

УДК 658.512:621.21

**БАЗИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ СОЗДАНИЯ САПР
ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И СРЕДСТВ ОСНАЩЕНИЯ**

*канд. техн. наук, проф. Е.И. МАХАРИНСКИЙ, Н.В. БЕЛЯКОВ, Ю.Е. МАХАРИНСКИЙ
(Витебский государственный технологический университет)*

Для превращения положений теории базирования в инструмент для формализации проектирования технологических процессов механической обработки и станочной оснастки в машиностроении предложено четко разграничить понятия реального и проектного базирования, теоретической схемы базирования и схемы установки при конструировании, механической обработке, сборке и контроле. Определены цели проектного базирования и уточнен его понятийный аппарат. Предложен ряд процедур проектирования станочных приспособлений, позволяющий на стадии проектирования обеспечить заданные чертежом требования к точности взаимного расположения обрабатываемых элементов конструкции. Приводятся формальные алгоритмы их реализации.

Введение. В настоящее время теория базирования, основные положения которой изложены в ГОСТ21495-77 «Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения», является предметом обсуждения многих ученых [1 – 5 и др.]. Причиной такого разночтения и неопределенности является то обстоятельство, что при формулировании основных терминов и определений не было четкой опоры на задачи, которые решаются при базировании. Понятие базирования используется в двух совершенно различных ситуациях. К первой относится *решение задач эксплуатации* специальной, специализированной и универсальной оснастки для изготовления деталей, для сборки машин и для контроля. Ко второй – *решение задач проектирования* указанной оснастки. В первой ситуации рассматривается пространственное взаимодействие *реальных объектов*, а во второй – *их моделей*.

Одной из главных задач, которые решаются при изготовлении деталей машин, является оптимальное расположение и фиксация (закрепление) заготовки в рабочей зоне станка. Смысл оптимальности в данном случае заключается, во-первых, в обеспечении точности заданного расположения обработанного на рассматриваемой операции элемента детали по отношению к полученным ранее. Во-вторых, расположение заготовки в рабочей зоне станка должно обеспечить минимальную простоту управления рабочими движениями при обработке. Указанное расположение заготовки обеспечивается или за счет контакта выбранных поверхностей заготовки с установочными компонентами приспособления, или за счет выверки.

При образовании соединений деталей важным является стартовое взаимное расположение сопрягаемых поверхностей собираемых деталей, которое должно обеспечить условие собираемости. Такое расположение при автоматизированной или автоматической сборке обеспечивается специальной оснасткой.

Специальная оснастка, с помощью которой осуществляется контроль, располагается относительно измеряемой детали так, чтобы обеспечить заданную точность прямого или косвенного измерения.

Элементы заготовки, с помощью которых обеспечивается ее расположение в заданной зоне станка, логично назвать *реальными технологическими базами*. Элементы собираемых деталей, с помощью которых обеспечивается взаимное расположение их сопрягаемых поверхностей, – *реальными сборочными базами*. *Реальными измерительными базами* логично назвать и элементы контролируемой детали, при помощи которых осуществляется взаимная ориентация детали и измерительного устройства. Реальные базы используются при реальном расположении (базировании, ориентации) заготовки при изготовлении деталей, при сборке детали (или заготовки) и измерительного устройства при контроле.

Процесс *проектирования* любой технической системы, в том числе и технологической оснастки, предназначенной для выполнения заданных функций, по существу представляет собой формирование цепочки последовательно уточняемых моделей. Причем особенностью проектной модели является отсутствие материального объекта (оригинала), создание которой является конечной целью проектирования.

Под практической целью теории базирования предлагается считать то, что теория базирования должна служить основой и составной частью решения задач *проектирования* (как ручного, так и автоматизированного) *технологических процессов и технологической оснастки для механической обработки, сборки и контроля*. Поэтому понятия и термины теории базирования должны способствовать достижению поставленной цели.

Для превращения положений теории базирования в инструмент для формализации проектирования технологических процессов и станочной оснастки необходимо разграничить понятия теоретической схемы базирования и схемы установки, проектного и реального базирования. Эти понятия необходимо рассматривать отдельно при конструировании, механической обработке, сборке и контроле. Нужно четко определить цели проектного и реального базирования.

1. Основные положения

1.1. Проектное и реальное базирование. Понятия конструкторской и технологической проектных баз. Любая техническая система, в том числе и технологическая оснастка, создается для выполнения определенного набора функций. Причем главной функцией технологической оснастки является **ориентирование**. Для станочных приспособлений это такое ориентирование *обрабатываемых компонентов заготовки* по отношению к направлениям рабочих движений станка и формообразующего компонента инструмента, которое *обеспечит заданную точность относительных поворотов* (перпендикулярность, параллельность, угол) и расстояний. Для сборочных приспособлений это такое ориентирование сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей, которое обеспечит известные условия собираемости. Для контрольных приспособлений и комплексных калибров это такое ориентирование контролируемых компонентов относительно компонентов проверяемых детали, служащих началом отсчета, которое обеспечит надежное обнаружение (разделение) годных и забракованных деталей.

По назначению базы предлагается делить на: *конструкторские и технологические*, которые в свою очередь подразделяются на базы механической обработки, сборочные и измерительные.

Конструкторские базы используются для задания взаимного расположения (параллельности, перпендикулярности или в общем случае угла) элементов детали.

Технологические базы механической обработки используются для *ориентации заготовки или элементов заготовки в заданной зоне станка и при проектировании технологического процесса обработки детали*. В первом случае технологические базы предлагается называть *реальными базами*, а во втором – *проектными базами*. В технологии машиностроения используются три метода реального базирования: 1) *сопряжение*; 2) *выверка по разметке*; 3) *выверка по реальной технологической базе*.

Технологические сборочные базы используются для взаимной ориентации деталей, сборочных единиц или их элементов при сборке изделия и при *проектировании* технологии сборки.

Измерительные базы используются при измерении отклонений взаимного расположения (параллельности, перпендикулярности или в общем случае угла) и при *проектировании* средств измерения. Реальная измерительная база служит для ориентации средств измерения. Она должна совпадать с конструкторской во избежание погрешности схемы измерения.

Таким образом, *база* – это элемент детали, заготовки, сборочной единицы (или сочетание элементов детали, заготовки, сборочной единицы), определяющий одну из плоскостей или осей системы координат, по отношению к которой может осуществляться ориентирование других: компонентов детали, заготовки, компонентов заготовки, деталей, сборочных единиц или средств измерения.

Прежде чем изготавливать деталь, разрабатывают ее графическую модель (чертеж), модель технологического процесса ее изготовления и лишь затем модели необходимой оснастки.

На чертежах деталей часто указываются базы, которые и называются *конструкторскими*. **Конструкторская база** – элемент геометрической (графической) модели детали (или сочетание элементов), определяющий одну из плоскостей или осей декартовой системы координат, по отношению к которой задается ориентация другого (*рассматриваемого*) элемента. Пример указания конструкторских баз указан на рисунке 1.



Рис. 1. Эскиз детали и схема распределения полей допусков перпендикулярности и параллельности оси отверстия $\varnothing 20$ относительно баз А и Б

Ориентация *рассматриваемого элемента* на чертежах указывается допусками взаимного расположения (или задается по умолчанию согласно ГОСТ 25069-81) и расстояниями до нескольких конструкторских баз, которые называют **комплексом конструкторских баз ориентации**. Так, например, ориентация оси отверстия $\varnothing 20^{+0.1}$ задана по отношению к двум комплексам конструкторских баз ориентации:

1) с помощью допуска перпендикулярности по отношению к базе А и с помощью линейных размеров $50 \pm 0,1$ по отношению к оси отверстия $\varnothing 18^{+0.1}$ и линейного размера $30 \pm 0,2$ по отношению к плоскости Е (комплект баз ориентации – две плоскости (А и Е) и ось отверстия $\varnothing 18^{+0.1}$);

2) с помощью допуска перпендикулярности по отношению к базе А и с помощью линейных размеров $70 \pm 0,15$ по отношению к плоскости Б и линейного размера $30 \pm 0,2$ по отношению к плоскости Е (комплект баз ориентации – три плоскости (А, Б и Е)).

Основными видами расположения элементов при конструировании деталей являются: *параллельность, перпендикулярность, угол, соосность, симметрия*. Причем два последних вида являются производными от параллельности.

При проектировании технологических процессов механической обработки или станочных приспособлений с учетом порядка обработки следует указывать *проектные технологические базы механической обработки* (далее технологические базы). **Технологической базой** будем называть элемент геометрической (графической) модели заготовки, отражающий ее состояние после выполнения рассматриваемой операции и определяющий одну из плоскостей или осей декартовой системы координат, по отношению к которой задается расстояние и точность расположения *обрабатываемого элемента конструкции*.

Указанную систему координат логично назвать *собственной*, так как она строится на элементах модели детали, или *базовой*, так как она определяет комплект баз, по отношению к которому полностью ориентируется обрабатываемый элемент конструкции (**комплект технологических баз ориентации**).

1.2. Практические аспекты теории базирования при механической обработке

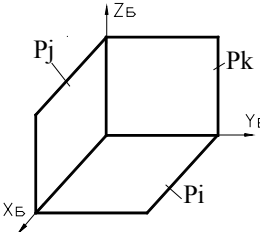
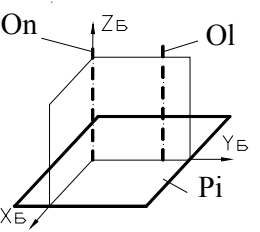
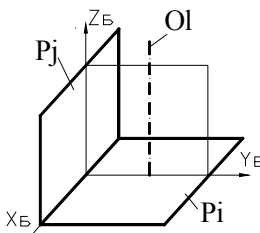
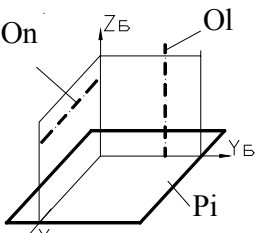
1.2.1. Порядок проектирования станочных приспособлений. Проектирование станочного приспособления предлагается осуществлять с помощью цепочки следующих процедур:

- 1) синтезировать его функциональную модель (список основных, вспомогательных и дополнительных функций);
- 2) определить характеристики окружающей среды (элементов станка, на котором будет использоваться приспособление);
- 3) синтезировать схему базирования:
 - идентифицировать технологический комплект баз ориентации;
 - определить вид компонента комплекта баз;
- 4) синтезировать схему установки;
- 5) провести анализ допустимости выбранной схемы установки;
- 6) разработать конструктивную схему (компоновку) приспособления с определением размеров выбранных элементов;
- 7) выполнить параметрический синтез приспособления (силовой расчет и расчет на точность);
- 8) разработать рабочие чертежи приспособления.

Процедуры 3, 4 и 5 играют особую роль в процессе проектирования технологического процесса и приспособления – с их помощью на стадии проектирования решаются задачи обеспечения заданных чертежом требований к точности взаимного расположения элементов конструкции.

1.2.2. Комплект баз ориентации и задание взаимного расположения элементов конструкции на чертежах и операционных эскизах. Анализ операционных эскизов и чертежей деталей показал, что всего возможно четыре варианта **комплектов баз ориентации** конструктивных элементов [6] (таблица).

Варианты комплектов баз ориентации конструктивных элементов

Варианты комплектов		Варианты комплектов	
1) три взаимно перпендикулярные плоскости, среди которых может быть плоскость симметрии	$P_i \perp P_j \perp P_k$	3) плоскость и две оси, перпендикулярные к ней	$(O_l \perp P_i) \wedge (O_n \perp P_i)$
2) две взаимно перпендикулярные плоскости и ось, которая перпендикулярна к одной из них (в частном случае ось может лежать в плоскости, которая в общем случае параллельна оси)	 $P_i \perp P_j$ $((O_l \parallel P_i) \wedge (O_l \perp P_j)) \vee$ $((O_l \parallel P_j) \wedge (O_l \perp P_i))$	4) плоскость и две оси, одна из которых перпендикулярна, а другая параллельна этой плоскости (в частном случае она может лежать в этой плоскости)	 $((O_l \perp P_i) \wedge (O_n \parallel P_i)) \vee$ $((O_n \perp P_i) \wedge (O_l \parallel P_i))$

В частных случаях вариантов 2 и 4 оси могут лежать в плоскостях, которым они параллельны. В варианте 1 одна из плоскостей может быть плоскостью симметрии. Плоскость и оси симметрии согласно ГОСТ 21495-77 называются *скрытыми технологическими базами*, остальные базы комплекта – *явными технологическими базами*.

Отталкиваясь от понятия проектной технологической базы, можно ввести понятие *проектное базирование* (в дальнейшем базирование). *Базированием* будем называть введение системы отсчета или введение собственной системы координат сопряженной (соприкасающейся) с технологическими базами.

На этапе *идентификации комплекта баз ориентации* определяется состав поверхностей заготовки, по отношению к которым заданы допуски взаимного расположения и размерные связи до обрабатываемых конструктивных элементов.

Установлено, что относительное угловое положение *оси* осесимметричного элемента конструкции (поверхности вращения) на чертеже детали или оси обрабатываемой поверхности заготовки на операционном эскизе должно быть задано необходимым и достаточным числом показателей. Так, *ось может быть: перпендикулярна только к одной плоскости или параллельна двум пересекающимся плоскостям; параллельна к одной плоскости и составлять некоторый угол с плоскостью, которая перпендикулярна первой.*

На рисунке 1 допуск параллельности оси к базе Б (указан на эскизе детали штриховой линией) избыточен, так как допуск перпендикулярности относительно базы А однозначно задает относительное положение оси. Поле допуска параллельности будет дублировать поле допуска перпендикулярности.

Относительное угловое положение плоского конструктивного элемента (*плоскости*) на чертеже детали или обрабатываемой плоскости заготовки на операционном эскизе также должно быть задано необходимым и достаточным числом показателей. Так плоскость может быть: *перпендикулярна к двум пересекающимся плоскостям или к оси; перпендикулярна к одной плоскости и составлять некоторый угол с другой, которая перпендикулярна к первой.*

Таким образом, можно определить варианты однозначного задания ориентации элементов конструкции относительно того или иного комплекта баз ориентации. Проведенный анализ показывает, что всего возможно 62 варианта задания ориентации обрабатываемой оси или плоскости конструктивного элемента относительно того или иного комплекта баз ориентации.

Так, например, если технологическими базами являются три плоскости (см. таблицу, комплект баз № 1), то расположение оси осесимметричного конструктивного элемента (обрабатываемой поверхности) может задаваться допуском:

- 1) перпендикулярности к одной из плоскостей комплекта баз ориентации (О10);
- 2) параллельности относительно двух плоскостей комплекта баз (О11);
- 3) параллельности относительно одной плоскости и углового расположения относительно другой плоскости комплекта баз (О12);
- 4) углового расположения относительно двух плоскостей комплекта баз (О13) и соответствующими двумя координатами точки на оси (линейными размерами).

Если технологическими базами являются две плоскости и ось, перпендикулярная к одной из них (см. таблицу, комплект баз № 2), то расположение оси обрабатываемой поверхности может задаваться допуском:

- 5) перпендикулярности к плоскости комплекта перпендикулярной оси (О20);
- 6) перпендикулярности к плоскости комплекта баз параллельной оси комплекта (О21);
- 7) параллельности относительно оси комплекта баз (О22);
- 8) перпендикулярности к оси комплекта баз и параллельности к плоскости комплекта, параллельной оси (О23);

...

Если технологическими базами являются три плоскости (см. таблицу, комплект баз № 1), то расположение обрабатываемого плоского конструктивного элемента может задаваться допуском:

- 1) перпендикулярности к двум плоскостям комплекта баз (П10);
- 2) параллельности к одной плоскости комплекта баз (П11);
- 3) перпендикулярности к одной плоскости комплекта и углового расположения относительно другой (П12);
- 4) углового расположения относительно двух плоскостей комплекта баз (П13) и соответствующей координатой точки на плоскости (линейным размером).

Если технологическими базами являются две плоскости и ось, перпендикулярная к одной из них (см. таблицу, комплект баз № 2), то расположение обрабатываемой плоской поверхности может задаваться допуском:

- 5) перпендикулярности к двум плоскостям комплекта баз (П20);
- 6) параллельности к плоскости комплекта баз параллельной оси (П21);

- 7) параллельности к плоскости комплекта баз перпендикулярной оси (П22);
- 8) перпендикулярности рассматриваемой плоскости к оси комплекта баз (П23);

...
 Если технологическими базами являются две параллельные оси и плоскость, перпендикулярная к ним (см. таблицу, комплект баз № 3), то расположение обрабатываемой плоской поверхности может задаваться допуском:

- ...
 - 17) параллельности к плоскости комплекта (П32);
 - 18) перпендикулярности оси комплекта (П33);
 - 19) перпендикулярности к плоскости комплекта и углового расположения к плоскости комплекта, проходящей через оси (П34);
 - 20) углового расположения к плоскости комплекта и перпендикулярности к плоскости комплекта, проходящей через оси (П35) и т.д.

...
 Согласно рисунку 1 плоскость П ориентируется относительно комплекта баз № 1 (три взаимно перпендикулярных плоскости, так как задан допуск перпендикулярности по отношению к двум плоскостям А и Б и линейный размер 60 до плоскости Е). Допуск перпендикулярности плоскости П согласно правилу П10 задан корректно.

1.2.3. Вид компонента комплекта баз

Под целью разработки *теоретической схемы базирования* при механической обработке (т.е. проектного базирования) предлагается понимать обеспечение (еще на стадии проектирования) требуемых показателей взаимного расположения поверхностей *за счет наложения на поверхности баз ориентации определенного числа связей*.

Теоретическая схема базирования при механической обработке (или просто *схема базирования*) – графическое изображение геометрической модели заготовки (абсолютно твердого тела, поверхности которого (в том числе плоскости, оси и центры симметрии) идеальны) в состоянии после выполнения рассматриваемой операции, на которой выделены обработанные поверхности, проставлены обозначения размеров, допусков взаимного расположения и условные значки, интерпретирующие точки сопряжения и направляющие векторы, накладывающие определенное число связей.

Связь отражает отсутствие неопределенности положения обрабатываемого компонента в базовой системе координат. Считается, что связь определяет положение точки сопряжения (соприкосновения) ранее полученных элементов геометрической модели заготовки (ГМЗ) с ее плоскостями в направлении, перпендикулярном той из плоскостей базовой системы координат, в которой лежит рассматриваемая точка сопряжения. Чтобы определить направление связи и направление оси базовой (собственной) системы координат (БСК, ССК), предлагается использовать *направляющий вектор*, перпендикулярный соответствующей плоскости базовой системы координат и определяющий направление оси базовой системы координат.

На рисунке 2 приведены примеры расположения точек сопряжения и направляющих векторов в БСК.

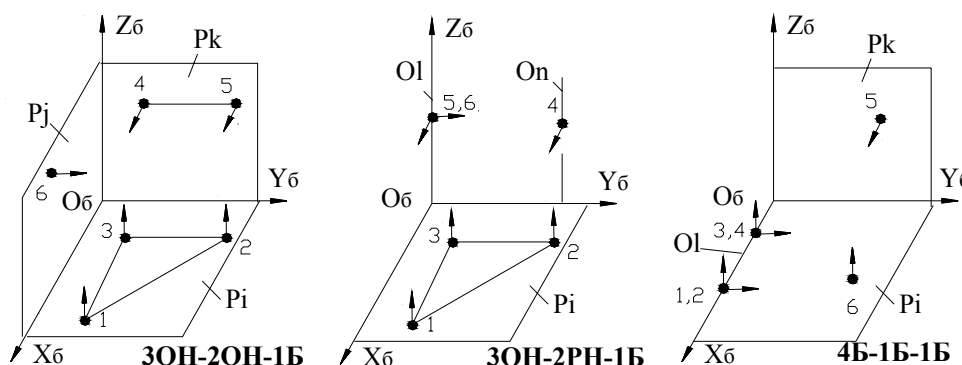


Рис. 2. Некоторые варианты сочетаний точек сопряжения и количества связей на компонентах комплекта баз ориентации ($O_6 X_6 Y_6 Z_6$ – базовая система координат; 1...6 – точки сопряжения; стрелки – направляющие векторы):

- 1-й вариант слева: тройная однонаправленная (установочная) (1, 2, 3), двойная однонаправленная (направляющая) (4, 5) и одиночная (опорная) (6) базы;
- 2-й вариант слева: тройная однонаправленная (установочная) (1, 2, 3); двойная разнонаправленная (двойная опорная) (5, 5) и одиночная (опорная) (6) базы;
- 3-й вариант слева: четверная (двойная направляющая) (1, 2, 3, 4) и две одиночные (опорные) (5) и (6) базы

Сочетания точек сопряжения в базовой системе координат, расположенные на каждой из баз ориентации, могут накладывать на геометрическую модель заготовки разное число связей. Оно определяет **вид компонента комплекта баз**. Сочетания точек сопряжения указанный выше ГОСТ21495-77 определяет как установочная, направляющая, опорная, двойная опорная, двойная направляющая базы. Приведенные названия технологических баз нельзя воспринимать буквально, ибо опорной базой заготовка ни на что не опирается, направляющей базой никуда не направляется, а на установочную – не всегда устанавливается. Поэтому предлагается в качестве дискуссии вместо этих терминов использовать соответственно следующие: тройная однонаправленная, двойная однонаправленная, одиночная, двойная разнонаправленная, четверная базы, как термины, более адекватно отражающие процесс проектного базирования [7]. Также предлагается ввести новое понятие – тройная разнонаправленная база, отсутствующее в ГОСТ 21495-77.

Эти термины легко определить с помощью понятий: точка сопряжения, направляющий вектор. Так, например, под *тройной однонаправленной ЗОН (установочной)* технологической базой понимаются три точки сопряжения не лежащие на одной прямой и имеющие одинаковое направление направляющих векторов, накладывающие на геометрическую модель заготовки три связи: одну линейную и две угловых (см. рис. 2, 1 и 2-й варианты слева – точки 1, 2, 3).

Несложно определить возможные варианты реализации технологических баз. Так, например, тройная однонаправленная (установочная) база может быть реализована: 1) плоскостью модели заготовки; 2) двумя образующими, которые принадлежат пересекающимся или параллельным цилиндрам и лежат в одной плоскости; 3) образующими цилиндра и конуса, лежащими в одной плоскости; 4) направляющей окружностью тора; 5) наружными точками трех сфер, лежащих в одной соприкасающейся с ними плоскости; 6. двумя пересекающимися (или параллельными) осями цилиндров.

Двойная однонаправленная 2ОН (направляющая) технологическая база формируется двумя не слившимися точками сопряжения, имеющими одинаковое направление направляющих векторов (см. рис. 2, 1-й вариант слева – точки 1, 2). Двойная однонаправленная база накладывает на модель заготовки две связи, которые обеспечивают определенность расстояния обрабатываемого элемента ГМЗ вдоль одной из осей базовой системы координат и определенность углового положения (поворота) вокруг одной из двух других осей.

Двойную однонаправленную базу можно реализовать: 1) плоскостью модели заготовки; 2) осью цилиндра; 3) образующей цилиндра; 4) точками, которые лежат на общей касательной к двум наружным цилиндрам; 5) линией пересечения двух плоскостей.

Одиночная 1Б (опорная) технологическая база формируется одной точкой сопряжения. Накладывает одну связь – определенность положения обрабатываемого элемента заготовки вдоль направляющего вектора (см. рис. 2).

Одиночная база может быть реализована точкой, лежащей на: 1) оси цилиндра, конуса или тора; 2) плоскости геометрической модели заготовки; 3) образующей цилиндра; 4) линии пересечения плоскостей и т.д.

С помощью оси цилиндрической или конической поверхности заготовки может быть реализована *двойная разнонаправленная 2РН (двойная опорная) технологическая база*, если в одной точке этой оси лежат две слившиеся точки сопряжения, а соответствующие направляющие векторы взаимно перпендикулярны. Эта база накладывает две связи: определенность расстояния обрабатываемого элемента вдоль осей базовой системы координат, параллельных направляющим векторам (рис. 2, 2-й вариант – точки 5, 6).

С помощью центра сферической поверхности или точки на оси конической поверхности можно реализовать *тройную разнонаправленную 3РН (тройную опорную) технологическую базу*, если в центре сферы или в одной из точек оси конуса расположены три слившиеся точки сопряжения, а соответствующие направляющие векторы взаимно перпендикулярны. Обычно в эту базу помещают начало базовой системы координат. Тройная разнонаправленная (тройная опорная) база накладывает три связи: определенность положения обрабатываемого элемента заготовки вдоль осей БСК.

С помощью достаточно длинной оси цилиндрической поверхности заготовки можно реализовать *четверную 4Б (двойную направляющую) технологическую базу*, если на этой оси расположены четыре попарно слившиеся точки сопряжения, а направляющие векторы, выходящие из каждой пары слившихся точек сопряжения, взаимно перпендикулярны. Можно представить двойную направляющую базу как сочетание двух лежащих на одной оси и перпендикулярных двойных однонаправленных (направляющих) баз или двух лежащих на одной оси двойных разнонаправленных (двойных опорных) баз. Четверная (двойная направляющая) база накладывает четыре связи: определенность расстояния обрабатываемого элемента заготовки вдоль двух осей базовой системы координат (две связи), перпендикулярных оси,

которая реализует данную базу, и определенность углового положения (поворота) вокруг этих же осей (еще две связи) (рис. 2, 3-й вариант слева – точки 1...4).

В зависимости от видов компонентов всего возможны девять вариантов комплектов технологических баз. Кроме вариантов, указанных на рисунке 2, это варианты: **4Б-2РН**; **3РН-1Б-1Б**; **3РН-2ОН-1Б**; **3РН-2РН-1Б**; **2РН-2РН-2РН**; **2ОН-2ОН-2ОН**.

1.2.4. Теоретические схемы базирования и установки. На рисунке 3 (а) показана *схема базирования*, на которой предлагается изображать: 1) графическую модель заготовки, отражающую ее состояние после выполнения рассматриваемой операции; 2) условные обозначения направляющих векторов значками: \wedge , \succ – на виде сбоку; \diamond – в плане; 3) оси собственной системы координат.

Состояние заготовки отражается совокупностью размеров и углов, характеризующих положение обработанного конструктивного элемента (в данном случае плоскости, выделенной жирной линией) относительно технологических баз (собственной системы координат). Это расстояние от оси $Z_б$, равное $30 \pm 0,2$ мм, допуск перпендикулярности относительно плоскости $X_б O_б Y_б$ и угол $45^\circ \pm 20'$ относительно плоскости $X_б O_б Z_б$. Острие значка следует направлять в соответствии с направлением направляющего вектора.

На схеме установки (рис. 3, б) предлагается изображать: 1) графическую модель заготовки, отражающую ее состояние после выполнения рассматриваемой операции; 2) условные обозначения установочно-зажимных элементов приспособления; 3) условные обозначения точки приложения и направления силы закрепления; 4) установочную (опорную) систему координат.

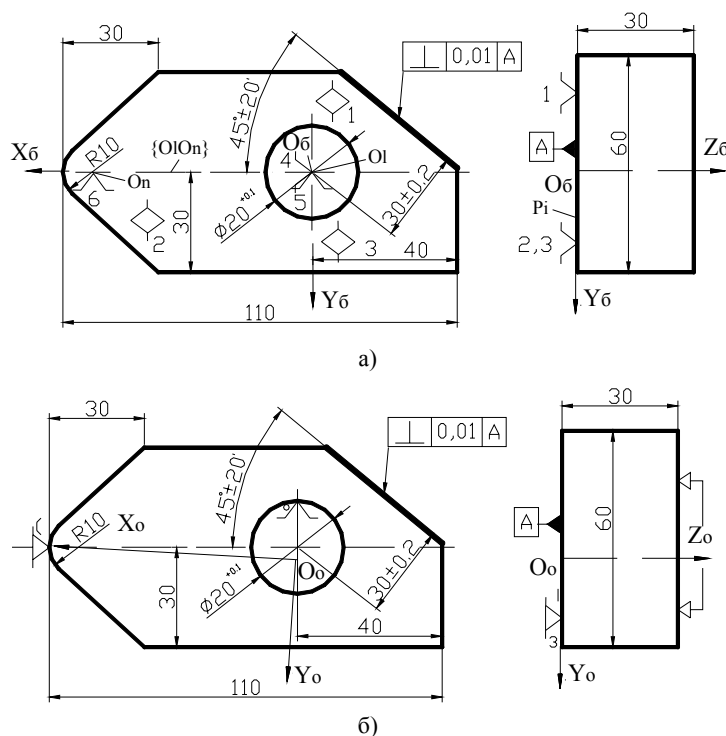


Рис. 3. Схема базирования и схема установки.

\triangle^3 – три плоские опоры, с которыми соприкасается установочная база;

\curvearrowright – цилиндрический палец; \triangle – подвижная призма

Примечание. Условные обозначения согласно ГОСТ 3.1107-81 «Опоры, зажимы и установочные устройства. Графические обозначения».

Сила закрепления, приложенная вблизи обрабатываемой плоскости, направлена на плоские опоры.

На этапе проектирования теоретической схемы установки нужно обеспечить контакт технологических баз с моделями установочных компонентов (сформировать опорные точки) тем самым определить положение установочной системы координат. Однако это возможно далеко не всегда, особенно если технологические базы являются скрытыми. Тогда возникают условия для появления *погрешности теоретической схемы установки* – меры несовпадения опорной и базовой систем координат.

Так как установка заготовки на палец (см. рис. 3) осуществляется с гарантированным зазором, то начало собственной и опорной систем координат не будут совпадать. А так как размерная настройка осу-

ществляется относительно опорной системы координат, то возникают условия для возникновения погрешности схемы установки в данном случае для размеров $30 \pm 0,2$ и $45^\circ \pm 20'$. Причиной погрешности схемы установки является погрешность обработки заготовки на предыдущих операциях [7]. В рассматриваемом случае погрешность диаметра отверстия под палец.

2. Алгоритмы синтеза схем базирования и установки заготовок

Для определения функций компонентов комплекта технологических баз ориентации (синтеза схемы базирования) следует пользоваться следующими утверждениями.

Утверждение 1. Схема базирования в первую очередь должна обеспечить заданную точность взаимного расположения, а затем точность размеров (расстояний).

Утверждение 2. Технологическими базами могут быть назначены только те компоненты геометрической модели заготовки, от которых заданы расстояния (размеры) до обработанных поверхностей и по отношению к которым заданы показатели расположения (перпендикулярности, параллельности, угла) обработанной поверхности.

Утверждение 3. Та технологическая база, по отношению к которой удельный допуск взаимного расположения или расстояний более жесткий, должна накладывать больше связей. Под удельным допуском понимается допуск взаимного расположения, приведенный к одной базовой длине.

Утверждение 4. Точность взаимного (углового) расположения обеспечивают только тройная однонаправленная (установочная), двойная однонаправленная (направляющая) и четверная (двойная направляющая) базы, а также сочетания двойной разнонаправленной) двойной опорной и одиночной (опорной) баз и тройной разнонаправленной (тройной опорной) и одиночной (опорной) баз.

Утверждение 5. При определении вида компонента комплекта баз (числа накладываемых связей) самым важным показателем взаимного расположения является перпендикулярность, затем угол, затем параллельность. То есть база, обеспечивающая перпендикулярность, должна накладывать больше связей, чем та, которая для этой же операции обеспечивает угол или параллельность.

Разработан массив продукционных моделей для назначения вида компонентов комплекта технологических баз и массив примеров, состоящий из 62 алгоритмов, соответствующих правилам однозначного и корректного задания ориентации оси или плоскости относительно комплектов баз.

Например, алгоритм П 34 гласит: если заданы допуски перпендикулярности плоскости P_34 относительно плоскости P_i и углового расположения относительно плоскости $\{O_iO_n\}$ и численное значение допуска перпендикулярности относительно P_i меньше численного значения допуска углового расположения относительно $\{O_iO_n\}$, то плоскость P_i назначается тройной однонаправленной (установочной) базой, одна из осей, от которой задан размер, – двойной разнонаправленной (двойной опорной), вторая – одиночной (опорной). Если численное значение допуска перпендикулярности относительно P_i больше численного значения допуска углового расположения относительно $\{O_iO_n\}$, то плоскость $\{O_iO_n\}$ назначается тройной однонаправленной (установочной) базой, P_i – двойной однонаправленной (направляющей), одна из осей, от которой задан размер, – одиночной (опорной) (см. рис. 3).

Алгоритм O21 гласит: если существует комплект технологических баз состоящий из двух взаимно перпендикулярных плоскостей $P_i \perp P_j$ и оси $(O_i \perp P_j) \wedge (O_j // P_i)$ перпендикулярной одной из них (параллельной другой) и задан допуск перпендикулярности главной обрабатываемой оси O_{21} относительно плоскости P_i , а допуск линейного размера относительно P_j меньше допуска линейного размера относительно O_i , то плоскость P_i назначается тройной разнонаправленной (установочной) базой, плоскость P_j – двойной однонаправленной (направляющей), ось O_i одиночной (опорной). Если допуск линейного размера относительно P_j больше допуска линейного размера относительно O_i , то плоскость P_i назначается тройной однонаправленной (установочной) базой, ось O_i – двойной однонаправленной (направляющей), плоскость P_j – одиночной (опорной) базами. В частном случае, если плоскость P_i совпадает с осью O_i , то ось O_i назначается четверной (двойной направляющей) базой, плоскости P_i и P_j назначаются одиночными (опорными) базами. (Так, если обрабатывается отверстие $\varnothing 20$ (рис. 1), то плоскость А – тройная однонаправленная (установочная) база, ось $\varnothing 18$ – двойная однонаправленная (направляющая), плоскость Е – одиночная (опорная) базы).

При использовании данной методики логика синтеза проектной базы заменяется логикой выбора, что не совсем удобно для человека, но легко реализуемо с помощью ЭВМ. Синтез схемы базирования «вручную» рекомендуется выполнять согласно приведенным ниже шагам.

Первый шаг. Построить геометрическую модель заготовки с выделением обрабатываемых поверхностей и указанием угловых и размерных связей, которые необходимо обеспечить на операции.

Второй шаг. Проверив правильность задания относительного расположения конструктивного элемента, согласно 62 правилам однозначности и корректности и выявив, если необходимо, неуказанные допуски относительного расположения (перпендикулярность, соосность, симметричность), определить комплект технологических баз ориентации (согласно утверждению 2).

Третий шаг. Сформировать базовую систему координат.

Четвертый шаг. Определить вид каждого из компонентов установленного комплекта баз (число налагаемых связей) согласно утверждениям 3, 4 и 5.

В качестве примера проведем обоснование схемы базирования, приведенной на рисунке 4, согласно указанным выше шагам.

Первый шаг. Обрабатываемая поверхность – плоскость, перпендикулярная плоскости А, расположенная под углом $45^\circ \pm 20'$ к плоскости, проходящей через ось отверстия $\varnothing 20^{+0,1}$ и ось скругления R10, и находящаяся на расстоянии $30 \pm 0,2$ от оси отверстия $\varnothing 20^{+0,1}$.

Второй шаг. Согласно утверждению 2 комплект технологических баз будет состоять из плоскости А и двух перпендикулярных к ней осей (ось отверстия $\varnothing 20^{+0,1}$ и ось скругления R10, что соответствует № 3 в таблице). Расположение обрабатываемой плоскости согласно пункту П34 задано корректно и однозначно.

Третий шаг. Согласно таблице строится базовая система координат.

Четвертый шаг. Согласно утверждениям 3, 4 и 5 плоскость А назначается тройной разнонаправленной (установочной) базой (обеспечивает перпендикулярность с максимальной точностью). Ось отверстия $\varnothing 20^{+0,1}$ назначается двойной разнонаправленной (двойной опорной) базой, а ось скругления R10 – одиночной (опорной).

В том случае если относительно комплекта ориентируется несколько главных поверхностей конструктивных элементов, вид компонента комплекта определяется с помощью ранжирования численных значений допусков по компонентам комплекта и последующего определения приоритета компонента (в зависимости от этого значения). Например, если относительно комплекта баз, состоящего из трёх взаимно перпендикулярных плоскостей, ориентируется две оси и заданное численное значение допуска перпендикулярности одной оси относительно одной плоскости меньше численного значения допуска перпендикулярности второй оси относительно второй плоскости, то первая плоскость назначается тройной разнонаправленной (установочной) базой, а вторая – двойной однонаправленной (направляющей).

Формально задачу синтеза схемы установки предлагается решать с помощью схемы соответствия вида компонента комплекта технологических баз набору установочных (установочно-зажимных) элементов приспособления (рис. 4).

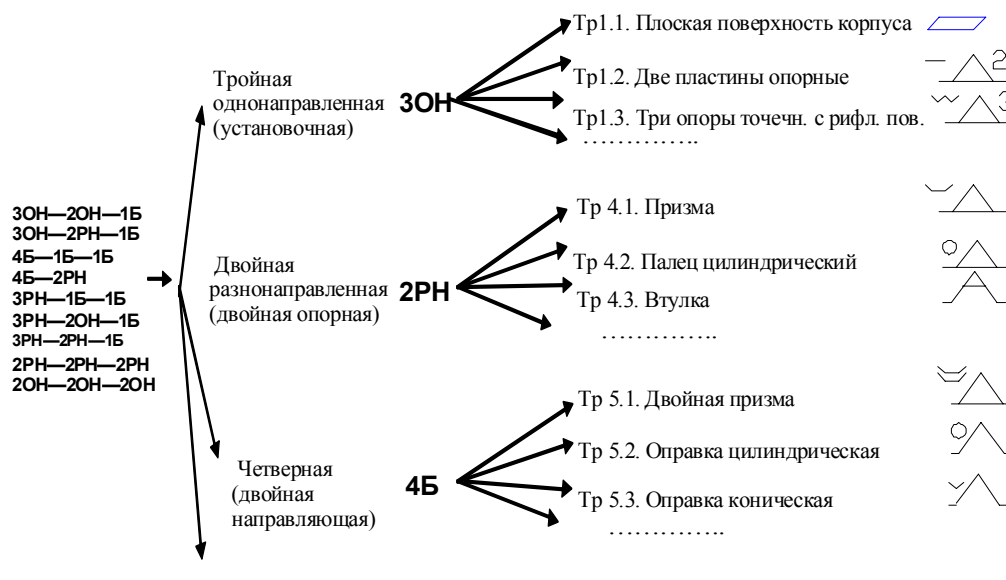


Рис. 4. Схема соответствия вида компонента возможным установочным элементам

С помощью таблицы сокращения вариантов в зависимости от ряда критериев (типа производства, габаритов и массы заготовки, вида (явная или скрытая) и показателей качества технологических баз, вида (предварительная, чистовая или отделочная) обработки и др.) можно сразу отбросить нерациональные технические решения (Тр).

Окончательный выбор технического решения можно делать при наличии таблиц относительной стоимости вариантов схем установки. Так, например, для реализации двойной однонаправленной (установочной) базы (см. рис. 3) выбраны две опорные пластины; для реализации двойной разнонаправленной (двойной опорной) базы – цилиндрический палец; для ориентации одиночной (опорной) базы – подвиж-

ная призма, которая накладывает только одну связь. Таким образом, сформировано задание на проектирование или выбор приспособления.

Заключение

1. Предложено разграничить понятия реального и проектного базирования, теоретической схемы базирования и схемы установки при конструировании, обработке, сборке и контроле.

2. Проектирование станочного приспособления предлагается производить согласно последовательности ряда процедур, важнейшими из которых являются: *синтез схемы и установки; анализ допустимости выбранной схемы установки.*

3. Под целью разработки теоретической схемы базирования при механической обработке предложено понимать обеспечение требуемых показателей взаимного расположения поверхностей за счет наложения на поверхности баз ориентации определенного числа связей. Возможно четыре варианта *комплектов баз ориентации* конструктивных элементов и 62 варианта непротиворечивого и однозначного задания ориентации обрабатываемой оси или плоскости конструктивного элемента относительно того или иного комплекта баз, что позволяет решить проблему проверки корректности задания допусков взаимного расположения на чертежах деталей, а также создает основу формализованного метода идентификации комплекта баз ориентации и определения вида компонентов комплекта баз; развито определение понятия погрешности теоретической схемы установки, как меры их несовпадения, что позволяет еще на стадии проектирования приспособления оценить допустимость принятого варианта схемы установки;

4. Предложен метод формализованного определения вида компонентов (установочная, направляющая, опорная и т.д.) комплекта технологических баз, который позволяет сформировать систему координат объекта производства таким образом, чтобы на этапе проектирования схемы базирования обеспечить требования взаимной ориентации обрабатываемых конструктивных элементов; предложен метод формализованного структурного синтеза состава компонентов теоретической схемы установки, который позволяет сформировать задание на проектирование или выбор оснастки при базировании заготовок сопряжением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Байор, Б.Н. О развитии методологии базирования / Б.Н. Байор // СТИН. – 2000. – № 3. – С. 24 – 26.
2. Емельянов, В.Н. О разработке теоретических схем базирования / В.Н. Емельянов // СТИН. – 2002. – № 1. – С. 32 – 34.
3. Колыбенко, Е.Н. Системные знания теории базирования в машиностроении / Е.Н. Колыбенко // Вестн. машиностроения. – 2004.
4. Королева, Е.М. Практика реализации теоретических схем базирования / Е.М. Королева, С.С. Евстратов // Вестн. машиностроения. – 2004. – № 2. – С. 57 – 60.
5. Абрамов, Ф.Н. О разработке терминологии базирования в машиностроении / Ф.Н. Абрамов // Вестн. машиностроения. – 2006. – № 2. – С. 67 – 72.
6. Махаринский, Е.И. Методика синтеза индивидуальных технологических процессов изготовления корпусных деталей машин / Е.И. Махаринский, Н.В. Беляков // Вестн. машиностроения. – 2005. – № 2. – С. 57 – 65.
7. Махаринский, Е.И. О теории базирования при механической обработке / Е.И. Махаринский, Ю.Е. Махаринский, Н.В. Беляков // СТИН. – 2005. – № 4. – С. 29 – 32.

Поступила 17.05.2007