

05.02.08

0322

Челябинский государственный
технический университет

На правах рукописи

Сергеев Валентин Васильевич

УДК 621.95.04

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ОСНАЩЕНИЯ И МЕТОДОВ СВЕРЛЕНИЯ НАКЛОННЫХ
ОТВЕРСТИЙ

Специальность 05.02.08 - "Технология машиностроения"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск - 1992

Работа выполнена на кафедре "Технология машиностроения, станки и инструмент" Челябинского государственного технического университета.

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор
С.Г.Лакирев

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор
И.Я.Мирнов;
кандидат технических наук,
Э.Н.Шевелев.

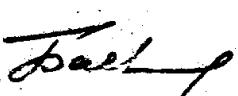
Ведущее предприятие - ПО Златоустовский машиностроительный завод им.В.И.Ленина.

Зашита состоится 23 апреля 1992 г., в 14-00 часов, на заседании специализированного совета Д 053.13.05 в Челябинском государственном техническом университете по адресу: 454080, г.Челябинск, пр.В.И.Ленина, 76.

Просим Вас принять участие в заседании специализированного совета или прислать отзыв в двух экземплярах, заверенных печатью учреждения, по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Челябинского государственного технического университета.

Автореферат разослан " " марта 1992 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
доктор экономических наук,
профессор 
И.А.Баев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. В настоящее время перед машиностроителями ставятся задачи повышения качества продукции, развития технологической гибкости производства и его автоматизации. Успешное решение этих вопросов в значительной мере затрудняется нестабильностью обеспечения точностных параметров отдельных поверхностей и низкой стойкостью инструмента на ряде операций. К таким поверхностям относятся отверстия с наклонным или криволинейным входом-выходом, пересекающиеся отверстия, отверстия в сборках из разнотвердых материалов. В дальнейшем такие отверстия называются наклонными.

При обработке наклонных отверстий 8...12 квалитетов точности, диаметром $d \leq 14$ мм и длиной выше $3d$ точность расположения обеспечивается нестабильно. Причем, уже на операции сверления появляются значительные погрешности, которые несмотря на увеличение числа последующих проходов не исправляются. Кроме того, операции сверления таких отверстий выполняются, как правило, при ручной подаче инструмента и сопровождаются частыми поломками сверл. Это снижает производительность и надежность операций, не позволяет вести обработку в автоматическом режиме. Указанные трудности объясняются недостаточной изученностью процесса взаимодействия сверла с наклонной поверхностью детали, отсутствием обоснованных рекомендаций по выбору оборудования, проектированию оснастки и назначению режимов обработки наклонных отверстий.

В связи с вышеизложенным повышение точности, производительности обработки наклонных отверстий и стойкости режущего инструмента является актуальной задачей.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Повышение точности, производительности обработки и стойкости инструмента при сверлении наклонных отверстий путем создания рациональных средств технологического оснащения на основе изучения закономерностей процесса врезания сверла в наклонную поверхность детали.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. Установлены связи между глубиной резания, состоянием технологической системы и подачей при врезании сверла в наклонную поверхность детали, на основе которых показано, что из-за периодического несимметричного нагружения главных резущих кромок сверла при наличии люфтоз и зазоров в технологической системе, врезание происходит после n_1 оборотов, считая от первого касания сверла с заготовкой. Это приводит к резкому увеличению

—4—

толщины срезаемого слоя ("скакучу" подачи), смещению оси отверстия на заходе и поломкам сверл.

На основе рассмотрения кинематики процесса сверления получена математическая модель образования увода оси отверстия, учитывающая запоминаемость ленточками сверла предыдущего положения его вершины и позволившая установить, что точность расположения оси отверстия может быть повышена либо за счет "плавающего" закрепления инструмента или кондуктора, либо за счет предварительного изгиба сверла в направлении, противоположном направлению ожидаемого увода.

Разработаны алгоритмы прогнозирования точности расположения оси наклонного отверстия при заданных значениях конструктивно-технологических параметров и расчета скорости подачи в зависимости от требований к точности расположения оси.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ПОЛЕЗНОСТЬ. На основе вскрытых закономерностей разработано два новых способа обработки наклонных отверстий, восемь элементов технологических систем, которые позволяют обеспечить точность расположения отверстий в пределах 0,15...0,35 мм, на 30...60% повысить производительность обработки, исключить поломки сверл, до 3 раз увеличить стойкость инструмента и тем самым повысить технологическую надежность операции.

Создан алгоритм проектирования и выбора рационального метода сверления наклонных отверстий. Предложены технологические модули, в том числе обладающие свойством "гибкости", обеспечивающие получение заданной точности при обработке наклонных отверстий на универсально-сверлильных, агрегатных станках и станках с ЧПУ.

НА ЗАЩИТУ ВЫНОСЯТСЯ: Результаты теоретического и экспериментального исследования механизма врезания сверла в наклонную поверхность детали, на основании которых установлены главные факторы, снижающие точность расположения отверстий и вызывающие поломки инструмента; методика расчета траектории движения сверла, учитывающая взаимодействие его направляющих ленточек с кондукторной втулкой на участке врезания и с обработанной поверхностью при установленвшемся сверлении; методика выбора рационального способа сверления в зависимости от требуемой точности расположения отверстия по критерию минимальных приведенных затрат на операцию; новые элементы технологических систем, повышающие точность расположения отверстий и исключающие поломки инструмента.

РЕАЛИЗАЦИЯ РАБОТЫ. Разработаны и внедрены в производство на Златоустовских машиностроительных и Уральском автомобильном заво-

дах: механизм подачи с противодавлением от кулачка; клинорычажный механизм для изменения подачи по программе, определяемой законом изменения сил резания при сверлении пересекающихся отверстий; устройства для беззазорного направления сверл; способ сверления отверстий в составных деталях с использованием "плавающего" кондуктора. Экономический эффект от внедрения разработок составил более 30 тысяч рублей в год.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Результаты работы докладывались на:

1. Республикаンском семинаре "Совершенствование технологии обработки отверстий", Ижевск, 1980 г.
2. Пятой Всесоюзной конференции "Прогрессивная технология обработки глубоких отверстий", Красногорск, 1979 г.
3. Всесоюзной конференции "Интенсификация технологических процессов механической обработки", Ленинград, 1986 г.
4. Научно-технических конференциях Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола в 1979...1990 г.г.
5. Объединенных заседаниях кафедр "Технология машиностроения, станки и инструмент", "Техническая механика" ЗФ ЧПИ, 1985...1990 г.г.
6. Объединенном заседании кафедр технологического профиля Челябинского политехнического института, Челябинск, 1990 г.

ПУБЛИКАЦИИ. По теме диссертации опубликовано 22 печатные работы, в том числе 13 авторских свидетельств на изобретения.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложения. Объем работы 126 страниц машинописного текста, 70 рисунков и 12 таблиц. Библиография содержит 116 наименований.

Во введении обоснована актуальность и определена цель работы.

В первом разделе выполнен анализ конструкций и служебного назначения деталей, имеющих наклонные отверстия, рассмотрены существующие технологические приемы сверления наклонных отверстий, вопросы обеспечения точности обработки и стойкости сверл, сформулированы задачи исследования:

1. Теоретико-экспериментальными исследованиями определить главные факторы, снижающие показатели процесса сверления наклонных отверстий.
2. Разработать методику прогнозирования точности расположения наклонных отверстий при сверлении.
3. Разработать и реализовать направления усовершенствования

элементов технологических систем для сверления наклонных отверстий.

4. Лабораторными и производственными испытаниями подтвердить теоретические положения и эффективность предложенных усовершенствований технологических систем.

5. Разработать методику проектирования операций сверления наклонных отверстий. Внедрить результаты разработок в производство.

Во втором разделе для выявления главных факторов, снижающих показатели процесса сверления рассмотрены системы связей между такими технологическими параметрами, как глубина резания, техническое состояние технологической системы и подача.

В качестве начальных условий принято, что сверло перемещается в строгом соответствии с заданным законом движения. Наклонная поверхность детали (рис. I) представлялась в виде нормального уравнения плоскости, расположенной перпендикулярно к координатной плоскости XOY и наклонной к оси OX под углом Ψ , а каждая из главных режущих кромок сверла – уравнением прямой в отрезках.

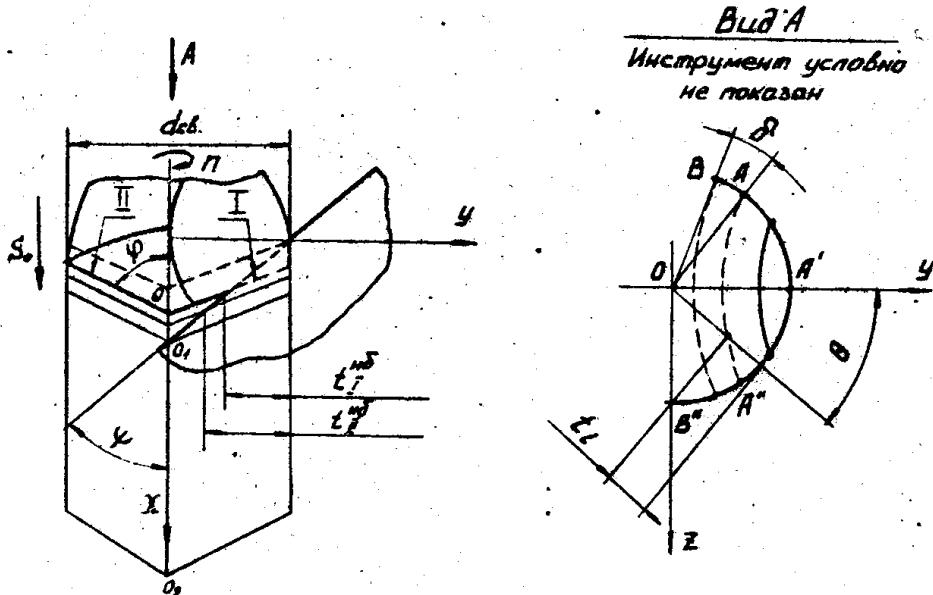


Рис. I. Схема изменения глубины резания при равномерном строго вертикальном перемещении сверла

В результате совместного решения этих уравнений получены зависимости для расчета мгновенной глубины резания на участке врезания

сверла в наклонную поверхность:

- при $\varphi > \psi$ до пересечения вершины сверла с плоскостью

$$t_i = r - \frac{r(\operatorname{ctg}\psi - \operatorname{ctg}\varphi) - S_0\theta/2\pi}{\cos\theta\operatorname{ctg}\psi - \operatorname{ctg}\varphi}; \quad (1)$$

- при $\varphi > \psi$ после пересечения вершины сверла с плоскостью

$$t_i = \frac{r(\operatorname{ctg}\psi - \operatorname{ctg}\varphi) - S_0\theta/2\pi}{\cos\theta\operatorname{ctg}\psi - \operatorname{ctg}\varphi}; \quad (2)$$

- при $\varphi \leq \psi$

$$t_i = \frac{S_0\theta}{2\pi(\operatorname{ctg}\varphi - \cos\theta\operatorname{ctg}\psi)}. \quad (3)$$

где: $r = d/2$ - радиус сверла; φ - угол сверла в плане; θ - угол поворота главных режущих кромок вокруг оси ОХ; S_0 - подача на оборот сверла.

Анализ уравнений (1)...(3) показал, что за оборот сверла глубина резания каждым режущим лезвием периодически изменяется от t_{\min} до t_{\max} и от t_{\max} до t_{\min} . Так как режущие лезвия располагаются диаметрально противоположно, то при минимальной глубине резания одним из них глубина резания другим будет максимальной. То есть наибольшая неравномерность нагружения режущей части сверла на рассматриваемом обороте $\Delta t = t_{\max} - t_{\min}$.

Неравномерное нагружение режущей части сверла при наличии люфтов и зазоров в элементах технологической системы приводит к интенсивным колебаниям инструмента. В работе вскрыт механизм этих колебаний и показано, что при $\varphi > \psi$ наиболее неблагоприятными для процесса являются осевые колебания, так как они сопровождаются раскрытием зазоров в приводе подач станка.

Установлено, что амплитуда осевых колебаний является функцией осевых (Δx), радиальных (Δy), окружных (Δz) зазоров в элементах технологической системы и других конструктивно-технологических параметров:

$$A_o = f(\Delta x, \Delta y, \Delta z, d_{cb}, \alpha_n, \psi, \eta), \quad (4)$$

где: d_{cb} - диаметр сверла; α_n - задний угол сверла; ψ - угол наклона поверхности детали к оси сверла; η - угол между вектором неуравновешенной радиальной силы резания P_p (рис. 2) и осью параллельной наклонной поверхности детали.

Расчеты показали, что амплитуда осевых колебаний от 4 до 11 раз превышает величину подачи S_0 и существенно влияет на условия

врезания. При этом режущие лезвия, имеющие даже незначительное затупление (рис. 3), не срезают металл, а скользят по наклонной поверхности детали. Момент врезания задерживается.

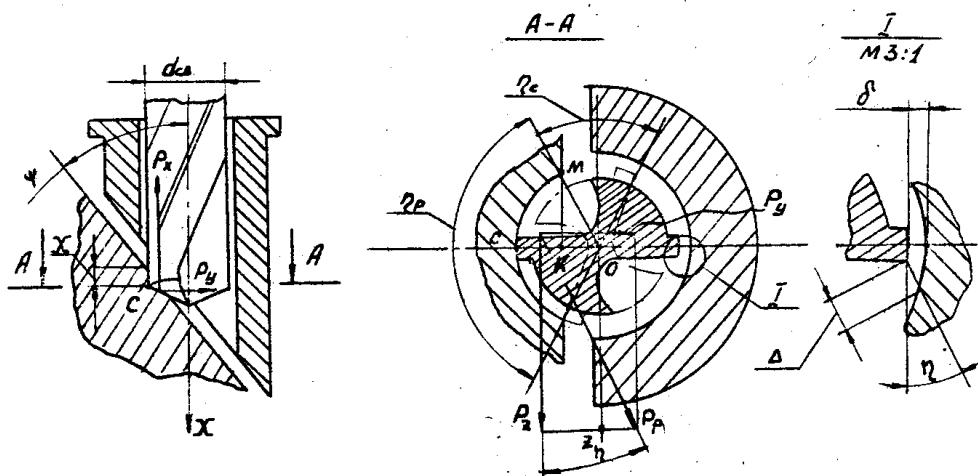


Рис. 2. Схема для расчета амплитуды осевых колебаний

Начало врезания обусловлено величиной осевого зазора в механизме подач станка, тангенциальным расположением режущего лезвия относительно наклонной поверхности

детали, углом наклона поверхности детали к оси сверла - ψ , скоростью подачи - S_0 и формой фаски износа режущих кромок сверла. Установлено, что если износ происходит, например, по поверхности с радиусом r , то от первого касания до начала врезания сверло совершает

$$n_x = \frac{\pi \operatorname{ctg} \psi (1 - \cos \theta_1)}{S_0} - \frac{\theta_1}{2\pi} \quad (5)$$

оборотов. Здесь θ_1 - угловое положение режущих кромок относительно оси ОУ при вращении сверла вокруг оси ОХ, соответствующее началу врезания и определяемое по формуле:

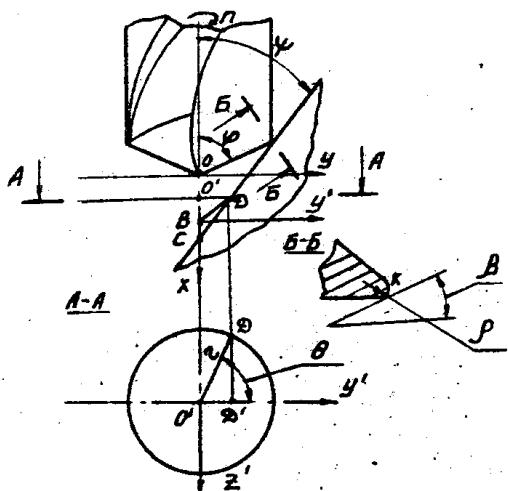


Рис. 3. Схема для расчета величины "скакча" подачи

$$\Theta_1 = \arcsin \frac{\sin \beta \sqrt{S_o^2 + 4\pi^2 r^2} + S_o \sin \psi}{2\pi r \cos \psi}, \quad (6)$$

где: β - угол между наклонной поверхностью детали и касательной к винтовой траектории движения точки К, разделяющей переднюю и заднюю поверхности режущего лезвия сверла.

Анализ уравнений (5) и (6) показал, что наименьшее значение $n_x = 7$ соответствует $\psi = 40^\circ$, а наибольшее $n_x = 50$ - при $\psi = 10^\circ$. В течение n_x оборотов сверло совершает осевые колебания, амплитуда которых возрастает с каждым оборотом инструмента. При этом возрастает потенциальная толщина среза. В момент начала врезания происходит резкое увеличение толщины среза. В дальнейшем это явление называется "скачком" подачи. Величина "скачка" подачи определяется по формулам: $C_p = n_x S_o$ при $\Delta x > n_x S_o$ или $C_p = \Delta x$ при $\Delta x < n_x S_o$.

Анализ уравнений (1)...(3) показал, что процесс врезания можно разбить на два этапа. На первом этапе глубина резания каждой режущей кромкой возрастает с каждым последующим полуоборотом. При этом возрастает и неравномерность Δt нагружения сверла. Максимального значения Δt достигает в тот момент, когда одна режущая кромка начинает работать всей длиной. На втором этапе одна режущая кромка нагружена по всей длине и прилегающая к ней направляющая ленточка взаимодействует с обработанной поверхностью отверстия, а глубина резания другой режущей кромкой продолжает увеличиваться. Следовательно Δt уменьшается, что приводит к уменьшению неуравновешенной радиальной составляющей силы резания.

Таким образом, теоретический анализ взаимодействия сверла с наклонной поверхностью детали позволил установить, что главными факторами, действующими при сверлении наклонных отверстий являются угол наклона поверхности детали к оси инструмента - ψ , неравномерность нагружения режущей части сверла - Δt , скорость подачи - S_o , число оборотов сверла от первого касания до начала врезания - n_x и осевой зазор в механизме подач станка - Δx . Эти факторы приводят к возникновению "екачки" подачи, резкому увеличению сил резания, а, следовательно, к поломкам сверл на участке врезания и нестабильному обеспечению точностных параметров отверстия.

Установлено, что наиболее реальным средством уменьшения "скачки" подачи является уменьшение осевого зазора в механизме подач станка, который необходимо регламентировать, по возможности сводя его к нулю.

Изменение же неравномерности нагружения режущей части сверла необходимо учитывать как при проектировании оснастки, так и при прогнозировании точности расположения оси отверстия.

В третьем разделе рассмотрены вопросы прогнозирования точности расположения оси при сверлении наклонных отверстий. При этом учитывались главные факторы, действующие при врезании сверла в наклонную поверхность.

Расчет сил резания проводился по методике А.А.Биноградова с учетом закономерностей (см. уравнения I...3) изменения глубины резания.

Показано, что с увеличением угла в плане φ составляющая силы резания P_x увеличивается, а P_y и P_z уменьшаются, причем P_y уменьшается быстрее, чем P_z . Это обстоятельство учитывалось при разработке направлений усовершенствования элементов технологической системы.

По мере врезания сверла сила P_x возрастает. Неуравновешенные силы P_y и P_z подчиняются закономерности изменения Δt , то есть на первом этапе врезания возрастают до максимального значения, а на втором этапе уменьшаются.

Согласно закономерности изменения сил резания на первом этапе врезания, смещение режущей части сверла с номинального положения увеличивается с каждым полуоборотом сверла. Причем, смещение Δ под углом η (рис. 4) может значительно превышать величину зазора между кондукторной втулкой и направляющими ленточками сверла, так как суммарный неуравновешенный вектор $P_p = \sqrt{P_y^2 + P_z^2}$ не совпадает с основной плоскостью сверла, а стебель сверла изгибается и опирается на кондукторную втулку отдельными площадками, расположенными на его направляющих ленточках. Тогда кондукторную втулку со склоненным торцом можно представить (рис. 5) в виде нескольких шарнирных опор. Опора, расположенная ближе к вершине сверла отстоит от оси стержня на расстоянии $\Delta = \delta / \cos \eta = \delta \sqrt{P_y^2 + P_z^2} / P_y$, так как режущая часть сверла, смещаясь в направлении вектора P_p , опирается на кондукторную втулку периферийной точкой главной режущей кромки (точка С на рис. 4). Расстояние остальных опор от оси стержня определяется величиной зазора δ между направляющими ленточками сверла и кондукторной втулкой, так как ленточки сверла смещаются по нормали к поверхности кондукторной втулки, а количество опор определяется длиной кондукторной втулки.

Показано, что при возрастании силы P_p , схема нагружения стебля инструмента изменяется. Так, при увеличении P_p от нуля до P_{pmax}

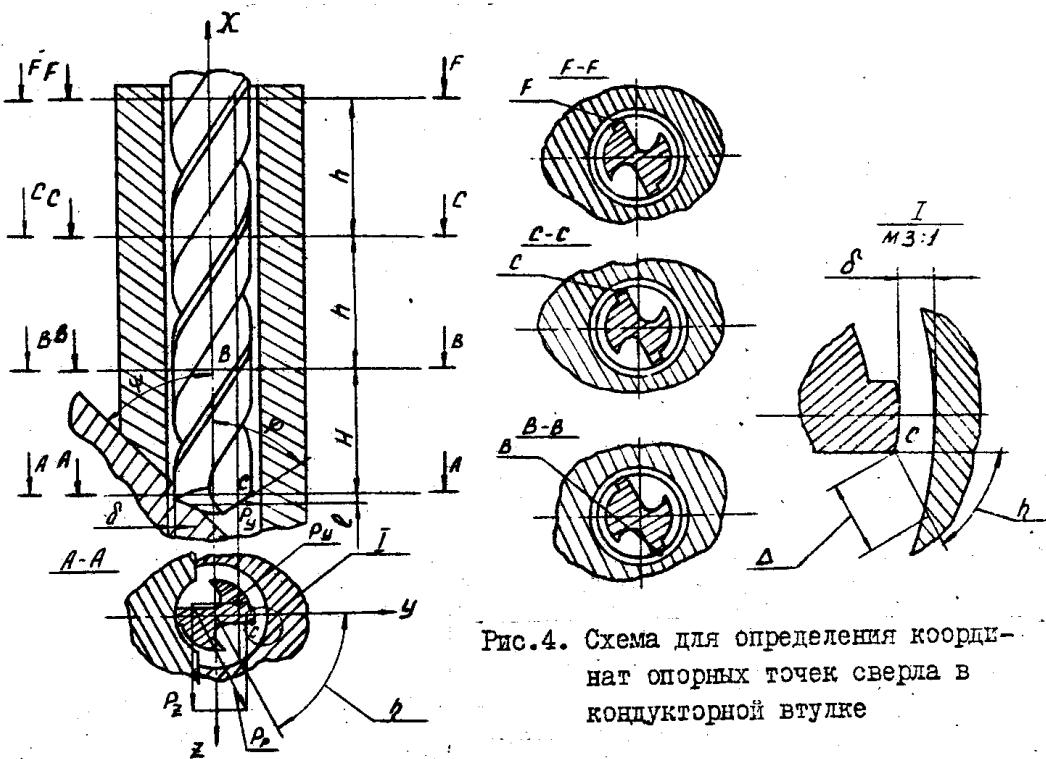


Рис.4. Схема для определения координат опорных точек сверла в кондукторной втулке

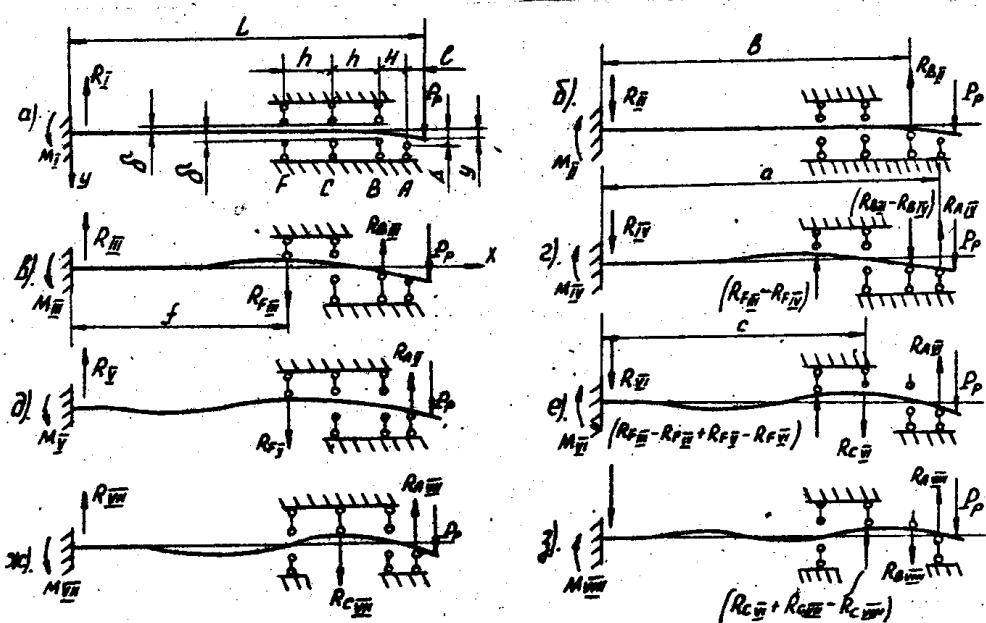


Рис.5. Расчетные схемы для определения смещений и углов прогиба вершины сверла

(рис. 5, а) вершина сверла перемещается до тех пор, пока не произойдет касания с опорой В. При $P_p > P_{\text{max}}$ система становится один раз статически неопределенной (рис. 5, б). Данная схема нагружения имеет место при увеличении P_p до $P_{\text{max}} = P_{\text{max}} + P_{\text{II}}$, где P_{II} – дополнительное усилие, при котором происходит касание инструмента с опорой F (рис. 5, в). При увеличении P_p до $P_{\text{III max}}$, $P_{\text{IV max}}$, $P_{\text{V max}}$, $P_{\text{VI max}}$ и $P_{\text{VII max}}$ схемы нагружения изменяются таким образом, что вначале произойдет касание инструмента с опорой А (рис. 5, г), затем отрыв от опоры В (рис. 5, д) касание с опорой С (рис. 5, е), отрыв от опоры F (рис. 5, ж), касание с опорой В (рис. 5, з) и, наконец, отрыв от опоры С. Как показали расчеты, существовавший прежде упрощенный подход к схеме нагружения, когда взаимодействие сверла с кондукторной втулкой заменяется одной или двумя опорами дает большое расхождение с действительными величинами смещений. Кроме того, изгиб сверла может происходить по одной, двум и трем полуволнам, что способствует увеличению сил трения в кондукторной втулке и уменьшение зазора в соединении сверло-втулка может привести к заклиниванию и поломке сверла.

На основе изложенного, разработана методика прогнозирования точности расположения оси отверстия на участке врезания сверла в наклонную поверхность. При заданных значениях конструктивно-технологических параметров операции сверления, по уравнениям метода начальных параметров рассчитываются смещение

$$y = \frac{1}{EJ} \left[\frac{M_{IL}^2}{2!} + \frac{R_{IL}^3}{3!} + \frac{R_{FI}(L-f)^3}{3!} + \frac{R_{AI}(L-a)^3}{3!} + \frac{R_{BI}(L-b)^3}{3!} + \frac{R_{CI}(L-c)^3}{3!} \right] \quad (7)$$

и угол прогиба

$$\theta = \frac{1}{EJ} \left[\frac{M_{IL}}{1!} + \frac{R_{IL}^2}{2!} + \frac{R_{FI}(L-f)^2}{2!} + \frac{R_{AI}(L-a)^2}{2!} + \frac{R_{BI}(L-b)^2}{2!} + \frac{R_{CI}(L-c)^2}{2!} \right] \quad (8)$$

режущей части сверла, где: R_{IL} и M_{IL} – реакция и реактивный момент в заделке по рассматриваемой схеме нагружения; R_{FI} , R_{AI} , R_{BI} , R_{CI} – реакции в опорах F, A, B, и C соответственно.

На втором этапе врезания неуравновешенные силы резания P_y и P_z уменьшаются, что, однако, не приводит к уменьшению величины смещения сверла, так как задний угол на ленточках сверла равен нулю и они имеют ограниченные режущие свойства. То есть смещение вершины сверла на первом этапе фиксируется направляющими ленточками, что позволяет считать второй этап врезания началом установившейся обработки.

Для прогнозирования точности расположения оси отверстия при ус-

становившемся сверлении разработана математическая модель, учитывющая взаимодействие направляющих ленточек сверла с частью обработанного этим же инструментом отверстия.

При этом изогнутое сверло условно представлялось в виде двух шарнирно скрепленных стержней (рис. 6), один из которых жестко защемлен, а второй имеет одинарное базирование. В реальном процессе роль такой базы, по которой базируются ленточки, выполняет обработанная поверхность отверстия.

Траектория движения вершины сверла описывается уравнением:

$$y(x) = \frac{l_2}{l_2 - l_1} y(x - l) - \frac{l_1}{l_2 - l_1} y_2 - C, \quad (9)$$

где: y_2 – погрешность наладки; C – отклонение режущей части сверла относительно опорной базы.

Решение уравнения (9) методом интегральных преобразований имеет вид:

$$y(x) = \frac{l_2}{l_2 - l_1} y_0 \left(\frac{l_2}{l_2 - l_1} \right)^{\frac{x}{l_1}} - \left(\frac{l_1}{l_2 - l_1} y_2 + C \right) \frac{\left(\frac{l_2}{l_2 - l_1} \right)^{\frac{x}{l_1}} + 1}{\left(\frac{l_2}{l_2 - l_1} - 1 \right)}, \quad (10)$$

где: y_0 – начальное смещение и угол наклона режущей части сверла.

Уравнение (10) не учитывает действие неуравновешенных сил, обусловленных погрешностью заточки инструмента, неоднородностью обрабатываемого материала и других факторов, которые усиливают увод оси инструмента. Поэтому данным уравнением процесс установившегося сверления описывается лишь на качественном уровне.

Однако и этого оказывается достаточным для того, чтобы показать, что при $l_2 > l_2 - l_1$ решение расходится как показательная функция и будет наблюдаться быстрое нарастание увода. Следовательно, при смещении вершины инструмента на заходе, даже при отсутствии неуравновешенной радиальной силы, следует

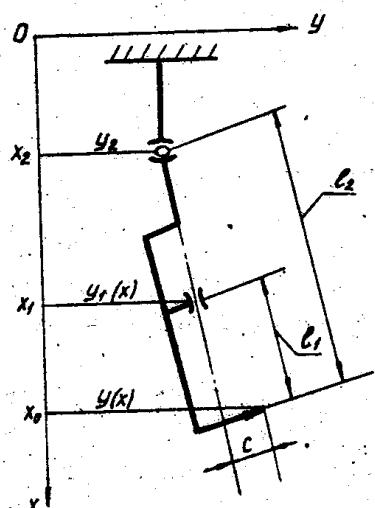


Рис. 6. Расчетная схема для определения увода вершины сверла при установившемся сверлении

ожидать значительных уводов оси отверстия.

Таким образом и методика прогнозирования точности расположения наклонных отверстий состоит из двух этапов. На первом этапе по уравнению (7) рассчитывается смещение оси отверстия на участке врезания. На втором этапе с учётом базирования ленточек сверла по обработанной поверхности по уравнению (10) рассчитывается смещение оси на выходе из отверстия, причем смещение и угол прогиба сверла, рассчитанные по уравнениям (7) и (8), используются в качестве начальных условий для второго этапа прогнозирования.

В четвертом разделе с использованием методики прогнозирования решена задача разработки направлений усовершенствования элементов технологической системы с целью повышения точности расположения наклонных отверстий. При этом учитывалось разработанное проф. В.В. Матвеевым положение о том, что для повышения точности обработки в массовом производстве прежде всего следует обеспечить стабильность операции.

Нестабильность операции сверления наклонных отверстий, как отмечалось во втором разделе, обусловлена "скачком" подачи на участке врезания. Так как "скакок" подачи возникает лишь при наличии осевых зазоров в приводе подач станка, то стабилизировать процесс врезания можно путем исключения указанных зазоров.

С этой целью разработаны специальные механизмы подач. В отличие от традиционных, силовое замыкание в таких механизмах осуществляется не через инструмент-заготовку-приспособление, а через исполнительное звено привода подач и устройство "противодавления". Это обеспечивает гарантированное нагружение исполнительного звена осевой силой до начала обработки и тем самым при резком уменьшении осевой составляющей силы резания препятствует раскрытию зазоров. Однако при этом еще не гарантируется обеспечения точности расположения отверстий по 6...9 степени точности из-за действия на участке врезания неуравновешенной радиальной составляющей силы резания.

Анализ математической модели врезания сверла показал, что точность расположения отверстий может быть повышена за счет уменьшения угла подъема спирали сверла (рис. 7, г), скорости подачи инструмента (рис. 7, д), зазора в паре сверло-кондукторная втулка (рис. 7, б). Длины сверла и кондукторной втулки мало влияют (рис. 7, а, е) на точность расположения отверстий, так как смещение вершины сверла под действием P_r в 3,5...4 раза превышает величину зазора в узле направления инструмента, базирование сверл в этом узле происходит не всей поверхностью направляющих ленточек, а, в силу

их естественной закрученности, отдельными площадками и периферийными точками режущих лезвий.

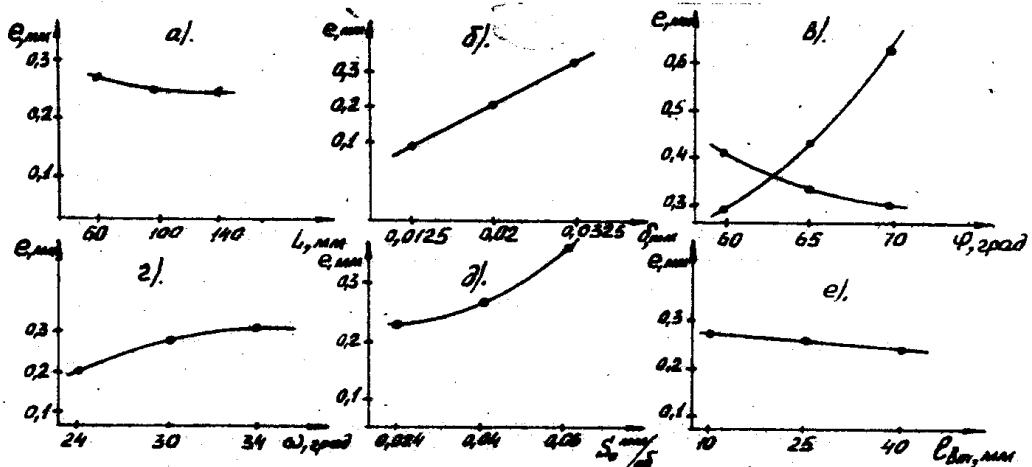


Рис. 7. Зависимость величины смещения оси отверстия на участке врезания в наклонную поверхность детали от:
а) длины сверла; б) зазора в узле направления инструмента;
в) угла в плане; г) угла подъема стружечной канавки;
д) скорости подачи; е) длины кондукторной втулки

Влияние угла φ на смещение оси отверстия при врезании не однозначно. При $P_p < P_{\text{штак}}$, смещение оси уменьшается с увеличением φ . Это объясняется уменьшением P_p при увеличении φ . При $P_p > P_{\text{штак}}$ максимальная величина смещения $e_{\text{макс}} = \delta \sqrt{P_p^2 + P_y^2} / P_y$ будет меньшей при меньших φ , так как при уменьшении φ P_y возрастает быстрее, чем P_p . Следовательно, угол φ уменьшается и $e_{\text{макс}}$ также уменьшается.

С учетом влияния перечисленных факторов, разработан алгоритм расчета скорости рабочей подачи сверла на участке врезания, обеспечивающей заданную точность расположения отверстий.

Анализ математической модели процесса установившегося сверления показал, что при уменьшении l_1 , отношение $l_2/(l_2 - l_1)$ уменьшается и при $l_1 \rightarrow 0$, то есть, когда $l_2/(l_2 - l_1)$ стремится к единице, решение $u(x)$ хотя и неустойчиво, однако растет линейно. Следовательно, для уменьшения увода необходимо уменьшать расстояние от вершины сверла до опорной базы. Конструктивным средством для этого является увеличение угла наклона направляющих ленточек к оси сверла.

К аналогичному результату, то есть к линейному нарастанию увода, согласно уравнению (10), можно прийти, если при постоянном l_1 увеличивать l_2 . Так, если $l_2 \gg l_1$, то отношение $l_2/(l_2 - l_1)$ будет близким к единице, а нарастание увода – линейным.

При $l_2 \rightarrow \infty$ уравнение (9) принимает вид $Y(X) - Y(X - l_1) = C$.

Решение этого уравнения

$$Y(X) = Y_0 - C \left(1 + \frac{X}{l_1}\right) \quad (II)$$

свидетельствует о том, что при $l_2 \rightarrow \infty$ нарастание увода будет строго линейным.

Конструктивным средством для реализации этого направления является "плавающее" закрепление инструмента (рис. 8) или кондуктора /8/.

Максимальное уменьшение увода достигается, если задать $Y = 0$, что соответствует исключению зазоров в паре сверло-кондукторная втулка, а $Y_2 = -C(l_2 - l_1)/l_1$, то есть специально изогнув сверло дополнительной силой $P_{\text{доп.}}$ (рис. 9) перед началом врезания в направлении, противоположном вектору неуравновешенной радиальной силы P_r /9/. Величину деформации Y_e необходимо принимать равной ожидаемому смещению на этапе врезания.

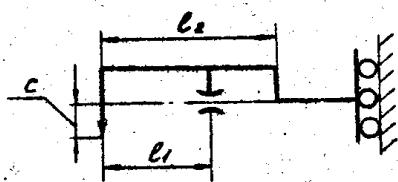


Рис. 8. Расчетная схема для определения увода при "плавающем" закреплении сверла

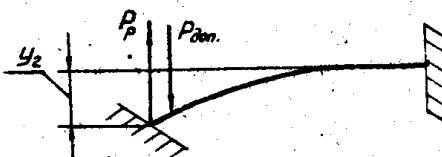


Рис. 9. Расчетная схема при сверлении предварительно изогнутым сверлом

Увеличение угла ω и "плавающее" закрепление инструмента или кондуктора легко реализуются при использовании обычных кондукторных втулок с замкнутой направляющей поверхностью.

Для направления предварительно изогнутого инструмента предложено использовать специальные незамкнутые направляющие устройства типа "призма" /5/ или роликовые направляющие /4/, что исключает заклинивание инструмента.

Такие направляющие устройства можно использовать также при обработке наклонных отверстий различных диаметров на станках с ЧПУ и в условиях ГАП.

Каждое из перечисленных мероприятий эффективно при отсутствии осевых зазоров в приводе подач станка. Для их исключения рекомендуется силовое замыкание механизма подач на станину осуществлять спе-

циальными кулачковыми /6, II/ или клинорычажными /7/ механизмами. Эти механизмы задают также закон изменения скорости подачи на участках врезания, установившегося сверления и выхода из наклонной поверхности детали.

В пятом разделе приведены результаты экспериментальной проверки теоретических положений и разработана методика проектирования операций сверления наклонных отверстий.

Для экспериментальных исследований использовались специально разработанные приборы и лабораторные установки /5, 6, I2, I4/. Обрабатывались образцы из сталей марок: 45 (ГОСТ 1050-74) с $\sigma_b = 54$ кг/мм², 35 Л (ГОСТ 974-65) с $\sigma_b = 50$ кг/мм², 35ХЗНМ (ГОСТ 4543-61) с $\sigma_b = 160$ кг/мм². Входные поверхности образцов располагались под углами $\psi = 75^\circ, 55^\circ, 35^\circ$ к оси инструмента. Скорости резания назначались равными расчетным для сверления обычных отверстий.

Эксперименты проводились в два этапа. На первом этапе проверялась эффективность исключения "скачка" подачи с определением величины минимального осевого зазора в механизме подач, при котором возможно сверление без поломок инструмента. Эксперимент проводился на вертикально-фрезерном станке мод. ФУ2-250, в шпиндельной группе которого зазоры устранились регулировкой подшипников, а воспроизведение зазора осуществлялось в специальном регулируемом патроне. Использовались сверла 4,1 мм (ГОСТ 886-77), 5,8 мм (ГОСТ 10902-77) и 12,5 мм (ГОСТ 2092-77). Износ сверл имитировался притуплением режущих кромок по радиусной поверхности ($r = 0,3$ мм.)

Эксперименты подтвердили возможность возникновения "скачка" подачи C_p при $\psi < \varphi$. Установлено, что при $C_p = (1,5...2)S_0$ процесс врезания происходит стablyно. При $C_p > 2S_0$ имеет место резкое увеличение сил резания и смещение вершины сверла, а на поверхности образцов в результате смещения вершины сверла, образуется ступень. При $C_p > 5S_0$ сверление на механической подаче становится невозможным из-за массовых поломок инструмента. Расчетные значения "скаков" с точностью до 25% совпадают с экспериментальными.

При $\psi > \varphi$ "скачка" подачи не наблюдается.

Возможность стабильного обеспечения заданной точности расположения наклонных отверстий определялась на вертикально-сверлильном станке мод. 2Н125Л при ручной и механической подачах инструмента $S_0 = 0,06$ мм/об, обеспечиваемых специальным механизмом подач /II/. Установлено, что применение специального механизма подач уменьшает поле рассеяния размеров, определяющих смещение оси отверстия на

выходе с 0,33 мм (при ручной подаче) до 0,23 мм. При этом максимальное смещение уменьшилось с 0,57 мм до 0,44 мм.

На втором этапе проверялась возможность реализации предложенных направлений усовершенствования элементов технологических систем. Эксперименты проводились при сверлении составных образцов на вертикально-сверлильном станке мод. 2Н125Л. Для исключения осевых зазоров в приводе подач использовался кулачковый механизм "противодавления" /II/ с дисковым кулачком. Замеры точности расположения отверстий осуществлялись на микроскопе УИМ-21 по слепкам. Учитывая трудоемкость такого метода контроля, эксперименты проводились только при сверлении отверстий диаметром 4,1 мм на глубину 30 мм.

Подтверждены теоретические выводы о повышении точности расположения отверстий за счет увеличения угла наклона стружечной канавки ω к оси сверла и уменьшения угла в плане φ . Так, увеличение угла ω с $27^{\circ}40'$ до 34° уменьшает погрешность расположения отверстия с 0,39 до 0,25 мм. При увеличении угла φ с 110° до 140° смещение оси увеличивается с 0,35 до 0,59 мм. Однако стойкость сверл между переточками при $\omega = 34^{\circ}$ и $\varphi = 140^{\circ}$ заметно снизилась, что ограничивает применение этих приемов для повышения точности расположения.

Уменьшение подачи на участке врезания в наклонную поверхность с 0,06 до 0,24 мм/об уменьшает погрешность расположения отверстий с 0,44 до 0,27 мм. Расчетные значения смещений отверстий при аналогичных режимах составляют 0,36 и 0,24 мм соответственно, то есть расхождение с экспериментальными значениями не превышает 16%, что подтверждает возможность применения предложенной методики расчета скорости подачи в зависимости от требований к точности расположения оси наклонного отверстия. Подтверждены также теоретические положения о том, что сверление в "плавающем" кондукторе и сверление с предварительным изгибом инструмента в сторону, противоположную направлению действия неуравновешенной радиальной составляющей силы резания способствует повышению точности расположения оси наклонного отверстия. Так, при сверлении в плавающем кондукторе погрешность расположения оси отверстия составила 0,28 мм при $S_o = 0,06$ мм/об, причем форма оси максимально приближается к прямолинейной, а смещение оси отверстия, обработанного по способу с предварительным изгибом сверла - 0,13 мм при $S_o = 0,06$ мм.

Таким образом, экспериментальные исследования подтвердили правильность теоретических положений и направлений совершенствования технологической оснастки. Разработана методика выбора рациональ-

ного сочетания средств технологического оснащения по критерию минимальных приведенных затрат.

Методика построена следующим образом. Технолог по приведенным в работе рекомендациям и таблицам в зависимости от вида наклонного отверстия вначале выбирает возможные варианты оборудования, оснастки, инструмента, способы сверления, рассчитывает режимы обработки по каждому из способов. Затем рассматривает возможные сочетания перечисленных элементов технологического оснащения операции, определяя приведенные затраты для каждого из них. И, наконец, выбирает такое сочетание средств оснащения, которое требует минимальных затрат.

ВЫВОДЫ

1. Теоретический анализ взаимодействия сверла с наклонной поверхностью детали позволил установить, что основным этапом процесса формообразования наклонных отверстий является этап врезания, вскрыть его механизм и показать, что главными действующими факторами при врезании являются: угол наклона поверхности детали к оси инструмента, неравномерность нагружения режущей части сверла, скорость подачи, осевой зазор в механизме подач станка и, зависящее от него, число оборотов сверла от первого касания до начала врезания, которые приводят к мгновенному увеличению толщины срезаемого слоя ("Скачку" подачи), а, следовательно, к резкому увеличению сил резания, что является главной причиной поломок сверл на участке врезания и нестабильного обеспечения точностных параметров обработки отверстий.

2. Установлено, что сверление наклонных отверстий на вертикально-сверлильных станках при механической подаче инструмента возможно, если осевой зазор в приводе подач не превышает величины четырех подач на оборот инструмента, что необходимо учитывать при выборе оборудования, ремонте станков и наладке технологических систем.

3. Теоретически показано, что смещение обрабатываемых отверстий на участке врезания сверла происходит в направлении суммарного вектора неуравновешенных сил резания P_p , а его величина до 3,5 раз превышает величину диаметрального зазора в узле направления инструмента.

4. На основе математического моделирования процесса сверления разработана методика прогнозирования точности расположения отверстий, состоящая из двух этапов, на первом из которых с учетом увеличения силы P_p , приводящего к последовательному изгибу сверла по

одной, двум и трем полуволнам, направления действия силы P_p , диаметрального зазора в кондукторной втулке, конструктивных и геометрических параметров сверла, рассчитывается смещение отверстий на участке врезания, а на втором этапе, с учетом конструктивных параметров сверла и взаимодействия направляющих ленточек инструмента с обработанной поверхностью, рассчитывается смещение оси отверстия на выходе, причем смещение и угол прогиба режущей части сверла, рассчитанные на первом этапе, используются в качестве начальных условий для второго этапа прогнозирования.

5. На основе анализа математических моделей процессов врезания и установившегося сверления, разработаны и защищены авторскими свидетельствами два способа сверления и четыре вида устройств, рекомендуемых для использования как в массовом, так и в гибком автоматизированных производствах.

6. Экспериментально подтверждены основные теоретические положения о том, что:

- исключение "скачки" подачи способствует более стабильному обеспечению точности расположения наклонных отверстий путем уменьшения на 30% поля рассеяния координирующих размеров;

- уменьшение подачи на участке врезания в наклонную поверхность в 2 раза по сравнению с нормативной подачей для сверления обычных отверстий, уменьшает погрешность расположения оси наклонного отверстия в 1,6 раза;

- "плавающее" закрепление кондуктора дает аналогичные результаты по точности расположения оси без уменьшения подачи на участке врезания;

- сверление инструментом, изогнутым в сторону, противоположную направлению действия силы P_p , без уменьшения подачи на участке врезания повышает точность расположения оси в 3,5...4 раза.

7. Разработана методика выбора рационального сочетания средств технологического оснащения, предусматривающая выбор оборудования, оснастки, инструмента, способов сверления и режимов обработки в зависимости от вида наклонного отверстия и требуемой точности расположения оси, при условии обеспечения минимальных затрат на обработку.

8. Годовой экономический эффект от внедрения некоторых разработок в производство на Златоустовских машиностроительных и Уральском автомобильном заводах - свыше 30 тысяч рублей.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:
I. Сергеев В.В., Талипов Д.К. Влияние осевых колебаний, возни-

кающих при врезании сверла в наклонную поверхность, на величину подачи. - В кн.: Совершенствование машиностроительных материалов, конструкций машин и методов обработки деталей.- Челябинск: ЧИИ, 1988.-С. II4-II8.

2. Сергеев В.В. Исследование точности обработки при сверлении наклонных отверстий. - В кн.: Совершенствование машиностроительных материалов, конструкций машин и методов обработки деталей.-Челябинск: ЧИИ, 1986.-С. I06-I12.

3. Лакирев С.Г., Сергеев В.В. Исследование процесса сверления отверстий с наклонным входом. - В кн.: Совершенствование конструкций машин и методов обработки деталей, № 215. Челябинск: ЧИИ, 1978.-С. 72-79.

4. Сергеев В.В. и др. А.с. 795747 (СССР). Кондуктор для сверления отверстий. - Опубл. в Б.И., 1981, № 2.

5. Сергеев В.В. и др. А.с. 837602 (СССР). Кондуктор для сверления отверстий. - Опубл. в Б.И., 1981, № 22.

6. Сергеев В.В. и др. А.с. 876326 (СССР). Устройство для обработки отверстий. - Опубл. в Б.И., 1981, № 40.

7. Сергеев В.В. и др. А.с. 1094678 (СССР). Устройство для сверления. - Опубл. в Б.И., 1984, № 20.

8. Сергеев В.В. и др. А.с. II75624 (СССР). Способ обработки отверстий. - Опубл. в Б.И., 1985, № 32.

9. Сергеев В.В. и др. А.с. I248727 (СССР). Способ обработки сложнопрофильных отверстий и устройство для его осуществления. - Опубл. в Б.И., 1986, № 29.

10. Сергеев В.В. и др. А.с. I248728 (СССР). Устройство для обработки отверстий. - Опубл. в Б.И., 1986, № 29.

11. Лакирев С.Г., Сергеев В.В. Модернизация вертикально-сверлильного станка для обработки отверстий с наклонным входом-выходом. - Информационный листок. Ижевск, Механический институт, 1981.

12. Сергеев В.В. и др. Производительная обработка отверстий сверлами и раскатками: раздел II. Обработка отверстий с наклонным входом-выходом: Научно-технический отчет. Челябинский политехнический институт: № ГР 8I0955II, Челябинск, 1981. - 93 с.

13. Сергеев В.В. и др. А.с. 7I7569 (СССР). Динамометр для измерения сил резания при обработке наклонных отверстий на сверлильных станках. - Опубл. в Б.И., 1980, № 7.