

И. В. Севостьянов, д. т. н., доц.

РАЦИОНАЛЬНАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ

В статье предложена рациональная методика проектирования технологических процессов сборки, позволяющая с минимальными затратами времени проанализировать большое количество вариантов технологических сборочных процессов и выбрать среди них оптимальный.

Ключевые слова: *сборка, изделие, трудоемкость, себестоимость, автоматизированное производство, компьютерный синтез и анализ.*

Введение

На сегодняшний день технологические процессы сборки, в том числе автоматизированные, являются довольно распространенными как в массовом, так и в серийном производстве [1, 2, 3]. Рационализации данных процессов для уменьшения количества выполняемых операций, снижения стоимости используемого оборудования и оснастки, а также себестоимости операций и разряда работ, увеличения производительности и надежности оборудования уделяется много внимания. При этом в связи с наличием большого количества различных технологий и оборудования для автоматизированной сборки, а также вследствие необходимости учета большого количества исходных параметров выбор наиболее приемлемого в каждой конкретной ситуации варианта реализации сборочного процесса является достаточно трудоемким [1, 2, 3, 4, 5]. С учетом вышеизложенного, автор предлагает рациональную последовательность проектирования вариантов сборочных процессов.

Цель работы – разработка методики, позволяющей автоматизировать проектирование технологических процессов сборки современных сложных изделий с обоснованным выбором из большого количества допустимых вариантов по нескольким основным критериям оптимального варианта сборочного процесса.

Основная часть

На первом этапе проектирования технологии сборки необходимо максимально повысить технологичность собираемого изделия [2, 3]. С этой целью проверяют возможность максимально широкого использования в его конструкции цилиндрических, конических и сферических соединений с зазором и натягом без температурного воздействия, вальцованных, сварных (предпочтительно холодной и точечной сваркой), паянных (особенно с предварительным лужением), клепанных (с заклепками, которые сами пробивают отверстия), винтовых и шпилечных соединений, а также соединений с разрезными пружинными кольцами как более технологичных, особенно при необходимости реализации автоматизированной сборки [1].

Проверяют и обеспечивают свободный доступ к крепежным деталям изделия для максимально широкого использования в процессе сборки автоматизированных гайковертов и шуруповертов. С этой же целью крепежные детали объединяют в комплекты (например, винт или болт в комплекте с шайбой и с пружинным кольцом [1]).

Убеждаются в наличии на валах и осях изделия осевых ограничителей (буртов, фланцев) для обеспечения возможности автоматизированной точной посадки на них сопрягаемых деталей (зубчатых колес, полумуфт, звездочек). Также необходимо, чтобы запрессовываемые и завинчиваемые детали для предотвращения их радиального смещения при сборке имели направляющие элементы. Для крепления крышек и фланцев вместо болтов и винтов по Наукові праці ВНТУ, 2015, № 1

возможности используют разрезные пружинные кольца как более технологичные при автоматической установке [1].

Деталям сварных соединений необходимы элементы их предварительной ориентации (бурты, ограничители, соответствующие формы посадочных поверхностей) для точной установки данных деталей в определенных положениях перед сваркой. Следует также максимально увеличить расстояния между свариваемыми участками деталей изделия и их точными элементами (посадочными поверхностями, резьбой) для уменьшения температурных деформаций последних в процессе сварки [1].

С целью упрощения конструкции автоматизированного сборочного оборудования обеспечивают симметрию крепежных деталей (рис. 1) [1], что позволяет отказаться от механизмов их предварительной ориентации. Стараются максимально уменьшить количество деталей в изделии, упростить их конфигурацию, обеспечить базовые поверхности корпусных деталей для реализации стандартных и точных схем их базирования в процессе сборки.

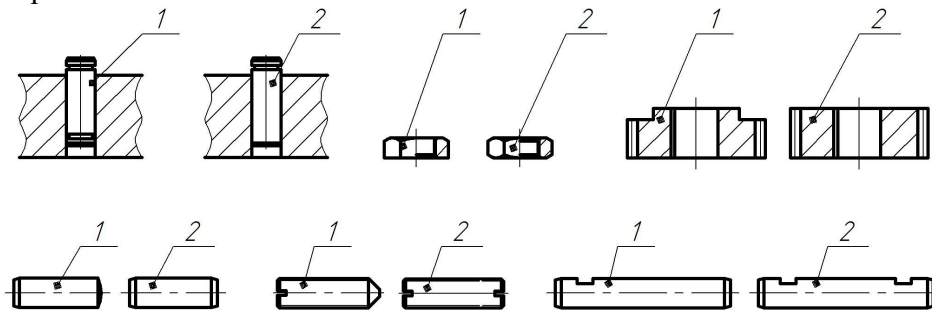


Рис. 1. Примеры повышения технологичности деталей за счет обеспечения симметрии по внешнему контуру: 1 – нетехнологичная конструкция; 2 – технологичная конструкция

В конструкции изделия следует использовать в первую очередь унифицированные, стандартные и нормализованные детали. При этом целесообразно сравнить коэффициенты унификации – $K_{у.н}$, нормализации – $K_{н.н}$ и стандартизации – $K_{с.н}$ собираемого изделия [6] с соответствующими коэффициентами $K_{у.б}$, $K_{н.б}$, $K_{с.б}$ изделия аналогичного назначения, которое уже выпускают и конструкцию которого на сегодняшний день считают наиболее рациональной:

$$K_{у.н} = \frac{n_y}{N} \leq K_{у.б}; K_{н.н} = \frac{n_n}{N} \leq K_{н.б}; K_{с.н} = \frac{n_c}{N} \leq K_{с.б}, \quad (1)$$

где n_y , n_n , n_c – количество унифицированных, нормализованных и стандартных деталей собираемого изделия; N – общее количество в нем деталей.

Разрабатывают комплект конструкторской документации собираемого изделия (сборочные и рабочие чертежи, спецификации, описания конструкции изделия и последовательности его сборки). Проверяют наличие на сборочных чертежах необходимых проекций и разрезов, параметров точности соединений, точности взаимного расположения деталей, данных о необходимых усилиях запрессовки деталей, моментах затяжки крепежных болтов и гаек, герметичности соединений, массах изделия и его составляющих частей, точности балансировки вращающихся деталей. Кроме того, собирают информацию о необходимом количестве собираемых изделий, заданной производительности сборки, допустимой стоимости используемого автоматизированного оборудования, сроках его освоения [3]. Собранную информацию детально анализируют.

Далее целесообразно определить организационную форму сборки, которая может быть стационарной либо конвейерной [3]. При стационарной сборке базовая деталь изделия или его узла расположена неподвижно в сборочном цеху и к ней с разных сторон подают другие

присоединяемые узлы или детали. В случае конвейерной сборки данная базовая деталь периодически или непрерывно перемещается по сборочному цеху (цехам), при этом к ней также присоединяют прочие узлы и детали. Организационную форму выбирают для каждой сборки каждого узла изделия и в целом для сборки всего изделия (в ряде случаев организационные формы узловой и общей сборки одного и того же изделия могут отличаться).

Разрабатывают технологическую схему сборки (рис. 2), содержащую информацию о наименовании и последовательности выполняемых основных и вспомогательных операций с указанием деталей изделия, присоединяемых на каждой сборочной операции.

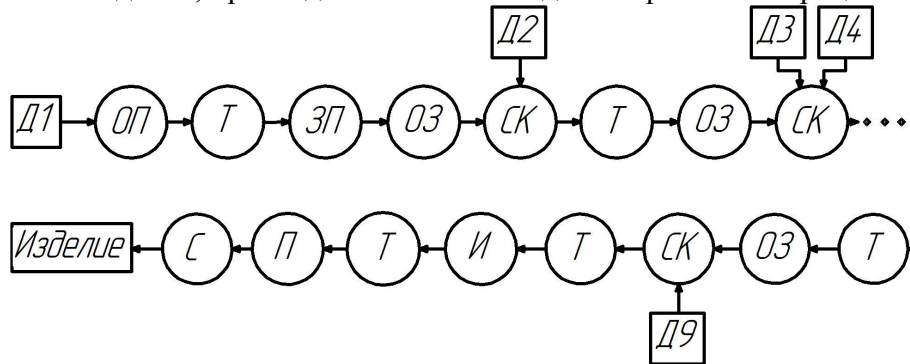


Рис. 2. Пример технологической схемы сборки: Д1, Д2, Д3, ..., Д9 – детали изделия; ОП – очистка и промывка; Т – транспортировка; ЗП – загрузка в магазинное устройство и подача; ОЗ – ориентировка и закрепление в рабочей позиции сборки; СК – сборка и контроль ее качества; И – испытания изделия; П – покраска; С – смазка – наименования операций сборки

В соответствии с [6], тип производства, в том числе и при реализации технологических процессов сборки, можно определить по коэффициенту $k_{з.о}$ закрепления операций, равному отношению числа $n_{о.м}$ технологических сборочных операций, подлежащих выполнению в течение месяца, к числу рабочих мест $n_{м.р}$. При этом $n_{о.м}$ рассчитываем по формуле

$$n_{о.м} = n_{о.м1} \frac{n \cdot n_{р.д.м}}{T_{\partial}}, \quad (2)$$

где $n_{о.м1}$ – число технологических операций при сборке одного изделия (определяют с помощью технологической схемы сборки, см. рис. 2); n – необходимое количество собираемых изделий; T_{∂} – допустимое время на сборку n изделий (в рабочих днях); $n_{р.д.м}$ – среднее число рабочих дней в месяце (можно принять равным 20,83).

Тогда

$$k_{з.о} = \frac{n_{о.м}}{n_{м.р}} = n_{о.м1} \frac{n \cdot n_{р.д.м}}{T_{\partial} n_{м.р}}. \quad (3)$$

При $k_{з.о} < 1$ производство относят к массовому, при $1 \leq k_{з.о} \leq 10$ – к крупносерийному, при $10 < k_{з.о} \leq 20$ – к среднесерийному, при $20 < k_{з.о} \leq 40$ – к мелкосерийному, при $k_{з.о} > 40$ – к единичному [6].

Определяют степень автоматизации каждой операции разрабатываемого технологического процесса сборки (ручная, полуавтоматическая, автоматическая), параллельно выбирают оборудование и оснастку для ее реализации. Основными критериями для такого выбора являются себестоимость C операции при ее выполнении вручную – C_p , с использованием полуавтоматического (C_n) и автоматического (C_a) оборудования, а также соответствующая трудоемкость (штучное время) выполнения операции при той или иной степени автоматизации – $T_{шт.р.}$, $T_{шт.н.}$, $T_{шт.а.}$.

Трудоемкость $T_{шт.р.}$, $T_{шт.н.}$, $T_{шт.а.}$ [мин] для условий крупносерийного и массового

производства определяем по формуле [2]

$$T_{ум.р} = (T_o + T_г) \left(1 + \frac{\alpha + \beta}{100} \right) + \frac{T_{н.з}}{n}; \quad T_{ум.н} = T_o + T_г + \frac{T_{н.з}}{n}; \quad T_{ум.а} = T_o + T_г + \frac{T_{н.з}}{n}, \quad (4)$$

где T_o , $T_г$, $T_{н.з}$ – соответственно основное, вспомогательное неперекрываемое и подготовительно-заключительное время, которое при выполнении операции вручную определяют по нормативам в зависимости от ее наименования (при использовании полуавтоматического или автоматического оборудования T_o , $T_г$ рассчитывают, исходя из производительности и режима работы последнего); α , β – потери времени на организационно-техническое обслуживание и нормируемые перерывы, которые в зависимости от серийности производства составляют: $\alpha = 0,6 - 8\%$ и $\beta = 2 - 4\%$ [2].

Для единичного и серийного производства $T_{ум.р}$ определяем как [2]

$$T_{ум.р} = T_o + T_г + \frac{T_{н.з}}{n}, \quad (5)$$

тогда как для расчета $T_{ум.н}$, $T_{ум.а}$ на указанных производствах следует использовать формулы (4).

Далее для каждого предлагаемого варианта технологического процесса сборки изделия при ручном, полуавтоматическом или автоматическом выполнении той или иной операции следует проверить выполнение условия

$$\left(\sum_{i=1}^m T_{ум.i} - \sum_{i=1}^k T_{ум.i} \right) n \leq T_o \cdot 8 \cdot 60 \cdot n_{см}, \quad (6)$$

где i – порядковый номер операции рассматриваемого варианта процесса сборки; m – общее количество операций рассматриваемого варианта; k – число операций рассматриваемого процесса, которые можно выполнять параллельно (совмещать во времени) и $T_{ум}$ которых не превышает $T_{ум}$ параллельно выполняемой лимитирующей операции; $n_{см}$ – число рабочих смен на предприятии длительностью 8 ч.

При использовании компьютерной техники и соответствующих типовых программных продуктов (например, Microsoft Excel) можно проверить выполнение условия (6) для всех возможных вариантов технологического процесса сборки данного изделия при ручном, полуавтоматическом или автоматическом выполнении каждой операции и отобрать все допустимые варианты.

Для каждого допустимого варианта с учетом [3] определяют себестоимость

$$C = \sum_{i=1}^m [T_{ум.i} (П_{о.i} + З_{м.i})] + \sum_{i=1}^m \frac{T_{н.з.i}}{n} П_{н.i} + [100(k_a + k_э) З_o] / n, \quad (7)$$

где $П_{о.i}$, $П_{н.i}$ – минутная зарплата основного рабочего и наладчика при выполнении i -й операции рассматриваемого варианта; $З_{м.i}$ – стоимость 1 минуты работы сборочного оборудования, используемого на i -й операции рассматриваемого варианта, приблизительно определяемая по заводским нормативам или по формуле, приведенной в [3]; k_a , $k_э$ – коэффициенты амортизации и эксплуатации сборочной оснастки ($k_a = 0,2 - 0,5$, $k_э = 0,2$ [3]); $З_o$ – стоимость всего сборочного оборудования и оснастки, используемых при реализации рассматриваемого варианта.

Для каждого допустимого варианта технологического процесса сборки данного изделия проверяют еще одно условие

$$З_o \leq З_{о.д}, \quad (8)$$

в котором $З_{о.д}$ – допустимая стоимость используемого в рассматриваемом варианте оборудования. По результатам выполнения условия (8), перечень допустимых вариантов

технологического процесса сборки пересматривают. Из оставшегося перечня допустимых вариантов выбирают оптимальный, для которого C является наиболее низкой.

Далее разрабатывают маршрутную технологию оптимального варианта сборочного процесса с рассмотрением целесообразности концентрации или дифференциации операций и уточнением наименования и типа используемых в нем оборудования и оснастки. При построении маршрутной технологии выделяют операции с высокой вероятностью отказов, на которых следует предусмотреть производственные заделы [3].

Осуществляют выбор технологических баз и схем базирования. Необходимо максимально широко использовать принципы совмещения и постоянства баз [3], типовые схемы базирования и универсальную стандартную оснастку для их реализации. С этой целью возможна даже корректировка конфигурации и размеров некоторых деталей изделия, а также изменение элементного состава последнего.

Последним этапом проектирования процессов сборки является разработка их операционной технологии, в которой еще раз уточняют содержание операций и целесообразность их концентрации [3]. На этом же этапе определяют усилия запрессовки деталей изделия, моменты и усилия затяжки крепежных элементов. Рассчитывают параметры рабочих режимов выбранного полуавтоматического и автоматического сборочного оборудования, разрабатывают конструкторскую документацию для изготовления специализированной и специальной оснастки для использования в спроектированном технологическом процессе.

Выводы

1. На начальных этапах проектирования технологических процессов сборки целесообразно отработать конструкцию изделия на технологичность, а также максимально повысить степень стандартизации, нормализации и унификации его деталей.

2. В статье приведена методика расчета параметров технологических процессов сборки, включающая известные зависимости, а также формулы, предложенные автором, в частности, для определения количества сборочных операций, коэффициента их закрепления, себестоимости сборки (более простые, чем соответствующие известные зависимости).

3. Основными критериями для выбора наиболее рациональной технологии рассматриваемых процессов являются трудоемкость и себестоимость сборки изделия при реализации каждого варианта, а также стоимость используемого при этом сборочного оборудования и оснастки. В связи с этим, в статье предложены условия для проверки по данным критериям спроектированных вариантов процессов на рациональность.

4. С использованием приведенной в статье методики может быть разработана компьютерная программа для автоматизированного многовариантного синтеза и анализа высокоэффективных технологических процессов автоматизированной сборки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Замятин В. К. Технология и оснащение сборочного производства машиноприборостроения: Справочник / В. К. Замятин. – М. : Машиностроение, 1995. – 608 с.
2. Михайлов А. В. Основы проектирования технологических процессов машиностроительных производств / А. В. Михайлов, Д. А. Расторгуев, А. Г. Схиртладзе. – Старый Оскол : ТНТ, 2010. – 336 с.
3. Капустин Н. М. Автоматизация производственных процессов в машиностроении / Н. М. Капустин, П. М. Кузнецов, А. Г. Схиртладзе. – М. : Высш. шк., 2004. – 415 с.
4. Ха Ван Чьен Формирование схемы базирования при разработке оснастки для сборки узлов из маложестких деталей: дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / Ха Ван Чьен. – Иркутск, 2014. – 149 с.
5. Корнилов Л. Н. Системный подход к формализации процесса автоматизированного технологического проектирования в сборочном производстве / Л. Н. Корнилов, В. В. Воронько, Ю. А. Воробьев, Д. Берндт // Авиационно-космическая техника и технология, 2013. – № 5. – С. 97 – 101.
6. Виноградов В. М. Технология машиностроения: Введение в специальность / В. М. Виноградов. – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 176 с.

Севостьянов Иван Вячеславович – д. т. н., профессор кафедры металлорежущих станков и оборудования автоматизированного производства.

Винницкий национальный технический университет.