

M442889

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

ГУСЕВ Андрей Андреевич

УДК 621.952.8

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ
ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ РАСТАЧИВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ
НА АГРЕГАТНЫХ 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, 1986г.

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 КОСИЦОВА А.Г.
- Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор СИЗЕНОВ Л.К.
- кандидат технических наук,
профессор ГОРБУНОВ Б.И.
- Ведущее предприятие - Московское специальное конструкторское бюро автоматических линий и агрегатных станков

Защита диссертации состоится 28 марта 1986 года на заседании специализированного Совета К.053.15.15 в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного знамени высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана по адресу: 107005, Москва, 2 - я Бауманская ул., д.5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ имени Н.Э.Баумана.

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью, по-

уда.

Учен

В

№ 1 - 62

Тир. 100

мана.

M 442889

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В соответствии с курсом КПСС на интенсификацию общественного производства, основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1981-1985 годы и на период до 1990 года наблюдается значительное увеличение парка агрегатных станков и автоматических линий, играющих ключевую роль в решении задач, поставленных перед машиностроением.

Эксплуатационные качества деталей машин во многом определяются точностью обработки основных отверстий. Основные отверстия в машиностроении обрабатываются по различным технологическим схемам, как с направлением, так и без направления инструмента в кондукторных втулках, что делает станок дешевым, удобным в сборке, выверке и техническом обслуживании, облегчает его переналадку. Расширение области использования таких станков сдерживается тем, что при параллельной обработке нескольких отверстий их точность недостаточно высока. Стремление обеспечить заданную точность заставляет применять параллельно-последовательные, или даже последовательные схемы обработки, что снижает основное преимущество агрегатного станка - его высокую производительность. Снижение точности обработки обусловлено, с одной стороны, взаимовлиянием параллельно работающих режущих инструментов, а с другой стороны - ограниченностью выбора технологических схем растачивания, где наиболее употребительна схема обработки так называемым "жестким шпинделем".

В таких условиях, планомерное ужесточение требований к геометрической точности оборудования по ТУ2-С24-5426-80 МС и ИИ СССР уже не может рассматриваться, как единственный путь повышения точности обработки отверстий на агрегатных станках, из-за роста затрат при приближении к физическому пределу.

Применяемая оснастка и технологические рекомендации по ее применению рассчитаны в основном на универсальное оборудование и не учитывают специфику многошпиндельного, многоинструментного растачивания. Поэтому, исследования, направленные на разработку новых и совершенствование существующих технологических схем обработки отверстий на агрегатных станках, являются актуальными.

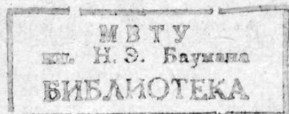
Цель работы. Исследование и разработка способов повышения

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1442889

Гусев А.А. Исследование и



точности растачивания отверстий на агрегатных станках, расширение рациональной области применения схем за счет назначения эффективных условий обработки на основе анализа разработанных детерминированных моделей процесса растачивания.

Методы исследований. Применялись производственные, теоретические и экспериментальные исследования. Статистическая обработка материалов производственных исследований позволила получить фактические данные о применимости различных технологических схем обработки отверстий "жестким шпинделем" и о достигаемой точности обработки. Теоретические исследования проводились на базе основ технологии машиностроения с использованием расчетно-экспериментальных и аналитических методов определения погрешности обработки, теории резания металлов, теории приближенного гармонического анализа и соответствующих разделов аналитической геометрии. Алгоритмы определения параметров технологических схем растачивания отверстий разработаны с применением дискретного целочисленного программирования на ЭЕМ ряда ЕС, БЭСМ-6Д, микропроцессоре ИСКРА-1256. Экспериментальные исследования проводились на специальной установке в лаборатории МВТУ им. Н.Э.Баумана, созданной на базе унифицированных: силового гидравлического стола УН45П4, гидростанции 5У284П, двух одношпиндельных расточных бабок серии УЕ4ПП 3-го и 4-го габаритов. В качестве экспериментальных образцов использовались чугунные и стальные кольца, устанавливаемые в расточки массивного приспособления. Установка оснащалась современной контрольно-регистрирующей аппаратурой: тензометрическими датчиками перемещений, усилительной тензостанцией 8АНЧ-7М, самописцем НЗ27-5. Результаты эксперимента фиксировались с помощью приборов для измерения отклонений от круглости, параметров шероховатости поверхности - Калибр-2П6 и Калибр-2П.

Научная новизна. На основе теоретических и экспериментальных исследований выявлены закономерности образования погрешности обработки по параллельной схеме с несинхронным вращением шпинделей. Разработана математическая модель оценки точности обработки отверстий, позволяющая исследовать различные технологические схемы обработки. Показана возможность повышения точности обработки за счет выбора рациональной глубины резания, учитывающей нелинейность податливости технологической

системы станка. Теоретически исследованы и разработаны новые технологические схемы для предварительного и чистового растачивания отверстий, признанные изобретениями на уровне конструкции инструментов, установлены области их рационального применения.

Разработана методика определения коррекции при выверке координат осей шпиндельных узлов агрегатных станков на основе разработанного расчетно-экспериментального метода определения тепловых смещений.

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. Разработаны практические рекомендации по построению операции обработки отверстий в корпусных деталях на агрегатно-расточных станках, оснащенных гидравлическими силовыми столами, без направления инструмента в кондукторных втулках. Разработаны и изготовлены конструкции оригинального расточного инструмента, реализующие новые технологические схемы обработки, основанные на стабилизации силовых и кинематических параметров формообразования поверхностей. Их использование позволяет, по сравнению с существующими схемами обработки, снизить: отклонения взаимного расположения поверхностей относительно баз в 3 - 4 раза на черновых переходах; отклонения формы в поперечном сечении не менее чем в 5 раз на чистовых переходах. Применение разработанных методик, рекомендаций и программного обеспечения позволяет при проектировании операции растачивания сократить число позиций обработки, а в эксплуатации - существенно повысить точностную надежность оборудования. Полученные результаты имеют общий характер и могут быть применены для проектирования операций растачивания на универсальном оборудовании.

Реализация результатов работы. Результаты работы в виде отдельных методик проектирования операций обработки деталей на агрегатных станках и автоматических линиях вошли в отчеты НИР МВТУ им. Н.Э. Баумана для МС и ИП СССР которые переданы в МосКБ АИ и АС, где разработан руководящий материал Н4912-РМ. Ожидаемый экономический эффект составляет 97270 руб. при долевым учас-

тии 1/3 МВТУ им. Н.Э. Баумана.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались и положительно оценены на научных семинарах кафедры "Технология механосборочного производства" МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1981 - 1985 г.г.; на Республиканской научно-технической конференции "Технологические пути повышения качества в машиностроении и приборостроении" - г.Ереван, 1982г.; на Республиканской научно-практической конференции "Прогрессивные методы обработки и автоматизация в машиностроении" - г.Душанбе, 1983г.; на научно-технической конференции "Повышение производительности и качества продукции в условиях автоматизации машиностроительного производства" - г.Барнаул, 1985 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 4 печатных работы.

Объем работы. Диссертация изложена на 150 страницах машинописного текста и состоит из введения, пяти глав с выводами и общих выводов по работе. Содержит 99 рисунков, 35 таблиц, список литературы из 80 наименований, 9 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе содержится обзор литературных и патентных источников, анализ состояния вопроса и обоснование направления работы.

Обзор технической литературы показывает, что основными направлениями научных исследований применительно к процессу растачивания являются: изучение закономерностей формообразования поверхностей отверстий и влияние отдельных технологических факторов на точность обработки; изучение специфики многошпиндельного, многоинструментного растачивания при углубленном исследовании силового взаимодействия инструментов. Большинство исследователей ограничивается изучением схемы растачивания жестко закрепленным режущим инструментом. Актуальными направлениями являются работы по изучению процессов резания с вибрациями и контролю точности обработанных деталей. Не изучен процесс образования погрешности обработки при несинхронном вращении шпинделей.

На основании изучения состояния вопроса сделан вывод о том, что для обработки отверстий на агрегатных станках, актуальным является изучение влияния на точность обработки упругих отжатий технологической системы станка и тепловых процессов, происходящих в узлах агрегатного станка, обоснованный выбор технологических схем растачивания.

Для выявления преобладающих конструктивно - технологических признаков оборудования и заготовок был проведен статистический анализ 200-т технологических схем растачивания. Выявлено, что 65% агрегатных станков выпускаются для обработки чутких деталей, преобладают горизонтальные компоновки Г2С, Г1С - с двумя, одним, силовыми столами и универсальными расточными бабками. Чаще других встречается схема 2-х шпиндельной обработки со шпиндельными узлами 2-ой группы точности основных отверстий до 100 мм и отношением длины к диаметру менее С,4.

Производственные исследования на заводах Минавтопром СССР показали большое разнообразие технологических схем обработки основных отверстий корпусных деталей и числа технологических переходов для достижения точности обработки одностинных деталей. Тем не менее, допуски на расположение, отклонения от правильной геометрической формы и размеров выдерживаются не всегда.

Выбранная технологическая схема оказывает большое влияние на достигаемую точность обработки, и поэтому является одним из критериев, определяющих компоновку станка - число параллельно работающих шпинделей. В некоторых случаях правильный выбор технологической схемы растачивания позволяет исключить из технологического процесса отдельный переход, сократить количество станков в линии.

Дана классификация технологических схем по конструктивно-технологическим элементам оборудования, оснастки и характеристикам процесса резания. Все многообразие технологических схем можно классифицировать по уровню концентрации технологических переходов, способу удаления припуска, способам закрепления и направления режущего инструмента и способу управления процессом резания. Анализ технологических схем показал, что имеется возможность реализации ранее не изученных схем обработки отверстий многолезвийным инструментом с механической системой стабилизации радиальной составляющей силы резания, а также с направляющими элементами, контактирующими с предварительно обработанной

поверхностью заготовки.

В соответствии с целью исследований и на основе проведенного анализа были определены следующие задачи исследований:

- провести теоретический анализ механизма образования погрешности размера, формы и взаимного расположения при параллельной несинхронной обработке;
- выявить особенности влияния на точность обработки упругих и тепловых перемещений элементов технологической системы станка;
- разработать новые технологические схемы для черного и чистового растачивания отверстий и реализовать их на уровне создания нового инструмента;
- экспериментально определить достигаемую точность обработки по различным технологическим схемам;
- установить рациональную область применения разработанных технологических схем и наметить направление дальнейших перспективных исследований.

Во второй главе содержатся теоретические исследования процесса образования погрешности обработки на агрегатных расточных станках.

В качестве показателей точности рассматриваются: погрешность расположения осей отверстий относительно номинальной оси вращения инструмента Δ_b , погрешности формы Δ_f , размера Δ_p , а также шероховатость и волнистость поверхности.

Погрешность обработки, присущая той или иной технологической схеме растачивания возникает в условиях сложного взаимодействия конструктивно - технологических и производственных факторов. Для удобства сравнения и оценки преимуществ той или иной технологической схемы растачивания отверстий, из всего многообразия факторов можно выделить две составляющие погрешности: погрешность от упругих деформаций элементов технологической системы Δ_y и погрешность от тепловых деформаций узлов агрегатного станка Δ_T :

$$\Delta = f(\Delta_y, \Delta_T). \quad (I)$$

Упругие деформации технологической системы многоинструментной обработки $\bar{y}_i$ складываются из собственных упругих отжатий одновременно работающих инструментов $\bar{y}_{ic}$

и упругих отжатий от влияния соседних, одновременно работающих инструментов $\sum y_{ij}$

$$\bar{y}_i = \bar{y}_{ic} + \sum_{j=1}^n \bar{y}_{ij}, \quad (2)$$

где $i, j = 1, 2, \dots, n$ ($j \neq i$) номера режущих инструментов.

Погрешность от собственных упругих отжатий зависит от изменения силы резания ΔP_i и изменения податливости ΔW_i участка технологической системы "шпиндель - оправка режущего инструмента" по углу поворота режущего инструмента. Упругие отжатия от соседних одновременно работающих инструментов зависят от изменения результирующих сил, моментов резания и податливости W_{ij} замыкающих звеньев. Силовой стол и заготовка являются замыкающими звеньями технологической системы, причем, податливость стола W_{cc} влечет податливости правильно установленной заготовки, и последняя в расчетах не учитывается. Упругие деформации названных участков технологической системы определяются расчетно-экспериментальным методом, при котором, силы резания определяются расчетом по известным эмпирическим формулам, а податливости - с использованием экспериментально полученной информации.

Во время резания, несинхронность вращения шпинделей унифицированных расточных бабкок вызывает изменение взаимного расположения формообразующих вершин режущих инструментов, что приводит к изменению направления векторов $\sum y_{ij}$. Изменение проекций векторов на направление выдерживаемого размера приводит к возникновению зоны возможных положений вершины i -того инструмента R_i и неопределенности ее положения внутри этой зоны.

Согласно ГОСТ 14642-81 в основу нормирования и количественной оценки отклонений формы и расположения положен принцип прилегающих поверхностей. Исходными данными для него являются координаты F_φ "внутренней стенки" зоны R . Координаты F_φ определяются

$$F_\varphi = R_n - y_{iR} - \sum_{j=1}^n y_{ijR}, \quad (3)$$

где R_n - настроечный радиус обработки; y_{iR} - упругие отжатия i -того инструмента; $\sum y_{ijR}$ - сумма проекций максимально возможных упругих отжатий y_{ij} .

Определение параметров точности $\Delta b, \Delta \varphi$ профиля, образо-

ванного $F\varphi$, определяются по разработанной методике многократного гармонического анализа с последующим усечением профиля, при помощи подпрограммы ARND, полностью исключая участие человека.

В большинстве случаев зона R , имеет неправильную кольцевую форму, поэтому погрешность размера, измеренная по различным сечениям различна. Она определяется как удвоенная сумма проекций векторов $\bar{y}_{ij}$ на направление выдерживаемого размера по углу поворота φ , причем один вектор соответствует углу φ , а другой — углу $\varphi + \pi$.

$$\Delta_{R\varphi} = 2 \cdot R_{i\varphi} = 2 \cdot \left\{ \sum_{j=1}^n y_{ijR(\varphi)} + \sum_{j=1}^n y_{ijR(\varphi+\pi)} \right\}. \quad (4)$$

При этом, собственные упругие отжатия также смещают настроечный размер в сторону уменьшения на величину

$$M_{\Delta_{R\varphi}} = \{ y_{iR(\varphi)} + y_{iR(\varphi+\pi)} \}. \quad (5)$$

При обработке длинных отверстий с соотношением длины обработки к диаметру более 3, наблюдается дополнительное изменение погрешности формы, размера и взаимного расположения, появление волнистости поверхности с выраженной закруткой неровностей по винтовой линии в направлении подачи. Дополнительная погрешность появляется при изменении базовой разности $\varphi_1 - \varphi_2$ взаимного углового положения режущих инструментов под воздействием неодинаковых силовых условий обработки, влияющих на приводы каждой расточной бабки. Следствием силового влияния является установление частот вращений n_{x1}, n_{x2} отличных от номинальных. За основное время обработки t_0 базовая разность дополнительно изменяется на

$$\Delta\varphi_{t_0} = \varphi_{1t_0} - \varphi_{2t_0} = 2 \cdot \pi \cdot (n_{x1} - n_{x2}) \cdot t_0. \quad (6)$$

Средний угол закрутки винтовой поверхности можно определить как

$$\Delta_i = \arctg \left(\frac{\pi \cdot d_{обр i} \cdot |n_{x1} - n_{x2}|}{n_i \cdot S_i} \right), \quad (7)$$

где $d_{обр i}$ — диаметр обработки; n_i — частота вращения; S_i — подача на оборот для i -того отверстия.

Осевой шаг неровностей определяется

$$S_{w_i} = c_i \cdot S_i \quad (8)$$

где i — наименьшее целое число оборотов i -того шпинделя при котором повторяется начальное взаимное угловое положение режущих инструментов.

Бид неровностей определяется при помощи разработанной подпрограммы SWI.

Тепловая деформация узлов агрегатного станка проявляется в виде смещения центров вращения формообразующих вершин режущего инструмента при нагреве корпусов расточных бабок, в виде изменения величин минутной подачи при нагреве рабочей жидкости перед дросселем. Показано, что рост тепловых смещений Δ_T в период τ_{cm} до наступления тепловой стабилизации приводит к геометрической погрешности станка. Величина τ_{cm} растет с увеличением частоты вращения, габарита бабки, силовой нагрузки, продолжительности включения ПВ%. Для соседних габаритов бабок N и n время тепловой стабилизации

$$\tau_{cmN} \approx 1,25 \cdot \tau_{cmn}. \quad (9)$$

Разработана методика определения смещений бабок одного габарита Δ_{TN} по экспериментально полученным Δ_{Tn} для другого габарита. Вредное влияние Δ_T можно уменьшить корректированием при выверке координат осей шпиндельных узлов. Величина коррекции определяется

$$\Delta_H = \Delta_T \left[(\omega T + e^{-\omega T} - 1) / \omega T \right], \quad (10)$$

где $\omega \approx 4 / \tau_{cm}$; e — основание натуральных логарифмов; T — продолжительность работы оборудования.

Показано, что в ряде случаев при чистовой обработке отверстий выгодно задавать глубину резания $t_{zag} > t_{zag \min}$.

Основанием для такого утверждения является экспериментально наблюдаемое уменьшение податливости участка технологической системы станка "шпиндель — оправка режущего инструмента" при увеличении нагрузки силы резания, зависящей, в свою очередь от t_{zag} . В области малых нагрузок податливость может быть аппроксимирована зависимостью вида

$$W = A \cdot P^a, \quad (11)$$

где $A > 0, a < 0$ — коэффициенты, определяемые экспериментальным путем.

Третья глава посвящена разработке и теоретическому исследованию новых технологических схем растачивания отверстий.

При разработке технологической схемы чернового растачива-

ния выявлено, что наиболее эффективным способом повышения точности обработки является стабилизация радиальной составляющей силы резания. При этом схема должна обеспечивать высокую производительность обработки и стружкодробление вязких обрабатываемых материалов.

В соответствии с этими требованиями была разработана схема двухрезновой обработки по методу деления подачи на оборот из условия минимального влияния упругих отжатий, вызванных одним резцом, на другой. Отличительной особенностью схемы является обработка с пониженной осевой жесткостью K_2 у вершины второго формообразующего резца.

Параметрическая оптимизация схемы обработки позволила установить рациональную область значений жесткости K_2 где достигается наибольший положительный эффект

$$K_2 = \frac{\frac{P_{хн2} \cdot y_x}{S_2 \cdot x_y} \cdot \left(x_x - x_y \cdot \frac{y_x}{y_y} \right)}{1 + \frac{P_{хн1}}{S_1 \cdot K_1}}, \quad (12)$$

где $P_{хн1}$, $P_{хн2}$ — номинальные значения осевых составляющих сил резания на I-ом и 2-ом резцах; S_1 , S_2 — доли подачи на оборот, приходящиеся на I-ый и 2-ой резец при номинальной нагрузке; x_x , x_y и y_x , y_y — показатели степеней в формулах определения осевой и радиальной составляющих сил резания при глубине резания, подаче; K_1 — осевая жесткость у вершины I-го резца.

Во время резания толщина стружки S_2 изменяется под действием изменяющейся силы резания таким образом, что значение радиальной составляющей на формообразующем резце 2 поддерживается на постоянном уровне. В связи с этим, обработка по предлагаемой схеме позволяет уменьшить погрешность от упругих перемещений в 3,5 — 5 раз, по сравнению с известными схемами с жесткозакрепленными резцами. Конструктивно, схема выполнена в виде расточной оправки с двумя резцами смещенными в осевом, и, развернутыми в угловом направлениях, друг относительно друга. На увеличенной консоли резца 2 выполнены выборки металла для создания необходимой осевой жесткости K_2 , причем жесткости в радиальном и тангенциальных направлениях, а также теплопроводность не ниже, чем у обычно применяющихся резцов. Это достигается путем увеличения геометрических параметров сечения консоли-

ной части реза. В процессе резания происходит осадка формообразующего реза в осевом направлении на величину $X_{02} = P_{xH2}/K_2$, которая должна учитываться коррекцией при выверке взаимного положения главных режущих лезвий резцов. С учетом дополнительного углового разворота резцов на угол β , величина коррекции определяется

$$\Delta_{H2} = X_{02} + \frac{S_0}{2} \left[1 - \frac{\beta}{\pi} \right]. \quad (13)$$

При разработке технологической схемы чистового растачивания выявлено, что наиболее эффективным способом повышения точности формы и сохранения правильного положения оси отверстия, является стабилизация положения формообразующей вершины режущего инструмента относительно базы — поверхности отверстия заготовки. Математический аппарат подобных схем, основанных на кинематике переноса некрутости базы на вершину режущего инструмента, хорошо разработан и успешно применяется при шлифовании тел вращения на башмаках.

Отличительной особенностью предлагаемой схемы является опережение в направлении подачи формообразующей вершины режущего инструмента направляющими шпонками — башмаками, контактирующими с предварительно обработанной поверхностью заготовки.

Углы расположения формообразующей вершины режущего инструмента и 2-х направляющих шпонок, в поперечном сечении, зависят от набора амплитуд гармонических составляющих отклонения от правильной геометрической формы базы. Эти углы определяются из анализа известного выражения для теоретических коэффициентов уменьшения амплитуд гармонических составляющих

$$\lambda_n = \sqrt{\frac{\cos^2 n\mu}{\cos^2 \mu} \cdot \cos^2 \alpha + \frac{\sin^2 n\mu}{\sin^2 \mu} \cdot \sin^2 \alpha}, \quad (14)$$

где n — номер гармонической составляющей; μ — половина угла раскрытия направляющих шпонок; α — угол расположения формообразующей вершины режущего лезвия.

При доминирующей овальности — эллипсности базового отверстия целесообразно применять схему с углом раскрытия шпонок $2\mu = 90^\circ$ и оппозитным расположением $\alpha = 180^\circ$ вершин лезвия.

Конструктивно, схема выполнена в виде инструмента с подвижной частью подвешенной на системе из 3-х или 6-и упругих стержней — одинарный или двойной трифилярный подвес, восприни-

имеющих осевые составляющие сил, и сильфона, воспринимающего момент резания. Трифилярный подвес размещен внутри сильфона и обеспечивает плоскопараллельное движение инструмента в плоскости, перпендикулярной направлению подачи. На подвижной части расположены направляющие шпонки и формообразующий резец. В некоторых случаях целесообразно размещать там второй резец, создающий дополнительный прижим шпонок к базовой поверхности. В инструменте выполнены каналы для подвода СОЖ или сжатого воздуха.

Обработка отверстий по предлагаемой схеме теоретически позволяет уменьшить отклонение от правильной геометрической формы в 5 и более раз при характерном наборе гармонических составляющих отклонения формы после растачивания.

В четвертой главе приведены экспериментальные исследования влияния основных технологических факторов на фактически достигаемую точность обработки по различным технологическим схемам. Исследования ставили своей задачей проверить адекватность моделей, разработанных в теоретических исследованиях.

Эксперименты проводились на 2-х шпиндельном агрегатно - расточном станке, оснащенном гидравлическим силовым столом, компоновки ГПС, при растачивании образцов с режимами черновой и чистовой обработки. В качестве экспериментальных образцов использовались чугунные и стальные кольца с искусственно наведенной эллипсностью отверстия. Точность обработки оценивалась по уменьшению 2-й гармонической составляющей при разложении в ряд Фурье, контролируемого на кругломере профиля отверстия. Использование статической и кинематической моделей образования погрешности обработки позволяет распространить полученные результаты на отклонения диаметрального размера от настроечного и от номинального положения оси отверстия.

Установлено, что существует закономерная связь тепловых перемещений осей шпинделей бабок с частотой вращения, номером габарита и нагрузкой. Отмечена вертикальная направленность смещений, достигающих 60 мкм для бабки 4-го габарита при частоте вращения $n = 5450$ об/мин; горизонтальная составляющая смещения составляет менее 30% от вертикальной, а ее направление зависит от условий обдува боковых стенок расточных бабок, компоновки станка. Стабилизация тепловых перемещений происходит че-

рез 140 и 180 минут для бабок 3-его и 4-го габаритов, соответственно.

Установлено, что существует значительная неравномерность величины минутной подачи гидравлического силового стола K_S , линейно связанная с температурой рабочей жидкости. Для стола 4-го габарита $K_S \leq 0,35 \div 0,5$, для диапазона минутных подач

$$5 \cdot 10^{-4} (30) \leq S_{\text{мин}} \frac{\text{м}}{\text{с}} \left(\frac{\text{мм}}{\text{мин}} \right) \leq 15,8 \cdot 10^{-4} (95). \quad (15)$$

Экспериментально доказано, что применение инструмента для черновой обработки отверстий повышает точность обработки в 3 - 4 раза по сравнению со схемой обработки "жесткозакрепленными" резцами. На стальных заготовках наблюдалось устойчивое дробление стружки, что является сопутствующим положительным эффектом. Опытный образец инструмента для чистового растачивания отверстий снижает произвольные отклонения от правильной геометрической формы - 2-ю гармоническую составляющую в заготовке, до 0,01 мм на детали. Этот предел обусловлен недостаточно высокой точностью изготовления лабораторного инструмента и наличием определенной ширины шпонок, которая вносит искажения в разработанную модель формообразования.

Проверка по критерию Фишера математических моделей подтвердила их адекватность экспериментальным данным.

В пятой главе приведен расчет ожидаемой экономической эффективности для новых схем растачивания отверстий на агрегатных станках. Критерием оценки экономической эффективности является сопоставление приведенных затрат базового и нового, имеющего меньшее число рабочих позиций линии, вариантов технологического процесса.

В приложениях приведены тексты разработанных программ для ЭВМ математических моделей формообразования, методика выверки шпиндельных узлов с учетом тепловых смещений осей режущих инструментов, методика выбора условий достижения точности при параллельном растачивании отверстий. Приведено описание новой конструкции инструмента для чистового растачивания отверстий с компенсацией износа формообразующей вершины режущего лезвия за счет расположения его между направляющими шпонками, а также, - копии 4-х положительных решений ВНИИПЭ на изобретения, реализующие новые схемы обработки отверстий, справка о внедрении.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. На основании производственных, теоретических и экспериментальных исследований разработаны способы повышения точности растачивания отверстий на агрегатных станках, основанные на стабилизации силовых и кинематических параметров процесса обработки резанием. Внедрение результатов работы позволяет снизить отклонения: формы в поперечном сечении до 0,01 мм; расположения обработанной поверхности относительно базы в 3-4 раза по сравнению с применяющимися схемами обработки жесткозакрепленным режущим инструментом.

2. Выявлено, что основными причинами снижения точности по параметрам расположения, формы, размера и возрастания высоты неровностей поверхности, являются упругие и тепловые смещения узлов агрегатного станка при концентрированной обработке отверстий с несинхронным вращением шпинделей.

Упругие смещения определены повышенной до 0,2 мкм/Н, неравномерной податливостью шпиндельных узлов и силового стола, соответствующими соответственно $K_{Wшп} = 28-41\%$, $K_{Wст} \leq 160\%$ и неравномерной глубиной резания по углу поворота режущего инструмента. Тепловые выделения в гидростанции приводят к изменению до 50% скорости движения подачи платформы силового стола и величины силовой нагрузки резания, дополнительно изменяя упругие смещения.

Тепловые выделения в шпиндельных бабках закономерно, в течение смены, изменяют геометрическую точность станка за счет изменения координат осей вращения формообразующих вершин режущих инструментов, достигающих 0,06 мм для бабки 4-го габарита. Время установления теплового равновесия для бабки 3-го габарита составляет 135 минут и увеличивается, в среднем в 1,25 раза, при применении каждого большего габарита.

3. Исследования новых схем растачивания отверстий без направления инструмента во втулках позволили достичь повышения точности за счет:

а) назначения определенного соотношения жесткостей резцов в осевом направлении в инструменте для предварительного растачивания;

б) выбора места и углов взаимного расположения направляющих и формообразующих элементов инструмента для чистового

растачивания.

Предложены конструкции державки резца и узла направления инструмента, которые признаны изобретениями.

4. Для повышения точности обработки отверстий на агрегатных станках рекомендуется:

а) выбирать технологические схемы растачивания с разнонаправленным вращением режущих инструментов, что обеспечивает повышение точности обработки на 20-30% по сравнению с обычной схемой;

б) для предварительного растачивания отверстий рекомендуется применять новую схему растачивания двумя резцами, работающими с делением подачи на оборот, причем, один из них выполнен с пониженной жесткостью в направлении подачи;

в) глубина резания на чистовых переходах обработки должна корректироваться в сторону увеличения до определенного значения, рассчитанного с учетом экспериментально полученной зависимости податливости от силового нагружения резания;

г) применять для чистовой обработки новую схему растачивания инструментом, имеющим гибкую связь со шпинделем, и двумя направляющими шпонками, вынесенными вперед резца, при этом, за счет кинематики процесса резания исключается вредное влияние гесметрических погрешностей и неравномерностей податливости технологической системы станка на точность формы обработанных отверстий;

д) применять новые схемы в технологическом процессе обработки отверстий на агрегатном оборудовании, что позволит в некоторых случаях сократить число технологических переходов, необходимых для достижения заданной точности.

5. С целью уменьшения вредных влияний тепловых выделений в узлах агрегатного станка рекомендуется:

а) по возможности применять расточные бабки меньшего габарита;

б) применять схемы обработки с пониженной частотой вращения шпинделя и нагрузкой на перелный подшипниковый узел, например, с делением подачи на оборот и компенсацией поперечных сил резания;

в) корректировать при выверке координаты осей шпиндельных узлов по предложенным зависимостям;

г) охлаждать рабочую жидкость гидросистемы на входе в дроссель, например, при удалении дросселя от гидростанции, неравномерность скорости подачи уменьшается на 10-20% за счет естественного охлаждения жидкости в трубопроводе.

Годовой ожидаемый экономический эффект от внедрения результатов работы в расчетно-технологический материал МосСКБ АМ и АС составил 97270 рублей при долевым участии 1/3 МВТУ им. Н.Э. Баумана в составе хозяйственной темы для МС и ИП СССР.

Основные положения и результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Воробьев А.К., Гусев А.А. Исследование параметров технологической наследственности в условиях переменной жесткости. - Технологические пути повышения качества в машиностроении и приборостроении: Тез. докл. Респ. научно-техн. конф. - Ереван, 1982, с. 13 - 14.

2. Гусев А.А., Нуридинов Ш. Механизм формообразования поверхностей при растачивании отверстий на агрегатных станках. - Прогрессивные методы обработки и автоматизация в машиностроении: Тез. докл. Респ. научно-практ. конф. - Душанбе, 1984, с. 32 - 33.

3. Волков О.М., Гусев А.А., Мартынов И.Я. Определение параметров точности профиля поверхности отверстия в поперечном сечении. - Известия ВУЗов. Машиностроение, 1985, №1, с. 122 - 125.

4. Гусев А.А. Выбор условий достижения заданной точности при растачивании отверстий в корпусных деталях. - Известия ВУЗов. Машиностроение, 1985, № 3, с. 130-133.

