

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АНАЛИЗА ОТКЛОНЕНИЙ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПРИ СБОРКЕ НА ОСНОВЕ АДАПТАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ РОБОТОВ

Информация о процессе сборки напрямую влияет на точность изготовления изделия. Предложена методика моделирования, основанная на схематизации информации процесса сборки, для прогнозирования точности изделия. Информация об отклонениях сборки отображается отклонением расположения точек контакта, распространением отклонений между деталями и направлением распространения отклонений. Была установлена схематизированная связь между информацией о процессе сборки и информацией о распространении отклонений, методика прецизионного моделирования сборки, включает метод, основанный на адаптации математического аппарата, используемого в кинематике роботов, и методику влияния переходов отклонений сборки.

Ключевые слова: сборочный процесс, размерные параметры, геометрическая модель, отклонение расположения, комплект баз, отклонение формы.

Введение. Огромное количество практических испытаний подтвердило, что затраты на сборку составляют от одной трети до половины общих производственных затрат. Поэтому виртуальная сборка [1] и ее анализ являются важной темой в обрабатывающей промышленности. Поскольку международная конкуренция становится все более жесткой, потребность компаний в поставках высококачественной продукции, производимой по умеренной цене, возрастает. Однако, несмотря на то, что современные производственные процессы обеспечивают постоянно повышающуюся точность, на сборку изделия в качестве основного фактора производственных затрат, а также на качество изделия влияют геометрические отклонения деталей. Эти геометрические отклонения неизбежно наблюдаются на каждой изготовленной детали из-за неточности изготовления и погрешности измерения [2]. Как следствие, назначение допусков является важным этапом при проектировании, неразрывно связанным с производством и контролем, поскольку геометрические допуски сильно влияют на качество продукции и экономические показатели [3]. В настоящее время эта деятельность выполняется при помощи программ компьютерного контроля допусков, которые в основном используются для анализа допусков, то есть для оценки влияния геометрических

отклонений деталей на сборку или функциональные требования. В связи с этим главной проблемой в исследованиях допусков является математическое представление и обработка геометрических отклонений поверхностей [4]. Однако большинство подходов едва ли позволяют реалистично учитывать отклонения формы [5–8], хотя оказывают значительное влияние на требования, предъявляемые к изделию [9, 10].

В данной работе предложена методика моделирования, основанная на схематизации информации процесса сборки, для прогнозирования точности изделия.

Постановка задачи. Был разработан метод [11, 12], основанный на адаптации математического аппарата, используемого в кинематике роботов с привязкой к системе координат и последующей визуализацией в программе Excel, согласно которому определяются координаты точек, формирующих контур детали $(x_0; y_0), (x_1; y_1) \dots (x_i; y_i)$ по заданным L_1, Q_1, Q_2 и вычисляемым Q_{2i}, L_{2i} , где L_1 — длина плеча манипулятора, первый сустав, закрепленный в основании оси координат, и повернут на угол Q_1 ; L_{2i} — длина локтя манипулятора, второй сустав, расположенный на конце первого сустава, крепится к каждой точке контура детали и повернут относительно плеча на угол Q_2 ; Q_{2i} — угол откло-

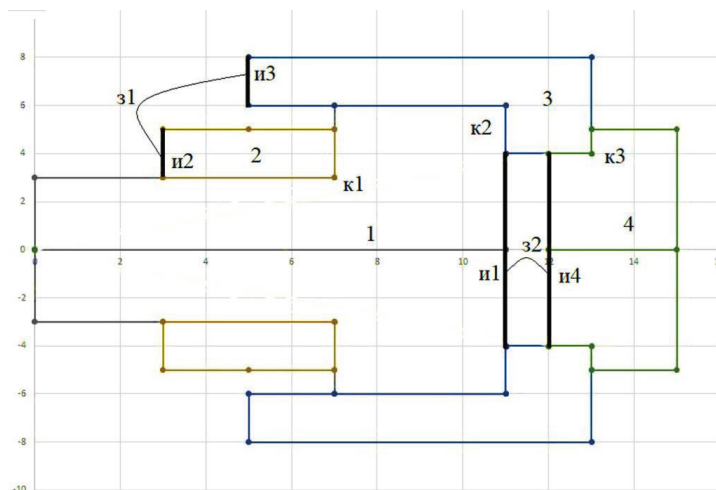


Рис. 1. Выявление контактов (зазоров) и замыкающих звеньев

нения каждой точки контура детали относительно идеального (исходного) положения в системе отсчета «1», включающий в себя: Q_1 — угол отклонения детали целиком относительно начала оси координат (в системе отсчета «1»), (отклонение (перемещение) детали относительно осей «X» и «Y» строго перпендикулярно), Q_2 — угол отклонения детали целиком относительно системы отсчета «2» (отклонение (перемещение) детали относительно осей «X» и «Y» на заданное значение угла).

Таким образом, имеется две системы отсчета:

1. Связана с точкой крепления плеча L_1 и началом оси координат.

2. Начало координат расположено в точке крепления детали (локтя).

Необходимо определить смещение второй системы относительно первой (координаты смещения точек контура детали $(x_0; y_0)$, $(x_1; y_1)$... $(x_r; y_r)$ относительно начала координат).

Отличительной особенностью используемых в данной методике формул является применение для анализа углов отклонения двух переменных Q_1 , Q_2 и результирующего угла Q_{2i} , что позволяет оперировать перемещением детали как относительно осей «X» и «Y» строго перпендикулярно, так и осуществлять поворот на заданное значение угла. При этом в формуле вычисления углов Q_{2i} вычитается угол Q_1 не оказывая влияние на поворот детали, однако влияет на результирующий угол направления Q_{2i} . Использование переменного угла « $-Q_1$ » подразумевает выравнивание детали параллельно оси ОХ.

Была установлена схематизированная связь между информацией о процессе сборки и информацией о распространении отклонений, создана методика прецизионного моделирования сборки, включающая метод, основанный на адаптации математического аппарата, используемого в кинематике роботов, и методику влияния переходов отклонений сборки.

Разработанная теория. Методика влияния переходов отклонений сборки.

1. Составление модели сборочной единицы.

2. Выявление контактов (зазоров) (к1, к2, к3) и замыкающих звеньев (з1, з2). Замыкающие звенья — размеры и требования отклонения расположения (рис. 1).

3. Выявление основных и вспомогательных баз и исполнительных поверхностей для всех деталей.

4. Выявление цепочек связей между исполнительными поверхностями (замыкающие звенья) разных деталей, между которыми заданы требуемые параметры замыкающих звеньев.

5. Задание параметров размеров и отклонений расположения для отдельных деталей.

6. Расчет того, как влияют заданные параметры на замыкающие звенья.

Допущения:

1. Считаем, что поверхности, по которым осуществляются контакты между деталями — строго совмещаются при сборке.

2. Существует смещение (отклонение) вспомогательных баз относительно основных баз и одних вспомогательных баз относительно других, если на деталь устанавливается несколько деталей.

3. Существует смещение (отклонение) исполнительных поверхностей относительно основных баз для отдельных деталей.

4. В качестве смещений принимаем эксцентриситет цилиндрических и наклон торцевых поверхностей. Данные смещения предполагаем в плоскости чертежа. Отклонения исполнительных поверхностей и базовых поверхностей считаем относительно комплекта баз (торец + цилиндрическая поверхность).

Порядок расчета

1. Задаем идеальные размеры и положения поверхностей всех деталей (в модели) (рис. 2).

2. Задаем для всех деталей отклонения размеров и взаимного расположения для комплектов баз и исполнительных поверхностей.

3. Обеспечение совмещения основных и вспомогательных баз всех деталей путем смещений и поворотов (решение обратной задачи).

Пример

1. Задаем идеальные размеры для 1, 2, 3 деталей.

2. Задаем отклонения для отдельных деталей, при этом один из комплектов баз считается идеально расположенным, а отклонение задается для точек исполнительных поверхностей или второго комплекта (вспомогательных баз).

3. Базовую (1) деталь не смещаем после задания отклонений.

4. Затем в порядке сборки выполняем преобразование положения присоединяемых деталей путем приравнивания значений параметров основных и вспомогательных баз, за счет подбора параметров ΔL_1 , ΔQ_1 , ΔQ_2 (рис. 3).

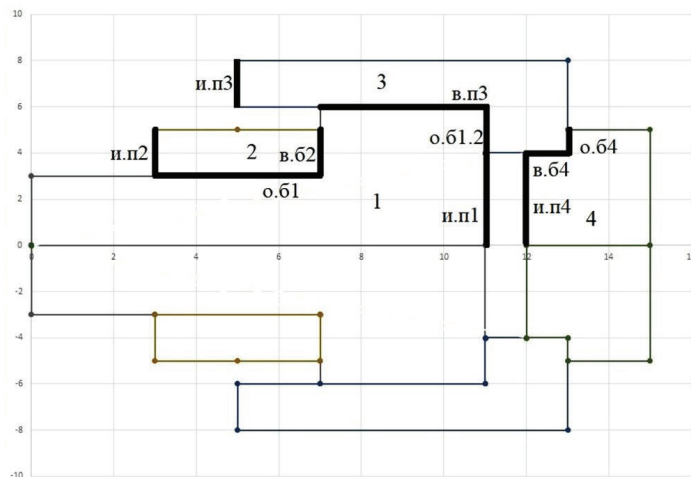


Рис. 2. Взаимное расположение комплектов баз и исполнительных поверхностей

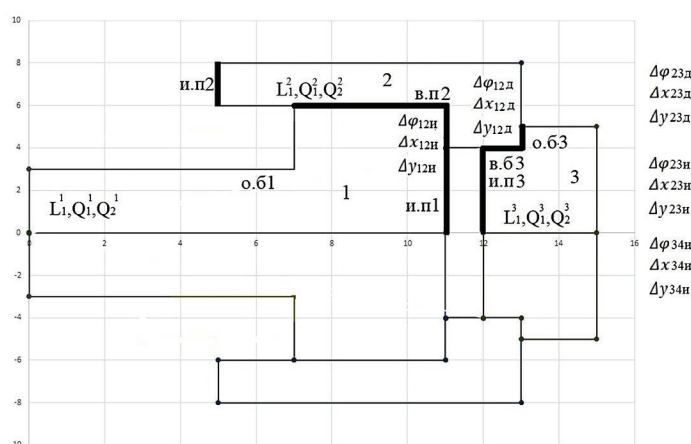


Рис. 3. Параметры основных и вспомогательных баз

Рассмотрим подробно порядок расчета для сборки из трех взаимно влияющих деталей. Исходными являются отклонения координат точек ($\Delta x_1, \Delta y_1$), действительными — $\Delta L_1, \Delta Q_1, \Delta Q_2$. Для детали № 1 действительные идеальны.

1-я деталь		
$\Delta\varphi_{12и}$	исходные отклонения вспомогательных баз	} за счет ΔL_1 ΔQ_1 ΔQ_2
$\Delta x_{12и}$		
$\Delta y_{12и}$		

2-я деталь		
$\Delta\varphi_{12д}$	параметры положения основных баз	} за счет ΔL_1 ΔQ_1 ΔQ_2
$\Delta x_{12д}$		
$\Delta y_{12д}$		

3-я деталь

$$\Delta\varphi_{23д} = \Delta\varphi_{12и} + \Delta\varphi_{23и}$$

$$\Delta x_{23д} = \Delta x_{12и} + \Delta x_{23и}$$

$$\Delta y_{23д} = \Delta y_{12и} + \Delta y_{23и}$$

Уточнение методики

1. Выявление поверхностей контакта и точек отклонения для всей сборочной единицы.

2. Устанавливаем отклонения формы деталей с учетом идеального положения поверхности кон-

такта для устанавливаемой детали. Для базовой детали идеальной поверхностью принимаем условно опорную поверхность (например, ось), по которой определяется ее положение.

3. Последовательное присоединение по методике, определение значений координат точек после присоединения.

Определение отклонений Δx и Δy после присоединения по отношению к идеальному положению для следующей поверхности контакта и присоединение последующей детали (для базовой детали отклонения задаются, для присоединяемой — рассчитываются).

4. Таким образом, формируются три вида взаимного влияния положения и формы деталей:

— идеальная форма и идеальное положение поверхностей контакта;

— неидеальная форма и идеальное положение поверхностей контакта.

Происходит условное разъединение поверхностей контакта: для предшествующей детали положение идеальное; для последующей не идеальное, из-за отклонения формы появляются новые координаты этих поверхностей.

Осуществление последующего соединения деталей по поверхностям контакта с учетом распространения отклонений между деталями.

Результаты экспериментов. Целью данного расчета является осуществление численных экспериментов с получением количественных харак-

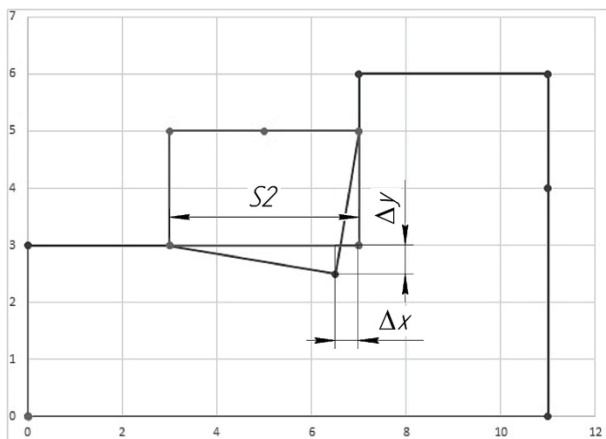
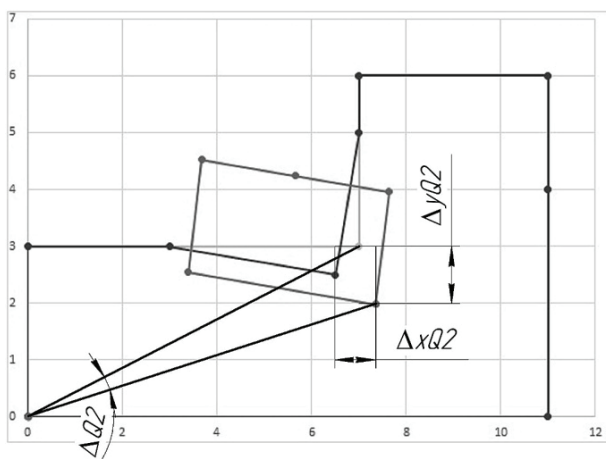
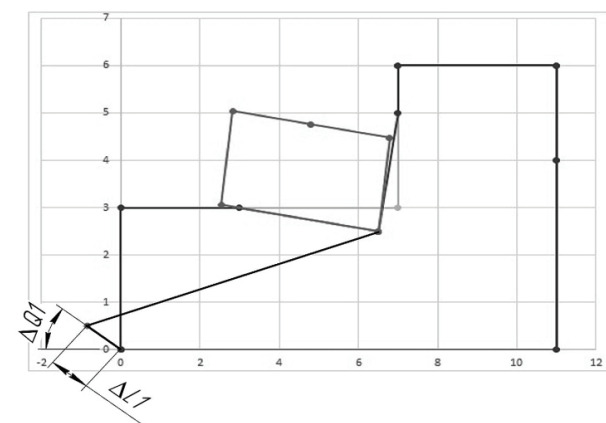


Рис. 4. Исходные данные

Рис. 5. Поворот на ΔQ_2 .Рис. 6. Поворот на ΔQ_1 , сдвиг на ΔL_1 .

теристик размерных параметров соединений с привязкой к системе координат при моделировании сборочного процесса и последующей визуализацией в программе Excel геометрических моделей деталей и их соединения. Произведем расчет на примере двух деталей.

Численный пример

Исходные данные (рис. 4):

$$\Delta x = -0,5; x_{\text{исх}} = 7; S_2 = 4; L_1 = 0; \Delta y = -0,5; y_{\text{исх}} = 3; Q_1 = 0; Q_2 = 0.$$

1. Поворот на ΔQ_2 (рис. 5) $\Delta Q_2 = \arctg(\Delta y/S_2 + \Delta x)$.
 $\Delta Q_2 = \arctg(-0,5/4 - 0,5) = -0,1419$.

$$2. \text{Определение } \Delta x Q_1 \quad \Delta x Q_2 = x Q_2 - x_{\text{исх}};$$

$$\Delta x Q_1 = \Delta x - \Delta x Q_2.$$

$$\Delta x Q_2 = 7,352 - 7 = 0,352.$$

$$\Delta x Q_1 = -0,5 - 0,352 = -0,852.$$

$$3. \text{Определение } \Delta y Q_1 \quad \Delta y Q_2 = y Q_2 - y_{\text{исх}};$$

$$\Delta y Q_1 = \Delta y - \Delta y Q_2;$$

$$\Delta y Q_1 = \Delta x Q_1 \cdot \text{tg} Q_1;$$

$$\text{tg} Q_1 = \Delta y Q_1 / \Delta x Q_1.$$

$$\Delta y Q_2 = 1,986 - 3 = -1,014.$$

$$\Delta y Q_1 = -0,5 + 1,014 = 0,514.$$

$$\text{tg} Q_1 = 0,514 / -0,852 = -0,603.$$

$$4. \text{Поворот на } \Delta Q_1 \text{ (рис. 6): } \Delta Q_1 = \arctg(\Delta y Q_1 / \Delta x Q_1).$$

$$\Delta Q_1 = \arctg(-0,603) = -0,547.$$

$$5. \text{Сдвиг на } \Delta L_1 \quad \Delta L_1 = \sqrt{\Delta y Q_1^2 + \Delta x Q_1^2}.$$

$$\Delta L_1 = \sqrt{0,514^2 + (-0,852)^2} = -0,999.$$

В зависимости от расположения отклонения необходимо учесть, что вычисление квадратного корня дает ответ со знаком плюс-минус.

Обсуждение экспериментов. Так как задавать отклонения угла Q_1 без изменения L_1 не представляется возможным, то поворот осуществляется только после того, как будет задано значение для L_1 , но именно в последовательности, указанной в расчете:

Поворот на $\Delta Q_2 \rightarrow$ Поворот на $\Delta Q_1 \rightarrow$ Сдвиг на ΔL_1 .

Таким образом, полученные данные позволяют осуществить соединение деталей по поверхностям контакта с учетом распространения отклонений между деталями. Провести численные эксперименты с получением количественных характеристик размерных параметров соединений и привязкой к системе координат при моделировании сборочного процесса и наглядно оценить влияние распространения отклонений между деталями в сборке посредством автоматизированного расчета в программе Excel.

Выводы. Информация о процессе сборки напрямую влияет на точность изготовления изделия. Предложенный метод моделирования, основан на схематизации информации процесса сборки, для прогнозирования точности изделия. Информация об отклонениях сборки отображается отклонением расположения точек контакта, распространением отклонений между деталями и направлением распространения отклонений. Установлена схематизированная связь между информацией о процессе сборки и информацией о распространении отклонений, создана методика прецизионного моделирования сборки, включающая метод, основанный на адаптации математического аппарата, используемого в кинематике роботов, и методику влияния переходов отклонений сборки.

Библиографический список

- Gao W., Shao X., Liu H. Virtual assembly planning and assembly-oriented quantitative evaluation of product assemblability // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2014. Vol. 71. (1-4). P. 483–496. DOI: 10.1007/s00170-013-5514-8.
- Srinivasan V. Computational metrology for the design and manufacture of product geometry: a classification and synthesis // Journal of Computing and Information Science in Engineering. 2007. Vol. 7 (1). P. 3–9 DOI: 10.1115/1.2424246.
- Chase K. W., Parkinson, A. R. A survey of research in the application of tolerance analysis to the design of mechanical assemblies // Research in Engineering Design. 1991. Vol. 3 (1). P. 23–37. DOI: 10.1007/BF01580066.
- Mathieu L., Ballu A. A model for a coherent and complete tolerancing process // Models for computer aided tolerancing

in design and manufacturing / Ed. J. Davidson. Springer, Netherlands, 2007. P. 35–44. DOI: 10.1007/1-4020-5438-6_5.

5. Ameta G., Serge S., Giordano M. Comparison of spatial math models for tolerance analysis: tolerance-maps, deviation domain, and TTRS // Journal of Computing and Information Science in Engineering. 2011. Vol. 11 (2). 021004. DOI: 10.1115/1.3593413.

6. Bo C., Yang Z., Wang L. [et al.]. A comparison of tolerance analysis models for assembly // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2013. Vol. 68 (1-4). P. 739–754. DOI: 10.1007/s00170-013-4795-2.

7. Chen H., Jin S., Li Z. [et al.]. A comprehensive study of three dimensional tolerance analysis methods // Computer-Aided Design. 2014. Vol. 53. P. 1–13. DOI: 10.1016/j.cad.2014.02.014.

8. Prisco U., Giorleo G. Overview of current CAT systems // Integrated Computer Aided Engineering. 2002. Vol. 9. P. 373–387. DOI: 10.3233/ICA-2002-9406.

9. Cho S., Kim J. Y. Straightness and flatness evaluation using data envelopment analysis // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2012. Vol. 63. P. 731–740. DOI: 10.1007/s00170-012-3925-6.

10. Giordano M., Samper S., Petit J. Tolerance analysis and synthesis by means of deviation domains, Axi-symmetric cases // Models for computer aided tolerancing in design and manufacturing / Ed. J. Davidson. Springer, Netherlands, 2007. P. 85–94. DOI: 10.1007/1-4020-5438-6_5.

11. Примак Д. Д., Волков И. А., Масыгин В. Б. Применение геометрических моделей при анализе размерных параметров соединений на основе прямой задачи кинематики роботов // Омский научный вестник. 2018. № 3 (159). С. 14–17. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-159-14-17.

12. Примак Д. Д., Волков И. А., Масыгин В. Б., Загвоздин Ю. Г. Определение изменений геометрических параметров точек контура геометрических моделей деталей при наличии отклонения расположения поверхностей // Проблемы разработки, изготовления и эксплуатации ракетно-космической техники и подготовки инженерных кадров для авиакосмической отрасли: материалы XII Всерос. науч. конф., по-

свящ. памяти гл. конструктора ПО «Полёт» А. С. Клинышкова. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2018. С. 81–85.

ПРИМАК Дарья Дмитриевна, аспирант кафедры «Технология машиностроения».

SPIN-код: 1861-4359

AuthorID (РИНЦ): 945942

Адрес для переписки: venenifer@yandex.ru

ВОЛКОВ Иван Александрович, аспирант кафедры «Технология машиностроения».

SPIN-код: 6172-1346

AuthorID (РИНЦ): 233687

Адрес для переписки: bki-omsk@rambler.ru

МАСЯГИН Василий Борисович, кандидат технических наук, доцент (Россия), профессор кафедры «Технология машиностроения».

SPIN-код: 7032-2852

AuthorID (РИНЦ): 379618

ORCID: 0000-0001-8649-5830

AuthorID (SCOPUS): 6507478238

Адрес для переписки: masyagin@omgtu.ru

АРТЮХ Роман Леонидович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения».

SPIN-код: 1024-2344

Для цитирования

Примак Д. Д., Волков И. А., Масыгин В. Б., Артюх Р. Л. Разработка методики анализа отклонений расположения при сборке на основе адаптации математического аппарата обратной задачи кинематики роботов // Омский научный вестник. 2020. № 3 (171). С. 32–36. DOI: 10.25206/1813-8225-2020-171-32-36.

Статья поступила в редакцию 24.03.2020 г.

© Д. Д. Примак, И. А. Волков, В. Б. Масыгин, Р. Л. Артюх