

6
А-59

Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР

Тульский политехнический институт

Н.Т. АНАПЬЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ
И ШЕРОХОВАТОСТИ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ
ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПРИ ШЕВИНГОВАНИИ

(Специальность 05.170 - Инструментальное
производство)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тула - 1971

Министерство высшего и среднего специального образования
Р С Ф С Р

Тульский политехнический институт

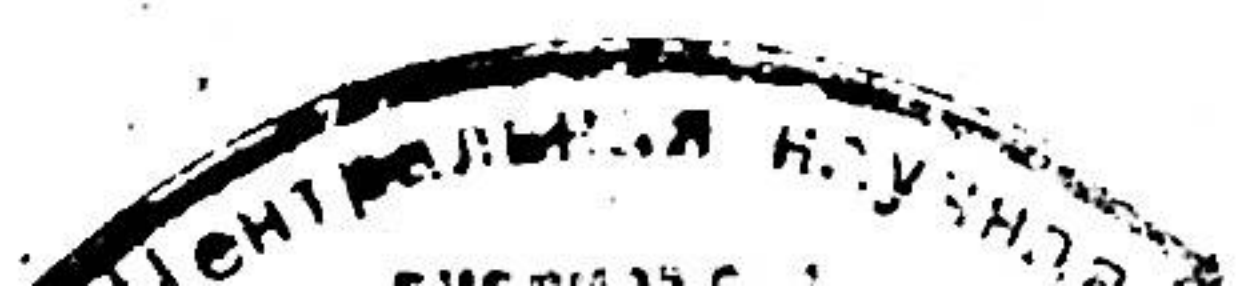
Н.Т.АНАНЬЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ
И ШЕРОХОВАТОСТИ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС
ПРИ ШЕВИНГОВАНИИ

(Специальность 05.170 - Инструментальное
производство)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тула - 1971



Работа выполнена в Тульском политехническом институте.

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор С.С.ПЕТРУХИН.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор И.А.КОГАНОВ;
кандидат технических наук
И.И.ОЛИКОВ.

Ведущее предприятие - Тульский машиностроительный завод.

Автореферат разослан "22" января 1971 г.

Защита состоится "22" февраля 1971 г. на заседании совета механико-технологического факультета Тульского политехнического института (Тула-25, проспект Ленина, 92).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь совета
механико-технологического факультета,
кандидат технических наук, доцент И.А.КЛУСОВ.

В в е д е н и е

Несмотря на широкое использование в промышленности процесса шевингования, его теория разработана недостаточно полно: отсутствуют данные о геометрических параметрах режущей части, о влиянии на них конструктивных элементов и движений шевера, о рабочей зоне зуба, о факторах, определяющих шероховатость поверхности зубьев колес и связи движений шевера с его конструктивными параметрами. Это является некоторым препятствием для совершенствования конструкции шевера.

Поэтому в настоящем исследовании рассматриваются элементы теории процесса, на их основе устанавливается связь конструктивных и геометрических параметров шевера с его движениями и излагаются положения по использованию этой связи для повышения качества поверхности зубьев колес при шевинговании.

Глава I

ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В нашей стране и за рубежом в развитии процесса шевингования зубчатых колес наметились три основных направления:

1. Усовершенствование зубошевинговального оборудования путем автоматизации процесса и сокращения вспомогательного времени при шевинговании.

2. Расширение применимости процесса шевингования за счет увеличения типажа обрабатываемых зубчатых колес.

3. Усовершенствование процесса шевингования за счет разработки и внедрения новых конструкций шеверов.

Теоретические вопросы процесса шевингования в отечественной литературе изложены в работах Ф.Л.Литвина, В.Д.Клепикова, И.И.Семенченко, М.С.Полоцкого, В.Н.Соколова и др. авторов. Ф.Л.Литвин считает процесс зацепления при шевинговании аналогичным процессу зацепления колес при скрещающихся осях и приводит соответствующие этому условию математические зависимости, необходимые для расчета шеверов. В.Д.Клепиков рассматривает теоретические, расчетные и технологические вопросы процесса шевингования. При этом указывает, что расчетную длину пятна контакта зубьев шевра и колеса необходимо умножать на коэффициент K , определяемый экспериментально, и изменение длины можно не учитывать при перемещении пятна по высоте зуба. И.И.Семенченко считает возможным зацепление шевра и колеса рассматривать в плоскости, нормальной направлению их зубьев, с условными радиусами делительных окружностей, равными радиусам кривизны эллипсов, полученных в сечении.

В работах В.Н.Соколова и М.С.Полоцкого приводятся зависимости для определения длины пятна контакта при шевинговании, которая необходима для оценки процесса и определения ширины шевра. Из зарубежных источников заслуживают внимания работы М.Г.Анрио, А.Сайкоа, О.Рогг и др., которые рассматривают комплекс вопросов процесса шевингования, в том числе и новые его виды - диагональное и касательное. М.Г.Анрио

утверждает, что увеличение коэффициента перекрытия при шевинговании улучшает показатели процесса и этот коэффициент целесообразно иметь не менее двух. Сюр Кадзума экспериментально установил, что процесс шевингования протекает хуже при дробном коэффициенте перекрытия, равном 1,5, и что эффективность процесса повышается при значении этого коэффициента, близком к двум или к единице.

Принципиально новое в процессе шевингования вносит предложенный фирмой "Карл Хурт" в 1961 г. диоковый шевёр с групповыми зубьями для касательного шевингования. Фирма предлагает принять число зубьев, состоящим из нескольких одинаковых групп, близких и некратных числу зубьев колеса. При смещении лезвий, кратном их шагу и одинаковом в каждой группе, обеспечивается равномерная и производительная обработка каждого зуба колеса.

Автором обращено внимание на возможность придания группе зубьев не одинаковых свойств, как предлагает фирма, а различных, направленных на повышение показателей процесса шевингования, и предложена конструкция диокового шевра (авторское свидетельство № 207674).

Таким образом, в применяемых в настоящее время шеврах для диагонального и касательного шевингования, которые дают пониженную чистоту обработки, не используются особенности их прогрессивных конструкций ввиду отсутствия исследований в этой области. В ряде случаев это приводит к отказу от диагонального и касательного шевингования и возвращению к менее эффективному продольному шевингованию.

В соответствии с состоянием исследования процесса шевингования и конструкции шеверов в работе проведены:

- 1) рассмотрение некоторых теоретических вопросов процесса шевингования;
- 2) обобщение данных по процессу шевингования и на основе этого разработка классификации видов шевингования;
- 3) исследование кинематики процесса шевингования;
- 4) теоретическое исследование условий повышения качества поверхностей зубьев колес при шевинговании;
- 5) установление связи между движениями кинематической схемы процесса и конструктивными параметрами шеверов;

6) разработка рекомендаций по согласованию параметров дуги обкатки с законом расположения режущих лезвий на зубьях шевера;

7) разработка элементов конструкции специального шевера для касательного шевингования;

8) экспериментальное исследование шероховатости поверхности зубьев, обработанных шевером новой конструкции.

Глава II

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ШЕВИНГОВАНИЯ

Процесс шевингования базируется на использовании свойств винтовой зубчатой пары. В работах Ф.Л.Литвина, М.С.Полоцкого и других авторов изложены основные положения, которые являются необходимыми элементами для формирования представления о ходе процесса шевингования и о целесообразном расположении лезвий на зубьях шевера.

Большое значение при шевинговании имеет пятно контакта, образующееся при внедрении боковой стороны зуба шевера в зуб колеса. Длина пятна контакта может определять количество одновременно работающих зубчиков шевера и в итоге оказывать влияние на выбор шага между ними, поэтому в работе приведена схема образования мгновенного, непрерывно перемещающегося пятна контакта. Приведены зависимости для определения размеров пятна контакта и его ориентации на боковой стороне зуба колеса (рис. I).

Из рисунка следует, что шевер принимает участие в работе не по всей длине пятна контакта, а в основном лишь на участке половины длины, тогда как соприкосновение лезвий шевера с колесом происходит по всей ширине пятна контакта из-за наличия интервала между лезвиями шевера. Установление участия в работе шевера по всей ширине пятна контакта позволяет определить периметр режущих лезвий, одновременно контактирующих с зубом колеса, и детально подойти к расчету элементов процесса резания при шевинговании.

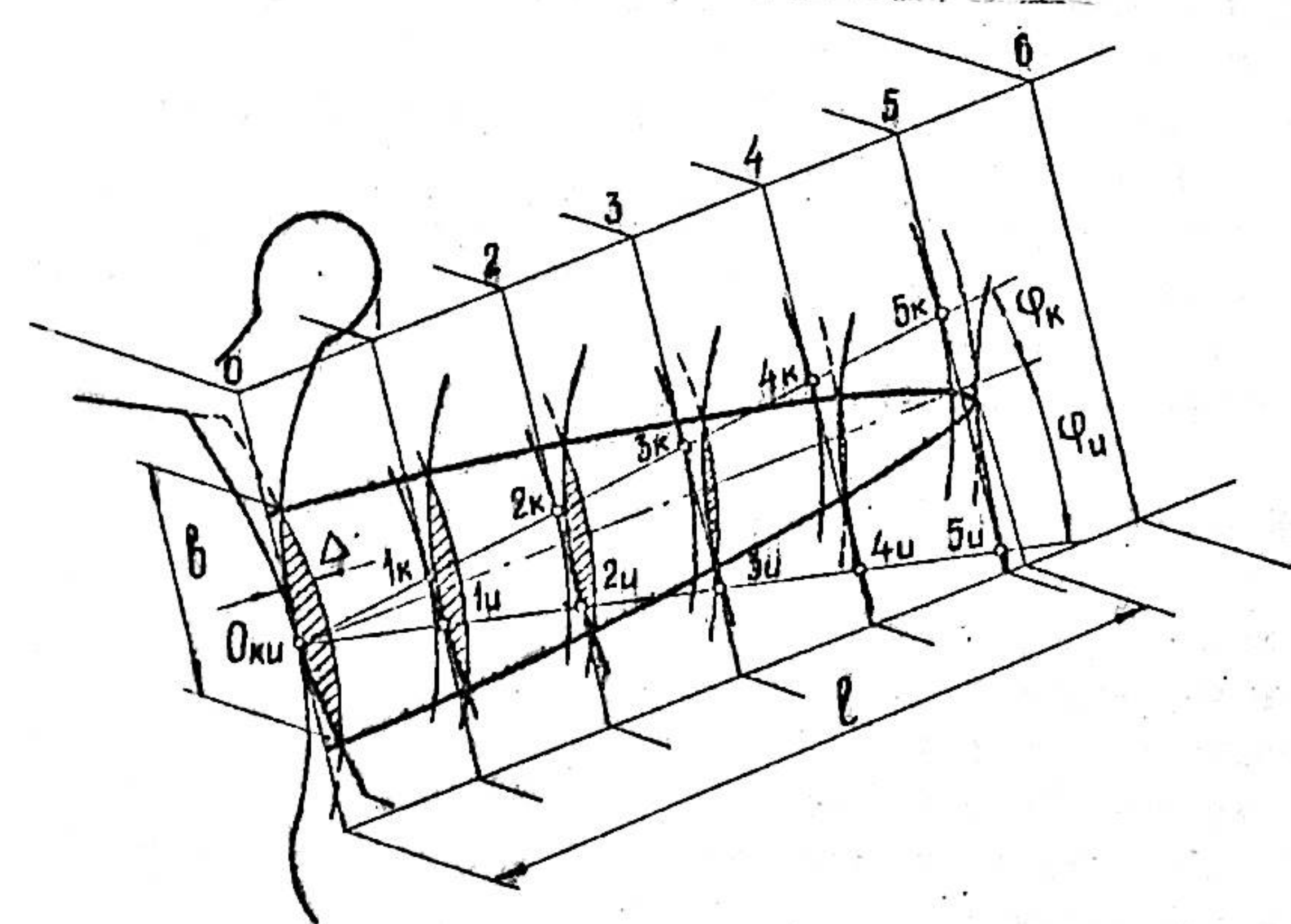


Рис. I. Схема образования пятна контакта:

0, 1, 2 ... 6 - ряд перпендикулярных сечений рейки;
 $O_{ки}5_k$ и $O_{ки}5_u$ - линии контакта колеса и шевера с рейкой;
 Δ - максимальная величина внедрения шевера

Глава III

ВИДЫ ШЕВИНГОВАНИЯ, ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА И КЛАССИФИКАЦИЯ

Большое разнообразие видов шевингования, применяемых в промышленности, объясняется рядом причин:

- а) широкими возможностями конструкции шеверов;
- б) многочисленностью параметров, характеризующих их установку относительно обрабатываемых колес;
- в) разновидностями кинематик процесса шевингования;

г) большим разнообразием параметров обрабатываемых колес, их типов и конструкций;

д) возможностью использования для шевингования ряда типов станков и др. причинами.

Это также объясняется тем, что даже незначительные изменения, вводимые в классический способ шевингования, которые могут казаться не имеющими значения, приводят к значительным последствиям и оказывают влияние на результаты работы шевиров.

До настоящего времени систематизированных данных, характеризующих виды шевингования, нет и многие виды шевингования, возможные для применения, не рассмотрены и не описаны. Поэтому с целью дальнейшего распространения процесса шевингования и облегчения выбора его вида в работе приведено обобщение данных по всем видам шевингования, отмечены наиболее характерные особенности каждого вида и предложена схема классификации видов шевингования.

В работе рассмотрены и обобщены 51 вид шевингования, которые различаются по 17 признакам. Схема классификации видов предусматривает их разделение по трем группам:

1) по типам и разновидностям обрабатываемых колес и геометрии их зубьев, классы 1 - 3 (10 видов);

2) по конструктивным признакам и особенностям шевиров, классы 4 - 9 (19 видов);

3) по принципам установки, схемам резания, условиям контакта и др. признакам, которые определяют условия правильной эксплуатации шевиров, классы 10 - 17 (22 вида).

На схеме показаны связи между отдельными видами шевингования.

Глава IV

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ ПРОЦЕССА ШЕВИНГОВАНИЯ

Скорости движений, совершаемых шевиром и колесом, и их относительные направления оказывают существенное влияние на

процесс шевингования, его результаты и элементы геометрии режущей части.

Исследованием процесса резания при шевинговании и его кинематикой занимались В.Д.Клепиков, М.Д.Пекарский, С.И.Самойлов, В.С.Сыромятников и другие авторы, но результаты этих исследований не исключают возможности их дополнения в зависимости от особенностей конструкции шевиров и условий их эксплуатации.

Для точки режущего лезвия шевира, находящейся в контакте с заготовкой колеса в зоне припуска, движение резания определяется как скорость мгновенного винтового движения относительно мгновенной оси, пересекающей линию кратчайшего межосевого расстояния под углом 90° . Для ориентации положения лезвия шевира относительно этой оси, а также ориентации поверхности резания при наличии подачи передней и задней поверхностей шевира возникают дополнительные трудности, поскольку эти поверхности ориентируются относительно осей шевира и колеса. Поэтому в настоящей работе не было использовано положение классической механики о мгновенном винтовом движении, а для исследования был принят метод докт. техн. наук С.С.Петрухина, позволяющий непосредственно исследовать и определять угловые кинематические параметры режущей части и толщину срезаемого слоя для любой выбранной точки лезвия и в любой момент процесса резания.

В этой главе проводится анализ и сопоставление элементов кинематики процессов фрезерования и шевингования зубьев колеса. Определяются скорости точек контакта инструментов и обрабатываемых колес, приводятся примеры расположения линий контакта на боковых поверхностях зубьев колеса и инструмента, траектории относительных движений профилирующих точек лезвия инструмента, схемы и зависимости для расчета точек пересечения этих траекторий с окружностью, проведенной в зоне припуска или ограничивающей его. Особое внимание обращается на образование поверхности резания лезвия в целом как огибающей поверхности траекторий относительных движений его отдельных точек. Причем каждая такая поверхность, располагаясь в зоне припуска, каса-

ется эвольвентной поверхности зуба колеса лишь в одной точке, которой лезвие инструмента пересекает линию контакта на его зубе, а в остальных участках отходит от нее. Совокупность поверхностей резания отдельных лезвий формирует боковую поверхность зуба колеса, которая является огибающей семейства этих поверхностей. В работе приводятся примеры расположения семейства поверхностей резания на зубьях колеса (рис.2) и фотографии, показывающие образование и расположение таких поверхностей при шевинговании.

Пересечения отдельных поверхностей резания образуют ребра неровностей. В сечении плоскостью, перпендикулярной оси колеса, эти ребра неровностей характеризуют огранку зуба колеса.

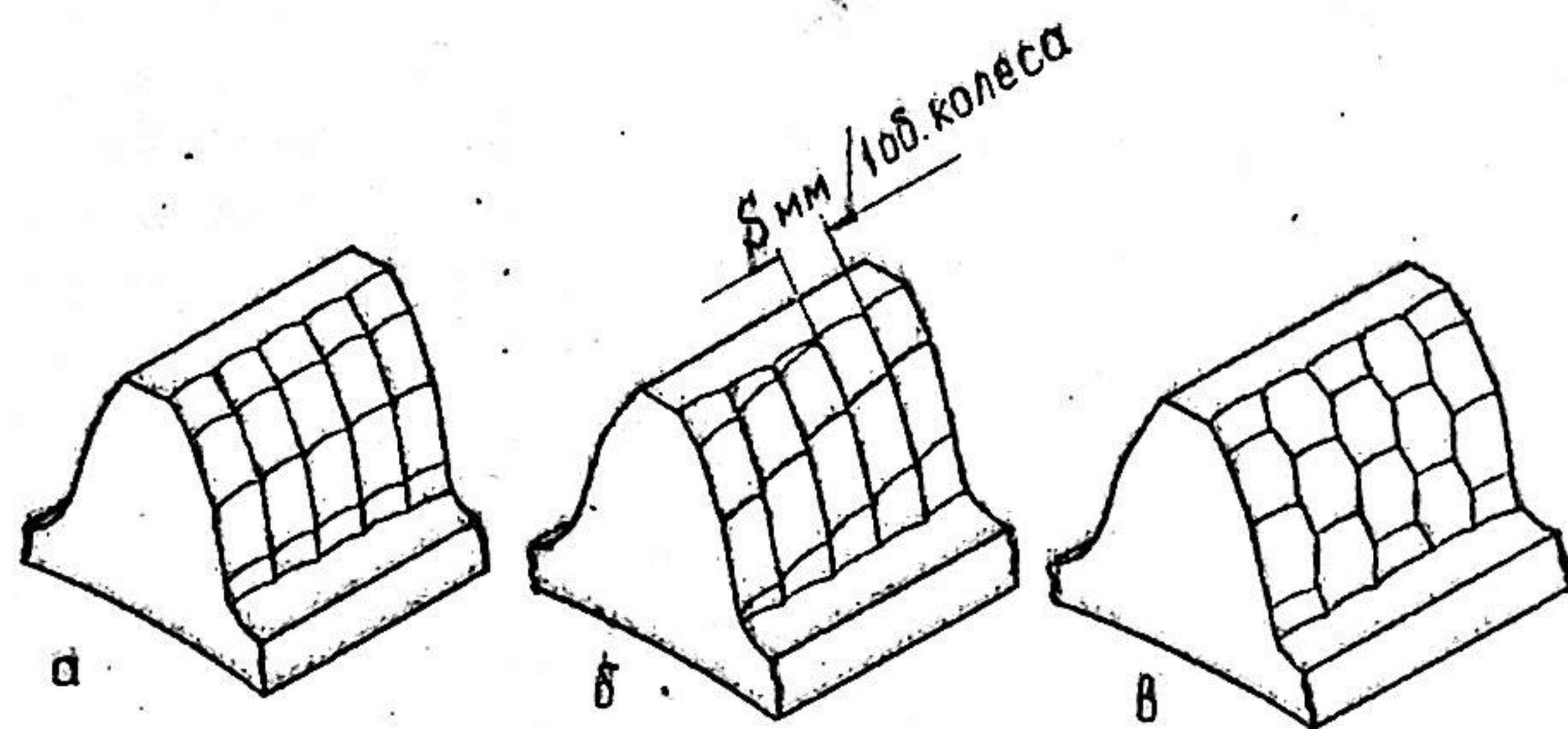


Рис.2. Варианты расположения поверхностей резания на зубьях колеса

Различное расположение режущих лезвий на производящей поверхности инструмента приводит к изменению геометрической формы отдельных поверхностей резания и их различному расположению на боковой поверхности зуба обрабатываемого колеса. Эта особенность может быть использована для достижения лучших

условий резания и повышения чистоты обработанной поверхности зубьев. Например, при расположении поверхностей резания по схеме, показанной на рис.2,б, при контроле направления зуба индикатором будет фиксироваться отклонение от заданного направления зуба, хотя огибающая поверхность семейства поверхностей резания этого отклонения иметь не будет.

В работе приведены зависимости, позволяющие рассчитать движения шевера, обеспечивающие требуемое расположение семейства поверхностей резания на боковых сторонах зубьев колеса.

Глава V

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ УГЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ И ТОЛЩИН СРЕЗАЕМЫХ СЛОЕВ

Известно, что условия работы лезвия инструмента в каждой его точке различны. Каждая работающая точка лезвия инструмента контактирует с материалом заготовки в зоне припуска на обработку в течение ограниченного отрезка времени.

В пределах мгновенного пятна контакта возможно для исследования принимать любые точки лезвия. При этом необходимо определять, в каком положении точка контактирует с припуском: в начальном, промежуточном или конечном.

Время между моментами входа и выхода точки в зону припуска можно определить, зная ширину мгновенного пятна контакта в месте расположения выбранной точки лезвия на верхней границе пятна контакта и окрестность перемещения этого пятна по высоте зуба, а также вектор скорости относительного движения точки. В этом случае возможно, с достаточной для исследования точностью, определить точку встречи с нижней, противоположной границей пятна контакта при перемещении последнего от ножки зуба в сторону головки. При перемещении мгновенного пятна контакта в направлении от головки зуба к его ножке выбирается точка контакта на нижней границе мгновенного пятна и определяется точка встречи этой же точки лезвия с верхней границей пятна контакта.

В работе приведены зависимости для определения времени, в течение которого выбранная точка лезвия находилась в контакте с припуском, снимаемым за один проход, а также для определения длины пути, проходимого точкой лезвия за это время. Разработана методика определения радиусов шевра и колеса, принадлежащих точке контакта, расположенной в пределах пятна контакта, и приведены зависимости для последовательного расчета этих радиусов. Согласованные радиусы шевра и колеса, принадлежащие точке контакта, являются функциями многих величин.

Таким образом, одна и та же точка на лезвии шевра может иметь бесчисленное множество различных значений переднего, заднего углов и угла наклона лезвия, в зависимости от ее расположения в пределах мгновенного пятна контакта.

В зависимости от выбранного расположения лезвий на зубьях шевра и применительно к способу долбления канавок и образования передних поверхностей лезвий, на базе положений аналитической и начертательной геометрии, определено количество проекций и разработана методика задания передней и задней плоскостей и плоскости резания, необходимых для исследования. Разработана методика, определяющая взаимное расположение двух смежных поверхностей резания, полученных одним и тем же участком лезвия при смежных оборотах колеса. Плоскости резания, касательные к этим поверхностям в рассматриваемой точке, имеют осевое и угловое смещение на зубе колеса. Расстояние между ними по нормали к последующей плоскости определяет толщину срезаемого слоя, если величина снимаемого припуска не ограничена третьей поверхностью. В работе приведены аналитические зависимости, необходимые для определения переднего, заднего углов и угла наклона лезвия в процессе работы шевра, а также толщины срезаемого слоя. Эти зависимости отражают влияние скоростей вращательно-го движения шевра и колеса, а также скорости движения подачи на углы режущей части и толщину срезаемого слоя и применимы для расчета на ЭВМ.

Глава VI

КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ЗУБЬЕВ КОЛЕС И УСЛОВИЯ ЕГО ПОВЫШЕНИЯ

При шевинговании не всегда удается получить требуемое качество шевингованной поверхности, которое зависит от ряда условий. Многие из них являются общими для различных способов шевингования, а некоторые имеют ограниченное влияние.

При касательном и диагональном шевинговании оказывают влияние следующие дополнительные условия:

- 1) число зубьев шевра и его согласованность с числом зубьев колеса;
- 2) расположение режущих лезвий на зубьях шевра и величина их относительного смещения;
- 3) зависимость между числом зубьев колеса и шевра, выделенных в одну его группу;
- 4) зависимость между направлением винтовой линии смещения лезвий, направлением подачи и направлением вращения шевра;
- 5) зависимость между скоростью конструктивной подачи в осевом направлении колеса, направлением перемещения и скоростью перемещения профилирующей точки контакта шевра и колеса и величиной подачи.

Какие из этих условий имеют большее значение при касательном и диагональном шевинговании, за исключением ограниченных данных о влиянии числа зубьев и необходимости иметь смещение лезвий, сведений нет. Очевидно, поэтому при касательном и диагональном шевинговании наблюдается снижение качества шевингованной поверхности, которое является результатом невозможности учитывать эти условия.

Принцип расчета числа зубьев шевра состоит в том, чтобы один и тот же зуб колеса не встречался с одним и тем же порядковым номером зуба шевра в пределах числа оборотов колеса, равного числу его зубьев. В этом случае, при наличии системы

смещения лезвий на зубьях шевра, обеспечивается равномерная и последовательная обработка каждого зуба колеса и отсутствию дублирующих оборотов колеса.

В работе приведены зависимости для расчета числа зубьев шевра в олучаях, когда число зубьев колеса меньше или приближается к числу зубьев шевра, когда число зубьев шевра состоит из нескольких одинаковых групп с числом зубьев в группе, приближающимся к числу зубьев колеса, и когда число зубьев колеса больше числа зубьев шевра.

Расположению режущих лезвий на поверхности зубьев шевра в начальный период практики шевингования не уделялось должного внимания. Было лишь обнаружено, что условия резания отдельных участков лезвия не одинаковы и что относительно лучшие условия имеют место для небольших участков лезвия, наклоненных под определенным углом к направлению скорости движения резания.

В работе рассмотрены существующие способы расположения лезвий на зубьях шевра применительно к особенностям оборудования для долбления канавок и типам шевров. Большое внимание уделено рассмотрению и анализу возможных вариантов смещения лезвий у шевров для диагонального и касательного шевингования и выбору величины и направления наклона лезвий.

Схемы смещения лезвий могут быть однозаходными, когда шаг винтовой линии смещения лезвий в пределах одной группы зубьев шевра равен шагу между лезвиями в осевом направлении шевра, и многозаходными, когда шаг винтовой линии смещения кратен шагу лезвий. Смещение лезвий на зубьях шевра обеспечивает их конструктивную подачу, которая должна быть согласована с подачей, устанавливаемой на шевинговальном станке. Чем больше шаг винтовой линии смещения лезвий, тем больше величина станочной подачи и соответственно выше производительность шевингования. Но при увеличении подачи снижается чистота поверхности. Таким образом, появляется широкая возможность варьировать шагом лезвий и шагом винтовой линии смещения лезвий для достижения оптимальной чистоты шевингованной поверхности при заданной производительности.

Характер смещения лезвий может быть одвоенным или парным. В этом случае по закону смещения располагаются лезвия отдельно на четных зубьях группы и на нечетных. Причем, один и тот же закон смещения лезвий на четных и нечетных зубьях имеет относительное смещение на половину "фазы", что приводит к шахматному расположению профилирующих точек контакта на поле контакта - боковой эвольвентной поверхности зуба колеса и к повышению чистоты обработки.

Для того, чтобы обеспечить расположение профилирующих точек контакта строго по направлению зуба колеса, т.е. расположить поверхности, заключенные между рабрами огранки также по направлению зуба колеса, необходимо согласовать окорость конструктивной подачи со скоростью перемещения профилирующей точки контакта в направлении оси колеса.

В работе приведены зависимости для расчета величины подачи, которую нужно установить на шевинговальном станке, при касательном и диагональном шевинговании, для вышеупомянутого согласования. За основу при определении зависимости величины подачи принято следующее положение: скорости движения профилирующей точки контакта и конструктивной подачи лезвий шевра должны быть равны, совпадать по направлению с осью колеса и быть направлены в одну сторону.

Величина подачи определяется как функция чисел зубьев шевра и колеса, числа зубьев в группе, числа оборотов шевра, угла скрещивания, угла диагональности и шага между лезвиями.

В зависимости от числа зубьев шевра и колеса при шевинговании может иметь место очередность расположения зубьев шевра, последовательно вступающих в контакт с одним и тем же зубом колеса: или совпадающая с направлением вращения шевра, или противоположная ему. Это легко устанавливается при помощи наложения развертки зубьев колеса на развертку зубьев шевра, для чего составляются таблицы развертки, приведенные в работе. Из этих таблиц выясняется последовательность контакта, которая возможна как по возрастающему, так и по убывающему ряду порядковых номеров зубьев шевра в его группах. Составление таких таблиц является необходимым условием для выбора направления

накл на лезвий у шеве́ров и обеспечения строгой оменности на-
правления лезвий на зубьях шеве́ра, последовательно вступающих
в контакт с одним и тем же зубом колеса. Согласование движе-
ний обкатки с величиной и направлением подачи, а также с на-
правлением винтовой линии смещения лезвий и оменностью на-
правления их наклона является условием, обеспечивающим повыше-
ние качества поверхности при шевинговании. В работе приведены
необходимые зависимости и рекомендации для такого согласования.

Глава УП

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЧИСТОТЫ ПОВЕРХНОСТИ, ПОЛУЧЕННОЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ШЕВЕРОМ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ

Шевером $m = 2,5$; $z = 72$ и $\alpha = 20^\circ$, изготовлен-
ным на Тульском машиностроительном заводе в соответствии с
авторским свидетельством № 207674, производилась обработка
зубчатых колес $m = 2,5$; $z = 17$; $\alpha = 20^\circ$.

Технологический процесс изготовления шеве́ра новой кон-
струкции по сравнению с существующими конструкциями отличает-
ся лишь на операции долбления равнонаправленных канавок,
которая осуществлялась на горизонтально-фрезерном станке
6Н83Г с помощью специального, спроектированного для этих
целей приспособления, позволяющего получать канавки в трех
направлениях. Шеве́р устанавливался в делительной головке.
Прямая, касательная к винтовой линии зуба шеве́ра на делитель-
ном цилиндре, при долблении должна располагаться в горизон-
тальной плоскости. Отсчет углов поворота приспособления, оп-
ределяющих плоскости траекторий движения гребенки, производит-
ся от вертикальной плоскости. При симметричном расположении
этих углов относительно вертикальной плоскости и одинаковом
шаге канавок смещение лезвий и конструктивная подача будут
соответственно одинаковыми для правого и левого направления
лезвий.

В этой главе приведены зависимости для расчета наладоч-
ных данных на операции долбления канавок, а также для расчета

элементов конструкции гребенки и параметров ее ступенчатой
заточки. По условиям технологичности угол наклона канавок от
вертикальной плоскости принят равным $\pm 25^\circ$.

Для характеристики условий работы лезвий шеве́ра расчи-
тывались величины переднего, заднего углов, угла наклона лез-
вия в процессе работы по зависимостям главы У. Расчет про-
водился на ЭВМ; результаты расчета и исходные данные сведены
в таблицы, позволяющие сопоставлять условия работы в отдель-
ных точках лезвия и при необходимости вносить возможные кор-
рективы в элементы конструкции и расположения лезвий на зубь-
ях шеве́ра.

Обработка опытной партии зубчатых колес шеве́ром новой
конструкции производилась в производственных условиях на
станке модели 5702 способом касательного шевингования. Число
оборотов шеве́ра принималось равным 250 оборотов в минуту,
подача рассчитывалась по зависимости главы УІ, смазочно-
охлаждающая жидкость - сульфолфрезол, оправки рабочие. Для
исследования были изготовлены два шеве́ра с шагом зубчиков
1,5 и 1,8 мм. Число шестерен в партии - по 120 штук для каждо-
го шеве́ра.

Чистота шевингованной поверхности определялась по про-
филограммам, полученным на профилографе-профилометре завода
"Калибр". Определение класса чистоты производилось в четырех
случаях, и получены следующие результаты:

1. При обработке шеве́ром с одноименно направленными
лезвиями с их шагом 1,5 мм чистота шевингованной поверхности
соответствует 7-му классу чистоты ($R_z = 5,35$ мкм).

2. При обработке опытным шеве́ром с разнонаправленными
лезвиями с углом их наклона от вертикали $\pm 30^\circ$ и шагом 1,5 мм
чистота шевингованной поверхности соответствует 9-му классу
чистоты ($R_z = 1,2$ мкм).

3. При обработке шеве́ром с разнонаправленными лезвиями,
при угле их наклона $\pm 25^\circ$ и шаге 1,8 мм, чистота поверхности
соответствует 9-му классу чистоты ($R_z = 0,94$ мкм).

4. При обработке шеве́ром с разнонаправленными лезвиями,
при угле их наклона $\pm 25^\circ$ и шаге 1,5 мм, чистота шевингован-

ной поверхности приближается к 10-му классу чистоты ($R_z = 0,85 \text{ мкм}$).

ВЫВОДЫ

1. Целесообразна разработка классификации видов шевингования и классификации шеверов, которая облегчает выбор процесса и инструмента применительно к конкретным условиям производства колес.
2. Процессы шевингования и зубофрезерования червячной фрезой идентичны. Профилирование зуба колеса производится одной точкой лезвия инструмента и сопровождается образованием огранки на боковых сторонах зубьев колеса.
3. Расположение режущих лезвий на поверхностях инструмента оказывает существенное влияние на число ребер огранки, образующихся на поверхности зуба колеса.
4. Для получения возможно большего числа ребер огранки и соответственно повышения качества шевингованной поверхности целесообразно лезвия шевера располагать под возможно большим допустимым углом к направлению рабочей линии контакта на зубьях шевера.
5. При касательном и диагональном шевинговании происходит непрерывное перемещение профилирующих точек вдоль лезвия инструмента. Таким образом, эти виды шевингования являются наиболее прогрессивными.
6. Расположение профилирующих точек контакта на боковой стороне зуба колеса оказывает влияние на расположение и направление огибающих поверхностей, заключенных между ребрами огранки. Эти огибающие поверхности могут располагаться по винтовому направлению на боковой поверхности зуба колеса. В этом случае при контроле направления зуба колеса индикатором будет фиксироваться отклонение от заданного направления.
7. Расположение ребер огранки и заключенных между ними огибающих поверхностей зависит от подачи. В работе приведены зависимости, позволяющие рассчитать подачу, при которой эти поверхности располагаются строго по направлению зуба колеса.

8. Для повышения производительности процесса касательного и диагонального шевингования необходимо применять многозаходную схему смещения лезвий.
9. Для обеспечения шахматного расположения профилирующих точек контакта необходимо рассогласовать на половину "фазы" законы смещения лезвий на четных и нечетных зубьях шевера, последовательно вступающих в контакт с одним и тем же зубом колеса.
10. Система разнонаправленных лезвий обеспечивает ячеистую структуру неровностей и повышение чистоты поверхности за счет пересечения поверхностей резания, а также за счет увеличения числа резов и количества профилирующих точек контакта лезвий, расположенных под большим углом к направлению рабочей линии контакта.
11. Согласование движений обкатки направления винтовой линии смещения лезвий, конструктивной и станочной подачи обеспечивает повышение чистоты шевингованной поверхности. В работе приведены основные положения и рекомендации для такого согласования.
12. Для оценки условий работы шевера в стадии его проектирования приведены зависимости и методика для определения рабочих переднего, заднего углов и угла наклона лезвия шевера. Проведенный на ЭВМ расчет этих углов показал весьма значительное их непостоянство по периметру лезвия, которое объясняет различие условий наклепа поверхности зуба колеса в различных ее зонах.
13. Для долбления разнонаправленных канавок на зубьях шевера необходим специальный инструментальный приспособление и гребенка. В работе приведены зависимости для их расчета.
14. Чистота поверхности зубьев колеса, обработанных шевером с разнонаправленным лезвием, на два класса выше чистоты, полученной при применении обычного шевера.
15. Повышение чистоты поверхности зубьев колеса объясняется, кроме влияния разнонаправленных лезвий, комплексным влиянием углов режущей части.

16. Процесс шевингования - это особый процесс косоугольного резания, в котором взаимозависимость элементов конструкции шевра, углов его режущей части, ее кинематики и режимов обработки обуславливается значительным количеством факторов.

Материалы диссертации опубликованы в следующих статьях:

1. Ананьев Н.Т. Описание изобретения дискового шевра к авторскому свидетельству № 207674. Бюллетень № 2, 22.XII.1967.
2. Ананьев Н.Т. Факторы, влияющие на качество поверхности при шевинговании. - В кн.: Прогрессивная технология машиностроения. Вып.Ш. Приокское книжное изд-во, Тула, 1968, стр.116-126.
3. Петрухин С.С., Ананьев Н.Т. Выбор величины и направления подачи при касательном и диагональном шевинговании. - "Известия вузов. Машиностроение", 1969, № 2, стр.117-119. (Издание МВТУ им.Баумана).
4. Петрухин С.С., Ананьев Н.Т. Шеверы с разнонаправленными режущими кромками для диагонального и касательного шевингования зубчатых колес. - В кн.: Усовершенствование зубообрабатывающего инструмента. Материалы межвузовской конференции, М., 1969, стр.205-211.
5. Петрухин С.С., Ананьев Н.Т. Классификация видов шевингования. - В сб.: Технология машиностроения. Вып.У1. Приокское книжное изд-во, Тула, 1970, стр.183-187.

Находятся в печати:

1. Петрухин С.С., Ананьев Н.Т. Определение толщины срезаемого слоя при шевинговании. - В сб.: Технология машиностроения. Вып.УП. Приокское книжное изд-во, Тула.

По теме диссертации сделано пять докладов на научно-технических конференциях в Тульском политехническом институте в 1964-1970 гг.

Отпечатано на ротапринте в Тульском политехническом институте, заказ № 97, тираж 150 экз., ЦПО2181