

**СИНТЕЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА  
ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА БАЗЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО  
ПОДХОДА**

**Лахин А.М., Михайлов А. Н., Кондаков Д.Р.** (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Тел.: +38 (062)301-08-05, E-mail: [tm@mech.dgtu.donetsk.ua](mailto:tm@mech.dgtu.donetsk.ua)

**Аннотация.** В работе рассмотрены основные положения производства зубчатых колес на базе функционально-ориентированных технологий. Представлена классификация зубчатых колес и их элементов по функциональному назначению. Представлены схемы технологического воздействия для рабочих поверхностных слоев зубчатых колес, а также способы реализации данных схем на основе нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий. Предложены устройства для обеспечения ориентации и движения заготовок в процессе нанесения покрытий

**Ключевые слова:** зубчатое колесо, вакуумные ионно-плазменные покрытия, классификация

**1. Введение.**

Производство зубчатых колес является одной из приоритетных задач современного машиностроения, поскольку данный вид передач получил наибольшее распространение в приводных механизмах ввиду их преимуществ по сравнению с остальными видами силовых передач. При этом требования к точности геометрии зубчатых колес, качеству работы в жестких условиях эксплуатации, непрерывно возрастают, требуя использования для повышения качества зубчатых колес на основе: как известных методов основанных на механической обработке лезвийным или абразивным инструментом, так и новых нетрадиционных методов с использованием физических и электро-химических процессов.

В настоящее время развитию технологии изготовления и повышения качества зубчатых колес посвящено множество работ [3,4] анализ которых показал, что развитие данного вопроса осуществляется в следующих основных направлениях:

- снижение объема механической обработки за счет формирования зубчатого венца на стадии получения заготовки;
- повышение производительности обработки зубчатых колес на основе применения методов комбинированной обработки зубчатого венца, много инструментальных наладок, одновременной обработки нескольких зубчатых венцов.
- повышение качества путем использования методов поверхностного упрочнения рабочих элементов зубчатых колес.

Данные направления ставят в основу получение изделия заданного качества, и основной задачей ставят снижение себестоимости изготовления зубчатых колес. При этом не принимается во внимание функциональное назначение отдельных элементов зубчатых колес, которые в различной степени принимают участие в процессе работы зубчатой передачи. Свойства, достигаемые тем или иным методом, как правило распространяются на прилегающие участки и зоны изделия, где они не требуются, или требуются в достаточно меньшей степени. Таким образом, в недостаточной степени решается задача управления свойствами отдельных элементов зубчатых колес.

Данная проблема в некоторой степени решается за счет использования нового класса технологий, которые связывают технологический процесс с особенностями эксплуатации изготавливаемых изделий. К ним относятся функционально-ориентированные технологии, представляющие собой класс технологий, которые

основаны на полной адаптации изделия к особенностям его эксплуатации в машине или технологической системе, в процессе изготовления данного изделия.

Цель работы – повышение качества и эффективности производства зубчатых колес на основе использования принципов функционально-ориентированных технологий.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: выполнить классификацию зубчатых колес и их элементов на основе структуры функций каждого элемента в процессе эксплуатации; предложить схемы технологических воздействий и варианты реализации разработанных схем.

## 2. Основное содержание и результаты работы.

Зубчатые колеса в конкретных механизмах и узлах по назначению можно разделить на две основные группы:

Кинематические колеса. Основное требования к данным колесам и к зубчатой передаче, в которую они входят – обеспечение точного взаимного перемещения ведущего (зубчатая шестерня) и ведомого (колесо) звеньев. Как правила к данным колесам не предъявляются высокие требования к высоким передаваемым нагрузкам, а основное требование является требование кинематической точности. Данные колеса имеют относительно малый боковой зазор, высокую степень точности и малую шероховатости рабочих поверхностей. Данные передачи обычно применяются в измерительных приборах, коробках скоростей и подач металлорежущих станков, делительных механизмах, и пр.

Силовые колеса. Основное требование к данным колесам – высокая нагрузочная способность и высокие передающие моменты. Основные требования к данным передачам высокая изгибная и контактная прочность зубьев, достаточных размеров пятна

контакта, возможность удержания смазочного материала в зоне зацепления. При этом в некоторых случаях допускается достаточно высокая шероховатость рабочих поверхностей, достаточно большой боковой зазор для возможности компенсации температурных деформаций.

Зубчатые колеса, независимо от группы, разделяются на следующие элементы по функциональному назначению: исполнительные рабочие элементы, исполнительные базирующие элементы, связующие элементы, вспомогательные и дополнительные элементы. Данные элементы для некоторых типов зубчатых колес представлены на рис. 1.

Исполнительные рабочие элементы зубчатых колес – элементы, непосредственно выполняющие функции по назначению зубчатых колес, а именно, передача крутящего момента от ведомого вала к ведущему посредством перекатывания профилей зубьев ведущего зубчатого колеса, по зубьям ведущего. Ими являются эвольвентные поверхности от вершины до впадины зубьев, поверхностные слои, воспринимающие нагрузку в зоне зацепления,

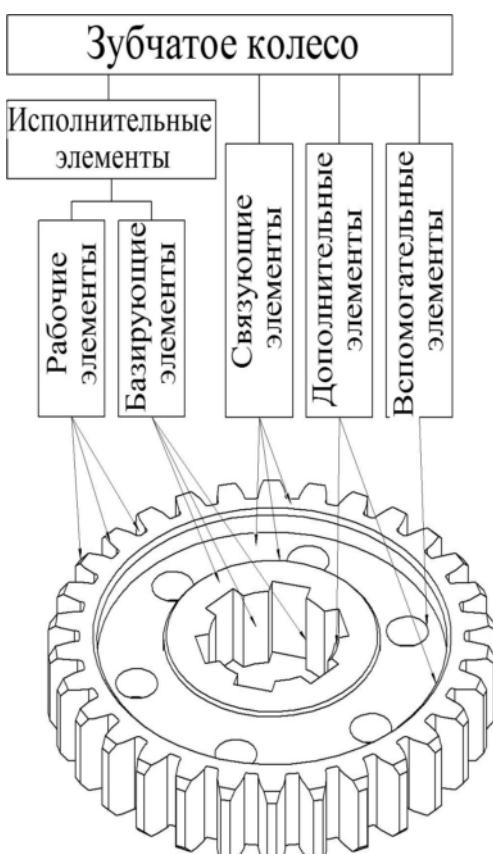


Рис. 1. Классификация элементов зубчатых колес

вершины и впадины зубьев, а также торцы зубьев переключаемых зубчатых колес и зубчатых блоков.

Базирующие исполнительные элементы используются для определения взаимного положения зубчатых колес относительно сопряженных с ним деталей и относительно базовой детали. Для зубчатых колес данными элементами являются шейки вала, осевые гладкие или шлицевые отверстия, шпоночные пазы и базовые торцы.

Связующие элементы зубчатых колес являются объемные участки, соединяющие между собой исполнительные и дополнительные элементы, и представляющие собой каркас детали. Для зубчатых колес связующими элементами являются объемные участки под шейками вала-шестерни и зубчатыми венцами, ступица, диск, обод зубчатого колеса; торцы, не являющиеся базовыми.

Дополнительные элементы – это элементы, не принимающие непосредственного участия в процессе работы зубчатых колес, служащие для размещения зубчатых колес в машине или для присоединения к ним других деталей или узлов (маховиков, крышек, дисков и пр.). К ним относятся резьбовые шейки валов, цилиндрические и резьбовые отверстия в торцах, осевые отверстия полых валов.

Вспомогательные элементы – это элементы не принимающие участия в работе зубчатой передачи, но используемые при монтаже и некоторых технологических операциях механической обработки и сборки. К ним относятся центровые отверстия, канавки для выхода шлифовального инструмента, отверстия в диске зубчатого колеса, фаски, скругления и пр.

Поскольку в работе зубчатой передачи наибольшее функциональное значение принимают исполнительные рабочие элементы, рассмотрим управление их свойствами на основе схем технологических воздействий. Рабочие элементы зубчатых колес подвержены действию следующих рабочих условий, вызывающих снижение эксплуатационных свойств (рис. 2): изгибающие напряжения, действующие в объеме ножки зуба, контактные напряжения возникающие в поверхностном слое рабочего профиля зуба, трение возникающее вследствие взаимного скольжения профилей в процессе зацепления и кромочный контакт, возникающий на боковых и вершинных кромках зубьев [2].

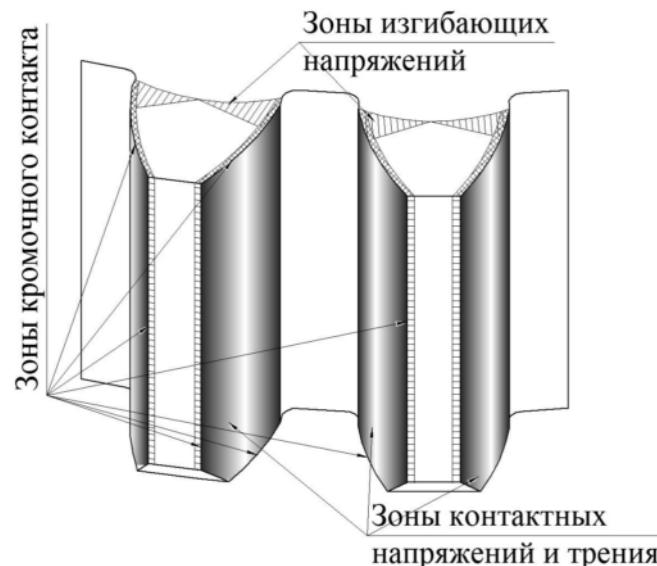


Рис. 2. Условия работы зубчатой передачи

Любой функциональный элемент изделия можно разделить на элементарные части, имеющие простую геометрическую форму, при этом в каждом элементе выделяют: точки, линии, поверхности, поверхностные слои и объемные зоны. Линии и точки могут быть рассмотренными как принадлежащие к поверхностному участку или объемной зоне изделия, поэтому их рассматривают как поверхностные и объемные. Схемы технологического воздействия для обеспечения свойств в зависимости от особенностей эксплуатации, подробно рассмотрены в работах [1,2]. Рассмотрим варианты формирования свойств

поверхностных слоев рабочих элементов зубчатых колес (рис. 3).

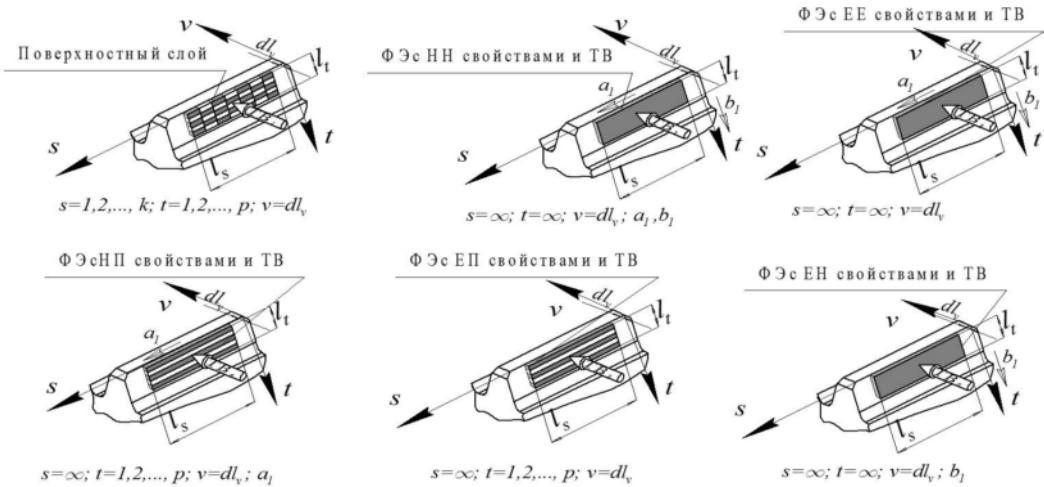


Рис. 3. Варианты технологических воздействия для обеспечения свойств требуемых по условиям эксплуатации (поверхностный слой)

Схемы технологического воздействия для поверхностных слоев имеющих прерывистый, непрерывный, единовременный, непрерывно-прерывистый, единовременно-прерывистый и единовременно-непрерывный характер изменения свойств, подробно рассмотрены в работе [1]..

Реализация данных схем осуществляется на основе принципов ориентации технологических воздействий и свойств [1].

Рассмотрим реализацию схем данных технологических воздействий для конкретных зубчатых колес в типичных условиях работы – передача крутящего момента с возможностью переключения скоростей за счет перемещения колес вдоль их осей, на основе нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий.

Для данных колес условия эксплуатации представляют собой наличие изгибных и контактных (усталостных) напряжений в поверхностных слоях объемах зубьев, трение сопрягаемых поверхностей зубьев, кромочный контакт в зацеплении, возникающий как с вершинными, так и с боковыми кромками зубьев [2].

Процесс нанесение покрытий на рабочие элементы требует различной направленности потока наносимого покрытия для обеспечения требуемого доступа к данным поверхностям. Вместе с тем, существует необходимость предохранения поверхностей, для которых не требуются свойства обеспечивающие покрытием.

При нанесении вакуумных ионно-плазменных покрытий на рабочие (зубчатые) поверхности, для обеспечение наиболее эффективного прилегания и стабильной толщины покрытия, зубья и их торцы должны быть обращены к потоку наносимого покрытия. При этом заготовкам зубчатых колес требуется сообщать равномерное вращательное движение, которое обеспечит равномерный доступ потока наносимого покрытия, исходящего от катодов, ко всем участкам зубчатого венца. Требуемый состав формируемого покрытия образуется при металлизации от 4-х различных катодов, поэтому к каждому колесу должен быть обеспечен доступ потока, излучаемого каждым катодом. Возможные схемы движения заготовок при этом будет иметь следующий вид (рис. 4)

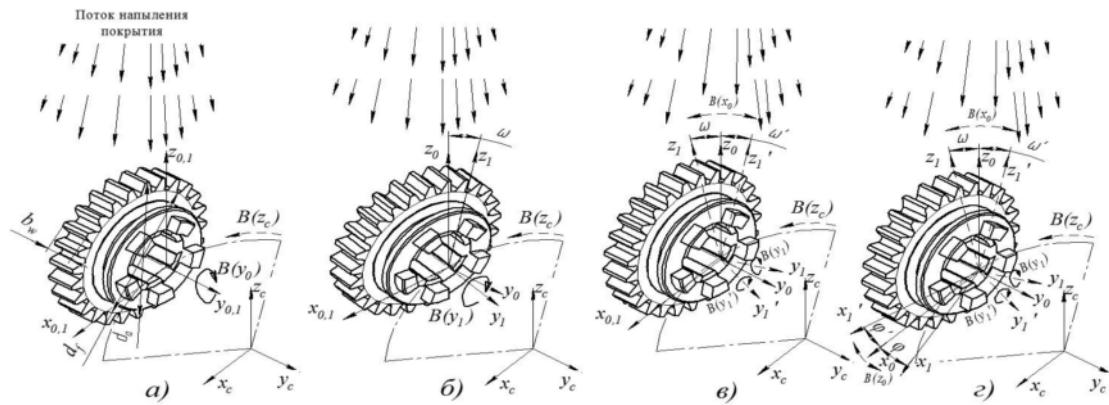


Рис. 4. Варианты движений зубчатого колеса при нанесении покрытия на рабочие элементы: а) вращение вокруг горизонтальной оси; б) вращение вокруг наклонной оси; в) вращение вокруг качающейся оси, г) вращение вокруг двух качающихся осей

Угол наклона оси заготовки  $\varphi$ , определяется в зависимости от положения заготовки относительно боковых катодов и варьируется в процессе нанесения покрытий.

Для повышения эффективности и качества нанесения покрытий, в пределах зоны действия потока наносимого покрытия, целесообразна установка максимально возможного количества заготовок зубчатых колес в камеру. При этом возникает необходимость обеспечения кинематики движения данных заготовок. Поэтому в камеру, вместе с заготовками, требуется установка специального устройства обеспечивающего вращение заготовок. За счет установки нескольких изделий в камеру, повышается производительность за счет реализации принципа концентрации рабочих позиций, а конструкция устройства обеспечит требуемую кинематику движения зубчатых колес для последовательного доступа всех частей зубчатых венцов к потоку наносимого покрытия для равномерного нанесения покрытий.

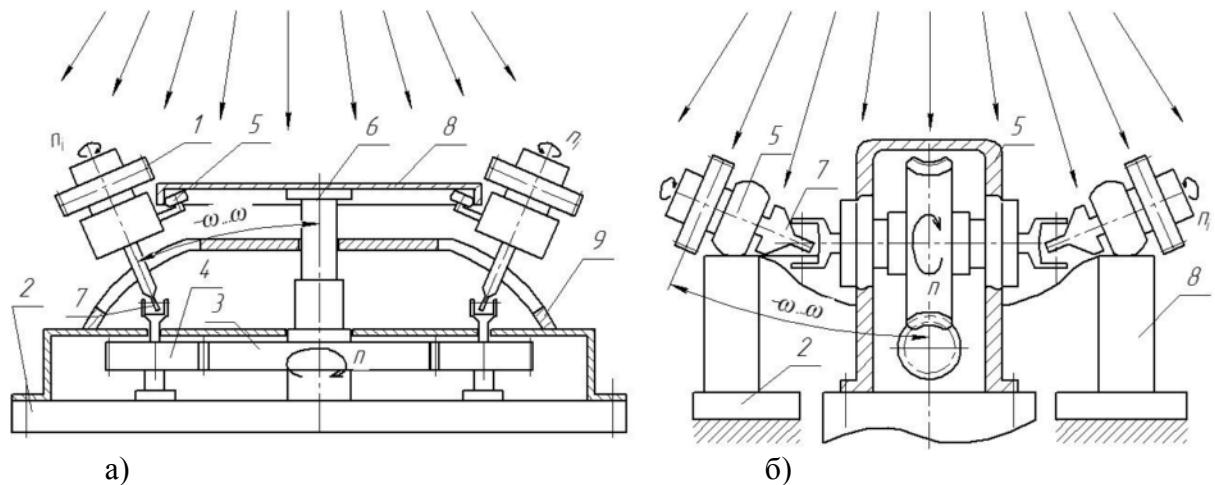


Рис. 5. Устройства для ориентации и вращения заготовок зубчатых колес в процессе нанесения покрытий

На рис.5. предложены устройства для обеспечения требуемой ориентации рабочих поверхностей зубчатых колес к потоку наносимого покрытия.

В первом случае (рис. 5, а), заготовки зубчатых колес приводятся во вращение от цилиндрической зубчатой передачи, а оправки, на которых устанавливаются заготовки,

соединены гибкими валами 7 с сателлитами цилиндрического редуктора. При этом заготовки на гибких валах связаны с дисковым кулачком 8, по которому обкатываются ролики, прикрепленные к каждой оправке с зубчатым колесом. Это дает возможность менять угол наклона оси заготовок в процессе нанесения покрытий в пределах  $\pm\omega$ .

Во втором случае (рис. 5, б), заготовки приводятся во вращение от червячного редуктора. Для данной схемы также возможно варьирование угла наклона зубчатых колес в пределах  $\pm\omega$  в процессе нанесения покрытий, только в данной конструкции кулачок 8 является торцевым, а оси обкатываемых по нему ролики 5, совпадают с осями оправок с обрабатываемыми колесами.

Нанесение вакуумных ионно-плазменных покрытий осуществлялось для зубчатого венца, и торцов зубьев. Остальные поверхности предохранялись от нанесения покрытий различными способами (с использованием защитных масок, а также сажи наносимой на поверхности не подвергающиеся нанесению покрытий). Производилось нанесение двух видов покрытий: однослойное покрытие на основе нитрида титана с использованием одного катода, и 12-ти слойное покрытие с использованием 3-х катодов изготовленных из титана ОТ4-1 и ВТ1. После нанесения покрытия было произведено измерение микротвердости, результат которого в сравнении с пневмоабразивной обработкой и исходным состоянием приведен на рис. 6.

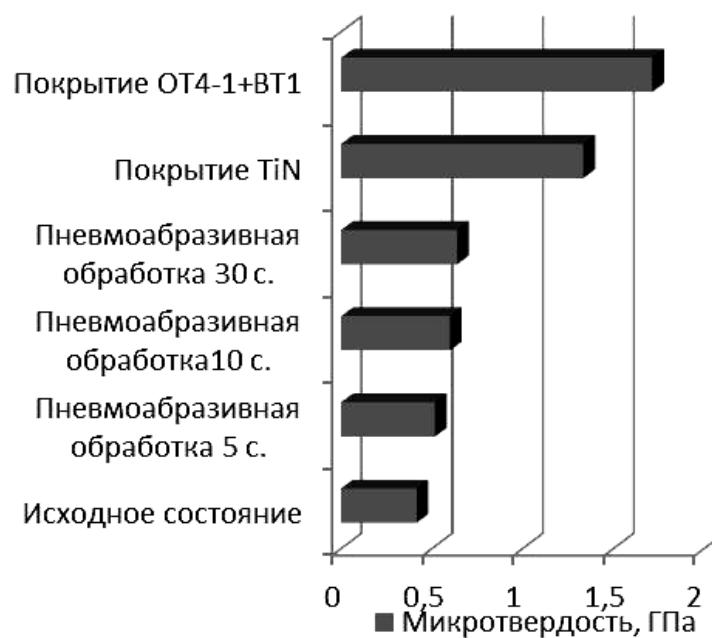


Рис. 6. Значения микротвердости рабочих поверхностных слоев зубчатых колес после различных видов обработки

устройства для равномерного доступа рабочих исполнительных элементов зубчатых колес к потоку наносимого покрытия. Нанесение вакуумных ионно-плазменных покрытий на рабочие поверхности зубчатых колес, в составе операций комплексного функционально-ориентированного технологического процесса производства зубчатых колес, приводит к повышению эксплуатационных характеристик зубчатых колес, что проявляется в следующем:

- повышении физико-механических свойств поверхностного слоя зубчатых колес, что выражается значительным увеличением микротвердости наносимых слоев рабочих поверхностей зубчатых колес (рис. 5);

**3. Выводы.** Таким образом в работе представлен анализ и классификация зубчатых колес и их элементов по функциональному назначению, на основании которого производится определение вида и возможного варианта технологического воздействия для каждого элемента в соответствии с его функциональным назначением. Рассмотрен способ управления свойствами рабочих поверхностных слоев зубчатых колес на основе нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий, с обеспечением требуемой ориентации и кинематики движений в процессе нанесения покрытий. При этом предложены

При этом предложены

- повышении износостойкости рабочих элементов зубчатых колес вследствие увеличения микротвердости и снижения коэффициента трения сопрягаемых поверхностей зубчатых колес.

**Список литературы:** 1. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2008. - 346 с. 2. Лахин А.М., Михайлов А.Н. Технологические основы повышения эксплуатационных свойств рабочих элементов зубчатых колес на базе функционально-ориентированного подхода. // Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы: научно-практический семинар - Донецк: ДонНТУ, 2011. С. 121-125. 3. Попов В. А. Критерий, определяющий повышенные эксплуатационные свойства передач зацеплением // Вестник машиностроения. - 2010. - N 9. - С. 37-39. 4. Фрадкин, Е. И. Производственная точность крупногабаритных зубчатых колес из стали 12Х2Н4А, шлифованных на станке мод. 5843 // Вестник машиностроения. - 2010. - N 8. - С. 57-62. 5. Решетов Д.Н. Детали машин: Учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов. М.: «Машиностроение» 1989. – 496 с.

## **СИНТЕЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗУБЧАТИХ КОЛІС НА БАЗІ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ**

**Лахін О.М., Михайлов О. М., Кондаков Д.Р. (ДонНТУ, м. Донецьк, Україна)**

**Аннотація.** У роботі розглянуті основні положення виробництва зубчастих коліс на базі функціонально-орієнтованих технологій. Представлена класифікація зубчастих коліс та їх елементів за функціональним призначенням. Представлені схеми технологічної дії для робочих поверхневих шарів зубчастих коліс, а також способи реалізації даних схем на основі нанесення вакуумних іонно-плазмових покриттів. Запропоновані пристрой для забезпечення орієнтації та руху заготовок в процесі нанесення покрить

**Ключові слова:** зубчате колесо, вакуумні іонно-плазмові покриття, класифікація

## **SYNTHESIS OF TECHNOLOGICAL MAINTENANCE TO IMPROVE THE QUALITY OF GEARWHEELS BASED ON THE FUNCTION-ORIENTED APPROACH**

**Lahin A.M., Mikhaylov A.N., Kondakov D.R. (DonNTU, Donetsk, Ukraine)**

**Abstract.** In work substantive provisions of manufacture of gearwheels based of function-oriented technologies are considered. Classification of gearwheels and their elements by a functional purpose is presented. Schemes of technological influence for working blankets of cogwheels, and also ways of realization of the given schemes on the basis of drawing of vacuum ionic-plasma coverings are presented. Devices for maintenance of orientation and movement of preparations in the course of drawing of coverings are offered

**Keywords:** gearwheel, vacuum ionic-plasma coverings, classification

Надійшла до редколегії 24.06.2011 р.