

*Series: Materials Science and Engineering*, Volume 134, Number 1, 2015, pp.12003. DOI: 10.1088/1757-899X/134/1/012003.

[4]. Gilmanshin I.R., Kashapov N.F., Gilmanshina S.I., Galeeva A.I. (2016). Landfill energy complex based on the renewable energy installations. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Volume 134, Number 1, 2015, pp.12007. DOI: [10.1088/1757-899X/134/1/012007](https://doi.org/10.1088/1757-899X/134/1/012007)

[5]. Gilmanshin, I.R., Ferenets, A.V., Azimov, Yu.I., Galeeva, A.I., Gilmanshina, S.I. Innovative technologies of waste recycling with production of high performance products. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* Vol. 86, Number 1, 2015, pp.12014-12016. doi:10.1088/1757-899X/86/1/012014.

<http://www.ingentaconnect.com/content/iop/mse/2015/00000086/00000001/art012014>

4

### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ ВЕНЦОВ КОСОЗУБЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА ЭТАПЕ КОНСТРУКТОРСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Сафаров Д.Т., Кондрашов А.Г., Хафизов И.И.

НЧИ К(П)ФУ, 423812 г. Набережные Челны пр. Мира 68/19

В статье рассмотрен способ повышения эффективности процесса конструкторской подготовки производства узлов имеющих в своем составе косозубые зубчатые передачи. Повышение эффективности обеспечивается обработкой зубчатых венцов косозубых колес концевым инструментом на многокоординатных станках с ЧПУ. Преимуществом предлагаемого способа обработки является минимальное отклонение действительных и теоретических профилей боковых поверхностей зуба зубчатого колеса.

The article describes a way to improve the efficiency of the process of design preparation of production units having in its composition helical gears. Increased efficiency is provided by the processing of toothed crowns of helical gears on multi-axis CNC machines. The advantage of the proposed method of processing is the minimum deviation of the actual and theoretical profiles of the lateral surfaces of the tooth of the gear.

Ключевые слова: косозубая цилиндрическая зубчатая передача, прямозубая коническая передача, фрезерная обработка, станок с ЧПУ.

Разработка и выпуск новых изделий, в состав которых, входят цилиндрические прямозубые и косозубые зубчатые передачи (редукторы, раздаточные коробки, коробки передач) невозможен без отработки нескольких вариантов их конструктивного исполнения с проведением различных циклов испытаний и выбором наиболее оптимального исполнения. Конструкторская подготовка включает в себя работы по проектированию вариантов конструктивного исполнения и опытного изготовления его частей. Изготовление деталей с несложными конструктивными элементами – плоскими, цилиндрическими, коническими не вызывает значительных

технологических трудностей, но качественное изготовление зубчатых венцов невозможно без проектирования и изготовления специального режущего инструмента – долбяков или червячных фрез. Их дополнительное проектирование и изготовление значительно удлинит процесс подготовки производства и изготовление опытных деталей.

Альтернативным решением без изготовления специального режущего инструмента является обработка зубчатых венцов деталей на многокоординатных станках с ЧПУ. В настоящее время существует множество САМ систем, интегрированных с САД системами, позволяющими сгенерировать тексты управляющей программы для станка с ЧПУ. Наиболее известные из них NX CAM, PowerMill, MasterCam, SprutCam, Adem и др.

Все эти программные продукты реализуют единую последовательность работ предшествующих процессу обработки зубчатого венца. Проектирование 3D модели либо в той же интегрированной САД программной среде, либо в другой. Считывание 3D модели в САМ системе. САМ система генерирует различные траектории перемещений выбранного инструмента по универсальным алгоритмам, заложенным в модуль расчета траектории этих программ. Заканчивается процесс формированием кода управляющей программы для станка с ЧПУ.

Как правило, эти универсальные алгоритмы, реализуют эквидистантный обход обрабатываемых поверхностей конструктивных элементов, по заранее выработанным правилам (например, послойное снятие припуска от периферии к центральной точке или от центральной точки к периферии). Чем более развита САМ система, тем большее количество вариантов настройки траекторий рабочего хода она позволяет выполнить. Рассмотрим наиболее вероятные способы обработки впадин зубчатого колеса. Координаты точек рабочих ходов могут быть рассчитаны всеми перечисленными программными продуктами в базовой версии.

Первым будет переход чернового фрезерования, который должен устранить основной припуск из впадины, оставив припуск по боковым сторонам. Выборка припуска осуществляется концевой сферической или шпоночной фрезой (рисунок 1 а). Затем следует переход чистового фрезерования. Он может выполняться модульной концевой фрезой. При этом варианте обработки будет минимально возможное время обработки впадины колеса, но модульную фрезу под параметры обрабатываемого зубчатого колеса необходимо специально изготавливать, стоимость ее изготовления может быть сопоставима со стоимостью изготовления червячной зуборезной фрезы. Другим вариантом обработки является обход сферической концевой фрезой (рисунок 1 б). В отличие от модульной дисковой или концевой фрезы сферическая концевая фреза это недорогой и доступный инструмент. Чем меньше будет величина глубины резания, тем более качественной будет поверхность боковых зубчатых колес, но дольше процесс обработки. В любом случае для достижения приемлемого качества боковой поверхности зубчатых колес длительность обработки зубчатого венца будет значительной. В отдельных случаях она может достигать 4-5 часов и более.



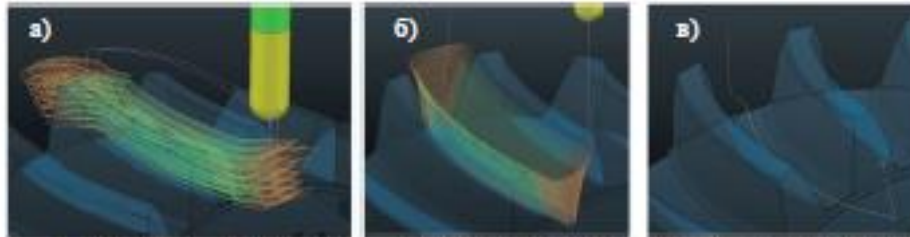


Рисунок 1. Траектории перемещения концевой фрезы а) черновом фрезеровании впадины, б) при чистовом фрезеровании, в) при обработке дна впадины зубчатого колеса.

Промежуточным вариантом между рассмотренными выше вариантами фрезерования (модульной фрезой и обработкой сферической концевой фрезой) является, например, предложение фирмы Sandvik Coromant в виде «запатентованного процесса InvoMilling» [2] (рисунок 2).

Этот процесс, может по длительности обработки может конкурировать с фрезерованием зубчатых венцов модульными фрезами. Следует отметить, что хотя это решение и является готовым и универсальным решением, стоимость корпуса фрезы и быстросменных режущих пластин превышает стоимость изготовления не только червячной, но и модульной фрезы. Ее высокая цена компенсируется универсальностью обработки зубчатых колес различного модуля одним и тем же инструментом. Кроме необходимости покупки специального инструмента и пластин предприятие, внедряющее этот метод должно приобрести специализированный программный продукт этой фирмы. Кроме того для реализации этого метода обработки требуется 5-ти координатный фрезерный станок с ЧПУ, стоимость которого максимальна среди линейки обрабатывающих центров с ЧПУ. Таким образом, такое решение может быть приемлемым для предприятий, обрабатывающих зубчатые колеса малыми сериями, только в условиях их работы со значительной рентабельностью.



Рисунок 2. Обработка зубьев цилиндрического зубчатого колеса специальными фрезами Sandvik CoroMill 161 и CoroMill 162 [2].

В производственных условиях работа с перечисленными выше CAD, CAM системами реализуются различными производственными службами предприятия. Математическую модель создается конструктором по зубчатым передачам в CAD системе, далее он пересылает ее в отдел проектирования

управляющих программ станков с ЧПУ, в котором уже другой специалист решает каким образом обработать венец и осуществляет настройку того или иного варианта эквидистантной обработки математической модели в САМ системе. Затем в зависимости от модели обрабатывающего центра он генерирует текст управляющей программы и передает ее в цех на обработку. При изменении конструктивных параметров венцов колес при отработке конструкции изделия, или возникающих отклонениях в процессе изготовления зубчатых колес передача информации из подразделения в подразделение может приводить к ошибкам при проектировании, увеличению длительности цикла прохождения информации.

Снизить количество ошибок, и ускорить процесс передачи информации из одной службы к другой можно путем передачи функций разработки программы для станка с ЧПУ конструктору по зубчатым передачам. Для этого необходим такой программный продукт, который позволяет сгенерировать управляющую программу из одного окна, в котором указываются необходимые конструктивные данные зубчатого венца колеса и данные процесса обработки колеса на станке с ЧПУ.

Для многих предприятий наиболее приемлемым является вариант обработки зубчатых венцов на 4-х координатном обрабатывающем центре. Для станка с 4-мя управляемыми координатами для обработки косозубых цилиндрических колес режущим инструментом может быть только концевая фреза. Для снижения трудоемкости обработки основной припуск из впадин удаляется фрезой максимально возможного диаметра. Поскольку профиль зубчатой передачи образован эвольвентой, образованной точкой прямой, называемой линией зацепления, перекатываемой по основной окружности, то боковая поверхность может быть обработана концевой фрезой, ось вращения которой перпендикулярна линии зацепления, а формообразующая кромка находится на боковой поверхности зуба (рисунок 3 б, в).



а) Рисунок 3. Обработка зубчатого венца цилиндрического колеса. а) получистовое фрезерование, б) фрезерование левой боковой поверхности впадины, в) фрезерование правой боковой поверхности впадины.

Разработан программный продукт, входными данными которого являются: параметры зубчатого колеса, параметры инструмента, параметры перехода – длина врезания и перебега инструмента, безопасная величина подъема инструмента, а также параметры процесса обработки – скорость резания и величина подачи инструмента. На выходе продукта – текст

управляющей программы с ЧПУ. Программа рассчитана на ее использование конструктором по зубчатым передачам. Апробация методики выполнена на 4-х осевом фрезерном станке с ЧПУ при обработке цилиндрического косозубого колеса из алюминиевого сплава (рисунок 3). Результаты измерений обработанного зубчатого колеса показали приемлемые отклонения реального профиля боковой поверхности зубчатого колеса от теоретического.

В настоящее время программный продукт и технология обработки концевым инструментом зубчатых колес внедряется на экспериментальном участке изготовления зубчатых валов и колес ТЦ ПАО «КамАЗ».

Литература:

1. Кравченко К. Разработка в САМ-системе PowerMILL управляющей программы для обработки спирального конического зубчатого колеса на пятиосевом станке с ЧПУ / САПР и графика № 8 2012 г. с. 80-83
2. InvoMilling Революция в обработке проямозубых и косозубых зубчатых колес. / Sandvik Coromant Россия Рекламные материалы. с. 8

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО,  
ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО И ИНДИВИДУАЛЬНОГО  
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Сафин Т.Р., Конахина И.А., Хамидуллина Г.Р.

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
420008 г. Казань, ул. Кремлевская, 18

**Аннотация:** Рассматриваются методы совершенствования котельных установок для систем централизованного, децентрализованного и индивидуального теплоснабжения. Анализ эффективности мероприятий проводится на основе показателей технико-экономической эффективности, экономии топлива и иных видов энергетических ресурсов.

**Abstract:** Methods of improvement of boiler installations for systems of the centralized, decentralized and individual heat supply are considered. The analysis of actions efficiency is carried out on the basis of technical and economic efficiency indicators, fuel and other types of energy resources economy.

**Ключевые слова:** энергосбережение, котельная установка, эффективность

Котельные установки в нашей стране используются в качестве источников тепловой энергии для обеспечения нагрузок отопления, вентиляции, горячего водоснабжения. Чаще всего такой источник предназначен для обеспечения теплом различных групп потребителей, распределенных на больших расстояниях и объединенных посредством протяженных тепловых