

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА ПРЯМОЗУБЫХ КОНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕТОДОМ ШТАМПОВКИ

*Волков А.Э., Бирюков С.С.*

*Московский государственный технологический университет "СТАНКИН",  
Москва*

**Ключевые слова:** прямозубые конические передачи, технологическая подготовка производства, штамповка.

**Аннотация.** В статье дано описание технологической подготовки производства прямозубых конической передач, изготавливаемых методом штамповки. Приведена блок-схема основных этапов алгоритма технологической подготовки производства. Проводится модификация геометрической модели эвольвентных зубчатых колёс для устранения влияния погрешностей. Представленный в статье алгоритм технологической подготовки производства позволяет получить трёхмерные модели заготовок с припуском под финишную калибровку.

## TECHNOLOGICAL PREPRODUCTION OF STRAIGHT BEVEL GEARS FOR STAMPING

*Volkov A.E., Biryukov S.S.*

*Moscow State University of Technology "STANKIN", Moscow*

**Keywords:** spur bevel gears, technological preproduction, stamping.

**Abstract.** The paper presents the technological preproduction of spur bevel gears, manufactured by stamping. A flowchart of the main steps of the algorithm of technological preproduction is given. The geometric model of the involute gears is modified to eliminate the influence of errors. The presented algorithm of technological preproduction allows to obtain 3D models of workpieces with the allowance for finishing calibration.

### Введение

Традиционно зубчатые передачи изготавливают резанием методами копирования и обкатки.

В работе рассматривается процесс технологической подготовки производства прямозубых конических зубчатых колёс, изготавливаемых штамповкой. Конструктор разрабатывает трёхмерную модель эвольвентной прямозубой конической передачи, предполагая, что боковые поверхности зубьев представлены коническими эвольвентными поверхностями. Такие поверхности обеспечивают теоретически точное зацепление и линейный контакт в передаче.

Однако для обеспечения работоспособности зубчатой передачи необходимо предусмотреть возможное влияние различных погрешностей, связанных с изготовлением и монтажом передачи, а также температурных и силовых деформаций, возникающих в процессе работы передачи. Такие погрешности могут привести к кромочному контакту.

Поэтому на этапе технологической подготовки производства зубчатых передач для компенсации влияния погрешностей применяется модификация боковых поверхностей зубьев с целью локализации контакта.

Рассмотрим алгоритм процесса технологической подготовки производства прямозубых конических колёс, изготавливаемых методом штамповки.

### Этапы технологической подготовки производства

На рисунке 1 представлена блок-схема алгоритма технологической подготовки производства прямозубой конической передачи.

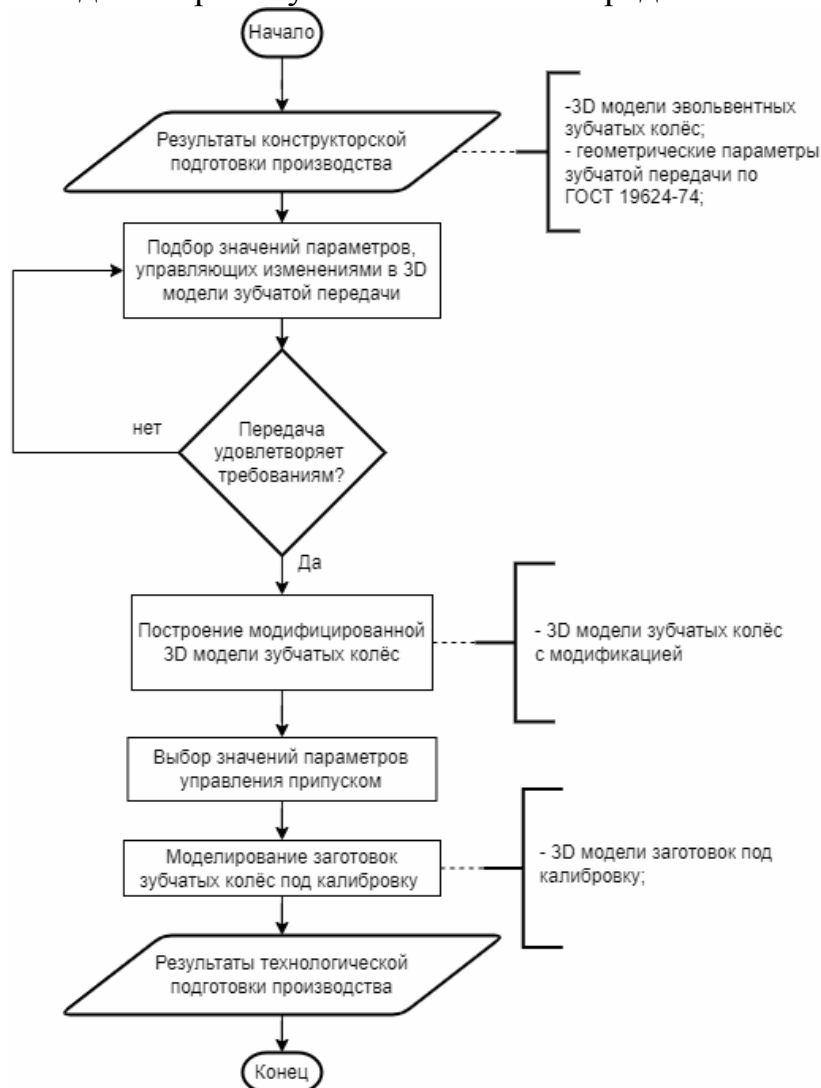


Рис. 1. Блок-схема алгоритма технологической подготовки производства

Конструктор проектирует зубчатую передачу и в результате получает 3D модель зубчатой передачи. Таким образом технолог работает с трехмерной моделью эвольвентной зубчатой передачи. Также технологу доступны геометрические параметры прямозубой конической передачи, рассчитанные согласно ГОСТ 19624-74 «Передачи зубчатые конические с прямыми зубьями. Расчет геометрии» [1]. Ставится задача получить локализованный контакт в передаче путём внесения изменений в трехмерную модель эвольвентного зубчатого зацепления.

Технолог начинает работу с подбора параметров модификации 3D модели. Далее будем их называть параметрами модификации. В работе [2] введены параметры модификации активной поверхности зуба шестерни. Они управляют положением и размерами пятна контакта.

Выбор значений параметров модификации производится в результате решения оптимизационной задачи с помощью эвристического алгоритма [3]. В

качестве целевой функции выбрано максимальное контактное давление в передаче. Ищется минимум целевой функции, а в качестве ограничения выступает отсутствие кромочного контакта. Подбор проходит итерационно.

Для оценки качества полученной передачи рассчитываются характеристики зацепления и контакта зубьев. К ним среди прочих относятся максимальное контактное давление, пятно контакта и амплитуда кривой неравномерности передачи вращения (рис. 2).

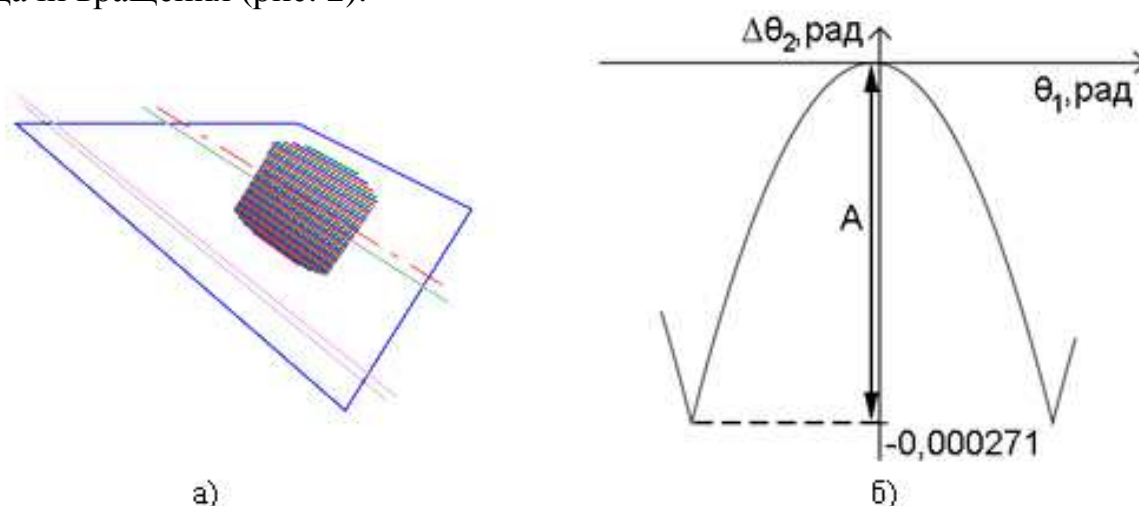


Рис. 2. Характеристики зацепления передачи: а) пятно контакта под нагрузкой; б) кривая неравномерности передачи вращения шестерни

После подбора параметров модификации 3D модели следующим шагом проверяется, удовлетворяет ли передача заданным требованиям (ветвление алгоритма на блок-схеме на рис. 1). Технолог оценивает рассчитанные характеристики зацепления передачи и анализирует полученный результат. Из опыта эксплуатации конических зубчатых передач следует, что под нагрузкой пятно контакта перемещается по длине зуба в сторону большего торца. Поэтому нужно стремиться, чтобы пятно контакта было смещено ближе к меньшему торцу. В этом случае под нагрузкой пятно распространится по зубу, что позволит избежать кромочного контакта. Для этого технолог может вручную изменить значения параметров синтеза. Он может сместить пятно контакта в сторону меньшего торца, если передача будет использоваться при больших нагрузках, либо попробовать сильнее локализовать пятно контакта.

Полученные значения параметров синтеза будут использоваться для последующей модификации трёхмерной модели эвольвентного зацепления. Основная методика, по которой проводится модификация, описана в работе [2]. Модификацию осуществляют, вводя профильные и продольные отводы зубьев шестерни внутрь зуба от исходной рабочей поверхности зуба, описываемой конической эвольвентой [4].

На рисунке 3 представлено поле отклонений для модифицированной боковой поверхности. Зелёная сетка соответствует поверхности зуба до модификации, синяя – поверхности после модификации. Красные вертикальные линии соответствуют величине отклонения в данной точке поверхности. Максимальная величина отклонения модифицированной поверхности на рисунке 3 составляет 98,07 мкм.

Максимальное значение = 98.07 мкм

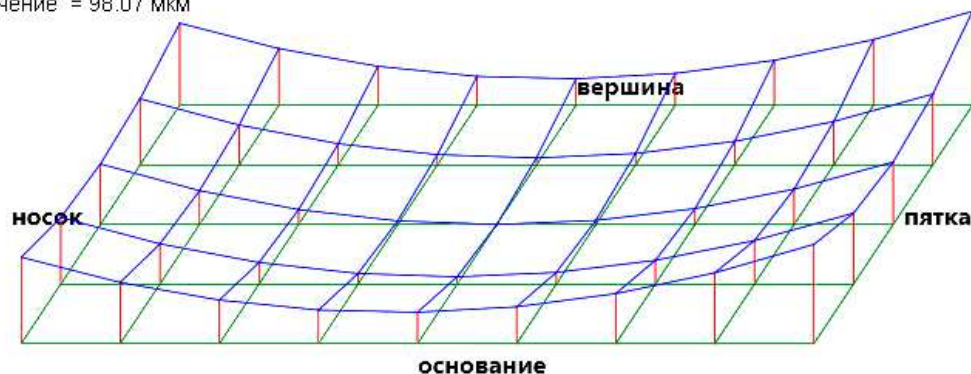


Рис. 3. Поле отклонений шестерни

После получения модели зубчатых колёс, требуется подготовить модель под штамповку. Заключительным этапом штамповки является холодная калибровка. В ней толщина снимаемого слоя припуска мала. Требуется рассчитать трёхмерную модель зубчатых колёс с учетом припуска под калибровку.

В работе [5] описана методика расчёта трехмерной заготовки с припуском и введены параметры управления припуском. В программном комплексе рассчитывается разность площадей сечений готового зуба и заготовки. Технолог оценивает это значение и выбирает значения параметров управления припуском из следующего условия. Необходимо, чтобы в результате подбора была получена такая форма заготовки, в которой будет достаточно металла для заполнения формы готового зуба.

В результате технологической подготовки производства зубчатой передачи будут получены оптимизированные трёхмерные модели зубчатых колёс с учетом локализации контакта (рис. 4) и трехмерные модели заготовок зубчатых колёс под холодную калибровку.



Рис. 4. Рассчитанные 3D модели зубчатых колёс

Разработанный программный комплекс интегрирован в общую систему поддержки жизненного цикла изделий Siemens Teamcenter. Эта система обеспечивает организацию коллективной работы предприятия с данными об

изделии на всех этапах жизненного цикла изделия. В результате технологической подготовки производства технолог загружает полученные трехмерные модели в систему Siemens Teamcenter. Эти модели будут использоваться другими специалистами в дальнейшем при штамповке зубчатых колёс.

### **Заключение**

Описанная методика позволяет организовать подготовку производства с помощью разработанного программного комплекса для прямозубых конических колёс, изготавливаемых методом штамповки. Технолог оптимизирует трёхмерную модель зубчатой передачи с учетом локализации контакта и рассчитывает трёхмерные модели заготовок перед финишной калибровкой. Полученные трехмерные модели выгружаются в систему поддержки жизненного цикла изделий Teamcenter и будут использоваться при определении геометрии штамповой оснастки.

### **Список литературы**

1. ГОСТ 19624-74. Передачи зубчатые конические с прямыми зубьями. Расчет геометрии. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 26 с.
2. Медведев В.И., Волков А.Э., Бирюков С.С. Алгоритмы синтеза и анализа зацепления эвольвентных прямозубых конических колес с локализованным контактом // Вестник МГТУ "Станкин". – 2019. – № 1 (48). – С. 98-105.
3. Medvedev V., Volkov A., Biryukov S Automation of Technological Preproduction of Straight Bevel Gears // Mechanisms and Machine Science. 2020, vol. 81, pp. 133-155
4. Колчин Н.И. Аналитический расчет плоских и пространственных зацеплений (с приложением к профилированию режущего инструмента и расчету погрешностей в зацеплениях). – М.-Л.: Машгиз, 1949. – С. 19-95.
5. Волков А.Э., Медведев В.И., Бирюков С.С. Построение поверхности отштампованного прямого зуба конического колеса с учетом припуска под финишную обработку // Научные технологии в машиностроении. – 2019. – № 10. – С.25-31.

### Сведения об авторах:

*Волков Андрей Эрикович* – д.т.н., профессор, профессор кафедры теоретической механики и сопротивления материалов;

*Бирюков Сергей Сергеевич* – аспирант.