

**Министерство высшего и среднего специального
образования БССР**

**БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

На правах рукописи

инженер Долгов В.И.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПРИ ГЛУБОКОМ СВЕРЛЕНИИ
КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ ШНЕКОВЫМИ СВЕРЛАМИ**

/05.171. Теория обработки резанием/

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

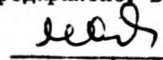
Минск 1971

Работа выполнена в лабораториях резания метеллов и приборов точной механики Белорусского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института и Будапештского политехнического университета

Научные руководители: кандидат технических наук, доцент Костюкович С.С., кандидат технических наук, доцент Дечко Э.М.

Официальные оппоненты: Академик АН БССР доктор технических наук, профессор Коновалов Б.Г. Кандидат технических наук, доцент Горевко П.А.

Ведущее предприятие: Вильнюсский завод свёрл.

Автореферат реферативный журнал "И"  1971 года
защита диссертации предполагается "И" июня 1971 года
на заседании Объединенного Совета по присуждению ученых степеней по механико-технологическим, машиностроительным, автотракторным и торфяным специальностям при Белорусском ордена Трудового Красного Знамени политехническом институте.

Отзывы /в 2-х экземплярах/ просим направлять по адресу: г. Минск 27, Ленинский проспект, 65, Белорусский политехнический институт, ученому секретарю Совета.

Дата защиты будет объявлена в газете "Вечерний Минск" или "Звязда".

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Б П И

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА
КАНДИДАТ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ДОЦЕНТ

И. В. КИСЛОВ

В решениях XXIV съезда КПСС предусматривается увеличение выпуска продукции в области машиностроения и металлообработки в 1,7 раза и главным образом отраслей, производящих новую высокопроизводительную технику, целые системы машин, позволяющие перейти к комплексной механизации работ и автоматизации технологических процессов.

Современное машиностроение и приборостроение характеризуется значительным повышением требований к точности размеров, формы и относительного расположения рабочих поверхностей деталей. Это определяется изменением качественных характеристики современных машин и выполняемых ими основных функций.

Значительное место в обработке металлов резанием занимает операция сверления. В общем объеме производства режущего инструмента 30% занимает сверла, причем 50% сверлильных операций является окончательными и к ним предъявляются повышенные требования по точности размеров отверстий.

Процесс сверления отличается от других способов обработки металлов резанием значительной сложностью и специфичкой, а высокопроизводительная обработка точных отверстий диаметром до 20 мм и глубиной более $5d$ требует применения сверл специальных конструкций, разработки и исследования различных техпроцессов, методов и средств контроля.

Настоящая работа посвящена выбору и разработке методов и средств контроля глубоких отверстий; исследованию закономерностей изменения точностных показателей /отклонения диаметра отверстия, погрешности формы в продольном и поперечном сечении, положения и направления оси отверстия, шероховатости поверхности/ в зависимости от конструкции, диаметров и геометрии инструментов, режимов резания, глубины сверления и износа инструмента, параметров кондукторных втулок, схем сверления и марок обрабатываемых материалов.

ГЛАВА I. АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ, ИССЛЕДОВАНИЯ ИХ ТОЧНОСТИ И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ.

Операции глубокого сверления выполняются на специальных, агрегатных и универсальных станках, на автоматических линиях. В зависимости от размеров диаметров и длин отверстий, форм и габаритов

деталей, конструкций режущих инструментов и требуемой точности в промышленности применяются различные схемы сверления: вертикальная, горизонтальная, с неподвижным или вращающимся инструментом и заготовкой.

Анализ опыта промышленности и данных, опубликованных в отечественной и зарубежной литературе, показывает, что операция сверления в большей степени исследована с точки зрения процесса резания. Вопросам точности, особенно точности глубоких отверстий, уделено меньше внимания.

Известен ряд работ, посвященных исследованию отдельных факторов на точностные показатели при сверлении: в трудах Г.Шпура, Д.Хедилова, Г.В.Бачине показано влияние геометрии режущего инструмента; в работах М.Т.Галея, Н.М.Кремевой—влияние режимов резания, диаметра и глубины сверления. П.Я.Дьяченко и М.О.Яковсов исследовали вопросы качества поверхности при сверлении; влияние различных конструкций сверл на точностные показатели исследовалось в работах Б.Г.Коновадова, М.А.Минкова, В.И.Астенкина и др.

Имеется также и противоречивые мнения по характеру и степени влияния отдельных факторов. Так С.А.Тиллео ставит под сомнение целесообразность применения сверл с обратной конусностью, мотивируя это тем, что при неизбежной разбивке отверстия возникает естественная конусность; В.С.Корсаков обосновывает необходимость обратной конусности тепловым расширением сверла и возможностью его заклинивания в отверстии, а Н.М.Кремеева предлагает увеличить обратную конусность у сверл до 0,2 мм на 100 мм. Нет единого мнения по вопросам высоты кондукторных втулок, величины зазора между втулкой и сверлом, расстояния от торца детали до кондукторной втулки и др.

При обработке отверстий до $10d$ используются спиральные сверла удлиненной конструкции /ГОСТ 886-64 и ГОСТ 2092-64/, а для более глубоких отверстий к ним крепится дополнительный хвостовик. Однако обработка стандартными сверлами отверстий глубиной более $5d$ возможна только с периодическими выводами инструмента из отверстия и требует понижения режимов резания.

На станках, предназначенных для глубокого сверления, широко используются ручейные сверла, обеспечивающие большую глубину

и точность обработки, но в этом случае необходимы специальная оснастка, подача СОЖ под большим давлением и, как правило, обеспечение вращательного движения заготовки.

Все большее распространение для обработки глубоких отверстий в последние годы находят спиральные сверла с большими углами наклона винтовых канавок $\omega = 45 + 60^\circ$ и, в частности, шнековые. Это объясняется тем, что такой инструмент позволяет сверлить отверстия глубиной до $100d$ на универсальном и специальном оборудовании, использовать различные схемы сверления и не требует, для удаления стружки периодических выходов из отверстия.

На основании обобщения литературных данных проведена систематизация факторов, оказывающих наибольшее влияние на точностные показатели, в том же методов и средств контроля обработанных отверстий. Установлена необходимость разработки специального прибора для контроля увода оси отверстий диаметром менее 15 мм, глубиной до 700 мм.

ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.

2.1. Условия проведения и объекты экспериментального исследования.

Эксперименты выполнялись на модернизированных вертикально-сверлильном станке 2А135 и токарно-винторезном станке 1А62. Охлаждающая жидкость—эмульсия. Основные опыты проводились на стали 45 /НВ187-192/, 20Х /НВ167-170/, 40Х /НВ207-212/. Образцы для испытаний имели цилиндрическую форму диаметром 150 мм, перпендикулярность торцов и их перпендикулярность к обрезающей цилиндра составляла не более 0,05 мм.

Для экспериментов использовались сверла из быстрорежущей стали Р18/НСС 62-65/ стандартные удлиненные /ГОСТ 886-64/ $d = 6$ мм, сверла MSZ -8984 /ВНР/ $d = 6$ мм и шнековые /ТУ 2-085-158-70 / диаметром $5 + 12$ мм, длиной обеспечивающей сверление на глубину $/10 - 100/d$. Все эксперименты проводились островерточным инструментом. Размеры сверл выбраны исходя из того, что из общего числа выпускаемых в стране—сверла $d = 5 + 12$ мм составляют 62%, из автоматических длинных сверла этих же диаметров составляют 69,6%. Шнековые сверла диаметром 5 - 12 мм, изготовляемые

Вильнюсским заводом сверл, составляют 82,5%, и используются, в основном, для сверления отверстий в сталях и чугунах на глубину $1/10 - 20/d$, а в некоторых деталях, например в стенках цилиндров пахтной крепи, эти сверла позволяют сверлить отверстия диаметром 5 мм на глубину 500 мм без вывода инструмента из отверстия.

Анализ производственной практики, литературных данных позволили выбрать для исследования основные факторы, оказывающие влияние на точностные показатели: скорость резания, которая менялась в пределах от 10 до 30 м/мин; подача от 0,05 до 0,22 мм/об; геометрия режущего инструмента /угол при вершине 80-120°, задний угол 6-18°, передний угол 6-18°, а также несимметричность заточки угла при вершине $\Delta\varphi$ от 0 до 6°/; износ инструмента; различные схемы сверления /вертикальная, горизонтальная с неподвижной и вращающейся заготовкой/; параметры кондукторных втулок /высота, зазор между втулкой и сверлом, расстояние от торца детали до втулки/.

Обработка опытных данных проводилась с использованием методов математической статистики. В соответствии с этим определялся вид распределения исследуемого точностного показателя и рассчитывались его основные параметры /при нормальном распределении - это среднее значение \bar{X} и эмпирическое среднее квадратическое отклонение σ , а также доверительные интервалы для них/. Подбирались теоретическая функция для эмпирического распределения, вычислялись её параметры и производилось сравнение эмпирической и теоретической функций по принятым критериям согласия λ и χ^2 . Проводилось выявление влияния исследуемого фактора на точностные показатели /по критерию Кохрена/, затем с использованием метода наименьших квадратов строились графики зависимости точностных показателей от исследуемого фактора. Вся математическая обработка производилась на ЭВМ "Проминь" по специально разработанным программам.

2.2. Методика определения погрешностей обработки.

На основании опыта производства, литературных данных установлено, что при сверлении обеспечивается экономическая точность: диаметрального размера по 4-5 кл. /ОСТ1015/, формы и расположения поверхностей по X+XI степени точности /ГОСТ 10856-68/, чистоты

ты обработанной поверхности по 4+5 кл./ГОСТ 2789-59/. В соответствии с принятыми в исследовании диаметрами и глубиной сверления, а также предполагаемой точностью, определены необходимые измерительные средства по методике, основывающейся на величине контролируемого допуска /ОМРМ 0466-001-66/.

Отклонение диаметра измерялось относительным методом с помощью нутромера индикаторного, с отсчетным устройством с ценой деления 0,002 мм в 3-х сечениях /входном, среднем, выходном/. В сечении измерение производилось дважды через 90°, каждый замер повторялся три раза.

Величина погрешности формы в продольном сечении определялась по результатам измерений диаметров отверстий по сечениям. Погрешность формы в сечении, перпендикулярном оси отверстия, определялась на кругломере модели 218 завода "Калибр". Шероховатость поверхности измерялась с помощью профилографе-профилометра модели 201 завода "Калибр" и специальной приставки к нему, позволяющей контролировать шероховатость поверхности I-4 кл. в отверстиях диаметром более 7 мм на глубину до 100 мм. Увод осей отверстий измерялся с помощью специально-разработанного прибора.

ГЛАВА 8. РАЗРАБОТКА ПРИБОРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ УВОДА ОСИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ.

В связи с необходимостью контроля увода осей отверстий диаметром от 5 мм и глубиной 10-100 диаметров и отсутствием приборов, работающих в указанном диапазоне размеров, был разработан и изготовлен прибор^х, в котором используется фотоэлектрический метод преобразования изменений линейной величины в электрический сигнал. Прибор работает следующим образом: деталь 4 /рис. 1/ устанавливается на столе 3 в специальном подвижном приспособлении. В отверстие детали 4 вводится щуп 5, закрепленный на карданной подвеске 12, на верхнем конце щупа находится шторка 9. Под шторкой расположена диафрагма 10 с четырьмя фотоспротивлениями СФ2-1 II, подключенными по мостовым схемам через усилитель Ф-859 к двухкоординатному записывающему устройству Н-859 или мидивиперметрии. Первоначальное положение детали определяется по нулевым

^х Авторское свидетельство № 297858

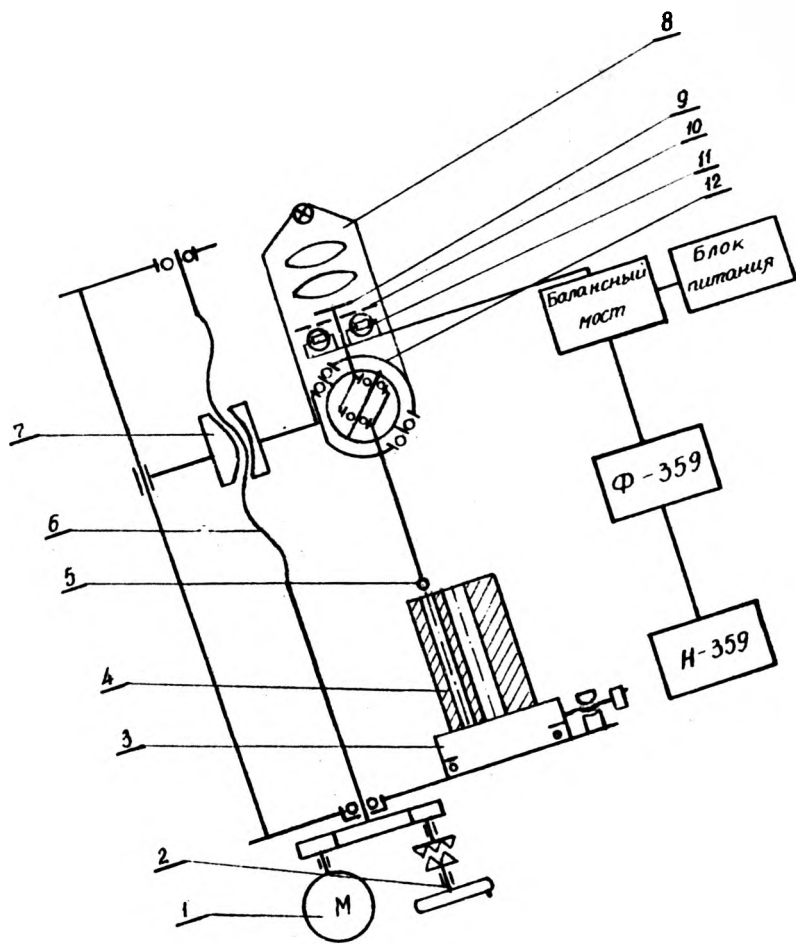


Рис. 1

показаниям миллиамперметров. Перемещение щупа вдоль оси отверстия осуществляется механически включением электродвигателя I или вручную вращением меховика 2. Вращение передается винту 6, с которым связана каретка 7, при перемещении которой измерительный наконечник щупа 5 повторяет отклонения револьной оси отверстия. Это приводит к смещению шторки 9 по координатам "X" и "Y". Шторка, перекрывая отверстия диафрагм IO, изменяет величину светового потока, падающего на фотоспротивления II, в результате чего происходит изменение фототока в отдельных ветвях мостовой схемы. Записывающее устройство Н-359 позволяет получить координаты револьной оси отверстия на заданной глубине. Отклонение оси по координатам "X" и "Y" может одновременно с записью сниматься визуально по показаниям миллиамперметров, включенных в мостовые схемы.

ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СВЕРЛЕНИЯ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ ШНЕКОВЫМИ СВЕРЛАМИ.

Динамика процесса сверления во многом определяет не только работоспособность сверла, но и существенно влияет на величину погрешностей обработки при сверлении. Инструмент для глубокого сверления обладает весьма малой жесткостью и является наиболее слабым звеном в системе СПИД. Поэтому в большинстве случаев сверло является определяющим фактором динамики процесса сверления.

В ряде трудов отечественных и зарубежных авторов, посвященных теоретическому и экспериментальному исследованию динамики сверления, установлено, что сверло под действием крутящего момента и осевой силы испытывает одностороннее кручение, сжатие и продольный изгиб. Крутящий момент и осевая сила возрастают с увеличением подачи, диаметра сверла, износа инструмента; практически не зависят от глубины сверления, несколько уменьшаются с повышением скорости резания.

Отмечается, что жесткость сверла снижается с уменьшением диаметра и увеличением вылета сверла, указывается, что сверло в процессе работы под действием крутящего момента раскручивается и удлиняется, в результате чего изменяются мгновенные значения скорости резания и подачи. Эти изменения часто имеют колебательный характер и вызывают вибрации, причинами которых могут быть как вынужденные, так и автоколебания.

С точки зрения влияния деформаций сверла в процессе резания на точностные показатели, в первую очередь, целесообразно определить изменение положений режущих лезвий под воздействием сил резания. В работе экспериментально определены величины осевых сил и крутящих моментов в исследуемом диапазоне скоростей и подач, а затем рассчитаны возникающие под их воздействием углы раскручивания и амплитуды крутильных деформаций кромки режущих лезвий, а также удлинение сверла при статическом нагружении сверла крутящим моментом. Расчеты показали, что углы раскручивания сверла и его удлинение соизмеримы с толщиной среза и как следствие, вызовут изменение сил резания. Изучены также некоторые вопросы акустической динамики при сверлении, в частности, изменение частот и амплитуд колебаний от подачи по методике разработанной акад. АН БССР Е.Г. Коноваловым и к.т.н. А.В. Борисенко.

С целью проверки расчетных величин проведено экспериментальное исследование, в результате которого установлено, что для шнековых сверл угол раскручивания возрастает пропорционально крутящему моменту и достигает в зависимости от диаметра сверла $3,5-8^{\circ}$ при нагрузках, соответствующих предельным подачам.

Проведено исследование сверла диаметром 5 мм на раскручивание при постоянном $M_{кр}=500$ нм. Длина рабочей части при этом составляла соответственно 20; 40; 60; 80; 100 диаметров сверла. С увеличением длины угол раскручивания возрастает и при длине сверла равном ста диаметров достигает 6° .

В результате математической обработки экспериментальных данных получена формула для определения угла раскручивания сверла:

$$\Delta\beta = \frac{0,037 M_{кр}}{d^3} \frac{l_0}{h}, \text{ град.} \quad (1)$$

где l - длина рабочей части сверла, мм.

h - шаг винтовой канавки сверла, мм.

В процессе работы сверло за счет раскручивания спираль удлиняется, а под действием осевой силы сжимается. Для уточнения действительных перемещений режущих лезвий в осевом направлении, сверла диаметром 5, 8, 12 мм испытаны на сжатие. Нагрузки соответствовали осевым усилиям, возникающим при сверлении в диапазоне подач, принятых в данной работе. Анализ опытных данных и математическая обработка зависимости продольной деформации сверла от прилагаемого крутящего момента позволили вывести формулу для

расчета удлинения сверла с учетом его сжатия.

$$\Delta L = \frac{12 \cdot 10^{-5} M_{кр}}{d^{1,8}} \frac{L_0}{h}, \text{ мм} \quad (2)$$

Результаты проведенных экспериментов и анализ полученных зависимостей показывают, что относительное удлинение сверла, в следовательно и прирост толщины срезаемого слоя металла может достигать 50-60% от величины подачи. Действительная подача S_g будет состоять из подачи, обеспечиваемой станком ΔS и её приращення за счет удлинения сверла ΔL т.е. она равна:

$$S_g = \Delta S + \Delta L$$

Это позволило уточнить формулы для определения сил резания при сверлении сталей шнековыми сверлами с учетом удлинения инструмента в процессе резания:

$$P_0 = C_p \cdot d^{x_p} (\Delta S + \Delta L)^{y_p} \quad (3)$$

$$M_{кр} = C_m \cdot d^{x_m} (\Delta S + \Delta L)^{y_m} \quad (4)$$

ГЛАВА 5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ.

В этой главе исследовались закономерности изменения точностных показателей в зависимости от конструкции, диаметров и геометрии инструментов, режимов резания, глубины сверления и износа инструмента, параметров кондукторных втулок, схем сверления и марок обрабатываемых материалов, дана их количественная оценка.

С целью изучения влияния конструкции сверла на точностные показатели проведено сверление отверстий диаметром 6 мм в стали 45 на глубину 60 мм стандартными сверлами удлиненной конструкции ГОСТ 886-64, MSZ - 3984 и шнековыми сверлами. Установлено, что сверление на глубину более пяти диаметров сверлами ГОСТ 886-64 и MSZ-3984 возможно только с выводами из отверстия для удаления стружки через 7-10 мм сверления, а шнековые сверла позволяют сверление на полную глубину без вывода инструмента из отверстия.

В пределах исследованного диапазона скоростей /10-28 м/мин/ и подач /0,05+0,19 мм/об/ наблюдаются общие закономерности изменения точностных показателей у всех трех типов сверл и не наблю-

дбется преимуществ ни одной из конструкций на тоность просверленных отверстий. Проведен расчет производительности, в результате которого выявлено, что по производительности шнековые сверла в 2 ÷ 2,5 раза превосходят сверла стандартной конструкции.

Экспериментальное исследование влияния геометрии шнековых сверл на точность просверленных отверстий позволили определить оптимальные значения углов при вершине - $90 \div 100^\circ$, задних углов - $14 \div 15^\circ$, передних углов - $14 \div 15^\circ$, обеспечивающих минимальные погрешности обработки. Установлено, что несимметричность заточки углов при вершине / $\Delta \varphi = 4 \div 6^\circ$ / в 1,5 ÷ 2 раза увеличивает погрешности просверленных отверстий.

Исследования влияния режимов резания на точностные показатели проводились в диапазоне подач 0,06 ÷ 0,22 мм/об, скоростей резания 10 ÷ 30 м/мин, шнековыми сверлами диаметром 6, 8, 12 мм при обработке сталей 45, 20Х, 40Х по вертикальной и горизонтальной схемам. Увеличение подачи от 0,06 до 0,22 мм/об приводит к ухудшению всех точностных показателей: Разовки отверстия возрастает в 1,2 раза, погрешности формы в продольном и поперечном сечении - в 1,3 раза, увод оси - в 1,5 раза, шероховатость поверхности - в 2 раза. Это связано с тем, что с увеличением подачи возрастает толщина срезаемого слоя металла, силы резания, раскручивание и удлинение сверла и связанные с ними вибрации, ухудшаются условия размещения и отвода стружки.

С увеличением скорости резания от 10 до 30 м/мин отклонение диаметра отверстия, погрешности формы и шероховатость поверхности возрастает в 1,2 ÷ 1,5 раза. Наиболее резкие изменения точности наблюдаются в зоне скоростей резания 15-20 м/мин, что может быть связано с повышением температуры в зоне резания, изменением процесса наростообразования и деформации срезаемого слоя. Увод оси отверстия с увеличением скорости резания уменьшается в 1,4 раза за счет некоторого снижения сил резания и повышения устойчивости сверла в процессе работы.

При изменении диаметров и схем сверления зависимости точностных показателей от режимов резания сохраняют свой характер.

Увод оси отверстия с увеличением диаметра сверла уменьшается, так как увеличивается жесткость сверла. При горизонтальной схеме сверления увод оси в 1,3 раза больше, чем при вер-

тикальной в связи с худшими условиями отвода стружки и проникновения СОЖ в отверстие.

Известно, что более 80% отверстий сверлятся с использованием кондукторных втулок. Проведенное для наших условий исследование показало, что погрешности обработки при применении кондукторных втулок уменьшаются в 1,5-2раза. Оптимальные параметры втулок: радиальный зазор между втулкой и сверлом — по скользящей посадке второго класса точности; высота кондукторной втулки $-1,5-3/d$; зазор между торцом детали и кондукторной втулкой $-1,5d$.

Увеличение зазора между втулкой и сверлом от 0,040 до 0,120 мм приводит к возрастанию разбивки и уводу оси отверстия в 1,4-1,5 раза.

Увеличение высоты кондукторной втулки с 1,5 до $3d$ повышает точность просверленных отверстий, так как при этом уменьшается перекос сверла, а когда высота втулки превышает шаг винтовых канавок сверла направляется втулкой как гладкий цилиндрический стержень.

Изменение расстояния от торца детали до кондукторной втулки показало, что наименьшие погрешности обработанных отверстий наблюдаются при зазоре равном 1,5 диаметра сверла. Дальнейшее уменьшение зазора приводило к скоплению стружки между кондукторной плитой и деталью, что ухудшало условия её выхода из отверстия, а при увеличении зазора более 1,5 диаметра сверла после выхода из втулки вновь может получить перекос.

Исследовалось влияние глубины сверления и износа инструмента на точностные показатели. Глубина сверления менялась от 10 до 30 диаметров сверла. Износ измерялся по задней поверхности на границе с ленточкой. Критерий снятия сверла с испытаний — износ по задней поверхности $h_3 = 0,4$ мм.

При увеличении глубины сверления и износа инструмента наблюдается ухудшение всех исследуемых показателей точности, однако износ в большей степени влияет на увод оси отверстия, что связано с возрастанием сил и температур в зоне резания. При увеличении глубины сверления от 10 до 30 диаметров увод оси возрастает в 2,1 раза, так как при этом увеличивается вылет сверла и падает его жесткость. В связи с ухудшением проникновения СОЖ в зону резания шероховатость поверхности возрастает в 1,7 раза.

Влияние глубины сверления на точностные показатели проверялось при сверлении отверстий в стенках цилиндров шахтной крепи на стали 35. Диаметр сверления 5 мм, глубина 500 мм. Сверление проводилось по горизонтальной схеме с вращающейся заготовкой и сверлом на модернизированном станке IA62 с помощью специально спроектированной установки. Сверление проводилось на всю глубину без выводов сверла из отверстия. При увеличении глубины от 10 до 100 диаметров разбивка отверстия, погрешность формы, шероховатость поверхности возросли в 1,2-1,4 раза, а увод оси более чем в 5 раз /с 0,120 мм при $l/d = 10$ до 0,600 мм при $l/d = 100$./

При математической обработке экспериментальных данных получены формулы для определения:

Отклонения диаметра отверстия

$$\delta = 0,03 d^{0,3} V^{0,4} S^{0,15} K_{M\delta} K_{L\delta} K_{3\delta}, \text{ мм}; \quad (5)$$

погрешности формы в продольном сечении

$$E = 0,014 d^{0,2} V^{0,4} S^{0,15} K_{ME} K_{LE} K_{3E}, \text{ мм}; \quad (6)$$

увода оси отверстия

$$\Delta = \frac{0,87 S^{0,11}}{d^{0,3} V^{0,25}} K_{M\Delta} K_{L\Delta} K_{3\Delta}, \text{ мм}; \quad (7)$$

шероховатости поверхности

$$K_a = 1,42 d^{0,5} V^{0,4} S^{0,25} K_{M_{Ra}} K_{L_{Ra}} K_{3_{Ra}}, \text{ мкм}. \quad (8)$$

где $K_{M\delta}$ K_{ME} $K_{M\Delta}$ $K_{M_{Ra}}$ — коэффициенты, учитывающие свойства обрабатываемого материала.

$K_{L\delta}$ K_{LE} $K_{L\Delta}$ $K_{L_{Ra}}$ — коэффициенты, учитывающие глубину сверления

$K_{3\delta}$ K_{3E} $K_{3\Delta}$ $K_{3_{Ra}}$ — коэффициенты, учитывающие затупленность инструмента.

Для прогнозирования надежности технологического процесса с точки зрения обеспечения заданной точности в работе использована методика математического моделирования. Математическая модель может быть построена в результате четкого формального описания последовательного изменения точностных показателей отверстий во

времени. При изучении точности процесса получения глубоких отверстий, погрешности размеров можно рассматривать как функции числа обработанных деталей /или как функции пути резания сверла/, что позволит рассматривать процесс в динамике и, используя метод сопряженного распределения, прогнозировать надежность получения годных деталей по данным сравнительно непродолжительного эксперимента.

Для экспериментальной проверки партии сверл / $n = 36$ шт./ диаметром 12 мм с одинаковой геометрией при постоянных режимах обрабатывались детали. Измерение отверстий проводилось в последовательности их снятия со станка. Было получено 36 реализаций случайной функции: $X_1/N/$, $X_2/N/ \dots X_{36}/N/$, где k -порядковый номер отверстия обработанного каждым сверлом, X_k -размер k -го отверстия.

Установлена эмпирическая зависимость между каждым из значений математического ожидания $-M_{X_k} / N /$, дисперсии $-D_{X_k} / N /$, среднеквадратического отклонения $-G_{X_k} / N /$ и независимой переменной $- N$.

На графике можно выделить условно три зоны /приработки инструмента, нормальной его работы и зоны интенсивного износа сверла/.

Получены уравнения смещения математического ожидания для указанных зон:

$$M_{X_1} = 0,2133 - 0,0083 N \quad \text{при } 1 \leq N \leq 10$$

$$M_{X_n} = 0,130 \quad \text{при } 10 \leq N \leq 25$$

$$M_{X_{31}} = 0,0059 N - 0,0175 \quad \text{при } 25 \leq N \leq 35$$

Вероятность получения деталей в пределах поля допуска /по 5 кл.точности/ на III участке определяется по методу сопряженного распределения. В соответствии с этим вместо функции распределения времени получения годных деталей используем кривую распределения размеров деталей и её изменение по мере обработки отверстий /скорость смещения математического ожидания на III участке/.

Так как оба сопряженных распределения подчиняются закону нормального распределения, то, пользуясь функцией Лапласа $\Phi / Z /$ получена формула:

$$P_{(N)} = \Phi_0 \left\{ \frac{\sigma - [M_{X_n} + \sigma(N-25)]}{\sqrt{G_{X_n}^2 + G_n^2 + [G_1(N-25)]^2}} \right\} + \Phi_0 \left\{ \frac{M_{X_n} + \sigma(N-25)}{\sqrt{G_{X_n}^2 + G_n^2 + [G_1(N-25)]^2}} \right\}$$

где v' - скорость смещения центра мгновенного распределения размеров деталей, или скорость смещения математического ожидания

M_{x_i}, G_{x_i}, G_n - соответственно величины математического ожидания,

среднеквадратического отклонения рассеивания размеров, среднеквадратического отклонения погрешности настройки /или доверительного интервала для математического ожидания/ на втором участке;

G_1 - среднее квадратическое отклонение относительного /на одну деталь/ отклонения смещения математического ожидания на третьем участке.

Применяясь данной формулой можно прогнозировать вероятность получения годных деталей при обработке N отверстий.

Например, при $N = 26$ $P/26/ = 0,99997$, $P/30/ = 0,98690$, $P/35/ = 0,78230$ и т.д. или, приняв допустимое значение P/N , определить после обработки какого числа деталей необходимо сменить инструмент, что создает предпосылки автоматизации технологического процесса и повышает производительность за счет сокращения времени на контрольные операции.

Установлено, что изменением расположения поля допуска на диаметры сверл на X_{2a} вместо установленного по ГОСТ 885-64 можно увеличить получение годных деталей за период стойкости сверла.

ВЫВОДЫ:

1. Операция сверления глубоких отверстий средних диаметров отличается сложностью и специфичностью как с точки зрения процесса резания, так и контроля полученных отверстий. Глубокое сверление осуществляется на специальном, универсальном оборудовании и выполняется, главным образом, с помощью ручных и станочных сверл с различными углами подъема винтовых канавок.

2. Установлено, что инковые сверла, как и стандартные, при обработке глубоких отверстий в сталях при вертикальной и горизонтальной схемах сверления обеспечивают: точность диаметрального размера по 4-5 кл. /ГОСТ 1015/; погрешности формы отверстия и расположения его оси по X-XI степени точности /ГОСТ 10356-68/; шероховатость поверхности по 4-5 кл. /ГОСТ 2789-59/.

При глубине сверления десять диаметров производительность обработки инковыми сверлами в 2,4 выше по сравнению со стандартными, которые требуют производить периодические выводы из отверстия и понижать режимы резания.

3. Разработана конструкция и изготовлен прибор, работающий на фотоэлектрическом принципе, для измерения ухода оси отверстия диаметром более 5 мм, на глубине до 700 мм./авторское свидетельство № 297858/.

4. Аналитически рассчитано и экспериментально подтверждено, что инковые сверла, как и стандартные в процессе работы претерпевают значительные продольные и крутильные деформации. Это приводит к мгновенным изменениям сечений среза и, как следствие, изменениям сил резания, появлению вибраций. В диапазоне исследованных в работе режимов резания углы раскручивания и удлинения инковых сверл достигают величины соответственно $\Delta\beta = 8^\circ$ и $\Delta L = 0,2$ мм, а действительные подачи в результате деформаций могут изменяться более чем на 50%.

Получены формулы для расчета удлинения сверла /1/, угла раскручивания /2/ в зависимости от величины крутящего момента, диаметра и вылета сверла, а также уточнены формулы для определения сил резания с учетом действительной величины подачи/3,4/.

5. Определена оптимальная геометрия режущей части инкового сверла, обеспечивающая минимальные погрешности обработанных отверстий: $2\varphi = 90-100^\circ$; $\lambda = 14-15^\circ$; $\chi = 14-15^\circ$. Установлено,

что несимметричность заточки угла при вершине $\Delta \varphi = 4-6^{\circ}$ увеличивает погрешности обработки в 1,5-2 раза. Для повышения точности целесообразно в ГОСТ 2034-64 оговаривать допустимую несимметричность заточки угла при вершине, уменьшить допуск до $\pm 1^{\circ}$ и задавать его раздельно для каждого из углов φ .

6. Установлены основные закономерности изменения точностных показателей глубоких отверстий от геометрии, конструкции, износа и диаметров инструмента; режимов резания; схем обработки; глубины сверления; параметров кондукторных втулок; марок обрабатываемых материалов/сталь 35,45,20х, 40х/.

Получены расчетные формулы для определения отклонения диаметра отверстия/5/, погрешности формы отверстия в продольном сечении/6/, уводе оси отверстия/7/, шероховатости поверхности /8 / в зависимости от вышеперечисленных факторов.

7. Применение кондукторных втулок уменьшает погрешности обработки глубоких отверстий в 1,5 - 2 раза. Оптимальные параметры кондукторных втулок при работе шнековыми сверлами: Высота кондукторных втулок $/2,5-3/d$, радиальный зазор между кондукторной втулкой и сверлом по скользящей посадке второго класса точности; зазор между торцом детали и кондукторной втулкой 1,5 d

8. Прогнозирование надежности технологического процесса получения глубоких отверстий с точки зрения обеспечения заданной точности создает предпосылки его автоматизации, а также повышает производительность обработки за счет сокращения времени на контрольные операции. Установлено, что изменением расположения поля допуска на диаметры сверл на X_{28} вместо установленного по ГОСТ 885-64 можно получить большее количество годных деталей за период стойкости сверла.

9. На основании исследований и полученных расчетных формул для промышленного использования разработаны рекомендации по назначению режимов резания, обеспечивающих заданную точность и чистоту обработанной поверхности при глубоком сверлении конструкционных сталей шнековыми сверлами.

Разработанные рекомендации направлены МЗАЛ, МТЗ, МАЗ, Вильнюсскому заводу сверл и другим промышленным предприятиям страны, использующим шнековые сверла.

Рабочие чертежи прибора переданы ВЭС для изготовления опытного образца прибора.

По теме диссертации сделаны доклады на объединенном заседании кафедр "технологии машиностроения", "станки", "точной механики и оптики" Будапештского политехнического Университета, совместно с работниками промышленности. г.Будапешт, ВНР, 1969.

На 2-ом научно-производственном семинаре по технологии обработки глубоких отверстий", Ленинград, 1970.

На XXVI, XXVII научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Белорусского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института совместно с работниками промышленности и строительства. Минск 1970-1971 гг.

На XII научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава Северо-Западного заочного политехнического института, Ленинград, 1971.

По работе получено авторское свидетельство № 297858

Устройство для контроля глубоких отверстий.

Долгов В.И., Костыкович С.С., Дечко Э.М.

Основные материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Долгов В.И. Приборы и методы измерений глубоких отверстий. " *Fipoptmechanika* " . Будапешт, 1969, № 8.

2. Долгов В.И. Влияние конструкции сверла на точность отверстий при глубоком сверлении стали. " *Fipoptmechanika* " , Будапешт, 1969, № 9.

3. Костыкович С.С., Дечко Э.М., Долгов В.И. Прибор для контроля глубоких отверстий. Журнал "Промышленность Белоруссии", 1970, № 8.

4. Долгов В.И. Исследование шероховатости поверхности при глубоком сверлении стали. " *Fipoptmechanika* " , Будапешт, 1970, № 12.