

А. Г. КОСИЛОВА · ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

А. Г. КОСИЛОВА

ТОЧНОСТЬ
ОБРАБОТКИ
ДЕТАЛЕЙ
НА АВТОМАТИЧЕСКИХ
ЛИНИЯХ



КОСИЛОВА ТОЧНОСТЬ
ОБРАБОТКИ
ДЕТАЛЕЙ
НА АВТОМАТИЧЕСКИХ
ЛИНИЯХ

ТОЧНОСТЬ
ОБРАБОТКИ
ДЕТАЛЕЙ
АВТОМАТИЧЕСКИХ
ЛИНИЙ

[illegible]

Москва
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»
1976

6П4.6
К71.
УДК 621.7.015-187.4:621.9.06-52.658.527

Редактор инж. И. К. Шаповалов

Рецензенты инж. М. А. Кунин, инж. Ю. С. Палт

Косилова А. Г.

К71 Точность обработки деталей на автоматических линиях. М., «Машиностроение», 1976.

224 с. с ил.

В книге изложены результаты исследований точности обработки систем взаимосвязанных поверхностей корпусных деталей на автоматических линиях при различных вариантах направления инструментов кондукторными втулками, при жестком и плавающем соединениях инструментов со шпинделями.

Дана методика расчета точности обработки при проектировании технологических процессов. Рассмотрена зависимость точности расположения осей отверстий от различных конструктивно-технологических параметров автоматических линий.

Книга предназначена для инженерно-технических работников, занимающихся разработкой технологических процессов и обработкой деталей на агрегатных станках и автоматических линиях.

К 31207-050 50-76
038(01)-76

6П4.6

© Издательство «Машиностроение», 1976 г.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности производственных процессов в машиностроении неразрывно связано с их автоматизацией и механизацией. Эффективность технологических процессов обработки деталей на металлорежущих станках основана на концентрации обработки во времени, достигаемой путем многоместности, многоинструментности и параллельности выполнения технологических переходов.

Автоматические линии из агрегатных станков, создавая возможности для высокой степени концентрации технологических переходов, позволяют достичь увеличения производительности труда, в сравнении с универсальными станками, в десятки раз. Наиболее эффективно применение автоматических линий при обработке корпусных деталей: производительность труда возрастает, в сравнении с универсальными станками, в 50—100 раз, тогда как при обработке деталей других типов она повышается в 20—30 раз. Поэтому около половины автоматических линий, изготовленных в последние 10 лет, предназначено для обработки корпусных деталей.

В автоматизированном производстве основной характеристикой качества деталей машин является их точность по всем заданным параметрам. Наблюдения за точностью производства на действующих автоматических линиях показали, что в ряде случаев заданная точность обеспечивается с большими трудностями, это особенно относится к точности расположения взаимосвязанных поверхностей конструктивно сложных деталей.

Точностные характеристики работы автоматических линий во времени недостаточно высоки. Расстройства сложных технологических систем приводят к браку, затратам времени на регулировку и наладку, снижают производительность автоматических линий и качество изготавливаемой продукции. Повышение точностной надежности действующих автоматических линий является необходимым условием повышения эффективности производства, которое постоянно должно обеспечивать высокое качество изделий.

Большое влияние на эффективность работы автоматических линий оказывает технологический процесс и функциональные требования ко всем звеньям технологической системы для обеспечения стабильности точностных характеристик изделий в длительном производстве.

Одним из важнейших условий обеспечения точностной надежности технологических процессов механической обработки является стабильность обрабатываемых заготовок по размерам, припускам на обработку, свойствам материала. Весьма важны в этом отношении также высокое качество и точная размерная настройка инструментов и инструментальных блоков.

Проблему точности обработки деталей машин на автоматических линиях можно будет считать решенной тогда, когда все заданные требования точности будут обеспечиваться в течение длительного времени в обычных производственных условиях с достаточно высокой надежностью.

1. Роль технологического процесса в автоматизированном производстве

В автоматизированном производстве конструкция детали, технологический процесс ее обработки, конструкция основных узлов станков и расчет рабочих позиций взаимосвязаны между собой и создаются с учетом этой взаимосвязи. При проектировании технологических процессов для автоматических линий должны учитываться еще и специфические условия автоматизированной обработки: возможность автоматической установки заготовки в рабочей позиции, синхронизация выполнения технологических переходов по времени, соответствие времени цикла заданному такту выпуска, возможность одновременной обработки взаимосвязанных поверхностей со стабильной точностью.

Проектирование и изготовление автоматических линий требуют больших затрат, которые могут окупиться лишь при длительном изготовлении высококачественных изделий. Поэтому важнейшей характеристикой автоматических линий является их всесторонняя надежность. Под надежностью технологических систем понимают способность к бесперебойному выпуску продукции заданного качества в заданном количестве в течение всего срока службы. При изготовлении деталей машин основной характеристикой качества является точность всех параметров детали.

Технологический процесс производства детали — это процесс непрерывного повышения точности ее параметров, процесс постепенного снижения погрешностей черновой заготовки до точных размеров детали, соответствующих требованиям чертежа.

При проектировании технологического процесса в центре внимания находится группа наиболее ответственных взаимосвязанных поверхностей, при обработке которых должна быть обеспечена высокая точность. Обработка таких поверхностей производится в несколько этапов (черновые, чистовые, отделочные переходы), и на каждом этапе достигается определенная точностная задача, которая отражается в назначаемых технологических допусках. Функция, характеризующая повышение точности, носит ступенчатый характер.

Хотя экономически более эффективны варианты с наименьшим числом этапов обработки, обязательным условием при выборе технологического варианта (пусть и с большим числом этапов обработки) является достаточно высокая надежность обеспечения требуемой точности изделий в длительном производстве. В технологическом процессе выходные результаты обработки предшествующего перехода являются входными для последующего. Отклонения входных параметров от запроектированных ведут к отклонениям выходных параметров как на отдельных переходах, так и у законченного изделия. При этом невыполнение заданных требований на отдельных этапах производства приводит к разладке всего технологического процесса. С течением времени, под влиянием производственных факторов (различные нарушения условий и износ), расстройством технологической системы постепенно нарастает, точность обработки снижается и надежность выпуска изделий требуемой точности уменьшается.

Проблему точностной надежности автоматических линий нужно решать разработкой надежных технологических процессов, для которых должны быть определены необходимые и достаточные условия для обеспечения требуемой точности, а именно: заданы требования к точности заготовки, к точности позиций по их основным параметрам, настроечному размеру и точности размерной настройки, установлены предельные состояния по износу и назначены моменты времени вмешательства в процесс для его подналадки (профилактическая регулировка).

Для повышения технико-экономического эффекта применения автоматических линий всегда целесообразна более полная обработка детали на автоматической линии. Выделение каких-либо операций для выполнения вне линии должно быть обосновано. В то же время, при проектировании технологического процесса необходимо учитывать специфические условия достижения точности на автоматических линиях, знать факторы, нарушающие протекание процесса обработки, и не возлагать на автоматическую линию задачу достижения более высокой точности, чем она может обеспечить в оптимальных эксплуатационных условиях. Достижение окончательных высоких требований точности пространственного положения ответственных поверхностей деталей, например, более успешно решается на отдельных, находящихся вне линии (чаще всего алмазно-расточных) станках, обычно при другой схеме установки или с других баз. Часто потребность подготовки основных баз (необходимостью их обработки) для установки детали на автоматической линии диктуется выделением операций обработки базовых поверхностей в самостоятельные операции вне линии. Следует также иметь в виду, что назначение требований точности всех параметров деталей с учетом реальных возможностей их выполнения ведет к повышению надежности автоматических линий.

2. Точностные задачи обработки корпусных деталей на автоматических линиях

Применение автоматических линий дает наибольший эффект при изготовлении корпусных деталей, характеризующихся большим числом обрабатываемых поверхностей и отверстий различного размера, направления и назначения, объединенных системами размерных связей. Автоматические линии позволяют применять многоинструментные схемы обработки с высокой степенью концентрации операций. Перед технологическими процессами обработки корпусных деталей ставится весьма сложный и многообразный комплекс точностных задач. Для деталей других типов характерны лишь отдельные задачи этого комплекса.

Системы взаимосвязанных отверстий корпусных деталей, расположенных на параллельных или перпендикулярных осях, позволяют координировать валы, несущие на себе элементы кинематических и силовых цепей механизмов. Присоединительные поверхности корпусных деталей неподвижных узлов выполняются в виде плоскостей или фланцев; перемещающиеся узлы имеют базовые поверхности в виде направляющих той или иной конструкции. Многие корпусные детали по условиям сборки выполняются разъемными в диаметральной плоскости основных отверстий или с отъемной крышкой, где монтируется вторая опора вала. Крепежные отверстия выполняются сквозными и глухими, гладкими и резьбовыми.

К корпусным деталям станков и двигателей предъявляются высокие технические требования. Основные плоскости обрабатываются по 5—6-му классу шероховатости при допускаемой неплоскостности 0,05—0,15 мм на всей длине (обычно 300—600 мм) и непараллельности плоскостей 0,05—0,1 мм на длине 300 мм. Обработка отверстий в них соответствует 2-му классу точности (реже 1-му и 3-му классам), с отклонением формы в пределах допуска и с шероховатостью по 5—7-му классам.

К системам взаимосвязанных отверстий обычно предъявляются следующие требования: соосность от 0,02 до 0,05 мм; погрешность межосевого расстояния от $\pm 0,03$ до $\pm 0,1$ мм на всей длине, неперпендикулярность осей 0,03—0,1 мм на длине 300 мм. Непараллельность и неперпендикулярность осей отверстий относительно плоскостей должны быть не более 0,03—0,15 мм на длине 300 мм.

Высокие требования к точности расположения отверстий предъявляются при их большой удаленности друг от друга и при обработке их нежестким инструментом. Это затрудняет обеспечение соосности отверстий, а также параллельности и перпендикулярности осей между собой и по отношению к базовым плоскостям. Следует отметить, что методы и средства конт-

роля пространственного положения отверстий при значительном расстоянии между ними отличаются пока большой трудоемкостью и значительными собственными погрешностями. Крепежные отверстия обычно располагаются группами по прямоугольнику или по окружности, при наличии размера, определяющего расположение группы относительно базовых плоскостей или отверстий. Допускаемые погрешности расположения осей обычно составляют 0,1; 0,15; 0,2 и 0,25 мм. В ряде случаев погрешность расположения задается как допускаемое отклонение от номинала от $\pm 0,1$ до $\pm 0,25$ мм.

Чаще всего на автоматических линиях из агрегатных станков обрабатываются такие детали двигателей, как головки блоков цилиндров, блоки цилиндров, коробки передач. Но и при обработке некорпусных деталей возникают аналогичные технологические задачи, например, при обработке соосных систем отверстий у поворотной цапфы и стойки передней подвески колес автомобиля, в удлинителе-хвостовике коробки передач, при обеспечении координат отверстий у деталей типа шатунов и т. п.

3. Технологическое исследование автоматических линий

Задачи технологических исследований. Переход к комплексной автоматизации производственных процессов в машиностроении требует изучения закономерностей протекания процессов и выявления факторов, нарушающих стабильность показателей качества продукции в ходе производства и снижающих надежность.

Исследования автоматических линий до недавнего времени были направлены только на решение конструкторских задач и выявление резервов производительности за счет сокращения потерь рабочего времени. Технологические процессы рассматривались в этом сочетании вопросов, а точность изучали лишь на участках, где был брак.

Основным вопросом технологического исследования автоматической линии является изучение процесса повышения точности размеров, форм и пространственного положения наиболее ответственных поверхностей детали в ходе ее обработки от черновой заготовки до готовой детали. При этом выявляется роль каждого перехода в повышении точности, а для каждого момента обработки (перехода; позиции) выявляются действующие факторы и относительное значение каждого из них в суммарной погрешности обработки. Таким образом, основным объектом технологического исследования автоматических линий является изготавливаемая деталь, ее точностные характеристики в данный момент. Влияние других звеньев технологической системы на точность обработки определяется через деталь.

Исследования должны отражать следующие основные вопросы проектирования технологических процессов для автоматических линий; 1) обоснование требований к черным заготовкам в связи с точностью их установки и уточнением в ходе обработки, а также установление нормативных величин для расчета припусков на обработку; 2) обоснование выбора методов обработки и необходимого числа последовательно выполняемых переходов обработки наиболее ответственных поверхностей для обеспечения заданных требований точности; 3) нахождение оптимальной степени концентрации переходов в одной позиции, исходя из условий нагружения и требуемой точности обработки; 4) технологическое обоснование выбора режимов резания для заданных точностных требований; 5) выбор схем установки и рекомендации по проектированию установочных элементов приспособлений автоматических линий для обеспечения точности обработки; 6) выбор схем направления инструментов и рекомендации по проектированию соответствующих узлов автоматических линий, в связи с требованиями точности обработки; 7) выбор методов настройки станков на требуемые размеры и контрольных средств для обеспечения точности настроечных размеров; 8) обоснование требований к точности рабочих позиций по параметрам, оказывающим непосредственное влияние на точность обработки; 9) изучение тенденций и интенсивности снижения точности обработки во времени под влиянием износа. Результаты исследования используются для выявления и формулирования рекомендаций по разработке технологических процессов и проведению точностных расчетов при проектировании.

Исследования должны носить комплексный характер, учитывать неразрывную связь всех этапов производства (включая точность заготовительных процессов) и влияние всех звеньев технологической системы, конструктивные характеристики узлов и позиций. Выявление требований технологичности конструкций деталей для обработки на автоматических линиях окажет влияние и на конструирование деталей, наиболее отвечающих требованиям изготовления на автоматических линиях.

Методика исследований в производстве. Как свидетельствуют теоретические работы и практика производственной деятельности, применение методов математической статистики для технологических исследований в массовом производстве вполне допустимо [6, 38; 40]. По статистическим характеристикам — по разбросу величин, средней величине, среднеквадратическому отклонению величин погрешностей — можно судить о точности текущего производства. Для этого нужно определить величину суммарной погрешности для любой операции и технологического перехода и оценить путем ее сопоставления с величиной погрешности, допускаемой чертежом или технологическим процессом. Настроенность отдельных операций и всего технологического процесса, стабильность и устойчивость технологиче-

ских процессов по операциям оцениваются сравнением заданных точностных характеристик с данными исследований.

При выявлении взаимосвязей между отдельными факторами точности изучается роль каждой технологической операции в достижении конечной точности, определяются допустимые пределы отклонений входных характеристик (например, точности заготовок), допустимые величины систематических погрешностей (например, геометрической точности станка). На основе изменений точностных характеристик во времени, изучаемых в связи с изменением доминирующего фактора (например, износом кондукторных втулок, износом базовых элементов позиций), выясняются предельно допустимые границы износа.

Суммарная погрешность обработки деталей машин включает погрешности, зависящие от станка, приспособления, инструмента, обрабатываемой заготовки и условий обработки. Величина каждой погрешности не остается постоянной во времени. Так, первоначальные геометрические неточности станка, вследствие износа, неизменно возрастают со временем. Это — систематические погрешности, на которые можно оказывать воздействие, ограничивая их влияние допустимыми пределами. Погрешности, зависящие от обрабатываемой заготовки, такие, как колебание величины припуска на обработку и колебание механических характеристик материала, приводят к изменению условий обработки из-за колебаний величин действующих сил и вызываемых ими упругих отжатий технологической системы. Это — случайные погрешности, которые могут то появляться, то исчезать, иметь то большую, то меньшую величину, то прибавляться, то вычитаться. Случайные погрешности вызывают рассеяние размеров деталей, полученных обработкой на станке при номинально неизменных условиях.

Обработка деталей машин на металлорежущих станках протекает в условиях действия многих факторов, и суммарная погрешность обработки образуется под влиянием всех этих факторов.

Согласно теореме Ляпунова суммарная погрешность подчиняется закону нормального распределения, если она является суммой частных величин, вызванных значительным числом случайных факторов и некоторым числом систематических факторов (причем число случайных и систематических факторов во времени не меняется); если все случайные факторы взаимно независимы и среди них нет доминирующих (т. е. все факторы, по степени влияния на суммарную величину, являются факторами одного порядка). При нарушении этих условий фактическое распределение суммарной погрешности будет отклоняться от закона нормального распределения.

Опыт исследований показывает, что при работе на настроенных станках и нормальных условиях производства распределение действительных размеров деталей, обработанных

при относительно постоянной настройке станка, следует закону нормального распределения. И это тем вернее, чем более правильно построен технологический процесс, чем надежнее устранены доминирующие погрешности и чем меньше по величине каждая из составляющих погрешностей.

Дифференциальная функция распределения случайной величины, подчиняющейся закону нормального распределения (закону Гаусса), имеет вид:

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где x — переменная случайная величина; $\varphi(x)$ — плотность вероятности; $\bar{x}$ — среднеарифметическое значение величины x ; σ — среднеквадратическое отклонение величины x ; e — основание натуральных логарифмов; $e=2,71828$.

Математический анализ показывает, что вероятность появления случайной величины в пределах $\bar{x} \pm 3\sigma$ равна $2\Phi(t) = 0,9973$, т. е. близка к единице.

Резкое отклонение полученного в процессе исследования фактического распределения от нормального может произойти вследствие появления доминирующего фактора (погрешности, имеющей распределение, отличающееся от нормального) или вследствие нарушения стабильности изготовления партии. Погрешность от доминирующего фактора искажает форму кривой. Погрешность от нестабильности условий изготовления партии может привести к изменению положения центра группирования (среднего размера $\bar{x}$), к изменению среднеквадратического отклонения (меры рассеяния — σ) или к одновременно изменению обоих параметров. Для использования закона нормального распределения нужно знать оба параметра. Нестабильность условий обработки партии деталей возникает, например, при увеличении упругих отжатый технологической системы, когда по мере затупления инструмента возрастают усилия резания.

Закону нормального распределения подчиняются: погрешности линейных размеров деталей и заготовок, погрешности установки заготовки и размерной настройки инструментов, шероховатость поверхности, характеристики механических свойств материалов и ряд других признаков качества в машиностроении [38].

Закону Максвелла (закону распределения эксцентриситета) могут подчиняться: радиальное биение двух номинально соосных поверхностей, непараллельность, перпендикулярность оси отверстия к плоскости, другие случаи смещения.

Дифференциальная функция распределения эксцентриситета (закон Максвелла) определяется выражением

$$\varphi(r) = \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}, \quad (2)$$

где r — переменная величина эксцентриситета или биения; $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ при x и y , равных координатам смещения точки r ; σ — среднеквадратическое отклонение координат x и y ; $\sigma = \sigma_x = \sigma_y$. Особенностью данного распределения является то, что координаты точки r имеют нормальное распределение, а само распределение величины r не является нормальным.

Связь между σ_r , $\bar{r}$ и σ видна из выражений

$$\bar{r} = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}}; \quad \sigma_r = \sigma \sqrt{2 - \frac{\pi}{2}},$$

где $\bar{r}$ — средняя величина; σ_r — среднеквадратическое отклонение величины r .

Математический анализ показывает, что центр группирования величин находится на расстоянии $r = \sigma$ от начала координат. Теоретически величина r может принимать любые значения от 0 до ∞ , практически же вероятность появления случайной величины r вне интервала от 0 до 3σ не превосходит 0,0113 (т. е. 1,13%). Для использования закона эксцентриситета в исследованиях достаточно знать один из параметров σ_r или $\bar{r}$, так как оба параметра связаны между собой постоянным соотношением. Закон распределения таких погрешностей, как отклонение от симметричности и параллельности в фиксированных положениях, а также погрешности межосевых расстояний ближе подходят к закону модуля разности, для которого основными характеристиками служат так же, как и в предыдущих случаях, среднеквадратическое отклонение и среднее значение величины (математическое ожидание).

В действующем производстве трудно уловить степень отклонения процесса от нормального. Это возможно сделать лишь при сопоставлении эмпирического распределения с теоретическим нормальным распределением по одному из принятых в математической статистике критерию [38]. Поэтому при массовых исследованиях точности производства, до разработки выводов и рекомендаций, на основе теории выборок устанавливается характер эмпирического распределения и оценивается близость его к теоретическому распределению.

Для математического анализа были приняты следующие условные обозначения:

x_i — контролируемый параметр (размер случайной величины);

R — поле рассеяния величины (размах распределения);

- $\bar{x}$ — среднеарифметическое значение контролируемого параметра при исследовании;
 $x_{\text{ср}}$ — средний размер контролируемого параметра x_i по чертежу или технологическому процессу;
 Δ — допуск на размер контролируемого параметра x_i по чертежу или технологическому процессу;
 $\sigma_{\text{ф}}$ — среднее квадратическое отклонение случайной величины x_i контролируемого параметра при исследовании;
 σ — среднее квадратическое отклонение случайной величины x_i теоретической кривой нормального распределения.

При числе деталей в контролируемой выборке $N > 25$

$$\sigma_{\text{ф}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N}}, \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_{\text{ср}})^2}{N}};$$

при числе деталей в контролируемой выборке $N < 25$

$$\sigma_{\text{ф}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}, \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_{\text{ср}})^2}{N - 1}}.$$

Стабильно протекающий технологический процесс характеризуется неизменностью величины поля рассеяния размеров и правильным положением центра настройки, при котором среднеарифметическое значение величины контролируемого параметра не отклоняется от координаты середины поля допуска.

В действующей технологической системе постепенно появляются отклонения, приводящие к изменению поля рассеивания или средней величины выдерживаемого параметра. Поэтому в длительном производстве весьма важно оценить и обеспечить во времени устойчивость процесса требуемой точности.

Технологический процесс устойчив, если все параметры точности находятся в пределах допуска в течение времени между установленными моментами подладки (регулировки). Статистическая оценка устойчивости процесса определяется степенью соответствия фактического распределения размеров закону распределения, а точность процесса — сопоставлением фактического поля рассеяния с полем допуска. Показатель рассеяния K_p по ГОСТ 16467—70 характеризует степень соответствия поля рассеяния контролируемого параметра полю допуска на рассматриваемый параметр.

Показатель рассеяния $K_p = \frac{\omega}{\delta}$, где δ — поле допуска; ω — поле рассеяния $\omega = ls$; l — коэффициент, зависящий от закона распределения; s — среднее квадратическое отклонение.

Для закона Гаусса $l \approx 6$; для закона Максвелла $l = 5,25$; при $K_p \leq 1$ точность процесса достаточная, при $K_p > 1$ — недостаточ-

ная. Это правильно, пока центр настройки совпадает с заданным средним размером ($\bar{x} = x_{\text{ср}}$). При смещении центра настройки точность процесса может оказаться неудовлетворительной: при $K_p = 1$ и даже при $K_p < 1$ часть деталей будет выходить за пределы поля допуска. Точность настройки технологических операций характеризуется показателями уровня настройки, смещения центра рассеяния и межнастройочной стабильностью. При анализе конкретных операций удобно пользоваться абсолютным значением величины смещения центра настройки.

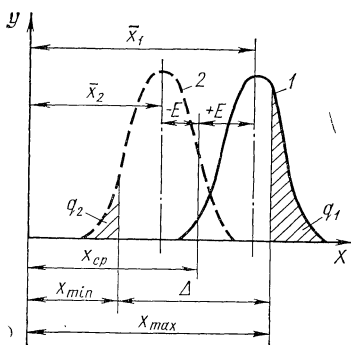


Рис. 1. Схема расположения величин при распределении по нормальному закону Гаусса:

1 — теоретическая кривая; 2 — эмпирическая кривая

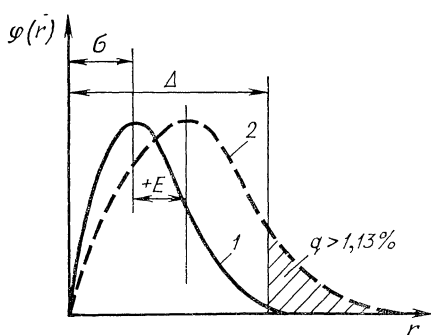


Рис. 2. Схема расположения величин при распределении по закону Максвелла:

1 — теоретическая кривая; 2 — эмпирическая кривая

Величина смещения E центра настройки в общем случае определяется разностью средних размеров контролируемого параметра по чертежу или технологии $x_{\text{ср}}$ и фактически получаемого для партии деталей, обработанных при данной настройке станка $\bar{x}$; $E = \bar{x} - x_{\text{ср}}$. Если $\bar{x} > x_{\text{ср}}$, то E имеет положительное значение, т. е. $+E = \bar{x} - x_{\text{ср}}$, если $\bar{x} < x_{\text{ср}}$, то E имеет отрицательное значение, т. е. $-E = x_{\text{ср}} - \bar{x}$, при $\bar{x} = x_{\text{ср}}$ $E = 0$.

Показатель уровня настройки $K_n = \frac{x - x_{\text{ср}}}{\delta}$, где x — заданный размер; $x_{\text{ср}}$ — среднее фактическое значение размера; δ — поле допуска.

Из приведенной на рис. 1 схемы видна взаимосвязь рассматриваемых величин. Кривые 1 и 2 характеризуют распределение размеров при двух настройках процесса; x_{max} ; x_{min} — предельные значения измеренных величин при двух настройках; Δ и $x_{\text{ср}}$ — допуск и средний размер для исследуемого параметра по технологическому процессу; $\bar{x}_1$ — среднее арифметическое значение размеров для партии деталей, обработанных при первой настройке ($\bar{x}_1 > x_{\text{ср}}$); $+E = \bar{x}_1 - x_{\text{ср}}$ — положительное смещение центра настройки; $\bar{x}_2$ — среднее арифметическое значение размеров для партии деталей, обработанных при второй настройке

процесса ($\bar{x}_2 < x_{\text{ср}}$); $-E = \bar{x}_2 - x_{\text{ср}}$ — отрицательное смещение центра настройки. При больших величинах смещений центра настройки $+E$ и $-E$ допуск не может быть выдержан и возникает вероятность появления брака, характеризуемая площадью q_1 для первого случая и площадью q_2 для второго случая [40].

По теории вероятности процент брака определяется:

$$q = [0,5 - \Phi(t)] 100\%,$$

где $\Phi(t)$ — нормированная функция Лапласа.

Подставляя конкретные значения для $t = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$, определяем

$$q_1 = \left[0,5 - \Phi\left(\frac{0,5\Delta + E}{\sigma}\right) \right] 100\%;$$

$$q_2 = \left[0,5 - \Phi\left(\frac{0,5\Delta - E}{\sigma}\right) \right] 100\%.$$

Допускаемая величина смещения центра настройки в ту или иную сторону E_d не должна превышать половины разности $\Delta - 6\sigma$, т. е. $E_d = \frac{\Delta - 6\sigma}{2}$. Величину $\pm E_d$ следует рассматривать как допуск на размерную настройку Δ_n . Для работы без брака необходимо, чтобы фактическая погрешность настройки $\Delta_{п.ф}$ не превышала допускаемой погрешности $\Delta_{н.д}$, т. е. $\Delta_{п.ф} \leq \Delta_{н.д}$. При распределении случайной величины по закону Максвелла (рис. 2) смещение кривой фактического распределения 2 с теоретической кривой 1 на E определяет вероятность получения повышенного процента брака.

Теоретическое положение центра группирования размеров (максимальная ордината) ограничивается величиной σ ; при $K_p < 1$ максимальная ордината располагается на расстоянии $\frac{\Delta}{3}$ и совпадет с σ , т. е. $\sigma = \frac{\Delta}{3}$.

$$\text{Вероятностный процент брака } q = \left[\frac{1}{e^{\frac{\Delta^2}{2\sigma^2}}} \right] 100\%.$$

Эмпирическая кривая распределения может характеризоваться размахом распределения, превышающим допуск Δ при наличии смещения центра группирования в ту или иную сторону. При $E = 0$ точность настройки удовлетворительна; при отрицательном значении ($-E$) точность настройки хорошая, а при положительном значении ($+E$) точность настройки неудовлетворительная.

Технологические процессы механической обработки протекают при одновременном действии многих факторов, оказы-

вающих влияние на суммарную погрешность. Выявление влияния отдельных факторов или установление взаимосвязей между факторами этого комплекса возможно на основе метода корреляционного анализа. В отличие от функциональной корреляционная зависимость выражает частичную связь одного явления с другим при одновременном влиянии других факторов, характеризует форму связи и тесноту связи между этими явлениями. В частности, этим методом изучается взаимосвязь одноименных погрешностей на предшествующем и на данном переходах, устанавливается степень переноса погрешностей, технологическое наследование погрешностей от перехода к переходу.

Корреляционная зависимость характеризуется теоретическим коэффициентом корреляции

$$\rho_{x,y} = \frac{\mu_{x,y}}{\sigma_x \sigma_y},$$

где $\mu_{x,y}$ — коэффициент ковариации; σ_x, σ_y — среднеквадратические отклонения исследуемых величин. Коэффициент корреляции указывает на тесноту связи между двумя случайными величинами и изменяется от -1 до $+1$. При прямой линейной зависимости, когда с возрастанием значений x_i увеличиваются значения y_i , $\rho_{x,y} = +1$. При обратной линейной зависимости, когда с возрастанием значений x_i значения y_i уменьшаются, $\rho_{x,y} = -1$. Если между x и y отсутствует зависимость, то $\rho_{x,y} = 0$. Чем значение $\rho_{x,y}$ ближе к единице, тем теснее связь между исследуемыми переменными величинами, чем ближе к нулю — тем слабее связь.

Для выборки небольшого объема эмпирический коэффициент корреляции r_{xy} определяется по формуле

$$r_{xy} = \frac{N \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{N \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}}, \quad (3)$$

где x_i и y_i — отклонения от номиналов для величин исследуемых параметров; N — число деталей в выборке.

Корреляционный анализ связан с составлением корреляционной таблицы, построением поля корреляции, вычислением координат эмпирической линии регрессии и определением уравнения регрессии. Все это позволяет выявить коэффициент влияния (копирования, наследования погрешностей) при одновременном выявлении собственной погрешности операции.

Характеристики технологических процессов, изменяющиеся во времени с изменением положения центра рассеяния и характеристики рассеяния, например, в связи с износом инструмента или втулок, направляющих инструмент, изучается в технологии машиностроения методом точечных и точностных диаграмм [38].

4. Точность заготовок корпусных деталей

Заготовки, обрабатываемые на автоматических линиях. Учитывая массовость выпуска, условия обработки и транспортировки в автоматических линиях, к заготовкам необходимо предъявлять более высокие требования точности, чем для неавтоматизированной обработки. Материалом для корпусных деталей обычно служит серый чугун различных марок, алюминиевые сплавы и ковкий чугун. Заготовки получают литьем в песчаные формы, в кокиль или литьем под давлением. В табл. 1 приведены основные данные по заготовкам корпусных деталей, обрабатываемых на автоматических линиях. Для отливок под давлением коэффициент использования материала составляет $\sim 0,9$, для кокильного литья и для литья в песчаные формы он равен $0,7-0,8$. Следует отметить, что припуски на обработку в практике проектирования назначаются одинаковыми для всех поверхностей (без расчетных обоснований и учета технологии обработки каждой поверхности). Эти величины общих припусков для одноименных деталей на разных автоматических линиях составляют $3-5$ мм на сторону. Отливки из чугуна выполняются по II, реже по I или III классам (ГОСТ 1855—55). Литье в кокиль из алюминиевых сплавов обычно соответствует классу ЛТ-5 (реже ЛТ-7) по нормали АН 1026—55. Для литья под давлением предусматриваются уменьшенные припуски (общий припуск $2-3$ мм) и более жесткие допуски, оговариваемые отдельными техническими условиями. Ориентировочно назначаемые допуски соответствуют классам ЛТ-2—ЛТ-4 нормы АН 1026—55 для литья из цветных сплавов в кокиль. Техническими условиями регламентируются дефекты отливок, в частности остатки прибылей и заусенцев на обрабатываемых поверхностях могут иметь высоту до 2 мм, а на необрабатываемых до 1 мм. К черновым базам предъявляются повышенные точностные требования: отсутствие неровностей и уменьшенные уклоны ($1-2^\circ$). Величина коробления отливок допускается до $1/2$ припуска на механическую обработку. Лишь для отдельных деталей вводятся более жесткие ограничения (например, для некоторых головок блоков допускается коробление не более 1 мм на всей длине). Смещения по линии разъема отливок не должны быть более 1 мм.

Взаимосвязь точности заготовок с точностью обработанных деталей. Стабильность точностных характеристик деталей, обрабатываемых на автоматических и поточных линиях, весьма существенно зависит от точности размеров и форм заготовок и от стабильности механических свойств материала. Точность поступающих в производство отливок нужно считать важным фактором точности текущего производства и дальнейшее повышение их точности — большим резервом повышения точностной надежности технологических процессов. От точности заготовок су-

Характеристика заготовок корпусных деталей

Наименование детали	Шифр автоматической линии, фирма	Габариты детали, мм	Марка материала и твердость по Бринеллю в кгс/мм ²	Масса, кг		Коэффициент использования металла	Метод литья, нормаль, ГОСТ	Класс точности
				черно-вой	чисто-вой			
Головка блока цилиндров	1Л75	416×116×95	Ал-9 HB 50—60	12	8,3	0,69	В кокиль АН1026-55	ЛТ-5
	«Рено»	552×191×100	Ал-4 HB 70	12	9,15	0,76	То же	ЛТ-5
	1Л83а-в	580×220×115	Ал-4 HB 70	18,8	14,1	0,75	»	ЛТ-5
	«Хюллер»	475×157×116	АК6М2 HB 70	9,6	7,8	0,81	»	ЛТ-5
Блок цилиндров	1Л178	586×438×330	Ал-4 HB 70	29	26	0,9	Под давлением	Отклонения от ±0,2 до 0,5 II
	1Л95—1Л99	646×580×343	СЧ 24-44 HB 170—241	134,2	106,5	0,79	В песчаную форму, ГОСТ 1855-55	
	1Л270— 1Л277	440×285×266	СЧ 24-44 HB 190—240	42	38	0,9	То же	II
Картер коробки перемены передач (КПП)	1Л85	370×230×310	СЧ 18-36 HB 170—229	31,25	27	0,87	»	II
	Поточная линия	182×195×196	СЧ 18-36 HB 170—229	7,63	6	0,78	»	II

Наименование детали	Шифр автоматической линии, фирма	Габариты детали, мм	Марка материала и твердость по Бринеллю в кгс/мм ²	Масса, кг		Коэффициент износа металла	Метод литья, нормаль, ГОСТ	Класс точности
				Черновой	Чистовой			
Картер сцепления	«Рено» Поточная линия	550×225×415	СЧ 15-32 HB 170—229	42,92	30,4	0,7	В песчаную форму, ГОСТ 1855-55 В кокиль АН 1026—55	II
		338×173×237	Ал-9 HB 70	4	3,28	0,82		ЛТ-7
Картер рулевого механизма	«Рено» «Геллер»	180×145×130	Ал-9 HB 50	1,25	0,94	0,75	То же	ЛТ-5
		305×300×164	КЧ 35-10	11			В песчаную форму. Пресса на прессе	II
Крышка распределительных шестерен	1Л89	320×260×67	Ал-4 HB 70	2,4	1,84	0,77	В кокиль АН 1026—55	ЛТ-5
Удлинитель КПП	1Л51	Ø 135×335	Ал-9В HB 60	1,9	1,75	0,9	Под давлением	Отклонения размеров до ±0,5
Корпус подшипников распределительного вала	«Хюллер»	410×98×61	Ал	1,23	0,75	0,68	То же	
Тормозной барабан	«Геллер»	Ø 272; h=66	СЧ 18-36	8	4,8	0,6	В песчаную форму	I
Крышка КПП	«Рено»	365×230	СЧ 15-32	8,02	6,9	0,86	То же	II

щественно зависит величина погрешности базирования, безотказность работы базирующих и зажимных механизмов установочных приспособлений и условия закрепления. Непостоянство величин припусков на обработку приводит к разбросу выдерживаемых размеров, вследствие изменения величин отжаты в системе СПИД под действием изменяющихся сил резания. Это особенно относится к точности расположения осей отверстий, обработка которых протекает при относительно менее жестком инструменте, чем обработка наружных поверхностей.

При смещении оси отверстия заготовки с номинального положения, его обработка протекает при снятии неравномерного припуска и одностороннем нагружении инструмента. Погрешности заготовки уменьшаются с каждым технологическим переходом, но характер погрешности сохраняется до конца обработки. Поэтому можно говорить о степени уменьшения погрешности на той или иной стадии обработки, характеризуя ее коэффициентом уточнения, или, наоборот, о степени переноса погрешности, характеризуемой коэффициентом копирования погрешности.

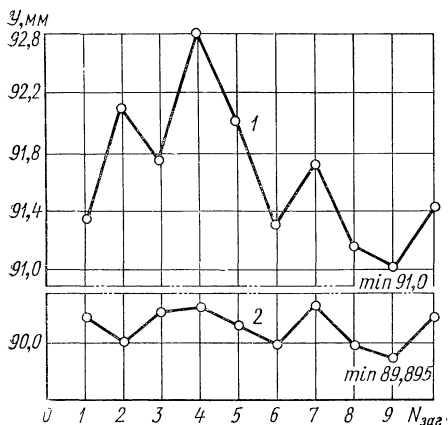


Рис. 3. Взаимосвязь погрешности межосевого расстояния у черновой заготовки 1 и после обработки на автоматической линии 2

Взаимосвязь погрешностей одного и того же размера на смежных технологических переходах видна из рис. 3. Погрешности межосевых расстояний двух отверстий, расположенных на параллельных осях, у картера из ковкого чугуна, после обработки на автоматической линии схожи с погрешностями заготовок (за исключением заготовки № 2); так, заготовка № 4, имевшая наибольший размер, после обработки имела также наибольший среди обработанных размер, а заготовка № 9 имела соответственно самые наименьшие размеры и до и после обработки. Корреляционная зависимость межосевого расстояния y_i после обработки на автоматической линии от его размера в отливке x_i характеризуется уравнением $y = -0,131 + 0,13x$ и коэффициентом корреляции $r_{xy} = 0,584$. Коэффициент указывает на наличие связи между погрешностями межосевого расстояния у отливок и у обработанных деталей.

Аналогична взаимосвязь погрешностей межосевых расстояний отверстий под шейки коленчатых и распределительных валов блока цилиндров и непараллельность осей тех же отвер-

стей у полученной литьем под давлением заготовки и после чернового растачивания отверстий.

Точность заготовок в действующем производстве. Массовый контроль отливок для корпусных деталей ряда наименований показал, что их точность не может удовлетворять требованиям автоматизированного производства. Даже у отдельных партий заготовок, отлитых в одном кокиле или пресс-форме, точность размеров и величины общих припусков близки к требуемым нормалью и учитываемым в технологическом процессе лишь на протяжении какого-то времени, затем стабильность этих точностных характеристик резко нарушается. Точно так же отличаются и заготовки, поставляемые разными заводами, и на одном заводе, получаемые в кокилях-дублерах, отливаемые в разные сроки его службы. Это приводит к снижению точностных характеристик отливок, поступающих в течение месяца, квартала, года.

Заготовки головок блоков, получаемые литьем в кокиль (для трех двигателей), по габаритным размерам, расстоянию плоскостей от черновых баз и межосевым расстояниям отверстий под седла клапанов ориентировочно соответствуют классу ЛТ-5 нормали АН 1026-55. Припуски на обработку не превышают проектные. Однако измерения показали, что для большинства размеров отливки их номинальные значения не соблюдаются. Вследствие этого нередко предельные размеры отливок, выполненных в разное время, смещаются в одну сторону и, с учетом смещений, заготовки выходят из поля допуска. Размеры для полученных в отливке отверстий обычно занижены, а для наружных поверхностей завышены. Для точности межосевых расстояний отверстий под седла клапанов имеет значение отклонение их у заготовок, так как при несоблюдении их номинальных величин обработка отверстий происходит в условиях неравномерного распределения припусков, что вызывает смещение осей обрабатываемых отверстий. Точность межосевых расстояний отверстий, расположенных в одной камере сгорания (рис. 4) (с номинальным межосевым расстоянием $b_{\text{ном}}=41$ мм) и в разных камерах сгорания (с номинальным межосевым расстоянием $b_{\text{ном}}$ — до 250 мм) выдерживается

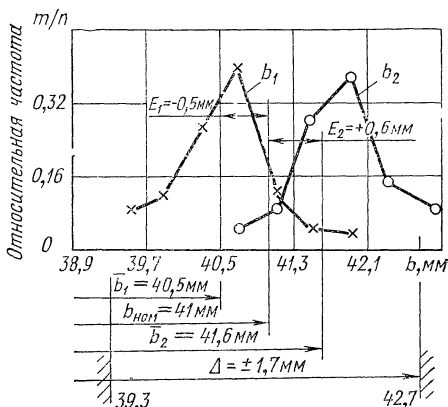


Рис. 4. Кривые распределения величин межосевых расстояний отверстий под седла клапанов в отливке

с отклонением от 2,3 до 3,3 мм, при величине среднеквадратического отклонения σ от 0,38 до 0,56 мм. Межосевые расстояния для одной пары отверстий укладываются в более жесткие допуски, а отклонения размеров для всех четырех пар отверстий несколько больше. Это объясняется смещением средних величин с номинала.

На рис. 5 представлены кривые распределения, характеризующие точность отливок картера коробки передач (КПП) по

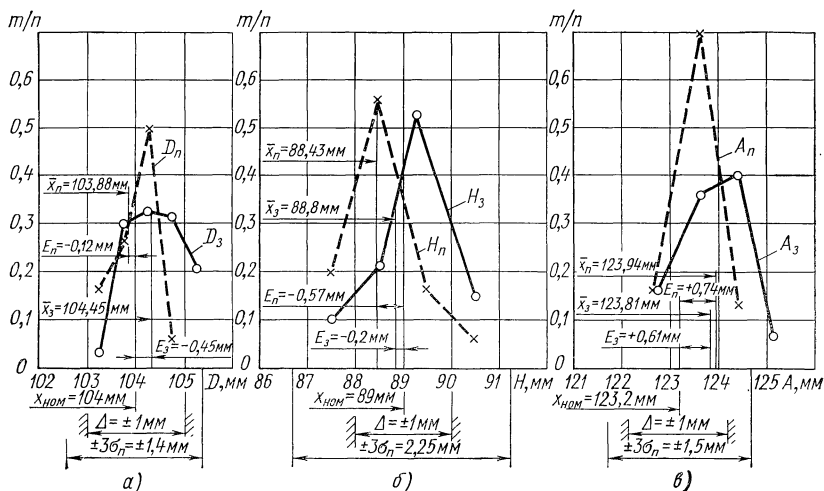


Рис. 5. Кривые распределения размеров в отливке картера КПП:

а — диаметральных размеров отверстий (D); б — расстояний от оси отверстий до базы (H); в — межосевых расстояний (A)

основным размерам (заготовки из серого чугуна отливались в песчаную форму). Диаметральные размеры отверстий под промежуточный вал (как и под первичный и вторичный валы) в передней и задней стенках D_n и D_z выполняются со смещением центра группирования от среднего размера. Это для размеров у заднего торца (D_z) вызывает выход некоторого количества заготовок из поля допуска (рис. 5, а). Расстояния H_n и H_z осей отверстий от базовой плоскости и у передней и у задней стенок смещены и от номинала и относительно друг друга (рис. 5, б). Это можно объяснить перекосом стержней при формовке. Межосевые расстояния A_n и A_z отверстий у переднего и заднего торцов (рис. 5, в) для большинства заготовок выше номинального на 0,6—0,7 мм и в 20% случаев выходят за пределы допуска по наибольшему предельному размеру. Можно отметить плохую настроенность технологического процесса в литейном цехе, так как требования точности II класса не обеспечиваются и фактически отливки картера выполняются по III классу точности, ГОСТ 1855—55.

Оценка точности отливок методом математической статистики показала неудовлетворительную настроенность технологического процесса получения отливок. Для основных размеров отливок серого чугуна коэффициент рассеяния $K_p > 1$. Так, для диаметральных размеров картера КПП $K_p = 1,4 \div 2,2$; для расстояний осей отверстий от базовой плоскости и межосевых $K_p = 1,5 \div 2,5$. Величина смещения центра настройки $E = x_{\text{ср}} - \bar{x}$ также имеет недопустимые значения ($E = 0,6 \div 0,75$).

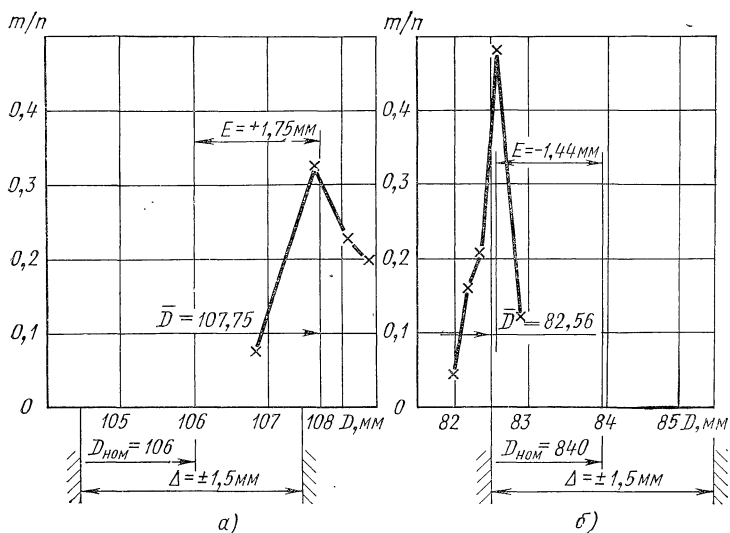


Рис. 6. Кривые распределения размеров отливки картера рулевого механизма:

а — наружного диаметра базового цилиндра; б — диаметрального размера отверстия в гидроцилиндре

При таких характеристиках точности технологического процесса весьма велика вероятность выхода размеров за поле допуска.

Картер рулевого механизма не имеет развитых габаритных плоскостей: его форма образуется двумя пересекающимися цилиндрами и примыкающими к ним фланцами и полками. Подобные детали обрабатываются при установке в спутниках, с базированием по необрабатываемым поверхностям; это обуславливает повышенные требования к точности выполнения литых баз. Диаметральные размеры цилиндра, служащего основной базовой поверхностью, сильно завышены (рис. 6, а). Другие наружные поверхности также выполняются с завышением размеров, а размеры отверстий занижены (рис. 6, б). Межосевое расстояние отверстий в гидроцилиндре и в патрубке выполняется с отклонением от номинала от $+1$ до $+3$ мм при среднем отклонении $+2,3$ мм. Для всех поверхностей харак-

терны погрешности, вызывающие утяжеление отливки и увеличение припусков на обработку.

Производственные исследования показали, что точность отливок под давлением, хотя и значительно выше, чем при других видах литья, но ниже того уровня, который намечался при проектировании технологических процессов, и назначенные допуски

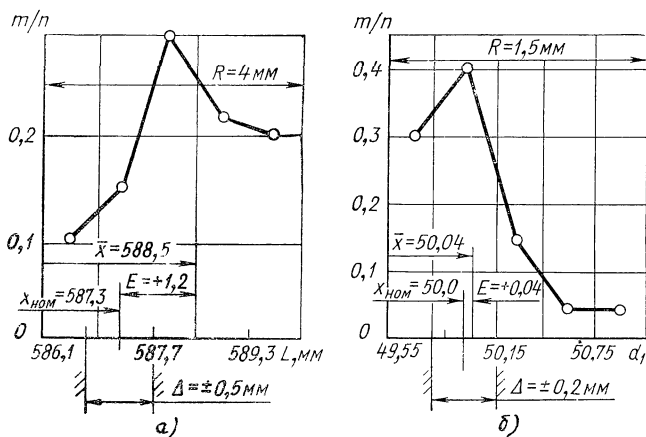


Рис. 7. Кривые распределения размеров блоков цилиндров, отлитых под давлением:

а — длина блока; б — диаметральные размеры отверстий

часто не обеспечиваются. Исследование точности заготовки такой сложной корпусной детали, какой является блок цилиндров V-образного двигателя, указывает прежде всего на нарушение функциональной взаимозаменяемости пресс-форм — дублеров и на снижение точности отливок по мере износа каждой пресс-формы. Так, разница средних величин для размеров отливок, полученных из трех пресс-форм, достигает 1,2 мм при допуске на размер $\pm 0,5$ мм (рис. 7, а).

Диаметральные размеры соосных отверстий под распределительный вал в переднем и заднем торцах выполнены у 60—70% заготовок в пределах допуска ($\pm 0,2$ мм), с предусмотренными величинами припусков на обработку. Этому способствует весьма близкое совпадение среднего размера заготовок с номинальным размером (рис. 7, б). Межосевые расстояния отверстий под коленчатый и распределительный валы несколько смещены в сторону уменьшения. Кроме того, наблюдается непараллельность осей отверстий со средней величиной 0,5 мм. Эти погрешности нарушают симметричность распределения припусков при обработке отверстий.

Сравнение погрешностей отливок с трех литейных машин показывает, что исполнительные размеры полостей и стержней, а также изменения размеров под влиянием износа литей-

ных форм и их оснастки при проектировании не связываются с точностными требованиями к отливкам. Изменение размеров происходит за счет усадки материалов при изменении его химического состава, неточной установке стержней при каждом цикле сборки пресс-формы под заливку, разной дозировки графитовой смазки, неточного закрытия пресс-форм (неплотное смыкание формы возможно, например, из-за спрессовывания остаточной смазки). Под влиянием всех этих факторов в пресс-формах-дублерах отливаются заготовки с различным и меняющимся во времени сочетанием погрешностей.

Изучение условий обеспечения точности отливок под давлением для последующей настройки технологических процессов литья должно способствовать установлению обоснованных требований точности для определенных видов поверхностей (в ряде случаев с расширением чрезмерно жестких допусков) и повышению стабильности точностных характеристик отливок.

В качестве общего вывода проведенных нами исследований можно отметить следующее. В действующем производстве точность отливок всех видов не отвечает требованиям эффективной автоматизированной обработки. Повысив точность производства отливок, можно обеспечить более высокую точность обработки и повысить эффективность использования автоматических линий по ряду важнейших показателей.

Следствием неудовлетворительной точностной настройки технологического процесса является выход большого количества заготовок из поля допуска и фактическое получение отливок по более низкому классу точности.

На точность обработки особенно неблагоприятное влияние оказывает завышение величин отклонений по параметрам расположения поверхностей. Отклонения расположения осей отверстий относительно номинального расположения, относительно баз не регламентированы (ГОСТ 1855—55). Такие отклонения определяются через отклонения размеров, что в ряде случаев вносит неточности и неопределенности в расчеты. Нормалам, регламентирующим допускаемые отклонения и припуски отливок из алюминиевых сплавов (например, нормали АН 1026—55), присущи аналогичные недостатки. Расчетные погрешности размеров между поверхностями отливки и размеров элементов отливки, оформляемых стержнями (расстояния осей отверстий от баз и межосевые расстояния), не могут быть одинаковыми, так как формируются в различных условиях.

Кроме общих факторов, определяющих точность отливок, на точность расположения осей отверстий оказывают влияние погрешности установки стержней. Эти погрешности могут быть значительными по величине. Так, при площади стержней от 100 до 2000 мм² погрешность от неточности установки песчаных стержней в кокиле составляет от 0,3 до 0,5 мм, а в песчаные формы от 0,8 до 1,0 мм [9].

В технические условия на выполнение заготовок вносятся излишне широкие допуски на размеры отливок. Широкие допуски в ходе длительного производства или при дублировании литейной оснастки приводят к смещению фактических размеров в противоположные стороны поля допуска, что нарушает стабильность условий обработки заготовок. Большим дефектом отливок является плохое удаление заусенцев. При наличии их на обрабатываемых поверхностях возникают ударные нагрузки на инструмент, а при наличии их на черновой базовой поверхности возникают перекосы при установке. На точности последующей обработки, особенно с обеспечением высоких требований к пространственному расположению осей отверстий, сказываются колебания механических свойств материала заготовок.

5. Точность установки заготовок для обработки

Схемы установки. На автоматических линиях корпусных деталей наиболее широкое распространение получила схема установки на два цилиндрических отверстия с параллельными осями и перпендикулярную им плоскость. По условиям транспортировки заготовки установочные пальцы (фиксаторы) обычно делаются выдвижными. При такой схеме возникает дополнительная погрешность базирования под влиянием зазоров посадки фиксаторы — направляющие втулки. Эта погрешность суммируется с величиной смещения заготовки на пальцах.

Производственные исследования на действующих автоматических и поточных линиях показали, что фактические величины погрешностей базирования превышают расчетные. Это объясняется тем, что базирование в реальных условиях происходит при увеличенных зазорах в сопряжениях заготовка — фиксатор и фиксатор — направляющая втулка вследствие износа всех сопрягаемых поверхностей.

Износ базовых отверстий у заготовок. Одной из причин увеличения погрешности базирования является завышение диаметральных размеров отверстий у заготовки. В ряде случаев заготовка поступает на первую позицию линии уже с завышенным размером базовых отверстий. В дальнейшем, в процессе фиксации заготовки в рабочих позициях, отверстия постепенно изнашиваются, разбиваются и искажаются по форме. Это происходит от одностороннего воздействия фиксаторов при несовпадении их осей с осями отверстий, от неточности работы транспортера подачи заготовок, смятия микронеровностей поверхности и царапанья стружкой при принудительном вводе фиксаторов в отверстия. Эти явления сопутствуют фиксации заготовки в каждой позиции, и погрешности достигают наибольших значений к концу обработки.

Характерно отметить, что отверстие, сопрягающееся с цилиндрическим фиксатором, изменяется на большую величину в направлении межосевого расстояния отверстий, а отверстие под ромбический палец больше деформируется в плоскости расположения ленточек пальца, т. е. перпендикулярно линии межосевого расстояния базовых отверстий. Базовое отверстие при износе получает конусность за счет увеличенного износа вблизи базовой плоскости. Для количественной характеристики износа базовых отверстий можно отметить, что при диаметре $16A_{2a}$ ($\varnothing 16^{+0,027}$) базовые отверстия у детали из серого чугуна перед установкой в первую позицию имели диаметр $16^{+0,046}_{+0,01}$, а в конце линии имели диаметр $16^{+0,058}_{+0,030}$, что соответствует посадкам *X* и *L* в системе вала. Базовые отверстия у деталей из алюминиевых сплавов искажаются больше. Для пальцев диаметром 12—14 мм в конце обработки они имеют предельные размеры, близкие к посадке *III* в системе вала.

Анализ изменения размеров базовых отверстий детали из алюминиевого сплава под цилиндрический (рис. 8, *a*) и ромбический (рис. 8, *б*) пальцы, с разделением также и по сечениям, показал места наибольшего износа. При размере базовых отверстий по чертежу $d=14,2^{+0,027}$ мм, все отверстия в заготовках перед установкой на автоматическую линию выполняются со смещением среднего размера с середины поля допуска и в ряде случаев их фактические размеры превышают наибольший предельный размер. Величины 6σ для случаев, показанных на рис. 8, *a* и *б*, равны соответственно 0,0336 и 0,035 мм. В конце автоматической линии после многих фиксаций в рабочих позициях величины 6σ увеличились соответственно до 0,084 и 0,096 мм. Средняя величина разбивки (*P*) отверстий d_1 под цилиндрический палец (сечение *I—I*, рис. 8, *б*) составляет $P=0,028$ мм, а под ромбический палец d_2 (сечение *II—II*) — $P=0,03$ мм. Отметим, что для сечения *II—II* в отверстиях под цилиндрический палец величина $6\sigma=0,08$, а $P=0,018$ мм. При обработке других деталей из алюминиевого сплава наблюдается аналогичная картина.

Для деталей из серого чугуна фактические величины разбивки отверстий в конце линий несколько меньше, а характер погрешностей сохраняется. В отверстиях под ромбический палец в конце линии наблюдается направленная погрешность формы (эллиптичность). В отверстиях, фиксируемых цилиндрическими пальцами, выраженной погрешности формы не наблюдается.

Величина разбивки базового отверстия зависит от размера, отверстия в начале линии (рис. 9). Наибольшую разбивку имеют отверстия с наименьшими предельными размерами. По мере увеличения фактических размеров отверстий величина разбивки

уменьшается, и при определенных значениях разбивка практически прекращается. На рис. 9, а по оси абсцисс указаны номера деталей, а по оси ординат — размеры их базовых отверстий перед установкой на автоматическую линию и в конце обработки после многократной фиксации; разность этих размеров характеризует величину разбивки отверстий. Для тех же

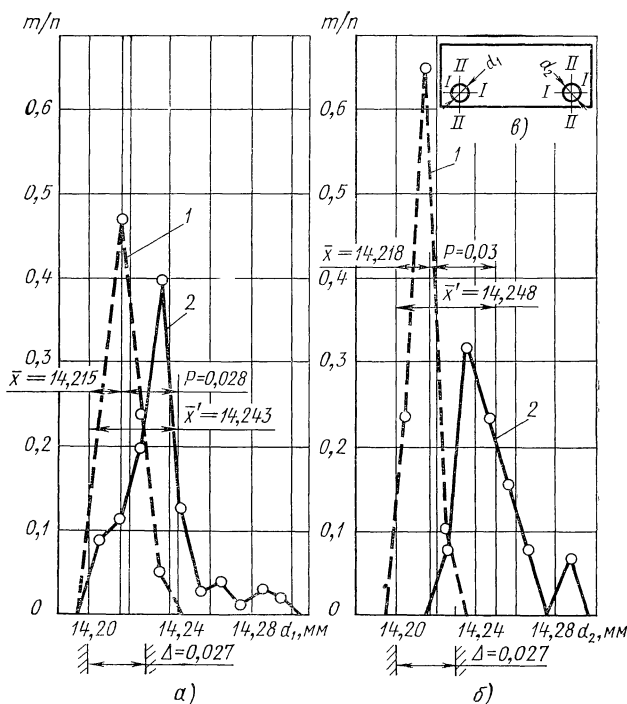


Рис. 8. Кривые распределения размеров базовых отверстий детали из алюминиевого сплава:

а — для отверстия d_1 под цилиндрический палец в сечении I—I; б — для отверстия d_2 под ромбический палец в сечении II—II; в — схема расположения сечений; кривые 1 — для отверстий до обработки детали на автоматической линии; кривые 2 — для отверстий в конце обработки

деталей на рис. 9, б приведена зависимость величины разбивки отверстий от исходного размера. Для отверстий диаметром 16,01—16,02 мм величина разбивки значительна, как и ее колебание для обоих отверстий; при размерах 16,025—16,035 величина разбивки резко уменьшается и стабилизируется. С учетом предельных отклонений размеров сопрягаемых с деталью участков фиксаторов, размерам отверстий, при которых разбивка становится незначительной, соответствует минимальный зазор $\approx 0,04$ мм. Таким образом, для сохранения правильной формы базовых отверстий на протяжении всего технологического

процесса целесообразно предусматривать гарантированный зазор.

Разбивка отверстий протекает с наибольшей интенсивностью на первых позициях и практически прекращается после 12—15 фиксаций. Допускаемые отклонения межосевых расстояний базовых отверстий обычно задаются в пределах от $\pm 0,05$ до $\pm 0,1$ мм. В действующем производстве эти допуски обычно вы-

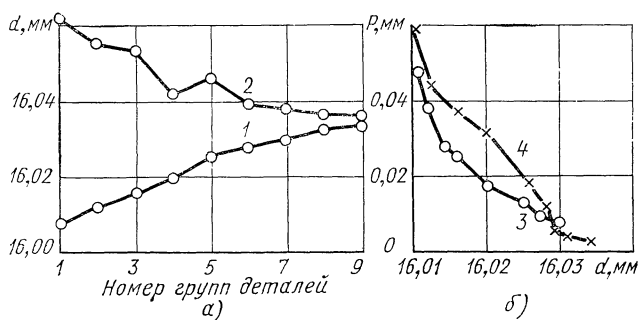


Рис. 9. Изменение размеров базовых отверстий в процессе фиксации:

а — фактические размеры отверстий под ромбический палец в начале (кривая 1) и в конце (кривая 2) линии; б — зависимость величины разбивки отверстий от их начального размера для цилиндрического (кривая 3) и ромбического (кривая 4) пальцев

держиваются, но средний размер часто смещается с номинального на величину до 0,05—0,07 мм. Эта погрешность аналогична смещению центра настройки со среднего размера и является систематической погрешностью. В условиях обработки нарушение межосевого расстояния отверстий у заготовки приводит к одностороннему контактированию с фиксаторами и дополнительному деформированию отверстий.

Износ базирующих элементов позиций. Фиксаторы автоматических линий на участках базирования заготовок выполняются по посадкам X или D . Фактические их размеры в обычном состоянии приблизительно соответствуют посадкам X_3 , $Ш$ или даже $Ш_3$. К моменту замены фиксаторов их износ в сравнении с наибольшим предельным размером по чертежу достигает 0,1—0,12 мм, а в сравнении с наименьшим предельным размером — 0,03—0,05 мм. Износ фиксаторов по длине неодинаков, и они приобретают конусную форму с разницей в размерах 0,02—0,03 мм на длине хода. Картина износа фиксаторов на участках соприкосновения с деталью из алюминиевого сплава видна из рис. 10. Фактические диаметральные размеры фиксаторов в местах наибольшего вылета находились в пределах от 13,77 до 13,73 мм; конусность — от 0,01 до 0,02 мм на длине 8 мм. При обработке деталей из чугуна базирующие

участки фиксаторов изнашиваются более интенсивно, предельное состояние к моменту замены также характеризуется величиной $\sim 0,1$ мм. Величины износа цилиндрического фиксатора в направлении межосевого расстояния и перпендикулярно к нему практически одинаковы, и, таким образом, износ носит круговой характер. Ромбический фиксатор изнашивается несколько больше цилиндрического. При проверке щупом по плите и по эталонной детали выявляется неплоскостность базовых планок рабочих позиций в габарите детали: до 0,02—0,05 мм для расточных позиций и до 0,05—0,1 мм для сверлильных, резьбонарезных и фрезерных позиций.

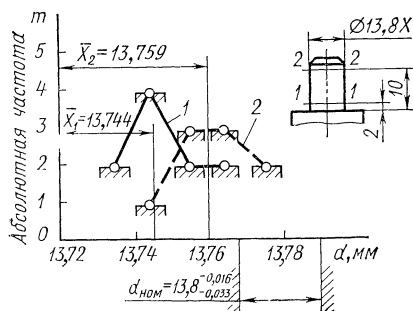


Рис. 10. Кривые распределения размеров фиксаторов на автоматической линии головки блока цилиндров:

кривая 1 — для горизонтального сечения I—I; кривая 2 — для сечения 2—2

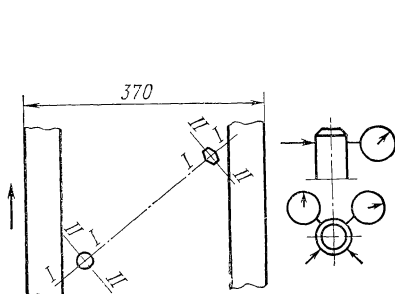


Рис. 11. Схема измерения люфта фиксаторов в направляющих втулках механизма фиксации

Износ в сопряжении фиксатор — направляющая втулка.

Для сопряжения фиксатор — направляющая втулка обычно применяется посадка скольжения 1-го класса точности. Для отделочных станков назначается минимальный зазор посадки 5—7 мкм (для фиксаторов диаметром 15—30 мм). Заданный зазор сопряжения достигается при выполнении отверстия втулки по 2-му классу точности, а фиксатора — по фактическому размеру отверстия, с применением притирки. Люфт фиксаторов во втулках, измеренный индикатором при положении радиальных нагрузок (рис. 11), на ряде расточных позиций автоматической линии достигал в положении I—I от 0,04 до 0,13 мм (средняя величина 0,085 мм), а в положении II—II 0,12 мм (средняя 0,08 мм) (такие величины зазоров для диаметра 25 мм соответствуют ходовым посадкам 2-го и 3-го классов).

Фактические величины погрешности установки заготовок в позициях. В действующем производстве фактические погрешности базирования больше расчетных. При расчете учитываются только проектные зазоры посадок отверстий заготовки и фиксаторов, а фактические погрешности учитывают износ. Приняв фактические величины зазора в сопряжении заготовка —

фиксатор и люфт фиксатора во втулке, можно определить величину смещения заготовки относительно номинального положения, которую и можно рассматривать в качестве максимально возможной фактической погрешности базирования.

Удельные значения слагаемых наибольшей фактической погрешности базирования заготовок в позиционных приспособлениях (в % для деталей из чугуна и алюминиевого сплава) следующие:

Расчетная погрешность при проектной посадке заготовка — фиксаторы	26—28/30—32
Расчетная погрешность при проектной посадке фиксаторы — направляющая втулка	13—14/13—14
Погрешность от неточности обработки и разбивки базовых отверстий	18—20/28—30
Погрешность от износа фиксаторов на участке соприкосновения с заготовкой	18—20/5—8
Погрешность от износа в сопряжении фиксатор — направляющая втулка	22/22

Примечание. Полужирные цифры — детали из чугуна, светлые — из алюминиевого сплава.

Принимать в расчет наибольшую величину погрешности базирования было бы неправильно, так как она учитывает наихудший предельный случай смещения детали, когда зазоры посадок деталь — фиксаторы и фиксаторы — втулки выбираются полностью при повороте. В условиях массового производства фактическая величина погрешности базирования является случайной величиной и должна характеризоваться средним значением и среднеквадратическим отклонением. По некоторым производственным наблюдениям, проведенным при известных величинах слагаемых фактических погрешностей, фактическая погрешность базирования составляет 0,6—0,7 максимальной расчетной величины для данных величин и их составляющих. Для повышения точности обработки на автоматических линиях весьма важно снизить абсолютные величины погрешности базирования и их удельное значение в суммарной погрешности обработки.

6. Точность приспособлений-спутников

Установка спутников. На многих автоматических линиях спутники устанавливаются в позиционных приспособлениях по схеме: на два отверстия и перпендикулярную им плоскость. Опорные поверхности платформы спутников снабжаются закаленными пластинами. Втулки также закаливаются. При горизонтальном расположении станков в линии основными параметрами точности комплекта спутников является их базовая высота, которая определяется расстоянием от плоскости направляющих автоматической линии в рабочей позиции до элементов спутника, по которым базируется в нем заготовка. Другой важ-

ной характеристикой точности спутников служит точность взаимного расположения оси отверстия под цилиндрический палец в платформе спутника и базового элемента для заготовки на спутнике. От точности спутников по указанным размерам зависит степень совпадения осей шпинделей в позициях линии с осью обрабатываемого отверстия.

Износ базовых элементов спутников и позиций. У линий, находящихся в удовлетворительном состоянии, или после замены у них комплекта спутников отклонения по базовой высоте спутников не превышают 0,25 мм. Изготавливаются они обычно с допуском 0,1—0,15 мм. Высота спутников со временем снижается под влиянием суммарного износа базовых поверхностей спутника и линий. На опорных поверхностях появляется неплоскостность 0,05—0,15 мм, изменяющая условия контактирования спутника с направляющими, и поперечный уклон спутника 0,08—0,12 мм из-за неравномерного износа в зонах соприкосновения с направляющими. Неравномерность износа может явиться следствием различной твердости контактирующих поверхностей, несимметричного распределения веса спутника с заготовкой, разными условиями трения плоскости в рабочей зоне линии или на транспортере возврата спутников. Базовая высота спутников изменяется также под влиянием износа элементов для базирования заготовок. Так, для работающих спутников характерен износ призм на участках их соприкосновения с заготовками на величину 0,05—0,08 мм. Погрешность положения заготовки на спутнике относительно оси шпинделя станка в вертикальной плоскости, кроме отмеченного, связана с износом опорных пластин позиций, который на линиях со спутниками может за одинаковый период времени быть больше, чем на линиях без спутников, и достигать 0,1—0,20 мм.

Погрешность установки спутника в горизонтальной плоскости определяется возможностью его поворота на зазорах посадок втулки спутника — фиксаторы и фиксаторы — направляющие втулки механизма фиксации. При расчете погрешности учитываются зазоры проектных посадок (для спутников обычно $\frac{A}{X}$, а для механизма фиксации $\frac{A_1}{C_1}$). Погрешность межосевых расстояний базовых отверстий в собранных спутниках обычно не превышает $\pm 0,02$ мм.

Под влиянием износа зазоры посадок втулки спутника — фиксаторы и фиксаторы — направляющие втулки механизма фиксации увеличиваются, приводя к увеличению погрешности установки спутников в рабочих позициях. На рис. 12 приведена гистограмма распределения фактических размеров базовых отверстий втулок в комплекте спутников. В поле допуска на изготовление втулок находится менее половины отверстий. При износе отверстия приобретают конусность: в ближайшем к опорной плоскости спутника сечении (4 мм) износ отверстий

значительно больше, чем на глубине 12 мм. Аналогичные изменения формы характерны и для фиксаторов в их верхней части.

Для комплекта спутников автоматической линии по обработке небольшой детали из алюминиевого сплава характерны следующие величины износа, которые можно считать типичными для находящихся в длительной эксплуатации линий. Отверстия во втулках спутника (при проектном размере $30^{+0,023}_{-0,02}$ мм) имели размеры от 30,01 до 30,09 мм и были конусными с величиной конусности 0,02 мм на длине 10 мм. Фиксаторы (при размере по чертежу $30^{+0,02}_{-0,04}$ мм) были сильно изношены. Цилиндрические фиксаторы имели средний размер 29,93 и конусность 0,05 мм, а ромбические — 29,90 и конусность до 0,11 мм.

Можно отметить, что за-проектированная посадка $30 \frac{A}{X}$ с максимальным зазором 0,063 мм в момент измерения существенно изменилась: для цилиндрического пальца ее мож-но сравнить с посадкой $\frac{A}{III}$ (максимальный зазор 0,118 мм);

для ромбического пальца она приближается к посадке $\frac{A_4}{C_4}$ (максимальный зазор 0,18 мм). Посадка фиксаторов в направляющих втулках механизма фиксации также изменяется; для обоих фиксаторов в разных сечениях люфты составляют 0,04—0,10 мм, что соответствует посадкам $\frac{A}{C}$ и $\frac{A}{X}$.

При наблюдении за работой автоматической линии была отмечена нестабильность хода транспортера и остановки спутников. Из-за больших отклонений в размерах от оси базового отверстия до торца спутника, в который упирается собачка шагового транспортера, оси отверстий не совпадают с осями фиксаторов и при их выдвигении спутники приподнимаются, а затем падают на опорные пластины. При такой работе неизбежен повышенный износ базовых элементов. То же можно сказать и о неточности работы механизма фиксации: различная величина выдвигения фиксаторов в сочетании с конусной формой сопрягаемых поверхностей втулки и пальца приводит к большим ко-

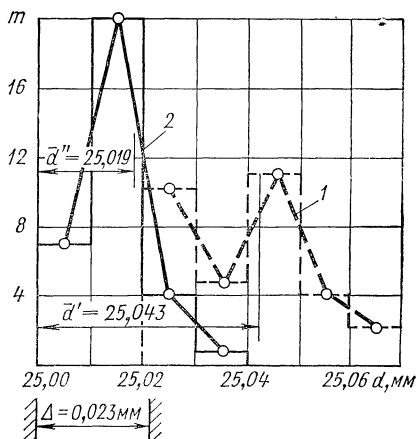


Рис. 12. Кривые распределения диаметров базовых отверстий спутников под цилиндрический фиксатор: 1 — на глубине 4 мм; 2 — на глубине 12 мм

лебаниям величин фактических погрешностей в зоне цилиндрического и ромбического пальцев.

Погрешность установки спутников в позициях. Следует, однако, отметить, что в случае расчета погрешности установки спутника в позиции, с учетом максимальных для изношенных посадочных элементов зазоров, неизбежно получение завышенных величин, так как условия установки указывают на случайный характер формирования величины этой погрешности.

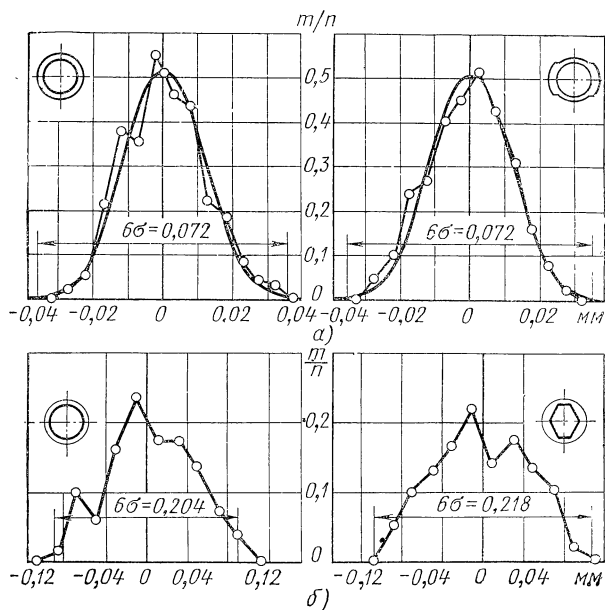


Рис. 13. Кривые распределения величин смещения спутников в позициях автоматических линий:
а— для новой автоматической линии; б— для изношенной линии

Измерение фактических величин смещения спутников в момент фиксации в рабочих позициях и последующая статистическая обработка полученных данных показали, что погрешность установки спутников распределяется в поле зазоров узлов фиксации цилиндрического и ромбического пальцев (овальной втулки) по закону нормального распределения. Это получило подтверждение при сравнении эмпирических кривых распределения и их статистических характеристик с теоретическим распределением по критерию Пирсона χ^2 .

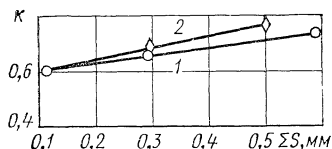
Принимая за действительную величину рассеяния значения $\pm 3\sigma$ и обозначая суммарный зазор в узлах фиксации у цилиндрического пальца $\Sigma S_{\text{ц}}$, у ромбического пальца (овальной втулки) $\Sigma S_{\text{р}}$, получим коэффициенты уменьшения максимальных

расчетных погрешностей для зон цилиндрического и ромбического пальцев:

$$\left. \begin{aligned} k_{\text{ц}} &= \frac{6\sigma_{\text{ц}}}{\Sigma S_{\text{ц}}}; \\ k_{\text{р}} &= \frac{6\sigma_{\text{р}}}{\Sigma S_{\text{р}}} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

При хорошем точностном состоянии автоматической линии с овальной втулкой вместо ромбического пальца (рис. 13, а) величины зазоров и σ одинаковы ($\Sigma S_{\text{ц}} = \Sigma S_{\text{р}} = 0,12$ мм; $6\sigma_{\text{ц}} = 6\sigma_{\text{р}} = 0,072$ мм); величины коэффициентов $k_{\text{ц}} = k_{\text{р}} = 0,6$. Для

Рис. 14. Зависимость коэффициента K от суммарного зазора в сопряжении фиксатор—втулка спутника и фиксатор—направляющая втулка для сопряжения цилиндрического фиксатора (1) и ромбического фиксатора (2)



более изношенной автоматической линии (рис. 13, б): у цилиндрического пальца $\Sigma S_{\text{ц}} = 0,28$ мм; $6\sigma_{\text{ц}} = 0,204$ мм; $k_{\text{ц}} = 0,71$, у ромбического пальца $\Sigma S_{\text{р}} = 0,29$ мм; $6\sigma_{\text{р}} = 0,218$ мм; $k_{\text{р}} = 0,75$.

По графику (рис. 14) можно определить величины коэффициентов $k_{\text{ц}}$ и $k_{\text{р}}$ в зависимости от фактических зазоров в узлах фиксации.

7. Геометрическая точность позиций автоматических линий

Точность обработки систем отверстий на агрегатных станках связана с точностью узлов направления инструментов, узлов установки заготовок и точностью взаиморасположения относительно друг друга и шпинделей станка. Наряду с этим оказывают влияние также и другие параметры геометрической точности позиции. Исследования показали взаимосвязь между геометрической точностью расточной позиции и точностью расположения осей обрабатываемых отверстий. Естественно, что при завышенной величине межосевого расстояния двух шпинделей у станка средняя величина межосевых расстояний обработанной на этом станке детали будет смещена с номинала в сторону увеличения размера. В эксплуатационных условиях геометрическая точность позиций меняется под влиянием износа; поэтому характеристики отдельных исследований отражают случайный момент точностного состояния линии и их можно связывать лишь с точностным исследованием деталей, обработанных в тот же момент времени.

В качестве общего наблюдения можно отметить, что точность позиций автоматических линий, находящихся в эксплуа-

тации 1—2 года, по основным параметрам достаточно высока. Так, радиальное биение шпинделя составляет 0,005—0,015 мм, радиальный люфт шпинделя отсутствует, неплоскостность установочных планок не более 0,03 мм, непараллельность осей шпинделей к направляющим агрегатной головки до 0,05 мм на 300 мм длины. Для позиций автоматических линий, находящихся в эксплуатации 5 лет и более, геометрические погрешности по тем же параметрам значительно больше. В лучшем состоянии находятся лишь расточные станки, особенно для чистовой обработки основных отверстий. Сверлильные же станки, и особенно резьбонарезные, имеют большие погрешности. Радиальное биение шпинделей достигает 0,1—0,15 мм для расточных станков и 0,25—0,35 мм для сверлильных. Радиальный люфт шпинделей сверлильных станков нередко превышает 0,25 мм. Непараллельность оси шпинделя к направляющим достигает 0,15—0,2 мм. Отверстия шпинделей под удлинители при износе приобретают конусность с наибольшим диаметром отверстия вблизи торца шпинделя, превышающим наибольший предельный размер по чертежу на 0,02—0,03 мм. А такая погрешность может вызвать угловое смещение удлинителя относительно оси шпинделя.

На автоматических линиях наблюдаются большие величины смещений осей шпиндель — кондукторная втулка (особенно для станков с большим числом шпинделей) и отклонений размеров, связывающих оси шпинделей с базовыми элементами позиции. В производстве можно наблюдать расположение зон повышенного износа кондукторных втулок с какой-то одной стороны. Обычно это свидетельствует об общем смещении шпиндельной коробки относительно кондукторной плиты на 0,1—0,2 мм и приводит не только к повышенному износу втулок, но и к большому уходу осей отверстий.

Разновысотность базовых планок позиции обычно составляет 0,03—0,15 мм, и это приводит к поперечному наклону заготовки и образованию погрешностей расположения обработанных поверхностей относительно базовой поверхности. Неплоскостность базовых планок в расточных позициях достигает 0,02—0,05 мм, в сверлильных — 0,08—0,15 мм. Но наблюдаются и грубые отклонения от плоскостности вследствие ослабления крепления планок и попадания стружки под планки. Точность размеров, связывающих ось шпинделя с базовыми элементами позиции, важна не столько для отдельной позиции, сколько для нескольких технологически связанных позиций, где решается определенная точностная задача, например, обеспечивается точность координат оси отверстия при последовательной многопереходной обработке на нескольких станках. Равенством размеров от оси направляющей втулки до оси цилиндрического пальца позиционного приспособления и от той же оси втулки до опорной плоскости планок на всех станках можно характеризовать пре-

емственность технологически связанных позиций автоматической линии или их спаренность между собой.

Отклонения размеров от оси шпинделя до базовых планок позиции и до оси цилиндрического пальца в обычных условиях для позиций черновой и получистовой обработки составляют 0,07—0,12 мм, а для чистовой обработки 0,02—0,03 мм. В ряде случаев величины износа базовых планок превышают поле допуска на выдерживаемый размер от базовой плоскости детали до оси отверстия.

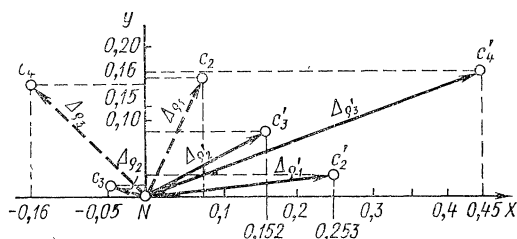


Рис. 15. Отклонение параметра преемственности технологически связанных позиций

Отклонения по параметру преемственности ($\Delta\rho$) для оси шпинделя (или оси направляющей втулки) каждого станка являются векторной величиной, определяемой величинами смещений этих осей по осям X и Y (рис. 15). Векторы $\Delta\rho_{1-3}$ характеризуют параметр преемственности трех станков левой стороны, а векторы $\Delta\rho'_{1-3}$ — трех станков правой стороны. Разности координат точек c_2 и c'_2 , c_3 и c'_3 , c_4 и c'_4 определяют величины несоосности номинально соосных шпинделей на позициях черновой (c_4), получистовой (c_3) и чистовой (c_2) обработки системы соосных отверстий, обрабатываемых с двух сторон. Точка N определяет номинальное положение всех осей [5].

Фактически величины зазоров в узлах направления инструмента превышают проектные на станках для черновой обработки в 2—2,5 раза, а для чистовой обработки в 1,2—1,5 раза.

Формы проявления взаимосвязи между точностью расположения осей обрабатываемых отверстий с геометрическими погрешностями позиций разнообразны и связаны с видами поверхностей, методами и схемами их обработки.

8. Размерная настройка технологических процессов

Значение размерной настройки. Под настройкой станка на выдерживаемый размер понимают установку инструмента, рабочих элементов станка и установочных элементов приспособления в такое взаимное положение, которое обеспечивает, с

учетом явлений, происходящих в процессе обработки, получение размера в пределах установленного допуска.

Для автоматических линий, где работают сотни режущих инструментов, вопрос о целесообразной настройке приобретает первостепенное значение в связи с потерями времени на настройку и регулировку инструментов. Чтобы уменьшить общие затраты времени на регулировку инструмента между сменами, целесообразно учесть направленное действие размерного износа режущего инструмента и величину настроенного размера сместить относительно среднего размера.

Смещая настроенный размер при обработке наружной поверхности к нижнему предельному значению выдерживаемого размера, а при обработке внутренней поверхности — к его верхнему предельному значению, можно достигнуть более полного использования поля допуска на износ инструмента и уменьшить число регулировок инструмента на протяжении периода его стойкости. Весьма важна также точность настройки размера в соответствующих позициях дублирующих потоков, как на каждой рабочей позиции в отдельности, так и всех технологически связанных позиций линии, выполняющих последовательную обработку одних и тех же поверхностей. Это повышает стабильность условий обработки на каждом переходе и, следовательно, точность обработки.

Стабильность позволяет повысить не только качество изделий, но и производительность труда (благодаря бесперебойности технологического процесса и его высокой точностной надежности). Таким образом, качество размерной настройки технологической системы обеспечивается: правильным выбором величины настроенного размера, правильным назначением допускаемой погрешности настройки; возможностью стабильной настройки в условиях длительного производства.

Точность размерной настройки в действующем производстве. При проектировании технологических процессов и, тем более, при эксплуатации величины настроенных размеров не рассчитываются и в технологической документации не оговариваются. Настроенные размеры практически отождествляются с заданными размерами. Произвольный подход к решению столь важного технологического вопроса приводит в ряде случаев к совершенно недопустимым отклонениям выдерживаемых размеров, к полному несоответствию фактических величин припусков заданным условиям обработки. На черновых операциях эти отклонения часто связаны с низкой точностью заготовки. На последующих переходах их можно объяснить несоблюдением технологического процесса, неиспользованием настроенных и контрольно-настроенных приспособлений и приборов, снижением на каждом переходе брака.

На рис. 16 приведен пример несоблюдения настроенного размера на операции растачивания отверстия гидроцилиндра в

картере рулевого механизма. На автоматической линии отверстие из-за большой его длины обрабатывается с двух сторон многолезцовыми головками без направления и, таким образом, на двух позициях в обработке одного отверстия участвуют четыре настроенные на размер вне линии расточные головки. После получистового растачивания должен быть получен диаметр $89,9^{+0,07}$. Затем следует сквозное растачивание на алмазном станке до окончательного размера $90_{-0,035}$ и хонингование. Фактически достигаемая точность диаметральных размеров отверстий на участке длины, обработанном каждой головкой, достаточно высока, и уже черновым растачиванием обеспечивается отклонение не более $0,033$ мм на разных шпинделях при допуске $0,46$ мм. После получистового растачивания при допуске $0,07$ мм отклонения фактически не превышают $0,018$ мм.

При массовых исследованиях для каждого станка, выполняющего получистовую обработку, был получен разброс размеров до $0,04$ мм, а величина $6\sigma = 0,052$ мм. По коэффициенту рассеяния $K_p = \frac{6\sigma}{\Delta} = \frac{0,052}{0,07} < 1$ можно отметить хорошую настроенность технологического процесса для каждого станка.

Однако в трех сериях исследований, проведенных в течение нескольких месяцев, общий разброс диаметральных размеров после получистового растачивания на обоих станках достигал $0,14$ мм. Средние величины размеров, полученные в трех сериях исследований, равны: для участков отверстий, обработанных с правой головки, $89,558$; $89,578$; $89,514$ мм; для участков отверстий, обработанных с левой головки, $89,514$; $89,481$; $89,533$ мм. Из сопоставления размеров видно, что на стыке участков длины отверстия, обработанных правой и левой головками, образуются ступеньки.

Причиной отклонений средних величин размера является неточность размерной настройки расточных головок: в момент исследования диаметр головки на правой стороне равен $89,56$, а на левой — $89,43$ мм. Кроме отмеченных отклонений во всех сериях исследований средние величины размеров смещены с заданного технологическим процессом номинального размера $89,8$ мм в сторону уменьшения — до $89,48$ мм. Все отмеченные отклонения размерной настройки технологического процесса

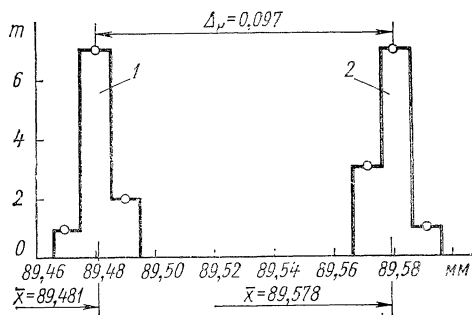


Рис. 16. Кривые распределения диаметральных размеров отверстий в гидроцилиндре, обработанных с двух сторон:

1 — с левой; 2 — с правой

обработки отверстий гидроцилиндра приводят к непостоянству его величины на длине обработки. Средние величины припусков на алмазное растачивание в зоне правой расточной головки составляют 0,42 мм, а в зоне левой — 0,52 мм. Если при этом учесть, что величина номинального припуска на обработку на алмазно-расточном станке составляет всего лишь 0,2 мм, то степень его завышения и пределы колебания следует признать

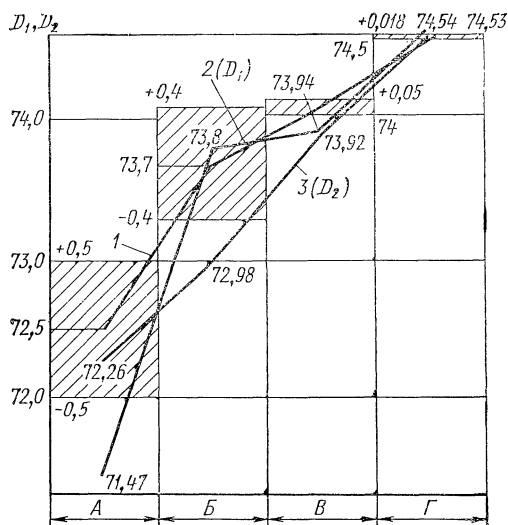


Рис. 17. Настроенность технологического процесса обработки отверстия под коленчатый вал:

1 — по технологическому процессу для D_1 и D_2 ; 2 — для фактических размеров отверстия в переднем торце D_1 ; 3 — то же, в заднем торце D_2 ; А — заготовка; Б — черновое растачивание; В — получистовое растачивание; Г — чистовое растачивание

значительными. При этих условиях после растачивания на алмазно-расточном станке в тех же сериях исследований были получены следующие средние размеры отверстий: 89,953; 89,949; 89,939 мм вместо $90^{+0,035}$ мм. Разброс размеров составлял 0,042 мм, а $6\sigma = 0,0766$ мм. Таким образом, процесс обработки характеризуется низким коэффициентом рассеяния $K_p = \frac{0,0766}{0,035} > 1$.

При завышенном среднем размере на хонингование даются припуски не менее 0,05 мм, в то время как эта операция предназначена только для уменьшения шероховатости поверхности и исправления погрешностей формы. Хонингованием достигаются заданные чертежом требования.

На рис. 17 представлены графики изменения средних диаметральных размеров отверстий в блоке под коленчатый вал по переходам обработки. По всем переходам обработки, включая

заготовку, наблюдаются значительные смещения средних значений диаметральных размеров отверстий с заданного размера. Это приводит к существенному завышению и неравномерности распределения припусков на чистовую обработку и вызывает смещение оси обрабатываемого отверстия.

При обработке деталей в двух-трех параллельных потоках возникают дополнительные трудности с обеспечением стабильных точностных характеристик деталей. При различной геометрической точности одноименных рабочих позиций в потоках и при неодинаковой жесткости технологической системы значение точности размерной настройки для дублирующих потоков возрастает. Однако нестабильность промежуточных размеров и припусков, вызываемая небрежной размерной настройкой, может достигнуть в процессе производства таких размеров, при которых невозможно обеспечить окончательные требования точности по чертежу.

Примером может служить обработка системы пяти соосных отверстий в блоке цилиндров с допуском на диаметральный размер 0,018 мм. Черновое и получистовое растачивание этих отверстий выполняется в трех параллельных участках автоматической линии, а для окончательного растачивания все три потока сливаются в один. Заданная величина общего припуска на обработку составляет 2 мм, а на последнем переходе 0,6 мм. Фактически же общий припуск на обработку достигает 3—4,5 мм. На черновом переходе резцы во всех трех борштангах настраиваются так, что средние величины диаметральных размеров обработанных поверхностей оказываются смещенными в сторону уменьшения на 0,7—2 мм. Если принять в качестве погрешности настройки резцов в борштанге половину разности средних размеров пяти участков отверстий на одной оси, то для черновой обработки она получится равной 0,12, 0,2 и 0,25 мм для 1, 2, 3-го потоков; общая же величина погрешности настройки для резцов всех трех борштанг составляет 0,7 мм (при технологическом допуске на выдерживаемый размер, равном 0,8 мм). При получистовом растачивании получаемые размеры отверстий по трем потокам смещены с заданного в сторону уменьшения на 0,2—0,25 мм. Погрешности настройки резцов в каждой борштанге составляют 0,07—0,1 мм, а общая погрешность для трех борштанг равна 0,12 мм (при выдерживаемом допуске 0,1 мм). Таким образом, влияющие в третий поток для чистового растачивания с допуском 0,018 мм заготовки имеют припуски от 0,7 до 1,12 мм на диаметр вместо заданного 0,5—0,6 мм. При столь плохой настроенности технологического процесса — при большом разбросе величин припусков и допусков на предшествующих переходах — достаточная точностная надежность последнего технологического перехода, где лишь 80—85% отверстий попадают в поле допуска, не может быть обеспечена. А в эксплуатации весьма часто недооцени-

вается важность соблюдения стабильности условий размерной настройки на промежуточных переходах. Между тем, под влиянием погрешностей предшествующего перехода, возникают погрешности, соизмеримые с величиной допуска на выполняемом переходе, как для выдерживаемых размеров, так и для расположения поверхностей. Как показывает анализ характеристик размерной настройки позиций обработки плоскостей и отверстий, общей тенденцией настройки линий является стремление завысить наружные и занижить внутренние размеры по сравнению с заданными. Из-за этого чистовые и отделочные операции выполняются при завышенных припусках со значительным диапазоном их колебания. На операциях абразивной обработки это приводит к снижению производительности за счет увеличения числа проходов.

При подготовке многоинструментных наладок из сверл и других мерных инструментов их обычно устанавливают без подбора по величине диаметров, что при значительных отклонениях фактических размеров инструментов и неравномерном износе кондукторных втулок сильно сказывается на получении точных размеров отверстий и точности их расположения.

Методы размерной настройки. При обработке наружных поверхностей, например, фрезерованием, размерная настройка нередко производится по предыдущей детали, обработанной непосредственно перед сменой фрезы. Настройка считается законченной, если с поверхности этой детали вновь установленной фрезой снимается пылевидная стружка, а выдерживаемый размер находится в поле допуска. Такая настройка возможна при широком поле допуска (4-й—5-й классы точности), но и в этом случае не обеспечивается оптимальный настроечный размер, характеризующийся наиболее продолжительным периодом работы между подналадками.

Применяемые для размерной настройки автоматических линий приборы и приспособления должны соответствовать требуемой точности настройки. Однако они не всегда отвечают этому условию. Данные о точностных возможностях типовых настроечных устройств весьма ориентировочны, и системы рекомендаций по выбору и назначению технических средств размерной настройки пока нет. Настроечный размер устанавливается либо на станке, либо вне станка с последующей установкой на станок без регулировки или с незначительной регулировкой. Настройка вне станка сокращает время простоя линии при наладке и дает лучшие результаты по точности. Настройку инструмента непосредственно на станке производят, когда нельзя установить на станок инструмент, настроенный вне станка, и не может быть обеспечена требуемая точность. В случае сквозного сверления отверстий при большом холостом ходе, например, настройка заменяется простой установкой инструмента. Для настройки инструмента на станке необходимы базовые плоскости,

штулки, стержни и другие элементы для установки прибора, точно ориентированные относительно установочных баз детали, и свободный доступ к регулировочным устройствам режущего инструмента.

Элементы, используемые при настройке для ориентации режущих лезвий относительно базовых поверхностей приспособлений, называют установками, габаритами, шаблонами, эталонами, калибрами. Все виды названных устройств, которые при настройке используются для установки инструментов на заданный размер, называются шаблонами для настройки (настроечными шаблонами). Эталон, в отличие от шаблона, служит для настройки индикаторных или нониусных приборов на настроечный размер и непосредственно с режущим инструментом не соприкасается. Если при настройке используется эталон детали, например, для проверки многоинструментных настроек в одной позиции или последовательно в нескольких взаимосвязанных позициях линии, то такой эталон называется эталонной деталью. (Аналогично используются при настройке автоматических линий с приспособлениями-спутниками эталонные спутники). Положение режущей кромки инструмента при настройке определяется шаблоном (установом, габаритом), шаблоном со щупом или прибором с отсчетным устройством с разной степенью точности. При настройке по шаблону (эталонной детали) погрешность настройки определяется величиной зазора в месте контактирования режущей кромки с шаблоном. Для повышения точности настройки служит щуп. Приборы с отсчетным устройством вначале настраиваются на нуль (на номинал) по мерительному эталону размера, а затем используются для установки режущей кромки по отклонению от нуля.

При любом методе настройки существует погрешность регулирования инструмента, которая зависит от способов перемещения и закрепления инструмента, от точности установки упоров. Ее размеры определяются экспериментально. На точность настройки влияет: выбор схемы базирования прибора, с помощью которого она ведется, расположение базовых элементов относительно режущей кромки настраиваемых инструментов и установочных баз детали. При размерной настройке имеет значение фиксация прибора или настроечного шаблона, поскольку при «свободном» (не закрепленном) шаблоне на точность настройки могут повлиять зазоры и смещение под влиянием прикладываемых сил. Величина погрешности настройки зависит от компоновки прибора, его расположения и положения оси инструмента. При их горизонтальном положении, например, силы тяжести или моменты от этих сил могут вызвать провисание, перекося или иной вид погрешности пространственного характера.

Бывают погрешности и субъективного характера, зависящие от настройщика: от скорости выполнения им рабочих дви-

жений, от прикладываемых им усилий, от остроты его зрения. Поэтому важно, чтобы прибор обеспечивал объективность показаний независимо от наладчика. Приспособления и приборы для размерной настройки по характеру влияния на точность настройки можно подразделить на шаблоны (эталонные детали, установы) (А) и приборы с отсчетным устройством (Б); по схеме базирования: 1 — на призме; 2 — на цилиндрическом стержне; 3 — на цилиндрическом хвостовике; 4 — на коническом хвостовике; 5 — на двух взаимно перпендикулярных плоскостях; 6 — на плоскости и двух пальцах; по фиксации: а — с закреплением; б — без закрепления. По приведенным признакам каждому настройному прибору можно присвоить трехзначный индекс, характеризующий метод настройки (А, Б), схему базирования (1—6), условия фиксации прибора при настройке (а, б).

Кроме описанных применяются и другие, более совершенные приборы размерной настройки инструмента — с оптическими измерительными устройствами для наиболее ответственных технологических операций высокой точности. Они разнообразны по конструкции. Имеют базовые элементы для установки инструментов, измерительный микроскоп с 10—30-кратным увеличением, проекционные экраны с координатной сеткой и элементы для установочных перемещений (салазки, пиноли, поворотные головки). Конструкция базовых элементов для инструментов, оправок и державок соответствует конкретным условиям установки их на станках. Один прибор может иметь оптические устройства для раздельной настройки инструмента на несколько размеров, например на диаметр и длину. Применение оптических приборов для настройки инструмента не просто позволяет повысить точность настраиваемого размера, но и требует более высокой культуры выполнения этой ответственной операции производственного процесса.

Структура погрешности размерной настройки. При любом методе размерной настройки общая погрешность образуется из элементарных погрешностей, являющихся случайными величинами. По имеющимся данным, закон распределения этих величин близок к нормальному. Поэтому при суммировании величин, составляющих погрешность настройки, вводится общий для всех коэффициент K , учитывающий отклонение закона распределения элементарных погрешностей от закона нормального распределения; $K=1 \div 1,2$.

Одной из слагаемых погрешностей настройки при любом методе является погрешность регулировки инструмента $\Delta_{\text{рег}}$. Эта погрешность, связанная с точностью установки инструмента и возможностью закрепить его без смещения, устанавливается на основе опытных данных [41]. При использовании шаблона (эталонной детали) погрешность регулировки определяется возможностью избежать зазор между режущей кромкой и шаб-

лоном. При настройке по приборам с отсчетным устройством эта погрешность связана с ценой деления отсчетного устройства. Так, при настройке инструмента по шаблону, в зависимости от способа закрепления резца, погрешность регулировки ($\Delta_{\text{рег}}$) достигает 30—130 мкм (без применения щупа) и 10—20 мкм (с применением щупа). При настройке по индикатору с ценой деления 0,001 мм $\Delta_{\text{рег}}=1-2$ мкм, а с ценой деления 0,01 мм $\Delta_{\text{рег}}=10-15$ мкм.

Величина погрешности настройки по шаблону (эталонной детали, установу) определится из выражения

$$\Delta_{\text{ш}} = K \sqrt{\Delta_{\text{и.ш}}^2 + \Delta_{\text{рег}}^2}. \quad (5)$$

При этом погрешность, зависящая от шаблона ($\Delta_{\text{ш}}$), включает погрешность его изготовления $\Delta_{\text{и.ш}}$ и погрешность его базирования при настройке $\Delta_{\text{б}}$:

$$\Delta_{\text{ш}} = \Delta_{\text{и.ш}} + \Delta_{\text{б}}.$$

Если применяется щуп, то должна быть учтена также погрешность изготовления щупа $\Delta_{\text{щ}}$. Тогда $\Delta_{\text{ш}} = \Delta_{\text{и.ш}} + \Delta_{\text{щ}} + \Delta_{\text{б}}$. Однако при применении щупа погрешность регулировки $\Delta_{\text{рег}}$ имеет меньшее значение, и точность настройки со щупом будет значительно выше. Погрешность изготовления шаблонов, эталонных деталей, установов обычно составляет 10—20 мкм по размерам и 5—10 мкм по расположению поверхностей (например, перпендикулярность сторон). Щупы изготавливаются с допуском 6—8 мкм.

Величина погрешности настройки инструментов при использовании приборов с отсчетными устройствами складывается из погрешностей, связанных с применением мерительного эталона $\Delta_{\text{эт}}$ и погрешности регулировки:

$$\Delta_{\text{и}} = K \sqrt{\Delta_{\text{эт}}^2 + \Delta_{\text{рег}}^2}. \quad (6)$$

Погрешность $\Delta_{\text{эт}}$, в свою очередь, включает погрешность изготовления эталона $\Delta_{\text{и.э}}$, погрешность базирования прибора в момент настройки по эталону $\Delta_{\text{б.э}}$ и погрешность, связанную с переносом прибора для настройки инструмента на другую базу и равную погрешности базирования прибора в момент настройки режущего инструмента $\Delta_{\text{б}}$:

$$\Delta_{\text{эт}} = \Delta_{\text{и.э}} + \Delta_{\text{б.э}} + \Delta_{\text{б}}. \quad (7)$$

Величина погрешности настройки по приборам с отсчетным устройством, несмотря на большое число слагаемых, в 3—5 раз меньше, чем при настройке по шаблону без щупа, и в 2—3 раза меньше, чем с применением щупа.

Погрешность базирования шаблона при настройке рассчитывается на основе общих положений о базировании деталей. Определим для примера величину погрешности базирования для схемы, представленной на рис. 18, при настройке резца на диаметральный размер Δ_6^R и на длину Δ_6^L . Погрешность базирования возникает в связи со смещением хвостовика шаблона на зазоре S посадки во втулке и имеет наибольшее значение при угловом смещении (повороте). Положение шаблона определяется углами α и β , так как угол α мал, то $\cos \alpha = 1$, $\sin \alpha = \alpha = \operatorname{tg} \alpha = \frac{S}{L}$;

$$\Delta_6^L = R \frac{S}{L} \cos \beta; \quad \Delta_6^R = R \frac{S}{L} \sin \beta.$$

Как показывают расчеты, погрешность настройки при этом может в радиальном и осевом направлениях составить 0,052—

0,066 мм. Если в местах контактирования с резцом (точка B) применить индикатор с ценой деления, например, 0,01 мм, погрешность настройки может снизиться до 0,024—0,031 мм.

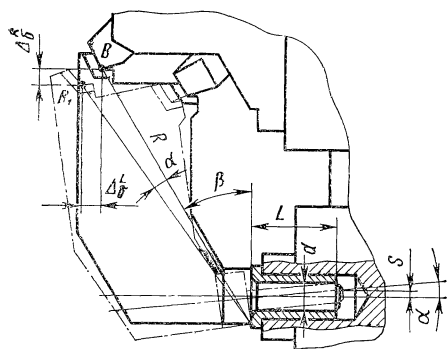


Рис. 18. Определение погрешности базирования шаблона при настройке резца

Приборы для размерной настройки. Устройства для настройки инструментов по шаблонам, выполняемой вне станка, приведены на рис. 19. Расточная головка 2 (рис. 19, а) ставится во втулку 3 приспособления. На параллельной оси устанавли-

вают шаблон 1, рабочие поверхности которого обеспечивают установку резцов на осевой и диаметральный размеры. Длина конусного инструмента 4 (рис. 19, б) устанавливается также по шаблону 5 перемещением регулировочного винта 6. Установка сверла 7 на длину (рис. 19, в) определяется плоским участком шаблона 8, а ступенчатый инструмент 10 при регулировке доводится до соприкосновения с конусной поверхностью шаблона 9. В подобных приборах регулируется несколько различных осевых инструментов, для чего в одной втулке размещаются шаблоны, расходящиеся в радиальных направлениях. Индикаторный прибор для настройки осевого инструмента 11 (рис. 19, г) обеспечивает более высокую точность настройки, так как кронштейн 15 с индикатором 13 закреплен на стойке набором тарельчатых пружин 14, устраняющих зазор. Размер эталона 16 учитывает толщину дна колпачка 12. Используя набор кол-

пачков, можно прибор применять для настройки инструментов разной длины.

Для настройки резцов в расточных скалках применяются индикаторные приборы с призматической опорой («наездники»).

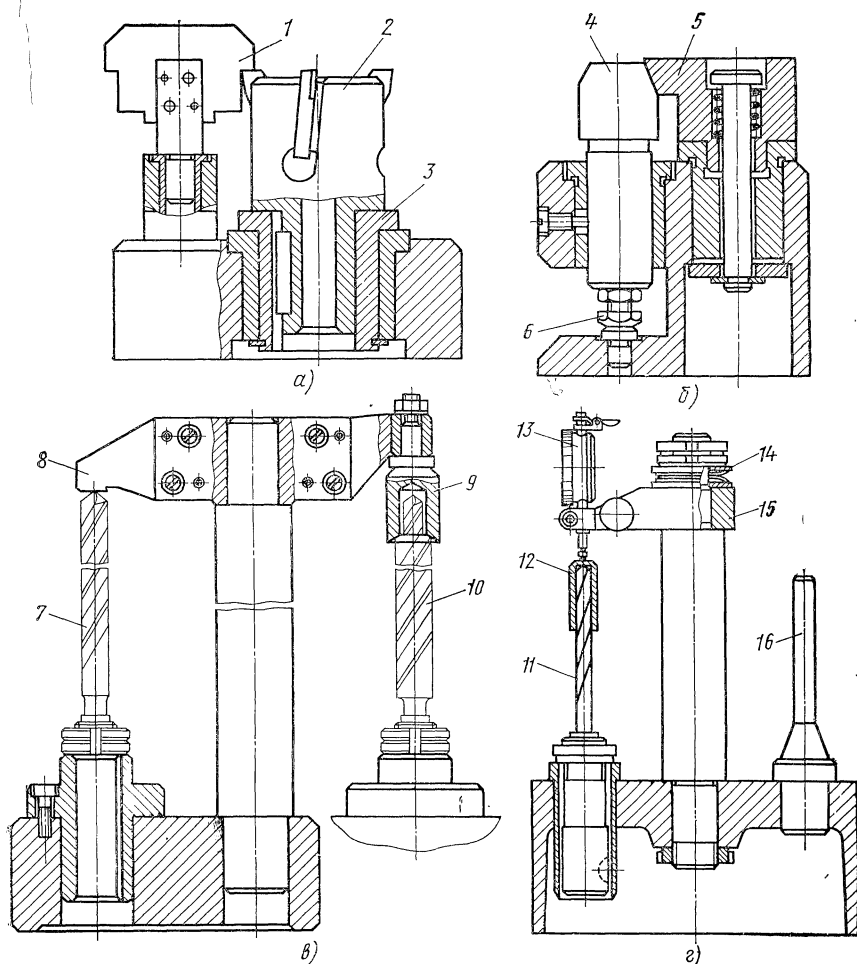


Рис. 19. Размерная настройка инструментов:

а — расточной головки на диаметральный и осевой размеры; б — конусного инструмента; в — сверла и ступенчатого инструмента; г — зенкеров и разверток

Эталон для настройки прибора (рис. 20) имеет цилиндрический элемент 3 с диаметром, равным диаметру расточной скалки, и элемент 2 в виде винта или гладкого выступа, верхняя точка которого соответствует требуемому радиусу расположения резца

в скалке. После настройки индикатора на нуль прибор переносится на расточную скалку для регулировки резца на размер.

Приборы данного типа применяются на новейших агрегатно-расточных станках. Высокая точность настройки ($\pm 0,01$ мм) достигается применением индикатора с ценой деления 1—2 мкм, полной идентичностью диаметральных размеров эталона и скалки и применением магнитной призмы 1, обеспечивающей

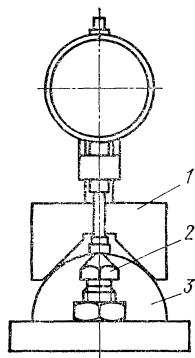


Рис. 20. Настройка индикатора по эталону

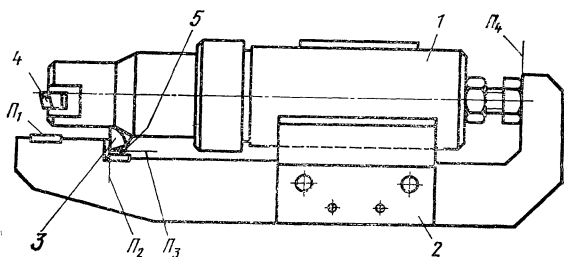


Рис. 21. Размерная настройка расточных резцов по шаблону и щупу

плотное прилегание и неподвижность ее положения на эталоне и на скалке.

Шаблон (рис. 21) служит для настройки расточных резцов в оправке на три размера. Оправка 1, базируясь в призме 2. Поверхность Π_1 шаблона служит для непосредственной установки резца 4 на диаметральный размер. Второй резец 3 по поверхности Π_3 шаблона и щупа 5 настраивается на диаметральный размер. На линейный размер этот резец настраивается по поверхностям Π_2 и Π_4 при выдвигении винта.

Смена торцовых фрез обычно связана с проверкой настраиваемого размера по шаблону и реже по индикатору. Настраиваемый размер H контролируется шаблоном 2 от торца втулки 1, установленной на станке (рис. 22, а). Настройка торцевой фрезы большого диаметра, установленной на вертикальном шпинделе, производится непосредственно от установочных пластин 5 позиции с помощью приспособления 4 и с применением щупа 3 (рис. 22, б). Настройка двух торцовых фрез (рис. 22, в) для обработки поверхностей, расположенных в разных плоскостях, осуществляется с помощью приспособления 6, устанавливаемого вместо заготовки (с базированием на позиции по двум отверстиям на фиксаторах 8) и щупа 7. На точность настройки оказывает влияние смещение и поворот приспособления на фиксаторах и погрешности применения щупа.

В приспособление для настройки набора дисковых фрез (рис. 23) ставится конусный хвостовик с шаблоном 1. Этот

шаблон и шуп 2 определяют осевое положение блока настроечных шаблонов 3, 6 в центрах 5 (размер $60 \pm 0,01$). Затем вместо конусного хвостовика устанавливается оправка для фрез; второй ее конец вводится во втулку 4. Положение двух фрез (1

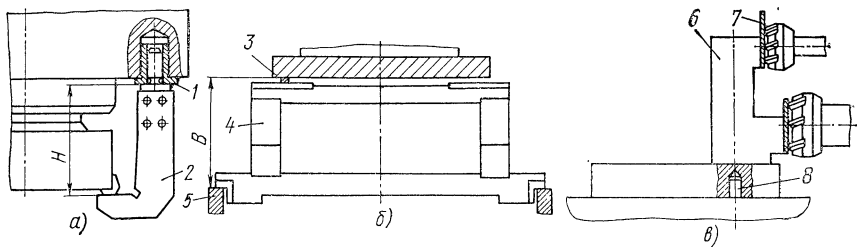


Рис. 22. Размерная настройка фрез по шаблонам:

a — от торца базовой втулки; *б* — от направляющих; *в* — от фиксаторов позиционного приспособления

и II) на оправке определяется шаблоном 3 и шупами 2, а шаблон 6 подводится при установке третьей фрезы (III) путем поворота блока шаблонов в центрах 5.

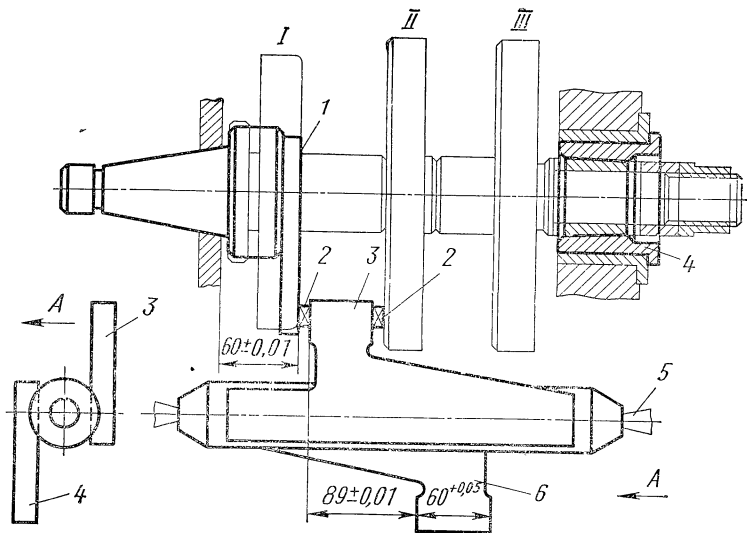


Рис. 23. Настройка набора фрез вне станка

Исследование погрешностей размерной настройки. Для выявления фактических величин погрешностей инструмент после настройки проверяется индикатором, настроенным на номинальный размер. Зафиксированные величины отклонений от номинала подвергаются математическому анализу для получения статистических характеристик.

Погрешность настройки сверл для снятия на многошпиндельном станке фасок в отверстиях исследовалась на приборах с горизонтальным и вертикальным расположением осей инструмента. Для прибора вертикального расположения (см. рис. 19, в) были получены: наибольшее отклонение величины погрешности настройки 0,06 мм; среднее отклонение 0,02 мм; среднее квадратическое отклонение $\sigma = 0,0148$ мм. Для аналогичного прибора с горизонтальным расположением: наибольшее отклонение величины погрешности настройки 0,23 мм, среднее отклонение 0,12 мм, а $\sigma = 0,065$ мм.

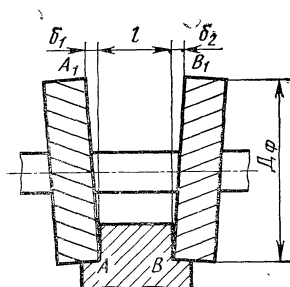


Рис. 24. Погрешность настройки фрез для обработки параллельных плоскостей:
 δ_1 , δ_2 — торцовое биение фрез

Вертикальная компоновка дает лучшие результаты, так как под действием веса звездочки шаблонов и сверла с удлинителем выбираются зазоры и повышается точность настройки. Горизонтальная компоновка не позволяет исключить влияния зазоров. Она пригодна только для настройки инструментов для сквозных отверстий и непригодна, например, для ступенчатых отверстий или снятия фасок.

Важно отметить, что величины погрешностей настройки приборов часто зависят от наладчика. При настройке инструмента на длину на приборе горизонтальной компоновки двумя наладчиками средняя величина отклонения размера от номинала у одного наладчика составила 0,155 мм, а у другого 0,09 мм.

Настройка многолезвийных инструментов по одному зубу или сечению может привести к большим погрешностям обработки. Так, например, у набора из двух фрез, настроенного для одновременного фрезерования параллельных плоскостей, с помощью шаблона и двух щупов было проверено торцовое биение всех зубьев. Характер биения указывает на непараллельность торцовых плоскостей фрез (рис. 24).

Наименьший размер между фрезами определяется расстоянием l между точками A и B , а наибольший — отрезком между точками A_1 , B_1 . При такой настройке нельзя получить высокой точности выдерживаемого размера вследствие двух видов погрешностей, циклически повторяющихся при каждом обороте фрез: колебания упругих отжатий в технологической системе от неравномерной загрузки зубьев фрез и волнистости шага πD_f в результате торцового биения фрез.

9. Точность обработки плоских поверхностей

Производственные наблюдения за точностью обработки плоских поверхностей корпусных деталей на автоматических и точных линиях свидетельствует о том, что требования к пло-

скостности обеспечиваются с большим трудом. Показательно, что в ряде случаев в чертежах вносятся изменения, расширяющие первоначально назначенные отклонения по неплоскостности. Это касается и плоскостей, используемых в качестве баз. Между тем неплоскостность баз оказывает большое влияние на точность обработки детали, особенно на точность взаимного расположения поверхностей. Примером может служить блок цилиндров, полученный из алюминиевого сплава, заготовкой для которого служит литье под давлением. Неплоскостность поверхностей прилегания блока к головкам блока цилиндров оговорена допуском 0,1 мм. В производстве к этой величине приближаются средние значения отклонений, наибольшие же величины в отдельных точках превышают эту величину. Одновременное исследование правой и левой поверхностей прилегания блоков цилиндров позволяет заключить, что причиной их неплоскостности служит неплоскостность нижней базовой поверхности, допускающая деформацию блока цилиндров под действием зажимных сил. Неплоскостность нижней поверхности, в свою очередь, является результатом обработки при базировании на поверхности с большой неплоскостностью. При обработке нижней плоскости заготовка устанавливается на четыре платика, номинально представляющих участки одной поверхности. В действительности, при выведении в одну плоскость любых трех платиков четвертый оказывается выше или ниже их общей плоскости. При закреплении заготовки в приспособлении пластик под действием зажимного усилия доводится до опоры приспособления, и заготовка изгибается.

Дополнительная деформация детали возможна от действия силы P_y в связи с большой неравномерностью характеристик жесткости блока в различных его сечениях, непостоянством величины снимаемого припуска и удаленностью друг от друга опорных платиков. При освобождении обработанной детали от закрепления некоторые участки поверхности окажутся выше, некоторые ниже плоскости сравнения (рис. 25).

Погрешность нижней поверхности блока цилиндров после чернового фрезерования носит характер пропеллерности, т. е. две диагонально расположенные точки 1 и 6 расположены ниже, а две другие точки 5 и 10 выше (рис. 25, а). После чистового фрезерования характер неплоскостности сохраняется, но величина погрешности уменьшается. Причиной погрешности такого типа может служить установка на четыре платика, когда прилегание последнего из них достигается только зажимным усилием.

Для головок блоков цилиндров (рис. 25, б) плоскостность нижней и верхней поверхностей должна находиться в пределах 0,05—0,15 мм на всей длине, так как они используются в качестве базовых для обработки.

Фактические величины неплоскостности отливок характери-

зуются большим разбросом для различных заводов, и нестабильны во времени для одного завода, что указывает на плохую настроенность технологических процессов литья. Для од-

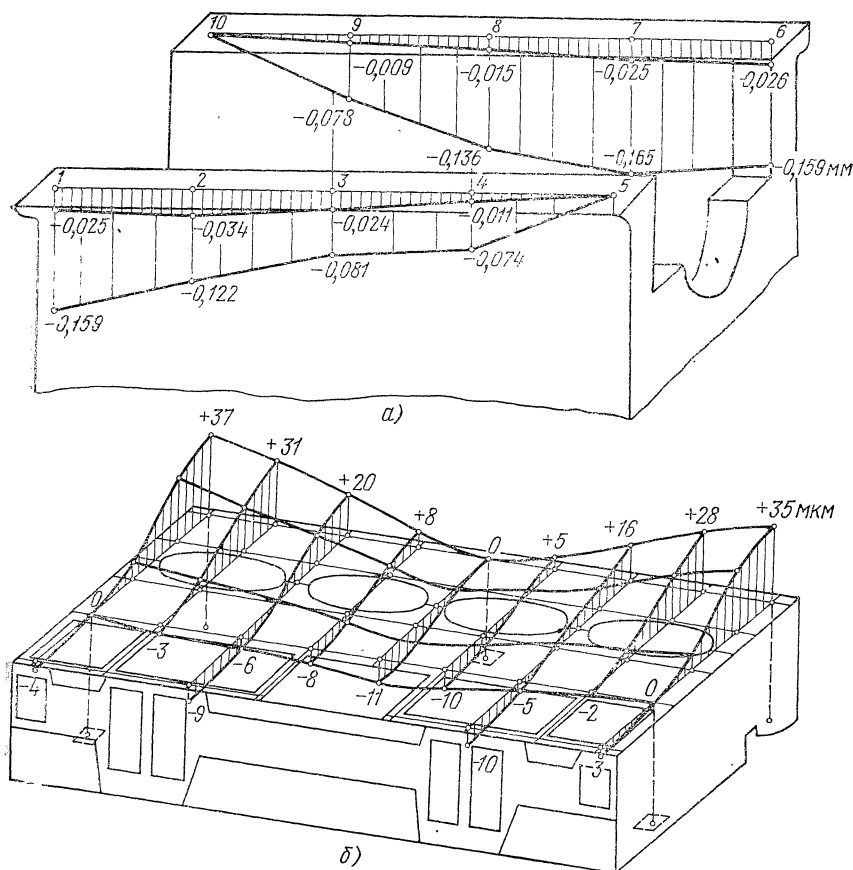


Рис. 25. Топография плоскостей корпусных деталей:

а — базовой плоскости блока после чернового фрезерования (редкая штриховка) и после чистового фрезерования (частая штриховка); *б* — нижней плоскости головки блока после фрезерования с дополнительными опорами

ного завода неплоскостность отливок достигает весьма больших значений: средняя неплоскостность составляет 1,2—1,8 мм, при $\sigma=0,37\div0,43$ мм. На другом заводе она составляет 0,6—0,8 мм при $\sigma=0,3$ мм и лишь в отдельных сериях средняя величина неплоскостности снижается до 0,3—0,5 мм. После черновой и получистовой обработки поверхностей, отчасти вследствие технологической наследственности коробления заготовки, но глав-

ным образом вследствие консольного расположения обоих концов заготовки в приспособлении обработанные поверхности имеют вогнутость в области поперечной оси симметрии (концы приподняты) в сочетании с поперечным уклоном в каком-то определенном направлении. Коэффициент копирования неплоскостности отливки K достигает значений 0,37. В производственном эксперименте

применением дополнительных винтовых опор удалось при полуступенчатой обработке снизить неплоскостность обрабатываемой поверхности с 0,15 до 0,037 мм (рис. 25, б). При чистовом фрезеровании поверхности на агрегатно-фрезерном станке копирования погрешности не наблюдалось. Поверхность приобретала небольшую выпуклость в среднем сечении по длине в сочетании

с поперечным уклоном, при этом направление и величину уклона можно объяснить непосредственным влиянием разноточности опорных пластин позиции. На другом заводе такая же поверхность головки блока после предварительного и чистового фрезерования имеет вогнутость.

В ряде случаев наблюдается адекватность отклонений, указывающая на копирование погрешности предшествующего перехода и наличие технологической наследственности. При исходной неплоскостности $\Delta_{\text{нп}} \leq 0,08$ мм дальнейшего снижения величины при обработке не происходит, и она стабилизируется на этом уровне.

Материалы исследований позволяют установить ориентировочные значения коэффициента уточнения плоскостности, определяемого как отношение неплоскостности при последующем переходе ($\Delta_{\text{нп}}$) к неплоскостности предшествующего перехода

($\Delta_{\text{нп}}$): $K_y = \frac{\Delta_{\text{нп}}}{\Delta_{\text{нп}}}$. На рис. 26 приведены зависимости коэффициента уточнения K_y , полученные по данным производственных исследований.

Для головок блоков цилиндров задается требование параллельности верхней и нижней плоскостей (обычно 0,1 мм на всей длине). Изменение величины непараллельности нижней и верхней плоскостей головок блока у необработанных заготовок и после их полуступенчатого фрезерования в зоне больших погреш-

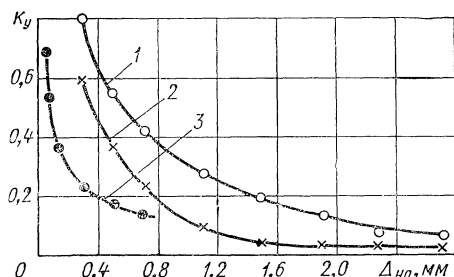


Рис. 26. Зависимость коэффициента уточнения (K_y) формы плоскости алюминиевой детали от величины исходной неплоскостности ($\Delta_{\text{нп}}$):

1 — черновое фрезерование от необработанной базы; 2 — чистовое фрезерование от предварительно обработанной базы; 3 — чистовое фрезерование от чистой базы

ностей заготовок $\Delta_{\text{нп}} = 2-0,6$ мм характеризуется копированием погрешности ($K_y = 0,4 \div 0,2$), начиная от исходной погрешности $\Delta_{\text{нп}} \approx 0,2$ мм (которая в ходе данного перехода обработки не снижается).

Картеры КПП обрабатываются по основным поверхностям при установке на поверхности прилегания крышки. Эта поверхность имеет форму прямоугольной рамки. Неплоскостность базовой поверхности незначительная — средняя величина $\approx 0,04$ мм. Неплоскостность рамок достигает своих наибольших

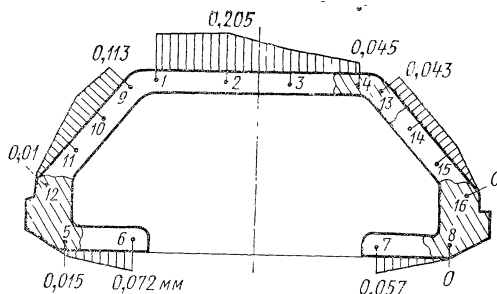


Рис. 27. Неплоскостность базовой поверхности картера сцепления

значений на середине каждой из сторон, а в углах располагаются более высокие точки плоскости. Такой характер неплоскостности типичен для замкнутых рамок.

Картеры сцепления не отличаются большой жесткостью конструкции, так как имеют большую полость, открытую с трех сторон. У картеров сцепления наиболее ответственными являются поверхности прилегания к блоку и картеру КПП (передний и задний торцы). В качестве установочной базы в некоторых случаях используется второстепенная плоскость. Она имеет форму незамкнутой рамки и может располагаться под углом к оси основных отверстий и к переднему и заднему торцам.

Фактическая неплоскостность у отдельных деталей превышает допускаемую величину (0,25 мм) (средние величины отклонений в менее жестких сечениях достигают 0,28 мм, а в более жестких — 0,047 мм). На рис. 27 показан контур базовой плоскости картера сцепления, изготовленного из серого чугуна, и нанесены средние величины неплоскостности для обозначенных номерами от 1 до 16 точек, найденные при массовом исследовании. Если поставить картер базовой плоскостью на плиту, то он будет опираться в трех более высоких участках, расположенных вблизи точек 8—16, 5—12 и 4—13; эти точки расположены в наиболее массивных частях отливки.

Как для рассматриваемого картера сцепления из серого чугуна, так и для картеров из алюминиевого сплава неплоскостность передних и задних торцов находится в пределах

0,02—0,17 мм (при допускаемой величине 0,05—0,12 мм), а непараллельность этих плоскостей составляет 0,025—0,3 мм (при допуске 0,05—0,08 мм). На заводах эти погрешности устраняются обработкой заднего торца после сборки картера с блоком. Изучение влияния пространственных погрешностей, погрешностей базовых плоскостей заготовок и погрешностей установочных элементов позиций на погрешности расположения обрабатываемых поверхностей представляет большой интерес для обработки систем взаимосвязанных поверхностей.

10. Обработка координированных отверстий

На агрегатных станках системы соосных отверстий обрабатываются с одной или с двух сторон без направления режущего инструмента или с направлением во втулках, с жестким или плавающим закреплением инструмента в шпинделе станка (в последнем случае). Все схемы обработки различаются по точности и по целесообразности решения компоновочных задач при проектировании агрегатных станков и автоматических линий. При обработке без направления инструмента отпадает необходимость в кондукторных плитах, сокращается длина рабочего хода инструмента, уменьшается длина неиспользуемой части инструмента, улучшаются условия технического обслуживания позиций (регулировки и смены инструмента при наладке). Однако по этой схеме обрабатываются короткие отверстия с помощью коротких оправок, с малым вылетом и мерных инструментов. По мере увеличения длины отверстий и отношения длины к диаметру появляется опасность смещения оси отверстия и образования при растачивании конусности отверстия. При обработке без направления инструмента возрастает роль шпиндельного узла в обеспечении точности расположения оси отверстия. Для повышения жесткости шпиндели делают массивными, а диаметры инструментальных оправок — лишь незначительно меньше отверстий. (Метод получил название «растачивание жестким шпинделем»). Обработка соосных отверстий без направления инструмента выполняется с одной или с двух сторон. Следует отметить, что в настоящее время наблюдается тенденция к расширению области использования схем обработки без направления инструмента.

При обработке отверстий инструментом 5, жестко связанным со шпинделем, применяются различные варианты направления (рис. 28), учитывающие конструктивные особенности детали 4 и размерные соотношения обрабатываемых систем отверстий. В кондукторную плиту 1 запрессовывается постоянная втулка 2 (грундбукса), а в нее ставится сменная кондукторная втулка 3, которая устанавливается по переходной посадке и при износе внутренней (направляющей) поверхности она заменяется новой без смещения оси. Шпиндели агрегатных

головок обычно имеют цилиндрические отверстия, и инструмент крепится в них через промежуточный элемент — удлинитель. Удлинитель 5 входит в отверстие шпинделя 1 обычно по посадке $\frac{A}{D_1}$ и закрепляется стопорными винтами 2. Крутящий момент передается шпонкой 6. Присоединительные элементы инструмента и удлинителя выполняются в виде конуса Морзе.

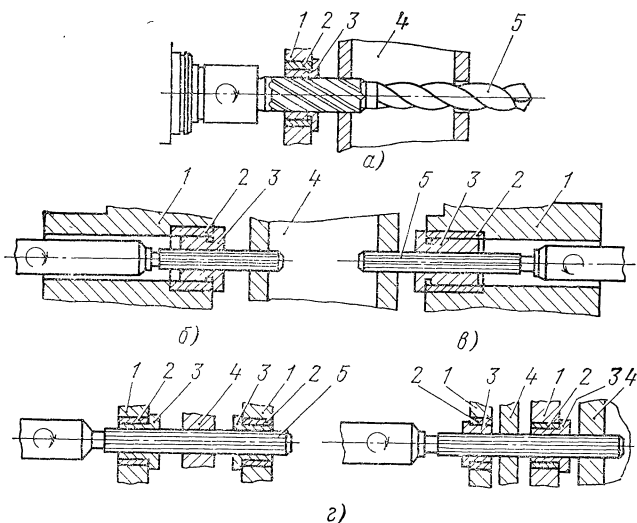


Рис. 28. Схемы обработки соосных отверстий жестко закрепленным инструментом в кондукторных втулках:

а — с передним направлением с одной стороны; б — с передним направлением с двух сторон; в — с передним и задним направлениями; г — с передним и промежуточными направлениями

(Инструменты с цилиндрическими хвостовиками крепятся через переходную разрезную втулку 7). Упорный болт 8, а также упорная гайка 3 служат для регулировки длины вылета инструмента (рис. 29, а и б).

На агрегатных станках при чистовой обработке отверстий резцами, развертками или зенкерами применяется плавающее соединение инструмента со шпинделем (гибкая связь). Борштанга, оснащенная инструментом, соединяется со шпинделем с помощью плавающего патрона и направляется двумя втулками. Узлы направления обеспечивают пространственную ориентацию инструмента и шпиндель станка — подачу и вращательное движение. В этом случае точность расположения осей обрабатываемых отверстий зависит от конструктивно-технологических параметров узлов направления инструмента и борштанг, а не от агрегатной головки и расположения шпинделей.

Расточные позиции, имеющие плавающее соединение инструмента со шпинделем станка, отличаются друг от друга конст-

руктивным исполнением инструмента и узлов его направления, а также различными схемами направления [10]. Борштанга или оправка с закрепленными инструментами может направляться неподвижными или вращающимися втулками узла направления или может быть смонтирована на подшипниках качения во втулке, скользящей по направляющей втулке. Такой тип борштанги именуется «скользящей втулкой».

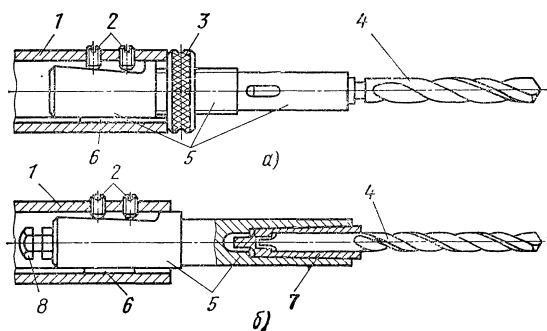


Рис. 29. Крепление сверл на агрегатных головках с регулировкой длины гайкой (а) и болтом (б)

В зависимости от количества узлов направления (опор) схема направления инструмента может быть одно-, двух- или трех-опорной.

Направление режущей частью развертки в неподвижной втулке применяется при развертывании со скоростью до 20 м/мин отверстий диаметром 20—50 мм, при их значительной глубине и симметричной нагрузке. Обработка зенкером или разверткой с передним направлением в неподвижной втулке хвостовиком оправки применяется для отверстий диаметром 30—120 мм. Направляющие участки оправок обрабатываются по ходовой посадке второго класса точности. Для отвода мелкой стружки на направляющей поверхности делаются спиральные канавки. Направление инструмента во вращающихся втулках приспособления применяется при растачивании отверстий диаметром 30—120 мм со скоростью вращения более 20 м/мин и при несимметричном нагружении инструмента. Направляющая втулка приводится во вращение от вращающейся борштанги через скользящую шпонку. Скользящие втулки применяются в тех же случаях, что и вращающиеся. Особенно удобны они при больших диаметрах растачиваемых отверстий с малым межосевым расстоянием, когда трудно разместить в кондукторной плите вращающиеся втулки.

Для получения на автоматических и поточных линиях из агрегатных станков точных отверстий корпусных деталей диаметром 10—30 мм применяется следующая схема обработки:

сверление (точность обработки A_7), зенкерование (точность обработки A_4), развертывание (однократное — при требуемой точности обработки $A_3 - A_{2a}$ и двукратное при требуемой точности обработки A). Для обработки литых отверстий диаметром 30—50 мм применяется следующий порядок технологических переходов: черновое зенкерование или черновое растачивание (точность обработки $A_3 - A_4$), развертывание (одно- или двукратное) или тонкое растачивание (точность обработки $A_{2a} - A$). Отверстия диаметром свыше 50 мм при точности 2-го класса обычно обрабатывают резцами за три перехода (черновое, получистовое и чистовое растачивание).

При обработке систем отверстий применяется много разных схем. Особенно неоправданным разнообразием отличаются схемы обработки систем соосных отверстий. Отклонения диаметральных размеров и формы отверстий обычно не превышают допускаемых величин. Что касается точности расположения отверстий относительно друг друга и относительно баз, то тут обнаруживается взаимосвязь погрешностей расположения осей отверстий с погрешностями одноименных параметров позиций автоматической линии, на которых устанавливается и обрабатывается деталь, и с погрешностями черновой заготовки. Последовательное изменение точностных характеристик исследуемого параметра детали выявилось его измерением на каждом технологическом переходе, при известных геометрических погрешностях позиций и черновой заготовки.

На рис. 30, а показана схема обработки на двухстороннем агрегатно-расточном станке двух соосных отверстий диаметром $96^{+0,035}_{-0,015}$ мм и $62^{+0,01}_{-0,015}$ мм в картере КПП из серого чугуна СЧ 15-32. Технологический процесс обработки этой детали достаточно стабилен, и в отдельных случаях появляется брак по черноте на поверхностях отверстий. Для получения данных о фактических величинах смещений осей отверстий у деталей и для установления взаимосвязей одноименных погрешностей по переходам обработки измерялись координаты исследуемых отверстий в отливке, а затем — после чернового, получистового и чистового растачивания. По мерным плиткам устанавливались номинальные размеры от осей исследуемых отверстий до базовой плоскости и базового отверстия под цилиндрический палец. Затем измерялось фактическое положение осей этих отверстий после каждого перехода [5].

Зоны расположения центров отверстий диаметром 96 и 62 мм по переходам обработки показаны на рис. 30, б и в. Номинальное положение центров отверстий относительно базовых поверхностей детали совпадает с началом координат. При всех технологических переходах наблюдаются значительные смещения осей отверстий в разных направлениях. Даже после чистового растачивания отверстия диаметром 96 мм (рис. 30, б) смещения его центра по оси X достигают 0,64 мм (при среднем

значении смещений 0,556 мм) и 0,37 мм (при среднем значении смещений 0,206 мм) (рис. 30, в). Точность диаметральных размеров этих отверстий, а также базовых отверстий достаточно высока. Отклонение от плоскости базовой поверхности 0,03—0,06 мм.

Для выявления причин, влияющих на точность расположения отверстий картера, был проведен точностный анализ базовых поверхностей детали, узлов установки заготовок и направ-

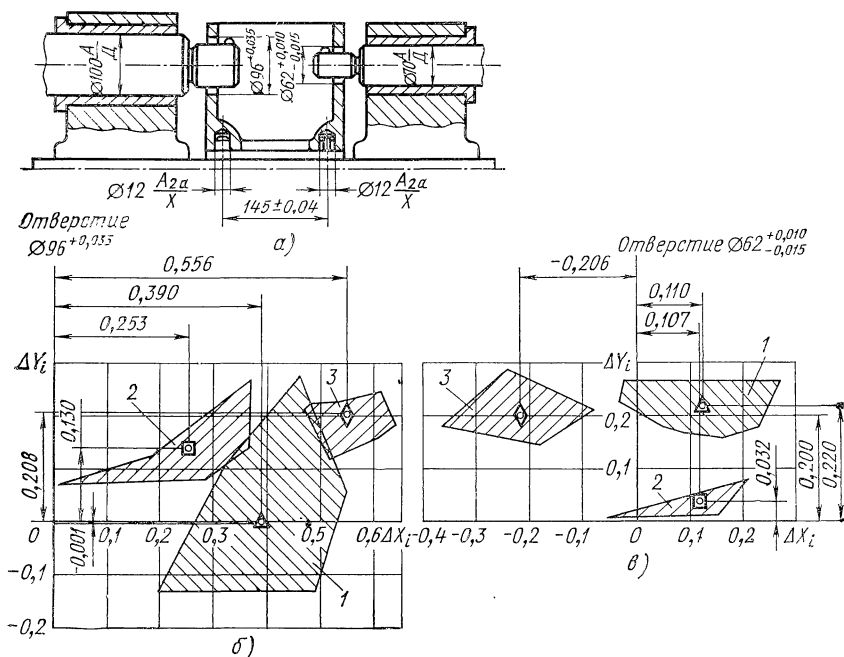


Рис. 30. Точность обработки соосных отверстий на Δ_c :

а — схема обработки соосных отверстий в картере КПП на агрегатном станке; б и в — зоны расположения центров отверстий после чернового 1, полуцистового 2 и чистового 3 растачивания

ления инструментов на станках для черновой, полуцистовой и чистовой обработки. В изношенном состоянии находятся базовые элементы установочных приспособлений станков. Так, неплоскостность опорных пластин достигает 0,12 мм, а износ установочных пальцев 0,1 мм сверх минимально допускаемых размеров. Фактическая погрешность базирования от поворота заготовки на изношенных пальцах достигает 0,22 мм, что может служить одной из причин значительных смещений осей отверстий детали. Не обеспечена надлежащая преемственность (спаренность) технологически связанных позиций. Так, на позициях полуцистового и чистового растачивания разность расстояний

от оси кондукторной втулки до плоскости установочных пластин достигает 0,15 мм. Точностное состояние узлов направления инструментов определяется зазором между направляющей втулкой и расточной оправкой, который достигает 0,08—0,12 мм. Это приводит к смещению оси инструмента под нагрузкой на величину 0,07—0,10 мм.

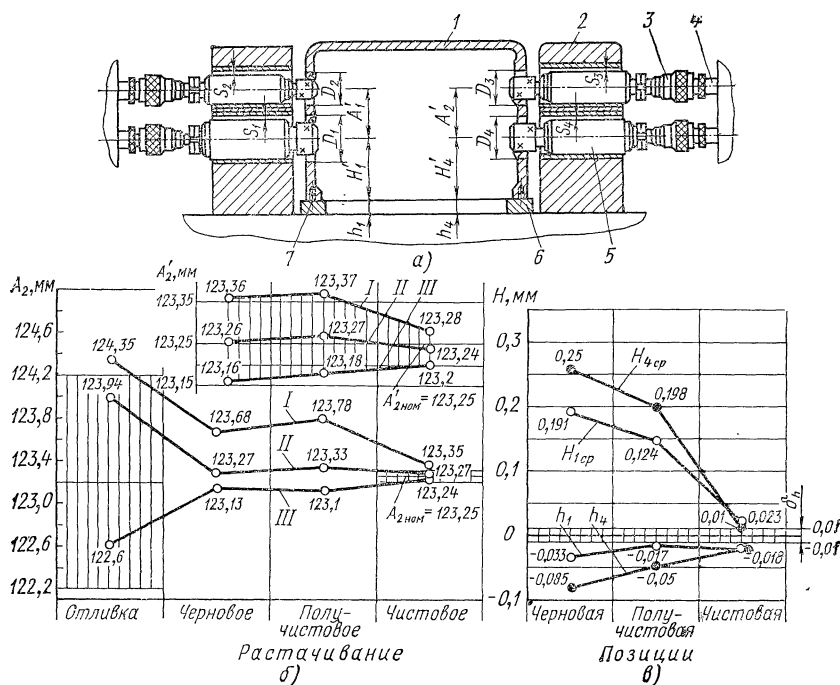


Рис. 31. Схема обработки на автоматической линии соосных отверстий в картере КПП (а):

1 — заготовка; 2 — кондукторная плита; 3 — плавающие патроны; 4 — шпиндели станков; 5 — узлы направления типа скользящей втулки; 6 — опорные пластины; 7 — фиксаторы; A'_1 и A'_2 — межосевые расстояния расточных позиций у станка; H'_1 и H'_4 — расстояния от опорных планок (базовой плоскости) до осей расточных позиций станка; h_1 и h_4 — размеры опорных планок; D_1, D_2, D_3, D_4 — диаметры растачиваемых отверстий у заготовки; S_1, S_2, S_3, S_4 — зазор между направляющей втулкой и борштангой станка; б — взаимосвязь погрешностей обработки картера с геометрической точностью позиций в трех дублирующих потоках I, II, III: A_2 — погрешности межосевых расстояний детали; $A_{2ном}$ — размеры межосевых расстояний станков; в — взаимосвязь погрешностей расположения осей отверстий от базовой плоскости картера (H_1 и H_4) с отклонениями высоты базовых планок (h_1 и h_4)

В картере КПП (рис. 31, а) из серого чугуна СЧ 18-36 обрабатываются две пары соосных отверстий $D_1—D_4$ и $D_2—D_3$, расположенных на заданном межосевом расстоянии (размеры A) с соблюдением требований расположения относительно баз (размеры H). Обработка этих отверстий выполняется последовательно на трех позициях автоматической линии, каждая из которых имеет по два двухшпиндельных агрегатно-расточных

станка. Если технологический процесс получения заготовки картера недостаточно отлажен, обнаруживаются отклонения в размерах и расположении поверхностей отливки, в частности смещение осей номинально соосных отверстий и погрешности межосевых расстояний. Проведенное наблюдение за точностью обработки координированных отверстий (последовательно по всем технологическим переходам и во всех параллельных потоках) показало существенные отклонения размеров. Анализ причин их образования выявил влияние геометрических погрешностей рабочих позиций [14].

На рис. 31,б показана взаимосвязь межосевого расстояния отверстий у деталей ($A = 123,25 \pm 0,05$), обрабатываемых последовательно на трех расточных станках в каждом из трех дублирующих потоков автоматической линии. Средние величины межосевых расстояний A_2 у деталей, обработанных в потоках I, II, III, соответствуют величинам межосевых расстояний A'_2 расточных позиций: большей величине A'_2 у станка соответствуют большие расстояния A_2 у заготовки на всех трех технологических переходах.

Разновысотность опорных пластин, определяемая, например, размерами h_1 и h_4 , переносится на погрешности размеров H_1 и H_4 от базовой плоскости до осей отверстий у деталей в соответствующих позициях (рис. 31,в). Подобную взаимосвязь можно наблюдать и в более сложных случаях обработки. Например, в трех дублирующих потоках большими величинам зазоров в сопряжениях втулка — борштанга двухопорных направляющих узлов при растачивании системы соосных отверстий соответствуют и большие величины несоосности обработанных отверстий. Фактические величины зазоров между направляющей втулкой и борштангой на станках для чернового растачивания составляли 0,085—0,114 мм при максимальном проектном зазоре 0,054 мм. На станках для чистовой обработки они достигают предельных значений. Величина погрешности базирования картера из-за больших зазоров между сильно изношенными фиксаторами 7 (рис. 31,а) и базовыми отверстиями детали может при повороте достигать 0,09 мм на длине 100 мм.

Существенные отклонения наблюдаются по спаренности технологически связанных позиций. Так, для позиций чернового и чистового растачивания разность расстояний от осей шпинделей до направляющих агрегатных головок станков левой стороны равна 0,13 мм, а правой — 0,19 мм.

Корреляционный анализ результатов измерения межосевых расстояний A_1 детали (см. рис. 31), проведенный для четырех смежных технологических переходов, свидетельствует о наличии достаточно тесной связи между одноименными погрешностями на переходах обработки. Эмпирический коэффициент корреляции r_{xy} , а также прямые, определяющие зависимость отклонения y_i от среднего размера A_1 на рассматриваемом технологическом

переходе от отклонения x_i на предшествующем переходе, представлены на рис. 32. Учитывая, что при коэффициенте корреляции $r_{xy}=0$ отсутствует связь между погрешностями, а при $r_{xy}=1$ имеет место функциональная связь между ними, полученные коэффициенты $r_{xy}=0,96$, $r_{xy}=0,71$ и $r_{xy}=0,19$ указывают на связь между исследуемыми погрешностями межосевого расстояния на смежных технологических переходах. Более четкая связь — на переходах отливка — черновое растачивание, а затем постепенно ослабевающая.

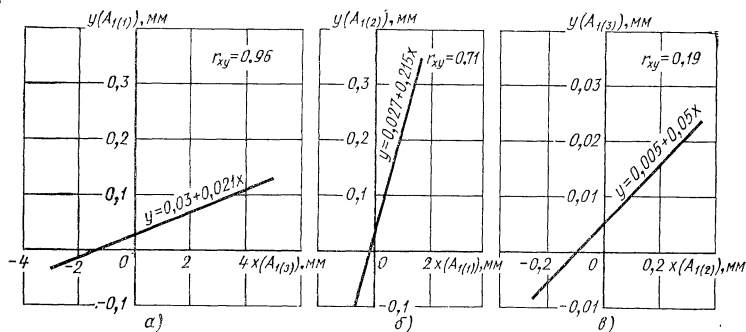


Рис. 23. Корреляционные зависимости погрешностей межосевых расстояний A_1 детали на смежных технологических переходах:

а — заготовка—черновое растачивание; б — черновое—получистовое растачивание; в — получистовое—чистовое растачивание

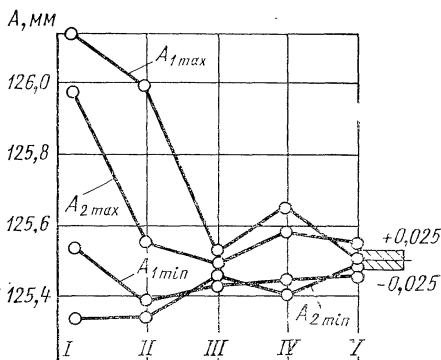
Отверстия под коленчатый и распределительный валы блока цилиндров V-образного двигателя, изготавливаемого из алюминиевого сплава, обрабатываются последовательно в трех позициях автоматической линии при помощи борштанг, направляемых во вращающихся втулках. Отливку блока получают литьем под давлением, ее погрешности оказывают влияние на конечную точность системы взаимосвязанных отверстий. Как видно из графика (рис. 33), во время обработки наблюдаются смещения осей отверстий как у литых заготовок, так и после трехкратной механической обработки отверстий. После чистового растачивания отверстий под распределительный вал смещение осей по оси X составляет $0,16$ мм (при допустимом смещении $\pm 0,05$ мм); имеет место разброс координат осей отверстий и смещение среднего положения координат с номинального положения. Разброс координат отверстий происходит из-за нестабильности координат на предшествующем переходе, влияния погрешности установки заготовки и смещения расточной борштанги на зазоре между направляющей втулкой и борштангой. Смещение же среднего положения координат объясняется отклонением оси направляющей втулки с номинального положения относительно установочных элементов агрегатного станка (неспаренностью позиций). Существенно снижается точ-

ность межосевых расстояний после запрессовки втулок в отверстия под распределительный вал.

Наблюдается взаимосвязь погрешностей межосевого расстояния отверстий под коленчатый и распределительный валы на выполняемом и предшествующем переходах по всему процессу обработки. Так, между погрешностями межосевых расстояний у литой заготовки и после чернового растачивания имеет место корреляционная зависимость, характеризуемая коэффициентами корреляций $r_{xy}=0,35—0,5$.

Рис. 33. Изменение величины межосевого расстояния A отверстий под коленчатый и распределительный валы в блоке цилиндров:

A_1 — у переднего торца; A_2 — у заднего торца; I — заготовка; II — черновое растачивание; III — чистовое растачивание; IV — запрессовка втулок; V — окончательное растачивание



Система координированных отверстий блока включает не только отверстия под коленчатый и распределительный валы, но и 16 отверстий под толкатели (по 8 отверстий в правом и левом рядах). К отверстиям под толкатели, кроме требований взаимного расположения, предъявляются требования расположения относительно оси распределительного вала: перпендикулярности оси и пересечение осей с осью распределительного вала. Отверстия под толкатели отливаются в заготовке, затем зенкуются и развертываются инструментами, соединенными со шпинделями через плавающие патроны и направляемыми во втулках стационарных кондукторных плит. Неточность расположений осей отверстий у заготовки вызывает неравномерное распределение припусков в процессе обработки. После зенкерования отклонения от перпендикулярности осей достигают 0,3—0,4 мм, а непересечение осей с осью распределительного вала 0,4—0,6 мм. Такие погрешности трудно устранить развертыванием и обеспечить допускаемые отклонения: 0,05—0,1 мм соответственно. Погрешности обработки заготовок, отлитых в старой изношенной пресс-форме, значительно больше (размах 0,75 мм), чем в новой пресс-форме (размах 0,56 мм).

Точность координат отверстий в головке блока цилиндров формируется в аналогичных условиях. Ее заготовку получают литьем в кокиль из алюминиевого сплава. Величины межосе-

вых расстояний отверстий под седла клапанов в отливке соблюдаются удовлетворительно, но средние размеры смещены с номинальных на 0,1—0,2 мм и припуски на обработку весьма завышены. Отверстия под втулки клапанов обрабатываются тремя переходами: сверлением, зенкерованием и развертыванием. Для сверления характерны весьма большие величины увода осей отверстий — до 1,2 мм. Последующим зенкерованием положений осей отверстий достаточно эффективно исправляется средний коэффициент уменьшения погрешности

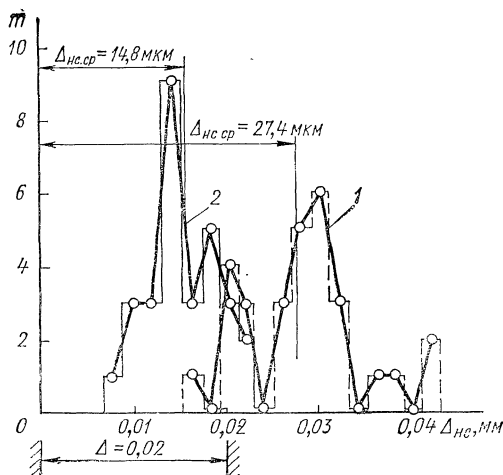


Рис. 34. Кривые распределения величин несоосности ($\Delta_{нс}$) для детали нежесткой конструкции

$K_y = \frac{\Delta_{зен}}{\Delta_{отл}} = 0,22$. Интенсивность снижения погрешности при развертывании после зенкерования заметно снижается (средняя величина $K_y = 0,6$).

Несовпадение осей отверстий под втулки и седла клапанов после раздельного сверления и зенкерования в разных позициях достигает 1,5—1,7 мм (при средней величине 1,3 мм). После зенкерования комбинированным инструментом в одной позиции величина несовпадения осей в среднем составляет 0,22 мм; этот переход обработки характеризуется средним коэффициентом уменьшения погрешности $K_y = 0,15$, а при последующем развертывании $K_y = 0,72$.

Погрешности расположения поверхностей у деталей, особенно в случае низкой жесткости их конструкций, изменяются при освобождении от зажимных сил или при приложении сил в других точках. Требования точности расположения поверхностей важно обеспечить в собранном узле, заготовку во время обработки на станках устанавливают на те же точки и закреп-

ляют с тем же усилием, как и в узле. На автоматических линиях применяют подобные технологические приемы. На рис. 34 приведены гистограммы распределения величин несоосности для системы из пяти отверстий у детали нежесткой конструкции из алюминиевого сплава. Несοοсность измерялась у детали, находящейся в свободном состоянии (кривая 1) и в закрепленном состоянии (кривая 2). Условия закрепления при измерении и обработке были одинаковы и соответствовали условиям сборки.

Исследования точности многопереходной обработки корпусных деталей на ряде автоматических и поточных линий показывают, что требуемая чертежом точность координат отверстий достигается с большими трудностями. Для промежуточных переходов обработки допуски на расположение осей отверстий обычно не назначаются, точность по этим параметрам обеспечивается точностью оборудования. В действительности же величины отклонения координат на промежуточных переходах настолько велики, что их трудно устранить на последнем технологическом переходе.

11. Точность обработки крепежных отверстий

Крепежные отверстия корпусных деталей располагаются обычно группами с отклонением межосевых расстояний в пределах от 0,15 до 0,25 мм. Резьба выполняется по 1-му или 2-му классам точности. Одновременно с резьбовыми отверстиями обрабатываются гладкие отверстия небольшого диаметра. Некоторые из этих отверстий обрабатываются по 2-му классу точности с обеспечением размеров межосевого расстояния $\pm 0,1$ или $\pm 0,05$ мм. Для резьбовых отверстий необходимо обеспечить точность резьбы и перпендикулярность оси отверстия к торцовой поверхности. При неперпендикулярности оси резьбового отверстия (увода оси) при сборке в резьбе возникают дополнительные не предусмотренные расчетом напряжения. При нарезании резьбы имеет значение качество выполнения фасок в отверстиях.

Производственные исследования точности сверления отверстий малого диаметра (гладких или под резьбу) производились на корпусных деталях из алюминиевого сплава и чугуна, изготовляемых на автоматических линиях. Диаметральные размеры отверстий под резьбу М8, обработанных многошпиндельной агрегатной головкой в детали из алюминиевого сплава, имели пределы 6,73—6,98 мм при заданном размере $6,7^{+0,1}$ мм. Величина увода осей для этой группы отверстий имела пределы 0,16—2,5 мм на 100 мм длины. (Для отверстий, просверленных одним сверлом, увод оси колебался в пределах 0,48—0,9 мм на 100 мм длины). Наиболее вероятной причиной увода осей при сверлении можно считать несоосность шпинделей и кондукторных втулок.

Точность межосевых расстояний отверстий под резьбу после сверления надежно обеспечивается в пределах $\pm 0,25$ мм, хотя во многих случаях фактические отклонения составляли $\pm 0,15$, $\pm 0,1$ и даже $\pm 0,04$ мм. После нарезания резьбы в отверстиях погрешность их межосевых расстояний практически не изменилась. Размах величин увода осей для ранее приведенной группы отверстий уменьшился до $0,22\text{—}0,6$ мм на 100 мм длины. А направление увода после нарезания резьбы переместилось (рис. 35). Если после сверления направления увода

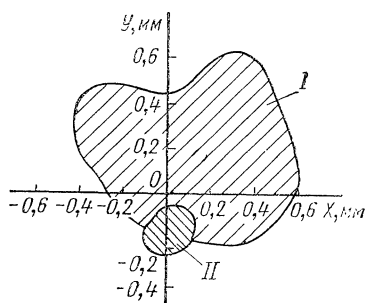


Рис. 35. Зоны расположения уводов осей отверстий после сверления I и после нарезания резьбы II

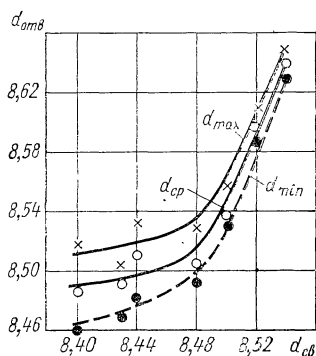


Рис. 36. Зависимость размеров отверстий от диаметров сверл

осей для основной массы отверстий попадали в I и II четверти, то после нарезания резьбы зоны уводов сместились в III и IV четверти (рис. 35). Такое смещение можно объяснить наличием доминирующего фактора, иным характером наклона агрегатной головки в позиции резьбонарезания, погрешностями установки и т.п. При сравнении направлений уводов после сверления и резьбонарезания отдельных отверстий преимущественности погрешностей не обнаруживается. Отсюда можно сделать вывод, что положение оси отверстия при резьбонарезании формируется вновь.

После сверления в детали из чугуна на двустороннем агрегатном станке двух групп отверстий диаметром $8,5^{+0,1}$ мм под резьбу размеры отверстий имели пределы $8,46\text{—}8,65$ мм, т. е. были обработаны по размеру $8,5^{+0,15}_{-0,04}$ мм. В правой головке были установлены сверла диаметром от 8,4 до 8,49 мм, а в левой головке сверла диаметром 8,41—8,47 мм. Отверстия, просверленные сверлом диаметром 8,48 мм, имели размеры $8,63\text{—}8,65$ мм и все выходили за пределы допуска. Отверстия, обработанные сверлом диаметром 8,4 мм, находились в пределах $8,46\text{—}8,52$ мм, т. е. часть отверстий была наименьшего предельного размера. Отверстия, обработанные сверлами диаметром 8,41—8,47 мм, в большинстве случаев находятся в пределах

допуска, но в отдельных случаях выходят из него. Отверстия, обработанные сверлом диаметром 8,44 с одного шпинделя, были ниже заданного размера, а при обработке таким же сверлом с другого шпинделя были выше заданного размера. Это происходит из-за больших колебаний в величине разбивки отверстий. Для нескольких сверл одного диаметра величина разбивки изменяется от 0,02 до 0,07 мм, а среднеквадратическое отклонение размеров отверстий, обработанных одним сверлом с одного шпинделя, изменяется от 0,0069 до 0,0262 мм.

На рис. 36 приведены зависимости диаметральных размеров отверстий детали от диаметров сверл. Большой разброс значений для сверл диаметром 8,4—8,46 мм объясняется скорее всего различными величинами зазоров кондукторная втулка — сверло. Если предположить, что диаметральные размеры кондукторных втулок имеют незначительный разброс, то зазоры в их сопряжениях со сверлами по мере увеличения диаметров сверл становятся меньше. Этим и объясняется наблюдаемое на графиках уменьшение разброса размеров отверстий при обработке сверлами диаметром более 8,46 мм.

Разбивка отверстия зависит также от радиального биения шпинделя. При непараллельности его оси к направляющим агрегатной головки от 0,02 до 0,14 мм на 300 мм длины радиальное биение сверл у конца достигает 0,05—0,08 мм. Для повышения точности диаметральных размеров отверстий необходимо отбирать сверла для использования в многошпиндельных станках с учетом износа направляющих поверхностей кондукторных втулок. В рассмотренном случае было целесообразно ограничить диапазон сверл в наладках диаметрами от 8,44 до 8,47 мм.

Размеры гладких отверстий диаметром $15^{+0,24}$ мм по чертежу во всех сериях исследований находились в пределах $15^{+0,17}$ мм; диаметры сверл — от 14,97 до 15 мм; зазоры в сопряжениях кондукторная втулка — сверло — 0,02—0,065 мм. Зависимость величины среднеквадратического отклонения диаметральных размеров отверстий от зазора имеет параболический вид. Сопоставляя величины $6\sigma = 0,048—0,138$ мм для различных серий исследований с допускаемым отклонением $\Delta = 0,24$ мм, можно признать настроенность технологического процесса (при сверлении отверстий диаметром $15^{+0,24}$ мм) хорошей. Точность межосевых расстояний рассматриваемой группы гладких отверстий диаметром 15 мм для восьми серий исследований надежно выдерживается с отклонением $\pm 0,25$ мм, в крайнем случае $\pm 0,2$ мм (при заданном допуске $\pm 0,15$ мм). Для отдельных серий исследований $\sigma = 0,0248$ мм. С течением времени, по мере увеличения зазоров в сопряжениях сверл и направляющих втулок от износа и применения в наладках сверл заниженного размера и других эксплуатационных факторов, средние размеры межосевых расстояний смещаются с

номинального размера на 0,02—0,06 мм. При замене изношенных втулок средний размер межосевых расстояний изменяется на 0,08—0,12 мм. Если межосевые расстояния шпинделей и соответствующих им кондукторных втулок отличаются на 0,02—0,04 мм, то средние размеры межосевых расстояний отверстий у деталей приближаются к величине межосевого расстояния втулок. Точность межосевых расстояний гладких отверстий в детали из алюминиевого сплава в заданном допуске $\pm 0,1$ мм фактически не выдерживается. Для различных размеров $6\sigma = 0,216 \div 0,402$ мм, при этом наблюдается смещение среднего размера с номинального на 0,1—0,15 мм. Для отверстий с допускаемым отклонением по межосевому расстоянию отверстий $\pm 0,25$ мм величина $6\sigma = 0,552 \div 0,978$ мм.

12. Точность осевых размеров отверстий

Точность осевых размеров обеспечивается при подрезании наружных и внутренних торцов, снятии фасок в отверстиях, сверлении глухих отверстий. Для всех инструментов на данной агрегатной головке точность осевых размеров зависит от точности остановки агрегатной головки в переднем положении. В свою очередь, точность отдельного размера зависит от точности настройки этого инструмента на выдерживаемый осевой размер.

Точность остановки агрегатной головки при работе по жесткому упору обеспечивается в пределах 0,1—0,2 мм, а при путевом переключении — в пределах 1 мм. Однако на стабильность остановки агрегатной головки в конце рабочего хода влияет много факторов: и осевая жесткость системы шпиндель — инструмент, и колебание усилия резания в зависимости от изменения твердости материала, и изменения величины припусков на обработку, и затупление инструмента, и тепловые деформации системы. Поэтому точность осевых размеров деталей при работе по жесткому упору не превышает 0,5 мм, а при использовании путевой системы 1,5 мм. Влияние тепловых факторов проявляется в связи с нагревом масла в баке и нагревом корпуса силовой головки. С уменьшением подачи под влиянием дросселирования температура масла повышается, а при увеличении подачи снижается. Поэтому точность остановки агрегатной головки под влиянием нагрева при малой подаче ниже, чем при большой подаче. В последнем случае значительного повышения точности остановки не наблюдается, так как возникает дополнительная погрешность от действия сил инерции. Тепловые деформации оказывают влияние на точность осевых размеров также в связи с изменением температурного режима инструментальной наладки. Так, в действующем производстве возникли трудности при обеспечении глубины отверстия $99 \pm 0,15$ мм при одновременной подрезке наружного и

внутреннего торцов отверстия при остановке по жесткому упору. Общая длина инструментальной наладки с учетом других обрабатываемых участков достигала 450 мм. При такой длине наладки удлинение при нагреве на 40—50°С достигает 0,25—0,3 мм. Чтобы избежать брака, необходимо в течение смены несколько раз регулировать настроечный размер путем перемещения упора: в начале работы устанавливается больший размер, а когда оправка нагревается — меньший. Необходимость в такой регулировке возникает при остановке линии более чем на 30 мин.

Измерение глубины отверстий под седла клапанов в головках цилиндров выявило несоблюдение настроечных размеров и неблагоприятные условия выполнения операции по окончательной подрезке торцов в отверстиях при большом разбросе, полученном на предшествующем переходе. При заданном размере $26,15 \pm 0,2$ мм после первого зенкерования разброс по глубине составляет 0,2—3,5 мм, после второго зенкерования разброс снижается до 0,4—1 мм, после развертывания он составляет 0,4—0,8 мм. Таким образом, средний размер после развертывания меньше заданного на 0,5 мм. Размеры фасок при многошпindleльной обработке в ряде случаев довольно заметно отклоняются от заданных величин. Это относится и к глубине глухих отверстий. При сверлении сквозных отверстий в отдельных случаях номинально одинаковые длины сверл для обработки группы отверстий фактически отличаются друг от друга на 5—10 мм. Из-за одновременности вступления в работу сверл такой наладки обеспечить точность по многим параметрам труднее.

13. Обработка торцовых поверхностей

Обработка торцовых поверхностей отверстий связана с обеспечением требования перпендикулярности к оси отверстия. Торец отверстия — плоскость кольцевой формы, когда ее диаметр соизмерим с диаметральной размерной величиной отверстия. Корпусные детали часто имеют несколько отверстий с параллельными осями и при небольшой величине их межосевого расстояния торцовые поверхности сливаются в одну плоскость большого размера и сложного контура. Такие торцовые поверхности превращаются в плоскости, определяющие собою габариты детали. Фрезерованием таких поверхностей довольно трудно обеспечить высокую точность расположения торца относительно оси отверстия и окончательная обработка плоскостей выполняется вне линии при базировании детали по наиболее ответственному отверстию.

Торцовые поверхности отдельных отверстий подрезаются с осевой подачей торцовым зенкером, подрезной головкой, цековкой или обрабатываются методом точения с радиальной

подачей резца. Подрезку с осевой подачей инструмента производят как с применением направляющего пальца, так и без него, при этом обеспечивается точность осевых размеров по 4—5-му классам точности. Инструмент с направляющим пальцем используется при обработке торцов диаметром до 100—120 мм. Инструментами без направляющего пальца обрабатываются бобышки и платики диаметром до 30—35 мм. Зенкерованием обрабатывают одновременно торцовые поверхности и отверстия, к которым не предъявляется высоких точностных требований. С радиальной подачей резца обрабатывают широкие торцы при высоких требованиях к точности расположения (перпендикулярности к оси отверстия). На агрегатных станках механизмами радиальной подачи резца оснащаются специальные подрезные головки или обычные силовые головки. Специальная подрезная головка размещена внутри силовой головки, а подрезное устройство — плансуппорт — на шпинделе силовой головки. До момента подрезки торца силовая головка перемещается до жесткого упора на станке, определяющего осевой размер растачиваемого отверстия, и останавливается. С помощью подрезной головки плансуппорту сообщается радиальная подача. Обычная силовая головка оснащается подрезной оправкой. Когда корпус оправки упирается в кондукторную плиту и останавливается, толкатель, связанный патроном со шпинделем, продолжает движение вместе с силовой головкой. Осевое перемещение толкателя с помощью специального устройства преобразуется в радиальную подачу резца.

Плансуппорты бывают копирные, зубчато-реечные, эксцентрические и гидравлические. Соответственно оправки могут быть клиновые, эксцентрические, копирные (с механизмом отскока и без него), рычажно-копирные, зубчато-реечные [30].

Оправки применяются при обработке торцов небольшой протяженности. Наибольший ход инструмента (до 60 мм) позволяют получить зубчато-реечные оправки. Копирные и рычажно-копирные оправки применяются при длине обработки до 40 мм. «Косые» и эксцентрические оправки используются для обработки канавок и уширений, так как имеют небольшой ход. По точности эти механизмы примерно равнозначны и обеспечивают перпендикулярность торца к оси отверстия в пределах 0,1 мм на длине 150—200 мм. Наиболее широкое применение нашли копирные и зубчато-реечные оправки.

Плансуппорты применяются для обработки торцов при длине хода резцовой каретки более 60 мм, а также при обработке торцов больших диаметров. Более широко применяются зубчато-реечные и копирные плансуппорты. При весьма жестких точностных требованиях отдается предпочтение копирным механизмам, так как они отличаются жесткостью конструкций, динамически уравновешены, имеют плавный ход и обеспечи-

вают перпендикулярность обработанного торца к оси отверстия в пределах 0,02—0,03 мм на 100 мм длины. Эксцентрические суппорты имеют незначительную длину хода, что и ограничивает их применение. В гидравлическом плансуппорте преобразование направления подачи производится с помощью гидросистемы. Достоинством данной конструкции является ее простота, недостатком — неуравновешенность плансуппорта.

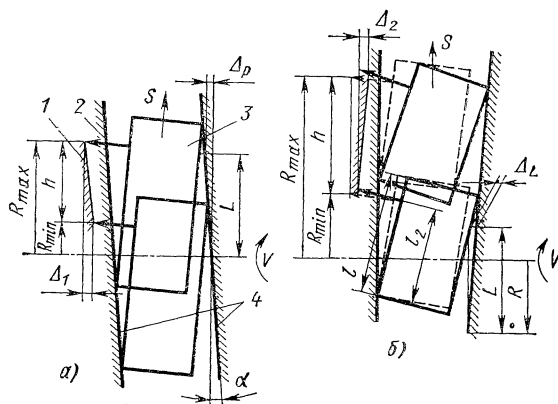


Рис. 37. Расчетные схемы определения погрешностей при подрезании торцов с радиальной подачей резца:

а — влияние неперпендикулярности направления рабочей подачи; *б* — влияние непараллельности направляющих каретки: 1 — обрабатываемая поверхность; 2 — резец; 3 — резцовая каретка; 4 — направляющие

На точность обработки поверхностей при использовании механизмов радиальной подачи резца оказывает влияние неперпендикулярность направляющих резцовой каретки к оси вращения механизма, непараллельность направляющих и непостоянство длины направления резцовой каретки (рис. 37).

Как видно на рис. 37, *а*, неперпендикулярность (угол α) направляющих резцовой каретки к оси вращения (V) механизма приводит к образованию направленной неплоскостности обработанной поверхности (конусность). Погрешность обработки на длине хода h резца

$$\Delta_1 = \frac{\Delta_p}{L} h = \frac{\Delta_p}{L} (R_{\max} - R_{\min}), \quad (8)$$

где Δ_p — отклонение от перпендикулярности направляющих; L — длина направления, к которой приведена погрешность Δ_p ; $R_{\max}$ и $R_{\min}$ — максимальный и минимальный радиусы обработки.

Непараллельность направляющих друг другу оказывает влияние на точность обработки только у оправок и у плансуп-

портов, в которых рабочая радиальная подача (s) резца осуществляется при ходе толкателя на деталь. Это не означает, однако, что плансуппорты, у которых радиальная подача резца осуществляется при ходе толкателя «от детали», обеспечивают более высокую точность обработки при прочих равных условиях. Из рис. 37, б видно, что обработанная поверхность в первом приближении является конической. Погрешность обработки Δ_2 можно вычислить по формуле

$$\Delta_2 = \frac{\Delta_L}{L} h \frac{l_2}{l}, \quad (9)$$

где Δ_L — отклонение от параллельности направляющих на длине L ; l — длина направляемой части резцовой каретки; l_2 — высота крепления резца.

Рассматривая два фактора: перпендикулярность направляющих к оси и их взаимную параллельность, можно заметить, что погрешность обработки, получаемую от неперпендикулярности направляющих к оси, можно компенсировать погрешностью от непараллельности, но только при обработке наружных поверхностей. Величина отклонения от параллельности Δ_L , необходимая для компенсации погрешности от неперпендикулярности направления к оси вращения механизма, определяется по формуле

$$\Delta_L = \Delta_p \frac{l}{l_2}. \quad (10)$$

Переменная длина направления резцовой каретки наблюдается (особенно часто у оправок) при выходе резцовой каретки из направляющих на длине рабочего хода. Непостоянство длины направления приводит к повороту каретки, что, в свою очередь, вызывает смещение инструмента в осевом направлении.

Данная погрешность возникает только при обработке механизмами, у которых рабочая радиальная подача резца осуществляется при ходе толкателя «на деталь». Чтобы избавиться от этой погрешности, следует, где это возможно, осуществлять рабочую радиальную подачу резца при ходе толкателя «от детали». Такое конструктивное исполнение возможно в плансуппортах. В оправках эту погрешность можно исключить, если занизить вылет каретки.

1. Установка в позиционных приспособлениях автоматических линий

Применяемые схемы установки. При обработке у корпусных деталей систем координированных поверхностей применяются следующие схемы установки: на три взаимно перпендикулярные плоскости, на две взаимно перпендикулярные плоскости и одно отверстие, на одну плоскость и два отверстия, на одну плоскость и три отверстия.

Сложность корпусных деталей обуславливает необходимость применения многопереходной обработки, связанной с многократной переустановкой заготовки. При обработке деталей на автоматической линии важно соблюдать принцип постоянства базы, так как при перемене баз: требуется применение приспособлений разного типа, затрудняется транспортировка заготовок, необходимы дополнительные устройства для автоматического перебазирования. Выбор баз основывается на обеспечении возможности подвода режущих инструментов для обработки наибольшего числа поверхностей, т.е. на создании условий для максимальной концентрации операций. При установке на две плоскости и одно отверстие доступ для обработки обычно ограничивается, а при установке на три плоскости не удовлетворяет ни одно из этих требований. Наиболее распространена установка на плоскость и два отверстия, в которые входят выдвижные фиксаторы. При опущенных фиксаторах заготовка вводится в рабочую зону одним простейшим прямолинейным движением, а затем при движении фиксаторов вверх она окончательно устанавливается в рабочей позиции. Применение неподвижных установочных пальцев вместо выдвижных фиксаторов несколько снижает погрешность установки, однако на автоматических линиях это связано с усложнением процесса ввода заготовок в рабочую зону: в случае расположения установочных пальцев на нижней плоскости необходимо приподнять заготовку и посадить ее отверстиями на пальцы, а в случае расположения пальцев на верхней плоскости приспособления необходимо поднять заготовки на большую высоту.

Базовые элементы. К базовым элементам позиционных приспособлений относятся опорные пластины и фиксаторы (установочные пальцы). Опорные пластины и фиксаторы подвер-

гаются закалке. Неплоскостность опорных пластин 0,02—0,03 мм на длине рабочей зоны. Фиксаторы выполняются цельной и сборной конструкции; в последнем случае верхняя часть, входящая в отверстие заготовки, присоединяется к нижней части (толкателю) на резьбе. Радиальное биение верхней части фиксатора относительно участка, сопрягаемого с направляющей втулкой механизма фиксации, составляет 0,04 мм. Диаметральные размеры верхних участков фиксаторов выполняются обычно по посадкам *D* и *H*. Допуски на межосевое расстояние фиксаторов после сборки позиций обычно не назначаются.

При проектировании базовых элементов заготовок руководствуются общими соображениями по уменьшению величины погрешности базирования. В качестве базовых плоскостей выбирают наиболее ответственные и точно обрабатываемые поверхности, а базовые отверстия располагают как можно дальше друг от друга. Точность межосевых расстояний базовых отверстий задается обычно без расчетных обоснований, с допускаемыми отклонениями от $\pm 0,03$ до $\pm 0,1$ мм.

В табл. 2 показан ряд характерных базовых поверхностей корпусных деталей, обрабатываемых на автоматических и поточных линиях, и их некоторые данные.

Анализ схемы базирования на плоскость и два отверстия. Чтобы обеспечить установку заготовки на два пальца без заклинивания, один из пальцев выполняется цилиндрическим, а другой — срезанным в зоне возможного заклинивания (ромбическим) [22]. При этом должны соблюдаться определенные сочетания таких конструктивных параметров: диаметры цилиндрических пальцев и ширина ленточки ромбического пальца, предельные величины межосевых расстояний отверстий и пальцев, минимальность зазоров в сопряжениях палец—заготовка и фиксатор—направляющая втулка механизма фиксации.

Условия установки заготовки без заклинивания определяются следующими уравнениями.

При установке на жесткие (неподвижные) пальцы:

$$\delta_o + \delta_{\pi} \leq S_{\pi \min} + \frac{d_p}{b} S_{p \min}. \quad (11)$$

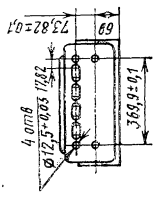
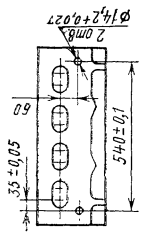
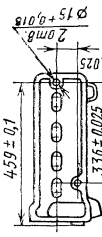
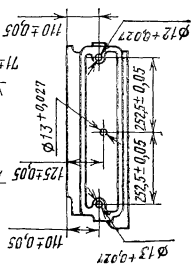
При установке на выдвижные фиксаторы

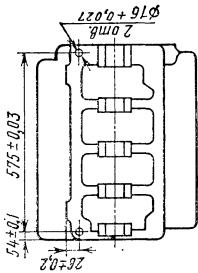
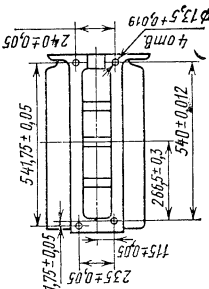
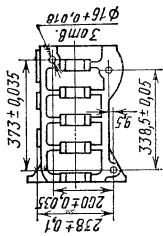
$$\delta_o + \delta_{\pi} \leq S_{\pi \min} + \Delta_{\pi \min} + \frac{d_p}{b} S_{p \min} + \Delta_{p \min}, \quad (12)$$

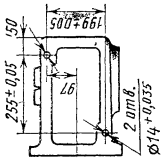
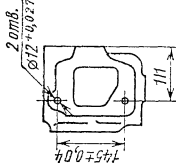
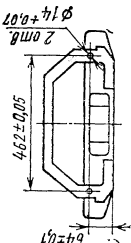
где δ_o , δ_{π} — допускаемые отклонения межосевых расстояний отверстий и пальцев; $S_{\pi \min}$, $S_{p \min}$ — минимальные зазоры в сопряжениях цилиндрического и ромбического пальцев с заготовкой; $\Delta_{\pi \min}$, $\Delta_{p \min}$ — минимальные зазоры в сопряжениях

Таблица 2

Базовые поверхности корпусных деталей автомобилей

Деталь	Габариты базовой поверхности (округленно), мм	Технические требования		Схема расположения отверстий
		Неплоскостность, мм	Параметры шероховатости, мкм	
Головки блока цилиндров				
«Москвич»	415×170	0,15**	$Rz=10\div20$ (▽5)	
ЗИЛ-130	580×260	0,25**	$Rz=10\div20$ (▽5)	
«Жигули»	475×160	0,1 (0,05)	$Ra=1,24\div2,5$ (▽6)	
ГАЗ-66	550×190	0,05	$Ra=1,25\div2,5$ (▽6)	

Деталь	Габариты базовой поверхности (округленно), мм	Технические требования		Схема расположения отверстий
		Неплоскостность, мм	Параметры шероховатости, мкм	
Блок цилиндров				
ЗИЛ-130	645×290	0,15 (0,04)***	$Ra=1,25 \div 2,5$ ($\nabla 6$)	
ГАЗ-66	590×275	0,1	$Rz=10 \div 20$ ($\nabla 5$)	
«Жигули»	440×285	0,1 (0,05)***	$Rz=10 \div 20$ ($\nabla 5$)	

Деталь	Габариты базовой поверхности (округленно), мм	Технические требования		Схема расположения отверстий
		Неплоскостность, мм	Параметры шероховатости, мкм	
Картер коробки передач (КПП) ЗИЛ-130	370×230	0,15	$R_z=20 \div 40$ ($\nabla 4$)	
«Москвич»	160×145	—	$R_a=1,25 \div 2,5$ ($\nabla 6$)	
Картер сцепления ЗИЛ-130	535×220	0,25	$R_z=20 \div 40$ ($\nabla 4$)	

Деталь	Габариты базовой поверхности (округленно), мм	Технические требования		Схема расположения отверстий
		Неплоскостность, мм	Параметры шероховатости, мкм	
«Москвич»	340×240	0,12	$Rz=10 \div 20$ ($\nabla 5$)	
Крышка КПП				
ЗИЛ-130	365×230	0,2	$Rz=10 \div 20$ ($\nabla 5$)	
Корпус подшипников распределительного вала				
«Жигули»	410×100	0,1	$Rz=20 \div 40$ ($\nabla 4$)	

* Неплоскостность задана на всей длине поверхности.

** В этих случаях задана непрямолинейность.

*** В скобках указаны требования к местной неплоскостности.

фиксаторы — направляющие втулки у цилиндрического и ромбического фиксаторов; $d_{\text{ц}}$, $d_{\text{р}}$ — диаметры установочных пальцев (цилиндрического и ромбического); b — ширина ленточки ромбического пальца. При $d_{\text{ц}} = d_{\text{р}} = d$; $S_{\text{ц min}} = S_{\text{р min}} = S_{\text{min}}$; $\Delta_{\text{ц min}} = \Delta_{\text{р min}} = \Delta_{\text{min}}$ выражения (11), (12) принимают вид:

для неподвижных пальцев

$$\delta_o + \delta_{\text{п}} \leq S_{\text{min}} \left(1 + \frac{d}{b} \right); \quad (13)$$

для выдвижных фиксаторов

$$\delta_o + \delta_{\text{п}} \leq S_{\text{min}} \left(1 + \frac{d}{b} \right) + 2\Delta_{\text{min}}. \quad (14)$$

Погрешность базирования заготовок на два отверстия выражается в их смещении от среднего положения в направлении

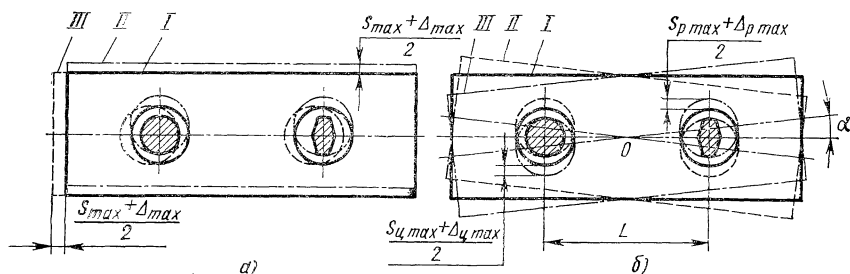


Рис. 38. Погрешность базирования на два отверстия:

а — при смещении в направлении осей X и Y ; б — при повороте; I — номинальное положение; II и III — предельные положения

осей X и Y до полного выбора зазоров в одну сторону или в повороте заготовки до выбора зазора посадки на цилиндрическом пальце в одну сторону, а на ромбическом — в другую сторону (рис. 38).

Расчетная (теоретическая) величина смещения $\varepsilon_{\text{т}}$ в направлении осей X и Y для любой точки заготовки от ее среднего положения при установке на неподвижных пальцах не может быть больше половины зазора

$$\varepsilon_{\text{т}_1} = \frac{S_{\text{max}}}{2}, \quad (15)$$

а при установке на выдвижных фиксаторах — больше половины суммарного зазора в зоне цилиндрического фиксатора

$$\varepsilon_{\text{т}_2} = \frac{S_{\text{max}} + \Delta_{\text{max}}}{2}. \quad (16)$$

Величина смещения $\varepsilon_{\text{б}}$ при суммировании возможных зазоров в разные стороны от среднего положения, отнесенная к

точкам центров базовых отверстий, зависит от межосевого расстояния L и определяется наибольшим углом поворота α . При установке на неподвижных пальцах

$$\varepsilon_{\tau_1} = \sin \alpha = \alpha = \frac{S_{ц \max} + S_{p \max}}{2L}. \quad (17)$$

При установке на выдвижных фиксаторах угол поворота $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$, т. е. образуется при суммировании угла α_1 , поворота заготовки на пальцах и угла α_2 поворота фиксаторов в направляющих втулках:

$$\varepsilon_{\tau_2} = \sin \alpha = \alpha = \frac{S_{ц \max} + \Delta_{ц \max} + S_{p \max} + \Delta_{p \max}}{2L}. \quad (18)$$

(Учитывая небольшую величину угла поворота, принимаем $\sin \alpha = \alpha$).

Наибольшие зазоры $S_{ц \max}$ и $S_{p \max}$ в сопряжениях пальцев и отверстий заготовки учитывают минимальные гарантированные зазоры $S_{ц \min}$ и $S_{p \min}$ и допуски на изготовление отверстий $\delta_{о.ц.}$, $\delta_{о.р.}$ и пальцев $\delta_{п.ц.}$, $\delta_{п.р.}$:

$$S_{ц \max} = S_{ц \min} + \delta_{о.ц.} + \delta_{п.ц.};$$

$$S_{p \max} = S_{p \min} + \delta_{о.р.} + \delta_{п.р.}$$

Соответственно, максимальные зазоры в сопряжениях фиксаторов — направляющие втулки $\Delta_{ц \max}$ и $\Delta_{p \max}$ определяются при суммировании минимальных гарантированных зазоров и допусков на изготовление фиксаторов и втулок. При равенстве $S_{ц \max} = S_{p \max} = S_{\max}$ и $\Delta_{ц \max} = \Delta_{p \max} = \Delta_{\max}$ выражения (17), (18) приобретают вид

$$\varepsilon_{\tau_1} = \frac{S_{\max}}{L}; \quad \varepsilon_{\tau_2} = \frac{S_{\max} + \Delta_{\max}}{L}. \quad (19)$$

В таком рассмотрении, когда предполагается параллельное (без перекоса) смещение оси фиксатора в поле зазора втулки, схема влияния зазора $\Delta_{\max}$ в сопряжении фиксатор — направляющая втулка несколько упрощается; однако это допущение не влияет на принципиальные положения, а при практических расчетах влияние перекоса может быть учтено (см. разд. 2, гл. II).

Для отдельно взятой позиции погрешность базирования определяется смещением заготовки в одном направлении. При определении погрешности положения поверхностей, проходящих окончательную обработку в разных позициях линии, необходимо учитывать возможность смещения при базировании заготовки в этих позициях в разные стороны от среднего положения. Поэтому погрешность установки, рассматриваемая для

нескольких позиций $\varepsilon_{т.п.}$, определяется удвоенной величиной расчетной погрешности $\varepsilon_{т1}$ или $\varepsilon_{т2}$:

$$\varepsilon_{т.п.} = \pm \varepsilon_{т} = 2\varepsilon_{т.}$$

Анализ схемы базирования на плоскость и три отверстия. Схема базирования по трем отверстиям (рис. 39) принципиально не отличается от схемы базирования по двум отверстиям. При этой схеме все три пальца должны быть ромбическими. Смещение заготовки по оси X ограничивается третьим пальцем, а по оси Y — первым и вторым пальцами. Погрешность от поворота заготовки на зазорах посадок возникает в более сложных условиях, чем при установке на два пальца.

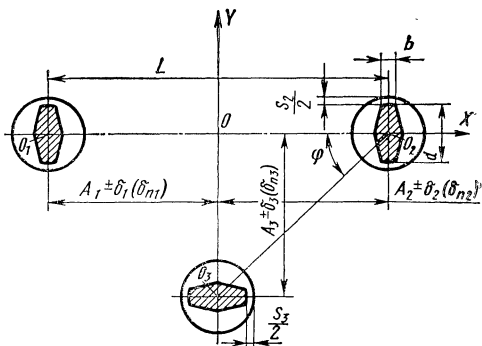


Рис. 39. Схема установки на три ромбических пальца

Возможность установки заготовок на три ромбических пальца без заклинивания зависит: от допуска на межосевые расстояния отверстий δ и пальцев $\delta_{п.}$, от величин зазоров посадок $S_{\min}$, диаметров d и ширины ленточек b пальцев. Условия, ограничивающие возможность установки на три пальца, выявляются при попарном рассмотрении отверстий 2—3-го, 1—3-го и 1—2-го. Наиболее неблагоприятные условия установки возникают при сочетании наибольшего предельного размера межосевого расстояния отверстий $\left(L + \frac{\delta}{2}\right)$ и наименьшего предельного межосевого расстояния пальцев $\left(L - \frac{\delta_{п.}}{2}\right)$.

Для названных пар отверстий условия установки определяются следующими выражениями:

Отверстия	Ось	Условия установки
2—3-е	X	$\delta_{A_2} + \delta_{пA_2} \leq S_{3\min} + \frac{d_2}{b_2} S_{2\min}$
размер A_2	Y	$\delta_{A_3} + \delta_{пA_3} \leq S_{2\min} + \frac{d_3}{b_3} S_{3\min}$
	X	$\delta_{A_1} + \delta_{пA_1} \leq S_{3\min} + \frac{d_1}{b_1} S_{1\min}$
1—3-е	Y	$\delta_{A_3} + \delta_{пA_3} \leq S_{1\min} + \frac{d_3}{b_3} S_{3\min}$
размер A_1	X	$\delta_L + \delta_{пL} \leq \frac{d_1}{b_1} S_{1\min} + \frac{d_2}{b_2} S_{2\min}$
1—2-е, размер L	Y	$\delta_L + \delta_{пL} \leq \frac{d_1}{b_1} S_{1\min} + \frac{d_2}{b_2} S_{2\min}$

Из выражений (20) выбирается для расчета пара отверстий с наибольшими значениями допусков на межосевые расстояния отверстий δ и пальцев $\delta_{\text{п}}$ и наименьшим значением минимального зазора.

Погрешность базирования при установке на три отверстия в направлении осей X и Y определяется величиной возможного смещения на зазорах. С некоторыми допущениями (без учета влияния отклонений размеров межосевых расстояний отверстий и пальцев) величины смещений ε определяются из следующих выражений:

$$\left. \begin{aligned} \text{по оси } X - \varepsilon_X &= S_{3\text{max}} + I_{o3} + I_{п3} + \Delta_3; \\ \text{по оси } Y - \varepsilon_Y &= S_{1,2\text{max}} + I_{o1,2} + I_{п1,2} + \Delta_{1,2}, \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

где S , Δ — зазоры в сопряжениях палец — заготовка и фиксатор — направляющая втулка соответственно;

I_o , $I_{\text{п}}$ — износ отверстий заготовки и пальцев;

1, 2, 3 — индексы, относящиеся к 1, 2, 3-му отверстиям и пальцам.

Величины зазоров в сопряжениях 1 и 2-го отверстий и пальцев, а также зазоры фиксаторов во втулках приняты равными ($S_1 = S_2$; $\Delta_1 = \Delta_2 = \Delta_3$).

Величина погрешности базирования от поворота заготовки на зазорах определяется при одинаковых посадках пальцев в 1 и 2-м отверстиях и равных межосевых расстояниях $A_1 = A_2$. В общем случае угол α поворота заготовки определяется из выражения

$$\sin \alpha = \frac{S_{3\text{max}} \operatorname{tg} \varphi + \sqrt{S_{2\text{max}}^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi) - S_{3\text{max}}^2}}{L (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)}, \quad (22)$$

где $\operatorname{tg} \varphi = \frac{2A_3}{L}$.

В случае одинаковых посадок для всех трех сопряжений, когда

$$\begin{aligned} S_{1\text{max}} &= S_{2\text{max}} = S_{3\text{max}} = S_{\text{max}}; \\ \sin \alpha &= \frac{2S_{\text{max}} \operatorname{tg} \varphi}{L (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)}. \end{aligned} \quad (23)$$

При удалении оси третьего пальца от межосевой линии первых двух предельный угол поворота детали остается постоянным ($\sin \alpha = \frac{S_{2\text{max}}}{L}$) до определенной величины A_3 , а при дальнейшем увеличении этого расстояния ($A_3 > \frac{L}{2}$) он уменьшается, но незначительно. Одновременно ухудшаются условия установки. Варьируя посадками в сопряжениях установочные пальцы — базовые отверстия, можно получить минимальную

погрешность базирования в определенных направлениях. При различных посадках целесообразно принимать для 1-го и 2-го отверстий более жесткие посадки, чем для 3-го.

Расчет погрешностей базирования. Примем в качестве основной схему установки на плоскость и два отверстия. Рас-

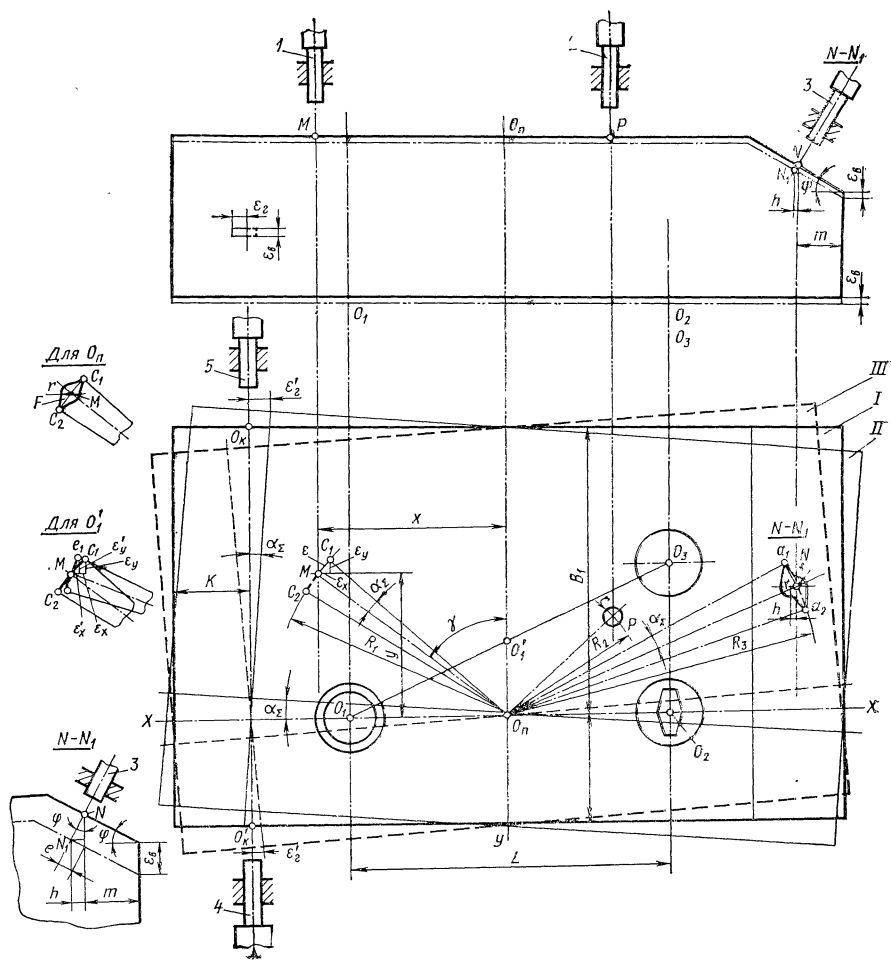


Рис. 40. Влияние погрешностей базирования на расположение осей обрабатываемых отверстий (1—5 — номера шпинделей)

смотрим влияние смещения заготовки (при установке) на положение ее отдельных точек, а именно, на координаты осей обрабатываемых в ней отверстий (рис. 40). Погрешность базирования в вертикальной плоскости ϵ_z для любой точки заготовки зависит: от неплоскостности базовой поверхности, сглаживания и смятия микронеровностей на ней, неплоскостности

рабочих поверхностей опорных пластин приспособления и их износа, от контактных деформаций под действием зажимных сил. Величина погрешности базирования в горизонтальной плоскости зависит от места расположения рассматриваемой точки. Для точек, расположенных в пределах $R < \frac{L}{2}$, наибольшее значение величины погрешности базирования имеют при смещении в направлении осей X и Y . Для точек детали, расположенных за пределами размера L , величина смещения при повороте заготовки превышает величину смещения по координатам и для каждой точки определяется из геометрических связей. При обработке отверстия в верхней плоскости шпинделем I погрешность базирования при повороте заготовки в положение II (или III) для любой точки определится дугой окружности, описанной из центра поворота O_{II} . Для точки M погрешность базирования ε соответствует дуге MC_1 (или MC_2). Величина ее определяется по формуле

$$\varepsilon = \frac{S_{\max} + \Delta_{\max}}{L} R_1. \quad (24)$$

Определим слагаемые этой погрешности в направлении осей X и Y , приняв дугу MC_1 , в связи с ее малостью, в качестве прямой. В полученном треугольнике катеты ε_x и ε_y определяют величины смещения точки M в направлении соответствующих осей:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \varepsilon \cos \gamma; \\ \varepsilon_y &= \varepsilon \sin \gamma, \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

при этом

$$R_1 = \frac{x}{\sin \gamma} = \frac{y}{\cos \gamma}.$$

Подставив в выражения (25) значения ε (заменив в R_1 в формуле (24)), получим

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{S_{\max} + \Delta_{\max}}{L} y; \\ \varepsilon_y &= \frac{S_{\max} + \Delta_{\max}}{L} x, \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

где $S_{\max}$, $\Delta_{\max}$ — зазоры в сопряжениях заготовка — установочные пальцы и фиксаторы — направляющие втулки соответственно; суммарный зазор $S_{\Sigma} = S_{\max} + \Delta_{\max}$. В общем случае, при обработке большого количества заготовок, кроме поворота в обе стороны от среднего положения, возможно смещение заготовки на тех же зазорах посадок в направлении осей координат.

нат на величину $\frac{S_{\Sigma}}{2}$ в любом направлении. Тогда точка M расположится в некоторой области F (см. рис. 40), ограниченной по осям X и Y величиной $\pm \frac{S_{\Sigma}}{2} = S_{\Sigma}$, а от поворота — дугами $MC_1 + MC_2 = C_1C_2$. Дуга MC_1 соответствует суммарному углу поворота α_{Σ} заготовки, образуемому углом α_1 поворота заготовки на пальцах и углом α_2 поворота фиксаторов в направляющих втулках. Общий угол поворота равен $\pm \alpha_{\Sigma} = 2\alpha_{\Sigma}$.

При обработке отверстия верхним шпинделем 2 в точке P , отстоящей от точки O_{Π} на расстоянии $R_2 < \frac{L}{2}$, область фактического расположения оси отверстия ограничивается смещением на величину половины зазора в любом направлении, т. е. имеет форму окружности с радиусом $r = \frac{S_{\Sigma}}{2}$.

Следует заметить, что соотношение величин, составляющих погрешности базирования по осям координат, можно изменить в желаемом направлении путем иного расположения базовых отверстий. Так, если расположить оси базовых отверстий по диагонали заготовки (перенести центр ромбического пальца из точки O_2 в точку O_3), центр поворота заготовки переместится в точку O'_1 , а смещение точки M определится отрезком Me_1 вместо MC_1 (см. рис. 40). При этом величина $\epsilon_x < \epsilon_x$, а величина ϵ_y несколько больше ϵ_y . Таким образом, для определенных требований точности расположения оси обрабатываемого отверстия относительно других поверхностей можно в габаритах базовой плоскости найти наиболее выгодный вариант расположения базовых отверстий.

Для отверстия, обрабатываемого в боковой поверхности заготовки горизонтальным шпинделем, например шпинделем 4, область смещения оси под влиянием погрешности базирования определится прямоугольником, образуемым величиной смещения точки при повороте заготовки в горизонтальной плоскости ($\pm \epsilon_r$), и погрешностью базирования в вертикальной плоскости (ϵ_v). Погрешность базирования оказывает влияние на заданный размер K от торцевой плоскости заготовки до оси отверстия. Фактически получаемый размер $K_{\Phi} = K \pm \epsilon_r$. В случае обработки соосных отверстий шпинделями 4 и 5 возникнет непараллельность оси этих отверстий торцевой стороне заготовки, перпендикулярность боковой стороне, а также различные погрешности расположения по отношению к другим ранее обработанным поверхностям (см. рис. 40).

Величины погрешностей базирования в горизонтальной плоскости для центров O_h и O_k отверстий, обрабатываемых шпинделями 4 и 5, зависят от расстояний B_1 и B_2 между осью расположения базовых отверстий и боковыми сторонами заготов-

ки и от угла поворота α_Σ относительно номинального положения:

$$\varepsilon_r = B_1 \sin \alpha_\Sigma;$$

$$\varepsilon_r' = B_2 \sin \alpha_\Sigma.$$

Величина непараллельности оси $O_h - O_k'$ относительно торцевой плоскости заготовки на ее длине определится суммой этих величин:

$$\Delta_{\text{нп}} = \varepsilon_r + \varepsilon_r'. \quad (27)$$

При обработке шпинделем 3 отверстия в точке N , расположенной на наклонной плоскости заготовки, зона расположения осей отверстий определится при одновременном влиянии величин погрешностей базирования в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Под влиянием погрешности ε_b (см. рис. 40) точка N может сместиться в точку N_1 . Величина погрешностей h и e расположения точки N относительно других поверхностей (например, для размеров от торцевой поверхности заготовки) определится из выражения

$$\left. \begin{aligned} h &= \varepsilon_b \sin \varphi \cos \varphi; \\ e &= \varepsilon_b \sin \varphi. \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

Область расположения точек центра отверстия под влиянием погрешностей от поворота на угол α_Σ определится отрезками Na_1 и Na_2 , т.е. a_1a_2 , и от смещения в направлении оси Y величиной $2r \sin \alpha_\Sigma = S_\Sigma$, а в направлении оси X — величиной $2r + h$.

При установке корпусных деталей в рабочих позициях их базовые плоскости могут занимать нижнее, боковое или верхнее положение. При верхнем расположении установочные элементы меньше загрязняются, изнашиваются и подвергаются воздействию горячей стружки. А характер образования погрешности базирования всегда сохраняется. Погрешность определяется смещением заготовки на зазорах посадки в направлении осей координат и при повороте.

При боковом расположении установочных баз зазоры в сопряжениях от массы заготовки всегда смещаются вниз и погрешность базирования, таким образом, будет однозначной, не превышающей половины зазора. Для этой схемы базирования характерен также направленный износ в сопряжениях. Однонаправленность погрешности позволяет учесть ее при настройке технологического процесса. Однако эффект уменьшения погрешности базирования может быть достигнут лишь в случае неизменной ориентации заготовки в ходе обработки, так как при повороте заготовки, например, вокруг продольной оси зазоры сместятся в противоположную сторону и погрешность

базирования по отношению к ранее обработанным поверхностям будет равной полной величине зазора.

При рассмотрении схем базирования необходимо учитывать не только расчетные величины погрешностей, допускаемые при проектировании технологических процессов, но и погрешности, возникающие под влиянием износа в процессе эксплуатации базовых поверхностей заготовки и позиционных приспособлений. Примем следующие условные обозначения:

ϵ_{π} — погрешность базирования при повороте заготовки на зазорах посадок;

$\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ — погрешности смещения заготовки на зазорах посадок в направлении осей координат;

$\epsilon_{\text{в}}$ — погрешность базирования в вертикальной плоскости;

$I_{\text{п. ц}}, I_{\text{п. р}}$ — величины износа пальцев цилиндрического и ромбического;

$I_{\text{о. ц}}, I_{\text{о. р}}$ — величины износа отверстий заготовок под цилиндрический и ромбический пальцы;

$I_{\text{пл}}, I_{\text{д}}$ — величины износа планок и базовой плоскости детали;

m — контактная деформация заготовки и планок;

$S_{\text{ц}}, S_{\text{р}}$ — зазоры в сопряжении заготовка — фиксатор;

$\Delta_{\text{ц}}, \Delta_{\text{р}}$ — зазоры в сопряжениях фиксатор — направляющая втулка в зоне цилиндрического и ромбического пальцев.

Погрешности базирования при нижнем и верхнем расположении базовой плоскости определяются из выражений:

$$\epsilon_x = \epsilon_y = S_{\text{max}} + I_{\text{о. ц}} + I_{\text{п. ц}} + \Delta; \quad (29)$$

$$\epsilon_{\pi} = \frac{S_{\text{ц max}} + S_{\text{р max}} + I_{\text{о. ц}} + I_{\text{о. р}} + I_{\text{п. ц}} + I_{\text{п. р}}}{2L}; \quad (30)$$

$$\epsilon_{\text{в}} = \epsilon_z = I_{\text{пл}} + I_{\text{д}} + m. \quad (31)$$

Величины погрешностей для случая верхнего расположения базовой плоскости могут иметь значительно меньшие значения, особенно в направлении оси Z .

При боковом расположении базовой плоскости

$$\epsilon_z = \frac{S_{\text{max}} + \Delta_{\text{max}}}{2} + I_0 + I_{\text{п}}; \quad (32)$$

$$\epsilon_x = 0; \quad (33)$$

$$\epsilon_{\text{в}} = \epsilon_y = I_{\text{п}} + m. \quad (34)$$

Погрешность базирования может быть снижена при внесении некоторых изменений в конструкцию установочных элементов (рис. 41). Применением конических подпружиненных уста-

новочных пальцев 1 и 2 (рис. 41, а) можно исключить влияние зазора в сопряжении с базовыми отверстиями заготовки. Влияние зазоров в сопряжении нижней части фиксаторов 3 с направляющей втулкой 4 можно устранить, придав им в верхней части конусную форму (рис. 41, б).

Путем усложнения механизма и процесса фиксации заготовок в рабочих позициях автоматической линии можно исключить возможность поворота заготовки при выборе зазоров в

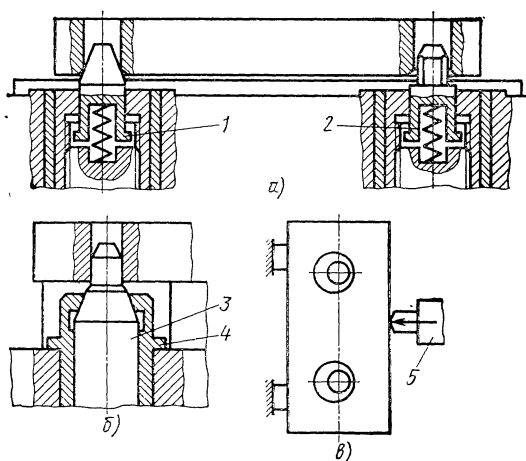


Рис. 41. Схемы базирования, обеспечивающие уменьшение погрешности базирования:

а — с коническими подпружиненными установочными пальцами; б — с сопряжением нижней части фиксаторов и направляющей втулкой по конусным поверхностям; в — с досылателем

противоположные стороны и произвольного направления смещения заготовки в плоскости расположения базы. Для этого необходим механизм с досылателем 5 заготовки к одной и той же стороне (рис. 41, в). Погрешность базирования при этом не превышает величины $\frac{s}{2}$ и, являясь систематической величиной, может быть учтена при размерной настройке технологического процесса.

Фактическая погрешность базирования. В образовании фактической величины погрешности установки большую роль играет отмеченная ранее (разд. 10, гл. I) на основе производственных наблюдений разбивка базовых отверстий заготовки в процессе многократной фиксации в позициях линии и существенное возрастание величины зазора посадки заготовки на установочных пальцах к концу ее обработки на линии [27]. Большое влияние оказывает возрастание люфта фиксаторов во втулках и износ установочных пальцев. Определим погрешность

базирования с учетом этих факторов и сопоставим с расчетными (теоретическими) величинами погрешностей.

По условиям возникновения составляющих погрешности и имея в виду возможности воздействия на ее величину, целесообразно фактическую погрешность ε_{ϕ} установки для любой позиции линии представить в виде

$$\varepsilon_{\phi} = \varepsilon_{б.ф} + \varepsilon_{л.ф}, \quad (35)$$

где $\varepsilon_{б.ф}$ — фактическая погрешность базирования на выдвижных фиксаторах с учетом проектного зазора $\varepsilon_{б.т}$, разбивки базовых отверстий заготовки $\varepsilon_{б.д}$ и износа верхних участков фиксаторов, соприкасающихся с заготовкой $\varepsilon_{б.п}$; и тогда

$$\varepsilon_{б.ф} = \varepsilon_{б.т} + \varepsilon_{б.д} + \varepsilon_{б.п};$$

$\varepsilon_{л.ф}$ — фактическая величина люфта в посадке фиксатор — направляющая втулка.

Для определения фактических величин составляющих погрешностей целесообразно ввести коэффициенты, характеризующие эти величины в зависимости от теоретических величин. По данным производственных исследований при обработке деталей из чугуна, коэффициент, характеризующий влияние разбивки и износа базовых отверстий заготовки в процессе фиксации $k_d = 0,8$, а при обработке алюминиевых сплавов $k_d = 0,9$. Коэффициент, характеризующий влияние износа фиксаторов на участке соприкосновения с заготовкой, зависит от ее материала: для серого чугуна $k_{п} = 0,7$, а для алюминиевого сплава — $k_{п} = 0,15$. Тогда фактическая погрешность базирования

$$\varepsilon_{б.ф} = \varepsilon_{б.т} + k_d \varepsilon_{б.т} + k_{п} \varepsilon_{б.т}. \quad (36)$$

Разбивка и износ базовых отверстий $\varepsilon_{б.д}$ наиболее интенсивны на первых 5—10 фиксациях, и эту величину для данной автоматической линии и длительного процесса производства можно считать величиной постоянной, так как пределы ее изменения ограничены одной заготовкой, а величина определяется особенностями технологического процесса, числом фиксаций и т. д.

Изменение диаметрального размера верхних участков фиксаторов под влиянием износа приводит к постепенному возрастанию величины погрешности базирования. Пределы ее возрастания обычно ограничиваются допускаемой погрешностью базирования заготовки в позиции. Увеличение люфта в посадке фиксатор — направляющая втулка происходит медленно и изменяется от расчетной величины $\varepsilon_{л.т}$ до наибольшей фактической $\varepsilon_{л.ф}$ в течение всего срока службы сопряжения

$$\varepsilon_{л.ф} = \varepsilon_{л.т} (1 + k_{л}).$$

Измеренные на действующих автоматических линиях люфты в сопряжениях фиксатор — направляющая втулка в 1,5—2 раза

больше расчетных и на основе производственных исследований можно принять $k_d = 1,7 \div 1,8$. Однако такая степень изношенности недопустима и ограничение величины люфта в механизме фиксации следует рассматривать как средство снижения погрешности базирования заготовок в позициях автоматических линий и строго ограничивать. Можно отметить, что Московское СКБ автоматических линий и агрегатных станков (МосСКБ АЛ и АС) принимает при проектировании агрегатных станков для финишной обработки величину наибольшего зазора в сопряжении фиксатор — направляющая втулка 5—7 мкм в зависимости от диаметра сопряжения; для позиций черновой обработки принимается посадка $\frac{A_1}{D_1}$.

Допускаемые пределы изменения величины погрешности базирования должны устанавливаться с учетом характера и степени влияния этой погрешности на основные из заданных параметров точности. В зависимости от требуемой точности обработки должны устанавливаться допускаемые величины износа базирующих и направляющих участков фиксаторов и опорных пластин, периодически проверяться и своевременно заменяться.

Используя выражения (35) и (36), можно определить допускаемую величину износа сопрягаемых с заготовкой участков фиксаторов. При этом за расчетную величину примем теоретическую погрешность базирования $\varepsilon_{б.т.}$, коэффициент k_d , характеризующий износ и разбивку базовых отверстий заготовки, — за постоянную для рассматриваемой линии величину и ограничим целесообразными пределами величину люфта фиксаторов. Однако допускаемый износ фиксаторов необходимо определять с учетом ряда других факторов, влияющих на точность расположения обрабатываемых поверхностей одновременно с погрешностью установки и рассмотренных в гл. 3.

Экспериментальные исследования. Специальная экспериментальная установка с изменяющимся путем поворота эксцентричной втулки межосевым расстоянием установочных пальцев позволила изучать износ и разбивку базовых отверстий образцов в зависимости от числа фиксаций, погрешностей межосевых расстояний отверстий и пальцев, веса образцов [35].

В отверстиях под цилиндрический палец наблюдается смятие поверхностных неровностей на некоторой дуге. У отверстий под ромбический палец у деталей из чугуна образуются полосы в местах соприкосновения с ленточками, а у деталей из алюминиевого сплава происходит срез металла ленточкой фиксатора (при большой погрешности межосевых расстояний). В области фасок отверстий образуются закругления и вмятины. Так, например, после 50 фиксаций заготовки из серого чугуна пальцами с погрешностью взаимного расположения $\Delta_{L_n} = 0,15$ мм базовое отверстие под цилиндрический палец было изношено на 9 мкм,

а под ромбический — на 27 мкм. В аналогичных условиях отверстие под ромбический палец в детали из алюминиевого сплава изнашивается на 60 мкм.

Базовые отверстия интенсивно изнашиваются при первых 5—15 фиксациях. Более интенсивный износ характерен для отверстий, сопрягаемых с ромбическим пальцем. Износ базовых отверстий у заготовок из алюминиевых сплавов в аналогичных условиях в 2—2,2 раза больше, чем у чугунных. На рис. 42, а виден характер зависимости износа от числа фиксаций n для заготовки из алюминиевого сплава массой 36 кг при точно

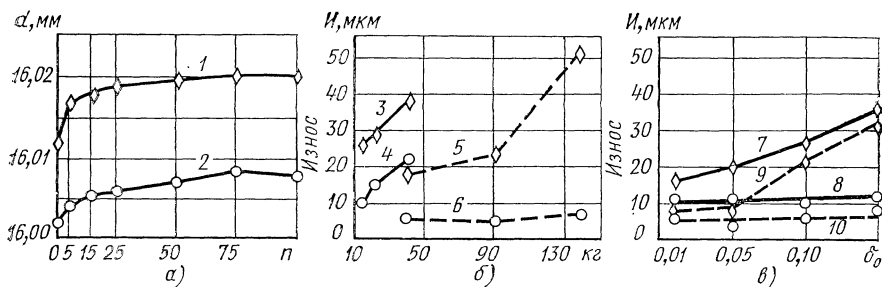


Рис. 42. Зависимость износа базовых отверстий под ромбический и цилиндрический пальцы в заготовках из алюминиевого сплава (кривые 1; 3; 4; 7; 8) и серого чугуна (кривые 2; 5; 6, 9, 10)

выполненном межосевом расстоянии отверстий ($\delta_0 = 0,02$ мм). Влияние массы заготовок на износ базовых отверстий при точном выполнении межосевых расстояний незначительно. С увеличением погрешностей межосевых расстояний процесс фиксации осложняется: вначале заготовка заводится на заходных конусах установочных пальцев, а затем принудительным движением фиксаторов сдвигается и падает на направляющие. Отверстия подвергаются силовому воздействию и деформируются; этому способствует также присутствие стружки. На рис. 42, б показан характер зависимости износа от массы заготовок при большой погрешности межосевого расстояния отверстий ($\delta_0 = 0,25$ мм). Износ базовых отверстий под ромбический палец (кривые 3 и 5) значительно больше, чем под цилиндрический палец (кривые 4 и 6).

Наибольшее влияние на износ базовых отверстий оказывает погрешность межосевых расстояний базовых отверстий δ_0 и установочных пальцев δ_{π} (рис. 42, в). Для заготовок массой 24 кг (число фиксаций $n = 25$) износ отверстий под ромбический палец (кривые 7 и 9) резко возрастает, начиная с $\delta_0 > 0,05$ мм, а отверстия под цилиндрический палец (кривые 8 и 10) практически не меняются.

Следует отметить, что влияние на износ погрешностей δ_0 и δ_{π} совершенно одинаково. Поэтому, учитывая трудности выполнения межосевых расстояний базовых отверстий с вы-

сокой точностью, следует максимально ужесточить δ_n , а допуск на межосевые расстояния базовых отверстий для обычных случаев ограничить величиной $\delta_o = \pm 0,05$ мм. Назначаемые в некоторых случаях отклонения $\delta_o = \pm 0,1$ мм нельзя признать приемлемыми для деталей, обрабатываемых на автоматических линиях.

Исследование жесткости установочных пальцев под действием внецентренно приложенной силы тяжести заготовки $\frac{G}{2}$ в нижнем положении (заготовка расфиксирована) и в верхнем положении (заготовка зафиксирована) показало, как велико влияние отжатия и упругих деформаций пальцев, величины их вылета.

Выбор характера сопряжения базовые отверстия — установочные пальцы. Межосевые расстояния базовых отверстий заготовок назначаются без определенной системы и расчета с отклонением от $\pm 0,03$ до $\pm 0,1$ мм; аналогично назначаются и посадки $\left(\frac{A_{2a}}{X}, \frac{A}{X} \text{ иногда } \frac{A}{D} \right)$. Это приводит к тому, что при проектных допусках и зазорах условие установки заготовок на цилиндрический и ромбический пальцы [формулы (11) — (14)] не соблюдается. Установка заготовок в позициях оказывается возможной только за счет износа и разбивки отверстий, износа пальцев и увеличенных зазоров в сопряжении фиксатор — направляющая втулка.

При назначении допусков на межосевое расстояние отверстий и выборе посадки следует исходить одновременно из условий установки заготовки и повышения точности базирования в условиях эксплуатации. Для этого необходимо расчетной посадкой обеспечить достаточную величину минимального зазора при небольшом допуске на зазор. Таким требованиям в большей степени удовлетворяют комбинированные посадки. Базовые отверстия целесообразно выполнять не по посадке A или A_{2a} , а по посадке D в системе вала. Тогда для сопряжения диаметром $16 \frac{D}{X}$ будет обеспечен $S_{\min} = 22$ мкм, а $S_{\max} = 70$ мкм (применяя посадку $\frac{D}{X_1}$, можно $S_{\max}$ уменьшить до 52 мкм). Не-

обходимость в гарантированном зазоре при назначении посадки для базирования по двум отверстиям подтверждается производственными исследованиями (см. рис. 9): отверстия с наибольшим предельным размером $\sim 16,03$ мм сохраняли правильную форму и не изнашивались в ходе всего технологического процесса.

Конструктивные параметры установочных пальцев. В работе автоматических линий корпусных деталей более 25% общего числа отказов возникает по причинам, зависящим от процесса фиксации [45]. Отказ в фиксации происходит в случае, когда

оси базовых отверстий не совпадают с осями пальцев на величину, при которой окружности отверстий не имеют точек контакта на заходных конусах пальцев и находятся на их верхних торцах. Величина несовпадения x осей базовых отверстий с осями установочных пальцев зависит от многих факторов (рис. 43, а):

$$x = f(\Delta_{\text{тр}}, \Delta_{\text{отх}}, \Delta_{\text{мп}}, \delta_l, u_c),$$

где $\Delta_{\text{тр}}$ — неточность хода транспортера; $\Delta_{\text{отх}}$ — величина отхода детали от собачки после остановки транспортера; $\Delta_{\text{мп}}$ — наи-

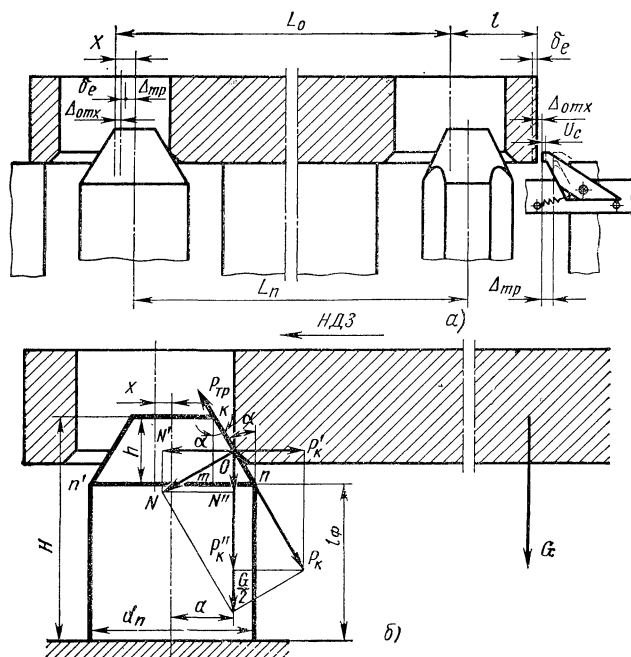


Рис. 43. Фиксация заготовки в рабочей позиции:

а — схема определения несовпадения осей базовых отверстий и установочных пальцев; б — схема действия сил на установочный палец при несовпадении осей (НДЗ — направление движения заготовки)

большая разность межосевых расстояний базовых отверстий детали и установочных пальцев; δ_l — допуск на размер l ; u_c — величина износа собачек транспортера.

Учитывая случайный характер величин,

$$x = \sqrt{\Delta_{\text{тр}}^2 + \Delta_{\text{отх}}^2 + \Delta_{\text{мп}}^2 + \delta_l^2 + u_c^2}. \quad (37)$$

При наибольших значениях величин δ_l , $\Delta_{\text{отх}}$, $\Delta_{\text{тр}}$ и наименьшем износе собачки u_c создаются условия для перебега осей

заготовки через оси установочных пальцев; в противоположном случае создаются условия для недохода заготовок. Поэтому, в целях некоторой компенсации величины x , целесообразно при неизменных собачках настраивать ход транспортера на наименьшую величину, а по мере износа собачек доводить его до наибольшего значения. Неточность хода транспортера может быть принята из характеристик шаговых транспортеров или опытным путем. Величина отхода детали от собачки после остановки транспортера определяется из выражения [8; 10]

$$\Delta_{отх} = \frac{v^2}{2fg}, \quad (38)$$

где v — скорость транспортера в м/мин; f — коэффициент трения скольжения между деталью и опорными планками; g — ускорение силы тяжести.

Погрешность межосевого расстояния базовых отверстий оказывает влияние на выбор угла заходного конуса установочных пальцев, так как именно заходные конусы ориентируют заготовку в процессе фиксации. В начальный момент фиксации от силы тяжести заготовки $\frac{G}{2}$ (рис. 43, б), приходящейся на каждый палец, возникает сила N , перпендикулярная образующей заходного конуса, и сила P_k , действующая вдоль образующей. На заготовку действует незначительная по величине сила трения $P_{тр}$ в противоположном направлении силе P_k . Силы N и P_k , в свою очередь, раскладываются на силы N' , N'' и силы P'_k и P''_k . Силы N' и P'_k равны и взаимно уничтожаются. Силы N'' и P''_k действуют на установочный палец совместно, причем $N'' + P''_k = \frac{G}{2}$. Место приложения этих сил на заходном конусе (точка O) зависит от несовпадения x осей базовых отверстий и установочных пальцев. Фиксация заготовки произойдет при $x < mn$. Заготовка под действием силы $P_k = \frac{G}{2} \cos \alpha$, преодолевая силу трения $P_{тр}$, будет перемещаться по образующей конуса до момента, когда будет достигнуто совпадение осей и произойдет фиксация.

Для процесса фиксации благоприятно уменьшение угла α , так как с увеличением угла сила трения $P_{тр} = \frac{G}{2} \sin \alpha$ возрастает и условия перемещения заготовки ухудшаются (коэффициент трения $\mu = 0,15 \div 0,2$). В случае точного совпадения осей базовых отверстий с установочными пальцами угол заходного конуса может быть небольшим ($\alpha \approx 5^\circ$). Однако с уменьшением угла α при неизменной высоте заходного конуса $h = \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{2} \right) H$ уменьшается длина отрезка mn ($mn = h \operatorname{tg} \alpha$) и возрастает

опасность отказа в фиксации. Для того чтобы произошла фиксация заготовки, необходимо соблюсти условие $x < h \operatorname{tg} \alpha$. Величина угла α должна удовлетворять размерам как новых, так и изношенных собачек.

Причиной отказа в фиксации может служить также смещение заготовки в направлении, перпендикулярном движению подачи. Возможность этого смещения зависит от разницы в размерах ширины b заготовки и расстояния B между направляющими планками позиционного приспособления; при этом фиксация обеспечивается в случае $\frac{B-b}{2} < h \operatorname{tg} \alpha$.

Определим величину угла α с учетом отклонения размеров заготовки и размера B для позиций линии и введем коэффициент $k_1 = 1,1—1,4$. Тогда

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{(B-b) k_1}{2h}. \quad (39)$$

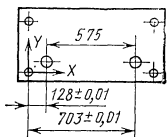
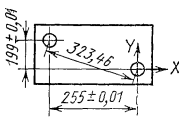
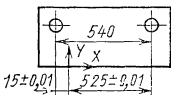
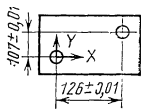
Величины угла α , рассчитанные в зависимости от величин x и B , сопоставляются и принимается наибольшее значение. Расчетные величины имеют несколько меньшее значение ($\alpha = 20—25^\circ$), чем принимаемая в настоящее время по нормативам ($\alpha = 30^\circ$).

Точность межосевых расстояний установочных пальцев. В практике проектирования и изготовления автоматических линий точность межосевого расстояния установочных пальцев в собранных позиционных приспособлениях техническими условиями не оговаривается, не контролируется и тем самым отождествляется с точностью межосевых расстояний расточек под направляющие втулки механизма фиксации в корпусе приспособления. Между тем погрешность межосевого расстояния установочных пальцев в собранных позиционных приспособлениях формируется под влиянием ряда первичных погрешностей деталей механизма фиксации и является замыкающим звеном многозвенной размерной цепи. При расчете размерной цепи учитывались: погрешность межосевого расстояния отверстий под направляющие втулки механизма фиксации (обычно $\pm 0,01$ мм); средние величины зазоров в сопряжениях фиксаторы — направляющие втулки (расчетная посадка $\frac{A_1}{C_1}$, а фактическая с учетом износа $\frac{A}{X}$ или даже $\frac{A_3}{X_3}$); разностенность направляющих втулок (0,01 мм); радиальное биение верхней части установочных пальцев относительно их нижней части. Последняя погрешность для фиксаторов цельной конструкции составляет 0,01 мм; для фиксаторов сборной конструкции величина радиального биения включает величину смещения осей сопрягаемых элементов — радиальное биение центрирующего пояса у пальца (0,01 мм) и центрирующей выточки у нижней части фиксатора (0,01 мм).

Следует отметить, что на точность межосевого расстояния расточек под направляющие втулки оказывает влияние принятый вариант простановки размеров. Наименьшие погрешности получаются при расположении начала координат в центре одного из отверстий. При других вариантах имеет место дополнительная погрешность от размера, связывающего начало координат с центром первого растачиваемого отверстия. В табл. 3 приведены расчетные величины погрешностей расположения установочных пальцев в собранных позиционных приспособлениях. Наиболее высокая точность (4-й случай) обеспечивается применением в сопряжении втулка — корпус и втулка — фиксаторы посадок 1-го класса точности, жесткими требованиями к изготовлению втулок (радиальное биение 0,005 мм) и отказом

Таблица 3

Точность расположения фиксаторов в рабочих позициях автоматических линий (в мм)

Автоматическая линия; позиция	Схема расположения	Тип фиксаторов	Отклонения межосевого расстояния			
			расточек в корпусе при расчете		фиксаторов в собранном приспособлении при расчете	
			на максимум—минимум	теоретико-вероятностным методом	на максимум—минимум	теоретико-вероятностным методом
1Л98 С1		Сборные	± 0,02	± 0,014	± 0,108	± 0,04
1Л85, 6 С11		»	± 0,014	± 0,01	± 0,08	± 0,03
1Л83, в С29		Цельные	± 0,02	± 0,014	± 0,062	± 0,021
1Л241, 6 С14		»	± 0,014	± 0,01	± 0,08	± 0,02

от пальцев сборной конструкции. Более низкая точность (1-й и 2-й случаи) получается главным образом под влиянием слагаемых погрешностей от сборных фиксаторов.

Можно считать, что отклонение межосевых расстояний установочных пальцев в собранных позиционных приспособлениях в пределах от $\pm 0,02$ до $\pm 0,03$ мм является достижимым и необходимым для хорошей фиксации заготовок. Чтобы обеспечить такую точность межосевых расстояний установочных пальцев

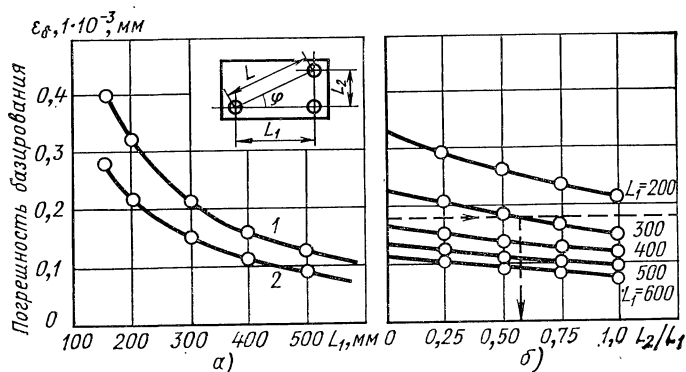


Рис. 44. Зависимость погрешности базирования при расположении базовых отверстий по катету и диагонали (для $\varnothing 25 \frac{A}{X}$):

а — от варианта расположения; б — от соотношения размеров

в собранных приспособлениях, необходимо применять цельные пальцы и максимально ужесточить допуск на координаты расточек в корпусе механизма фиксации. При выполнении расточной операции на координатно-расточном станке отклонение в 0,01 мм следует признать реальным. В условиях эксплуатации необходима систематическая проверка люфта в сопряжении фиксатор — направляющая втулка и износа установочного пальца на участке сопряжения с заготовкой, чтобы своевременно заменять изношенные детали.

Выбор схемы расположения базовых отверстий. У корпусных деталей базовые отверстия размещают на опорной плоскости по диагонали или по одной из сторон. Расположением по диагонали обеспечивается наибольшее межосевое расстояние отверстий и соответственно наименьшая погрешность базирования от поворота заготовки на зазорах. Однако при диагональном расположении базовых элементов усложняется конструкция механизма фиксации, затрудняется выверка при монтаже кондукторных плит, и при этом не всегда обеспечиваются ощутимые преимущества в точности. Чем больше отношение ширины к длине опорной плоскости $\frac{L_2}{L_1}$ (рис. 44), тем меньше выигрыш

в точности от расположения отверстий по диагонали, и чем ближе опорная плоскость к форме квадрата ($\frac{L_2}{L_1} \approx 1$), тем больше этот выигрыш. Кривые на рис. 44, а показывают изменение величины погрешности базирования от поворота при расположении отверстий в линию на расстоянии L_1 (кривая 1) и по диагонали при $\frac{L_2}{L_1} = 1$ (кривая 2). При расположении отверстий по диагонали квадрата погрешность базирования уменьшается почти на 30%, что может оказать существенное влияние на точность обработки поверхностей. При соотношении сторон $\frac{L_2}{L_1} = 0,5$ величина погрешности снижается на 10,8%, а при $\frac{L_2}{L_1} = 0,25$ она снижается на 3,5%. Учитывая усложнение конструкции механизма фиксации, обработки и измерения базовых отверстий у детали, целесообразнее располагать базовые элементы по диагонали при $\frac{L_2}{L_1} > 0,5$, а в случаях, требующих особо высокой точности базирования, — при $\frac{L_2}{L_1} > 0,375$ (при уменьшении погрешности на 6,3%). Зависимость величины погрешности базирования от соотношения $\frac{L_2}{L_1}$ при разных величинах L_1 (рис. 44, б) позволяет сопоставить расчетную погрешность с допускаемой. Для межосевых расстояний $L_1 > 400$ мм при любом соотношении $\frac{L_2}{L_1}$ т. е. при любом расположении отверстий, расчетная погрешность меньше допускаемой, а при $L_1 = 300$ мм она меньше допускаемой лишь при $\frac{L_2}{L_1} \geq 0,6$. Подобные графики, построенные для других размеров базовых отверстий и посадок, а также построенные с учетом износа базовых элементов, могут использоваться при технологических и конструкторских разработках.

Методы уменьшения погрешности базирования. Снижение влияния погрешности базирования на точность расположения поверхностей у обрабатываемых деталей весьма важно как для вновь проектируемых, так и для действующих автоматических линий. Схема базирования на плоскость и два отверстия при использовании выдвижных фиксаторов позволяет наметить следующие основные пути уменьшения величины погрешности базирования заготовок в позиции. Для уменьшения разбивки отверстий при фиксации и сохранении их начального размера до конца обработки необходимо несколько увеличить минимальный гарантированный зазор в сопряжении с фиксаторами путем обработки базовых отверстий по посадке D в системе вала вместо посадки A .

Весьма важно повышать точность межосевых расстояний фиксаторов. Учитывая, что фактическое расстояние между фиксаторами существенно отличается от расстояния между осями отверстий под направляющие втулки фиксаторов, необходимо оговаривать в технических требованиях на сборку допуск на межосевое расстояние фиксаторов в собранном виде, измеренный в сечениях, сопрягаемых с базовыми отверстиями заготовки.

Расчеты показывают, что без ужесточения требований к деталям механизма фиксации можно обеспечить отклонения межосевого расстояния величиной $\pm 0,04$ мм, тем более если отказаться от применения фиксаторов сборной конструкции.

Как рекомендует МосСКБ АЛ и АС, для наиболее точных позиций автоматических линий пару направляющая втулка — фиксатор следует изготавливать не по стандартным посадкам, а индивидуально, выполняя отверстие во втулке по посадке А, а фиксатор по фактическому размеру отверстия, обеспечивая при этом для финишной обработки наибольший зазор сопряжения в 5—7 мкм.

Вредное влияние нарастающего износа базовых отверстий заготовки при переходе ее из позиции в позицию можно уменьшить применением двух пар базовых отверстий, одна из которых используется на черновых, а вторая на чистовых позициях при обеспечении более жестких требований точности. Базирование по второй паре отверстий может дать эффект в том случае, если одновременной обработкой в одной позиции всех четырех отверстий будет обеспечена высокая точность взаимного расположения обеих пар (точность межосевых расстояний не грубее $\pm 0,05$ мм). Другим обязательным условием является обеспечение высокой точности межосевых расстояний фиксаторов (не грубее $\pm 0,04$ мм). При низкой точности взаимного расположения обоих фиксаторов (грубее $\pm 0,08$ мм) размеры и форма базового отверстия нарушаются при первых же 3—5 фиксациях и вторая пара отверстий быстро теряет точность.

При одной паре базовых отверстий полученное ими искажение может быть ликвидировано повторным развертыванием перед позициями окончательной обработки на больший размер. Однако и в этом случае можно ожидать повышения точности базирования только при жестком допуске на размер межосевого расстояния фиксаторов в сборе. Учитывая, что базовые отверстия заготовки и сопрягаемые с ними верхние участки фиксаторов под влиянием износа приобретают конусную форму, можно на позициях окончательной обработки выдвигать фиксаторы на большую длину и таким образом вводить в сопряжение неизношенные участки отверстий и фиксаторов. Благодаря этому можно уменьшить величину зазора до расчетной. Иногда базовые отверстия выполняются глухими с недостаточной для до-

полнительного хода фиксатора глубиной. Увеличение длины хода фиксаторов несколько увеличит время фиксации и расфиксации заготовок.

2. Установка заготовок на автоматических линиях со спутниками

Назначение спутников. В приспособлениях-спутниках устанавливаются для обработки детали, неудобные для непосредственной установки в позиционных приспособлениях и для транспортирования по линии: детали малых размеров, жесткой конструкции, сложной конфигурации, с неблагоприятным соотношением размеров, не имеющие удобных баз. В ряде случаев двустороннее расположение станков относительно одной транспортной системы и применение многоместных спутников позволяют создать двухпоточные автоматические линии с чрезвычайной высокой концентрацией операций и высокой производительностью. Поэтому число автоматических линий со спутниками возрастает, а типаж и номенклатура обрабатываемых деталей непрерывно расширяются, в частности, деталей типа тел вращения (тормозных барабанов, коленчатых валов и др.).

Суждения об условиях достижения точности при обработке на автоматических линиях со спутниками пока либо недостаточно обоснованы, либо противоречивы. С одной стороны, можно ожидать увеличения погрешностей обработки за счет погрешностей изготовления спутников с суммированием погрешностей установки заготовок в спутниках и погрешностей установки спутников в позиционных приспособлениях. С другой стороны, возможно уменьшение тех же погрешностей в связи с улучшением условий базирования заготовок, возможностью тщательного удаления стружки с установочных поверхностей при мойке спутников, меньшим износом закаленных деталей спутников. Постоянство зажимного усилия и неизменное положение заготовки в спутнике также способствуют повышению точности обработки со спутниками в сравнении с обработкой без спутников. Решение вопроса о точности обработки на автоматических линиях со спутниками возможно на основе анализа действующих факторов и расчетов, проводимых для конкретных случаев, причем одним из существенных слагаемых общей погрешности обработки является погрешность установки.

Структура погрешности установки. Общая погрешность установки ϵ_y заготовки на автоматической линии со спутниками складывается из погрешности установки заготовки в спутнике $\epsilon_{y.з}$ и погрешности, вносимой спутником $\epsilon_{сп}$:

$$\epsilon_y = \sqrt{\epsilon_{сп}^2 + \epsilon_{y.з}^2}. \quad (40)$$

Погрешность, вносимая спутником, должна учитывать погрешность изготовления $\epsilon_{из}$ комплекта спутников по соответствующим

щим параметрам, погрешность установки спутников в позициях $\epsilon_{y, \text{сп}}$, погрешность от износа по установочным элементам спутника $\epsilon_{и, \text{сп}}$ и установочным элементам для заготовки $\epsilon_{и, з}$:

$$\epsilon_{\text{сп}} = \sqrt{\epsilon_{и}^2 + \epsilon_{y, \text{сп}}^2 + \epsilon_{и, \text{сп}}^2 + \epsilon_{и, з}^2} \quad (41)$$

Погрешность установки заготовок в спутниках $\epsilon_{y, з}$ определяется на основе общих положений технологии машиностроения в соответствии со схемой и зависит от погрешности базирования $\epsilon_{б, з}$ и погрешности закрепления $\epsilon_{з, з}$ заготовки

$$\epsilon_{y, з} = \sqrt{\epsilon_{б, з}^2 + \epsilon_{з, з}^2} \quad (42)$$

Структура погрешности установки остается неизменной при рассмотрении ее относительно любой оси координат или координатной плоскости.

Погрешность изготовления спутников $\epsilon_{и}$. Для комплекта спутников погрешность изготовления определяется на основе анализа размерных цепей с учетом данных чертежей и нормалей. Если при использовании на универсальном станке одного приспособления погрешность его изготовления представляет собой систематическую погрешность, которую можно учесть при настройке станка, то для нескольких приспособлений-дублеров, какими являются спутники автоматической линии, эта погрешность является некомпенсируемой случайной величиной.

Признаками точности изготовления спутников является точность расположения его элементов, предназначенных для базирования заготовок относительно элементов в позициях линии (рис. 45), а именно базовая высота A от плоскости основания спутника до базовых планок 2, размеры B и C между осями втулки 3 и цилиндрического установочного пальца 1. При изготовлении спутников эти параметры выдерживаются обычно с точностью от $\pm 0,03$ до $\pm 0,05$ мм.

По данным работы [2], поле рассеяния величины отклонения от номинального размера в направлении, перпендикулярном базовой плоскости спутника (размер A), при установленных нормальными элементарных погрешностях может составлять

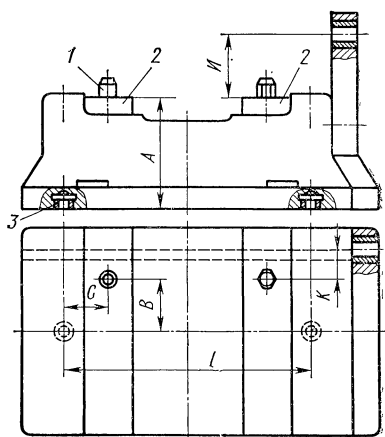


Рис. 45. Спутник с базированием заготовки по плоскости и двум отверстиям

$\pm 0,021$ мм. Для оси базового (цилиндрического) пальца в любом направлении плоскости, параллельной базовой, поле рассеяния равно $\pm 0,033$ мм.

Для спутников, имеющих элементы направления инструмента (кондукторные втулки), необходимо обеспечить точность координат их осей относительно элементов базирования заготовок (размеры H , K). Поле рассеяния для размера H от базовой поверхности спутника до оси кондукторной втулки равно $\pm 0,034$ мм, а для размера K от оси втулки до оси цилиндрического пальца оно составляет $\pm 0,032$ мм. В случае применения кондукторной плиты, установленной в позиции, поле рассеяния, соответствующее размеру H , достигает $\pm 0,051$ мм, а соответствующее размеру K , равно $\pm 0,063$ мм [2]. По всем названным параметрам точности спутники данной автоматической линии должны представлять единый комплект взаимозаменяемых приспособлений-дублеров.

Технологические процессы иногда требуют поворота спутника с заготовкой вокруг вертикальной оси с последующей фиксацией его по другой паре базовых отверстий. Погрешность взаимного расположения обеих пар базовых отверстий окажет дополнительное влияние на погрешность взаимного расположения поверхностей детали, обрабатываемых до и после поворота.

Следует отметить большое влияние жесткости спутников на точность обработки деталей. Конструкция спутников должна обладать большей жесткостью, чем обрабатываемая заготовка, а качество изготовления должно обеспечить стабильность характеристик жесткости всех спутников комплекта.

Погрешность установки спутников на плоскость и два отверстия. Подобно установке заготовок в позиционных приспособлениях автоматических линий на большинстве линий со спутниками применяются выдвижные фиксаторы, обеспечивающие установку спутников в позициях. Погрешность установки спутников в вертикальной плоскости зависит от погрешностей опорной плоскости спутников и разновысотности опорных пластин позиции. Погрешность проявляется в отклонении спутника от горизонтального положения. Величина этой погрешности определяется углом наклона плоскости, проходящей через три реальные точки контактирования по отношению к горизонтальной плоскости XOY . Этот угол тем меньше, чем меньше разновысотность опорных пластин и чем больше расстояние между ними. Величина погрешности может дополнительно возрасти под влиянием неплоскостности опорной поверхности спутника. Эта погрешность для ряда позиций и комплекта спутников приобретает случайный характер как по значению, так и по направлению относительно горизонтальной плоскости. Погрешность закрепления спутника в позиции возникает в результате контактных деформаций в плоском стыке и определяется в основ-

ном сжатием неровностей поверхностей. В рассматриваемом случае, при больших размерах контактирующих плоскостей и высокой твердости закаленных поверхностей, их упругое сближение весьма незначительно и по абсолютной величине и по удельному значению.

Износ опорной плоскости спутников приводит к постепенному уменьшению их базовой высоты. На применяемых автоматических линиях наблюдается изменение этого параметра спутников в пределах 0,05—0,15 мм при значительном разбросе

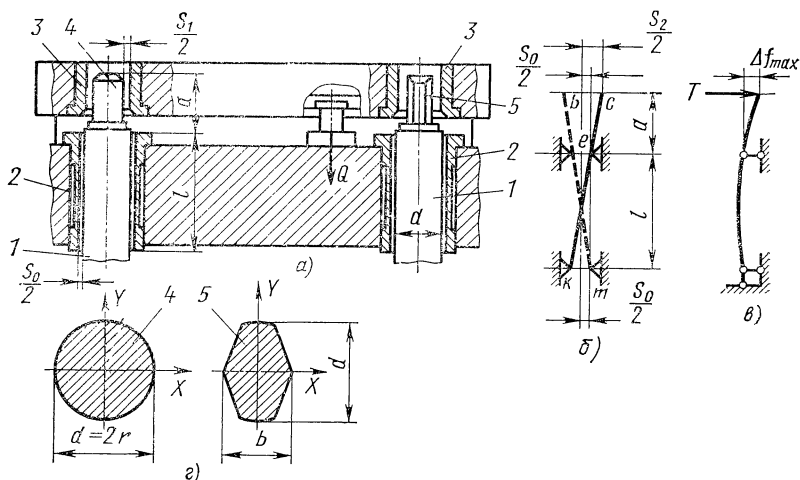


Рис. 46. Фиксация спутников:

a — конструктивная схема; *б* — схема смещения фиксатора на зазоре посадки во втулке; *в* — схема упругой деформации фиксатора; *г* — схема обозначений при расчете

величин для комплекта спутников из-за случайного характера величины износа. Износ направляющих линии действует в том же направлении и почти удваивает погрешность. Для устранения влияния этой погрешности на некоторых линиях у спутников и в рабочих позициях линии предусмотрены отдельные базы, которые вступают в контакт при подъеме спутников вверх после ввода фиксаторов во втулки спутника. Транспортирование спутников производится по нижним поверхностям. Погрешность установки спутника в позиции зависит от смещения фиксаторов на зазоре S_0 в сопряжении толкатель 1 — направляющая втулка 2, смещения на зазоре S_1 в сопряжении установочных пальцев 4, 5 и втулок 3 спутника и от упругой деформации Δf консольной части установочного пальца, т. е. $\epsilon_{у.сп} = \varphi(S_0; S_1; \Delta f)$ (рис. 46, а). В момент фиксации спутника фиксатор получает угловое смещение на зазоре. Величина смещения его в верхнем сечении $\frac{S_2}{2}$ определяется из подобия треугольников *ebc* и *emk*.

В этих треугольниках (рис. 46, б) $\frac{bc}{km} = \frac{a}{l}$; $km = S_0$; $bc = \frac{S_0 a}{l}$. Отсюда искомая величина смещения фиксатора в верхнем сечении

$$\frac{S_2}{2} = \frac{S_0}{2} \left(1 + \frac{2a}{l} \right). \quad (43)$$

Следует отметить, что в случае установки заготовок в позиционных приспособлениях учитывалось смещение фиксатора в поле зазора посадки без перекоса. При больших размерах спутника базовые поверхности детали располагаются в значительном удалении от направляющих автоматической линии, поэтому целесообразно учесть погрешность от перекоса фиксатора на зазоре, величина которой $S_2 > S_0$.

При определении величины прогиба консольной части фиксатора принята схема нагружения свободно опертой балки с нагружением на консоли (рис. 46, в). Для определения стрелы прогиба принято выражение [37]:

$$\Delta f = \frac{T}{6EJ_x} \left[alz - \frac{az^3}{l} + \frac{(a+l)(z-l)^3}{l} \right], \quad (44)$$

где T — изгибающая сила, действующая в момент фиксации спутника в позиции; $T = Qf$, где Q — масса спутника с заготовкой; f — коэффициент трения при движении спутника по направляющим.

Подставив в (44) длину нейтральной оси сечения $z = a + l$ и произведя преобразования, получим

$$\Delta f_{\max} = \frac{T(l+a)a^3}{3EJ_x}. \quad (45)$$

Моменты инерции сечений цилиндрического ($J_{xц}$, $J_{yц}$) и ромбического ($J_{xр}$, $J_{yр}$) пальцев 4 и 5 относительно осей X , Y (рис. 46, г) определяются по формулам

$$\left. \begin{aligned} J_{xц} = J_{yц} &= \frac{\pi r^4}{4} \cong 0,05d^4; \\ J_{xр} &= \frac{\pi \left(\frac{d}{2} \right)^3 b}{4} \cong 0,785 \left(\frac{d}{2} \right)^3 b; \\ J_{yр} &= \frac{\pi \left(\frac{d}{2} \right) b^3}{4} \cong 0,785 \left(\frac{d}{2} \right) b^3. \end{aligned} \right\} \quad (46)$$

Подставляя в выражение (45) значения J_x , J_y из (46), определим максимальные прогибы пальцев в см:

прогиб цилиндрического пальца в направлении осей X и Y

$$\Delta f_{\text{ц}} = \frac{T(l+a)a^2}{2E 0,05d^4}; \quad (47a)$$

прогиб ромбического пальца в направлении оси X

$$\Delta f_{\text{рх}} = \frac{T(l+a)a^2}{3E 0,7 \frac{d}{2} b^3}; \quad (47б)$$

в направлении оси Y

$$\Delta f_{\text{ру}} = \frac{T(l+a)a^2}{3E 0,7 \left(\frac{d}{2}\right)^3 b}. \quad (47в)$$

Учитывая разницу в величинах упругих отжатий и различные фактические зазоры в сопряжениях цилиндрического и ромбического пальцев, будем определять погрешность установки спутника в позициях линии при раздельном рассмотрении величин погрешностей, возникающих в зоне цилиндрического $\Delta_{\text{ц}}$ и зоне ромбического $\Delta_{\text{р}}$ пальцев. При суммировании первичных погрешностей следует учитывать, что они с большой степенью вероятности могут быть коллинеарными векторами и вследствие этого суммироваться арифметически.

Погрешности в зоне цилиндрического и ромбического пальцев определяются с учетом упругих отжатий и величин смещений на суммарных зазорах S_{Σ} , образуемых зазором S_1 в сопряжении установочный палец — втулка спутника с зазором S_2 , определяемым по формуле (43). Погрешности в зоне цилиндрического и ромбического пальцев, рассматриваемые по отношению к номинальному положению, определяются по формулам:

$$\Delta_{\text{ц}} = \frac{S_{\Sigma_{\text{ц}}}}{2} + \Delta f_{\text{ц}}; \quad (48a)$$

$$\Delta_{\text{р}} = \frac{S_{\Sigma_{\text{р}}}}{2} + \Delta f_{\text{р}}. \quad (48б)$$

Предельная величина смещения спутника имеет место при выборе зазоров в зоне цилиндрического и ромбического пальцев в противоположные стороны, т. е. при повороте спутника (рис. 47). Точка A_0 расположена посередине только при $\Delta_{\text{ц}} = \Delta_{\text{р}}$. В другом случае она смещается по линии межосевого расстояния отверстий, что приводит к нарушению симметричности схемы.

Определим величину смещения произвольной точки F платформы спутника, расположенной за пределами L , при $\Delta_{\text{ц}} < \Delta_{\text{р}}$.

Величина OA от центра цилиндрического пальца до точки поворота спутника находится из подобия треугольников OBA и PBC . Учитывая взаимосвязь отрезков с расчетными величинами $OB = \Delta_{\text{ц}}$; $O_1C = \Delta_{\text{р}}$; $BP = \Delta_{\text{ц}} + \Delta_{\text{р}}$ и $PC = L$, получим

$$\frac{OA}{L} = \frac{\Delta_{\text{ц}}}{\Delta_{\text{ц}} + \Delta_{\text{р}}},$$

откуда $OA = L \frac{\Delta_{\text{ц}}}{\Delta_{\text{ц}} + \Delta_{\text{р}}}.$

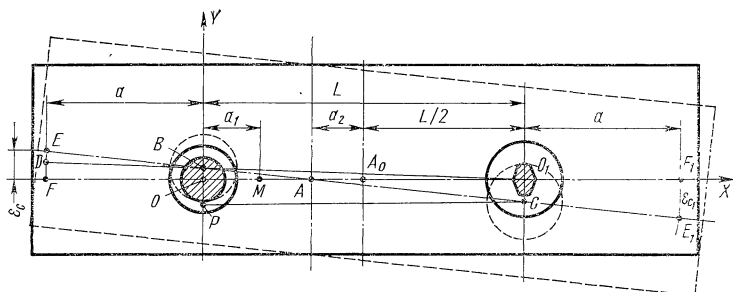


Рис. 47. Схема определения погрешностей от поворота спутника на фиксаторах

Величина смещения рассматриваемой точки F $\varepsilon_c = FD + DE$. Отрезок DF определяется из подобия треугольников DFO_1 и BOO_1 , а отрезок DE — из подобия DEB и O_1CB :

$$DF = \Delta_{\text{ц}} \left(1 + \frac{a}{L}\right); \quad DE = \Delta_{\text{р}} \frac{a}{L},$$

тогда величина смещения точки F от среднего положения спутника

$$\varepsilon_c = \Delta_{\text{ц}} \left(1 + \frac{a}{L}\right) + \Delta_{\text{р}} \frac{a}{L}. \quad (49)$$

Эта погрешность при установке спутника последовательно в нескольких позициях определяется возможностью его поворота в обе стороны от среднего положения, т. е. равняется величине $\pm \varepsilon_c$.

В то же время для симметрично расположенной со стороны ромбического пальца точки F_1 величина смещения ε_{c_1} равна отрезку F_1E_1 . Величину этого отрезка определим, последовательно рассмотрев три подобных треугольника AOB , AO_1C и AF_1E_1 .

Определим величину смещения центра поворота заготовки из точки A_0 в точку A . Учитывая, что $A_0 = \frac{L}{2} - a_2$, а $AO_1 = \frac{L}{2} + a_2$, определим отрезок $a_2 = \frac{L}{2} \left(\frac{\Delta_{\text{р}} - \Delta_{\text{ц}}}{\Delta_{\text{р}} + \Delta_{\text{ц}}} \right)$. Обозначим

$\frac{L}{2} + a_2 = K$. Искомая величина $\varepsilon_{c_1} = F_1 E_1$ определяется из соотношений в подобных треугольниках:

$$\frac{\varepsilon_{c_1}}{\Delta_p} = \frac{K + a}{K}; \quad \varepsilon_{c_1} = \Delta_p \frac{K + a}{K}.$$

Разделив оба слагаемых на K , получим $\varepsilon_{c_1} = \Delta_p \left(1 + \frac{a}{K}\right)$. Подставляя в это выражение значение K , а затем значение a_2 , получим

$$\varepsilon_{c_1} = \Delta_p \left(1 + \frac{a}{a_2 + \frac{L}{2}}\right) = \Delta_p \left[1 + \frac{a}{\frac{L}{2} \left(\frac{\Delta_p - \Delta_{ц}}{\Delta_p + \Delta_{ц}}\right) + \frac{L}{2}}\right],$$

а после преобразований величина смещения точки F_1 относительно номинального положения:

$$\varepsilon_{c_1} = \Delta_p \left(\frac{2a}{L} + \frac{\Delta_p - \Delta_{ц}}{\Delta_p + \Delta_{ц}} + 1\right). \quad (50)$$

Погрешность установки для точек спутника, расположенных в зоне вписанной между центрами установочных пальцев окружности (точка M), определится из выражения

$$\varepsilon'_c = \pm \left[\Delta_{ц} \left(1 - \frac{a_1}{L}\right) - \Delta_p \frac{a_1}{L}\right]. \quad (51)$$

Следует отметить, что для этой зоны погрешность от поворота меньше, чем погрешность от смещения спутника на зазорах в направлении осей координат. Возможность смещения в направлении осей, наряду с возможностью поворота, предопределяет расположение величин погрешностей не по линии, а в пределах некоторой площади (см. рис. 40). Отсюда следует, что для повышения точности обработки координированных поверхностей наиболее ответственные из них надо располагать как можно ближе к центру поворота спутника. Когда размеры заготовок или условия их базирования в спутнике не дают возможности эти поверхности расположить ближе к центру, следует предотвратить поворот спутника, обеспечив направленный выбор зазоров в одну сторону путем принудительной досылки спутника перед закреплением в позиции.

Следует отметить, что наряду с обычной схемой установки на цилиндрический и срезанный (ромбический) пальцы на автоматических линиях со спутниками применяется установка на два цилиндрических пальца, один из которых входит в цилиндрическую, а другой — в овальную втулку (рис. 48). Вырезы на поверхности втулки, подобно срезам ромбического пальца, позволяют избежать заклинивания при фиксации спутника в

позиции. Ширина ленточки у овальной втулки для одинаковых условий установки может быть шире ленточки ромбического пальца.

Для определения допускаемой ширины ленточки в овальной втулке обозначим: Δ и Δ_1 — радиальные зазоры в сопряжениях установочных пальцев с овальной и цилиндрической втулками соответственно; Δ' и Δ'_1 — диаметральные зазоры в тех же сопряжениях; r — радиус отверстия овальной втулки; d — диаметр пальца; $d = 2(r - \Delta)$; δ и δ' — допуски на размеры L межд-

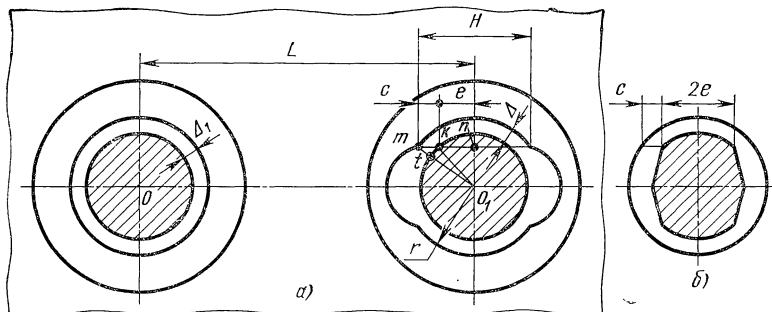


Рис. 48. Расчетная схема для спутника с овальной втулкой

тровых расстояний втулок спутника и установочных пальцев позиции соответственно. Ширина ленточек овальной втулки $H = 2(e + c)$. Величина e определяется из подобия треугольников O_1kn и mkt ; для них

$$\frac{\Delta}{e} = \frac{c}{r - \Delta}; \quad e = \frac{\Delta(r - \Delta)}{c}; \quad 2e = \frac{\Delta'd}{c}$$

Величина $2c = \delta + \delta' - \Delta'_1$, тогда

$$H = \frac{\Delta'd}{c} + 2c. \quad (52)$$

Если при тех же диаметральных размерах и зазорах применить срезанный палец (рис. 48, б), то ширина его ленточки определится из соотношения [22]

$$2e = \frac{\Delta'd}{2c} - c.$$

Применение в спутниках овальной втулки вместо ромбического пальца позволяет повысить жесткость системы и снизить интенсивность износа элементов фиксации.

В условиях эксплуатации первоначальный (проектный) характер сопряжений фиксаторы — втулки спутника и толкатели — направляющие втулки механизма фиксации нарушается (из-за износа элементов). Отверстие втулки под цилиндрический

палец и он сам изнашиваются больше в плоскости, совпадающей с направлением движения по линии, а отверстие втулки под ромбический палец и сам палец — в плоскости расположения ленточек. Вследствие неравномерного износа втулок спутника и пальцев по длине их сопрягаемые поверхности приобретают конусную форму. Эти изменения приводят к постепенному увеличению погрешности базирования спутников в позициях. Однако в случае расчета погрешности из условия выбора максимальных зазоров в изношенных элементах фиксации получаются завышенные величины, так как условия установки указывают на случайный характер величины погрешности. Измерение на действующих автоматических линиях фактических величин смещения спутников в момент фиксации и последующая математическая обработка полученных данных показали, что погрешность установки спутников распределяется в поле зазоров узлов фиксации цилиндрического и ромбического пальцев (овальной втулки) по нормальному закону распределения. Это получило подтверждение при сравнении эмпирических кривых и их статистических характеристик с теоретическим распределением и оценке по критерию Пирсона χ^2 .

Принимая за действительную величину рассеяния значения $\pm 3\sigma$ и обозначая суммарный зазор в узлах фиксации у цилиндрического пальца $S_{\Sigma_{ц}}$, у ромбического пальца (овальной втулки) S_{Σ_p} , получим коэффициенты уменьшения погрешности установки спутников в позициях:

$$k_{e_{ц}} = \frac{6\sigma_{ц}}{S_{\Sigma_{ц}}}; \quad (53)$$

$$k_{e_p} = \frac{6\sigma_p}{S_{\Sigma_p}}.$$

Величины коэффициентов зависят от фактических зазоров в узлах фиксации. С учетом коэффициентов формулы (49) и (51) для определения погрешностей установки спутников в позициях примут вид:

$$\varepsilon_c^p = \pm \left[k_{e_{ц}} \Delta_{ц} \left(1 + \frac{a}{L} \right) + k_{e_p} \Delta_p \frac{r_a}{L} \right]; \quad (54a)$$

$$\varepsilon_c^r = \pm \left[k_{e_{ц}} \Delta_{ц} \left(1 - \frac{r_{a1}}{L} \right) - k_{e_p} \Delta_p \frac{a}{L} \right]. \quad (54б)$$

Приведенные коэффициенты действительны также при определении погрешности установки спутников в случае их смещения в направлении осей (без поворота).

Для уменьшения погрешности установки спутников иногда сопряжения втулки спутника — верхние участки фиксаторов

выполняются коническими (один фиксатор срезан подобно ромбическому пальцу). На автоматической линии (фирма «Эксцелло») для обработки корпусной детали небольшого размера спутник поджимается к верхним опорным пластинам позиции, причем конические фиксаторы одновременно с базированием и закрепляют спутник. Применение конических фиксаторов возможно при высокой точности межосевых расстояний фиксаторов и втулок спутника и за счет некоторого смещения фиксаторов в полях зазоров их посадки во втулках механизма фиксации. Величиной этих зазоров в основном и определяется погрешность базирования спутников по такой схеме.

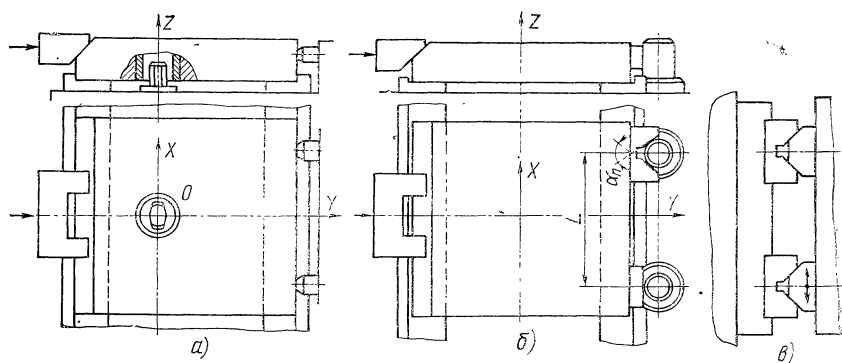


Рис. 49. Схема установки спутников:

а — на две плоскости и отверстие; *б* — на две плоскости и призму; *в* — на две призмы

Выбор схем установки спутников. На автоматических линиях со спутниками небольших размеров применяется установка на две плоскости и одно отверстие (рис. 49, *а*). Ромбический фиксатор определяет положение спутника в направлении оси X с погрешностью, зависящей от зазоров в зоне фиксатора. Погрешность установки спутника в направлении оси Y определяется неточностью изготовления и сборки боковых опор позиционного приспособления, износом и контактными деформациями. Величина этой погрешности незначительна.

Применительно к спутникам схема установки на плоскость и два отверстия с применением выдвижных фиксаторов не имеет тех преимуществ, которые присущи ей при непосредственной установке заготовок в позиционных приспособлениях.

Более точное положение спутников в позициях можно обеспечить заменой выдвижных фиксаторов базовыми элементами, размещенными на наружной боковой поверхности спутника. На рис. 49, *б* представлен еще один пример схемы установки спутников с гарантированным прижимом к базовым элементам позиции. При установке на две плоскости и призму погрешность базирования в направлении оси X равна нулю. В направлении

оси Y величина погрешности базирования определяется допуском на диаметральные размеры колонок δ и составляет:

$$\left. \begin{aligned} \text{в области призмы} \quad \varepsilon' &= \frac{\delta}{2 \sin \frac{\alpha_{\text{п}}}{2}}; \\ \text{в области плоской базы} \quad \varepsilon'' &= \frac{\delta}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (55)$$

Возможный угол поворота спутника в горизонтальной плоскости

$$\sin \alpha \approx \alpha = \frac{\varepsilon' + \varepsilon''}{2L} = \frac{\delta}{4L} \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha_{\text{п}}}{2}} \right). \quad (56)$$

При последовательной установке в рабочих позициях возможен поворот спутника в разные стороны от номинального положения и составляет $\pm \alpha = 2\alpha$.

При использовании схемы установки двумя призмами по клиновым базовым элементам позиции (рис. 49, в) возможность поворота спутника практически исключается, а величина параллельного смещения его зависит только от неравномерного износа базовых поверхностей.

Погрешность установки заготовки в спутниках. Схемы установки заготовок в спутниках автоматических линий соответствуют конфигурации заготовок и задачам обработки. Обычно корпус (платформа) спутника нижней плоскостью опирается на направляющие автоматической линии. На его верхней плоскости размещаются базовые элементы для заготовки: опорные пластины, установочные пальцы, призмы, выточки, выступы и т. п. Корпусу спутника иногда придается форма треугольника для расположения базовых элементов на вертикальной плоскости. В некоторых случаях базовые элементы для детали располагаются под углом к опорной плоскости платформы.

При установке заготовок на горизонтальную плоскость и два отверстия необходимо определять и учитывать величину смещения при повороте в пределах половины зазора в каждую сторону от среднего положения $\left(\varepsilon = \pm \frac{S_{\text{max}}}{2} \right)$. При вертикальном расположении базовой плоскости возможно смещение заготовки только в одну сторону — вниз от среднего положения $\left(\varepsilon = \frac{S_{\text{max}}}{2} \right)$.

При расположении базовой плоскости под углом α к горизонтали заготовка при достаточно большом угле смещается вниз

$\left(\varepsilon = \frac{S_{\max}}{2}\right)$, причем эта погрешность для любой выбранной точки детали раскладывается в направлении осей координат, образуя погрешность в горизонтальной плоскости $\varepsilon_{\text{б.г}} = \frac{S_{\max}}{2} \cos \alpha$, и в вертикальной плоскости $\varepsilon_{\text{б.в}} = \frac{S_{\max}}{2} \sin \alpha$. При малом угле наклона базовой плоскости целесообразно учитывать погрешность от поворота заготовки.

Детали типа тел вращения при большом диаметре и малой длине (например, тормозной барабан) устанавливают на спутнике с вертикальной стойкой, на которой монтируются самоцентрирующие приспособления, оси которых совпадают с осями шпинделей станков. Детали с базовыми элементами в виде отверстий, выступов или хвостовиков устанавливаются соответственно на выступ или в отверстие, выполненные в спутнике, обычно с дополнительной угловой ориентацией. Погрешность базирования для той или иной поверхности, оси, координаты будет тем меньше, чем ближе она расположена к базовым элементам спутника. Установка деталей в спутниках возможна по их черным необрабатываемым поверхностям или по обработанным вне линии поверхностям. Иногда в дополнение к основной обработанной базе, для размещения дополнительных базовых точек, используются участки необработанных поверхностей. Использование черных поверхностей в ряде случаев упрощает выбор баз и способствует снижению трудоемкости обработки. Вместе с тем, такое базирование может привести к увеличению припусков на обработку и вызвать затруднения при решении точностных задач, особенно в области пространственного расположения поверхностей.

Рассмотрим пример расчета погрешности базирования в спутнике заготовки сложной конфигурации по системе необработанных поверхностей (рис. 50).

При установке заготовок возможны следующие отклонения:

1) смещение оси гидроцилиндра $D_{\text{ц}}$ на величину ε_1 при установке в призмах 1 за счет отклонения фактического размера от номинального (контрольного) цилиндра и одновременное отклонение оси за счет конусности;

2) смещение оси гидроцилиндра на величину ε_2 за счет изменения базовой высоты H комплекта спутников от плоскости основания спутников до оси O_3 контрольного цилиндра;

3) отклонение оси патрубка $D_{\text{п}}$ от горизонтального положения (погрешность ε_3) при повороте заготовки на угол α при поджатии фланца к жесткому упору 2 при перемещении призмы 3 вниз за счет неточности размера и расположения фланца; одновременно возникает погрешность ε_4 в результате смещения точки m упора с оси призмы O_4 спутника;

4) смещение ε_5 заготовки в направлении оси $O_3—O_3$ из-за неточности расположения оси O_2 патрубка.

По мере износа базовых элементов погрешности $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_4$ будут возрастать; погрешности ε_3 и ε_5 полностью зависят от точности заготовки. Погрешности закрепления зависят от снятия поверхностных слоев заготовки в местах контакта картера с установочными элементами спутника.

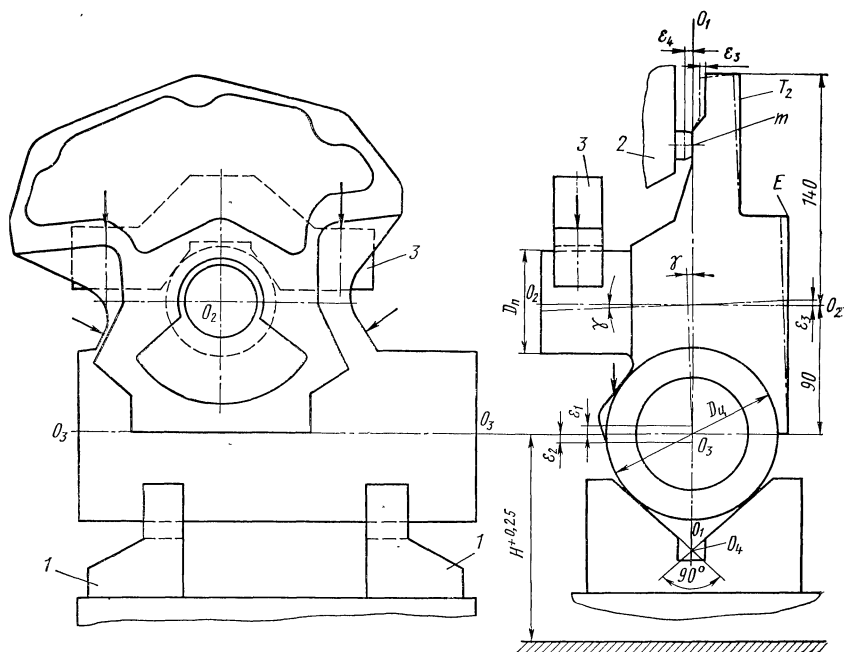


Рис. 50. Расчет погрешностей базирования заготовки в спутнике

Расчет, проведенный с учетом фактических отклонений, выявленных при исследовании на линии, дал следующие результаты.

Величина смещения центра O_3 имеет только положительное значение, так как $D_{ц} = 106^{+2,5}_{-0,7}$. Учитывая угол призмы $\gamma = 90^\circ$,

определим $\varepsilon_1 = \frac{\delta_{D_{ц}}}{2 \sin \frac{\gamma}{2}} \cong 1,8 \text{ мм.}$

Допускаемое отклонение оси O_3 в соответствии с классом точности литья ($D = 106 \pm 1,5 \text{ мм}$) составляет $\varepsilon_1 = \pm 1,06 \text{ мм}$. Погрешность положения оси O_3 заготовки непосредственно приводит к необходимости увеличить припуск на обработку отверстия на величину $2\varepsilon_1$. Базовая высота комплекса спутников H имела отклонения в пределах $0,25 \text{ мм}$, т. е. $\varepsilon_2 = 0,25 \text{ мм}$. По-

погрешность ε_3 от поворота заготовки относительно оси $O_3—O_3$ влияет на величины припусков на обработку торцов T, T_1, T_2 и отверстий в патрубке, расположенных на оси $O_2—O_2$, так как эта погрешность возникает при повороте заготовки и величина ее зависит от места расположения рассматриваемой точки и определяется из геометрических связей. Например, для точки E погрешность $\varepsilon_3=1,12$ мм. Погрешность ε_4 суммируется с погрешностью ε_3 , но значение ее относительно невелико.

Суммарная погрешность установки. Суммарная погрешность установки заготовок при применении спутников определяется по выражению (40) с учетом типа применяемого спутника.

На автоматических линиях применяются спутники трех основных типов.

1. Спутники, на которых осуществляется базирование и закрепление заготовок, а в позициях закрепляются только спутники.

2. Спутники, на которых производится только базирование заготовок, а в позициях вместе со спутниками закрепляются и заготовки.

3. Спутники, на которых заготовки базируются с помощью специального ориентирующего устройства, расположенного на отдельной позиции в начале линии и настроенного относительно оси цилиндрического пальца позиции; закрепляется заготовка устройством, установленным на самом спутнике.

В первом случае погрешность установки заготовки в спутнике остается постоянной для всех позиций и может иметь сравнительно небольшую величину. Во втором случае в каждой позиции погрешность закрепления получает новое значение. Этому сопутствует и возможное смещение незакрепленной заготовки в момент транспортировки и фиксации спутника. Третий случай аналогичен первому, но погрешность базирования возникает в специфических условиях и в значительной степени зависит от ориентирующего устройства.

При обработке взаимосвязанных поверхностей детали (например, трех координированных отверстий) в одной позиции линии погрешность взаимного расположения их осей при любом типе спутника не будет зависеть от погрешности установки. Однако любая из рассматриваемых осей окажется под воздействием погрешности установки при оценке точности ее расположения относительно ранее обработанных поверхностей и баз. В этом случае погрешность установки определится по формуле

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_n^2 + \varepsilon_{y.c}^2 + \varepsilon_{n.c}^2 + \varepsilon_{n.z}^2 + \varepsilon_{b.z}^2 + \varepsilon_{3.z}^2}. \quad (57)$$

Условные обозначения даны к формулам (40), (41), (42). При последовательной обработке тех же отверстий в разных позициях линии влияние погрешности базирования на погрешность расположения обрабатываемых поверхностей связано с типом

спутника. Если заготовка в спутнике базируется и закрепляется (тип 1), погрешность взаимного расположения осей зависит только от спутника (погрешностей изготовления комплекта спутников, износа, погрешностей установки в позиции). Погрешность расположения осей относительно ранее обработанной поверхности включает также и погрешности, зависящие от заготовки, т. е. определяется из выражения (57).

Если заготовка в спутнике только базируется, а закрепляется в каждой позиции вместе со спутником (тип 2), то в каждой позиции возникает фактически новая погрешность установки заготовки. Тогда общая погрешность установки, влияющая на взаимное расположение обрабатываемых поверхностей, так же как и погрешность расположения относительно ранее обработанных поверхностей, определится из выражения (57). Таким образом, в спутниках с автономным зажимным устройством (тип 1) погрешность установки имеет наименьшую величину. Полное устранение влияния погрешности установки заготовки в спутнике на точность взаимного расположения обрабатываемых поверхностей возможно в случае их обработки в одной позиции.

Наряду с погрешностью установки заготовки существенным фактором точности обработки систем отверстий на автоматических линиях со спутниками служит компоновка спутника. Спутники со смонтированными на них кондукторными плитами представляют собой комплексные приспособления со стабильным расположением элементов базирования и направляющих элементов (кондукторных втулок). В этом случае погрешность установки спутников в позиции приводит к смещению осей кондукторных втулок с оси режущего инструмента и влияние на координаты оси обрабатываемого отверстия проявится через упругие отжатия технологической системы.

В случае применения стационарных кондукторных плит, смонтированных в позициях линии, элементы базирования спутников при установке каждого спутника в позиции занимают случайное положение относительно оси кондукторной втулки и погрешность базирования спутника в позиции оказывает непосредственное (геометрическое) влияние на точность расположения оси обрабатываемого отверстия.

ТОЧНОСТЬ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОСЕЙ ОТВЕРСТИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ИНСТРУМЕНТОМ, ЖЕСТКО СВЯЗАННЫМ СО ШПИНДЕЛЕМ И НАПРАВЛЯЕМЫМ В КОНДУКТОРНЫХ ВТУЛКАХ

1. Анализ факторов, влияющих на величину смещения осей при обработке

При обработке отверстий на агрегатных станках и автоматических линиях распространен способ обработки инструментом, жестко закрепленным в шпинделе станка и направляемым во втулках стационарных кондукторных плит (рис. 51).

Точность координат обрабатываемых отверстий определяется геометрической точностью основных узлов позиций линий: точностью узлов направления инструмента, узлов установки детали и точностью взаимного расположения узлов между собой. Кроме того, она зависит от точности расположения осей инструментальных наладок относительно узлов направления инструмента, которая, в свою очередь, определяется параметрами геометрической точности агрегатного станка — непараллельностью оси шпинделя к направляющим агрегатной головки, погрешностью межосевого расстояния шпинделей и непараллельностью их осей.

На рис. 52 представлена схема образования погрешности расположения оси отверстия, обрабатываемого жестко закрепленным в шпинделе инструментом, направляемым втулками стационарной кондукторной плиты. За номинальное положение оси обрабатываемого отверстия детали принята ось постоянной кондукторной втулки.

Все факторы, влияющие на величину пространственного смещения оси отверстия, подразделяются на две основные группы по месту их возникновения — конструктивно-технологические параметры, закладываемые при проектировании и изготовлении позиций линии, и производственные факторы, действие которых проявляется при эксплуатации линии.

Смещение оси отверстия с номинального положения образуется в условиях сложного взаимодействия этих факторов, причем общая величина смещения определяется двумя слагаемыми: геометрическим смещением оси инструмента и упругими отжатиями в технологической системе.

Геометрическое смещение происходит на зазоре посадки инструмента в направляющем отверстии втулки, причем выбор зазора возможен в любом направлении диаметральной и осевой плоскостей сечения втулки. Упругое смещение возникает в ре-

зультате отжатый системы под влиянием неуравновешенных сил, действующих в диаметральной и осевой плоскостях вследствие одностороннего контактирования инструмента со втулкой.

Величина геометрического смещения в первую очередь зависит от конструктивно-технологических параметров инструментальной наладки, узла направления инструмента, геометрической точности позиций линии и параметров процесса резания. Так, величина геометрического смещения оси инструмента су-

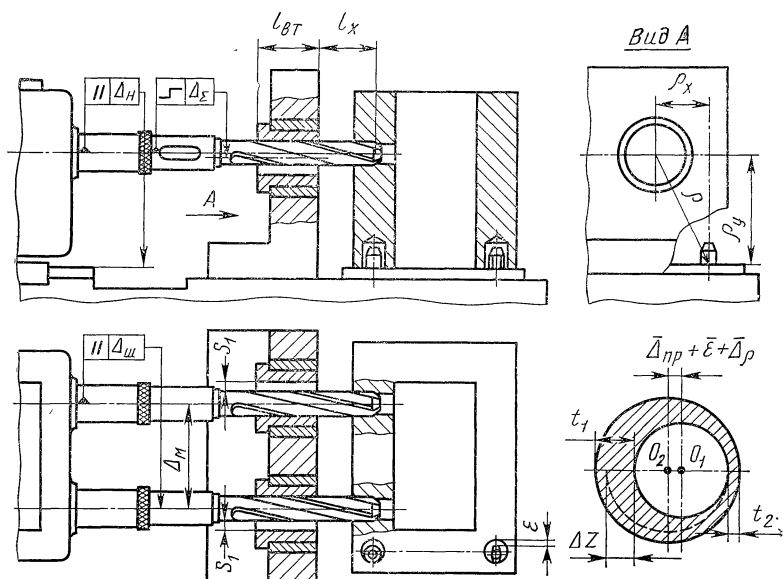


Рис. 51. Схема обработки отверстий на агрегатном станке

щественно зависит от зазора в соединении сменная втулка — инструмент. При одном и том же зазоре она может изменяться в широких пределах в зависимости от длины сменной втулки и вылета инструмента за торец втулки.

Величина несовпадения осей инструментальной наладки и сменной втулки также приводит к геометрическому смещению. Эта погрешность учитывает величину несовпадения осей шпинделя и постоянной втулки, достигнутую при выверке кондукторной плиты относительно агрегатной головки, и погрешности, вносимые сменной втулкой: зазор в сопряжении постоянная — сменная кондукторные втулки и эксцентриситет сменной втулки. При перемещении шпинделя в направлении подачи величина несовпадения осей изменяется из-за имеющейся непараллельности оси вращения шпинделя к направляющим агрегатной головки. При определении несовпадения осей шпинделя и втулки необходимо учитывать также радиальное биение инструмен-

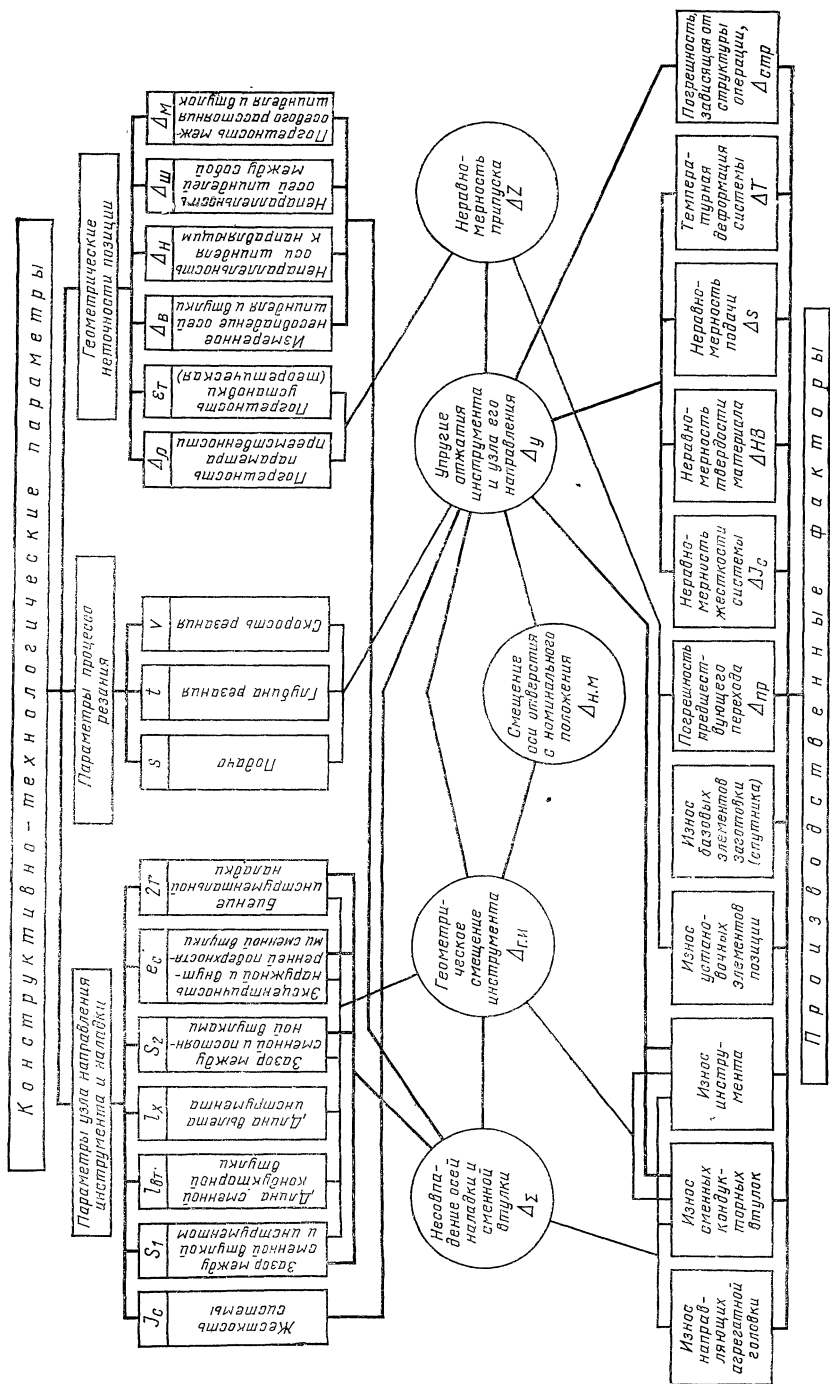


рис. 52. Схема образования погрешности расположения оси отверстия

тальной наладки на входе в кондукторную втулку, обусловленное неточностью изготовления ряда звеньев инструментальной наладки и наличием зазоров в сопряжениях системы шпиндель — удлинитель — инструмент.

Суммарным действием рассмотренных факторов определяется величина несовпадения осей инструментальной наладки и сменной втулки для одной пары шпиндель — втулка, а для любой другой пары той же агрегатной головки величина несовпадения осей дополнительно возрастает под влиянием таких погрешностей, как непараллельность осей шпинделей между собой и погрешности межосевых расстояний шпинделей и соответствующих им кондукторных втулок.

Величина геометрического смещения оси инструмента в период эксплуатации возрастает по сравнению с первоначальной величиной вследствие увеличения зазора от износа внутренней поверхности сменной втулки и соприкасающейся с нею направляющей части инструмента.

Условия работы и износа кондукторных втулок на агрегатных станках специфичны. Если на универсальных сверлильных станках при обработке по кондуктору нескольких отверстий инструмент последовательно вводится в кондукторные втулки и погрешность взаимного расположения осей инструмента и втулки носит случайный характер, то на агрегатных станках каждый шпиндель направляется своей кондукторной втулкой и поэтому смещение осей инструмента и втулки характеризуется стабильными в данный период времени величиной и направлением. К особенностям обработки систем отверстий на агрегатных станках можно отнести также большие суммарные силы резания от всех работающих инструментов и переменность величины и точки приложения равнодействующих осевых сил и крутящих моментов в связи с неодновременностью вступления в работу режущих инструментов.

В сравнении с обработкой отверстий инструментом, гибко соединенным со шпинделем, при обработке жестко закрепленным инструментом возникают большие нагрузки на инструмент и кондукторную плиту, а износ втулок идет весьма интенсивно. Этому способствуют неблагоприятные условия трения в связи с засоренностью поверхностей стружкой и кромочным контактом инструмента со втулкой вблизи ее торцовых сечений.

Износ втулок протекает значительно интенсивнее износа направляющих станин станков, подшипников шпинделей и других трущихся поверхностей, и поэтому его следует рассматривать в качестве главного фактора снижения точности обработки систем отверстий в эксплуатационных условиях.

Упругие отжатия в системе появляются под влиянием неуравновешенных сил, возникающих при снятии инструментом на противолежащих образующих отверстия неравномерных припусков (см. рис. 51). Неравномерность ΔZ и распределения

обуславливается несовпадением осей отверстия поступившей в данную позицию заготовки и инструмента, предназначенного для обработки этого отверстия. Величина смещения рассматриваемых осей зависит от трех основных причин. Это прежде всего погрешность параметра преемственности (спаренности технологически связанных позиций). Под погрешностью Δ_p параметра преемственности p понимается погрешность расположения оси постоянной кондукторной втулки относительно базовых элементов рабочей позиции. Эта погрешность обусловлена координатной точностью окончательной выверки по данному параметру во всех позициях, связанных последовательной обработкой данной системы отверстий.

Для случая базирования детали по плоскости и двум установочным отверстиям, преемственность позиций, предназначенных для последовательной многопереходной обработки одного и того же отверстия, характеризуется равенством у этих позиций расстояний от оси кондукторной втулки до оси цилиндрического установочного пальца p_x в одной плоскости и от оси той же кондукторной втулки до базовой поверхности установочных пластин p_y в другой плоскости.

Другой погрешностью является погрешность расположения оси обрабатываемого отверстия относительно установочных элементов заготовки: опорной плоскости и осей базовых отверстий заготовки. Эту погрешность относительно любого перехода обработки можно рассматривать как погрешность расположения оси, оставшуюся от предшествующего технологического перехода $\Delta_{пр}$.

С двумя рассмотренными погрешностями суммируется погрешность установки ε заготовки в позиции. Величина погрешности установки определяется ее смещением в пределах зазоров посадок отверстий на фиксаторах позиций. Износ в процессе фиксации базовых элементов заготовок и износ установочных приспособлений приводят к нарастанию величины смещения оси в ходе эксплуатации. Неравномерность припуска равняется удвоенной величине смещения осей:

$$\Delta Z = t_1 - t_2.$$

Величина упругих отжатий зависит от жесткости технологической системы, особенно инструментальной наладки и узла направления инструмента, а также от неравномерности жесткости. Существенное влияние на величину упругих отжатий оказывают такие производственные факторы, как неравномерность твердости материала обрабатываемой детали, неравномерность подачи агрегатной головки и колебания температурных деформаций технологической системы. При наличии неравномерного припуска колебания упругих отжатий будут зависеть от параметров процесса резания: подачи, глубины и скорости резания.

На многошпиндельных станках величина упругих отжатий определяется величиной и местом приложения равнодействующих сил и моментов от всех работающих инструментов. В ряде случаев наладками для некоторых инструментов предусматривается пуск в работу или выключение во время работы других инструментов. В таких случаях с изменением условий нагружения технологической системы возникают дополнительные упругие отжатия, которые можно рассматривать в качестве погрешностей, зависящих от структуры операций.

Точность межосевого расстояния двух отверстий при обработке в одной позиции жестким инструментом с направлением зависит от величины смещения осей обоих отверстий относительно постоянных кондукторных втулок, которые нами приняты за номинал. При этом величина смещения оси каждого из отверстий определяется ранее рассмотренными для одного отверстия факторами. Точность межосевых расстояний зависит также от точности координат направляющих втулок в кондукторных плитах, которая, в свою очередь, определяется погрешностями, вносимыми при обработке отверстий в кондукторной плите и при сборке ее с втулками. При запрессовке постоянных кондукторных втулок в плиту оси отверстий втулок получают смещения вследствие неравномерности величины усадки втулок, неравномерности натяга в сопряжении и перекосов постоянных втулок при запрессовке. Погрешности сборки кондукторных плит изменяют первоначальное межосевое расстояние расточенных отверстий. Дополнительное смещение осей появляется вследствие эксцентricности наружной и внутренней поверхностей постоянных втулок. В процессе эксплуатации можно ожидать более интенсивного снижения точности межосевого расстояния двух отверстий, чем для каждого из отверстий в отдельности. При обработке соосных отверстий с двух сторон инструментами, жестко закрепленными в шпинделях и направляемыми во втулках кондукторных плит, величина несоосности зависит от смещения осей первого и второго отверстий от номинальных положений, определяемых осями постоянных кондукторных втулок под влиянием ранее рассмотренных факторов. Дополнительно величина погрешности зависит от геометрической величины несоосности постоянных кондукторных втулок, направляющих оба инструмента. Изменение величины под влиянием погрешности, зависящей от структуры операции и явлений износа, аналогично влиянию, оказываемому на точность межосевого расстояния отверстий.

2. Сущность и методика экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводились с целью установления взаимосвязей между точностью координат оси обрабатываемого отверстия и основными факторами, выявившимися при теоретическом анализе и получившими отражение в схеме

(см. рис. 52). Среди них значительное место занимает исследование влияния конструктивно-технологических параметров инструментальной наладки и узла направления инструмента (зазор в сопряжении втулки — инструмент, длина втулки, биение инструментальной наладки), погрешность установки заготовки, несовпадение осей инструментальной наладки и втулки, характер и интенсивность износа втулок и другие. Экспериментальная установка позволяет полностью имитировать многопереходную обработку координированных отверстий на автоматической линии. Она представляет собой двустороннюю сверлиль-

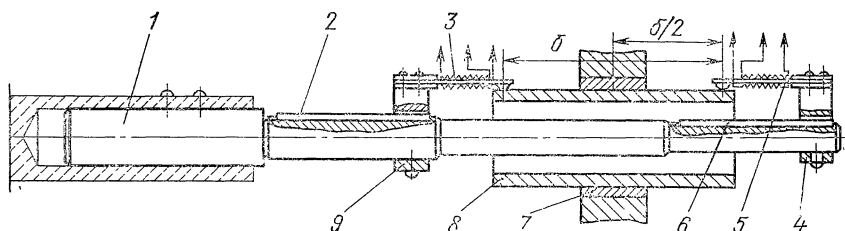


Рис. 53. Схема выверки соосности шпинделя и кондукторной втулки с помощью тензодатчиков сопротивления

но-расточную позицию автоматической линии с транспортным устройством, установочным приспособлением, гидравлическими зажимными и фиксирующими механизмами. В качестве силовых узлов использовались две самодействующие гидравлические многошпиндельные агрегатные головки конструкции МосСКБ АЛ и АС с семи- и четырехшпиндельными коробками. Частота вращения шпинделей левой головки $n_1 = 280$ об/мин, а правой головки $n_2 = 640$ об/мин. Обе головки расположены горизонтально и находятся в таком положении, что два шпинделя этих головок составляют одну соосную систему. Остальные шпиндели расположены в одной горизонтальной плоскости параллельно этой соосной системе.

Приспособление имеет опорные пластины и обычный механизм фиксации для установки заготовки на плоскость и два отверстия, с помощью специального гидроцилиндра перемещается из одной позиции в другую. Режущий инструмент направляется стационарными кондукторными плитами. Пульт с гидравлическими кранами и дросселем служит для управления работой гидроцилиндров зажимных, фиксирующих и транспортных механизмов. При исследовании износа кондукторных втулок установка снабжалась дополнительным приспособлением с грузами, позволяющими сообщать инструменту нагрузки, соответствующие действию неуравновешенных сил реакций в торцовых сечениях втулки.

Выверка на соосность шпинделя и постоянной кондукторной втулки производилась с помощью тензодатчиков сопротивления (рис. 53). При проверке в отверстие шпинделя агрегатной го-

ловки вставляется калиброванная оправка 1 с двумя подвижными кронштейнами 4 и 9, на которых размещены плоские пружины 3 и 5 с наклеенными на них датчиками. Расположение пружин с датчиками в одной осевой плоскости обеспечивается направлением кронштейнов с помощью шпонок 2 и 6. Контрольная втулка 8 вставляется в постоянную кондукторную втулку 7 с минимальным зазором и располагается так, чтобы центр тяжести ее разместился в среднем сечении кондукторной втулки. При вращении шпинделя с оправкой происходит ошупывание поверхности контрольной втулки 8 с помощью полусфер, наклеенных на плоские пружины 3 и 5. Упругие деформации пружины приводят к возникновению тока разбаланса мостов, который, пройдя через усилитель и фильтр, поступает на микроамперметры. Изменяя диапазон усиления, можно изменить чувствительность прибора от грубого в начале выверки до точного в конце выверки, когда прибор улавливает изменение соосности в пределах 0,1—1 мкм. Собственная погрешность данного метода проверки соосности включает погрешность от прогиба оправки с тензодатчиками под действием

собственной силы тяжести и половину радиального зазора в сопряжении контрольная втулка — кондукторная втулка. В сумме погрешность невелика в сравнении с применяемым методом проверки поворотом контрольной системы с двумя индикаторами. Деталь-образец корычатої формы базировалась в приспособлении на плоскость и два отверстия диаметром 12А. Материал образцов — серый чугун ($HВ\ 165—175$) и алюминиевый сплав ($HВ\ 65—70$).

Положение оси инструмента измерялось непосредственно в процессе обработки специальным прибором (рис. 54). В неподвижном корпусе 11 перемещается и поворачивается ось 10. В рамке 9, закрепленной на оси 10, перемещается ось 7 с пружинным кольцом 8. Горизонтальное перемещение пружинного кольца 8 через ось 7, скобу 3 и шарики 2 воспринимается упругим элементом 1. Вертикальное перемещение кольца 8 передается через рамку 9, скобу 6 и шарики 5 на упругий элемент 4.

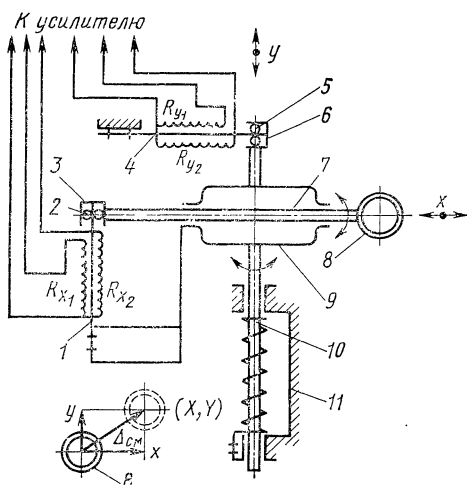


Рис. 54. Схема прибора для контроля положения оси отверстия в динамике

Кольцо 8 выполнено в виде спиральной пружины, которая обеспечивает беззазорное соединение с режущим инструментом. Диаметральный размер пружины на 0,2—0,3 мм меньше диаметрального размера инструмента. При вводе инструмента внутрь пружины она под действием сил трения раскручивается и плотно охватывает режущий инструмент. На упругие элементы 1 и 4 горизонтального и вертикального перемещения, выполненные в виде плоских пружин, с двух сторон наклеены проводочные тензодатчики сопротивления. Отклонение оси режущего инструмента относительно номинального положения в двух

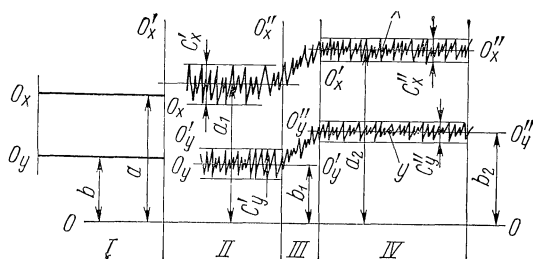


Рис. 55. Осциллограмма положения оси инструмента в процессе обработки

взаимно перпендикулярных направлениях (X и Y) воспринимается упругими элементами, при деформации которых в цепи полумоста датчиков возникает ток разбаланса. Ток, проходя через усилитель 8АН4-7М и фильтр, попадает на шлейфовый осциллограф Н-700. Запись показаний осуществляется на светочувствительный осциллографической бумаге. Чтобы знать действительную величину смещения оси инструмента, необходимо установить соотношение этой величины с перемещением луча осциллографа на фотобумаге, т. е. произвести тарировку упругих элементов. При тарировке упругий элемент получает определенное перемещение, фиксируемое индикатором, и записывается величина перемещения луча осциллографа, соответствующая данному фактическому перемещению упругого элемента. Для записи положения оси инструмента прибор устанавливался на входе в обрабатываемое отверстие. Перед началом эксперимента записывалось положение оси постоянной кондукторной втулки, принятое за номинальное положение оси обрабатываемого отверстия. Для этого после установки и зажима образца в отверстие кондукторной втулки вставлялась специальная оправка, притертая по внутреннему диаметру втулки с зазором 0,005—0,008 мм. Затем оправка вводилась в пружинное кольцо 5 прибора, балансировались мосты усилителя и записывалось положение оси втулки.

На осциллограмме (рис. 55) линия $O_x—O_x$ соответствует положению оси втулки по координате X , а линия $O_y—O_y$ — по координате Y (зона I). Одновременно в процессе осциллогра-

фирования производилась запись базовой линии OO (нулевой шлейф осциллографа), относительно которой измерялись координаты осей втулки и инструмента. Затем начиналась обработка отверстия, в процессе которой осуществлялась запись положения оси инструмента: до момента обработки — зона II , при врезании — зона III и при установившемся резании — зона IV .

Линии $O'_x-O'_x$ и $O'_y-O'_y$ соответствуют положению оси инструмента (по координатам X и Y) до начала обработки, а линии $O''_x-O''_x$ и $O''_y-O''_y$ — положению оси инструмента при обработке отверстия. Эти линии представляют собой среднее положение оси вращения инструмента; амплитуда колебания (C'_x ; C'_y) соответствует радиальному биению инструмента по двум координатам (X ; Y) на входе в обрабатываемое отверстие. Отклонение по осциллограмме от линии O_x-O_x и O_y-O_y (положение оси постоянной втулки) представляет собой смещение оси инструмента соответственно по осям X и Y . Смещение оси инструмента в любой момент времени определяется разностью координат осей инструмента (a_1 ; b_1 или a_2 ; b_2) и постоянной втулки (a ; b). Так, смещение оси инструмента до начала обработки по двум координатам $x_1=a_1-a$; $y_1=b_1-b$; смещение в процессе обработки $x_2=a_2-a$; $y_2=b_2-b$.

Во всех экспериментах производится запись смещения оси инструмента по двум координатам (X и Y). Суммарный вектор смещения оси инструмента определяется из выражения

$$\Delta_{см_i} = \sqrt{(x_i M_x)^2 + (y_i M_y)^2},$$

где x_i и y_i — текущие значения смещений по осям X и Y соответственно; M_x и M_y — масштабы записи смещений по осям координат, определенные из тарифовочных графиков.

Ввиду того, что каждый эксперимент повторяется, за среднее значение смещения принимается величина, соответствующая средней арифметической величине, вычисляемой по формуле

$$\Delta_{см} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_{см_i},$$

где $\Delta_{см_i}$ — текущее значение величины смещения; n — количество повторений экспериментов.

3. Определение величины геометрического смещения оси инструмента

Величина геометрического смещения оси инструмента в его концевом сечении определяется параметрами инструментальной наладки и узла направления инструмента:

$$\Delta_{г.н} = f(S_1, l_{вт}, l_x, S_2, e_c, 2r), \quad (58)$$

где S_1 — зазор в соединении сменная втулка — инструмент; $l_{вт}$ — длина сменной кондукторной втулки; l_x — вылет инструмента за торец втулки; S_2 — зазор в соединении сменная — постоянная втулки; e_c — эксцентricность наружной и внутренней поверхностей сменной втулки; $2r$ — радиальное биение инструментальной наладки в концевом сечении при входе во втулку.

На величину геометрического смещения оси инструмента при выходе кондукторной втулки оказывает также влияние смещение осей $\Delta_{\Sigma 1}$ шпинделя и постоянной кондукторной втулки и смещение оси инструментальной наладки с оси шпинделя, проявляющееся в виде радиального биения $2R$ конца инструмента.

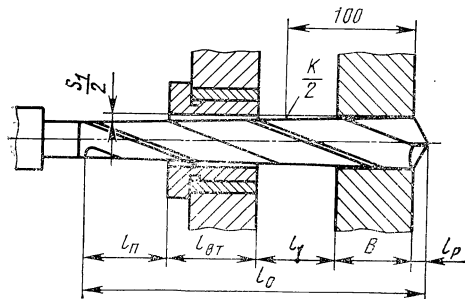


Рис. 56. Определение величины зазора от обратной конусности инструмента

Зазор между сменной втулкой и инструментом. В процессе работы фактическая величина зазора между втулкой и инструментом значительно превышает расчетную величину, соответствующую посадке сопряжения. Из-за наличия у инструмента обратной конусности величина зазора существенно изменяется на длине рабочего хода инструмента.

По той же причине после каждой заточки осевого инструмента изменяется его диаметр в концевом сечении. Зазор изменяется также из-за износа направляющей поверхности втулки.

Значения величин обратной конусности определяются на длине 100 мм и регламентируются ГОСТом. Обратная конусность для сверл (ГОСТ 2034—64) диаметром до 18 мм составляет 0,04—0,08 мм, а диаметром свыше 18 мм — 0,05—0,1 мм. По ГОСТ 1677—67 обратная конусность зенкеров диаметром до 18 мм составляет 0,04—0,08 мм, а для диаметров свыше 18 мм — 0,05—0,10 мм. Для разверток по ГОСТ 11174—65 обратная конусность находится в пределах допуска на изготовление развертки, независимо от диаметра. Суммарную величину зазора следует считать случайной, так как сочетание размеров отверстия втулки, инструмента и величины обратной конусности при установке на станок в момент наладки является случайным. Зазор, вызванный износом втулки, следует рассматривать как закономерно изменяющуюся погрешность, величина которой может быть ограничена допускаемыми пределами $S_{изн}$ (доп).

Определим поле рассеяния δS_1 и среднюю величину $\Delta_0 S_1$ суммарного зазора между сменной втулкой и инструментом

$$\left. \begin{aligned} \delta S_1 &= \frac{1}{k_4} \sqrt{k_1^2 \delta A_1^2 + k_2^2 \delta B_1^2 + k_3^2 \delta B_{o.k}^2 + S_{изн(доп)}}; \\ \Delta_0 S_1 &= \Delta_0 A_1 - \Delta_0 B_1 - \Delta_0 B_{o.k} + \alpha_1 \delta A_1 - \\ &\quad - \alpha_3 \delta B_{o.k} - \alpha_4 \delta S_1 + 0,5 S_{изн(доп)}. \end{aligned} \right\} \quad (59)$$

В этих формулах: δS_1 и $\Delta_0 S_1$ — поле рассеяния и средняя величина суммарного зазора между сменной втулкой и инструментом; δA_1 и $\Delta_0 A_1$ — поле допуска и среднее отклонение размера отверстия сменной втулки; δB_1 и $\Delta_0 B_1$ — поле допуска и среднее отклонение размера направляющей части инструмента (без учета обратной конусности); $\delta B_{o.k}$ и $\Delta_0 B_{o.k}$ — поле допуска и среднее отклонение размера направляющей части инструмента от допустимой обратной конусности; k_1, k_2, k_3 и k_4 — коэффициенты относительного рассеяния соответствующих величин, характеризующие отклонения действительных кривых распределения этих величин от кривых нормального распределения; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ — коэффициенты относительной асимметрии кривых распределения соответствующих величин; $S_{изн(доп)}$ — величина зазора между втулкой и инструментом, вызванная износом их направляющих частей (в пределах допустимой величины).

Выражения для определения поля рассеяния и среднего отклонения размера направляющей части переточенного инструмента от допустимой обратной конусности при $l_n = l_0 - B - l_1 - l_{вт} - l_p$ и $l_x = l_1 + \frac{B}{2}$ будут иметь вид (рис. 56)

$$\left. \begin{aligned} \delta B_{o.k} &= \frac{\delta k (l_x + l_n)}{100}; \\ \Delta_0 B_{o.k} &= \frac{\Delta_0 k (l_x + l_n)}{100}. \end{aligned} \right\} \quad (60)$$

В этих формулах: δk — поле допуска на величину обратной конусности рабочей части инструмента на длине 100 мм, $\delta k = k_{max} - k_{min}$; $\Delta_0 k$ — средняя величина допустимой обратной конусности, $\Delta_0 k = 0,5 (k_{max} - k_{min})$; l_n — длина стачиваемой части инструмента к концу его срока службы; l_0 — длина рабочей части инструмента; l_p — длина режущей части инструмента; l_1 — расстояние между торцом сменной втулки и поверхностью заготовки; B — длина обрабатываемого отверстия.

В табл. 4 приведены значения величин полей рассеяния и средних величин суммарных зазоров, определяемых по формулам (59) для основных диапазонов диаметральных размеров отверстий при сверлении, зенкерowaniu и развертывании.

Для практического пользования формулы (59) могут быть значительно упрощены при соответствующих допущениях. Используя экспериментальные значения коэффициентов относи-

тельного рассеяния для диаметральных размеров отверстий и валов [16], принимаем $k_1=k_2=k_3=1,1$. Коэффициент относительного рассеяния k_4 суммарного зазора посадки сменная втулка — инструмент и от обратной конусности инструмента определяем с учетом приведенных значений k_1, k_2 и k_3 [16]. Получив $k_4=1,03—1,06$, примем $k_4=1,05$.

Таблица 4

Характеристики рассеяния отклонений размеров направляющих поверхностей инструмента и сменной втулки и зазора между ними

Вид обработки	Номинальные диаметры обрабатываемых отверстий d , мм	Отклонения диаметрального размера инструмента, мкм				Отклонения отверстия сменной втулки, мкм		Зазор S_1 , мкм			
								без учета износа		с учетом износа	
		δB_1	$\Delta_0 B_1$	$\delta B_{0.к}$	$\Delta_0 B_{0.к}$	δA_1	$\Delta_0 A_1$	δS_1	$\Delta_0 S_1$	δS_1	$\Delta_0 S_1$
Сверление	10—18	43	—21,5	30	—33	19	15,5	56	70	106	95
	18—30	52	—26	60	—70	22	19	83	115	133	140
	30—50	62	—31	112	—136	25	22,5	131	189,5	181	214,5
Зенкерование	10—18	24	—12	24	—36	19	15,5	38	63,5	88	88,5
	18—30	30	—15	50	—75	22	19	63	109	113	134
	30—50	36	—18	80	—120	25	22,5	92	160,5	142	185,5
Развертывание	10—18	9	—4,5	—	—	19	15,5	21	20	71	45
	18—30	10	—5	—	—	22	19	25	24	75	49
	30—50	12	—6	—	—	25	22,5	28	28,5	78	53,5

Примечания: 1. Допуски на изготовление сверл по ГОСТ 885—64, зенкеров по ГОСТ 1677—67 и разверток по ГОСТ 11174—65. 2. Допуски на изготовление сменных втулок по нормам МосСКБ АЛ и АС: НО 270, НО 271 и НО 272. Величины отклонения рассчитывались для следующих условий: $l_{вт}=2,5 d$; $l_x=2,5 d$; $l_{п}=1,5 d$; $S_{изн(доп)}=50$ мкм посадки инструмента во втулке D .

Результаты исследований [20; 38] показывают, что законы распределения размеров вала и отверстия симметричны и, следовательно, коэффициенты относительной асимметрии кривых распределения соответствующих величин можно принять $\alpha_1=\alpha_2=\alpha_3=\alpha_4=0$. Тогда, подставив в выражения (59) значения коэффициентов k и α , получим поле рассеяния суммарного зазора в сопряжении втулка — инструмент:

$$\delta S_1 = \sqrt{\delta A_1^2 + \delta B_1^2 + \delta B_{0.к}^2} + S_{изн(доп)} \quad (61)$$

и среднюю величину зазора

$$\Delta_0 S_1 = \Delta_0 A_1 - \Delta_0 B_1 - \Delta_0 B_{0.к} + 0,5 S_{изн(доп)}. \quad (62)$$

Эти формулы получены для наихудшего случая, когда величина суммарного зазора, определяемая зазором посадки втулка — инструмент, составляется из величин обратной конусности максимально переточенного инструмента и износа направляющей поверхности втулки. В некоторых конкретных случаях число составляющих погрешностей уменьшается. При развертывании отверстий, когда отсутствует влияние обратной конусности на суммарную величину зазора, формулы для определения поля рассеяния зазора между втулкой и инструментом и средней его величины будут иметь вид

$$\delta S_1 = \sqrt{\delta A_1^2 + \delta B_1^2} + S_{\text{изн(доп)}}; \quad (63)$$

$$\Delta_0 S_1 = \Delta_0 A_1 - \Delta_0 B_1 + 0,5 S_{\text{изн(доп)}}. \quad (64)$$

Длина кондукторной втулки. При одной и той же величине зазора S_1 величина геометрического смещения оси инструмента $\Delta_{г.и}$ существенно зависит от длины сменной кондукторной втулки $l_{\text{вт}}$ (табл. 5). Рекомендации по выбору длины втулки конкретно не учитывают условий обработки отверстий и требуемой точности координат отверстия. На ряде действующих автоматических и поточных линий из агрегатных станков фактическая длина сменных втулок часто превышает рекомендуемую длину.

Таблица 5

Диаметры инструмента $[d]$ и длины направляющей части сменной кондукторной втулки по различным данным, мм

Диаметр инструмента, d	$l_{\text{вт}}$ по ОСТ 4924 (низкие и высокие)	$l_{\text{вт}}$ по нормали ГО 272	$l_{\text{вт}}$ на действующих автоматических и поточных линиях из агрегатных станков		
			сверление	зенкерование	развертывание
4—8	15 25	18 26	26—33	—	—
8—12	18 28	22 31	26—40	—	31—40
12—18	25 40	35 45	35—45	35—45	35—55
18—25	30 50	35 45	35—60	45—60	45—65
25—34	41 66	45 55	—	55—90	55—90
34—45	53 88	45 55	—	55—90	60—90

Недостаточная по условиям требуемой точности обработки координированных отверстий длина втулки может привести к необходимости введения в технологический процесс дополнительного перехода или к весьма значительному ужесточению других параметров, влияющих на точность расположения отверстий (уменьшению зазора между втулкой и инструментом, погрешности установки, погрешности параметра преемственности и т. д.). Однако необходимо учитывать, что с увеличением длины кондукторной втулки увеличивается длина неиспользованной рабочей части режущего инструмента (при сверлении и зенкерования инструментом диаметром 10—25 мм эта величина составляет 33—45%), увеличиваются габариты и масса станков автоматической линии, возрастают затраты на материал втулки и усложненный процесс ее термической и механической обработки. Поэтому длину сменной кондукторной втулки необходимо выбирать минимально необходимой из условия обеспечения требуемой точности, учитывая при этом, что длина кондукторной втулки оказывает существенное влияние не только на величину геометрического смещения оси инструмента, но и на силовые нагружения втулки и инструмента.

Вылет инструмента за торец втулки. Наряду с зазором S_1 между сменной втулкой и инструментом, длиной сменной втулки $l_{вт}$ величина геометрического смещения оси инструмента зависит и от длины вылета инструмента за торец втулки. Длину вылета l_x инструмента выбирают из условия отвода стружки и по конструктивным соображениям. Так, расстояние от торца втулки до детали при сверлении принимается из условия отвода стружки равным $(0,5—0,8) d$ при обработке чугуна и $(0,8—1,6) d$ при обработке алюминия (большие значения — для меньших диаметров инструмента). При разворачивании l_x рекомендуется в пределах $(0,6—1,0) d$.

Часто длина вылета инструмента значительно превышает рекомендуемую и достигает иногда $(3—4) d$. Это снижает точность координат оси отверстия, так как с увеличением вылета инструмента за торец втулки увеличиваются смещения инструмента за счет зазора S_1 и упругих отжатию инструмента из-за снижения его жесткости на изгиб.

Если в позиции предусматривается обработка нескольких отверстий различных диаметров, то расстояние от торца кондукторной плиты до поверхности заготовки принимается при условии нормального выхода стружки от инструмента наибольшего диаметра, а чтобы избежать недопустимой величины вылета инструмента малого диаметра для него применяют удлиненные втулки с выточкой, выступающие за габариты кондукторной плиты.

Зазор в соединении сменной и постоянной втулок и смещение осей у сменной втулки. Положение оси инструмента дополнительно изменяется под влиянием зазора S_2 в сопряжении

сменная — постоянная втулки и несоосности e_c наружной и внутренней поверхностей сменной втулки. Ось сменной втулки при наличии эксцентриситета смещается относительно оси постоянной втулки в произвольном направлении и при суммировании эта погрешность должна рассматриваться как случайная векторная величина. Что же касается зазора S_2 , то его можно считать случайной скалярной величиной, так как при горизонтальном расположении оси, под действием силы тяжести, втулка опустится, а зазор сместится вверх. Эта погрешность не занимает большого места в суммарной погрешности.

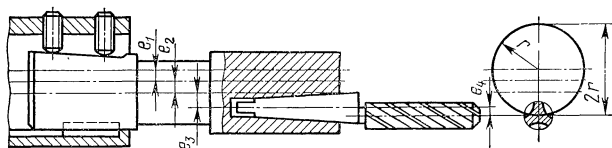


Рис. 57. Геометрическая погрешность системы шпиндель—удлинитель—сверло

Радиальное биение инструментальной наладки. Как уже указывалось, из-за неточности изготовления ряда звеньев инструментальной наладки ось консольно закрепленного в шпинделе режущего инструмента отклоняется от оси шпинделя, в результате чего при вращении возникает радиальное биение $2r$ свободного конца режущего инструмента (рис. 57). Величина смещения r оси инструмента относительно оси вращения шпинделя, равная половине величины радиального биения конца инструмента,

$$r = f(e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, \varepsilon), \quad (65)$$

где e_1 — смещение оси шпинделя с оси его вращения (половина ее биения); e_2 — смещение оси посадочного диаметра удлинителя с оси шпинделя за счет зазора в результате крепления удлинителя стопорными винтами; e_3 — смещение оси конуса Морзе удлинителя с оси посадочной поверхности удлинителя (половина радиального биения конуса Морзе); e_4 — смещение оси витой части сверла с оси конуса Морзе; e_5 — смещение оси конуса Морзе разрезной втулки с оси цилиндрического отверстия втулки (учитывается только для сверл с цилиндрическим хвостовиком); ε — смещение конца сверла от поворота удлинителя вследствие конусности посадочных отверстий шпинделя. Это смещение может возникать вследствие конусности отверстия шпинделя, допущенной при изготовлении, неравномерного износа поверхностей в эксплуатации, попадания посторонних частиц в зазор сопряжения в момент смены инструмента и вследствие забоин на сопрягаемых поверхностях.

Величина смещения удлинителя зависит от направления угла конусности на сопрягаемых поверхностях. Если зазор между шпинделем и удлинителем у торца шпинделя больше, чем у торца удлинителя, то величина поворота удлинителя суммируется с величиной смещения оси удлинителя в плоскости действия стопорных винтов и в величину радиального биения войдет $\varepsilon + e_2$. Если зазор у торца шпинделя меньше, чем у торца удлинителя, то величина поворота компенсируется величиной параллельного смещения e_2 и в величину радиального биения войдет $\varepsilon - e_2$. При равенстве величин зазоров остается лишь погрешность e_2 смещения на зазоре. Для расчета возможного смещения ε конца сверла при повороте удлинителя примем предельный случай погрешности (рис. 58). Из подобия треугольников OAB и $OBГ$ имеем

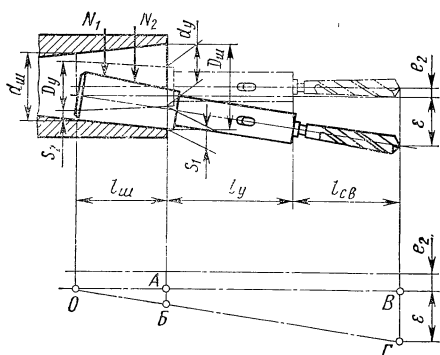


Рис. 58. Влияние конусности посадочных поверхностей шпинделя и удлинителя на смещение оси сверла

$$\varepsilon = \frac{S_1 - S_2 (l_{ш} + l_y + l_{св})}{l_{ш}}, \quad (66)$$

где S_1 — половина зазора посадки удлинителя в отверстии шпинделя, измеренная у торца шпинделя; $S_1 = \frac{D_{ш} - d_y}{2}$;

S_2 — половина зазора посадки удлинителя в отверстии шпинделя, измеренная у торца удлинителя $S_2 = \frac{D_{ш} - D_y}{2}$. Остальные обозначения приведены на рис. 58. Из всех погрешностей только для погрешности e_2 и прямо связанной с нею погрешности ε известно направление, все остальные погрешности могут занимать любое угловое положение относительно друг друга и погрешности e_2 . Проверочные расчеты показали, что величина r , рассчитанная на максимум, в 1,7 раза больше, чем при квадратичном суммировании, и в 2—2,2 раза больше, чем при вероятностном расчете на основе теории размерных цепей. Ниже приводятся величины слагаемых, входящих в общую величину r смещения оси инструмента с оси вращения шпинделя.

Радиальное биение e_1 оси шпинделя относительно оси его вращения зависит от группы точности шпинделя:

Группа точности	I	II	III	IV
Радиальное биение, мм	0,015	0,02	0,03	0,05

Радиальное биение оси посадочного диаметра e_2 удлинителя относительно оси шпинделя зависит от диаметра отверстия:

Диаметр отверстия, мм	14	20 и 26	36 и 44	60 и 80
Радиальное биение, мм	0,017	0,02	0,024	0,027

Радиальное биение оси рабочей части инструмента e_4 относительно оси хвостовика зависит от:

диаметра сверла

Диаметр сверла, мм	До 10	Свыше
Радиальное биение, мм	0,04—0,06	0,06—0,08

диаметра зенкера

Диаметр зенкера, мм	До 18	От 18 до 30	Свыше 30
Радиальное биение, мм	0,02	0,025	0,032

диаметра развертки

Диаметр развертки, мм	До 10	От 10 до 30	Свыше 30
Радиальное биение, мм	0,007	0,008	0,013

Радиальное биение оси конуса Морзе разрезной втулки e_5 относительно оси цилиндрического отверстия втулки зависит от номера конуса

Номер конуса Морзе	1	2; 3; 4
Радиальное биение	0,02	0,018

Радиальное биение оси конуса Морзе удлинителя e_3 относительно посадочной поверхности на длине 150 мм равно 0,02.

Примечание. Величины отклонений e_1 , e_2 , e_3 и e_5 приняты по нормалам МосСКБ АЛ и АС; e_4 — для сверл по ГОСТ 2034—64, для зенкеров — ГОСТ 1677—67, для разверток — ГОСТ 1523—65, причем меньшие значения e_4 для сверл соответствуют сверлам с цилиндрическим хвостовиком, большие — с коническим.

При направлении инструмента кондукторной втулкой величина его радиального биения $2r$ на входе во втулку уменьшается и положение оси несколько стабилизируется. Однако при любых условиях направления ось режущего инструмента описывает окружность с радиусом R , равным половине величины радиального биения на выходе из втулки. В момент начала обработки центр концевой сечения инструмента может занять любое положение на своей траектории, соответствующее его мгновенному положению. При радиальном биении оси инструмента место его контактирования со втулкой при каждом обороте перемещается по поверхности втулки и только однажды совпадает с плоскостью расположения погрешности смещения осей. Влияние радиального биения на геометрическое смещение оси инструмента $\Delta_{г.и}$ ограничивается величиной зазора в соединении инструмент — втулка и отдельно от зазора не рассматривается. Гораздо большее влияние эта погрешность, наряду с

погрешностью от несовпадения осей шпинделя и втулки, оказывает на точность расположения оси отверстия в связи с их воздействием на условия силового нагружения втулки и инструмента и на картину износа направляющей поверхности втулки. Поэтому ее влияние будет рассмотрено отдельно.

Расчет величины геометрического смещения оси инструмента. Под действием неуравновешенных сил, возникающих при обработке отверстия, инструмент смещается на зазоре S_1 между сменной втулкой и инструментом (рис. 59). В результате этого

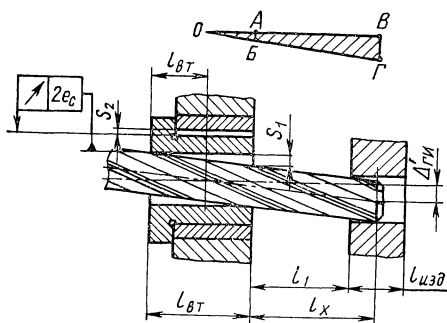


Рис. 59. Расчетная схема для определения величины геометрического смещения оси инструмента

возникает погрешность пространственного положения оси обрабатываемого отверстия. Инструмент с винтовыми канавками направляется в сменной втулке не цилиндрической поверхностью, а лишь ленточками, причем место контакта втулки с ленточками при вращении инструмента все время изменяется.

Расчет величины смещения инструмента на зазоре из условия контактирования

винтовой и цилиндрической поверхностей весьма сложен. Однако несомненно, что точки контакта винтовых ленточек с поверхностью отверстия втулки, перемещаясь одновременно по окружности и образующей, все время располагаются на цилиндрической поверхности отверстия втулки. Поэтому принимаем допущение, что инструмент контактирует со втулкой цилиндрической поверхностью.

Тогда величину смещения оси инструмента $\Delta'_{г.и}$ на зазоре между сменной втулкой и инструментом можно найти из подобия треугольников AOB и $BOГ$. Учитывая, что $AB = \frac{S_1}{2}$; $BG = \Delta'_{г.и}$; $AO = \frac{l_{BT}}{2}$ и $OB = \frac{l_{BT}}{2} + l_x$, получим

$$\Delta'_{г.и} = S_1 \left(0,5 + \frac{l_x}{l_{BT}} \right). \quad (67)$$

С учетом погрешностей, вносимых сменной втулкой (несоосности ее поверхностей e_c и зазора S_2 между сменной и постоянной втулкой), выражение для определения геометрического смещения оси режущего инструмента будет иметь вид

$$\Delta_{г.и} = S_1 \left(0,5 + \frac{l_x}{l_{BT}} \right) + 0,5S_2 + e_c. \quad (68)$$

Однако суммирование погрешностей по их максимальным значениям не соответствует характеру явлений. Величина зазора S_1 между втулкой и инструментом и направление смещения инструмента на этом зазоре являются случайными. То же можно сказать и о смещениях на зазоре посадки сменной втулки в постоянной втулке и смещениях осей сменной втулки e_c . Поэтому для определения поля рассеяния смещения оси инструмента $\Delta_{г.и}$ в одну сторону относительно номинального положения необходимо определить поля рассеяния составляющих величин и просуммировать их теоретико-вероятностным методом [15; 16; 49], тогда

$$\delta\Delta_{г.и} = \frac{1}{k_7} \times \\ \times \sqrt{\left(\frac{\partial\Delta_{г.и}}{\partial S_1}\right)^2 k_{x_4} \delta S_1^2 + \left(\frac{\partial\Delta_{г.и}}{\partial S_2}\right)^2 k_5^2 \delta S_2^2 + \left(\frac{\partial\Delta_{г.и}}{\partial e_c}\right)^2 k_{x_6} \delta e_c^2}, \quad (69)$$

где $\delta\Delta_{г.и}$ — поле рассеяния геометрического смещения оси инструмента относительно номинального положения; δS_1 ; δS_2 и δe_c — поля рассеяния соответствующих величин; $\frac{\partial\Delta_{г.и}}{\partial S_1}$; $\frac{\partial\Delta_{г.и}}{\partial S_2}$

и $\frac{\partial\Delta_{г.и}}{\partial e_c}$ — частные производные величины геометрического смещения оси инструмента по соответствующим составляющим величинам (передаточные отношения составляющих величин); k_5 и k_7 — коэффициенты относительного рассеяния соответствующих погрешностей; k_{x_4} и k_{x_6} — приведенные коэффициенты относительно рассеяния векторных величин S_1 и e_c .

Смещение оси инструмента $\Delta_{г.и}$ относительно номинального положения, как и всякая случайная величина, характеризуется не только полем ее рассеяния, но и средней величиной, которую можно определить из выражения

$$\Delta_{ог.и} = \frac{\partial\Delta_{г.и}}{\partial S_1} \left(\Delta_0 S_1 + \alpha_4 \frac{\delta S_1}{2} \right) + \frac{\partial\Delta_{г.и}}{\partial S_2} \left(\Delta_0 S_2 + \alpha_5 \frac{\delta S_2}{2} \right) + \frac{\partial\Delta_{г.и}}{\partial e_c} \left(\Delta_0 e_c + \alpha_6 \frac{\delta e_c}{2} \right) - \alpha_7 \frac{\delta\Delta_{г.и}}{2}, \quad (70)$$

где $\Delta_{ог.и}$, $\Delta_0 S_1$, $\Delta_0 S_2$ и $\Delta_0 e_c$ — средние величины геометрического смещения инструмента $\Delta_{г.и}$, зазора S_1 , зазора S_2 и несоосности e_c соответственно; α_4 , α_5 , α_6 и α_7 — коэффициенты относительной асимметрии кривых распределения соответствующих величин.

Как показывает анализ допусков на обработку отверстия постоянной втулки и наружной поверхности сменной втулки в диапазоне диаметров 18—50 мм, поля рассеяния зазора δS_2 и средние величины зазоров $\Delta_0 S_2$ составляют для втулок повышенной точности: $\delta S_2 = 14 \div 19$ мкм; $\Delta_0 S_2 = 18 \div 11$ мкм; для втулок пониженной точности $\delta S_2 = 23 \div 32$ мкм; $\Delta_0 S_2 = 21 \div 18$ мкм.

Эксцентриситет e_c сменной втулки характеризуется для втулок повышенной точности $\delta e_c = 2,5$ мкм; $\Delta_0 e_c = 0,4$ мкм. Для втулок пониженной точности $\delta e_c = 7,5$ мкм; $\Delta_0 e_c = 1,2$ мкм. При любом виде обработки мерным инструментом (сверлении, зенкерования и развертывании) поле рассеяния зазора δS_2 и несоосность δe_c значительно меньше, чем поле рассеяния зазора δS_1 . Поэтому для упрощения расчета величины поля рассеяния геометрического смещения оси инструмента $\delta \Delta_{г.и}$ достаточно определить лишь поле зазора между сменной втулкой и инструментом δS_1 , а влияние δS_2 и δe_c учесть соответствующим коэффициентом. Найдем значения этого коэффициента для различных видов обработки, определив предварительно передаточные отношения соответствующих величин и коэффициенты относительного рассеяния и относительной асимметрии.

Передаточные отношения найдем из геометрических соотношений (см. рис. 59), откуда:

$$\frac{\partial \Delta_{г.и}}{\partial S_1} = 0,5 + \frac{l_x}{l_{вт}}; \quad \frac{\partial \Delta_{г.и}}{\partial S_2} = 0,5 \text{ и } \frac{\partial \Delta_{г.и}}{\partial e_c} = 1.$$

Подставив в формулу (69) принятые значения передаточных отношений и коэффициентов, получим упрощенное выражение для определения поля рассеяния величины геометрического смещения оси инструмента:

$$\delta \Delta_{г.и} = n'_1 \delta S_1 \left(0,5 + \frac{l_x}{l_{вт}} \right),$$

где n'_1 — коэффициент, учитывающий влияние полей рассеяния погрешностей δS_1 и δe_c . Введем также коэффициент n'_1 , учитывающий влияние средней величины зазора $\Delta_0 S_2$. Тогда наибольшая величина геометрического смещения оси инструмента

$$\Delta_{г.и} = n_1 \left(0,5 + \frac{l_x}{l_{вт}} \right) \delta S_1 \text{ при } n_1 = n'_1 n'_1. \quad (71)$$

Как показывают расчеты, для сверления и зенкерования отверстий следует принимать $n_1 = 1,1$, а для развертывания $n_1 = 1,2$.

Величины зазоров S_1 в сопряжении втулка — инструмент при направлении его режущей части обычно выбираются в системе вала. Отверстия в сменных втулках агрегатных станков в соответствии с нормами МосСКБ АЛ и АС назначаются по посадкам H , D , C и D_1 .

Допуски на изготовление инструментов регламентируются ГОСТами: 885—64 (сверла обычного и точного исполнения), 1677—67 (зенкеры) и 13779—68 (развертки).

Экспериментальное исследование влияния основных геометрических факторов на точность расположения оси отверстия. Влияние величины зазора S_1 между сменной втулкой и инст-

рументом, длины сменной втулки $l_{\text{вт}}$ и длины вылета l_x инструмента за торец втулки рассматривалось применительно к величине смещения $\Delta_{\text{см}}$ оси инструмента.

Для всех методов обработки и для всех длин втулки величина смещения $\Delta_{\text{см}}$ оси при увеличении зазора S_1 возрастает по зависимости, близкой к линейной (рис. 60). В связи со значительным влиянием зазора в сопряжении втулка — инструмент на точность расположения оси следует ограничивать его величину в эксплуатации за счет ограничения износа направляющей поверхности втулки; в некоторых случаях целесообразно при наладке подбирать инструмент по втулкам.

Зависимость смещения оси $\Delta_{\text{см}}$ от длины втулки $l_{\text{вт}}$ (рис. 61) позволяет определить длину втулки, при которой достаточно резко снижается степень ее влияния на точность расположения оси отверстия. Эту длину и следует считать оптимальной для обеспечения точности расположения оси отверстия. Дальнейшее увеличение длины втулки нецелесообразно.

С увеличением вылета инструмента за торец втулки величина смещения $\Delta_{\text{см}}$ оси возрастает по линейной зависимости, практически одинаковой для всех методов обработки отверстия, но существенно зависит от зазора S_1 (рис. 62). Величину вылета инструмента следует при проектировании технологических процессов уменьшать до предела.

Следует отметить, что характер зависимости величины радиального биения на выходе из втулки от несовпадения осей инструмента и втулки различен для различных инструментов. Так, с увеличением несовпадения осей сверла и втулки радиальное биение $2R$ увеличивается, а зенкера и гладкой оправки — уменьшается. Это явление объясняется наличием у сверла двух винтовых направляющих ленточек большого шага, соизмеримого с длиной втулки. Винтовые канавки, нарушая контакт ленточек со втулкой, не позволяют оси сверла стабилизироваться. Зенкер же или гладкая оправка смещается на зазоре посадки во втулке к одной стороне, и положение его оси относительно оси втулки тем самым стабилизируется. Однако увеличение несовпадения осей втулки и инструмента нельзя использовать для уменьшения радиального биения многозубого

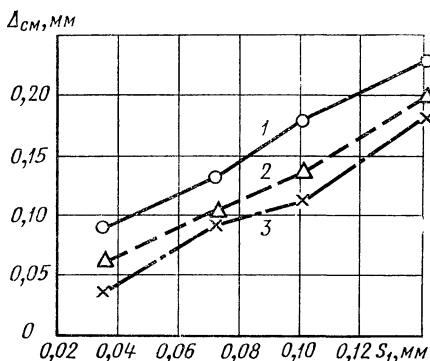


Рис. 60. Зависимость величины смещения $\Delta_{\text{см}}$ оси отверстия от зазора между втулкой и инструментом S_1 при сверлении (кривая 1), зенкерования (кривая 2) и развертывании (кривая 3) отверстий диаметром 15 мм в чугуна ($l_{\text{вт}} = 40$ мм; $l_x = 40$ мм)

инструмента, поскольку с увеличением смещения осей условия силового нагружения втулки ухудшаются и ее износ возрастает.

С увеличением длины сменной кондукторной втулки величина радиального биения $2R$ на выходе из втулки уменьшается. При этом интенсивность снижения $2R$ неодинакова для разных режущих инструментов. Наиболее выгодно направление по гладкой цилиндрической поверхности.

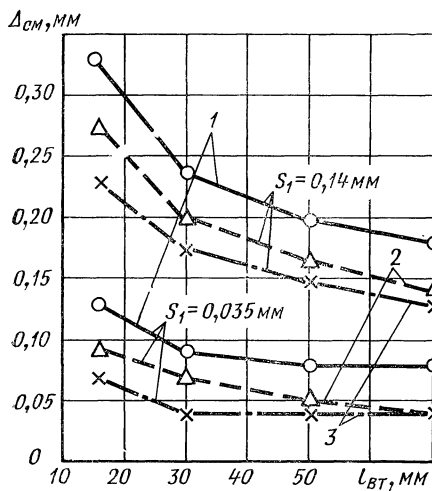


Рис. 61. Зависимость величины смещения $\Delta_{см}$ оси отверстия от длины втулки $l_{вт}$ и зазора S_1 при сверлении (кривые 1), зенкеровании (кривые 2) и развертывании (кривые 3) отверстий диаметром 15 мм в чугуне ($l_x = 40$ мм)

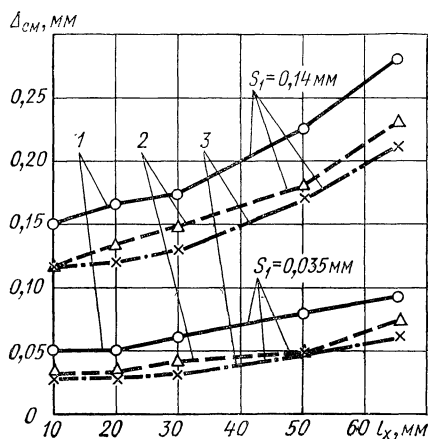


Рис. 62. Зависимость величины смещения $\Delta_{см}^*$ оси отверстия от длины вылета инструмента l_x и зазора S_1 при сверлении (кривые 1), зенкеровании (кривые 2) и развертывании (кривые 3) отверстий диаметром 25 мм в чугуне ($l_{вт} = 60$ мм)

Самое большое влияние на величину радиального биения $2R$ инструмента оказывает величина зазора S_1 в сопряжении втулка — инструмент. Минимальный зазор S_1 соответствует минимальной величине биения. Увеличение зазора приводит к резкому увеличению биения. Поэтому уменьшение зазора в соединении сменная втулка — инструмент — основной путь повышения точности направления инструмента.

Способы уменьшения величины геометрического смещения оси инструмента. Как показали экспериментальные исследования, кондукторная втулка уменьшает радиальное биение инструментальной наладки на выходе из втулки в 6—16 раз. Чем больше радиальное биение инструментальной наладки на входе во втулку $2r$, тем больше биение на выходе из втулки $2R$. Отсюда следует необходимость уменьшения биения инструментальной наладки на входе во втулку путем повышения точности изготовления ее звеньев. Необходимо также повысить требова-

ния к инструментам (особенно — к сверлам) по изогнутости оси и смещению оси витой части относительно хвостовика.

Чтобы избежать неблагоприятного суммирования первичных погрешностей при сборке инструмента с удлинителем, следует проверять радиальное биение конца инструмента в сборе с удлинителем. Поворачивая инструмент и переходные втулки относительно удлинителя и делая пробные проверки радиального биения, можно найти наиболее благоприятный вариант взаимного расположения элементов конструкции. Для проверки радиального биения инструмента в процессе сборки на рабочем

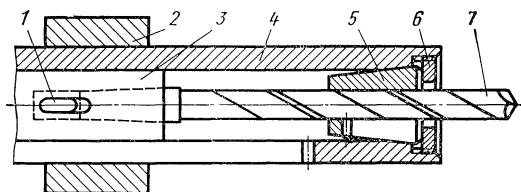


Рис. 63. Цанговая оправка

столе сборщика наладки можно установить контрольное приспособление с поворотным шпиделем, в который ставится удлинитель, аналогично установке в шпиндель станка. При повороте наладки вокруг оси индикатором контролируется радиальное биение. На величину смещения сверл в направляющих втулках весьма существенно влияют спиральные канавки и угол обратной конусности. В ряде случаев применением промежуточных элементов с цилиндрической направляющей частью можно уменьшить смещение оси сверла, одновременно уменьшив радиальное биение, действующие в местах контакта нагрузки, и износ втулок. На рис. 63 представлена специальная цанговая оправка. Корпус оправки 4 надевается на удлинитель 3 и закрепляется с помощью разрезного кольца 2. Коническая цанга 5 с помощью гайки 6 зажимает сверло 7 по витой части. Оправка направляется в кондукторной втулке на всей длине рабочего хода. Условия работы кондукторной втулки в этом случае аналогичны условиям работы подшипников скольжения. Если недопустимо увеличение диаметра направляющей части, применяют гладкую оправку в виде напрессованной на инструмент тонкостенной втулки. Применение оправок связано с некоторым увеличением неиспользуемой части длины инструмента. Могут возникать ограничения технологического характера, связанные с соотношением длины обработки и длины инструмента. Тем не менее, применение гладких оправок повышает точность обработки и увеличивают срок службы втулок. Фактические величины зазоров между втулкой и инструментом значительно отличаются от установленной величины под влиянием таких

переменных факторов, как: допускаемые отклонения на диаметр инструмента, влияние обратной конусности инструмента и износ втулок. Для поддержания величины зазора на требуемом уровне можно рекомендовать подбор инструментов по втулкам в момент наладки. Процесс наладки несколько усложняется и трудоемкость его повышается, однако это полностью оправдывается повышением точности обработки.

4. Определение влияния упругих отжатий технологической системы на смещение оси отверстия

Ось отверстия заготовки, зафиксированной в данной позиции автоматической или поточной линии для обработки, не совпадает с осью инструмента. Величина смещения зависит от смещения $\Delta_{пр}$ оси отверстия заготовки относительно ее технологических баз (плоскость и ось отверстия под цилиндрический фиксатор), после предшествующего

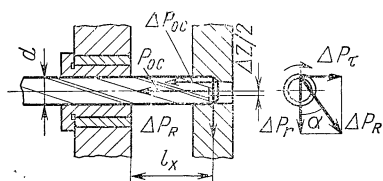


Рис. 64. Схема действия неуравновешенных сил

технологического перехода, от погрешности Δ_p расположения оси шпинделя станка относительно установочных баз позиции (плоскость установочных планок и ось цилиндрического фиксатора) и от погрешности установки ϵ заготовки в данной позиции (см. рис. 51).

Результативное смещение оси отверстия заготовки с оси шпинделя перед обработкой приводит к неравномерному распределению припуска по сторонам отверстия. Из-за неравномерной загрузки режущих кромок инструмента возникают неуравновешенные силы, действующие в осевом и диаметрально сечениях инструмента. Упругие отжатия технологической системы от этих сил приводят к смещению оси обрабатываемого отверстия.

При обработке инструментом, жестко закрепленным в шпинделе станка и направляемым по кондукторным втулкам, величина упругих отжатий зависит от упругих отжатий режущего инструмента $\Delta_{у.и}$, кондукторной плиты $\Delta_{у.к}$, агрегатной головки и заготовки. При этом в качестве основных факторов следует рассматривать упругие отжатия режущего инструмента $\Delta_{у.и}$ и кондукторной плиты $\Delta_{у.к}$, а отжатия заготовки и агрегатной головки, вследствие относительно высокой жесткости этих элементов, можно не учитывать.

Упругие отжатия инструмента. При обработке отверстия с неравномерным припуском (рис. 64) инструмент можно представить в виде консольной балки, работающей в условиях продольно-поперечного изгиба от силы $P_{ос}$ осевой подачи инструмента и неуравновешенных сил резания: осевой — $\Delta P_{ос}$, ра-

диальной — ΔP_r и тангенциальной — ΔP_τ . Расчетная оценка удельного влияния на упругие смещения оси инструмента названных сил показывает, что доля смещения под влиянием сил ΔP_r и ΔP_τ составляет 70—72%, а под влиянием сил P_{oc} и ΔP_{oc} 28—30% от общего смещения оси. Это соотношение позволяет определить расчетом величину упругого смещения под влиянием поперечных изгибающих сил, а влияние продольного изгиба учесть поправочным коэффициентом.

Из схемы действия сил определяется равнодействующая неуравновешенных сил

$$\Delta P_R = \sqrt{\Delta P_r^2 + \Delta P_\tau^2}. \quad (72)$$

Величина упругого отжатия инструмента $\Delta_{y.и}$ от этих сил и от осевых сил

$$\Delta_{y.и} = n_2 \frac{\Delta P_R l_x^3}{3EJ}, \quad (73)$$

где n_2 — коэффициент, учитывающий действие продольного изгиба от осевых сил P_{oc} и ΔP_{oc} ; $n_2 = 1,38 \div 1,42$; E — модуль упругости первого рода; $E = 2 \cdot 10^6$ кгс·см⁻²; J — осевой момент инерции поперечного сечения инструмента

$$J = Cd^4.$$

Экспериментальные значения коэффициентов C : осевых моментов инерции сверл 0,0101—0,0116, зенкеров 3-зубых 0,0174—0,0188, зенкеров 4-зубых 0,022—0,0239, разверток 0,0252—0,0257.

Неуравновешенная радиальная сила ΔP_r направлена в сторону наименьшего припуска, а тангенциальная сила ΔP_τ — перпендикулярна к ней в сторону вращения шпинделя. Вектор погрешности Δ_y практически совпадает с вектором равнодействующей неуравновешенных сил ΔP_R и расположен под углом α к направлению смещения припуска, причём

$$\alpha = \arctg \frac{\Delta P_\tau}{\Delta P_r}. \quad (74)$$

Экспериментальные исследования, проведенные при фиксированном смещении предварительно обработанного отверстия по одной из осей координат, показали, что ось отверстия после обработки смещается по обеим осям координат и вектор результирующего смещения ее отклоняется на угол 41—45° от плоскости расположения наибольшей неравномерности припуска в направлении, совпадающем с направлением вращения шпинделя.

На рис. 65 виден характер смещения оси инструмента (a) и величины смещений при принятых в эксперименте неравно-

мерностях припуска в горизонтальном направлении (б). Характер смещения оси под влиянием неравномерности припуска при обработке серого чугуна и алюминиевого сплава сохраняется. Однако величина смещения для силумина (с твердостью *НВ* 70) меньше, чем для чугуна (с твердостью *НВ* 190), поэтому для достижения той же точности обработки можно для мягких

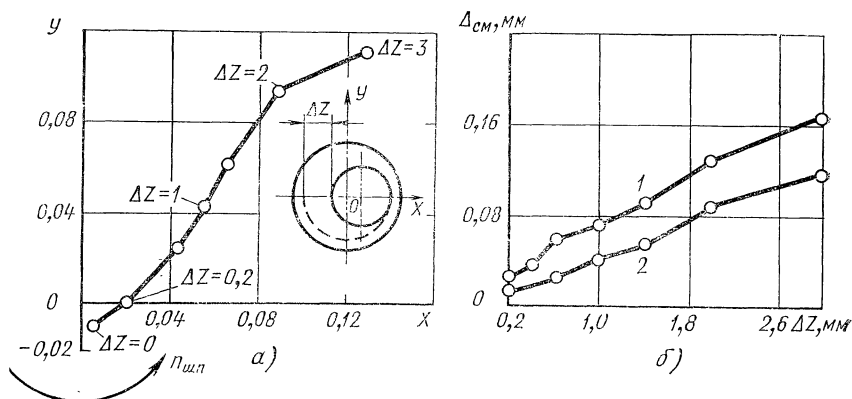


Рис. 65. Смещение оси отверстия при неравномерном припуске на обработку:

а — направление смещения оси; б — величины смещения: 1 — для серого чугуна СЧ 15-22; 2 — для алюминиевого сплава (силумина Ал-2)

материалов допускать несколько большие исходные погрешности, чем для твердых. Вопрос о направлении смещения оси отверстия имеет большое значение для проектного определения точности расположения разветвленных систем отверстий, в частности с угловой координацией осей.

Определим величину равнодействующей неуравновешенных сил при наличии неравномерного распределения припуска по сторонам обрабатываемого отверстия (см. рис. 64). Для приближенных расчетов каждый зуб мерного инструмента можно рассматривать как расточной резец; тогда, пользуясь зависимостями теории резания, можно для одного зуба записать:

$$\left. \begin{aligned} P_{\tau_1} &= c_{1\text{общ}} t_1^x s_k^{y_1} HB^{n_1}; \\ P_{r_1} &= c_{2\text{общ}} t_1^{x_2} s_k^{y_2} HB^{n_2}; \end{aligned} \right\} \quad (75)$$

где P_{τ_1} и P_{r_1} — тангенциальная и радиальная составляющие силы резания для одного зуба. Для противоположного зуба инструмента вместо t_1 в формулу подставляется t_2 ; t — глубина резания; s_k — подача на один зуб инструмента; *НВ* — твердость обрабатываемого материала; $c_{1\text{общ}}$ и $c_{2\text{общ}}$ — коэффициенты, зависящие от условий резания и геометрических параметров инструмента [41].

Равнодействующая неуравновешенных сил зависит от вида и от числа зубьев инструмента. Ее величина определяется суммой неуравновешенных сил по всем зубьям. Приняв определенное число зубьев инструмента z и рассматривая мгновенное положение режущих зубьев в процессе обработки относительно зоны максимальной неравномерности припуска ΔZ , находим величины неуравновешенных радиальных ΔP_r и тангенциальных ΔP_t сил, а по ним — равнодействующую неуравновешенных сил ΔP_R . Анализ результатов исследований по обработке отверстий с неравномерным припуском зенкерами и развертками с различным числом зубьев дал общее выражение для определения равнодействующей:

$$\Delta P_R = \frac{z}{2} \frac{\Delta Z}{2} \sqrt{(c_{10\text{бш}} s_k^{y_1} H B^{n_1})^2 + (c_{20\text{бш}} s_k^{y_2} H B^{n_2})^2}. \quad (76)$$

Величину неравномерности припуска ΔZ , возникающую под влиянием погрешности предшествующего перехода $\Delta_{\text{пр}}$, погрешности параметра преемственности Δ_p и погрешности установки ε (см. рис. 51), можно найти из выражения

$$\Delta Z = 2 \sqrt{\Delta_{\text{пр}}^2 + \Delta_p^2 + \varepsilon^2}. \quad (77)$$

Как видно из формулы, при одинаковой неравномерности припуска ΔZ , подаче на один зуб инструмента s_k и других условиях обработки с уменьшением числа зубьев режущего инструмента погрешность расположения оси обрабатываемого отверстия от неуравновешенных сил уменьшается.

Таким образом, по условиям точности расположения оси отверстия целесообразно применять инструмент с минимальным числом зубьев, при котором обеспечивается точность диаметрального размера, чистота поверхности отверстия и требуемая производительность.

Наиболее рациональной мерой уменьшения погрешности расположения оси отверстия от неуравновешенных сил является уменьшение величины неравномерности припуска по сторонам обрабатываемого отверстия.

Упругие отжатия узла направления инструмента. При обработке отверстий инструментом, жестко связанным со шпинделем и направляемым в кондукторных втулках, в торцовых сечениях втулок возникают реакции R_1 и R_2 (рис. 66), которые отжимают узел направления инструмента. Величина и направление реакций зависят от величины и направления равнодействующей неуравновешенных сил ΔP_R , а также от имеющегося геометрического несовпадения осей инструментальной наладки и кондукторной втулки Δ_Σ (см. рис. 51).

Заменив реакции R_1 и R_2 на сосредоточенную в среднем сечении втулки силу Q и момент M , получим выражение для оп-

ределения величины смещения оси обрабатываемого отверстия от упругих отжатию узла направления инструмента

$$\Delta_{y.к} = \frac{Q}{j_Q} + \frac{M}{j_M} \left(l_x + \frac{l_{вт}}{2} \right) \quad (78)$$

при $Q = R_1 - R_2$; $M = \frac{R_1 + R_2}{2} l_{вт}$,

где Q и M — сила и момент, действующие на узел направления инструмента от реакций в торцовых сечениях сменной втулки;

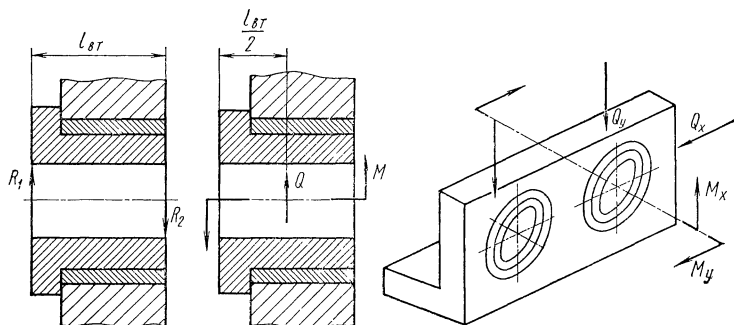


Рис. 66. Схема действия сил и моментов на узел направления инструмента

j_Q — жесткость кондукторной плиты при приложении силы Q ; j_M — жесткость кондукторной плиты при приложении момента M .

Разложив силу Q и момент M по осям координат обрабатываемого отверстия (X и Y), получим

$$\Delta_{y.к} = \sqrt{\left[\frac{Q_x}{j_{Q_x}} + \frac{M_y}{j_{M_y}} \left(l_x + \frac{l_{вт}}{2} \right) \right]^2 + \left[\frac{Q_y}{j_{Q_y}} + \frac{M_x}{j_{M_x}} \left(l_x + \frac{l_{вт}}{2} \right) \right]^2}. \quad (79)$$

При этом $Q_x = R_{1x} - R_{2x}$; $Q_y = R_{1y} - R_{2y}$;

$$M_x = \frac{R_{1y} + R_{2y}}{2} l_{вт}; \quad M_y = \frac{R_{1x} + R_{2x}}{2} l_{вт}.$$

Реакции R_1 и R_2 определим из условия совместности перемещений инструмента и кондукторной плиты, которое может быть выражено следующей системой уравнения (рис. 67):

$$\left. \begin{aligned} f_1 &= \Delta_{\Sigma} - \frac{S_1}{2} - f'_1; \\ f_2 &= \Delta_{\Sigma} + \frac{S_1}{2} - f'_2, \end{aligned} \right\} \quad (80)$$

где f_1 и f_2 — перемещения инструмента во входном 1 и выходном 2 торцовых сечениях сменной втулки; f'_1 и f'_2 — перемещения кондукторной плиты в сечениях 1 и 2; Δ_Σ — величина геометрического несовпадения осей инструментальной наладки и кондукторной втулки; S_1 — зазор между сменной втулкой и инструментом. Перемещения инструмента в сечениях 1 и 2 (f_1 и f_2) определяем по способу Верещагина, для чего в этих точках прикладываем единичные силы и полученные эпюры перемножаем на эпюру сил ΔP_R , R_1 и R_2 .

Перемещения кондукторной плиты определяем для сечений 1 и 2 вначале под действием силы Q и момента M , а затем, пользуясь выражениями (78) и (79), переходим к определению перемещений под действием реакций R_1 и R_2 . Подставив выражения перемещений инструмента (f_1 и f_2) и кондукторной плиты (f'_1 и f'_2) в систему уравнений (80), решим уравнения относительно искомых реакций R_1 и R_2 .

Так как влияние упругих отжатий кондукторной плиты на величину смещения оси отверстия рассматривается по двум координатам оси обрабатываемого отверстия (X и Y), то определяем реакции в направлении оси X (R_{1x} и R_{2x}) и в направлении оси Y (R_{1y} и R_{2y}), а затем находим силы Q_x и Q_y и моменты M_x и M_y . Далее, используя выражение (79), рассчитываем величину смещения инструмента от отжатий кондукторной плиты $\Delta_{у.к.}$.

Жесткость узла направления инструмента определялась экспериментально при нагружении горизонтальной и вертикальной силами P_x и P_y и моментами M_x и M_y .

Погрешность расположения оси отверстия от других отжатий. Погрешность расположения оси отверстия от упругих отжатий Δ_y определяется одновременным воздействием упругих отжатий инструмента $\Delta_{у.и.}$ и кондукторной плиты $\Delta_{у.к.}$

$$\Delta_y = \Delta_{у.и.} + \Delta_{у.к.} \quad (81)$$

Отжатия узла направления инструмента обычно меньше отжатий инструмента. Так, при обработке отверстий диаметром 10—18 мм упругие отжатия узла направления инструмента $\Delta_{у.к.}$ составляют 10—15% отжатий самого инструмента $\Delta_{у.и.}$, а при обработке отверстий 30—50 мм — 20—40% $\Delta_{у.и.}$ (Эти соотношения были получены при жесткости кондукторной плиты $j_{Q_x} = 4300$ кгс/мм; $j_{Q_y} = 5400$ кгс/мм; $j_M = 1,4 \cdot 10^7$ кгс·мм/рад;

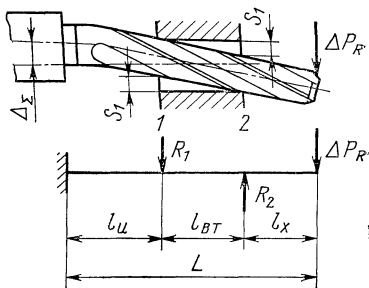


Рис. 67. Расчетные схемы для определения реакций, действующих на втулку

$j_{M_y} = 2,5 \cdot 10^7$ кгс·мм/рад и вылете инструмента $l_x = 1,5 d - 2,5 d$. Поэтому, учитывая большую трудоемкость и сложность расчетов по определению величины отжатия кондукторной плиты, определяем коэффициент n_3 , с помощью которого можно учесть влияние $\Delta_{y.k}$ на суммарную величину Δ_y упругих отжатий; тогда $\Delta_y = n_3 \Delta_{y.и}$. Введя значение $\Delta_{y.и}$ из формулы (73), получим

$$\Delta_y = n_3 n_2 \frac{\Delta P_R l_x^3}{3EJ}. \quad (82)$$

Подставляя далее значение ΔP_R из формул (76) и (77), получим формулу для определения погрешности расположения оси отверстия от упругих отжатий в технологической системе:

$$\Delta_y = n_3 \frac{n_2 z l_x^3}{6EJ} \sqrt{\Delta_{пр}^2 + \Delta_p^2 + \varepsilon^2} \sqrt{(c_{10бш} s_k^{y_1} H B^{n_1})^2 + (c_{20бш} s_k^{y_2} H B^{n_2})^2}. \quad (83)$$

Значения коэффициента n_3 (при различной жесткости узла направления инструмента), которые могут приниматься при приближенных расчетах погрешности расположения оси, приведены в табл. 6.

Значения коэффициента n_3 при различной жесткости узла направления инструмента

n_3	$j_Q \cdot 10^{-3},$ кгс·мм ⁻¹	$j_M \cdot 10^{-7},$ кгс·мм·рад ⁻¹
1,6	2—4	0,5—1,5
1,4	4—6	1,5—2,5
1,2	6—8	2,5—3,5
1,0	8 и выше	3,5 и выше

Экспериментальное исследование влияния упругих деформаций на точность расположения оси отверстия. Нагружение инструмента поперечными силами производилось за счет неравномерного распределения припуска на обработку. Взаимосвязь погрешности расположения оси отверстия на выполняемом переходе с погрешностью предшествующего перехода видна

на рис. 68. Смещение оси отверстия после обработки возрастает почти прямолинейно. При прочих одинаковых условиях величина смещения оси существенно зависит от диаметра отверстия (см. рис. 68, а прямые 1, 2— $D=15$ мм; 3, 4— $D=25$ мм), что является следствием различной жесткости инструментов. Погрешность расположения осей отверстий у деталей из алюминиевого сплава меньше, чем у чугуновых, на 15—20% при зенкерование после сверления (кривые 1—3 и 2—4, см. рис. 68, а) и на 10—20% при развертывании после зенкерования (кривые 1'—3' и 2'—4', см. рис. 68, б). Кривая зависимости смещения оси от длины вылета инструмента за торец втулки близка к кубической параболе, при этом по мере снижения жесткости

инструмента с уменьшением его диаметра интенсивность влияния длины вылета возрастает. Здесь следует отметить взаимосвязь упругих отжатий от неравномерности припуска с геометрическим смещением оси инструмента на зазоре посадки втулка — инструмент. Если доминирующей является погрешность от геометрического смещения оси инструмента, то зависи-

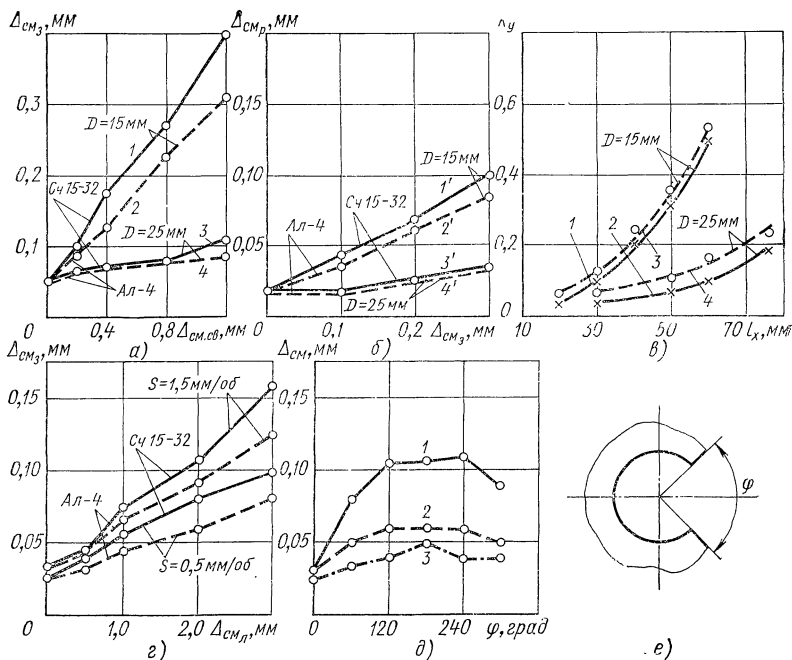


Рис. 68. Экспериментальные данные по взаимосвязи величин смещения осей отверстий на выполняемом и предшествующем переходах:

а — зенкерование после сверления при $S_1=0,035$ мм; б — развертывание после зенкерования при $S_1=0,02$ мм; в — по зависимости коэффициента уменьшения величины смещения оси отверстия от вылета инструмента при зенкеровании после сверления (кривые 1, 2) и развертывания после зенкерования (кривые 3, 4); г — по зависимости смещения оси отверстия диаметром 40 мм при черновом зенкеровании от смещения оси отверстия в отливке и величины подачи (при $S_1=0,02$ мм; $l_{\text{вт}}=80$ мм; $l_x=75$ мм); д — по смещению оси незамкнутого отверстия диаметром 40 мм в чугуне при черновом зенкеровании (кривая 1), чистовом зенкеровании (кривая 2) и развертывании (кривая 3) ($S_1=0,02$ мм; $l_{\text{вт}}=80$ мм; $l_x=75$ мм); е — угол незамкнутости φ

мость погрешности расположения оси отверстия от длины вылета инструмента носит линейный характер; если превалируют упругие отжатия, то эта зависимость близка к кубической параболе.

На рис. 68, в приведены экспериментальные значения коэффициентов уменьшения погрешности (k_y) расположения оси отверстия после зенкерования и развертывания. Они получены при смещении осей $\Delta_{\text{св}}=1,2$ мм после сверления под зенкero-

вание и $\Delta_3 = 0,7$ мм после зенкерования под развертывание. Смещения оси при зенкеровании отверстий, полученных в отливке (см. рис. 68, *з*), характеризуются для заготовок из чугуна коэффициентами уточнения погрешности $k_y = 0,034—0,051$ (при развертывании после чистового зенкерования $k_y = 0,056$). В отливках из алюминиевого сплава величина погрешности на 20—26% меньше, чем из чугуна. При высоких требованиях к точности расположения осей отверстий необходимо подавать, выбираемую в соответствии с условиями производительности и точности диаметральных размеров, проверять также и по условиям достижения точности координат оси отверстия.

В корпусных деталях при выходе отверстий в полости или при пересечении с другими отверстиями образуются незамкнутые отверстия. Их обработка происходит в условиях одностороннего резания.

На рис. 68, *д* представлена экспериментальная зависимость, характеризующая смещение оси при обработке незамкнутого отверстия. Отверстия обрабатывались при минимальном (не более 0,2 мм) смещении оси литого отверстия, и поэтому смещение оси отверстия после обработки можно рассматривать только как следствие одностороннего резания. Величина смещения возрастает с увеличением угла незамкнутости до 120° . Дальнейшее увеличение угла не увеличивает смещения.

Обработка на агрегатных станках в автоматических линиях характеризуется высокой степенью концентрации технологических переходов, достигаемой за счет одновременной работы большого числа инструментов. При этом конкретные задачи обработки требуют размещения в одной позиции различных по типу и размерам инструментов, которые вступают в работу в различные моменты общего цикла обработки. В условиях многоинструментной обработки технологическая система находится под значительным силовым воздействием, при котором наиболее слабые ее звенья смещаются за счет выбора зазоров в местах сопряжений и упругих деформаций. Если же в ходе начавшейся обработки одного отверстия в работу вступает другой инструмент, то силовое нагружение системы меняется, приводя к изменению и ее деформации (отжатию). Структуру построения операции обработки системы отверстий необходимо выбирать с учетом ее влияния на точность координат отверстий и вводить составляющую погрешности $\Delta_{стр}$.

Влияние одновременно работающих инструментов на положение их осей можно проиллюстрировать осциллограммой (рис. 69). При последовательном вступлении в работу двух инструментов наблюдаем дополнительное смещение первого инструмента на величину $\Delta_{к1}$ в момент врезания в заготовку второго инструмента. В экспериментальном исследовании определялась точность координат отверстия диаметром 15 мм, обрабатываемого при различных условиях: когда в позиции работа-

ла только одна развертка и когда после начала ее работы вступал в работу другой инструмент. Погрешность от вступления в работу сверла незначительна. Если же занкерование или развертывание отверстия с неравномерным распределением припуска производится одновременно, то возникает дополнительное

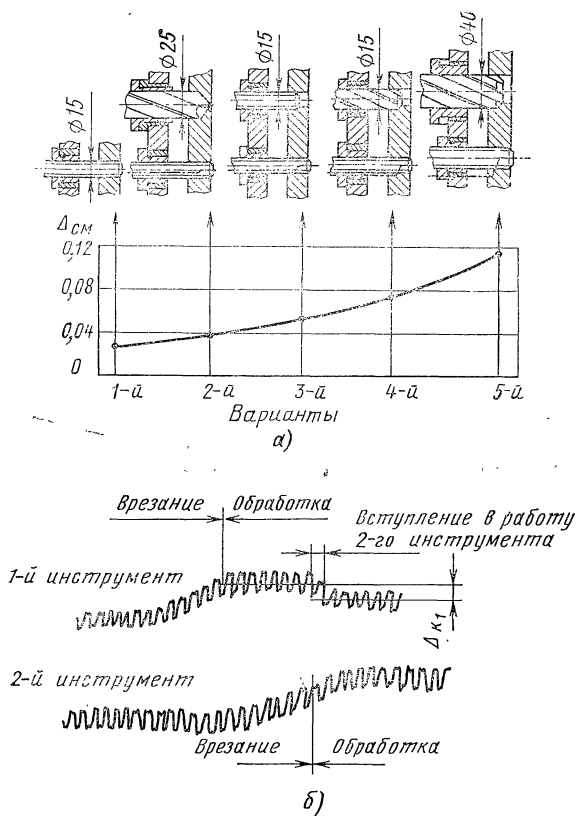


Рис. 69. Экспериментальное исследование структурных схем многоинструментной обработки:

а — сочетание работающих инструментов и кривая изменения величин смещений оси; б — осциллограмма положения осей инструментов в процессе одновременной обработки двух отверстий

смещение оси исследуемого отверстия. Так, если при работе одной развертки смещение оси обрабатываемого ею отверстия равно 0,03 мм, то при вступлении в работу вместе с разверткой сверла диаметром 25 мм смещение увеличивается незначительно и составляет 0,035 мм. При вступлении же в работу другой развертки диаметром 15 мм при $\Delta Z = 0,6$ мм смещение возрастает до 0,05 мм, зенкера диаметром 15 мм при $\Delta Z = 2,5$ мм — до 0,07 мм и, наконец, зенкера диаметром 40 мм при $\Delta Z = 4,0$ мм —

до 0,11 мм. Таким образом, при многоинструментной обработке суммарную величину смещения оси одного из отверстий можно найти из выражения

$$\Delta_{\text{см}} = \Delta_{\text{см.о}} + \Delta_{\text{стр}}, \quad (84)$$

где $\Delta_{\text{см.о}}$ — смещение оси отверстия для условий одноинструментной обработки; $\Delta_{\text{стр}}$ — дополнительное смещение под влиянием работы других инструментов.

5. Назначение требований к величине несовпадения осей шпинделя и кондукторной втулки

Характер смещения осей. Смещение осей приводит к перекосу инструмента во втулке и вызывает отклонение конца инструмента в момент касания заготовки от заданного положения

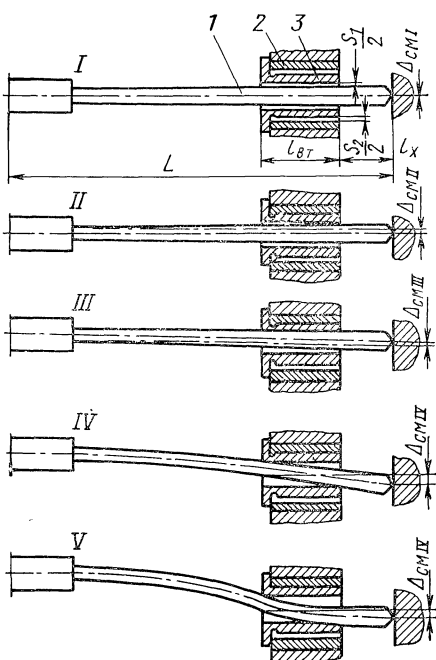


Рис. 70. Различные случаи (I—V) смещения осей шпинделя и кондукторной втулки:

1 — инструмент; 2 — постоянная втулка; 3 — сменная втулка

(рис. 70). В положении I оси полностью совпадают; в положении II зазоры между сверлом и сменной кондукторной втулкой и между постоянной и сменной втулками выбрались в одну сторону и сверло касается втулки только у выходного торца; изгиб сверла отсутствует. В положении III смещение осей увеличилось до касания ленточки сверла по всей длине образующей кондукторной втулки; сверло получило изгиб на угол обратной конусности. В положении IV сверло изгибается до касания своими ленточками обоих торцов кондукторной втулки. В положении V при дальнейшем увеличении смещения осей сверло получает двойной изгиб.

Методы выверки шпинделя и втулки на соосность.

Соосность шпинделя и постоянной кондукторной втулки является одним из основных требований геометрической точности агрегатных станков, а способы проверки несоосности и допускаемые отклонения строго регламентированы соответствующими нормативами.

На производстве применяется выверка на соосность шпинделей и кондукторных втулок с помощью двух индикаторов (рис. 71, а). При выверке в отверстие шпинделя 1 вставляется калиброванная оправка 2 с двумя индикаторами 3, а в отверстие втулки 4 вставляется контрольная оправка 5. При соблюдении установленных размеров A , B и B индикаторы I и II при повороте шпинделя обкатываются вокруг оправки 5. Допускается установленная величина отклонения на обоих индикаторах или

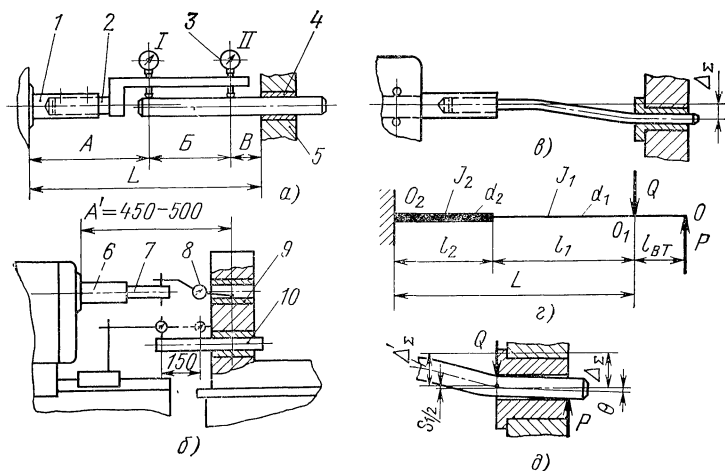


Рис. 71. Выверка на соосность шпинделя и кондукторной втулки:

а — двумя индикаторами; б — одним рычажным индикатором.

Схема распределения нагрузок, действующих на втулку: в — схема смещения осей; г — схема действия сил; д — взаимосвязь погрешностей

на одном из них. Метод проверки соосности двумя индикаторами характеризуется большой собственной погрешностью. Выверка производится вне кондукторной втулки. Поэтому определяется не истинная величина несоосности, а уменьшенная, так как среднее сечение кондукторной втулки удалено от ближайшего индикатора на значительную величину. Имеют место и дополнительные погрешности: от силы тяжести оправки с индикаторами, от поворота консольной оправки, из-за зазора в соединении втулка — оправка и прогиба самой контрольной оправки. Расчетами для конкретных условий ($d_{\text{шп}}=26$ мм, $l_{\text{шп}}=110$ мм, $d_{\text{опр}}=35$ мм, $l_{\text{вт}}=40$ мм, $S=0,005$ мм, $a=50$; $b=150$; $P_I=P_{II}=0,2$ кг) установлена погрешность метода — $\Delta_{\text{мет}}$, достигающая 0,04—0,05 мм. Необходимо производить выверку на соосность в крайнем переднем положении агрегатной головки (в конце рабочего хода), чтобы исключить возможность увеличения смещения осей шпинделя и втулки Δ_x вследствие непараллельности оси вращения шпинделя к направляющим агрегатной головки.

В последнее время получила распространение методика выверки на соосность шпинделей и кондукторных втулок с использованием одного рычажного индикатора, разработанная в МосСКБ АЛ и АС (рис. 71, б). Эта методика предусматривает проверку совпадения осей вращения шпинделей с осями кондукторных втулок по двум шпинделям. Предусматривается также наличие в кондукторной плите технологических отверстий для проверки параллельности осей кондукторных втулок к направляющим агрегатной головки в двух взаимно перпендикулярных направлениях. При проверке в отверстие шпинделя 6 (рис. 71, б) вставляется оправка 7 с рычажным индикатором 8, щуп которого касается внутренней поверхности кондукторной втулки 9 на расстоянии $A' = 450—500$ мм для любых агрегатных головок и инструментальных наладок. Несовпадение осей определяется при обкатывании шпинделя с индикатором как половина наибольшего показания индикатора при полном обороте шпинделя. Для проверки параллельности осей кондукторных втулок к направляющим агрегатной головки в технологические отверстия кондукторной втулки вставляются контрольные оправки 10. Непараллельность определяется по показаниям индикатора при его перемещении на базе 150 мм и измерении в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Неизменность расстояния A' не позволяет учесть влияния погрешности от непараллельности оси вращения шпинделя с направляющими головки Δ_n . Как показали расчеты [31], погрешность метода измерения по данной методике $\Delta_{мет}$ достигает 0,009—0,010 мм.

Факторы, влияющие на смещение осей. Следует отметить, что статическая величина несовпадения осей шпинделя и втулки, измеренная при выверке станков и позиций, не отражает полной картины их взаимного расположения. Измеренная величина несовпадения осей значительно меняется в динамике. При этом на нее оказывает существенное влияние непараллельность оси вращения шпинделя к направляющим, радиальное биение инструментальной наладки, износ и неплоскостность направляющих агрегатной головки, периодический нагрев и охлаждение технологической системы и др. Если учесть влияние всех факторов на точность взаимного расположения осей пары шпиндель — втулка и принять, что характер их распределения подчиняется нормальному закону, то общая величина несовпадения осей $\Delta_{\Sigma 1}$ может быть представлена следующей зависимостью:

$$\Delta_{\Sigma 1} = \sqrt{\Delta_b^2 + \Delta_x^2 + r^2 + e_c^2 + \left(\frac{S_2}{2}\right)^2 + \Delta_{мет}^2}, \quad (85)$$

где $\Delta_{\Sigma 1}$ — величина несовпадения осей пары шпиндель — кондукторная втулка; Δ_b — величина несовпадения осей шпинделя и кондукторной втулки по показаниям измерительных приборов;

Δ_x — изменение величины несовпадения осей от непараллельности оси вращения шпинделя к направляющим агрегатной головки на длине хода головки; $\Delta_x = \frac{\Delta_n}{300} \int dx$, где, в свою очередь, $\frac{\Delta_n}{300} = \operatorname{tg} \alpha$ — непараллельность оси вращения шпинделя к направляющим на длине 300 мм (по нормали ТУ Н19600 $\Delta_n = 0,04 \div 0,05$ мм для III и IV групп точности шпинделей соответственно); $\int dx$ — изменение расстояния при смещении агрегатной головки (проверка 9 ТУ Н19000); r — половина радиального биения инструментальной наладки в концевом сечении; $\Delta_{\text{мет}}$ — погрешность метода проверки величины несовпадения осей шпинделя и втулки (табл. 7); e_c — эксцентриситет наружной и внутренней поверхностей сменной кондукторной втулки; S_2 — зазор между постоянной и сменной кондукторными втулками.

Таблица 7

Баланс основных погрешностей, влияющих на величину несовпадения осей инструментальной наладки и направляющей втулки [в % Δ_Σ]

Погрешность (см. формулы (85), (86))	При проверке двумя индикаторами	При проверке одним индикатором	Погрешность (см. формулы (85), (86))	При проверке двумя индикаторами	При проверке одним индикатором
Δ_B	8,4—13,5	44,1—61,6	S_2	0,85—2,4	0,65—1,5
Δ_x	0,5—1,0	2,2—3,0	$\Delta_{\text{мет}}$	19,4—31,5	0,7—1,0
r	50,8—18,3	35,8—10,4	$\Delta_{\text{ш}}$	0,4—0,8	1,9—2,6
e_c	1,15—2,9	0,9—1,8	Δ_m	18,5—29,6	13,75—18,1

По нормальям МосСКБ АЛ и АС Н0260—Н0276 величины e_c и S_2 назначаются из следующих соображений. Для втулок повышенной точности, предназначенных для направления инструментов диаметром до 18 мм, $e_c = 0,005$ мм, а величина S_2 близка величине зазора посадки движения 1-го класса точности в системе вала.

При направлении инструментов диаметром 18—80 мм $e_c = 0,006 \div 0,01$ мм, а зазор S_2 — по посадке скольжения 1-го класса точности в системе отверстия. Для втулок пониженной точности при направлении инструментов диаметром до 18 мм $e_c = 0,015$ мм, а S_2 назначается по комбинированной посадке — наружный диаметр сменной втулки по B_1 , а отверстие постоянной втулки по посадке D ; при диаметре направляемого инструмента 18—80 мм $e_c = 0,012 \div 0,018$ мм, а зазор S_2 — по посадке скольжения 2-го класса.

В технических условиях задана проверка по двум шпинделям, при этом величина несовпадения для обеих пар шпинделей и втулок не будет одинаковой вследствие влияния погрешности межосевых расстояний шпинделей и кондукторных втулок и

непараллельности осей рассматриваемых шпинделей. При выверке на соосность в качестве первой пары шпиндель — втулка следует выбрать шпиндель, предназначенный для обработки самого точного отверстия, и соответствующую ему втулку и обеспечить для него наиболее высокую точность выверки. В качестве второй пары для проверки следует выбирать наиболее удаленный шпиндель из числа связанных с первым.

Величина несовпадения осей второй пары шпиндель — втулка

$$\Delta_{\Sigma 2} = \sqrt{\Delta_{\Sigma 1}^2 + \Delta_m^2 + \Delta_{\text{ш}}^2}, \quad (86)$$

где $\Delta_{\Sigma 1}$ — величина несовпадения осей первой пары шпиндель — втулка; Δ_m — погрешность межосевых расстояний двух шпинделей и соответствующих им осей кондукторных втулок (определяется по теории расчета размерных цепей); $\Delta_{\text{ш}}$ — несовпадение осей от непараллельности осей вращения двух шпинделей; $\Delta_{\text{ш}} = \frac{\Delta_{\lambda}}{300} \left(L + \frac{l_{\text{вт}}}{2} \right)$; по нормалям $\Delta_{\lambda} = 0,08—0,1$ для III и IV групп точности шпинделей соответственно.

Таким образом, величиной, сопоставимой с допускаемой по техническим условиям величиной несоосности, более правильно считать эту общую величину $\Delta_{\Sigma 2}$, а не величину $\Delta_{\text{в}}$, наблюдаемую при выверке по показаниям приборов.

Нагрузки, вызываемые смещением осей. Несовпадение осей инструмента и втулки существенно влияет на условия работы инструментов и втулок, вызывая их силовую нагрузку и износ, который, в свою очередь, приводит к возрастанию погрешности расположения оси обрабатываемого отверстия. При анализе схемы выверки на соосность шпинделя и кондукторной втулки с помощью двух индикаторов (см. рис. 71, а) выявляются качественно различные случаи несоосности. В первом случае, когда оба индикатора показывают одинаковую величину отклонения, имеет место параллельное смещение осей. Во втором случае, когда индикатор II показывает отклонение, а индикатор I показывает 0, и в третьем случае, когда отклонение показывает индикатор I, а индикатор II показывает 0. В этих случаях имеет место пересечение осей. Отнеся величины смещений к среднему сечению по длине втулки и проведя сравнение, увидим, что в рассмотренных случаях при равных величинах отклонений от соосности создаются неодинаковые условия нагружения инструмента и втулки. При малой величине зазора и достаточной длине кондукторных втулок торцовые сечения инструмента лишены возможности свободно повертываться при его изгибе и всю систему жесткого соединения инструмента со шпинделем можно считать приближающейся к случаю балки, заделанной обоими концами. Определив для трех перечисленных случаев несоосности величины поперечных сил Q_1 , Q_2 , Q_3

и изгибающих моментов $M_{в1}$, $M_{в2}$ и $M_{в3}$ соответственно и приняв данные для второго случая за исходные ($Q_2=1$; $M_2=1$), получим

$$\frac{Q_1}{Q_2} = 1,6; \quad \frac{M_{в1}}{M_{в2}} = 1,23;$$

$$\frac{Q_3}{Q_2} = 1,73; \quad \frac{M_{в3}}{M_{в2}} = 1,73.$$

Отсюда следует, что третий случай является наиболее неблагоприятным для работы втулки и инструмента. При определении допускаемой величины несовпадения осей шпиндель — втулка основным критерием должны служить условия работы инструмента и втулки. Неодинаковые на различных участках условия нагружения приводят к переменным деформациям в местах контакта инструмента со втулкой.

Нагрузки в торцовых сечениях втулки возникают от суммарного воздействия статических и динамических факторов, определяемых величиной несовпадения осей. Учитывая малую величину зазора между инструментом и втулкой при достаточно большой ее длине, всю систему шпиндель — инструмент можно рассматривать как балку переменного сечения, заделанную обоими концами. Условия работы балки зависят от жесткости системы шпиндель — инструмент, длины инструментальной наладки, длины кондукторной втулки, величины зазора, величины несовпадения осей шпинделя и втулки и др.

Из расчетной схемы (рис. 71, в—д), представляющей случай параллельного смещения осей шпиндель — втулка, определим нагрузки в торцовых сечениях втулки. Приложим в точке O_1 , соответствующей месту приложения силы Q , единичную нагрузку и единичный момент [37]. Тогда можно записать:

$$\Delta_\Sigma - \frac{S_1}{2} = A'' \frac{Q}{E} - B'' \frac{P}{E}; \quad (87)$$

$$\theta = C'' \frac{Q}{E} - F'' \frac{P}{E}. \quad (88)$$

Для упрощения расчета принимаем, что ось инструмента при прохождении через кондукторную втулку прямолинейна. Тогда $\operatorname{tg} \theta = \frac{S_1}{l_{вт}}$ или $\theta \cong \frac{S_1}{l_{вт}}$.

Решая совместно систему уравнений (87), (88) и подставляя значение θ , находим величины нагрузок:

$$Q = \left[\Delta_\Sigma - S_1 \left(0,5 + \frac{B''}{F'' l_{вт}} \right) \right] \frac{EF''}{AF'' - C'' B''}; \quad (89)$$

$$P = \left[\Delta_\Sigma - S_1 \left(0,5 + \frac{B''}{F'' l_{вт}} \right) \right] \frac{EC''}{A'' F'' - C'' B''} - \frac{S_1 E}{l_{вт} F''}, \quad (90)$$

где Q и P — нагрузки на входном и выходном торцах кондукторной втулки соответственно; S_1 — минимальный зазор в со-

единении втулка—инструмент с учетом обратной конусности инструмента; E — модуль упругости первого рода; θ — угол наклона оси инструмента; A'' , B'' , C'' , F'' — коэффициенты, зависящие от соотношения плеч инструментальной наладки и длины кондукторной втулки, а также от осевых моментов инерции.

Если в качестве основного условия работы рассматриваемой пары принять, что силовое воздействие на втулку отсутствует, то можно определить общую допустимую величину несовпадения осей, когда инструмент будет проходить через втулку без контакта с ее поверхностью. Поскольку сила на входном торце всегда больше, чем на выходном, то рассмотрим схему применительно к силе Q .

При $Q=0$ выражение $\frac{EF''}{A''F'' - C''B''}$ не может быть равно нулю, так как все его величины являются всегда положительными числами. Общая допускаемая величина несовпадения осей шпинделя и втулки определяется по формуле

$$\Delta_{\Sigma} = S_1 \left(0,5 + \frac{B''}{F'' l_{\text{вт}}} \right). \quad (91)$$

Это выражение характеризует соотношение основных конструктивно-технологических параметров наладки при отсутствии силового воздействия на втулку. При этом коэффициенты B'' и F'' зависят от количества и значений параметров плеч наладки l_1 , l_2 и их осевых моментов инерции J_1 , J_2 , отражая основную взаимосвязь длины инструментальной наладки и жесткости ее изгиба. Так, для наладки с двумя размерами диаметров d_1 (диаметр инструмента) и d_2 (диаметр шпинделя) и соответствующих им длин плеч l_1 и l_2 значения коэффициентов можно определить по формулам:

$$B_2'' = \frac{l_1^2 l_{\text{вт}}}{2J_1} + \frac{l_1^3}{3J_1} + \frac{(l_1 + l_{\text{вт}}) l_2 \left(l_1 + \frac{l_2}{2} \right)}{J_2} + \frac{l_2^2 \left(l_1 + \frac{2}{3} l_2 \right)}{2J_2};$$

$$F_2'' = \frac{l_{\text{вт}} l_1}{J_1} + \frac{l_1^2}{2J_1} + \frac{l_2^2}{2J_2} + \frac{(l_1 + l_{\text{вт}}) l_2}{J_2}.$$

Для трех плеч наладки, когда d_1 — диаметр инструмента, d_2 — диаметр удлинителя, d_3 — диаметр шпинделя и соответствующих им длин плеч наладки l_1 , l_2 и l_3 значения коэффициентов определяются:

$$B_3'' = \frac{l_1^2 \left(l_{\text{вт}} + \frac{2}{3} l_1 \right)}{2J_1} + \frac{l_1 l_2 \left(l_1 + l_{\text{вт}} + \frac{l_3}{2} \right)}{J_2} +$$

$$F_3'' = \frac{l_2^2 \left(l_{\text{вт}} + l_1 + \frac{2}{3} l_2 \right)}{2J_2} + \frac{l_1 l_3 \left(l_{\text{вт}} + l_1 + l_2 + \frac{l_3}{2} \right)}{J_3} +$$

$$+ \frac{l_2 l_3 \left(l_{\text{вт}} + l_1 + l_2 + \frac{l_3}{2} \right)}{J_3} + \frac{l_3^2 \left(l_{\text{вт}} + l_1 + l_2 + \frac{l_3}{2} \right)}{2J_3};$$

$$F_3'' = \frac{l_1 \left(l_{\text{вт}} + \frac{l_1}{2} \right)}{J_1} + \frac{l_2 \left(l_{\text{вт}} + l_1 + \frac{l_2}{2} \right)}{J_2} + \frac{l_3 \left(l_{\text{вт}} + l_1 + l_2 + \frac{l_3}{2} \right)}{J_3}.$$

Таким образом, формула (91) — основная для расчета общей допускаемой величины несовпадения осей — позволяет учитывать жесткость всех элементов инструментальной наладки, длину кондукторной втулки и зазор втулка—инструмент.

Расчет следует производить по минимально возможному зазору с учетом обратной конусности инструмента, так как в этом случае на втулку действуют наибольшие нагрузки. Увеличение зазора будет способствовать уменьшению силового воздействия на втулку.

Для упрощения вычисления величины Δ_Σ формула (91) может быть представлена выражением

$$\Delta_\Sigma = \frac{2}{3} S_{1\text{min}} \left(\frac{L_{\text{экв}}}{l_{\text{вт}}} + 1 \right) - \frac{S_{1\text{min}}}{2}, \quad (92)$$

полученным для эквивалентной расчетной схемы из тех же силовых условий нагружения (на входе в кондукторную втулку $Q=0$), приведя размерные соотношения плеч наладки к эквивалентной длине с диаметром, равным диаметру инструмента, т. е.

$$L_{\text{экв}} = f(l_i, J_i), \quad J_{\text{ин}} = J_1;$$

$EJ_{\text{ин}}$ — изгибная жесткость инструментальной наладки;

$$L_{\text{экв}} = \sqrt{l_1^2 + (2l_1 l_2 + l_2^2) \frac{Cd_1^4}{0,05d_2^4} + (2l_1 l_3 + 2l_2 l_3 + l_3^2) \frac{Cd_1^4}{0,05d_3^4}}. \quad (93)$$

Данное выражение для $L_{\text{экв}}$ получено из условия равенства углов поворота сечения инструмента на входе в кондукторную втулку для заданной и эквивалентной расчетных схем.

Экспериментальное исследование влияния смещения осей на условия работы втулок. Экспериментальные исследования позволили выявить зависимость действующих в торцовых сечениях втулок нагрузок от ряда факторов при различных величинах несовпадения осей. Величина несовпадения осей изме-

нялась за счет параллельного смещения оси с номинального положения при повороте специальной эксцентриковой кондукторной втулки. Инструмент был заменен гладкой оправкой, равномерная жесткость которой исключала появление несимметричных нагрузок в процессе экспериментов.

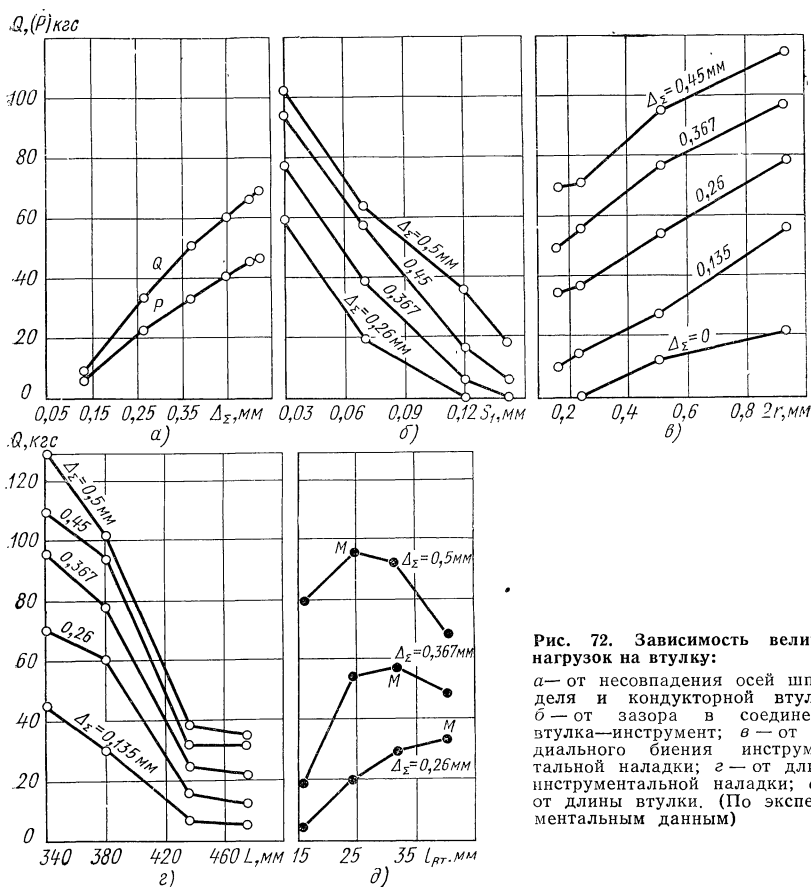


Рис. 72. Зависимость величин нагрузок на втулку:

а — от несовпадения осей шпинделя и кондукторной втулки; б — от зазора в соединении втулка—инструмент; в — от радиального биения инструментальной наладки; г — от длины инструментальной наладки; д — от длины втулки. (По экспериментальным данным)

Зависимость (рис. 72, а) показывает, что с ростом величины несовпадения осей нагрузки на оба торца втулки возрастают. При этом нагрузка P на выходном торце втулки меньше, чем нагрузка Q на входном торце. Величина экспериментальных нагрузок оказалась меньше расчетных значений на 18—30%. Это можно объяснить тем, что в расчетных зависимостях не учитывались: радиальный зазор в подшипниковой опоре шпинделя, жесткость стыка в соединении гладкой оправки и шпинделя и жесткость кондукторной плиты. Кривые начинаются не с нуля из-за зазора в соединении втулка—инструмент. С уве-

личением зазора в этом соединении при определенной величине несовпадения осей происходит уменьшение величины нагрузки на торцы втулки (рис. 72, б). Но с ростом величины несовпадения осей нагрузки возрастают. Это объясняется тем, что зазор компенсирует часть величины несовпадения осей и вращение инструмента во втулке при малом значении Δ_Σ происходит почти без контакта со стенками втулки. Таким образом, величины несовпадения осей и зазора оказывают на условия силовой нагрузки втулки противоположное воздействие. Но увеличение зазора дополнительно приводит к снижению точности направления инструмента втулкой и не может применяться в качестве средства снижения нагрузки.

Увеличение радиального биения инструментальной наладки приводит к пропорциональному возрастанию действующих на втулку нагрузок (рис. 72, в); при этом большей величине смещения осей соответствует увеличенная нагрузка на втулку. Характерно отметить, что воздействие смещения осей на втулку носит местный характер и сила от радиального биения перемещается по окружности при вращении инструмента то увеличивая, то уменьшая нагрузку в плоскости несовпадения осей.

Изменение длины инструментальной наладки связано с изменением ее изгибной жесткости. Из рис. 72, г видно, что с увеличением длины наладки значительно уменьшается величина нагрузок. Длина наладки при расчете нагрузки входит в третьей степени, и теоретически изменение нагрузки должно происходить по закону кубической параболы. Отклонение экспериментальных кривых от кубической параболы можно объяснить тем, что сменные оправки с различной длиной имели отклонение в размерах и разные величины радиального биения.

Изменение нагрузки с изменением длины втулки происходит по нелинейному закону и при этом зависит от величины несовпадения осей (рис. 72, д). Длина втулки, при которой нагрузка на ее торец достигает максимального значения (точки М), изменяется в зависимости от смещения осей. При назначении длины втулки необходимо обеспечивать точность расположения оси обрабатываемого отверстия в сочетании с благоприятными условиями ее силовой нагрузки.

С изменением частоты вращения инструмента нагрузка на втулку изменяется сравнительно медленно. С увеличением частоты вращения более чем в 150 раз (от 12,5 до 2000 об/мин) нагрузка уменьшается лишь вдвое по сравнению с первоначальным значением. Очевидно, с ростом частоты вращения шпинделя стабилизируется ось вращения инструментальной наладки, что и приводит к уменьшению силового воздействия на втулку. Поэтому целесообразно повышать число оборотов шпинделя до верхних пределов, рекомендуемых теорией резания. Стабилизация оси вращения инструмента при повышении

частоты вращения также благоприятно влияет на уменьшение величины радиального биения инструментальной наладки.

Определение величины смещения осей. Допускаемую величину несовпадения осей для показаний измерительных приборов $\Delta_{\text{в}}$ можно определить путем исключения из найденного общего значения Δ_{Σ} по формулам (85) и (86) всех остальных факторов, присущих каждой инструментальной наладке:

$$\Delta_{\text{в}} = \sqrt{\Delta_{\Sigma 1}^2 - \Delta_x^2 - r^2 - e_c^2 - \left(\frac{S_2}{2}\right)^2 - \Delta_{\text{мет}}^2 - \Delta_{\text{м}}^2 - \Delta_{\text{ш}}^2}. \quad (94)$$

Полученное значение $\Delta_{\text{в}}$ должно соответствовать показаниям приборов при проверке точности взаимного расположения осей шпинделей и втулок в эксплуатационных условиях. Для новых линий необходимо дополнительно ужесточать требования.

При определении общей величины несовпадения осей шпинделя и втулки Δ_{Σ} по формулам (92) и (93), полученным для эквивалентной расчетной схемы, можно использовать номограммы, показывающие взаимосвязь конструктивно-технологических параметров инструментальной наладки между собой и общей величиной несовпадения осей.

По одной номограмме, построенной для уравнения (93), определяется $L_{\text{экв}}$. Отмечая на ней заданные и принимаемые в расчет длины плеч (инструмента, удлинителя и шпинделя) и диаметры (инструмента, удлинителя), сначала получаем отдельные сомножители членов подкоренных выражений и, наконец, $L_{\text{экв}}$.

Вторая номограмма, построенная для уравнения (92), позволяет для найденного $L_{\text{экв}}$ и выбранных значений длины втулки и зазора в сопряжении втулка—инструмент определить величину несовпадения осей. Ключ номограммы: $L_{\text{экв}} \rightarrow l_{\text{вт}} \rightarrow S_1 \rightarrow \Delta_{\Sigma}$.

Анализ факторов, оказывающих влияние на величину несовпадения осей инструментальной наладки и сменной кондукторной втулки, и соответствующие расчеты позволили установить удельное значение каждой из погрешностей в общем балансе величины несовпадения осей (см. табл. 7). Значение каждого из слагаемых определялось по ранее приводившимся формулам с учетом нормалей, технических условий и ГОСТов на изготовление рассматриваемых элементов. Эти данные могут быть использованы для приближенных расчетов.

6. Определение величины смещения оси отверстия с номинального положения

Смещение оси отверстия определяется суммарным воздействием факторов, вызывающих геометрическое смещение оси инструмента, и упругими отжатиями технологической системы

$$\Delta_{\text{см}} = \Delta_{\text{г.и}} + \Delta_{\text{у}}. \quad (95)$$

Величина геометрического смещения оси инструмента вычисляется по формуле (71). Величина упругих отжятий системы с учетом отжятий инструмента определяется по формуле (73). Если влияние упругого отжатия кондукторной плиты учесть коэффициентом (см. табл. 6), то $\Delta_y = n_3 \Delta_{y.и}$,

$$\Delta_{см} = \Delta_{г.и} + n_3 \Delta_{y.и} \quad (96)$$

Если в данной позиции кроме отверстия, для которого определяется величина смещения оси, обрабатываются другие отверстия, то в величине смещения оси рассматриваемого отверстия необходимо учесть дополнительное смещение под влиянием работы других инструментов, зависящее от структуры операций $\Delta_{стр}$. Тогда

$$\Delta_{см} = \Delta_{г.и} + \Delta_y + \Delta_{стр} \quad (97)$$

Расчеты для реальных условий многопереходной обработки координированных отверстий на агрегатных станках показывают, что доля влияния каждой составляющей погрешности на величину суммарного смещения оси обрабатываемого отверстия может колебаться в весьма широких пределах. Если принять за 100% величину суммарного смещения оси обрабатываемого отверстия диаметром 10—50 мм, рассчитываемую по формуле (97), то примерный баланс погрешностей, вызывающих это смещение, будет следующий: геометрическое смещение оси инструмента $\Delta_{г.и}$ — 40—85%; упругие отжатия режущего инструмента $\Delta_{y.и}$ — 5—35%; упругие отжатия узла направления инструмента $\Delta_{y.к}$ — 5—10%; погрешность, зависящая от структуры операции, $\Delta_{стр}$ — 0—20%.

При черновом зенкеровании отверстий диаметром 10—18 мм погрешности геометрического смещения оси инструмента и узла его направления достигают 50—60%. При чистовом развертывании отверстий диаметром 30—50 мм погрешности геометрического смещения составляют 80—85%, а упругих отжятий 15—20%. Исходную расчетную зависимость для определения величины смещения оси отверстия получим на основе выражений (71), (73) и (77):

$$\Delta_{см} = n_1 \delta S_1 \left(0,5 + \frac{l_x}{l_{вт}} \right) + \frac{n_2 n_3 l_x^3 \sqrt{\Delta_{пр}^2 + \Delta_{\rho}^2 + \epsilon^2}}{6 E J} C_R \quad (98)$$

при

$$C_R = \sqrt{(C_{10бщ} S_k^{y_1} H B^{n_1})^2 + (C_{20бщ} S_k^{y_2} H B^{n_2})^2}.$$

Настоящее выражение отражает характер взаимосвязей между конструктивно-технологическими и силовыми факторами при обработке отверстий и позволяет рассчитать ожидаемую

точность расположения координат обрабатываемых отверстий. Используя это выражение, можно решать и обратную задачу, т. е. назначать требования ко всем параметрам на взаимосвязанных переходах обработки, исходя из окончательной точности расположения отверстий. Пользуясь этим выражением, можно определять число технологических переходов, необходимое для обеспечения требуемой точности расположения оси отверстия, а также назначать допускаемую погрешность расположения оси отверстия на каждом предшествующем переходе, вплоть до черновой заготовки. При проектировании могут быть определены допускаемое отклонение в расположении базовых элементов станка относительно оси шпинделя, величина зазора между втулкой и инструментом, длина втулки, величина подачи и погрешность установки заготовки в позиции. Для условий эксплуатации могут быть обоснованы допускаемые изменения погрешности установки заготовки в результате износа в сопряжении фиксаторы — направляющие втулки механизма фиксации или износа верхних участков фиксаторов, контактирующих с заготовкой.

Определение необходимого числа переходов. Исходными параметрами являются допустимые величины смещений оси отверстия по чертежу детали $\Delta_{\text{см(доп)}}$ и литого отверстия заготовки $\Delta_{\text{см. заг(доп)}}$. Задача определения необходимого числа переходов сводится к нахождению такого (n -го) перехода, при котором будет соблюдаться условие $\Delta_{\text{см}(n)} \leq \Delta_{\text{см(доп)}}$, где $\Delta_{\text{см}(n)}$ — величина смещения оси отверстия на последнем переходе. При этом число переходов, назначенное из условия обеспечения заданной точности расположения оси отверстия, должно сопоставляться с числом переходов, необходимым для достижения требуемой точности отверстия и шероховатости поверхности.

Подставив в формулу (98) $\Delta_{\text{пр}} = \Delta_{\text{см. заг(доп)}}$ при известных прочих параметрах, входящих в эту формулу, можно определить ожидаемую величину смещения оси отверстия на первом переходе $\Delta_{\text{см}1}$. Затем, подставив $\Delta_{\text{пр}} = \Delta_{\text{см}1}$, получим смещение оси отверстия на втором переходе $\Delta_{\text{см}2}$ и т. д. до получения $\Delta_{\text{см}(n)} \leq \Delta_{\text{см(доп)}}$.

Величины, входящие в формулу (98), определяются в следующем порядке: 1) в качестве исходных параметров принимаем погрешность предшествующего перехода $\Delta_{\text{пр}}$, материал заготовки и его твердость HB ; 2) задаемся максимально допустимой величиной погрешности параметра преемственности Δ_p , рассчитываем погрешность установки заготовки ε в позиции. Можно рекомендовать в качестве допустимых величин: $\Delta_p(\text{доп}) = \pm 0,03 \div \pm 0,05$ мм; $\varepsilon(\text{доп}) = 0,05 \div 0,10$ мм; 3) выбираем инструментальную наладку, в результате чего будем знать число зубьев инструмента z , а затем определим его изгибную жесткость EJ ; 4) по имеющимся рекомендациям назначаем режимы обработки, находим величины коэффициентов и опре-

деляем величину C_R ; 5) учитывая рекомендации, изложенные в разд. 3, выбираем $l_{вт}$, l_x , определяем из выражения (61) после зазора между втулкой и инструментом δS_1 и по формуле (71) находим величину геометрического смещения инструмента $\Delta_{ги}$; 6) выявляем характеристику жесткости узла направления инструмента, учитывая ее экспериментальные значения, выбираем по табл. 7 коэффициент n_3 ; 7) подставив все составляющие величины в формулу (98), определяем ожидаемую величину смещения оси отверстия на выполняемом переходе. Если в данной позиции предусматривается одновременная обработка других отверстий, то, зная жесткость узла направления и допустимую величину неравномерности припуска на обработку соседних отверстий, можно определить погрешность, зависящую от структуры операции.

В некоторых случаях по расчету может получиться весьма большое число переходов n , превышающее рекомендуемое [41] из условий обеспечения точности диаметрального размера отверстия и качества его поверхности. Тогда следует ужесточить некоторые параметры и условия обработки по переходам, например, допустимую величину зазора между втулкой и инструментом, уменьшить погрешность установки заготовки в позиции, сократить число одновременно работающих в данной позиции инструментов, повысить требования к заготовке и т. д.

При обработке скоординированных отверстий в сплошном металле в формулу (98) вместо $\Delta_{см.заг(доп)}$ следует подставлять ожидаемую величину смещения оси отверстия при сверлении $\Delta_{см.св}$, полученную из результатов экспериментальных исследований. Необходимое число переходов n можно определять при помощи коэффициентов уменьшения погрешности расположения оси отверстия по переходам, при наличии экспериментальных значений коэффициентов. Тогда величину смещения оси отверстия на последнем переходе следует определять из выражений:

при обработке литых отверстий

$$\Delta_{смn} = \Delta_{см.заг(доп)} \prod_{i=1}^n k_{yi}; \quad (99)$$

при обработке отверстий в сплошном металле

$$\Delta_{смn} = \Delta_{см.св} \prod_{i=2}^n k_{yi}, \quad (100)$$

где k_{yi} — коэффициент уменьшения смещения оси отверстия на i -м переходе.

Назначение допускаемой погрешности расположения оси отверстия заготовки. Точность и трудоемкость процесса обработки скоординированных отверстий в значительной мере определяется

исходной точностью расположения литых отверстий заготовок. Расчетную зависимость для определения допустимой величины смещения оси отверстия заготовки найдем, решив уравнение (98) относительно погрешности предшествующего перехода:

$$\Delta_{\text{пр}} = \sqrt{\left[\frac{6EJ (\Delta_{\text{см}} - \Delta_{\text{г.и}})}{n_2 n_3 z C_R l_x^3} \right]^2 - \Delta_{\text{р}}^2 - \varepsilon^2}. \quad (101)$$

Расчет ведется с учетом заданной чертежом точности расположения оси отверстия и при известном числе переходов обработки отверстия по технологическому процессу. Для каждого перехода должны быть известны конструктивно-технологические параметры инструментальной наладки и узла направления инструмента и режимы обработки. Затем определяются все параметры, входящие в формулу (101). Расчет следует начинать с последнего (n -го) перехода. Подставив в формулу (101) $\Delta_{\text{см}} = \Delta_{\text{см(доп)}}$ и все составляющие величины, входящие в эту формулу, определим допустимую величину смещения оси отверстия на предшествующем переходе $\Delta_{\text{см } n-1(\text{доп})}$. Затем найденную величину смещения $\Delta_{\text{см } n-1(\text{доп})}$ подставляем в ту же формулу (101) и находим допустимую величину смещения $\Delta_{\text{см } n-2(\text{доп})}$. Расчет следует производить последовательно по всем переходам, вплоть до первого. Допустимой величиной смещения на предшествующем переходе и будет искомая погрешность $\Delta_{\text{см. заг(доп)}}$. Аналогичным образом можно определить и допустимую величину смещения оси отверстия после сверления $\Delta_{\text{см. св(доп)}}$, которая будет для второго перехода искомой величиной погрешности предшествующего перехода.

Назначение допускаемых величин погрешности установки заготовок и спаренности позиций. Из рассмотренного основного выражения можно определить предельные величины отклонений других параметров точности технологической системы. Наиболее тесно и непосредственно связаны между собою погрешность предшествующего перехода $\Delta_{\text{пр}}$, погрешность расположения установочных элементов позиции относительно оси шпинделя $\Delta_{\text{р}}$ и погрешность установки заготовки ε . Аналогично определению погрешности предшествующего перехода рассчитываются:

погрешность установки

$$\varepsilon = \sqrt{\left[\frac{6EJ (\Delta_{\text{см}} - \Delta_{\text{г.и}})}{n_2 n_3 z C_R l_x^3} \right]^2 - \Delta_{\text{пр}}^2 - \Delta_{\text{р}}^2}; \quad (102)$$

погрешность расположения оси шпинделя относительно баз приспособления

$$\Delta_{\text{р}} = \sqrt{\left[\frac{6EJ (\Delta_{\text{см}} - \Delta_{\text{г.и}})}{n_2 n_3 z C_R l_x^3} \right]^2 - \Delta_{\text{пр}}^2 - \varepsilon^2}. \quad (103)$$

Выбор длины сменной кондукторной втулки. При заданной величине смещения оси отверстия по чертежу детали минимально необходимая длина сменной кондукторной втулки может быть определена при подстановке в выражение (96) величины $\Delta_{г.и}$ из выражения (71). На основании формулы (71) получим

$$l_{вт} = \frac{n_1 l_x \delta S_1}{\Delta_{см} - \Delta_y - 0,5 n_1 \delta S_1}.$$

Подставив в это выражение допустимую величину смещения оси отверстия $\Delta_{см(доп)}$ по чертежу детали или для промежуточного перехода, получим расчетную формулу для определения минимально необходимой длины сменной втулки:

$$l_{вт \min} = \frac{n_1 l_x \delta S_1}{\Delta_{см(доп)} - \Delta_y - 0,5 n_1 \delta S_1}. \quad (104)$$

Поле зазора δS_1 следует определять с учетом влияния обратной конусности инструмента и максимально допустимой величины износа втулки и инструмента по формуле (61).

Так как $l_{вт \min}$, n_1 , l_x и δS_1 — существенно положительные величины, не равные нулю, то выражение (104) будет справедливо лишь при условии $\Delta_{см(доп)} - \Delta_y - 0,5 n_1 \delta S_1 > 0$ или

$$\delta S_1 < \frac{\Delta_{см(доп)} - \Delta_y}{0,5 n_1}. \quad (105)$$

Формула (105) определяет необходимые условия обеспечения заданной точности координат оси отверстия.

Величину упругого смещения системы Δ_y можно определить по формулам (95) и (73), а также используя результаты экспериментальных исследований. Так при сверлении отверстий диаметром 10—30 мм инструментом, выполненным по ГОСТ 2034—64, погрешность Δ_y составляет 0,03—0,04 мм.

Определение максимально допустимой величины зазора между сменной втулкой и инструментом. Для определения максимально допустимой величины зазора из условия обеспечения заданной точности расположения подставляем в уравнение (104) допустимое смещение оси отверстия (по чертежу детали или для промежуточного перехода) $\Delta_{см(доп)}$; решив это уравнение относительно δS_1 , получим максимально допустимое поле суммарного зазора между втулкой и инструментом

$$\delta S_{1(доп)} = \frac{\Delta_{см(доп)} - \Delta_y}{n_1 \left(0,5 + \frac{l_x}{l_{вт}} \right)}. \quad (106)$$

Зная допустимую величину суммарного зазора, можно обоснованно накладывать ограничения на его составляющие. В частности, можно выбирать посадку инструмента во втулке, решать

вопрос о максимально возможной величине обратной конусности инструмента, а также обоснованно назначать допуск на износ сменных кондукторных втулок, а следовательно, и регламентировать срок их службы (см. разд. 7). С целью упрощения расчетов целесообразно применить номограммы, построенные для зависимостей, из которых находятся величина упругого отжатия инструмента и значения слагаемых, определяющих величину неравномерности припуска на обработку.

В выражение (83) введем коэффициент

$$m = \frac{6EJ}{n_2 z l_x^3 \sqrt{(C_{10\text{бш}} s_K^{y_1} HB^{n_1})^2 + (C_{20\text{бш}} s_K^{y_2} HB^{n_2})^2}}.$$

Коэффициент, учитывающий влияние отжатий кондукторной плиты, определяется по табл. 6. Найдем значение

$$\Delta_{y.н} = \frac{1}{m} \frac{\Delta Z}{2} = \frac{1}{m} \sqrt{\Delta_{\text{пр}}^2 + \Delta_{\text{р}}^2 + \varepsilon^2}. \quad (107)$$

Расчеты с применением номограмм проводятся в три последовательных этапа. На первом этапе определяется коэффициент m . По номограмме № 1 для инструмента с данными геометрическими параметрами и степени его предельной изношенности определяется значение коэффициентов $C_1 C_2$. Для выбранного инструмента и материала обрабатываемости детали HB (чугун или алюминиевый сплав) выбирается значение подачи на зуб s_K , исходя из рекомендаций теории резания и с учетом темпа работы автоматической линии. Рассчитывается или принимается экспериментальное значение коэффициента C (стр. 141) для определения осевого момента инерции ($J = Cd^4$). Принятое значение длины вылета инструмента за торец втулки с учетом длины обрабатываемого отверстия и диаметра инструмента d дает возможность определить значение коэффициента m по взаимосвязанным номограммам № 2 и 3 с общим ключом:

$$C_{20\text{бш}} \rightarrow HB \rightarrow s_K \rightarrow C \rightarrow d \rightarrow l_x \rightarrow m.$$

На втором этапе определяется величина неравномерности припуска на обработку в виде $\frac{\Delta Z}{2}$ по выражению (77). В четвертой номограмме началом служит величина вылета инструмента за торец втулки. Длина кондукторной втулки выбирается, исходя из конструктивных соображений и соображений точностного характера. Величина зазора между втулкой и инструментом определяется в зависимости от инструмента (сверло, зенкер, развертка, гладкая оправка) и условий эксплуатации — максимально возможного зазора (с учетом обратной конусности на длине его хода) и износа кондукторной втулки.

При известной допускаемой величине смещения оси рассматриваемого отверстия с номинального положения и значении коэффициента m определяется значение погрешности $\frac{\Delta Z}{2}$. Ключ этой номограммы:

$$l_x \rightarrow l_{вт} \rightarrow S_{\text{imax}} \rightarrow \Delta_{\text{см(доп)}} \rightarrow m \rightarrow \frac{\Delta Z}{2}.$$

На третьем этапе расчета находится один из трех параметров, определяющих величину неравномерности припуска на обработку. Искомая величина отклонения определяется по номограмме № 5 одним из следующих ключей:

при определении погрешности предшествующего перехода $\Delta_{\text{пр}}$

$$\frac{\Delta Z}{2} \rightarrow \Delta_{\text{р}} \xrightarrow{\varepsilon} \Delta_{\text{пр}};$$

при определении погрешности установки ε

$$\Delta_{\text{р}} \rightarrow \frac{\Delta_{\text{пр}}}{\frac{\Delta Z}{2}} \xrightarrow{\varepsilon} \varepsilon;$$

при определении погрешности взаимного расположения установочных элементов позиции и узла направления инструмента $\Delta_{\text{р}}$

$$\frac{\Delta Z}{2} \rightarrow \varepsilon \rightarrow \Delta_{\text{пр}} \rightarrow \Delta_{\text{р}}.$$

Определение допускаемой величины износа фиксаторов. По мере износа фиксаторов в местах сопряжения с базовыми отверстиями заготовки и увеличения зазора посадки в направляющих втулках механизма фиксации погрешность базирования возрастает от расчетной величины $\varepsilon_{\text{б.т}}$ до фактической $\varepsilon_{\text{б.ф}}$.

Как уже было отмечено [формула (77)], погрешность базирования заготовки в каждой позиции автоматической линии суммируется с погрешностью предшествующего перехода $\Delta_{\text{пр}}$ и с величиной $\Delta_{\text{р}}$, определяющей погрешность размера от оси инструмента до оси цилиндрического фиксатора, увеличивает в случае многопереходной обработки неравномерность распределения припуска в поперечном сечении отверстия и, через дополнительные упругие отжатия в технологической системе, оказывает влияние на смещение оси обрабатываемого отверстия.

Для определения степени влияния фактической погрешности базирования на величину смещения оси отверстия воспользуемся формулами (83) и (98). Выделим в формуле (98)

величины, определяющие упругие отжатия системы, и обозначим их через K_1 :

$$K_1 = \frac{n_2 n_3 f_x^3 \sqrt{(C_{10\text{общ}} s_K^{y_1} HB^{n_1})^2 + (C_{20\text{общ}} s_K^{y_2} HB^{n_2})^2}}{6EJ}.$$

Искомую величину $\varepsilon_{\text{ф}}$ фактической погрешности базирования будем рассматривать отдельно от погрешностей $\Delta_{\text{пр}}$ и Δ_{ρ} . Тогда формула (98) примет вид

$$\Delta_{\text{см}} = \Delta_{\text{г.н}} + K_1 \varepsilon_{\text{ф}} + K_1 \sqrt{\Delta_{\text{пр}}^2 + \Delta_{\rho}^2}, \quad (108)$$

откуда

$$\varepsilon_{\text{ф}} = \frac{\Delta_{\text{см}} - \Delta_{\text{г.н}} - K_1 \sqrt{\Delta_{\text{пр}}^2 + \Delta_{\rho}^2}}{K_1}. \quad (109)$$

Подставив рассчитанную величину $\varepsilon_{\text{ф}}$ в формулу (108), можно, ограничив определенными значениями величины других слагаемых, определить значение любого слагаемого фактической погрешности базирования: допускаемый люфт фиксаторов в направляющих втулках $\varepsilon_{\text{л}}$, допускаемый износ верхних участков фиксаторов $\varepsilon_{\text{ф}}$ или степень возрастания теоретической погрешности базирования за счет износа и разбивки базовых отверстий в заготовке $\varepsilon_{\text{б.т.}}$ $K_{\text{д}}$.

В табл. 8 приведены размеры предельно изношенных фиксаторов на участках сопряжения с заготовкой $\varepsilon_{\text{ф}}$, при которых могут быть обеспечены указанные требования точности расположения осей отверстий $\Delta_{\text{см}}$ при многопереходной обработке. Табл. 8 составлена для усредненных условий обработки деталей из чугуна, и приведенные в ней величины должны в конкретных случаях рассматриваться как ориентировочные.

Величины определялись по формуле

$$\varepsilon_{\text{ф}} = \frac{\Delta_{\text{см}} - \Delta_{\text{г.н}} - K_1 \sqrt{\Delta_{\text{пр}}^2 + \Delta_{\rho}^2}}{K_1} - \varepsilon_{\text{б.т.}}(1 + K_{\text{д}}) - \varepsilon_{\text{л}}. \quad (110)$$

Погрешность от износа и разбивки базовых отверстий заготовки на основе производственных и экспериментальных исследований принималась: 0,01—0,04 мм для чистовой и получистовой обработки, 0,03—0,06 мм для черновой обработки. Черновая обработка предусматривает зенкерование отверстия, полученного в отливке; получистовая — зенкерование после сверления; чистовая — повторное зенкерование или развертывание. Начальный зазор в сопряжении фиксатор—направляющая втулка принимается по опыту работы МосСКБ АЛ и АС: для чистовой обработки $S_{\text{max}} = 0,007$ мм, для черновой обработки $S_{\text{max}} = 0,022$ мм (посадка $\frac{A_1}{C_1}$). Предельные величины

зазоров принимались с учетом данных производственных исследований, проведенных на действующих автоматических линиях: для величин смещения оси $\Delta_{\text{см}}=0,05-0,125$ мм, при чистовой и получистовой обработке до наибольшего зазора посадки $\frac{A_1}{C_1}$; для величин смещения оси отверстия $\Delta_{\text{см}}=0,125-0,2$ мм, при получистовой обработке — до наибольшего зазора посадки $\frac{A}{D}$, а при черновой обработке — до посадки $\frac{A}{X}$.

Таблица 8

Наибольшие предельные отклонения диаметральных размеров фиксаторов $\varepsilon_{\text{ф}}$ и принятые величины люфтов $\varepsilon_{\text{л}}$ в сопряжениях фиксатор — направляющая втулка для обеспечения точности расположения оси отверстия $\Delta_{\text{см}}$

Обработка	$\Delta_{\text{пр}}$	Δ_{ρ}	$\Delta_{\text{г. и}}$	Обозначение	$\Delta_{\text{см}}, \text{ мм}$				
	мм				0,05	0,075	0,1	0,125	0,15
Черновая	0,5— 1,0	0,05	0,4 $\Delta_{\text{см}}$	$\varepsilon_{\text{ф}}$	—	—	0,028	0,089	0,122
				$\varepsilon_{\text{л}}$	—	—	0,022	0,045	0,094
Получистовая	0,15— 0,25	0,05	0,6 $\Delta_{\text{см}}$	$\varepsilon_{\text{ф}}$	0,011	0,042	0,068	0,098	0,106
				$\varepsilon_{\text{л}}$	0,007	0,022	0,045	0,063	0,088
Чистовая	0,1— 0,2	0,03	0,7 $\Delta_{\text{см}}$	$\varepsilon_{\text{ф}}$	0,015	0,019	0,043	0,057	0,075
				$\varepsilon_{\text{л}}$	0,007	0,022	0,045	0,045	0,045
			0,8 $\Delta_{\text{см}}$	$\varepsilon_{\text{ф}}$	—	0,015	0,019	0,023	0,036
				$\varepsilon_{\text{л}}$	—	0,007	0,022	0,022	0,045

Примечание. Расчеты выполнены для диаметров сопряжения фиксатор — втулка в диапазоне 18—30 мм, диаметров базовых элементов в диапазоне 10—18 мм и посадок $\frac{A_{2a}}{X}, \frac{A_{2a}}{D}$. Чтобы найти предельные отклонения $\varepsilon_{\text{ф}}$, задаемся смещением оси отверстия $\Delta_{\text{см}}$, затем на основании вида обработки и принятых значений $\Delta_{\text{пр}}, \Delta_{\text{р}}, \Delta_{\text{г. и}}$ и $\varepsilon_{\text{л}}$ определяем величину $\varepsilon_{\text{ф}}$.

При автоматической фиксации заготовок в позициях зазоры в сопряжениях ликвидируются частично, и заготовки ред-

ко: занимают крайние предельные положения, определяемые наибольшими фактическими величинами зазоров в механизме фиксации. Отклонения фактических погрешностей установки от расчетных характеризуются экспериментально полученными вероятностными коэффициентами k_w . При определении люфтов $\epsilon_{\text{л}}$ погрешности, рассчитанные для наибольших фактических зазоров посадки в сопряжении фиксатор—втулка механизма фиксации, умножаются на k_w . Они равны: для позиций, находящихся в неизношенном состоянии, $k_w = 0,65 \div 0,7$; для весьма изношенных позиций $k_w = 0,75 \div 0,8$.

При обработке заготовок из алюминиевых сплавов изменяется соотношение величин, составляющих погрешность смещения оси отверстия. В связи с меньшей твердостью обрабатываемого материала уменьшаются упругие деформации инструмента (величина K_1); износ фиксаторов на участке сопряжения с заготовкой протекает с меньшей интенсивностью.

В целом для алюминиевых сплавов можно допустить несколько большую погрешность установки, чем для чугуна ($\epsilon_{\text{ф}}$, например, и др.).

7. Износ кондукторных втулок и его влияние на точность расположения осей обрабатываемых отверстий

Основные факторы, влияющие на износ втулок. Из схемы образования погрешности расположения оси отверстия при обработке на агрегатных станках инструментом, жестко связанным со шпинделем, можно видеть (см. рис. 52) роль износа сменных кондукторных втулок в образовании этой погрешности. Наиболее существенно влияют на износ несовпадение осей инструментальной наладки с осью кондукторной втулки, радиальное биение инструментальной наладки и неравномерность припуска на обработку (при сверлении — неравенство углов наклона режущих кромок). Величина и интенсивности износа кондукторных втулок связаны с величинами реакций, возникающих от действующих на втулку сил. Соответственно условиям работы, втулка получает одновременно круговой износ и изменение формы отверстия в осевом сечении, когда вблизи торцов втулки образуются раструбы. Увеличение зазора в сопряжении втулка—инструмент обуславливает возможность дополнительного смещения оси инструмента, что и приводит к росту погрешности координат обрабатываемого отверстия.

Определение реакций, действующих в торцовых сечениях втулки. Под влиянием смещения осей шпинделя и кондукторной втулки Δz в торцовых сечениях втулки возникают реакции, место приложения которых определяется плоскостью смещения осей [33]. Реакции не остаются постоянными, а меняются при каждом обороте шпинделя под влиянием радиального биения

инструментальной наладки. Вектор радиального биения через каждые 180° меняет свое направление: то оказывает дополнительное давление на данный торец втулки, то разгружает его. Втулка не будет испытывать давления от инструмента, если сумма величин смещения осей $\Delta\Sigma_1$ и радиального биения r

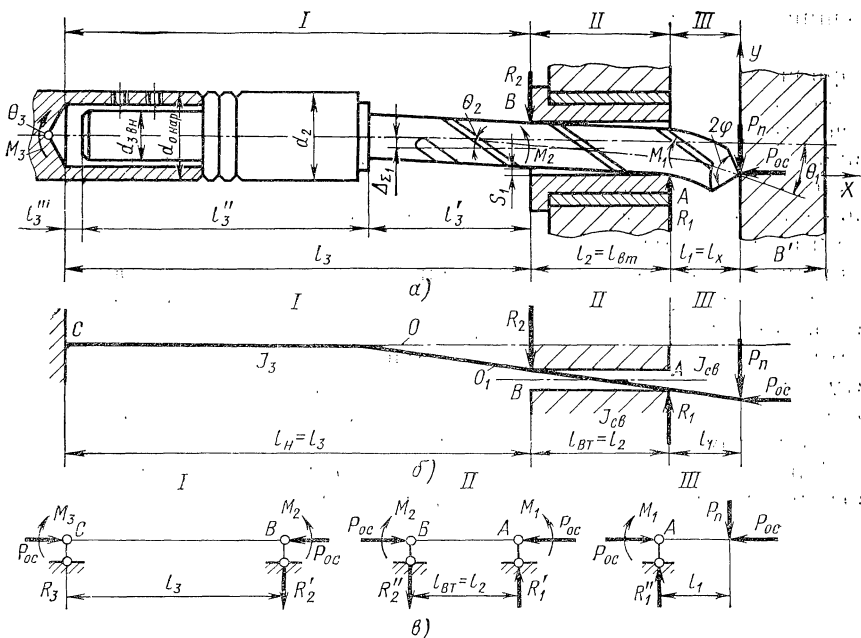


Рис. 73. Определение сил и моментов, действующих на кондукторную втулку при сверлении (а); б — схема инструментальной наладки; в — расчетная схема

будет не больше половины зазора S_1 между втулкой и инструментом, т. е. $\Delta\Sigma_1 + r \leq 0,5 S_1$. Отсюда можно определить допустимую величину радиального биения из условий максимальной разгрузки втулки:

$$r_{\text{доп}} = 0,5 S_1 - \Delta\Sigma_1. \quad (111)$$

В реальных условиях полная разгрузка втулки невозможна. Однако, уменьшая r и $\Delta\Sigma_1$, можно уменьшить нагрузки и улучшить условия ее работы.

На рис. 73, а представлена схема действия сил на кондукторную втулку. Усилие подачи P_{oc} определяется [41] по формулам

для сверления

$$P_{oc} = C_p D^q p_s^y p_k p_r; \quad (112)$$

для зенкерования и развертывания

$$P_{oc} = C_p D^q p t^x s^y p k_p. \quad (113)$$

В этих формулах: C_p — коэффициент, зависящий от материала заготовки; D — диаметр обрабатываемого отверстия; t — глубина резания; s — величина подачи; k_p — коэффициент, зависящий от твердости материала заготовки.

Под влиянием несовпадения осей $\Delta_{\Sigma 1}$ шпинделя и кондукторной втулки, ось инструмента отклонится от оси втулки на угол θ_2 , а его образующая коснется втулки в точке B входного сечения. Соприкаснувшись с заготовкой и получив под действием поперечной составляющей P_{π} от осевого усилия P_{oc} дополнительный прогиб, инструмент коснется втулки в точке A выходного сечения. В результате угол наклона оси инструмента относительно оси втулки составит θ_1 . Величины, возникающие в точках соприкосновения инструмента с втулкой реакций R_1 и R_2 , зависят: от усилия подачи P_{oc} , от зазора S_1 в сопряжении втулка—инструмент, от длины втулки $l_{вт}$, от вылета инструмента $l_1(l_x)$, от величины смещения $\Delta_{\Sigma 1}$ осей втулки и шпинделя и от жесткости системы. Естественно, что определяющей в этом перечне воздействий является жесткость инструментальной наладки.

При сверлении, из-за наклона оси сверла на угол θ_1 , возникает поперечная составляющая сила

$$P_{\pi} = P_{oc} \frac{\operatorname{tg} \theta_1}{\operatorname{tg} \left(90^\circ - \frac{2\varphi}{2} \right)}. \quad (114)$$

При зенкеровании и развертывании поперечная составляющая равна величине равнодействующих от неуравновешенных радиальной и тангенциальной составляющей сил резания $P_{\pi} = \Delta P_R$. Величина ΔP_R определяется по формулам (72), (76), (77).

Инструментальная наладка представляет собой ступенчатую балку (рис. 73, б, в), состоящую из трех участков (I , II , III) с разной силовой нагрузкой: $L_{\pi} = l_1 + l_{вт} + l_{\pi}$, $l_{\pi}(l_3)$ — первый (I) участок, равный расстоянию от входного торца втулки до ближайшей опоры шпинделя; $l_{вт}(l_2)$ — второй (II) участок, равный длине направляющей втулки; $l_x(l_1)$ — третий (III) участок, равный длине свободной части инструмента (вылет за торец инструмента).

Условно разрезав инструментальную наладку на три части: I , II , III (рис. 73, в) и приложив для равновесия в крайних точках участков поперечные силы и изгибающие моменты, действующие в этих точках, составляются на основе теории расчета сжато-изогнутых стержней при малых перемещениях [11; 37] уравнения перемещений и изгибающих моментов для

всех рассматриваемых участков. Взяв сумму моментов и сил относительно любой точки и приравняв ее нулю ($\Sigma m=0$), получим для входного сечения втулки (точка B)

$$R_2' l_3 = M_3 - M_2;$$

$$R_2'' l_{\text{вт}} = -M_2 + M_1.$$

Но $R_2 = R_2' + R_2''$, тогда

$$R_2 = \frac{M_3 - M_2}{l_3} + \frac{M_1 - M_2}{l_{\text{вт}}}. \quad (115)$$

Аналогично определяется реакция R_1 для выходного торцового сечения втулки (точка A):

$$R_1 = P_{\text{п}} + \frac{M_2 - M_1}{l_{\text{вт}}} - \frac{M_1}{l_1}. \quad (116)$$

Подставляя значения поперечной составляющей силы по (114), для рассматриваемого сечения получим для сверления

$$R_1 = P_{\text{ос}} \frac{\text{tg } \theta_2}{\text{tg} \left(90^\circ - \frac{2\varphi}{2} \right)} + \frac{M_2 - M_1}{l_{\text{вт}}} - \frac{M_1}{l_1}; \quad (117)$$

для зенкерования и развертывания

$$R_1 = \Delta P_R + \frac{M_2 - M_1}{l_{\text{вт}}} - \frac{M_1}{l_1}. \quad (118)$$

Величина реакции R_2 для любого вида обработки определяется по формуле (115).

Так как упругое смещение инструмента определяется величиной износа выходного сечения втулки, расчет нужно вести по R_1 .

В формулах (115)—(118): M_1 , M_2 , M_3 — изгибающие моменты, действующие на выходном и входном сечениях втулки и опоре подшипника силовой головки соответственно; φ — главный угол в плане; θ_2 — угол наклона инструмента в зоне втулки; $\theta_2 = \frac{S_1}{l_{\text{вт}}}$. Степень изменения реакций и моментов

на одном обороте инструментальной наладки под влиянием радиального биения r инструмента зависит от его величины и длин участков l_2 и l_3 наладки. При полном совпадении осей шпинделя, кондукторной втулки и инструмента (отсутствуют $\Delta_{\Sigma 1}$ и r) и отсутствии зазора S_1 образующие отверстия и инструмента полностью совмещены (угол обратной конусности не учитываем). В реальных условиях, при наличии $\Delta_{\Sigma 1}$, r и S_1 , цилиндры как бы пересекаются при параллельном смещении образующих или под углом, причем величины $\Delta_{\Sigma 1}$ и r увеличивают разность взаимного положения образующих инстру-

мента и отверстия, а зазор S_1 компенсирует ее. Разность взаимного положения образующих инструмента и кондукторной втулки различна для входного и выходного торцовых сечений, для верхней и нижней точек этих сечений. При расположении оси O шпинделя выше оси O_1 кондукторной втулки на величину $\Delta_{\Sigma 1}$, на входном торце наибольшая разность взаимного положения образующих инструмента и втулки m_2 имеет место, когда вектор радиального биения направлен вверх (т. е. в точку B), при этом

$$m_2 = \Delta_{\Sigma 1} + r - 0,5S_1. \quad (119)$$

При повороте инструмента на 180° вектор r будет направлен вниз; тогда

$$m'_2 = \Delta_{\Sigma 1} - 0,5S_1. \quad (120)$$

У выходного сечения втулки на взаимное положение образующих инструмента и кондукторной втулки оказывает дополнительное влияние изогнутость оси инструмента. В этом случае инструмент обкатывается по всей окружности выходного сечения втулки, оказывая максимальное давление на втулку в плоскости смещения оси. Наименьшая относительная разность положений образующих инструмента и втулки будет в нижней точке A (когда вектор радиального биения направлен вверх), а наибольшая — после поворота инструмента

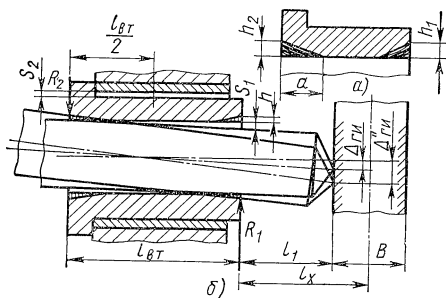


Рис. 74. Влияние износа втулки на смещение оси отверстия:

a — обозначение износа; $б$ — схема образования погрешности

на 180° , когда вектор r направлен вниз и суммируется с величиной смещения оси Δ_{Σ} . Таким образом, максимальная разность m_1 положения образующих инструмента и втулки в выходном сечении соответствует минимальной разности m'_2 на входе во втулку и наоборот — минимальная разность m'_1 на выходе соответствует максимальной разности на входе m_2 .

Влияние износа кондукторной втулки на смещение оси инструмента. Износ втулки приводит к искажению формы ее направляющего отверстия в диаметральном и осевом сечениях. Это усложняет картину действительного контактирования инструмента со втулкой и его влияния на точность расположения оси отверстия [34]. Однако в первом приближении можно считать, что износ приводит к увеличению зазора между втулкой и инструментом, чем и определяется характер его влияния на точность расположения оси отверстия в обрабатываемой детали.

Вместо геометрического смещения оси инструмента на величину $\Delta_{г.и}$ для новой втулки при наличии износа ось инструмента смещается на величину $\Delta_{г.и}''$ (рис. 74). Тогда, на основании формулы (71), величина геометрического смещения оси инструмента с учетом влияния износа h_1 кондукторной втулки составит:

$$\Delta_{г.и}'' = (h_1 + n_1 S_1) \left(0,5 + \frac{l_x}{l_{вт}} \right). \quad (121)$$

В расчет принимается величина износа h_1 на выходном торце втулки, так как обычно $h_1 > h_2$.

Общее смещение оси отверстия определяется суммарным влиянием геометрического смещения $\Delta_{г.и}$ и упругого смещения $\Delta_{у.и}$ оси инструмента

$$\Delta_{см} = (h_1 + n_1 S_1) \left(0,5 + \frac{l_x}{l_{вт}} \right) + \Delta_{у.и}. \quad (122)$$

Для проектных расчетов при определении допускаемой величины износа $h_{доп}$ в выражение (122) необходимо подставить допускаемую величину смещения оси отверстия $\Delta_{см(доп)}$ и решить уравнение относительно $h_{доп}$:

$$h_{доп} = \frac{\Delta_{см(доп)} - \Delta_{у.и}}{0,5 + \frac{l_x}{l_{вт}}} - n_1 S_1. \quad (123)$$

В табл. 9 приведены размеры предельно изношенных кондукторных втулок, при которых могут быть обеспечены указанные требования точности расположения осей отверстий $\Delta_{см}$ при сверлении. Расчеты выполнены по формуле (123) с учетом формул (121), (122) и (73) для приведенных в табл. 10 условий обработки. При иных условиях они могут рассматриваться как ориентировочные. Экспериментальные исследования по износу кондукторных втулок также показали, что величина смещения осей отверстий возрастает с увеличением зазора между втулкой и инструментом вследствие износа. Для зенкерования и развертывания величина смещения оси зависит от неравномерности припуска на обработку (рис. 75, а). Смещение оси отверстия при различной длине втулок и вылете инструмента за торец втулки существенно возрастает с увеличением износа втулки (рис. 75, б, в).

Экспериментальное исследование износа кондукторных втулок. Экспериментальные исследования по износу кондукторных втулок проводились на типовой позиции автоматической линии с двусторонним расположением агрегатных станков. При исследовании без процесса резания на инструмент действовала силовая нагрузка через рычажную систему. В одной серии исследований нагрузка непрерывно действовала на вращаю-

щийся инструмент. В другой серии нагрузка проводилась периодически при каждом ходе агрегатной головки в автоматическом цикле. В отдельной серии износ исследовался при обработке отверстий в образце.

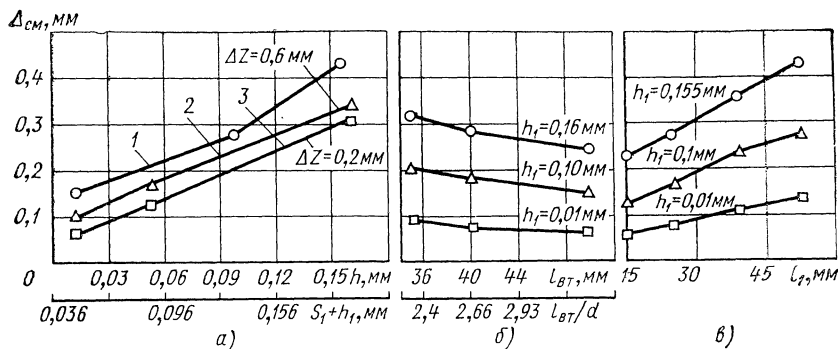


Рис. 75. Зависимость величин смещения осей отверстий от износа h кондукторных втулок (а) при сверлении (кривая 1), зенкерования (кривая 2) и развертывании (кривая 3) (ΔZ — величина неравномерности припуска на обработку) и зависимость величин смещения оси отверстия при сверлении при различной степени изношенности втулки в выходном сечении от длины втулки (б) и вылета сверла за торец втулки (в). Диаметр отверстия для всех случаев — 15 мм

Таблица 9

Наибольшие предельные отклонения диаметральных размеров отверстий кондукторных втулок в зависимости от допускаемого смещения оси отверстия при сверлении

Номинальный диаметр, мм	Длина кондукторной втулки, мм	Смещение оси отверстия $\Delta_{\text{см}}, \text{мм}$			
		0,05	0,075	0,125	0,25
До 6	22	0,019	0,047	0,092	0,181
	18	0,015	0,043	0,082	0,173
	15	0,010	0,036	0,077	0,160
6—12	30	0,014	0,045	0,094	0,195
	22	0,007	0,031	0,079	0,170
	18	—	0,023	0,067	0,159
12—18	45	0,006	0,031	0,077	0,181
	40	—	0,025	0,072	0,174
	35	—	0,019	0,060	0,164
18—25	75	—	0,024	0,080	0,196
	60	—	0,015	0,068	0,181
	45	—	—	0,051	0,162

Примечания. В расчетах принято: 1) отклонения размеров для сверл нормальной точности и размеров отверстий в кондукторных втулках по посадке D (см. табл. 8); 2) длина вылета сверла за торец втулки $L_x = 1 d$; 3) величина смещения осей втулки и шпинделя $\Delta_{\Sigma} = 0,1 \text{ мм}$; 4) радиальное биение сверла $r = 0,14 \div 0,16 \text{ мм}$.

Кривые износа направляющей поверхности кондукторной втулки имеют обычный вид: за зоной начального интенсивного износа следует зона нормального износа с пониженной интенсивностью. Величина износа втулок возрастает с ростом действующих в торцовых сечениях реакций. Наибольшие влияния на величину износа оказывают величина несовпадения осей шпинделя и кондукторной втулки и радиальное биение инструментальной наладки, которые и определяют силовое воздействие на кондукторную втулку. С увеличением длины инструментальной наладки силы, действующие на втулку, уменьшаются, снижается интенсивность износа. Снижается она также и с уменьшением длины втулки.

На рис. 76, а представлена зависимость величины износа кондукторных втулок от времени работы при сверлении отверстия диаметром 15 мм при различной нагрузке. Для других диаметров характер зависимости сохраняется. Зависимость величины износа от действующих нагрузок при сверлении отверстий различного диаметра имеет линейный характер (рис. 76, б), причем с увеличением диаметра кривые становятся более пологими. Величина и интенсивность износа втулок зависит от конструктивных параметров инструментальной наладки. С увеличением длины наладки, за счет снижения ее жесткости, величина износа уменьшается (рис. 76, в). Износ уменьшается также с увеличением длины втулки (в связи со снижением нагрузок на втулку). От изменения длины вылета инструмента за торец втулки величина износа практически не зависит. С ростом $\Delta_{\Sigma 1}$ величины смещения осей шпинделя и кондукторной втулки и r — радиального биения инструментальной наладки на входе во втулку растет их износ (рис. 76, г и д соответственно). Определяющее влияние на круговой износ оказывает радиальное биение, а на изменение формы образующей отверстия втулки — несовпадение ее оси с осью шпинделя. Характерно отметить, что смещение осей и радиальное биение инструмента вызывают увеличенный износ втулки на входном сечении по сравнению с износом на выходном сечении. Для уменьшения износа кондукторных втулок и повышения срока их службы при обеспечении точностных требований необходимо добиваться уменьшения погрешности смещения осей шпиндель—кондукторная втулка и предъявлять более высокие требования к инструментальной наладке в сборе по параметру радиального биения конца сверла относительно оси шпинделя. Величина подачи инструмента оказывает двойственное влияние на износ кондукторной втулки. С одной стороны, увеличению подачи сопутствует рост действующих на втулку сил, с другой стороны, с увеличением подачи время трения инструмента и втулки при обработке одного отверстия уменьшается. Изменение величины износа втулок с увеличением подачи при обработке определенного количества отверстий

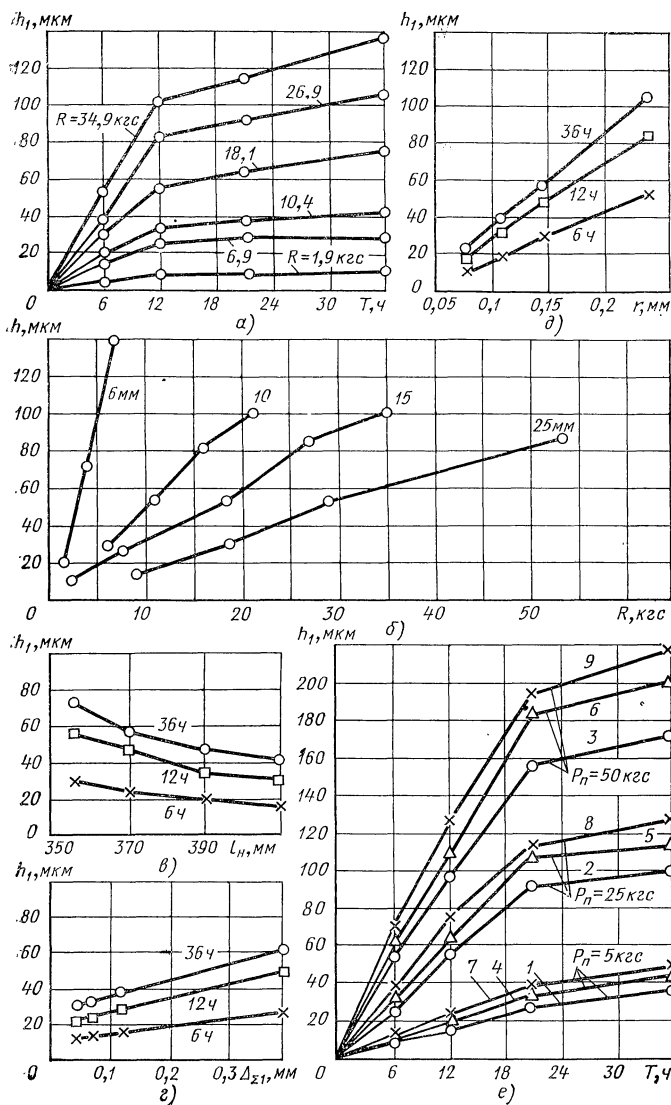


Рис. 76. Износ кондукторных втулок (по экспериментальным данным) в зависимости:

а — от времени работы при различных реакциях; б — от реакций при различных диаметрах (время работы 12 ч); в — от длины наладки и времени работы ($d=15$ мм); г — от смещения осей и времени работы; д — от радиального биения и времени работы; е — от времени работы, нагрузки и методов обработки отверстий $d=25$ мм (сверлением — кривые 1, 2, 3; зенкерованием — кривые 4, 5, 6; развертыванием — кривые 7, 8, 9)

сравнительно невелико. Износ кондукторных втулок при сверлении, зенкеровании и развертывании отверстий протекает с разной интенсивностью. Чем ниже радиальная жесткость инструмента, тем меньше действующие на кондукторную втулку усилия и тем меньше износ. Наибольший износ получает втулка при развертывании, а наименьший — при сверлении отверстия. При зенкеровании величина износа имеет промежуточное значение (рис. 76, е). Приняв величины износа втулок при сверлении за единицу, определим коэффициенты износа втулок при зенкеровании $k_z = \frac{h_z}{h_c}$ и при развертывании

$$k_p = \frac{h_p}{h_c}, \quad (124)$$

где h_c , h_z и h_p — величины износа втулок при сверлении, зенкеровании, развертывании соответственно. На основе экспериментальных исследований принимаются следующие величины коэффициентов: $k_z = 1,2—1,18$; $k_p = 1,3—1,27$. Большие значения коэффициентов получены для отверстий диаметром 15 мм. Меньшие — для отверстий диаметром 25 мм; во всех случаях это средние значения величин износа h_1 для выходного сечения втулок. Коэффициенты отражают также и соотношение величин реакций при зенкеровании и развертывании с их величиной при сверлении.

Производственные исследования износа кондукторных втулок. По данным измерения большого числа кондукторных втулок, работавших на агрегатных станках, можно составить картину их износа и выявить характер влияния износа на точность расположения осей обрабатываемых отверстий. Для обработки деталей из различных материалов характерны различные величины износа кондукторных втулок; это можно связать с различной твердостью обрабатываемых материалов, а возможно, и с другими особенностями, влияющими на условия трения. Срок службы кондукторных втулок до допускаемой величины износа ($h_{доп}$) при обработке различных материалов различен. Однако непосредственное сравнение износа по данным измерения на автоматических линиях не дает правильной оценки, так как величины износа зависят от конструктивно-технологических параметров инструментальных наладок и условий обработки. Сравнение в сопоставимых условиях, характеризующихся одинаковыми величинами реакций R_1 на выходных сечениях втулок, позволяет установить коэффициенты k_m износа кондукторных втулок для основных материалов.

Если принять за единицу износ втулок при обработке серого чугуна (HB 190), то коэффициенты износа k_m , зависящие от обрабатываемого материала, составят:

$$\begin{aligned} &\text{для ковкого чугуна (HB 150)} \quad k_m = 0,9 \\ &\text{для алюминиевых сплавов (HB 90)} \quad k_m = 0,7 \\ &\text{для стальных деталей (HB 200)} \quad k_m = 1,1 \end{aligned}$$

Используя эти коэффициенты, можно реакцию R_1 приводить к условиям обработки чугуна ($R_{1\text{чч}}$) и находить ориентировочную величину износа втулок для $R_1 = k_M R_{1\text{чч}}$.

Исследование износа кондукторных втулок, оснащенных по направляющей поверхности твердым сплавом марки ВК6, на действующей автоматической линии показало их огромные

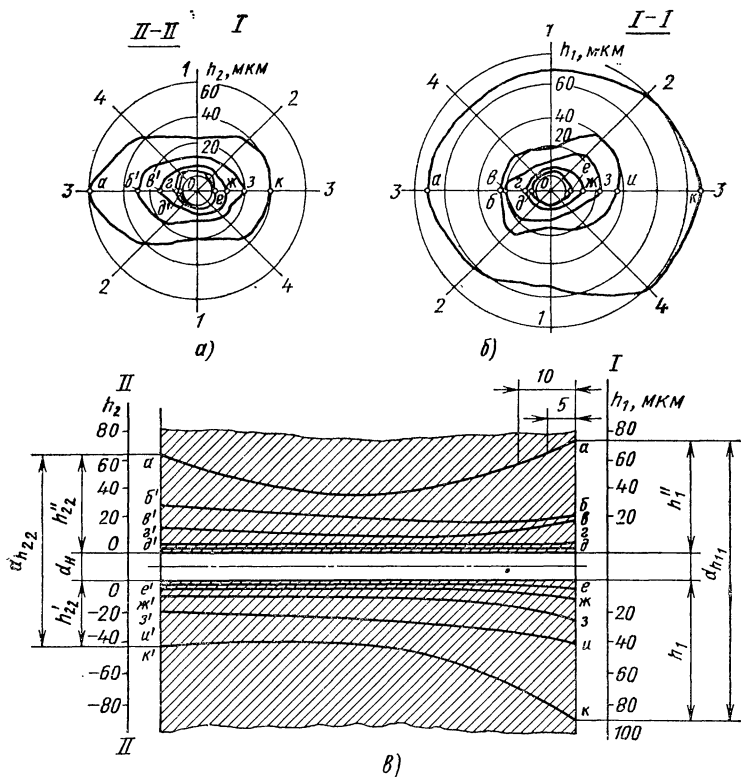


Рис. 77. Характер износа кондукторной втулки:

a — круговой износ на входном торце; $б$ — круговой износ на выходном торце; $в$ — максимальный износ в осевом сечении $з-з$. d_H — начальный диаметр втулки; d_{h_1} и d_{h_2} — диаметральные размеры с учетом износа

преимущества по стойкости. В то время когда обычная кондукторная втулка из стали 20X изнашивалась при обработке $\approx 25\,000$ деталей ($L \approx 500$ м) на величину 156 мкм, износ твердосплавной втулки составлял 12,5 мкм. В дальнейшем после обработки 122 тыс. деталей ($L = 2410$ м) износ составил 19 мкм. Характер износа для твердосплавной втулки остается неизменным; стойкость ее в первой зоне кривой (приработка) в 5—6 раз выше, а на последующих участках в 14—15 раз выше, чем для втулки из стали 20X.

Износ кондукторных втулок в производственных условиях несколько ниже, чем при проведении эксперимента. Износ кондукторной втулки неравномерен. На начальной стадии трения из-за несовпадения осей втулки со шпинделем и радиального биения конца инструмента больше изнашивается входное сечение. Затем, по мере увеличения зазора, влияние $\Delta_{\Sigma 1}$ и r несколько снижается, и преобладающее значение приобретает поперечная составляющая осевой силы резания (P_n). Износ h_1 втулки в выходном сечении $h_{1, \text{ММ}}$ протекает интенсивнее и уже после первых же часов работы превышает величину износа h_2 во входном сечении.

На рис. 77 видно, что направляющая поверхность изношенной втулки существенно отличается от формы цилиндра. Величина износа h_1 на выходном сечении I—I втулки при продолжительном времени работы больше, чем величина h_2 на входном сечении II—II. Поэтому точность расположения оси обрабатываемого отверстия определяется величиной h_1 на выходном торцовом сечении втулки. К тому же износ на выходном сечении оказывает большое влияние на $\Delta_{\Gamma.и.}$

По мере увеличения числа обработанных заготовок или соответствующего ему времени работы втулки ее износ нарастает (рис. 78); при этом с увеличением зазора S_1 в сопряжении втулка—инструмент интенсивность износа снижается.

Определение времени работы кондукторной втулки до допускаемого износа. Величина износа кондукторной втулки при определенных условиях работы зависит только от времени работы. Время работы кондукторной втулки может быть ограничено исходя из допускаемого точною расположения оси отверстия износа. Допускаемому износу соответствует определенное время работы и суммарная длина обработки (L , м), через машинное время обработки одного отверстия суммарную длину обработки можно перевести в число обработанных деталей. Таким образом, при расчетах, связанных с определением времени работы кондукторной втулки до допускаемого износа $h_{\text{доп}}$, можно использовать зависимости:

время работы втулки [час]

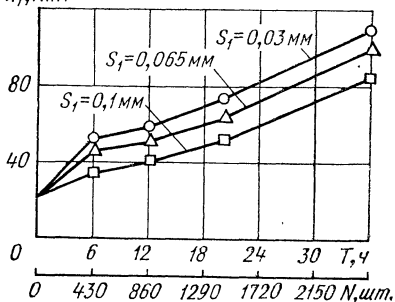


Рис. 78. Зависимость износа втулки при сверлении отверстия ($d=15 \text{ мм}$) от времени работы (от числа обработанных деталей N , шт.) при различных величинах зазоров S_1

$$T_{\text{ндоп}} = \frac{t_0 N_{\text{ндоп}}}{60}$$

или

$$T_{h\text{доп}} = \frac{L_{h\text{доп}} 1000}{s_m 60}; \quad (125)$$

суммарная длина обработки [м]

$$L_{h\text{доп}} = \frac{l_p N_{h\text{доп}}}{1000}. \quad (126)$$

Количество обработанных деталей [шт]

$$N_{h\text{доп}} = \frac{L_{h\text{доп}} 1000}{l_p}. \quad (127)$$

здесь t_0 — время обработки отверстия, $t_0 = \frac{l_p}{ns_0}$; l_p — расчетная длина обработки отверстия; s_0 — подача, мм/об; n — частота вращения, об/мин; s_m — подача, мм/мин.

В приведенных расчетах не учитывается износ втулки при вращении инструмента в моменты подвода и отвода агрегатной головки. Однако погрешность от этого допущения не может быть значительной, так как износ на холостом ходу протекает с меньшей интенсивностью и проявляется вблизи входного торца, в то время как на смещение оси отверстия основное влияние оказывает износ у выходного торца втулки.

Расчеты, связанные с определением допускаемого по условиям точности обработки износа втулки и с определением ее срока службы до достижения этой величины износа, отличаются большой трудоемкостью и сложностью. Наибольшую трудность представляет определение реакций, действующих в рассматриваемом случае в торцовых сечениях втулки и определяющих условия протекания износа. Исходной для расчета времени работы втулки является допускаемая величина смещения оси обрабатываемого отверстия. Расчет ведется при известных материале заготовки, диаметре и длине обработки, режимах обработки, величинах смещения осей шпинделя и кондукторной втулки, радиального биения инструментальной наладки и размерных соотношениях инструментальной наладки. В основу расчетов и построения графиков положены формулы (117), (118), (123).

Реакция R_1 на выходном сечении втулки

$$R_1 = f(J, s, l_{\text{вт}}, \Delta_{\Sigma_1}, r, S_1). \quad (128)$$

Поэтому, пользуясь системой графиков, отражающих влияние каждого из указанных параметров, можно определить величину реакции R_1 .

Графики (рис. 79) для сверления отверстия диаметром 15 мм были построены по результатам расчетов для ряда раз-

меров на электронно-вычислительной машине. Величина реакции определяется в следующем порядке.

1. Рассчитав эквивалентный момент инерции III участка (см. рис. 73) данной инструментальной наладки, отмечаем его на графике $R_1=f(J_3)$ и восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с кривой в точке A_1 .

2. Проводим параллельную оси абсцисс до пересечения с пунктирной линией (точка B) графика $R_1=f(s_0)$; при этом получаем на ординате величину для принятой в качестве исходной величины подачи ($s_0=0,1$ мм/об); для искомой подачи ($s_0=0,75$ мм/об) находим точку B_1 и соответствующее ей промежуточное значение реакции.

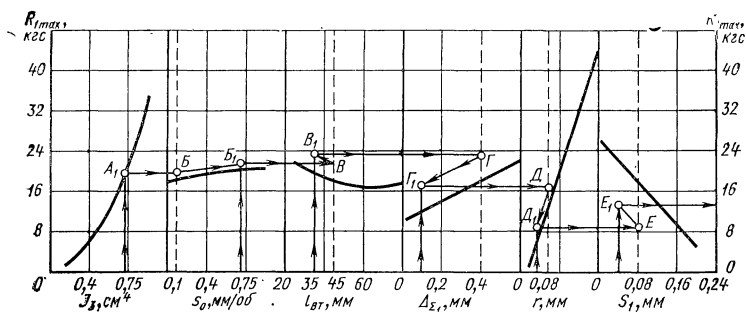


Рис. 79. Графическое определение величины реакции при сверлении отверстия диаметром 15 мм

3. Аналогично на графиках $R_1=f(l_{BT}, \Delta_{\Sigma 1}, r)$ находим промежуточные величины реакций в точках $B_1, \Gamma_1, Д_1$. При этом пунктирные линии на каждом графике соответствуют исходным величинам параметров, принятым для построения графиков.

4. На последнем графике $R_1=f(S_1)$ точка E_1 определяет результирующее значение реакции при сверлении с учетом всех параметров.

Для определения значений реакций при зенкеровании и развертывании полученную величину R_1 в точке E_1 необходимо умножить на коэффициенты k_3 и k_p (по формуле 124). Тогда величины реакции при зенкеровании $R_{1з}$ и при развертывании $R_{1р}$ будут равны:

$$\left. \begin{aligned} R_{1з} &= k_3 R_{1св}, \\ R_{1р} &= k_p R_{1св}. \end{aligned} \right\} \quad (129)$$

По графику $h=f(R_1 L)$ для найденной величины R_1 и рассчитанной по формуле (123) величине допускаемого износа втулки $h_{доп}$ можно определить длину обработки (L) (рис. 80). При известной для данной детали длине обработки l_p , пользуясь формулами (125) — (127), определяется количество обра-

ботанных деталей, а затем — время работы втулки для обработки найденного числа деталей. График (см. рис. 79), отражающий зависимость реакции на выходном торце кондукторной втулки от основных факторов [формула (128)], позволяет при определенных допущениях получить эмпирические формулы для

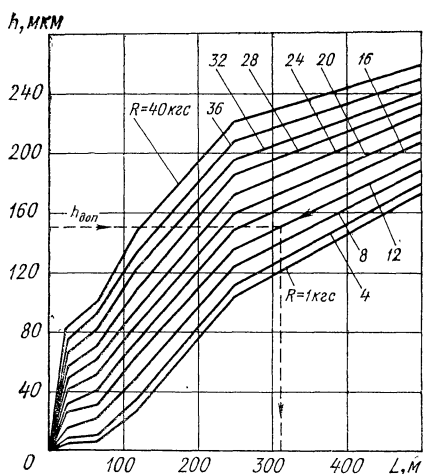


Рис. 80. Графическое определение длины обработки при сверлении отверстия ($d=15$ мм) в зависимости от общей длины обработки L до допустимого износа кондукторной втулки $h_{\text{дон}}$

расчета реакций. В зависимости от момента инерции реакция изменяется по закону кубической параболы, исходящей из начала координат, и выражается уравнением

$$R_1 = a_1 J.$$

Зависимости реакции от величины подачи s , смещения осей $\Delta_{\Sigma 1}$, радиального биения инструмента r и зазора в сопряжении втулка — инструмент S_1 близки к прямолинейным и выражаются формулами

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= a_2 s + b_2; \\ R_1 &= a_4 \Delta_{\Sigma} + b_4; \\ R_1 &= a_5 r + b_5; \\ R_1 &= a_6 S_1 + b_6. \end{aligned} \right\} \quad (130)$$

Зависимость реакции от длины втулки можно выразить формулой

$$R_1 = a_3 x^2 + t_3 x + c. \quad (131)$$

Величины коэффициентов в формулах (130) — (131) находятся из экспериментальных зависимостей для определенных (фиксированных) точек.

Коэффициенты для зависимостей, близких к прямолинейной, определяются по двум значениям величин, выбранным на прямой, и соответствующим им реакциям. Решая систему из двух уравнений, определяем величины a и b . При определении коэффициентов для зависимости (131) реакции от длины кондукторной втулки выбираем на кривой три точки, соответствующие трем значениям длины втулки. Составляем систему уравнений с тремя неизвестными и, решив их методом Крамера [29], находим величины коэффициентов.

На основании принципа суперпозиции результирующая величина реакции определится из уравнения

$$\begin{aligned} R_1 &= a_1 J^2 + a_2 (s - s') + a_3 [l_{\text{вт}}^2 - (l'_{\text{вт}})^2] + t_3 (l_{\text{вт}} - l'_{\text{вт}}) + \\ &+ a_4 (a_{\Sigma 1} - \Delta'_{\Sigma 1}) + a_5 (r - r') + a_6 (S_1 - S'_1). \end{aligned} \quad (132)$$

Параметры со штрихом являются фиксированными. Выделим эти параметры из уравнения в виде суммы

$$A = a_2 s'' + a_3 (l'_{вт})^2 + b_3 l'_{вт} + a_4 \Delta \Sigma_1 + a_5 r' + a_6 S'_1.$$

Вычтем величину A из уравнения (132)

$$R_1 = a_1 J^2 + a_2 s + a_3 l_{вт}^2 + b_3 l_{вт} + a_4 \Delta \Sigma_1 + a_5 r + a_6 S_1 - A. \quad (133)$$

[В этом уравнении сократятся члены с коэффициентами b (в уравнениях прямой) и c (в уравнении параболы), так как они, являясь функцией параметра J , при переносе кривых из одной точки в другую взаимно уничтожаются].

Зависимость износа от суммарной длины обработки (см. рис. 80) может быть использована для определения длины обработки, соответствующей допустимой по точности обработки величине износа $h_{доп}$. Экспериментальные зависимости $L = f(h, R_1)$ могут быть описаны параболой либо иной степенной зависимостью. Анализ показал, что на участке реальных значений износа ($h = 0 - 260$ мкм) для расчетов может быть принята параболическая зависимость $L = ah^2 + bh$, где коэффициенты a и b являются функциями реакций R_1 .

Коэффициенты a и b в уравнении параболы определяются из экспериментальных кривых $h = f(L, R_1)$. При их определении для любой реакции берутся две точки (L_1, h_1) и (L_2, h_2), составляются системы уравнений и решаются методом Крамера. Зависимость коэффициентов a и b принимаем прямой, так как экспериментальные кривые на значительных участках параллельны между собою

$$a = c_1 R_1 + c_2;$$

$$b = c_3 R_1 + c_4.$$

Таблица 10

Значения коэффициентов для расчета реакций R_1 и суммарной длины обработки L [к формулам {133} и {134}]

Коэффициенты	Диаметр инструмента, мм			
	6	10	15	25
a_1	250	81	34	10
a_2	3	3	3	3
a_3	0,0042	0,005	0,0036	0,0012
b_3	0,24	0,43	0,46	0,19
a_4	1,3	7,3	20	37
a_5	12	66	120	145
a_6	9,3	62,5	110	119
A	0,28	8,24	20,5	34,5
c_1	-0,000384	-0,000014	0,0000508	0,0000742
c_2	0,00772	0,00851	0,00633	0,00763
c_3	-0,0635	-0,047	-0,051	-0,0781
c_4	0,229	0,846	1,786	3,15

Тогда аналитическая зависимость $L=f(h, R_1)$ примет вид:

$$L = (c_1 R_1 + c_2) h^2 + (c_3 R_1 + c_4) h. \quad (134)$$

В табл. 10 приведены величины экспериментальных коэффициентов. Срок службы кондукторной втулки определяется уравнениями (125) — (127).

8. Точность обработки соосных отверстий

Схемы обработки. Системы соосных отверстий обрабатываются на агрегатных станках с двух сторон или с одной стороны (рис. 81, а, б, в). В последнем случае применяется переднее и заднее направление (рис. 81, б) или переднее и промежуточное направление инструмента (рис. 81, в). Эти схемы различны по точностным и технологическим характеристикам

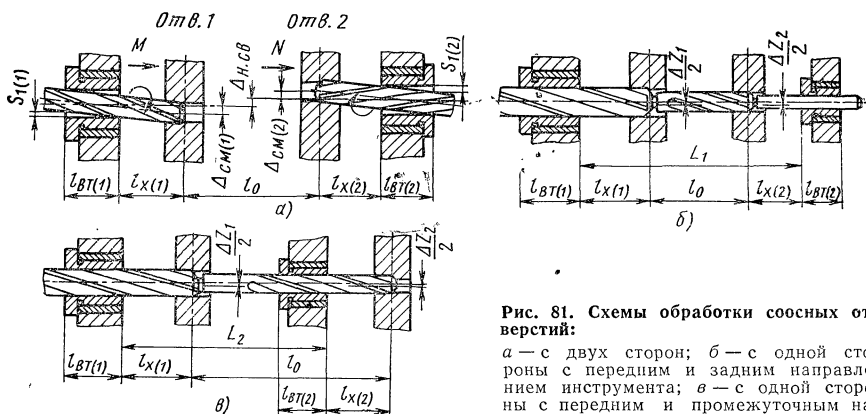


Рис. 81. Схемы обработки соосных отверстий:

а — с двух сторон; б — с одной стороны с передним и задним направлением инструмента; в — с одной стороны с передним и промежуточным направлением инструмента

(по трудоемкости, возможности использования в автоматических линиях, удобству обслуживания и др.).

Обработка соосных отверстий с двух сторон. В этом случае величина несоосности двух отверстий зависит от смещений осей первого и второго отверстий ($\Delta_{см(1)}$ и $\Delta_{см(2)}$) относительно их номинальных положений, определяемых осями постоянных кондукторных втулок, и от величины несовпадения осей этих втулок между собой $\Delta_{п}$, т. е.

$$\Delta_{н.св} = f(\Delta_{см(1)}, \Delta_{см(2)}, \Delta_{п}). \quad (135)$$

Величина и направление смещения осей обоих отверстий связаны с величиной неравномерности припусков на обработку каждого отверстия и направленностью смещения припуска в них. Направление смещений припуска у заготовок произволь-

ное; однако можно рассмотреть четыре основных случая (рис. 82).

В первом случае припуски на обработку первого и второго отверстий смещены в одну сторону — влево, вправо, вверх или вниз. Во втором случае припуски смещены во взаимно перпендикулярном направлении — у первого отверстия влево, у второго вниз. В третьем случае припуски смещены во взаимно перпендикулярном направлении — у первого отверстия влево, у второго вверх. В четвертом случае припуски у отверстий смещены в разные стороны.

Неравномерность припуска по сторонам первого отверстия ΔZ_1 вызвана несовпадением оси инструмента O_1 с осью отверстия заготовки O'_1 , а неравномерность припуска по сторонам второго отверстия ΔZ_2 — несовпадением оси инструмента O_2 с осью отверстия заготовки O'_2 . Вследствие неравномерной загрузки режущих кромок инструментов возникают смещения осей отверстий $\Delta_{CM(1)}$ и $\Delta_{CM(2)}$. При этом вектор каждого из смещений расположен под углом к направлению смещения припуска в сторону вращения шпинделя [см. формулу (74)]. Как показывают расчеты и экспериментальные исследования, при обработке деталей из чугуна $\alpha \approx 45^\circ$.

Величины смещений определяются из силовых треугольников для каждого случая смещения припусков. Для первого случая величина смещения

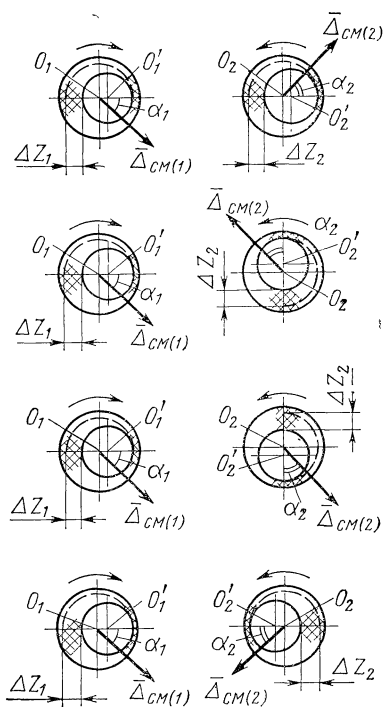


Рис. 82. Основные случаи смещения припусков $\Delta_{CM}(1, 2)$ при обработке соосных отверстий:

O_1, O_2 — оси инструментов; O'_1, O'_2 — оси отверстий в заготовках

$$\Delta'_{н.св} = \sqrt{\Delta_{CM(1)}^2 + \Delta_{CM(2)}^2 - 2\Delta_{CM(1)}\Delta_{CM(2)} \cos(\alpha_1 + \alpha_2)}. \quad (136)$$

Определив аналогично смещения осей для остальных случаев и подставив в выражения $\alpha_1 = \alpha_2 = 45^\circ$, получим:

для первого и четвертого случаев

$$\left. \begin{aligned} \Delta'_{н.св} &= \sqrt{\Delta_{см(1)}^2 + \Delta_{см(2)}^2}; \\ \text{для второго} \\ \Delta'_{н.св} &= \Delta_{см(1)} + \Delta_{см(2)}; \\ \text{для третьего} \\ \Delta'_{н.св} &= \Delta_{см(1)} - \Delta_{см(2)}. \end{aligned} \right\} \quad (137)$$

Учитывая, что наиболее вероятно взаимное направление смещений, а также погрешности, вносимые несоосностью постоянных кондукторных втулок $\Delta_{п.}$, ожидаемую величину несоосности двух отверстий для данной схемы обработки можно определить из уравнения

$$\Delta_{н.св} = \sqrt{\Delta_{см(1)}^2 + \Delta_{см(2)}^2 + \Delta_{п.}^2}. \quad (138)$$

Величины смещений осей отверстий $\Delta_{см(1,2)}$ следует определять по формуле (98).

При экспериментальном исследовании соосные отверстия обрабатывались с двух агрегатных головок, с записью на осциллографе положения каждой оси по двум координатам. Значения коэффициентов уменьшения величины несоосности $k_{у.н.св} =$

$$= \frac{\Delta_{н.св_i}}{\Delta_{н.св_{i-1}}}, \quad \text{приведенные в табл. 11, могут быть использо-}$$

ваны при проектировании технологических процессов.

Таблица 11

Экспериментальные значения коэффициентов уменьшения несоосности ($k_{у.н.св}$) и погрешностью межосевого расстояния ($k_{у.мор}$) отверстий по переходам

Смежные переходы	Диаметры отверстий, мм	Коэффициенты	
		$k_{у. н. св}$	$k_{у. мор}$
Сверление — зенкерование	15/15	0,71	0,65
Зенкерование — черновое развертывание		0,47	0,54
Черновое развертывание — чистовое развертывание		0,57	0,43
Заготовка — черновое зенкерование	40/40	0,15	0,19
Черновое зенкерование — чистовое зенкерование		0,61	0,50
Чистовое зенкерование — черновое раз- вертывание		0,43	0,46
Черновое развертывание — чистовое развертывание		0,67	0,50

Величина неравномерности припуска ΔZ весьма существенно влияет на величину несоосности $\Delta_{н.св.}$ и их взаимосвязь носит линейный характер (рис. 83). При взаимно перпендикулярной направленности смещений припусков (кривая 1) величина несоосности несколько бóльшая, чем при смещении припусков в одну сторону (кривая 2) или в разные стороны (кривая 3), однако разница между ними незначительна. Кривая 4 — расчетная.

Обработка соосных отверстий с одной стороны. Расположение и размерные соотношения обрабатываемых отверстий в корпусных деталях обычно требуют направления инструмента в двух втулках. При двух направляющих втулках применяется соединение инструмента со шпинделем через плавающий патрон. При обработке с двумя направлениями несоосность обрабатываемых отверстий $\Delta_{н.св.}$ зависит от несовпадения осей сменных кондукторных втулок $\Delta_{н.св.с.}$, от геометрического смещения оси инструмента на зазорах между инструментом и втулками $\Delta_{н.св.г.и}$ и от упругих отжатий инструмента $\Delta_{н.св.у.и}$:

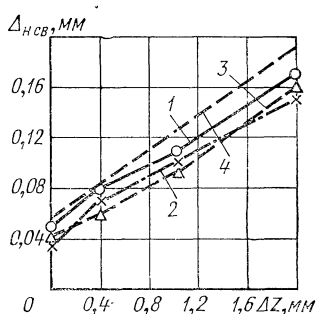


Рис. 83. Зависимость несоосности отверстий диаметром 15 мм от неравномерности припусков при обработке с двух сторон ($S_1=0,025$ мм; $l_{вт}=l_x=40$ мм)

$$\Delta_{н.св.} = f(\Delta_{н.св.с.}, \Delta_{н.св.г.и}, \Delta_{н.св.у.и}). \quad (139)$$

Из-за неравномерного распределения припуска у первого и второго отверстий ΔZ_1 и ΔZ_2 возникают неуравновешенные силы (равнодействующие этих сил ΔP_{R_1} и ΔP_{R_2}), вызывающие смещение инструмента на зазорах между втулками и упругим отжатием инструмента. Величины несоосности зависят от взаимного направления сил. Разнонаправленное действие этих сил (см. случай 4, рис. 82) вызывает наибольшую несоосность. В этом случае зазоры в соединениях передняя сменная втулка — инструмент $S_{1(1)}$ и задняя сменная втулка — инструмент $S_{1(2)}$ выбираются в разные стороны. При возникающем перекосе инструмент опирается на выходной торец передней втулки и входной торец задней втулки. Тогда геометрическое смещение оси инструмента определится следующим образом:

для варианта направления в передней и задней втулках (см. рис. 81, б)

$$\Delta_{н.св.г.и} = \frac{(S_{1(1)} + S_{1(2)}) l_0}{2(l_{x(1)} + l_0 + l_{x(2)})} \quad (140)$$

для варианта направления в передней и промежуточной втулках (рис. 79, в)

$$\Delta_{\text{н.св.г.н}} = \frac{(S_{1(1)} + S_{1(2)}) l_0}{2(l_{x(1)} + l_0 - l_{x(2)} - l_{\text{вт}(2)})}, \quad (141)$$

где l_0 — расстояние между обрабатываемыми отверстиями; $l_{x(1)}$ — расстояние от торца передней втулки до середины первого отверстия; $l_{x(2)}$ — расстояние от торца задней втулки до середины второго отверстия; $l_{\text{вт}(2)}$ — длина второй втулки.

Величину несоосности обрабатываемых отверстий, возникающую от несовпадения осей сменных втулок, найдем из формул:

$$\Delta_{\text{н.св.с}} = \frac{\Delta_{\text{св}} l_0}{l_{x(1)} + l_0 + l_{x(2)}} \quad (142)$$

— для варианта переднего и заднего направления;

$$\Delta_{\text{н.св.с}} = \frac{\Delta_{\text{св}} l_0}{l_{x(1)} + l_0 - l_{x(2)} - l_{\text{вт}(2)}} \quad (143)$$

— для варианта переднего и промежуточного направления инструмента.

При этом смещение осей сменных втулок относительно друг друга

$$\Delta_{\text{св}} = \sqrt{\Delta_{\text{п}}^2 + \left(\frac{S_{2(1)}}{2}\right)^2 + \left(\frac{S_{2(2)}}{2}\right)^2 + e_{\text{св}(1)}^2 + e_{\text{св}(2)}^2}, \quad (144)$$

где $\Delta_{\text{п}}$ — несовпадение осей постоянных втулок; $S_{2(1)}$ и $S_{2(2)}$ — зазоры в соединениях соответственно передняя сменная втулка — инструмент и задняя сменная втулка — инструмент; $e_{\text{св}(1)}$ и $e_{\text{св}(2)}$ — несоосность наружной и внутренней поверхностей передней и задней сменных втулок.

Из формул (140) — (144) видно, что для уменьшения несоосности обрабатываемых отверстий необходимо уменьшать зазоры между сменными втулками и инструментом и зазоры между сменными и постоянными втулками, ограничивать величину несовпадения осей постоянных втулок, уменьшать несоосность поверхностей сменных втулок. Увеличение длин вылетов $l_{x(1)}$ и $l_{x(2)}$ способствует уменьшению рассмотренных погрешностей геометрического характера, но их по возможности следует уменьшить для повышения жесткости наладки и снижения погрешностей от упругих деформаций.

Упругие смещения инструмента под действием равнодействующих неуравновешенных сил ΔP_{R_1} и ΔP_{R_2} для обоих вариантов направления определяются из расчетной схемы, представленной на рис. 84. Величины упругих смещений $\Delta_{\text{у.н}_1}$ и $\Delta_{\text{у.н}_2}$ оп-

ределяются после расчета реакций R_1 и R_2 в опорах для точек a и b , соответствующих местам приложения сил ΔP_{R_1} и ΔP_{R_2} от двух инструментов, по методу Верещагина.

Величину несоосности двух отверстий от упругих отжатий инструмента можно определить как разность его отжатий в середине первого и второго отверстий

$$\Delta_{\text{н.св.у.и}} = \Delta_{\text{у.и}_1} - \Delta_{\text{у.и}_2} \quad (145)$$

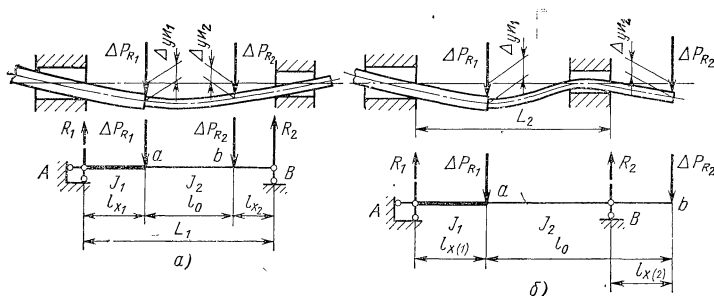


Рис. 84. Расчетные схемы для определения несоосности отверстий от несовпадения осей сменных втулок в позиции:

a — при переднем и заднем направлении; b — при переднем и промежуточном направлении

Максимально возможная величина несоосности от упругих отжатий имеет место, когда припуски на обработку отверстий смещены в разные стороны и когда соответственно направлены в разные стороны и равнодействующие неуравновешенных сил.

Из анализа полученных зависимостей вытекает, что основным резервом уменьшения величины несоосности, возникающей от упругих отжатий инструмента, является уменьшение величины неравномерности припуска на обработку как первого, так и второго отверстий. Величина несоосности может быть также существенно уменьшена за счет уменьшения вылетов инструмента $l_{x(1)}$ и $l_{x(2)}$.

Величину несоосности двух отверстий при обработке с одной стороны инструментом, направляемым в передней и задней втулках, можно определить по формуле

$$\Delta_{\text{н.с}} = \sqrt{\Delta_{\text{н.с.о}}^2 + \Delta_{\text{н.с.с}}^2} \quad (146)$$

где $\Delta_{\text{н.с.о}}$ — несоосность отверстий от геометрического смещения на зазорах и упругих отжатий инструмента.

Экспериментальные зависимости показывают, что с увеличением неравномерности припуска на обработку отверстий величина несоосности возрастает. При неизменной величине неравномерности припуска величина несоосности зависит от взаимного направления смещений припусков на обработку отвер-

стей. Наибольшая несоосность возникает при смещении припусков в разные стороны: несколько меньшая — при смещении припусков во взаимно перпендикулярных направлениях и наименьшая — при смещении в одну сторону. Расчетные величины ожидаемой несоосности на 20—30% превышают наибольшие экспериментальные величины (при смещении припусков в разные стороны).

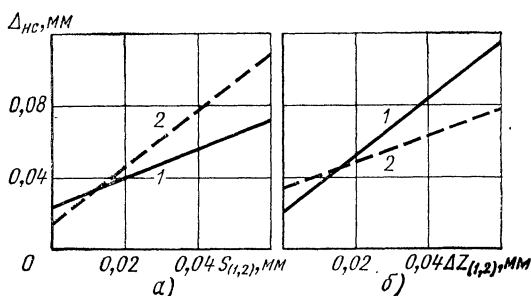


Рис. 85. Расчетные зависимости величин несоосности отверстий диаметром 15 и 17 мм при зенкеровании: а — от величины зазора; б — от неравномерности припуска на обработку. Кривая 1 — при обработке с передним и задним направлением; кривая 2 — при обработке с передним и промежуточным направлением

При $\Delta Z=0$ все же наблюдается незначительная несоосность $\Delta_{нс}=0,01-0,015$ мм из-за несовпадения осей сменных втулок и геометрического смещения инструмента на зазорах между его направляющей частью и сменными втулками.

Представленные на рис. 85 расчетные зависимости позволяют сравнить точностные возможности двух рассмотренных вариантов обработки соосных отверстий с одной стороны. При обработке с передним и задним направлением (1-й вариант) (см. рис. 81, б) расстояние между втулками больше, поэтому величина зазора (рис. 85, а) значительно меньше влияет на несоосность, чем при направлении инструмента в передней и промежуточной втулках (2-й вариант) (см. рис. 81, в). Упругие отжаты вследствие пониженной жесткости более длинного инструмента при 1-м варианте интенсивно возрастают с увеличением неравномерности припуска на обработку (рис. 85, б); при 2-м варианте величины упругих отжаты значительно ниже. При отсутствии неравномерности припуска ($\Delta Z_1=\Delta Z_2=0$) 1-й вариант (кривая 1) дает более высокую точность, чем 2-й (кривая 2), так как в этом случае несоосность возникает только от смещения на зазоре и несовпадения осей сменных втулок, без влияния упругих отжаты.

На выбор варианта обработки соосных отверстий с одной стороны или с двух сторон оказывают влияние диаметральные размеры и длина l_0 (см. рис. 81). Следует учитывать, что в слу-

чае обработки с двух сторон несоосность не зависит от расстояния между отверстиями.

При сверлении и зенкеровании близко расположенных отверстий диаметром 15—17 мм с одной стороны достигается более высокая точность по соосности, чем обработкой тех же отверстий с двух сторон. С увеличением расстояния между отверстиями, в связи со снижением жесткости инструмента, несоосность при обработке с одной стороны становится больше. Экспериментальные исследования показали, что обработку небольших соосных отверстий ($d < 18$ мм), значительно удаленных друг от друга ($l_0 \geq 6 \div 7 d$), следует производить с двух сторон. Точность по соосности получается более высокой, чем при обработке с одной стороны.

При зенкеровании отверстий диаметром 37—40 мм с одной стороны — соосность более высокая, чем при зенкеровании с двух сторон. При обеих схемах обработки большей величине зазора между сменными втулками и инструментом соответствует большая несоосность. Однако для схемы обработки с одной стороны характерно значительно меньшее влияние зазора на несоосность отверстий, и эту схему целесообразно применять на чистовых переходах обработки. При проектировании черновых переходов следует отдавать предпочтение схеме обработки отверстий с двух сторон как наиболее производительной и не требующей применения более дорогого инструмента.

9. Точность межосевых расстояний отверстий

Факторы, влияющие на точность межосевых расстояний. Точность межосевых расстояний отверстий при обработке в одной позиции зависит от величины смещения осей обоих отверстий с номинального положения, а также от точности координат осей постоянных кондукторных втулок.

При обработке отверстий в разных позициях автоматической или поточной линии, наряду с погрешностями от смещения осей обрабатываемых отверстий, возникают дополнительные погрешности межосевого расстояния. Это — погрешности установки заготовки и погрешности параметра преемственности для позиций, где обрабатываются рассматриваемые отверстия. Влияние этих факторов проявляется через упругие отжатия технологической системы из-за образования неравномерности припуска и непосредственно как геометрические смещения оси первого ранее обработанного отверстия относительно оси инструмента, обрабатывающего второе отверстие. Условия обеспечения точности межосевого расстояния отверстий при обработке в разных позициях весьма неблагоприятны из-за больших погрешностей установки и неспаренности позиций, характерных для действующих автоматических и поточных линий.

Факторы, влияющие на смещение оси отверстия с номинала для обоих отверстий, связанных межосевым расстоянием, рассмотрены в разд. 6. Влияние погрешностей расположения заготовки при переходе в другую позицию относительно погрешностей установки и параметра преемственности рассмотрено в гл. II.

Точность межосевых расстояний кондукторных плит. Погрешность межосевого расстояния кондукторных втулок в узлах направления инструмента $\Delta_{\text{мор.ун}}$ зависит от точности обработки отверстий в кондукторной плите под втулки $\Delta_{\text{к.обр}}$ и погрешностей сборки ее со втулками. Отверстия в кондукторных плитах под постоянные втулки обычно обрабатываются на координатно-расточных станках с обеспечением точности по межосевому расстоянию $\Delta_{\text{к.обр}} = \pm 0,01$ мм. Размеры отверстий выполняются по 2-му классу точности с допусками, соответствующими посадке H , и для отверстий диаметром более 80 мм с допусками, соответствующими посадке T ; при этом обеспечивается шероховатость поверхностей посадочных отверстий $Ra = 1,25 \div 2,5$ мкм ($\nabla 6$).

В процессе сборки плит и постоянных втулок наблюдается смещение $\Delta_{\text{к.сб}}$ осей отверстий втулок с положения, полученного при обработке кондукторной плиты. Основными причинами смещения осей при сборке являются: разностенность втулок, равная удвоенному значению несоосности; неравномерность усадки втулок, зависящая от фактического натяга в соединении отверстие плиты — постоянная втулка и погрешностей геометрической формы сопрягаемых поверхностей; неравномерность контактных напряжений, зависящая от конфигурации кондукторной плиты и расстояний между осями отверстий; перекос сопрягаемых деталей относительно друг друга в процессе сборки.

Смещение осей отверстий при запрессовке постоянных кондукторных втулок объясняется еще и тем, что втулки не могут быть запрессованы одновременно. Поочередная запрессовка при определенных соотношениях размеров втулок и величин межосевого расстояния изменяет форму соседних отверстий. Возникающие погрешности устраняются в процессе сборки притиркой внутренних поверхностей втулок, что, в свою очередь, приводит к искажению форм отверстий и межосевых расстояний.

Кондукторные втулки, устанавливаемые в плитах агрегатных станков, подразделяются на точные и пониженной точности. Втулки пониженной точности применяются для сверл, зенкеров и цековок при допуске на расположение отверстий в обрабатываемой детали не менее $\pm 0,15$ мм. Допускаемое радиальное биение наружной посадочной поверхности относительно отверстия составляет для втулок пониженной точности 15 мкм, а для точных втулок — 5 мкм. Погрешности формы, как обычно, регламентируются определенной долей поля допуска на диаметральный размер.

При исследовании фактических погрешностей формы посадочных поверхностей втулок и плит и направляющих отверстий втулок измерялась некруглость, которая характеризовалась максимальным расстоянием от реального профиля до профиля прилегающей описанной окружности. Величина некруглости наружной поверхности втулок составляла 0,75—13 мкм, а отверстий кондукторных плит 4—7 мкм. Сопоставление величин некруглости со средним натягом по посадке Γ , по которой втулки за-

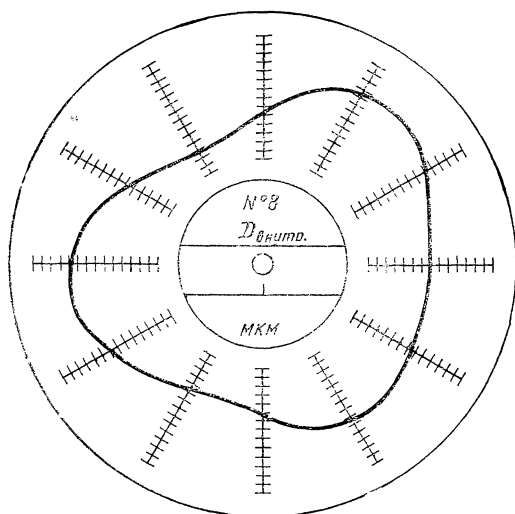


Рис. 86. Круглограмма отверстия тонкостенной кондукторной втулки (диаметр отверстия 16 мм, толщина стенки 1 мм)

прессовываются в кондукторные плиты, показывает, что погрешность формы часто превосходит средний натяг соединения. Так, например, средний натяг в сопряжении втулка — отверстие плиты диаметром 18 мм по посадке Γ составляет 8,5 мкм, а втулка имеет некруглость по наружному диаметру 9,5 мкм.

Некруглость отверстия втулки обычно больше некруглости наружной поверхности. Чаще всего отверстие приобретает трехгранную форму (рис. 86), как следствие закрепления детали при шлифовании в трехкулачковом патроне.

Установка отверстием на цилиндрической оправке при шлифовании наружной поверхности не вызывает каких-либо характерных погрешностей формы. Погрешности формы тонкостенных втулок значительно превышают величину некруглости, допускаемую по ГОСТ 10356—63. Например, при допускаемой некруглости 8 мкм втулка с наружным диаметром 18 мм и толщиной

стенки 1,5 мм имела некруглость 13 мкм. Втулки с более толстыми стенками имеют меньшую некруглость формы. Некруглость отверстий плит приблизительно равна допуску на некруглость по ГОСТ 10356—63.

Процесс запрессовки втулок в плиты сопровождается усадкой втулок, причем величина усадки неравномерна по периметру окружности, что приводит к смещению оси отверстия втулки относительно оси отверстия плиты. Величина усадки втулок зависит от толщины стенки и величины натяга в сопряжении. При небольших натягах (до 15 мкм) толщина стенки незначительно влияет на усадку, при больших натягах это влияние возрастает. В некоторых случаях усадка втулки происходит при отсутствии натяга, что можно объяснить влиянием погрешностей формы сопрягаемых поверхностей плиты и втулки. Погрешности формы нарушают характер посадки, изменяя картину распределения напряжений и деформаций.

Характер и величина смещения осей запрессованных втулок исследовались с помощью тензодатчиков сопротивления, наклеенных в зоне отверстий в направлениях межосевого расстояния и расстояния от базы. При последовательной запрессовке деформация от натяга в сопряжении одного отверстия оказывает влияние на положение оси второго отверстия. Изменение межосевого расстояния зависит от диаметра сопряжения, толщины стенок втулок и натяга. Погрешности межосевого расстояния кондукторных плит при сборке их со втулками достигают значительных величин. Так, при запрессовке втулок с наружным диаметром 18 мм и толщиной стенок 1—3 мм межосевое расстояние, равное 75 мм, изменяется на 3—15 мкм при натяге 24—51 мкм, а межосевое расстояние, равное 30 мм, — на 5—27 мкм при натяге 36—57 мкм. Можно считать, что изменение межосевого расстояния при запрессовке постоянных втулок в кондукторную плиту составляет 10—50% от величины натяга и чем больше межосевое расстояние, тем меньше влияние условий запрессовки. С достаточной для практического пользования точностью влияние погрешностей сборки кондукторных плит и втулок можно отнести к погрешности изготовления плиты и учесть коэффициентом $n_7 = 1,25—1,7$ (для больших величин межосевых расстояний следует принимать меньшие значения коэффициента и наоборот).

Влияние несоосности постоянных втулок $e_{(1,2)}$ незначительно и стабильно (2,5—7,5 мкм) и может быть учтено коэффициентом $n_8 = 1,1—1,3$ относительно погрешности изготовления. Тогда погрешность межосевого расстояния отверстий между постоянными кондукторными втулками в собранной плите составит:

$$\Delta_{\text{мор.ун}} = n_7 n_8 \Delta_{\text{к.обр}}, \quad (147)$$

где $\Delta_{\text{к.обр}}$ — погрешность межосевого расстояния отверстий в плите.

Влияние смещения припусков на обработку двух отверстий на погрешность их межосевого расстояния. Как было показано ранее (см. рис. 82), под влиянием неравномерности припусков ось каждого обрабатываемого отверстия смещается ($\Delta'_{см(1)}$ и $\Delta'_{см(2)}$) соответственно вектору неуравновешенных сил и располагаются под углом (α_1 и α_2) к направлению смещения припуска. В этом случае отклонение межосевого расстояния ΔA двух отверстий в одну сторону относительно номинального положения от смещений $\Delta_{см(1)}$ и $\Delta_{см(2)}$ определяется алгебраической суммой проекций $\Delta'_{см(1)}$ и $\Delta'_{см(2)}$ этих смещений на линию O_1O_2 , соединяющую центры отверстий:

$$\Delta A = \Delta'_{см(1)} \pm \Delta'_{см(2)}. \quad (148)$$

[Знак «минус» в формуле (148) следует принимать при расположении проекций $\Delta'_{см(1)}$ и $\Delta'_{см(2)}$ по одну сторону относительно осей отверстий заготовки O_1 и O_2 , а «плюс» — по обе стороны]. Расчеты и экспериментальные кривые для каждого из основных случаев смещений показывают, что наибольшая погрешность межосевого расстояния возникает при разнонаправленном смещении припусков (2), несколько меньшая — при смещении припусков во взаимно перпендикулярных направлениях (3) и весьма незначительная — при смещении в одну сторону (4) (рис. 87). (Прямая 1, как и на рис. 83, — расчетная).

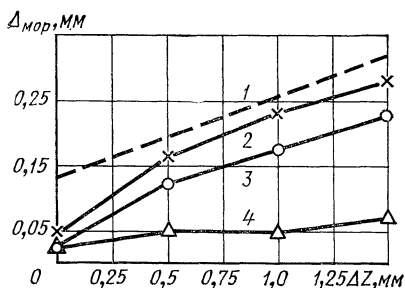


Рис. 87. Влияние смещения припуска на межосевое расстояние отверстий ($S_1=0,05$ мм; $l_{\text{вт}}=l_x=40$ мм)

Расчет погрешности межосевого расстояния двух отверстий. Учитывая случайный характер смещений $\Delta_{см(1)}$ и $\Delta_{см(2)}$, а также дополнительную погрешность $\Delta_{мор.ун}$, вносимую узлом направления инструмента, ожидаемую погрешность межосевого расстояния отверстий при обработке в одной позиции можно определить из уравнения:

$$\Delta_{мор} = \pm \sqrt{\Delta_{см(1)}^2 + \Delta_{см(2)}^2 + \Delta_{мор.ун}^2}. \quad (149)$$

Величины смещений осей отверстий $\Delta_{см(1)}$ и $\Delta_{см(2)}$ следует вычислять по формуле (98).

При обработке отверстий в разных позициях автоматической или поточной линии ожидаемую погрешность межосевого расстояния двух отверстий можно рассчитать по формуле

$$\Delta_{мор} = \pm \sqrt{\Delta_{см(1)}^2 + \Delta_{см(2)}^2 + \Delta_{\rho_1}^2 + \epsilon_1^2 + \Delta_{\rho_2}^2 + \epsilon_2^2}. \quad (150)$$

Погрешности параметра преемственности $\Delta p_{(1,2)}$ и установки $\varepsilon_{(1,2)}$, входящие в данную формулу, должны быть отнесены к центрам рассматриваемых отверстий, т. е. должны определяться с учетом расположения этих отверстий. Как показывают расчеты, при обработке отверстий в разных позициях весьма трудно добиться точности их межосевого расстояния выше $\pm 0,15$ мм, что объясняется значительным влиянием погрешности установки и погрешности параметра преемственности при обработке как первого, так и второго отверстий.

Экспериментальные исследования позволили установить значения коэффициентов уменьшения погрешности межосевого расстояния при обработке отверстий $k_{у\text{ мор}_i} = \frac{\Delta_{\text{мор}_i}}{\Delta_{\text{мор}_{i-1}}}$ (см. табл. 11) у деталей из серого чугуна.

При одинаковой неравномерности припусков у обоих отверстий на межосевое расстояние оказывает влияние величина зазора S_1 между инструментом и сменной втулкой. Наибольшая погрешность имеет место в случае смещения припусков у первого и второго отверстий в разные стороны. При смещении припусков в одну сторону величина зазора влияет незначительно, но в этом случае вся система обработанных отверстий смещается относительно базовых поверхностей детали или поверхностей, обрабатываемых в других позициях.

1. Факторы, влияющие на смещение осей обрабатываемых отверстий

При обработке систем отверстий инструментами, имеющими плавающее соединение со шпинделями агрегатного станка, точность расположения осей отверстий (аналогично обработке при жестком соединении инструмента со шпинделем) определяется суммарным влиянием геометрического смещения инструмента в направляющей втулке и упругого смещения оси инструмента под влиянием сил резания. На величину геометрического смещения оси инструмента оказывают влияние конструктивно-технологические параметры: длина направления, зазор в сопряжении втулки — направляющая часть инструмента и длина вылета инструмента за торец втулки. Кроме того, смещение оси инструмента вызывают некоторые погрешности изготовления узла направления инструмента: смещение оси расточки подшипника, неточность вращения подшипника, несоосность наружной и внутренней поверхностей постоянной и сменной втулок. Величины названных элементарных погрешностей возрастают в процессе эксплуатации под влиянием износа. Упругие отжатия в технологической системе возникают под влиянием непостоянства сил резания. Их величины зависят, с одной стороны, от жесткости системы приспособление — инструмент — заготовка, с другой, — от неравномерности распределения припуска на обработку по периметру отверстия. Степень неравномерности припуска определяется погрешностью расположения оси отверстия, полученной на предшествующем технологическом переходе, погрешностью установки заготовки в данной позиции и смещением базовых элементов приспособления относительно оси направляющей втулки. По мере износа установочных и направляющих элементов позиционного приспособления степень неравномерности припусков возрастает.

2. Влияние геометрических факторов на смещение оси отверстия

Величина геометрического смещения оси режущей части инструмента $\Delta_{г.и}$ от номинального расположения в самом общем случае (для всех схем направления инструмента и типов вспомогательного инструмента) можно представить уравнением

$$\Delta_{г.и} = f(\Delta_{S_1}, \Delta_{в.и}, \Delta_{у.н}), \quad (151)$$

где Δ_{S_1} — смещение оси инструмента с оси направляющей втулки за счет зазора в этом сопряжении; $\Delta_{в.и}$ — погрешность вспомогательного инструмента (смещение оси вращения инструмента относительно оси направляемой части); $\Delta_{у.н}$ — погрешность узла направления инструмента (смещение оси направляющей втулки от номинального расположения).

Теоретические и экспериментальные исследования показали, что степень влияния каждого из указанных факторов неодинакова для различных компоновок расточных позиций, конструкций вспомогательного инструмента и узла направления, схем направления инструмента и методов обработки.

Экспериментальная проверка влияния геометрических параметров расточной позиции на смещение оси обрабатываемого отверстия проводилась на установке со сменными одноопорными и двухопорными узлами направления инструмента типа вращающейся и неподвижной втулок. Использовался цельный вспомогательный инструмент (борштанги и оправки), составной (скользящая втулка) и основные виды режущего инструмента (резцы, зенкеры, развертки).

Положение оси вращения инструмента в процессе обработки регистрировалось снятием осциллограмм (см. рис. 54, 55). Погрешность формы и смещение центра обработанного отверстия на заданной глубине записывались в виде круглограмм на кругломере мод. 218 завода «Калибр».

Влияние зазора в сопряжении втулка — инструмент. Зазор позволяет инструменту (под влиянием сил резания, массы борштанги и действия сил от плавающего патрона) отклониться от оси втулки и расположиться с перекосом. Действительная величина зазора S_1 зависит от допуска посадки $S_{\text{пос}}$ и эксплуатационных факторов, обусловленных главным образом износом сопрягаемых поверхностей, т. е. $S_1 = S_{\text{пос}} + S_{\text{изн}}$. Величина зазора $S_{\text{пос}}$ является случайной, так как при изготовлении диаметральных размеров отверстий втулок и инструмента могут принимать любые значения в пределах допускаемых отклонений. Величину зазора, обусловленную износом, можно считать систематической закономерно изменяющейся величиной.

Поле рассеяния δS_1 и среднюю величину $\Delta_0 S_1$ суммарного зазора между направляющей втулкой и инструментом определяем на основе теоретико-вероятностного метода расчета размерных цепей [16], используя формулы, аналогичные приведенным в гл. III формулам (61), (62). При некоторых допущениях и после подстановки коэффициентов относительного рассеяния величин и относительной асимметрии получим формулы:

а) величины поля рассеяния суммарного зазора в сопряжении втулка — инструмент

$$\delta S_1 = \sqrt{\delta A_1^2 + \delta B_1^2} + S_{\text{изн}}; \quad (152)$$

б) средней величины зазора

$$\Delta_0 S_1 = \Delta_0 A_1 - \Delta_0 B_1 + 0,5 S_{\text{изн.}} \quad (153)$$

В табл. 12 приведены величины, рассчитанные для основных видов обработки и номинальных диаметров сопряжений. Для обработки точно скоординированных отверстий 1-го класса точности в сопряжениях типа вращающаяся втулка — инструмент путем притирки получают зазоры в пределах 5—8 мкм, а нецилиндричность отверстия втулки — в пределах 3—5 мкм. В процессе эксплуатации, вследствие износа, зазор может возрасти в 2—3 раза по сравнению с проектным. Неравномерность износа наблюдается в продольном и поперечном сечениях.

Таблица 12

Характеристики рассеяния отклонений размеров в сопряжении направляющая втулка — инструмент и зазора между ними

Вид обработки и класс точности	Номинальный диаметр сопряжения, мм	Отклонения отверстия втулки, мкм		Отклонения диаметра инструмента, мкм		Отклонения зазора, мкм		Максимально вероятный зазор, мкм
		δA_1	$\Delta_0 A_1$	δB_1	$\Delta_0 B_1$	δS_1	$\Delta_0 S_1$	S_1
Зенкерование; черновое растачивание (по 4—5-му классам точности)	32—50	27	13,5	17	—18,5	32	32	47
	52—80	30	15,0	20	—22,0	36	37	54
	85—120	35	17,5	23	—26,5	42	44	64
	125—180	40	20,0	27	—31,5	48	52	75
	185—200	45	22,5	30	—37,0	54	60	86
Растачивание; развертывание (по 3—3а классам точности)	32—50	15	7,5	11	—14,5	18	22	31
	52—80	18	9,0	13	—16,5	22	26	37
	85—120	21	10,5	15	—19,5	26	30	43
	125—180	24	12,0	18	—23,0	30	35	50
	185—200	27	13,5	20	—26,0	34	40	56
Развертывание; растачивание (по 2-му классу точности)	32—50	7	3,5	4	—11,0	6	14,5	17,5
	52—80	8	4,0	5	—12,5	10	16,5	21,5
	85—120	10	5,0	6	—15,0	12	20,0	26,0
	125—180	12	6,0	8	—18,0	15	24,0	31,5
	185—200	14	7,0	10	—20,0	17	27,0	35,5

Примечания: 1. Допуски на изготовление инструмента и втулок даны по нормам МосСКБ АЛ и АС Н2721—Н2723. Для обработки по 4—5-му классам точности принята посадка $\frac{A}{D}$, для обработки по 3—3а классу — посадка $\frac{A_1}{D_1}$, для обработки по 2-му классу — посадка $\frac{A_{0,8}}{D_{0,7}}$ по ГОСТ 11472—69. 2. Величины S_1 , δS_1 и $\Delta_0 S_1$ не учитывают эксплуатационных допусков на зазоры.

В одноопорном узле типа вращающейся втулки инструмент касается втулки в двух точках ее торцовых сечений, вследствие чего у торцов втулки образуются конические растрескивания, причем

у выходного торца износ более интенсивен. Круглограммы контуров входного и выходного поперечных сечений отверстия показывают, что форма сечения зависит от вида обработки и характера перемещения сопряженных поверхностей; так, овальность возникает при растачивании отверстия однолезвийным инструментом, а трех- и многовершинная огранка — при зенкеро-вании.

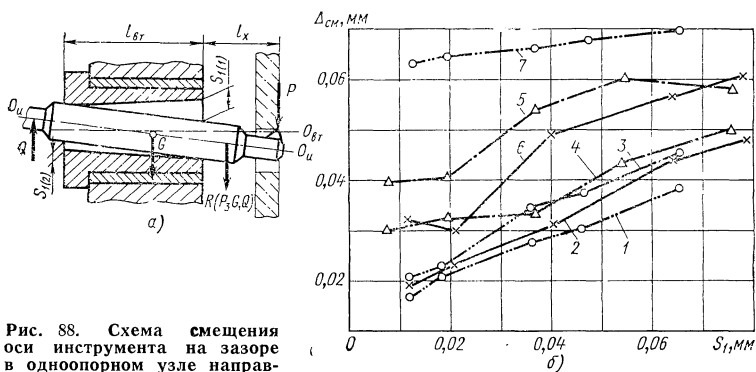


Рис. 88. Схема смещения оси инструмента на зазоре в одноопорном узле направления:

а — схема смещения; *б* — экспериментальные зависимости при зенкеро-вании алюминия Ал-4 (кривая 1) и чугуна (кривые 2—7) при неравномерности при-пуска $\Delta Z=0,6$ мм (кривые 1—4) и $\Delta Z=2$ мм (кривые 5—7); 1, 3, 7 — враща-ющаяся втулка; 2, 4 — неподвижная; 4, 5 — скользящая

Смещение оси инструмента за счет зазора в одноопорном уз-ле происходит либо с прилеганием инструмента и втулки по образующим, либо с перекосом инструмента во втулке. Приле-гание по нижним образующим имеет место при чистовой обра-ботке отверстий большого диаметра, когда масса вспомога-тельного направляемого инструмента значительно превышает силу резания и равнодействующая сил, приложенных к инструменту, не выходит за пределы длины направляющей втулки и по на-правлению совпадает с весовой нагрузкой. Пренебрегая разни-цей величин зазоров на выходном и входном сечениях, получим величину смещения при прилегании образующих

$$\Delta S_1 = \frac{S_1}{2}. \quad (154)$$

Переко-с инструмента в отверстии втулки возможен при чер-новой и получистовой обработке и должен учитываться тогда, когда точка приложения равнодействующей R находится вне втулки (рис. 88), когда масса G вспомога-тельного направляе-мого инструмента меньше силы резания P . Величина смещения оси инструмента относительно оси втулки при переко-се равна сумме радиального зазора между втулкой и инструментом и ве-

личине, определяемой радиальным зазором и отношением длины вылета l_x инструмента и длины втулки $l_{\text{вт}}$.

Приняв постоянной величину зазора у входного $S_{1(2)}$ и выходного $S_{1(1)}$ сечений втулки, получим величину смещения оси инструмента при перекосе

$$\Delta S_1 = S_1 \left(0,5 + \frac{l_x}{l_{\text{вт}}} \right), \quad (155)$$

Таким образом, смещение оси инструмента в одноопорном узле направления можно снизить уменьшением зазора и вылета и увеличением длины втулки. Однако значительное увеличение длины втулки ведет к росту габаритов узла направления и удорожанию станка.

Большой вылет инструмента может вызвать увеличение смещения осей отверстий, обрабатываемых мерным инструментом (при зенкеровании, развертывании), и погрешность формы поперечного сечения отверстий, обрабатываемых однолезвийным инструментом. Наибольшее значение вылета ограничивается вибрацией инструмента, возникающей при совпадении частот изгибных и крутильных колебаний (резонансное состояние). При зенкеровании смещение оси возрастает с увеличением зазора. Наименьшие значения смещения — при цельной оправке в неподвижной втулке, т. е. при сопряжении, обладающем большей жесткостью. При обработке отверстий резцом зазор S_1 практически не влияет на смещение оси обрабатываемого отверстия и погрешность расположения оси в 1,5—1,75 раза меньше, чем при зенкеровании в аналогичных условиях.

Влияние длины втулки на смещение оси при обработке отверстий в одноопорных узлах направления связано с методом обработки (рис. 89). При обработке мерным инструментом смещение оси отверстия уменьшается с увеличением длины втулки по зависимости, близкой к линейной. При растачивании отверстий резцом зависимость смещения оси отверстия от длины втулки имеет вид гиперболической ветви функции $y = \frac{a}{x}$, выражающей закон обратной пропорциональности.

Для обеспечения более высокой точности расположения осей обрабатываемых отверстий при использовании одноопорных узлов направления целесообразно применять следующие длины втулок: при зенкеровании в случае $d_{\text{вт}} < 80$ мм $l_{\text{вт}} = 3 d_{\text{вт}} - 4 d_{\text{вт}}$; в случае $d_{\text{вт}} > 80$ мм $l_{\text{вт}} = 2 d_{\text{вт}} - 3 d_{\text{вт}}$; при растачивании $l_{\text{вт}} = 2,5 d_{\text{вт}} - 3,5 d_{\text{вт}}$.

Вылет инструмента l_x в условиях расточных позиций, имеющих плавающее соединение инструмента со шпинделем, обычно назначается в зависимости от диаметра направляющей части инструмента $D_{\text{и}}$ и диаметра расточки $D_{\text{р}}$ и находится в пределах $l_x = 0,3 D_{\text{и}} - 0,6 D_{\text{и}}$ при $D_{\text{р}} > D_{\text{и}}$ и $l_x = 0,55 D_{\text{и}} - 1 D_{\text{и}}$ при

$D_p < D_{и}$. Однако эти нормы не всегда соблюдаются, так как в одной позиции часто обрабатываются отверстия с резко отличающимися размерами D_p из-за ступенчатости отверстий или других специфических условий. Поэтому в экспериментальных исследованиях величина вылета изменялась в пределах $l_x = 0,3 D_{и} - 1,9 D_{и}$.

В одноопорных узлах при направлении во вращающихся и неподвижных втулках любого вида инструмента величину вылета инструмента за торец втулки необходимо рассматривать

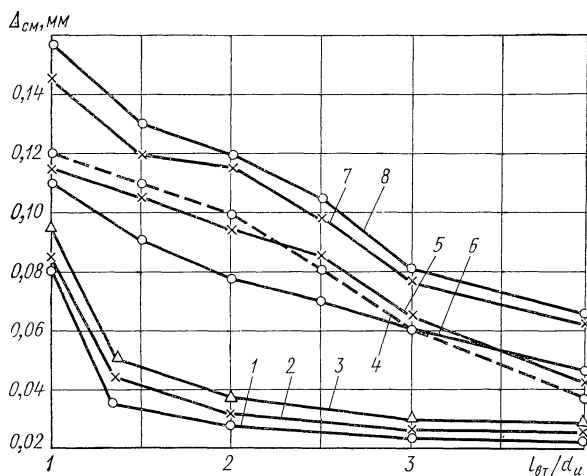


Рис. 89. Схема смещения оси инструмента в зависимости от длины втулки и неравномерности припуска при растачивании (кривые 1—3; $\Delta Z = 0,6$ мм), при зенкеровании (кривые 4, 5; $\Delta Z = 1,5$ мм и 7, 8; $\Delta Z = 3,0$ мм); при развертывании (кривая 6; $\Delta Z = 0,2$ мм). Кривые 1, 6, 8 — для вращающейся втулки; 2, 5 — для неподвижной; 3 — для скользящей втулки

как весьма существенный фактор влияния на точность расположения оси отверстия. При проектировании узла вылет следует ограничивать величиной $l_x = 0,3 d_{вт} - 0,4 d_{вт}$. Следует заметить, что точность расположения осей отверстий при развертывании обеспечивается не предельным уменьшением зазора, а увеличением длины втулки.

В двухопорном узле направления (рис. 90) смещение оси инструмента $O_{и}$ за счет зазоров можно определить относительно оси одной из втулок (оси O_I и O_{II}) или относительно общей оси втулок O_{III} . (При наличии несоосности втулок их общей осью является прямая, соединяющая центры втулок в их средних сечениях по длине O_{III}). Смещение ΔS_I оси инструмента $O_{и}$ за счет зазоров $S_{1(1)}$ и $S_{1(2)}$, с учетом длин втулок $l_{вт(1)}$ и $l_{вт(2)}$ и величины несоосности e отверстий втулок, находится из геометрических соотношений подобных треугольников.

В случае обработки отверстий однолезвийным инструментом его ось при смещении не пересекается с общей осью втулки, и поэтому геометрическое смещение за счет зазора ΔS_1 относительно этой оси не может быть равно нулю. При весьма малой несоосности и равенстве зазоров в обеих втулках ΔS_1 не зависит от длины втулок и вылета режущих инструментов, поскольку является минимально возможной величиной, равной радиальному зазору.

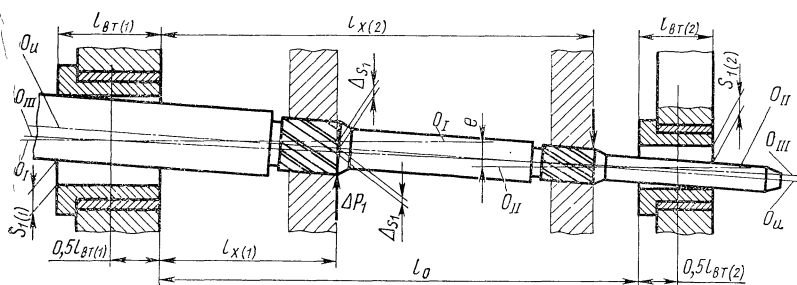


Рис. 90. Схема смещения оси мерного инструмента на зазорах посадки $\frac{A_1}{D_1}$ в двухопорном узле

При обработке номинально соосных отверстий мерными инструментами может возникнуть перекося оси инструмента относительно общей оси втулок (из-за несимметричного распределения припуска), с пересечением осей внутри участка l_0 и с учетом вылета $l_{x(1)}$ или $l_{x(2)}$, может изменять не только величину, но и направление смещения. В случае самого благоприятного сочетания условий направления инструмента, когда нет смещения осей, когда длины обеих втулок и зазоры в них равны между собой, имеет место несоосность отверстий:

$$\Delta S_1 = \frac{S_1}{2} - S_1 \frac{l_{\text{вт}} + l_x}{2l_{\text{вт}} + l_0}. \quad (156)$$

Для других условий, когда $e \neq 0$; $S_{1(1)} \neq S_{1(2)}$ и $l_{\text{вт}1} \neq l_{\text{вт}2}$, величина смещения оси инструмента определяется из соответствующих геометрических связей.

Если в одноопорном узле направления инструмента любой конструкции величина смещения оси инструмента за счет зазора уменьшается при увеличении длины направляющей втулки и уменьшении вылета инструмента, то в двухопорных узлах для уменьшения величины смещения оси отверстия наиболее важно увеличение расстояния между втулками, а увеличение длины втулок и уменьшение вылета имеют меньшее значение. Влияние вылета проявляется только при его значительной ве-

личине ($l_x=80-100$ мм). В двухопорных узлах направления хорошие результаты дают втулки длиной $l_{вт}=1,25 d_{вт}-2,0 d_{вт}$.

Анализ различных методов и схем обработки показывает, что не во всех случаях смещение оси инструмента за счет зазора в направляющей втулке приводит к смещению осей обрабатываемых отверстий. Так, при растачивании отверстия однолезвийным инструментом в обычных условиях это смещение влияет лишь на точность диаметрального размера и погрешность формы, поскольку центр инструмента под действием силы резания описывает окружность радиуса $r=\Delta S_1$. А вот в случае чистового растачивания отверстия большого диаметра, когда усилие резания не превышает 10 кгс, а масса борштанги достигает 50 кг, инструмент все время смещен в одну сторону. Это приводит к направленному смещению оси обрабатываемого отверстия. При обработке зенкером отверстия с неравномерным припуском также возникает одностороннее смещение центра инструмента и соответствующее смещение оси отверстия. Таким образом, при определении влияния зазора S_1 на смещение осей обрабатываемых отверстий необходимо учитывать схему и параметры направления, метод обработки, величину направления и точки приложения действующих сил.

Влияние погрешности вспомогательного инструмента. У борштанг, направляемых в неподвижных и вращающихся втулках, $\Delta_{в.и}=0$, так как ось направляемой поверхности является и осью вращения инструмента. Возможная несоосность посадочной поверхности под мерный режущий инструмент и направляемой наружной поверхности проявляется в радиальном биении мерного инструмента и не отражается на точности расположения оси обрабатываемого отверстия. Погрешности, образующие $\Delta_{в.и}$, присущи только скользящей втулке, так как у нее направляемый элемент отделен от вращающегося вала, несущего инструмент. Для скользящей втулки эта погрешность зависит от ряда погрешностей изготовления деталей: от радиального смещения осей поверхностей самой скользящей втулки (3—17 мкм), от радиальных смещений центров дорожек качения с осей посадочных поверхностей наружных колец переднего и заднего подшипников (3,5—15 мкм), от зазоров посадки подшипников и других факторов. Погрешность вспомогательного инструмента $\Delta_{в.и}$ определяется расчетом размерных цепей теоретико-вероятностным методом. С учетом нормативных величин и отдельных ТУ, величина $\Delta_{в.и}$ для унифицированных типов скользящих втулок может достигать 10—40 мкм. Для других видов инструмента величина геометрического смещения оси режущей части с номинального положения зависит только от зазора и погрешности узла направления.

Влияние погрешности узла направления инструмента. Погрешность узла направления инструмента $\Delta_{у.н}$ характеризуется погрешностью положения осей направляющих втулок либо от-

носителем базовых элементов расточной позиции $\Delta_{у.н}^6$, либо осей других направляющих втулок (например, по межосевому расстоянию $\Delta_{у.н}^м$ или по непараллельности осей втулок $\Delta_{у.н}^{н.п}$). Погрешность $\Delta_{у.н}$ определяется погрешностью расстояния и погрешностью угла поворота оси относительно рассматриваемых элементов. Погрешность узла направления инструмента $\Delta_{у.н}$ возникает вследствие неточностей изготовления и определяется теоретико-вероятностным расчетом размерных цепей, связывающих ось направляющей втулки с базовыми элементами приспособления или осями других втулок.

Для одноопорного узла направления $\Delta_{у.н}$ в общем виде можно представить следующими выражениями:

а) суммарная погрешность узла направления

$$\Delta_{у.н\Sigma} = \sqrt{\Delta_{у.н(в)}^2 + \Delta_{у.н(г)}^2}; \quad (157)$$

б) погрешность узла направления в вертикальной плоскости $\Delta_{у.н(в)}$

$$\Delta_{у.н(в)} = \Delta_{\Sigma(в)} \pm \delta_{\Sigma(в)}; \quad (158)$$

в) погрешность в горизонтальной $\Delta_{у.н(г)}$ координатной плоскости

$$\Delta_{у.н(г)} = \Delta_{\Sigma(г)} \pm \delta_{\Sigma(г)}, \quad (159)$$

где $\Delta_{\Sigma(в)}$, $\delta_{\Sigma(в)}$ — координата середины и половина поля рассеяния смещения оси отверстия направляющей втулки в вертикальном направлении (по Y); $\Delta_{\Sigma(г)}$, $\delta_{\Sigma(г)}$ — то же, в горизонтальном направлении (по X).

Для одноопорного узла (рис. 91) смещение оси отверстия направляющей втулки $O_o - O_o$ относительно базовых элементов определяется при решении уравнений размерных цепей в вертикальной ($в$) и горизонтальной ($г$) плоскостях:

$$\left. \begin{aligned} v_{\Sigma} &= z_1 + v_2 + v_3 + v_4 - v_5; \\ z_{\Sigma} &= z_1 + z_2 + z_3 + z_4 - z_5, \end{aligned} \right\} \quad (160)$$

где $v_1(\delta'_1)$ — размер от опорной поверхности до оси отверстия в корпусе под постоянную втулку; $v_5(\delta'_5)$ — размер между базовой и опорной поверхностями; $z_1(\delta_1)$ — расстояние между осью отверстия под штифт и осью отверстия под неподвижную втулку; $z_5(\delta_5)$ — расстояние между осью отверстия под штифт и установочный палец позиции; v_2 и $z_2(\delta_2)$ — смещение оси наружной и внутренней поверхностей постоянной втулки; v_3 и $z_3(\delta_o$ и $\delta_n)$ — смещение оси отверстия сменной направляющей втулки за счет зазора посадки; v_4 и $z_4(\delta_4)$ — смещение осей на-

ружной и внутренней поверхностей сменной втулки. Поскольку в размерных цепях звенья ϑ_1 и ϑ_5 (z_1 и z_5) представляют собой скалярные ошибки, звенья ϑ_2 и ϑ_4 (z_2 и z_4) — векторные ошибки, звено ϑ_3 (z_3) является зазором, половина поля рассеяния смещения оси направляющей втулки δ_Σ и координата середины Δ_Σ определяются на основании [15; 38] с учетом эксперимен-

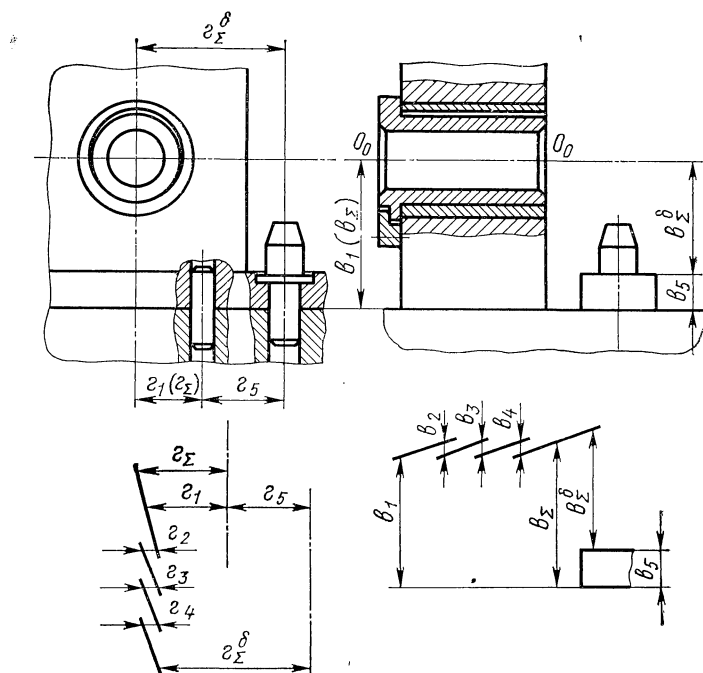


Рис. 91. Схема расчета смещения оси отверстия направляющей втулки

тальных значений коэффициентов α и k [16]. Половина поля рассеяния смещения оси отверстия направляющей втулки в вертикальной и горизонтальной плоскостях

$$\left. \begin{aligned} \delta_{\Sigma(v)} &= \sqrt{1,2^2 (\delta_1')^2 + 1,73^2 (\delta_2^2 + \delta_4^2) + 1,1^2 (\delta_0^2 + \delta_b^2) + 1,4^2 (\delta_5')^2} ; \\ \delta_{\Sigma(r)} &= \sqrt{1,3^2 (\delta_1^2 + \delta_5^2) + 1,73^2 (\delta_2^2 + \delta_4^2) + 1,1^2 (\delta_0^2 + \delta_b^2)} . \end{aligned} \right\} \quad (161)$$

Координата середины поля допуска

$$\Delta_\Sigma = \Delta_1 - \Delta_5 \pm \frac{1}{2} [(\Delta_0 - \Delta_b) - \alpha_{\Sigma(1)} \delta_{\Sigma(2)} - \alpha_{\Sigma(3)} \delta_{\Sigma(3)}] . \quad (162)$$

Здесь Δ_0 и Δ_b — координаты середин полей допусков диаметров сопряженных отверстия и вала; $\delta_{\Sigma(1)}$, $\delta_{\Sigma(2)}$, $\delta_{\Sigma(3)}$ — половины по-

лей рассеяния замыкающего звена под действием скалярных (1) и векторных (2) ошибок и за счет зазора (3); $\alpha_{\Sigma(1)}$, $\alpha_{\Sigma(2)}$, $\alpha_{\Sigma(3)}$ — коэффициенты относительной асимметрии распределения отклонений замыкающего звена под действием скалярных (1) и векторных (2) ошибок и за счет зазора (3). Уравнения (160) без звеньев v_5 и z_5 позволяют определить смещение оси отверстия направляющей втулки O_0-O_0 с номинального положения (замыкающие звенья v_{Σ} , z_{Σ}). Экспериментальные зависимости

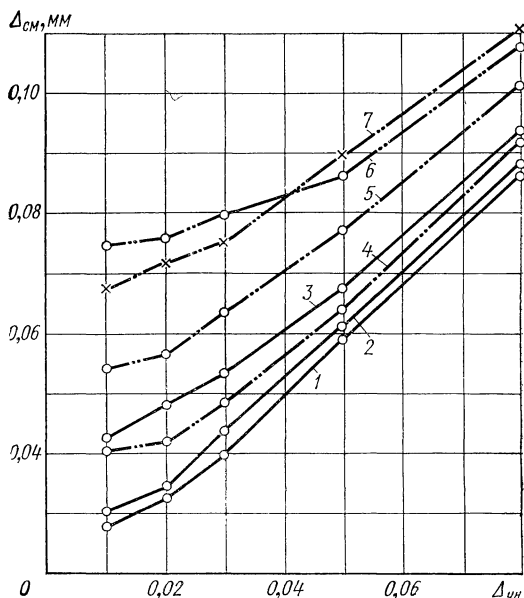


Рис. 92. Зависимость смещения оси отверстия от погрешности узла направления: при растачивании — 1, 2, 3 и зенкерования — 4, 5, 6, 7. Линии 1 и 5 — для обработки алюминиевого сплава Ал-4, остальные для обработки чугуна, 7 — в неподвижной втулке, остальные — во вращающейся. 1, 2, 4 — $\Delta Z = 0,6$ мм, остальные — $\Delta Z = 2$ мм

(рис. 92) свидетельствуют о доминирующем значении погрешности узла направления $\Delta_{ун}$ в образовании погрешности расположения осей обработанных отверстий. Эти зависимости как при зенкеровании, так и при растачивании в первом приближении носят линейный характер.

Для двухопорного узла направления погрешность узла направления $\Delta_{ун(1,2)}$ зависит от погрешностей положения осей отверстий (при неподвижных втулках) или осей вращения направляющих втулок каждой из опор. В двухопорном узле направления типа вращающейся втулки (рис. 93) осью вращения является прямая $I-II$ (рис. 93, б), а величины $\Delta_{ун(1)}$ и $\Delta_{ун(2)}$ оп-

ределяют смещение оси вращения с номинального положения у 1-й и 2-й опор в вертикальной плоскости. Величина $\Delta_{y.n(1,2)}$ на длине вылета l_x определяется из геометрических соотношений и может быть представлена выражением

$$\Delta_{y.n(1,2)} = \sqrt{\Delta_{y.n(1)}^2 + \left(\frac{l_x}{L}\right)^2 e^2} - \frac{l'_x}{L} \Delta_{y.n(1)} e \cos \gamma, \quad (163)$$

где

$$e = \sqrt{\Delta_{y.n(1)}^2 - \Delta_{y.n(2)}^2}; \quad \gamma = \arctg \frac{\Delta_{y.n(2)}}{\Delta_{y.n(1)}},$$

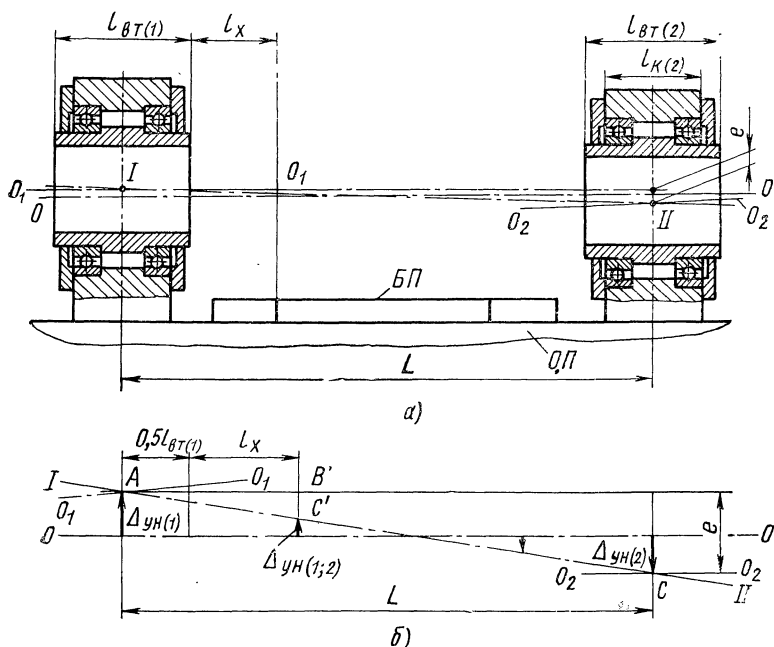


Рис. 93. Погрешность узла направления двухопорного типа:

a — конструктивная схема; *б* — расчетная схема (для вертикальной плоскости). БП — базовая плоскость; ОП — опорная плоскость

l'_x — расстояние от середины 1-й втулки до рассматриваемого сечения $l'_x = l_x + l_{вт.}$

Экспериментальные кривые для двухопорного узла направления свидетельствуют о заметном влиянии на смещение оси обработанного отверстия величины смещения общей оси втулок и незначительном влиянии величины e , характеризующей несоосность отверстий обеих направляющих втулок.

Величина геометрического смещения оси отверстия. Положение оси обрабатываемого отверстия определяется траекторией поступательного перемещения центра вращения режущей точки инструмента на рассматриваемой длине. На эту траекторию оказывают влияние все рассмотренные погрешности, каждая из которых является случайной.

В общем виде геометрическая погрешность

$$\Delta_r = \frac{1}{k_{\Delta(r)}} \sqrt{k_{\Delta y, n}^2 \Delta_{y, n}^2 + k_{\Delta S_1}^2 \Delta S_1^2 + k_{\Delta B, n}^2 \Delta_{B, n}^2}, \quad (164)$$

где k — коэффициенты относительного рассеяния соответствующих погрешностей. Необходимо отметить, что определение величины Δ_r возможно при тщательном анализе конструктивных особенностей расточной позиции и условий обработки отверстий, так как вид погрешности и степень воздействия каждой из погрешностей на суммарную величину зависят от вида режущего инструмента (однолезвийный или многолезвийный) и вспомогательного инструмента (неподвижная, вращающаяся, скользящая втулки). По экспериментальным данным, погрешность узла направления инструмента составляет 30—80% общего баланса геометрических погрешностей. Наиболее эффективное снижение этой погрешности достигается при одновременном ужесточении допусков на координаты, связывающие оси отверстий под направляющие втулки между собой и с базовыми элементами до значений $\pm 0,007$ мм (вместо $\pm 0,01$), уменьшении эксцентриситета втулок и повышении точности наружных колец подшипников качения. Для узла направления типа скользящей втулки смещение оси вращения относительно оси направляющей поверхности может составить 15—30% общей геометрической погрешности. Влияние зазора в балансе геометрических погрешностей изменяется в пределах от 15 до 60% в зависимости от износа элементов сопряжения.

Для повышения точности расположения осей обрабатываемых отверстий весьма важно ужесточить посадку в сопряжении втулка — инструмент и вместо посадки $\frac{A}{D}$ применять при зен-

керования посадку $\frac{A_1}{D_1}$, а при растачивании наряду с посадкой

$\frac{A_1}{D_1}$ применять еще более точные посадки $\left(\frac{A_{09}}{D_{08}}, \frac{A_{08}}{D_{07}} \right)$.

Можно отметить, что использование узла направления типа вращающейся втулки обеспечивает более высокую точность расположения оси, чем неподвижная втулка в сочетании с вспомогательным инструментом в виде скользящей втулки. При этом узел типа вращающейся втулки должен выполняться с максимально возможным расстоянием между подшипниками.

3. Влияние упругих деформаций технологической системы на смещение оси отверстия

При установке заготовки в расточной позиции ось подлежащего обработке отверстия смещается с оси вращения инструмента, вследствие чего процесс обработки протекает при неравномерном распределении величины припуска в поперечном сечении [14]. Величина неравномерности припуска обусловлена смещением оси отверстия, полученным на предшествующем переходе $\Delta_{\text{пр}}$, погрешностью установки $\Delta_{\text{е}}$ заготовки и смещением оси инструмента под влиянием погрешностей от узла направления инструмента. Величина неравномерности припуска

$$\Delta Z = 2a = 2\sqrt{\Delta_{\text{пр}}^2 + \Delta_{\text{е}}^2 + \Delta_{\text{р}}^2}. \quad (165)$$

На рис. 94, а видна взаимосвязь величин при смещении оси инструмента $O_{\text{и}}$ с оси $O_{\text{пр}}$, определяющей положение оси отверстия в заготовке, установленной в рабочей позиции. Окружность радиуса r с центром в точке $O_{\text{и}}$ представляет обрабатываемое отверстие, а окружность радиуса $r_{\text{пр}}$ с центром $O_{\text{пр}}$ вписана в поперечное сечение подлежащего обработке отверстия. Глубина резания будет изменяться по углу поворота φ от величины t_{max} до t_{min} . При этом $t_{\text{max}} = Z_{\text{max}} = t_{\text{н}} + a$; $t_{\text{min}} = Z_{\text{min}} = t_{\text{н}} - a$.

Следует отметить, что величина Z_{min} может дополнительно уменьшаться за счет погрешности формы отверстия $\Delta_{\text{ф}}$, однако этой погрешностью можно пренебречь. Степень неравномерности припуска может быть выражена коэффициентом неравномерности припуска

$$k_{\Delta Z} = \frac{t_{\text{max}}}{t_{\text{min}}} = \frac{Z_{\text{max}}}{Z_{\text{min}}} = \frac{t_{\text{н}} + a}{t_{\text{н}} - a}, \quad (166)$$

где $t_{\text{н}}$ — номинальный припуск; a — величина несовпадения осей инструмента и отверстия заготовки, установленной в позиции для обработки. При обработке отверстия однолезвийным инструментом с неравномерным припуском его ось, находясь в состоянии упругого смещения, описывает некоторую траекторию, которая зависит от изменения припуска по углу поворота и от переменной податливости W расточной позиции при нагружении ее изменяющейся от $P_{R\text{max}}$ до $P_{R\text{min}}$ силой. Величина упругой деформации определяется как разность величин наибольшего и наименьшего смещений:

$$\Delta y = y_{\text{max}} - y_{\text{min}}, \quad (167)$$

при этом $y_{\text{max}} = P_{R\text{max}} W_{P_{R\text{max}}}$; $y_{\text{min}} = P_{R\text{min}} W_{P_{R\text{min}}}$. Описываемая центром инструмента в процессе растачивания траектория несколько отличается от окружности, что и приводит к появлению некруглого отверстия. Как показывают измерения на кругломе-

ре, при обработке резцом появляется овальность (рис. 94, б), наибольшая ось которой располагается в направлении наибольшей силы резания. Направление наибольшей силы образует угол ψ с направлением вектора $\bar{a}$ неравномерности припуска. Заметим, что некруглость значительно меньше величины смещения

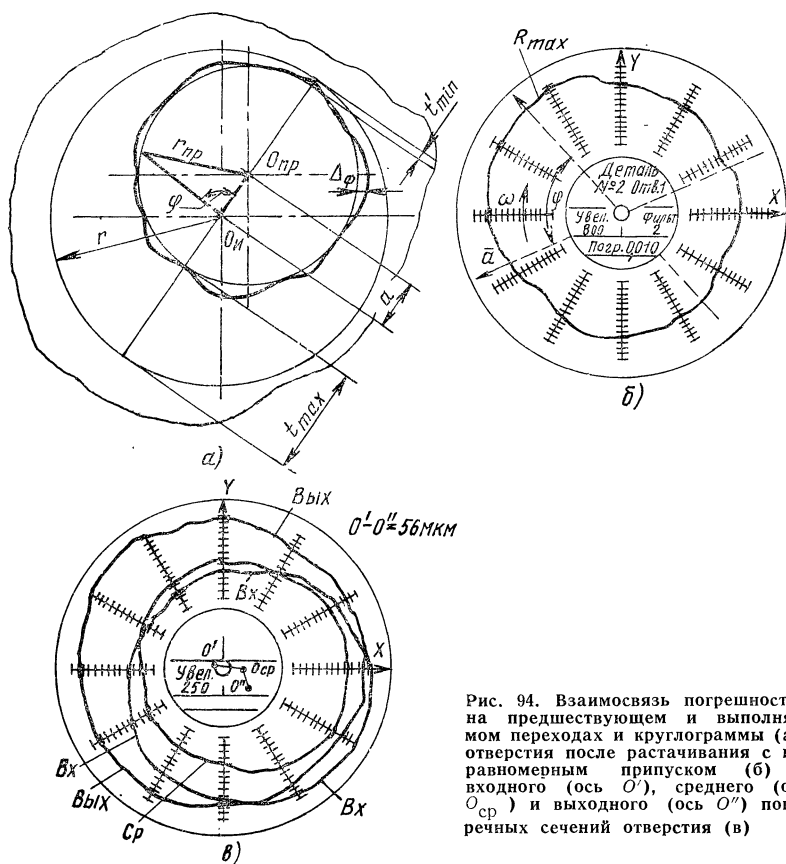


Рис. 94. Взаимосвязь погрешностей на предшествующем и выполняемом переходах и круглограммы (а); отверстия после растачивания с неравномерным припуском (б) и входного (ось O'), среднего (ось $O_{ср}$) и выходного (ось O'') поперечных сечений отверстия (в)

центра отверстия, вызываемого упругой деформацией технологической системы (при обработке с $Z_{ном}=2$ мм и $\Delta Z=1$ мм некруглость не превышает 10 мкм, а смещение оси $\Delta_{см}=55$ мкм).

При обработке отверстий мерным инструментом под влиянием неравномерного припуска появляется неуравновешенная равнодействующая сил резания, вызывающая упругую деформацию технологической системы и, как следствие, — смещение оси обрабатываемого отверстия. В отличие от растачивания резцом, за один оборот многолезвийного инструмента вектор равнодействующей сил резания принимает равные значения не-

сколько раз через определенные угловые промежутки, соответствующие числу зубьев инструмента. Коэффициент неравномерности припуска для многолезвийного инструмента характеризует его неравномерное распределение между режущими зубьями. Этот коэффициент имеет наибольшее значение при обработке четырехзубым зенкером. Соответственно и смещение оси отверстия за счет упругой деформации технологической системы при использовании четырехзубого зенкера в 1,3 раза больше, чем для трехзубого зенкера, и в 2 раза больше, чем для однолезвийного инструмента.

Смещение оси отверстия является векторной величиной и характеризуется не только значением величины, но и направлением. Как величину смещения оси, так и направление смещения на выполняемом переходе можно считать случайными. Это находит обоснование в том, что все составляющие величины смещения (погрешность расположения оси на предшествующем переходе, погрешность установки, смещение на зазоре посадки инструмента во втулке) являются случайными и только погрешность узла направления для данной позиции при данной наладке обладает некоторой стабильностью. Однако в случае, если та или иная погрешность при всех величинах одного порядка приобретает доминирующее значение, то эта погрешность определяет, через создаваемую ею неравномерность припуска, направление смещения оси на выполняемом переходе. Доминирующей погрешностью в производстве может стать, например, погрешность расположения оси отверстия в отливке, величина которой в десятки раз больше величин других составляющих погрешностей.

Как ранее отмечалось, вектор смещения оси обработанного отверстия отклоняется от вектора смещения оси при установке в позиции на угол ψ по ходу вращения инструмента (см. рис. 94, б). Величина этого угла зависит от соотношения величин тангенциальной и радиальной составляющих сил резания и определяется из выражения

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{P_z}{P_y}. \quad (168)$$

Учитывая при проектных разработках этот угол, можно обеспечить получение наименьших смещений в желаемых направлениях. При обработке зенкером, направляемым в одноопорном узле, смещение центра на выходном торце обычно превышает смещение на входном торце. При этом ось отверстия может быть прогнута (при растачивании этой разницы не наблюдается). Круглограммы, приведенные на рис. 94, в, характеризуют смещение осей отверстий при зенкеровании, измеренное в трех сечениях на длине 45 мм. Положение оси определяется ломаной линией $O'-O_{cp}-O''$.

Экспериментальная зависимость величин смещения осей отверстий под влиянием неравномерности припуска характеризует этот фактор как весьма существенный (рис. 95). Влияние конструктивных типов узлов направления на смещение оси отверстий при растачивании характеризуют кривая 8 (скользящая втулка) и кривая 6 (вращающаяся втулка), а при зенкерование кривая 4 (неподвижная втулка) и кривая 2 (вращающаяся втулка). Из сопоставления кривых 6 и 5 для растачивания и кривых 2 и 1 для зенкерования можно видеть влияние

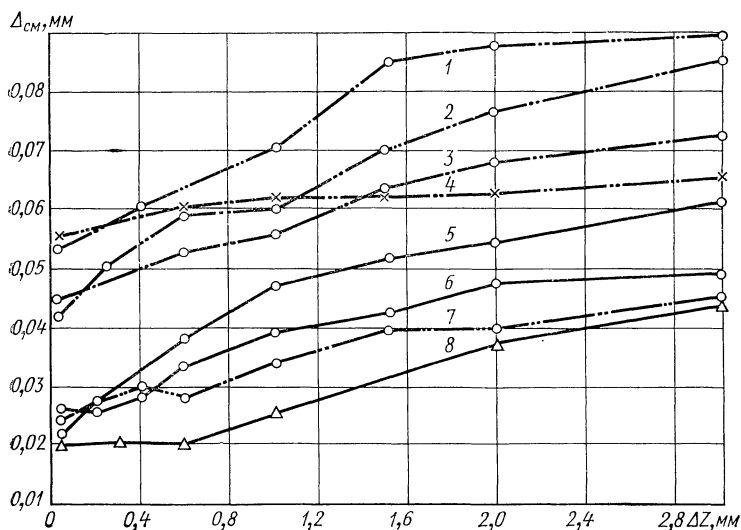


Рис. 95. Зависимость смещения оси отверстия от неравномерности припуска: при растачивании с направлением в одноопорном узле (кривые 8, 6, 5); при зенкеровании с направлением в одноопорном узле (кривые 4, 3, 2, 1) и двухопорном узле (кривая 7)

на величину смещения оси отверстия увеличения зазора в сопряжении втулка — инструмент с 0,025 до 0,05 мм соответственно. Кривая 7 в сравнении с кривой 2 характеризует точностные возможности двухопорного узла направления в сравнении с одноопорным узлом. При обработке заготовок из алюминиевого сплава Ал-4 (кривая 3) смещение осей в сравниваемых условиях (кривая 2) значительно меньше, чем при обработке чугуна. Следует отметить, что в зоне малых величин неравномерности припусков ($\Delta Z < 0,4$ мм) кривые сближаются и пересекаются между собою, характеризуя независимость величины смещения от различных параметров.

При обработке отверстий в условиях неравномерного распределения припуска погрешность расположения их осей существенно зависит от жесткости технологической системы, причем для расточной позиции, имеющей плавающее соединение инст-

румента со шпинделем, жесткость станка не влияет на жесткость системы и зависит только от жесткости приспособления (узел направления инструмента), инструмента и заготовки. Для технологических расчетов обычно вместо характеристики жесткости используется ее обратная величина — податливость W технологической системы. Экспериментальные исследования показали, что податливость заготовок корпусных деталей при рационально выбранной схеме закрепления составляет 1—5% суммы податливости узла направления $W_{у.н}$ и инструмента $W_{и}$; для заготовок из серого чугуна она составляет от 0,003 до 0,015 мкм/кг. Таким образом, в проектных расчетах можно принимать податливость системы $W = W_{у.н} + W_{и}$.

В одноопорных узлах направления типа вращающейся втулки наиболее податливыми элементами являются подшипники качения. Податливость вспомогательного инструмента в одноопорном узле направления определяется из уравнения для прогиба консольной балки, с учетом ступенчатости формы борштанги. В двухопорных узлах образуется взаимосвязанная система узел направления — инструмент, так как деформация инструмента непосредственно передается на узел направления, вызывая смещения и повороты подшипников качения.

Снижение податливости системы весьма важно для повышения точности обработки. Основными технологическими мероприятиями снижения податливости системы является увеличение направляемой части инструмента, сведение к минимуму величины вылета, уменьшение пространства для размещения стружки за счет более точной остановки транспортера. Экспериментальные исследования показали большое влияние зазора S_1 в сопряжении втулка — инструмент на податливость системы, особенно при малых нагрузках, когда происходит «выбирание» зазора. Поэтому получение и сохранение в эксплуатации малых зазоров (до 10—15 мкм) в сопряжении втулка — инструмент приводит к значительному снижению податливости системы.

Величина подачи оказывает влияние на смещение оси обрабатываемого отверстия за счет деформации технологической системы в связи с возрастанием действующих в ней сил. Однако в случае высокой жесткости системы обработка с увеличенными подачами приводит лишь к незначительному росту величины смещения оси. Влияние подачи становится заметным при зенкерованием с использованием одноопорного узла типа вращающейся втулки и при больших зазорах в сопряжении втулка — инструмент.

Таким образом, величина подачи в условиях достаточно высокой жесткости технологической системы не лимитирует достижение точности расположения осей отверстий, а при низкой жесткости снижение подачи может способствовать повышению точности расположения осей, если этот переход не является лимитирующим по производительности.

4. Определение погрешности расположения осей отверстий

Величина смещения оси отверстия. Смещение оси с номинального положения является наиболее общей погрешностью расположения оси отверстия, которая проявляет себя и в других видах погрешности расположения: несоосности отверстий, непараллельности осей, погрешности межосевых расстояний. Смещение оси отверстия определяется суммарным действием геометрического смещения $\Delta_{г.и}$ и смещения от упругих отжатий Δ_y технологической системы: $\Delta_{см} = f(\Delta_{г.и}; \Delta_y)$. Факторы, влияющие на $\Delta_{г.и}$ и Δ_y при плавающем соединении инструмента со шпинделем видны из выражений (151), (165), (167).

В образовании суммарной величины смещения оси действующие факторы, а тем более их удельное значение непостоянны и зависят от метода обработки (чернового и чистового растачивания, зенкерования, развертывания), от типа узла направления инструмента (неподвижная или вращающаяся втулка, одноопорный или двухопорный узел), от типа вспомогательного инструмента (цельная оправка, скользящая втулка), от точности расположения отверстия в заготовке и других факторов. При черновой обработке доминирующее значение принадлежит погрешностям, вызываемым упругими деформациями технологической системы под влиянием усилия резания, а при чистовой обработке доминирующей погрешностью становится погрешность узла направления инструмента. Можно привести следующие ориентировочные данные об удельном значении составляющих величин погрешности смещения оси отверстия при обработке в одноопорных узлах типа вращающейся втулки. При зенкеровании отверстий диаметром 38—50 мм удельное значение упругих отжатий Δ_y составляет 35—45%; геометрических погрешностей от узла направления $\Delta_{y.н}$ — 15—25%; смещение оси инструмента за счет зазора во втулке — 10—15%¹ и погрешности установки заготовки 20—30%. При чистовом развертывании названные погрешности составляют соответственно: 10—20%; 30—40%; 20—35%; 25—35%¹. При чистовом растачивании отверстий диаметром 50—60 мм погрешности Δ_y и ΔS_1 составляют по 10—20%, погрешности $\Delta_{y.н}$ — 40—50%, погрешность $\Delta \epsilon$ — 30—40%¹ суммарной величины смещения. Смещение оси отверстия с номинального положения при зенкеровании с использованием одноопорного узла направления

$$\Delta_{см} = \sqrt{\Delta_y^2 + \Delta S_1^2 + \Delta_{y.н}^2}. \quad (169)$$

При черновом растачивании отверстий однолезвийным инструментом зазор S_1 оказывает влияние на диаметральный размер отверстия, а не на смещение его оси, поэтому $\Delta S_1 = 0$, тогда

$$\Delta_{см} = \sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_{y.н}^2}. \quad (170)$$

При чистовом растачивании и тонком развертывании значение упругих отжатий снижается ($\Delta_y=0$) при возрастании значения зазора

$$\Delta_{\text{см}} = \sqrt{\Delta S_1^2 + \Delta_{y.\text{н}}^2}. \quad (171)$$

Определяя величину смещения оси отверстия относительно баз, необходимо учитывать непосредственное влияние погрешности положения заготовки в позиции при ее установке. Кроме того, погрешность установки оказывает влияние на величину упругого отжатия через неравномерность припуска. Смещение оси отверстия относительно баз определяется по формуле

$$\Delta_{\text{см}}^6 = \sqrt{\Delta_y^2 + \Delta S_1^2 + \Delta \epsilon^2 + \Delta_{y.\text{н}}^2}. \quad (172)$$

Износ элементов расточной позиции, имеющей плавающее соединение инструмента со шпинделем, приводит к снижению точности расположения обрабатываемых отверстий. Износу подвержены все элементы позиции: опорные планки, базирующие и направляющие участки фиксаторов, беговые дорожки колец подшипников и другие. Однако наибольшее влияние на смещение оси обрабатываемого отверстия оказывает износ в сопряжении направляющей втулки и направляемой части инструмента. В связи с тем, что отдельные участки этих сопрягаемых поверхностей при поступательном перемещении периодически выходят из соприкосновения и величина удельного давления изменяется как в осевом, так и в поперечном сечениях, их износ протекает неравномерно. Наблюдениями установлено, что поверхность направляющей втулки изнашивается более интенсивно, чем сопрягаемая часть инструмента, поскольку последний контактирует со втулкой различными своими участками. В одинаковых условиях неподвижные втулки изнашиваются быстрее вращающихся.

В табл. 13 приведены полученные на основе формул (155),

Т а б л и ц а 13

Наибольшие предельные величины зазора S_1 в сопряжении втулка — инструмент для обеспечения точности расположения оси отверстия $\Delta_{\text{см}}$, мм

Диаметр сопряжения d_0	Длина втулки $l_{\text{вт}}$	Длина вылета инструмента l_x	Погрешность угла направления $\Delta_{y.\text{н}}$	Смещение $\Delta_{\text{см}}$ при начальном зазоре (посадка $\frac{A_{08}}{D_{07}}$)	Предельные величины зазоров S_1 при величине смещения оси отверстия $\Delta_{\text{см}}$			
					0,05	0,06	0,07	0,08
20—30	140	40	0,031	0,044	0,022	0,036	0,052	0,064
30—50	170	60	0,034	0,048	0,018	0,032	0,047	0,060
50—60	200	75	0,038	0,054	—	0,030	0,038	0,057

(157), (165), (169) для конкретных условий наибольшие предельные максимальные величины зазоров S_1 в сопряжении направляющая втулка — инструмент, допускаемые определенными величинами смещения оси отверстия с номинального положения.

В табл. 13 составлена для одноопорного узла направления типа вращающаяся втулка. Направляющая втулка смонтирована на конических роликоподшипниках.

Погрешность узла направления инструмента $\Delta_{у.н}$ находим решением размерных цепей по формуле (161) при следующих отклонениях: $\delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = \delta_4 = \pm 0,01$ мм и при следующих величинах радиального биения наружных колец подшипников $\delta_5 = 0,012$ для $d_o = 20 \div 30$ мм; $0,017$ мм для $d_o = 30 - 50$ мм и $0,02$ мм для $d_o = 50 - 60$ мм.

Смещение оси инструмента, вызываемое упругими деформациями системы Δ_y , определялось для обработки деталей из чугуна ($HV\ 200$) четырехзубым зенкером при подаче для указанных диапазонов d_o , равной $0,9$; $1,2$ и $1,5$ мм/об, и смещении оси отверстия на предшествующем переходе $\Delta_{пр} = 0,5 \div 0,8$ мм; в расчете учтена $\Delta_y = 0,017 \div 0,02$ мм. Начальный зазор сопряжения направляющая втулка — инструмент принят по посадке $\frac{A_{08}}{D_{07}}$ ГОСТ 11472—69 (наибольшие зазоры для указанных диа-

пазонов d_o составляют $S_{\max} = 0,009$; $0,015$; $0,017$). Приняв величину допускаемого смещения оси отверстия с номинального положения $\Delta_{см}$, определяем предельно допускаемые величины зазоров S_1 в сопряжении направляющая втулка — инструмент.

Погрешность межосевого расстояния отверстий. При зенкеровании двух отверстий в одной позиции, с использованием одноопорных узлов направления, погрешность межосевого расстояния $\Delta_{мор}$ зависит от погрешности узла направления по межосевому расстоянию $\Delta_{мор(у.н)}$, смещения осей 1-го и 2-го инструментов за счет зазоров $\Delta S_{1(1)}$ и $\Delta S_{1(2)}$ от упругих деформаций $\Delta_{y(1)}$ и $\Delta_{y(2)}$:

$$\Delta_{мор} = \pm \sqrt{\Delta_{мор(у.н)}^2 + \Delta S_{1(1)}^2 + \Delta_{y(1)}^2 + \Delta S_{1(2)}^2 + \Delta_{y(2)}^2}. \quad (173)$$

При растачивании отверстий однолезвийным инструментом в одноопорном узле направления

$$\Delta_{мор} = \pm \sqrt{\Delta_{мор(у.н)}^2 + \Delta_{y(1)}^2 + \Delta_{y(2)}^2}. \quad (174)$$

Погрешность межосевого расстояния двух отверстий, обработанных зенкерованием в двух позициях (каждое отдельно), должна учитывать смещение осей обоих отверстий и погрешность установки заготовки:

$$\Delta_{мор} = \pm \sqrt{\Delta_{смI}^2 + \Delta_{смII}^2 + \Delta \varepsilon^2}, \quad (175)$$

здесь $\Delta_{смI}$ и $\Delta_{смII}$ — величины смещений осей отверстий с номинального расположения I отверстия, обработанного в одной

позиции, и II отверстия, обработанного в другой позиции; величины определяются из выражения (169); $\Delta \varepsilon$ — погрешность установки заготовки во второй позиции. Погрешность межосевого расстояния двух отверстий, обработанных в разных позициях, значительно больше, чем при обработке в одной позиции.

Несоосность отверстий. Несоосность двух отверстий, обрабатываемых двумя зенкерами (или двумя резцами) на одной оправке в двухопорном узле, зависит от упругих деформаций технологической системы. Величина несоосности определяется из выражения

$$\Delta_{\text{нс}} = \sqrt{\Delta_{y(1)}^2 + \Delta_{y(2)}^2} . \quad (176)$$

Несоосность двух отверстий, обработанных зенкерованием в одной позиции с двух сторон в одноопорных узлах направления

$$\Delta_{\text{нс}} = \sqrt{\Delta_{\text{нс}(y.н)}^2 + \Delta_{y(1)}^2 + \Delta S_{I(1)}^2 + \Delta_{y(2)}^2 + \Delta S_{I(2)}^2} , \quad (177)$$

здесь $\Delta_{\text{нс}(y.н)}$ — несоосность узлов направления в позиции; $\Delta_{y(1)}$ и $\Delta_{y(2)}$ — смещение осей 1-го и 2-го отверстий от упругих деформаций; $\Delta S_{I(1)}$ и $\Delta S_{I(2)}$ — смещение осей отверстий за счет зазора S_1 .

Назначение точностных параметров. Приведенные формулы для определения величины смещения оси отверстия позволяют определить любой, входящий в них параметр, решив уравнение относительно этого параметра. Так, например, задавшись величиной допускаемого смещения оси $\Delta_{\text{см}} = \Delta_{\text{см(доп)}}$ и подставив его в формулу (169), можно определить погрешность одноопорного узла направления инструмента для обработки зенкером:

$$\Delta_{y.н} = \sqrt{\Delta_{\text{см(доп)}}^2 - (\Delta S_1^2 + \Delta_y^2)} . \quad (178)$$

Пользуясь формулами (157) — (162), можно, на основе расчета размерных целей, определить допуски на звенья, составляющие общую погрешность узла направления инструмента. Аналогично могут быть определены допускаемая величина зазора и предельно допускаемые точностью обработки значения упругих отжатий. Здесь необходимо еще раз отметить отрицательное воздействие на точность обработки систем поверхностей двух эксплуатационных факторов: недопустимого возрастания величины погрешности установки заготовок в позициях автоматических линий и низкой точности размеров черных заготовок. Для уменьшения отрицательного влияния неравномерности припуска в поперечном сечении обрабатываемого отверстия на точность расположения его оси необходимо устанавливать допуск на расположение оси отверстия в литой заготовке в пределах до 0,7 допуска на его диаметральный размер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация и механизация производственных процессов в машиностроении. — Сборник МВТУ им. Баумана под ред. Г. А. Шаумяна. М., «Машиностроение», 1967, 388 с.
2. Автоматические линии с приспособлениями-спутниками для механической обработки. Обзор. Станкостроение. НИИМаш, М., 1972.
3. Бахарев В. Ф. Влияние основных геометрических погрешностей станка и инструментальной наладки сверлильной позиции автоматической линии на точность сверления координированных отверстий. — «Известия вузов. Машиностроение», 1964, № 11, с. 116—128.
4. Борисов В. Б. О выборе оптимальной длины кондукторной втулки при обработке отверстий на агрегатных станках. «Известия вузов. Машиностроение», 1970, № 12, с. 167—170.
5. Борисов В. Б., Петров М. В. К вопросу о взаимосвязи между смежными технологическими переходами при обработке систем отверстий на агрегатных станках. «Известия вузов. Машиностроение», 1969, № 3, с. 134—137.
6. Бородачев Н. А. Анализ качества и точности производства. Машгиз, 1946, 252 с.
7. Владзиевский А. П. Автоматические линии в машиностроении. Машгиз, 1958, 340 с.
8. Волчкевич Л. И. Надежность автоматических линий. М., «Машиностроение», 1969, 308 с.
9. Воробьев Ю. А. Точность деталей, получаемых литьем и прессованием из цветных сплавов и пластмасс. М., Машгиз, 1963, 176 с.
10. Вороничев Н. М., Генин В. Б., Тартаковский Ж. Э. Автоматические линии из агрегатных станков. М., «Машиностроение», 1971, 552 с.
11. Воронцов Г. В. Прочность и устойчивость сжато-изогнутых стержней и плоских рам. Новочеркасск, 1959, 162 с.
12. Грановский Г. И., Баклунов Е. Д., Панченко К. П. Стабильность работы режущего инструмента на автоматических линиях. Автоматизация и механизация производственных процессов в машиностроении. Под ред. Г. А. Шаумяна. М., «Машиностроение», 1967, 62—85 с.
13. Деев О. М. Смещение осей отверстий обрабатываемых на агрегатно-расточных станках, имеющих плавающее соединение инструмента со шпинделем. «Известия вузов. Машиностроение», 1972, № 9, с. 161—166.
14. Деев О. М., Никадимов Е. Ф. Производственные исследования для установления взаимосвязи точности обработки с точностным состоянием агрегатных станков. — «Известия вузов. Машиностроение», 1972, № 4, с. 164—170.
15. Дунаев П. Ф. Размерные цепи. Машгиз, 1963, 308 с.
16. Дунаев П. Ф. Уточненный расчет подшипников скольжения жидкостного трения. — «Известия вузов. Машиностроение», 1965, № 9.
17. Ишуткин В. И. Технологическая надежность системы СПИД. М., «Машиностроение», 1973, 126 с.

18. Комиссаров В. И., Леонтьев В. И., Старостин В. Г. Размерная на-стройка универсальных металлорежущих станков. М., «Машиностроение», 1968, 207 с.
19. Конструкция и наладка автоматических линий из специальных станков. М., «Высшая школа», 1969, 255 с. Авт.: Л. С. Брон, С. Н. Власов, К. Н. Константинов, А. П. Никольский, С. Ш. Френкель, Б. И. Черпаков.
20. Кораблев П. А. Обработка на агрегатных станках в приборостроении. М., Машгиз, 1960, 167 с.
21. Корсаков В. С. Точность механической обработки. М., Машгиз, 1961, 379 с.
22. Корсаков В. С. Основы конструирования приспособлений в машиностроении. М., «Машиностроение», 1971, 288 с.
23. Косилова А. Г. Технологическое исследование автоматических линий. — «Известия вузов. Машиностроение», 1962, № 9, с. 15—19.
24. Косилова А. Г. Особенности достижения точности при обработке на автоматических линиях. — В сб.: «Автоматизация и механизация производственных процессов в машиностроении» под ред. Г. А. Шаумяна. М., «Машиностроение», 1967, с. 86—98.
25. Косилова А. Г., Никадимов Е. Ф., Борисов В. Б. Расчет погрешности координат отверстий при многопереходной обработке на автоматических линиях. — «Известия вузов. Машиностроение», 1971, № 6, с. 174—177.
26. Косилова А. Г., Никадимов Е. Ф., Борисов В. Б. Расчет точности межосевых расстояний отверстий при обработке на агрегатных станках. — «Известия вузов. Машиностроение», 1971, № 7, с. 194—198.
27. Косилова А. Г., Никадимов Е. Ф., Орловский В. А. Повышение точности обработки корпусных деталей. — «Вестник машиностроения», 1972, № 12, с. 51—54.
28. Круглов В. А. Достижение высокой точности обработки на агрегатных станках. — «Вестник машиностроения», 1969, № 1.
29. Курош А. Г. Курс высшей алгебры. М., Изд-во «Наука», 1968, 432 с.
30. Меламед Г. И., Цветков В. Д., Айзман Д. С. Агрегатные станки. М., Машгиз, 1964, 423 с.
31. Никадимов Е. Ф. Анализ погрешностей метода выверки на соосность шпинделей и кондукторных втулок агрегатных станков с помощью индикаторов. — «Известия вузов. Машиностроение», 1967, № 5, с. 119—123.
32. Никадимов Е. Ф. Исследование условий работы режущих инструментов и кондукторных втулок при обработке отверстий на автоматических линиях. — «Известия вузов. Машиностроение», 1967, № 8, с. 119—124.
33. Огородников В. В., Никадимов Е. Ф. О характере износа кондукторных втулок на агрегатных станках сверлильной группы. — «Известия вузов. Машиностроение», 1972, № 1, с. 177—181.
34. Огородников В. В. Исследование влияния износа кондукторных втулок на положение осей обрабатываемых отверстий. — «Известия вузов. Машиностроение», 1972, № 2, с. 164—167.
35. Орловский В. А. О состоянии базовых отверстий корпусных деталей при многопереходной обработке. — «Известия вузов. Машиностроение», 1971, № 7, с. 190—193.
36. Основы технологии машиностроения. М., «Машиностроение», 1965, 492 с. Авт.: В. М. Кован, В. С. Корсаков, А. Г. Косилова и др.
37. Расчеты на прочность в машиностроении. Т. 1. М., Машгиз, 1956, 884 с. Авт.: С. Д. Пономарев, В. Л. Биберман, К. К. Лихарев и др.
38. РТМ 44—62. Методика статистической обработки эмпирических данных. М., Стандартгиз, 1963.
39. Соколовский А. П. Научные основы технологии машиностроения. М., Машгиз, 1955, 515 с.
40. Солонин И. С. Математическая статистика в технологии машиностроения. М., «Машиностроение», 1972, 215 с.
41. Справочник технолога-машиностроителя. М., «Машиностроение», 1972, Т. 1, 694 с.; Т. 2, 568 с.

42. Стрельцов В. А. Влияние неуравновешенной радиальной силы на точность отверстий при развертывании.—«Вестник машиностроения», 1965, № 11.
43. Стрельцов В. А., Кравцов В. И. К вопросу исследования точности геометрической формы и расположения оси отверстия при развертывании.—«Труды Фрунзенского политехнического института», Фрунзе, 1968, Вып. 32, с.
44. Фрумин Ю. Л. Вспомогательный инструмент к агрегатным станкам и автоматическим линиям. М., «Машиностроение», 1970, 136 с.
45. Шаумян Г. А., Кузнецов М. М., Волчеквич Л. И. Автоматизация производственных процессов. М., «Высшая школа», 1967, 470 с.
46. Шаумян Г. А. Комплексная автоматизация производственных процессов. М., «Машиностроение», 1973, 639 с.
47. Шулешкин А. В. Базирование корпусных деталей при обработке. «Автоматизация процессов в машиностроении», Т. III. М., Изд-во АН СССР, 1963.
48. Эрпшер Ю. Б. Требования к точности многшпиндельных станков.—«Станки и инструменты», 1966, № 4.
49. Якушев А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. М., «Машиностроение», 1975, 471 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава I. Точность действующих технологических процессов	5
1. Роль технологического процесса в автоматизированном производстве	5
2. Точностные задачи обработки корпусных деталей на автоматических линиях	7
3. Технологическое исследование автоматических линий	17
4. Точность заготовок корпусных деталей	26
5. Точность установки заготовок для обработки	31
6. Точность приспособлений-спутников	35
7. Геометрическая точность позиций автоматических линий	37
8. Размерная настройка технологических процессов	50
9. Точность обработки плоских поверхностей	55
10. Обработка координированных отверстий	65
11. Точность обработки крепежных отверстий	68
12. Точность осевых размеров отверстий	69
13. Обработка торцовых поверхностей	73
Глава II. Установка заготовок для обработки	73
1. Установка в позиционных приспособлениях автоматических линий	73
2. Установка заготовок на автоматических линиях со спутниками	100
Глава III. Точность расположения осей отверстий при обработке инструментом, жестко связанным со шпинделем и направляемым в кондукторных втулках	116
1. Анализ факторов, влияющих на величину смещения осей при обработке	116
2. Сущность и методика экспериментальных исследований	121
3. Определение величины геометрического смещения оси инструмента	125
4. Определение влияния упругих отжатий технологической системы на смещение оси отверстия	140
5. Назначение требований к величине несовпадения осей шпинделя и кондукторной втулки	150
6. Определение величины смещения оси отверстия с номинального положения	160
7. Износ кондукторных втулок и его влияние на точность расположения осей обрабатываемых отверстий	170
8. Точность обработки соосных отверстий	186
9. Точность межосевых расстояний отверстий	193
Глава IV. Точность расположения осей отверстий, обработанных при плавающем соединении инструмента со шпинделем	199
1. Факторы, влияющие на смещение осей обрабатываемых отверстий	199
2. Влияние геометрических факторов на смещение оси отверстия	199
3. Влияние упругих деформаций технологической системы на смещение оси отверстия	212
4. Определение погрешности расположения осей отверстий	217
Список литературы	221

Александра Григорьевна Косилова

ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ

Редактор издательства А. А. Степанова
Технический редактор И. В. Завгородняя
Корректор И. М. Борейша
Переплет художника Е. Н. Волкова

Сдано в набор 17/III 1976 г. Подписано к печати 16/VI 1976 г. Т-12130 Формат 60×90^{1/16}
Бумага типографская № 1 Усл. печ. л. 14,0 Уч.-изд. л. 14,45 Тираж 10 000 экз.
Заказ № 1817 Цена 88 коп.

Издательство «Машиностроение». Москва, Б-78, 1-й Басманный пер., д. 3.

Московская типография № 6 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.

109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.