
ПРОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ СБОРОЧНОЙ РАЗМЕРНОЙ ЦЕПИ

Г.А. Расторгуев

Кафедра технологии машиностроения,
металлорежущие станки и инструменты
Российский университет дружбы народов
Ул. Миклухо-Маклая, 10а, Москва, Россия, 117198

В статье рассмотрена методика проверочного расчета составляющих звеньев сборочной размерной цепи на стадии изготовления машин и механизмов.

Ключевые слова: сборка, размерная цепь, механизм, проектирование, изготовление.

В современных рыночных условиях конкурентоспособность выпускаемой продукции, в том числе и машиностроительной, имеет решающее значение при ее реализации потребителям. Одним из основных направлений повышения конкурентоспособности продукции машиностроения является обеспечение стабильности ее качества на всех этапах производственного цикла. Некачественная продукция из-за повреждений отдельных элементов в процессе эксплуатации может привести к значительным материальным убыткам. Из-за жесткой конкурентной борьбы на внутреннем и международном рынках компании-производители вынуждены уделять проблеме качества продукции повышенное внимание.

В последние годы качество проектирования продукции машиностроения производится по методике DFMA (Design for manufacture and Assembly) [1], которая базируется на трех принципах. Оценивается технологичность продукции с помощью трех модулей:

- 1) с точки зрения сборочного процесса — *DFA*;
- 2) с точки зрения механической обработки — *DFM*;
- 3) с точки зрения конкурентоспособности — *DFC* (Design for competitiveness).

Для оценки эффективности процесса сборки и степени сложности конструкции используется модуль *DFA*:

$$DFA = \left(\frac{K \cdot NM}{TM} \right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

где K — коэффициент, учитывающий расчетное время сборки одного соединения в сравнении с базовым; NM — теоретически минимальное число деталей, обеспечивающих нормальное функционирование собранного изделия; TM — суммарное прогнозируемое время сборки.

Этот показатель представляет собой количественную оценку конструкции изделия с точки зрения эффективности сборочного процесса. Уменьшение этого показателя для конкретного изделия возможно только в результате ликвидации излишних деталей или сборочных технологических переходов, пригонки регулировки и т.п.

В настоящее время эта методика дополнена модулями разборки и демонтажа на стадии эксплуатации изделия [2]. Однако модуль разборки важен также и при изготовлении изделия, когда в конструкции используют сборочные единицы (комплекты), требующие разборки перед общей сборкой (например, шатун в сборе с крышкой, разъемные опоры коленчатого вала). Удобство разборки необходимо учитывать при ремонтных воздействиях.

Взаимное расположение деталей, сборочных единиц или сборочных узлов в машине определяется линейными и угловыми размерами, образующими замкнутые размерные цепи. В процессе сборки должно быть обеспечено такое взаимное положение деталей и сборочных единиц, чтобы их исполнительные (функциональные) поверхности или сочетания этих поверхностей в своем относительном перемещении, а также в статическом состоянии не выходили за пределы установленных допусков не только в процессе сборки, но и в процессе эксплуатации машины.

Одним из методов определения рациональных допусков, обеспечивающих наиболее экономичную обработку деталей и сборку машин, является расчет и анализ размерных цепей [1]. Размерным анализом называют совокупность математических методов и приемов (аналитических, графических, графо-аналитических), направленных на установление номинальных значений допусков и отклонений сборочных и составляющих размеров.

В практике сборочного производства нередки случаи, когда заданные в сборочных чертежах технические требования (например, необходимый зазор между тормозным диском и ступицей в муфте — тормозе кривошипного пресса) не обеспечиваются, т.е. возникает несобираемость сборочного узла. Здесь возможны два варианта: либо детали по сопрягаемым поверхностям изготовлены с недопустимыми отклонениями, либо сборочная размерная цепь рассчитана некорректно. Если комплексная проверка качества изготовления деталей по сопрягаемым поверхностям показала, что они соответствуют требованиям рабочих чертежей, то возникает сомнение в правильности расчета сборочной размерной цепи, выполненной на стадии проектирования [2; 3].

Рассмотрим проверочный метод расчета сборочной размерной цепи, позволяющий установить истинную причину несобираемости сборочной единицы.

Основные методические положения. Для выполнения проверочного расчета необходимо, чтобы числовые значения размеров (составляющих) деталей A_i , их допуски TA_i и отклонения ESA и EJA были известны и проставлены на рабочих чертежах деталей и сборочных чертежах узлов (или сборочных единиц).

Проверочные расчеты обычно выполняют в такой последовательности:

1) по сборочным чертежам узла или машины в целом выявляют детали и их размеры, которые определяют искомый сборочный размер X_I , т.е. устанавливают конструкторскую взаимосвязь между деталями, образующими сопряжение для конкретного сборочного размера;

2) для построенной размерной цепи записывают уравнение в общем виде. После анализа функциональной зависимости сборочного и чертежных (составля-

ющих) размеров деталей буквенные обозначения членов уравнения заменяют известными числовыми значениями и вычисляют номинальное значение, максимум и минимум искомой величины сборочного размера;

3) полученные результаты вычислений оценивают с точки зрения удовлетворения требованиям нормального функционирования сборочного узла, его работы, собираемости и экономичности сборочного производства;

4) в соответствии с последовательностью проведения проверочного размерного анализа при любых принятых математических методах решения задачи расчет должен содержать приведенные ниже элементы.

Эскиз сопряжения. При составлении эскиза для расчета изображают только ту часть механизма изделия, сборочный размер которого вычисляют.

Эскиз должен показывать взаимосвязь поверхностей деталей, образующих сопряжение, и их взаимодействие в процессе функционирования. Масштаб эскиза может быть произвольным. Для наиболее полного изображения связей деталей сопряжения эскиз (или его отдельные части) можно выполнять схематически или упрощенно в большом масштабе.

Если необходимо показать связь деталей в различных положениях, обычно составляют дополнительные эскизы или возможные положения деталей условно наносят на одном и том же эскизе пунктиром. Все детали на эскизе обозначают номерами на выносных линиях. Как правило, составление эскиза предшествует расчету.

Размеры деталей на эскизе обозначают не цифрами, а буквами. Буквенные обозначения упрощают аналитические зависимости и уравнения, облегчая тем самым проведение математических преобразований, анализ, увязку повторяющихся размеров и т.д.

Условия расчета. Если сопрягаемые детали рассматриваемого механизма могут занимать различные промежуточные положения, т.е. в процессе работы перемещаться в крайние положения к поверхностям своих посадочных гнезд, в расчете необходимо четко оговаривать, для какого положения деталей выполнен расчет (обычно рассматривают крайние положения деталей). Здесь же указывают все принятые в расчете упрощения или допущения, а также величину погрешности, вызываемой допущением.

В условиях расчета указывают все учтенные факторы, вызываемые технологическими вариантами изготовления детали или сборки узла (изделия), а также методы и средства контроля размеров.

Расчет. В него входит составление размерной цепи и ее уравнения; решение полученного уравнения для номинального, максимального и минимального значений искомой величины.

В зависимости от характера размерной цепи (линейная, плоская или пространственная) методы и приемы решения уравнений размерных цепей искомой величины различны. На практике выработаны приемы решения уравнений искомых величин для линейных и плоских размерных цепей.

Пример. Вычислить предельные значения зазора между шайбой 11-401 (рис. 1) и кольцом 11-403. Согласно техническим требованиям зазор не должен превышать 0,5 мм. По сборочному чертежу соединения составим исходные данные для расчета (табл. 1) и сформулируем условия расчета:

- 1) шайба 11-401 отжата вправо в буртик оси 11-402;
- 2) шарикоподшипник 80202 и кольцо 11-403 отжаты влево в торец буртика оси 11-402.

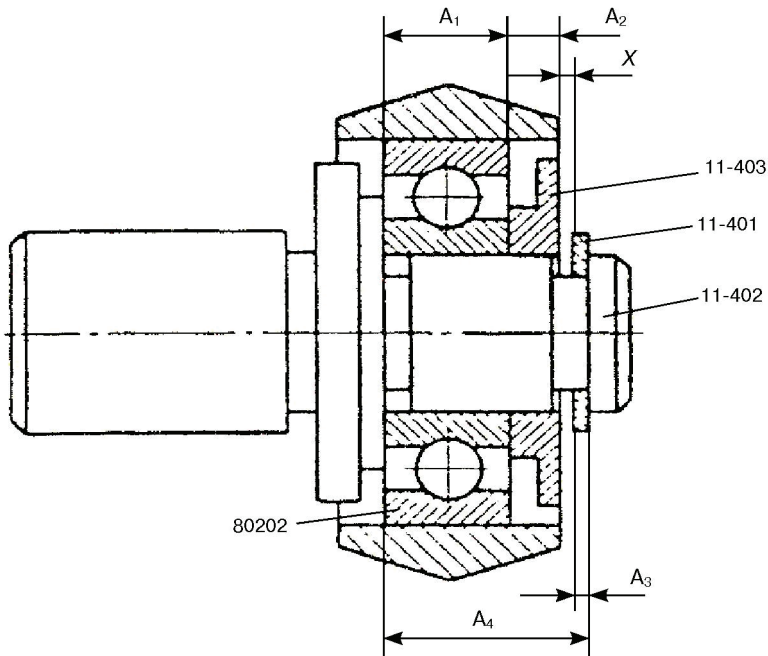


Рис. 1. Эскиз сборочной единицы

Таблица 1

Исходные данные для расчета

Индекс детали по сборочному чертежу*	Наименование детали	Размеры:		
		условное обозначение	номинал и качество точности	отклонение от номинала, мм
11-401	Шайба	A_3	1h11	-0,06
11-402	Ось	A_4	16H11	+0,12
11-403	Кольцо	A_2	4h12	-0,16
80202 ГОСТ 7242—82	Шарикоподшипник	A_1	11	-0,10

* См. рис. 1.

Задача расчета: необходимо определить предельные значения зазора X между шайбой (11-401) и кольцом (11-403). Составим размерную цепь (рис. 2). Расчет можно выполнить методом предельных размеров и методом предельных отклонений.

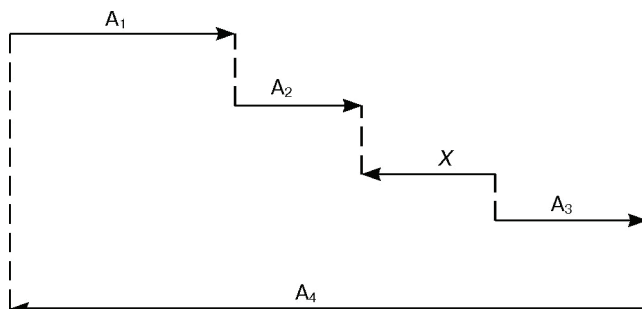


Рис. 2. Сборочная размерная цепь.

Таблица 2

Размеры и допускаемые отклонения составляющих звеньев

Обозначение составляющего звена	Номинальный размер, мм	Верхнее отклонение, мм	Нижнее отклонение, мм
1	2	3	4
$+A_4$	+16	+0,12	0
$-A_1$	-11	+0,10	0
$-A_2$	4	+0,16	0
$-A_3$	-1	+0,06	0
X	0	+0,44	0

Расчет методом предельных размеров. Составим уравнение размерной цепи. Для расчета номинального значения, максимума и минимума зазора X необходимо в уравнении размерной сборочной цепи буквенные значения заменить на числовые, т.е.

$$X_{\max} = A_{4\text{ном}} - A_{1\text{ном}} - A_{2\text{ном}} - A_{3\text{ном}} = 16 - 11 - 4 - 1 = 0. \quad (2)$$

Для вычисления максимального и минимального значения зазора X необходимо определить, какое влияние оказывают предельные значения составляющих звеньев на искомую величину. Увеличивающее звено A_4 рассматриваемой сборочной цепи является положительным, а все уменьшающие A_1, A_2, A_3 звенья отрицательными. На основании этого будем иметь следующие формулы для вычисления X_{\max} и X_{\min} :

$$X_{\max} = A_{4\max} - A_{1\min} - A_{2\min} - A_{3\min} \quad (3)$$

$$X_{\max} = 16,12 - 10,9 - 3,84 - 0,94 = 0,44 \text{ мм},$$

$$X_{\min} = A_{4\min} - A_{1\max} - A_{2\max} - A_{3\max} \quad (4)$$

$$X_{\min} = 16 - 11 - 4 - 1 = 0 \text{ мм}.$$

Следовательно, размер зазора между шайбой 11-401 и кольцом 11-403 будет равен $X = 0^{+0,44}$.

Изложенная методика носит название «Проверочный расчет сборочных размерных цепей по методу предельных размеров». На практике применяют упрощенный вариант расчета *по предельным отклонениям*. Сущность упрощенного варианта заключается в вычислении номинального размера верхнего (ESX) и нижнего (EJX) отклонений искомой величины по предельным отклонениям составляющих размеров сборочной цепи. Условные обозначения размеров и их номи-

нальные значения записывают в табл. 2 с тем же знаком, с каким они входят в сборочную размерную цепь (рис. 2).

При записи числовых значений отклонений соблюдаются следующие правила:

— если составляющее звено размерной цепи увеличивающее, то отклонение звена (размера) записывают соответственно: верхнее — в 3-ю графу, нижнее в 4-ю графу табл. 2 со своими знаками;

— если составляющее звено размерной цепи уменьшающее, то его отклонения записывают соответственно: верхнее отклонение — в 4-ю графу, а нижнее — в 3-ю графу табл. 2 с обратными знаками.

В результате суммирования числовых значений получают номинальное значение искомой величины и ее предельные отклонения.

Вывод: проверочный метод расчета сборочных размерных цепей позволяет с дополнительной точностью установить причину несобираемости сборочного узла и дать конкретные предложения по корректировке конструкторской документации. В случае невозможности или нерентабельности получения необходимой точности при механической обработке решается вопрос о введении регулируемых компенсаторов или селективной сварки.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Холодкова А.Г.* Методика оценки технологичности конструкции изделия для условий автоматической сборки // Сборка в машиностроении, приборостроении. — 2008. — № 11. — С. 3—9.
- [2] *Амиров Ю.Д.* Технологичность конструкции и качество сборки изделия // Сборка в машиностроении, приборостроении. — 2003. — № 6. — С. 3—9.
- [3] *Силич А.А., Расторгуев Г.А., Схиртладзе А.Г., Некрасов Ю.И.* Технологические процессы в машиностроении. — Тюмень: ТюмГНТУ, 2008.

UDC 621.9.02/06

THE ASSEMBLING SIZE CHAIN OPTIMIZATION ON THE DESIGNING STAGE

G.A. Rastorguev

Department of mechanical engineering,
machine tools and tooling
Russian Peoples' Friendship University
Miklucho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198

Calculation procedure of assembling size chains on the designing stage is considered. Variants of optimization of the concluding link limit deviation using principle of equal accuracy are suggested.

Key words: assembly, a dimensional circuit, the mechanism, designing, manufacturing.