

ТИ. Квалиметрические образы оцениваемого и базового ТИ сравнивают и делают соответствующие выводы: нуждается оцениваемое изделие в улучшении или нет.

2. В основе повышения качества технических изделий лежит улучшение конструктивных и технологических показателей деталей и сборочных единиц. Чем больше учитывается показателей, тем точнее и объективнее оценка качества детали или сборочной единицы.

#### Литература

3. Каазик Ю.Я. Математический словарь. М., изд. "Физматлит", 2007. - 335 с.
4. Аксарин П.Е. Чертежи для детализации. М., "Машиностроение", 1993. - 160 с.
5. Клепиков В.В., Бодров А.Н. Технология машиностроения. М., "Форум", 2008. -860 с.
6. Чупырин В.Н. и др. Технический контроль в машиностроении. Справочник проектировщика. М., "Машиностроение", 1987. - 510 с.

### **Сборные дисковые зуборезные фрезы и процесс механической обработки крупномодульных зубчатых колес на станках с ЧПУ**

Отт О.С.  
ОАО «ВНИИИНСТРУМЕНТ»

*Аннотация.* Предложена технология обработки крупномодульных зубчатых колес на многокоординатном оборудовании с ЧПУ. Рассмотрены возможности применения сборного дискового инструмента с прямолинейными режущими кромками для чистовой механической обработки эвольвентных профилей зубьев.

*Ключевые слова:* технология обработки крупномодульных зубчатых колес, многокоординатное оборудование с ЧПУ, сборный дисковый инструмент

Зубчатые колеса относят к числу наиболее сложных и трудоемких деталей в машиностроении, от качества которых в большой степени зависят эксплуатационные характеристики и надежность машин, приборов и механизмов, в которых они применяются. Зубчатые детали используются в тяжелом транспортном машиностроении, судостроении, атомном и энергетическом машиностроении, горнодобывающем и подъемно-транспортном машиностроении, а также в интенсивно развивающейся в последнее время ветроэнергетике.

Самыми распространенными среди зубчатых передач являются цилиндрические, поскольку методы их нарезания универсальные и применяются практически во всех типах производства. Характерными для тяжелого машиностроения можно считать цилиндрические зубчатые колеса диаметром 250 – 12 500 мм, имеющие модуль не менее 10 мм.

Для нарезания зубьев крупномодульных зубчатых деталей применяют пальцевые ( $m = 50-75$  мм), дисковые ( $m = 30-50$  мм) и червячные ( $m = 10-30$  мм) модульные фрезы на универсальном зуборезном оборудовании. Операции зубофрезерования занимают большую долю (около 70-80%) технологического времени, затрачиваемого на полную обработку детали, поэтому важно уделять повышенное внимание этому процессу.

Сегодня основным направлением развития металлообработки является использование многокоординатного оборудования с ЧПУ совместно с высокопроизводительным твердосплавным инструментом. Такое сочетание на операциях зубофрезерования позволит повысить производительность обработки, снизить себестоимость и улучшить качество обработки зубчатых колес.

Применение современных станков с ЧПУ позволяет резко увеличить скорости резания, что дает возможность эффективного использования зуборезного инструмента с режущей частью из твердого сплава. Кроме того, вследствие замены традиционных кинематических цепей станков электрическими связями и индивидуальными приводами, управляемыми ПК, появилась возможность электронного согласования движений инструмента и изделия. К то-

му же на таком оборудовании точности методов обкатки и единичного деления практически совпадают. Поэтому представляется возможным получить значительный эффект от внедрения разрабатываемых инновационных технологий и твердосплавных инструментов за счет возможности усложнения кинематики обработки при одновременном упрощении конструкции инструмента.

В работе предпринята попытка использовать сборный дисковый твердосплавный инструмент с прямолинейными режущими кромками для чистовой обработки крупномодульных зубчатых колес. Для проведения исследования процесса была разработана конструкция режущего инструмента и оснастки в системе трехмерного твердотельного моделирования Компас 3D (рисунок 1), а также изготовлены лабораторные образцы (рисунок 2).

В качестве исходных данных для построения модели применялись основные характеристики зубчатых изделий, совокупность которых с законом движения инструмента и заготовки позволила получить эвольвентный профиль.

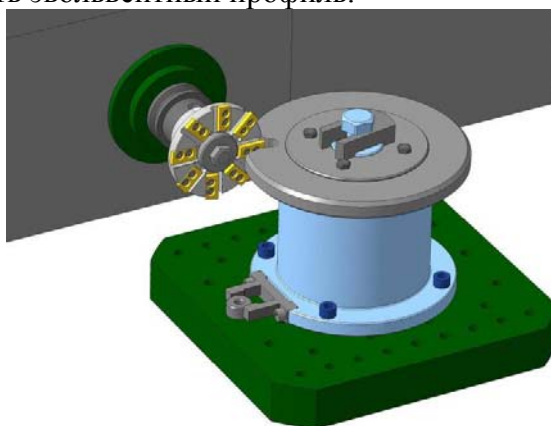


Рисунок 1 – Моделирование эксперимента в среде Компас 3D



Рисунок 2 – Лабораторный образец сборной дисковой фрезы и приспособления

## Раздел 2. Технология машиностроения и материалы.

Для проверки функционирования разработанной модели был поставлен физический эксперимент на зубчатом колесе  $m = 12$  мм,  $z = 12$ ,  $x = 0,3$  с шириной венца  $B = 15$  мм.

Эксперимент проводился на 5-координатном обрабатывающем центре с ЧПУ Willemín W-400 (рисунок 3). Обработка производилась со скоростью  $V = 120$  м/мин. Причем левые стороны зубьев обрабатывались при подаче  $S_z = 0,04$  мм/зуб, а правые –  $S_z = 0,8$  мм/зуб. Эксперимент показал адекватность разработанной модели и реального метода обработки на станке с ЧПУ.

Проведенные испытания подтвердили предположение о правомерности использования предложенного метода формообразования крупномодульных зубчатых колес. Наши наблюдения позволили выделить следующие преимущества предложенного инструмента:

- простота формы профиля инструмента позволяет эффективно использовать в качестве инструментального материала твердый сплав;
- конструкция инструмента упрощается и улучшаются его геометрические параметры;
- метод позволяет управлять погрешностью обработки, в отличие от стандартных зуборезных инструментов;
- расширяется диапазон обрабатываемых модулей одним инструментом;
- открывается возможность оптимизации схем срезания припуска и улучшения условий стружкоотвода.



**Рис. 3. Проведение эксперимента на обрабатывающем центре с ЧПУ**

Полученная шестерня была измерена на координатно-измерительной машине KLINGELNBERG P26 (рисунок 4) и получены следующие результаты (таблица 1):



**Рис. 4. Измерение погрешности профиля зубчатого колеса**

## Результаты измерений

Тип погрешности	Отклонения, полученные в результате измерений, мкм		Допустимые отклонения по ГОСТ 1643-81, мкм	
	$S_z = 0,04$ мм/зуб	$S_z = 0,8$ мм/зуб	6 ст.	8 ст.
Погрешность профиля зуба	15,3	31,8	16	32
Суммарная погрешность контактной линии	18,6	34,5	25	45
Отклонение шага	$\pm 8,3$	$\pm 22,1$	$\pm 18$	$\pm 36$
Накопленная погрешность шага	28,2	28,2	63	125

Результаты измерений позволяют сделать вывод о том, что при работе с подачей  $S_z = 0,04$  мм/зуб полученные отклонения соответствуют 6 степени точности по ГОСТ 1643-81, а при подаче  $S_z = 0,8$  мм/зуб – 8 степени точности.

Таким образом, теоретически доказана и экспериментально подтверждена возможность достижения 6 степени точности (ГОСТ 1643-81) зубчатых колес при чистовой обработке на станках с ЧПУ дисковым инструментом с прямолинейными режущими кромками.

### **Анализ методов исследования контактного трения, основанных на выдавливании деформируемого материала**

к.т.н. доц. Петров П.А., Воронков В.И., к.т.н. Петров М.А., Назарова О.А., Шайхулов М.В.  
МГТУ «МАМИ», ОАО «СМК»  
[p.petrov@mami.ru](mailto:p.petrov@mami.ru)

*Аннотация.* В статье приводятся результаты исследования контактного трения, возникающего в процессе выдавливания деформируемого материала.

*Ключевые слова:* обработка металлов давлением, выдавливание деформируемого материала, контактное трение

Эффективность применения процессов обработки металлов давлением при повышенных температурах в значительной степени зависит от правильного выбора технологических смазок, способствующих снижению показателя трения (коэффициента трения либо фактора трения) и уменьшению износа штампа. Подбор технологической смазки выполняется, как правило, по величине показателя трения. В качестве показателя трения рассматривается коэффициент трения либо фактор трения, что определяется уравнением, описывающим граничные контактные условия [1-3].

Среди наиболее доступных в реализации экспериментально-аналитических методов оценки контактного трения можно выделить следующие методы, основанные на выдавливании деформируемого материала: метод выдавливания двухстороннего стакана [4], метод комбинированного прямого и обратного выдавливания [5], метод выдавливания в полость неограниченной длины [6] и метод выдавливания Т-образного образца [7]. Предложенный в 2009 г. Джанг К. метод выдавливания Т-образного образца считается универсальным методом исследования и оценки контактного трения, учитывающим особенности течения материала на свободной поверхности инструмента и в закрытых формообразующих полостях инструмента [7].

Целью данной статьи является сравнительный анализ экспериментально-аналитических методов оценки показателя трения, основанных на выдавливании деформируемого материала, а также определение области их применения. В качестве критерия, выбранного для сравнения методов, выступает значение контактного давления на поверхности контакта дефор-