

На правах рукописи

Емельянов Дмитрий Владимирович

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ С ИЗМЕНЯЕМЫМ УГЛОМ НАКЛОНА СТРУЖЕЧНЫХ КАНАВОК

05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань – 2014

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ» на кафедре технологии машиностроительных производств

Научный руководитель: кандидат технических наук,
Хисамутдинов Равиль Миргалимович

Официальные оппоненты: Кугультинов Сергей Данилович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО Ижевский Государственный Технический Университет им. М.Т. Калашникова, кафедра производство машин и механизмов, профессор кафедры;

Сметанин Сергей Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВПО Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), кафедра технология машиностроения, доцент кафедры.

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева, г. Нижний Новгород

Защита состоится 29 декабря 2014 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.079.05, созданного на базе ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», по адресу 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 10 (e-mail: kai@kstu-kai.ru).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» и на сайте http://www.kai.ru/science/disser/files/file_71/text_diss.pdf

Автореферат разослан «___» _____ 2014 года.

Ученый секретарь диссертационного совета

Лунев Александр Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

В условиях современного машиностроительного производства надежность функционирования технологического процесса определяется возможными отказами, связанных с состоянием технологической системы и во многом зависит от прочности и надежности режущего инструмента, потому что он является наиболее слабым звеном технологической системы. Отказом режущего инструмента называется нарушение его работоспособного состояния в результате отклонения от установленных значений хотя бы одного из параметров режущего инструмента, а его конструкция и надежность играют значительную роль в определении длительности его работы. Это в полном объеме можно отнести к одному из самых распространенных режущих инструментов - спиральным сверлам.

В металлообрабатывающей промышленности спиральные сверла с винтовыми стружечными канавками используются с 1822г., при этом отдельные конструктивные элементы, например угол наклона винтовой стружечной канавки - ω , угол в плане - 2φ , спиральных сверл и рациональные взаимосвязи между ними могут в значительной степени повлиять на работоспособность спиральных сверл. Несмотря на это спиральное сверло, остается одним из несовершенных металлорежущих инструментов и имеет большое количество недостатков, среди которых; недостаточная надежность, низкая прочность, малая жесткость, невысокая производительность, которые проявляются с увеличением глубины обрабатываемого отверстия. Глубину отверстия обычно оценивают отношением L/d_0 . Данное соотношение используют при делении отверстий на глубокие и неглубокие, переходной границей считают $L/d_0=(3...5)$. В этом диапазоне наблюдается затрудненный стружкоотвод, рост крутящего момента, а малая жесткость самого инструмента приводят к снижению производительности обработки отверстий, а так же к снижению качества обработанных поверхностей. Все это ведет к снижению режимов резания, а также к необходимости использования ручного труда для неоднократного вывода сверла из зоны резания. На сегодняшний момент наблюдается рост номенклатуры деталей с $L/d_0=(3...5)$ (оси, втулки, гильзы, оснастка для литейного и штампового производства, детали и узлы ДВС и др.).

По статистике, например, на производстве ОАО «КАМАЗ» основная масса сверл имеет маленький период стойкости и разрушается из-за недостаточной жесткости и прочности. Стремление устранить вышеперечисленные недостатки спиральных сверл привело к необходимости нахождения способов улучшения их конструкции. В результате были разработаны различные методы подточки поперечной кромки, ленточки, подточка передней поверхности на всем протяжении режущих кромок, двойная заточка и т.п. Несмотря на это геометрия рабочей части сверла в достаточной степени не изучена и скрывает в себе значительные резервы стойкости и производительности. Так, например, недостаточно подробно исследовано изменение угла наклона винтовой стружечной канавки - ω , по длине рабочей части, на жесткость спирального сверла; не проанали-

зированы в полной мере пути совершенствования конструкции сверла за счет изменения угла наклона стружечных канавок. Исходя из этого создание жестких спиральных сверл, которые позволяют повысить производительность механической обработки, является **актуальной** задачей современного машиностроительного производства.

Цель работы – Разработка метода создания спиральных сверл переменной жесткости с изменяемым углом наклона стружечных канавок.

Для достижения поставленной цели в диссертации решаются **следующие задачи**:

1. Исследовать влияние переменного угла наклона винтовой стружечной канавки сверла на его жесткость.

2. Модернизировать существующую математическую модель создания спиральных сверл для обеспечения переменности угла наклона стружечных канавок.

3. Разработать алгоритм для автоматизированного решения задач проектирования спиральных сверл с переменным углом наклона стружечных канавок.

4. Провести производственные испытания полученной конструкции спирального сверла с переменным углом наклона стружечных канавок и проверить адекватность разработанной модели на практике.

Методы исследования базируются на фундаментальных основах технологии машиностроения, теории проектирования режущих инструментов, методах математического и компьютерного моделирования с использованием программных модулей, интегрированных в зарубежных и отечественных системах автоматизированного проектирования: AutoCAD, SolidWorks, NX (Unigraphics), САТІА и т.д.

Научная новизна заключается:

В разработанном методе проектирования спиральных сверл с переменной жесткостью, который позволяет учитывать закономерность увеличения крутящего момента резания в зависимости от глубины обрабатываемого отверстия, а так же проектировать и рассчитывать спиральные сверла переменной жесткости, с изменяемым углом наклона стружечных канавок.

Практическая значимость работы:

1. Разработаны методические рекомендации по определению рациональных геометрических параметров спиральных сверл с переменным углом наклона стружечных канавок.

2. Разработан алгоритм для системы автоматизированного решения задач проектирования осевого инструмента с переменным углом наклона стружечных канавок.

3. Создана рациональная конструкция спирального сверла с переменным углом наклона стружечных канавок, позволяющая повысить его работоспособность.

Реализация результатов работы. Спиральное сверло с переменным углом наклона винтовых стружечных канавок внедрено в производстве департа-

мента главного технолога ОАО «КАМАЗ», ОАО «КАМАЗинструментспецмаш».

Полученные результаты исследования используются в лекциях и проведении лабораторных работ по курсу «Проектирование режущего инструмента» в Набережночелнинском филиале Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева.

Апробация работы. Основные положения диссертации были доложены и обсуждены на Всероссийской научно-практической конференции «Наука и практика. Перспективы развития» (г. Набережные Челны, 2011), Международной научной технической конференции «Новые технологии наукоемкого машиностроения: Приоритеты развития кадров» (г. Казань, 2012), Международной научной технической конференции «Актуальные вопросы технических наук (II)» (г. Пермь, 2013).

В полном объеме диссертация докладывалась на расширенных заседаниях кафедр «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» Камской государственной инженерно-экономической академии; «Технологии машиностроительных производств» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева.

Публикации. Основные результаты исследований по теме диссертации опубликованы в восьми научных работах, в том числе пять статей в изданиях, рекомендованных ВАК, получен 1 патент РФ на полезную модель.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, библиографии (111 источников). Объем диссертации – 123 страниц. В тексте 51 рисунок и 16 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, направленная на повышение работоспособности спиральных сверл путем увеличения их жесткости в результате переменного угла наклона стружечных канавок, показана научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

В первой главе показано современное состояние и тенденции развития методов проектирования спиральных сверл с винтовыми стружечными канавками, рассмотрен аналитический обзор прочности спиральных сверл, также особое внимание уделено технологическим методам формообразования стружечных канавок спиральных сверл, методам повышения работоспособности спиральных сверл, а также произведен анализ требований к сверлам используемых на станках с ЧПУ и гибких автоматизированных систем.

Проблемам проектирования режущих инструментов со спиральными стружечными канавками посвящены работы советских и российских ученых В.А. Гречишникова, Г.И. Грановского, В.И. Денисенко, Ф.С. Дихтяря, С.Ю. Илюхина, Г.Г. Иноземцева, Г.Н. Кирсанова, С.И. Лашнева, В.С. Люкшина, В.А. Перепелицы, С.П. Радзевича, П.Р. Родина, П.И. Ящерицына, И.И. Семенченко, Г.Н. Сахарова, Н.Н. Щеголькова, Ф.С. Юнусова.

Проблемы прочности инструментов изучали А.Я. Александров, К.В., Алексеев, В.И. Жиме, И.П. Третьяков, В.И. Левин, Б.П. Прибылое, Ю.П. Холмогорцев, Х. Каупер, Ю. Швегерл.

Установлено, что для увеличения стойкости и жесткости спиральных сверл необходимо проанализировать способы улучшения их конструкций. На основании литературного обзора показано, что существуют различные методы подточки поперечной кромки, ленточки, подточка передней поверхности на всем протяжении режущих кромок, для увеличения стойкости спиральных сверл.

Был выполнен анализ экспериментально-аналитических методов определения жесткости и деформации спиральных сверл, полученных в работах А.Я. Александрова, К.В., Алексеева, В.И. Жиме, И.П. Третьякова, В.И. Левина.

В работе К.В. Алексеева определена зависимость разрушающего крутящего момента:

$$M_{кр} = 10,8D^{2,6} \quad (1)$$

Б.П. Прибылое, Ю.З. Авдеев, У.С. Саидкаримов так же получили зависимость для определения крутящего момента, характеризуемую двумя безразмерными параметрами n и m :

$$M_{кр} = 10^{1,4m+n} 0,003t^3 \quad (2)$$

Однако эти зависимости носят эмпирический характер, они не учитывают ни движение стружки по стружечным каналам, ни форму поперечного сечения стебля сверла, а также не учитывают влияние угла наклона стружечных канавок, что делает их ограниченными в применении.

Наиболее глубокие исследования в области устойчивости спиральных сверл проделаны Ю.П. Холмогорцевым. Проведенные им теоретические исследования показали, что для повышения динамической устойчивости сверл необходимо увеличивать момент инерции сечения путем увеличения сердцевинки сверла.

Так, например, в работе И. Х. Шейнкмана, Л. А. Джакели, Е. И. Перцева, В. М. Власова предлагается увеличить сердцевину сверла за счет уменьшения глубины стружечной канавки (Рис. 1). Однако в таком случае будет затруднен выход стружки.

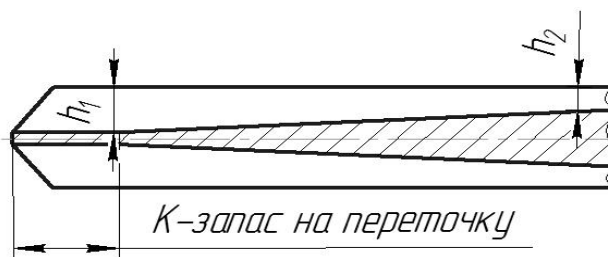


Рис. 1 Сверло с утолщенной сердцевиной

Х. Каупер, Ю. Швегерл утверждают, что недостаток инструментов, имеющих спиральную стружечную канавку, заключается в меньшей изгибной прочности сверла. Исходя из известного факта, что использование стружечной канавки, являющейся прямой, повышает жесткость сверла и является прочным на изгиб.

В настоящее время отсутствуют четкие аналитические зависимости жесткости спиральных сверл от переменного угла наклона винтовой стружечной канавкой.

Во второй главе исследовано влияние геометрических параметров спиральных сверл с переменным углом наклона стружечных канавок на его жест-

кость, разработан метод определения жесткости спиральных сверл с переменным углом наклона стружечных канавок, а так же предложена формула для оценки увода оси просверленного сверлами отверстия, в зависимости от угла наклона винтовых стружечных канавок

В настоящем исследовании доказано, что спиральные сверла имеют форму стержня сложного сечения, который нагружен одновременно двумя силами — сжимающей (осевой) P_p и создающей крутящий момент $M_{кр}$. Определение максимально допустимых значений этих сил для конкретной конструкции сверла имеет большое значение при проектировании инструмента.

Для известного условия прочности:

$$\tau_{\max} = \frac{\rho_{\max} M_{кр}}{J_p} \leq [\tau] \quad (3)$$

Где J_p — момент инерции сечения, мм⁴

$M_{кр}$ — крутящий момент, Нм

ρ_{\max} — максимальный радиус, мм

τ_{\max} — максимальное результирующее касательное напряжение, МПа.

Проведена модернизация существующего метода определения крутящего момента. Установлено, что крутящий момент равен моменту резания и моменту вызываемому силами трения по длине сверла в процессе обработки отверстия. Расчет позволяет определить характеристики жесткости и прочности сверла.

$$M_{кр} = 10C_m D^q S^y K_p + 2\pi K \sigma_t r^2 L \quad (4)$$

Где C_m, q, y — коэффициенты для определения момента резания при сверлении.

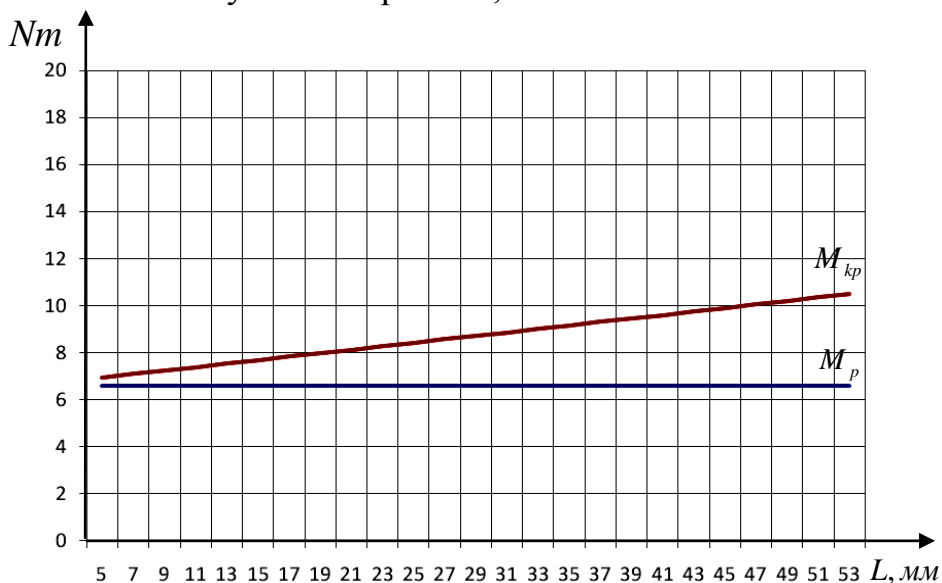
D — диаметр сверла, мм

S — подача, мм/об

K_p — коэффициент, зависящий от механических свойств материала

σ_t — предел текучести материала, МПа

L — глубина сверления, мм.

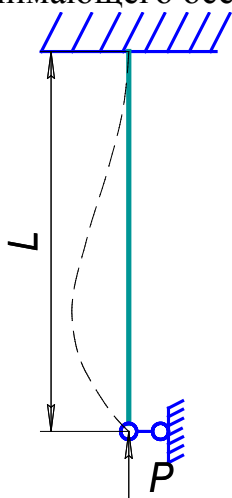


$M_{кр}$ — крутящий момент

M_p — момент создаваемый силами резания

Рис. 2. Изменение крутящего момента при ($D=8,2$ мм, $S=0,2$ мм/об)

Учитывая размеры сечения стебля, наличие стружечных канавок, значительную длину стебля, необходимо обеспечить устойчивость инструмента, воспринимающего осевую сжимающую нагрузку:



$$P_p = \frac{\pi^2 EJ_{\min}}{(\mu l)^2} \quad (5)$$

где E – модуль упругости материала, МПа;
 J_{\min} – минимальный осевой момент инерции сечения сердцевинки, мм⁴;
 μ – коэффициент приведения длины;
 l – длина стебля между опорами, мм.

Данная задача решается с определения минимального осевого момента инерции для сечения сложного профиля сверла (рис. 4) в связи со значительным объемом вычислений.

Рис. 3 К расчету разрушающей силы

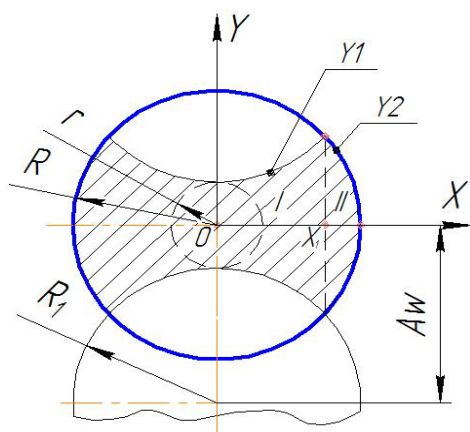


Рис. 4а. Профиль для определения момента инерции сверла

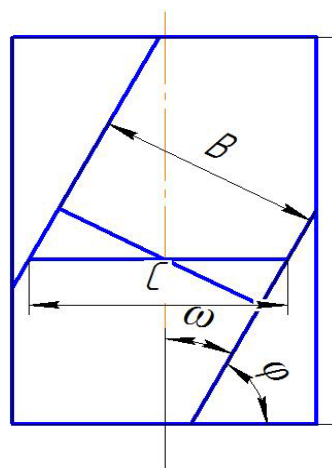


Рис. 4б. К определению ширины стружечной канавки

C – ширина стружечной канавки в нормальном сечении, мм
 ω – угол наклона винтовой стружечной канавки, рад
 φ – угол подъема винтовой стружечной канавки, рад
 Y_1 – функция описывающая режущую часть фрезы
 Y_2 – функция описывающая наружный диаметр сверла
 A_w – межосевое расстояние, мм

В ходе работы доказано, что при наклоне винтовой стружечной канавки ее ширина в сечении перпендикулярном оси увеличивается, тем самым приводит к изменению осевого момента инерции и площади поперечного сечения. Ширина канавки находится следующим образом:

$$C = \frac{B}{\cos \omega} \quad (6)$$

Где B – ширина фрезы, мм

ω – угол наклона винтовой стружечной канавки, рад

Получено уравнение для определения площади поперечного сечения в зависимости от угла наклона винтовой стружечной канавки:

$$A = \int_0^x y_1 dx + \int_x^R y_2 dx \quad (7)$$

Где y_1 и y_2 найдем из системы уравнений:

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = R^2 \\ x^2 + y_0^2 = \left(\frac{R_1}{\cos \omega}\right)^2 \end{cases} \quad (8)$$

$$y_2 = \sqrt{R^2 - x^2} \quad (9)$$

$$y_1 = \frac{\left(\frac{R_1}{\cos \omega}\right)^2 - R^2 - y_0^2}{2y_0} \quad (10)$$

После интегрирования выражение 7 преобразуется в:

$$A = \left(\frac{\left(\frac{R_1}{\cos \omega}\right)^2 - R^2 - y_0^2}{2y_0} \right) x + \frac{x}{2} \sqrt{R^2 - x^2} + \frac{R^2}{2} \arcsin \frac{x}{R} \quad (11)$$

На рисунке 5 изображено изменение площади поперечного сечения спирального сверла от изменения угла наклона винтовой стружечной канавки.

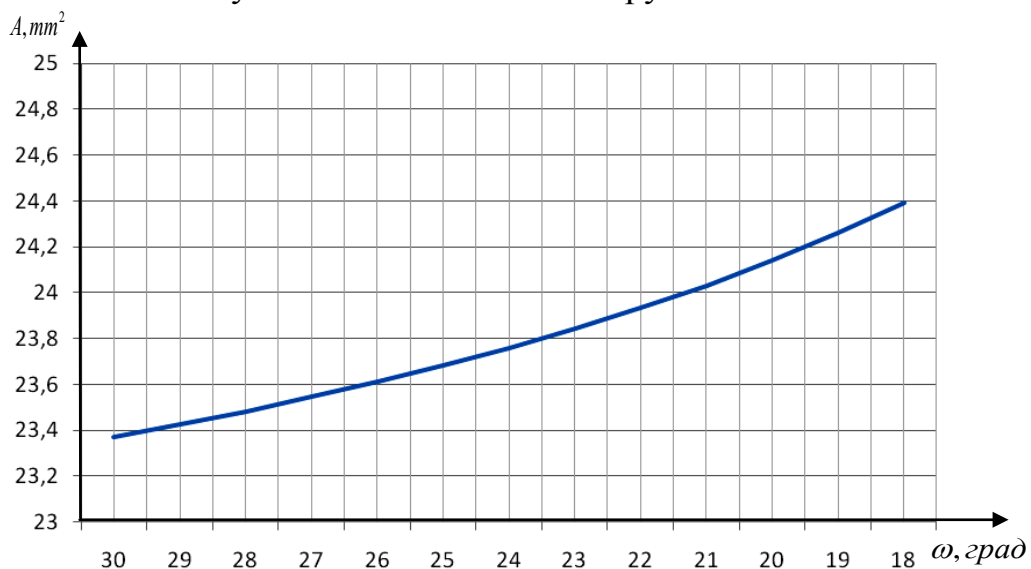


Рис. 5. Изменение площади сечения сверла

Получены формулы для определения моментов инерции J_{max} и J_{min} . Для определения J_{max} и J_{min} необходимо разбить сечение (рис. 4а) на 2 составляющих I и II.

$$J_{max} = J_{y1} + J_{y2} = \int_0^{x_1} x^2 dx \int_0^{y_1} dy + \int_{x_1}^R x^2 dx \int_0^{y_2} dy \quad (12)$$

$$J_{y1} = \int_0^x \left(\left(\frac{R_1}{\cos \omega} \right)^2 - x^2 \right)^{\frac{1}{2}} x^2 dx \quad (13)$$

$$J_{y2} = \int_x^R (R^2 - x^2)^{\frac{1}{2}} x^2 dx \quad (14)$$

Где y_1 и y_2 равны уравнениям 9 и 10, а X равен:

$$x = \sqrt{R^2 - \frac{\left(\left(\frac{R_1}{\cos \omega} \right)^2 - R^2 - y_0^2 \right)^2}{2y_0}} \quad (15)$$

$$J_{y1} = \frac{1}{2} \left(\frac{R_1}{\cos \omega} \right)^4 \left(\begin{array}{l} \arcsin \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{R_1}{\cos \omega} \right)^2 - R^2 + \frac{\left(\frac{R_1}{\cos \omega} \right)^2 + R^2 + y_0^2}{2y_0}} - \\ - \arcsin \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{R_1}{\cos \omega} \right)^2} \end{array} \right) \quad (16)$$

$$J_{y2} = \frac{1}{2} R^4 \arcsin \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\left(\frac{R_1}{\cos \omega} \right)^2 + R^2 + y_0^2}{2y_0}} \quad (17)$$

Получившиеся результаты J_{max} отразим на рисунке 6

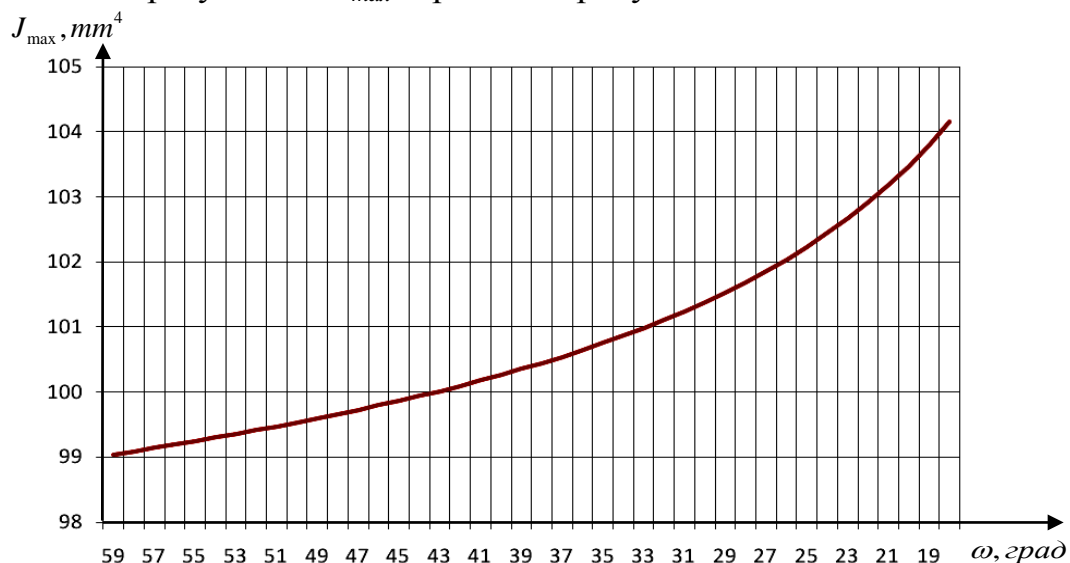


Рис. 6. Изменение осевого момента инерции J_{max} от угла наклона ω

Аналогичным образом определяется J_{min}

$$J_{min} = J_{x1} + J_{x2} = \int_0^{x_1} dx \int_0^{y_1} y^2 dy + \int_{x_1}^R dx \int_0^{y_2} y^2 dy \quad (18)$$

$$J_{x1} = \frac{1}{3} \int_0^x \left(\left(\frac{R_1}{\cos \omega} \right)^2 - x^2 \right)^{\frac{3}{2}} dx \quad (19)$$

$$J_{x2} = \frac{1}{3} \int_x^R (R^2 - x^2)^{\frac{3}{2}} dx \quad (20)$$

$$J_{x1} = \frac{1}{3} \left(\frac{R}{\cos \omega} \right)^4 \left(\frac{1}{3} \left(\frac{R^2}{\left(\frac{R_1}{\cos \omega} \right)^2 + y_0^2 + R^2} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} + \sqrt{\frac{R^2}{\left(\frac{R_1}{\cos \omega} \right)^2 + y_0^2 + R^2} - 1} - \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{R^2}{\left(\frac{R_1}{\cos \omega} \right)^2 + y_0^2 + R^2} - 1} \right) \quad (21)$$

$$J_{x2} = \frac{1}{3} R^4 \left(\frac{1}{3} \left(\frac{R^2}{\left(\frac{R_1}{\cos \omega} \right)^2 + y_0^2 + R^2} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} + \sqrt{\frac{R^2}{\left(\frac{R_1}{\cos \omega} \right)^2 + y_0^2 + R^2} - 1} - \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{R^2}{\left(\frac{R_1}{\cos \omega} \right)^2 + y_0^2 + R^2} - 1} \right) \quad (22)$$

Получившиеся результаты J_{min} отразим на рисунке 7

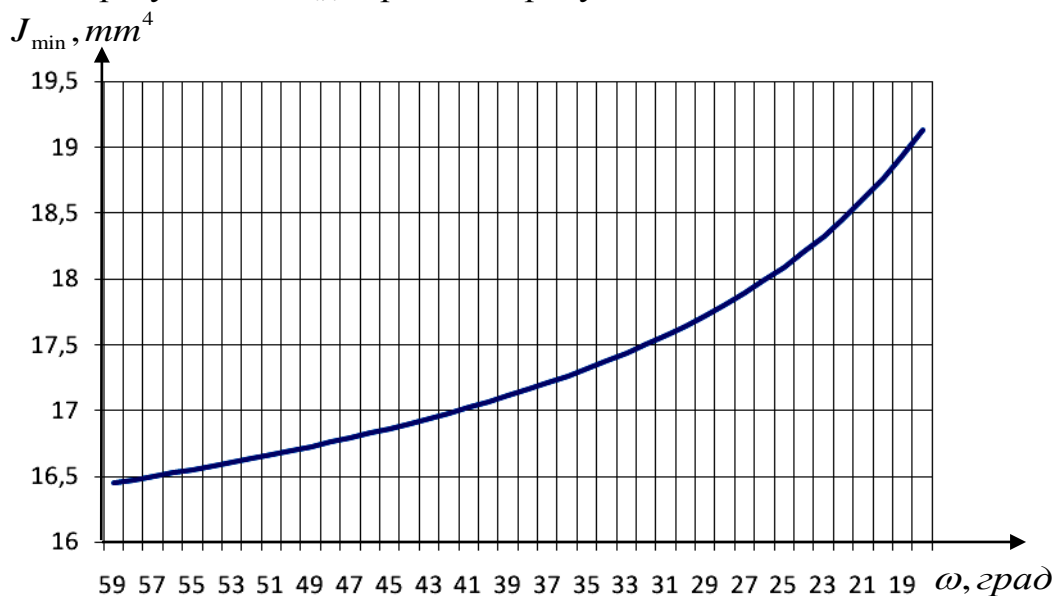


Рис. 7. Изменение осевого момента инерции J_{min} от угла наклона ω

Для нахождения полярного момента инерции J_p характеризуемого влиянием формы и размеров сечения на сопротивляемость сверла при скручивании воспользуемся следующей зависимостью:

$$J_p = J_{max} + J_{min} \quad (23)$$

Результаты отразим на рисунке 8.

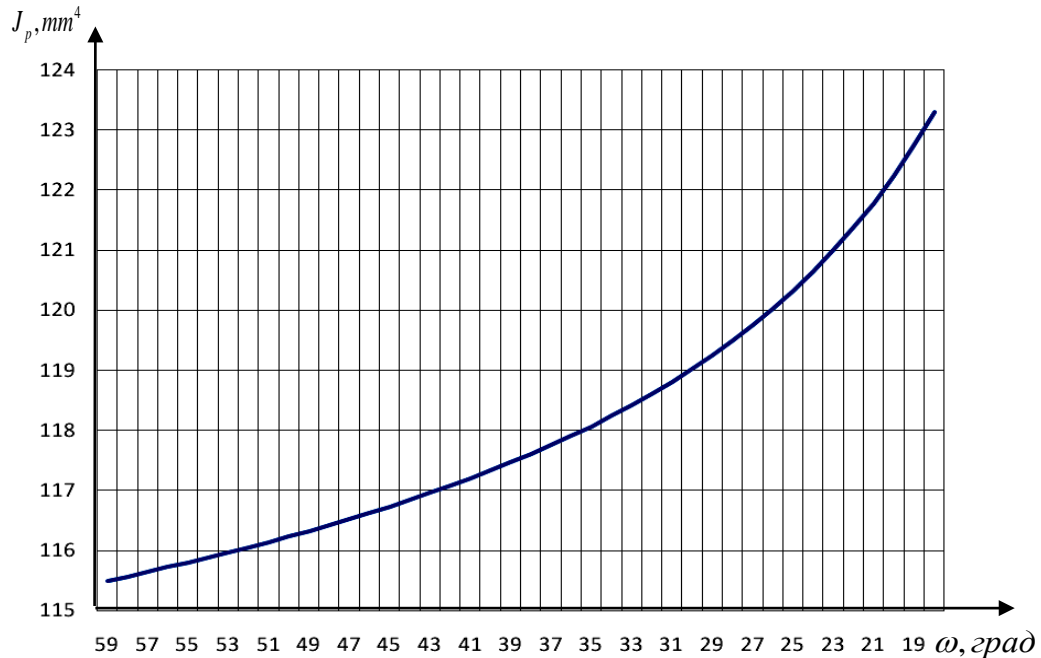


Рис. 8. Изменение полярного момента инерции J_p от угла наклона ω

В работе приведена оценка напряженно-деформированного состояния стебля сверла с учетом воздействия на инструмент одновременно крутящего момента и осевой силы с помощью компьютерного моделирования (рис. 9).

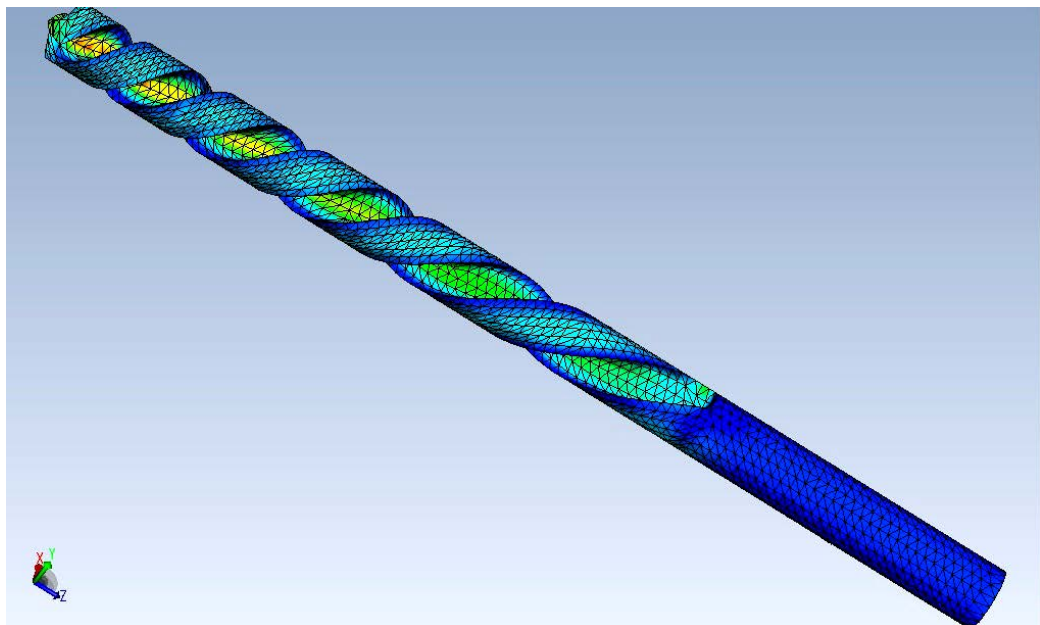


Рис. 9 Сетка конечных элементов

В результате моделирования установлено, что сердцевина сверла (рис. 10) является чрезмерно нагруженной из-за особенностей геометрии.

Компьютерное моделирование подтверждает теоретическое исследование в том, что сверла с переменным углом наклона стружечных канавок (рис. 11) из-за того, что имеют утолщенную сердцевину и большую площадь поперечного сечения, обладают большим моментом инерции и соответственно большей жесткостью и устойчивостью. Процесс сверления ими происходит стабильнее, чем обычными.

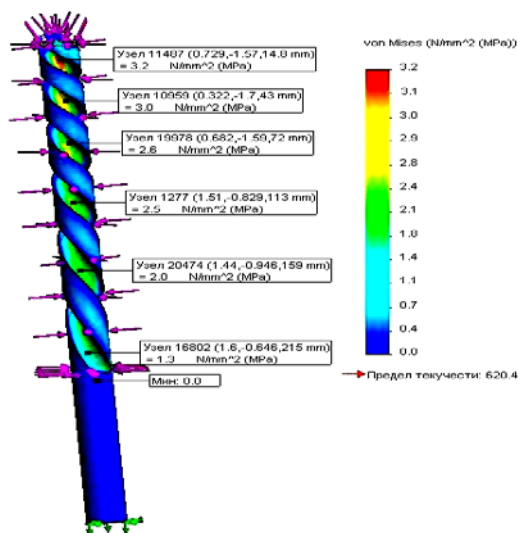


Рис. 10. Сверло с переменным углом наклона спирали

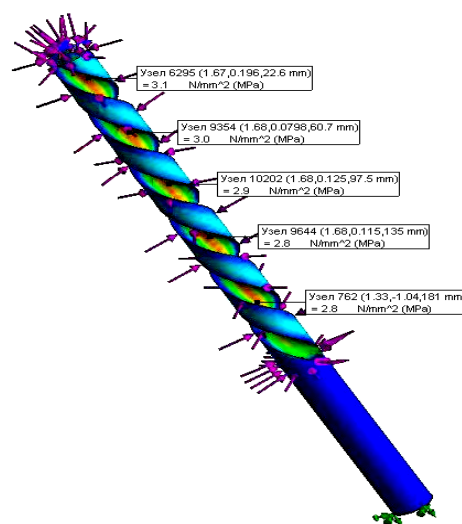


Рис. 11. Сверло с постоянным углом наклона спирали

Так же проведен анализ увода оси просверленного отверстия рисунок 12, потому что он, характеризует жесткость спиральных сверл и является главным показателем точности просверленного отверстия.

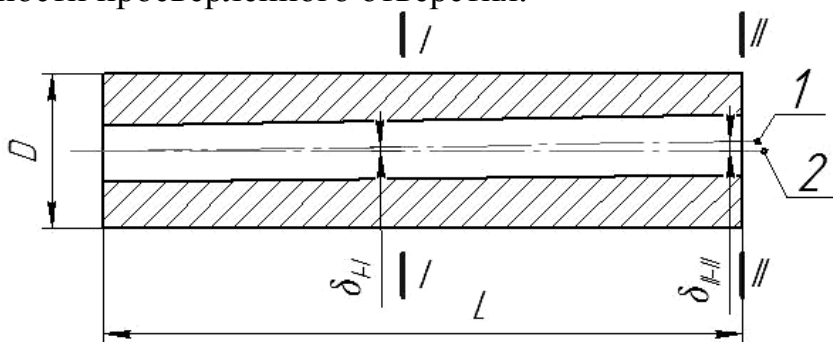


Рис. 12 Определение увода оси отверстия

Закономерность по уводу описывается следующим выражением:

$$\Delta = 1 - L^{K_1}(\delta_{доп} - \delta) \quad (24)$$

где $K_1=0,5 \dots 1$, в зависимости от технологического риска,
 $\delta_{доп}$ – допускаемое отклонение увода оси отверстия, мкм;
 δ – отклонение оси отверстия, полученное при сверлении, мкм.
 L – глубина сверления, мм

Формула, оценивающая увод оси просверленного отверстия выглядит следующим образом:

$$\delta = 1,75 \frac{s^{0,25}}{v^{0,2} \left(d_c + \frac{0,0085D}{\operatorname{tg} \omega} \right)^{0,45}} \quad (25)$$

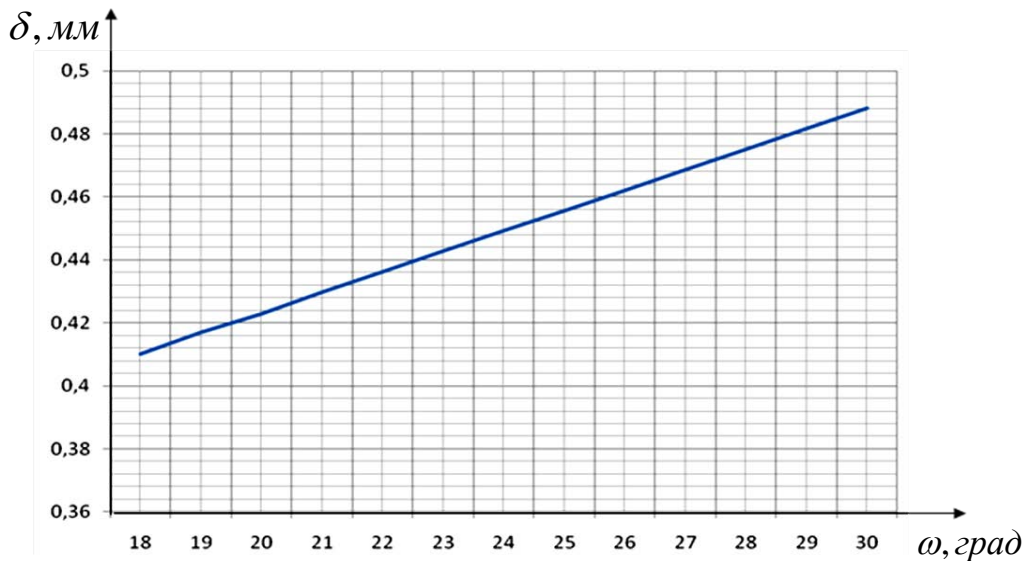


Рис. 13. Зависимость увода оси отверстия от угла наклона винтовой линии

В третьей главе представлены результаты исследования в области проектирования осевого инструмента с переменным углом наклона стружечных канавок. Разработана модель имитации обработки винтовых стружечных канавок с переменным углом наклона.

В процессе создания стружечных канавок спиральных сверл используют один из методов формообразования – фрезерование, это можно объяснить тем, что при фрезеровании возможно легко изменить геометрию сверла, параметры поперечного сечения стружечной канавки, диаметр сердцевины, угол наклона стружечных канавок – ω .

Установлено, что для формообразования стружечных канавок сверла с переменным углом наклона фреза должна равномерно вращаться относительно своей оси с принятой скоростью резания v и одновременно поворачиваться на заранее заданный переменный угол ω . Из рисунка 14 определим начальные параметры установки фрезы для обработки канавки.

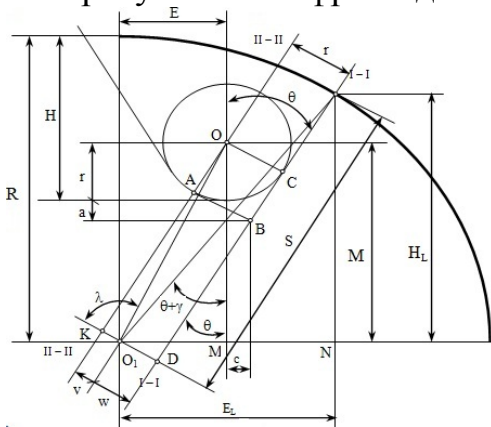


Рис. 14. Расчетная схема параметров установки

К начальным параметрам установки относят: межосевое расстояние A_w , межосевой угол ϵ и величину смещения заготовки вдоль оси инструмента. Для того чтобы найти перечисленные параметры, необходимы следующие исходные данные: диаметр фрезы D_f ; диаметр детали d_0 ; диаметр сердцевины d_c или глубина стружечной канавки h ; радиус при вершине фрезы r ; угол при вершине профиля фрезы θ , передний угол винтовой поверхности γ .

Угол скрещивания осей режущего инструмента и обрабатываемой заготовки определяем по формуле:

$$\varepsilon = \pi/2 - \omega - 0,017, \quad (26)$$

где ω – угол наклона стружечной канавки относительно оси вращения заготовки в начале винтовой линии, рад;

Передний угол γ равен:

$$\gamma = \arcsin \frac{O_1 D}{R_0}. \quad (27)$$

Установка фрезы относительно заготовки характеризуется величинами смещения H_1 и E_1 , и поворота стола ω_1 . Чтобы получить винтовую канавку с передним углом γ , нужно довернуть стол на угол $\gamma + \theta$. Угол поворота стола ω_1 при обработке винтовой канавки определяется по формуле:

$$\operatorname{tg} \omega_1 = \operatorname{tg} \operatorname{arccctg} \frac{Z}{R} \cdot \cos(\gamma + \theta), \quad (28)$$

где $\operatorname{arccctg} \frac{Z}{R}$ – изменение угла наклона винтовой канавки.

$$H_1 = \frac{H}{\cos \operatorname{arccctg} \frac{Z}{R}} \quad \text{и} \quad E_1 = \frac{E}{\cos \operatorname{arccctg} \frac{Z}{R}} \quad (29)$$

Межосевое расстояние A_w рассчитываем по формуле:

$$A_w = \frac{D_\phi}{2} + \frac{d_\phi}{2} - H_1. \quad (30)$$

Установка фрезы по отношению к обрабатываемой заготовке производится в следующем порядке:

1. Стол фрезерного станка устанавливают в нулевое положение относительно его вертикальной оси поворота и совмещают продольную ось фрезы с осью установочного валика, затем валик заменяют заготовкой.

2. Поворачивают стол фрезерного станка относительно его продольной оси на начальный угол ω_1 .

3. Перемещают стол в поперечном направлении относительно продольной оси рабочей фрезы на величину E_1 .

4. Совмещают стол станка в вертикальном направлении на глубину H_1 .

В четвертой главе разработаны общие положения для реализации системы автоматизированного проектирования, которые позволяют создать алгоритм построения необходимого профиля стружечных канавок сверла с переменным углом наклона. Получена компьютерная модель спирального сверла с переменным углом наклона стружечных канавок.

Изготовление такого инструмента ведется на высокопроизводительном 5 координатном станке с ЧПУ, при этом разработка корректной программы возможна лишь при применении математического и компьютерного моделирования режущего инструмента.

Для нахождения координат текущих точек и написания программы используем предложенную зависимость, которая следует из рисунка 15,16:

$$\begin{cases} X = R \cos \alpha \\ Y = R \sin \alpha \\ Z = r\alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi_H + (r\alpha)^2 \cdot \frac{\operatorname{tg} \varphi_K - \operatorname{tg} \varphi_H}{2L} \end{cases}, \quad (31)$$

где x, y, z – координаты текущей точки;
 R – радиус;
 α – угловое положение текущей точки;
 $\operatorname{tg} \varphi$ – угловые коэффициенты
 L – длина инструмента

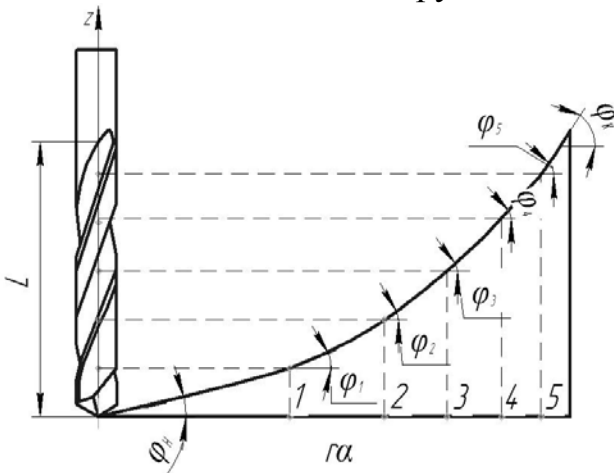


Рис. 15. К определению угла наклона винтовой линии

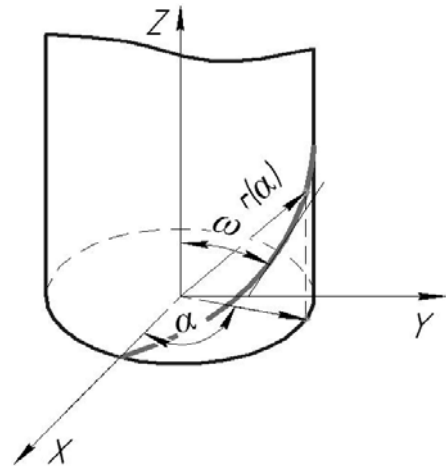


Рис. 16. К определению координат текущих точек

$$|\bar{r}(\alpha)| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (32)$$

где x, y, z – координаты текущей точки;

$|\bar{r}(\alpha)|$ – радиус вектор.

$$x^2 + y^2 = R^2 \quad (33)$$

Подставив уравнение (32) в (33) получим:

$$|\bar{r}(\alpha)| = \sqrt{R^2 + z^2} \quad (34)$$

Угол наклона обозначим через ω , тогда:

$$\frac{Z}{R} = \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} - \omega\right) \quad (35) \quad \text{отсюда следует, что } \omega = \operatorname{arccctg} \frac{Z}{R} \quad (36)$$

Указанные зависимости позволяют определить координаты текущих точек и разработать управляющую программу для станка с ЧПУ.

Пятая глава отражает результаты теоретических исследований, результаты производственного эксперимента и их сопоставление. Проведены комплексные сравнительные стойкостные испытания спирального сверла с переменным углом наклона стружечных канавок. Проведены сравнительные испытания увода оси просверленного отверстия обычным спиральным сверлом и сверлом с переменным углом наклона стружечных канавок, проведен анализ точности полученных винтовых стружечных канавок.

Для эксперимента было изготовлено сверло с переменным углом наклона спирали (рис. 17). Винтовая канавка сверла обрабатывалась на фрезерном станке OKUMA MILLAC 761C по управляющей программе.



Рис. 17. Сверло с переменным углом наклона спирали

Основные параметры сверла:
 – длина режущей части 80 мм;
 – диаметр 8,2 мм;
 – угол наклона спирали в начале рабочей части 30° , в конце рабочей части 18° ;
 – угол $2\varphi = 120^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\gamma = 12^\circ$.
 Материал режущей части P6M5.

Основные результаты проведенного эксперимента занесены в сводную таблицу 1.

Таблица 1

Основные результаты проведенного эксперимента

Материал заготовки	Режимы резания		№	Обычное сверло, увод в мм	Сверло с переменным углом наклона спирали	
	Vм/мин	Sмм/об			Теоретический расчет	Эксперимент
40X	10	0,2	1	0,47	0,43	0,29
			2	0,49	0,43	0,32
			3	0,52	0,43	0,3
			4	0,45	0,43	0,27
			5	0,48	0,43	0,33
			6	0,51	0,43	0,32
			7	0,44	0,43	0,29
			:	:	:	:
			:	:	:	:
		100	0,46	0,43	0,29	
Разбивка отверстия						
	Обычное спиральное сверло			Сверло с переменным углом наклона спирали		
№	Ø на входе, мм	Ø на выходе, мм	Ø на входе, мм	Ø на выходе, мм	Ø на выходе, мм	
1	8,23	8,48	8,23	8,34		
2	8,23	8,49	8,23	8,31		
3	8,23	8,47	8,23	8,35		
4	8,23	8,45	8,23	8,30		
5	8,23	8,50	8,23	8,36		
6	8,23	8,47	8,23	8,33		
:	:	:	:	:		
:	:	:	:	:		
:	:	:	:	:		
100	8,23	8,51	8,23	8,35		

Проведено сравнение теоретически рассчитанного профиля винтовой стружечной канавки с измеренными значениями.

Таблица 2

Результаты сравнения расчетных координат профиля винтовой канавки с измеренными значениями

ω , град	X, мм	Y, мм	Y', мм	$\delta= Y-Y' $, мм
30 ⁰	4,12	0	0	0
	4,01	0,842	0,854	0,012
	2,47	1,392	1,386	0,006
	1,49	0,691	0,668	0,023
	:	:	:	:
	:	:	:	:
	-0,69	-3,792	-3,78	0,012
Средняя погрешность $\delta=0,0107$ мм.				
ω , град	X, мм	Y, мм	Y', мм	$\delta= Y-Y' $, мм
25 ⁰	4,12	0	0	0
	4,03	0,792	0,772	0,02
	2,78	1,283	1,293	0,01
	1,31	0,635	0,641	0,006
	:	:	:	:
	:	:	:	:
	-0,65	-3,714	-3,721	0,007
Средняя погрешность $\delta=0,0093$ мм.				
ω , град	X, мм	Y, мм	Y', мм	$\delta= Y-Y' $, мм
20 ⁰	4,11	0	0	0
	4,03	0,772	0,761	0,011
	2,73	1,235	1,244	0,009
	1,27	0,607	0,620	0,013
	:	:	:	:
	:	:	:	:
	-0,63	-3,698	-3,684	0,014
Средняя погрешность $\delta=0,0102$ мм.				
ω , град	X, мм	Y, мм	Y', мм	$\delta= Y-Y' $, мм
18 ⁰	4,11	0	0	0
	4,02	0,763	0,751	0,012
	2,71	1,214	1,222	0,008
	1,25	0,606	0,613	0,007
	:	:	:	:
	:	:	:	:
	-0,61	-3,679	-3,665	0,014
Средняя погрешность $\delta=0,0107$ мм.				

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Установлены зависимости жесткости спиральных сверл от переменного угла наклона стружечных канавок с учетом увеличения крутящего момента в процессе обработки отверстий.

2. На основании теоретических исследований предложена рациональная геометрия спиральных сверл с переменным углом наклона спирали, что позволяет прогнозировать с достаточной точностью выходные параметры механической обработки. Сверло с найденными геометрическими параметрами обладает увеличенной жесткостью и стойкостью и, соответственно, приводит к повышению производительности механической обработки, что является основным критерием режущего инструмента.

3. В работе получена закономерность, позволяющая оценить увод просверленного отверстия осевым инструментом, в зависимости от угла наклона стружечных канавок. Откуда следует, что угол наклона стружечных канавок влияет не только на увод оси отверстия, но и на получаемую точность отверстия в целом, что приводит к сокращению основного времени технологического процесса и снижению удельных затрат.

4. Создана компьютерная модель спирального сверла с переменным углом наклона стружечных канавок, которая позволяет рассчитать геометрические параметры режущего инструмента. Создание компьютерной модели приводит к сокращению сроков проектирования режущего инструмента на этапе его создания, а также исключает возникновение грубых погрешностей, связанных со свойствами технологической системы.

5. Доказано, что при обработке спиральными сверлами с переменным углом наклона стружечных канавок уменьшается увеличение диаметра обрабатываемого отверстия, снижается шероховатость. Из этого следует, что установленные свойства приводят к качественным изменениям формируемых отверстий.

6. Адекватность результатов работы подтверждается теоретическими исследованиями и практическими испытаниями. Установлено, что увод оси обрабатываемого отверстия в среднем снизился на 20%, чем при работе сверлами стандартной конструкции, уменьшается увеличение диаметра отверстия уменьшилась в среднем на 15%. Сравнительная стойкость спиральных сверл с переменным углом наклона стружечных канавок повысилась в 2 раза.

7. Результаты диссертационной работы внедрены в производство ОАО «КАМАЗ».

СПИСОК НАУЧНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные статьи, опубликованные в журналах, рекомендованных ВАК:

1. Хисамутдинов Р.М. Оценка увода оси отверстия при обработке осевым инструментом с переменным шагом винтовой линии [Текст] / Р.М. Хисамутдинов, Д.В. Емельянов // Справочник. Инженерный журнал (с приложением). – 2012. – № 6. – С. 54–56.

2. Ведерников Ю.А. Способ фрезерования винтовых поверхностей переменного шага и постоянного радиуса профиля [Текст] / Ю.А. Ведерников, Р.М. Хусаинов, Д.В. Емельянов // Справочник. Инженерный журнал (с приложением). – 2012. – № 11. – С. 10–13.

3. Емельянов Д.В. Изучение работоспособности сверл с переменным шагом винтовой линии// Инженерный вестник Дона. Южный федеральный университет (Ростов-на-Дону): электронный журнал. – 2012 [Электронный ресурс] URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2012/653>

4. Емельянов Д.В. Конструкция спирального сверла с переменным углом подъема спирали для формообразования отверстий в труднообрабатываемых материалах [Текст] / Д.В. Емельянов // Справочник. Инженерный журнал (с приложением). – 2013. – № 3. – С. 31–34.

5. Емельянов Д.В. Вопросы нарезания винтовых поверхностей с переменным углом подъема спирали на станках с ЧПУ [Текст] / Д.В. Емельянов, Ю.А. Ведерников, Р.М. Хисамутдинов // Справочник. Инженерный журнал (с приложением). – 2013. – № 8. – С. 31–32.

Научные статьи и материалы докладов:

6. Емельянов Д.В. Анализ точности формообразования винтовых поверхностей переменного шага дисковым инструментом [Текст] / Д.В. Емельянов // Новые технологии наукоемкого машиностроения: приоритеты развития кадров: материалы международной научно-практической конференции. – Казань: Изд-во Казанского государственного технического университета, 2012. – С. 18–20.

7. Хисамутдинов Р.М. Формообразование осевого инструмента с переменным углом подъема спирали для обработки труднообрабатываемых материалов [Текст] / Р.М. Хисамутдинов, Д.В. Емельянов // Актуальные вопросы технических наук (II): материалы международной научной конференции. – Пермь: Меркурий, 2013. – С. 53–55.

8. Савин И.А. Вопросы формообразования режущих инструментов сложной формы [Текст] / И.А. Савин, Д.В. Емельянов, Е.А. Рябов // Проектирование и исследование технических систем: межвузовский научный сборник № 18. – Набережные Челны: Изд-во Камской государственной инженерно-экономической академии, 2012. – С. 47–53.

Патенты РФ на полезные модели:

9. Патент РФ № 131323 «Сверло с переменным шагом винтовой стружечной канавки»/ Ведерников Ю.А., Хусаинов Р.М., Хисамутдинов Р.М., Емельянов Д.В. Опубл. 20.08.2013г.

Подписано в печать _____. Усл. печ. листов 1. Тираж 100 экз.

Отпечатано в Набережночелнинском филиале Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева.