

К ВОПРОСУ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС С ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫМИ СВОЙСТВАМИ

Лахин А.М., Васильев Е.В. (ДонНТУ, г. Донецк)
Тел./Факс: +38 (062) 3010805; E-mail: lelax@mail.ru

Abstract: *This paper discusses options for function-oriented properties of the gear teeth working elements based on finishing and strengthening treatment and the application of the special coating methods. There are classification of gears elements on a functional purpose and functions performed by each group of elements of the teeth.*

Keywords: *gear wheel, technology, quality.*

В настоящее время зубчатые передачи широко используются в современных машинах позволяя передавать и преобразовывать наибольшие крутящие моменты из всех видов силовых передач. Однако надежная и безотказная работа зубчатых передач достигается только в случае обеспечения всех параметров точности зубчатого венца, прочности материала и качества поверхностного слоя зубьев. Поэтому для повышения долговечности и снижения затрат на обслуживание зубчатых передач к зубчатым колесам предъявляются все более высокие требования, которые достигаются главным образом на этапах чистовой, отделочной и упрочняющей обработки. Кроме того высокая стоимость материала и термообработки, обеспечивающих заданные требования к физико-механическим свойствам и контактной прочности рабочих поверхностей зубьев, приводят к необходимости поиска новых способов упрочнения зубьев и повышения эксплуатационных свойств зубчатых колес.

Одной из особенностей работы зубчатой передачи является то, что в зоне зацепления на зубья действуют переменные эксплуатационные функции, в частности: взаимное скольжения профилей, которое происходит с переменной скоростью по высоте зуба, кромочный контакт, неравномерные изгибные и контактные напряжения вызванные погрешностями зубчатых колес в период их приработки и др. В результате на рабочих поверхностях зубьев наблюдается неравномерный износ, на относительно малых участках, приводящих к износу и преждевременному выходу из строя зубчатых колес.

Используемые в настоящее время методы механической и упрочняющей обработки рассчитаны на обеспечение постоянных свойства исполнительных поверхностей, не учитывая неравномерный характер действия эксплуатационных функций.

В число наиболее перспективных методов отделочной и упрочняющей обработки, позволяющих обеспечивать широкий диапазон свойств для множества видов изделий современного машиностроения, входят методы поверхностно-пластической деформации, и нанесения специальных покрытий. Однако технологические возможности данных методов имеют ограничения и не позволяют в полной мере решать вопросы обеспечения изменяющихся свойств относительно небольших участков изделий, к которым можно отнести отдельные зубья средне- и мелкомодульных зубчатых колес.

Таким образом, целью данной работы является расширение технологических возможностей методов отделочной обработки зубьев с учетом неравномерного характера действия эксплуатационных функций на участки рабочего профиля зуба.

Достижение поставленной цели возможно на базе функционально-ориентированного подхода [1,2], который заключается в соответствии особенностей эксплуатации, свойств элементов изделия и технологических воздействиях при разработке и реализации технологических процессов производства изделий. При этом

необходимо решить следующие задачи: выполнить анализ рабочих элементов зубчатых колес по функциональному назначению; разработать схемы технологического воздействия для зон рабочих элементов зубьев направленные на выполнении ими заданной структуры функций, предложить варианты обеспечения свойств для поверхностных слоев рабочих элементов зубчатых колес в зависимости от особенностей эксплуатации.

Зубчатые колеса представляют собой совокупность исполнительных, связующих, вспомогательных и дополнительных элементов [2]. Каждая группа элементов состоит частей и составляющих, для которых характерны особые функции в процессе эксплуатации. Данное деление для зубчатых колес и валов-шестерен более подробно рассмотрено в работе [3]. Наиболее ответственными элементами рассматриваемых изделий являются исполнительные рабочие - элементы зубчатого венца. Деление зубчатого венца переключаемого зубчатого колеса на составляющие, части и зоны представлено на рис. 1

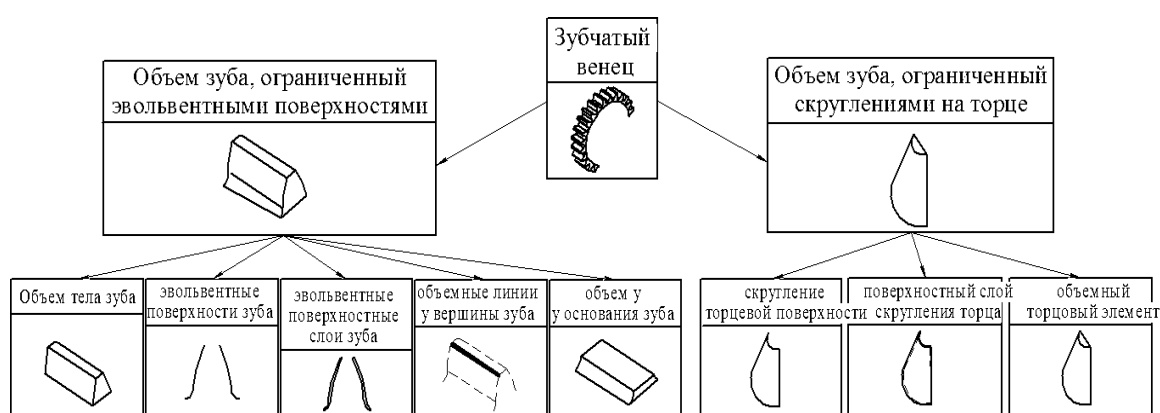


Рис. 1. Зоны исполнительных рабочих элементов зубчатых колес

При рассмотрении зубчатого венца можно выделить следующие группы элементов, выполняющие эксплуатационные функции: объемные зоны зубьев, поверхности, ограничивающие эвольвентный профиль зубьев, поверхностные слои, воспринимающие контактные напряжения и механический износ, кромки зубьев на пересечении рабочих поверхностей с поверхностью вершин, основание зубьев и торцы зубьев специальной формы, предотвращающие заедание при переключении скоростей.

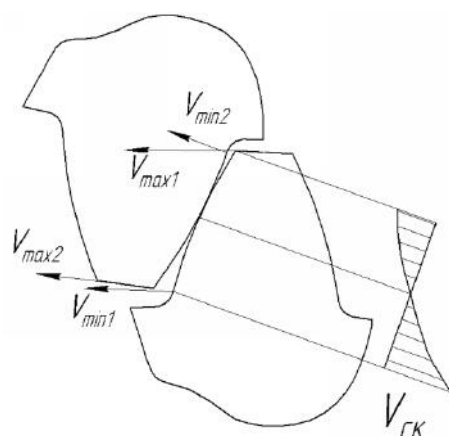


Рис. 2. Действие взаимного скольжения профилей в зубчатом зацеплении

В работе зубчатой передачи исполнительные рабочие элементы воспринимают рабочие нагрузки. Их действие как правило, постепенно снижает основные эксплуатационные характеристики следующим образом: в поверхностном слое возникает концентрация контактных напряжений приводящих к выкрашиванию и образованию трещин и раковин на рабочих поверхностях; по поверхностям возникает трение вследствие взаимного скольжения профилей в процессе зацепления, что приводит к неравномерному механическому износу и искажению рабочего профиля от исходной формы; в объемной зоне

основания зуба в начальный период зацепления происходит максимальная концентрация изгибных напряжений что приводит к усталостному износу; по вершинным кромкам зубьев возникает неравномерная концентрация напряжений в следствие кромочного контакта который приводит к износу и деформации как зон примыкающих к кромкам, так и поверхностей контактируемых с ними . Данные особенности характерны для цилиндрических прямозубых колес. При других конструктивных исполнениях, эти недостатки в той или иной степени нивелируются иной кинематикой зацепления, однако зачастую особое конструктивное исполнение накладывает ограничения, связанные с действием дополнительных рабочих нагрузок на узлы зубчатой передачи (в частности наличие осевой силы у косозубых колес), или являются достаточно дорогими в изготовлении (шевроновые колеса, колеса с зацеплением Новикова, и пр.).

Действие эксплуатационных функций в поверхностном слое зуба вызванное действием взаимного скольжения профилей, представлены на рис. 2. Условия эксплуатации предполагают изменение скорости взаимного скольжения профилей зубьев по высоте зуба от головки зуба к полюсу зацепления, и от полюса зацепления к ножке зуба. При этом максимальное скольжение и, как следствие максимальный износ при однородных свойствах материала зубчатого колеса, возникает на ножке зуба, а в полюсе зацепления он равен 0. Действие взаимного скольжения зубчатых профилей меняется в зависимости от соотношения чисел зубьев зубчатой передачи, коэффициента смещения исходного контура и угла наклона зубьев.

Главной задачей является обеспечение соответствия свойств участков поверхностного слоя зуба условиям эксплуатации. Это может быть достигнуто при обеспечении плавно изменяющихся свойств сопрягаемых поверхностей в соответствие со скоростью взаимного скольжения, в частности уменьшением коэффициента трения в зонах наибольшего скольжения профиля и увеличения стойкости к механическому износу в соответствии с графиком скорости взаимного скольжения профилей. При этом возможны следующие варианты технологических воздействий на рабочие поверхности зубьев (рис.3):

- термическая обработка на переменную глубину по высоте зуба за счет изменения скорости прогрева и охлаждения в отдельных участках профиля зуба;

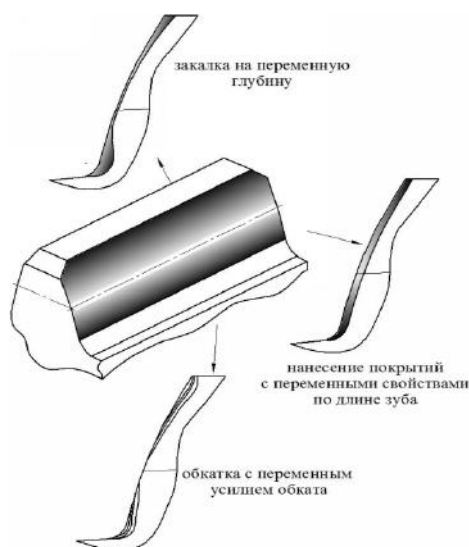


Рис. 3. Варианты обеспечения изменяющихся свойств по эвольвентной поверхности зуба

- обкатка рабочих поверхностей зубьев с различным усилием обката;

- нанесение пятнистых многослойных покрытий переменной толщины.

Первый вариант позволяет увеличить износостойкость и прочность участков зуба с наибольшим взаимным скольжением – на участках у головки и у ножки зуба. В полюсе зацепления упрочненный слой имеет наименьшую глубину – достаточную для компенсации контактных напряжений.

Во втором случае, рабочие поверхностные слои зуба подвергаются наклепу разной степени за счет воздействия обкатного инструмента действующего с переменным усилием обката. При этом усилие обката имеет максимальное значение в местах наибольшего взаимного скольжения обеспечивая им наибольшую прочность и износостойкость.

В третьем случае используется нанесение многослойных покрытий на зубчатые поверхности. Свойства слоя покрытия зависят от конкретных условий эксплуатации участка зуба, а его толщина определяется скоростью взаимного скольжения в местах контакта пар зубьев. В местах с наибольшим взаимным скольжением, свойства наносимых покрытий должны обеспечить высокую стойкость к износу и иметь низкий коэффициент трения, а у полюса зацепления имеет смысл наносить покрытия более стойкие к действию контактных напряжений. Нанесение покрытий может осуществляться различными способами, из которых одним из наиболее рациональных является нанесение ионно-плазменных покрытий, поскольку при относительно низкой себестоимости технологического, позволяет обеспечить требуемые свойства участков изделия при высокой степени управления процессом. Для нанесения покрытий заданной толщины и состава, к требуемым зонам зубчатого колеса возможно применение предохранительных масок, которые создавая теневые зоны, препятствуют нанесению покрытий участков, для которых не требуется свойств наносимых покрытием. Также необходимую толщину слоя наносимого покрытия можно обеспечивать при задании заготовкам требуемой ориентации и движения в процессе нанесения покрытий [3].

Для обеспечения свойств рабочих элементов зубчатых колес в зависимости от особенностей эксплуатации, могут также использоваться комбинации указанных технологических методов с традиционными методами отделочной и отделочно-упрочняющей обработки.

Выводы. Таким образом, в работе выполнена классификация и анализ элементов зубчатых колес по функциональному назначению. Рассмотрены условия работы рабочих элементов зубчатых колес и причины снижения их эксплуатационных функций. Это позволило определить структуру технологических воздействий для каждого элемента зубчатого венца в соответствии с особенностями эксплуатации. Исходя из условий работы участков поверхностного слоя зуба, разработаны схемы технологического воздействия, и варианты реализации различных по структуре свойств. Для обеспечения свойств поверхностных слоев зубчатых колес в соответствии со скоростью взаимного скольжения по высоте зуба, предложены варианты технологических воздействий, которые позволяют значительно уменьшить износ зубьев и обеспечить наименьшее искажение формы рабочего профиля зуба на протяжении всего периода эксплуатации зубчатой передачи.

Список литературы: 1. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2008. - 346 с. 2. Лахин А.М., Михайлов А.Н., Зантур Сахби, Тарафа Аль-Судани Синтез схем технологического воздействия для функционально-ориентированных технологических процессов производства зубчатых колес // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2009. Вып. 38. С. 127-132. 3. Лахин А.М., Михайлов А.Н., Фомин И.А. Повышение эксплуатационных свойств рабочих элементов зубчатых колес на базе функционально-ориентированного подхода //Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць.–Донецьк: ДонНТУ, 2010. Вип. 39. С. 108 – 115.