
ОПТИМИЗАЦИЯ СБОРОЧНОЙ РАЗМЕРНОЙ ЦЕПИ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Г.В. Расторгуев

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

В статье рассмотрена методика расчета составляющих звеньев сборочной размерной цепи на стадии разработки конструкторской документации и нахождения оптимальных значений.

Под точностью сборки согласно ГОСТ 23887-79 понимают свойство процесса сборки изделия обеспечивать соответствие значений параметров изделия заданным в конструкторской документации. В результате сборки должно быть обеспечено такое взаимное положение деталей и сборочных единиц, чтобы их исполнительные (функциональные) поверхности или сочетания этих поверхностей в своем относительном движении, а также в стабильном состоянии не выходили за пределы установленных допусков не только в процессе сборки, но и в процессе эксплуатации машины.

Точность сборки машин и механизмов в машиностроении обеспечивается как разработкой рациональных технологических процессов обработки деталей и сборки узлов, так и качеством конструкторской документации. Однако одноименные детали, поступающие на узловую и общую сборку, имеют свои индивидуальные размеры; они хотя и находятся в пределах допусков, но отличаются от фактических размеров других одноименных деталей. В результате возможны различные комбинации сочетаний деталей, некоторые из них не обеспечивают заданного эксплуатационного ресурса машины. Это объясняется тем, что вопросу регламентирования числовых значений сборочных размеров пока не уделяется должного внимания. Как правило, в конструкторской документации оговаривают допусками незначительное количество сборочных размеров, что затрудняет отработку изделия на взаимозаменяемость, снижает качество собранных изделий, увеличивает трудоемкость на изготовление и сборку.

Одним из методов определения рациональных допусков, обеспечивающих наиболее экономичную обработку деталей и сборку машин, является расчет и анализ расчетных цепей на стадии проектирования.

Размерным расчетом называют совокупность математических методов и приемов (аналитических, графических, графо-аналитических), направленных к установлению номинальных значений допусков и отклонений сборочных и составляющих размеров. Функциональная связь между сборочными и составляющими размерами деталей в обобщенном виде может быть выражена уравнением

$$A = f(A_1, A_2, A_3, \dots, A_n), \quad (1)$$

где A — сборочный результирующий размер соединения; $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ — составляющие размеры (звенья) деталей.

В теории взаимозаменяемости различают два метода расчета: проектный, решающий прямую задачу, и проверочный, решающий обратную задачу.

Проектный метод расчета сводится к вычислению допусков составляющих размеров A_{ix} по известным числовым значениям номинала и допуска сборочного размера A . Следовательно, в этом случае уравнение (1) примет вид

$$A_{1x}, A_{2x}, A_{3x}, \dots, A_{nx} = F(A). \quad (2)$$

Проверочный метод расчета сводится к определению номинала и допуска сборочного размера A_x по известным числовым значениям составляющих размеров деталей. В этом случае уравнение (1) примет вид

$$A_x = f(A_1, A_2, A_3, \dots, A_n). \quad (3)$$

В практике машиностроения широко применяют проверочный метод расчетов. Однако этот метод по своей сущности является несовершенным, так как лежащие в его основе исходные данные (допуски и отклонения размеров деталей), как правило, конструктор устанавливает интуитивно или по аналогии с предыдущими конструкциями. Ввиду этого существенного недостатка рекомендуется использовать проектный метод расчета размерных цепей (решение прямой задачи).

Рассмотрим проектный метод расчета сборочной размерной цепи.

Методика назначения числовых значений сборочных размеров до сих пор теоретически не разработана, и на практике сборочные размеры назначают на основании опыта работы аналогичных конструкций или в результате экспериментального исследования на моделях и реальных механизмах. Экспериментальное исследование является пока наиболее надежным, так как позволяет изучить природу отдельных факторов, возникающих в процессе функционирования механизма, а также их совокупность в отдельных кинематических парах и во всей цепи звеньев механизма в целом. Накопление и анализ этих факторов позволят сделать теоретические обобщения и создать надежную методику расчета числовых значений сборочных размеров.

Сущность метода. Прежде чем приступить к расчету допусков на составляющие размеры деталей, необходимо установить числовые значения номиналов и допустимых пределов изменения сборочных размеров.

После того как выявлены сборочные размеры, характеризующие работу механизма, и установлены или рассчитаны числовые значения допустимых пределов их изменения, можно приступить к расчету допусков и отклонений на составляющие (чертежные) размеры деталей. Расчет ведут с учетом обеспечения полной, или ограниченной взаимозаменяемости. Полная взаимозаменяемость характеризуется уравнением

$$TA = \sum_{i=1}^n TA_i, \quad (4)$$

где TA — допуск сборочного размера узла; TA_i — допуск составляющего размера (звена) деталей; n — количество составляющих размеров размерной цепи.

Из уравнения (4) следует, что с уменьшением допуска сборочного размера повышаются требования к точности изготовления деталей. С увеличением числа размеров в размерной цепи, т.е. с усложнением конструкции, допуски на от-

дельные размеры могут оказаться практически не выполнимыми или экономически нецелесообразными. В таких случаях отказываются от данной конструкции или переходят от полной взаимозаменяемости к ограниченной. Последняя характеризуется условием

$$TN = \sum_{i=1}^n TA_i. \quad (5)$$

В практике сборочного производства используется несколько методов обеспечения ограничений взаимозаменяемости. Основные из них: метод групповой взаимозаменяемости (селективной сборки); метод пригонки; метод регулирования; сборка с комплексирующими материалами [1].

Порядок расчета проектным методом. При этом методе определяют качество точности размеров деталей сопряжения, исходя из величины допуска на сборочный размер A_0 (рис. 1а), числовое значение которого оговорено в чертеже. Величина зазора должна обеспечивать нормальную работу конструкции.

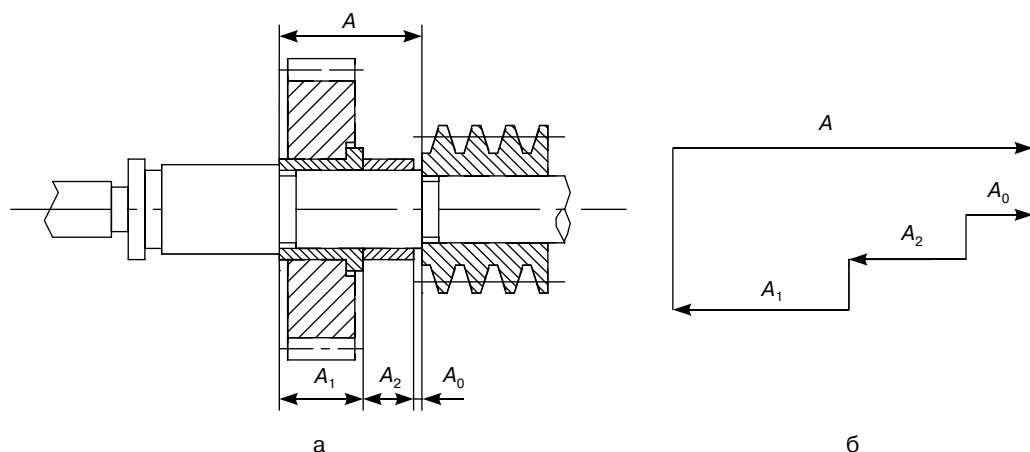


Рис. 1. К расчету сборочной размерной цепи:

а — фрагмент сборочного соединения;
б — размерная цепь

Последовательность расчета:

- составление схемы размерности цепи для заданного сборочного узла;
- составление уравнения размерной цепи;
- решение уравнения.

Для сборочного соединения, изображенного на рис. 1а, схема размерной цепи будет иметь вид, показанный на рис. 1б. Уравнением размерной цепи будет выражение для определения допуска замыкающего звена A_0 , т.е.

$$A_0 = A - (A_1 + A_2). \quad (6)$$

Для решения уравнения (6) используем принцип равного качества точности, суть которого ясна из названия: допуски на все составляющие звенья сборочной цепи должны быть назначены по одному качеству точности [2].

Допуски по ГОСТ 25346-80 ЕСДП «Общие положения и ряды допусков и основных отклонений» пропорциональны корню кубическому из среднего арифметического значения наибольших и наименьших размеров диаметров по интервалам таблиц названного нормативного документа [3], т.е.

$$TA_i = K_j \cdot 0,5 \sqrt[3]{A_{icp}}, \quad (7)$$

где K_j — коэффициент, характеризующий квалитет точности по ГОСТ29347-82; A_{icp} — среднее значение интервалов размеров по ГОСТ29347-82; j — порядковый номер квалитета точности.

Из выражения (7) можно вывести формулу для коэффициента K_j :

$$K_j = 2TA / \sum_{i=1}^n \sqrt[3]{A_{icp}}, \quad (8)$$

откуда допуск сборочного размера определяется

$$TA = K_j \cdot 0,5 \sum_{i=1}^n \sqrt[3]{A_{icp}}. \quad (9)$$

Уравнение (9) можно записать в виде

$$TA = (K_j)_1 \cdot 0,5 \cdot \sqrt[3]{A_{1cp}} + (K_j)_2 \cdot 0,5 \cdot \sqrt[3]{A_{2cp}} + \\ + (K_j)_3 \cdot 0,5 \cdot \sqrt[3]{A_{3cp}} + \dots + (K_j)_n \cdot 0,5 \cdot \sqrt[3]{A_{ncp}}, \quad (10)$$

где $(K_j)_1, (K_j)_2, \dots, (K_j)_n$ — коэффициенты, характеризующие квалитеты точности размеров (табл. 2); $A_{1cp}, A_{2cp}, A_{3cp}, A_{ncp}$ — средние значения интервалов размеров по ГОСТ 25346-89 (табл. 1)

Таблица 1

Интервалы размеров от 1 до 500 мм и их средние значения

Интервалы размеров A_i	A_{icp}	$\sqrt[3]{A_{icp}}$	Интервалы размеров A_i	A_{icp}	$\sqrt[3]{A_{icp}}$
От 1 до 3	2	1,26	Св. 50 до 80	65	4,021
Св. 3 до 6	4,5	1,651	Св. 80 до 120	100	4,642
Св. 6 до 10	8	2	Св. 120 до 180	150	5,313
Св. 10 до 18	14	2,41	Св. 180 до 260	220	6,037
Св. 18 до 30	24	2,884	Св. 260 до 360	310	6,768
Св. 30 до 50	40	3,42	Св. 360 до 500	430	7,548

Таблица 2

Значения коэффициента K_j для размеров от 1 до 1000 мм для различных квалитетов точности для системы отверстия

Квалитеты точности	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16
Коэффициент	10	16	25	30	64	100	200	400	640	1000

Исходя из принципа равного квалитета точности, т.е. равенства всех размеров сборочного соединения одному и тому же квалитету точности, и имеем

$$(K_j)_1 = (K_j)_2 = (K_j)_3 = \dots = K_{расч}, \quad (11)$$

тогда выражение (10) можно записать в виде

$$\begin{aligned} TA &= K_{\text{расч}} \cdot 0,5 \cdot \left(\sqrt[3]{A_{1\text{ср}}} + \sqrt[3]{A_{2\text{ср}}} + \dots + \sqrt[3]{A_{i\text{ср}}} \right) = \\ &= K_{\text{расч}} \cdot 0,5 \sum_{i=1}^n \sqrt[3]{A_{i\text{ср}}}, \end{aligned} \quad (12)$$

откуда получим

$$K_{\text{расч}} = TA / \left(0,5 \sum_{i=1}^n \sqrt[3]{A_{i\text{ср}}} \right) = 2TA / \sum_{i=1}^n \sqrt[3]{A_{i\text{ср}}}. \quad (13)$$

Выражение (13) определяет качество точности размерной сборочной цепи при полной взаимозаменяемости.

Полученные по выражению (13) значения $K_{\text{расч}}$ сопоставляют со значениями K_j по табл. 1. При этом возможны следующие варианты.

1. $K_{\text{расч}} = K_j$. В этом случае допуски на размеры всех звеньев сборочной цепи устанавливают по соответствующему качеству точности ГОСТ 29347-82.

2. $K_{j+1} > K_{\text{расч}} > K_j$. Это несоответствие указывает на то, что не все звенья сборочной цепи будут иметь размеры одного качества точности. На один из менее ответственных размеров или на один размер, несоответствующий нормальным значениям (длинам, диаметрам), допуск устанавливают не по ГОСТ 29347-82, а вычисляют по формуле

$$TA_k = TA - \sum_{i=1}^n TA_c, \quad (14)$$

где TA_c — допуск составляющего звена размерной цепи, установленный по соответствующему качеству точности; TA_k — допуск корректирующего размера.

3. Если $K_{j+1} > K_{\text{расч}} > K_j$, но $(K_{j+1} - K_{\text{расч}}) < (K_{\text{расч}} - K_j)$, причем $K_{\text{расч}}$ ближе к более широкому качеству точности, следует принимать более широкий качество точности по ГОСТ. Погрешность несоответствия $K_{\text{расч}}$ и K_j допускается в пределах 8—10%. В противном случае следует пользоваться корректирующим размером или принимать более точный качество.

После того как числовые значения допусков на размеры звеньев сборочной цепи определены, устанавливают предельные отклонения (верхние и нижнее) для этих же размеров.

Результаты размерного анализа, как правило, проверяют в процессе сборки и испытаний опытно-промышленного образца. Проверенные в сборочном производстве допускаемые отклонения размеров составляющих звеньев вносят в рабочие чертежи машины. Результаты размерных расчетов согласовывают с технологической службой предприятия-изготовителя, которая должна определить возможность выполнения заданных качеств точности деталей в условиях заданного производства.

Таким образом, рассмотренная методика оптимизации позволяет устанавливать рациональные качества точности звеньев сборочных размерных цепей

при проектировании машин и механизмов в машиностроении. Тем самым обеспечивается гарантируемая собираемость узлов машины в сборочном производстве, повышается эксплуатационная надежность и технический ресурс.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Новиков М.П.* Основы технологии сборки машин и механизмов. — М.: Машиностроение, 1985.
- [2] *Марков Н.Н.* Взаимозаменяемость и технические измерения. — М.: Издательство стандартов, 1983.
- [3] ГОСТ 25346-89 ЕСДП. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений. — М.: Издательство стандартов, 1989.

THE ASSEMBLING SIZE CHAIN OPTIMIZATION ON THE DESIGNING STAGE

G.V. Rastorguev

Department of mechanical engineering, machine tools and tooling
Russian Peoples' Friendship University
Miklucho-Maklaya str., 6, Moskow, Russia, 117187

Calculation procedure of the 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.