

УДК 621.01

¹А. Н. Михайлов, д-р техн. наук, проф., ²Б. С. Котляров, канд. техн. наук³В. Б. Котляров, инженер, ²С. Б. Котляров, инженер¹ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР²Москва, Россия, ³Ялта, Россия

Тел: +38(071) 3060879; +7(985) 021-79-06, +7(964) 70-45-362

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

СИНТЕЗ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ И ФОРМИРОВАНИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ КПП

В данной статье представлен подход к созданию функционально-ориентированных технологий на основе синтеза структурных схем технологического воздействия на зоны, участки и части деталей машиностроительного назначения. Базой для разработки схем функционально-ориентированных технологических воздействий в процессе изготовления деталей является поиск и нахождение в итеративно-рекуррентном цикле оптимальных способов взаимодействия инструментов с преобразуемыми частями, участками и зонами деталей на всех уровнях глубины технологии, обеспечивающих реализацию заложенных при их проектировании конструктивных функций. Для этого конструктивным функциям детали приведены в соответствие технологические функции комплекса станок – среда – оснастка – инструмент – деталь на всех уровнях проявления и взаимодействия.

Ключевые слова: деталь, часть, участок, зона, функция, совокупность свойств, функциональные признаки, технология, технологическое воздействие;

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

SYNTHESIS OF STRUCTURAL DIAGRAMS OF FUNCTIONALLY-ORIENTED TECHNOLOGICAL IMPACT IN THE FORMATION AND FORMATION OF SURFACE PROPERTIES OF THE PARTS

This article presents an approach to creating functional-oriented technologies based on the synthesis of structural schemes of technological impact on zones, sections and parts of machine-building parts. The basis for the design of functionally-oriented technological effects in the manufacturing process of parts is finding in an iterative, recursive cycle of optimal ways of interaction instruments convertible parts, portions and areas of the parts at all depth levels, technologies that enable the realization of the mortgaged when designing their structural function. To do this, the structural functions of the part are aligned with the technological functions of the machine – environment – tooling – tool – part complex at all levels of manifestation and interaction.

Keywords: detail, part, section, zone, function, set of properties, functional features, technology, technological impact.

1. Введение

Процесс изготовления деталей заключается в осуществлении таких взаимодействий обрабатывающих инструментов с заготовками, при которых обеспечивается получение формы детали по заданным чертежам с поверхностными свойствами в заданных участках и свойствами структуры материала для всей детали или в заданных зонах в значениях и пределах, указанных в конструкторской документации (КД). Каждая деталь проектируется с целью выполнения заданной целевой функции в составе механизмов и машин [1, 2], а для возможности ее реализации предпринимаются необходимые технологические воздействия [3, 4] инструментов на заготовки, необходимые в процессе изготовления для формирования свойств, установленных в КД деталей.

Опираясь на разработанную ранее матрицу частных функции частей, участков и зон деталей, описанную как целевые функции деталей, и представляющую множество

всех функциональных проявлений для каждой конкретной детали, можно определить полное множество технологических воздействий на каждый элемент детали. Весь комплекс функций детали представлен как набор функционалов по направлениям проявления – по форме и размерам; по поверхностным свойствам; по структурным характеристикам материала и свойствам его в заданной точке любой части, участка, зоны и микрзоны детали, достижение которых необходимо обеспечить технологическими средствами.

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 точечном способе формообразования заданных конструкторской документацией форм и очертаний всех частей обрабатываемой детали.

Поставленная цель достигается решением некоторых частных задач.

1. Установить возможные и необходимые траектории движения формообразующей точки инструмента относительно заготовки:

- установить возможные элементарные траектории движения точки как точки формообразования поверхностей детали;

- установить возможные сочетания элементарных движений, придаваемых точке и определить возможные виды траекторий ее перемещения в пространстве;

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

2. Разработать множество структурных схем функционального технологического воздействия на заготовку с целью точечного способа формообразования.

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

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

2. Основное содержание и результаты работы

На основании проведенных ранее исследований установлен формализованный образ целевой функции на примере детали блок-вал колес КПП без разрыва потока передаваемой мощности. Синтез структурных схем технологического воздействия и поиск оптимальной схемы можно проиллюстрировать на примере этой же детали (рис. 1).

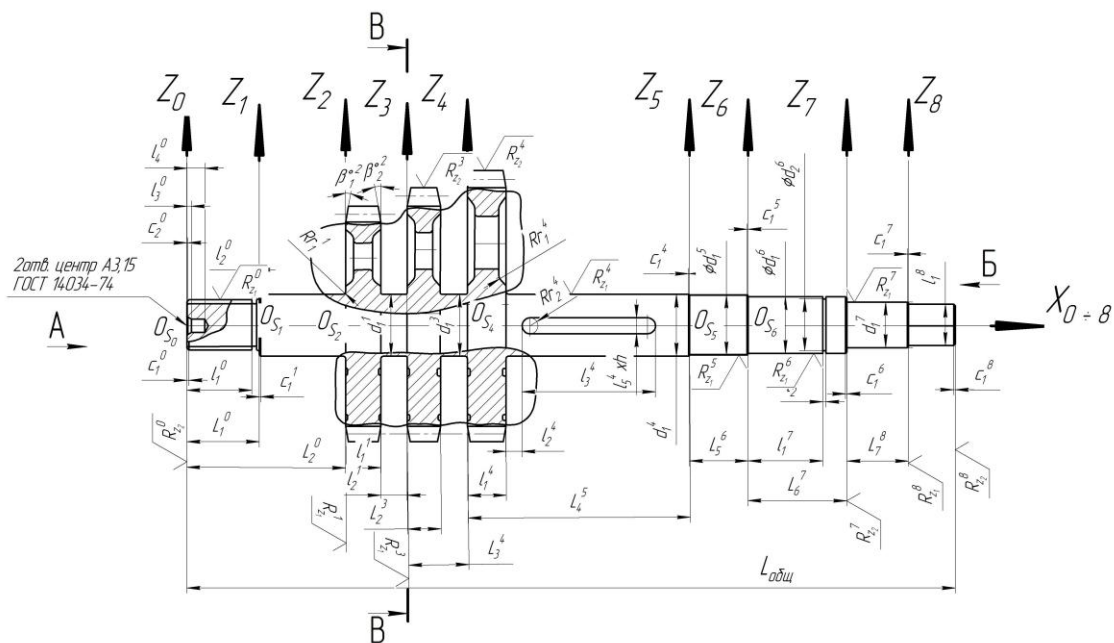


Рисунок 1. Чертеж блок-вала КПП, работающей без разрыва потока передаваемой мощности

На рис. 2 и рис. 3 представлены вид А и вид Б с обоих торцов блок-вала с указанием соответствующих видимых поверхностей, ограничивающих объем детали.

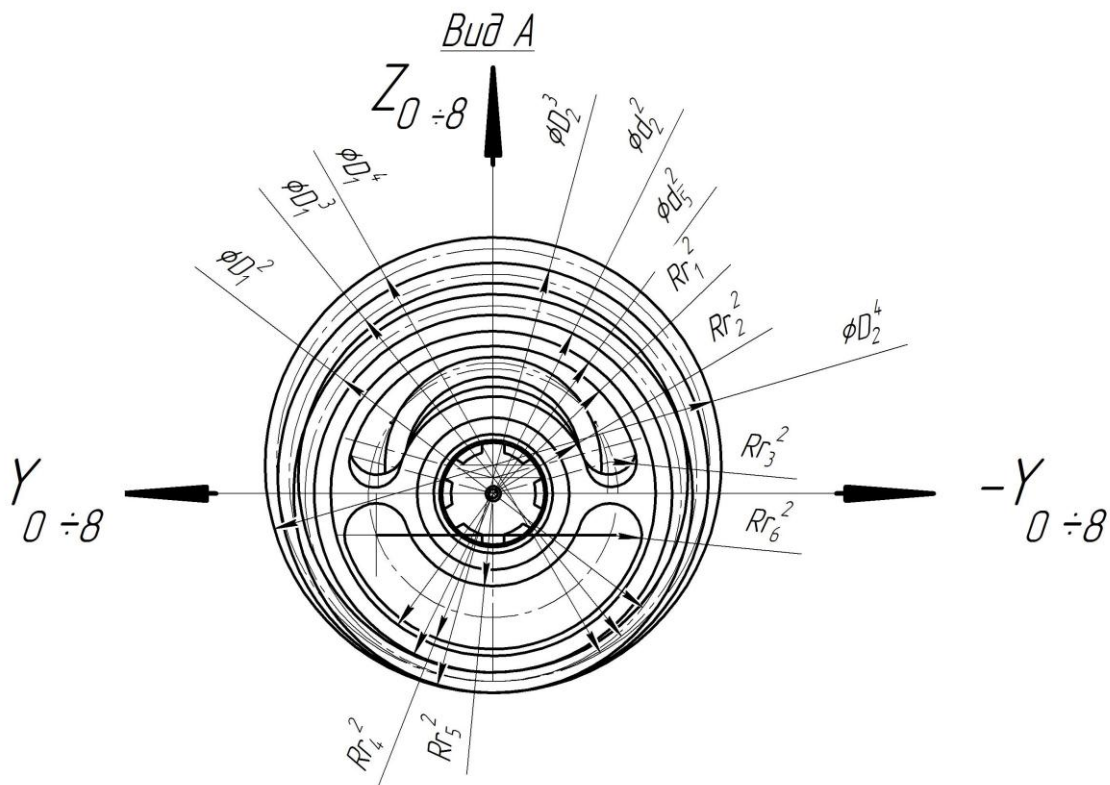


Рисунок 2. Блок-вал колес – Вид. А

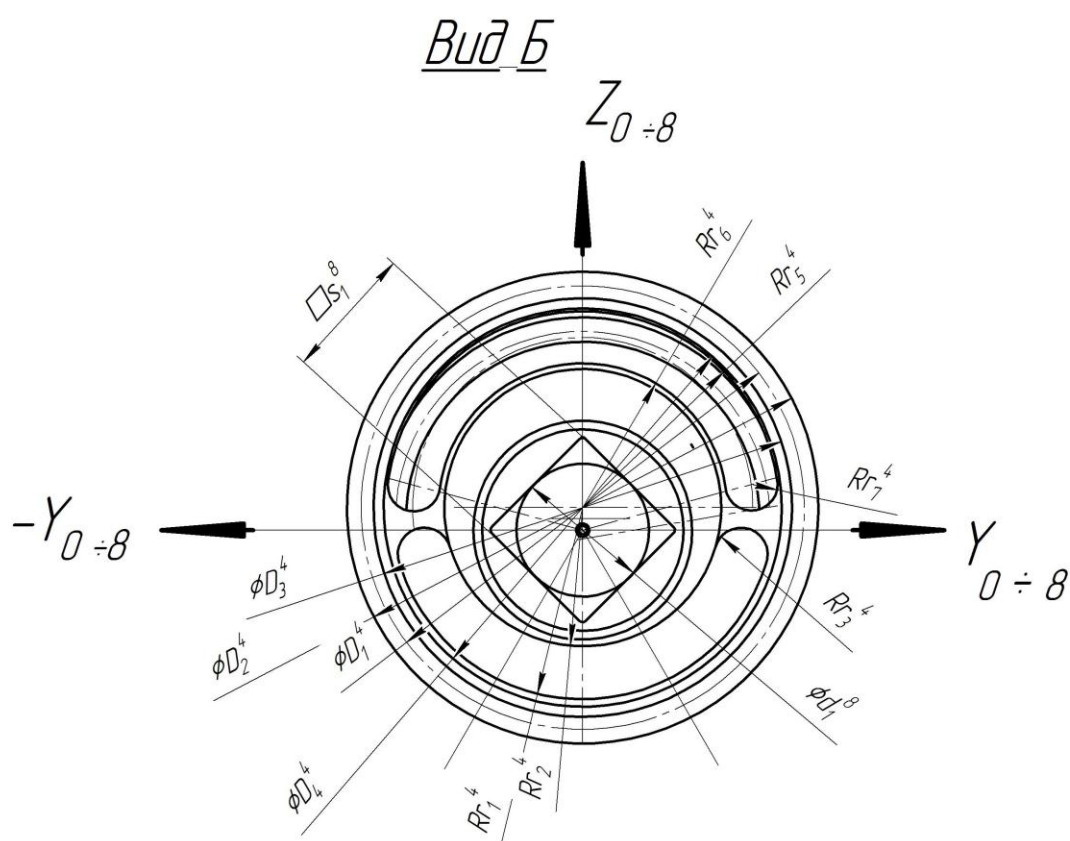


Рисунок 3. Блок-вал колес – Вид Б

Поверхности детали обозначены буквами русского алфавита, индексы цифровые при символах означают аналогичные поверхности схожих частей и участков детали.

Все возможные технологические воздействия разделим условно на три категории по функциональному влиянию на изменение свойств обрабатываемой детали:

- T^{Φ} - технологические воздействия формообразования;
- T^{Π} - технологические воздействия формирования свойств поверхности;
- T^M - технологические воздействия формирования структурных свойств материала детали.

Чаще всего такие воздействия не осуществляются по отдельности, а выполняют комплексную функцию T^K формирования свойств как по формообразованию и геометрии, так и по формированию поверхностных свойств [3, 4, 6, 7] и структуры материала. Иногда технологическое воздействие на деталь объединяет формирование свойств не по всем категориям, а только каким-либо двум направлениям. В качестве примеров формирования структуры и свойств материала в слоях детали различной локализации при одновременном формообразовании можно привести способы обработки давлением, литье, порошковое спекание, наплавку материала, и др.

Комплексное технологическое воздействие по видам и категориям формирования различных свойств обрабатываемых деталей формально можно представить как объединение некоторых множеств, зависящих от применяемого оборудования, типов инструментов[5]:

$$\left. \begin{aligned} T^K &= T^{0K} \cup T^{1K} \cup T^{2K} \cup T^{3K}, \\ T^{0K} &= T^\Phi \cap T^\Pi \cap T^M; \\ T^{1K} &= T^\Phi \cap T^\Pi; \\ T^{2K} &= T^\Phi \cap T^M; \\ T^{3K} &= T^\Pi \cap T^M. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Характер инструментального воздействия на заготовку при этом может быть точечным, линейным, поверхностным или объемным [8]. Кроме того, известно, что формировать деталь можно несколькими принципиальными способами:

- удалением излишков объема материала от заготовки – как правило, резанием;
- изменением формы и размеров заготовки без изменения объемов и количества материала в заготовке – как правило, деформированием начальной формы заготовки путем обработки давлением;
- добавлением определенного объема (количества) материала, начиная от нулевого количества, например литье или 3-D печать, или добавлением до какого-то уже имеющегося объема заданной формы, например путем наварки, наплавки, напыления и других технологий.

В выражении (1) символами T^{0K} , T^Φ , T^Π и T^M обозначаются технологические воздействия при формообразовании, формирования поверхностных свойств и формирования структурных свойств материала традиционными принятыми методами, а для способов формирования свойств деталей методом добавления материала в обозначении добавляем знак плюс «+» в верхней части индексов: T^{+0K} , $T^{+\Phi}$, $T^{+\Pi}$ и T^{+M} , что означает $T^{+\Phi}$ - формообразование добавлением материала; $T^{+\Pi}$ - формирование свойств поверхностей методом добавления материала; T^{+M} – формирование структурных свойств материала детали; и T^{+0K} - общее комплексное формирование свойств детали.

Рассмотрим отдельно технологические воздействия формирования структуры материала в заданных зонах, формообразования и формирования поверхностных свойств.

Известно, что геометрические формы детали образуются при обработке заготовки резанием реализацией точечного или линейчатого контакта инструментальной поверхности с заготовкой. При этом линия инструмента может быть прямолинейной, или непрямолинейной. Точечный контакт считаем условно, т.к. в действительности точка инструмента имеет определенные размеры, полученные при изготовлении инструмента с заданным углом при вершине и радиусом скругления режущей кромки.

При совершении одного относительного прямолинейного движения – вдоль одной оси координат инструментальной точки - при резании можем получить на заготовке только одну прямую линию – рис. 4а. При смещении в поперечном направлении на величину подачи – еще одну линию - рис. 4б, число которых может составлять заданное множество. Конечное множество таких линий обеспечивает получение плоской поверхности на заготовке в заданных размерах – рис. 4в.

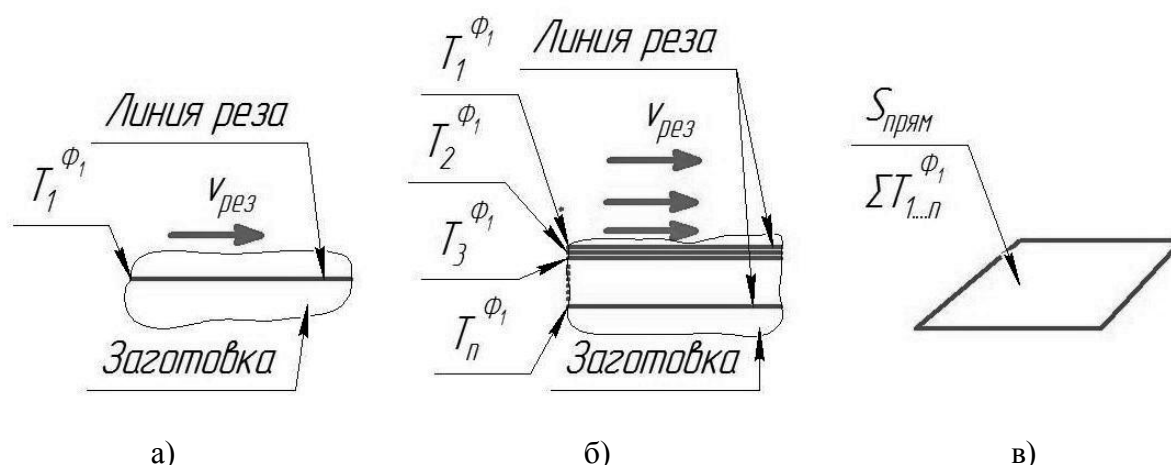


Рисунок 4. Структурные схемы взаимодействия инструмента с заготовкой при точечном контакте с реализацией одного относительного движения по одной оси координат:

- а - одно прямолинейное относительное движение (главное движение резания);
- б - к главному движению добавлены последовательные поперечные перемещения точки контакта;
- в - результат взаимодействия – плоская поверхность.

При добавлении к линейному перемещению инструментальной точки рис. 5, а еще одного направления движения, одновременно в поперечном направлении (по другой оси) координат, получаем кривую линию в одной плоскости. Форма кривой зависит от соотношения скоростей перемещения инструментальной точки вдоль разных осей координат, и таких линий резов можно выполнить некоторое множество – рис. 5, б. Конечное множество повторений таких линий позволяет получить криволинейную поверхность на заготовке, см. рис. 5, в.

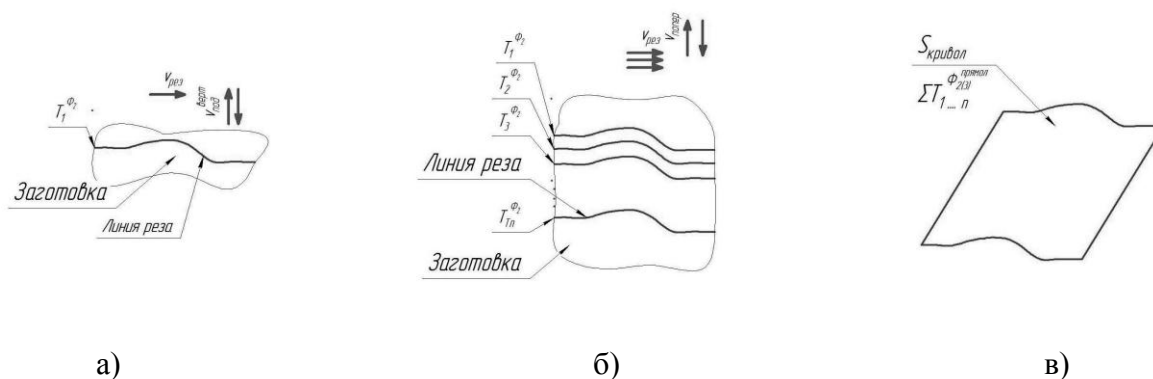


Рисунок 5. Структурные схемы взаимодействия инструмента с заготовкой при точечном контакте с реализацией относительного движения по двум осям координат:

- а - одно относительное прямолинейное главное движение $v_{рез}$ - резания и одно дополнительное движение в перпендикулярном направлении;
- б - главное и дополнительное движения (осуществляются последовательно периодически поперечные перемещения точки контакта);
- в - результат взаимодействия – криволинейная поверхность.

С помощью комбинирования скорости движущейся точки резания в двух разных направлениях, по координатам можно добиваться необходимой кривизны линии, а в совокупности линий и кривизны поверхности в нужной зоне детали.

При реализации последовательного добавления или изменения по двум осям координат направления режущей точки инструмента можно получать ступенчатые поверхности на детали, как приведено на рис. 6.

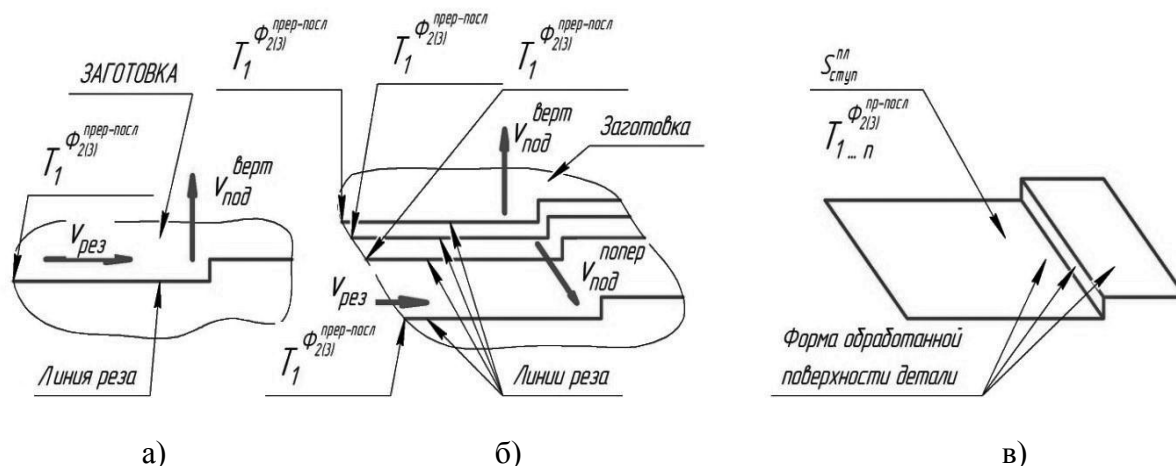


Рисунок 6. Структурные схемы точечного взаимодействия инструмента с заготовкой при прямолинейном главном движении и периодическом поперечном движении:

- а - линия перемещения режущей точки инструмента с периодическим добавлением движения в поперечном направлении;
- б - циклическое смещение точки контакта на шаг перемещения по другой оси координат поперечного перемещения;
- в - форма получаемой поверхности при указанных движениях.

Ступенчатые формы поверхностей деталей можно получать путем осуществления равномерного прямолинейного главного движения и периодически изменяя направление движения в заданной точке траектории. Так на рис. 6, а показана линейная траектория движения одной точки.

На рис. 6, б приведена схема формирования ступенчатой поверхности детали при помощи дополнительного движения подачи, осуществляемой после окончания каждого перемещения по траектории от начала до конца обрабатываемого участка детали.

На рис. 6, в приведен пример получаемой в результате точечной обработки формы поверхностей в случае реализации рассмотренной схемы взаимодействия инструмента и заготовки.

В случае осуществления одновременного движения режущей точки инструмента в направлении всех трех осей координат с различными переменными скоростями можно получать пространственные поверхности деталей любой заданной формы, в зависимости от соотношения скоростей по разным направлениям. Примеры реализации такой схемы приведены на рис. 7.

Осуществление одновременно с двумя направлениями относительного движения (с главным движением резания и поперечным движением подачи) движения еще в направлении одной координатной оси, позволяет получить любую объемную кривую, а множество объемных кривых линий позволяет получить объемную поверхность самой

разнообразной формы. Необходимая форма образуется путем параметризации относительных движений точки по осям системы координат, в которой производится обработка детали.

На всех схемах типы взаимодействия контактных точек инструмента с заготовкой обозначены символами $T_i \Phi_j^{пер}$, где $\Phi_j^{пер}$ представляет собой обозначение процесса формообразования, в котором верхний индекс отражает характер осуществления подачи относительно главного движения (прерывистый, последовательный, одновременный и др.), а нижний индекс j при Φ отражает количество дополнительных движений по разным осям координат, при этом индекс i при символе T отражает количество линий или траекторий на обрабатываемой поверхности заготовки, а сам символ T обозначает технологическое взаимодействие с точечным контактом инструмента и заготовки. Количество линий определяется величиной подачи вдоль оси перемещения режущей точки инструмента.

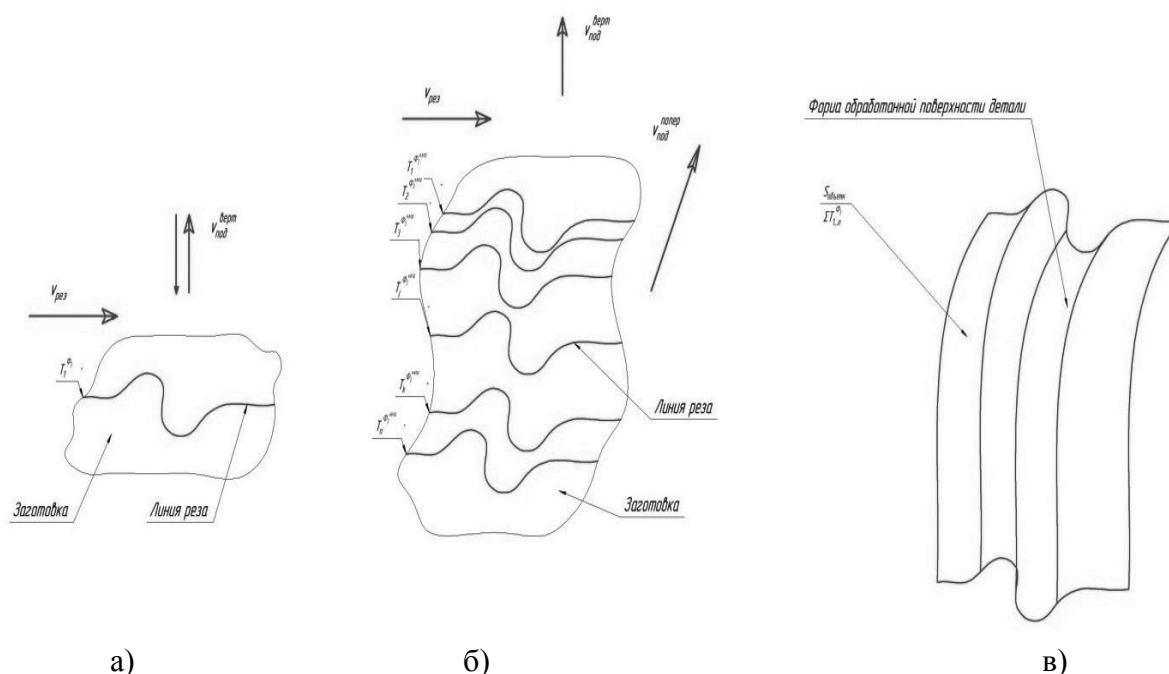


Рисунок 7. Структурные схемы точечного технологического взаимодействия инструмента с заготовкой с реализацией одновременного переменного относительного прямолинейного движения в направлении всех трех осей координат:

- а - пространственная линия траектории движения режущей точки инструмента относительно заготовки;
- б - множество повторяющихся пространственных линий с шаговым смещением;
- в - пример формы получаемой пространственной криволинейной поверхности обрабатываемой детали.

При осуществлении вращательного движения заготовки относительно режущей точки инструмента оптимальным образом получают детали с цилиндрическими или круговыми поверхностями. На рис. 8 приведены примеры схем формообразования обрабатываемых поверхностей деталей при осуществлении вращательного относительно движения точки инструмента и заготовки.

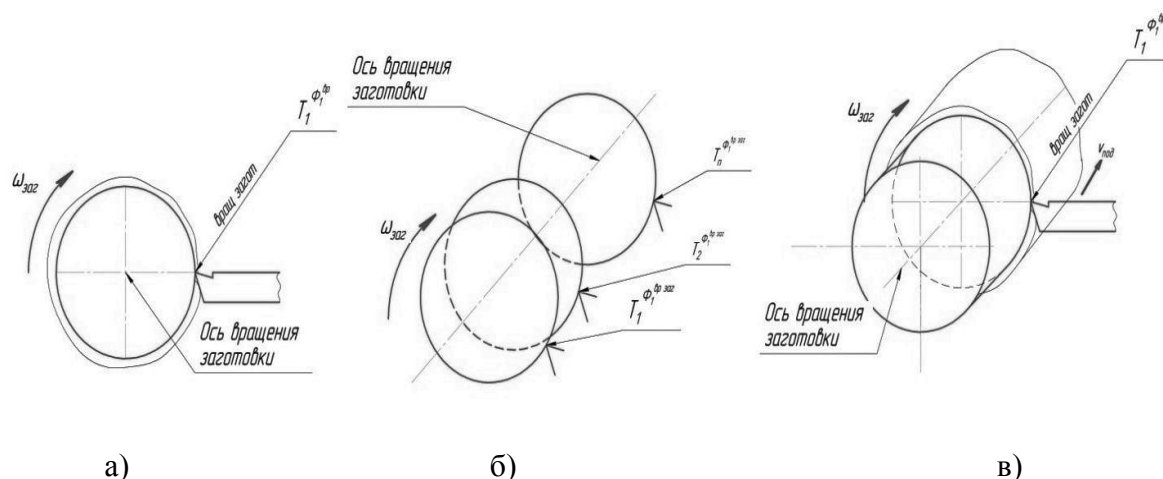


Рисунок 8. Структурная схема точечного взаимодействия инструмента с обрабатываемой поверхностью заготовки при ее вращательном движении:
 а - круговая траектория линии резания;
 б - подача вдоль оси вращения заготовки дает множество круговых линий;
 в - обработанная цилиндрическая поверхность.

Формообразование точкой при вращательном движении заготовки образуется кольцевая траектория относительного движения в системе координат детали. Подача на оборот позволяет получить спиральную траекторию относительного движения точки резания $T_{i(1...n)}^{\Phi_j^{6p}}$ к обрабатываемой поверхности заготовки, а прерывистая циклическая на величину шага дает возможность получить множество кольцевых линий на поверхности. Функционально это может давать различную структуру поверхности. По такой схеме функционального взаимодействия работают токарные станки, которые обеспечивают подачу резца в поперечном направлении к оси вращения заготовки и продольную подачу вдоль этой оси. В символе формального обозначения точечного взаимодействия резца с заготовкой индекс Φ_j^{6p3} обозначает вращательное движение заготовки и не вращающемся инструменте с возможностью обеспечения числа подач по осям, соответствующих тому количественному индексу j , который указан для конкретной схемы взаимодействия.

На рис. 9 представлена аналогичная схема технологического воздействия при формообразовании с неравномерной подачей по оси в поперечном направлении к оси вращения заготовки. Такая схема позволяет получать форму детали эллипсоидного профиля в поперечном сечении, рис. 9в. Форма кривой, формирующей обрабатываемую поверхность заготовки, зависит от функции, задающей соотношение движения подачи точки контакта в поперечном направлении по отношению к скорости вращения заготовки. Одновременно при формообразовании детали необходимо учитывать также зависимости характера продольного перемещения режущей точки инструмента вдоль оси вращения заготовки от того же аргумента, т.е. функциональная зависимость формообразующих движений является следствием функционального конструктивного задания формы детали в конструкторской документации.

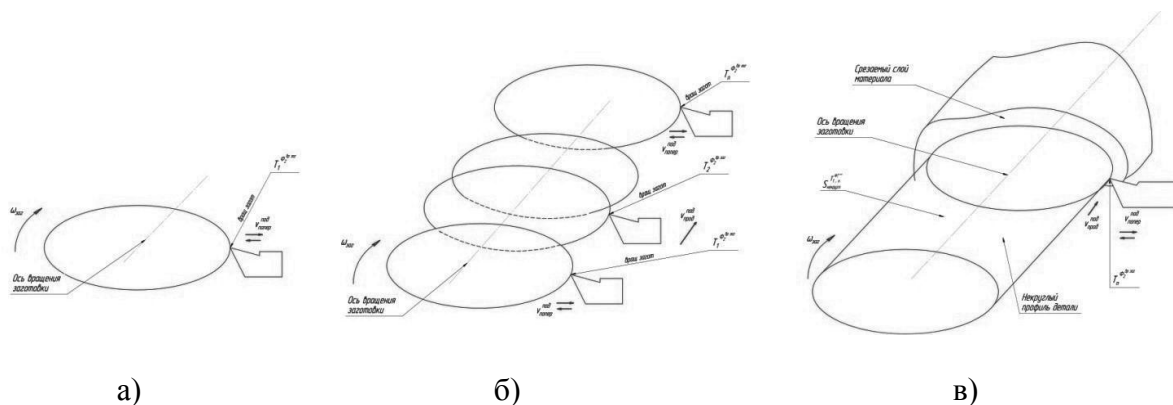


Рисунок 9. Периодическая пульсирующая подача вдоль дополнительной поперечной оси системы координат, дающая нецилиндрическую поверхность:

- а - эллиптическая траектория относительного движения точки резания;
- б - подача вдоль оси вращения и циклическая подача по одной оси в плоскости резания – множество одинаковых некруговых траекторий;
- в - пример эллиптической обработанной поверхности.

Другой характер структурной схемы технологического воздействия инструмента на заготовку в точечном контакте с вращательным движением представляет вариант , когда вращается инструмент при не вращающейся заготовке. По указанной структурной схеме работают расточные станки. На рис. 10а,б,в показаны схемы образования единичной траектории движения точки контакта в относительном движении, образование конечного множества линий траекторий точки контакта, а также получаемой поверхности детали в результате обработки.

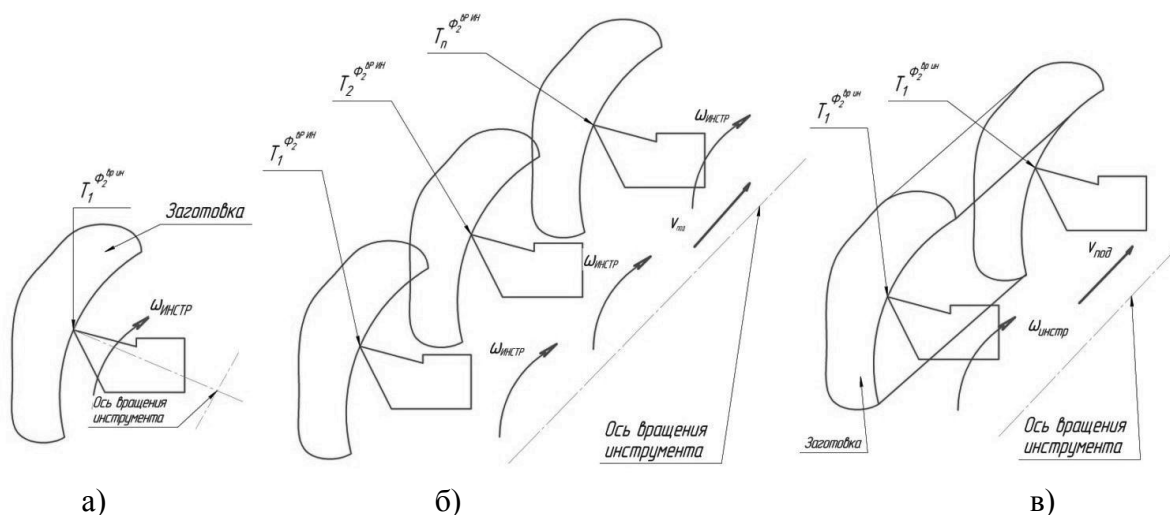


Рисунок 10. Структурная схема технологического воздействия при формообразовании поверхности точечным контактом при вращающемся инструменте: а - траектория относительного движения точки к заготовке – круговая; б - множество линий траектории с заданным шагом; в - форма получаемой поверхности при обработке детали.

Аналогично тому, как образуется некруговая поверхность при вращающейся детали при обеспечении функционального технологического воздействия форма детали по заданному закону, образуется форма поверхности и при вращающемся инструменте.

На рис. 11, а, б, в представлены структурные схемы технологического точечного взаимодействия инструмента с заготовкой при наличии возможности осуществлении подачи в продольно и поперечном направлении по заданной функциональной зависимости по трем осям координат при вращающемся инструменте, что позволяет получать форму детали по заданному закону.

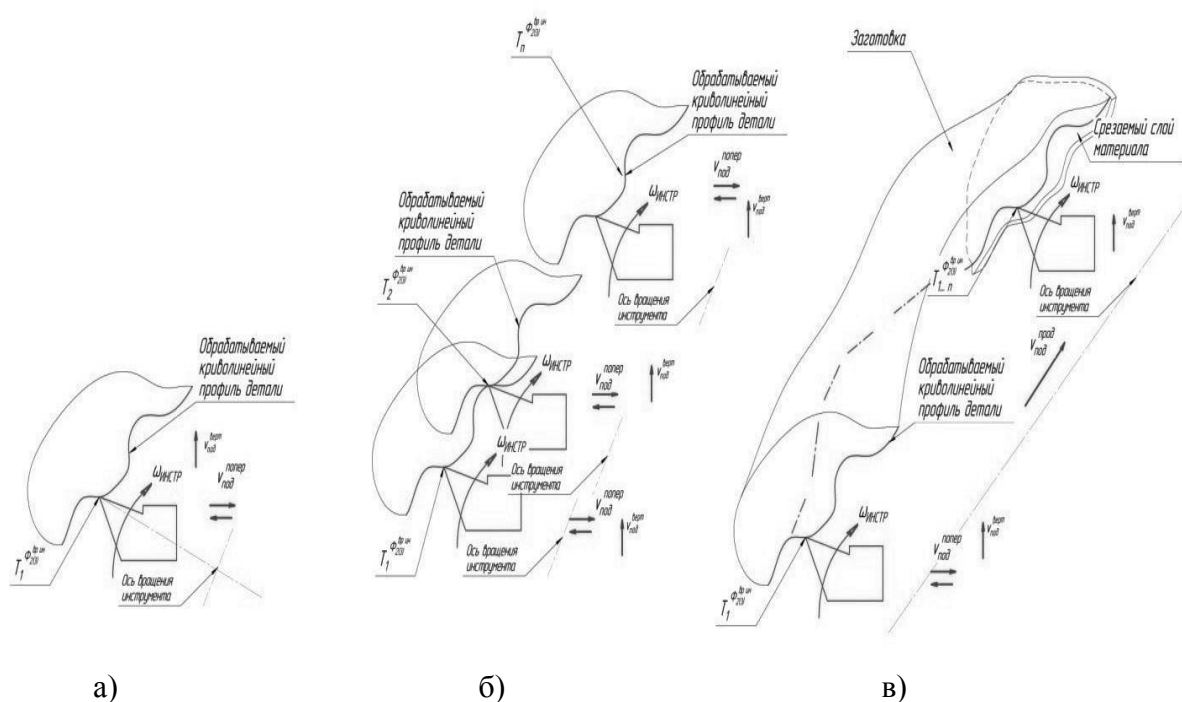


Рисунок 11. Схема взаимодействия при формообразовании точечным контактом при реализации линейных движений с разными скоростями вдоль трех осей координат дополнительно к главному движению вращения инструментальной точки:

- а - траектория относительного движения – пространственная кривая;
- б – множество линий траектории с заданным шагом вдоль оси вращения;
- в – пространственная криволинейная форма обработанной поверхности.

Рассмотренные возможности формообразования детали при точечном контакте режущего инструмента с обрабатываемой заготовкой позволяют формализовать порядок соотношения функций движения образующей точки относительно заготовки при разной эффективности. Рассматривая заданную геометрическую форму детали в качестве аргумента для функции, задающей закон движения точки в относительном движении при формообразовании, можем путем перебора возможных схем получить оптимальный вариант обработки. При этом вариант выбирается путем последовательного сравнения всех возможных вариантов рекуррентным образом относительно критерия оптимальности, в качестве которого может быть производительность, величина затрат на обработку, показатели точности или комплекс иных критериев.

В общем случае выбор схемы точечного формообразования осуществляется из всего множества структурных схем элементарного технологического воздействия режущей точки инструмента на заготовку, определяемой комбинацией возможных ли-

нейных и вращательных движений, посредством которых материальная точка переводится в заданную точку координатной системы зоны обработки детали. Тогда любую точку, предусмотренную для расположения режущей точки инструмента в системе координат технологического комплекса оборудования можно задать как функцию движения по осям координат в виде:

$$T_{\Pi_i}^{\Phi_j^{\alpha(I)_{x,y,z}}} = F(X_{\Pi}, Y_{\Pi}, Z_{\Pi}), \tag{2}$$

где $X_{\Pi}, Y_{\Pi}, Z_{\Pi}$ – координаты формообразующей точки инструмента в рассматриваемой системе пространства Π ; символ Φ при T указывает на осуществление процесса формообразования точкой, при этом число движений в процессе обозначено индексом j , а индексы α и I (единичный вектор системы координат, указывающий направление оси X, Y, Z) указывают на применение вращательного или линейного движения вокруг или в направлении соответствующей оси системы координат.

В табл. 1 приведены виды возможных движений при формообразовании поверхности точкой, и соответствующие формализованные обозначения.

Все поверхности частей и участков детали, образующие его геометрические формы и размеры могут быть описаны в функциональном виде в системе полярных или декартовых координат. При этом каждая функциональная часть поверхности детали может быть описана в частной системе координат (9). Например, для детали блок-вал КПП на рис. 1 где каждая отличительная часть поверхности обозначена буквами от «А» до «Я» описана в своей частной системе координат S_i , (см. рис 2, 3), которая однозначно определена в общей системе S_{Σ} детали. Тогда каждая поверхность детали Π_j в общем виде является функцией параметров X, Y, Z , т.е.

$$\Pi_j = F(X_{i(i=1,2,\dots,n)}^{\Pi_{j(j=A,B,\dots,Y)}}, Y_{i(i=1,2,\dots,n)}^{\Pi_{j(j=A,B,\dots,Y)}}, Z_{i(i=1,2,\dots,n)}^{\Pi_{j(j=A,B,\dots,Y)}}), \tag{3}$$

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

Общее формализованное обозначение формообразующей точки инструмента в своем перемещении в системе координат технологического комплекса T^{Φ} можно представить в виде:

$$T_{\sum(i=1\dots i)}^{\Phi_{дет}} = f\left(T_{j^z(x,y,z)}^{\Phi_k^{v_i^p(x,y,z)\omega_{x,y,z}^p}} \cap T_{n^z(x,y,z)}^{\Phi_k^{v_i^p(x,y,z)\omega_{x,y,z}^p}}\right) \tag{4}$$

где T^{Φ} является функцией координат X, Y, Z в системе координат обрабатывающего технологического комплекса, в котором каждая формообразующая точка однозначно соответствует тем точкам поверхностей обрабатываемой детали, которые отражены в выражении (3), и тогда формируемая поверхность Φ^{Π} может быть представлена в виде функционала функции поверхности Π_j детали (3) и функции движения формирующей точки T^{Φ} инструмента (4)

$$\Phi_{T_g^{\Pi}}^{\Sigma} = F\left(\Pi_{\Sigma}^j \cap T_{\Sigma}^{\Phi}\right) \tag{5}$$

где Π_{Σ}^j и T_{Σ}^{Φ} являются обобщенными элементами выражения (3) и (4).

Из совместного рассмотрения выражений (3), (4), (5) видно, что функционально значимые признаки детали (атрибуты) в отношении и формообразования могут быть

Таблица 1. Примеры структурных схем формообразования точечным контактом.

<i>Структурные схемы точечного формообразования деталей</i>			
<i>Элементы структурной схемы (виды реализуемых движений)</i>	<i>Формальные обозначения структурных схем</i>	<i>Функциональная связь структурной схемы с конструктивными элементами детали</i>	<i>Вид геометрической формы элементов детали</i>
	$T_i \Phi_1^{i_z}$	$T_i \Phi_1^{i_z} = f_1(pvl)$	Точка, прямая линия
	$T_i \Phi_2^{i_{xz}}$	$T_i \Phi_2^{i_{xz}} = f_2(\Pi_{x,y,z}^{k_{дем}} vL_{x,y,z}^{S_m^{y4}})$	Прямая линия, кривая, плоскость
	$T_i \Phi_3^{i_{xyz}}$	$T_i \Phi_3^{i_{xyz}} = f_3(S_{x,y,z}^{k_{дем}} vL_{x,y,z}^{S_m^{y4}})$	Плоскость, криволинейная и ступенчатая поверхность
	$T_i \Phi_2^{\alpha_{xz}}$	$T_i \Phi_2^{\alpha_{xz}} = f_j(l^{k_{дем}} vS_{x,y,z}^{n_j^{y4}})$	Окружность, цилиндр, некруговая линия
	$T_i \Phi_3^{\alpha_{xy}i_x}$	$T_i \Phi_3^{\alpha_{xy}i_x} = f_i(S^{k_{дем}} \wedge S_{x,y,z}^{n_j^{y4}})$	Криволинейные поверхности
	$T_i \Phi_4^{\alpha_{xyz}i_x}$	$T_i \Phi_4^{\alpha_{xyz}i_x} = f_k(S^{k_{дем}} \wedge S_{x,y,z}^{n_j^{y4}})$	Криволинейные объемные поверхности детали
	$T_i \Phi_3^{\alpha_{xz}i_z}$	$T_i \Phi_3^{\alpha_{xz}i_z} = f_r(S_{цил}^{k_{дем}} \wedge S_{x,y,z}^{n_j^{y4}})$	Цилиндрические, эллипсоидные поверхности
	$T_i \Phi_4^{\alpha_{xy}i_{xz}}$	$T_i \Phi_4^{\alpha_{xy}i_{xz}} = f_s(S^{k_{дем}} \wedge S_{x,y,z}^{n_j^{y4}})$	Криволинейные поверхности тел вращения
	$T_i \Phi_5^{\alpha_{xyz}i_{xz}}$	$T_i \Phi_5^{\alpha_{xyz}i_{xz}} = f_s(S_{x,y,z}^{k_{дем}} \wedge S_{x,y,z}^{n_j^{y4}})$	Любые объемные формы детали
	$T_i \Phi_4^{\alpha_{x}i_{xyz}}$	$T_i \Phi_4^{\alpha_{x}i_{xyz}} = f_p(S_{x,y,z}^{k_{дем}} \wedge S_{x,y,z}^{n_j^{mod}})$	Любые криволинейные объемные формы детали
	$T_i \Phi_5^{\alpha_{xy}i_{xyz}}$	$T_i \Phi_5^{\alpha_{xy}i_{xyz}} = f_t(S_{x,y,z}^{k_{дем}} \wedge S_{x,y,z}^{n_j^{mod}})$	Любые криволинейные объемные формы детали
	$T_i \Phi_6^{\alpha_{xyz}i_{xyz}}$	$T_i \Phi_6^{\alpha_{xyz}i_{xyz}} = f_u(S_{x,y,z}^{k_{дем}^{1-g}} vS_{x,y,z}^{n_j^{var}})$	Любые криволинейные объемные формы детали
	$T_i \Phi_7^{\alpha_{xyz}i_{xyz}^{\alpha}}$	$T_i \Phi_7^{\alpha_{xyz}i_{xyz}^{\alpha}} = f_u(S_{x,y,z}^{k_{дем}^{1-g}} vS_{x,y,z}^{n_j^{var}})$	Любые криволинейные объемные формы детали
	$T_i \Phi_7^{\alpha_{xyz}i_{xyz}^{\alpha} \alpha_y^{\alpha}}$	$T_i \Phi_7^{\alpha_{xyz}i_{xyz}^{\alpha} \alpha_y^{\alpha}} = f(S_{x,y,z}^{k_{дем}^{1-g}} vS_{x,y,z}^{n_j^{var}})$	Любые криволинейные объемные формы детали
	$T_i \Phi_8^{\alpha_{xyz}i_{xyz}^{\alpha} \alpha_y^{\alpha} i_z^{\alpha}}$	$T_i \Phi_8^{\alpha_{xyz}i_{xyz}^{\alpha} \alpha_y^{\alpha} i_z^{\alpha}} = f(S_{x,y,z}^{k_{дем}^{1-g}} vS_{x,y,z}^{n_j^{var}})$	Любые криволинейные объемные формы детали

обеспечены реализацией нескольких вариантов комплексных функционально ориентированных точечных технологических воздействий.

Чтобы итеративно выбрать оптимальный вариант обработки в конкретных условиях производства необходим перебор возможных сочетаний функционального технологического воздействия на основе рекуррентного подхода с постепенным приближением к оптимальному значению назначенного критерия выбора.

В приведенной ниже таблице формализовано представлены варианты структурных схем формообразования точечным контактом режущего инструмента с заготовкой при сообщении различных сочетаний движений инструмента относительно заготовки. При этом учитываются направления основных прямолинейных движений относительно осей систем координат, в которых определены положение заготовки и инструмента, а также направления дополнительных и вспомогательных прямолинейных и вращательных движений элементов технологического обрабатывающего комплекса.

Надо отметить, что не все теоретически возможные и приведенные в таблице варианты сочетания движений для рассмотренных синтезированных структурных схем формообразования технически могут быть достижимы, в частности, при реализации процессов резания при механической обработке на современном металлорежущем оборудовании и с применением современной оснастки. Однако эти схемы точечного преобразования формы детали могут быть реализованы при осуществлении процессов иного вида, например, электролучевым, лазерным или иным методом.

Заключение.

В настоящей работе выполнен комплекс исследований, позволивших установить однозначную взаимосвязь между функционально значимыми элементами обрабатываемой детали и функционально ориентированными схемами технологического воздействия на заготовку при реализации точечного способа формообразования.

Синтезировано множество элементарных структурных схем траектории движения точки инструмента, образующей создаваемую поверхность детали.

- установлены траектории движения точки при элементарных движениях;
- установлены траектории движения точки при придании дополнительных прямолинейных и вращательных движений, как точки, так и заготовки;
- формально описаны траектории движения формообразующей точки в системе координат технологического комплекса.

2. Разработано множество структурных схем формообразования с помощью подвижной точки инструмента, позволяющих обеспечивать получения многообразных форм детали при сочетании различных элементарных движений в технологическом комплексе.

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

4. Установлена взаимосвязь описания геометрической формы детали в собственной системе координат с полным функционалом функционально ориентированного технологического воздействия при точечном формообразовании детали в координатной системе технологического комплекса (таблица 1).

Синтезированные и рассмотренные структурные схемы формообразования как объекты, устанавливающие однозначно функциональную связь между указанными в КД на деталь конструктивными требованиями, обеспечивающими частную функцио-

нальную предназначенность каждого элемента детали в комплексе общей целевой функции детали, определяющей ее форму и размеры.

Практическое использование результатов выполненных в настоящей работе исследований позволяет формализовать выбор удовлетворяющих установленным критериям вариантов структурных схем механической обработки и формообразования деталей с реализацией точечного контакта режущей части инструмента и заготовки.

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 / Ю. Е. Гуревич. – Издательство ТНТ, 2015. – 407 с.
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 / Ю.В. Ивлев. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992. – 270 с.
6. Балакшин, Б. С. Основы технологии машиностроения / Б.С. Балакшин. – М.: Машиностроение, 1973. – 688 с.
7. Колесов, И. М. Основы технологии машиностроения: учебник для машиностроительных специальностей вузов / И. М. Колесов – М.: Высш. шк., 2001. – 591 с.
8. Михайлов, А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения / А.Н. Михайлов. – 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.

Поступила в редколлегию 21.02.2021 г.