

УДК621.01

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

¹ ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет»

² Ялта, Россия

³ Москва, Россия

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

E-mail: ¹tm@fimm.donntu.org; ²boris.kotlyarov@mail.ru; ³velidarkotlarov@mail.ru

К ВОПРОСУ СИНТЕЗА ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИНЕЙЧАТОГО КОНТАКТА ИНСТРУМЕНТА И ЗАГОТОВКИ

В данной статье предпринята попытка выполнить анализ всех направлений перемещения инструмента и заготовки в их относительном движении в процессе формообразования деталей с применением линейчатого контакта. Представлен функциональный анализ ориентированных технологических воздействий инструмента на заготовку в процессе формообразования поверхностей деталей согласно конструкторской документации. Проведен синтез и осуществлена формализация структурных схем технологического воздействия линейчатых формообразующих элементов инструмента на заготовки в процессе обработки. Установлена формализованная взаимосвязь отображения структурных схем функционально ориентированных технологических воздействий при обеспечении формы и геометрии структурно значимых конструктивных элементов деталей, частей, участков, зон, макрозон и микрозон деталей.

Ключевые слова: деталь, часть, функциональные признаки, технологическое воздействие, линейчатая кромка, инструмент, формализованная функциональная связь.

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

ON THE QUESTION OF SYNTHESIS OF FUNCTIONALLY-ORIENTED STRUCTURAL SCHEMES OF FORMATION WITH THE USE OF A LINEAR CONTACT OF THE TOOL AND BILLET

This article attempts to analyze all directions of tool and workpiece movement in their relative motion during the forming of parts using a linear contact. A functional analysis of the oriented technological effects of the tool on the workpiece in the process of forming the surfaces of parts according to the design documentation is presented. The synthesis and formalization of structural schemes of technological influence of linear forming elements of the tool on the workpieces during processing is carried out. A formalized relationship between the display of structural schemes of functionally oriented technological impacts is established, while ensuring the shape and geometry of structurally significant structural elements of parts, parts, sections, zones, macrozones and microzones of parts.

Keywords: detail, part, functional features, technological impact, ruled edge, tool, formalized functional relationship.

1. Введение

Одним из важнейших процессов при изготовлении деталей является процесс формообразования согласно размерам конструкторской документации (КД). Обеспечение требований КД относительно формы и размеров возможно осуществлением различных технологических процессов. Получение необходимой формы детали и ее частей методом удаления излишков припуска – методом резания, возможно путем реализации процесса точечным, линейчатым или объемным контактом в зоне формирования поверхности.

Для осуществления процесса резания лезвийным инструментом с линейчатой режущей кромкой необходимо обеспечить соответствующее относительное движение

режущей кромки и заготовки. Необходимое результирующее движение режущей кромки относительно заготовки обеспечивается в результате комбинации нескольких элементарных прямолинейных и вращательных движений в обоих направлениях, сообщаемых инструменту, заготовке или заготовке и инструменту одновременно.

Структурные схемы технологического воздействия при формообразовании однозначно взаимосвязаны с функционально значимыми признаками-атрибутами детали. Взаимосвязь указанных признаков описывается формализованными выражениями весь комплекс функционально-ориентированных технологических воздействий на всех уровнях глубины технологии обработки и функциональных участков и зон детали.

Цель и задачи

Цель настоящей работы заключается в создании формализованной взаимосвязи функционально значимых геометрических признаков детали, образующих формы частей, участков и зон деталей с комплексом функционально ориентированных технологических схем воздействия при способе формообразования заданных конструкторской документацией форм и очертаний всех частей обрабатываемой детали линейчатым контактом режущей кромки инструмента с обрабатываемой поверхностью заготовки.

Указанная цель достигается решением следующих частных задач.

1. Установить возможные формы поверхности заготовки, образуемые как следы траектории перемещения линейчатой кромки инструмента в относительном движении заготовки и инструмента во взаимодействии в процессе обработки:

- установить возможные элементарные траектории движения режущей линии при формообразовании поверхностей детали;

- установить возможные сочетания элементарных прямолинейных и вращательных движений, осуществляемых инструментом и заготовкой, и определить возможные виды траекторий точек, линий и поверхностей в результате контакта при перемещении их в пространстве;

- определить способ формального задания местоположения формообразующей линии инструмента в системе координат технологического комплекса;

2. Разработать и определить полное множество структурных схем функционального технологического воздействия линии инструмента на заготовку с целью линейчатого способа формообразования поверхностей детали.

3. Установить формальную взаимосвязь между геометрическими функционально значимыми атрибутами детали и траектории перемещения формообразующей линии в системе координат технологического комплекса.

4. Установить взаимосвязь формализованного описания геометрической формы детали в собственной системе координат с полным функционалом функционально ориентированного технологического воздействия при линейчатом формообразовании детали.

2. Основное содержание и результаты работы

Осуществление процесса механической обработки деталей по схеме резания инструментом, обеспечивающим линейчатый контакт с обрабатываемой поверхностью заготовки, является более прогрессивным и производительным по сравнению с процессом формообразования точечным контактом, рассмотренным в предыдущей статье авторов.

Многообразие способов получения одной и той же поверхности с применением различных типов оборудования, оснастки и инструментов приводит к необходимости

все возможные варианты достижения одинакового технического результата в формообразовании поверхности деталей привести к возможности их сравнительной оценки по одним и тем же критериям. Для принятия оптимального варианта обработки может применяться один критерий, а может быть выстроен ряд критериев по приоритетам конкретного производства или предприятия. Эти критерии могут быть экономическими, оптимизационными, техническими или комплексными.

С целью обеспечения возможности выбора критериев для оценки вариантов обработки, а также выбора собственно технологии обработки детали, в настоящей работе предпринята попытка систематизировать возможные способы формообразования деталей при механической обработке путем реализации контакта линейчатой режущей кромки инструмента с обрабатываемой заготовкой. Все возможные способы формообразования с помощью линейчатой кромки инструмента обеспечиваются комбинациями сообщаемого движения инструменту и заготовке (прямолинейного или вращательного, постоянного или прерывистого) и возможного относительного расположения режущей кромки относительно направления движения и обрабатываемой поверхности. Поэтому все способы взаимодействия такого инструмента с заготовкой синтезируются в виде структурных схем функционального технологического воздействия, обеспечивающего возможные траектории точки или линии образования поверхности детали.

Иллюстрация таких структурных схем формообразования осуществляется на примере основной детали КПП с переключением передач без разрыва потока передаваемой мощности – блок-вала колес, представленного на рис. 1.

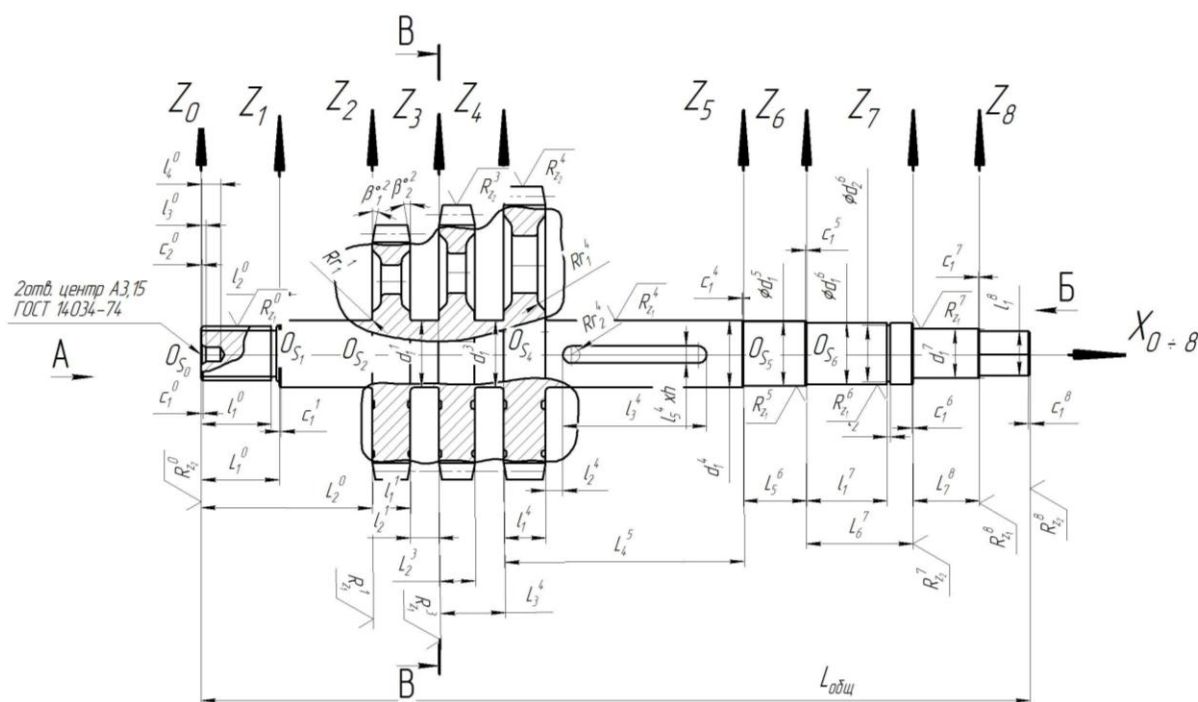


Рисунок 1. Блок-вал колес КПП, работающей без разрыва потока передаваемой мощности.

На рис. 1 все поверхности детали обозначены прописными литерами русского алфавита, при этом индексами при литерах обозначены подобные поверхности разных частей и участков детали.

Поскольку принципиально линейчатым инструментом можно обеспечивать получение необходимой формы и геометрии детали, формировать поверхностные свойства, а также свойства внутренних слоев материала заготовки, то обозначим технологические функциональные воздействия на заготовку соответствующим образом:

- общее обозначение воздействия линейчатым инструментом – Л;
- формообразование линейчатым инструментом – Л^Ф;
- формирование поверхностных свойств линейчатым инструментом – Л^П;
- формирование структуры и свойств материала линейчатым инструментом –

Л^М.

Для получения требуемой траектории перемещения образующей линии инструмента (рис. 2) относительно формируемой поверхности обеспечиваются различные сочетания элементарных движений (рис. 3): прямолинейного поступательного (причем одновременно в направлении нескольких координатных осей) и вращательного движения (также возможно вокруг нескольких координатных осей) с разными скоростями. В результате можно получать пространственные траектории движения образующей кромки любой заданной формы, а, значит, и формировать любые пространственные поверхности, задающие геометрию детали.

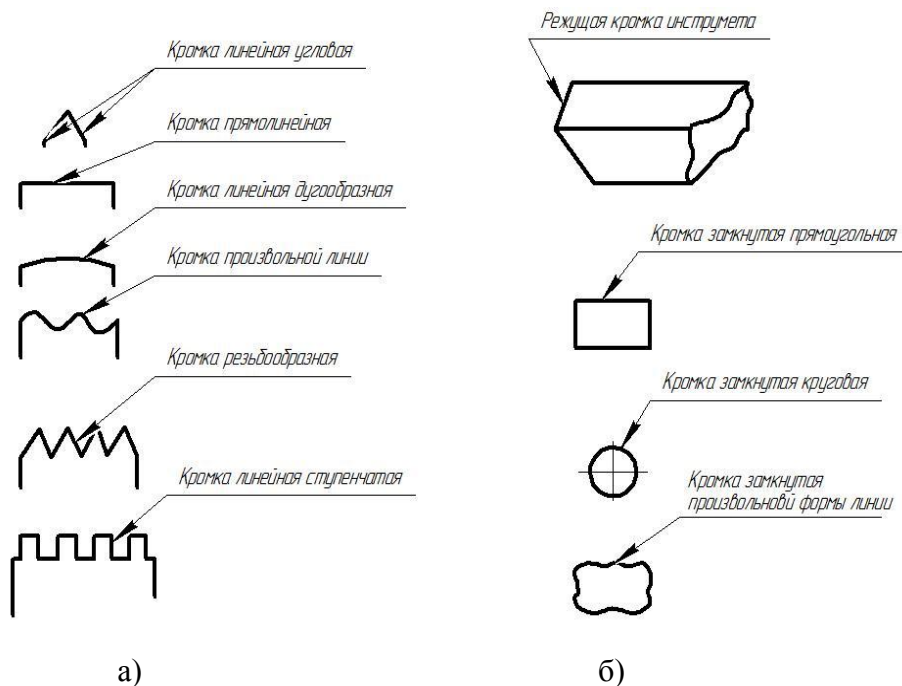


Рисунок 3. Виды кромок инструментов:
а) открытые линии; б) замкнутые контуры.

Линия формообразующей кромки может иметь различные очертания, и зависит от геометрии функционального участка детали, для обработки которого применяется данный конкретный инструмент. На рис. 2 приведены примеры конкретных профилей режущего инструмента. В сочетании с различными комбинациями сообщаемых в процессе резания движений инструменту и заготовке поверхности последней может быть придана любая геометрическая форма – от плоской до шарообразной поверхности, или циклической, изменяющейся по заданному закону.

Формообразующая линия кромки инструмента задается каким-либо законом и всегда определена относительно начала системы координат инструмента. Для правильного выбора инструмента по виду кромки из множества введем обозначение для линии в виде - $L_{f_j}^{u_{кр}}$, где индекс $u_{кр}$ для литеры Л означает инструментальную кромку, а индекс f_j означает исполнение профиля кромки по **j-ой** заданной функции из некоторого множества. Кроме того, линия кромки может представлять собой набор отрезков разного профиля и быть незамкнутой, либо контур кромки может быть замкнутым. Последние могут применяться преимущественно в осуществлении процессов резания копированием, чаще всего при одном прямолинейном рабочем движении, например в строгальных станках, штампах, протяжках и др.

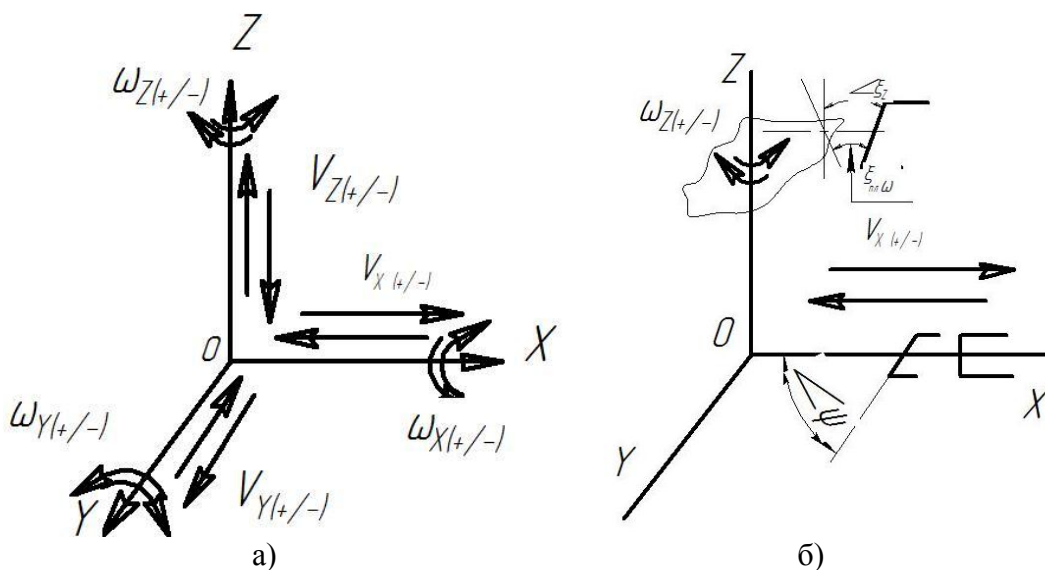


Рисунок 4. Схема потенциальных направлений движения инструмента и ориентации кромки инструмента относительно координатных осей:

- а) направления прямолинейных поступательных движений вдоль координатных осей;
- б) направления вращательных движений вокруг координатных осей.

В схемах применения линейчатых инструментов сами формообразующие кромки могут располагаться в схеме обработки определенным образом относительно заданного направления движения – перпендикулярно к линии перемещения, под заданным углом ζ_j к линии перемещения и под заданным углом ζ_p к любой из осей X, Y, Z системы координат.

Из указанного выше следует, что схема Л_Г элементарного технологического воздействия инструмента на обрабатываемую деталь в процессе ее формообразования может быть представлена в виде формального выражения:

$$L_{jk}^n \Phi_{x,y,z}^{i\beta} \omega_{x,y,z}^{\delta(u,\beta)} = F(A), \tag{1}$$

где $F(A)$ – функция аргумента, которым является функционал обрабатываемой поверхности, заданный в системе координат детали. Индексы в выражении (1) составляют полную характеристику структурной схемы элементарного технологического воздействия на заготовку при механической обработке и обозначают следующее:

- Φ_k – применение при формообразовании k -го участка или зоны детали;
- l_{jk}^n – линия кромки инструмента, оформленная по j -ой функциональной зависимости из некоторого множества известных функций, применяемых для k -го блока технологий и n – используемая для n -го участка детали;
- $v_{x,y,z}^{i\beta}$ – структурная схема с осуществлением прямолинейного поступательного движения вдоль осей X, Y, Z с заданной скоростью v , а линейная кромка инструмента расположена под некоторым углом β к направлению движения инструмента (i – единичный орт своей системы координат);
- $\omega_{x,y,z}^{\delta(u,\varepsilon)}$ – означает, что в структурной схеме осуществляется вращательное движение вокруг заданных координатных осей X, Y или Z с числом оборотов ω для инструмента или заготовки.

Таким образом, все функциональные признаки элементарного технологического воздействия инструмента на заготовку при образовании линейчатым контактом геометрии и формы частей детали обеспечиваются выбранной формой режущей кромки, выбранным комплексом прямолинейных и вращательных движений инструмента или заготовки в их относительном движении. Множество структурных схем формообразования линейчатым контактом инструмента с заготовкой приведено в обобщенном виде в таблице. В первой колонке представлена схема координатной системы с указанием направления движения инструмента относительно координатных осей. Во второй колонке таблицы указана формула структурной схемы линейчатого технологического воздействия инструмента на заготовку. В третьей колонке указана геометрическая форма поверхности, получаемой в результате реализации указанной структурной схемы обработки.

Для конкретной детали, представляющей собою блок-вал зубчатых колес коробки передач, представленной на рис. 1, функционально-ориентированные технологические воздействия формообразования применимы для всех частей и участков детали, обозначенных буквенными символами от «А» до «Я» русского алфавита. Каждая часть поверхности детали описывается своим законом, задающим форму участка детали, или особой зоны этого участка. Поэтому каждое формализованное выражение этой формы является аргументом выражения (1). Каждая поверхность детали Π_j в общем виде является функцией параметров X, Y, Z , т.е.

$$\Pi_j = F(X_{i(i=1,2,\dots,n)}^{\Pi_j(j=A,B,\dots,Y)}, Y_{i(i=1,2,\dots,n)}^{\Pi_j(j=A,B,\dots,Y)}, Z_{i(i=1,2,\dots,n)}^{\Pi_j(j=A,B,\dots,Y)}) \quad (2)$$

где $X_i^{\Pi}, Y_i^{\Pi}, Z_i^{\Pi}$ являются функциями от X, Y, Z в частных системах координат частей и зон детали от «А» до «Я» детали блок-вал.

(3)

<i>Структурные схемы линейчатого формообразования деталей</i>		
<i>Элементы структурной схемы (виды реализуемых движений)</i>	<i>Формальное обозначение и функциональная связь структурной схемы с конструктивными элементами детали</i>	<i>Вид геометрической формы элементов детали</i>
	$\Lambda_{1(l)1}^{\Phi_1 l_2^{\beta}} = f_{(l)1}(pvlvs)$	Точка, прямая линия, плоскость
	$\Lambda_{1(l)2}^{\Phi_2 l_{x,z}^{\beta}} = f_{(l)2}(\Pi_{x,y,z}^{k_{\text{дем}}} vL_{x,y,z} S_m^{y^4})$	Прямая линия, кривая линия, плоскость, криволинейная поверхность в направлении
	$\Lambda_{1(l)3}^{\Phi_3 l_{x,y,z}^{\beta}} = f_3(S_{x,y,z}^{k_{\text{дем}}} vL_{x,y,z} S_m^{y^4})$	Линия, плоскость, криволинейная и ступенчатая поверхность
	$\Lambda_{2(l)4}^{\Phi_4 l_{x,y,z}^{\beta} l_{x,y,z}^{\gamma}} = f_j(S_{x,y,z}^{k_f^4} vS_{x,y,z}^{n_j^{y^4}})$	Окружность, профильная линия, плоскость, цилиндр
	$\Lambda_{2(l)5}^{\Phi_5 l_{x,y,z}^{\beta} l_{x,y,z}^{\gamma}} = f_l(S_{x,y,z}^{k_f^4} \Lambda S_{x,y,z}^{n_j^{y^4}})$	Плоскости, профильная линия, криволинейные поверхности
	$\Lambda_{2(l)6}^{\Phi_6 l_{x,y,z}^{\beta} l_{x,y,z}^{\gamma}} = f_k(S_{x,y,z}^{k_f^4 \text{дем}} \Lambda S_{x,y,z}^{n_j^{y^4}})$	Криволинейные объемные поверхности детали и все другие формы поверхностей
	$\Lambda_{2(l)7}^{\Phi_7 l_{x,y,z}^{\beta} l_{x,y,z}^{\gamma}} = f_r(S_{\text{цил}}^{k_f^4 \text{дем}} \Lambda S_{x,y,z}^{n_j^{y^4}})$	Плоскости, криволинейные поверхности
	$\Lambda_{2(l)8}^{\Phi_8 l_{x,y,z}^{\beta} l_{x,y,z}^{\gamma}} = f_s(S_{x,y,z}^{k_f^4 \text{дем}} \Lambda S_{x,y,z}^{n_j^{y^4}})$	Цилиндрически и другие поверхности деталей тел вращения
	$\Lambda_{2(l)9}^{\Phi_9 l_{x,y,z}^{\beta} l_{x,y,z}^{\gamma}} = f_s(S_{x,y,z}^{k_f^4 \text{дем}} \Lambda S_{x,y,z}^{n_j^{y^4}})$	Поверхности деталей и участков тел вращения произвольной формы
	$\Lambda_{2(l)10}^{\Phi_{10} l_{x,y,z}^{\beta} l_{x,y,z}^{\gamma}} = f_p(S_{x,y,z}^{k_f^4 \text{дем}} \Lambda S_{x,y,z}^{n_{j_2}^{y^4 \text{мод}}})$	Любые криволинейные и объемные формы деталей произвольной формы
	$\Lambda_{2(l)11}^{\Phi_{11} l_{x,y,z}^{\beta} l_{x,y,z}^{\gamma}} = f_t(S_{x,y,z}^{k_f^4 \text{дем}} \Lambda S_{x,y,z}^{n_{j_3}^{y^4 \text{мод}}})$	Любые криволинейные объемные поверхности и формы частей детали
	$\Lambda_{2(l)12}^{\Phi_{12} l_{x,y,z}^{\beta} l_{x,y,z}^{\gamma}} = f_u(S_{x,y,z}^{k_{f \text{дем}}^{1.g}} vS_{x,y,z}^{n_{j_4}^{y^4 \text{мод}}})$	Любые криволинейные объемные формы любых участков и зон детали
	$\Lambda_{2(l)13}^{\Phi_{13} l_{x,y,z}^{\beta} l_{x,y,z}^{\gamma}} = f_u(S_{x,y,z}^{k_{f \text{дем}}^{1.g}} vS_{x,y,z}^{n_{j_5}^{y^4 \text{мод}}})$	Любые криволинейные объемные формы любых участков и зон детали
	$\Lambda_{2(l)14}^{\Phi_{14} l_{x,y,z}^{\beta} l_{x,y,z}^{\gamma}} = f_u(S_{x,y,z}^{k_{f \text{дем}}^{1.g}} vS_{x,y,z}^{n_{j_6}^{y^4 \text{мод}}})$	Любые криволинейные объемные формы любых участков и зон детали
	$\Lambda_{2(l)15}^{\Phi_{15} l_{x,y,z}^{\beta} l_{x,y,z}^{\gamma}} = f_u(S_{x,y,z}^{k_{f \text{дем}}^{1.g}} vS_{x,y,z}^{n_{j_7}^{y^4 \text{мод}}})$	Любые криволинейные объемные формы любых участков и зон детали

Общее формализованное обозначение формообразующей линии инструмента в своем перемещении в системе координат S_i технологического комплекса L_{Σ}^{Φ} можно представить в виде:

$$L_{k\Sigma}^{\Phi_m} \begin{matrix} p_{x,y,z}^{\zeta} \\ v_{x,y,z} \\ \omega_{x,y,z}^{\zeta} \end{matrix} = f \left(L_{rj}^i \begin{matrix} [f_i^v \cup f_t^{\omega}] \\ [f_j(x,y,z)] \end{matrix} \cup L_{sh}^i \begin{matrix} [f_k^v \cup f_q^{\omega}] \\ [f_h(x,y,z)] \end{matrix} \right),$$

где, L_{rj}^i и L_{sh}^i функционально определенные формообразующие линии для r -ой и s -ой элементарной структурной схемы технологического воздействия при формообразовании k -ого участка детали;

- v и ω - функционально определенные скорости прямолинейного и вращательного движения при реализации конкретной структурной схемы технологического воздействия процесса формообразования линейчатым контактом.

Общее формализованное обозначение формообразующей линии $\Phi_{L_g\Sigma}^{\Pi}$ инструмента в своем перемещении в системе координат технологического комплекса в составе g -ой структурной схемы обработки можно представить в виде:

$$\Phi_{L_{\Sigma}}^{\Phi} = F \left(\Pi_{k\Sigma}^j \cap L_{g\Sigma}^{\Phi} \right) \tag{4}$$

где $\Pi_{k\Sigma}^j$ и $\Phi_{L_g\Sigma}^{\Pi}$ являются обобщенными элементами выражения (2) и (3).

Из совместного рассмотрения выражений (2), (3), (4) видно, что функционально значимые признаки детали (атрибуты) в отношении и функционально-ориентированные схемы технологических воздействий формообразования могут быть обеспечены реализацией нескольких вариантов комплексных функционально ориентированных линейчатых технологических воздействий. С целью выбора в конкретных условиях производства оптимальных структурных схем обработки детали необходимо выполнить перебор возможных сочетаний функционального технологического воздействия на основе рекуррентного подхода с постепенным приближением к оптимальному значению для достижения назначенного критерия выбора.

На рис. 5 представлена принципиальная схема выбора комплексной структурной схемы функционально-ориентированной технологии обработки детали для достижения установленных КД требований по формообразованию и геометрии, для которых частные вопросы конкретизации признаков представлены в выражениях (1, 2, 3, 4). Указаны как прямые, так и обратные связи, обеспечивающие последовательный рекуррентный перебор вариантов обработки, обеспечивающий достижение оптимального результата.

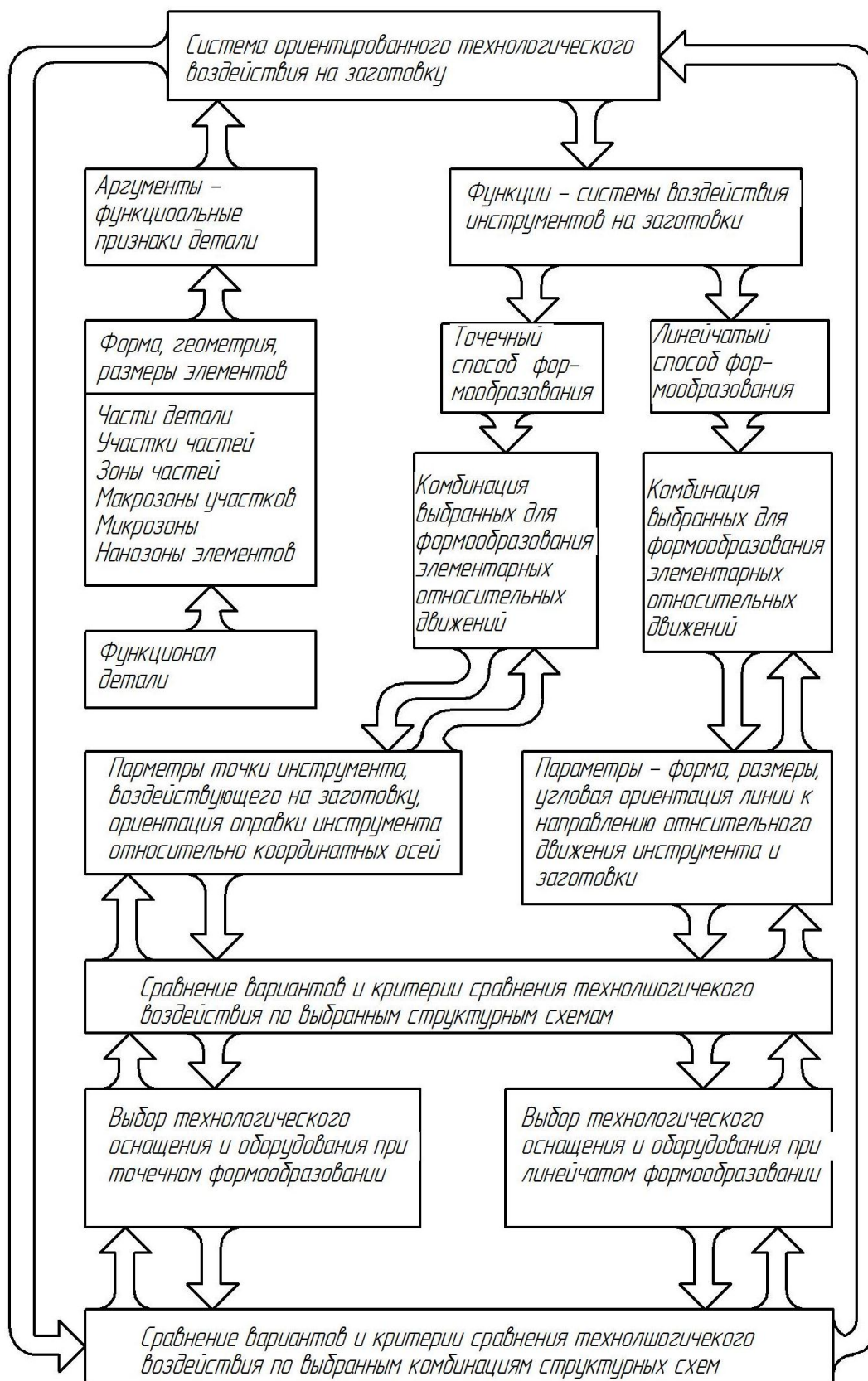


Рисунок 5. Общая структура формирования процесса технологического воздействия.

Исходными элементами, составляющими основу для создания элементарных структурных схем технологического воздействия на заготовку при формообразовании обрабатываемой детали, являются элементарные функциональные признаки, указанные в конструкторской документации. Эти элементарные признаки являются аргументами функции технологии обработки детали. Одновременно они функционально принадлежат определенным частям и участкам детали с их нанозонами, микрizonaми и макро-зонами, которые являются составляющими частями общего функционала детали.

Рассматривая эти элементарные функции конструктивных элементов детали устанавливаются технологические функции обрабатывающего технологического комплекса, включающего оборудование, технологическую оснастку, инструментальное обеспечение, энергетическую насыщенность, информационное обеспечение и управление процессом, в суммарном воздействии обеспечивающие достижение установленных в КД требований оптимальным образом. С этой целью подбираются схемы формообразования точечным и линейчатым контактом со всеми входящими элементами, сравниваются на каждом уровне глубины технологического воздействия, при необходимости возвращаются на шаг назад к другой схеме и снова сравниваются варианты, пока не будет выбран удовлетворяющий вариант обработки.

Заключение.

В настоящей работе выполнены исследования, устанавливающие взаимосвязь между функционально значимыми частями и зонами частей обрабатываемой детали и функционально ориентированными схемами линейчатого технологического воздействия инструмента на заготовку формообразовании поверхностей.

1. Синтезировано множество элементарных структурных схем траектории образованных движением линии режущей кромки инструмента, образующей создаваемую поверхность детали.

- установлены виды кромок формообразующих инструментов, ориентация их в схемах относительно направления движения и относительно осей координат;
- траектории перемещения формообразующей линии и формируемой поверхности в относительном движении линии при элементарных движениях;
- установлены траектории движения точки при придании дополнительных прямолинейных и вращательных движений линии инструмента и заготовки;
- формально описаны возможные траектории движения формообразующей линии инструмента в системе координат технологического комплекса.

2. Получено множество структурных схем формообразования с участием подвижной линии инструмента с учетом взаимной первоначальной инструмента и обрабатываемой поверхности, что позволяет получать многообразные формы детали при сочетании различных элементарных прямолинейных и вращательных движений в технологическом комплексе.

3. Установлена формальная взаимосвязь между геометрическими функционально значимыми атрибутами детали и формой траектории перемещения формообразующей линии в системе координат технологического комплекса.

4. Установлена формализованная взаимосвязь геометрической формы детали в системе координат детали с функционалом функционально-ориентированного технологического воздействия при реализации элементарных структурных схем линейчатым инструментальным формообразованием детали, выраженной в координатной системе технологического комплекса.

5. Указан алгоритм выбора лучшего варианта формообразования линейчатым инструментом из некоторого множества методом рекуррентного итеративного подхода к перебору вариантов, обеспечивающему достижение установленного критерия оценки качества.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Артоболевский, И. И. Механизмы в современной технике. Справочное пособие для инженеров, конструкторов и изобретателей. В 7 томах: Элементы механизмов. Простейшие рычажные и шарнирно-рычажные механизмы. – Т.1. – Изд. 3. – 2019. – 500 с.

2. Гуревич, Ю. Е. Детали машин и основы конструирования. Исходные положения. Механические передачи: учебник – Издательство ТНТ, 2015. – С. 407.

3. 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.

4. Базров, Б. М. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 2005. – 736 с.

5. Ивлев, Ю. В. Логика: Учебник. – М.: Издательство Московского университета, 1992. – 270 с.

6. Балакшин, Б. С. Основы технологии машиностроения. – Москва: Машиностроение, 1973. – 688 с.

7. Колесов, И. М. Основы технологии машиностроения: Учебник для машиностроительных спец. вузов. – Москва: Высшая школа, 2001. – 591 с.

8. Михайлов, А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346с.

9. 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. – Вып. 3 (70). – С. 22-33.

10. Евченко, К. Пятикоординатное фрезерование как средство повышения конкурентоспособности продукции / Евченко К., Рагулин А., Жигулин В. // Журнал «САПР и Графика. – 2003. – №8.

Поступила в редколлегию 26.04.2021 г.