

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СИНТЕЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА БАЗЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА

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

In given work was considered possibilities of application of the functional-oriented techniques in manufacture of gear wheel. It was shown general models schemes technological influences and some variants of application their in real gear wheel.

1. Введение.

Изготовление зубчатых колес является одной из наиболее сложных и ответственных областей машиностроительного производства, что вызвано высокой точностью и сложностью данных деталей а также обусловлено многоэтапностью и высокой трудоемкостью механической обработки. Качество зубчатых колес в значительной степени определяет технико-экономические и эксплуатационные показатели работы изделий, использующих зубчатые передачи.

Вопросы повышения качества и эффективности производства зубчатых колес широко рассмотрены в работах [4, 5, 6]. Из них видно, что в настоящий момент развитие технологии производства зубчатых колес идут в следующих основных направлениях:

- снижение объема механической обработки за счет совершенствования конструкции заготовки [4];
- повышение качества и эффективности производства зубчатых колес за счет рационализации известных методов механической обработки зубчатых колес [5];
- совершенствование конструкции инструмента используемого при зубообработке [6].

Работы в данных направлениях рассматривают получение изделий заданного качества при стремлении снизить общую себестоимость механической обработки. Но данный подход не учитывает функциональную направленность при проектировании технологии, а основная задача, которая стоит перед проектировщиком – получение изделия заданного функционального назначения, и не учитываются возможности управления свойствами отдельных элементов и зон внутри одной детали.

Функционально-ориентированные технологии [1, 2, 3] представляют собой новый класс технологий, которые позволяют полностью адаптировать изделие при изготовлении, к особенностям его эксплуатации в машине или технологической системе.

Цель данной работы - повышение эффективности производства и качества зубчатых колес на основе использования функционально-ориентированного подхода.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: выполнить анализ параметров зубчатых колес для выявления структуры функций действующих в них; предложить схемы технологического воздействия для составления структуры операций; сформировать варианты реализации функционально-ориентированных технологий при изготовлении зубчатых колес.

2. Основное содержание и результаты работы

Конструкция зубчатого колеса представляет собой совокупность групп элементов, для каждой из которых свойственны определенные особенности работы и действие эксплуатационных функций в процессе работы зубчатой передачи.

Зубчатые колеса в зависимости от назначения механизма изделия, в который они входят и преобладания в нем эксплуатационных функций, разделяются на силовые и кинематические. Силовые зубчатые колеса предназначены в первую очередь для пере-

дачи крутящего момента от ведущего звена к ведомому. Кинематические зубчатые колеса предназначены в первую очередь для изменения кинематических характеристик ведущего звена (угловой скорости, направления движения, вида движения). Для каждого класса зубчатых колес характерны особые требования, предъявляемые при проектировании и изготовлении.

В реальных механизмах указанные функции зубчатых колес комбинируются, а вид зубчатых колес определяется доминированием функций, характерных для каждого класса зубчатых колес, в процессе работы зубчатой передачи.

В конструкции зубчатого колеса, по назначению можно выделить следующие элементы: исполнительные, базирующие, несущие, вспомогательные и дополнительные элементы [7]. Исполнительные элементы в свою очередь разделяются на рабочие и базирующие. Рабочие исполнительные элементы служат для выполнения функций согласно служебного назначению данной детали, в частности, передача крутящего момента, преобразование скорости вращения (зубчатые венцы, торцы зубьев). Базирующие элементы – служат для ориентации и установки зубчатых колес в машине, определения положения зубчатых колес в машине относительно сопряженных с ними, а также в некоторых случаях служащие опорой для зубчатых колес (шейки валов, отверстия, шпоночные пазы, шлицы, торцы). Связующие элементы – служат для соединения всех элементов зубчатых колес и выполняют роль несущего элемента зубчатого колеса (диск, обод, ступица, шейки вала). Вспомогательные элементы – служат для исключения нежелательных перемещений и заеданий в процессе работы зубчатой передачи (скосы на торцах зубьев в зубчатых блоках, скругления, выступы, буртики и т.п.). Дополнительные элементы – служат для упрощения процесса обработки, установки и базирования на некоторых операциях механической обработки, сборки и монтажа. Даные элементы не принимают непосредственного участия в работе зубчатого колеса. На рис. 1 представлено деление наиболее характерных представителей зубчатых колес (вала-шестерни и дискового зубчатого колеса) на указанные элементы.

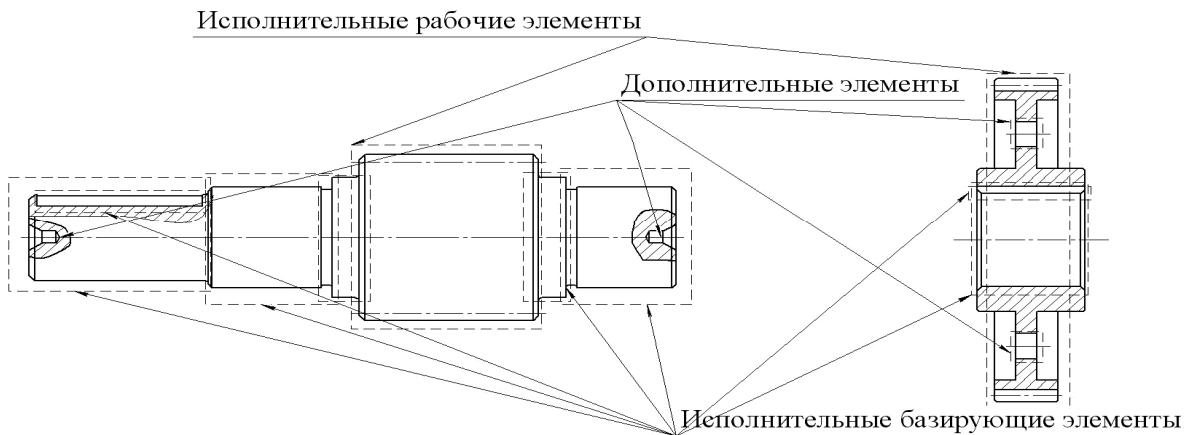


Рис. 1. Деление представителей зубчатых колес на элементы по функциональному назначению

В зубчатых колесах наиболее значимые эксплуатационные функции, выполняют исполнительные рабочие элементы – эвольвентные поверхности зубьев, поскольку данные элементы непосредственно выполняют служебное назначение детали. Данные элементы, во время контакта пар сопряженных зубьев, могут вызывать удары, неравномерное трение и давление различной интенсивности, а также испытывают различные изгибные и контактные напряжения в различных местах одного зуба.

Также значительные эксплуатационные функции, выполняют базирующие элементы, поскольку они служат опорами и воспринимают реакции, а также нагрузки от сопряженных с ними деталей. К данным элементам предъявляются высокие требования точности и качества поверхности, поскольку от них зависит точность положения детали в машине.

Дополнительные элементы зубчатых колес выполняют эксплуатационные функции только во время технологических операций, и не требуются в процессе эксплуатации изделия в машине. Поэтому требуемые эксплуатационные функции должны быть обеспечены на начальных стадиях технологического процесса, и в дальнейшем могут потребоваться в процессе технического обслуживания и ремонта машины. В тоже время, от точности некоторых дополнительных элементов зависит точность выполнения технологических операций. Поэтому должно предусматриваться сохранение точности дополнительных элементов по мере выполнения технологических преобразований а также, при необходимости, возможность промежуточной обработки при нарушении или снижении точности дополнительных элементов.

Любой функциональный элемент зубчатого колеса может быть представлен совокупностью функциональных зон, на каждую из которых предусматривается реализация определенного вида и количества технологического воздействия в зависимости от характера действия в нем эксплуатационных функций. Каждая функциональная зона может формироваться на основе исходных функциональных элементов: поверхностной точки, объемной точки, поверхностной линии, объемной линии, поверхности, поверхностного слоя и объемной зоны.

Для выполнения процесса технологического преобразования, множество кортежей технологических воздействий, должно быть упорядочено. Для этого технологические воздействия могут быть представлены на основе схем технологического воздействия для каждого вида исходного функционального элемента. Схемы для каждого вида функционального элемента могут быть многовариантны. Это вызвано возможностью различных вариантов их реализации в пространстве и во времени.

Рассмотрим реализацию технологического воздействия для различных видов исходных функциональных элементов.

В случае поверхностной точки все потоки материального, энергетического и информационного характера, направлены только в одном направлении на элементарную площадь размером dl_s, xdl_t и могут быть реализованы для каждой точки с постоянными или переменными значениями технологического воздействия. Для обеспечения требуемых свойств функциональных элементов, технологические воздействия должны формироваться согласно 8-ми принципов ориентации технологических воздействий и свойств [3].

В случае объемной точки, потоки материального, энергетического и информационного характера, могут действовать в трех направлениях (s, t, v), воздействуя на все части функционального элемента, то есть 6 граней с элементарными площадями dl_s, dl_b, dl_v . Возможны постоянные и переменные технологические воздействия. При этом технологические воздействия должны формироваться на базе 8-ми принципов ориентации технологических воздействий и свойств.

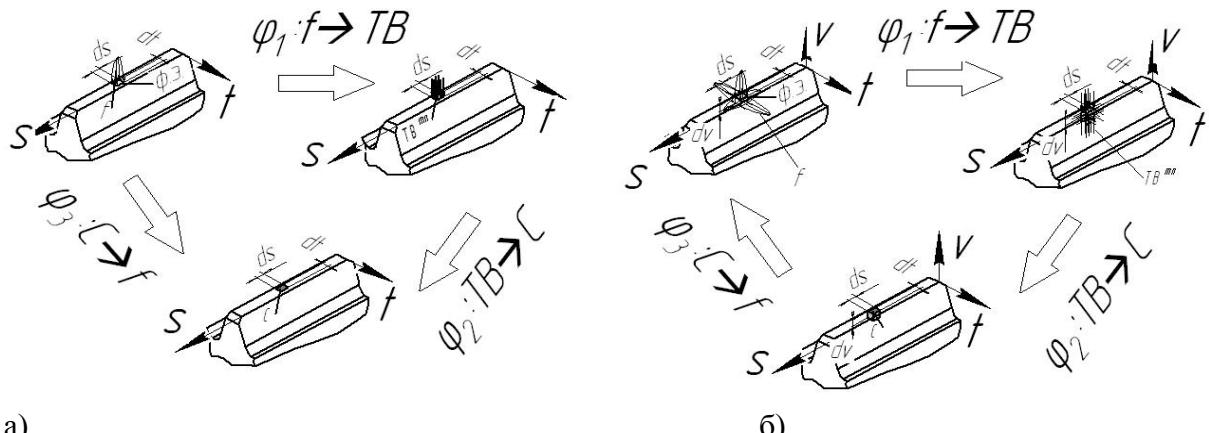


Рис. 2. Модель схемы реализации технологических воздействий и свойств а) для поверхностной точки; б) для объемной точки

Схемы технологических воздействий для поверхностной и объемной точки представлены в работе [3].

В случае поверхностной линии, возможны непрерывные, прерывистые и единовременные технологические воздействия.

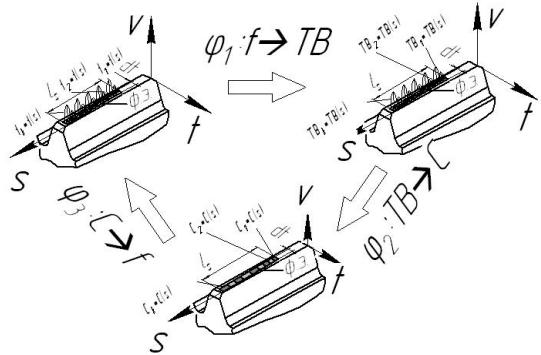
На схеме для прерывистых свойств и технологических воздействий, необходимо реализовать множество технологических воздействий $TB_1 = TB(s)$, $TB_2 = TB(s), \dots, TB_k = TB(s)$. В данном случае на функциональный элемент с прерывистыми свойствами, требуется реализовать прерывистые технологические воздействия. При этом на каждый элемент прерывистой линии возможно постоянное и переменное технологическое воздействие.

В случае с непрерывной поверхностью линии с постоянной или переменной эксплуатационной функцией f , на функциональный элемент необходимо реализовывать постоянные или переменные технологические воздействия, обеспечивающие постоянные или переменные свойства функционального элемента. Таким образом, на непрерывную поверхность линию с непрерывными свойствами, требуется осуществлять непрерывные технологические воздействия при $s=\infty$. Данный процесс возможен при перемещении зоны технологического воздействия в направлении $a_1=F(t)$. Реализация элементов кортежа $(m_{s,t}, e_{s,t}, i_{s,t})$ осуществляется непрерывно при возможности их непрерывного изменения.

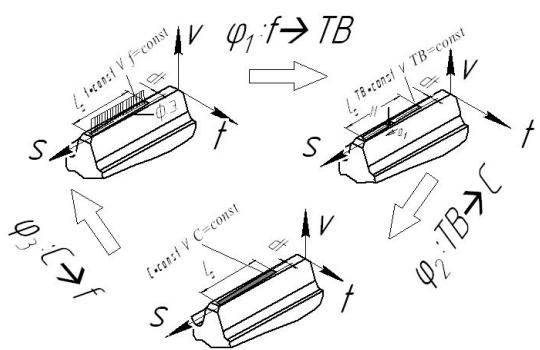
В случае с единовременной поверхностной линией с постоянными или переменными эксплуатационными функциями, на функциональный элемент необходимо реализовывать постоянные или переменные технологические воздействия для обеспечения постоянных или переменных свойств. На функциональный элемент (поверхностную линию), технологические воздействия реализуются единовременно при $s=\infty$. Реализация элементов кортежа $(m_{s,t,v}, e_{s,t,v}, i_{s,t,v})$ осуществляется единовременно по всей длине линии. Данный процесс возможен при единовременном копировании инструмента на всю длину линии.

Для объемной линии действие потоков материального, энергетического и информационного характера аналогично как для поверхностной линии, но возможно действие технологических воздействий в трех направлениях для всех частей объемной линии. При этом возможны различные варианты действия эксплуатационных свойств для каждой части объемной линии.

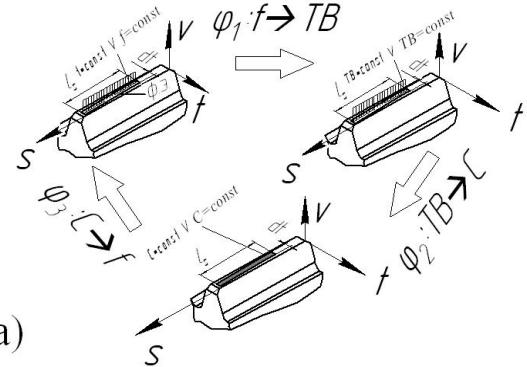
ПЛ с прерывистыми свойствами и ТВ



ПЛ с непрерывными свойствами и ТВ

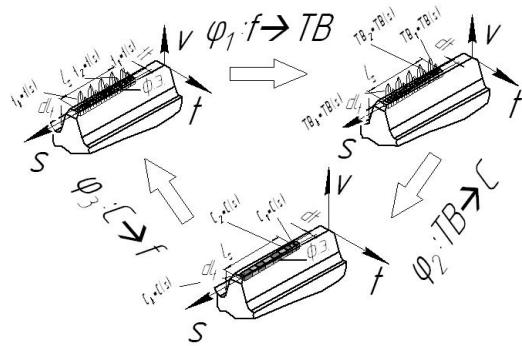


ПЛ с единовременными свойствами и ТВ

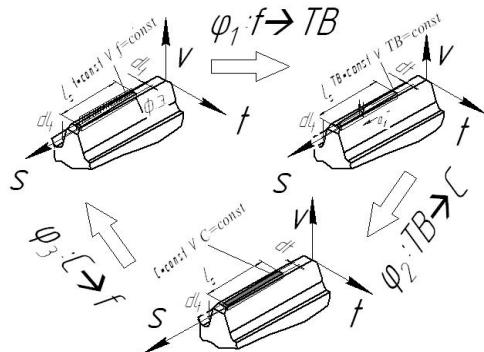


а)

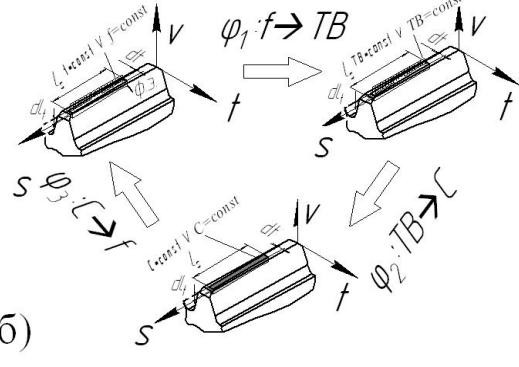
ОЛ с прерывистыми свойствами и ТВ



ОЛ с непрерывными свойствами и ТВ



ОЛ с единовременными свойствами и ТВ



б)

Рис. 3. Модель схемы реализации технологических воздействий и свойств: а) для поверхностной линии; б) для объемной линии

Схемы технологического воздействия для поверхностных и объемных линий представлены в работе [3], и соответствуют таковым для элементов зубчатых колес.

В случае поверхности, возможны различные варианты технологических воздействий в зависимости от действия эксплуатационных функций.

В случае с прерывистыми в двух направлениях свойствах поверхности, технологические воздействия выполняются прерывистыми в направлениях s и t . Свойства изделия становятся прерывистыми как в направлении образующей, так и в направлении направляющей. Количество технологических воздействий будет равно k и p в каждом направлении. Для прерывистой поверхности возможны одновременные многократные точечные воздействия с постоянными или переменными потоками материального, энергетического и информационного характера.

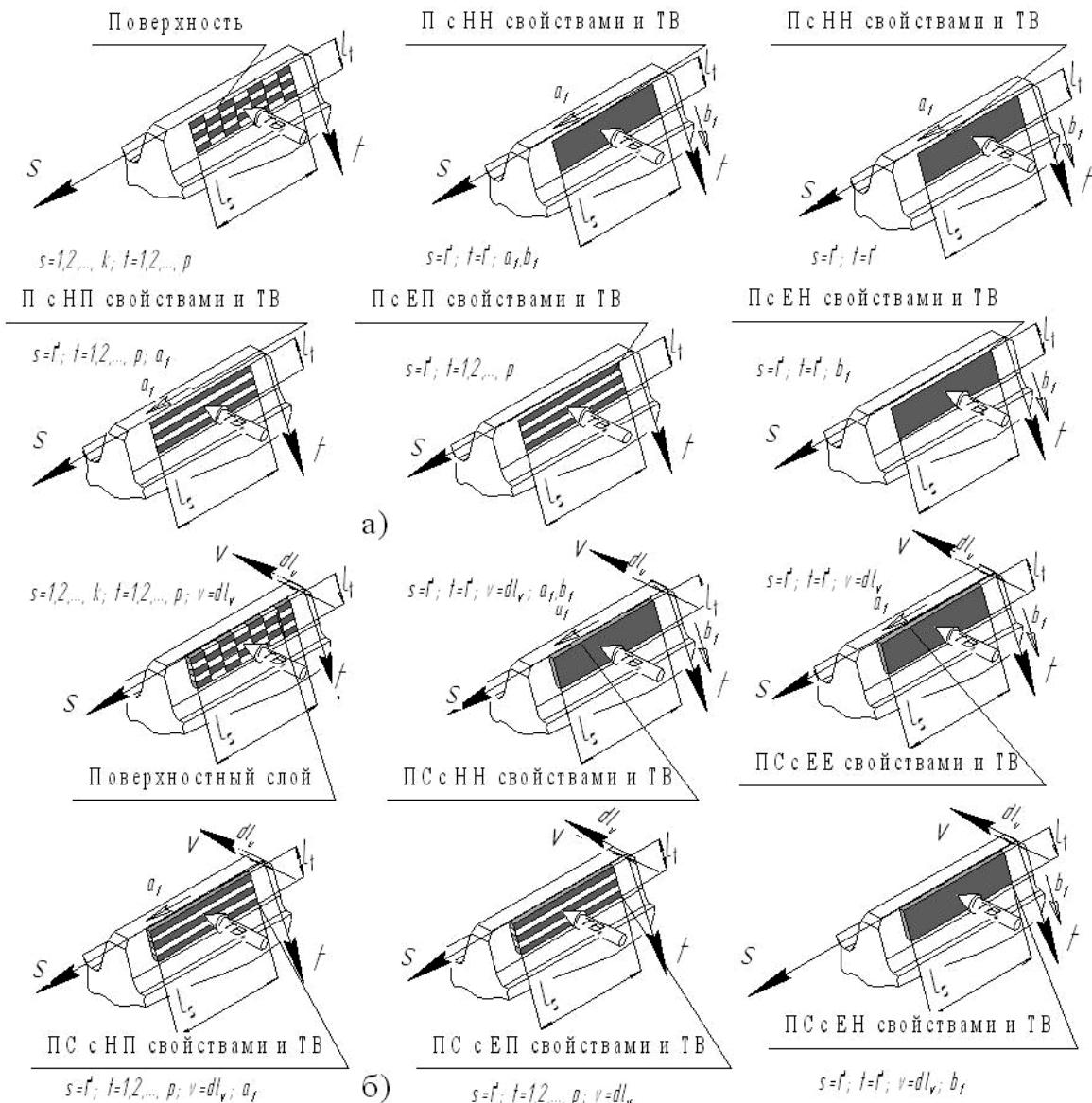


Рис. 4. Модель схемы реализации технологических воздействий и свойств: а) для поверхности; б) для поверхностного слоя

Схемы технологического воздействия для поверхностей и поверхностных слоев представлены в работе [3].

Для обеспечения непрерывных в двух направлениях свойствах поверхности, реализуются непрерывные технологические воздействия в направлении s и непрерывные технологические воздействия в направлении t . Для реализации данных поверхностей необходимы два непрерывных движения a_1 и b_1 , которые выполняются одновременно в направлениях образующей и направляющей. Схема может быть реализована методами следа, обката и др., а также их комбинациями.

Для обеспечения единовременных в двух направлениях свойствах поверхности, технологические воздействия реализуются единовременно в направлении s и единовременно в направлении t . Поверхность образуется копированием по всей длине направляющей и образующей.

Для обеспечения непрерывно-прерывистых свойств поверхности, технологические воздействия реализуются непрерывно в направлении s и прерывисто в направле-

нии t . Для образования данной поверхности следует непрерывно перемещать зону технологического воздействия в направлении a_1 , по образующей с параметрами $s=\infty$, и прерывисто – по направляющей, с шагом перемещения $t=1,2,\dots,p$.

Для обеспечения единовременно-прерывистых свойств поверхности, технологические воздействия осуществляются единовременно в направлении s и прерывисто в направлении t . При этом необходимо обеспечить значения параметров $s=\infty$ и $t=1,2,\dots,p$. Поверхность образуется попеременным копированием по всей длине (широким инструментом) в направлении s , по поверхности с определенным шагом в направлении t .

Для обеспечения единовременно-непрерывных свойств поверхности, технологические воздействия осуществляются единовременно в направлении s и непрерывно – в направлении t . Поверхность может быть образована копированием по всей длине (широким инструментом) и непрерывным перемещением по поверхности в направлении b_1 .

Для поверхностного слоя, действие потоков материального, энергетического и информационного характера аналогично как для поверхности, но возможно действие технологических воздействий в трех направлениях, соответствующих толщине поверхностного слоя, а также допускаются технологические воздействия не на полную глубину поверхностного слоя. При этом возможны различные варианты действия эксплуатационных свойств для каждой части поверхностного слоя.

Объемные зоны, как функциональные элементы, образуются на основе поверхностей, связанных друг с другом. Вариант технологического воздействия определяются для каждого направления (s, t, v). При этом возможны прерывистые, непрерывные и единовременные свойства и технологические воздействия, и их варианты.

Схемы технологического воздействия для объемных зон представлены в работе [3], и соответствуют таковым для объемных зон зубчатых колес.

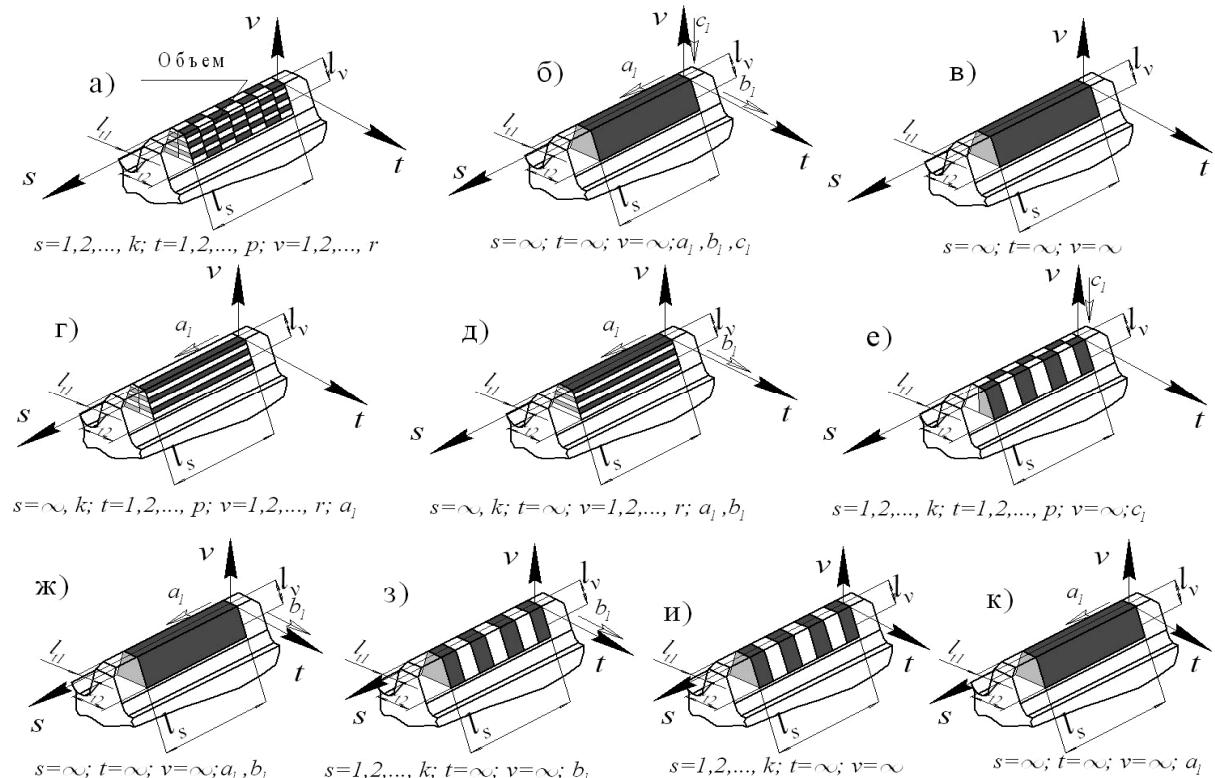


Рис. 5. Модель схемы реализации технологических воздействий и свойств для объемных зон

На рис. 5 представлены схемы реализации технологических воздействий для объемных зон, где: а) – с прерывистыми в трех направлениях свойствами и ТВ; б) – с

непрерывными в трех направлениях свойствами и ТВ; в) – с единовременными в трех направлениях свойствами и ТВ; г) – с непрерывными в одном и прерывистыми в двух направлениях свойствами и ТВ; д) – с непрерывными в двух и прерывистыми в одном направлении свойствами и ТВ; е) – с прерывистыми в двух и единовременными в одном свойствами и ТВ; ж) с непрерывными в двух и единовременными в одном направлении свойствами и ТВ; з) с прерывисто-непрерывно-единовременными свойствами и ТВ; и) с прерывистыми в одном и единовременными в двух направлениях свойствами и ТВ; к) с непрерывными в одном и единовременными в двух направлениях свойствами и ТВ.

В зубчатых колесах использование функционально-ориентированного подхода обосновано для элементов, испытывающих неравномерные эксплуатационные функции в процессе эксплуатации. В частности к зубчатым поверхностям с эвольвентным профилем, в которых начало и конец зацепления сопровождается неизбежным разносторонним взаимным скольжением профилей сопряженных зубьев, отсутствующим в полюсе зацепления, и изменяющимся при перекатывании профилей от головки к ножке зуба. Изучая механизм зацепления пары зубьев зубчатого колеса, можно построить график зависимости взаимного скольжения профиля от точки контакта каждого зуба зубчатого колеса (рис. 6).

Наибольшая величина взаимного скольжения эвольвентного профиля оказывается у основания ножки зуба, в момент окончания зацепления пары зубьев, а также на вершине зуба в момент начала зацепления. При обеспечении изменяющихся свойств эвольвентного зубчатого профиля, в частности путем нанесения износостойкого покрытия различной толщины в соответствии с изменением скорости взаимного скольжения эвольвентного профиля, можно обеспечить равные эксплуатационные свойства в течении времени эксплуатации зубчатых колес (рис. 7).

В случае нереверсивных зубчатых колес, а также когда большая часть времени работы зубчатой передачи осуществляется в одном направлении, активным является только один эвольвентный профиль каждого зуба, поэтому нанесение износостойкого покрытия целесообразно только для активного профиля зуба.

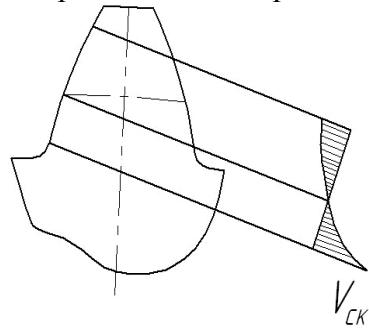


Рис. 6. График взаимного скольжения зубчатого профиля в момент зацепления

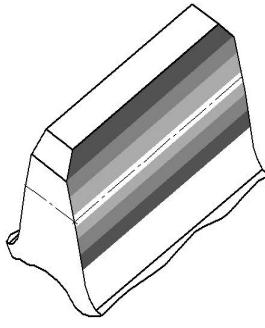


Рис. 7. Распределение толщины покрытия зубьев по эвольвентному профилю

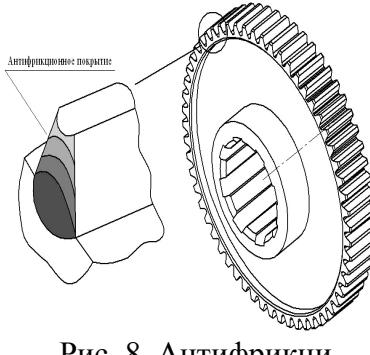
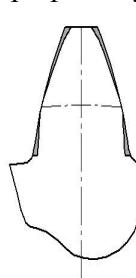


Рис. 8. Антифрикционные покрытия торцов зубьев

В коробках скоростей при переключениях передач возможно контактирование торцов зубьев переключаемых колес. Данная проблема частично решается конструктивным методом, путем выполнения скруглений на торцах зубьев. Однако данные элементы полностью не исключают возможность заедания и повышенный износ торцов зубьев. Данную проблему можно уменьшить за счет применения дополнительных технологических воздействий на торцы зубьев. В качестве технологических воздействий могут выступать антифрикционные покрытия на торцы переключаемых зубьев (рис. 8).

В процессе работы зубчатой передачи, при окончании и начале зацепления пары зубьев, возможен кромочный контакт, возникающий при соприкосновении кромки вершины зуба с эвольвентной поверхностью контактирующего зуба. Это может привести к нарушению качества эвольвентной поверхности, вызванное повышенными давлениями в местах контакта. При изменении формы кромки зуба, например, при выполнении ее скошенной по отношению к вершине, возможно исключить или значительно уменьшить влияние кромочного контакта на работу зубчатой передачи.

3. Заключение

Таким образом, в работе предложены технологические основы реализации технологического процесса производства зубчатых колес на базе функционально-ориентированного подхода. Для исходных функциональных элементов представлены модели схем технологического воздействия, при этом рассмотрены различные варианты действия эксплуатационных функций в элементах зубчатых колес. Данные модели схем позволяют разрабатывать конкретные варианты технологических воздействий на элементы зубчатых колес в зависимости от их функционального назначения, что позволяет существенно повысить эксплуатационные характеристики зубчатых колес. Сформированы варианты реализации функционально-ориентированных операций к элементам зубчатых колес, в частности: к эвольвентному профилю зубьев в зависимости от скорости взаимного скольжения контактируемых профилей; к кромкам вершин зубьев для уменьшения износа, вызванного кромочным контактом; к торцам зубьев переключаемых зубчатых колес, для исключения заедания и снижения износа при переключениях скоростей.

В целом, использование функционально-ориентированного подхода, является перспективным направлением совершенствования технологии изготовления зубчатых колес, поскольку позволяет решать задачи как повышения эффективности изготовления, так и повышения эксплуатационных показателей зубчатых колес.

Список литературы: 1. Михайлов А.Н. Функционально-ориентированные технологии. Особенности синтеза новых и нетрадиционных свойств изделий. // Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XV международной научно-технической конференции в г. Севастополе 15-20 сентября 2008 г. В 4-х томах. – Донецк: ДонНТУ, 2008. Т. 4. С. 290-314. 2. Лахин А.М., Михайлов А.Н. Особенности проектирования технологических процессов изготовления зубчатых колес на основе функционально-ориентированного подхода. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2008. Вып. 34. С. 96-54. 3. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2008. -346 с. 4. Калашников А.С., Калашников С.Н. Технологические процессы изготовления зубчатых колес с предварительно формованными зубьями // Вестник машиностроения, 1990. - № 11. - С.54 – 59. 5. Худобин Л.В., Кравченко Д.В., Юдаков Д.В. К вопросу повышения эффективности операций электроэррозионного вырезания зубьев зубчатых колес на станках с ЧПУ при линейной интерполяции // Вестник машиностроения, 2001. - № 8. - С.74 – 79. 6. Витренко В.А., Воронцов Б.С., Лейба А.В., Чаплинский Д.А. Гиперболоидный инструмент для нарезания зубьев. // Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XV международной научно-технической конференции в г. Севастополе 15-20 сентября 2008 г. В 4-х томах. – Донецк: ДонНТУ, 2008. Т. 1. С. 184-188. 7. Базров Б.М. Модульная технология в машиностроении. М.:Машиностроение, 2001. 368 с.

Сдано в редакцию 22.01.2009