

На правах рукописи

Карсунцев Александр Иванович

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОТВЕРСТИЙ ЗА СЧЁТ РАЦИОНАЛЬНОГО
ВРЕЗАНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ ОДНОСТОРОННЕГО РЕЗАНИЯ**

Специальность 05.02.08 - "Технология машиностроения"

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Челябинск, 1997

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

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

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор В. П. Качаев;
кандидат технических наук,
доцент Ю. И. Мясников.

Ведущее предприятие — ПО Машиностроительный завод "Булат",
г. Златоуст.

Защита состоится 27 мая 1997 г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета Д 053.13.05 в Челябинском государственном техническом университете по адресу:

454080, г. Челябинск, пр. им. В.И.Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Челябинского государственного технического университета.

Автореферат разослан 22 апреля 1997г.

Ученый секретарь специ-
ализированного совета,
доктор экономических наук,
профессор



И.А.Бася

Общая характеристика работы

Актуальность работы. В условиях нарождающихся в России рыночных отношений, жесткой конкуренции с импортными товарами требуется резко расширить номенклатуру выпускаемой продукции с одновременным повышением ее качества и систематическим обновлением. Осуществить решение этой задачи возможно лишь при условии повышения производительности и качества изготовления изделий, обработка которых сопряжена с большими трудностями. В машиностроении одними из самых трудоемких являются операции обработки точных отверстий, к которым относятся отверстия с жесткими допусками диаметра, формы и расположения оси, соосные ступенчатые и соосные разнесенные, отверстия являющиеся базовыми для установки в них осей, валов, плунжеров, поршней. Представителями таких деталей являются гидрораспределительные коробки, ползуны, гильзы, гидроцилиндры, кондукторные плиты и т.д.

Как правило, такие отверстия обрабатываются на универсальных сверлильных, агрегатных станках и автоматических линиях мерным многолезвийным инструментом - спиральными, шнековыми, перовыми сверлами, зенкерами и развертками. При этом на первых переходах получения отверстий вносятся погрешности расположения в 5...10 раз большие, чем задано чертежом детали, которые затем устраняются постепенно от перехода к переходу до требуемых. В то же время, инструменты одностороннего резания (ИОР), которые за 1...2 перехода обеспечивают высокую точность, на станках этой группы практически не применяются, что обусловлено неудобством либо невозможностью использования узкоспециальных направляющих устройств и станций высокого давления СОЖ. Поэтому, как правило, окончательная обработка производится на протяжных, расточных и хоинговальных станках, которые не агрегируются с перечисленными выше, что требует дополнительных переустановок деталей. К тому же, обработка на этих станках часто трудоемка и требует больших производственных площадей. Отсутствуют инженерные методики оценки точности обработки отверстий ИОР, учитывающие специфику врезания, т.к. при врезании появляются позиционные отклонения осей отверстий, приводящие к погрешностям обработки. Поэтому является актуальным изучение закономерностей процесса формообразования отверстий при врезании инструментов, создание методики оценки точности, методики проектирования операций обработки отверстий ИОР и разработка оснастки для обработки отверстий.

Данная работа выполнена в соответствии с научным направлением ЧГТУ - "Совершенствование оборудования и технологии в машиностроении" (направление 2).

Цель работы. Повышение точности и производительности обработки отверстий путем управления технологическими параметрами процесса врезания ИОР.

Научная новизна работы. Разработана система математических моделей, представляющих собой уравнения с запаздывающим аргументом, описывающих специфические радиальное смещение и осевое биения инструмента при врезании, приводящие к погрешностям формы отверстия и расположения оси. Исследование этих моделей позволило:

- установить, что вне зависимости от метода направления ИОР после врезания форма отверстия представляет в общем случае чередующиеся участки отрезков спирали Архимеда и дуг окружностей, являющиеся причиной появления погрешностей расположения оси;

- определить, что на точность формы получаемых отверстий влияет только траектория движения формообразующей точки режущей кромки на последнем обороте врезания инструмента;

- выявить, что осевые биения шпинделя с частотой, равной частоте его вращения, приводит к линейному смещению сечения получаемой поверхности в течение всего процесса врезания, причём его величина пропорциональна амплитуде осевых биений.

Практическая ценность работы

1. Разработана методика проектирования операции обработки отверстий ИОР и методика диагностики действующих техпроцессов.

2. На основе выявленных основных технологических факторов, влияющих на точность формы отверстия и расположения оси, разработаны рекомендации по повышению точности обработки, в том числе по выбору рациональной схемы направления инструмента на универсальных и специальных станках, автоматах и автоматических линиях, а также в условиях обработки точных отверстий на станках с ЧПУ и в ГАП.

3. Количественная и качественная оценка процесса формообразования позволили разработать 5 новых способов обработки отверстий и 2 устройства для направления ИОР, позволяющие увеличить координатную точность осей отверстий.

На защиту выносятся: результаты теоретических и экспериментальных исследований закономерностей врезания ИОР в заготовку, определяющих погрешности формы, размера и расположения осей отверстий, предопределяющих точность обработки в целом, методика проектирования операции обработки отверстий, новые методы обработки отверстий ИОР, позволяющие расширить технологические возможности таких инструментов.

Реализация результатов работы. По результатам теоретических и экспериментальных исследований предложены новая технология, оснастка и инструмент для обработки точных отверстий, которые испытаны в производ-

ственных условиях и внедрены или приняты к внедрению в ПО Златоустовский машиностроительный завод, в ПО машиностроительный завод "Будат" г. Златоуста, в ПО "УралАЗ" г. Миасса и в ПО "Ижорский завод" г. Колпино и др.. Внедрение обеспечило:

— повышение точности расположения осей отверстий на заходе, что дало уменьшение увода, повышение прямолинейности оси в 1,5 - 2 раза, точности диаметрального размера и точности формы отверстий в целом;

— снижение числа технологических переходов на 1 - 3 перехода.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на Всесоюзной конференции "Интенсификация технологических процессов механической обработки" г. Ленинград, 1986 г.; на научно-технической конференции "Пути, методы обработки и оценка изделий металлообработки на технологичность" г. Ижевск, 1986 г.; на конференции "Применение автоматизированного проектирования режущих инструментов, технологических процессов, организационно-технической подготовки производства" г. Екатеринбург, 1989 г.; на научно-техническом семинаре "Комплексная автоматизация проектных и конструкторских работ в машиностроении" г. Ленинград, 1989 г.; на Уральской зональной научно-технической конференции "Повышение эффективности и уровня использования станков с ЧПУ, ПР и ГПС" г. Екатеринбург, 1990 г.; на Всесоюзной научно-технической конференции "Итоги, проблемы и перспективы комплексно-автоматизированных производств в машиностроении и приборостроении" г. Горький 1990 г.; на научно-технических конференциях ЧГТУ в 1986 - 97 г.; на объединенном заседании кафедр ЧГТУ технологического профиля в 1997 г.

Публикации по теме диссертационной работы. Опубликовано 27 работ, в том числе 14 авторских свидетельств.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов основного текста, заключения и приложения.

Объем работы: 145 страниц машинописного текста, в том числе 90 рисунков на 34 страницах, 19 таблиц. В списке использованной литературы содержится 120 наименований.

Содержание работы.

Состояние вопроса, задачи исследования

Вопросы точности обработки отверстий рассматривались в работах исследователей Виноградова А.А., Капустина Н.М., Корчака С.Н., Лакнрева С.Г., Матвеева В.В., Мещерякова Р.К., Минкова М.А., Мирнова И.Я., Подураева В.Н., Светлицкого В.Н., Троицкого Н.Д., Уткина Н.Д. и др. Исследования показали, что требуемая точность расположения и формы отверстия в отличие от диаметрального размера обеспечивается нестабильно. В ряде

работ Виноградова А.А., Косиловой А.Г., Холмогорцева Ю.П., Уткина Н.Ф. и др. установлено, что в начальный момент врезания инструмента в заготовку появляются смещения его оси с номинальной, что приводит к уходу оси отверстия. При этом отмечается, что смещение инструмента является одной из главных причин появления погрешностей, однако не вскрыты причины появления такого смещения.

Инструменты одностороннего резания, имеющие ряд преимуществ, традиционно применяются для обработки глубоких и сверхглубоких отверстий и очень редко - для неглубоких координированных отверстий. Существующие модели процесса формообразования отверстий ИОР не описывают процесс врезания. В то же время учеными ЧГТУ Лакиревым С.Г., Хилькевичем Я.М., Козловым А.В. разработан ряд относительно простых математических моделей, позволяющих описать формообразование отверстий в целом. Однако не исследовано влияние технологических параметров, геометрических особенностей, способов направления, погрешностей заточки ИОР и т.д. на погрешности обработки отверстий на стадии врезания и другие точностные характеристики установившегося процесса резания.

Исходя из цели настоящей работы, необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать систему математических моделей, описывающих процесс врезания ИОР в заготовку, учитывающих влияние основных технологических факторов.
2. Экспериментально проверить теоретически предсказанные закономерности процесса врезания ИОР.
3. Разработать методику проектирования операций обработки отверстий ИОР, их диагностики и отладки.
4. Внедрить результаты исследований в производство и учебный процесс.

Закономерности формообразования отверстий при врезании ИОР

При врезании ИОР применяют следующие методы направления (рис. 1): по кондукторным втулкам, по коническому отверстию, по цилиндрическому отверстию.

Эти методы различаются по технологическим возможностям, но вне зависимости от метода направления, в начальный момент под действием неуравновешенной силы резания инструмент смещается с оси направляющего элемента в сторону выглаживающих кулачков. В результате этого периферийная точка режущей кромки описывает окружность диаметром D_0 меньшим, чем диаметр инструмента D , а после начала контактирования выглаживающего кулачка с обрабатываемой деталью (точка M), инструмент полу-

чает, кроме осевой подачи, радиальное возвратное смещение S_r (рис. 2) и начинается сложный процесс врезания инструмента.

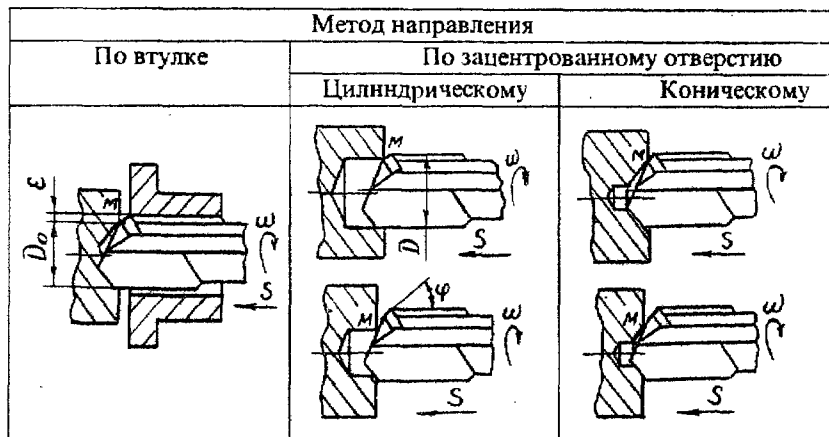


Рис. 1. Методы направления инструмента

Для описания этого процесса разработана система математических моделей с запаздывающим аргументом. Рассмотрим процесс формообразования в проекции на торец детали (рис. 3).

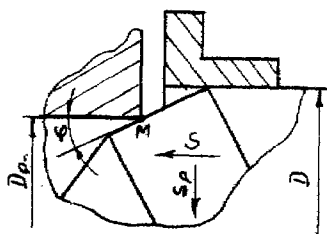


Рис. 2. Схема возникновения возвратного смещения

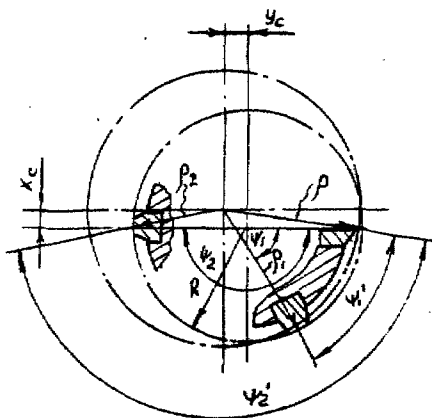


Рис. 3. Расчетная схема

Для случая $\psi_2=2\psi_1$ процесс врезания описывается уравнением

$$\omega(\psi) + \frac{\varepsilon - f(\psi)}{2} = \frac{\sin \psi_2}{\sin(\psi_2 - \psi_1)} \left(\omega(\psi - \psi_1) + \frac{\varepsilon - f(\psi)}{2} \right) - \frac{\sin \psi_1}{\sin(\psi_2 - \psi_1)} \left(\omega(\psi - \psi_2) + \frac{\varepsilon - f(\psi)}{2} \right). \quad (1)$$

где $\omega(\psi)$ – погрешность отверстия, получаемого режущей кромкой; $\omega(\psi - \psi_1)$ – погрешность отверстия в месте расположения опорного кулачка; $\omega(\psi - \psi_2)$ – погрешность отверстия в месте расположения выглаживающего кулачка; ε – разность диаметров инструмента и засверленного отверстия перед врезанием выглаживающих кулачков;

$$\varepsilon = D - D_0 \quad (2)$$

где D – диаметр инструмента; D_0 – диаметр засверленного отверстия;

$$f(\psi) = \begin{cases} \frac{\psi}{2\pi} \cdot S \cdot \text{tg } \varphi & \text{при } 0 < \psi < \frac{\varepsilon \cdot 2\pi}{S \cdot \text{tg } \varphi}, \\ \varepsilon & \text{при } \psi \geq \frac{\varepsilon \cdot 2\pi}{S \cdot \text{tg } \varphi}. \end{cases} \quad (3)$$

где S – подача; φ – угол в плане заточки выглаживающего кулачка; ψ – текущий угол поворота инструмента.

Решение (1) для углов $\psi_1 = \pi/2$ и $\psi_2 = \pi$ произведено с помощью прямого и обратного преобразований Лапласа и представлено на рис. 4.

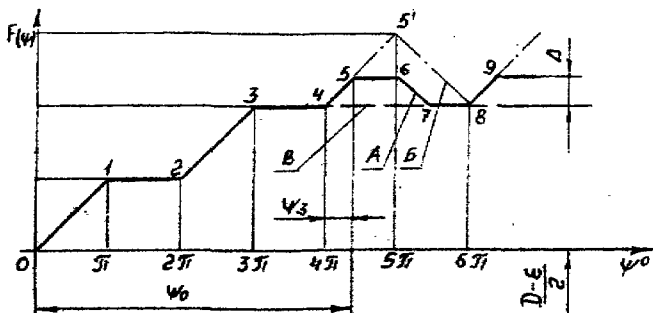


Рис. 4. График изменения диаметра отверстия при врезании инструментов одностороннего резания

При повороте инструмента на угол $\psi = \psi_0$ происходит вхождение выглаживающего кулачка в засверленное отверстие, а далее установившийся процесс обработки. Из графика видно, что при врезании траектория перемещения периферийной точки инструмента состоит из участков спиралей Архимеда (участки 0-1, 2-3...) и отрезков дуг окружностей (участки 1-2, 3-4 ...). Такая картина наблюдается пока угол ψ не достигнет значения ψ_0 .

После полного вхождения выглаживающего кулачка в отверстие радиальное смещение прекращается и при установившемся процессе обработки на любом участке $\psi = 2\pi$ в общем случае (линия А рис. 4.) форма отверстия представляет чередующиеся отрезки дуг окружностей и спиралей Архимеда. Форма такого отверстия в полярной системе координат изображена на рис. 5а и представляет собой кривую постоянной ширины.

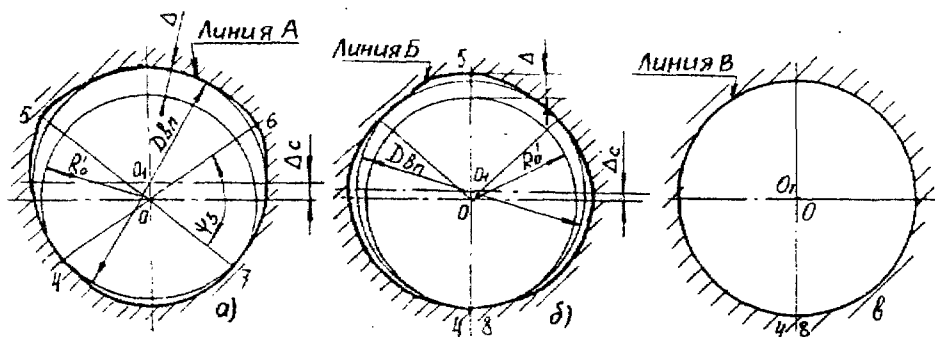


Рис. 5. Форма отверстия после врезания инструмента

Величина угла ψ_0 характеризует величину конечного приращения радиуса-вектора и начальное смещение оси отверстия на входе, являющееся следствием погрешности формы. При $\psi_0 = \pi (2k - 1)$ вхождение выглаживающего кулачка осуществляется ($k = 1; 2; 3 \dots$) за $0,5; 1,5; 2,5 \dots$ оборотов и форма отверстия описывается только отрезками спиралей Архимеда (линия Б на рис. 4 и рис. 5б).

При $\psi_0 = 2\pi k$ вхождение выглаживающего кулачка осуществляется за целое число оборотов. В этом случае участки спиралей Архимеда отсутствуют и отверстие представляет собой идеальную окружность (линия В на рис. 4, и рис. 5в). Отсутствуют погрешности формы и начальное смещение, что позволяет управлять точностью обработки, осуществляя врезание за целое

число оборотов. Это становится возможным при разнице диаметров ε , кратной величине $S \cdot \operatorname{tg} \varphi$.

В общем случае величина конечного приращения радиуса-вектора Δ определяется по формуле

$$\Delta = \frac{S \cdot \operatorname{tg} \varphi}{2\pi} \cdot \psi_3, \quad (4)$$

где ψ_3 - угол, характеризующий нецелое число оборотов инструмента при врезании - центральный угол спирали Архимеда,

$$\psi_3 = \frac{2\pi \cdot \varepsilon}{S \cdot \operatorname{tg} \varphi} - 2\pi k = \psi_0 - [n_0] \cdot 2\pi; \quad (5)$$

$[n_0]$ - число целых оборотов, совершенных инструментом до полного вхождения выглаживающего кулачка.

Определена величина погрешности расположения оси отверстия на входе. В общем случае

$$\Delta_c = \frac{D \cdot \Delta}{(D - \Delta) \cdot [1 - \sin(\psi_3 / 2)]}, \quad (6)$$

При $\psi_0 = \pi(2k-1)$

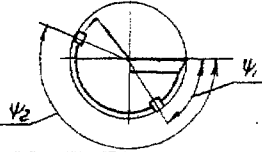
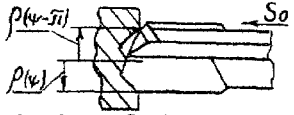
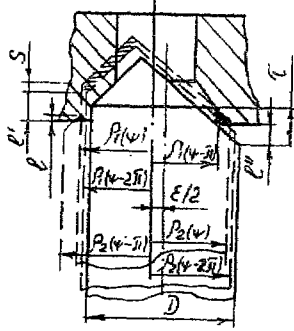
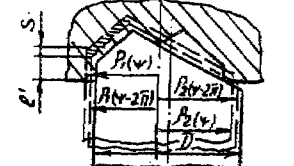
$$\Delta_c = 0,22 \cdot S \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (7)$$

В табл. 1 приведена система кинематических и статических математических моделей (без рассмотренной выше), описывающих процесс врезания.

Модель № 2 разработана для произвольного расположения выглаживающих кулачков и применяется для определения значений углов ψ_1 и ψ_2 , при которых процесс врезания устойчив.

В модели № 3 учтены осевые биения инструмента. Установлено, что осевое биение инструмента приводит к дополнительным погрешностям расположения оси отверстия Δ_{c1} . Решение уравнения показывает, что при каждом обороте инструмента происходит накопление смещения осн в одном направлении и это накопление носит линейный характер.

Таблица 1

N	Расчетная схема	Математическая модель
2		$\omega_{(\psi)} = -\omega_{(\psi-\psi_2)} \cdot \frac{\sin \psi_1}{\sin(\psi_2 - \psi_1)} +$ $\omega_{(\psi-\psi_1)} \cdot \frac{\sin \psi_1}{\sin(\psi_2 - \psi_1)} + c$
3	 <p>$S = S_0 + \Delta S \cdot \sin \psi$</p>	$\rho_{(\psi)} = D - \varepsilon - \rho_{(\psi-\pi)} + f_{(\psi)} + f_{l(\psi)}, \text{ где}$ $f_{l(\psi)} = \begin{cases} \Delta S \cdot \sin \psi \cdot \operatorname{tg} \varphi & \text{при } 0 < \psi < \frac{\varepsilon \cdot 2\pi}{S_0 \cdot \operatorname{tg} \varphi} \\ 0 & \text{при } \psi < \frac{\varepsilon \cdot 2\pi}{S_0 \cdot \operatorname{tg} \varphi} \end{cases}$
4		$\begin{cases} \rho_{l(\psi)} + \rho_{2(\psi)} = D, \\ P_1 + P_2 = P_{ур} + P_{см}, \end{cases}$ <p>где $P_1, P_2, P_{см}, P_{ур}$ - радиальные силы соответственно на режущей кромке, ленточке, кулачке и сила упругости стебля</p> $P_1 = k_1 \Delta_1; \quad P_2 = k_2 \Delta_2; \quad P_{см} = k_2 \cdot \Delta_{см};$ $P_{ур} = \frac{\varepsilon \cdot G}{2},$ <p>где k_1, k_2 - коэффициенты пропорциональности; $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_{см}$ - площади срезов или смятия</p> $\Delta_1 = (\rho_{l(\psi)} - \rho_0) \left(S + \frac{\rho_{l(\psi)} - \rho_{l(\psi-2\pi)}}{\operatorname{tg} \varphi} \right),$ $\Delta_2 = (l' - l) (\rho_{l(\psi)} - \rho_{l(\psi-2\pi)}),$ $\Delta_{см} = \left(S - \frac{\rho_{2(\psi-2\pi)} - \rho_{2(\psi)}}{\operatorname{tg} \varphi} \right),$ $\left[\rho_{2(\psi)} - \max \left\{ \rho_{l(\psi-\pi)}, \rho_{l(\psi-3\pi)}, \rho_{l(\psi-5\pi)} K \right\} \right]$
5		$\begin{cases} \rho_{l(\psi)} + \rho_{2(\psi)} = D, \\ P_{1с.н} + P_{1с.в} + P_2 = P_{ур} + P_{см}, \end{cases}$ <p>где $P_{1с.н}, P_{1с.в}$ - радиальные силы на наружном и внутреннем участках режущей кромки</p>

Получено выражение для определения величины Δs_1 :

$$\Delta s_1 = \frac{\Delta S \cdot \varepsilon}{S}, \quad (8)$$

где ΔS – амплитуда осевых биений инструмента.

В статических моделях № 4.5 силы представлены пропорционально площадям срезаемых слоев. Также, как и в моделях 1, 2, 3, каждое текущее положение режущих кромок зависит от предшествующих. Исследование моделей показало, что при увеличении отношения K_2 / K_1 до бесконечности статические модели процесса врезания обращаются в кинематические. Модели применимы для уточнения диаметрального размера отверстия, а именно для определения величины разбивки.

Экспериментальная проверка установленных закономерностей

Для проверки теоретически предсказанных закономерностей процесса врезания ИОР, зависящих от главных технологических параметров, а именно от величины подачи S , разницы диаметров инструмента и засверленного отверстия ε , амплитуды осевых биений инструмента ΔS и угла в плане φ кулачка, проведена серия натуральных экспериментов. Условия проведения экспериментов и результаты представлены в табл. 2.

При проверке характера траектории перемещения инструмента (пункт 1, табл. 2) установлено, что траектории соответствуют расчетным, изображенным на рис. 4. Во всех случаях (1.а, 1.б, 1.в) процесс врезания кулачков начинается в точке 0.

В общем случае (1.а) врезание осуществляется на участках 0-1, 1-2, 2-3. На участках 0-1, 2-3 происходит возвратное радиальное смещение, что соответствует спиральям Архимеда. На участке 1-2 радиального перемещения нет, периферийная точка режущей кромки описывает дугу окружности. В точке 3 врезание закончено и траектория инструмента состоит из чередующихся отрезков спиралей Архимеда (участки 4-5, 6-7, 8-9) и дуг окружностей (участки 3-4, 5-6, 7-8), что соответствует линии А (рис. 4).

При осуществлении врезания (1.б) за один полуоборот (участок 0-1) траектория движения представляет участки спирали Архимеда, что соответствует линии Б (рис. 4).

При осуществлении врезания (1.в) за два полуоборота (участки 0-1, 1-2) колебаний инструмента нет, траектория соответствует линии В (рис. 4).

При проведении второго этапа экспериментов (пункт 2, табл.2) определяли форму отверстий и величину погрешностей расположения осей отверстий. Рассчитывали величину ϵ для получения 3-х предсказанных теоретически случаев (рис.5) и обеспечивали эту величину точным растачиванием отверстия, после чего осуществляли врезание инструмента.

При определении погрешностей формы замеряли центроискателем координаты точек полученных отверстий и строили круглограммы. Принадлежность участков к дугам окружностей и спиралам Архимеда определяли сравнением экспериментальных значений положения точек кривых с рассчитанными по теоретическим формулам. Расхождение не превышает 6%. Подтверждены (2. а, б, в) три характерных случая, предсказанные теоретически.

Величину погрешности расположения оси отверстий на входе определяли как половину радиального биения оправки, вставленной в обработанное отверстие без зазора. Замеры расходятся (пункт 2, табл.2) с расчетными величинами в среднем на 12%, что также подтверждает достоверность аналитического расчета.

Экспериментальная проверка дополнительных смещений (пункт 3, табл.2) при осевых биениях инструмента, проведенная с помощью специального вибратора, показала, что дополнительные смещения линейно нарастают с увеличением числа оборотов инструмента по при врезании.

Произведена экспериментальная проверка отклонений от соосности разнесённых отверстий в детали "ползун".

Подтверждено, что при обработке коротких ($l/d=0,5...2$) разнесённых отверстий основным фактором, влияющим на точность, является позиционное смещение оси отверстия на входе. Произведенные замеры величин отклонения от соосности не превышают расчетных (пункт 4, табл. 2).

Произведены сравнительные эксперименты по определению координатной точности расположения осей отверстий. Установлено, что наибольшую точность дает направление по кондукторным втулкам и призме (а.с. № 1234063), меньшую - по конической зацентровке и еще меньшую - по цилиндрической (пункт 5, табл.2).

На основе результатов теоретического и экспериментального исследований выявлены механизм возникновения погрешностей при врезании ИОР в заготовку и главные технологические факторы, а именно подача S , угол в плане ϕ кулачка и разница диаметров ϵ , влияющие на точность формы и расположение оси отверстия, что позволило разработать рекомендации по повышению точности обработки, 5 новых способов обработки отверстий и 9 устройств, часть из которых представлена в табл. 3.

Таблица 2

Условия проведения эксперимента	Результаты эксперимента
1	2
1. Исследование характера перемещения инструмента	
<p>Станок мод. 16К20, тензометрическое устройство, усилитель «Топаз3», шлейфовый осциллограф Н-117, развертка ружейная $\varnothing 49,32$ мм, $\varphi=45^\circ$, $\psi_1=75^\circ$, $\psi_2=180^\circ$ $S=0,13$ мм./об., $n=25$ мин.⁻¹ Материал образцов - чугун</p> <p>1.а. $\psi_0=450^\circ$ 1.б. $\psi_0=180^\circ$ 1.в. $\psi_0=360^\circ$</p>	
2. Исследование параметров точности отверстия	
<p>Станок мод. 16К20, центризатор с индикатором часового типа с ценой деления 0,002 мм, развертка ружейная $\varnothing 49,32$ мм, $\psi_1=75^\circ$, $\psi_2=180^\circ$, $\varphi=45^\circ$, $S=0,13$ мм./об., $n=25$ мин.⁻¹ Материал образцов - чугун</p> <p>1.а. $\varepsilon=0,16$ мм., $\psi_3=90^\circ$ 1.б. $\varepsilon=0,065$ мм., $\psi_3=180^\circ$ 1.в. $\varepsilon=0,13$ мм., $\psi_3=0^\circ$</p> <p>1.а. $\Delta p=0,02$ мм., $\Delta z=0,018$ мм. 1.б. $\Delta p=0,0286$ мм., $\Delta z=0,032$ мм. 1.в. $\Delta p=0$ мм., $\Delta z=0,005$ мм.</p>	

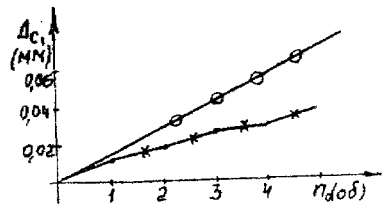
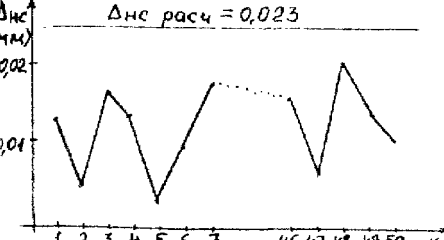
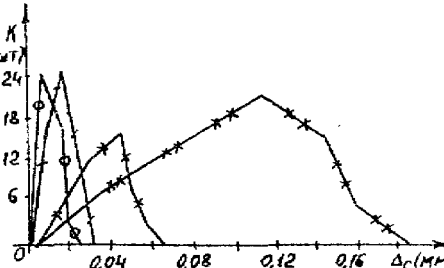
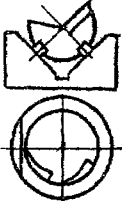
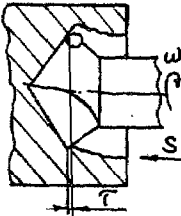
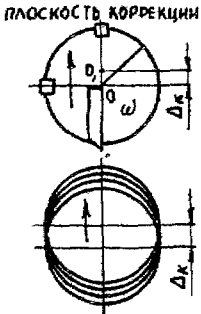
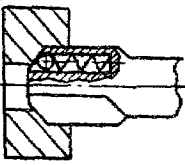
1	2
3. Исследование дополнительных смещений оси отверстия от осевых биений	
<p>Станок мод. 2P118Ф2, вибратор. сверло ружейное $\varnothing 10$ мм, $\varphi=30^\circ$, $S=0,14$ мм./об., $n=45$ мин.⁻¹, $\Delta S=0,02$ мм. Материал образцов - чугун</p>	 <p>—○— Теоретическая —×— Экспериментальная</p>
4. Исследование отклонений от соосности в детали «ползун»	
<p>Станок мод. ОС2706П. кондуктор специальный, сверло ружейное $\varnothing 10$ мм, приспособление измерительное специальное. индикаторы часового типа, $n=850$ мин.⁻¹, $S=0,04$ мм./об. Материал образцов - сталь 40X</p>	 <p>$\Delta n_{не} \text{ расч} = 0,023$</p>
5. Исследование координатной точности оси отверстия при различных методах направления ружейных свёрл	
<p>Станок мод. 1341, $n=800$ мин.⁻¹, $S=0,05$ мм./об., сверло ружейное $\varnothing 10$ мм, Направление: - кондуктор специальный (а.с. 1234063), $\varepsilon=0,02$ мм., - втулка кондукторная, $\varepsilon=0,02$ мм., - по конической зацентровке, $\varepsilon=0,06$ мм. (сверло центровочное $\varnothing=12$ мм.), - по цилиндрической зацентровке, $\varepsilon=0,2$ мм., (сверло спиральное $\varnothing 9,8$ мм.). Материал образцов - сталь 45</p>	 <p>—○— направление по призме —×— >> по кондукторной втулке —*— >> по конической зацентровке —**— >> по цилиндрической зацентровке</p>

Таблица 3

Технические решения, позволяющие расширить технологические возможности ИОР и оснастки при обработке отверстий			
№	Схема технического решения	Сущность решения и его связь с теоретико-экспериментальным исследованием	Технологические возможности
1		Направляющий элемент в виде призмы, а.с. 1234063, либо втулки, а.с. 1238904, позволяющие легко управлять разницей диаметров ϵ .	Универсальность направляющего устройства, возможность подналадки, возможность направления инструментов разного диаметра
2		При базировании инструмента на поверхность резания ему сообщают колебания с частотой, равной частоте вращения, амплитуду выбирают из соотношения $\frac{S - \Delta S}{2} > r$ а.с. 1180172 (модель № 3)	Получение отверстий с криволинейной осью, либо управление уводом оси
3		После предварительной обработки определяют направление и величину коррекции, устанавливают инструмент и производят обработку с подачей $S = \epsilon / n \cdot \text{tg } \phi$, а.с. 1355368, либо сообщают осевые колебания, а величину припуска назначают из условия $\epsilon \geq 2Y_{\text{max}}$, а.с. 1690965, а.с. 1690966 (модели № 1,3)	Управление позиционной точностью оси отверстия
4		Инструмент дополнительно базируют кулачком в осевом направлении а.с. 1225704	Повышение надежности базирования инструмента при врезании и в процессе обработки

Методика проектирования операции обработки отверстий ИОР

В основе методики лежат результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса врезания ИОР в заготовку, при применении которых для обработки по предварительно полученному отверстию малой и средней глубины реализуются все положительные качества инструмента, но отпадает необходимость в гидростанциях высокого давления, в специальном оборудовании. Обработку можно производить на применяемом в действующих техпроцессах оборудовании, в том числе и на универсальном.

Методика предусматривает выполнение следующих этапов:

1. Определение плана обработки отверстия. Если заготовка имеет предварительно обработанное отверстие, то сразу производят обработку ИОР. Если отверстия нет, то производят предварительно сверление спиральными сверлами, затем обработку ИОР. При необходимости обработки разнесенных соосных коротких отверстий возможна их обработка ружейными сверлами. После обработки ИОР при необходимости применяют один из видов чистовой обработки.

2. Расчёт режимов резания по общемашиностроительным нормативам.

3. Определение метода направления инструмента. По графикам достижимой точности расположения оси отверстий при различных методах направления выбирают метод направления в соответствии с требованиями расположения оси отверстия и имеющимся оборудованием. Наименьшую точность дает направление по зацентрированным отверстиям - цилиндрическому или коническому, высокую точность - по кондукторным втулкам, наивысшую - по призме (а.с. 1234063).

4. Производится оценка точности обработки. Определяются максимально возможные погрешности расположения оси, погрешности формы в поперечном и продольном сечении - изогнутость оси и увод. Если расчетные значения не превышают заданных чертежом детали, то план принимается. Если точность не удовлетворяет, то применяется более точный метод направления, либо корректировка технологических параметров. Наиболее удобным параметром для корректировки является разность диаметров ϵ , величину которой назначают близкой к нулю, либо кратной $S \cdot \text{tg}\phi$, при которой врезание осуществляется за целое число оборотов и погрешности формы отверстия и расположения оси наименьшие.

Предложенную методику можно применять для отладки операций и диагностики действующих техпроцессов.

Пример. В действовавшем техпроцессе обработки отверстия $\varnothing 25_{+0,002}$ мм в детали "корпус гидрораспределителя" обработка производилась в следующей последовательности:

- а) сверление отверстия с двух сторон спиральными сверлами до вскрытия отверстия;
- б) зенкерование;
- в) черновое развёртывание;
- г) чистовое развёртывание;
- д) чистовая обработка отверстия.

Обнаружена погрешность расположения оси на входе до 0,4 мм., изогнутость оси до 0,068 мм на длине 185 мм.

По предложенной методике разработана и внедрена следующая технология обработки:

- а) сверление отверстия с двух сторон спиральными сверлами до вскрытия отверстия;
- б) развёртывание ружейной развёрткой;
- в) чистовая обработка отверстия.

Расчеты показали, что при подаче $s = 0,28$ мм./об. и амплитуде осевых биений 0,02 мм. максимальная погрешность расположения оси - 0,04 мм., увод - 0,08 мм., изогнутость оси - 0,02 мм. Замеры этих величин в производственных условиях показали, что они не превышают расчетных.

Дальнейшее повышение точности было достигнуто определением и поддержанием оптимального зазора между кондукторной втулкой и инструментом, обеспечивающим врезание инструмента за целое число оборотов ($\delta = 0^{+0,022}$ мм., $\delta = 0,16^{+0,022}$ мм., $\delta = 0,32^{+0,022}$ мм.). Это позволило выдержать погрешность расположения оси в пределах 0,02 мм., увод - 0,05 мм., изогнутость оси - 0,01...0,014 мм.

Использование методики позволило произвести проектирование, диагностику и отладку более 15 техпроцессов и отдельных операций обработки отверстий, что совместно с внедрением в производство десяти элементов технологического оснащения операций позволило получить экономический эффект около 73 млн. рублей.

Общие выводы по работе

1. Разработана система математических моделей, представляющих собой уравнения с запаздывающим аргументом, адекватно описывающая процесс врезания инструментов одностороннего резания в заготовку и позволяющая выполнять оценку точности обработки отверстий как на стадии проектирования технологических процессов, так и при диагностике существующих техпроцессов.

2. Теоретически предсказаны и экспериментально подтверждены закономерности процесса врезания ИОР в заготовку. Впервые установлено, что в

общем случае форма отверстия представляет собой чередующиеся отрезки дуг окружностей и спиралей Архимеда. Такая форма приводит к позиционным погрешностям оси отверстия на входе. Наибольшие погрешности возникают при врезании инструмента за нечётное число полуоборотов, когда отверстие представляет собой два отрезка спиралей Архимеда. Если врезание осуществлено за целое число оборотов инструмента, то отверстие является окружностью, погрешности формы и расположения оси отсутствуют. Выявлены главные технологические факторы, влияющие на точность, установлено, что наивысшая точность может быть достигнута оптимальным сочетанием подачи S , угла в плане ϕ кулачка, и разницей диаметров инструмента D и засверленного отверстия D_0 .

3. Осевые биения инструмента вносят дополнительную погрешность расположения оси отверстия на входе, причем величина погрешности зависит от количества оборотов инструмента при врезании, подачи и амплитуды осевых биений.

4. Разработанные кинематические модели позволяют осуществить оценку точности формы отверстия и расположения оси на входе и определить параметры процесса, посредством которых возможно управлять формой и расположением, осуществляя врезание за целое число оборотов инструмента. Статические модели позволяют рассчитать и величину разбивки отверстия.

5. На основе теоретических и экспериментальных исследований разработано 5 новых способов обработки отверстий, позволяющих управлять уводом, расположением оси и размером и 2 устройства для направления инструментов.

6. Разработаны методика проектирования операции обработки отверстий и методика диагностики действующих техпроцессов.

7. Разработаны рекомендации по повышению точности обработки, в том числе - по выбору рациональной схемы направления инструментов и планы обработки отверстий ИОР на универсальных и специальных станках с ЧПУ и в ГАП. Установлено, что наибольшую точность даёт направление по призме и кондукторным втулкам, меньшую - по коническому направляющему отверстию и наименьшую - по цилиндрическому.

8. При внедрении в производстве предложенной методики и элементов технологического оснащения операций обработки отверстий 7...9 квалитетов точности диаметрального размера обеспечивается точность расположения 0,01...0,04 мм., отклонение от прямолинейности 0,01...0,015 мм. на длине 100 мм., отклонение от соосности 0,002...0,03 мм. Снижается трудоемкость обработки отверстий, сокращаются планы обработки на I-3 перехода.

Годовой экономический эффект составляет около 73 миллионов рублей. Результаты работы внедрены также в учебный процесс при подготовке инженеров по специальностям 1201 и 2102.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Лакирев С. Г., Решетников Б. А., Тарабрин В. А., Карсунцев А. И., Хилькевич Я. М. Система асимптотических моделей формообразования отверстий мерным инструментом // В кн. Совершенствование машиностроительных материалов, конструкций машин и методов обработки деталей: Тематический сборник научных трудов.- Челябинск: ЧПИ, 1986- с. 53-102.
2. Лакирев С. Г., Карсунцев А. И. Выбор рациональной схемы захода инструмента одностороннего резания в заготовку // В кн. Интенсификация технологических процессов механической обработки: Тез. докл. Всесоюзной конференции,- Ленинград: ЛМИ, 1986 - с. 85.
3. Лакирев С. Г., Азеев В. С., Карсунцев А. И. Обработка соосных отверстий в корпусе гидрораспределительной коробки. Информ. листок № 456 - 87- Челябинск: ЦНТИ, 1987.
4. Лакирев С. Г., Карсунцев А. И. Универсальный откидной кондуктор. // Машиностроитель № 7, 1988- с. 41-42.
5. Карсунцев А. И. Обработка отверстий в гидроцилиндрах. // В кн. Совершенствование машиностроительных материалов, конструкций машин и методов обработки деталей: Тематический сборник научных трудов. - Челябинск: ЧПИ, 1988- с. 101-105.
6. Карсунцев А. И. и др. Выбор рационального маршрута обработки отверстий в САПР ТП // Итоги, проблемы и перспективы комплексно-автоматизированных производств в машиностроении и приборостроении: Тез. докл. Всесоюзной научно-технической конференции.- Горький: 1990- с. 111-113.
7. Лакирев С. Г., Чиненов С.Г., Карсунцев А. И. Точность отверстий, полученных спиральными сверлами. - Учебно-исследовательская работа. - Челябинск: ЧПИ,- 1989, 32 с.
8. Карсунцев А. И. Влияние начального смещения оси отверстия на увод и изогнутость оси // В кн. Тематический сборник научных трудов. - Челябинск: Издательство ЧГТУ, 1996- с. 46-50.
9. Лакирев С.Г., Карсунцев А.И. Математическая модель процесса врезания инструментов одностороннего резания в заготовку. // В кн. Тематический сборник научных трудов.- Челябинск: Издательство ЧГТУ, 1996 - с. 73-80.
10. Лакирев С. Г., Козлов А. В., Дерябин И. П., Карсунцев А. И. Математическое моделирование технологических операций в САПР ТП: Учебное пособие.- Челябинск: ЧГТУ, 1997.- Ч.3.- 68 с.

11. Карсунцев А. И. и др. А. с. № 1180172 (СССР). Способ обработки отверстий // Открытия. Изобретения. - 1985 - № 35.

12. Карсунцев А. И. и др. А. с. № 1225704 (СССР). Способ обработки отверстий // Открытия. Изобретения. - 1986 - № 15.

13. Карсунцев А. И. и др. А. с. № 1323248 (СССР). Способ обработки отверстий // Открытия. Изобретения. - 1987 - № 26.

14. Карсунцев А. И. и др. А. с. № 1355368 (СССР). Способ коррекции оси предварительно обработанного отверстия // Открытия. Изобретения. - 1987 - № 44.

15. Карсунцев А. И. и др. А. с. № 1690965 (СССР). Способ коррекции оси предварительно обработанного отверстия // Открытия. Изобретения. - 1991 - № 42.

Новизна технических решений в работе защищена также авторскими свидетельствами NN 1046036, 1060325, 1060341, 1234063, 1238904, 1346353, 1611593, 1664470, 1690966.

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, cursive letters. The signature is positioned in the lower right quadrant of the page.

Издательство Челябинского
государственного технического университета

ИР № 020364 от 10.04.97. Подписано в печать 12.04.97. Формат
60x84 1/16. Печать офсетная. Усл.печ. л.1,16. Уч.-изд. л.1.

Тираж 100 экз.. Заказ 123/164.

УОП издательства. 454080, г.Челябинск, пр. им.В.И.Ленина, 76.