

поверхностях зубьев. На каждой вогнутой поверхности зуба образуется две локальных контактных зоны. Расстояние между краями зон контакта на поверхности зуба в угловом измерении равно углу бифуркации 2γ , возрастающему с увеличением нагрузки. В многослойных роликах кроме бифуркации внешних зон контакта происходит расслоение.

Внешняя нагрузка определяет напряженное состояние оболочки. Для многослойных оболочек при известном соотношении толщины слоев дополнительным параметром кроме протяженности зоны контакта является величина $S = h_1 / R_1$, равная отношению толщины наружного слоя к внешнему радиусу R_1 . Задаваясь значениями протяженности внешней зоны контакта $(2n-1)\alpha$, параметром S , и решая системы уравнений, определяем конфигурацию деформированной внешней поверхности и участки контакта. В многослойных роликах определяем зоны расслоения первоначально сопряженных поверхностей.

Расчеты показывают, что контакт внешней поверхности ролика и вогнутой поверхности зуба сосредотачивается на двух небольших участках, угловое расстояние $(2-\gamma)$ между которыми увеличивается с ростом нагрузки. Из расчета могут быть определены усилия N на площадках контакта. Зона контакта расщепляется и приводится к двум участкам. Зная величину усилий и рассматривая контакт как местный, можно рассчитать протяженность местной зоны контакта исходя из формул Герца или уточнить ее, применяя методику расчета Штаермана.

При деформации многослойных роликов происходит расслоение оболочек. Расположение участков контакта слоев соответствует расположению участка контакта наружной поверхности ролика. С ростом нагрузки увеличивается угловое расстояние между контактирующими участками наружной поверхности ролика и поверхности зуба. Под действием контактной нагрузки ролик испытывает деформации изгиба и сжатия. Напряженное состояние ролика определяется через контактные усилия.

Список литературы: 1. Демидов С. П. Теория упругости. М.: Высшая школа, 1979. – 432 с. 2. Штаерман И. Я. К теории Герца местных деформаций при сжатии упругих тел. – Докл. АН СССР. 1939. Т. 25, №5. С 360-362. 3. Штаерман И. Я. Контактная задача теории упругости. М.: Гостехиздат, 1949.– 272 с. 4. Persson A. On the stress Distribution of Cylindrical Elastic Bodies in Contact. – Dissertation, Chalmers Tekniska Hogskola, Coteborg, 1964. 5. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. М.: Мир, 1989. – 509 с. 6. Бидерман В. Л. Механика тонкостенных конструкций. М.: Машиностроение, 1977. – 488 с. 7. Ван Цзи Де. Прикладная теория упругости. М.: Физматгиз, 1959. – 400 с. 8. Григолюк Э. И., Толкачев В. М. Контактные задачи теории пластин и оболочек. М.: Машиностроение, 1980. – 416 с.

Сдано в редакцию 21.03.06

Рекомендовано д.т.н., проф. Михайлов А.Н.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СИНТЕЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЗУБАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Финиченко В.А. (ДонНАСА, г. Макеевка, Украина)

The general(common) principle of system approach in synthesis of technological maintenance of multiparameter spatial engagements is resulted. The gear drive is esteemed as a mem-

ber of a technical system, the object function is provided with which one by the conforming relative movement of working surfaces зубьев. The directions and ways of problem solving of optimization of mathematical and functional models of master schedules are intended.

1. Введение. Разработка новых технологических процессов для пространственных зубчатых передач, обеспечивающих качественную работу механизмов, является сложной и одновременно актуальной проблемой в связи с современными требованиями создания высокоточных механизмов. В ряде работ [3,4,7] рассмотрены отдельные вопросы синтеза технологий пространственных зацеплений применительно к конкретным условиям. Однако до настоящего времени отсутствует подход к разработке теоретических основ синтеза технологического обеспечения изготовления многопараметрических пространственных зубчатых передач.

Целью данной работы является разработка общих принципов системного подхода к синтезу технологического обеспечения изготовления многопараметрических пространственных зубчатых передач, обеспечивающих технико-экономическую эффективность механизмов, путем создания качественно новых, более прогрессивных схем нарезания зубьев.

2. Основное содержание и результаты работы. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи:

- разработать общий теоретический подход к решению проблемы создания и функционирования технологических процессов изготовления многопараметрических зубчатых передач;
- на основе обобщения результатов исследования технологических систем (схем), разработать аппарат системного подхода к анализу и синтезу технологических процессов изготовления пространственных зубчатых зацеплений;
- разработать геометро-кинематические основы технологии изготовления пространственных зубчатых зацеплений;
- разработать общие принципы проектирования технологических процессов изготовления пространственных зацеплений;
- выполнить исследования показателей качества и эффективности функционирования разработанных технологических схем;
- выполнить структурный синтез технологий и функциональный синтез оборудования;
- наметить перспективы развития технологии многопараметрических пространственных зацеплений.

При решении поставленных задач зубчатую передачу будем рассматривать как элемент технической системы, целевая функция которой обеспечивается соответствующим относительным движением рабочих поверхностей зубьев, являющимся функцией технологических процессов их изготовления.

При решении любой технологической задачи необходимо спрогнозировать ряд входных данных. Для зубчатых передач это прежде всего:

- возможные характеристики;
- условия работы.

При прогнозировании характеристик различают два их типа:

- определяющие характеристики X_O (материал заготовок, точность, габариты, стоимость);
- производные характеристики X_{II} (зависимые от определяющих и выбираемые в каждом конкретном случае с учетом экономической целесообразности).

Анализ физических процессов при работе зубчатых передач показывает, что на условия зацепления оказывают влияние [3]:

- исходные геометрические характеристики зубчатых колес, определяемые точностью технологического процесса и конструктивными параметрами;
- кинематические параметры зубчатых венцов, определяемые точностью базирования заготовки и инструмента при нарезании профилей зубьев;
- точность выполнения и относительное положение режущих кромок инструмента;
- точность сборки и тепловые явления.

Перечисленные выше погрешности относятся к типу первичных погрешностей, которые влияют на кинематику передачи, ее характеристики по К.П.Д. и передаваемой мощности.

Первичные ошибки можно разделить на две группы:

- к первой группе относятся ошибки, которые в процессе приработки сравнительно быстро устраняются и поверхности зубьев становятся сопряженными;
- ко второй группе относятся ошибки не устраняемые в процессе приработки и в результате параметры зубчатой передачи отличаются от расчетных (нарушаются условия контактирования зубьев, снижается несущая способность по прочности и по деформациям).

Выражение для расчета несущей способности по прочности (C) и по деформации (D) в общем случае можно записать в виде:

$$C = \sigma_a \cdot \prod_{i=1}^{\kappa} y_i^{n_i}; \quad (1)$$

$$D = E \cdot \prod_{i=1}^{\kappa} y_i^{m_i}, \quad (2)$$

где y_i - геометрические размеры элементов конструкций; E - модуль упругости; σ_a - допускаемое напряжение.

Как видно из зависимостей (1) и (2), несущая способность представляет собой произведение случайных величин.

Плотности распределения несущей способности можно представить в виде:

$$\begin{aligned} \varphi(C) &= \varphi(C; M; K); \\ \varphi(D) &= \varphi(D; M; K), \end{aligned} \quad (3)$$

где M - материал, из которого изготовлена зубчатая передача (характеризуется законами распределения σ и E); K - качество изготовления, характеризуемое законом распределения размеров y_i .

На практике в качестве закона распределения несущей способности чаще всего полагают нормальный закон (закон Гаусса), а параметры его (математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение) находят одним из приближенных методов (приведенных возмущений или частных производных). В этом случае критерием надежности зубчатой передачи является вероятность ее безотказной работы:

$$P = (-\infty < C < +\infty) = \frac{1}{\sigma_C \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} \ell^{\frac{(C-m_C)}{2\sigma_C^2}} dC, \quad (4)$$

где m_C - математическое ожидание несущей способности; σ_C - среднеквадратичное отклонение величины C .

Определяющие характеристики вычисляются методами прогнозирования, производные – путем оптимизации по критериям экономической целесообразности с использованием результатов прогнозирования, математической и функциональной модели технологического процесса.

Принципиальная схема синтеза технологических процессов изготовления многопараметрических зубчатых передач показана на рис. 1.

Решение задачи сводится к отысканию набора производственных характеристик, который обеспечил бы максимум (минимум) оценочного критерия. При этом необходимо спрогнозировать определяющие характеристики, задачи решаемые технологическим процессом, и условия его функционирования, обеспечивающие заданные параметры зубчатой передачи.

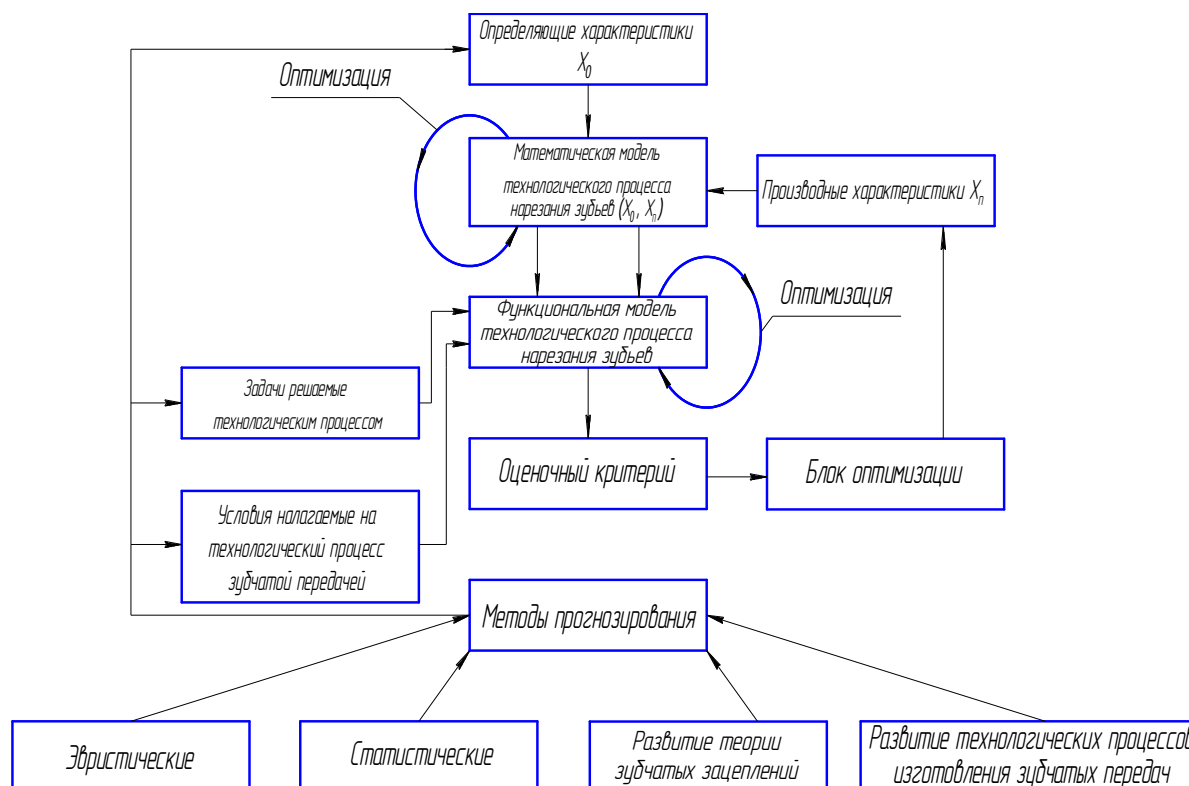


Рис.1. Принципиальная схема синтеза технологических процессов изготовления многопараметрических зубчатых передач

Из схемы видно, что как в математической модели, так и в функциональной модели может производиться внутренняя оптимизация (блок оптимизации).

Характер изменения определяющих характеристик, применительно к синтезу технологических процессов получения зубчатых передач, зависит от уровня развития науки и техники (изменение во времени прочности применяемых материалов, скоростей, быстроты действия механизмов с зубчатыми передачами и т.п.).

Изменение определяющих характеристик происходит как эволюционным так и революционным путем. Первый путь – это медленное изменение характеристик, достигаемое совершенствованием существующих технологических процессов изготовления зубчатых передач. Второй путь – это быстрое изменение характеристик, достигаемое применением новых технологических процессов, новых физических принципов, новых технических идей.

С целью учесть перечисленные выше ошибки и получить сопряженные поверхности, тем самым улучшить условия контактирования и снизить нагрузки, применяют либо технологические процессы, позволяющие модифицировать рабочие поверхности зубьев [8] (эволюционный путь), либо разрабатывают новые способы изготовления зубьев, моделирующие работу зубчатого зацепления в передаче [4, 6] (революционный путь). Естественно, что новые способы позволяют существенно изменить отдельные определяющие характеристики, по сравнению с частичной модификацией.

Важным, если не определяющим, моментом при синтезе технологий является прогнозирование. Методы прогнозирования подразделяются на:

- эвристическое прогнозирование;
- статистическое прогнозирование;
- прогнозирование развития теории зубчатых передач;
- прогнозирование развития технологических процессов изготовления зубчатых передач.

Принцип эвристического прогнозирования состоит в оценке перспектив развития того или иного направления (в данном случае технологических процессов изготовления зубчатых зацеплений с необходимыми параметрами). Этот принцип объединяет: прогноз развития науки и техники в рассматриваемом направлении; анализ, расчеты и конструктивные проработки для определения заданных характеристик; статистическую обработку результатов первых двух позиций (получение функции распределения ожидаемой характеристики).

После разработки функциональной модели технологического процесса получения зубьев, выбора критерия, определения ограничений и получения входной информации, проводится оптимизация процесса.

Модель технологического процесса изготовления зубчатых передач в общем случае может быть представлена в виде:

$$T_{II} = \Phi(\bar{x}_i, t; \bar{u}; \bar{x}_i^{(m)}), \quad (5)$$

где $\bar{x}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ - координаты технологического процесса (зависимые переменные); t - независимая переменная; $\bar{u}(u_1, u_2, \dots, u_k)$ - координаты управления технологическим процессом; $\bar{x}^{(m)}(x_1^{(m)}, x_2^{(m)}, \dots, x_n^{(m)})$ - производные по независимой переменной.

Здесь под координатами подразумеваются фазовые координаты – минимальное количество параметров, с помощью которых характеризуется состояние рассматриваемого технологического процесса. При этом конкретное состояние системы можно представить в виде точки в фазовом пространстве.

Уравнение (5) представляет расчетную формулу критерия, на которое вводятся ограничения:

- на координаты технологического процесса:

$$x_i \in u_{i\text{дон}} \text{ при } i=1, 2, \dots, N; \quad (6)$$

- на координаты управления:

$$u_k \in u_{k\text{дон}} \text{ при } k=1, 2, \dots, K; \quad (7)$$

Связи между координатами, управления и независимой переменной:

$$x_1^{(m)}, x_2^{(m)}, \dots, x_n^{(m)}, t, u_1, u_2, \dots, u_k = 0; \quad (8)$$

Начальные и конечные условия:

$$\begin{aligned} \bar{\varphi}(\bar{x}_0, \bar{x}_0^{(1)}, \dots, \bar{x}_0^{(m)}, t_0, \bar{U}_0) &= 0 \\ \bar{\psi}(\bar{x}_{\text{кон}}, \bar{x}_{\text{кон}}^{(1)}, \dots, \bar{x}_{\text{кон}}^{(m)}, t_{\text{кон}}, \bar{U}_{\text{кон}}) &= 0 \end{aligned} \quad (9)$$

В зависимости от наличия и вида ограничений, количества этапов технологического процесса, различают методы оптимизации: аналитические или численные. Например, принцип максимума Л.С. Понтрягина [5], позволяющий решать задачи в случае наличия

ограничений на управления и при любых связях между переменными; методы основанные на достаточных условиях В.О. Кротова [2] в случаях когда решения вариационных задач с учетом ограничений на управление и фазовые координаты не определяется принципами максимума (например, в случаях когда управления входят в функцию типа Гамильтона - линейно-вырожденные вариационные задачи); методы динамического программирования [1], когда из множества допустимых управлений $\bar{u}_{дон}$ находится управление \bar{u} , которое переводит технологическую систему из начального состояния $\bar{x}_0 \in \bar{x}_{дон}$ в конечное $\bar{x}_{кон} \in \bar{x}_{дон кон}$ так, чтобы некоторый критерий $K(u)$ обращался в максимум; численные методы поиска экстремума функции одной или нескольких переменных $\Phi(\bar{u})$ (регулярные методы поиска экстремума) [6].

3. Заключение. Рассмотрен ряд вопросов разработки общих принципов синтеза технологических процессов изготовления многопараметрических зубчатых передач. Предложена математическая модель и возможные методы оптимизации технологических процессов в зависимости от наличия и вида ограничений.

Список литературы: 1. Беллман Р. Динамическое программирование. Пер. с англ., под ред. Н.Н. Воробьева - М.: Из-во иностранной литературы. 1960. 2. Кротов В.Ф. Методы решения вариационных задач на основе достаточных условий абсолютного минимума - М.: «Автоматика и телемеханика», 1959. №12. 3. Михайлов А.Н. Основы синтеза поточно-пространственных технологических систем непрерывного действия. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 379 с. 4. Михайлов А.Н., Грубка Р.М. К вопросу чистовой обработки зубьев втулок зубчатых муфт с пространственной модификацией. // Сборник трудов XII международной научно технической конференции – В 5-ти томах. – Донецк: ДонНТУ, 2005. т.2.-с.275-276. 5. Понтрягин Л.С. и др. Математическая теория оптимальных процессов. М: ФизМАТ-ГИЗ, 1961. 6. Уайлд Д. Дж. Методы поиска экстремума - М.: Из-во: «Наука», 1967. 7. Финиченко В.А. Пространственная модификация зубьев цилиндрических зубчатых колес.// Весник ДонГАСА. – Макеевка: ДонГАСА. 2004. – Вып. 5(47). – С.97-100. 8. А.С. 1333486 СССР В23 F19/00. Способ обработки зубчатых колес с бочкообразным зубом и устройство для его осуществления / В.А. Финиченко, В.И. Ажажа, А.Н. Михайлов, А.М. Завадский, Н.Э. Тернюк (СССР). – 3653161/25-08 заявлено 17. 10.83. Опубл. 30.08.87.-Бюл. № 32, с.4.

Сдано в редакцию 16.05.06
Рекомендовано д.т.н. Седуш В.Я.

ВПЛИВ МЕХАНОАКТИВАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ НА ТЕХНОЛГІЮ ОТРИМАННЯ МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ЕЛЕКТРОКОНТАКТІВ

Чайка В.О., Філіппов Д.А. (ЗІЕІТ, ЗДНУ, м.Запоріжжя, Україна)

The research considers the influence of the mechanic activated treatment of copper powder in the mid-energetic vibrating ball mill on the processes of the casting, pressing and compacting in electric contact production.

У зв'язку з великим обсягом виробництва різноманітних електричних комутаційних пристроїв в останні кілька десятиліть залишається високий попит на матеріали для електрореконтактів.