

Виконані авторами розробки можуть бути запропоновані для використання не тільки при проектуванні верстатів нового покоління, а й при викладанні в якості засобів віртуального навчання (за відсутністю на перших етапах наочної матеріальної бази) розділів дисциплін "Верстати з ЧПК та верстатні комплекси", "Технологічне обладнання з паралельною кінематикою".

Список літератури: 1. Кузнецов Ю.М. Світові тенденції і перспективи розвитку верстатобудування в Україні // Збірник наукових праць за матеріалами науково-методичної конференції "Проблеми фізико-математичної і технічної освіти і науки України в контексті євроінтеграції (Вища освіта-2006)".- К.: НПУ ім. М.П. Драгоманова, 2007. – с.45 -55. 2. Обрабатывающее оборудование нового поколения. Концепция проектирования / В.Л. Афоник, А.Ф. Крайнев, В.Е. Ковальов и др.; Под ред. В.Л. Афонина. М.: Машиностроение, 2001. – 256 с. 3. Крижанівський В.А., Кузнецов Ю.М., Валявський І.А., Склярів Р.А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою.- Кіровоград, 2004. - 449с. 4. Агрегатно-модульне технологічне обладнання: у 3-х част. Під ред. Ю.М. Кузнецова. Навч. посібних для ВНЗ. – Кіровоград, 2003 р. 5. Bing Li . Xiaoping Hu . Hao Wang Analysis and simulation for a parallel drill point grinder. Part 2: grinding kinematic modeling and simulation // Int J Advanced Manufacturing Technology (2006) 30: P. 221–226. 6. Н. А. Грек, А. Г. Ивахненко, О. Н. Подленко Моделирование формообразования на станках с параллельной кинематикой // Информатика и системы управления. – 2005. – № 1(9). – С. 34 – 40.

Сдано в редакцію 20.06.07

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА

Ляхин А.М., Михайлов А.Н. (ДонНТУ, Донецк, Украина)

In the given work was considered the main particular qualities of application of the functional-oriented techniques in manufacture of gear wheels. Their application gives an opportunity of security of full conformity of properties of separate elements of gear wheels to conditions of their using.

1. Введение

В настоящее время в технологии машиностроения имеется направление по проектирования технологического процесса изготовления изделий согласно выполнения ими определенных функций в процессе эксплуатации [1,2]. Это вызвано стремлением в наибольшей степени приспособить их к условиям эксплуатации, а также обеспечить наиболее выгодные эксплуатационные характеристики. Методом организации технологического процесса по такому принципу являются функционально-ориентированные технологические процессы, основанные на точной топологической ориентации элементов изделий и технологических воздействий оказываемых над ними[1].

Целью данной работы является повышение эффективности производства зубчатых колес за счет использования функционально-ориентированного подхода.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выполнить анализ элементов конструкции зубчатого колеса с точки зрения выполнения ими эксплуатационных функций;
- определить кинематические характеристики преобразования систем координат изделия и технологической системы;
- определить отличительные особенности и особенности построения функционально-ориентированных технологий

Зубчатые колеса, как элементы зубчатых передач, представляют собой наиболее ответственные элементы зубчатых передач. В процессе работы зубчатые колеса находятся под действием множества факторов, влияющих на работоспособности передачи и надежность механизма. Технологический процесс производства зубчатых колес представляет собой несколько последовательных этапов различной длительности выполнения. Это вызвано различной трудоемкостью технологических операций. При этом наибольшей трудоемкостью характеризуются операции предварительной и окончательной зубообработки.

В результате зубообработки неизбежно возникают погрешности, вызванные различными причинами, которые в определенной степени могут привести к снижению надежности зубчатых колес или сопрягаемых с ними деталями. Погрешности зубчатых колес в некоторых случаях становятся причиной кромочного контакта, который возникает в момент окончания зацепления зубчатой пары, когда зуб ведущего колеса не успевает удалиться от ведомого и кромка вершины зуба ведущего колеса оказывает давление на рабочую поверхность ведомого. В результате происходит соприкосновение эвольвентной поверхности ведомого с линией пересечения эвольвентной поверхности ведущего колеса и цилиндрической поверхности вершины зуба. Это вызывает значительные концентрации напряжений на поверхностях зуба, что может привести к забоинам и выкрашиваниям.

В зубчатых колесах и зубчатых блоках, используемых в коробках скоростей, в результате переключения происходит повышенный износ торцов зубьев. Это вызвано непопаданием торца зуба во впадину сопряженного с ним зубчатого колеса в момент вхождения их в зацепление, что вызывает истирание торцов зубьев и забоины на кромках зубьев.

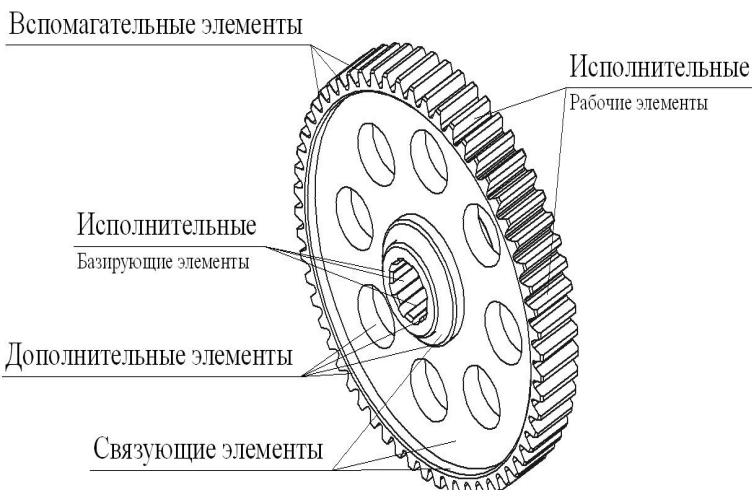


Рис. 2. Элементы зубчатого колеса

2. Основное содержание и результаты работы

При рассмотрении конструкции зубчатого колеса (рис. 2), можно выделить элементы, для которых характерны определенные особенности работы, а также определенный характер износа в процессе эксплуатации. В зубчатом колесе по назначению можно выделить следующие элементы: исполнительные,

базирующие, несущие, вспомогательные и дополнительные элементы[3]. Исполнительные элементы – элементы с помощью которых деталь выполняет свое служебное назначение. В свою очередь они подразделяются на два класса [4] рабочие и базирующие. Рабочие поверхности это поверхности, посредством которых происходит передача крутящего момента (зубья, зубчатые венцы), то есть осуществляет рабочий процесс. Базирующие элементы – элементы, служащие для базирования и установки зубчатых колес в машине, а также в некоторых случаях служащие опорой для зубчатых колес (шейки валов, отверстия, шпоночные пазы, шлицы, торцы). Вспомогательные элементы – служат для избежания нежелательных перемещений и заеданий в процессе работы зубчатой передачи (скосы на торцах зубьев в зубчатых переключаемых зубчатых колес, скругления, бочкообразность зубьев). Связующие элементы – служат для расположения на них всех элементов зубчатых колес и выполняют роль корпусного элемента (диск, обод, ступица, шейки вала-шестерни). Дополнительные элементы – служат как вспомогательные элементы в процессе механической обработки, сборки, монтажа и не принимают непосредственного участия в работе зубчатого колеса.(центровые отверстия, фаски, канавки, галтели, отверстия в диске и пр.).

Для элементов, не принимающих в процессе работы зубчатой передачи непосредственного участия, нет необходимости превышения параметров качества поскольку это не требуется по условиям эксплуатации.

Рабочие элементы зубчатых колес в процессе работы характеризуются следующими видами износа. Для эвольвентных поверхностей свойственно смятие, истирание, выкрашивание и трещины на поверхностях зубьев. Для торцов ступицы свойственна их деформация вследствие осевой нагрузки от элементов расположенных на валу рядом с зубчатым колесом. Для торцов зубчатого венца в переключаемых зубчатых колесах, в процессе работы возникают забоины, которые являются результатом перекрытия зубьев переключаемых зубчатых колес.

При использовании функционально-ориентированного подхода каждый элемент любого изделия рассматривается с точки зрения выполнения им определенных функций в процессе эксплуатации. При этом каждое изделие рассматривается как совокупность функциональных зон и элементов. На основании данных об изделии и его функциональных особенностей разрабатывается функционально-ориентированный технологический процесс который основан на точной топологически ориентированной реализации необходимого множества технологического воздействия орудий и средств обработки в необходимые микро- и макрзоны и участки изделия, которые функционально соответствуют условиям их эксплуатации в каждой отдельной его зоне[1]. При этом вид, тип, вариант, количество, качество и алгоритм технологического воздействия целенаправленно определяется, а также топологически, функционально и количественно ориентируется при их реализации в отдельные зоны изделия в зависимости от заданных функциональных особенностей их эксплуатации. Это позволяет максимально адаптируются изделия машиностроения к особенностям их эксплуатации, и проявляет свой полный потенциал возможностей в машине [1].

Процесс формирования функциональных зон и элементов зубчатых колес, выполняется за счет перемещения системы координат изделия и элементов технологической системы. Рассмотрим трехмерное декартово пространство и соответствующее ей евклидово пространство радиус-векторов[4]. В декартовом пространстве имеется $p-1$ систем координат соответствующих каждому функциональному элементу зубчатого колеса. Положение каждой последующей системы координат относительно предыдущей определяется радиус-вектором \vec{c} начала координат и линейным преобразованием ν координатных базисов. Относительно

системы координат π_1 задана точка P_1 с радиусом-вектором \vec{r}_1 и преобразование этой точки в точку P_1' с радиус-вектором \vec{r}_1' . В этом случае преобразование выполняется с помощью оператора $\vec{\beta}_1$ и вектора \vec{b}_1 .

$$\vec{r}_1' = \vec{\beta}_1 \vec{r}_1 + \vec{b}_1$$

Осуществив переход от системы координат π_1 к системе координат π_2 с помощью v_1 и \vec{c}_1 , получаем точку P_2 , совпадающую с P_2' , но рассмотренную относительно системы координат

$$\vec{r}_2 = v_1 \vec{\beta}_1 \vec{r}_1 + v_1 \vec{b}_1 + \vec{c}_1$$

Данное отображение представляет собой композицию – состоящую из преобразования декартового пространства и декартову систему координат π_1 и π_2 .

Общее выражение декартовых преобразований систем координат π_1 и π_2 в матричной форме имеет следующий вид:

$$\vec{r}_2 = m_{21}^{A1} \prod_{k=1}^2 \left(m_{k(k-1)}^{A1} m_{k(k-1)}^{A2} \right) \cdot \vec{r}_1 \quad (1)$$

где m_{21}^{A1} - матрица преобразований декартовых систем координат при переходе от системы π_1 к системе координат π_2 ;

$m_{k(k-1)}^{A1}$ - матрица преобразований декартовых систем координат при переходе от системы $\pi_{(k-1)}$ к системе координат π_k ;

$m_{k(k-1)}^{A2}$ - матрица преобразований декартового пространства при переходе от системы $\pi_{(k-1)}$ к системе координат π_k .

Радиус-векторы \vec{r}_2 и \vec{r}_1 записываются в виде вектора столбца четвертого порядка.

$$\vec{r}_2 = \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad \vec{r}_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Матрицы $m_{k(k-1)}^{A1}$ и $m_{k(k-1)}^{A2}$ соответствуют одной из шести различных матриц преобразований декартовых систем координат, а именно, соответствующих прямолинейному переносу относительно трех осей координат (x, y, z), и соответствующих повороту вокруг трех осей систем координат при декартовом преобразовании.

Обозначив

$$m_{21} = m_{21}^{A1} \prod_{k=1}^2 (m_{k(k-1)}^{A1} m_{k(k-1)}^{A2})$$

получим:

$$\vec{r}_2 = m_{21} \vec{r}_1$$

Продифференцировав данное выражение получим формулу для нахождения скорости перемещения точки системы координат π_1 в системе π_2

$$v_2 = \dot{r}_2 = \frac{dm_{21}}{dt} r_1 + m_{21} \dot{r}_1$$

Проделав второе дифференцирование, получим ускорение точки системы координат π_1 в системе π_2

$$a_2 = \ddot{r}_2 = \frac{d^2 m_{21}}{dt^2} r_1 + 2 \frac{dm_{21}}{dt} \dot{r}_1 + m_{21} \ddot{r}_1.$$

Выражение (1) представляет собой математическую модель композиции преобразования декартовых систем координат и декартового пространства любого технологического модуля функционально-ориентированного технологического процесса производства зубчатых колес а также позволяет определить кинематическую структуру при проектировании технологических систем.

Особенности функционально-ориентированных технологий производства зубчатых колес можно разделить по нескольким признакам. К ним относятся:

1. Возможность использования на местном уровне. Это указывает на использование технологий в зависимости от пространственных условий и является условием оказания технологических воздействия в места действия эксплуатационных функций.

2. Точность в зависимости от уровня применения функционально-ориентированных технологий.

3. Зависимость технологических воздействий от эксплуатационных параметров. Технологические воздействия определяются анализом условий эксплуатации каждой функциональной зоны и элемента

4. Уровни глубины технологии. Предусматривает разделение изделия на деталь, части, составляющие, зоны, макрозоны, микрозоны и нанозоны.

5. Ориентация технологических воздействий на основе принципов ориентации.

Применительно к зубчатым колесам, функционально-ориентированные технологии строятся в следующей последовательности:

- установление особенностей действия эксплуатационных функций на зубчатое колесо и его элементы;
- определение параметров микрозон, макрозон и участков изделия;
- определение необходимых технологических воздействий;
- ориентация технологических воздействий и свойств в микрозоны, макрозоны и участки изделия на базе принципов ориентации;
- реализация технологических воздействий;
- обеспечение заданной совокупности свойств в микрозонах, макрозонах и участках изделия в зависимости от особенностей действия в них эксплуатационных функций.



Рис. 3. Основные особенности функционально-ориентированных технологических процессов

В зубчатых колесах наиболее существенны следующие особенности действия эксплуатационных функций: действие высоких изгибных напряжений в ножке зуба, высоких контактных напряжений по поверхности зубьев, взаимное скольжение зубчатых профилей сопряженных зубьев, трение торцов зубчатых венцов зубчатых блоков и переключаемых зубчатых колес, напряжения среза и смятие шпоночных и шлицевых пазов, трение шлицевого отверстия по валу в переключаемых зубчатых колесах, действие изгибающего момента осевой силы на ступицу зубчатого колеса (для косозубых зубчатых колес).

В соответствии с особенностями действия эксплуатационных функций в процессе эксплуатации зубчатых колес, определяются требуемые параметры микроразнов, макрозонов и участков изделий. На основе известных параметров микро-, макрозонов и участков изделий, определяются технологические воздействия его вид, тип, количество и последовательность выполнения. Технологические воздействия представляют собой потоки материи, энергии и информации в требуемые участки и зоны зубчатых колес. На данном этапе выясняется возможность достижения требуемых параметров зон на всех стадиях производства зубчатого колеса и определяется этап, на котором возможно достижение параметров, требуемых по функциональному назначению зубчатого колеса.

Технологические воздействия, прикладываемые к элементам зубчатого колеса, связаны с необходимостью их ориентации на выполнение эксплуатационных функций и свойств. Ориентация технологических воздействий осуществляется на основе следующих принципов[1]:

1. Функционального соответствия особенностей действия элементарных функций в каждой функциональной зоне зубчатого колеса, характеристик реализации технологических воздействий на изделие и параметров обеспечения необходимых свойств этой функциональной зоны изделия.

2. Топологического соответствия геометрических параметров функциональной зоны, в которой действует элементарная функция при эксплуатации, геометрическим параметрам зоны реализации технологических воздействий на зубчатое колесо, и геометрических параметров зоны обеспечения необходимых свойств.

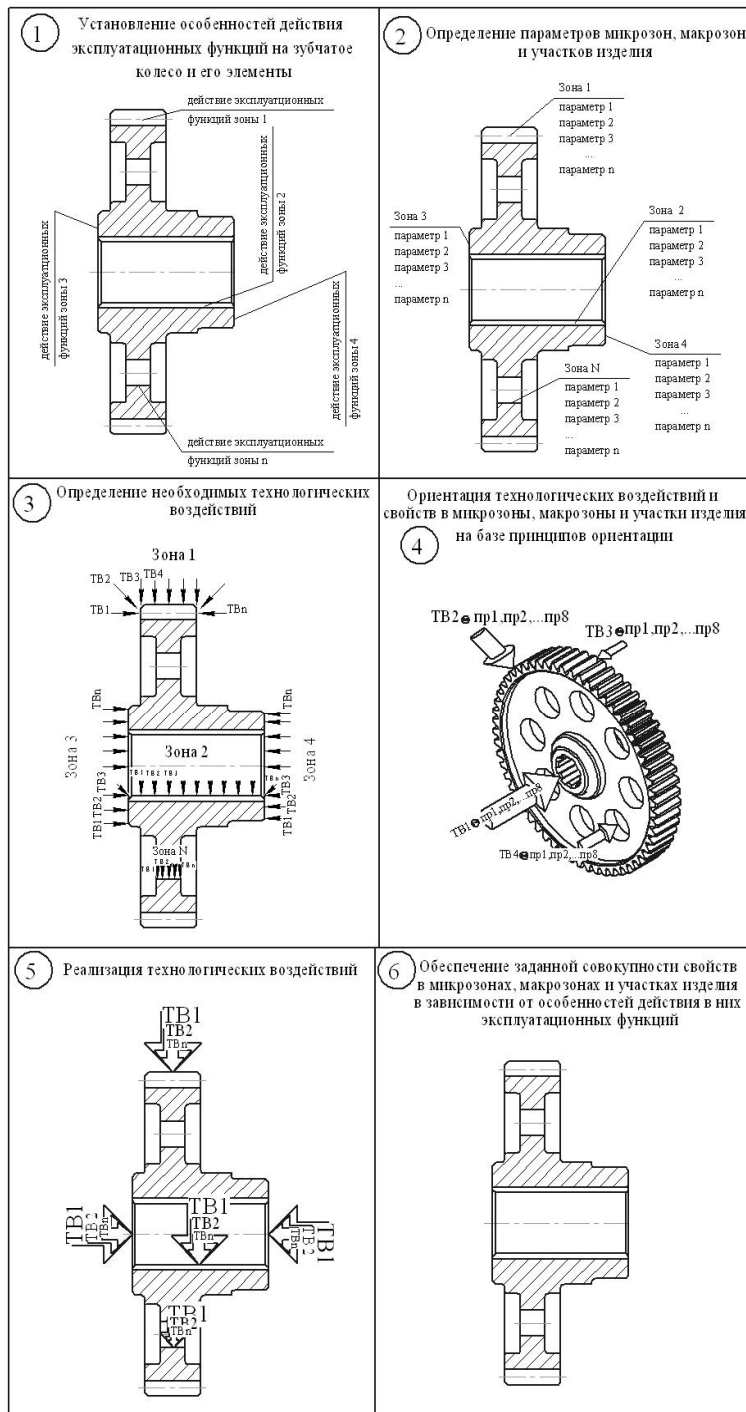


Рис. 4. Этапы построения функционально-ориентированного технологического процесса.

элемента изделия из условия обеспечения заданных, требуемых или предельных свойств всего изделия.

7. Адекватного структурно-функционального соответствия свойств в пространстве и во времени каждого функционального элемента предельному или заданному потенциалу общих свойств всего изделия в целом.

8. Адекватного структурно-функционального соответствия свойств в окрестностях каждого функционального элемента в пространстве и во времени предельному или заданному потенциалу общих свойств всего изделия в целом.

3. Количественного соответствия множества функциональных зон, в которых действует множество различных элементарных функций при эксплуатации, множеству реализации технологических воздействий и множеству зон обеспечения необходимых свойств в функциональных зонах.

4. Адекватной зависимости пространственных особенностей действия элементарной функции при эксплуатации, технологических воздействий и эксплуатационных свойств в пространстве каждой функциональной зоны или элемента изделия.

5. Адекватной зависимости временных особенностей действия элементарной функции при эксплуатации, временных или пространственных особенностей реализации технологических воздействий и временных эксплуатационных свойств в каждой функциональной зоне или элементе зубчатого колеса.

6. Структурного соответствия действия множества элементарных функций, реализации множества технологических воздействий и выполнения множества свойств в функциональных зонах или

Реализация приведенных принципов ориентации технологических воздействий и свойств зубчатых колес должен выполняться на базе итерационного подхода, что позволяет выполнять синтез функционально-ориентированных технологий посредством реализации приведенных принципов с учетом, как последовательных процессов, так и многократно повторяющихся процессов на основе обратных связей.

Реализация технологических воздействий должна выполняться с использованием прогрессивных технологических методов на всех этапах производства зубчатых колес включающих изготовление материала, изготовление заготовки, термической обработки, этапы механической обработки, отделочно-упрочняющей обработки, а также операции упаковки и консервации.

Обеспечение заданной совокупности свойств в микро-, макрозонах и участках изделия является результатом внедрения комплексного функционально-ориентированного технологического процесса. При этом параметры зон и участков изделия должны соответствовать действующим в них эксплуатационным функциям. При их изменении параметры должны адаптироваться в соответствии с изменением внешних условий. Поскольку функционально-ориентированный подход предполагает создание технологических операций исходя из выполнения изделием определенных функций в процессе эксплуатации, на их основе возможно обеспечение равной, зависимой или независимой долговечности элементов зубчатого колеса в процессе эксплуатации, а также возможность обеспечения переменности или функциональной зависимости физико-механических свойств элементов зубчатого колеса.

3. Заключение

Таким образом, функционально-ориентированный подход позволяет более тонко подойти к вопросу производства зубчатых колес, поскольку предусматривает возможность наиболее точную ориентацию технологических воздействий на всех уровнях изготовления. В результате появляется возможность значительно повысить показатели эффективности использования зубчатых колес, а также более полно использовать их эксплуатационные характеристики. Использование функционально-ориентированного подхода на всех этапах изготовления зубчатых колес в дальнейшем, позволит сократить затраты материальных и энергетических ресурсов.

Список литературы: 1. Михайлов А.Н. Общие особенности функционально-ориентированных технологий и принципы ориентации их технологических воздействий и свойств изделий. // *Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XIV международной научно-технической конференции в г. Севастополе 17-21 сентября 2007 г. В 5-ти томах.* – Донецк: ДонНТУ, 2006. Т. 3. С. 61-77. 2. Михайлов А.Н. Основные принципы и особенности синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. // *Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XIII международной научно-технической конференции в г. Севастополе 11-16 сентября 2006 г. В 5-ти томах.* – Донецк: ДонНТУ, 2006. Т. 3. С. 38-52. 3. Михайлов А.Н., Лахин А.М. Особенности проектирования технологических процессов производства зубчатых колес на основе функционально-ориентированного подхода. // *Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XIV международной научно-технической конференции в г. Севастополе 17-21 сентября 2007 г. В 5-ти томах.* – Донецк: ДонНТУ, 2006. Т. 3. С. 54-58. 4. Михайлов А.Н. Основы синтеза поточно-пространственных технологических систем непрерывного действия. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 379 с. 5. Базров Б.М. Модульная технология в машиностроении. – М: Машиностроение, 2001. – 368 с. 6. Производство зубчатых колес. Справочник. С.Н.

ФРАКТАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА МИКРОГЕОМЕТРИИ ОБРАБОТАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Матвиенко А.В. (ДонНТУ, г.Донецк, Украина)

The present work deals with fractal of the surfaces. Several fractal dimensions for surface analysis such as correlation, information and hausdorff dimension were used. Furthermore Hurst factor was used. It was show fractal of surface is very sensitive to machining. This can be to use for surface analysis. The fractal dimension showing of degree of surface maturity and the dynamics of evolution it's.

Введение

Как известно создание поверхностей с определенными микрогеометрическими свойствами является одной из основных задач машиностроения. Особенно это относится к поверхностям особо ответственных изделий авиа-космической техники, приборостроения, прецизионного станкостроения и т.д. Более того, вопрос обеспечения микрогеометрии поверхности особенно актуален при освоении новых технологий обработки поверхностей как механическими, так и физико-химическими способами обработки, в области микро - и нанотехнологий.

Качество поверхности традиционно характеризуются шероховатостью – среднеарифметическим отклонением, максимальной высотой неровностей, средним шагом неровностей профиля и т.п. и физико-механическими свойствами поверхностного слоя [1]. Шероховатость поверхности, как показали многие исследователи, является одним из основных показателей качества поверхности. Во многих случаях именно микрогеометрия поверхностного слоя предопределяет поведение поверхности в процессе ее эксплуатации, а в случае микро- и нанотехнологий шероховатость рассматривается не как вторичная структура, а как свойство самой структуры материала.

Как правило, микрогеометрия поверхностного слоя рассматривается как некий статический объект, который сформировался в процессе некоторого воздействия. Классически в обработке материалов резанием шероховатость является геометрическим прообразом траектории перемещения инструмента, которая задается кинематикой и режимами обработки. С другой стороны в процессе обработки формируются силовые, температурные и др. поля, происходит химическое воздействие на поверхность, возникают высокие давления в зоне контакта инструмента и обрабатываемой поверхности, движение дислокаций и т.д., вследствие чего изменяется структура поверхностного слоя. Поэтому формирование поверхности в целом, и микрогеометрии в частности, является результатом действия совокупности процессов, а не только чисто геометрических «откликов» действия инструмента, как, например, отмечается в работе [2].

В рамках рассматриваемой концепции «коллективного» формирования шероховатости можно сказать, что такой объект, как микрогеометрия поверхности является динамической системой. Изучение динамической системы предполагает изучение ее свойств, которые определяются некоторыми инвариантами (например, показатель Ляпунова, энтропия и т.д.). Поэтому в этом случае использование