справочник. / В. М. Раскатов, В. С. Чуенков, Н. Ф. Бессонова, Д. А. Вейс. – М.: Машиностроение, 1980. – 511 с.
11. Журавлев, А. Н. Допуски и технические измерения / А.Н. Журавлев – М.: Высшая шк., 1981. – 256 с.
12. Михайлов, А. Н. Проявление атрибутов деталей машин как факторов разработки функционально-ориентированных технологий / Михайлов А.Н., Котляров Б. С., Котляров В. Б., Котляров С. Б. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2020. – Вып. 3 (70). – С. 22-33.
13. Бурбаки, Н. Теория множеств/Физико-математическое наследие (Основания математики и логики) / Н. Бурбаки. – Издательство Либроком, 2010. – 496 с.
14. Луциевский, О. В. Элементы теории множеств / О.В. Луциевский. – Издательство МЦНМО, 2018.– 96с.

Поступила в редколлегию 14.02.2022 г.