

Д. М. Филькин, канд. техн. наук, доц.
Брянский государственный технический университет, Россия
Тел. 8-953-292-13-92; E-mail: filkin.dm@mail.ru

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОЙ МОДЕЛИ РАЗМЕРНЫХ СВЯЗЕЙ

В статье описывается комплексная модель выполнения анализа точности станочных приспособлений. Модель позволяет выполнять проектные и проверочные расчеты параметров точности деталей приспособлений, а также параметров эксплуатационных свойств.

Ключевые слова: точность, станочные приспособления, размерный анализ, эксплуатационные свойства, допуски.

D. M. Filkin

ACCURACY ANALYSIS OF FIXTURES BASE ON COMPLEX DIMENSIONAL MODEL

Describe a complex model of accuracy analysis of fixtures. The model enables to perform define and checking calculation dimension tolerances and operational characteristics of fixtures' part.

Key words: accuracy, fixture, dimensional analysis, operational characteristics, tolerance.

1. Введение

Размерный анализ является эффективным инструментом для расчета геометрической точности конструкций станочных приспособлений. С его помощью можно определять номинальные значения, отклонения и допуски размеров, рассчитывать нормы точности и разрабатывать технические условия приспособлений и их составных частей, выполнять анализ правильности простановки размеров и отклонений на рабочих чертежах деталей.

2. Основное содержание и результаты работы

Точность приспособлений при проектировании чаще всего оценивается при помощи расчета погрешности установки заготовок [1, 2 и др.]. Эта погрешность описывает поле рассеяния некоторого размера или другого геометрического параметра обрабатываемой поверхности заготовки при ее установке и закреплении.

Погрешность установки заготовки ε_y имеет следующую структуру:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_\delta^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{np}^2},$$

где ε_δ – погрешность базирования заготовки в приспособлении; ε_3 – погрешность закрепления заготовки, возникающая в результате приложения сил зажима; ε_{np} – комплексная погрешность, характеризующая погрешность положения заготовки, определяемая другими параметрами приспособления.

Погрешность положения ε_{np} рассматривается как погрешность, состоящая из трех основных частей:

$$\varepsilon_{np} = \varepsilon_{ус.эл} + \varepsilon_{ус.пр} + \varepsilon_u,$$

где $\varepsilon_{ус.эл}$ – погрешность изготовления и сборки установочных элементов приспособления; $\varepsilon_{ус.пр}$ – погрешность установки приспособления на станке; ε_u – погрешность положения, возникающая в результате изнашивания элементов приспособления.

При выполнении проектирования станочных приспособлений каждая из составляющих рассчитывается с использованием теоретических или эмпирических зависимостей. В

дальнейшем по величине погрешности установки делается вывод относительно точности обработки заготовок в разработанном приспособлении. Такая методика является достаточно простой для практического использования, но в тоже время излишне упрощенной, что снижает ее точность.

В основе анализа точности приспособлений лежит анализ размерных связей их конструкции. При этом отдельные составляющие погрешности установки формально так и определяются ($\varepsilon_{yc.эл}$), для вычисления других используются зависимости, полученные в результате размерного анализа типовых схем установки (ε_6 и $\varepsilon_{yc.нр}$).

При выполнении анализа точности ответственных станочных приспособлений следует анализировать комплексные размерные схемы установки заготовок. Такие размерные модели точности установки создают дополнительные возможности для конструктора при использовании современных САД систем, позволяющих выполнять оптимизацию проектируемых конструкций. Это позволяет повысить качество проектных работ и, в частности, надежность обеспечения точности конечных деталей и заготовок, обрабатываемых в приспособлении.

Современное состояние теории расчета размерных цепей позволяет включать все рассмотренные выше погрешности, формирующие погрешность установки, в качестве составляющих размеров [3, 4, 5]. Погрешность закрепления ε_3 и погрешность износа ε_u в рамках погрешности установки описывают изменения размерных связей, характеризующих положения заготовки, в процессе эксплуатации приспособления. Любое изделие теряет свою точность под действием различных внешних воздействий, что происходит, в том числе с устанавливаемой в приспособление заготовкой. Включение в расчетную схему эксплуатационных составляющих размеров, воздействующих на точность замыкающего звена Δ (значение проверяемого параметра), позволяет учитывать в комплексной размерной схеме изменение положения заготовки в результате приложения сил зажима (ε_3) и изнашивания деталей приспособления (ε_u).

Уравнение такой размерной цепи имеет вид:

$$\vec{T}_\Delta = \sum_i^n \vec{T}_{s_i} + \sum_j^m \vec{T}_{\varepsilon_{kj}},$$

где T_s, T_{ε_k} – допуски векторов эксплуатационных размеров, существенно воздействующих на точность замыкающего звена Δ .

В матричном виде уравнение имеет вид:

$$\{T_\Delta\} = [A]\{T_s\} + [E]\{T_{\varepsilon_k}\}.$$

При решении размерных цепей методом максимума-минимума допуск замыкающего звена определяется суммой допусков всех составляющих размеров:

$$T_\Delta = \sum_i^n c_i T_{s_i} + \sum_j^m c_j T_{\varepsilon_{kj}},$$

где c – модуль коэффициентов передаточных отношений; T_s, T_{ε_k} – допуски конструкторских и эксплуатационных размеров соответственно.

В общем виде допуск линейного замыкающего звена складывается из допусков составляющих звеньев в каждой из проекций с учетом угловых размеров [4, 5]

$$T_\Delta = \sqrt{\sum_{i=1}^3 \left(\frac{t}{\beta} \sqrt{\sum_j^n (c_{ij} \lambda_{ij} T_j)^\mu + \sum_k^m (c_{ik} \lambda_{ik} T_{\varepsilon_{kn_k}})^\mu} \right)^2},$$

Здесь t – коэффициент риска, характеризующий вероятность выхода отклонений звена за пределы допуска; λ – коэффициенты относительного среднеквадратичного отклонения; β – коэффициент расширения допуска; μ – коэффициент степени, учитывающий метод расчета размерных цепей.

Для вычисления коэффициентов передаточных отношений размеров используется матричный аппарат описания размерных цепей. В общем виде уравнение цепи имеет вид:

$$[R_1][M_1][R_2][M_2] \dots [R_i][M_i] \dots [R_n][M_n][R_f] = [H],$$

где $[R]$ – матрицы суммарных поворотов, равные произведению матриц поворотов вокруг соответствующих осей, $[M]$ – матрицы перемещений вдоль оси x , $[H]$ – вектор-столбец замыкающего звена.

Эти матрицы характеризуют перемещение от точки к точке вдоль всего контура размеров. Векторы размеров в уравнении не используются. Их заменяют матрицы перемещения. Матрицы перемещений и поворотов имеют вид:

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; R_y = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$R_z = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & T_x \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Задавая небольшие приращения каждому из параметров, можно вычислить их коэффициенты передаточных отношений.

$$c_{ia} = \frac{[H_i]_{a+\Delta} - [H_i]_{a-\Delta}}{2\Delta},$$

где a – исследуемый параметр (линейный или угловой размер, элементарная погрешность, эксплуатационное свойство поверхности); c_{ia} – коэффициент передаточного отношения параметра a на одну из координатных осей (x , y или z); $[H_i]_{a+\Delta}$ и $[H_i]_{a-\Delta}$ – значения замыкающего звена после приращения Δ к параметру a .

При анализе точности приспособлений можно включать и другие эксплуатационные факторы. При необходимости возможен учет изменения положения заготовок в следствие наличия остаточных напряжений в корпусе приспособления, температурных деформация приспособления и других внешних и внутренних воздействия.

Значения этих дополнительных звеньев являются функциями, которые определяются внешними и внутренними факторами. К внешним можно отнести условия эксплуатации: величина и характер нагрузки, скоростные режимы, планируемая долговечность и др. К внутренним факторам – параметры, которые определяют эксплуатационные свойства сопряженных поверхностей: материал деталей, методы обработки, смазка и др.

Также эксплуатационные размеры в ряде случаев могут быть зависимыми от параметров технологического процесса обработки заготовки. При необходимости это можно учесть выбором соответствующей модели [3] сложения составляющих размеров цепи (функциональной или корреляционной).

По характеру проявления эксплуатационные звенья можно разделить на звенья, имеющие условно постоянных размер, и звенья, имеющие условно переменный во времени

размер. К первым относятся эксплуатационные размеры, связанные с деформациями контактирующих поверхностей, а ко вторым – чаще всего с изнашиванием поверхностей. При этом переменный во времени размер является некоторой постоянной величиной для всего периода эксплуатации узла или машины.

В зависимости от того как приспособление предполагается эксплуатировать, при проектировании можно закладывать как одинаковую долговечность всех его деталей и сборочных единиц, так и разную. Использование различной долговечности деталей в узле или узлах в приспособлении позволяет управлять точностью замыкающих звеньев и тем самым находить экономически оптимальный вариант межремонтного обслуживания. Наличие ремонтов с заменой деталей, потерявших точность, позволяет уменьшать допуски эксплуатационных звеньев и тем самым облегчает обеспечение требуемой точности приспособления.

Таким образом, допуск замыкающего звена складывается:

$$T_{\Delta} = \sum_i^n c_i T_{Si} + \sum_j^m c_j k_{внутj} k_{внешj} T_{экспj} + \sum_k^l c_k k_{внутk} k_{внешk} k_{\delta k} T_{экспk},$$

где $k_{внешj}$ – коэффициент, характеризующий зависимость допуска j -го эксплуатационного размера от внешних факторов, $k_{внутj}$ – коэффициент, характеризующие зависимость допуска j -го эксплуатационного размера от внутренних факторов, k_{δ} – коэффициент долговечности, характеризующий кратность долговечности узла межремонтному периоду эксплуатации.

При определении коэффициентов $k_{внеш}$ необходимо учитывать характер сопряжения, форму контактирующих поверхностей, а также характер протекающих при этом процессов. В него могут быть включены такие параметры как величина нагрузки деталей приспособления, режимы обработки заготовок, размеры сопряжений и др. параметры. Коэффициент $k_{внут}$ может включать как эксплуатационные свойства, так и параметры качества поверхностного слоя деталей приспособления.

Конкретный вид коэффициентов $k_{внеш}$ и $k_{внут}$ определяется используемыми моделями для соответствующих эксплуатационных свойств деталей проектируемого приспособления.

При необходимости размерная схема станочного приспособления может быть использована не только при выполнении проверочных расчетов, но при выполнении проектных работ. При решении прямой задачи требуется выполнить оптимизацию параметров точности и значений эксплуатационных свойств поверхностей приспособления.

При назначении допусков составляющих размеров методом «экономически обоснованных допусков» используется дополнительное условие $\sum_i^{n+m} C_i \rightarrow \min$, где C_i – функция

себестоимости выполнения i -го составляющего размера, n – количество конструктивных составляющих размеров, m – количество эксплуатационных составляющих размеров.

Другим возможным методом решения размерной схемы при проектировании приспособления является назначение допусков составляющих размеров с учетом вероятности безотказной работы $P(t)$:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\sum_{i=1}^3 \left(\frac{t}{\beta} \sqrt{\sum_j^n (c_{ij} \lambda_{ij} T_j)^\mu + \sum_k^m (c_{ik} \lambda_{ik} T_{эксн_k})^\mu} \right)^2} \leq T_\Delta \\ 1 - P(t) \leq [Q], \\ \sum_i^{n+m} C_i \rightarrow \min, \end{array} \right.$$

где $[Q]$ – величина допустимого брака

В зависимости от выдерживаемых на операции параметров размерные цепи могут быть как линейные, так и угловые. Это определяется тем, какой вид имеет замыкающее звено.

3. Заключение

Предложенная модель обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционным выполнением оценки точности проектируемого станочного приспособления. В данной модели обеспечение заданной точности осуществляется комплексным расчетом размерных связей с учетом обеспечения требуемой работоспособности приспособления (точность получаемых размеров и параметров обрабатываемых заготовок), его долговечности, а также условий последующей эксплуатации. Расчет точности функциональных размеров отдельных конструктивных элементов проводится с анализом отклонений формы и расположения контактирующих поверхностей, изменения размеров при эксплуатации (износ, контактные деформации и др.). Возможна реализация комплексного управления точностью приспособлений на основе конструктивных решений (выбор особенностей конструкции, методов обеспечения точности замыкающего звена), подбора материалов деталей с соответствующими эксплуатационными характеристиками, принятие решений по особенностям технического обслуживания (например, выбор типа смазки), долговечности отдельных деталей и др. Все это повышает качество проектирования станочных приспособлений и прежде всего надежность обеспечения их требуемой точности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горохов В. А. Проектирование технологической оснастки / В. А. Горохов, А. Г. Схиртладзе. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – 432 с.
2. Блюменштейн В. Ю. Проектирование технологической оснастки / В. Ю. Блюменштейн, А. А. Клепцов. – изд. 2-е, испр. и доп. – СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2011. – 219 с.
3. Дунаев П. Ф., Леликов О. П. Расчет допусков размеров. М.: Машиностроение, 2001. – 304 с.
4. Польский Е. А. Технологическое обеспечение качества сборочных единиц на этапах жизненного цикла на основе анализа размерных связей с учетом эксплуатации / Е. А. Польский, Д. М. Филькин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – № 3. 2014. – С. 8–19.
5. Польский Е. А. Технологическое обеспечение качества сборочных единиц на основе анализа размерных связей с учетом эксплуатации Е. А. Польский, Д. М. Филькин // Научные технологии в машиностроении. – №11. 2014. – С. 36–43.

Поступила в редколлегию 21.01.2016 г