

Гаевой Андрей Петрович

УДК 621.95.02

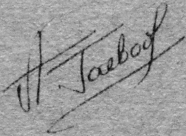
РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОМПЬЮТЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
РАБОЧЕЙ ЧАСТИ ИНСТРУМЕНТОВ С ВИНТОВЫМИ
СТРУЖЕЧНЫМИ КАНАВКАМИ

Специальность 05.03.01.

Процессы механической и физико-технической обработки,
станки и инструмент

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва, 2000

Работа выполнена в Московском государственном
техническом университете им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент
Булошников В.С.

Официальные оппоненты - доктор технических наук
Щегольков Н.Н.
кандидат технических наук, доцент
Гриднев В.Н.

Ведущая организация - АООТ "Белгородский завод фрез"

Защита состоится "29" июня 2000 г. в 10⁰⁰ на за-
седании диссертационного совета К.053.15.15 в Московском госу-
ниверситете им. Н.Э.Баумана по адресу:
д. 5.
в библиотеке МГТУ им.
пларе, заверенный печатью,

2000 г.

1566788

Васильев А.С.

2000 г. Заказ № 86r

ГТУ им. Н.Э.Баумана

Актуальность работы. В современном машиностроении надёжность всей технологической системы на операциях обработки металлов резанием в большой степени зависит от надёжности металлорежущего инструмента. Режущий инструмент является наиболее слабым звеном системы Станок-Приспособление-Инструмент-Деталь, и его конструкция и работоспособность во многом определяют длительность его использования в обрабатывающих операциях и качество получаемых изделий.

Всё вышесказанное в полной мере относится к инструментам с винтовыми стружечными канавками. Стружечные канавки являются важной составляющей конструкции рабочей части осевых, зуборезных инструментов, метчиков, фрез. Профиль винтовой поверхности канавки оказывает влияние на форму и геометрические параметры главной режущей кромки инструмента, определяет геометрические параметры его торцевого сечения, влияет на условия размещения и вывода стружки из зоны резания в процессе обработки детали. Актуальность задач, возникающих при проектировании инструментов с винтовыми стружечными канавками, очевидна ввиду массовости применения этих инструментов.

Современное развитие вычислительной техники делает актуальным разработку метода компьютерного проектирования рабочей части инструмента с винтовыми стружечными канавками, который базируется на геометрической модели винтовой поверхности, которая с одной стороны имеет точное аналитическое описание, а с другой не ограничивается сложностью и объёмом вычислений. Применение информационных технологий позволяет реализовать все сложные логические связи и обойти трудности вычислительного характера, к которым относятся: вычисления, связанные с применением громоздких формул и итерационных методов, многократные проверки условий, решение вариантных задач.

Работа выполнялась в соответствии с научным направлением кафедры МТ-2 (МГТУ им. Н.Э.Баумана) и в разрезе научно-исследовательского проекта ГББ 2-333 "Профилирование винтовых зубьев инструментов общего назначения" (1997 г.). Автор и научный руководитель выражают большую благодарность доценту кафедры

НТБ МГТУ им. Н. Э. Баумана



1566788

Гаевой А.П. Разработка мет

МТ-2 МГТУ им. Н.Э.Баумана Малевскому Н.П. за консультации и помощь в процессе работы над диссертацией.

Цели и задачи исследования. На основании анализа научно-технических литературных источников, позволившего оценить состояние исследований в данном направлении, целью настоящей работы является разработка метода компьютерного проектирования рабочей части инструментов с винтовыми стружечными канавками для повышения работоспособности и надёжности этих инструментов и рационального профилирования инструмента, образующего стружечные канавки.

Для достижения указанной цели в работе были поставлены и решены следующие задачи:

- провести сравнительный анализ методов профилирования винтовых стружечных канавок и выявить математическую модель винтовой поверхности, максимально удовлетворяющую требованиям компьютерного проектирования рабочей части инструмента;

- создать аналитические модели для автоматизированного расчёта параметров рабочей части инструментов с винтовыми стружечными канавками;

- разработать методы профилирования дискового инструмента, формообразующего стружечную канавку, и нахождения его рационального профиля и параметров установки относительно детали;

- разработать алгоритмическое и программное обеспечение компьютерного метода проектирования рабочей части инструментов с винтовыми стружечными канавками;

- провести теоретические и экспериментальные исследования параметров рабочей части сверла при изменении формы главной режущей кромки инструмента;

- разработать рекомендации по промышленному применению и изготовлению свёрл с криволинейной режущей кромкой.

Методы исследования. Решение поставленных задач осуществлялось проведением теоретических и экспериментальных исследований, разработкой технологического решения изготовления экспериментальных образцов инструмента и практическим применением полученных результатов.

Решение теоретических задач проводились на базе разработанной общей методики проведения исследований с использованием современных представлений теории резания металлов, положений геометриче-

ской теории проектирования инструментов, методов аналитической геометрии и математического анализа. При реализации теоретической части использованы методы вычислительной математики, методики программирования, а также язык программирования Pascal.

Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях. Проведены испытания на работоспособность, исследованы геометрические параметры главной режущей кромки, проанализирован процесс стружкообразования у свёрл с различной кривизной режущей кромки. Осуществлены экспериментальные исследования динамики процесса резания с целью проверки теоретических предпосылок уменьшения крутящего момента $M_{кр}$ у свёрл с криволинейной режущей кромкой.

При проведении экспериментальных исследований применялась современная измерительная и регистрирующая аппаратура. При проведении теоретических исследований, а также для обработки и анализа экспериментальных данных использовался персональный компьютер.

Научная новизна:

- разработана геометрическая модель рабочей части инструмента с винтовой стружечной канавкой, которая является математическим обеспечением компьютерного метода проектирования рабочей части инструментов с винтовыми стружечными канавками;
- разработаны расчётные схемы и выведены аналитические зависимости для определения геометрических характеристик торцевого сечения инструмента с различным профилем винтовой стружечной канавки, формы и геометрических параметров его главной режущей кромки;
- разработана схема определения рационального профиля и параметров установки дискового инструмента, образующего винтовую поверхность стружечной канавки;
- теоретически обосновано и экспериментально подтверждено преимущество геометрии вогнутой криволинейной режущей кромки в проекции на торцевую плоскость сверла по сравнению со стандартным инструментом.

Практическая ценность:

- разработана методика проектирования инструментов с винтовыми стружечными канавками, которая позволяет определить конструктивные и геометрические параметры рабочей части инструмента и их влияние на параметры процесса резания;

- разработана методика проектирования дискового инструмента образующего винтовую стружечную канавку и определения рационального профиля и параметров его установки относительно детали;
- разработано алгоритмическое и программное обеспечение метода компьютерного проектирования рабочей части инструментов с винтовыми стружечными канавками;
- разработаны рекомендации по промышленному применению и изготовлению свёрл с криволинейной режущей кромкой.

Результаты исследований рекомендованы к внедрению на АООТ "Белгородский завод фрез" и АМО ЗИЛ.

Апробация работы и публикации. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на II Международной научно-практической конференции-школе-семинаре молодых учёных, аспирантов и докторантов "Сооружения, конструкции, технологии, и строительные материалы XXI века", посвящённой памяти В.Г.Шухова (Белгород, 1999г., 6-7 октября, Белгородская государственная технологическая академия строительных материалов).

Работа обсуждалась на научных семинарах кафедры "Инструментальная техника и технологии" МГТУ им. Н.Э.Баумана. По результатам исследований опубликовано 4 печатные работы.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка использованных источников из 132 наименований и 3 приложений. Работа изложена на 200 страницах и содержит 133 страницы машинописного текста, 76 рисунков и 26 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы и дана общая характеристика работы.

В первой главе рассмотрено состояние проблемы, проведен анализ литературных данных по теме диссертации на основе отечественной и зарубежной литературы.

Проведён анализ существующих методов задания и технических требований к винтовой поверхности стружечных канавок для различных видов инструмента. Профиль винтовой канавки определяет основные параметры рабочей части осевых, зуборезных инструментов, метчиков, фрез:

- он формирует переднюю поверхность, которая определяет форму и геометрические параметры главных и вспомогательных режущих кромок инструмента;

- в торцевом сечении (перпендикулярном оси) инструмента определяются геометрические параметры, характеризующие прочность и жесткость инструмента;

- профиль винтовой канавки оказывает влияние на условия размещения и вывода стружки из зоны резания.

На основании рассмотренных технических требований к различным видам инструмента в работе приведена экспертная оценка наличия требований общего и повышенного характера к профилю винтовых стружечных канавок.

Анализ требований позволяет сделать вывод о важности задачи профилирования винтовых стружечных канавок в процессе проектирования рабочей части многих видов инструмента. Особенно следует выделить сверло как инструмент, в котором профиль винтовой канавки фактически формирует все параметры рабочей части. Для концевых фрез винтовая стружечная канавка полностью определяет геометрию одной из главных режущих кромок.

Анализируя проблему автоматизированного проектирования инструментов с винтовыми стружечными канавками, следует отметить, что имеется много работ по фундаментальным вопросам применения ЭВМ в инструментальном производстве и по проектированию отдельных видов инструмента (Гречишников В.А., Лашнев С.И., Максимов М.А., Синицын Б.И., Юликов М.И. и другие). Однако применительно к задаче конструирования рабочей части инструментов с винтовыми стружечными канавками, использование вычислительной техники заключалось в разработке и практическом применении методов проектирования дисковых инструментов для обработки винтовых поверхностей стружечных канавок (Борисов А.Н., Донис А.А., Ласточкин С.С., Лашнев С.И., Щегольков Н.Н., Юликов М.И., Якубович Ю.Б. и другие).

Во второй главе приведена классификация винтовых поверхностей и анализ методов профилирования винтовых стружечных канавок. Для математического обеспечения компьютерного метода проектирования рабочей части инструментов с винтовыми стружечными канавками выбрана линейчатая винтовая поверхность, как наиболее простая в описании и отвечающая требованиям проектирования инструментов геомет-

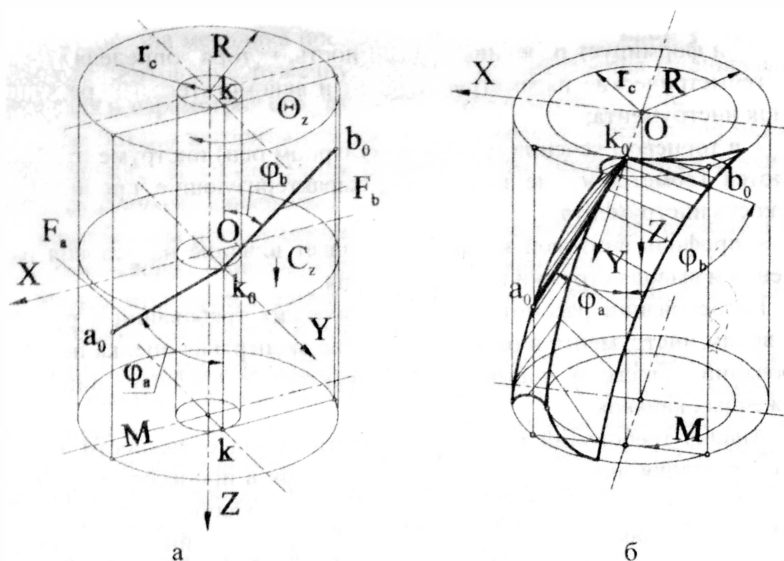


Рис.1. Принципиальная схема образования линейчатой винтовой поверхности стружечной канавки инструмента

рическая модель винтовой стружечной канавки. Принципиальная схема образования линейчатой винтовой поверхности стружечной канавки инструмента с помощью двух образующих прямых, разработанная Малевским Н.П. на кафедре АМ-2 МВТУ им. Н.Э.Баумана, представлена на рис. 1. На рис. 1 (а) представлена схема образования винтовой стружечной канавки сверла, а на рис. 1(б) – концевой фрезы.

Прямые F_a и F_b , расположенные под углом φ_a и φ_b к оси инструмента, лежат в плоскости M , касательной к направляющему цилиндру, диаметр d_c которого равен размеру сердцевины инструмента. Наружный диаметр инструмента - D . Прямые F_a и F_b совершают винтовое движение. Углу поворота Θ плоскости M соответствует осевое перемещение образующих прямых вдоль оси OZ с винтовым параметром p :

$$C_z = \Theta \cdot p \quad (1)$$

Образующие прямые линейчатой винтовой поверхности F_a и F_b образуют сочетание двух открытых косых геликоидов, которые формируют полноценную винтовую стружечную канавку инструмента. Пре-

имущество этого метода состоит в точном математическом описании винтовой поверхности, и как следствие - применение вычислительной техники для инженерных методов расчёта и проектирования рабочей части инструментов с винтовыми стружечными канавками и инструмента, образующего винтовую поверхность канавки. Рассматриваемый метод получил дальнейшее методическое и аналитическое развитие в предлагаемой работе.

Описанный метод применим для любого инструмента с винтовыми стружечными канавками (сверло, зенкер, концевые фрезы, метчики с винтовыми зубьями). В данной работе все схемы и расчёты приведены на примере спирального сверла, как широко используемого инструмента, в котором профиль винтовой канавки фактически формирует все параметры рабочей части.

Положение главной образующей F_a , заданное углом φ_a , определяет характер главной режущей кромки сверла. При обычных методах заточки минимальная кривизна режущей кромки достигается, если принять угол φ_a равным главному углу в плане φ на режущей части инструмента.

Угол φ_b , задающий положение вспомогательной образующей F_b , определяет размеры канавки. С увеличением угла φ_b площадь канавки в торцевом сечении (плоскость XY) увеличивается. При $\varphi_b=35+40^\circ$ размеры канавки близко совпадают с размерами, принятыми у стандартных свёрл. Изменением углов φ_a и φ_b можно управлять формой главной режущей кромки и размерами зуба сверла.

Аналитическое описание винтовой поверхности стружечной канавки инструмента предложено в виде параметрических уравнений образующих прямых линейчатой винтовой поверхности, где переменным параметром является угол поворота Θ плоскости M, в которой они располагаются. Исходные постоянные параметры винтовой стружечной канавки:

- наружный диаметр инструмента - $D=2 \cdot R$,
- диаметр сердцевины - $d_c=2 \cdot r_c$,
- угол подъёма винтовой линии по наружному цилиндру - ω ,
- угол наклона главной образующей F_a винтовой поверхности - φ_a ,
- угол наклона вспомогательной образующей F_b винтовой поверхности - φ_b ,
- параметр винтовой поверхности - $p=R/\operatorname{tg} \omega$.

Используя координаты граничных точек главной и вспомогательной образующих прямых в исходном и промежуточном положениях, выводятся уравнения проекций этих образующих в системе координат XYZ.

Уравнения проекций главной образующей прямой $F_{aj(j)}$:

Плоскость XZ. Искомое уравнение определяют как уравнение прямой, проходящей через две заданные точки $k_i (x_{ki}, z_{ki})$ и $a_i (x_{ai}, z_{ai})$:

$$(x - x_{ki}) / (x_{ai} - x_{ki}) = (z - z_{ki}) / (z_{ai} - z_{ki}) \quad (2)$$

Плоскость XY.

$$(x - x_{ki}) / (x_{ai} - x_{ki}) = (y - y_{ki}) / (y_{ai} - y_{ki}) \quad (3)$$

Уравнения проекций вспомогательной образующей прямой $F_{bi(j)}$:

Плоскость XZ. Искомое уравнение определяют как уравнение прямой, проходящей через две заданные точки $k_i (x_{ki}, z_{ki})$ и $b_i (x_{bi}, z_{bi})$:

$$(x - x_{ki}) / (x_{bi} - x_{ki}) = (z - z_{ki}) / (z_{bi} - z_{ki}) \quad (4)$$

Плоскость XY.

$$(x - x_{ki}) / (x_{bi} - x_{ki}) = (y - y_{ki}) / (y_{bi} - y_{ki}) \quad (5)$$

Уравнения (2)...(5) являются общими для проекций главной и вспомогательной образующих прямых, как при положительном угле поворота Θ_i по часовой стрелке, так и при отрицательном угле Θ_j против часовой стрелки.

На рис. 2 приведена схема сечения линейчатой винтовой поверхности секущими плоскостями, необходимыми для решения задач проектирования рабочей части рассматриваемого инструмента и инструмента, образующего винтовую стружечную канавку.

Торцевое сечение Т-Т винтовой стружечной канавки, наглядно отображает её профиль и размеры (рис. 2). Торцевое сечение инструмента необходимо для вычисления его геометрических параметров, к ним относятся площадь S и главные моменты инерции $J_{\min}$ и $J_{\max}$. Геометрические параметры торцевого сечения инструмента необходимы для его расчёта на прочность и жёсткость.

Нормальное сечение N-N стружечной канавки (рис. 2) необходимо для приближённого профилирования дискового инструмента, образующего стружечную канавку. Ось этого инструмента располагается в плоскости N-N параллельно координатной плоскости XOZ. Обычно угол ϵ поворота оси дискового инструмента принимают равным углу

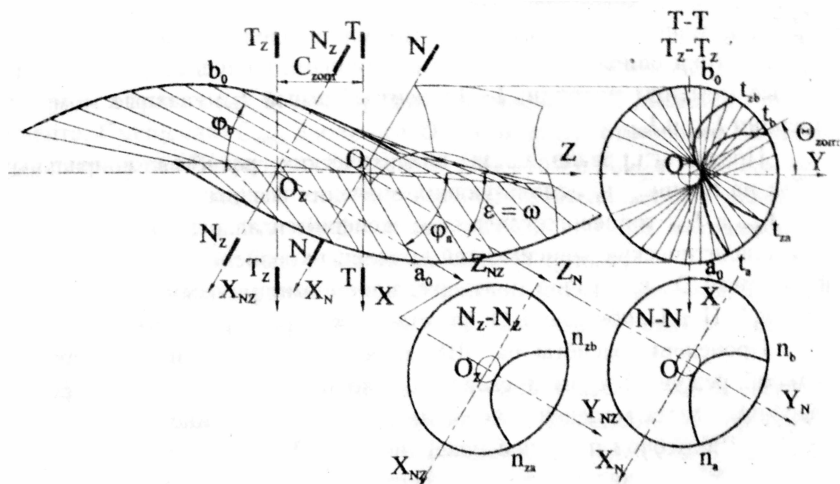


Рис.2. Сечение линейчатой винтовой поверхности секущими плоскостями

наклона винтовой канавки ω . На практике угол ϵ принимается на один – два градуса больше или меньше ω . Такой выбор угла установки препятствует подрезанию фрезой профиля уже профрезерованной канавки.

Сечение стружечной канавки рациональной секущей плоскостью N_z-N_z , отличающейся от нормальной секущей плоскости $N-N$ смещением вдоль оси OZ на некоторое расстояние $C_{\text{норм}}$ называется *рациональное нормальное сечение* стружечной канавки (рис. 2). Смещение $C_{\text{норм}}$ находится из условия рационального приближённого профиля дискового формообразующего инструмента.

В третьей главе модель линейчатой винтовой поверхности стружечных канавок применена для создания компьютерного метода расчёта и проектирования рабочей части инструментов с винтовыми стружечными канавками и профилирования инструмента образующего стружечную канавку.

Приведена схема нахождения геометрических характеристик торцевого сечения инструмента типа:

$$\int_S f(x, y) dS \quad (6)$$

С помощью вычислительной техники найдены геометрические характеристики спиральных свёрл с различными торцевыми сечениями - осевые моменты инерции: J_x , J_y ; центробежный J_{xy} ; главные моменты инерции $J_{\max}$ и $J_{\min}$.

Проанализирована связь аналитических расчётов спиральных свёрл на прочность, использующих значения главных моментов инерции $J_{\max}$ и $J_{\min}$ торцевого сечения, с экспериментальными данными. Из ряда аналитических зависимостей выделены уравнения Макушина В.М. и Galloway D., как точно подтверждающие эмпирические зависимости Исаева П.П. и Прибылова Б.П. для стандартного спирального сверла.

Проведены расчёты на ЭВМ переднего угла γ_N и угла наклона главной режущей кромки сверла λ_k вдоль главной режущей кромки свёрла на основе моделей нахождения этих углов для инструмента с линейчатой винтовой передней поверхностью. Результаты подтверждают известные значения углов γ_N и λ_k для стандартного сверла.

Модель линейчатой винтовой поверхности стружечной канавки сверла использована для определения рационального профиля дискового инструмента, образующего стружечную канавку сверла и формализована для применения современной вычислительной техники. Профиль дискового инструмента определяется из условия теоретически точного, без подрезов, образования стружечной канавки заготовки. Для этого использован метод минимальных расстояний, позволяющий получать профиль стружечной канавки инструмента без подреза обрабатываемой поверхности. Как было уже отмечено в главе 2, профиль инструмента, образующего стружечную канавку, как правило, принимается приближённым и отождествляется с нормальным сечением стружечной канавки N-N в плоскости, перпендикулярной углу подъёма винтовой канавки, что соответствует наклонной плоскости с углом $\epsilon = \omega$ (рис. 2).

Профиль стружечной канавки в сечении наклонной плоскостью N-N, чаще всего не является рациональным по условиям формообразования канавки дисковым формообразующим инструментом. Касательные, проведённые к профилю стружечной канавки в плоскости $X_N Y_N$ в граничных точках a и b (рис. 2), расположенных на цилиндрической поверхности осевого инструмента, составляют с осью Y_N недопустимо малые углы. В некоторых случаях может наблюдаться такая форма профиля, при котором угол касательной становится отрицательным, что означает невозможность получения данного профиля дисковым формооб-

разующим инструментом. Смещение $C_{\text{зонт}}$ рациональной секущей плоскости N_z-N_z (рис. 2) находится из условия рационального значения заднего угла в граничных точках профиля затылованного дискового инструмента. Смещению $C_{\text{зонт}}$ вдоль оси OZ соответствует поворот на угол $\Theta_{\text{зонт}}$ плоскости M образующих прямых. При этом в новом торцевом сечении T_z-T_z биссектриса угла пересечения касательных к главной и вспомогательной частям профиля стружечной канавки в граничных точках t_{az} и t_{bz} должна быть параллельна оси OY (рис. 2).

Разработано алгоритмическое и программное обеспечение компьютерного метода проектирования рабочей части инструментов с винтовыми стружечными канавками.

В четвертой главе проведено аналитическое исследование свёрл с вогнутой криволинейной режущей кромкой в проекции на торцевую плоскость инструмента, образованной линейчатой винтовой поверхностью стружечной канавки. Изменение угла наклона φ_a главной прямой образующей F_a при неизменном угле в плане сверла 2φ позволяет менять профиль передней поверхности стружечной канавки, и как следствие - форму главной режущей кромки сверла.

Проанализирована зависимость кривизны главной режущей кромки сверла в проекции на торцевую плоскость от параметра φ_a линейчатой передней винтовой поверхности.

Проведён анализ значения переднего угла γ_N для свёрл с различной кривизной режущей кромки. Он позволяет сделать вывод, что у свёрл с вогнутой криволинейной режущей кромкой передняя линейчатая винтовая поверхность формирует геометрические параметры режущей части с рекомендуемыми значениями γ_N при обработке наиболее распространённых марок конструкционных сталей.

Анализ значения угла наклона главной режущей кромки λ_k для свёрл с различной кривизной режущей кромки позволяет сделать вывод, что уменьшение радиуса кривизны ρ кромки меняет направление схода стружки в сторону оси сверла. Это создаёт благоприятные условия стружкообразования. У стандартного сверла с прямолинейной режущей кромкой стружка стремится сойти с лезвия в сторону периферии сверла. Суммарный же вектор направления схода стружки сверла с криволинейной режущей кромкой направлен к сердцевине сверла, к поверхности винтовой стружечной канавки, что исключает защемление стружки

между вспомогательной режущей кромкой и обработанной поверхностью заготовки.

Выявлено, что суммарный крутящий момент $M_{кр}$, нагружающий сверло при прочих равных условиях процесса резания, для сверл с вогнутой криволинейной режущей кромкой будет на 5-25% меньше, чем для стандартного спирального сверла с прямолинейной режущей кромкой. В упрощённом виде суммарный крутящий момент $M_{кр}$, нагружающий сверло в процессе резания можно представить как сумму элементарных сил, приложенных нормально к каждой точке режущего лезвия, помноженных на элементарное плечо:

$$M_{кр} = \sum_i^N F_i \cdot p_i \quad (7)$$

Делая допущение, что в произвольной точке главной режущей кромки t_{ai} , удалённой на определённое расстояние от оси сверла значение элементарной силы F_i остаётся постоянным, приходим к выводу, что для свёрл с разной формой режущей кромки значение $M_{кр}$ будет зависеть только от изменения плеча приложения p_i элементарной силы F_i . Проведено аналитическое исследование изменения плеча приложения p_i элементарной силы F_i вдоль главной режущей кромки для свёрл $\varnothing 25$ мм с углом наклона главной прямой образующей F_a : $\phi_a = 60^\circ, 50^\circ, 45^\circ, 40^\circ, 30^\circ$.

Аналитическое исследование свёрл с вогнутой криволинейной режущей кромкой, образованной линейчатой винтовой поверхностью стружечной канавки, позволяет сделать вывод о преимуществе этих свёрл перед стандартными по всем геометрическим параметрам главной режущей кромки, что положительно сказывается на физических характеристиках процесса резания, параметрах формирования и отвода стружки из зоны резания. Это подтверждается патентными разработками ведущих зарубежных фирм в области проектирования и изготовления цельных твёрдосплавных свёрл для высокоскоростной обработки отверстий.

В пятой главе представлены результаты экспериментальных исследований спиральных свёрл с криволинейной режущей кромкой.

В соответствии с аналитическими исследованиями свёрл с криволинейной режущей кромкой проведены исследования в лабораторных условиях, которые позволили установить работоспособность инстру-

мента и подтвердить теоретические предпосылки преимущества этого инструмента перед стандартным.

Эксперименты проводились при обработке конструкционной стали 45 с применением в качестве СОТС 5% раствора эмульсола. Для проведения лабораторных экспериментальных исследований использовались сверла $\varnothing 25$ мм, изготовленные из быстрорежущей стали Р6М5 ГОСТ 19265-73, с прямолинейной и криволинейной режущей кромкой, образованной передней линейчатой винтовой поверхностью с углом наклона главной прямой образующей F_a : $\varphi_a = 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$. Свёрла имели двухплоскостную заточку с углом в плане $2\varphi = 118^\circ$. Образцы инструмента были изготовлены в лаборатории кафедры "Инструментальная техника и технологии" МГТУ им. Н.Э. Баумана из одной партии спиральных свёрл $\varnothing 25$ мм ГОСТ 19546-74 путём формирования передней линейчатой винтовой поверхности шлифовальным кругом, спрофилированным методом, изложенном в разделе 3.4 диссертационной работы.

Экспериментальные исследования проводились на вертикально-сверлильном станке мод. 2Н135 в лаборатории кафедры "Инструментальная техника и технологии" МГТУ им. Н.Э.Баумана. Для измерения динамических характеристик процесса резания применялась тензометрическая станция в составе: универсальный динамометр УДМ 600; усилитель тензометрический 4-х канальный УТ4-1; персональный IBM-совместимый компьютер с платой АЦП. Станция обеспечивала выполнение непрерывных измерений усилий резания по нескольким каналам с отображением на мониторе, а также сохранение их на внешних носителях и вывод на стандартные печатающие устройства. Программное обеспечение позволяло проводить обработку полученных данных.

Обработка экспериментальных данных осуществлялась при помощи методов математической статистики.

Проведены экспериментальные исследования работоспособности спиральных свёрл с криволинейной режущей кромкой в соответствии с разделом "Методы испытаний" ГОСТ 2034-80 "Свёрла спиральные. Технические условия." ГОСТ 2034-80 и в соответствии с изменением №2 по постановлению № 1396 Госстандарта от 24.04.87. Результаты проведённых испытаний на работоспособность показали, что свёрла с криволинейной режущей кромкой соответствуют техническим условиям на стандартные спиральные свёрла.

Сравнение динамических характеристик процесса резания при обработке отверстия свёрлами с криволинейной режущей кромкой и при обработке отверстия стандартным инструментом проводилось с целью определения степени влияния кривизны главной режущей кромки на величину крутящего момента $M_{кр}$ при обработке отверстия $\varnothing 25$ мм в сплошном материале, цилиндрического столбика $\varnothing 24$ мм, цилиндрического столбика $\varnothing 24$ мм с высверленной сердцевиной $\varnothing 3$ мм. Наиболее выраженное различие наблюдается при обработке цилиндрического столбика с высверленной сердцевиной, когда исключается работа вспомогательных режущих кромок и перемычки, из чего можно сделать вывод, что именно форма режущей кромки влияет на значение суммарного крутящего момента $M_{кр}$. Экспериментальное исследование подтвердило теоретические предпосылки уменьшения суммарного крутящего момента $M_{кр}$ для сверла ($\varphi_a = 30^\circ$) на 25%.

Сравнение направления схода стружки с главной режущей кромки у стандартного сверла и у свёрл с криволинейной режущей кромкой проводилось при разных параметрах режима резания с целью выявить закономерности влияния формы главной режущей кромки на направление схода стружки. Эксперимент проводился при сверлении отверстий в конструкционной стали 45 в сплошном материале и при обработке цилиндрического столбика $\varnothing 24$ мм стандартным сверлом и свёрлами с различной кривизной режущей кромки ($\varphi_a = 45^\circ, 30^\circ$) для получения комплексной оценки вектора направления схода стружки у трёх сравниваемых инструментов. Оценка вектора схода стружки определялась по срезанию стружкой, сходящей с главной режущей кромки, слоя быстро-высыхающей корректорской краски, наносимой на винтовую поверхность стружечной канавки сверла. Экспериментально доказано изменение направления схода стружки с главной режущей кромки для свёрл с различной кривизной режущей кромки в сторону сердцевины сверла, что уменьшает силы трения стружки о стенку обрабатываемого отверстия и способствует быстрому выводу стружки из зоны резания.

Исследование процесса стружкообразования при сверлении отверстия спиральными свёрлами с различной кривизной режущей кромки проводилось оценкой формы и длины стружки. После обработки отверстия $\varnothing 25$ мм и глубиной 30 мм на разных режимах резания выделялась основная фракция стружки для оценки формы стружки и средней длины её составляющих.

На основе проведённых исследований свёрл с вогнутой криволинейной режущей кромкой разработаны с использованием метода компьютерного проектирования рабочей части инструментов с винтовыми стружечными канавками рекомендации по изготовлению и промышленному применению свёрл с вогнутой криволинейной режущей кромкой.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Предложено решение актуальной задачи аналитического описания винтовой поверхности стружечной канавки инструмента линейчатой винтовой поверхностью, которая в сочетании с наружной цилиндрической поверхностью, поверхностью сердцевины и главной задней поверхностью даёт полное геометрическое описание рабочей части инструмента, которое является математическим обеспечением компьютерного метода проектирования рабочей части инструментов с винтовыми стружечными канавками.

2. Линейчатая винтовая поверхность стружечной канавки описана параметрическими уравнениями, проанализированы профили стружечной канавки в сечении её секущими плоскостями, использующимися при проектировании рабочей части инструмента.

3. Выведены формулы для расчёта геометрических характеристик торцевого сечения, использующихся при жесткостных и прочностных расчётах инструментов с винтовыми стружечными канавками. Показаны схемы и аналитические зависимости расчёта геометрических параметров главной режущей кромки инструмента.

4. Модель линейчатой винтовой поверхности стружечной канавки сверла использована для определения рационального профиля дискового инструмента, образующего стружечную канавку сверла и формализована для применения современной вычислительной техники.

5. Создан компьютерный метод расчета и проектирования рабочей части инструментов с винтовыми стружечными канавками, позволяющий определять геометрические характеристики торцевого сечения, форму и геометрические параметры главной режущей кромки. Компьютерный метод проектирования включает в себя профилирование дискового инструмента, образующего стружечную канавку сверла.

6. С помощью компьютерного метода проектирования рабочей части инструментов с винтовыми стружечными канавками проведены

аналитические исследования свёрл с вогнутой криволинейной режущей кромкой в торцевой проекции инструмента. Этими исследованиями показано, что свёрла с криволинейной режущей кромкой имеют преимущество перед стандартными как в геометрических параметрах режущей кромки, так и в динамических характеристиках процесса резания.

7. Проведены лабораторные испытания, которые подтвердили правильность расчётов динамических характеристик процесса резания, геометрических параметров главной режущей кромки сверла с криволинейной режущей кромкой. Экспериментально подтверждена работоспособность нового инструмента при обработке отверстий в широко пространенном материале - стали 45.

8. На основе проведённых исследований свёрл с вогнутой криволинейной режущей кромкой разработаны рекомендации по промышленному применению и изготовлению свёрл с криволинейной режущей кромкой.

Основное содержание диссертационной работы нашло свое отражение в работах:

1. Малевский Н.П., Гаевой А.П. Использование модели линейчатой винтовой поверхности для профилирования стружечных канавок осевых металлорежущих инструментов // Вестник МГТУ. Машиностроение.- 1997.- №4.- С. 31-41.

2. Малевский Н.П., Булошников В.С., Гаевой А.П. Создание САПР режущего инструмента с винтовыми поверхностями с использованием модели линейчатой винтовой поверхности // Вестник машиностроения.- 1998.- №11.- С. 30-33.

3. Малевский Н.П., Гаевой А.П. Аналитическое определение точного профиля дискового инструмента для обработки винтовых поверхностей деталей // Вестник МГТУ. Машиностроение.- 1999.- №1.- С. 3-10.

4. Гаевой А.П. Использование свёрл с криволинейной режущей кромкой для обработки конструкционных материалов // Сооружения, конструкции, технологии и строительные материалы XXI века: Сборник докладов II Международной конференции-школы-семинара молодых учёных, аспирантов и докторантов.- Белгород, 1999.- Часть 3.- С. 15-19.