

### Выводы

1. Разработанный модуль для выполнения виртуального эксперимента по увеличению пространственной точности станка позволяет еще на стадии проектирования тех. процесса понять возможности повышения качества обработки на конкретном станке.
2. Результаты экспериментов показали, что современное программное обеспечение не в полной мере позволяет выполнить адекватный расчет технологической системы.
3. Разработанная математика позволяет увеличить точность расчетов станка на собственные и вынужденные колебания.

### Список литературы

1. Анкин А.В. Кузьминский Д.Л. Разработка программного обеспечения для расчета пространственной размерной цепи. // Известия МГТУ «МАМИ» №2, 2011, С. 106-110.
2. Максимов Ю.В., Порхунов С.Г., Кузьминский Д.Л. Особенности расчета и оптимизации сварной станины для уникальных станков. // Известия МГТУ «МАМИ» №2(14), 2012, С. 98-104.
3. Порхунов С.Г., Кузьминский Д.Л. Solid Works как основа для проектирования. САПР и графика, 2011, №11 ноябрь, С. 97-99.
4. Крылов О.В. Метод конечных элементов и его применение в инженерных расчетах. М. 2001 г.
5. Иванников С.Н., Михайлов В.А., Мокринская А.Ю. Определение характеристик режущего инструмента методом конечных элементов: Известия МГТУ «МАМИ», 2010, №1(9), с. 132-135.

### Современные тенденции развития технологии обкатного зуботочения

д.т.н. Калашников А.С., к.т.н. Моргунов Ю.А., к.т.н. Калашников П.А.  
Университет машиностроения  
8-916-3768356, morgunov@mami.ru

*Анотация.* Рассмотрены кинематика обкатного зуботочения, применяемые режущие инструменты и режимы резания. Исследованы конструкции режущего инструмента: цельного и сборного со вставными острозаточенными резцами из твёрдого сплава. Приведены особенности конструкции станка для обкатного зуботочения.

*Ключевые слова.* Обкатное зуботочение, винтовая зубчатая передача, стойкость режущего инструмента, точность зубьев, острозаточенные резцы

Обкатное зуботочение – метод непрерывного нарезания зубьев цилиндрических колёс – известен уже более 100 лет (патент Германии 1910 г.). Он базируется на комбинации движений, характерных для обкатных процессов зубофрезерования и зубодолбления, и позволяет изготавливать цилиндрические зубчатые колёса с внешним и внутренним зацеплением. При этом наиболее часто обкатное зуботочение применяют для обработки зубчатых колёс внутреннего зацепления.

В основу обкатного зуботочения положена винтовая зубчатая передача, которую образует зубчатое колесо 1 и инструмент 2 в форме зубчатого долбяка (рисунок 1). Благодаря углам наклона колеса  $\beta_2$  и долбяка  $\beta_0$  образуется угол скрещивания осей  $\Sigma = \beta_2 + \beta_0$ . При обработке цилиндрических зубчатых колёс с внутренним зацеплением  $\Sigma = \pm 25 \dots 35^\circ$ .

В процессе резания при взаимном круговом движении инструмента  $V_0$  и заготовки  $V_2$ , а также под действием осевого движения подачи инструмента  $D_{so}$  каждая режущая кромка долбяка контактирует с боковыми поверхностями зубьев в различных точках по высоте и длине. Так как контакт инструмента и заготовки носит кратковременный характер, то процесс резания проходит с низким теплообразованием даже при высоких угловых скоростях.

При зуботочении передний угол может изменяться на входящей и выходящей стороне

зуба долбяка от 0 до  $-50^\circ$ , что приводит к увеличению составляющих силы резания и требует больших задних углов по вершине и по боковой режущей кромке ( $\alpha_6 = 12...15^\circ$ ), а также специальной заточки инструмента.

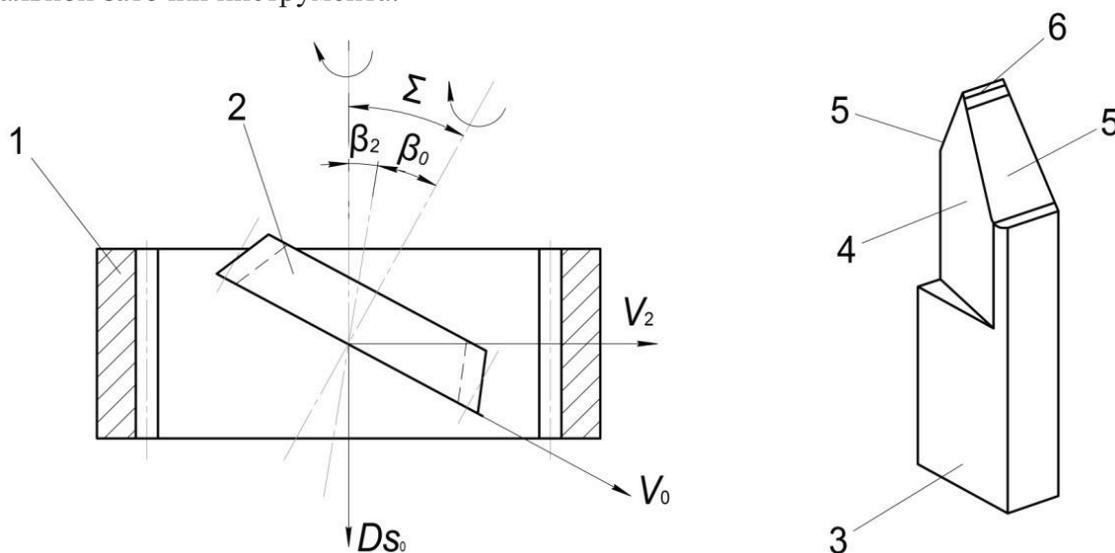


Рисунок 1. Схема обкатного зуботочения

Главным недостатком используемых до настоящего времени инструментов (долбяков цилиндрической и конической формы) является небольшой угол по вершине. Чем меньше угол по вершине зубьев долбяка, тем выше термическая нагрузка на режущую кромку и ниже срок службы инструмента. Как правило, критерием износа таких инструментов является износ по задней поверхности и реже трещины на поверхности зубьев, перпендикулярные режущей кромке.

При зуботочении инструментами из быстрорежущей стали стальных заготовок скорость резания 20...40 м/мин при числе оборотов инструментального шпинделя до 200 об/мин и осевой подаче 0,5...2,0 мм на оборот долбяка обеспечивают более высокую производительность по сравнению с зубофрезерованием и зубодолблением.

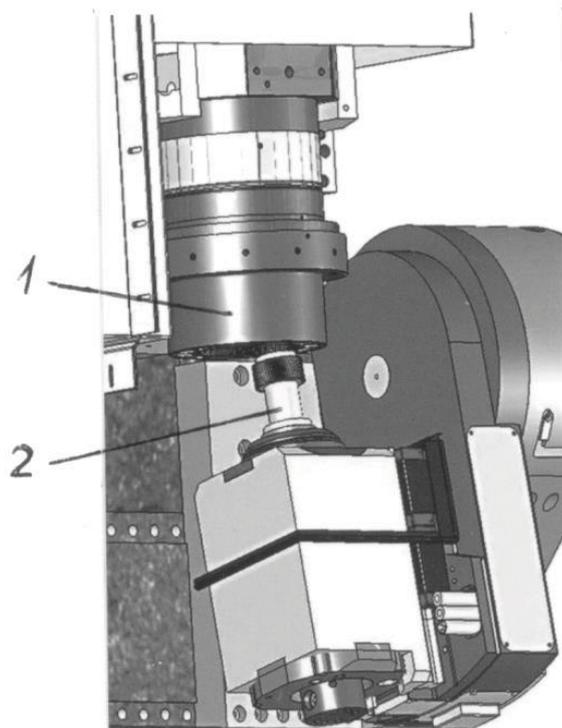
Зуботочением достигают достаточно высокую точность зубьев (7-9-я степень точности), однако низкая стойкость долбяков из быстрорежущей стали во многих случаях делает этот процесс экономически неприемлемым.

Проведённые исследования показали, что применение новых конструкций режущих инструментов с острозаточенными твёрдосплавными резцами 3 аналогично применяемым при нарезании конических колёс с криволинейными зубьями позволяет существенно повысить экономическую эффективность технологии обкатного зуботочения. У таких резцов передний угол 4 и задние углы по вершине 6 и боковым режущим кромкам 5 могут задаваться в широком диапазоне с учётом оптимизации процесса стружкообразования. После изготовления и заточки резцы устанавливаются в резцовую головку с высокой точностью (радиальное биение режущих кромок не более 0,0025 мм) и жёстко закрепляются двумя винтами.

Очень важно, что при изготовлении и периодической заточке форма боковых поверхностей резцов может оперативно изменяться с учётом требований последующей мехобработки или деформаций, получаемых при ХТО. С целью повышения стойкости резцовых головок резцы после каждой заточки покрывают износостойкими покрытиями методом физического осаждения (PVD). В качестве материала для износостойкого покрытия чаще всего используют карбонитрид титана (TiCN) и нитрид титана алюминия (TiAlN).

Для технологии обкатного зуботочения необходимы чрезвычайно точные комбинации движений одновременно по нескольким осям, поэтому требуются станки с высокодинамичными приводами прямого действия, термической стабильностью, а также статической и динамической жёсткостью. Хорошим решением для обкатного зуботочения является станок с вертикальным расположением шпинделя заготовки 1 (рисунок 2). Он обеспечивает хороший

отвод большого объема стружки из зоны резания и позволяет выполнять зуботочение без подачи СОЖ со скоростью резания 150...250 м/мин при частоте вращения инструментального шпинделя до 2000 мин<sup>-1</sup>.



**Рисунок 2. Станок для обкатного зуботочения вертикальной компоновки**

Внесённые изменения позволили значительно расширить область применения обкатного зуботочения на:

- зубчатые колёса планетарных механизмов и гидромеханических коробок с эвольвентным внутренним зацеплением;
- внутренние шлицевые зацепления;
- зубчатые колёса с внешним эвольвентным зацеплением и близко расположенными зубчатыми венцами, ограничивающими вход и выход червячной фрезы из резания.

#### **Литература**

1. Калашников А.С., Моргунов Ю.А., Калашников П.А. Современные методы обработки зубчатых колёс. Издательский дом «Спектр», Москва, 2012, 238 с.
2. Калашников А.С., Моргунов Ю.А., Калашников П.А. Современные методы зубошлифования цилиндрических колёс. Справочник. Инженерный журнал №5, 2010, 28-31с.
3. Саушкин Б.П., Шандров Б.В., Моргунов Ю.А. Перспективы развития и применения физико-химических методов и технологий в производстве двигателей. Журнал «Известия МГТУ «МАМИ», 2012, №2, стр.242...248.
4. Типалин С.А., Шпунькин Н.Ф., Никитин М.Ю., Типалина А.В. Экспериментальное исследование механических свойств демпфирующего материала / Известия Московского государственного технического университета МАМИ. 2010. №1. 166-170.
5. Калашников А.С., Моргунов Ю.А., Калашников П.А. «Обработка термически неупрочненных цилиндрических и конических зубчатых колёс». Приложение к журналу «Справочник. Инженерный журнал. №2 (191), М.: Машиностроение, 2013. С.1-24
6. Калашников А.С., Моргунов Ю.А., Калашников П.А. Повышение эффективности изготовления колёс цилиндрических зубчатых передач. Журнал «Автомобильная промышленность», 2010, №11, 26-28с.
7. Бавыкин О.Б. Оценка качества поверхности машиностроительных изделий на основе комплексного подхода с применением многомерной шкалы // Известия МГТУ «МАМИ». – 2012 г., - №1 (13). - С. 139-142.