

На правах рукописи



Миронова Ирина Николаевна

**СОКРАЩЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НА ЭТАПАХ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОТЛАДКИ ОПЕРАЦИЙ
ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ ИНСТРУМЕНТАМИ
ОДНОСТОРОННЕГО РЕЗАНИЯ**

Специальность 05.02.08 – «Технология машиностроения»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск
2006

Диссертация выполнена на кафедрах «Технология машиностроения» и «Технология машиностроения, станки и инструмент» Южно-Уральского государственного университета.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Гузеев Виктор Иванович.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Мазеин Петр Германович;

кандидат технических наук
Истомин Виктор Михайлович.

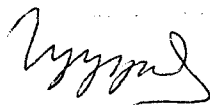
Ведущее предприятие – ФГУП «Производственное объединение
Златоустовский машиностроительный завод».

Защита состоится « 29 » июня 2006 г. в 15.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.298.06 в Южно-Уральском государственном университете по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ауд. 202.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Южно-Уральского государственного университета.

Автореферат разослан « » 2006 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор



И.А. Щуров

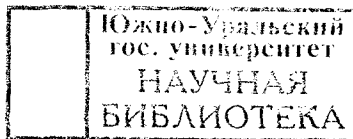
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В условиях современного машиностроительного производства требуется резкое расширение номенклатуры выпускаемой продукции, систематическое ее обновление, сокращение сроков пребывания изделий в производстве. При этом возрастают требования к техническому уровню и качеству изделий. Высокое качество обработки отверстий в деталях, например топливной и гидравлической аппаратуры, обеспечивают инструменты одностороннего резания (ИОР), применение которых позволяет сократить технологический маршрут обработки. Однако отсутствие четких рекомендаций по назначению основных конструкторско-технологических параметров на операциях обработки отверстий ИОР приводит к тому, что технологическая подготовка производства (ТПП) и обработка деталей, имеющих точные отверстия, занимает достаточно большое время. Существующие методы подбора этих параметров обработки в основном базируются на статистических (справочных) данных, где не прослеживается связь с параметрами оснастки и режимами резания, сочетание которых играет основную роль в обеспечении точности обработки отверстий.

В этих условиях повышение требований к гибкости производства, с одновременным сокращением сроков подготовки производства, возможно только на основе совершенствования методов ТПП. Одним из главных направлений совершенствования ТПП является применение систем автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП). Однако эти системы чаще всего автоматизируют процесс заполнения технологической документации, а не обеспечивают прогноз точности механической обработки поверхностей деталей машин. Это не приводит к значительному сокращению сроков и повышению качества ТПП.

Одним из самых трудоемких этапов в ТПП является отладка технологического процесса (ТП) непосредственно на технологическом оборудовании. При этом подбираются конструктивные параметры инструмента, оснастки и режимы резания. Задача назначения параметров операции усложняется наличием их взаимного влияния друг на друга. Конечное решение состоит из назначения комплекса взаимосвязанных параметров инструмента и режимов резания.

Возможность иметь количественный прогноз параметров точности при проектировании ТП обработки деталей позволит целенаправленно назначать основные конструкторско-технологические параметры технологических операций и сокращать затраты на ТПП за счет применения компьютерной отладки технологических операций. Это снизит затраты, связанные с расходом металла, инструментов, энергии и др., на этапе натурной отладки ТП. Поэтому весьма актуальной задачей является разработка методики количественной оценки прогнозируемой точности, которая позволит существенно уменьшить трудоемкость ТПП. Реализация этой методики в САПР ТП значительно повысит эффективность этих систем.



В связи с перечисленными выше проблемами и было выполнено настоящее исследование, которое посвящено разработке математической модели процесса формообразования отверстий ИОР и методики расчета погрешностей размера и формы в поперечном сечении обработанных отверстий, и созданию на их основе компьютерной методики проектирования и отладки операций обработки отверстий ИОР.

Цель работы. Сокращение трудоемкости ТПП на этапах проектирования и отладки операций обработки отверстий ИОР и создание методики проектирования и отладки технологических операций на основе математического моделирования процесса формообразования отверстий ИОР.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1. Разработать математическую модель формообразования отверстий ИОР и методику количественной оценки точности размера и формы в поперечном сечении обработанных отверстий.

2. Определить зависимость точности размера и формы в поперечном сечении обработанных отверстий от конструкторско-технологических параметров операции (подачи, диаметров инструмента и кондукторной втулки, геометрии инструмента и др.).

3. Провести экспериментальные исследования процесса обработки ИОР для установления адекватности основных теоретических выводов процессу формообразования.

4. Разработать методику проектирования и отладки операций обработки отверстий ИОР и реализовать ее в виде компьютерной программы для использования в САПР ТП и автономном режиме на различных этапах ТПП.

Научная новизна. Разработаны математическая модель процесса формообразования отверстий ИОР и методика расчета погрешностей размера и формы в поперечном сечении обработанной поверхности, учитывающие влияние конструкторско-технологических параметров операций. Установлено, что форма отверстия в поперечном сечении формируется дугами различных радиусов и их углов смежности. При этом погрешности обработки определяются размерами вписанной окружности, которые зависят как от величин, так и от сочетания конструкторско-технологических параметров операции. Профиль отверстия в продольном сечении представляет собой ступенчатую поверхность, параметры которой зависят от зазора между кондукторной втулкой и инструментом, подачи и осевого отставания направляющих элементов.

Практическая ценность:

1. Разработана методика расчета погрешностей размера и формы в поперечном сечении обработанных отверстий.

2. Разработаны рекомендации по назначению основных конструкторско-технологических параметров операций для достижения заданных точности размера и формы в поперечном сечении обработанных отверстий.

3. Разработана система компьютерного проектирования и отладки технологических операций обработки отверстий ИОР, реализованная в виде компью-

терной программы, применяемой в качестве подсистемы САПР ТП либо в качестве автономной расчетно-диагностической системы.

На защиту выносятся:

- математическая модель процесса формообразования отверстий ИОР;
- методика расчета погрешностей размера и формы в поперечном сечении обработанных отверстий;
- рекомендации по назначению основных конструкторско-технологических параметров операции;
- методика компьютерного проектирования и отладки технологических операций обработки отверстий ИОР.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены: на межотраслевой научно-практической конференции «Снежинск и наука», г. Снежинск, 2000 г.; на межвузовской научно-технической конференции «Управляющие и вычислительные системы. Новые технологии», г. Вологда, 2000 г.; на первой Международной электронной научно-технической конференции «Автоматизация и информация в машиностроении» (АИМ 2000), г. Тула, 2000 г.; на научно-технической конференции «Современные технологические системы в машиностроении», г. Барнаул, 2003 г.; на научно-технических конференциях ЮУрГУ в 2001–2005 гг.; на объединенных заседаниях кафедр технологического профиля ЮУрГУ в 2003–2005 гг.

Публикации по теме диссертационной работы. По теме диссертационной работы опубликованы в соавторстве 12 работ.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов основного текста, общих выводов и библиографического списка.

Объем работы. 171 страница основного текста, в том числе 34 рисунка, 35 таблиц. В библиографическом списке содержится 81 наименование.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Состояние вопроса

Анализ опубликованных работ, а также изучение опыта работы технологгов-проектировщиков показывает, что при проектировании ТП технологи чаще всего оперируют приближенными справочными оценками параметров точности, по которым невозможно определить, при каких параметрах технологической операции, а именно: при какой геометрии режущей части инструмента, при каких режимах резания и т.д. достигается заданная точность. Другой недостаток – значения параметров точности заданы интервалами, крайние значения которых отличаются в два и более раз.

Исследованию проблемы обработки отверстий ИОР посвящены работы Подураева В.Н., Дальского А.М., Светлицкого А.А., Мещерякова Р.К., Ушакова

А.И., Троицкого Н.Д., Минкова М.А, Лакирева С.Г., Хилькевича Я.М., Козлова А.В. и др. Учеными МГТУ им. Баумана была получена модель, которая позволила определить влияние на точность обработки таких важных факторов, как схема обработки, разнообрабатываемость материала, скорость резания, геометрические параметры инструмента и т.д. Для исследования процесса формообразования отверстий ИОР был привлечен адекватный математический аппарат, в частности теория уравнений с отклоняющимся аргументом, и впервые была использована простейшая модель процесса формообразования отверстий мерным инструментом, построенная с предположениями:

- о точечном формообразующем контакте режущего лезвия и детали;
- о базировании направляющих лишь по обработанной цилиндрической поверхности отверстия;
- о представлении обработанного отверстия в виде совокупности двух диаметрально расположенных плоских кривых.

Однако нужно отметить, что принятая учеными МГТУ им. Баумана расчетная модель все-таки адекватна главным образом процессу растачивания отверстий резцом.

Учеными ЮУрГУ (Лакиревым С.Г., Хилькевичем Я.М., Козловым А.В.) была разработана система математических моделей, полученная на основе асимптотического преобразования моделей многолезвийного инструмента, позволяющая оценить движение инструмента лишь в одной продольной плоскости, в которой расположены вершина режущего лезвия и противоположно расположенный ей кулачок. В частности, получила дальнейшее развитие «стробоскопическая» модель Подураева В.Н., уточненная Хилькевичем Я.М., которая позволила объяснить механизм образования волнистости. Было установлено, что на точность обработки влияет соотношение осевого отставания кулачков τ и подачи S . Однако эти модели дают неустойчивые решения при некоторых сочетаниях конструкторско-технологических параметров операции, что выражается в неограниченном нарастании разбивки. Поэтому эти модели дают лишь качественную оценку погрешностей обработки и нуждаются в дальнейшем совершенствовании. Вместе с тем, Лакиревым С.Г., Хилькевичем Я.М., Козловым А.В. сделан принципиальный вывод о возможности моделирования процесса формообразования отверстий ИОР на геометрическом уровне.

Поэтому в диссертации ставится задача разработки модели формообразования отверстий ИОР, обеспечивающую количественный прогноз точности размера и формы в поперечном сечении обработанных отверстий.

Математическое моделирование процесса формообразования отверстий ИОР

Для направления ИОР применяются кондукторные втулки или зацентрованные цилиндрические отверстия, поэтому в момент врезания инструмент базировается направляющими элементами – кулачками B и C (рис. 1), на направ-

ляющую поверхность. В работе доказано, что стыковая жесткость направляющих элементов (взаимодействие поверхности втулки с кулачками B и C) как минимум на 1–2 порядка превосходит контактную жесткость режущего лезвия A (взаимодействие вершины режущего лезвия и поверхности резания), поэтому силы резания обеспечивают постоянный контакт кулачков с направляющей поверхностью втулки или обработанной поверхностью.

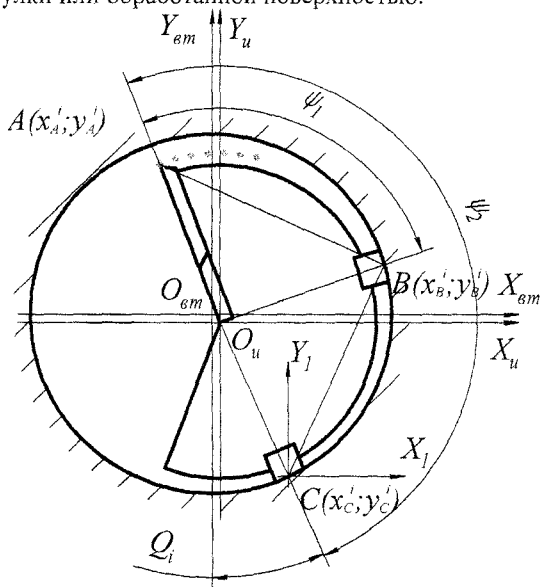


Рис. 1. Схема формообразования, этап I

В момент засверливания инструмент под действием сил резания базируется в кондукторной втулке на кулачки B и C . На рисунке 1 кондукторная втулка показана в виде окружности радиусом R , а сверло – в виде треугольника с вершинами A , B и C , где A – вершина режущего лезвия, B и C – кулачки, ψ_1 – угол между кулачком B и вершиной режущего лезвия A ; ψ_2 – угол между кулачком C и вершиной режущего лезвия A ; Q_i – текущий угол поворота инструмента. Движение инструмента рассматривается в системе координат втулки $(Y_{вт}; X_{вт})$ с центром в точке $O_{вт}$.

Математическая модель процесса формообразования отверстия основывается на определении текущих координат вершины режущего лезвия – точки A_i . Полученное множество точек и будет определять поверхность обработанного отверстия. Текущие координаты точки A_i :

$$\begin{cases} X_A^i = X_C^i + X_{iA}^i \\ Y_A^i = Y_C^i + Y_{iA}^i \end{cases} \text{ зависят от теку-}$$

ших координат точек B_i и C_i :
$$\begin{cases} X_B^i = R_B^i \cdot \cos(Q_i - 90^\circ + \Delta Q \cdot i) \\ Y_B^i = R_B^i \cdot \sin(Q_i - 90^\circ + \Delta Q \cdot i) \end{cases},$$

$$\begin{cases} X_C^i = R \cdot \cos(\Delta Q_i \cdot i - 90^\circ) \\ Y_C^i = R \cdot \sin(\Delta Q_i \cdot i - 90^\circ) \end{cases},$$
 а текущий угол определяется, как

$$Q_i = \pm \arccos \left[\frac{(R_B^i)^2 + (R_C^i)^2 - 2 \cdot R_B^i \cdot (1 - \cos(\psi_2 - \psi_1))}{2 \cdot R_B^i \cdot R_C^i} \right] + 2\pi n,$$

где $X_C^i = f(\Delta_{om}, \tau_2, S, \psi_2, \cos Q_i)$, $X_{1A}^i = f(\Delta_{om}, \tau_1, S, \psi_1, X_B^i, \cos Q_i)$, $Y_C^i = f(\Delta_{om}, \tau_2, S, \psi_2, \sin Q_i)$, $Y_{1A}^i = f(\Delta_{om}, \tau_1, S, \psi_1, X_B^i, \sin Q_i)$, $X_B^i, Y_B^i, X_C^i, Y_C^i$ – текущие координаты точек B и C соответственно; R_B^i и R_C^i – текущие радиус-векторы точек B и C соответственно; X_{1A}^i, Y_{1A}^i – текущие координаты точки A в дополнительной системе координат с центром в текущей точке C_i ; Δ_{om} – зазор между кондукторной втулкой и сверлом; τ_1 и τ_2 – осевое отставание кулачков B и C соответственно; S – подача; $n = L/S$ – число оборотов инструмента за время обработки отверстия.

Расчет траектории вершины режущего лезвия ружейного сверла производится в три этапа.

Этап I. В начальный момент (см. рис. 1), когда текущий угол поворота сверла $Q_i - 2\pi \cdot m_1 \leq \psi_1$, где $m_1 = \tau_1/S$ (целая часть), кулачки скользят по поверхности кондукторной втулки, отслеживая её форму, а вершина режущего лезвия сверла воспроизводит эту форму, то есть, если форма кондукторной втулки близка к окружности, то и режущая кромка A опишет дугу AB (рис. 2). Координаты точек A , вершины режущего лезвия рассчитываются с шагом ΔQ , который определяется шириной рабочей поверхности кулачков, так, чтобы она перекрывала две соседние точки.

Этап II. При $\psi_1 < Q_i - 2\pi \cdot m_2 \leq \psi_2$ (см. рис. 2), где $m_2 = \tau_2/S$ (целая часть), кулачок B начинает базироваться на обработанную поверхность (дуга AB), инструмент получает поперечное перемещение, а вершина режущего лезвия формирует дугу AB (рис. 3). Кулачок C продолжает перемещаться по втулке, т.е. по окружности.

Этап III. На обработанную поверхность вступает кулачок C (см. рис. 3) (при $Q_i - 2\pi \cdot m_2 > \psi_2$). После полного вхождения кулачка C в отверстие начинается установившийся процесс обработки: оба кулачка следуют за режущей кромкой и базируются по обработанной ею поверхности.

Положение кулачков B и C на обработанной поверхности зависят от главных углов в плане: режущего лезвия $A - \varphi_A$; кулачка $B - \varphi_B$ и кулачка $C - \varphi_C$, а также от осевых отставаний τ_1 и τ_2 этих кулачков от режущего лезвия (рис. 4).

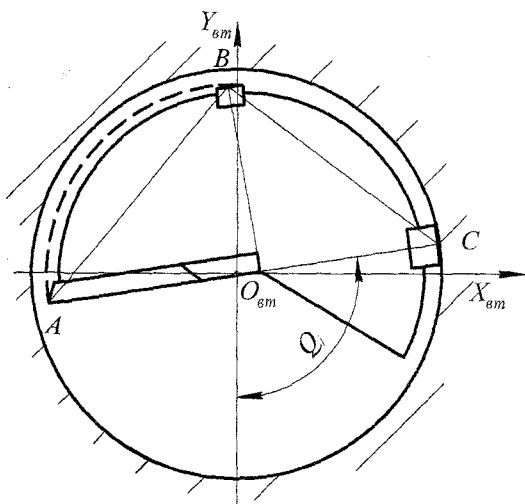


Рис. 2. Схема формообразования, этап II

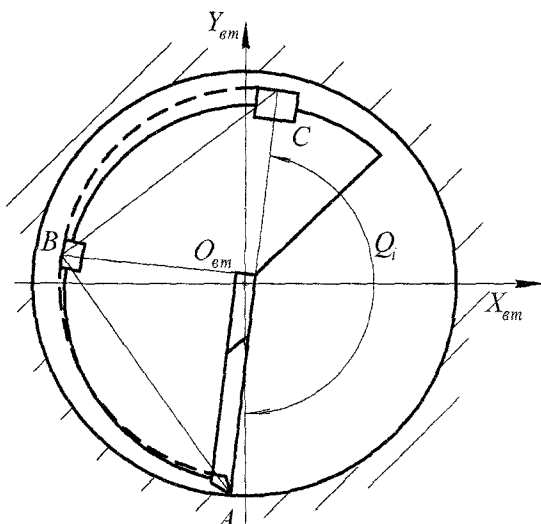


Рис. 3. Схема формообразования, этап III

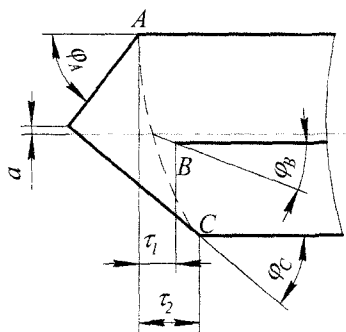


Рис. 4. Расчетная схема осевого отставания

Таким образом, разработанная математическая модель позволяет вычислить текущие координаты точек X'_A и Y'_A , множество которых и будет определять профиль обработанного отверстия. Поскольку точка A в пространстве совершает винтовое движение с шагом равным подаче S , то множество точек A_i не лежит в одной плоскости, однако в связи с тем, что шаг на несколько порядков меньше диаметра инструмента, то допустимо координаты точки A_i считать в координатной плоскости $X_{от} O_{от} Y_{от}$. Таким образом получим n сечений, которые будут расположены вдоль оси втулки с шагом S . В результате можно получить продольный профиль обработанного отверстия.

Методика расчета погрешностей размера и формы в поперечном сечении обработанного отверстия строится на нахождении вписанной окружности максимального радиуса в поперечных сечениях, что и будет определять диаметр полученного отверстия, а расстояние от этой окружности до наиболее удаленной точки профиля есть погрешность формы в поперечном сечении.

Полученные математическая модель формообразования отверстий ИОР и методика расчета погрешностей размера и формы в поперечном сечении обработанных отверстий позволяют проводить исследования точности обработки на основе вычислительных экспериментов.

На основе математического моделирования в работе установлено, что при направлении инструмента по кондукторной втулке вследствие $\Delta_{от}$ сначала формируется участок, диаметр которого меньше диаметра кондукторной втулки (рис. 5, а).

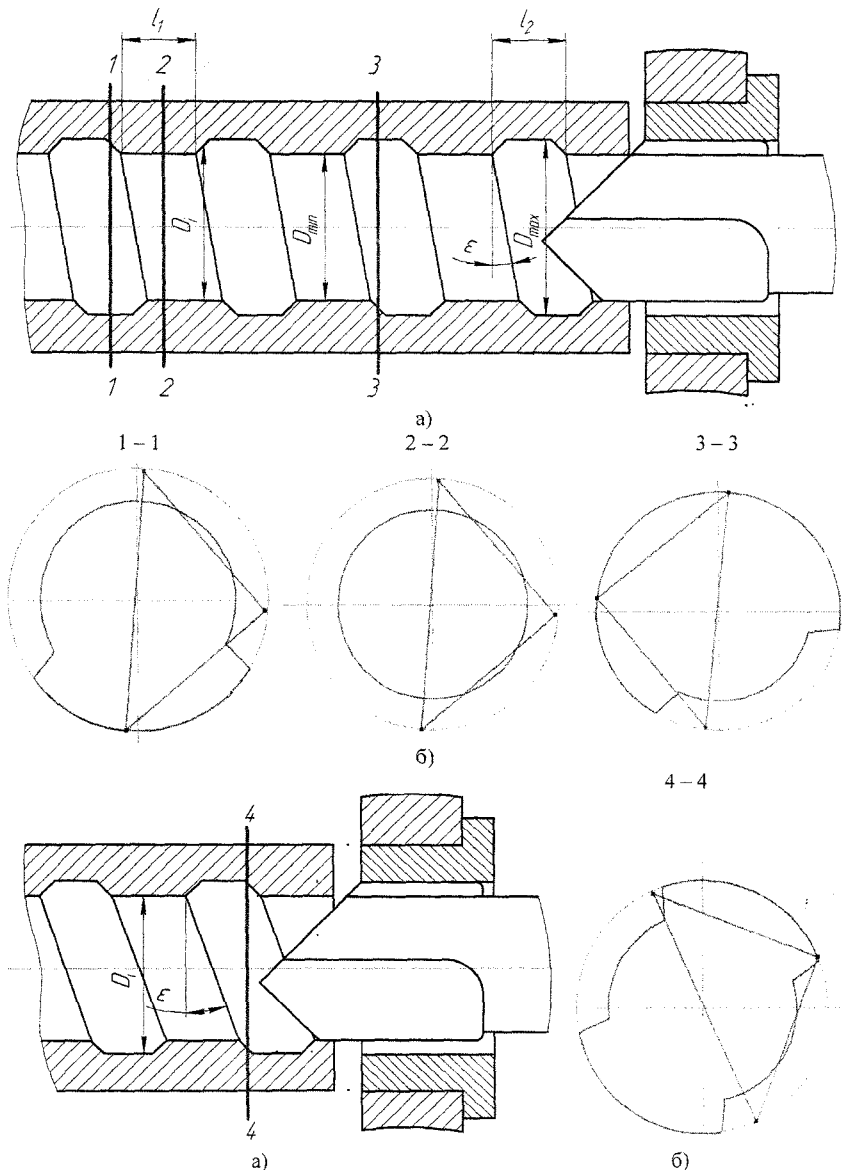


Рис. 5. Теоретический профиль отверстия в сечениях: а) в продольном; б) в поперечном

В процессе последующей обработки он будет являться направляющей поверхностью для следующего участка, диаметр которого будет больше диаметра

инструмента. С учетом подачи S инструмента в результате образуется поверхность, поперечное сечение которой состоит из дуг окружностей различных радиусов кривизны и их углов смежности. По этой причине в поперечных сечениях образуется различный профиль отверстия. Если поперечное сечение попадает на участок с предельными размерами диаметра D_{\max} или D_{\min} (см. рис. 5), то в сечении будет поверхность, близкая к окружности (сечение 2-2), на участке с промежуточным размером диаметра D_i полученная поверхность будет состоять из нескольких дуг окружностей (сечения 1-1, 3-3, 4-4). Чем больше разность между D_{\max} и D_{\min} , тем больше погрешности размера и формы в поперечном сечении обработанного отверстия. Однако уменьшение этой разности связано с уменьшением величины зазора между кондукторной втулкой и инструментом, который имеет предел. Следовательно, нужно стремиться, чтобы в поперечных сечениях всегда были промежуточные участки (сечения 1-1; 3-3; 4-4), с диаметром вписанной окружности D_i , так как $D_{\min} < D_i < D_{\max}$. Это возможно за счет увеличения угла ε и уменьшения длины участков l_1 и l_2 . Увеличение угла ε происходит с увеличением подачи, однако она ограничена стойкостью и прочностью инструмента. Уменьшение длины участков l_1 и l_2 возможно за счет уменьшения величины τ_2 , однако она должна быть не меньше, чем $\frac{S \cdot \psi_2}{2\pi}$, ина-

че кулачок начнет базироваться на поверхность резания. Таким образом, необходимо находить сочетание параметров S , τ_1 и τ_2 , ψ_1 и ψ_2 , $\Delta_{\text{от}}$, обеспечивающих заданную точность размера и формы в поперечном сечении, что достигается проведением вычислительных экспериментов.

По результатам вычислительных экспериментов построены графики влияния конструкторско-технологических параметров операций на погрешность размера и формы в поперечном сечении обработанного отверстия и предложены рекомендации по их снижению. В результате было выявлено, что положение дуг окружностей различных радиусов кривизны в поперечном сечении, определяющих базирование кулачков по обработанной поверхности, зависит от сочетания основных параметров: S , τ_1 и τ_2 , ψ_1 и ψ_2 , $\Delta_{\text{от}}$. На рисунке 6 показано влияние подачи и угла между кулачком C и режущей кромкой на погрешность размера в поперечном сечении обработанного отверстия.

Полученные закономерности использовались для разработки рекомендаций по назначению основных конструкторско-технологических параметров операций для снижения погрешностей обработки.

Экспериментальные исследования точности обработки отверстий ИОР

Для подтверждения теоретических выводов были проведены натурные эксперименты. Исследования проводились на токарно-револьверном станке 1341, переоборудованном для ружейного сверления.

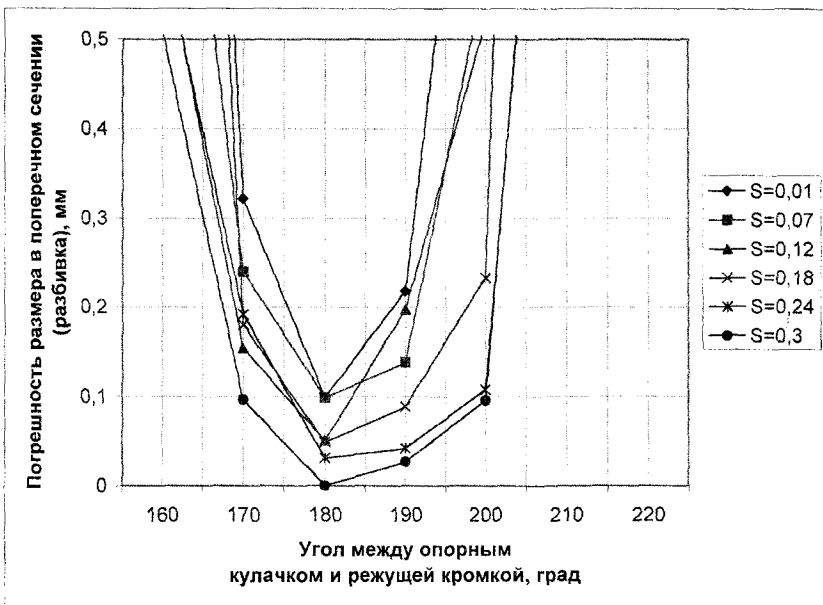
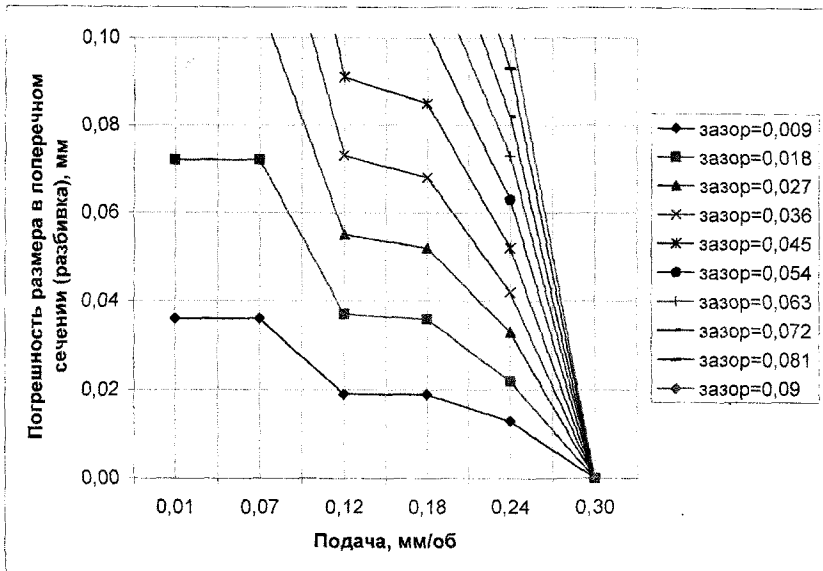


Рис. 6. Графики зависимости точности размера обработанного отверстия в поперечном сечении от подачи и угла между опорным кулачком и режущей кромкой

В качестве режущего инструмента применялись ружейные сверла различных диаметров.

Операция контроля проводилась на координатно-измерительной машине (КИМ) «Global aktiv» фирмы «Bown&sharpe».

Экспериментальными исследованиями подтверждено влияние основных конструкторско-технологических параметров операций на точность размера и формы в поперечном сечении обработанных отверстий, а именно: влияние S , τ_1 и τ_2 , ψ_1 и ψ_2 , $\Delta_{от}$.

Результаты экспериментов подтвердили влияние смены баз на профиль отверстия в поперечном (рис. 7) и продольном (рис. 8) сечениях.

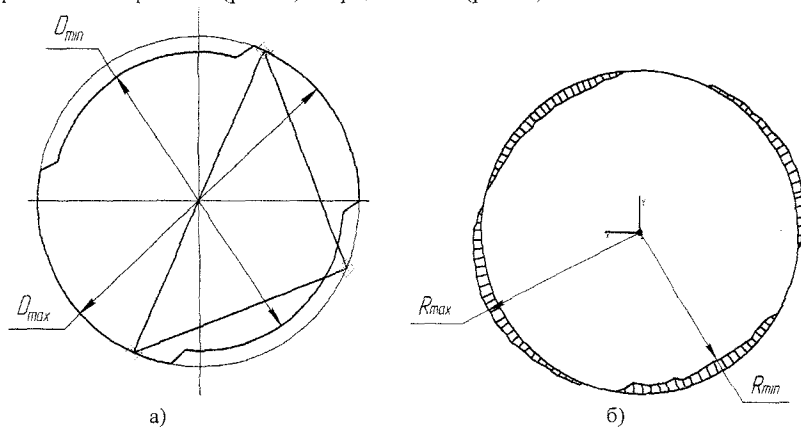


Рис. 7. Профили обработанного отверстия в поперечном сечении: а – вычислительный эксперимент; б – натуральный эксперимент

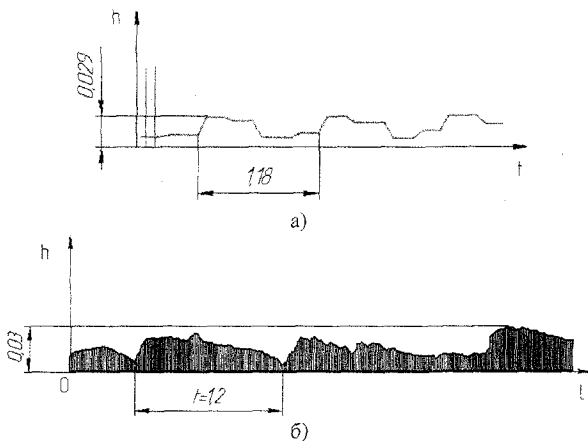


Рис. 8. Профиль обработанного отверстия в продольном сечении: а – вычислительный эксперимент; б – натуральный эксперимент

Количественное сравнение диаметров вписанных окружностей с окружностями, полученными на КИМ, показало, что расхождение не превышает 15%.

Разработаны карты по назначению основных конструкторско-технологических параметров операций (см. таблицу), где указано, как необходимо изменять какой-либо параметр для повышения точности обработки и при этом в каких пределах должны находиться остальные влияющие параметры.

Таблица

Фрагмент карты по назначению основных конструкторско-технологических параметров операций для снижения погрешностей обработки

№ п/п	Конструкторско-технологические параметры	Характер изменения параметров	Значения влияющих параметров					
			ψ_1	ψ_2	$\Delta_{от}$	τ_1	τ_2	S
1	S	Увеличить подачу	При любых ψ_1	170...190°	При любых $\Delta_{от}$	При любых τ_1	$\tau_2 > S/2$	—
2	τ_2	Уменьшить τ_2	При любых ψ_1	При любых ψ_2	При любых $\Delta_{от}$	При любых τ_1	—	$\tau_2 > \frac{S}{2}$

Методика компьютерного проектирования и отладки операций обработки ИОР

Разработанная инженерная методика компьютерного проектирования и отладки операций обработки отверстий ИОР, включает в себя:

- математическую модель расчета траектории вершины режущего лезвия инструмента;
- методику расчета погрешностей размера и формы в поперечном сечении обработанных отверстий;
- рекомендации по снижению погрешности обработки отверстий.

Предусмотрено выполнение в компьютерном режиме следующих этапов проектирования:

- этап 1 – ввод исходных данных: режимов резания, геометрических параметров инструмента и оснастки, требуемых параметров точности обработки;
- этап 2 – определение подачи, ограниченной стойкостью и прочностью инструмента;
- этап 3 – проведение отладки операции, которая заключается в изменении исходных данных по выданным рекомендациям в случае несовпадения расчетных параметров точности с заданными. Рекомендации могут содержать кон-

кретные численные значения некоторых параметров, например диаметра инструмента;

– этап 4 – вывод результатов отладки, которые включают параметры, обеспечивающие заданные параметры точности обработки.

Для реализации методики компьютерного проектирования разработана компьютерная программа, позволяющая производить проектирование и отладку операций обработки отверстий, как в САПР ТП, так и в автономном режиме.

Практическое применение и внедрение в производство методики компьютерной отладки

Использование приведенной выше методики привело к сокращению времени ТПП на 70...80%. Компьютерная программа также используется в учебном процессе при проведении практических и лабораторных работ.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Установлено, что точность размера и формы в поперечном сечении обработанного отверстия зависит не только от величин, но и от сочетаний различных параметров: подачи S ; зазора между кондукторной втулкой и инструментом; углового расположения кулачков ψ_1 и ψ_2 ; осевого отставания кулачков от режущей кромки τ_1 и τ_2 .

2. Теоретически установлено, что профили поперечных сечений обработанных отверстий состоят из дуг различных радиусов кривизны и их углов смежности, при этом в профиле продольного сечения получается ступенчатая поверхность.

3. Установлено, что размер и форма в поперечном сечении обработанных отверстий определяются размерами вписанных в поперечные сечения окружностей, диаметры которых зависят от величин радиусов кривизны и углов смежности дуг профиля обработанной поверхности.

4. Установлена степень влияния различных конструкторско-технологических параметров операций на точность размера и формы в поперечном сечении обработанных отверстий. Так, например, увеличение подачи снижает погрешность размера и формы обработанного отверстия в поперечном сечении.

5. Разработаны:

– математическая модель формообразования отверстий ИОР, имеющих одно режущее лезвие и два направляющих элемента. Модель описывает траекторию вершины режущего лезвия с учетом произвольных углов расположения направляющих элементов, осевых отставаний направляющих элементов, различных подач, различных зазоров между кондукторной втулкой и инструментом;

– методика расчета погрешностей размера и формы в поперечном сечении обработанных отверстий, основанная на нахождении вписанной окружности максимального радиуса методом интерполяции, которая определяет диаметр полученного отверстия.

6. Разработаны рекомендации по назначению конструкторско-технологических параметров операций при проектировании и отладке операций обработки отверстий ИОР.

7. Разработана система компьютерного проектирования и отладки операций обработки отверстий ИОР, реализованная в виде алгоритма, включающего:

– расчет погрешностей размера и формы обработанного в поперечном сечении отверстия;

– выбор рекомендаций по назначению основных конструкторско-технологических параметров операций.

8. Использование компьютерной программы в качестве расчетно-диагностической системы позволяет на 70...80% сократить затраты времени на этапе отладки.

9. Методика проектирования и отладки операций внедрена на ряде машиностроительных предприятий: ОАО «Агрегат», г. Сим, Челябинская область; ФГУП «Усть-Катавский вагоностроительный завод», г. Усть-Катав, Челябинская область; ФГУП «ПО Златоустовский машиностроительный завод», г. Златоуст, Челябинская область, и в учебный процесс при подготовке инженеров по специальностям 151001 и 220301.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

1. Миронова, И.Н. Компьютерное моделирование точности обработки/ И.Н.Миронова, С.Г.Лакирев, И.П.Дерябин// XV Российская школа-конференция по проблемам проектирования неоднородных конструкций: Тез. докл. – Миасс: МНУЦ, 1999.

2. Миронова, И.Н. Моделирование обработки отверстий ружейными сверлами и развертками/ И.Н.Миронова, С.Г.Лакирев, И.П.Дерябин// Снежинск и наука: Тезисы Межотраслевой научно-практич. конференции. – Снежинск: СФТИ, 2000.

3. Миронова, И.Н. Компьютерное моделирование обработки глубоких отверстий/ И.Н.Миронова, И.П.Дерябин// Автоматизация и информация в машиностроении (АИМ 2000): Тез. докл. – Тула: ТулГУ, 2000.

4. Миронова, И.Н. Компьютерное моделирование точности обработки отверстий инструментами одностороннего резания/ И.Н.Миронова, И.П.Дерябин// Управляющие и вычислительные системы. Новые технологии: Тез. докл. – Вологда: ВоГТУ, 2000.

5. Миронова, И.Н. Моделирование точности обработки отверстий инструментами одностороннего резания (ИОР)/ И.Н.Миронова, В.И.Гузев,

И.П.Дерябин// Современные технологические системы в машиностроении: Сборник научных трудов. – Барнаул: АлГТУ, 2003.

6. Миронова, И.Н. Моделирование точности обработки отверстий однолезвийным инструментом/ И.Н.Миронова, И.П.Дерябин// Совершенствование наукоемких технологий и конструкций: Сборник научных трудов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001.

7. Миронова, И.Н. Моделирование точности обработки отверстий ружейными сверлами/ И.Н.Миронова, В.И.Гузеев, И.П.Дерябин// Вестник ЮУрГУ. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – № 5(34).

8. Миронова, И.Н. Исследование точности обработки отверстий ружейными сверлами/ И.Н.Миронова, В.И.Гузеев, И.П.Дерябин// Сборник трудов ЮУрГУ. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005.

9. Миронова, И.Н. Разработка САПР операций обработки отверстий ружейными сверлами/ И.Н.Миронова, В.И.Гузеев, И.П.Дерябин// Технология машиностроения. — М.: Машиностроение, 2006. – № 1.