

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ГЛОБОИДНЫХ ЧЕРВЯКОВ
НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ****Ковалева Т. А.**

Рассмотрены особенности методов обработки глобоидных червяков на зубофрезерных станках. Указаны присутствующие недостатки в этих методах обработки. Предложен новый подход к автоматизации технологии нарезки глобоидных червяков с использованием токарных станков с ЧПУ. Проиллюстрирован пример модели обрабатывающего центра для реализации предложенной технологии обработки глобоидного червяка. Представлен расчет опорных точек движения инструмента. Отмечены достоинства предложенного варианта обработки глобоидных червяков, благодаря которым получен экономический эффект.

Розглянуті особливості засобів обробки глобоїдних черв'яків на зубофрезерувальних верстатах. Вказані присутні недоліки в цих методах обробки. Запропонований новий підхід до автоматизації технології нарізки глобоїдних черв'яків з використанням токарних верстатів з ЧПК. Проілюстрований приклад моделі оброблювального центру для реалізації запропонованої технології обробки глобоїдного черв'яка. Представлений розрахунок опорних точок руху інструменту. Відмічені переваги запропонованого варіанту обробки глобоїдних черв'яків, завдяки яким отриманий економічний ефект.

The peculiarities of methods of processing of augers on milling machine tools are considered. The lacks of previous technologies of cutting of augers are shown. The new automation approach of cutting of augers on lathes with CNC is offered. The example of a model of a cutting center for the offered technology is illustrated. The calculation of reference points of movement of the tool is presented. The advantages of the offered technology of processing augers, which give economic effect, are shown. It is offered to optimize the technological process of processing augers according to technical and economic criteria: maximum productivity and minimum time of processing.

Ковалева Т. А.

ассистент кафедры ТиУП ДГМА
tiup@dgma.donetsk.ua

УДК 621.9.06- 529

Ковалева Т. А.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ГЛОБОИДНЫХ ЧЕРВЯКОВ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

Современное машиностроительное производство выживает в условиях рыночных отношений, благодаря своей способности обеспечить конкурентные преимущества продукции. Это происходит потому, что оно способно удовлетворить два противоречивых требования рынка: с одной стороны – сокращение сроков подготовки и выпуска, а также серийности продукции, а с другой – снижение трудоёмкости изготовления и стоимости при высоком качестве изделий.

Чтобы удовлетворить этим требованиям, необходимо чтобы производство обладало рядом определённых свойств:

1. Гибкость и маневренность, то есть способность быстро перестраиваться на выпуск новой продукции. При этом предусматривается использование универсального оборудования и унифицированной оснастки, что позволит отрабатывать заранее планируемые ситуации, быстро переходить на изготовление новой продукции.

2. Высокий технический уровень и инженерную подготовку производства, включая компьютерную поддержку, что позволит выпускать изделия высокого качества, большой надёжности и ресурса.

3. Экономичность, обеспечивающую приемлемую для рынка цену продукции и минимальные затраты на её изготовление [1].

Типовыми деталями в машиностроительном производстве считаются валы и зубчатые колеса. Пространственные передачи с зацеплением, в том числе червячные глобоидные передачи широко используются в большинстве современных машин и механизмов и при всём многообразии их конструктивного исполнения содержат сложные рабочие поверхности зацепления, которые требуют постоянной оптимизации технологии их изготовления.

От качества передач во многом зависят важнейшие показатели механизмов – работоспособность, надёжность, металлоёмкость, себестоимость и другие технические и технико-экономические характеристики [2].

Глобоидные червячные передачи обладают рядом преимуществ по сравнению с червячными передачами с архимедовыми червяками и другими видами передач. Их преимущества заключаются в компактности, плавности и бесшумности в работе [1]. Однако этот вид червяков чрезвычайно сложен для изготовления с технологической точки зрения и из-за этой причины заказчики продукции часто отказываются от их приобретения. Следует отметить, что технология их изготовления не изменилась за последние 60–70 лет. В то же время произошло бурное развитие и прогресс в области производства высокопроизводительного металлорежущего инструмента, современных multifunctionальных металлорежущих станков и вычислительной техники. Мощность вычислительных машин колоссально возросла за последние 20 лет. Появилось множество пакетов программного обеспечения для создания объёмных моделей твёрдых тел. Все эти вышеперечисленные факторы, позволяют осуществить прорыв в технологии производства глобоидных передач.

Целью работы является усовершенствование технологического процесса изготовления глобоидных червяков с использованием токарных станков с ЧПУ.

В задачах, решаемых с помощью оптимизации технологических процессов, вид критериев оптимизации может быть различным. Основные виды используемых критериев оптимизации объединяют в следующие группы:

– экономические критерии: минимальная технологическая себестоимость, наименьшие приведенные затраты, наибольшая прибыль, максимальная рентабельность, минимальный уровень отдельных видов затрат на производство (минимальные затраты по заработной плате, минимальные затраты на электрическую и другие виды энергии, на основные и вспомогательные материалы и другие статьи);

– технико-экономические критерии: максимальная производительность, наименьшее штучное, основное и вспомогательное время, минимальная станкочемкость изготовления изделия [3].

В данной работе предлагается оптимизация технологического процесса обработки глобоидного червяка по технико-экономическим критериям. Т. е. благодаря использованию токарных станков с ЧПУ увеличивается производительность обработки, уменьшается штучное и основное время.

Нарезание глобоидных червяков в условиях крупносерийного и массового производства осуществляется на специальных станках с применением сложных и дорогостоящих режущих инструментов – обкаточных резцов, многорезцовых головок и круговых протяжек. В условиях единичного производства нарезка осуществляется на универсальных зубофрезерных станках с помощью специальных резцов. Сложная конструкция этих инструментов, несовершенные методы их проектирования, высокая трудоемкость изготовления с применением уникального высокоточного оборудования резко снижают технологическую гибкость изготовления глобоидных червяков. Так, в единичном производстве, каждая новая конструкция глобоидной пары требует применения нового инструмента и конструкторско-технологической подготовки инструментального производства. Для достижения необходимой точности нарезки червяка на зубофрезерном станке необходима выверка установки детали и инструмента. Нарезаемый червяк должен быть точно установлен в шпинделе станка, при этом режущая кромка резца должна лежать в осевой плоскости червяка, совпадающей с плоскостью вращения резца. Центр глобоида червяка относительно оси вращения резцов устанавливается путем выверки размера C от центра глобоида до базового торца (рис. 1). Проверка отсутствия смещения кромок из осевой плоскости червяка и параллельности кромок плоскости вращения резцов производится при помощи штангеля высоты, снабженного индикатором, а смещение центра глобоида от оси вращения резцов – специальным шаблоном [4].

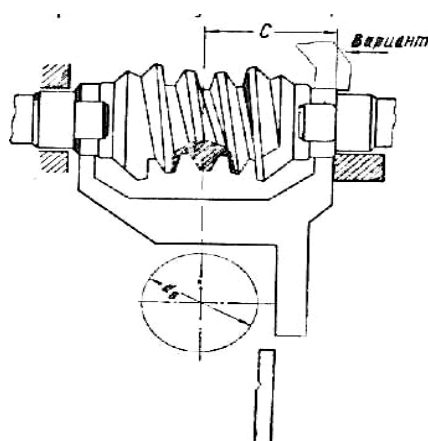


Рис. 1. Установка червяка по центру глобоида специальным шаблоном и щупом [4]

Для обеспечения точного профиля и шага, помимо применения станка необходимой точности, следует окончательную нарезку производить только круговой подачей на точно установленном межосевом расстоянии, равном номинальному или отличающемся от него на заданную величину, с целью получения модифицированной поверхности витков.

Установка резцов производится следующим образом (рис. 2). В центральное отверстие тумбы устанавливается оправка, диаметр выступающей части которой должен быть

равен диаметру профильной окружности d_0 витка червяка. Державка своим продолжением должна быть прижата к поверхности оправки, а базовая поверхность резца, являющаяся продолжением режущей кромки, должна быть прижата к опорной плоскости державки. Вылет (радиус) резца устанавливается по шаблону либо замером размера E .

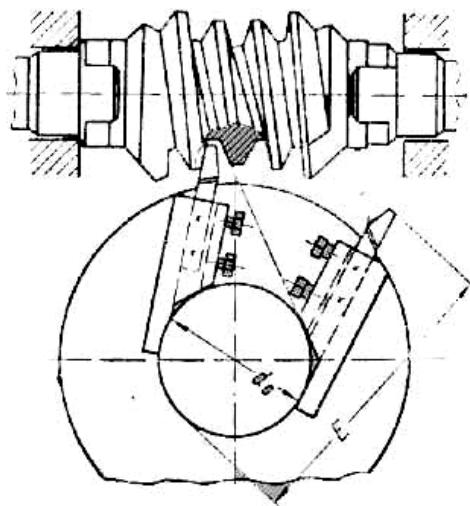


Рис. 2. Установка резцов при нарезке глобоидного червяка одним резцом [4]

Таким образом, несмотря на то, что процессы металлообработки постоянно совершенствуются, процесс обработки глобоидных червяков за последний более чем полувековой интервал времени не претерпел существенного изменения. Очевидными минусами данной технологии является следующее:

1. Необходимость изготовления специального инструмента. Инструмент имеет сложную геометрическую форму, для его проектирования привлекаются специалисты конструктора высокой квалификации. Для его изготовления задействуется инструментальное производство. Это добавляет нагрузку на себестоимость (материал инструмента, труд станочников и заточников высокой квалификации). Но, пожалуй, главным минусом данного пункта является то, что инструмент в условиях наших предприятий (в частности, например, ПАО «НКМЗ», г. Краматорск) изготавливается из быстрорежущей стали, что совершенно не соответствует требованиям нынешнего времени, так как быстрорез более чем в 3 раза уступает по производительности твёрдому сплаву.

2. Нарезка ручьёв осуществляется на уникальных станках, разработанных специально для данной продукции, и при циклическом исчезновении спроса на данный специфический вид продукции оборудование неминуемо простаивает. Другой конструктивной особенностью этих станков является то, что траектория движения резца повторяет окружность зубчатого колеса и, соответственно, более трёх четвертей хода на рабочей подаче «режет воздух». Также следует отметить, что обработку на данных станках может вести только высококвалифицированный станочник с высоким разрядом.

3. В глобоидных червяках присутствуют так называемые завалы, которые представляют собой утончение витка к краям глобоида. Завалы обрабатываются на этих специальных станках отдельно, при этом станок перенастраивается на другое межосевое расстояние (в технических требованиях чертежа оно называется станочное межосевое расстояние), тогда как при обработке на токарном станке с ЧПУ по управляющей программе завалы получаются автоматически.

В настоящее время существует большое количество металлорежущих многоосевых обрабатывающих центров с ЧПУ производства различных фирм, программные и аппаратные возможности которых весьма широки. Металлорежущие станки с ЧПУ обеспечивают авто-

матизацию процесса обработки детали, быструю перенастраиваемость оборудования, возможность реализации сложных пространственных перемещений инструмента, концентрацию технологических переходов обработки. Благодаря повышенной жесткости технологической системы возможно также существенное повышение режимов резания [5].

В одном обрабатывающем центре присутствует точение, фрезерная обработка, сверление, нарезка резьбы и другие функции. Конкретным примером может служить токарный обрабатывающий центр HyperTurn 690 производства фирмы EMCO (Австрия), оснащённый программным обеспечением Sinumerik 840D. В данном станке есть 5 аппаратных осей (рис. 3) – 3 линейных X , Y , Z (Z – вдоль оси вращения, X и Y взаимоперпендикулярны и перпендикулярны оси Z) и 2 поворотных – C и B (C позволяет позиционировать и интерполировать положение шпинделя от 0 до 360°, B поворачивает угловую головку в диапазоне от $-104,5$ градуса до $+104,5$ градуса).

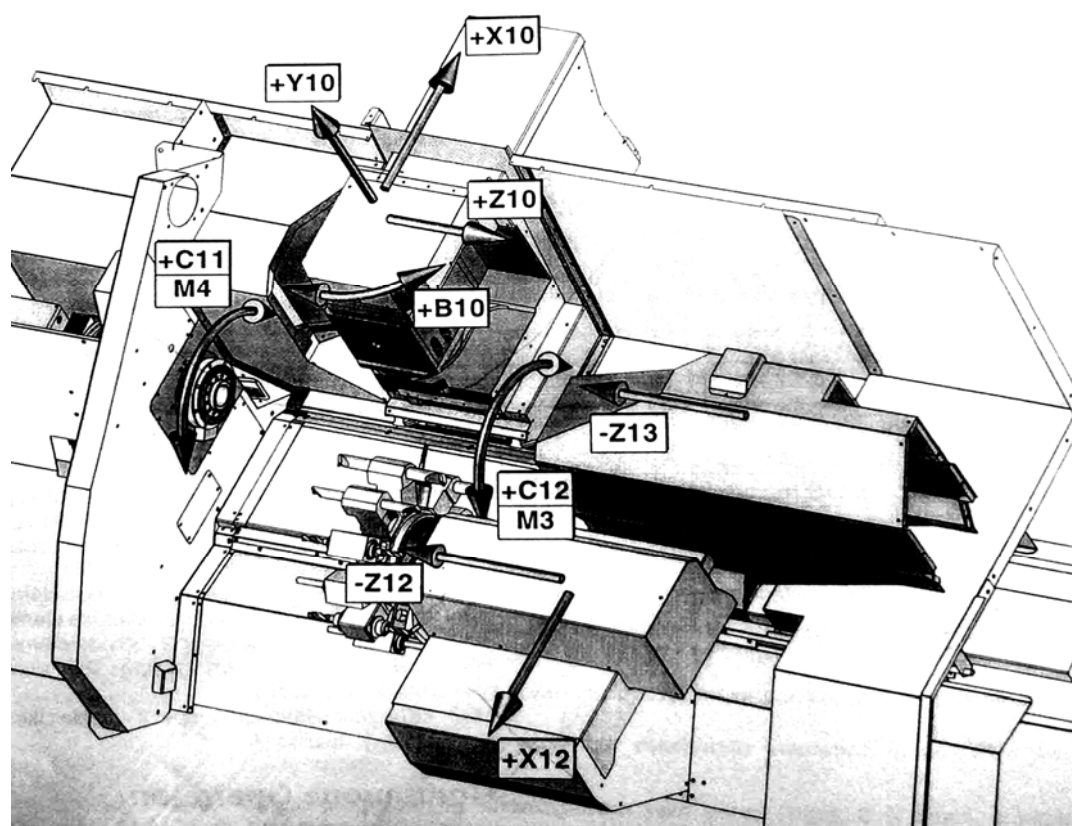


Рис. 3. Конфигурация осей обрабатывающего центра HyperTurn 690 [7]

Данная конфигурация вполне позволяет осуществить нарезку витков глобоидного червяка, причём возможно даже 2 варианта токарной обработки: без участия поворотной оси головки токарным резцом отрезного типа с круглой сменной твердосплавной пластиной и с участием поворотной оси головки токарным резцом с прямоугольной пластиной. Ещё одной проблемой, возникающей при нарезке витков глобоидного червяка, является переменный угол подъёма витка, который, кроме того, что может существенно меняться от вершины к впадине, но ещё и изменяется вдоль линии глобоида, так как в каждой последующей точке глобоида диаметр всей детали (следовательно, и длина окружности) уже не такой, как в точке предыдущей. Как следствие этого возможно затирание державки резца о металл профиля витка. Однако и эта проблема устранима благодаря аппаратным и программным возможностям станка – сам резец может позиционироваться в головке на различные углы. Интерполирование поворотной оси шпинделя обеспечивает попадание резца в виток при каждом новом резе.

Программное обеспечение Sinumerik 840D позволяет создавать параметрические управляющие программы с циклами однотипных движений. При данном типе обработки получается трёхкоординатное пространственное движение без поворотной оси головки (круговая интерполяция по осям X и Z вдоль линии глобоида и интерполяция положения главного шпинделя станка), либо четырёхкоординатное пространственное движение с поворотной осью головки (круговая интерполяция по осям X и Z вдоль линии глобоида с интерполируемым поворотом оси головки в любой точке перпендикулярно касательной глобоиды и интерполяция положения главного шпинделя станка).

В параметрах управляющей программы сразу задаются параметры станочного межосевого расстояния и количество зубьев производящего колеса, а не параметры расчётного межосевого расстояния и не число зубьев рабочего колеса. Поэтому инструмент движется пространственно таким образом, что завалы (утончение витка) делаются сразу (рис. 4). При обработке на зубофрезерном станке это отдельная операция.

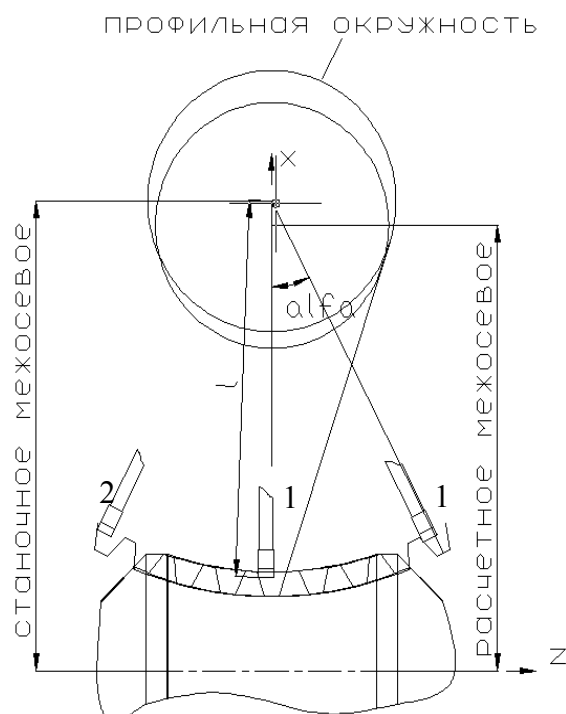


Рис. 4. Схема алгоритма обработки витков глобоидного червяка на ОЦ HyperTurn 690

Алгоритм расчета опорных точек:

1. Расчет ведем по впадине в осевом сечении, которая находится в центре глобоида. Одна из текущих точек для расчета – точка 1a (рис. 4) с координатами $[Z_{1a}; X_{1a}]$.
2. Определяем пространственный угол точки 1a относительно центра станочной профильной окружности:

$$\beta_{1a} = \arctg 2(X_{1a} - X_{cm.m.}, Z_{1a} - Z_{cm.m.})$$

и длину отрезка от станочного межосевого центра до точки 1a:

$$l = \sqrt{(X_{1a} - X_{cm.m.})^2 + (Z_{1a} - Z_{cm.m.})^2}.$$

3. Определяем координаты точки 1 (рис. 4):

$$Z_1 = l \cdot \cos(\beta_{1a} + \alpha),$$

где α – начальный угол.

$$X_1 = l \cdot \sin(\beta_{1a} + \alpha).$$

Угол поворота поворотной головки оси $B = \alpha$.

4. Определяем координаты точки 2 (рис. 4):

$$Z_2 = l \cdot \cos(\beta_{1a} - \alpha),$$

где α – начальный угол.

$$X_2 = l \cdot \sin(\beta_{1a} - \alpha).$$

Угол поворота поворотной головки оси $B = -\alpha$.

Следует также отметить, что современные пакеты программ для твердотельного моделирования позволяют создать пространственную твердотельную модель глобоидного червяка. А значит при применении CAD CAM систем для этой модели возможно создание управляющих программ для обработки витков фрезерованием грубо концевыми фрезами и чистовой обкатки сферическими фрезами со сменными твердосплавными пластинами.

ВЫВОДЫ

Рассмотрены особенности методов обработки глобоидных червяков на зубофрезерных станках. Указаны присутствующие недостатки в этих методах обработки. Предложен новый подход к автоматизации технологии нарезки глобоидных червяков с использованием токарных станков с ЧПУ. Проиллюстрирован пример модели обрабатывающего центра для реализации предложенной технологии обработки глобоидного червяка. Представлен расчет опорных точек движения инструмента. Отмечены достоинства предложенного варианта обработки глобоидных червяков, благодаря которым получен экономический эффект, достигаемый за счёт сокращения расходов на технологическую подготовку производства – отсутствует стадия проектирования и изготовления специального инструмента; сокращается машинное время обработки детали – отсутствуют холостые ходы инструмента, за счет этого производительность обработки возрастает в 4 раза и в 3 раза за счёт высокой производительности твердосплавных пластин.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврилов А. Н. Геометрическое и компьютерное моделирование формообразования и контроля рабочих поверхностей глобоидных червяков: автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.01.01 / А. Н. Гаврилов. – Н. Новгород, 2005. – 20 с.
2. Верховский А. В. Геометрическое моделирование при анализе и синтезе червячных передач общего типа: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора техн. наук: 05.02.18 / А. В. Верховский. – Москва, 2000. – 46 с.
3. Ковалевский С. В. Методы структуризации технологических процессов механической обработки деталей тяжелого машиностроения / С. В. Ковалевский, Е. В. Мишура // *Захист металургійних машин від поломки: збірник наукових праць*. – Маріуполь, 2009. – Випуск 11. – С. 220–223.
4. Производство зубчатых колес. Справочник / Под. ред. Б. А. Тайца. – М.: Машиностроение, 1975. – 708 с.
5. Карпуть В. Е. Эффективное использование станков с ЧПУ / В. Е. Карпуть; за заг. ред. Н. І. Грабченка // *Сучасні технології у машинобудуванні: збірник наукових статей*. – Харків: НТУ «ХПИ», 2006. – Том 2. – 488 с.
6. Кашаев А. М. Разработка новой концепции зубообработки и исследование технологических возможностей её реализации в процессе зубофрезерования червячных колес при ремонте судовых механизмов: автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.08.04 / А. М. Кашаев. – Владивосток, 2006. – 15 с.
7. Machine description Hyperturn 690. Ref. – Nr/ EN4062 Edition E 2005-7 EMCO Mair Ges.m.b.H. P. O. Box131 / A-5400 Hallein – Taxach/ Austria.

Статья поступила в редакцию 31.10.2011 г.