



Н.В. Беляков, М.И. Жемчужный, Е.И. Махаринский

## Погрешность установки при механической обработке заготовок

Одним из ключевых понятий теории базирования в машиностроении является понятие погрешности базирования и погрешности установки, т.к. именно базирование и установка обеспечивают заданную точность взаимного расположения компонентов детали. Это особенно важно при обработке на настроенных станках с автоматическим получением размеров.

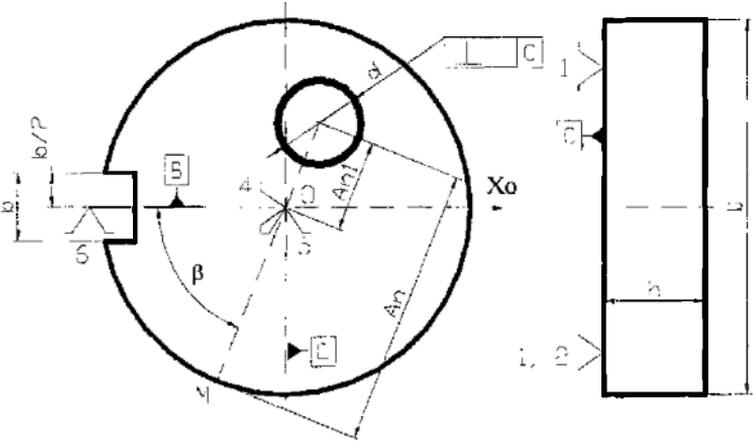
Задача создания САПР ТП связана с необходимостью поднятия технологической науки на качественно новый уровень развития, соответствующий превращению ее в формализованную, точную науку. Это положение применимо, в частности, и к теории базирования. Однако анализ работ по теории базирования разных авторов показывает разнообразие терминологии и различия толкования понятий «базирование» и «установка», «погрешность базирования» и «погрешность установки» [1–9]. К сожалению, упомянутые формулировки не пригодны для формализованного синтеза модели технологического процесса механической обработки (особенно корпусных деталей).

Необходимые для формализации процедур синтеза схем базирования и установки заготовок при механической обработке понятия «проектного базирования» и «установки» сформулированы в работах авторов [10, 11].

Важной частью синтеза модели технологического процесса механической обработки является разработка модели установки. Процесс разработки **модели установки** при механической обработке разделяется на три стадии: 1. Разработка *теоретической схемы базирования*. 2. Разработка *теоретической схемы установки*. 3. Разработка (или выбор) *конструктивной модели приспособления*. Цель разработки теоретической схемы базирования, т.е. проектного базирования – определение ориентации обрабатываемых элементов геометрической модели заготовки (ГМЗ) относительно ее других компонентов. Ориентация обрабатываемых элементов осуществляется созданием декартовой системы координат на поверхностях ГМЗ. Декартову систему координат логично назвать собственной или базовой (ССК). На этапе разработки **теоретической схемы установки** моделируется расположение точек контакта идеализированных моделей реальных поверхностей с геометрическими моделями установочных элементов приспособления. Эти точки логично называть опорными. Модель расположения опорных точек описывает новую *установочную систему координат* (УСК). При переходе от первой стадии проектирования к последней происходит наращивание объема информации о реальном процессе установки.

**Теоретическая схема базирования** должна быть спроектирована таким образом, чтобы плоскости (оси) ССК совпадали с теми номинальными компонентами геометрической модели заготовки (ГМЗ), от которых заданы расстояния и относительные повороты обрабатываемых поверхностей. Однако могут

иметь место ситуации, когда из-за некорректной простановки размеров или по другим причинам невозможно расположить номинальные компоненты ГМЗ на плоскостях или осях ССК. В таких случаях возникают условия появления погрешности схемы базирования. Под погрешностью схемы базирования будем понимать поле рассеяния отклонений положения ССК от заданного при разработке схемы базирования. Эти отклонения вызваны погрешностями размера или угла, полученного на предыдущей операции.



**Рис. 1. Иллюстрация условий для проявления погрешности схемы базирования по размеру.**

Пример указанной ситуации приведен на рис. 1. Положение оси обрабатываемого отверстия определяется углом  $\beta$ , который откладывается от плоскости Б, перпендикулярной установочной базе (плоскость С), и расстоянием  $A_n$ , которое откладывается от наружного диаметра ГМЗ. Плоскость Б будет направляющей базой. Провести третью плоскость ССК через точку М, для обеспечения размера  $A_n$ , невозможно. Поэтому эту плоскость ССК (Е) следует провести через точку О. Размер  $A_n$  зависит от фактического значения радиуса детали и колеблется в пределах допуска. Погрешность схемы базирования проявляется как случайная величина, так как причина, ее порождающая (погрешность размера  $D$ ), тоже является случайной величиной. Тогда погрешность схемы базирования

$$\Delta_{сб}(A_n) = TD/2.$$

Если задать размер  $A_{n1}$  вместо  $A_n$ , то условий для появления погрешности схемы базирования не будет.

На этапе проектирования **теоретической схемы установки** нужно обеспечить контакт технологических баз с моделями установочных компонентов (сформировать опорные точки), тем самым определив положение УСК. Однако это возможно далеко не всегда, особенно если технологические базы являются скрытыми. Тогда возникают условия для появления погрешности схемы установки. Погрешностью схемы установки будем называть поле рассеяния отклонений положения установочной системы координат от заданного при разработке схемы установки.

Например, на операции фрезерования выполняются размеры  $A_d$  и  $B_d$  (рис. 2), для чего режущие кромки фрезы устанавливаются относительно компонентов УСК на расстояния, соответствующие размерам настройки  $A_n$  и  $B_n$ .

Другие погрешности обработки, возникающие по разным причинам, в данной задаче не учитываются. При выполнении размера  $A_2$  (параллельно оси  $X$ ) ось  $Y_y$  УСК не совпадает с осью  $Y_o$  ССК. Следовательно, условия для возникновения погрешности схемы установки по этому размеру имеются. До рассматриваемой операции в направлении оси  $X$  выполнен размер  $d$  с допуском  $Td$ . Поскольку размер настройки  $A_n$  остается постоянным для всей обрабатываемой партии деталей и другие погрешности в данной задаче не учитываются, то  $A_\Delta$  может изменяться только в зависимости от размера  $d$  в пределах допуска  $Td$ , а также допуска на изготовление пальца.

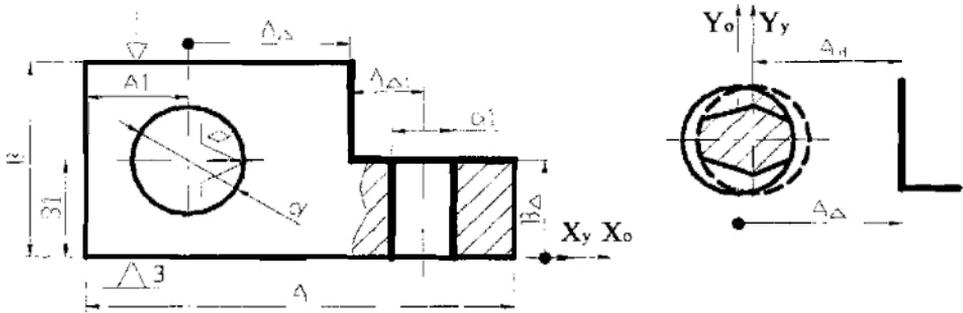


Рис. 2. Схема обработки.

Погрешность схемы установки проявляется как случайная величина. Принято считать, что погрешность схемы установки – симметричная случайная величина, которая подчиняется нормальному закону распределения с математическим ожиданием, равным нулю. Тогда ее характеристикой будет максимально возможное поле рассеяния, в рассматриваемом случае  $Td$  и верхнее отклонение пальца. Следовательно, можно записать

$$\Delta_{cy}(A_\Delta) = Td + BO(d_n),$$

где  $Td$  – допуск диаметра отверстия,  $BO(d_n)$  – верхнее отклонение диаметра ромбического пальца.

При выполнении размера  $B_\Delta$  параллельно оси  $Y$  оси  $X_o$  (ССК) и  $X_y$  (УСК) совпадают. Следовательно, условий для возникновения погрешности схемы установки нет. Действительно, случайные погрешности размеров  $B$  и  $B_1$  не влияют на размер  $B_\Delta$ .

При обработке нескольких поверхностей на одной установке только по отношению к одной поверхности определяется погрешность схемы установки, и эта поверхность далее служит настроечной базой. По размеру  $A_{\Delta 1}$  погрешности схемы установки не будет

$$\Delta_{cy}(A_{\Delta 1}) = 0.$$

Очень часто погрешность схемы установки зависит не от одного, а от нескольких размеров. В таком случае для линейной размерной цепи:

$$\Delta_{cy}(A_n) = \lambda_n \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} (TA_i / \lambda_i)^2},$$

где  $\lambda_i$  для нормального закона распределения равен 3, а для закона равной вероятности – 1,732.

Последним выражением предлагается пользоваться при  $n > 3$  (если погрешности составляющих звеньев распределены по нормальному закону) и

при  $l > 6$  (если погрешности составляющих звеньев распределены по закону равной вероятности).

Погрешность схемы установки для плоской размерной цепи определяется так же, как и для многозвенной линейной цепи. Отличие состоит только в том, что все звенья плоской размерной цепи необходимо спроектировать на направление вектора замыкающего звена.

Рассмотрим установку по наружной цилиндрической поверхности при помощи призмы для обработки отверстия диаметром  $d$ . Кроме того, должны быть выдержаны размер  $A_{л1}$  и угол  $\beta$  (рис. 3). До рассматриваемой операции были обработаны наружный диаметр  $D$  с допуском  $TD$ , шпоночный паз шириной  $b$  с допуском  $Tb$ . Схема базирования изображена на рис. 1. Соответствующая схема установки, расчетная схема и размерные цепи для расчета погрешности схемы установки показаны на рис. 3.

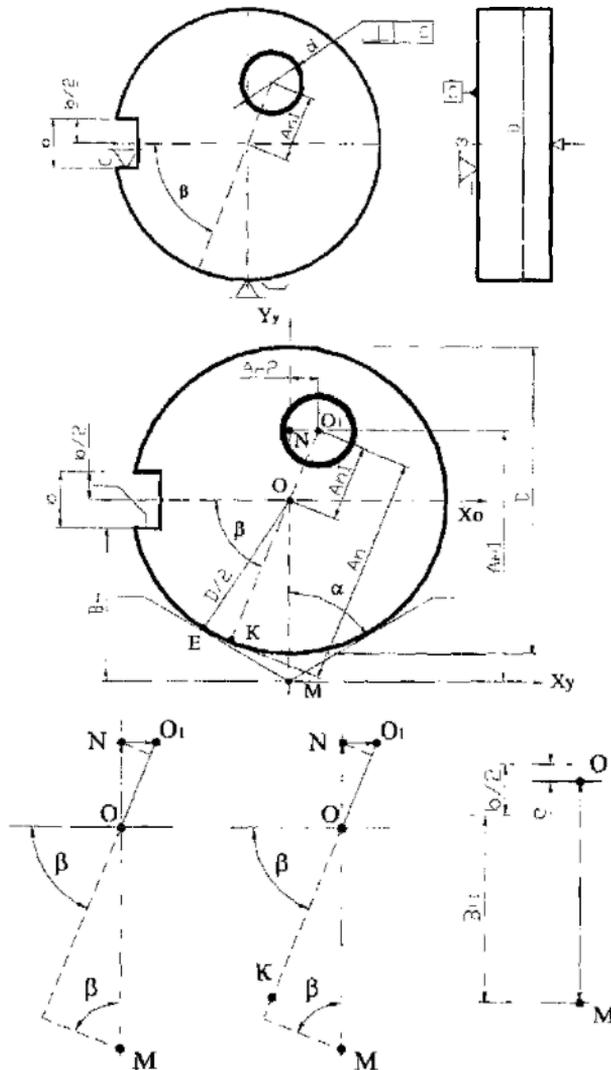


Рис. 3. Схема установки, расчетная схема и размерные цепи для определения погрешности схемы установки.

Уравнение первой плоской размерной цепи, показанной на рис. 3, имеет вид:

$$A_{н1} \sin \beta + A_{н2} \cos \beta = A_{н1} + OM \sin \beta,$$

где  $OM = D / (2 \cdot \sin \alpha)$ .

Тогда

$$A_{н1} = A_{н1} \sin \beta + A_{н2} \cos \beta - D \sin \beta / (2 \sin \alpha).$$

Дифференцированием по  $D$  получаем

$$d(A_{н1}) = dD \cdot \sin \beta / (2 \sin \alpha).$$

Размеры  $A_{н1}$ ,  $A_{н2}$  и  $\beta$  от размера  $D$  не зависят. Поэтому заменив дифференциал малыми погрешностями, погрешность схемы установки по размеру  $A_{н1}$  можно определить с помощью модели:

$$\Delta_{cy}(A_{н1}) = TD \cdot \sin \beta / (2 \sin \alpha).$$

Из второй размерной цепи получаем

$$A_{н1} \sin \beta + A_{н2} \cos \beta = A_n - D / 2 + OM \sin \beta.$$

Погрешность схемы установки по размеру  $A_n$  можно определить с помощью модели

$$\Delta_{cy}(A_n) = TD / 2 + TD \cdot \sin \beta / (2 \sin \alpha).$$

В этом случае погрешность схемы установки включает в себя соответствующую погрешность схемы базирования.

Уравнение третьей размерной цепи, показанной на рис. 3, имеет вид:

$$B_i + b / 2 = e + OM = e + D / (2 \sin \alpha),$$

где  $e$  – смещение оси цилиндра, вызванное погрешностью размеров  $D$  и  $b$ . Тогда дополнительный поворот заготовки (погрешность схемы установки по углу  $\beta$ ) будет.

$$\Delta_{cy}(\beta) = e / (D / 2) = (TD / \sin \alpha + Tb) / D.$$

Таким образом, погрешность модели установки заготовки необходимо определять по формуле:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_{cy}^2 + \Delta_z^2 + \Delta_{np}^2},$$

где  $\Delta_{cy}$  – погрешность схемы установки,  $\Delta_z$  – погрешность закрепления

заготовки, возникающая в результате действия сил зажима,  $\Delta_{np}$  – погрешность положения заготовки, зависящая от приспособления.

Указанный вариант модернизации положений теории базирования хорошо согласуется с требованиями к формализации процедур синтеза схем базирования и установки [12–13].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Байор Б.Н. О развитии методологии базирования // СТИН, 2000, № 3. – С. 24–26.
2. Емельянов В.Н. О разработке теоретических схем базирования // СТИН, 2002, № 1. – С. 32–34.
3. ГОСТ 21495-76. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. – М., 1976. – 35 с.

4. **Клевцов В.А., Муцянюк В.И., Бородинский В.И., Серогодская Н.Я.** Базирование в проблеме разработки АСТПП // Технологические исследования и разработки в системах автоматизированного проектирования. – Владивосток, 1980. – С. 32–43.
5. **Технологические основы гибких производственных систем:** Учеб. для машиностроит. спец. вузов / **В.А. Медведев, В.П. Вороненко, В.Н. Брюханов и др.**, под ред. **Ю.М. Соломенцева**. – 2-е изд., испр. – М., 2000. – 255 с.
6. **Балакшин Б.С.** Основы технологии машиностроения. – М., 1966. – 556 с.
7. **Базров Б.М.** Выбор баз для установки сменных элементов системы СПИД // СТИН, 1982, № 5. – С. 24.
8. **Проектирование технологии:** Учебн. для вузов / **И.М. Баранчукова, А.А. Гусев, Ю.Б. Крамаренко и др.**, под ред. **Ю.Б. Соломенцева**. – М., 1990. – 416 с.
9. **Проектирование технологических процессов в машиностроении:** Учебное пособие для вузов / **И.П. Филонов, Г.Я. Беляев, Л.М. Кожуро и др.**, под общ. ред. **И.П. Филонова**. – Мн., 2003. – 910 с.
10. **Беляков Н.В., Махаринский Е.И., Махаринский Ю.Е.** Направление развития теории базирования // Вестник учреждения образования «Витебский государственный технологический университет». Пятый выпуск. – Витебск, 2003. – С. 54–59.
11. **Беляков Н.В., Махаринский Е.И.** Понятие теории базирования при механической обработке // Машиностроение: Сб. научн. трудов. Вып. 19 / Под ред. **И.П. Филонова**. – Мн., 2003. – С. 7–12.
12. **Беляков Н.В., Махаринский Е.И., Махаринский Ю.Е.** Методика формализованного проектирования схем базирования, схем установки и маршрута обработки заготовок корпусных деталей машин. – Витебск, 2004. – 39 с.
13. **Беляков Н.В., Махаринский Е.И.** Методика разработки теоретических схем базирования // Вестник учреждения образования «Витебский государственный технологический университет». Четвертый выпуск. – Витебск, 2002. – С. 38–43.

#### S U M M A R Y

*Are explained to a fundamentals of a technique of definition of a error of locating chart, the theoretical setting and model of setting of preforms at projection of operations of machining job. Conditions of origin of errors are explained. Defines concepts of a error of locating chart and setting chart. Instances of formulation of calculated circuits and models for calculations are resulted.*

*Поступила в редакцию 30.08.2004*