

Е.А. Польский, к.т.н.

ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет»

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ
СБОРОЧНЫХ УЗЛОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА
РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ПРОТОТИПОВ С
УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЙ
ИХ РАЗМЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ
В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

В статье изложены научные основы технологического обеспечения долговечности узлов деталей машин на основе анализа эксплуатационных свойств, обеспечивающих работоспособность элементарных прототипов с учетом изменений их размерных параметров в процессе сборки и эксплуатации.

***Ключевые слова:** износ деталей, работоспособность прототипов, эксплуатация, долговечность машин.*

Постановка проблемы. В настоящий момент происходит постоянное повышение требований, предъявляемых к изделиям машиностроения. Это связано с ужесточением условий эксплуатации машин: скоростных, динамических, температурных и др. В целом надежность и долговечность деталей и узлов определяется их эксплуатационными свойствами. К ним относятся износостойкость, статическая прочность, сопротивление усталости, коррозионная стойкость и др. Правильный выбор параметров, лимитирующих работоспособность деталей и узлов, а также определение их значений является важнейшей задачей при проектировании.

Качество машин и его главный показатель – долговечность – определяются надежностью соединения деталей. Технологический аспект рассмотрения надежности соединений становится одним из важнейших и исследуется наряду с конструктивными аспектами. В свою очередь, показатели качества имеют широкие границы рассеивания. Оно может существенно изменяться даже от колебаний фактических размеров в пределах допусков. Так, например, в пределах посадки H7/s6 натяг, а, следовательно, и прочность посадок, как один из показателей качества в диапазоне диаметров 80...100 мм меняется в 3,5 раза, а для посадки H7/r6 в 7 раз.

В отечественной науке произошло разделение исследований обеспечения качества сборочных узлов на два больших направления:

1) автоматизация расчетов, связанных с отклонениями в сборке от допусков деталей, входящих в соединение; 2) исследование факторов влияющих на качество сборки, во взаимосвязи – заготовка–обработка–сборка. При этом основной упор делался на нахождение закономерностей и функциональных зависимостей, а потом на формализацию расчетов.

Проанализировав возможные подходы к классификации соединений, была предпринята попытка объединить их положительные стороны, сделав упрощенную обобщенную классификацию сборочных соединений, с добавлением необходимых параметров качества для каждого соединения. За основу взята классификация соединений с учетом контакта поверхностей и их кинематической подвижности (рис. 1).

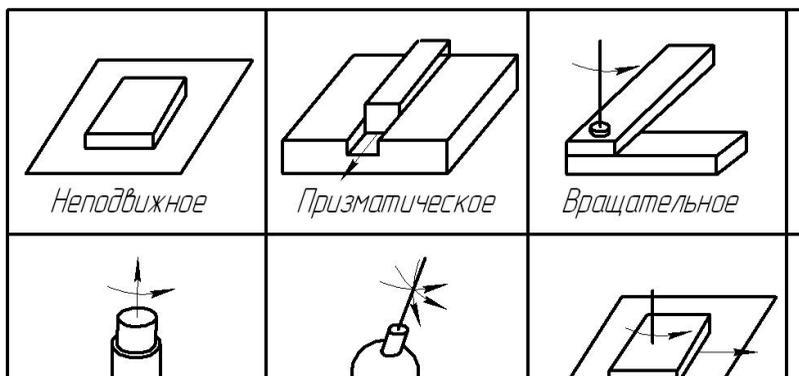


Рис. 1. Фрагмент классификации кинематических прототипов

Данная классификация охватывает большую часть встречающихся типов соединений. С добавлением функциональных зависимостей между эксплуатационными свойствами и параметрами качества, к каждому классу встречающихся типов сборочных соединений, становится, возможно, рассчитать получаемый эксплуатационный параметр, частично влияя на него, через изменения параметров качества поверхности.

Основной показатель качества машин – надежность – в значительной мере определяется эксплуатационными свойствами деталей и их соединений. Эти свойства количественно оценивают с помощью эксплуатационных показателей, таких как податливость, интенсивность износа, коррозионные потери и т. п.

Показатели качества машин в значительной мере определяются эксплуатационными свойствами деталей и их соединений. Эти свойства количественно оценивают с помощью эксплуатационных показателей, таких, как податливость, интенсивность износа, коррозионные потери и т. п.

Для второго вида сопряжения характерно неравномерность изнашивания одного из тел. Этот вид сопряжения отличается от предыдущего наличием в допуски эксплуатационных звеньев не только составляющей минимального износа U_I , но и составляющая U_{II} , характеризующей неравномерность износа по поверхности. Для определения величин линейного и углового износов в сопряжении сделано допущение, что начальная эпюра давлений при изнашивании сохраняется, т. е. пренебрегается ее перераспределением в результате износа поверхностей. Поэтому можно записать, что:

$$U_2 = k_2 p(l) V t,$$

где $p(l)$ – закон распределения давлений по контактирующим поверхностям.

На поверхности направляющих можно выделить три участка с различными условиями изнашивания. Участки 1 ($0 \leq x \leq b$) и 3 ($L \leq x \leq L + b$) характеризуются контактом при износе не со всей поверхностью ползуна, в отличие от участка 2 ($b \leq x \leq L$), где каждая точка ползуна при своем относительном движении вступает в контакт с каждой точкой направляющей детали. Чтобы определить износ направляющей детали в точке x от воздействия всего участка эпюры давления ползуна от некоторых l_1 до l_2 , зависящих от положения самой точки x можно воспользоваться выражением [2, 6]:

$$U_2(x) = k_2 \cdot s \int_{l_1}^{l_2} \varphi(x-l) p(l) dl,$$

где l_1, l_2 – пределы интегрирования, определяемые участком направляющей детали, а также соотношением длины рабочего хода и длины ползуна.

Таким образом, суммарный износ сопряжения составит:

$$\delta = U_1 + U_2 = k_1 \cdot p(x) \cdot V \cdot t + k_2 \cdot s \int_{l_1}^{l_2} \varphi(x-l) \cdot p(l) dl$$

Из зависимостей видно, что ползун имеет линейную зависимость износа поверхности, а направляющая деталь – нелинейную. Кроме

этого изнашивание ползуна будет больше влиять на точности сопряжения в зависимости от вида функция $\phi(x)$. В данном случае это определяется отношением b/L .

$$P(T) = \exp \left\{ - \int_0^{\infty} \phi(R_2, v/t) v dv + \int_{-\infty}^0 [\phi(R_1, v/t) v dv] di \right\}$$

В общем случае работоспособность объекта, качество его функционирования определяется не одним, а совокупностью S выходных параметров состояния $z_1, z_2 \dots z_s$, которые можно считать компонентами некоторого вектора Z . Тогда пространство состояний некоторой граничной поверхностью ω можно разделить на две области: область Ω работоспособных состояний и область отказов. Безотказность в этом случае определяется как вероятность того, что за время функционирования системы T параметры состояния z_i не выходят за соответствующие границы R_{i1} и R_{i2} :

$$\begin{aligned} P(T) &= P\{Z \in \Omega / t \leq T\} = \\ &= P\{R_{11} < z_1 < R_{12}, R_{21} < z_2 < R_{22}, \dots, R_{s1} < z_s < R_{s2} / t \leq \end{aligned}$$

Наиболее общий случай, когда исходное качество всех объектов неоднородно, условия эксплуатации переменны, средняя скорость процесса зависит от времени функционирования. Неоднородность качества может быть вызвана рассеянием начальных размеров, а так же различием физических свойств у контактирующих поверхностей, приводящих к варьированию средней скорости процесса каждой реализации [5].

Тогда модель скорости процесса принимает вид:

$$\begin{aligned} k(t) &= m_k(t) + k^0(t) = \\ &= m_k(t) + a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos \omega_n t + b_n \sin \omega t), \end{aligned}$$

где a_0 – центрированная случайная величина, учитывающая исходное качество объекта.

Выходной параметр, определенный с учетом начального рассеяния:

$$z(t) = z_0 + \int_0^t k(\tau) d\tau = m_{z0} + \bar{z}_0 + \int_0^t m_k(\tau) d\tau + a_0 t + \\ + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\omega_n} (a_n \sin \omega_n t - b_n \cos \omega_n t + b_n),$$

где \bar{z}_0 – учитывающая рассеяние начального размера центрированная случайная величина.

Следовательно, математическое ожидание и дисперсия выходного параметра следующие:

$$m_z(t) = m_{z0} + \int_0^t m_k(\tau) d\tau; \\ D_z(t) = D_{z0} + t^2 D_{a0} + 2 \int_0^t \frac{S_k(\omega) d\omega}{\omega^2}.$$

Если выходной параметр распределен по нормальному закону, параметры которого не остаются постоянными во времени, то:

$$\phi\left(\frac{z}{t}\right) = \frac{1}{\sigma_z(t) \cdot \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{[z - m_z(t)]^2}{2 \cdot \sigma_z^2(t)}\right\}.$$

Плотность вероятности отказа и вероятность безотказной работы соответственно равны [1, 4]:

$$q(t) = -\frac{d}{dt} \cdot \left\{ \hat{O} \left[\frac{R - m_z}{\sigma_z(t)} \right] \right\}; \\ R(T) = 1 + \hat{O} \left[\frac{R - m_z(T)}{\sigma_z(T)} \right] - \hat{O} \left[\frac{R - m_{z0}}{\sigma_z(0)} \right].$$

Если связь выходного параметра z с износом характеризуется нелинейной функцией, аналитическая оценка безотказности становится практически невозможной и для решения нелинейных задач применяют методы статистического моделирования. В ряде случаев изнашивание приводит к повышению вероятности выхода параметра состояния за определенный предел, т. е. к повышению вероятности внезапного параметрического отказа. Если известен закон распределения выходного параметра при фиксированном значении износа $u_1 - \chi\left(\frac{z}{u_1}\right)$ и закон распределения износа при фиксированном

времени эксплуатации $t_1 - \theta\left(\frac{u_1}{t_1}\right)$, то плотность вероятности выходного параметра в некоторый момент времени:

$$\phi\left(\frac{z}{t}\right) = \int_0^{\infty} \chi\left(\frac{z}{u}\right) \theta\left(\frac{u}{t}\right) du.$$

Соответственно, интенсивность отказов и вероятность безотказной работы при верхней границе:

$$\lambda(t) = n \int_0^R \int_0^{\infty} \chi\left(\frac{z}{u}\right) \theta\left(\frac{u}{t}\right) dz du;$$
$$P(T) = \exp\left[-\int_0^T \lambda(t) dt\right].$$

Практической значимостью данной работы является разработка структурной схемы автоматизированного расчета качества сборочных узлов, на основе математических и структурных моделей расчета эксплуатационных свойств элементарных кинематических соединений, с выбором технически обоснованных предельных размеров и технологически достижимых параметров качества поверхностей контактирующих деталей.

Совершенство конструкции машины характеризуется ее соответствием современному уровню техники, экономичностью и удобствами в эксплуатации, а так же тем, в какой мере учтены возможности использования наиболее экономичных и производительных технологических методов ее изготовления применительно к заданному выпуску и условиям производства.

Конструкцию машины, в которой эти возможности полностью учтены, называют технологичной. По установленной терминологии под термином «технологичность конструкции изделия» (ТКИ) понимается совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ.

Обработка конструкции изделия на технологичность осуществляется непосредственным воздействием на ее техническую сущность путем придания конструкции комплекса свойств, обеспечивающих ее технологическую рациональность и преемственность. Следствием этого воздействия является изменение

трудоемкости, материалоемкости, энергоемкости и других возможных видов ресурсоемкости изделия. Конструктор, придавая конструкции изделия технологическую рациональность и преемственность в процессе отработки ее на технологичность, должен учитывать одновременно возможные области проявления ТКИ, влияние принимаемых им инженерных решений на снижение ресурсоемкости и повышение уровня ТКИ по каждой области ее проявления.

В формализованном виде процесс обеспечения технологичности изделия можно представить как воздействие на множество параметров точности размеров изделия $X = \{x_1, \dots, x_n\}$, которое приводит к достижению экстремальной цели при соблюдении сформулированных ограничений вида $g_i(X) = 0$ и $h_j(X) \geq 0$.

$$Q(X) \rightarrow \text{extr}_{X \in S}$$

$$S: \begin{cases} g_i(X) = 0, & i = \overline{1, I}; \\ h_j(X) \geq 0, & j = \overline{1, J}, \end{cases}$$

где Q, g, h – функции, которые определяются исходя из требований точности размеров изделия и разнообразных производственных, эксплуатационных и ремонтных факторов, влияющих на технологичность изделий.

Модель размерной структуры технологического процесса механической обработки в виде совокупности графа размерной структуры (G) и некоторого множества конструктивных, технологических, структурных и экономических условий оптимальности ТП (U) выглядит так:

$$M = \{G, U\}.$$

В методиках размерного анализа и расчёта размерных цепей размерная структура техпроцесса представляется в двух основных видах: в виде размерной схемы и в виде размерного графа, объединяющего размеры детали, заготовки и техпроцесса:

$$G = \{G_{\text{дет}}, G_{\text{заг}}, G_{\text{тех}}\}$$

где $G_{\text{дет}}$ – граф конструкторских размеров детали; $G_{\text{заг}}$ – граф конструкторских размеров исходной заготовки; $G_{\text{тех}}$ – граф технологических размеров и припусков ТП механической обработки.

Представление размерной структуры ТП в виде графа является наглядным и подходящим для последующего ручного выявления

размерных цепей. Но графическое представление размерной структуры ТП неудобно для оптимизации, машинной обработки результатов и не позволяет учесть всего множества влияющих факторов, поскольку в ней отображается только сама структура, с учетом только некоторых свойств поверхностей, операционных размеров и припусков. Для отражения взаимодействия всех конструктивных, технологических, структурных и экономических факторов, введем в модель размерной структуры ТП упорядоченное множество конструктивных, технологических, структурных и экономических условий оптимальности ТП механической обработки детали (U).

В методике размерного синтеза количество составляющих размеров во всех размерных цепях используется для сравнения вариантов размерной структуры. Эту величину можно получить, используя матрицу размерных цепей:

$$\sum N = \sum_{i=1, j=1}^{l, m} |b_{ij}|.$$

В методике размерного синтеза для определения $\sum N$ используется другая зависимость, для которой необходимо знать количество уровней ТП (величина, которую трудно определить для конкретных типовых и единичных технологий). Кроме того, расчетное значение $\min \sum N$ по методике размерного синтеза не всегда достижимо. Имея матрицу размерных цепей рассчитать $\sum N$ значительно проще. Для разработки возможных вариантов оптимизации размерной структуры ТП проанализируем изменения критерия $\min \sum N$ для разных вариантов размерных структур ТП.

Список використаної літератури:

1. Сулов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин / А.Г. Сулов. – М. : Машиностроение, 2000. – 318 с.
2. Справочник по триботехнике. Т. 3. Антифрикционные и фрикционные узлы машин и материалы для них; сцепные устройства, методы и средства триботехнических испытаний / под ред. М.Хебды и А.В. Чичинадзе. – М. : Машиностроение, 1991. – 560 с.
3. Проников А.С. Надежность машин / А.С. Проников. – М. : Машиностроение, 1978. – 592 с.

4. *Рыжов А.В.* Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств машин / *А.В. Рыжов, А.Г. Суслов, В.П. Федоров.* – М. : Машиностроение, 1979. – 176 с.
5. *Демкин Н.Б.* Контактное шероховатых поверхностей / *Н.Б. Демкин.* – М. : Наука, 1970. – 227 с.
6. Технология машиностроения. В 2 т. : Основы технологии машиностроения ; под ред. *А.М. Дальского.* – Т. 1. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 564 с.

ПОЛЬСКИЙ Евгений Александрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология машиностроения» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Брянский государственный технический университет».

Научные интересы:

- технологическое обеспечение долговечности узлов машин;
- технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей сборочных единиц.

Тел.: +7(483-2)58-82-20.

E-mail: polski.eugene@hotmail.com

Статья поступила в редакцию 24.09.2013

Польський Є.О. Технологічне забезпечення довговічності сборочних вузлів на основі аналізу працездатності елементарних прототипів з урахуванням змін їх розмірних параметрів в процесі експлуатації

Польський Е.А. Технологическое обеспечение долговечности сборочных узлов на основе анализа работоспособности элементарных прототипов с учетом изменений их размерных параметров в процессе эксплуатации

Польський Е.А. Технологическое обеспечение долговечности сборочных узлов на основе анализа работоспособности элементарных прототипов с учетом изменений их размерных параметров в процессе эксплуатации

УДК 62-188.42

Технологічне забезпечення довговічності сборочних вузлів на основі аналізу працездатності елементарних прототипів з урахуванням змін їх розмірних параметрів в процесі експлуатації / Є.О. Польський

У статті викладено наукові основи технологічного забезпечення довговічності вузлів деталей машин на основі аналізу експлуатаційних якостей, що забезпечують працездатність елементарних прототипів з урахуванням змін їх розмірних параметрів в процесі зборки та експлуатації.

УДК 62-188.42

Технологічне забезпечення довговічності сборочних вузлів на основі аналізу працездатності елементарних прототипів з урахуванням змін їх розмірних параметрів в процесі експлуатації / Є.О. Польський