

<sup>1</sup>А. Н. Михайлов, д-р техн. наук, проф., <sup>2</sup>Б. С. Котляров, канд. техн. наук,  
<sup>3</sup>В. Б. Котляров, инженер, <sup>2</sup>С. Б. Котляров, инженер

<sup>1</sup> ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет»

<sup>2</sup> Ялта, Россия

<sup>3</sup> Москва, Россия

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

E-mail: <sup>1</sup>tm@fimm.donntu.org; <sup>2</sup>boris.kotlyarov@mail.ru; <sup>3</sup>[validarkotlarov@mail.ru](mailto:validarkotlarov@mail.ru)

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ СВОЙСТВ И СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛА ДЕТАЛИ С ПОМОЩЬЮ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

*В статье описаны результаты исследований формирования структуры материала и свойств материала деталей, заданных согласно требованиям конструкторской документации, достигаемые с применением функционально-ориентированных технологий (ФОТ). Рассматриваются свойства на всю глубину от поверхностного слоя до сердцевины на всех участках, частях всех элементов деталей путем дополнительных технологических воздействий с функционально-ориентированной направленностью. Способы формирования различных свойств структуры материала деталей с помощью выбора термохимической, электрохимической, физико-химической, ионно-плазменной, лазерной и других видов обработки обеспечивают повышение механических, физических, химических, и иных характеристик деталей в процессе эксплуатации. Установлен алгоритм поиска оптимальных схем формирования эксплуатационных свойств функционально значимых элементов и частей детали, зон, микрозон и нанозон 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, структура материала, свойства, твердость.

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

## ENSURING THE PROPERTIES AND STRUCTURE OF THE MATERIAL OF THE PART WITH THE HELP OF FUNCTIONALLY-ORIENTED TECHNOLOGICAL IMPACT

*The article describes the results of research on the formation of the material structure and material properties of parts specified in accordance with the requirements of design documentation, achieved using functional-oriented technological technologies (FOT). Properties are considered for the entire depth from the surface layer to the core in all sections, parts of all elements of parts by additional technological actions with a functional-oriented orientation. Methods for forming various properties of the material structure of parts by selecting thermochemical, electrochemical, physico-chemical, ion-plasma laser and other types of processing provide an increase in the mechanical, physical, chemical, and other characteristics of parts during operation. An algorithm for searching for optimal schemes for forming the operational properties of functionally significant elements and parts of a part, zones, microzones, and nanozones based on iterative recurrent selection of the optimal method of functionally oriented technological impact from a certain set of PHOTONS is established.*

**Keywords:** part, part, section, zone, functional-oriented technological impact, material structure, properties, hardness.

### 1. Введение

Материал для изготовления любой детали машиностроительного назначения определяется конструктором на начальном этапе проектирования на основании общей целевой функциональной предназначенности детали в целом, а также частным функциональным предназначением отдельных частей, элементов, зон, макрозон детали. Детали машин изготавливают из чугунов, сталей, сплавов на основе меди, алюминия, магния и титана, полимеров, стекла, гранита и других материалов. При выборе материала устанавливают соответствие его механических, физических и химических

своих функций, которые надлежит исполнять детали, и условиям ее работы. Материал выбирают также с учетом его технологических свойств.

Чаще всего выбирается материал для всей детали с однородными показателями физико-механических, химических и иных свойств. В зависимости от выполняемых функций в механизме принимается материал с заданной структурой строения, прочностью, допускаемыми напряжениями, химической стойкостью и т.д.

К механическим свойствам материала относят временное сопротивление при растяжении и сжатии, предел текучести, твердость, относительное удлинение, структуру остаточных напряжений и др. К физическим свойствам относят удельный вес, плотность, модуль объемного сжатия, модуль Юнга, температуру плавления и кристаллизации, теплопроводность, коэффициент линейного расширения, электрическое сопротивление и пр. Химические свойства материала прежде всего определяются его коррозионной стойкостью. Технологические свойства материала составляют обрабатываемость резанием и давлением, свариваемость, упрочняемость и т.д.

Требования к свойствам материала детали задаются системой номинальных значений показателей свойств и допусками, ограничивающими отклонения показателей от их номинальных значений. Обеспечение заданных номинальных значений свойств материала детали достигается целенаправленным дополнительным функционально-ориентированным ограниченным технологическим воздействием на материал, для чего устанавливается однозначное взаимоотношение между технологией и показателями конечных свойств материала детали.

## **2. Цель и задачи**

Цель настоящей работы заключается в создании формализованной взаимосвязи функционально значимых свойств материала детали с комплексом функционально ориентированных технологических схем воздействия, формирующих свойства материалов на разной глубине, полученных на разных этапах технологии изготовления детали и заданных конструкторской документацией. При этом способы формирования свойств материалов деталей рассматриваются как функции функциональных конструктивных целевых задач элементов деталей, выраженных посредством механических физических, химических, электрических и т.д. принципов, принятых для формирования свойств в поверхностном слое и в глубинных слоях материала. Установить множество схем технологических воздействий, которые обеспечивают достижение назначенных конструкторской документацией требований к поверхностным и глубинным свойствам материалов обрабатываемых деталей. Представить взаимосвязи функциональных проявлений деталей и функционально-ориентированных технологических воздействий в формализованном выражении.

Поставленная цель достигается решением некоторых частных задач.

1. Установить возможные эксплуатационные функции элементов и зон деталей во взаимосвязи с требованиями к качественным показателям свойств поверхностных и глубинных слоев деталей, заданных в КД.

2. Установить возможности достижения требований к материалам по КД за счет функционально-ориентированных технологических воздействий, образующих свойства в локализованных зонах материала на всю глубину обрабатываемых элементов и частей деталей, и представить все их многообразие в формализованном виде.

3. Создать предпосылки для синтеза возможного множества структурных схем ФОТ-воздействий на обрабатываемую деталь известным инструментом с учетом известных способов создания и корректировки свойств материала и использования дополнительных материальных физико-химических, газовых и иных сред,

позволяющих достигать требуемых характеристик и формируемых свойств на всех глубинах деталей.

4. Установить формализованную взаимосвязь требований КД на детали ко всем показателям качества материала обработанных частей и элементов детали, функционально значимым и заданных для конкретно локализованных участков детали 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 работы

На машиностроительных предприятиях детали машин изготавливают из полуфабрикатов (получают отрезкой из проката, литьем, методами пластического деформирования, сваркой, металлические порошки, полимерные материалы и др. [1, 2, 3]).

В процессе изготовления детали материал заготовки подвергается силовым, тепловым, химическим и другим видам воздействий. Вследствие этого на каждом из этапов технологического процесса могут изменяться химический состав, структура, зернистость материала заготовки, а следовательно, и его механические, физические, химические свойства и состояние поверхностных слоев. Переход от свойств материала заготовки к свойствам материала готовой детали может быть представлен схемой, приведенной на рис. 1.

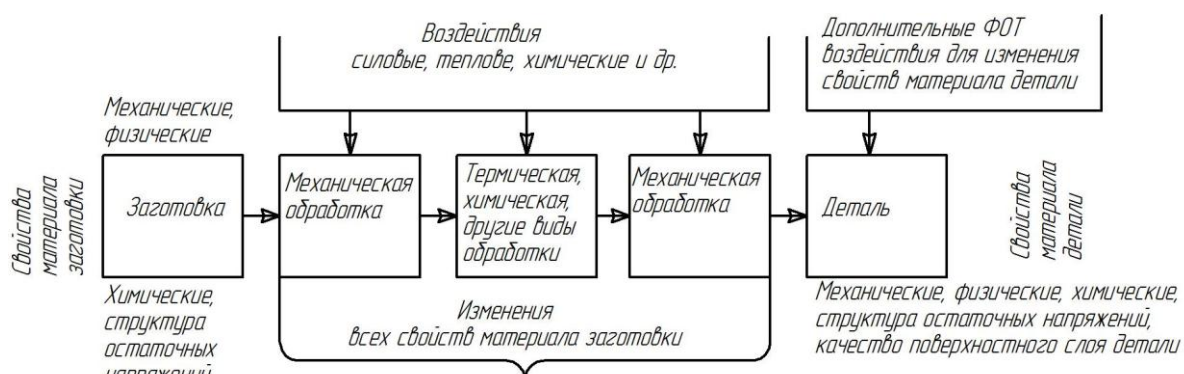


Рисунок 1. Переход от свойств материала заготовки к свойствам материала детали.

Анализ схемы показывает, что для обеспечения требуемых свойств материала детали необходимо:

1. Строить технологический процесс изготовления детали надо так, чтобы все воздействия на заготовку, в конечном счете, обеспечивали получение необходимых свойств материала детали, наряду с точностью ее геометрических параметров [1, 4, 5].

2. Исходя из требуемых свойств материала детали и с учетом изменений этих свойств в технологическом процессе изготовления по направлению к конечным свойствам детали согласно функциональному назначению [6], предъявить комплекс требований к материалу заготовки.

3. Обеспечить соблюдение требований к материалу заготовки в технологических процессах ее изготовления.

4. Обеспечить дополнительное функционально-ориентированное технологическое (ФОТ) воздействие на деталь с целью достижения конечных параметров свойств, проявляемых в материале готовой детали.

Первичный выбор материала детали основывается на основных свойствах конструкционных материалов [1, 2, 4, 5, 6], выбираемых конструктором из всей массы предложений, например, приведенных на рис. 2.

Подавляющая масса деталей выполняется из металлов и сплавов, свойства которых существенно отличаются в изначальном состоянии, из неметаллических, композитных и иных, обладающих некоторыми специфическими свойствами и подлежащих обработке и изготовлению специальными средствами и на специальном оборудовании.

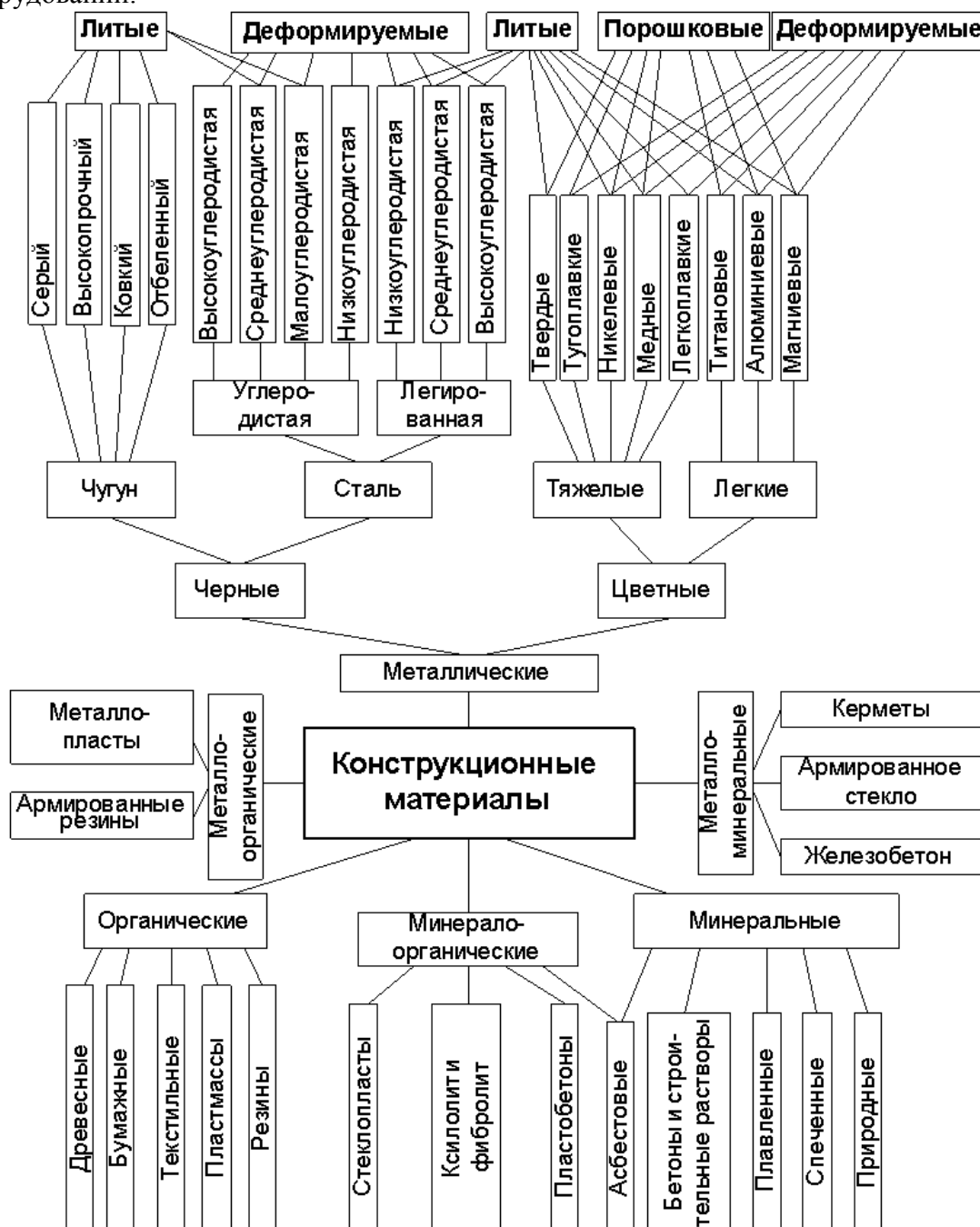


Рисунок 2. Основные группы конструкционных материалов в машиностроении.

На основе анализа функциональных задач участков, частей и зон детали, а также рассматривая их в качестве элементов некоторого множества атрибутов [6, 7], можно записать все функциональные признаки с четкой топономикой и указанием зон участков, обладающих особыми характеристиками, в общей системе координат детали. Верхние и нижние индексы символа функционального признака будут указывать на тип функции, выполняемой элементом детали, расположение в плане и по глубине в системе координат  $X_d Y_d Z_d$  детали и с указанием зоны, макро- или микрозоны участка детали.

Суммарные требования к свойствам материала детали формируются частными свойствами частей и участков этой детали с учетом всех специфических требований, продиктованных их функциональными предназначениями. В левой части выражения (1),

$$M_{\Sigma \partial}^{F_{\Sigma f_j} 3_i} \in \left\{ M_{\partial}^{F_{\Sigma} \Phi_{X_d Y_d Z_d}^{ЧУЗМН}} \cap M_{\partial}^{F_{f_i} C_{X_i Y_i Z_i}^{Ч_i У_i З_i М_i Н_i}} \cap \dots \cap M_{\partial}^{F_{f_t} C_{X_t Y_t Z_t}^{Ч_t У_t З_t М_t Н_t}} \right\} \quad (1)$$

представлен весь комплекс всех функционально значимых требований к материалу детали, а в правой части перечисляются все частные требования к материалу в выполнении каждой функциональной задачи, относящейся к конкретным частям, участкам и зонам детали.

- М – означает в общем случае свойства материала;
- F – некая универсальная функция (структура, пористость, твердость, химические или физические свойства и т.д.), сущность которой обозначена индексом при F;
- f(j, i...t) – частная функция материала для каждого отдельного участка, части, макрозоны, зоны, нанозоны детали, выражающая какое-либо отдельное свойство (твердость, структурная решетка, вязкость и т.д.);
- Ч, У, З, М, Н – часть, участок, зона, макро- и микрозона, нанозона детали, которым в детали присущи функции f(j, i...t), определенные по топономике в декартовой системе координат X(j, i...t), Y(j, i...t), Z(j, i...t) участка с переводом в систему координат детали  $X_d Y_d Z_d$ .

Все элементы в правой части выражения (1) представляют собой закрытое конечное подмножество для каждой конкретной детали, обладающей конечным числом возможных функциональных задач, решение каждой из которых возможно несколькими технологическими подходами. Все полное множество функционально-ориентированных технологических воздействий для достижения всех показателей материала участков и частей детали также представляет собой конечное множество элементов. Каждый элемент такого множества представляет собой конкретный набор материала, рабочей среды, оборудования, режима энергетического, информационного обеспечения технологического процесса, управления и иных составляющих для достижения требуемого свойства материала в заданной конкретной зоне или точке детали.

Так способ изготовления заготовки выбирают с учетом ее последующей обработки на основе технико-экономического анализа. На выбор способа влияют марка материала, размеры и конфигурация детали, требуемая точность размеров и качество

поверхностей заготовки, объем выпуска, тип производства, характер последующей механической и других видов обработки заготовки.

Разные процессы получения заготовок приводят к разным свойствам их материала. Структура и размер зерен материала отливки зависит от многих факторов: количества и свойства примесей в чистом металле или легирующих элементов в сплаве, температуры разливки, скорости охлаждения при кристаллизации, а также конфигурации, температуры, теплопроводности, состояния внутренних поверхностей литейной формы.

Свойства материала литой заготовки во многом зависят от ее конструкции. Конструкция отливки должна создавать возможность одновременного или последовательно направленного затвердевания ее частей. В первом случае желательна равномерность сечений стенок, а во втором – постепенное увеличение массивности стенок в предполагаемом направлении затвердевания металла. Неравномерное охлаждение различных частей отливки, сопротивление формы и стержней свободной усадке металла могут привести к образованию трещин, усадочных раковин и остаточных напряжений. В тонких местах стенок чугуновых отливок при быстром охлаждении происходит отбел поверхностей.

Пластическое деформирование металла также сопровождается изменением его физико-механических свойств. При начальной горячей обработке давлением (прокатка, ковка) литых слитков металла происходит деформирование его дендритной структуры, зерна металла вытягиваются и его механические свойства в продольном и поперечном направлениях становятся различными [8]. Прочность заготовки снижается.

Анализируя схему на рис. 2, где в укрупненном виде представлены группы конструкционных материалов, сравнивая с технологическими способами и возможностями достижения установленных показателей, можно для каждой группы функциональных показателей выражения (1) установить подмножество функционально-ориентированных технологических воздействий с конкретными технологическими показателями, обеспечивающими достижение требований КД к материалу в каждой зоне детали в допустимых размерных и сущностных пределах.

И основываясь на принципе рекуррентности, необходимо выбрать оптимальный технологический процесс формирования свойств материала для всей детали [9] и для ее зон по оценке критерия качества процесса (рис. 3).

Предельный критерий оценки качества выбираемого технологического процесса, обеспечивающего преобразования свойств материалов, должен представлять собой комплекс параметров по каждому отдельному свойству для всей детали в целом и для каждой части, зоны и элемента детали, и выстроенных в некоторой иерархической последовательности. Первым этапом выбора является рекуррентное сравнение технических требований к свойствам материала детали по КД, отражающих целевую функцию, с технологическими возможностями процесса преобразования и формирования новых свойств материала на отдельных участках детали. Положительным результатом может считаться попадание параметра свойства после технологического воздействия в зону, ограниченную максимальным (max) и минимальным (min) значением диапазона, в котором свойства обеспечивают целевую функцию детали.

Рассмотрим применение критериального диапазона оценки качества процесса на конкретном примере. Например, необходимо иметь металл с ударной вязкостью КС от 80 до 120 мДж/см<sup>2</sup>, а различные процессы термообработки позволяют для одного и того же материала получать результаты в пределах от 75 до 122 мДж/см<sup>2</sup>.

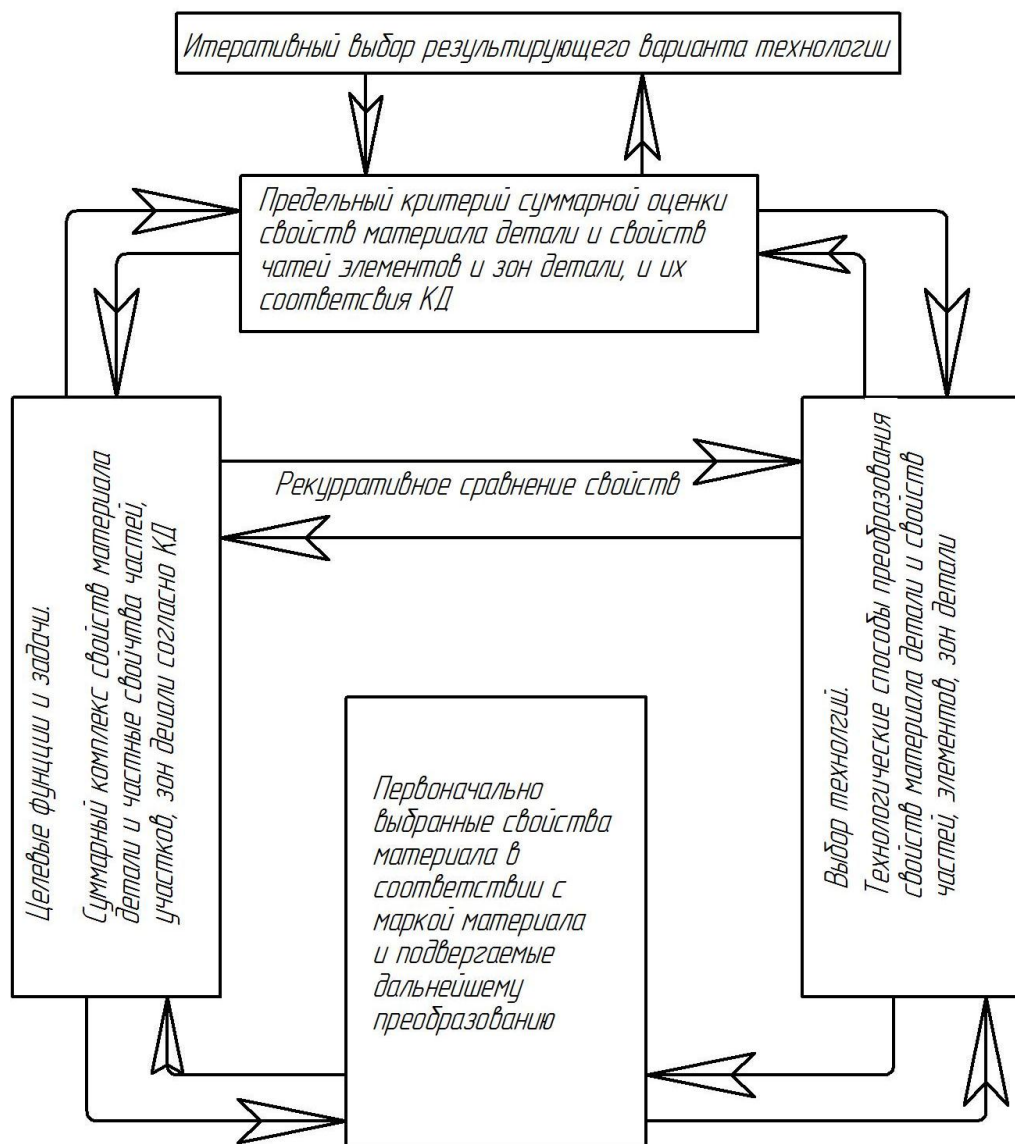


Рисунок 3. Выбор оптимального варианта технологического преобразования свойств материала детали на основании итеративного рекуррентного подхода.

Установим граничные условия в пределах  $KC^{max}=115\text{МДж/см}^2$ , и  $KC_{min}=85\text{МДж/см}^2$ . Тогда все технологические процессы с их материалами и оборудованием, значения КС которых лежат за пределами  $KC^{max}$  и  $KC_{min}$  значений, установленных в критериальном показателе, из дальнейшего процесса рекуррентного рассмотрения исключаются. Так же точно можно рассматривать показатели по модулю упругости  $E$  (МПа или  $\text{кгс/см}^2$ ), по величине внутренних напряжений  $\sigma$  (МПа), объемной плотности  $\rho$  ( $\text{г/см}^3$ ) и другие показатели.

Основные положения формирования свойств детали можно продемонстрировать на примере создания технологии изготовления ведущей шестерни КПП, работающей в режиме переключения передач без разрыва потока передаваемой мощности [9]. Эскиз шестерни с отдельными элементами представлен на рис. 4а, б, в, г, а схема нагружения зубьев колеса и шестерни в процессе переключения ступеней передач на рис. 5а, б.

Все поверхности шестерни обозначены буквами русского алфавита в своей

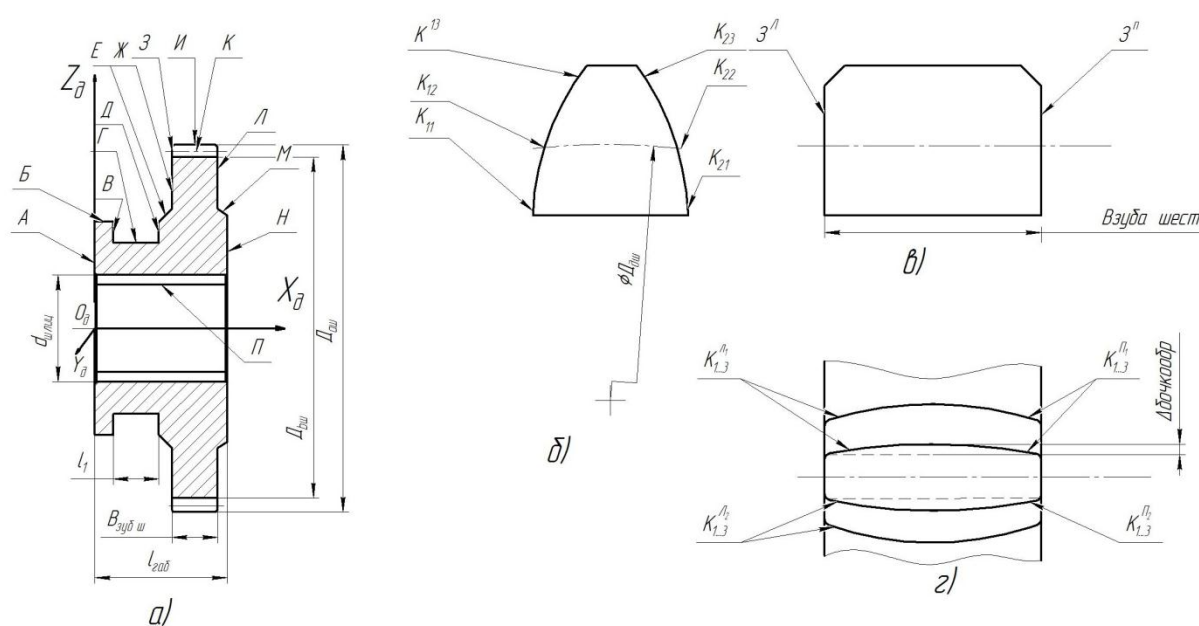


Рисунок 4. Эскиз ведущей шестерни КПП без прерывания потока передаваемой мощности

а) эскиз ведущей шестерни; б) торцовый профиль зуба шестерни; в) зуб шестерни в плане; г) продольная бочкообразная модификация зуба шестерни.

совокупности (от **А** до **П** для данной шестерни) образуют геометрическую форму детали. Но материал детали в зоне разных поверхностей (участков) шестерни выполняют различные функциональные задачи, и подвергаются разным внешним нагрузкам, вследствие чего имеют разную степень внутренних напряжений.

Так поверхности **В, Г, Д** предназначены для перемещения шестерни вдоль своей оси при переключении передач и вводе в зацепление с другим венцом колеса ведомого. При этом условия работы поверхностей – скольжение и трение по боковым поверхностям сухаря вилки переключения. Значит, поверхности должны обладать минимальной шероховатостью и максимальной износоустойчивостью.

Поверхности **П** указывают на боковые поверхности шлицевого отверстия. Работают боковые поверхности в условиях скольжения и боковых нагрузок при передаче крутящего момента вала на ступицу шестерни. Поверхности **Е, Ж, Л, М, Н** ограничивают ступицу, которая воспринимает и передает крутящий момент от шлицев на зубчатый венец, при этом нагрузки через внутренние напряжения материала ступицы. Поверхность **И** ограничивает диаметр выступов и нагрузок не воспринимает. Наиболее разнообразно нагружены зубья, это элементы шестерни, ограниченные поверхностями **З** и **К**. При этом боковые поверхности **З<sub>л</sub>** и **З<sub>п</sub>** зубьев, ограничивающие торцы зубьев сжимающие и растягивающие тангенциальные напряжения поверхностных слоев, а также сжимающие, растягивающие, изгибные и напряжения кручения, воспринимаемые внутренними слоями материала зубьев шестерни. В процессе переключения передачи зубья шестерни частично входят в зацепление с зубьями ведомых колес последовательно, начиная с зацепления одним краем, и в дальнейшем переходит к зацеплению посередине, и при дальнейшем переключении зацепление осуществляется другим краем зубьев, как показано схематически на рис. 5.

Максимальная нагрузка  $P_{\text{max}}$  последовательно от венца шестерни прилагается от



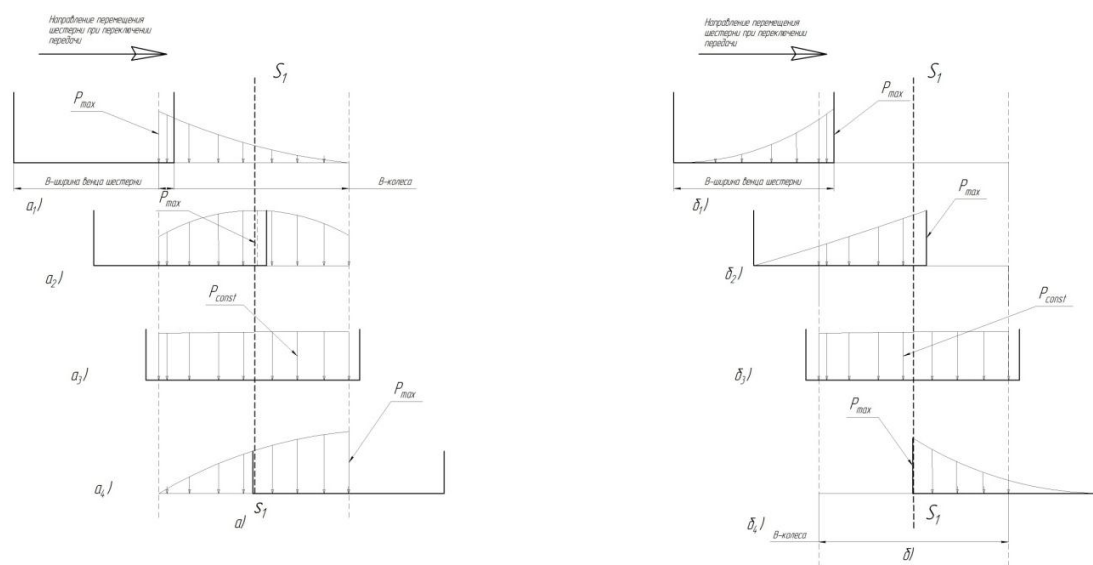


Рисунок 5. Схема нагружения зубьев колеса и зубьев шестерни КПП в процессе переключения ступеней передач без разрыва потока передаваемой мощности  
 а) нагрузка на зубья колес; б) нагрузка на зубья шестерни.

левого края к правому венца колеса, а в позиции стабильной работы в средней части зубьев нагрузка по ширине зуба распределяется равномерно. При приложении усилия в крайней части зуба происходит скручивание зуба вокруг средней линии  $S_1-S_1$  кроме усилий сжатия-растяжения по линии зацепления.

По величине допускаемых напряжения изгиба, растяжения-сжатия, кручения для шестерни можно выбрать материал сталь [10, 11, 12, 13, 14] (обычно для зубчатых колес редукторов и КПП выбирают сталь 20, сталь 40, сталь 45 и т.п.). Учитывая необходимость формирования особых свойств материала в зонах шлицевого отверстия и в зонах зубьев с повышенной твердостью поверхности с градиентом изменения по глубине, а также с переменной величиной шероховатости поверхности и твердости материала по высоте и ширине зубьев венца шестерни, материал нужно выбирать с возможностью формирования свойств, обеспечивающих дополнительные характеристики материала в зоне шлицев и зубьев по высоте и по боковому профилю.

Указанный характер обработки материала позволяет выбор цементируемых и азотируемых сталей с последующей термообработкой. С технологической позиции наиболее предпочтительным вариантом материала шестерни принимается сталь 20Х.

Формальное отображение всех требований к материалу детали по КД можно записать в виде выражения:

$$M_{D\Sigma}^{F\Sigma} \in M_D^{F\Phi(A,B,\dots\Pi)} \cap M_{\text{шлиц}}^{F_{1..2\text{бок}}(\text{ХдYдZд})} \cap M_{\text{шлиц}}^{F_{1..2\text{бок}}(\text{ХдYдZд})}^{K(L,\Pi)} \cap M_{\text{шлиц}}^{F_{1..2\text{бок}}(\text{ХдYдZд})}^{(H_{HRC}, R_a)} \quad (2)$$

где в левой части – все суммарные требования к материалу детали, а в правой части частные требования:

- первый элемент означает формообразование и сохранение формы и размеров детали;
- второй элемент выражения (2) выражает особые требования к твердости и шероховатости поверхностей шлицевого отверстия;

- а третий элемент выражает требования к материалу поверхностей зубьев шестерни по всей ширине зубьев и по высоте профиля зубьев.

В соответствие указанным требованиям к материалу детали рекуррентным подбором из множества технологий выбирается оптимальный вариант материала и способа технологического преобразования в определенных зонах координатной сетки, согласно схеме на рис.3, обеспечивающего необходимые твердость на заданную глубину и шероховатость поверхности в указанных зонах элементов детали.

Выбранный материал для всей детали по допускаемым напряжениям выражен в виде  $T_{\Phi_{\partial}}^{M_{\Sigma_{\partial}}^{ПрокатСм20X}}$ , т.е. сталь 20X в виде сортового проката – круг необходимого диаметра с последующей отрезкой и механической обработкой. Для участка шлицев после термообработки шестерни и шлифования внутреннего диаметра шлицевого отверстия вид формализованного отражения технологического воздействия может

иметь следующий вид:  $T_{\Phi_{\partial}^{XYZ}}^{F_{(t^{\circ}, MO, \Re \alpha)}^{II(1,2,...m)}}$ , где в индексации символа Т технологического воздействия указаны виды термообработки с последующей механической дообработкой группы поверхностей II шлицевого отверстия, локализация которых определена в системе координат XYZ детали.

Для поверхностей зубьев шестерни требования к свойствам материала можно записать в виде  $T_{\Phi_{\partial}^{XYZ}}^{F_{(t^{\circ}, MO, \Re \alpha)}^{K^{(L, II)}(1,2,...,z)}}$  ; где в индексации символа Т технологического воздействия указаны виды термообработки с последующей механической дообработкой группы поверхностей К с бочкообразной модификацией зубьев. Каждый зуб шестерни от 1-го до z-го определен в координатах своей внутренней координатной системы  $X_{zj} Y_{zj} Z_{zj}$  зуба и преобразован в координатной системе шестерни Xд Yд Zд.

Углубленная расшифровка рассматриваемых технологических аспектов выбора материала и получения заготовки шестерни для последующей механической обработки и функционально-ориентированных технологических воздействий для обеспечения требований к материалу элементов и частей согласно КД приведена в таблице 1. В последней колонке табл. 1 приведен выбранный вариант технологии с указанием некоторых специфических особенностей формирования требований.

Совместное рассмотрение информации табл. 1 а также выражений 1 и схемы рекуррентного выбора вариантов согласно схем на рис. 3 с учетом критериальной оценки качества технологических воздействий (учитывая экономические показатели, систему информационного обеспечения и управления процессом проектирования) позволяет выбрать оптимальный вариант технологии формирования свойств материала детали.

**Заключение.**

В данной работе приведены результаты исследований, касающихся образования свойств материала деталей и ее частей и зон в машиностроительном цикле, достигаемых методами рекуррентного выбора функционально-ориентированных технологических воздействий инструментов на материал первоначально выбранного материала заготовки в процессах дополнительной обработки в различных средах,

инструментальным воздействием на материал, а также возможного применения аддитивных технологий.

Таблица 1.

Требования к материалу шестерни и к частям по КД		Суть свойств материала по обеспечению требований КД	Варианты технологических воздействий обеспечения свойств материала по КД		Примечание, выбранный вариант
Общее	Частное		Варианты технологий	особенности	
Образование и сохранение формы – поверхности (А,Б...П)		Сталь 20Х	Литье, штамповка, круглый прокат, отрезка	Механическая обработка заготовки согласно КД	Отрезка от круглого проката Ст20Х с припусками на обработку
	Поверхности шлицевого отверстия (группа П поверхностей)	Сталь 20Х	Наплавка, закалка, гальванопокрытие, напыление, эрозийная обработка цементация с t°-обработкой и мехобработкой	Режимы насыщения углеродом на заданную глубину и закалки	Нитроцементация с последующей t°-обработкой и мехобработкой, шлифование внутреннего диаметра
	Поверхности зубьев (группа К поверхностей каждого зуба шестерни)	Сталь 20Х	Наплавка, закалка, гальванопокрытие, напыление, цементация с t°-обработкой и мехобработкой	Режимы насыщения углеродом на заданную глубину и секторной закалки	Нитроцементация с последующей t°-обработкой микроструктура и твердость основного материала

В работе решены следующие частные задачи:

1. Установлены и формализованы эксплуатационные функции элементов, частей, макрозон, микрозон и зон с нанозонами деталей во взаимосвязи с требованиями к качественным показателям свойств материала, поверхностных и глубинных слоев деталей, заданных в КД.

2. Установлены возможности достижения требований к материалам по КД за счет функционально-ориентированных технологических воздействий, образующих свойства в локализованных зонах материала на всю глубину обрабатываемых элементов и частей деталей, и представлено все их многообразие в формализованном виде.

3. Созданы предпосылки для синтеза возможного множества схем формирования свойств материала путем ФОТ-воздействия на обрабатываемую деталь известным инструментом с учетом известных способов создания и корректировки свойств материала и использования дополнительных материальных физико-химических, газовых и иных сред, позволяющих достигать требуемых характеристик и формируемых свойств на всех глубинах деталей.

4. Установлена формализованная взаимосвязь требований КД на детали ко всем показателям качества материала обработанных частей и элементов детали, функционально значимым и заданных для конкретно локализованных участков детали в эксплуатации, и функционально-ориентированными технологическими воздействиями, осуществляемыми в составе технологических обрабатывающих

комплексов, реализующих механические, физические, химические и др. материальные принципы преобразования свойств материалов.

Показан пример использования изложенного материала для выбора способа формирования и обеспечения требований к частям и элементам ведущей шестерни КПП, работающей без разрыва потока передаваемой мощности.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Скворцов, В. Ф. Основы технологии машиностроения: учебное пособие. / В. Ф. Скворцов // Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 352 с.
2. Заблонский, К. И. Детали машин / К. И. Заблонский. – К.: Вища школа, 1985. – 518с.
3. Гордин, П. В. / Детали машин и основы конструирования. Пособие по курсовому проектированию / П.В. Гордин, Е. М. Росляков, В. И. Эвелеков. – Спб.: СЗТУ, 2005. – 113 с.
4. Михайлов, А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения / А. Н. Михайлов. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с.
5. Базров, Б. М. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов / Б.М. Базров. – М.: Машиностроение, 2005. – 736 с.
6. 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. Международный сборник научных трудов – Донецк: ДонНТУ, 2020. – № 3(70). – С. 22-33.
7. Ивлев, Ю. В. Логика: учебник / Ю. В. Ивлев. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992. – 270 с.
8. Довгалева, А. М. Совмещенная отделочно-упрочняющая обработка деталей машин вибродинамическим накатыванием и вращающимся магнитным полем / А. М. Довгалева // Государственное учреждение высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет» Журнал / Вестник Белорусско-Российского университета. – 2016. – №4 (53).
9. Котляров, В. Б. Предпосылки создания новой схемы механической зубчатой КПП с переключением без разрыва потока передаваемой мощности / Котляров В. Б., Котляров С. Б., Михайлов А. Н. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Международный сборник научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2020. – №2 (69). – С. 50-62.
10. Тайц, Б.А. Производство зубчатых колес. Справочник. / Тайц Б.А. – 1990. – 464 с. – ISBN:5-217-00398-7.
11. Суслов, А. Г. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / под общей ред. А. Г. Суслова, Федоров В. П., Горленко О. А. и др. – М.: Машиностроение, 2006. – 448 с.
12. Проектирование технологических процессов в машиностроении: учебное пособие для вузов / И. П. Филонов, Г. Я. Беляев, Л. М. Кожуро и др. – Мн.: УП «Технопринт», 2003. – 910 с.
13. Колесов, И. М. Основы технологии машиностроения: учебник для машиностроит. спец. Вузов / И.М. Колесов. – М.: Высш. шк., 2001. – 591 с.
14. Перспективные способы обработки материалов: учебное пособие. /А.И. Попелюх, А. Г. Тюрин, Н. В. Плотникова. – Челябинск, 2014. – 50 с.

Поступила в редколлегию 17.03.2021 г.