

И 202553

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н. Э. Баумана

Олег Михайлович ДЕЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОСЕЙ
ОТВЕРСТИЙ, ОБРАБАТЫВАЕМЫХ
НА АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ ПРИ ПЛАВАЮЩЕМ
СОЕДИНЕНИИ ИНСТРУМЕНТА СО ШПИНДЕЛЕМ

(05.02.08 — Технология машиностроения)

Диссертация написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в МВТУ им. Н. Э. Баумана.

Научный руководитель —
кандидат технических наук, доцент А. Г. Косилова.

Официальные оппоненты:
профессор Романов Б. П.,
кандидат технических наук, доцент Усов Б. А.

Ведущее предприятие — Московское специальное кон-
структорское бюро автоматических линий и агрегатных
станков.

Автореферат разослан « » 1973 г.

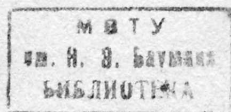
Защита диссертации состоится « » 1973 г.
на заседании Совета факультета «Автоматизация и механи-
зация производства» Московского ордена Ленина и ордена
Трудового Красного знамени технического училища
им. Н. Э. Баумана, Москва, 107005, 2-я Бауман-

ских, заверенные печатью,
присутствующему.

Получить в библиотеке Учи-

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

Ю. А. Степанов



М202553

М 202553

Современный уровень и перспективные задачи развития техники требуют повышения качества машин, которое во многом зависит от точности изготовления их базовых элементов-корпусных деталей. Обработку корпусных деталей при массовом выпуске эффективно производить на автоматических линиях; однако при этом не всегда выдерживаются требования точности расположения осей основных отверстий (соосности, параллельности и перпендикулярности осей, точности межосевых расстояний). В связи с этим возникает необходимость выявления взаимосвязей между точностными, конструктивно-технологическими параметрами расточных позиций автоматических линий и точностью обрабатываемых в них систем отверстий. Решение такой задачи имеет важное значение для повышения точностных возможностей как проектируемых линий, так и действующих.

В работе основное внимание уделяется обработке отверстий в расточных позициях, имеющих плавающее соединение инструмента со шпинделем.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ.

Анализ схем обработки отверстий на автоматических линиях показал, что для получения отверстий 2 + 3 классов точности диаметром св. 35 мм чаще всего используются расточные позиции, имеющие плавающее соединение инструмента со шпинделем. Такое соединение имеет ряд преимуществ по сравнению с жёстким: возможность получения более высокой точности расположения обрабатываемых отверстий; возможность соединения инструмента со шпинделем при несовпадении их осей до 0,2 мм; меньший износ направляющих втулок и вспомогательного инструмента и т.п.. Однако и при таком соединении точность расположения осей обрабатываемых отверстий выдерживается лишь в пределах 0,05 + 0,15 мм. Повышение точностных возможностей автоматических линий сдерживается, в частности, из-за отсутствия научнообоснованной методики назначения требований точности к рассматриваемым расточным позициям.

Обзор работ, посвященных точности расположения осей обрабатываемых отверстий, показал, что таких работ край-



не недостаточно, большинство из них выполнено применительно к универсальным станкам. Тем более это относится к позициям с плавающим соединением инструмента со шпинделем, для которых рассмотрены лишь частные вопросы этой проблемы. Большой вклад в создание и развитие основ проектирования автоматических линий, всестороннего повышения их эффективности внесло Московское специальное конструкторское бюро автоматических линий и агрегатных станков. Наиболее полными исследованиями, направленными на повышение точности обработки, производительности и надежности автоматических линий, следует признать комплексные исследования, проводимые в МВТУ им. Баумана. Для расточных позиций, имеющих плавающее соединение инструмента со шпинделем, разработана схема образования суммарной погрешности расположения оси обрабатываемого отверстия. Величина этой погрешности складывается из геометрических погрешностей позиции; погрешности установки заготовки; погрешностей, вызываемых упругими и температурными деформациями технологической системы. Каждая из погрешностей в свою очередь зависит от ряда конструктивно-технологических и эксплуатационных факторов.

На основании изложенного перед настоящими исследованиями были поставлены следующие основные задачи:

1. Исследование влияния точностных и конструктивно-технологических параметров расточных позиций, имеющих плавающее соединение инструмента со шпинделем, на точность расположения осей обрабатываемых отверстий.

2. Исследование влияния точностной характеристики заготовки на точность обработки системы отверстий.

3. Исследование смещения оси обрабатываемого отверстия, вызываемого деформациями технологической системы.

4. Разработка рекомендаций по повышению точности расположения отверстий при их обработке и методики назначения требований точности к расточным позициям.

ГЛАВА II. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ СИСТЕМ ОТВЕРСТИЙ НА АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ

В ходе производственных исследований были измерены

параметры расточных позиций: расстояния осей отверстий направляющих втулок относительно базовых элементов, межосевые расстояния отверстий направляющих втулок, непараллельность и неперпендикулярность их осей, зазоры в сопряжениях направляющая втулка - инструмент и др. Анализ ТУ на изготовление этих позиций показал, что действительные отклонения рассматриваемых параметров часто превышают допускаемые: так, в смежных позициях чернового, получистового и чистового растачивания (при заданном отклонении оси направляющей втулки относительно базовых элементов $0,017$ мм) оно составило соответственно $0,243$ мм, $0,22$ мм и $0,026$ мм. Межосевые расстояния направляющих втулок вместо допускаемых отклонений $\pm 0,013$ мм имели соответственно отклонения $+0,033$ мм, $+0,024$ мм и $+0,018$ мм. По мере износа сопряжения втулка-инструмент допускаемый зазор $0,054$ мм в позиции получистовой обработки увеличился до $0,086$ мм, а в позиции черновой обработки до $0,114$ мм, т.е. более чем в 2 раза. Такие отклонения точностных параметров расточных позиций переносятся на обрабатываемые детали, снижают точностную надежность автоматической линии, а в некоторых случаях вынуждают расширять допуски на выдерживаемые параметры.

При статистических исследованиях точность изготовления отливок оценивалась коэффициентом точности $M = \frac{\delta}{\delta_0}$ (δ - среднее квадратическое отклонение рассматриваемого размера, δ_0 - допуск на этот размер). Для таких параметров отливок из серого чугуна, как расстояние оси отверстия до базы, межосевое расстояние отверстий и других, характеризующих расположение литых отверстий, M находится в пределах $1,5 + 2,25$; как известно при $M > 1$ точность процесса считается неудовлетворительной. По другому критерию точности технологического процесса - величине смещения центра настройки E ($E = X_{cp} - X_{nom}$) - процесс достижения точности расположения литых отверстий также не удовлетворяет требованиям, поскольку для большинства рассматриваемых параметров $E > \delta$. Следует отметить, что у отливок из серого чугуна II класса точности по ГОСТ 1855-55 точность расположения отверстий часто соответствует лишь III классу точности. Погрешность расположения

оси и формы литого отверстия создают в процессе обработки неравномерность припуска Δz по контуру его поперечного сечения. В партии заготовок Δz увеличивается из-за отклонений диаметров отверстий, но наибольшую долю в Δz , до 80 %, вносят погрешности расположения литых отверстий. При черновой обработке отверстий величина Δz часто бывает одного порядка с заданной глубиной резания, а иногда и превышает ее; это вызывает увеличение откатов инструмента и снижение точности расположения отверстий. Наиболее тесная взаимосвязь погрешностей расположения отверстий (близкая к функциональной) отмечается для смежной пары операций "отливка отверстий - черновая обработка отверстий" (коэффициент корреляции $r_{xy} = 0,9 \pm 0,96$); по мере увеличения количества операций (или переходов) эта связь ослабевает и при чистовой обработке становится близкой к стохастической ($r_{xy} = 0,08 \pm 0,2$).

ГЛАВА III. ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАСТОЧНЫХ ПОЗИЦИЙ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ СИСТЕМ ОТВЕРСТИЙ.

Несмотря на многообразие схем направления инструмента (одноопорная, двухопорная, трехопорная), конструкций вспомогательного инструмента (цельной или типа "скользящая втулка") и узлов направления инструмента (неподвижная втулка или вращающаяся втулка), геометрическое смещение оси инструмента от номинального расположения в общем случае представить зависимостью:

$$\Delta r = f(\Delta z_1, \Delta z_n, \Delta y_n) \quad (1)$$

где Δz_1 - смещение оси инструмента с оси направляющей втулки за счет зазора в этом сопряжении; Δz_n - смещение оси вращения инструмента относительно его направляемой части (погрешность вспомогательного инструмента); Δy_n - смещение оси направляющей втулки от номинального расположения (погрешность узла направления).

Рассмотрим образование и определение этих погрешностей для расточной позиции, имеющей одноопорный узел направления вращающаяся втулка и вспомогательный инструмент цельная оправка. Величина зазора S_1 в сопряжении втулка-инструмент зависит от полей допусков диаметра отверстия

втулки δ_0 , диаметра инструмента δ_8 и их средних отклонений $c\Delta_0$ и $c\Delta_8$, а также от износа, регламентируемого эксплуатационным допуском зазора $\pm\delta_{s1}$. Теоретико-вероятностным суммированием этих погрешностей определяем наибольший вероятностный зазор

$$S_1 = c\Delta_0 - c\Delta_8 + 0,4\sigma\sqrt{\delta_0^2 + \delta_8^2} + \pm\delta_{s1} \quad (2)$$

При длине направляющей втулки $l_{вг}$ и величине вылета инструмента за торец втулки l_x смещение оси инструмента с оси отверстия втулки за счет зазора Δ_{s1} определяется из выражения:

$$\Delta_{s1} = 0,5[S_1' + (S_1' + S_1'')l_x/l_{вг}], \quad (3)$$

где S_1' , S_1'' - зазор между втулкой и инструментом у выходного и входного торцов втулки. Величины S_1' , S_1'' по мере износа сопряжения втулка-инструмент изменяются (при этом $S_1' > S_1''$), вызывая изменение величины Δ_{s1} . Поэтому удельное значение Δ_{s1} в балансе геометрических погрешностей расточной позиции непостоянно и может колебаться в пределах 10-60 %. Выражения (2) и (3) справедливы и для одноопорного узла направления неподвижная втулка.

Погрешность угла направления инструмента $\Delta_{ун}$, возникающая вследствие неточностей изготовления, определяется теоретико-вероятностным расчетом размерных цепей, связывающих ось направляющей втулки с базовыми элементами позиции, либо с осями других втулок. $\Delta_{ун}$ (относительно базовых планок) для рассматриваемого узла:

$$\Delta_{ун} = \frac{1}{k_a} \sqrt{k_1^2(\delta_1^2 + \delta_2^2) + k_2^2\delta_3^2 + k_4^2\delta_4^2 + k_5^2\left(\frac{l_{хп}}{l_n}\right)^2\delta_5^2 + k_6^2\left(\frac{l_{хп} + l_n}{l_n}\right)^2\delta_6^2} \quad (4)$$

где δ_1 - половина поля допуска на размер от оси установочного штифта до оси отверстия под базовый палец; δ_2 - то же от оси установочного штифта до оси отверстия под подшипники; δ_3 - то же от базовой до опорной плоскости базовой планки; δ_4 - то же от опорной плоскости корпуса до оси отверстия под подшипники; δ_5, δ_6 - 1/2 эксцентриситета центра беговой дорожки наружного кольца подшипника, заднего и переднего; l_n - расстояние между подшипниками; $l_{хп}$ - расстояние от рассматриваемого сечения обрабатываемого отверстия до подшипника; $k_a, k_1, \dots, k_6$ - коэффициенты относительного рассеяния распределения отклонений соответствующих параметров. В рассматриваемой расточной позиции используется цельный вспомогательный инструмент, поэтому погреш-

ность вспомогательного инструмента $\Delta_{ви} = 0$; при известных величинах $\Delta_{зи}$ и $\Delta_{зи}$ величина геометрического смещения оси инструмента Δ_r будет

$$\Delta_r = \frac{1}{k_{\Delta_r}} \sqrt{k_{\Delta_{зи}}^2 \Delta_{зи}^2 + k_{\Delta_{зи}}^2 \Delta_{зи}^2} \quad (5)$$

Погрешность вспомогательного инструмента $\Delta_{ви}$ характерна для инструмента типа "скользящая втулка", который используется в сочетании с узлом направления "неподвижная втулка". Для определения $\Delta_{ви}$ найдена соответствующая зависимость. $\Delta_{ви}$ для унифицированных типов инструмента составляет 10-40 мкм. Получены также формулы для определения смещения оси инструмента за счет заворов во втулках двухопорных узлов направления и найдены зависимости для определения геометрических погрешностей.

Экспериментальные исследования проводились в МВТУ им. Баумана на расточной позиции автоматической линии. Позиция имеет агрегатную головку, несколько видов узлов направления и вспомогательного инструмента, соединяемого со шпинделем плавающим патроном; гидравлические узлыжима. Положение оси инструмента в процессе обработки регистрировалось тензодатчиками сопротивления специального прибора и записывалось осциллографом Н700 на фотобумагу. Для измерений использовались микроскопы УИМ-21 и БМИ-1, кругломер мод. 218, индикаторы и другие приборы. Экспериментальными исследованиями установлено, что наибольшее влияние зазора S_1 на смещение оси отверстия проявляется при его обработке мерным инструментом: при увеличении зазора в 5 раз смещение оси отверстия, обработанного в одноопорном узле, возросло в 1,6±2 раза, а в двухопорном — лишь в 1,2±1,3 раза. Для повышения точности расположения отверстий при обработке мерным инструментом следует уменьшать зазор в сопряжении втулка-инструмент, назначая посадку A_1/D_1 вместо A/D , а при обработке однолезвийным инструментом в узлах направления "вращающаяся втулка" A_{02}/D_{02} , A_{02}/D_{02} . В позициях с плавающим соединением инструмента со шпинделем длина направляющей втулки $l_{вт}$ наряду с зазором S_1 определяет точность направления инструмента. С уменьшением длины втулки $l_{вт}$ с 4 $d_{вт}$ до 1 $d_{вт}$ при венкероании отверстий в одноопорных узлах смеще-

ние осей отверстий увеличивается в 2,3:3,2 раза, а характер экспериментальных зависимостей $\Delta_{cm} = f(l_{вт})$ близок к линейному. При растачивании отверстий эти зависимости имеют вид гиперболической функции; при увеличении $l_{вт}$ от 1 до 3,5 Δ_{cm} погрешность расположения отверстий интенсивно уменьшалась, при дальнейшем увеличении $l_{вт}$ эта погрешность практически не изменялась. Эти исследования помогли установить оптимальные длины втулок (см. выводы по работе).

Исследованиями показано, что уменьшение погрешности расположения осей обрабатываемых отверстий тесно связано с уменьшением погрешности узла направления инструмента - $\Delta_{ун}$, которое наиболее эффективно достигается при одновременном снижении: допусков на координаты, связывающие оси отверстий под направляющие втулки между собой и с базовыми элементами до значений $\pm 0,007$ мм; эксцентриситетов втулок до 0,002-0,003 мм, эксцентриситетов беговых дорожек наружных колец подшипников до 0,003-0,008 мм.

ГЛАВА IV. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОСЕЙ ОТВЕРСТИЙ, ВЫЗЫВАЕМЫХ ДЕФОРМАЦИЯМИ СИСТЕМЫ

При обработке отверстия между его осью и осью вращения инструмента возникает несовпадение A_i , вызываемое смещением оси отверстия $\Delta_{cm}(i-1)$ на предшествующем переходе; погрешностью установки заготовки Δ_{xi} на выполняемом переходе; смещением оси инструмента вследствие геометрических неточностей позиции Δ_{gi} на выполняемом переходе. Несовпадение A_i создает неравномерность припуска ΔZ по контуру поперечного сечения отверстия:

$$\Delta Z = 2A_i = 2\sqrt{\Delta_{cm}^2(i-1) + \Delta_{xi}^2 + \Delta_{gi}^2} \quad (6)$$

Наличие ΔZ в случае обработки отверстия мерным инструментом приводит к образованию неравномерной силы резания R , вызывающей упругие деформации технологической системы и смещение оси обрабатываемого отверстия:

$$\Delta y = P_{y \min} (K_{\Delta Z}^{1/2} - 1) W^{1/2} / \cos \psi \quad (7)$$

здесь $P_{y \min}$ - радиальная составляющая силы при минимальной глубине резания; $K_{\Delta Z}$ - коэффициент неравномерности распределения припуска по режущим зубьям, для 3-х зубо-

го зенкера $k_{\Delta z} = \frac{t_n + 0,5a}{t_n - a}$ для 4-х зубого $k_{\Delta z} = \frac{t_n + a}{t_n - a}$, χ_{py} - показатель степени при глубине резания составляющей p_y ; W - податливость расточной позиции; ψ - угол между векторами сил R и $\bar{p}_y$; t_n - номинальная глубина резания. Так же получена зависимость для определения Δy при обработке отверстия однолезвийным инструментом.

Экспериментальными исследованиями подтверждены полученные зависимости и установлено, что влияние Δz на Δy можно уменьшить в 1,3 раза при обработке отверстия 3-х зубым зенкером вместо 4-х зубого, и в 2 раза при обработке однолезвийным инструментом вместо 4-х зубого зенкера (при прочих равных условиях обработки). Установлено, что смещение центра поперечного сечения обрабатываемого отверстия под влиянием Δz происходит под углом ψ к вектору несовпадения $\bar{a}$:

$$\psi = \arctg p_z / p_y \quad (8)$$

где p_z, p_y - тангенциальная и радиальная составляющие силы резания.

Усилия, возникающие в плавающем патроне при обработке, имеют за период 2π не менее 6-ти экстремальных значений и потому оказывают существенное влияние лишь на погрешность формы поперечного сечения отверстия. Эти усилия и погрешность формы возрастают с увеличением числа режущих зубьев инструмента.

При обработке отверстий, имеющих Δz , погрешность расположения их осей тесно связана с величиной податливости W технологической системы расточной позиции. Поскольку для рассматриваемых позиций отсутствуют нормы податливости уалов и найти W экспериментально на стадии проектирования невозможно, даются выводы зависимостей для расчета податливости гладкого и ступенчатого инструмента, одноопорных узлов направления, системы двухопорный узел направления - инструмент.

Экспериментальные исследования показали, что уменьшение зазора $S_1 = 0,031$ мм между втулкой и инструментом до значения 0,008 мм в узле направления "вращающаяся втулка" снизило величину податливости системы с $1,0 \frac{\text{мкм}}{\text{кг}}$ до $0,6 \frac{\text{мкм}}{\text{кг}}$, а уменьшение длины вылета инструмента в 1,5 раза уменьшило величину W в 1,1-1,3 раза. Установлено, что

Углы направления типа "вращающаяся втулка" уменьшаются при увеличении расстояния между подшипниками и при создании предварительного натяга подшипников регламентированной нагрузкой.

Эксперименты показали, что величина подачи инструмента не является источником погрешности расположения оси обрабатываемого отверстия; она лишь изменяет интенсивность влияния других факторов на эту погрешность. Так, изменение подачи с 0,3 до 2,56 мм/об при зенкерowaniu отверстий с неравномерностью припуска Δz 0,05 мм и 0,3 мм привело к увеличению смещения оси отверстия в 1-ом случае лишь на 0,01 мм, а во 2-ом - на 0,035 мм. В тех случаях, когда операция обработки отверстий не лимитирует производительность, повышение точности расположения обрабатываемых отверстий возможно за счет уменьшения подачи.

ГЛАВА V. НАЗНАЧЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ТОЧНОСТИ К РАСТОЧНЫМ ПОЗИЦИЯМ С ПЛАВАЮЩИМ СОЕДИНЕНИЕМ ИНСТРУМЕНТА СО ШПИНДЕЛЕМ.

Для определения суммарной погрешности расположения оси отверстия Δz при обработке партии заготовок в расточной позиции, имеющей плавающее соединение инструмента со шпинделем, получена зависимость:

$$\Delta z = \sqrt{\Delta y^2 + \Delta \epsilon^2 + \Delta s_1^2 + 3\Delta_{вн}^2 + \Delta_{ун}^2}, \quad (9)$$

где Δy - смещение оси обрабатываемого отверстия, возникающее из-за упругих отжаты звеньев расточной позиции; $\Delta \epsilon$ - смещение оси отверстия из-за погрешности установки заготовки; Δs_1 - смещение оси инструмента с оси отверстия направляющей втулки за счет зазора; $\Delta_{вн}$ - смещение центра вращения режущей точки инструмента относительно оси его направляющей части; $\Delta_{ун}$ - погрешность расположения оси направляющей втулки относительно базовых или других элементов расточной позиции.

На основании выражения (9) найдены зависимости для определения ожидаемой погрешности расположения различных видов: смещения оси отверстия от номинального расположения и относительно баз; погрешности межосевого расстояния отверстий; несоосности отверстий и непараллельности осей отверстий. В образовании суммарной погрешности того или

инного вида удельное значение и число первичных погрешностей непостоянно и зависит от вида выполняемой операции (черновая или чистовая); от схемы ее построения (параллельная или последовательная обработка); от метода обработки отверстий (зенкерование, развертывание, растачивание); от типа расточной позиции (конструкция узлов направления, вид вспомогательного инструмента), ее точности, жесткости и от других факторов. Так, например, погрешность межосевого расстояния 2-х отверстий при параллельной обработке зенкерованием в одной расточной позиции, имеющей погрешность межосевого расстояния узлов направления инструмента $\Delta y_{н(мop)}$, смещения осей инструментов за счет зазоров во втулках Δs_{1I} и Δs_{1II} , упругие отжатия инструментов Δy_I и Δy_{II} , определяется по формуле:

$$\Delta_{мop} = \pm \sqrt{\Delta y_{н(мop)}^2 + \Delta s_{1I}^2 + \Delta s_{1II}^2 + \Delta y_I^2 + \Delta y_{II}^2}, \quad (10)$$

а при последовательной обработке каждого отверстия в различной позиции:

$$\Delta_{мop} = \pm \sqrt{\Delta s_{mI}^2 + \Delta s_{mII}^2 + (\Delta \epsilon_{II} \cos \phi)^2}, \quad (11)$$

здесь Δs_{mI} , Δs_{mII} — смещение оси отверстия от номинального расположения, I-го при обработке в одной позиции и II-го — в другой позиции; ϕ — угол между прямой проходящей через оси отверстий и базовой плоскостью, $\Delta \epsilon_{II}$ — погрешность установки заготовки при обработке II-го отверстия.

Разработана методика назначения требований точности к расточным позициям, исходящая из требований точности расположения обрабатываемых отверстий. Исходные данные для расчетов должны включать информацию: о допускаемых погрешностях расположения осей отверстий в готовой детали и в заготовке; о технологических параметрах обработки (метод обработки, режущий инструмент и его параметры, припуски на обработку, подача инструмента, твердость обрабатываемого материала); о конструктивных параметрах (тип вспомогательного инструмента и узла направления, диаметр направляемой части инструмента, длина направляющих втулок и т.п.) Расчет точностных требований к элементам расточных позиций начинается с определения расчетных погрешностей расположения осей отверстий:

$$\Delta_{\text{см}} = \frac{[\Delta_{\text{см}}]}{K_T}, \quad \Delta_{\text{мор}} = \frac{[L \text{ ор}]}{r} \text{ и т.п.}$$

где $[\Delta_{\text{см}}], [\Delta_{\text{мор}}]$ – допускаемые погрешности по смещению осей отверстия, по межосевому расстоянию отверстий; K_T – коэффициент запаса точности. Далее выявляется зависимость для определения суммарной погрешности заданного вида; назначаются некоторые точностные параметры (например, по таблицам подбирается зазор S_4 и определяется смещение оси инструмента Δ_{S_4}); по известным конструктивно-технологическим параметрам определяется смещение оси отверстия из-за упругих деформаций системы Δ_u . По параметрам Δ_{S_4} и Δ_u находим погрешность узла направления инструмента $\Delta_{\text{ун}}$, используя зависимость для определения суммарной погрешности.

Определение допусков на изготовление узла направления инструмента производится на основе формул для расчета $\Delta_{\text{ун}}$; при этом используются соотношения величин полей допусков. Затем производится оценка величин найденных допусков: если допуски оказались технологически выполнимыми и экономически целесообразными, то их принимают для назначения точностных требований; в противном случае рассматриваются различные варианты расширения полей допусков на изготовление элементов позиции, при которых однако не снижается точность обработки отверстий по их расположению. Если рассмотренные пути повышения точности обработки не дают желаемого результата, то вводится дополнительная операция обработки отверстий.

На базе разработанных формул и расчетно-аналитического метода с применением ЭВМ рассчитаны и созданы таблицы для назначения требований точности к расточным позициям: по допускаемой погрешности расположения оси обрабатываемого отверстия устанавливают требования точности и выбирают конструктивно-технологические параметры позиции.

Основные выводы

1. Эффективность обработки систем отверстий корпусных деталей в расточных позициях автоматических линий при плавающем соединении инструмента со шпинделем снижается из-за недостаточно высокой точности расположения осей обрабатываемых отверстий, которая обеспечивается обычно в

пределах $0,05 \pm 0,15$ мм.

2. Точность расположения оси отверстия при обработке в таких позициях зависит от геометрических погрешностей вспомогательного инструмента и угла его направления; смещения оси инструмента за счет зазора в направляющей втулке; погрешности установки заготовки; погрешности, вызываемой упругими деформациями технологической системы. При чистовом развертывании отверстий диаметром 38 ± 50 мм удельное значение геометрических погрешностей в суммарной погрешности составляет 30-40 %; смещения оси инструмента за счет зазора во втулке - 20-35%; погрешности установки заготовки - 25-35%; погрешности, вызываемой упругими деформациями - 10-20 %. При чистовом растачивании отверстий диаметром 50 ± 60 мм эти погрешности составляют соответственно: 40-50 %, 10-20 %, 30-40 %, 10-20 %.

3. При выборе конструктивного типа вспомогательного инструмента и угла его направления следует учитывать, что вспомогательный инструмент типа "скользящая втулка" вносит дополнительную погрешность по сравнению с цельным инструментом. При использовании угла направления "вращающаяся втулка" легче обеспечить более высокую точность расположения оси инструмента, чем в узле "неподвижная втулка".

4. В расточных позициях, имеющих плавающие соединения инструмента со шпинделем, точность расположения осей обрабатываемых отверстий во многом определяется погрешностью расположения осей направляющих втулок между собой или относительно базовых элементов. Для уменьшения этой погрешности рекомендуется: назначать допуски на координаты, связывающие оси отверстий под втулки между собой и с базовыми элементами позиций, в пределах $\pm 0,007$ мм вместо применяемых $\pm 0,01$ мм; устанавливать эксцентриситет

осей отверстия и наружной поверхности направляющей и постоянной втулок не более $0,003-0,004$ мм; применять для "вращающихся втулок" подшипники качения с эксцентриситетом наружных колец не более $0,003-0,008$ мм.

5. Смещение оси инструмента с оси направляющей втулки в одноопорном узле направления зависит от величины зазора в сопряжении втулка-инструмент, от длины направляющей

втулки и вылета инструмента, а в двухопорном узле - преимущественно от зазоров во втулках и расстояния между втулками. Для снижения смещения рекомендуется: назначать в сопряжении "неподвижная втулка" - инструмент посадку A_1/D_1 вместо используемой A/D , в сопряжении "вращающаяся втулка" - инструмент - A_1/D_1 , A_2/D_{20} , A_{20}/D_{27} ; устанавливать длину втулки в одноопорном узле при зенкеровании $l_{вт} = (3+4)d_{вт}$ (при $d_{вт} \leq 80$ мм), $l_{вт} = (2+3)d_{вт}$ (при $d_{вт} > 80$ мм), при растачивании $l_{вт} = (2,5+3,5)d_{вт}$; назначать длину втулки в двухопорных узлах направления в пределах $(1,5+2)d_{вт}$; ограничивать вылет инструмента по возможности до $(0,3 + 0,4)d_{вт}$.

6. При обработке отверстий наиболее тесная взаимосвязь (близкая к функциональной) между одноименными погрешностями расположения отверстий отмечается для смежной пары операций "отливка отверстий - черновая обработка отверстий" (коэффициент корреляции $r_{xy} = 0,9+0,96$); по мере увеличения числа операций (проходов) эта связь ослабевает и при чистовом растачивании становится стохастической ($r_{xy} = 0,08+0,2$).

7. Для уменьшения отрицательного влияния неравномерности припуска в поперечном сечении обрабатываемого отверстия на точность расположения его оси рекомендуется: устанавливать допуск на расположение оси отверстия в литой заготовке в пределах $(0,5+0,7)$ допуска на его диаметр; уменьшать погрешность установки заготовки; использовать инструмент с меньшим количеством режущих зубьев при сохранении условий обработки.

8. Повышение точности расположения обрабатываемых отверстий достигается уменьшением отжатий узла направления и инструмента за счет снижения зазора в сопряжении втулка-инструмент до значений $8+10$ мкм, уменьшения вылета инструмента, создания предварительного натяга подшипников качения в узлах направления (усилие натяга определять расчетом) и увеличения расстояния между подшипниками.

9. Полученные аналитические зависимости позволяют определять суммарную погрешность расположения осей обрабатываемых отверстий. Предлагаемый расчетный метод позво-

длет назначать требования точности к расточным позициям, обеспечивающие при обработке заданную точность расположения осей отверстий, и вскрывать резервы для повышения точности обработки.

Основные результаты работы опубликованы в следующих изданиях:

1. Деев О.М., Никадимов Е.Ф., Производственные исследования для установления взаимосвязи точности обработки с точностным состоянием агрегатных станков, "Известия ВУЗ"ов.Машиностроение", № 4, 1972.

2. Деев О.М., Смещение осей отверстий, обрабатываемых на агрегатно-расточных станках, имеющих плавающее соединение инструмента со шпинделем, "Известия ВУЗ"ов. Машиностроение", № 9, 1972.