

ных испытаний в процессе изготовления изделия, так и завершающих испытаний собранного изделия, а также от тонкостей самой испытательной технологии, сложности испытательных стендов, наличия испытательного полигона и его оснащения и т.д.

Таким образом, степень сложности нового изделия, предполагаемого к производству на данном предприятии, по сравнению со сложностью базового изделия, прежде выпускавшегося предприятием серийно, может быть легко определена в целом (по формуле (1)) или оценена отдельно по каждой составляющей этой сложности. В последнем случае при сопоставлении между собой значений каждого из обобщенных оценочных коэффициентов нового и базового изделий предприятие получает возможность определить, в каком направлении и в каком относительном объеме ему придется концентрировать свои усилия (в том числе и финансовые) для организации производства этого нового изделия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шарин Ю.С., Старцева Т.В. Новый метод нормирования мехобработки // Машиностроитель. – 1999. – №1. – С. 35–36.
2. Якимович Б.А., Коршунов А.И. Экспертные методы оценки структурно-параметрической сложности деталей // Информатика – Машиностроение – М.: Машиностроение. 1997. – № 3. – С.28-32.
3. Нормирование конструкторских работ, выполняемых в организациях и на предприятиях Минстанкопрома СССР. Нормы времени. Утв. Минстанкопромом СССР 18.08.89. – М.: ВНИИТЭМР, 1989.- 288 с.

УДК 621.658.512. (075.8)

**В. И. Серебряков**

## **АНАЛИЗ ПРОЦЕССА И РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТЕЙ БАЗИРОВАНИЯ ЗАГОТОВОК ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ**

*Политехнический институт  
г.Зелена Гура, Польша*

Требуемые характеристики точности размеров, формы и взаимного расположения поверхностей достигаются в процессе механической обработки, как известно, двумя методами: автоматическим – на настроенных станках и индивидуальным – с настройкой технологической системы для обработки каждой заготовки.

Настройка технологической системы при механической обработке предлагает осуществление одного из важнейших этапов – установку заготовки в приспособле-

нии, которая связана с ограничением всех шести степеней свободы и может сопровождаться возникновением статической погрешности. В отличие от «установа» как структурной части технологического процесса установка – это процесс, состоящий из двух этапов: базирование (ориентирование) заготовки в прямоугольной системе координат технологической системы и закрепление. Каждый из двух этапов сопровождается ограничением определенного количества степеней свободы (движений) заготовки в прямоугольной системе координат и появлением погрешностей (базирования и закрепления). Поэтому выбор технологических баз для осуществления процесса установки связан с решением двух задач:

- 1 – ограничение необходимого и достаточного количества степеней свободы (движений) заготовки в процессе базирования и ограничение оставшихся закреплением;
- 2 – анализ и расчет допустимых погрешностей базирования и закрепления.

Согласно ГОСТ 21495-76 г. по количеству ограничиваемых степеней свободы различают базы установочную, направляющую, опорную, двойную направляющую, двойную опорную. При этом не уточняется, какие движения и в каких направлениях ограничиваются этими базами, что не позволяет четко распределить, какое количество степеней свободы (движений) заготовки должно быть ограничено базированием, а какое – силовым замыканием.

Элементами заготовки (детали) являются поверхности, линии, оси и точки. Этими элементами можно конструктивно изобразить любые детали, ими же заготовка контактирует с установочными элементами приспособлений. Некоторые из них являются реальными, например поверхность (плоскость), линия (ребро призматического тела), точка (вершина конуса); другие – воображаемыми, например ось вращения цилиндра, точка – место пересечения двух осей. Очевидно, что контакт с установочными элементами приспособления может быть осуществлен только реальными элементами заготовки.

Исходя из требований достижения основной цели процесса установки – обеспечения заданной точности обрабатываемых поверхностей заготовки – к этому процессу предъявляют следующие требования:

- 1 – процесс установки (базирование и закрепление) должен ограничивать все шесть степеней свободы заготовки;
- 2 – процесс базирования должен ограничивать необходимое и достаточное количество степеней свободы (движений) заготовки в зависимости от точностных требований обрабатываемой поверхности;
- 3 – положение каждой заготовки, достигнутое при базировании, должно быть зафиксировано закреплением с ограничением оставшихся свободными движений;
- 4 – возникающая погрешность при базировании должна быть в пределах допустимой, а погрешность закрепления не должна оказывать существенного влияния на заданную точность.

При выборе технологической базы необходимо четко представлять, какие движения заготовки должны и могут быть ограничены этой базой, а какие из остав-

шихся должны быть ограничены другими базами, или силовым замыканием. При этом на каждом этапе базирования с использованием конкретной выбранной базы должно выполняться требование условия равновесия всех сил и моментов сил, действующих на заготовку. Кроме того, во всех случаях установки заготовки в приспособлении для обеспечения ее неизменного положения в процессе резания должно соблюдаться основное условие статики: сумма сил и моментов сил, действующих на заготовку после ее установки, должна равняться нулю.

Как известно, любое тело в прямоугольной системе координат имеет шесть степеней свободы, которые можно представить в виде поступательных и вращательных движений, имеющих знак направления движения – положительный или отрицательный. Условимся, что положительным направлением поступательного движения тела будет то, которое совпадает с направлением перемещения по стрелке вдоль оси координат, а отрицательным – в обратном направлении. Движение вращения по часовой стрелке вокруг оси координат для наблюдателя, смотрящего вдоль этой оси по направлению к центру системы координат, имеет положительный знак, против часовой стрелки – отрицательный. Все отмеченное в количественном и качественном виде представлено на рис.1. Каждая пустая клетка в таблице должна характеризовать вид и направление движения, ограничиваемого в процессе базирования. Эта таблица будет использоваться при анализе процесса ограничения движений базированием заготовки в прямоугольной системе координат с последовательным выбором баз. Для осуществления этого процесса примем следующие условия ограничения движений заготовки последовательным использованием баз при контакте их с опорами [1].

*I. Движение заготовки при базировании считается ограниченным, если:*

- 1 – этому движению препятствует опора;
- 2 – при движении изменяется характер односторонней или двухсторонней контактной связи (количественный) между базой и опорами, сопровождающийся постепенным уменьшением точек контакта.

*II. Движение заготовки при базировании считается неограниченным, если:*

- 1 – при движении связь между базой и опорой теряется мгновенно (прерывается с нарушением контакта между ними);
- 2 – при движении характер связи между базой и опорами количественно не изменяется. Характер связи между базой и опорами определяется количеством опорных точек, контактирующих с базой: одно-, двух- или трехопорный. Так, если тело, лежащее на горизонтальной плоскости XOY и имеющее трехопорный контакт своей установочной базой с опорами, перемещать вдоль оси Z вверх, то происходит мгновенная потеря контакта по всем трем точкам. Если это тело постепенно поворачивать вокруг оси OX или OY, то при этом происходит изменение характера связи путем постепенного нарушения контакта с переходом от 3-х до 2-точечного и далее – к одноточечному контакту.

Разберем вышесказанное на примере базирования призматического тела (рис. 1, а). Когда тело плоскостью основания (установочная база) лежит на трех опорах в плоскости  $XOY$ , то ограничиваются вращения вокруг осей  $X$  и  $Y$  в двух направлениях ( $\pm V_x$ ) и ( $\pm V_y$ ) согласно п. 1.2. Перемещение вдоль оси  $Z$  вниз ( $-P_z$ ) ограничено опорой. Таким образом, базирование тела на плоскости  $OXYZ$  ограничивает движение по 5-ти направлениям, оставляя остальные движения свободными. Результаты этого анализа базирования заносим в таблицу (рис. 1, б, диагонали в соответствующих клетках).

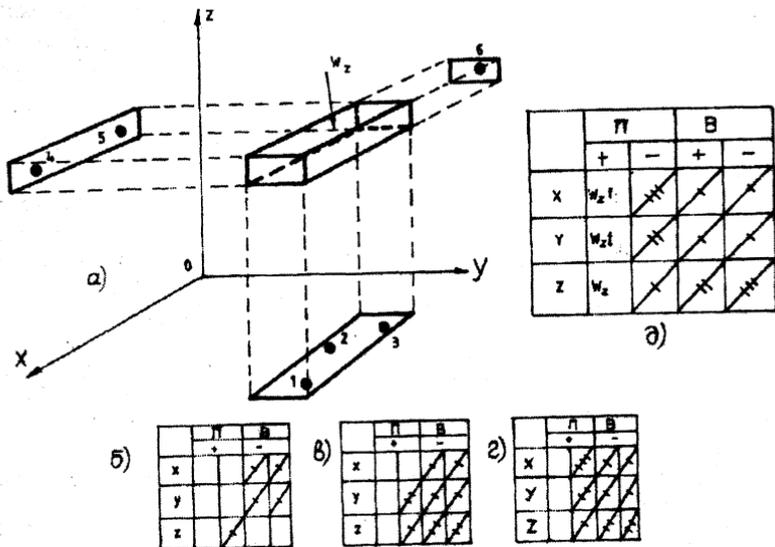


Рис. 1. Анализ процесса базирования призматической заготовки в прямоугольной системе координат.

Продолжая процесс ограничения степеней свободы тела, в качестве следующей базы выбираем ее боковую поверхность с двумя точками опоры (направляющая база). Исходя из вышперечисленных определений, у тела будут ограничены: движения вращения в двух направлениях вокруг оси  $Z$  ( $\pm V_z$ ) и перемещение в одном направлении вдоль оси  $X$  ( $-P_x$ ), что дополнительно отмечено соответствующими диагоналями (рис. 1, в).

Использование в качестве третьей базы торцевой поверхности призматического тела с одной опорой позволяет ограничить перемещение в одном направлении к центру системы координат вдоль оси  $Y$  ( $-P_y$ ), как показано на рис. 1, г. Перемеще-

ния тела вдоль осей  $X, Y, Z$  ( $+P_x, +P_y, +P_z$ ) связаны с мгновенной потерей связи между телом и опорами, и поэтому эти движения не могут считаться ограниченными выбранными базами. Если на призматическое тело в данном положении не действуют другие силы, кроме силы тяжести, то оно находится в равновесии при данном количестве ограниченных движений (шести степеней свободы по девяти направлениям движений). Однако под воздействием сил резания это равновесие будет нарушено, поэтому необходимо приложить силовое замыкание в виде сил зажима, ограничивающих оставшиеся три направления движения, например, силой  $W_z$ . При этом сила зажима  $W_z$  ограничит перемещение  $+P_z$ , а силы трения  $F_1 = W_z f_1$  и  $F_2 = W_z f_2$  ограничат перемещения вдоль осей  $X$  и  $Y$  соответственно. В этих формулах  $f_1$  и  $f_2$  – коэффициенты трения базовых поверхностей по плоскостям установочных элементов вдоль осей  $X$  и  $Y$ . Процесс установки завершен (рис. 1, д), все шесть степеней свободы (двенадцать направлений движений) ограничены базированием и силовым замыканием.

Аналогичным образом можно проанализировать процесс ограничения движений выбранными базами любых тел в прямоугольной системе координат с последующим закреплением. Например – базирование шаровой поверхности и контактом ее с тремя плоскостями системы координат по трем точкам с ограничением трех перемещений ( $P_x, P_y$  и  $P_z$ ), когда шаровая поверхность выступает в качестве тройной опорной базы.

Таким образом, используемые поверхности заготовки в качестве технологических баз, возможности которых по ограничению степеней свободы рассмотрены выше, можно охарактеризовать качественно и количественно следующим образом:

- *установочная* – три степени свободы или ограничение движения вращения вокруг двух осей по двум направлениям и одно перемещение в одном направлении;
- *направляющая* – две степени свободы или ограничение одного вращения по двум направлениям и одного перемещения в одном направлении;
- *опорная* – одна степень свободы с ограничением одного перемещения;
- *двойная направляющая* – четыре степени свободы или два вращения по двум направлениям каждое и два перемещения (в одном и двух направлениях);
- *двойная опорная* – две степени свободы или два перемещения;
- *тройная опорная* (не предусмотренная ГОСТом) – три степени свободы с ограничением трех перемещений по трем направлениям.

Одновременно с выбором технологических баз и анализом процесса базирования необходимо проанализировать возникающую погрешность базирования. В сущности, эта погрешность возникает при несовпадении баз – измерительной и технологической и может быть определена как разность предельных расстояний размера ( $A$ ), соединяющего эти две базы [2, 3]. Независимо от характера проявления измерительной базы (скрытой или явной) постоянство положения ее в пространстве достигается подбором соответствующей явной технологической базы, контактирующей с установочными элементами приспособления. Так, при фрезерова-

нии шпоночного паза в шаре (рис.2, а) требуется обеспечить симметричное его расположение по ширине относительно плоскости симметрии  $ZOY$  с одновременным обеспечением требования параллельности плоскости паза поверхности  $A$ . Измерительными базами являются: плоскость симметрии  $XOY$  (скрытая) и плоскость  $A$  (явная). Постоянство положения измерительной базы осуществляется выбором следующих явных технологических баз: шаровой поверхности и плоскости основания  $A$ . Однако анализ ограничения движений этими базами показывает, что перемещение вдоль оси  $Z$  ( $-Pz$ ) ограничивается дважды одновременно этими двумя базами, что приведет к статической неопределенности системы. Исключить это можно конструкцией установочного элемента (2), перемещающегося вдоль оси  $Z$ . В этом случае «возвращено» движение  $-Pz$  технологической базе  $A$ . Этим ликвидируется неопределенность положения при базировании и погрешность базирования, влияющая на точности симметричного положения паза в плоскости  $YOZ$ . Ограничение оставшихся свободными вращения вокруг оси  $Z$  ( $\pm Bz$ ) и перемещения вдоль оси  $Z$  осуществляется силой  $Wz$ . Погрешность закрепления в этом случае зависит от шероховатости поверхностей – шаровой (базовой) и установочного элемента 1.

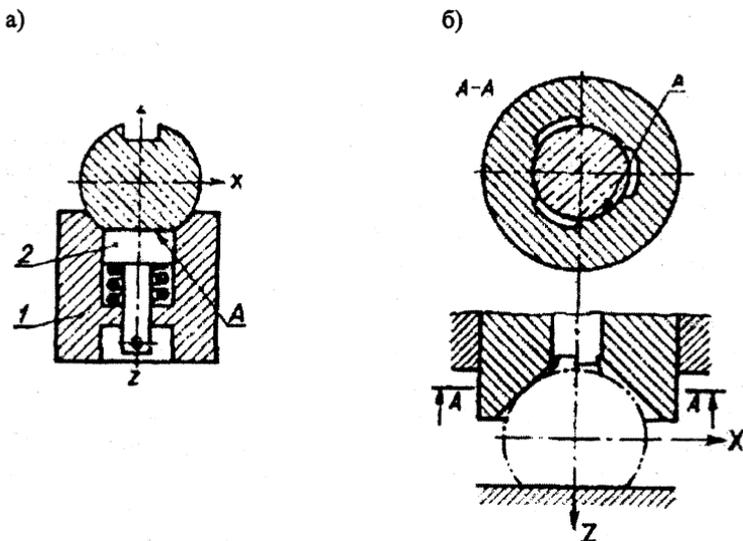


Рис. 2. Применение самоустанавливающихся установочных элементов в зависимости от выбранных технологических баз и возникающей погрешности базирования.

В практике машиностроения она, как правило, не превышает 0,1 погрешности базирования, а суммарная погрешность установки не должна быть более 0,25 до-

пуска размера при обработке заданной поверхности. Погрешность базирования при фрезеровании шпоночного паза в размер  $h$  определяется согласно методике [3]: – при несовпадении баз измерительной (пов. А) и технологической (сечение шаровой поверхности по окружности В с тремя точками касания) дает погрешность базирования равную  $Stax - Stip$  или сумме отклонений указанных баз по оси Z ( $Tn + 0,2T_D$ ) Устранить эту погрешность можно с помощью другой конструкции установочных самоцентрирующих элементов (рис.2, в).

На основе проведенного анализа процесса базирования можно сделать следующие выводы:

1. Погрешностью базирования можно управлять выбором технологических баз, уменьшая ее до нуля достижением постоянства положения измерительной базы (при обработке на концентрированных многоинструментальных операциях или с программным управлением), либо изменением конструкции установочного элемента с жесткой на самоустанавливающуюся.

2. В связи с усложнением конструкции приспособления при использовании самоустанавливающихся опор перед их применением необходимо проводить анализ и расчет возникающей погрешности базирования с оценкой степени ее влияния на достигаемую точность при обработке.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. A.Samek. Projektowanie uchwytow obrobkowych. – Krakow, 1971. – 132 s. 2. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений. – М.: Mashgiz, 1983. – 277 с. 3. Ансеров М.А. Приспособления для металлорежущих станков. – Л.: Машиностроение, 1975. – 654 с.

УДК 621.85.052.44

А. Т. Скойбеда, А. Г. Баханович, И. Г. Баханович

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПРИВОДНЫХ ЗУБЧАТЫХ РЕМНЕЙ С ИЗНОСОСТОЙКИМ ПОКРЫТИЕМ ЗУБЬЕВ

*Белорусская государственная политехническая академия  
Минск, Беларусь*

Технология производства приводных зубчатых ремней сводится к следующим комплексам технологических операций: а) сборка заготовки ремня из кордных, тканевых и невулканизированных эластомерных материалов; б) вулкани-