

УДК 621.91.01

В. К. СОЛОВЬЕВ

КОНЦЕПЦИЯ ТЕОРИИ БАЗИРОВАНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Рассматривается концепция теории базирования как часть учения о точности, занимающаяся изучением взаимных связей элементов изделий, сборочных единиц, деталей, заготовок, приспособлений и инструментов в заданной системе координат. Приведены термины и определения. Рассмотрен расчетно-аналитический метод размерного анализа операционного технологического процесса и анализа операций, позволяющий перейти от «системы рекомендаций и правил» к математически обоснованному выбору технологических баз. *Характеристики точности поверхности; базирование; база; погрешность базирования; размерный анализ; размерная цепь; технологическая система*

ВВЕДЕНИЕ

Современное авиационное двигателестроение характеризуется высокой точностью параметров изготавливаемых деталей и изделий в целом. Под точностью обработки понимается степень соответствия действительных геометрических параметров заданным параметрам [1]. Последовательно рассматривая поверхности объекта производства, для каждой из них получим две характеристики точности:

- точность самой поверхности (по размеру, по форме, по шероховатости);
- точность положения рассматриваемой поверхности (элемента детали) относительно других поверхностей (по координирующему размеру, по радиальному биению, по симметричности и другим соотношениям).

Существуют три категории точности:

- 1) заданная (требуемая);
- 2) действительная (измеренная с определенной погрешностью);
- 3) ожидаемая (расчетная) [1].

Все геометрические параметры (размеры, радиальное биение и другие соотношения) изготавливаемого объекта задаются не однозначно, а двумя его допустимыми предельными значениями. Заданная точность размера численно равна допуску на «заданный» размер. Очевидно, что величина действительного размера должна оказаться внутри поля допуска на «заданный» размер.

Параллельно с термином «точность обработки» употребляется термин «погрешность обработки». Можно считать, что «погрешность обработки» является названием числового выражения «точности обработки». Факторы, под непосредственным влиянием кото-

рых возникают погрешности обработки, называются производственными погрешностями. Производственные погрешности весьма разнообразны по своей природе, месту, занимаемому в процессе выполнения операции, и другим признакам [1].

Получение действительных размеров и взаимного положения элементов объекта производства в заданных пределах, достижение этой конечной цели с наименьшими затратами труда является основной задачей проектирования операционных технологических процессов (ОТП). Разрабатывая ОТП изготовления объекта, выбирая средства для достижения заданной точности обработки, необходимо с достаточной достоверностью предугадать величину рассеивания действительных размеров в обрабатываемой партии деталей. Отсюда возникает понятие об ожидаемой (расчетной) точности обработки. Расчетная точность равна ожидаемому (расчетному) рассеиванию размеров. Расчет сводится к нахождению вероятной величины (Δ_{Σ}) поля рассеивания действительных размеров.

Главным средством, обеспечивающим первую характеристику точности и качество поверхностного слоя, является метод обработки и связанных с ним факторов. Выбирая метод обработки, разработчики ориентируются прежде всего на его технологические возможности: точность обработки поверхности по первой характеристике, допустимую методом величину снимаемого слоя материала, время обработки поверхности (производительность). Вторая характеристика точности, при работе на настроенном оборудовании, зависит от большего числа производственных погрешностей [1].

Суммарная погрешность обработки Δ_{Σ} , являющаяся функцией производственных погрешностей, определяется расчетно-аналитическим методом, позволяющим оценивать влияние каждого фактора в отдельности. В его основе лежит анализ межоперационного состояния объекта производства и анализ конкретных операций с тем, чтобы выявить эти факторы и найти математическую зависимость между значением фактора и вызываемой им долей погрешности обработки. Большинство задач по выявлению факторов взаимосвязаны. Они группируются вокруг координации элемента в конструкторской и технологической документации, установки объекта в системе координат оборудования и наладки технологической системы.

Очевидно, что вопросы, которые связаны с обеспечением точности расположения элементов объекта, должны рассматриваться как часть учения о точности.

1. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Теорией базирования называется часть учения о точности, занимающаяся взаимными связями элементов объектов в заданной системе координат [1, 2].

Базирование — это определение положения элемента в заданной системе координат путем задания, выдерживания, измерения координирующих размеров и соотношений.

Базам называются поверхности, линии и точки самого объекта и связанные с объектом, относительно которых задаются, выдерживаются и измеряются координирующие размеры или соотношения, определяющие положение рассматриваемых элементов.

Конструкторскими базами называются поверхности, линии и точки самого объекта и связанные с объектом, относительно которых задаются в рабочих чертежах координирующие размеры и соотношения, определяющие положение рассматриваемых элементов.

Технологическими базами называются поверхности, линии и точки объекта, относительно которых задаются в операционных картах, выдерживаются и измеряются координирующие размеры или соотношения в направлении заданных в рабочем чертеже конструкторских размеров и соотношений.

Исходными базами называются поверхности, линии и точки объекта и связанные с объектом, относительно которых задаются в операционных картах координирующие размеры и соотношения в направлении заданных

в рабочем чертеже конструкторских размеров и соотношений.

Установочными, выверочными, настроечными базами называются поверхности и образующие поверхностей, по которым производится установка, выверка и настройка объекта в системе координат оборудования в направлении заданных в операционной карте координирующих размеров и соотношений.

Измерительными базами называются поверхности и образующие поверхностей, относительно которых производится измерение положения элемента в направлении заданных в операционной карте координирующих размеров и соотношений.

Специальными технологическими базами называются поверхности или образующие поверхностей заготовки, специально создаваемые для выполнения функций технологических баз.

Погрешностью базирования называется погрешность, возникающая от несовпадения конструкторской и исходной баз, исходной и установочной (выверочной, настроечной), а также измерительной баз.

Под объектом понимается сборочная единица, деталь, заготовка, приспособление, режущий и мерительный инструмент.

Под элементами понимаются поверхности, линии и точки, принадлежащие объекту или связанные с ним, обозначенные в конструкторской и технологической документации.

Заданная система координат — это система координат изделия, сборочной единицы, детали, оборудования, в которой задается, обеспечивается, измеряется положение рассматриваемого элемента.

Взаимные связи в рабочих чертежах задаются конструкторскими координирующими размерами, допусками биений и подобными соотношениями. Размеры, которые задаются в технологической документации, и соотношения, задаваемые в виде технических требований и выдерживаемые в процессе выполнения операций технологического процесса, называются операционными (технологическими) размерами и соотношениями. Отличие конструкторских и технологических размеров и соотношений обусловлено следующим:

1. Размеры исходной заготовки и межоперационного состояния объекта производства отличаются от конструкторских размеров номинальными значениями и допусками.

2. Координация элементов технологическими размерами может осуществляться от иных, чем в рабочих чертежах, элементов, а

также от элементов, специально создаваемых в заготовке.

3. В некоторых случаях допуск технологического размера должен быть меньше допуска конструкторского размера.

Технологические базы разделяются на три группы: первая группа — это исходные базы; вторая группа — это установочные, выверочные, настроечные базы; третья группа — это измерительные базы. Деление технологических баз на три группы вызвано следующим. Первая группа баз связана с проектированием технологического процесса. Вторая группа баз связана с реализацией конкретной операции (применяемым приспособлением, наладкой технологической системы). Третья группа баз связана с разработкой контрольных операций (выбор способа измерения: непосредственного или косвенного, использование универсальных измерительных средств или проектирование специального контрольного приспособления).

Установочные, выверочные и настроечные базы объединены в одну группу, так как выполняют одну функцию, обеспечивают требуемое положение элемента в системе координат оборудования и получение заданных координирующих размеров и соотношений при выполнении операций технологического процесса.

В качестве установочной, выверочной, настроечной и измерительной баз могут быть приняты только реальные поверхности или их образующие, так как достичь определенного положения материального объекта можно только в результате контакта его с установочными элементами приспособления, режущим и мерительным инструментом [1–3].

При разработке технологического процесса технолог руководствуется принципом совмещения баз [1, 3, 4]. Принцип совмещения баз по отношению к рассматриваемой поверхности состоит в том, чтобы использовать в качестве конструкторской, исходной, установочной (выверочной, настроечной) и измерительной баз один и тот же элемент детали. В практической деятельности во многих случаях соблюсти принцип совмещения баз не удается по следующим причинам:

1. Невозможность использовать элемент детали в качестве технологических баз (граница размера химико-термической обработки и покрытия, плоскость симметрии и другие элементы).

2. Непригодность конструкторской базы для использования в качестве установочной базы.

3. В случае, когда одна поверхность является конструкторской базой для нескольких поверхностей при обработке конструкторской базы можно использовать в качестве установочной (выверочной, настроечной) базы только одну поверхность, из связанных координирующими размерами или соотношениями поверхностей. Остальные координирующие размеры или соотношения должны получаться автоматически.

Отказ от принципа совмещения баз приводит к необходимости рассчитывать операционные размеры. Расчет операционных размеров и допусков, обеспечивающих получение конструкторских размеров и соотношений в заданных пределах, а также съем оптимальных припусков ведется на основе теории размерных цепей, являющейся инструментом размерного анализа технологического процесса [4–8].

2. РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Термин «размерный анализ» в литературу впервые был введен В. П. Пузановой [4], и он наиболее полно характеризует объем работ, связанных с выполнением размерных расчетов при проектировании ОТП. Целью размерного анализа является разработка оптимального ОТП изготовления детали применительно к конкретным условиям производства. Размерный анализ, а также элементы размерного анализа в виде отдельных частных задач излагаются во многих работах [4–9]. Однако, по мнению автора, наиболее полной и удобной для пользователя является методика размерного анализа, изложенная в работе [6].

Конечным этапом размерного анализа является расчет операционных размеров и допусков, а также технологических допусков радиальных биений, обеспечивающих получение геометрических параметров и качество поверхности изготавливаемой детали в заданных пределах.

Исходными данными для размерного анализа ОТП являются чертеж детали и план процесса. На рис. 2.1 представлен фрагмент чертежа детали.

Конструкторские размеры длины обозначены $K_i^{TK_i}$, где TK_i — допуск размера. Диаметральные конструкторские раз-

меры обозначены $\sqrt{KD_i^{TKD_i}}$ ($\sqrt{Kd_i^{TKd_i}}$), где $TKD_i(TKd_i)$ — допуск размера.

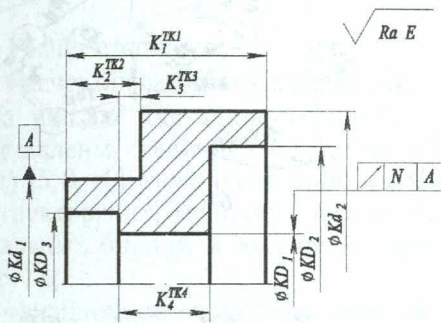


Рис. 2.1

План процесса представлен на рис. 2.2 в виде операционных эскизов двух вариантов ОТП при работе на настроенном оборудовании. Второй вариант ОТП (II вариант) отличается от первого (I вариант) иными технологическими базами в операциях № 10 и № 15. Операционные размеры длины обозначены L_i . Диаметральные операционные размеры обозначены $\sqrt{D_i^{TD_i}}$ ($\sqrt{d_i^{TD_i}}$), технологические (операционные) допуски радиальных биений обозначены символами Tb_j . Размерный анализ производится в направлении каждой координатной оси детали. Для размеров длины, в направлении координатной оси X, размерный анализ ОТП ведется в следующей последовательности [6]:

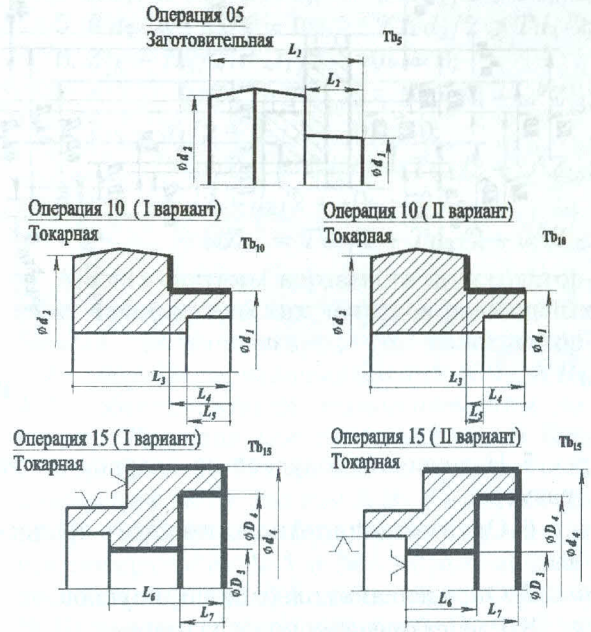


Рис. 2.2

1. Построение совмещенной схемы обработки [4–8] и графа размерной взаимосвязи конструкторских, технологических размеров и припусков [6, 8].

2. Составление систем уравнений номинальных значений и неравенств допусков конструкторских, операционных размеров и припусков [6].

3. Назначение минимально необходимых припусков.

4. Расчет номинальных значений операционных размеров без учета допусков.

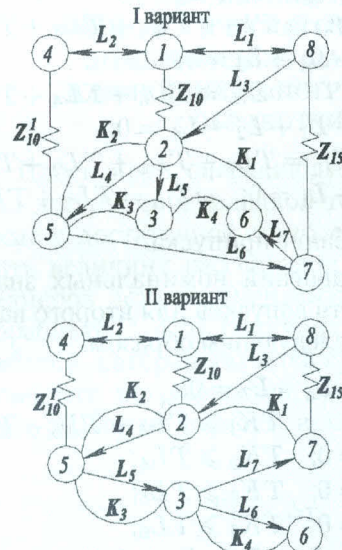
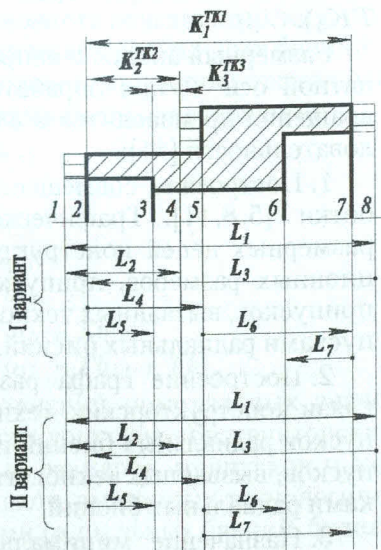


Рис. 2.3

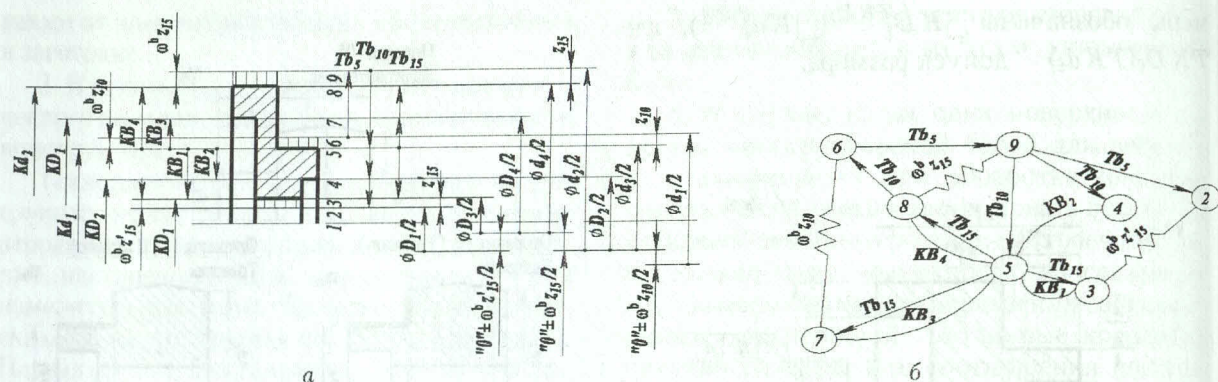


Рис. 2.4

5. Назначение допусков на операционные размеры.

6. Оптимизация технологического процесса.

7. Определение колебания припусков.

8. Расчет операционных размеров.

На рис. 2.3, а представлены совмещенные схемы обработки для двух вариантов ОТП в направлении координатной оси X [4–8]. Графы размерной взаимосвязи конструкторских, операционных размеров длины и припусков представлены на рис. 2.3, б, где Z_j^i — обозначения припусков.

Системы уравнений номинальных значений и неравенств допусков конструкторских, операционных размеров и припусков для первого варианта ОТП будут следующими:

$$1. K_1 - L_4 - L_6 = 0; \quad TK_1 \geq TL_4 + TL_6;$$

$$2. K_2 - L_4 = 0; \quad TK_2 \geq TL_4;$$

$$3. K_3 - L_4 + L_5 = 0; \quad TK_3 \geq TL_4 + TL_5;$$

$$4. K_4 + L_7 - L_6 - L_4 + L_5 = 0;$$

$$TK_4 \geq TL_7 + TL_6 + TL_4 + TL_5;$$

$$5. Z_{15} + L_6 + L_4 - L_3 = 0;$$

$$\omega Z_{15} = TL_6 + TL_4 + TL_3;$$

$$6. Z_{10}^1 + L_3 - L_1 + L_2 - L_4 = 0;$$

$$\omega Z_{10}^1 = TL_3 + TL_1 + TL_2 + TL_4;$$

$$7. Z_{10} + L_3 - L_1 = 0; \quad \omega Z_{10} = TL_3 + TL_1,$$

где ωZ_j^i — колебание припуска.

Система уравнений номинальных значений и неравенств допусков для второго варианта выглядит следующим образом:

$$1. K_1 - L_4 + L_5 - L_7 = 0;$$

$$TK_1 \geq TL_4 + TL_5 - TL_7;$$

$$2. K_2 - L_4 = 0; \quad TK_2 \geq TL_4;$$

$$3. K_3 - L_5 = 0; \quad TK_3 \geq TL_5;$$

$$4. K_4 - L_6 = 0; \quad TK_4 \geq TL_6;$$

$$5. Z_{15} - L_5 + L_4 - L_3 + L_7 = 0;$$

$$\omega Z_{15} = TL_5 + TL_4 + TL_3 + L_7;$$

$$6. Z_{10}^1 - L_3 + L_1 - L_2 + L_4 = 0;$$

$$\omega Z_{10}^1 = TL_3 + TL_1 + TL_2 + TL_4;$$

$$7. Z_{10} + L_3 - L_1 = 0; \quad \omega Z_{10} = TL_3 + TL_1.$$

Несложный анализ систем уравнений номинальных значений и неравенств допусков позволяет сделать вывод, что выбор технологических баз оказывает существенное влияние на значения операционных размеров и их допусков. Во втором варианте ОТП только при получении размера K_1 от несовпадения конструкторской (поверхность № 2) и исходной (поверхность № 3) баз присутствует погрешность базирования, равная сумме допусков операционных размеров L_4 и L_5 . При расчете методом полной взаимозаменяемости допуск на размер L_7 определяется из неравенства

$$TL_7 \geq TK_1 - TL_4 - TL_5.$$

При «жестком» допуске на размер L_7 возможно «ужесточение» допусков на операционные размеры L_4 и L_5 по сравнению с допусками на конструкторские размеры (TK_2, TK_3).

Размерный анализ в направлении координатной оси Y , при обработке поверхностей вращения производится в следующей последовательности [11]:

1. Построение совмещенной схемы обработки [5, 8, 11]. Графическое изображение размерных цепей конструкторских и операционных размеров, припусков и колебания припусков, вызванных технологическими допусками радиальных биений.

2. Построение графа размерной взаимосвязи конструкторских, технологических допусков радиальных биений и колебания припусков, вызванных технологическими допусками радиальных биений.

3. Назначение минимально-необходимых припусков.

4. Расчет операционных диаметральных размеров без учета допусков и колебания при-

пусков, вызванных технологическими допусками радиальных биений.

5. Назначение технологических допусков радиальных биений.

6. Оптимизация технологического процесса.

7. Расчет припусков.

8. Расчет операционных размеров.

На рис. 2.4 для первого варианта ОТП представлены совмещенная схема обработки (а) [5, 8, 11], граф размерной взаимосвязи конструкторских, технологических допусков радиальных биений и колебания припусков (б) [8, 11].

В авиационной отрасли не проставленные в чертеже конструкторские допуски радиальных биений назначаются по ОСТ 1.00022.76. Графическое изображение размерных цепей диаметральных конструкторских, операционных размеров и припусков в направлении координатной оси Y представлено на совмещенной схеме обработки (рис. 2.4, а).

На совмещенной схеме обработки и графе размерной взаимосвязи конструкторских, технологических допусков радиальных биений и колебания припусков приняты следующие обозначения: KB_i — конструкторский допуск радиального биения; KD_i , Kd_i — конструкторские диаметральные размеры; D_i , d_i — операционные диаметральные размеры; $\omega^b Z_j$ — колебание припуска, вызванное технологическими допусками радиальных биений; Tb_j — технологический допуск радиального биения; $\langle 0 \rangle \pm \omega^b Z_j / 2$ — звено размерной цепи с номинальным значением, равным нулю [6, 11].

Система неравенств конструкторских, технологических допусков радиальных биений и колебаний припусков, вызванных технологическими допусками радиальных биений:

$$1. KB_1 \geq Tb_{15};$$

$$2. KB_2 \geq 0;$$

$$3. KB_3 \geq Tb_{15};$$

$$4. KB_4 \geq Tb_{15};$$

$$5. \omega^b Z_{15}^1 = Tb_{15};$$

$$6. \omega^b Z_{15} = Tb_{15} + Tb_{10};$$

$$7. \omega^b Z_{10} = Tb_{15} + Tb_{10} + Tb_5.$$

Система уравнений номинальных значений и неравенств допусков конструкторских и операционных размеров, припусков и колебания припусков, вызванных технологическими допусками радиальных биений, будет:

$$1. KD_1/2 - D_3/2 = 0; \quad TKD_1/2 \geq TD_3/2;$$

$$2. KD_2/2 - D_2/2 = 0; \quad TKD_2/2 \geq TD_2/2;$$

$$3. KD_3/2 - D_4/2 = 0; \quad TKD_3/2 \geq TD_4/2;$$

$$4. Kd_1/2 - d_3/2 = 0; \quad TKd_1/2 \geq Td_3/2;$$

$$5. Kd_2/2 - d_4/2 = 0; \quad TKd_2/2 \geq Td_4/2;$$

$$6. Z_{15}^1 - D_3/2 + D_1/2 - \langle 0 \rangle = 0;$$

$$\omega Z_{15}^1 = TD_3/2 + TD_1/2 + \omega^b Z_{15}^1;$$

$$7. Z_{15} - d_2/2 + d_4/2 + \langle 0 \rangle = 0;$$

$$\omega Z_{15} = Td_2/2 + Td_4/2 + \omega^b Z_{15};$$

$$8. Z_{10} - d_1/2 + d_3/2 + \langle 0 \rangle = 0;$$

$$\omega Z_{10} = Td_1/2 + Td_3/2 + \omega^b Z_{10}.$$

Анализ системы неравенств конструкторских, технологических допусков радиальных биений свидетельствует, что конструкторские допуски радиальных биений KB_1 , KB_3 , KB_4 обеспечиваются технологическим допуском Tb_{15} , так как конструкторская база (поверхность № 5) совпадает с установочной в операции № 15. Биение KB_2 у готовых деталей теоретически будет равно нулю, так как поверхности № 5 и № 4 образованы относительно одной оси вращения в операции № 10 за один установ заготовки. По этой же причине второй вариант ОТП, где в качестве установочной базы принята поверхность № 4, будет равноценен первому варианту.

Расчет операционных диаметральных размеров ведется в радиусном выражении. Минимальная величина операционного припуска назначается не на диаметр, а на сторону [6, 11].

Рассмотренная методика размерного анализа технологического процесса положена в основу системы автоматизированного расчета операционных размеров и допусков при автоматизированном проектировании операционных технологических процессов [15–17].

3. АНАЛИЗ ОПЕРАЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПО ВЫЯВЛЕНИЮ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПОГРЕШНОСТЬ ОБРАБОТКИ

Проектируя операцию, выбирая средства для достижения заданной точности, необходимо с достаточной достоверностью определить величину рассеивания действительных размеров детали, именуемую погрешностью обработки [1, 4, 5]. Величина погрешности обработки, которая является суммой производственных погрешностей, не должна превышать заданную точность исходного размера

$$TL > \Delta_{\Sigma}, \quad (3.1)$$

где TL — допуск исходного размера; Δ_{Σ} — суммарная величина производственных погрешностей.

Обеспечение условия (3.1) является обеспечением достижения заданной точности при реализации операции с применением выбранных средств технологического оснащения и способов наладки технологической системы. Наладка технологической системы связана с выбором способов: установки приспособления, установки заготовки, настройки режущего инструмента. Эти вопросы непосредственно связаны с приданием определенного положения элементов приспособления, заготовки, инструмента в системе координат оборудования, т. е. с базированием. Таким образом, по отношению к исходному размеру условие соблюдения заданного допуска должно обеспечиваться расчетно-аналитическим методом. Если при выполнении операции обеспечивается не один, а несколько исходных размеров и соотношений, то для каждого из них должен быть проведен соответствующий анализ и соблюдено расчетное неравенство (3.1).

В источниках [1, 3, 5, 10, 12, 13] определены главные составляющие ожидаемой погрешности обработки, подробно рассмотрены вопросы определения величин погрешностей, вносимых конкретным фактором, приведены рекомендации по суммированию погрешностей. В то же время методика анализа операции приведена в общем виде и не формализована. Результат анализа зависит от квалификации исполнителя и не гарантирует полноты выявления факторов, влияющих на погрешность обработки.

Предлагаемая формализованная методика основана на выявлении размерной взаимосвязи элементов технологической системы, представлении ее в виде замкнутого контура (аналог — размерная цепь) и позволяет повысить достоверность проводимого анализа и автоматизировать процесс анализа и расчета суммарной погрешности обработки [14].

Исходными данными для анализа операции являются: операционный эскиз обработки, принципиальная схема приспособления, способы наладки технологической системы. Анализ операции производится на комплексной схеме технологической системы, построение которой заключается в следующем. На принципиальной схеме приспособления изображают элементы оборудования, по которым производится установка приспособления, эскиз заготовки, а также, при необходимости, режущий инструмент. Зазоры, которые могут иметь место, в сопряжении между элементами оборудования и приспособления, приспособления и заготовки, приспособления и ин-

струмента изображаются в увеличенном масштабе.

Комплексная схема технологической системы выполняется в плоскости, на которую исходный размер или соотношение проецируется в натуральную величину. Если приспособление устанавливается с выверкой по координате, совпадающей с направлением координирующего размера, то отпадает необходимость в изображении элементов оборудования. Если исходные размеры или соотношения, определяющие точность расположения элементов приспособления, заданы межцентровым расстоянием, допуском соосности и другими соотношениями, то оси идентифицируются с соответствующими поверхностями.

На комплексной схеме от элементов технологической системы в направлении, перпендикулярном исходному размеру, проводят выносные линии. Суммарная погрешность обработки (Δ_{Σ}), погрешности расположения элементов технологической системы (Δ_i) изображаются отрезками прямых между соответствующими выносными линиями. Задача по определению факторов, влияющих на действительную точность обработки, заключается в выявлении взаимосвязи построением замкнутого контура. Разомкнутость контура свидетельствует об отсутствии необходимой связи между соответствующими элементами технологической системы.

Рассмотрим методику на примере анализа токарной операции. На рис. 3.1 изображен операционный эскиз обработки.

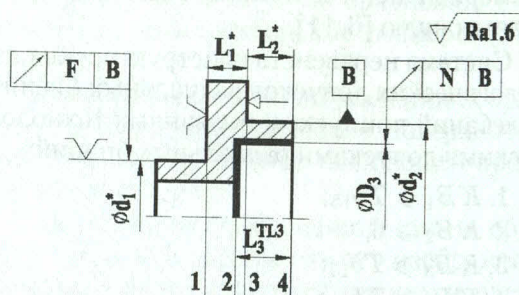


Рис. 3.1

На рис. 3.2 изображена комплексная схема технологической системы.

Операция выполняется на настроенном оборудовании. При выполнении операции должны быть получены размеры ϕD_3 , L_3 и допуск радиального биения ϕD_3 относительно ϕd_2^* . Установочной базой по координатной оси Y является ϕd_1^* , по координатной оси X — торец № 1.

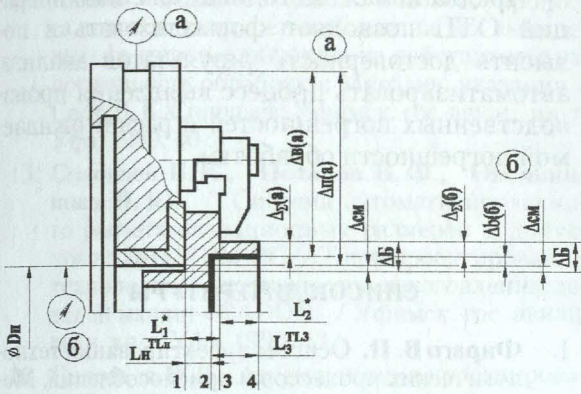


Рис. 3.2

При выполнении операции используется специальное приспособление. Заготовка устанавливается $\varnothing d_1^*$ в отверстие приспособления $\varnothing D_{II}$, упирается торцом № 1 и закрепляется прихватами по торцу № 3. Установка приспособления на переходной планшайбе может осуществляться двумя способами: с выверкой по выверочному пояску (вариант «а»), с выверкой по диаметру $\varnothing D_3$ установочного элемента приспособления (вариант «б»). Анализ операции произведем в направлении координатных осей X и Y для двух возможных вариантов установки приспособления.

Два варианта возможной установки приспособления на переходной планшайбе не оказывают влияния на анализ в направлении координатной оси X . Автоматическое получение исходного размера предполагает настройку режущего инструмента или его автоматическое позиционирование (оборудование с ЧПУ) на размер L_n . На комплексной схеме между выносными линиями соответствующих поверхностей проставим заданный исходный размер L_3 , настроечный размер L_n и ранее полученные размеры заготовки L_1^* , L_2^* . Образовался замкнутый контур размерной цепи. Номинальное значение и значение допуска настроечного размера L_n определяется из следующего уравнения номинальных значений и неравенства допусков:

$$L_3 + L_n - L_1^* - L_2^* = 0;$$

$$TL_{L_3} \geq TL_{L_n} + TL_{L_1^*} + TL_{L_2^*}.$$

Номинальное значение размера L_n будет равно

$$L_n = L_1^* + L_2^* - L_3.$$

Значение допуска размера L_n будет равно

$$TL_{L_n} = TL_{L_3} - TL_{L_1^*} - TL_{L_2^*}.$$

Погрешность базирования от несовпадения исходной (поверхность № 4) и установочной (поверхность № 1) баз определяется суммой допусков размеров L_1^* и L_2^* . Для обеспече-

ния нормальных условий выполнения операции может понадобиться некоторое «ужесточение» допусков на размеры L_1^* и L_2^* , получаемые в предыдущих операциях.

Проведем анализ операции в направлении координатной оси Y . Точность операционного размера $\varnothing D_3$ (первая характеристика точности) определяется точностью метода обработки, оборудования и не требует анализа производственных погрешностей. Точность расположения $\varnothing D_3$ задана допуском радиального биения (N) относительно $\varnothing d_2^*$. Между выносными линиями поверхностей $\varnothing D_3$ и $\varnothing d_2^*$ проводим линию, обозначающую суммарную погрешность обработки (Δ_Σ), численная величина которой не должна превышать величину заданного допуска радиального биения.

Для варианта «а», в операционной карте записывается техническое условие установки приспособления на оборудовании: «При установке приспособление выверить. Радиальное биение выверочного пояска не более E ». Выявляем взаимосвязь между элементами технологической системы:

1. Ось вращения является геометрической осью поверхности $\varnothing D_3$, образующейся в процессе выполнения операции. Относительно оси вращения производится выверка приспособления. Следовательно, численная величина погрешности расположения поверхности $\varnothing D_3$ относительно выверочного пояска равна допуску выверки приспособления. Между выносными линиями соответствующих элементов технологической системы проводим линию, обозначающую погрешность установки приспособления ($\Delta_{B(a)}$).

2. При изготовлении приспособления взаимное расположение выверочного пояска и установочного элемента ($\varnothing D_3$) приспособления выполнено с погрешностью ($\Delta_{II(a)}$). Между выносными линиями соответствующих элементов технологической системы проводим линию, обозначающую погрешность изготовления приспособления.

3. Между поверхностью ($\varnothing D_{II}$) установочного элемента приспособления и поверхностью ($\varnothing d_1^*$) заготовки имеется зазор. Между выносными линиями соответствующих элементов технологической системы проводим линию, обозначающую погрешность смещения заготовки в приспособлении (Δ_{CM}).

4. Поверхность ($\varnothing d_2^*$) заготовки (исходная база), относительно которой задано исходное соотношение допуском радиального биения, выполнена относительно поверхности

($\varnothing d_1^*$) заготовки (установочная база) с допуском радиального биения, равным F . Между выносными линиями соответствующих элементов проводим линию, обозначающую погрешность базирования (Δ_B).

В результате анализа и построения схемы взаимосвязи исходного соотношения (допуска радиального биения) и производственных погрешностей образовался замкнутый контур, который и определяет состав факторов, влияющих на суммарную погрешность обработки. Используя рекомендации источников [3, 5, 10, 12], запишем расчетное неравенство

$$N > \Delta_{\Sigma} = K \sqrt{\Delta_{B(a)}^2 + \Delta_{П}^2 + \Delta_{СМ}^2 + \Delta_{B}^2}; \quad (3.2)$$

где K — коэффициент, учитывающий законы распределения суммируемых производственных погрешностей.

Для варианта («б») в операционной карте записывается техническое условие: «При установке приспособление вывернуть. Радиальное биение установочного элемента ($\varnothing D_{П}$) не более E ». Анализ выполняется аналогично анализу по варианту («а»). Расчетное неравенство будет иметь вид

$$N > \Delta_{\Sigma} = K \sqrt{\Delta_{B(б)}^2 + \Delta_{СМ}^2 + \Delta_{B}^2}. \quad (3.3)$$

Сравнение состава производственных погрешностей двух вариантов установки приспособления показывает, что вариант («б») является предпочтительнее, так как в составе производственных погрешностей отсутствует погрешность изготовления приспособления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая концепция теории базирования в машиностроении, в отличие от ГОСТ 21495-86 [18], рассматривается как часть учения о точности, занимающаяся взаимными связями (координирующие размеры и соотношения) элементов объектов в заданной системе координат, и предназначена для обоснования получения заданной точности расчетно-аналитическим методом на стадии проектирования ОТП.

Рассмотренная формализованная методика размерного анализа ОТП позволяет перейти от системы рекомендаций и правил к математически обоснованному выбору технологических баз, автоматизировать процесс выявления размерных цепей и расчета операционных размеров и допусков [15–17].

Предлагаемая методика анализа операций ОТП позволяет формализовать и повысить достоверность результатов анализа, автоматизировать процесс выявления производственных погрешностей и расчет ожидаемой погрешности обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

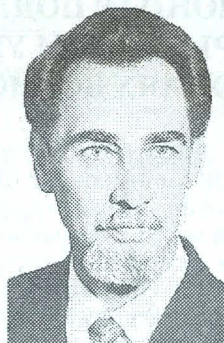
1. **Фираго В. П.** Основы проектирования технологических процессов и приспособлений. Методы обработки поверхностей. М.: Машиностроение, 1973. 468 с.
2. **Соловьев В. К.** Вопросы теории базирования // Оптимизация технологических процессов по критериям прочности: Межвуз. тематич. сб. / Уфимск. авиац. ин-т. Уфа, 1983. С. 101–105.
3. **Маталин А. А.** Технология машиностроения. Л.: Машиностроение, 1983. 512 с.
4. **Пузанова В. П.** Простановка размеров длины в чертежах деталей. Л.: Машиностроение, 1964. 104 с.
5. **Иващенко И. А.** Проектирование технологических процессов производства двигателей летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1981. 224 с.
6. **Меркурьев И. А., Рахимов Э. Г., Соловьев В. К.** Теория и практика расчета операционных размеров и допусков при проектировании технологических процессов механической обработки: Учеб. пособие / Уфимск. авиац. ин-т. Уфа, 1970. 138 с.
7. **Матвеев В. В., Тверской М. М. и др.** Размерный анализ технологических процессов. М.: Машиностроение, 1982. 254 с.
8. **Мордвинов Б. С., Ольшанский Н. А., Огурцов Е. С.** Расчет технологических размеров и допусков при проектировании технологических процессов механической обработки заготовок деталей машин / Омск. политех. ин-т. Омск, 1972. 112 с.
9. **Шевелев А. С.** Определение припусков и расчет операционных размеров на обработку деталей в машиностроении / Куйбышев: Куйбышевск. авиац. ин-т, 1974. 44 с.
10. **Корсаков В. С.** Основы технологии машиностроения. М.: Высшая школа, 1974. 335 с.
11. **Расчет технологических размеров и допусков при обработке поверхности вращения: Методические указания / Сост. В. К. Соловьев; Уфимск. авиац. ин-т. Уфа, 1989. 19 с.**
12. **Ансеров М. А.** Приспособления для металло-режущих станков. Л.: Машиностроение, 1975. 656 с.
13. **Андреев Г. Н., Новиков В. Ю., Схиртладзе А. Г.** Проектирование технологической оснастки машиностроительного производства. М.: Высшая школа, 1999. 416 с.

14. Анализ операций технологического процесса изготовления деталей машин по выявлению факторов, влияющих на действительную погрешность обработки: Методич. указания / Сост. В. К. Соловьев; Уфимск. гос. авиац. ин-т. Уфа, 1989. 40 с.
15. Соловьев В. К., Потапов В. Ф., Овсянникова Н. Ю. Система автоматизированного расчета операционных размеров и допусков на ЭВМ IBM PC/AT при проектировании технологических процессов изготовления деталей машин «САРОР» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа, 1995. 43 с.
16. Соловьев В. К. Автоматизация проектирования операционных технологических процессов изготовления деталей точного машиностроения // Изв. вузов. Авиационная техника. 2004. № 1. С. 75–77.
17. Соловьев В. К. Графическая автоматизированная система проектирования операцион-

ных технологических процессов «ГАСПОТ-ЭКСПРЕСС»: Учеб. пособие / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа, 2000. 110 с.

18. ГОСТ 21495-76. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения.

ОБ АВТОРЕ



Соловьев Вячеслав Кириллович, доц., каф. технол. машиностроения. Дипл. инж.-мех. (УАИ, 1963). Канд. техн. наук. Иссл. в обл. расч.-аналитич. методов обеспеч. точности обработки и автоматиз. технологич. проектирования.

Сигнальная информация



В. В. Постнов, В. Ю. Шолом, Л. Ш. Шустер Методы и результаты оценки контактного взаимодействия применительно к процессам металлообработки

Москва: Машиностроение, 2004

103 с. Табл. 5. Ил. 58. Библиогр.: 51 назв. ISBN 5-217-03273-1

Рецензенты: Д-р техн. наук, проф. Н. П. Барыкин;
д-р техн. наук, проф. В. Л. Юрьев

Дано описание лабораторных методов оценки специфических параметров контактного взаимодействия и функциональных свойств смазывающе-охлаждающих технологических сред для процессов металлообработки, основанных на моделировании напряженно-деформированного и температурного состояния зоны контакта инструмента с заготовкой. Приведены результаты экспериментальных исследований, полученных по описанным методикам, позволяющие оптимизировать технологические режимы по критериям износостойкости инструмента и качества обработанной поверхности, повысить эффективность операций металлообработки за счет использования новых технологических смазочных материалов серии «Росойл».

Для научных и инженерно-технических работников, занимающихся разработкой и внедрением перспективных технологических процессов, инструментальных, обрабатываемых и смазочных материалов.