

На правах рукописи

ДВОЙНЕВ Алексей Геннадьевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ПРОТЯГИВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ
ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ КОНИЧЕСКИХ
КОЛЕС С КРУГОВЫМИ ЗУБЬЯМИ**

Специальность 05 03 01 – Технологии и оборудование механической
и физико-технической обработки
05 02 08 – Технология машиностроения

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Саратов 2007

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Саратовский государственный
технический университет»

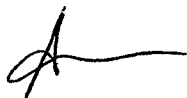
Научный руководитель	доктор технических наук, профессор Барац Яков Ильич
Официальные оппоненты	доктор технических наук, профессор Аникин Анатолий Афанасьевич кандидат технических наук Филимонов Евгений Васильевич
Ведущая организация	ОАО «Научно-исследовательский технологический институт» (НИТИ-Тесар)

Защита состоится «30» мая 2007 г в 12⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212 242 02 при ГОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет» по адресу 410054, Саратов, ул Политехническая, 77, ауд. 319

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ГОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет»

Автореферат разослан «27» апреля 2007 г

Ученый секретарь
диссертационного совета



А А Игнатьев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В технологии процесса протягивания конических колес с круговыми зубьями используется профильный метод обработки и сложный дорогостоящий зуборезный инструмент, поэтому совершенствование технологии зубопроотягивания и повышение производительности работы инструмента с обеспечением качества обработки представляет важную задачу, определяющую производительность и технико-экономические показатели обработки

В существующих зуборезных головках-протяжках с призматическими резами, которые используются в автомобильной промышленности, продолжительность работы инструмента определяется тем, сколько переточек допускает данная конструкция резца. Как правило, существующие конструкции призматических резцов позволяют при переточке по передней поверхности получить 15–17 переточек

В настоящей работе для повышения стойкости инструмента и увеличения количества переточек применены круглые резцы, которые позволяют в 3–5 раз увеличить число переточек по сравнению с существующими

Эффективность использования зуборезных головок-протяжек с круглыми резами определяется также снижением трудоемкости изготовления инструментов за счет технологичности конструкции

Цель работы – совершенствование технологии протягивания и стойкости инструмента при обработке полуобкатных конических колес с круговыми зубьями за счет использования новой прогрессивной схемы резания

Задачи исследования:

Анализ современного состояния процессов обработки конических колес с круговыми зубьями и современных конструкций используемого зуборезного инструмента

Разработка схемы формирования зуба методом протягивания и инструмента для ее реализации, анализ напряженно-деформированного состояния круглого резца в процессе резания

Разработка методики экспериментального исследования

Исследование сил резания, качества обработанной поверхности и износа круглых резцов

Разработка математической модели оптимальных режимов резания для практического использования инструмента в производстве

Методы и средства исследования. Теоретическая и методическая основа исследования базировалась на работах ведущих отечественных и зарубежных авторов по вопросам теории резания. Исследования проводились с использованием моделирования, являющегося результатом применения статистических методов постановки полного факторного

эксперимента. В экспериментах использовалась оригинальная конструкция зуборезного инструмента, а также оснастка для заточки круглых резцов с заданными параметрами переднего угла и угла наклона главной режущей кромки.

Научная новизна работы:

Разработаны модель рационального распределения припуска между круглыми резцами головки протяжки для обработки конических колес с круговыми зубьями и схема для ее реализации

Получены зависимости влияния переднего угла и угла наклона главной режущей кромки резца протяжки на основные технико-эксплуатационные характеристики зубопроотягивания

Разработана математическая модель зубопроотягивания для расчета оптимальных режимов резания, в качестве ограничений в которой использовались экспериментальные зависимости

Практическая ценность и реализация работы. Разработаны высокоэффективная схема зубопроотягивания и зуборезный инструмент, позволяющие повысить его эксплуатационные свойства, а именно количество переточек и период стойкости

Новая конструкция зуборезного инструмента отличается повышенной жесткостью и допускает переналадку с зуборезной протяжки на зуборезную головку путем соответствующей установки круглых резцов

Апробация работы. Основные положения докладывались и обсуждались на всероссийских научно-технических конференциях «Методы и средства измерений» (Нижний Новгород, 2000), «Современное оборудование и средства технологического оснащения» (Пенза, 2000), «Технический ВУЗ-наука, образование и производство в регионе» (Тольятти, 2001), «Прогрессивные техпроцессы в машиностроении» (Тольятти, 2002), «Современные научные и информационные технологии» (Саратов, 2003), «Современные тенденции развития автомобилестроения в России» (Тольятти, 2004) В полном объеме диссертационная работа докладывалась на кафедре «Технология и оборудование электрофизических и электрохимических методов обработки», а также на ежегодных научно-технических конференциях Энгельского технологического института Саратовского государственного технического университета.

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликованы 11 печатных работ и получен патент на изобретение, в том числе 1 статья в журнале из перечня ВАК.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, выводов, списка использованной литературы из 110 наименований и приложений. Работа изложена на 148 страницах машинописного текста, содержит 57 рисунков 36 таблиц

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель, задачи, научная новизна и практическая ценность работы, представлены основные и научные результаты, выносимые на защиту

В первой главе приведен обзор существующих зуборезных инструментов и методов, используемых для нарезания конических колес с круговыми зубьями

Большой вклад в исследование процесса нарезания конических колес с круговыми зубьями внесли О И Антонов, Н К Венедиктов, А Г Волчинский, Н А Горманюк, В И Дементьев, С Н Калашников, А С Калашников, Г И Коган, В Ю Лобанков, Г А Лопато, А С Насенков, К М Писманик, В.В. Погораздов, М М Пономарев, В И Приленский, М Г Сегаль, В Г Старовойтов, Б А Тайд, В П Черкашин и др.

Конструкция зуборезной головки для обработки конических зубчатых колес создавалась по аналогии с конструкцией торцевой фрезы, при этом разрешалось противоречие, состоящее в том, что, с одной стороны, желательно было предусмотреть максимальное число резцов, а с другой стороны – необходимо было обеспечить требуемую прочность и жесткость резца.

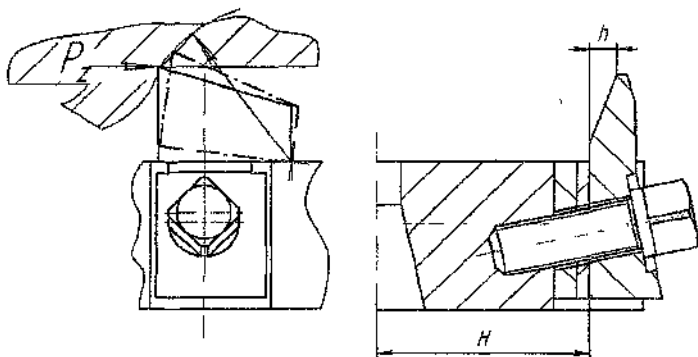


Рис 1 Схема деформации резцов зуборезной головки

В зуборезных головках протяжках, выполненных по ГОСТ 11904–66, определена оптимальная конструкция призматического резца, которая удовлетворяла требованиям прочности и жесткости. Однако условия эксплуатации такой зуборезной головки показали, что за счет зазоров (рис 1) между державкой резца и корпусом головки под действием ударной нагрузки резец поворачивается относительно опорной поверхности, при этом вершина резца, как правило, поднимается, внедряясь в обработанную поверхность. Такое перемещение вершины резца резко повышает трение на контактных поверхностях и суммарную силу, действующую в

направлении главного движения резания

Т к в зуборезной головке, как правило, используются затылованные резцы, особенностью которых являются чрезвычайно малые задние углы, то перемещение вершины резца может вызвать заклинивание инструмента. Это обстоятельство привело к тому, что появились конструкции инструментов с острозаточенными резцами, с большим задним углом, но они не обеспечивают необходимую точность профиля при переточке.

Далее конструкция развивалась в направлении повышения жесткости закрепления резцов, как это показано на рис 1. В этой схеме закрепления (головки конструкции Hardac) винт, которым закреплялся резец, располагался под углом 10° , а опорные заплечики у резца предусматривались с двух сторон, как это показано на рис 2.

Другой важный недостаток существующей конструкции, это сама технологичность конструкции, причем это касается как резцов, так и зуборезной головки в целом. Так, например, чтобы исключить радиальное биение, необходимо у всех резцов обеспечить достаточную точность размера h , а у корпуса выдержать с необходимой точностью размер H (рис 1).

Опыт показал, что исключить радиальные биения режущих кромок и так называемый «веер» резцов, необходимо было ввести радиальную регулировку резцов и специальные клинья.

Все это вместе увеличивало количество сопрягаемых поверхностей, что резко снижает жесткость инструмента в диаметральной плоскости зуборезной головки. А это значит, что, получив необходимую точность положения режущих кромок зуборезной головки путем регулировки с последующим закреплением, все это будет нарушено в процессе резания.

Все вышеуказанные недостатки могут быть устранены или значительно уменьшены, если в зуборезной головке предусмотреть круглые резцы.

Во-первых, под действием силы резания в направлении скорости главного движения деформации и перемещения режущих кромок резца будут происходить в направлении поворота его относительно оси. В этом случае перемещение режущих кромок будет происходить не в направлении обработанной поверхности, а от нее. С другой стороны, резко повышается жесткость резца в диаметральной плоскости зуборезной головки за счет меньшего вылета резца, отсутствие регулировки его клиньями. В такой конструкции минимальное радиальное биение обеспечивается специальным упором, в котором соосность посадочного отверстия и опорной поверхности для резцов легко достигается технологическими способами обработки.

На основании анализа существующих методов обработки конических колес с круговыми зубьями формулируются задачи исследования.

Во второй главе «Разработка схемы протягивания и конструкции зуборезной головки-протяжки» даются обоснование и геометрический расчет основных элементов инструмента обосновывается конструкция круглых резцов, их радиальное положение и условия закрепления

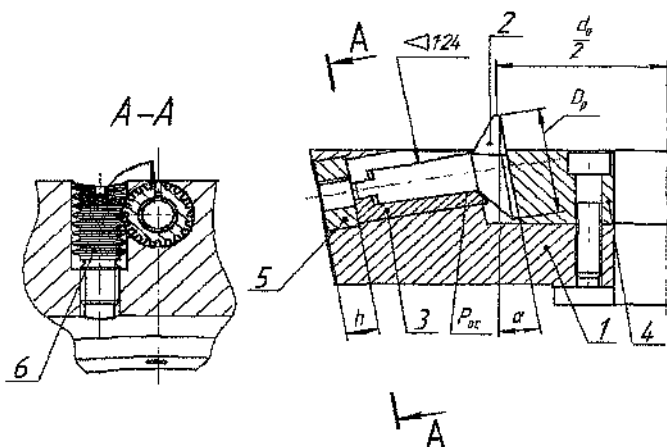


Рис 2 Конструкция зуборезной головки с круглыми резцами

Для размещения возможно большего количества резцов, сам резец 2 (рис 2) выполнен с плоской задней поверхностью, которая формирует выпуклую сторону зуба нарезаемого колеса, и соответственно с конической задней поверхностью, формирующей вогнутую сторону зуба нарезаемого колеса. Такой резец с режущими кромками в диаметральной плоскости зуборезной головки, дает нулевые значения задних углов. Однако при отклонении режущих кромок от диаметральной плоскости зуборезной головки-протяжки за счет установки угла наклона главной режущей кромки (угол λ) задние углы становятся отличными от нуля.

При такой конструкции резца, его радиальное положение достаточно точно обеспечивается специальным упором 4, базисуемая поверхность которого с достаточно высокой точностью может быть выполнена соосной с посадочным отверстием (рис 2).

Для установки угла λ путем поворота резца вокруг его оси используется механизм, показанный на рис 2, сечение А-А.

Схема рационального распределения припуска, снимаемого зубьями протяжки приведена на рис 3.

Особенностью данной конструкции является то, что подъем на зуб и размер среза обеспечиваются соответствующей установкой угла λ .

В этом случае из 10 резцов первый резец устанавливается на максимальный угол λ , его положение во впадине нарезаемого колеса показано позицией 1 (рис 3, б), а последний резец устанавливается с углом

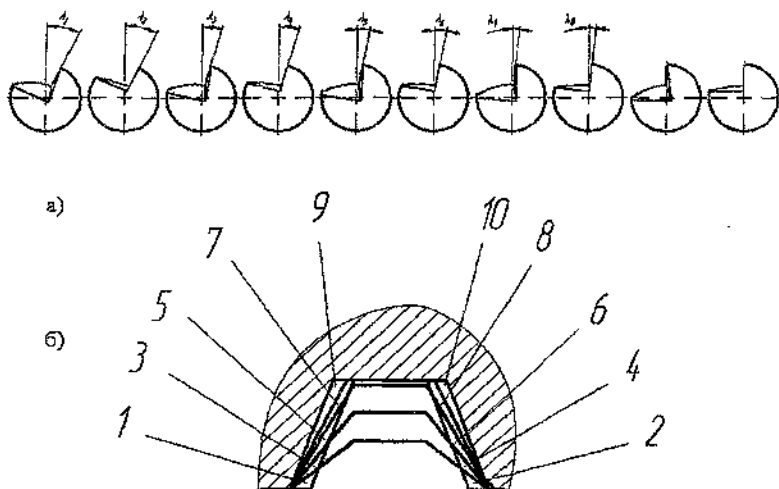


Рис 3 Схема протягивания зуборезными головками-протяжками с круглыми резами

а – схема изменения углов наклона главных режущих кромок резцов в головке-протяжке, б – схема снимаемого припуска головкой протяжки

$\lambda = 0$, и его положение во впадине колеса показано позицией 10

Окончательное конструктивное решение зуборезной головки-протяжки показано на рис 4

Для расчета поверхности, образуемой режущими кромками круглых резцов формирующими вогнутую и выпуклую стороны зуба колеса, разработана математическая модель, позволяющая определить координаты точек поверхности. При выводе уравнение поверхности примет вид

$$y = \sqrt{\left(\frac{(x_1 + (x_2 - x_1))(z - z_1)}{z_2 - z_1} \right)^2 + \left(\frac{(y_1 + (y_2 - y_1))(z - z_1)}{z_2 - z_1} \right)^2},$$

где $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$ – координаты прямой, определяющей пространственное положение режущей кромки [мм]

Далее его можно привести к каноническому уравнению однополосного гиперболоида вращения

$$\frac{x^2}{k^2} + \frac{y^2}{k^2} - \frac{(z+l)^2}{\left(\frac{k}{n}\right)^2} = 1$$

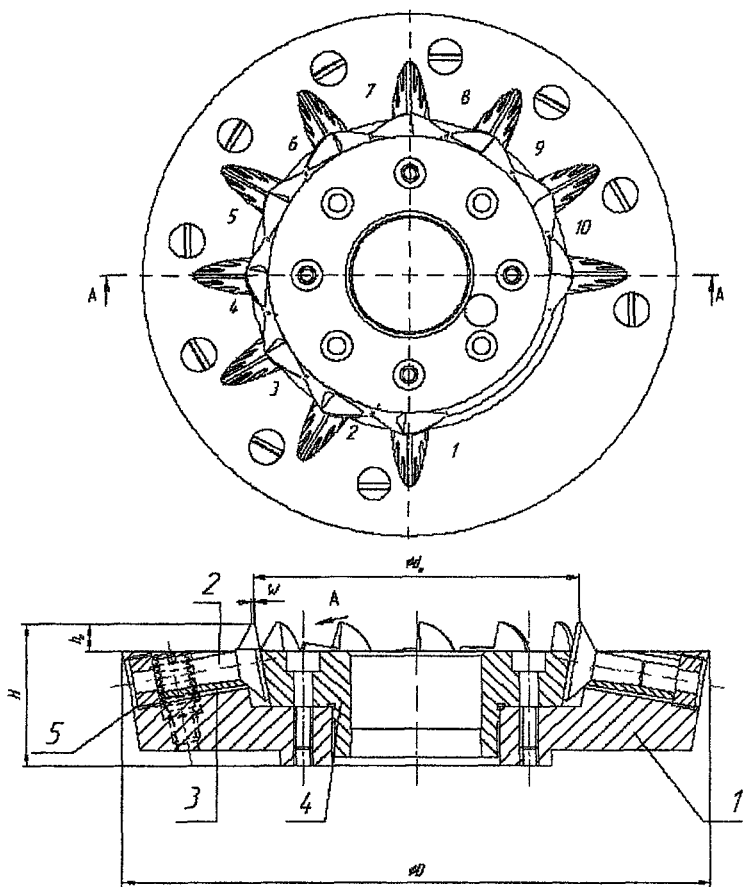


Рис 4 Общий вид зуборезной головки-протяжки с круглыми резами
1-корпус, 2-резец, 3-втулка, 4-базирующий кулак, 4-винт

Положение режущих кромок резцов в зуборезной головке-протяжке в зависимости от угла наклона главной режущей кромки, выбиралось из расчета постоянства размеров среза на каждый резец В табл 1 приведены значения угла λ , обеспечивающего равномерный срез для десяти круглых зубьев зуборезной головки-протяжки

Теоретически формирование внешнего и внутреннего профиля зуба должны осуществляться режущими кромками резца, расположенными в диаметральной плоскости головки В этом случае угол λ резца равен нулю и, соответственно, задние углы режущих резцов (угол α), также равны

нулю. Как будет показано ниже, зуборезная головка-протяжка с круглыми резцами допускает резание в случае, когда $\alpha = 0$. Это связано с тем, что возникающие силы резания отжимают резец от обработанной поверхности.

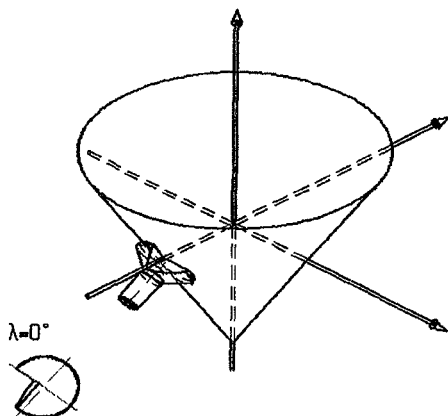


Рис 5 Формирование выпуклой стороны колеса круглым резцом с $\lambda=0$

Вместе с тем допускается угол λ в пределах 1° , погрешность профиля возникает при этом не более $0,005-0,01$ мм. В этом случае на выпуклой стороне зуба колеса формируется поверхность с отрицательной кривизной, а на вогнутой стороне зуба – поверхность с положительной кривизной относительно поверхности, формируемой резцом с углом $\lambda = 0$.

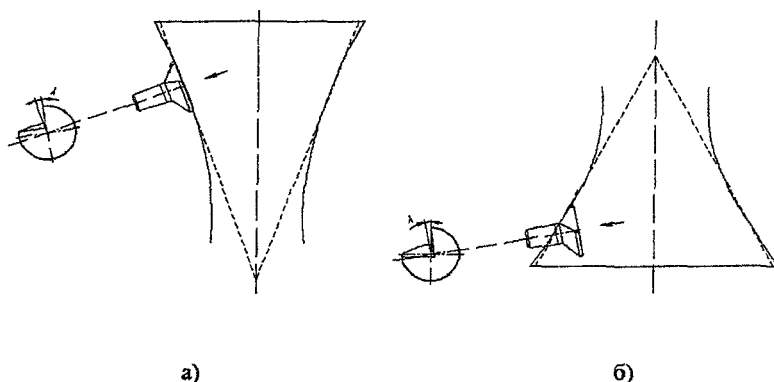


Рис 6 Формирование выпуклой (а) и вогнутой (б) сторон зуба обрабатываемого колеса круглым резцом с $\lambda \neq 0$

В третьей главе представлена методика экспериментального исследования, которая включает оборудование и аппаратуру,

используемые при исследовании, такие как осциллограф С8-2, профилограф-профилометр Г-43, тензостанция «Топаз-1А», фрезерный станок 6Н81, обоснование цели экспериментальных исследований, а также вопросы, связанные с планированием и обработкой результатов экспериментов

Таблица 1

Изменение углов наклона главных режущих кромок резцов протяжки

Номер резца	1	3	5	7	9
Угол λ внутренних резцов, (град)	28,201	22,500	15,159	0	0
Номер резца	2	4	6	8	10
Угол λ наружных резцов, (град)	22,500	18,442	13,131	0	0

Для экспериментов использовались в качестве образцов сталь 45, а инструмент был изготовлен из стали Р18.

В соответствии с методикой исследования планировалось проведение экспериментов для измерения шероховатости поверхности, сил резания, усадки стружки, износостойкости инструмента в зависимости от режимов и основных параметров обработки. Все эксперименты проводились по методике полного факторного эксперимента.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований в процессе зубонарезания конических колес с круговыми зубьями.

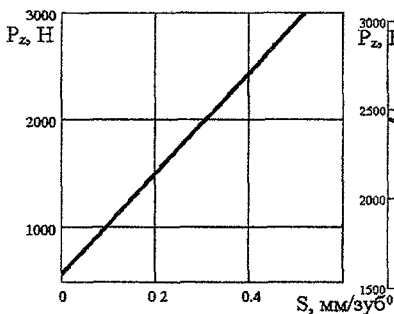


Рис 7 Зависимость силы P_z от величины подачи S при $\lambda = 0^\circ$, $\gamma = 0^\circ$

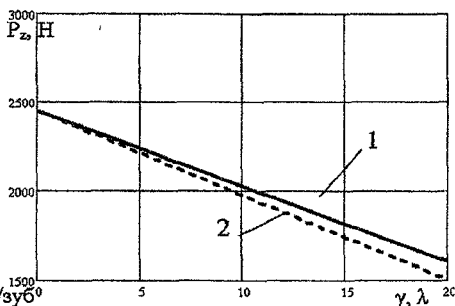


Рис 8 Зависимость сил резания P_z

- 1 – от переднего угла круглого резца γ при $\lambda = 0^\circ$ и $S = 0,05$ мм/зуб,
- 2 – от угла наклона главной режущей кромки λ при $\gamma = 0^\circ$ и $S = 0,05$ мм/зуб

Представлены результаты исследования тангенциальной составляющей силы резания, усадки стружки, шероховатости поверхности, износа инструмента в зависимости от подачи на зуб, переднего угла и угла наклона главной режущей кромки, которые использовались в качестве

ограничений при расчете оптимальных режимов резания

В результате ПФЭ 2^3 получено соотношение, которое определяет тангенциальную составляющую силы резания, в виде формулы

$$P_z = 470 + 39\,95\gamma + 28\,2\lambda + 39480S - 3\,172\gamma\lambda - 1504\lambda S - 1645\gamma S + 70\,5\gamma\lambda S \text{ [Н]}$$

Обработка результатов экспериментов показала, что все параметры процесса, как и их сочетания, имеют определенную значимость.

В экспериментальных зависимостях передний угол γ , угол наклона λ имеют размерность в угловых градусах, а подача на зуб S в мм/зуб

На рис 8 представлена зависимость силы резания P_z при подаче $S=0,05$ мм/зуб в зависимости от угла γ при $\lambda=0^\circ$ (прямая 1) и зависимость силы P_z от угла наклона главной режущей кромки λ при $\gamma=0^\circ$

Как следует из графиков, с увеличением этих параметров резко падает значение силы резания P_z . Так, например, среднее значение углов λ , принятое в протяжке равным 15° , сила резания снижается с 2500 до 1750 Н. Эти значения взяты для $\gamma=0^\circ$. Как видно из графиков, значение силы P_z дополнительно снижается при наличии угла γ .

С увеличением подачи сила резания возрастает примерно пропорционально площади среза

Зависимость усадки стружки k от основных параметров обработки (рис 9 и 10) примерно соответствует этой зависимости от сил резания. Однако с увеличением угла λ усадка стружки увеличивается, что может быть следствием неучета усадки по ширине или повышения пластичности с увеличением угла λ .

$$k = 1\,595 + 2\,216 \cdot 10^{-2} \gamma + 0\,232\lambda + 11\,676S - 1\,217 \cdot 10^{-2} \gamma\lambda - 2\,27\lambda S - 0\,781\gamma S + 0\,148\gamma\lambda S$$

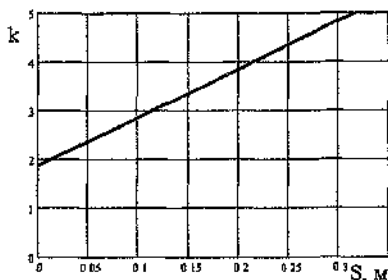


Рис 9 Зависимость усадки стружки k от величины подачи S при $\lambda=0^\circ$, $\gamma=0^\circ$

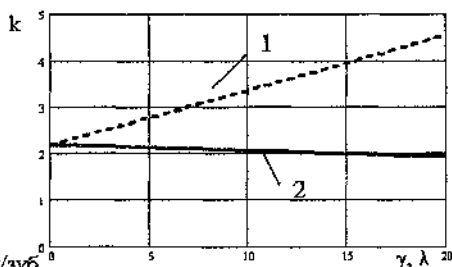


Рис 10 Зависимости усадки стружки k
1 – от переднего угла круглого реза γ при $\lambda=0^\circ$ и $S=0,05$ мм/зуб,
2 – от угла наклона главной режущей кромки λ при $\gamma=0^\circ$ и $S=0,05$ мм/зуб

Шероховатость поверхности определяется по экспериментальной формуле

$$Ra = 0\,965 - 6,75 \cdot 10^{-3} \gamma + 2\,5S, \text{ [мкм]},$$

где γ – угловые градусы, S мм/зуб

Графически эта зависимость показана на рис 11

Стойкость инструмента определялась как продолжительность резания в м до предельной величины износа (0,5 мм) на задней поверхности инструмента

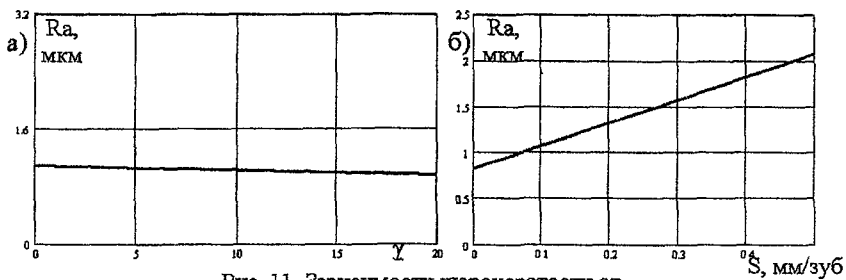


Рис 11 Зависимости шероховатости от

а – переднего угла γ при $S=0,05$ мм/зуб, б – подачи S при $\gamma=0^\circ$

Полный факторный эксперимент позволил получить соотношение

$$T = 54\,492\,337 + 2\,555\,7163\gamma + 0\,4881333\lambda + 1\,074417 \cdot 10^{-2} \gamma\lambda$$

При скорости резания 30 м/мин графически эта зависимость показана на рис 12

Полученные зависимости можно использовать как ограничения при определении оптимальных режимов резания.

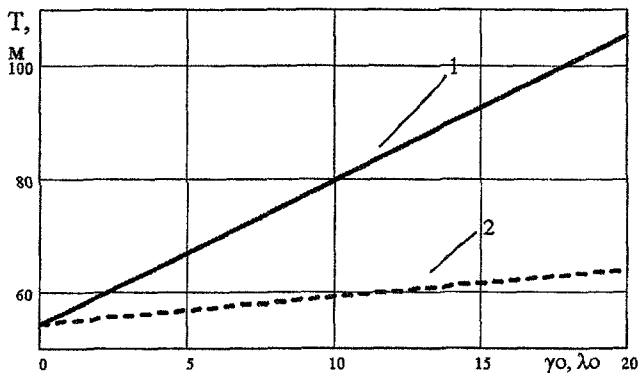


Рис 12 Зависимости стойкости инструмента T , м 1 – от переднего угла γ при $\lambda=0^\circ$, 2 – от угла наклона главной режущей кромки λ при $\gamma=0^\circ$

В пятой главе представлена реализация результатов исследования в практику производства гипоидных колес главной передачи автомобилей

Представлены рекомендации для проектирования основных узлов зуборезной головки-протяжки в целом, для рациональной эксплуатации инструмента Разработана модель для оптимизации и расчета режимов резания и использован «комплексный метод» (метод Бокса)

Таблица 2

Сравнение показателей стандартной головки и головки с круглыми резами

Наименование исследуемых факторов ($\gamma=20^\circ$, $\lambda=6^\circ$)	Зуборезная головка с призматическими резами	Зуборезная головка с круглыми резами
Шероховатость поверхности	Ra=1 2	Ra=1 08
Стойкость резцов в метрах пройденного пути (W=0,5 мм), м	32	110
Сила резания	S=0 05 мм	1950
P_n , Н	S=0 1 мм	2300
Усадка стружки	S=0 05 мм	2 11
	S=0 1 мм	1 85
		1358
		1659
		2,06
		2,07

Приведены расчеты для определения числа переточек реза и технико-экономического эффекта использования зуборезной головки-протяжки с круглыми резами. Для сравнения были выполнены отдельные эксперименты измерения силы резания зуборезной головкой с призматическими резами, результаты представлены в табл. 2. Сравнение этих результатов показывает, что применение в зуборезных головках круглых резцов позволяет снизить силы резания в среднем в 1,4 раза, а стойкость увеличивает в 3,5 раза. При этом наблюдается незначительное снижение величины шероховатости.

Таким образом

- выполненные исследования работоспособности зуборезной головки-протяжки показывают чрезвычайную надежность и высокую жесткость конструкции,
- разработанные программы для определения углов наклона главных режущих кромок и оптимальных режимов резания позволят резко сократить сроки проектирования инструмента и расчета режимов резания,
- конструкция головки с круглыми резами позволяет снизить силы резания и повысить качество обработки,
- зуборезная головка-протяжка с круглыми резами позволяет повысить в 3–4 раза стойкость резцов и увеличить в 5–6 раз число переточек.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Проведен анализ современного состояния процессов обработки конических колес с круговыми зубьями, современных конструкций используемого зуборезного инструмента и выявлены недостатки, связанные с конструкцией современного инструмента и существующих методов нарезания конических колес с круговыми зубьями. На основании результатов анализа была поставлена цель и сформулированы задачи исследования.

- 2 Разработана прогрессивная схема формирования зуба методом протягивания и инструмент для ее реализации и проведен анализ напряженно-деформированного состояния круглого резца в процессе резания, на базе которых составлена геометрическая модель движения режущих кромок круглых резцов
- 3 По разработанной методике проведены экспериментальные исследования
- 4 Исследованы силы резания, качество обработанной поверхности и износ круглых резцов, результаты которых приняты в качестве технических ограничений при расчете оптимальных режимов резания
- 5 Разработана математическая модель оптимального режима резания и даны практические рекомендации для использования нового технологического метода нарезания конических колес с круговыми зубьями в производстве

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

- 1 Двойнев А Г Результаты экспериментальных исследований сил резания в процессе зубообработки конических колес с круговыми зубьями резцовыми головками-протяжками с круглыми резцами / А Г Двойнев // Вестник Саратовского государственного технического университета 2007 № 1(23) Вып 3 С 29–32
- 2 Двойнев А Г Совершенствование отделочно-упрочняющей обработки рабочих поверхностей алмазным выглаживанием / А Г Двойнев, Ф Я Барац, С Г Александров // Автоматизация и современные технологии – 2007 – №4 – С 36-39
- 3 Двойнев А Г Исследование сил резания в процессе зубообработки конических колес с круговыми зубьями режущим инструментом с круглыми резцами / Я И Барац, А А Аксенов, А Г Двойнев // Методы и средства измерений материалы Всерос науч.-техн конф Нижний Новгород НГТУ, 2000 С 18–19
- 4 Двойнев А Г Перспективы использования резцовых головок-протяжек с круглыми резцами // Современное оборудование и средства технологического оснащения сб матер III Всерос науч-практ конф Пенза ПДЗ, 2000 С 41-42
- 5 Двойнев А Г Исследование процесса зубообработки конических колес с круговыми зубьями резцовыми головками-протяжками с круглыми резцами/ Я И Барац, А Г Двойнев, А А Аксенов // Технический ВУЗ-наука, образование и производство в регионе материалы Всерос науч-техн конф Ч 2 Тольятти ТолГУ, 2001 С 65-69
- 6 Двойнев А Г Исследование сил резания в процессе зубообработки конических колес с круговыми зубьями резцовыми головками-протяжками с круглыми резцами // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении межвуз науч сб Саратов СГТУ, 2001 С 78-80
- 7 Двойнев А Г Экспериментальное исследование износа круглых резцов в процессе зубообработки конических колес с круговыми зубьями зуборезными головками с круглыми резцами / А А Аксенов, А Г Двойнев, А Н Рудницкий // Прогрессивные техпроцессы в машиностроении труды Всерос конф с международным участием Тольятти ТолГУ, 2002 С 17-19
- 8 Двойнев А Г Особенности конструкций резцовой головки для обработки

- конических колес с круговыми зубьями / А А Аксенов, А Г Двойнев, А Н Рудницкий // Прогрессивные направления развития технологии машиностроения межвуз науч сб Саратов СГТУ, 2003 С64-66
- 9 Двойнев А Г Конструирование зуборезных головок с круглыми резцами, применяемых для обработки конических зубчатых колес с круговым зубом/ А Г Двойнев, А А Аксенов // Современные научные и информационные технологии матер науч-метод конф Саратов СГТУ, 2003 С 21-23
- 10 Патент РФ № 2217271 Зуборезная головка/Я И Барац, А Г Двойнев, А А Аксенов, Ф Я Барац // Изобретения Полезные модели официальный бюллетень.2003 –№33
- 11 Двойнев, А Г Конструирование и эксплуатация зуборезных головок с круглыми резцами / А Г Двойнев, А А Аксенов // Современные тенденции развития автомобилестроения в России сборник трудов Всерос науч-техн конф с междунар участием Тольятти ТолГУ, 2004 Т 4 С 280–285

Подписано в печать 25 04 07

Формат 60x84 1/16

Бум офсет Усл печ л 0,93(1,0)

Уч-изд л 09

Тираж 100 экз Заказ 158

Бесплатно

Саратовский государственный технический университет

410054, Саратов, Политехническая ул, 77

Отпечатано в РИЦ СГТУ 410054, Саратов, Политехническая ул, 77