

М 464647

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
С С С Р

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и
ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое
училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

БОЛЬШАГИН Николай Павлович

УДК 621.952.8

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ
ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ОДНОСТОРОННЕЙ ОБРАБОТКИ
СООСНЫХ ОТВЕРСТИЙ В КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЯХ
НА АГРЕГАТНО-РАСТОЧНЫХ СТАНКАХ

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

Москва - 1987

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище им. Н. Э. Баумана.

Научный руководитель	- кандидат технических наук, доцент КОСИЛОВА А. Г.
Официальные оппоненты	- доктор технических наук, профессор НИЦЕТА В. В. - кандидат технических наук, доцент СТАРОДУБОВ В. С.
Ведущее предприятие	- Московское производственное объединение "Станкоагрегат"

Защита диссертации состоится "14" декабря 1987 года на заседании специализированного Совета К. 053.15.15 в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н. Э. Баумана по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

С диссертацией можно
Н. Э. Баумана.

Ваш отзыв на автореферат
печатью, просим направлять

Автореферат разослан

Ученый секретарь
кандидат технических наук

Зак. 1133 Л - 45146 от 2.

Типограф

M 464647

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В соответствии с принятым ЦК КПСС курсом на интенсификацию общественного производства первоочередной задачей считается обеспечение опережающего развития машиностроительного комплекса, в первую очередь, станкостроения. Важное значение придается качественному изменению структуры выпускаемых станков, выражающемуся в увеличении доли автоматического оборудования, автоматических линий, высокоточных станков. Базой создания такого оборудования могут служить исследования в области точности механической обработки.

Применение агрегатных станков и автоматических линий наиболее эффективно при обработке средних корпусных деталей машин с большим числом обрабатываемых поверхностей и сложным комплексом технологических задач. В общем объеме механической обработки корпусных деталей значительное место занимает обработка основных отверстий. Основным методом чистовой обработки отверстий в настоящее время является тонкое растачивание, выгодно отличающееся от других методов финишной обработки более высокой производительностью и точностью. Наиболее распространенной схемой обработки двух и более соосных отверстий является параллельная их обработка с одной стороны детали, называемая в производстве обработкой "в линию". Идея схемы - поставить центры обрабатываемых отверстий на "линию" одной расточной борштанги реализуется однако с большими трудностями. Свойственная многоинструментной обработке значительная силовая нагрузка действует на один относительно нежесткий элемент технологической системы (ТС) - расточную борштангу и искривляет ее "линию". Изменяют эту "линию" в процессе обработки и другие погрешности ТС.

В настоящее время практически отсутствуют исследования по точности многоинструментной обработки отверстий растачиванием. Без установленных взаимных связей конструктивно-технологических параметров расточной наладки и параметров точности обработки отверстий скрытыми остаются пути эффективного управления качеством деталей, а проектирование агрегатно-расточных станков связано с риском выпуска бракованной продукции. Поэтому вопросы обеспечения точности параллельной односторонней обработки соосных отверстий на агрегатно-расточных станках являются важной и актуальной проблемой машиностроения.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1464647

Большагин Н.П. Технологичес

Цель работы. Исследование закономерностей формирования погрешности параллельной односторонней обработки соосных отверстий растачиванием и разработка научно-обоснованных методик оценки ожидаемой точности обработки и назначения необходимых для ее обеспечения параметров расточной наладки.

Методы исследования. Теоретические исследования проводились на базе научных основ технологии машиностроения и общетехнических наук. При разработке математических моделей суммарной и составляющих погрешностей обработки использовались аппарат математического анализа, теории вероятностей, теории матриц, аналитической теории разрывных функций, теории размерностей и подобия, теории резания металлов и сопротивления материалов. Экспериментальные исследования выполнялись на специальной установке, моделирующей приспособление агрегатно-расточного станка. Производственные исследования включали получение фактических данных по точности обработки соосных отверстий с последующим их анализом методами математической статистики. Исследование разработанной модели суммарной погрешности обработки соосных отверстий и статистическая обработка экспериментальных данных проводились с применением ЭВМ.

Научная новизна. На основе теоретических и экспериментальных исследований установлены закономерности образования погрешности параллельной односторонней обработки соосных отверстий растачиванием. Разработанные модели составляющих и суммарной погрешностей обработки учитывают статистическую природу параметров ТС и позволяют определить характеристики погрешности формы и расположения соосных отверстий для общего случая их многоинструментной обработки. Для оценки погрешности обработки от упругих деформаций ТС и анализа взаимного влияния одновременно работающих инструментов введено более общее представление податливости ТС в виде матрицы коэффициентов влияния силовой нагрузки. Методика определения упругих деформаций ТС учитывает наиболее общие жесткостные характеристики опор расточной борштанги, в частности, кусочно-линейный характер их угловой жесткости, обусловленный зазорами между расточной борштангой и направляющими втулками приспособления. Разработана новая схема установки корпусных деталей, признанная изобретением на уровне одного из конструктивных решений.

Практическая ценность. Настоящая работа является частью исследований по точности обработки корпусных деталей на автоматических линиях из агрегатных станков, проводимых на кафедре "Технология механосборочного производства" МВТУ им.Н.Э.Баумана для МС и ИП СССР и посвящена ранее не рассматриваемому вопросу многоинструментной обработки соосных отверстий растачиванием. В результате проведенных исследований разработана инженерная методика выбора основных конструктивных параметров наладки - количества опор расточной борштанги и величины зазора в узле ее направления. Взаимосвязь конструктивных и технологических параметров расточной наладки позволит использовать данную методику и при обосновании технологических решений задачи обеспечения заданных требований точности обработки соосных отверстий. Результаты исследований всех влияющих погрешностей обработки представлены в виде, удобном для инженерных проектных разработок - набором графиков, содержащих полную численную информацию о погрешностях, а также в виде отлаженных программ расчета их на ЭВМ. Результаты исследований носят общий характер и представляют практический интерес при использовании как агрегатных, так и универсальных горизонтально-расточных станков.

Реализация результатов работы. Результаты работы в виде отдельных инженерных методик проектирования операций обработки соосных отверстий на агрегатно-расточных станках вошли составной частью в проектно-технологические руководящие материалы ИИ4И4И РМ МосСКБ АЛ и АС. Результаты исследований использованы при проектировании автоматической линии чистовой обработки корпуса буксы. Линия внедрена на ПО "Ждановтяжмаш". Долевое участие в экономическом эффекте от внедрения линии составляет 12700 рублей в год.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались на научных семинарах кафедры "Технология механосборочного производства" МВТУ им.Н.Э.Баумана в 1984-86 гг., на Республиканской научно-технической конференции "Качество поверхности деталей машин и его влияние на эксплуатационные свойства" в Душанбе, 1981 г. и на Республиканской научно-технической конференции "Технологические пути повышения качества в машиностроении и приборостроении" в Ереване, 1982 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 печатных работ.

Объем работы. Диссертация изложена на 137 страницах машинописного текста и состоит из введения, пяти глав с выводами и общих выводов по работе. Содержит 54 рисунка, 14 таблиц, список литературы из 81 наименования, 6 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, приведена характеристика ее направления и научной новизны.

В первой главе освещается состояние вопроса обеспечения точности параллельной односторонней обработки соосных отверстий в корпусных деталях по литературным источникам и производственным наблюдениям, определяются основные задачи исследования.

Обработка трех и более соосных отверстий в корпусных деталях производится, как правило, "в линию" – многоинструментной расточной борштангой, направляемой несколькими вращающимися втулками и соединенной со шпинделем станка посредством плавающего патрона. Эта схема обработки исключает влияние на точность обработки погрешностей силового узла агрегатно-расточного станка. Однако обеспечение заданной точности высокопроизводительной параллельной обработки отверстий и здесь является сложной технологической задачей. Исследования по выявлению фактической точности обработки соосных отверстий "в линию", проведенные на заводах Минавтопрома СССР показали, что наибольшие трудности в производстве возникают с обеспечением их правильной геометрической формы и точности взаимного расположения – соосности. Возможный процент брака по этим параметрам в партии деталей составляет $q \approx 20\%$.

Параллельной многоинструментной обработке соосных отверстий по технологической схеме "в линию" посвящено ограниченное количество работ. В этих работах исследуются отдельные технологические факторы, свойственные обработке отверстий на универсальных горизонтально-расточных станках. Вопросы обеспечения точности диаметральных размеров отверстий и их расположения решаются в отрыве от связанной с ними и трудно решаемой в производстве проблемы обеспечения правильной геометрической формы отверстий. Проектные решения высокопроизводительной обработки отверстий на агрегатно-расточных станках, учитывая массовый выпуск продукции, требуют комплексного подхода и более тщательного обоснования. Возрастает роль и выполняемых при этом точност-

ных расчетов.

С целью создания научно-обоснованной методики проектного определения погрешности обработки соосных отверстий многоинструментной расточной борштангой были поставлены и решены следующие основные задачи:

1. Провести теоретический анализ механизма образования погрешности расположения и формы соосных отверстий при обработке по технологической схеме "в линию";

2. Разработать математические модели влияющих составляющих суммарной погрешности обработки соосных отверстий;

3. Экспериментально проверить предложенные математические модели;

4. Установить основные пути повышения точностных характеристик рассматриваемой схемы обработки соосных отверстий;

5. Разработать инженерную методику выбора основных конструктивно-технологических параметров расточных наладок обработки соосных отверстий.

Вторая глава диссертации посвящена определению параметров точности соосных отверстий и характеристик их распределения.

Точность основных отверстий корпусных деталей в большинстве случаев может характеризоваться точностью одного среднего поперечного сечения отверстия. Различные параметры погрешности обработки отверстий определяются коэффициентами разложения функции профиля отверстия в ряд Фурье. Первые члены этого ряда характеризуют погрешность диаметрального размера, погрешность расположения и погрешность формы отверстия. Параметры точности расположения системы соосных отверстий относительно других поверхностей детали легко устанавливаются через известные погрешности расположения крайних обработанных отверстий. Отклонение от соосности расточенных отверстий – параметр точности их взаимного расположения определяется по формуле

$$\Delta c_i = \sqrt{[X_i - X_{(i-n)i}]^2 + [Y_i - Y_{(i-n)i}]^2}, \quad (I)$$

где $X_i, Y_i, X_{(i-n)i}, Y_{(i-n)i}$ – компоненты смещения с номинального положения центра i -го отверстия и общей оси отверстий. Погрешности $X_{(i-n)i}$ и $Y_{(i-n)i}$ представляют собой линейную функцию аналогичных погрешностей крайних отверстий

$$Z_{(i-n)i} = [X_{(i-n)i}, Y_{(i-n)i}] = Z_i \left(1 - \frac{\ell_i}{\ell}\right) + Z_n \frac{\ell_i}{\ell}, \quad (2)$$

где ℓ_i - расстояние между первым и i -м расточенными отверстиями; ℓ - расстояние между крайними отверстиями.

Оценка параметров погрешности параллельной обработки соосных отверстий производится расчетно-статистическим методом, развитым учеными кафедры "Технология механосборочного производства" МВТУ им. Н.Э. Баумана д.т.н., проф. Кованом В.М. и д.т.н., проф. Корсаковым В.С. Суммарная погрешность обработки Δ_z по любому из своих параметров представляется линейной функцией ряда первичных погрешностей Δ_i . В работе показано, что точность формы и расположения соосных отверстий при их чистовом растачивании "в линию" концентрируется в жесткостных характеристиках ТС и в точностных параметрах схемы установки заготовок, т.е.

$$\Delta_z = f(\Delta_y, \Delta_\varepsilon).$$

Причины возникновения погрешностей проявляются случайно и расчет их базируется на основных положениях теории вероятностей. Можно считать, что распределение компонент погрешности расположения центров расточенных отверстий, обусловленных действием большого количества производственных факторов, подчиняется закону Гаусса. Погрешность расположения расточенных отверстий Δ_{cm} и погрешность их взаимного расположения Δ_c (отклонение от соосности) определяются единой формулой

$$\Delta = \sqrt{X^2 + Y^2}, \quad (3)$$

где X и Y или сами компоненты погрешности, или их линейные функции (см. ф-лу 2).

При определении погрешностей расположения расточенных отверстий можно принять следующие характеристики распределения компонент X и Y : характеристики группирования - $\alpha_x \neq 0$; $\alpha_y = 0$; характеристики рассеивания - $\sigma_x = \sigma_y = \sigma$. Ненулевое среднее значение одной из компонент обусловлено систематической погрешностью обработки из-за изгиба расточной бортанги под действием собственного веса. Функция плотности вероятности погрешности Δ в этом случае определяется формулой

$$\varphi(\Delta) = \frac{\Delta}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{\Delta^2 + \alpha_x^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{\Delta \alpha_x}{\sigma^2}\right), \quad (4)$$

где $I_0(z)$ - функция Бесселя нулевого порядка от мнимого аргумента.

По полученной формуле (4) можно оценить и погрешность фор-

мы расточенных отверстий, если в их профиле есть доминирующая гармоническая составляющая, амплитудное значение которой определяется той же формулой (3).

В третьей главе определяется погрешность обработки Δy , обусловленная упругими деформациями ТС.

При оценке упругих деформаций ТС используют как статические, так и динамические их модели. Для выбранного объекта исследования предварительно получена оценка коэффициента динамичности μ . С целью получения более простого решения введен ряд допущений, приводящих к получению завышенного значения оцениваемого коэффициента μ . Силовая нагрузка от параллельно работающих инструментов прикладывается к расточной борштанге синфазно. Пренебрегается демпфированием в системе и угловой жесткостью опор расточной борштанги. При расчете колебаний системы с несколькими участками использовался метод А.Н. Крылова, позволяющий автоматически выполнять условия сопряжения участков. Оценка коэффициента динамичности μ , выполненная на ЭВМ для реальных расточных наладок ($L = 400-1200$ мм; $d = 40-80$ мм; $n = 400-1200$ мин⁻¹, где L - длина расточной борштанги диаметром d , а n - частота ее вращения) показала, что его значения не превышают величины $\mu = 1,09$. Поэтому при определении упругих деформаций агрегатно-расточных станков используется более простая, но достаточно точная статическая модель их ТС.

ТС расточных станков представляется обычно упругой балкой на нескольких опорах, нагруженной в сечениях обрабатываемых отверстий силами резания. В силу относительно простых и хорошо изученных решений наиболее широко распространена схематизация опор расточной борштанги шарнирами или заделкой. Модель упругих деформаций ТС агрегатно-расточных станков учитывает наиболее общие жесткостные характеристики опор расточной борштанги - их конечные значения в отношении линейных и угловых перемещений. С целью большего приближения к реальной упругой системе станка в модель введена также кусочно-линейная характеристика угловой жесткости опор, обусловленная наличием зазора между расточной борштангой и направляющими втулками.

Упругие деформации ТС описываются матричным уравнением

$$[y] = [c]^{-1} [F], \quad (5)$$

где $[F]$ – вектор-столбец внешней силовой нагрузки на ТС; $[C]$ – матрица жесткости ТС.

Вектор $[F]$ определяется радиальными составляющими P_{jy} сил резания. Матрица жесткости ТС $[C]$ устанавливается методами строительной механики через жесткостные характеристики ее отдельных элементов – борштанги и опор. Характеристика жесткости расточной борштанги, имеющей простые геометрические формы, легко определяется расчетным путем. Для оценки жесткости опор используются данные теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в ЭНИМСе и в Одесском политехническом институте. При одинаковой линейной жесткости опор и трудоемкости их сборки угловая жесткость опор существенно зависит от схемы установки в ней подшипников. Наибольшей угловой жесткостью обладают опоры, подшипники в которых установлены по схеме "дуплекс-0". Отметим, что в настоящее время, согласно нормали МосСКБ АЛ и АС, для всех многоопорных расточных приспособлений принята схема установки подшипников "дуплекс-Х". Матричная форма представления жесткости (податливости) ТС значительно облегчает анализ влияния на нее различных конструктивно-технологических параметров расточной наладки. Количество одновременно работающих инструментов, характер силовой нагрузки на них, конструкция и количество опор, направляющих расточную борштангу, конфигурация последней и др. не изменяют структуры матрицы жесткости $[C]$, а определяют лишь ее порядок. При большом порядке матрицы $[C]$ нахождение обратной к ней матрицы $[C]^{-1}$ возможно лишь с помощью ЭВМ. С целью изучения влияния отдельных конструктивно-технологических параметров ТС на ее податливость была составлена универсальная программа расчета упругих деформаций ТС на ЭВМ.

Для условной двухопорной расточной наладки обработки соосных отверстий под коленчатый вал в блоке цилиндров на Заволжском моторном заводе при изменении схемы установки подшипников в опорах с "дуплекс-Х" на "дуплекс-0" максимальная деформация ТС уменьшается в $K_y = 1,86$ раз. Для реальной трехопорной расточной наладки обе схемы монтажа подшипников в опорах эквивалентны с точки зрения жесткостных характеристик ТС. Поэтому "0"-образную схему монтажа подшипников целесообразно применять только для двухопорных расточных наладок. Положительный эффект ($K_y > 1$)

"0"-образной схемы установки подшипников в опорах обеспечивается при условии

$$\varphi_0 < P_{iy} \cdot \omega_{\varphi \max}, \quad (6)$$

где $\varphi_0 = S / l_c$ - относительный зазор в узле направления инструмента (S - диаметральный зазор между бортангой и направляющей втулкой длиной l_c); $\omega_{\varphi \max}$ - максимальное значение угловой податливости бортанги в сечениях опор.

Оценка $[y]$, полученная при средних значениях аргументов зависимости (5) является характеристикой группирования рассматриваемой погрешности. Характеристику рассеивания погрешности

Δy при проектных разработках целесообразно определять через колебания радиальных составляющих сил резания $P_{iy} = c t^x$, считая жесткостные характеристики ТС постоянными:

$$\begin{cases} D[y_i] = D[P_{iy}] \cdot \sum \omega_{ij}^2; \\ D[P_{iy}] = (\bar{t}^x)^2 D[c] + (\bar{c} \cdot \bar{t}^{x-1})^2 D[t], \end{cases} \quad (7)$$

где ω_{ij} - элементы матрицы $[C]^{-1}$ податливости ТС, соответствующие рассматриваемому сечению (по l) и действующей сложной нагрузке (по j).

Зависимость (5) определяет упругие деформации ТС при действии на нее сосредоточенных сил резания P_{iy} . При двухопорном направлении расточной бортанги существенными могут оказаться и ее деформации под действием распределенной весовой нагрузки q . Уравнение упругой линии деформированного инструмента находится методами сопротивления материалов и при направлении расточной бортанги опорами с угловой жесткостью U_0 оно имеет вид

$$y_q(z) = \frac{1}{EJ} \left\{ -\frac{qL^3 z}{24} \left(\frac{2EJ + U_0 z}{2EJ + U_0 L} \right) + \frac{qLz^3}{12} - \frac{qz^4}{24} \right\}, \quad (8)$$

где L - длина расточной бортанги с изгибной жесткостью EJ . Погрешность y_q определена по направлению и по величине, т.е. является систематической погрешностью одной из выдерживаемых координат расточенных соосных отверстий.

Четвертая глава посвящена точностному анализу схемы установки корпусных деталей на плоскость и два перпендикулярных к ней отверстия. Эта схема наиболее широко используется в автоматизированном производстве корпусных деталей.

Погрешность базирования любой точки заготовки устанавливается по известной области E ее возможных смещений с номи-

нального положения. Кривая, ограничивающая эту область, определяется из условия безотрывного контактирования базовых отверстий заготовки с установочными пальцами приспособления. Пренебрегая величинами более высокого порядка малости по сравнению с искомой погрешностью, для ее компонент можно получить следующие формулы

$$\varepsilon_x = y \sin \xi + \frac{S}{2} \sin \psi; \quad \varepsilon_y = -x \sin \xi + \frac{S}{2} \cos \psi, \quad (9)$$

где x, y — координаты рассматриваемой точки заготовки;
 S — величина диаметрального зазора в сопряжении базовых отверстий заготовки с установочными пальцами приспособления; ξ — угол относительного разворота систем координат заготовки и приспособления; ψ — текущий угол, характеризующий положение заготовки.

Формулы (9) отражают уровневый характер рассматриваемой погрешности — для всех точек заготовки, имеющих общую координату (лежащих на одном уровне) погрешность базирования в направлении другой оси координат приспособления одинакова.

Зависимость аргумента ξ от параметров схемы и от угла ψ в разных интервалах изменения последнего выражается различными формулами. Поэтому при исследовании зависимостей (9) использовался аппарат теории разрывных функций. Установлено, что область E возможных смещений для всех точек заготовки кососимметрична относительно их номинальных положений. Следовательно $M[\varepsilon_x] = M[\varepsilon_y] = 0$. Характеристика рассеивания исследуемой погрешности определяется по формулам:

$$\begin{cases} \omega(e_x) = \sqrt{1 + 4\gamma^2} & \text{при } \frac{1}{2\gamma} < \frac{1}{\sqrt{\lambda^2 - 1}}; \\ \omega(e_x) = \frac{\gamma\lambda}{\sqrt{\lambda^2 - 1}} + \sqrt{\gamma^2 + \left(1 - \frac{\gamma}{\sqrt{\lambda^2 - 1}}\right)^2} & \text{при } \frac{1}{2\gamma} \geq \frac{1}{\sqrt{\lambda^2 - 1}}. \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} \omega(e_y) = |1 - 2x| & \text{при } -\infty < x < 0 \text{ и } 1 < x < \infty; \\ \omega(e_y) = 1 & \text{при } 0 \leq x \leq 1. \end{cases} \quad (11)$$

Здесь $e = \varepsilon/S$; $\gamma = y/M$; $x = x/M$; $\lambda = b/d$,
 где M — межцентровое расстояние схемы; b — ширина ленточки срезанного установочного пальца диаметром d .

Безразмерный вид зависимостей (10) и (11) для определения компонент погрешности базирования заготовки концентрирует всю

численную информацию о рассматриваемой схеме установки заготовок и делает несложным быстрое нахождение исследуемой погрешности для любой точки заготовки $T(x, y)$ при разнообразных исходных параметрах схемы установки M , S , d и b .

Сравнение полученного решения с традиционным, рассматривающим поворот заготовки и ее смещения вдоль координатных осей приспособления раздельно, показало, что погрешность традиционного решения составляет до 30% в сторону уменьшения.

Уменьшить погрешность базирования заготовок можно рациональным расположением базовых отверстий на опорной плоскости заготовки. Смещение базовых отверстий на ось симметрии заготовки для угловых точек ее квадратной в плане опорной поверхности обеспечивает уменьшение погрешности $\omega(e_x)$ в 1,51 раза, а диагональное их расположение на опорной поверхности - в 1,86 раза.

Наиболее эффективным способом уменьшения погрешности базирования заготовок признан переход к схемам установки заготовок с гарантированным прижимом их базовых поверхностей к установочным поверхностям приспособления. Для рассмотренной, наиболее распространенной схемы установки корпусных деталей этот путь реализуется принудительной досылкой заготовки до установочных пальцев приспособления при односторонней выборке зазоров в обоих сопряжениях. К известным конструктивным решениям этого пути уменьшения погрешности базирования разработана и защищена авторским свидетельством новая схема установки корпусных деталей. В качестве базовых поверхностей детали приняты отверстие конической формы и внутренняя призматическая направляющая. Установочными элементами приспособления, выполняющими также роль досылателей детали до опорных поверхностей приспособления, служат два фиксатора сферической формы. Авторское свидетельство использовано в конструкции приспособления - спутника автоматической линии чистовой обработки корпуса бокса, внедренной на ПО "Ждановтяжмаш" в 1984 году.

В пятой главе определяется последняя влияющая погрешность - погрешность многоопорных расточных приспособлений. Представляется она в виде двух составляющих - погрешности узла направления инструмента $\Delta_{\text{ун}}$ и погрешности Δ_s , обусловленной смещениями расточной бортанги на зазорах в направляющих втулках приспособления.

Под погрешностью узла направления инструмента $\Delta_{ун}$ понимается погрешность положения оси вращения направляющих втулок, проходящей через центры вращения их средних сечений

$$\Delta_{унi} = \Delta_{смi}^I + \Delta_{смi}^{II}, \quad (12)$$

где $\Delta_{смi}^I$ - позиционное отклонение линии, соединяющей центры крайних направляющих втулок; $\Delta_{смi}^{II}$ - смещение с этой линии оси вращения направляющих втулок. Второе слагаемое $\Delta_{смi}^{II}$ характеризует неточности установки промежуточных опор приспособления; определяется оно по общей методике расчета упругих деформаций ТС. Составляющая $\Delta_{смi}^I$ находится по формуле (2) через позиционные отклонения $\Delta_{см1}$ и $\Delta_{смn}$ (Z_i) крайних направляющих втулок при расстоянии l между ними.

Позиционные отклонения $\Delta_{см1}$ и $\Delta_{смn}$ есть результат неточностей изготовления и сборки отдельных элементов приспособления. Определяются они расчетом соответствующих размерных цепей теоретико-вероятностным методом. Анализ погрешности $\Delta_{ун}$ многоопорных расточных приспособлений показал, что она не превышает максимальной погрешности одной из опор $\Delta_{смi}$, на величину которой наиболее сильно влияют погрешности линейных размеров деталей узла направления инструмента.

За величину погрешности Δ_s предлагается принимать возможные смещения расточной бортанги на зазорах в крайних направляющих втулках, т.к. постановка промежуточных опор может лишь ограничить свободу этих смещений. Профиль поперечного сечения отверстия формируется при постоянном изменении положения центра расточного инструмента под действием изменяющейся по углу его поворота φ силовой нагрузки. Для погрешности текущего радиуса R_φ обработанного отверстия получена зависимость

$$\Delta R_\varphi = \delta \left\{ \frac{\cos \varphi + m}{\sqrt{1 + m^2 + n^2 + 2(m \cos \varphi + n \sin \varphi)}} - \cos \varphi \right\}, \quad (13)$$

где δ - радиальный зазор в узле направления расточной бортанги; $m = P_y/Q$ и $n = P_z/Q$ - безразмерная силовая нагрузка на нее; Q - вес расточной бортанги.

При разложении зависимости (13) в ряд Фурье определяются различные параметры погрешности обработки отверстий. Интегралы, определяющие коэффициенты ряда Фурье, являются "неберущимися", но сводятся к специальным функциям - к комбинации эллиптичес-

ких интегралов I и 2 рода, для которых имеются специальные числовые таблицы

$$a_i(b_i) = T_{i1} F\left(\frac{\pi}{2}, z\right) + T_{i2} E\left(\frac{\pi}{2}, z\right) + T_{i0}, \quad (14)$$

где $a_i(b_i)$ - компоненты i -ой гармонической составляющей погрешности профиля отверстий; $F\left(\frac{\pi}{2}, z\right)$ и $E\left(\frac{\pi}{2}, z\right)$ - полные эллиптические интегралы I и 2 рода; T_{i0}, T_{i1} и T_{i2} - коэффициенты. Трудоемкость определения коэффициентов T_{ij} резко возрастает с увеличением номера i . Поэтому для оценки отклонений профиля от правильной геометрической формы ($i \geq 2$) была составлена программа расчета компонент погрешности a_i и b_i на ЭВМ. В работе приведен анализ всех параметров погрешности обработки отверстий для наиболее распространенного соотношения составляющих сил резания $P_y = 0,5 P_z$. Характерной является зависимость погрешности формы отверстий от силовой нагрузки на расточную борштангу. График этой зависимости имеет вид асимметричной куполообразной кривой с максимумом в зоне нагрузок, близких к весу расточной борштанги. При любой силовой нагрузке на инструмент доминирующей в погрешности формы отверстий является вторая гармоническая составляющая - овальность, причем наблюдается строгая направленность образующегося овала. Его большая ось отклоняется от вертикали в сторону, противоположную вращению инструмента на угол ψ_0 ($0 < \psi_0 < 45^\circ$), величина которого уменьшается с увеличением силовой нагрузки на инструмент.

Экспериментальная проверка выводов теоретического анализа погрешности обработки Δ_s проводилась на специальной установке, представляющей собой расточное приспособление с двухопорным направлением инструмента, смонтированное на столе универсального горизонтально-расточного станка мод. 2620В. Исследуемая погрешность Δ_s проявлялась за счет минимизации других влияющих погрешностей Δ_y , Δ_ϵ и $\Delta_{y\epsilon}$ при несколько увеличенном зазоре $S = 0,018$ мм в сопряжении расточной борштанги с направляющими втулками. В работе показано, что единственным достоверным параметром, по которому можно проверить разработанную модель погрешности Δ_s , является погрешность формы расточенных отверстий. Отклонения от круглости обработанных отверстий записывались в виде круглограмм на кругломере мод. 218 завода "Калибр". Адекватность модели реальному процессу формообразования

профиля отъерстия проверялась на основе анализа лишь доминирующей (второй) гармонической составляющей профиля, выделение которой осуществлялось на ЭВМ по результатам обработки круглограмм. Статистическая проверка гипотезы об адекватности модели по F -критерию Фишера дала положительный результат.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. На основании теоретических и экспериментальных исследований операций параллельной обработки соосных отверстий многолезцово-расточной борштангой разработаны адекватные модели образования отклонений формы отверстий и их расположения, позволяющие управлять процессом обработки с целью обеспечения заданных требований точности. Внедрение результатов работы позволяет табильно обеспечивать круглость и соосность отверстий в пределах 6 степени точности.

2. Основными причинами образования погрешностей расположения и формы соосных отверстий при их параллельной односторонней обработке растачиванием являются упругие деформации технологической системы (ТС), а также неточности установки заготовок и направления инструмента в расточном приспособлении.

3. Упругие свойства ТС при многоинструментной обработке предлагается характеризовать матрицей ее податливости, формируемой из коэффициентов влияния действующей на ТС силовой нагрузки. Разработанная математическая модель упругих деформаций ТС отличается структурным постоянством при изменении ее любого параметра, что позволяет сравнительно легко определять деформации в любом сечении ТС при любом количестве параллельно работающих резцов, при любом количестве опор расточной борштанги, ее конфигурации, а также при любых жесткостных характеристиках опор, в частности, при свойственных для рассмотренных ТС кусочно-линейных характеристиках, обусловленных зазорами в сопряжении расточной борштанги с направляющими втулками опор.

4. При многоинструментной обработке характеристика рассеивания погрешности обработки возрастает пропорционально количеству одновременно работающих инструментов. Коэффициент пропорциональности, представляющий собой сумму квадратов коэффициентов влияния, редко может быть уменьшен без снижения производительности обработки. Поэтому наиболее эффективным способом обеспечения высокой точности многоинструментной обработки явля-

ется стабилизация силовой нагрузки на ТС за счет повышения качества заготовок по параметрам ее определяющим – припуски на обработку, твердость материала и др.

5. С целью расширения технологических возможностей двухопорных расточных наладок за счет уменьшения их податливости предлагается монтировать подшипники в опорах узла направления расточной борштанги по схеме "дуплекс-0" вместо принятой схемы "дуплекс-X". Упругие деформации системы могут быть уменьшены при этом в 1,5–2,5 раза.

6. Для обоснованного выбора параметров схемы установки заготовок разработаны математические модели характеризующих ее погрешностей – погрешности базирования и погрешности многоопорных расточных приспособлений. Модели, представленные в безразмерной форме, концентрируют всю численную информацию о погрешностях и позволяют быстро получить их оценку при разнообразных исходных параметрах схемы установки заготовок.

7. Погрешность базирования корпусных деталей по плоскости и двум перпендикулярным к ней отверстиям носит уровневый характер, т.е. она одинакова для всех точек заготовки, имеющих одну общую координату (один уровень). Предпочтительными с точки зрения точности установки корпусных деталей являются схемы с гарантированным контактом базовых поверхностей детали и установочных элементов приспособления. На одну из конструкций, реализующих новую контактную схему установки корпусных деталей, получено авторское свидетельство.

8. Обработка отверстий с направлением инструмента вращающимися кондукторными втулками многоопорного расточного приспособления характеризуется ярковыраженной строго ориентированной овальностью профиля расточенных отверстий. Вскрытый механизм формирования погрешности профиля отверстий позволяет варьировать параметрами расточной наладки и в ряде случаев обеспечивать заданную точность при увеличенных зазорах $S = (0,010-0,015)$ мм в узле направления инструмента. При этом из процесса его изготовления можно исключить трудоемкую операцию притирки направляющих втулок опор расточной борштанги.

9. Результаты исследований переданы в МосСКБ АИ и АС для реализации в проектно-технологических и конструкторских разработках. Экономический эффект от внедрения результатов работы на

ПО "Иденотлжмаш" составил 12700 рублей в год.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Косилова А.Г., Деев О.М., Большагин Н.П. Взаимосвязь точности обработки систем отверстий с параметрами точности позиций автоматических линий // Научные основы автоматизации производственных процессов в машиностроении и приборостроении: Тезисы докладов всесоюзной научно-технической конференции. - М., 1975. - С. 73-75.

2. Косилова А.Г., Деев О.М., Большагин Н.П. Точность обработки отверстий вращающимся резцом // Известия вузов. Машиностроение. - 1975. № 6 - С. 142-145.

3. Большагин Н.П. Точность обработки отверстий, имеющих плоскость разреза // Качество поверхности деталей машин и его влияние на эксплуатационные свойства: Тез. докл. республиканской научно-технической конференции. - Душанбе, 1981. - С. 157-158.

4. Большагин Н.П. Обеспечение соосности основных отверстий в корпусных деталях // Технологические пути повышения качества в машиностроении и приборостроении: Тез. докл. республиканской научно-технической конференции. - Ереван, 1982. - С. 20-21.

5. Большагин Н.П. Влияние зазора в узле направления на точность растачиваемых отверстий. - Сборник научных трудов / НИИПТМАШ. - Краматорск, 1983. - С. 41-43.

6. А.С. 897470 (СССР) М.Кл³ В23Q7/14. Устройство для фиксации и зажима спутника на рабочих позициях автоматической линии / А.И.Пушкаръ, В.И.Подмогильный, Н.П.Большагин. № 2933208/25-08; Заявлено 28.05.80; Опубл. 15.01.82. Бюл. № 2.

