

СИНТЕЗ СХЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Лахин А.М., Михайлов А.Н., Зантур Сахби, Тарафа Аль-Судани
(ДонНТУ, г.Донецк, Украина)

In work are considered variants of realization manufacturing influence's schemes based on the function-oriented approach to executive elements of gear wheels. Use of the given schemes allows to solve complex problems of increasing gear wheel's efficiency manufacturing and quality and also to create a new set of properties and utility measure.

Зубчатые колеса, являющиеся элементами силовых передач машин и механизмов, в зависимости от служебного назначения, могут работать в различных эксплуатационных условиях. Между тем, проектирование конкретных зубчатых передач под различные эксплуатационные нужды, как правило, не учитывает всех реальных условий эксплуатации. В конструкторских расчетах зачастую используются укрупненные данные, но при этом не учитываются условия эксплуатации некоторых элементов зубчатых колес, которые принимают непосредственное участие в процессе работы передачи. Это связано как с недостатком точной информации о работе проектируемой зубчатой передачи, так и со стремлением максимально снизить затраты на производство и проектирование конкретной зубчатой передачи, что в свою очередь не позволяет адаптировать зубчатые передачи к конкретным условиям их эксплуатации.

Применяемые в настоящее время технологии производства и повышения качества зубчатых колес позволяют достичь минимально требуемые эксплуатационные функций, однако не учитывают возможности управления свойствами некоторых элементов, которые принимают непосредственное участие в процессе эксплуатации зубчатых колес.

Развитие технологий повышения качества зубчатых колес, в основном идут в двух направлениях:

- снижение объема механической обработки за счет совершенствования конструкции и повышения точности заготовок зубчатых колес [4];
- повышение качества и эффективности производства зубчатых колес за счет рационализации известных методов механической обработки зубчатых колес [5].

При этом не учитывается функциональная направленность конкретных методов технологического воздействия, которые реализуются в большинстве случаев для зубчатых колес, как для изделия в целом.

Функционально-ориентированные технологии представляют собой особый класс технологий, который позволяют максимально адаптировать изделия к условиям их эксплуатации в машине или технологической системе[2].

Цель данной работы: повышение качества зубчатых колес на основе использования схем технологического воздействия функционально-ориентированных технологий.

В соответствии с поставленной целью, необходимо решить следующие **задачи**: выполнить анализ основных элементов зубчатых колес в соответствии с условиями их эксплуатации; разработать структуру эксплуатационных функций и граф функциональных элементов зубчатых колес; предложить схемы технологического воздействия и варианты реализации технологических операций повышения качества зубчатых колес на базе функционально-ориентированного подхода.

Согласно особенностям функционально-ориентированного подхода [1], деление любого изделия на функциональные элементы должно осуществляться по уровням глубины технологии: изделие, части, составляющие частей, зоны, макрозоны, микрозоны и нанозоны. Вид элемента по функциональному назначению, определяется на основе классификации. На уровне изделия, зубчатые колеса, как изделия, могут быть кинема-

тические, и силовые. При делении зубчатых колес на части, выделяются исполнительные, связующие, дополнительные и вспомогательные элементы [3]. Исполнительные части в свою очередь, разделяются на рабочие и базирующие. Составляющие частей выделяются по различию служебного назначения в реальных условиях эксплуатации. Зоны, входят в состав составляющих частей, и представляют собой исходные элементы: элементарные поверхности, элементарные объемы, поверхностные линии, объемные линии, поверхности, поверхностные слои и объемные зоны.

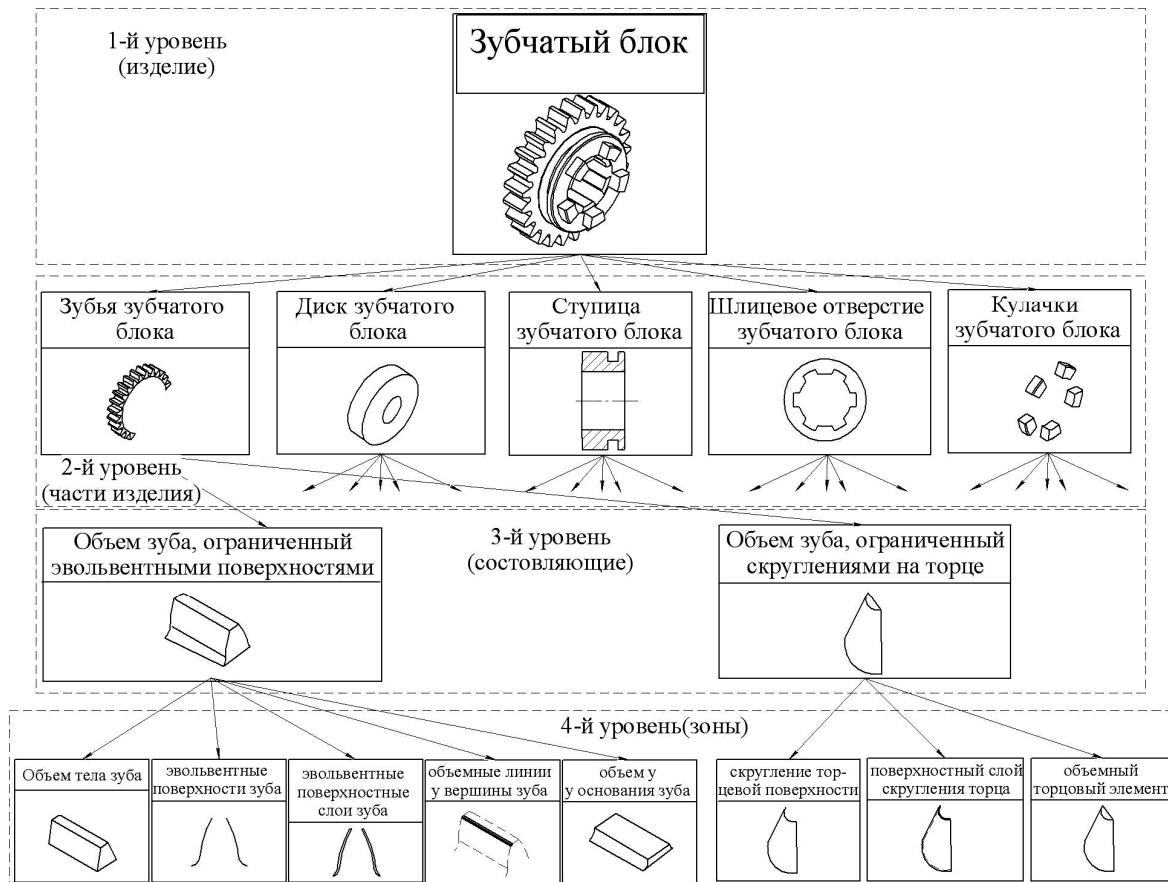


Рис. 1. Граф функциональных элементов зубчатого блока

При делении всех зубчатых колес на силовые и кинематические [3], их назначение определяется механизмом или узлом, в который они входят. Силовые зубчатые колеса имеют основное назначение передача и преобразование крутящего момента. Основные требования к данным зубчатым колесам – высокая изгибная и контактная прочность, а требования точности к данным передачам – по нормам контакта и нормам бокового зазора. Кинематические зубчатые колеса имеют основное назначение – точная передача и преобразование кинематических характеристик (угловой скорости, угловых перемещений, линейных перемещений и т.п.). Основные требования к данным передачам – высокая точность и качество исполнительных поверхностей, к данным колесам предъявляются высокие требования по нормам кинематической точности.

Деление всех зубчатых колес на функциональные элементы представлено на примере зубчатого блока, в виде графа функциональных элементов. При делении зубчатого блока (1-й уровень) на части, выделяются исполнительные элементы, к которым относятся зубчатый блок, шлицевое отверстие и торцевые кулачки. К связующим элементам относятся диск зубчатого блока и ступица. Вспомогательные и исполнительные элементы являются составляющими перечисленных элементов.

Далее, для зубчатого венца, представлено деление на составляющие(3-й уровень). Зубчатый венец представляет собой совокупность зубьев, каждый из которых состоит из двух составляющих – объема зуба, ограниченный эвольвентными поверхностями, который является рабочим элементом изделия; и объем, ограниченный скруглением на торце, который в данном случае является вспомогательным элементом.

На четвертом уровне деления, представлено деление составляющих на зоны, образованные на основе исходных элементов. Объем зуба, ограниченный эвольвентными поверхностями, разделяется на объемную зону тела зуба, эвольвентные поверхности зуба, эвольвентные поверхностные слои, объемные линии у вершины зуба, и объем у основания зуба. Каждая зона определена на основе действия в ней элементарных функций в процессе эксплуатации. Так, эвольвентные поверхностные слои воспринимают контактные напряжения от действия сопряженных зубьев; объемная линия у вершины зуба воспринимает напряжения, вызванные кромочным контактом в зацеплении; объемные зоны у основания зуба воспринимает действие напряжений изгиба, возникающих от действия сил в зацеплении; эвольвентные поверхности испытывают трение от сопряженных зубьев, при взаимном скольжении профилей; объем тела зуба служит связующим элементом всех остальных зон.

Зонами объема зуба, ограниченного скруглением на торце, являются поверхности и поверхностные слои ограниченные поверхностью округления торца зуба, и объемный торцовый элемент. Назначения данных зон аналогичны для случая объема зуба.

На рис. 2. представлен график эксплуатационных функций зубчатого блока по уровням деления. Общая эксплуатационная функция зубчатого блока на втором уровне делится на следующие составляющие:

- передача требуемого крутящего момента (f_1);
- обеспечение переключения скоростей за счет вхождения в зацепление с соседними зубчатыми колесами (f_2);
- передача крутящего момента соосному зубчатому блоку за счет вхождения в зацепление торцовых кулачков (f_3);
- осевое перемещение по шлицевому валу для обеспечения возможности переключения скоростей и передачи крутящего момента (f_3).

В данном случае рассмотрены только функции зубчатого блока, связанные с передачей крутящего момента и изменения частоты вращения, непосредственно, от исполнительных элементов к сопряженным с ним деталям.

На третьем уровне представлены эксплуатационные функции передачи крутящего момента: передача крутящего момента по заданному закону; обеспечение изменения частоты вращения от сопряженных зубчатых колес; изменение направления вращения от сопряженных зубчатых колес.

На четвертом уровне рассмотрены конкретные функции зубчатых колес, связанные с выполнением их служебного назначения, и действия эксплуатационных функций на составляющие частей зубчатого блока.

После этого производится назначение схем технологического воздействия на базе особых принципов ориентации технологических воздействий и свойств, в зависимости от особенностей эксплуатации изделия [2].

На рис. 3. представлены некоторые возможные варианты технологических воздействий на функциональную зону зуба зубчатого колеса – объемную линию вершины зуба. При этом технологические воздействия должны назначаться в зависимости от эксплуатационных функций, для обеспечения требуемых свойств элементов зубчатых колес. Здесь рассмотрены постоянные во времени и пространстве технологические воздействия, меняющиеся по определенному закону и постоянны прерывистые технологические воздействия.

Данные схемы технологического воздействия применимы при различных вариантах кромочного контакта, который определяется конкретным видом зубчатого зацепления. Например, при круговом или наклонном зубе, технологическое воздействие будет определяться функциональной зависимостью, характеризующую степень вхождения пары зубьев в зацепление. Свойства объемной линии вершины зуба, должны быть

такими, чтобы предотвратить износ рабочих поверхностей зубьев вследствие кромочного контакта, что можно достичь за счет уменьшения твердости кромки вершины зуба. Это позволит при приработке зубьев пары, за счет небольшой пластической деформации, исключить кромочный контакт в зацеплении.



Рис. 2. Граф эксплуатационных функций зубчатого блока

Для объемной зоны у основания зуба, технологическое воздействие определяется действием напряжений изгиба, которые имеют максимальное значение у основания, и уменьшаются по высоте. Технологическое воздействие, реализующее такое изменение эксплуатационных свойств (рис. 4) можно осуществить закалкой на различную глубину, от вершины к основанию зуба. На рисунке выделением показана термически упрочненная объемная зона зуба, для участка испытывающего изгиб в сечении ножки зуба. При этом видно, что противоположные профили зуба испытывают разнонаправленные напряжения, с одной стороны напряжение растяжения, с другой – сжатие. Поэтому технологические воздействия должны учитывать разнонаправленность напряжений и реализовывать необходимые свойства.

Действие контактных напряжений в поверхностных слоях зубчатых колес [6], характеризуется образованием усталостных трещин в процессе работы зубчатой передачи, что приводит к выкрашиванию мелких частиц материала, образованию небольших углублений и раковин на поверхностях зубьев. Наибольшие значения контактных напряжений бывают у ножки зуба, вблизи полюсной линии. Для предотвращения износа, вызванного действием контактных напряжений, целесообразно насыщение поверхностного слоя зубьев сверхпрочным материалом, тем самым образуя сверхпрочный слой.

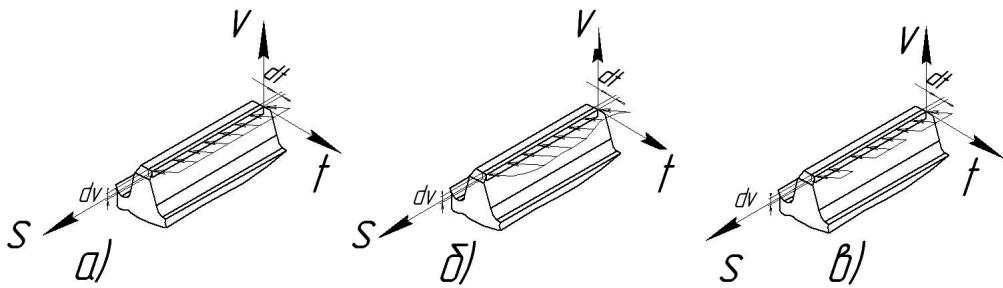


Рис. 3. Варианты технологического воздействия (ТВ) на кромку вершины зуба:
а) с постоянными ТВ; б) с изменяющимися по определенному закону ТВ; в) с прерывистыми ТВ

Также, зубчатое зацепление характеризуется абразивным износом рабочих поверхностей зубьев, вызванных взаимным скольжением профилей сопряженных зубьев, которые меняются от нуля, в полюсе зацепления, до максимальных значений у головки и ножки зуба (рис. 5). Особенно, данные эксплуатационные условия, характерны для открытых зубчатых передач, в условиях повышенной запыленности. Снижение данного вида износа можно достичь нанесением антифрикционных покрытий в местах наибольших скольжений зубчатых профилей совместно с повышением прочности рабочих поверхностей зубьев.

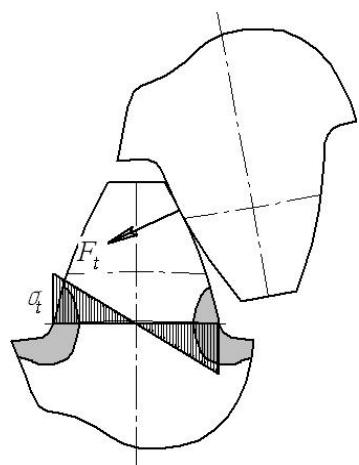


Рис. 4. Эпюра изгибающих напряжений ножки зуба

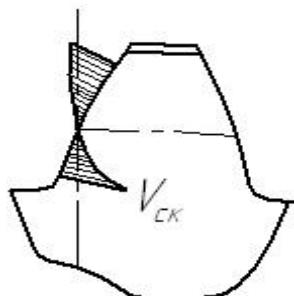


Рис. 5. Распределение взаимного скольжения по зубчатому профилю

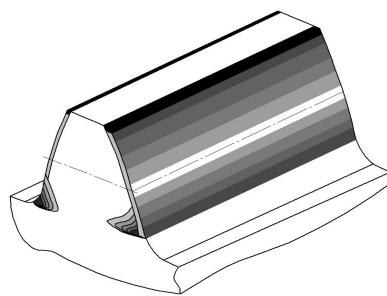


Рис. 6. Элементы зуба с различными свойствами после технологических воздействий

Для зубчатых колес используемых для передачи крутящего момента только в одном направлении вращения (нереверсивных), нет необходимости выполнять дополнительные технологические воздействия, требуемые для эксплуатации нерабочего профиля зуба, что позволяет дополнительно снизить себестоимость технологических операций, поскольку вдвое снижается количество технологических воздействий.

В целом, вид рабочих элементов зубчатых колес, имеющих многослойные покрытия различных функциональных свойств, в зависимости от особенностей эксплуатации, представлено на рис. 6. В данном случае, зубчатому колесу обеспечены изменяющие свойства по эвольвентной поверхности (в зависимости от скорости взаимного скольжения) и по объему ножки зуба (для компенсации напряжений изгиба); а также постоянные свойства линии вершины зуба (для снижения износа вследствие кромочного контакта в зацеплении) и поверхностного слоя зуба (для компенсации контактных напряжений).

Выводы.

Таким образом, в данной работе, выполнен анализ основных элементов зубчатых колес в соответствии с условиями их эксплуатации, предложены варианты реализации технологических воздействий на базе функционально-ориентированного подхода. На основе графов функциональных элементов и эксплуатационных функций зубчатых колес (на примере зубчатого блока), выполнена классификация элементов зубчатых колес по конструктивным и эксплуатационным признакам. Для рабочих элементов зубчатых колес – линии вершины зуба, рабочих поверхностей и поверхностных слоев зубьев, предложены варианты технологических воздействий в соответствии с особенностями эксплуатации, которые характеризуются возможностью кромочного контакта в зацеплении, действием изгибных и контактных напряжений и взаимным скольжением зубчатых профилей.

Использование функционально-ориентированных технологий, является прогрессивным направлением совершенствования технологии изготовления зубчатых колес, и позволяет решать комплексные задачи повышения эффективности изготовления, качества зубчатых колес а также создания принципиально новой совокупности свойств и меры полезности.

Список литературы: 1. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2008. - 346 с. 2. 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. 3. Лахин А.М., Михайлов А.Н. Разработка методики синтеза технологического процесса изготовления зубчатых колес на базе функционально-ориентированного подхода.//Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2009. Вып. 37. С. 112-120. 4. Калашников А.С., Калашников С.Н. Технологические процессы изготовления зубчатых колес с предварительно формованными зубьями // Вестник машиностроения, 1990. - № 11. - С. 54 – 59. 5. Маликов А.А., Золотухина О.Л. Технологические возможности электрохимического калибрования закаленных цилиндрических колес с принудительным обкатом заготовки и инструмента/Сборник трудов XIV международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века». - Донецк: ДонНТУ, 2007. Т.2. – С. 300-302. 6. Гузенков П.Г. Детали машин. М.: Высшая школа, 1986 г. – 359 с.

Надійшла до редколегії 29.05.2009

СИНТЕЗ СХЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Лахин А.М., Михайлов А.Н., Зантур Сахби, Тарафа Аль-Судани

У даній роботі досліджена можливість підвищення якості зубчастих коліс на основі використання схем технологічної дії функціонально-орієнтованих технологій.

функционально-ориентированные технологические процессы, зубчатые колеса, технологическое воздействие, функциональный элемент