

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профес-
сионального образования
«Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова»**

Обеспечение технологичности конструкции изделий

*Утверждено учебно-методическим советом БГТУ им. В.Г.Шухова в каче-
стве учебного пособия к практическим занятиям по дисциплине «Обеспечение
технологичности конструкции изделий» для студентов высших учебных заведе-
ний, обучающихся по направлению подготовки магистров 151900.68 “Кон-
структорско - технологическое обеспечение машиностроительных произ-
водств”*

Белгород 2012

УДК 621. 01(075)

ББК 34.5я7

Ш86

Р е ц е н з е н т ы:

Доктор технических наук, профессор Белгородского государственного технологического университета им. В.Г.Шухова *В.А.Уваров*

Доктор технических наук, профессор Белгородской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Я.Горина *А.Г.Пастухов*

Шрубченко, И.В.

Ш86 Обеспечение технологичности конструкции изделий. учеб. пособие/ И.В. Шрубченко - Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. - 34 с.

В учебном пособии рассмотрены методики оценки и анализа технологичности конструкции сборочных единиц и деталей машин. Пособие предназначено для практических занятий по дисциплине «Обеспечение технологичности конструкции изделий» для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки магистров “Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств”.

Табл. 81. Ил. 77. Библиогр.: 23 назв.

УДК 621. 01(075)

ББК 34.5я7

© Белгородский государственный технологический университет (БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2012

1. Оценка технологичности конструкций сборочных единиц.

1.1. Назначение и конструкция изделия

Любое изделие, изготавливаемое на производстве, должно соответствовать определенным параметрам и выполнять заданные функции. Степень соответствия основных параметров заданным в конструкторской документации определяет фактическое качество изделия. При значительных отклонениях возможен брак, и от того, на какой стадии проектирования или производства он будет обнаружен, зависит величина дополнительных затрат.

С целью максимального уменьшения вероятности появления брака на каждой стадии проектирования должен выполняться подробнейший анализ документации на изделие, правильности простановки размеров, назначения допусков и посадок и других технических требований. Грамотный и подробный анализ невозможен без знания служебного назначения изделия, отдельных его деталей, сочленений и поверхностей, какие нагрузки они воспринимают и передают и др. Большую помощь здесь оказывает производственный опыт технолога. Но независимо от этого на каждой стадии проектирования возможен и даже желателен тесный контакт с конструктором, разработавшим данное изделие. Все это позволит сократить до минимума возможные несоответствия, начиная с первых стадий проектирования, и практически исключить их влияние на производственные потери. Сборка предполагает в основном выполнение операций по взаимному соединению и фиксации отдельных деталей, поэтому особое внимание при описании служебного назначения должно быть уделено отдельным сочленениям.

В описании необходимо указывать, какие нагрузки воспринимают те или иные сочленения, какие выходные параметры должно обеспечивать изделие, какие необходимые зазоры должны быть соблюдены при сборке и др. Чтобы правильно выявить основные замыкающие звенья необходимо определить конструкторские базы изделия – основные и вспомогательные базы. Технологом, проектирующим технологический процесс сборки, является практически заключительным звеном при производстве изделий, поэтому он должен изучить также документацию всех предшествующих стадий: технического задания, технического предложения, эскизного проекта, рабочей документации опытного образца, опытной серии и т.д. При этом он должен критически подходить к оценке формулировок служебного назначения, приводимых в пояснительных записках различных стадий проектирования документации. На нем лежит максимальная ответственность за возможный брак на заключительной стадии изготовления, где затраты, связанные с его устранением являются максимальными.

Пример. Описать назначение и конструкцию шпинделя Ш0421.00.00.000 маятниковой пилы для поперечной резки древесины (сборочный чертеж и спецификация – рис.21.1 и рис.21.2). Шпиндель является сборочной единицей маятниковой пилы для поперечной резки деревянного бруса. Базовыми

детальями этого изделия являются корпуса, которые координируют положение деталей и сборочных единиц, входящих в это изделие. В их отверстия на радиальных однорядных шарикоподшипниках 208 ГОСТ 8338-75 нулевого класса точности, легкой серии, воспринимающих циркуляционнонагружение при нормальном режиме работы, установлен вал. Осевое положение подшипников фиксируется крышками, каждая из которых крепится шестью винтами М10×30.58 ГОСТ 7805-70 с шайбами 10.65 Г 029 ГОСТ 6402-70. В качестве уплотнений в крышке и корпусе установлены контактные уплотнения – войлочные кольца, которые предварительно пропитывают разогретой смесью из универсальной среднеплавкой смазки (85%) и чешуйчатого графита (15%). В корпусе для смазки подшипников при помощи масленок 1.2.Ц6 ГОСТ 19853-74 нагнетается смазка ЦИАТИМ 201 ГОСТ 6267-74. Крутящий момент от электродвигателя типа 4А90L4У3 ГОСТ 19523-74, мощностью 2,2 кВт и частотой вращения 1500 мин^{-1} , через клиноременную передачу с сечением ремня Б(В) ГОСТ 1284-68 передается на шкив диаметром 125 мм, устанавливаемый на посадочную шейку Ø35 мм. На шейке шкива выполнен паз под шпонку 10×8×45 ГОСТ 23360-78. Осевое положение шкива фиксируется гайкой, устанавливаемой на резьбовую поверхность М32×1,5. На посадочную шейку Ø32 мм устанавливается дисковая пила диаметром до 400 мм для поперечной резки деревянного бруса и через установочные фланцы крепится при помощи резьбовой поверхности М27×1,5. Для фиксации вала при монтаже и демонтаже пилы выполнено поперечное отверстие Ø10 мм.

Основными базами шпинделя являются опорные и торцевые поверхности корпусов, при помощи которых сборочная единица устанавливается на раму станка.

Вспомогательными базами являются: посадочная шейка Ø32 мм и заплечик вала; посадочная шейка Ø35 мм и заплечик вала.

Покрытие поверхностей корпусов по ГОСТ 9.032-74, эмаль ПФ–115, желтая ГОСТ 6465-76 VI.

1.2. Тип производства и организационная форма сборки

Тип производства может быть определен ориентировочно еще на первой стадии проектирования техпроцесса.

Уточнение выбранного типа производства можно произвести после определения такта сборки и определения ориентировочной продолжительности выполнения операции. Если такт значительно превышает среднюю предварительно найденную длительность операции, то сборку следует вести по принципу серийного производства. Если такт сборки близок к средней продолжительности операции, то сборку следует выполнять по принципу массового производства. При малом такте сборки процесс дифференцируют, разбивая на небольшие по содержанию операции.

Для определения организационной формы сборки в качестве исходных данных необходимы: метод обеспечения точности сборки; тип производства; конструкция изделия; габаритные размеры и масса; срок выпуска изделий.

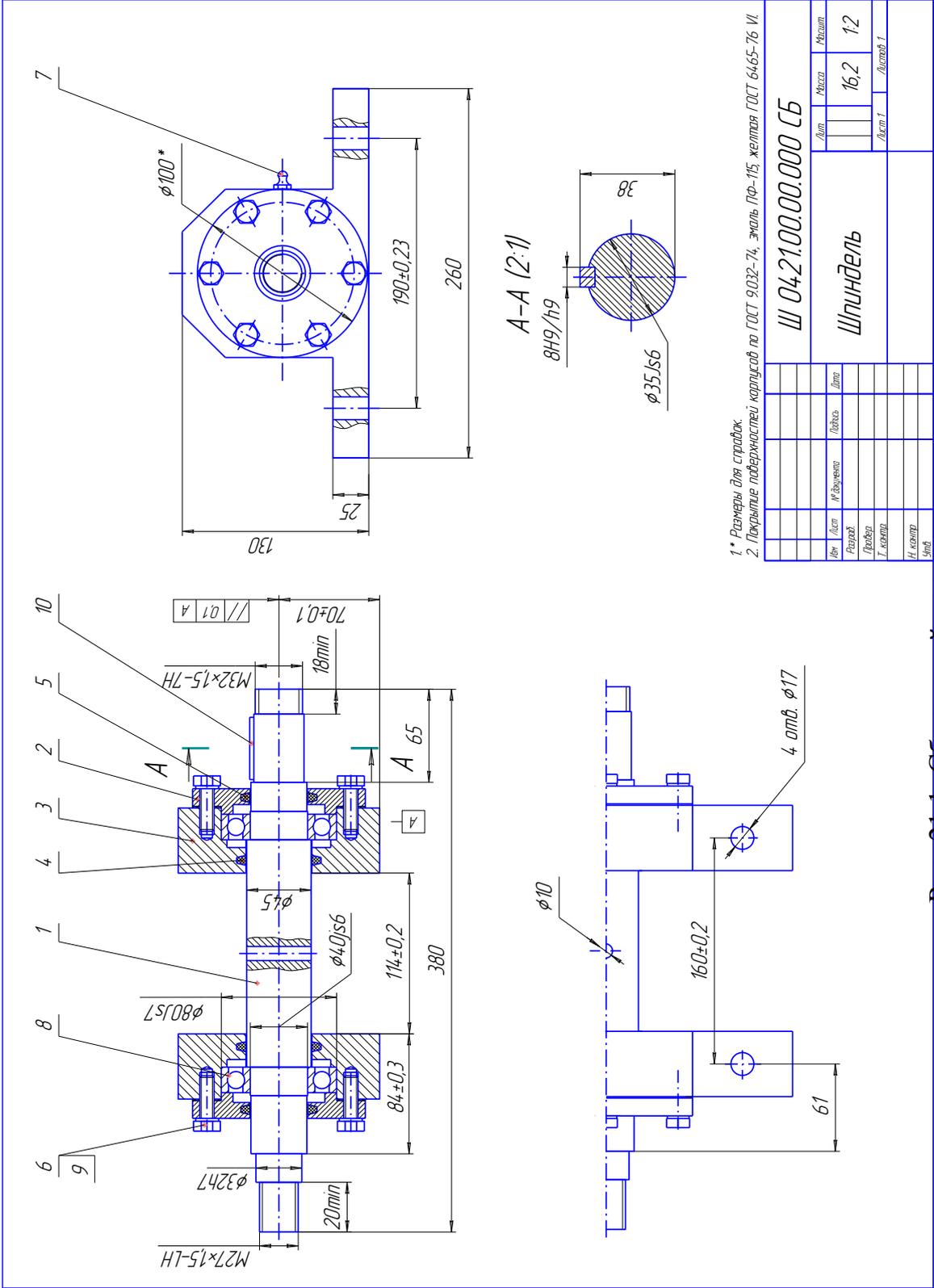


Рис. 21.1. Сборочный чертеж шпинделя

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<i>Документация</i>						
A1			Ш 04.21.00.00.000СБ	Сборочный чертеж		
<i>Сборочные единицы</i>						
<i>Детали</i>						
A3	1		Ш 04.21.00.00.001	Вал	1	
A3	2		Ш 04.21.00.00.002	Крышка	2	
A4	3		Ш 04.21.00.00.003	Корпус	2	
	4		745-5001-12	Уплотнительное кольцо	2	
	5		745-5001-13	Уплотнительное кольцо	2	
<i>Стандартные изделия</i>						
	6			Винт М10×30 ГОСТ 7798-70	12	
	7			Масленка 1.2Ц6 ГОСТ 19853-74	2	
	8			Подшипник 208 ГОСТ 8338-75	2	
	9			Шайба 10 65Г ГОСТ 6402-70	12	
	10			Шпонка 10x8x45 ГОСТ 23360-78	1	
<i>Ш 04.21.00.00.000СБ</i>						
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит. Лист Листов 1
	Разраб.					
	Пров.					
	Н.контр.					
Утв.						
<i>Шпиндель</i>						
<i>Копировал</i>				<i>Формат А4</i>		

Рис. 21.2. Спецификация шпинделя

Для одного и того же изделия может быть выбрано два и более варианта форм сборки, окончательный выбор определяется экономическими расчетами. Выбирают вариант, при котором себестоимость сборки будет минимальна.

Основными организационными формами сборки являются стационарная и подвижная. Стационарная сборка может выполняться одним рабочим или бригадой, причем объект сборки располагается постоянно на одном сборочном посту. Стационарная сборка может выполняться с расчленением работ и без расчленения работ. При расчленении работ предполагается деление процесса на узловую сборку основных групп и общую сборку изделия в одно и то же время несколькими сборщиками.

При подвижной сборке объект сборки последовательно перемещается от одного сборочного поста к другому, на которых рабочие выполняют определенные операции. В зависимости от типа производства перемещение объекта сборки может быть: свободным (собираемое изделие перемещают сами сборщики, например, на тележках или рольгангах, мелкосерийный или серийный тип производства); принудительным (объект сборки перемещается при помощи механизированных транспортных средств непрерывного или периодического действия, крупносерийный и массовый тип производства).

С увеличением выпуска изделий процесс сборки может быть более дифференцирован и расчленен таким образом, что каждую операцию будет выполнять только один рабочий. Объект сборки должен последовательно перемещаться при помощи транспортных средств от одного рабочего к другому. Такую организационную форму сборки называют поточной.

К основным факторам, характеризующим поточный метод сборки, относят: закрепление за каждым сборочным постом вполне определенных операций, чередующихся по ходу технологического процесса; передача объекта сборки на последующую операцию сразу же после выполнения предыдущей; ритмичная, синхронная работа на всех рабочих местах сборочной линии; слаженная, четкая работа всех смежных или обслуживающих поток участков производства; возможность широкого внедрения средств механизации.

При принудительном перемещении объектов сборки и принудительном регулировании такта используют конвейерную сборку. При этой форме сборки все пригоночные операции должны быть устранены, и лишь в тех случаях, когда по технико-экономическим соображениям это невозможно осуществить, пригоночные операции выносят на специальные посты.

Установив тип производства, далее определяют его основную характеристику.

Для условий массового производства определяют такт сборки, мин:

$$t_g = \frac{60 \cdot D \cdot C \cdot (T_{см} \cdot \eta_p - T_{об} - T_{омд})}{N_2},$$

где D – число рабочих дней в году; C – число рабочих смен за день; $T_{см}$ – длительность рабочей смены, ч.; η_p – коэффициент, учитывающий потери времени на ремонт оборудования (0,98 – при односменной и 0,97 – при двух-

сменной работе); $T_{об}$ – потери времени в течение смены на обслуживание рабочих мест; $T_{отд}$ – потери времени на перерывы в работе для отдыха и естественных надобностей рабочих в течение смены; N_2 – годовой фонд рабочего времени.

Для условий серийных производств определяют размер партии:

$$n = a \cdot N_2 / 252,$$

где a – периодичность запуска, дни.

Пример. Определить тип производства и организационную форму для участка сборки шпинделя Ш 0421.00.00.000, с программой выпуска $N_2 = 1000$ шт.

В зависимости от массы изделия и годовой программы выпуска определяем тип производства как серийное.

Определим размер партии, приняв $a = 10$:

$$n = a \cdot N_2 / 252 = 10 \cdot 1000 / 252 = 39,6 \text{ шт.}$$

Принимаем размер партии $n = 40$ шт.

Учитывая, что изделие имеет небольшие размеры и массу, а также возможно выделение отдельных технологических сборочных единиц, сборку которых можно выполнить на отдельных рабочих местах, выбираем подвижную форму сборки с расчленением работ.

1.3. Анализ чертежа и технических условий

Так как сборка является заключительным этапом в изготовлении изделия, то от ее качества во многом зависит качество самого изделия. В связи с этим анализу чертежей изделия должно быть уделено особое внимание с тем, чтобы максимально уменьшить вероятность ошибок в технологической документации.

При анализе чертежа необходимо проверить:

- правильность оформления в соответствии с требованиями ЕСКД и других нормативных документов;
- достаточность видов, разрезов и сечений, дающих полное представление о конструкции собираемого изделия;
- достаточность и правильность простановки размеров, и назначение технических требований.

Чтобы проверить достаточность и правильность простановки размеров и назначение технических требований, разработчику рекомендуется выявить все замыкающие звенья, которые необходимо выдержать при сборке, методы достижения их точности, которые конструктор предусмотрел при конструировании и отразил в чертежах. Рекомендуется условно все замыкающие звенья разделить на две группы. В первую группу включают те звенья, метод достижения заданной точности которых при ознакомлении с чертежом не вызывает сомнений и которые легко проверить, используя соответствующую справочную литературу. К ним можно отнести зазоры и натяги в гладких цилиндрических и резьбовых соединениях. Точность этих звеньев обычно вы-

держивают методами полной, неполной или групповой взаимозаменяемости. Боковые зазоры и контакт боковых поверхностей зубьев при сборке пары цилиндрических шестерен выдерживают методами полной или неполной взаимозаменяемости. Совпадение вершин начальных конусов пары конических шестерен и контакт боковых поверхностей их зубьев, если в конструкции предусмотрены неподвижные компенсаторы для применения метода пригонки и прокладки или подвижные компенсаторы для применения метода регулирования и др.

Во вторую группу включают звенья, метод достижения заданной точности которых после ознакомления с чертежом остается неясным или вызывает сомнения. К ним можно отнести: замыкающие звенья многозвенных размерных цепей, состоящих из продольных (осевых) размеров; замыкающие звенья, получающиеся в результате присоединения друг к другу двух собранных узлов.

При обнаружении таких звеньев разработчик составляет размерные цепи, осуществляет их анализ и подробный расчет. Зная детально работу изделия, разработчик критически оценивает заданные технические условия на сборку как с точки зрения их содержания, так и с точки зрения их полноты. При этом рекомендуется продумать следующие вопросы: какие технические требования должны быть выполнены, чтобы узел или изделие нормально работали, все ли они указаны конструктором; когда в процессе сборки эти требования выдерживаются; какие проверки нужно делать в процессе сборки.

Все выявленные в конструкторской документации недостатки устраняют, внося на чертежи недостающие виды, сечения, размеры, предельные отклонения, посадки и др.

Пример. Выполнить анализ чертежа и технических условий шпинделя Ш 0421.00.00.000 (рис. 21.1). Сборочный чертеж шпинделя содержит необходимые виды, сечения и разрезы, дающие полное представление о конструкции этого изделия, чтобы проверить достаточность и правильность простановки размеров и назначения технических требований, выделим в изделии все замыкающие звенья:

- обеспечить точность размера между опорными плоскостями корпусов (основная база) и осью посадочной шейки $\varnothing 32$ мм (вспомогательная база); (A_A)
- обеспечить точность размера между опорными плоскостями корпусов (основная база) и осью посадочной шейки $\varnothing 35$ мм (вспомогательная база); (B_A)
- обеспечить параллельность оси посадочной шейки $\varnothing 32$ мм (основная база) относительно опорной плоскости корпусов (основная база); (α_A)
- обеспечить параллельность оси посадочной шейки $\varnothing 35$ мм (вспомогательная база) относительно опорной плоскости корпусов (основная база); (β_A)
- обеспечить требуемую величину радиального биения посадочных шеек (вспомогательные базы); (C_A)

- обеспечить точность осевого размера между заплечиком вала (вспомогательная база) и торцом корпуса (основная база); (D_A)
- обеспечить точность осевого размера между внутренними торцевыми поверхностями корпусов (основные базы); (E_A)
- обеспечить нахождение опорных плоскостей корпусов (основные базы) в одной плоскости; (F_A)
- обеспечить требуемую величину теплового зазора между торцевыми поверхностями подшипника и крышки правой опоры; (G_A)
- обеспечить неподвижное соединение в сочленении шейка вала - обойма подшипника;
- обеспечить подвижное соединение в сочленении корпус – обойма подшипника;
- обеспечить радиальный зазор в подшипниках;
- обеспечить требуемое усилие затяжки винтов.

Выявляем в изделии необходимые размерные цепи (рис. 21.3).

На сборочном чертеже задан размер между опорными поверхностями корпусов (основная база) и осями посадочных шеек (вспомогательная база) - $70 \pm 0,1$ мм. Проверим правильность назначения этого присоединительного размера, для чего решим размерную цепь A .

Все звенья размерной цепи являются увеличивающими.

Из чертежей деталей выбираем размеры составляющих звеньев и вносим в табл. 21.1. Определим номинальный размер замыкающего звена

$$A_A = \vec{A}_1 + \vec{A}_2 + \vec{A}_3 - (\vec{A}_4 + \vec{A}_5) + 0 = 70 \text{ мм.}$$

Определим допуск замыкающего звена

$$TA_A = TA_1 + TA_2 + TA_3 = 0,03 + 0,04 + 0,03 = 0,1 \text{ мм.}$$

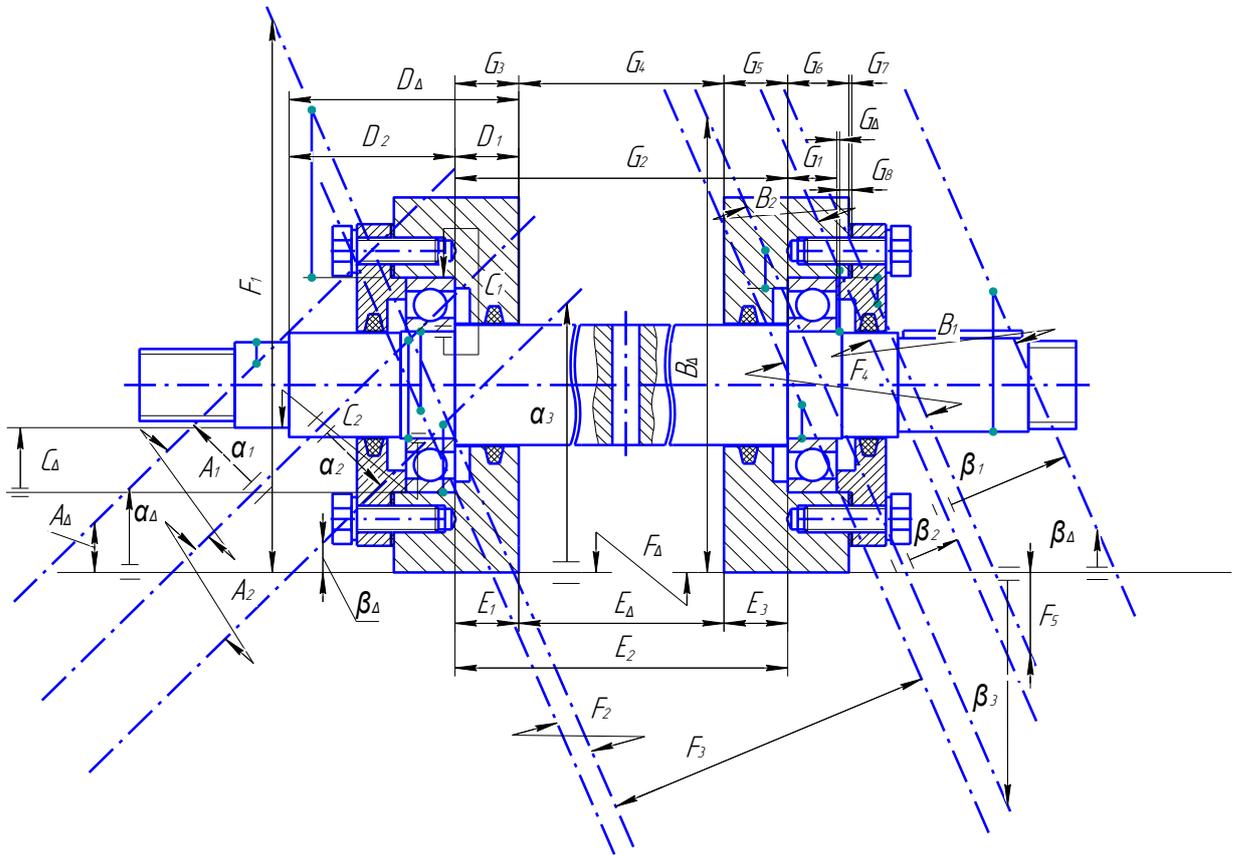


Рис. 21.3. Размерные цепи, определяющие точность замыкающих звеньев:

$$A_{\Delta}, B_{\Delta}, \alpha_{\Delta}, \beta_{\Delta}, C_{\Delta}, D_{\Delta}, E_{\Delta}, F_{\Delta}, G_{\Delta}.$$

Полученное значение поля допуска замыкающего звена не выходит за пределы исходного звена, поэтому нет необходимости изменять поля допусков составляющих звеньев размерной цепи.

Звенья размерной цепи А

Таблица 21.1.

Звено	Номинальное значение размера, мм	Поле допуска, мм	Координата середины поля допуска, мм	Сущность допустимого отклонения
A_1	0	0,03	+0,015	Допуск соосности шеек $\varnothing 32$ и $\varnothing 40$;
A_2	0	0,04	+0,02	Допуск соосности посадочных поверхностей обойм подшипника
A_3	70	0,03	0	Допуск на размер между осью отверстия и опорной плоскостью корпуса

На сборочном чертеже указана посадка в сочленении шейка вала – обойма подшипника – $L0/k6$.

По табл. 4.77 [7] устанавливаем, что при нагрузке постоянной по направлению и когда вращается внутреннее кольцо, оно будет иметь циркуляционный вид нагружения, а наружное кольцо – местный.

По табл. 4.84 [7] для условий, когда вращается вал, циркуляционном нагружении внутреннего кольца и нормальном режиме работы, рекомендуемые поля допусков вала – $js5; k6; js6$, что соответствует заданному на чертеже.

Однако рекомендуемое поле допуска в корпусе должно быть $Js6$ или $Js7$.

Аналогично определяем и анализируем значения остальных замыкающих звеньев данного изделия и вносим необходимые изменения на чертеж.

1.4. Анализ технологичности конструкции изделия

Цель обеспечения технологичности конструкции изделия (ТКИ) заключается в придании конструкции изделия такого комплекса свойств, при котором достигаются оптимальные значения затрат всех видов ресурсов при производстве, эксплуатации и ремонте изделия для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ.

Конструкция сборочной единицы должна удовлетворять требованиям изготовления, эксплуатации и ремонта наиболее производительными и экономичными способами при заданных условиях производства, эксплуатации и ремонта.

При обеспечении технологичности сборочных единиц следует учитывать их функциональные различия в составе изделия. Сборочные единицы могут быть составной частью изделия и не выполнять самостоятельных функций (например, корпус клапана с запрессованной втулкой) либо выполнять самостоятельные функции (например, редукционный клапан насоса в отдельном корпусе, насос в отдельном корпусе относительно двигателя).

Уровень технологичности конструкции определяют для всех сборочных единиц, для которых в техническом задании установлены базовые показатели технологичности.

По значимости для оценки различают основные и дополнительные показатели.

Различают следующие группы показателей ТКИ:

- технологической рациональности конструкции изделия;
- преимущества конструкции изделия;
- ресурсоемкости изделия;
- производственной ТКИ;
- эксплуатационной ТКИ;
- ремонтной ТКИ;
- общей ТКИ.

- Показатели технологической рациональности конструкции изделия включают:

- коэффициент сборности определяют как отношение числа специфицированных составных частей изделия (равных числу сборочных единиц) к общему числу его составных частей:

$$K_{CB} = \frac{E}{E + D},$$

где E – число сборочных единиц в изделии; D – число деталей в изделии.

- коэффициент легкоъемности составных частей вычисляют по формуле

$$K_{ЛС} = \sum_{i=1}^I \frac{t_i}{T_{ТО(P)}},$$

где t_i – трудоемкость i -й составной части изделия в демонтно-монтажных работах при техническом обслуживании (ремонте); I – число составных частей изделия, требующих технического обслуживания (ремонта); $T_{ТО(P)}$ – общая трудоемкость изделия в техническом обслуживании (ремонте).

Для этой группы показателей ТКИ определяют также:

- коэффициент равновесности элементов при монтаже вне предприятия-изготовителя K_{PB} ; коэффициент доступности мест обслуживания K_D ; коэффициент контролепригодности K_K ; коэффициент распределения допуска между изготовлением и монтажом K_{PD} .

- Показатели приемственности конструкции изделия включают:

- коэффициент применяемости унифицированных составных частей изделия определяют по формуле

$$K_{PP}^{C.ч} = \frac{E_y + D_y}{E + D},$$

где E_y – число унифицированных сборочных единиц в изделии, D_y – число унифицированных деталей, являющихся составными частями изделия и не вошедших в E_y .

- коэффициент применяемости унифицированных сборочных единиц изделия определяют как соотношение унифицированных сборочных единиц к общему числу сборочных единиц в изделии:

$$K_{PP}^E = \frac{E_y}{E}.$$

- коэффициент применяемости унифицированных деталей изделия определяют как отношение числа унифицированных деталей к общему числу деталей в изделии (кроме крепежных):

$$K_{PP}^D = \frac{D_y}{D}.$$

Для этой группы показателей ТКИ могут быть определены также:

коэффициент применяемости стандартных составных частей изделия $K_{PP}^{C.ч.ст.}$; коэффициент применяемости стандартных сборочных единиц изделия $K_{PP}^{E.ст.}$;

коэффициент применяемости стандартных деталей $K_{пр}^{дст}$; коэффициент применяемости унифицированных или стандартных конструктивных элементов $K_{пр}^{кэ}$; коэффициент применяемости материала в изделии $K_{пр}^м$; коэффициент повторяемости составных частей изделия $K_{пов}^{сч}$; коэффициент повторяемости конструктивных элементов детали $K_{пов}^{кэ}$; коэффициент повторяемости материалов в изделии $K_{пов}^м$; коэффициент типизации конструктивного исполнения $K_{тип}^{ки}$.

- Показатели ресурсоемкости изделия включают общую, структурную и относительную трудоемкость (материалоемкость, энергоемкость и т.п.);

- Показатели производственной ТКИ: трудоемкость изделия в технологической подготовке производства $T_{тп}$; трудоемкость изделия в изготовлении $T_{и}$; трудоемкость изделия в монтаже вне предприятия-изготовителя $T_{м}$; материалоемкость изделия в изготовлении $M_{и}$; энергоемкость изделия в изготовлении $\mathcal{E}_{и}$; продолжительность технологической подготовки производства изделия $\tau_{тп}$; продолжительность изготовления изделия $\tau_{и}$; технологическая себестоимость изделия в подготовке производства $C_{тп}$; технологическая себестоимость изделия в изготовлении $C_{и}$;

- Показатели эксплуатационной ТКИ: трудоемкость изделия в эксплуатации $T_{э}$; трудоемкость изделия (разовая, оперативная) в техническом обслуживании $T_{то}$; трудоемкость изделия в монтаже (демонтаже) $T_{м}$; трудоемкость изделия в утилизации $T_{ут}$; материалоемкость изделия в эксплуатации $M_{э}$; энергоемкость изделия в эксплуатации $\mathcal{E}_{э}$; продолжительность (разовая; оперативная) технического обслуживания изделия $\tau_{то}$; технологическая себестоимость изделия в эксплуатации $C_{э}$;

- Показатели ремонтной ТКИ: трудоемкость изделия в ремонте $T_{р}$; материалоемкость изделия в ремонте $M_{р}$; энергоемкость изделия в ремонте $\mathcal{E}_{р}$; продолжительность ремонта изделия $\tau_{р}$; технологическая себестоимость изделия в ремонте $C_{р}$;

- Показатели общей ТКИ: удельная трудоемкость изделия $T_{уд}$; удельная материалоемкость изделия $M_{уд}$; удельная энергоемкость изделия $\mathcal{E}_{уд}$; удельная технологическая себестоимость изделия $C_{уд}$.

Коэффициенты технологичности для других групп показателей изложены в [27] и [30].

Пример. Выполнить анализ и предложить мероприятия по улучшению технологичности конструкции шпинделя Ш0421.00.00.000.

Данное изделие является сборочной единицей, поэтому для количественной оценки применимы следующие группы показателей ТКИ:

- технологической рациональности конструкции изделия;
- преемственности конструкции изделия;
- ресурсоемкости изделия;
- производственной ТКИ;
- эксплуатационной ТКИ;
- ремонтной ТКИ;
- общей ТКИ.

Для технологической рациональности конструкции изделия определим коэффициент сборности:

$$K_{CB} = \frac{E}{E + D}.$$

В соответствии со спецификацией (рис. 21.2) количество сборочных единиц $E=4$ (подшипники 208 ГОСТ 8338-75 и масленки 1.2. Ц6 ГОСТ 19853-74), а количество деталей, не вошедших в сборочные единицы – 34. Тогда коэффициент сборности составляет:

$$K_{CB} = \frac{4}{4+34} = 0,105.$$

Чтобы повысить значение этого коэффициента, выделим в изделии в качестве технологических сборочных единиц: винт – шайба; корпус в сборе с уплотнительным кольцом; крышка в сборе с уплотнительным кольцом. Таким образом, количество сборочных единиц составит: $E=20$; а количество деталей – $D=2$. Тогда коэффициент сборности будет равен:

$$K_{CB} = \frac{20}{20+2} = 0,9.$$

Значение коэффициента повысилось, следовательно, такие изменения могут быть предусмотрены и в технологии сборки.

Для второй группы показателей ТКИ определим коэффициент применимости унифицированных составных частей изделия

$$K_{IP}^{C.ч.} = \frac{E_y + D_y}{E + D}.$$

В базовом варианте в соответствии со спецификацией количество унифицированных сборочных единиц составляет: $E_y=2$; количество унифицированных деталей: $D_y=6$; тогда:

$$K_{IP}^{C.ч.} = \frac{2+6}{4+34} = 0,21.$$

Если в изделии выделить еще три унифицированных сборочных единицы – винт-шайбу; корпус в сборе с уплотнительным кольцом и крышку в сборе с уплотнительным кольцом, то $E_y=5$; а количество унифицированных деталей – $D_y=0$, тогда:

$$K_{IP}^{C.ч.} = \frac{5}{20+2} = 0,23.$$

Повышение значения этого коэффициента также подтверждает эффективность дополнительного выделения сборочных единиц.

Аналогично могут быть определены и проанализированы другие коэффициенты различных групп показателей ТКИ, для которых известны исходные данные.

В целом конструкция изделия является технологичной, для ее сборки не требуется применения специального оборудования и средств технологического оснащения.

2. Оценка технологичности конструкций деталей, изготавливаемых методами обработки резанием

Обеспечение технологичности конструкции изделия является одной из основных функций Единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП) [1]. Анализ технологичности в приборостроении производится как для изделий в целом [2], так и для отдельных деталей.

В соответствии с ГОСТ 14.204-73 различают качественную и количественную оценки технологичности. Принципы качественной оценки технологичности конструкции деталей, получаемых обработкой резанием, изложены в соответствующей литературе [3].

Количественно технологичность конструкции оценивается по комплексному показателю, определяемому как совокупность значений частных показателей технологичности с учетом коэффициентов их весомости, т.е.

$$KT = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^n \varphi_i} \quad (1)$$

- где: K_T - комплексный показатель технологичности;
 K_i - частный показатель технологичности;
 φ_i - коэффициент весомости частного показателя;
 n - количество частных показателей технологичности.

Настоящее пособие основано на методиках определения технологичности деталей в радиотехнической промышленности [4] и в отраслях приборостроения, средств автоматизации и систем управления [5]. Определение частных показателей технологичности деталей (табл. 1) производится на основе поэлементного анализа конструкции деталей с учетом принятого способа их изготовления и вида материала [9].

Таблица 1.

Нормативные значения коэффициентов технологичности

	Наименование частного показателя технологичности	Обозначение	Весовые коэффициенты
1.	Показатель обрабатываемости материала	K_{om}	0.8
2.	Показатель сложности		

	конструкции детали	$K_{сл}$	0.7
3.	Коэффициент точности и шероховатости поверхностей детали	$K_{пов}$	0.6
4.	Показатель унификации конструктивных элементов	$K_{уэ}$	0.7
5.	Показатель использования материала	$K_{им}$	1.0

Номенклатура частных показателей технологичности и соответствующие весовые коэффициенты для деталей, получаемых методами резания, приведены в *табл. 1*.

Комплексный показатель технологичности KT должен быть больше или равен так называемому нормативному показателю технологичности (*табл. 2*).

Таблица 2.

Нормативные значения комплексных показателей технологичности $[K]$

Тела вращения		Прочие детали	
Прецизионные	Не прецизионные	Прецизионные	Не прецизионные
0.70	0.75	0.60	0.65

Практическое применение расчетных коэффициентов технологичности возможно по двум основным направлениям.

1. При разработке нового изделия коэффициенты K_t основных деталей должны превышать т.н. базовые значения, которые задаются в руководящих указаниях по конструированию (РУК) и формируются по результатам расчетов коэффициентов технологичности деталей-аналогов, характерных для технологического оснащения данного предприятия в конкретной отрасли промышленности.

2. При внесении изменений в конструкцию детали, находящейся в производстве, расчетный коэффициент технологичности K_t для детали измененной конструкции должен превышать нормативные значения, аналогичные указанным в *табл. 2*.

2.1. Показатель обрабатываемости материала $K_{ом}$

Принято считать, что материал обладает хорошей обрабатываемостью, если при резании этого материала износ инструмента, силы резания и шероховатость обработанной поверхности малы.

Количественная оценка обрабатываемости затруднена вследствие

неоднозначности понятия.

Существует понятийный аппарат, связанный со стандартной стойкостью инструмента, равной, например, 60 минутам. Соответствующая скорость резания обозначается V_{60} [6].

Наиболее широко распространена шкала, основанная на принятии в качестве эталонного материала *стали 45*, для которой введем обозначение $V_{60эт}$. Тогда обрабатываемость любого материала может быть численно выражена через так называемый коэффициент относительной обрабатываемости K_V :

$$K_V = \frac{V_{60}}{V_{60эт}} \quad (2)$$

Обрабатываемость основных групп сталей можно определить по графикам, приведенным на рис. 1, а также из *табл. 3* [7].

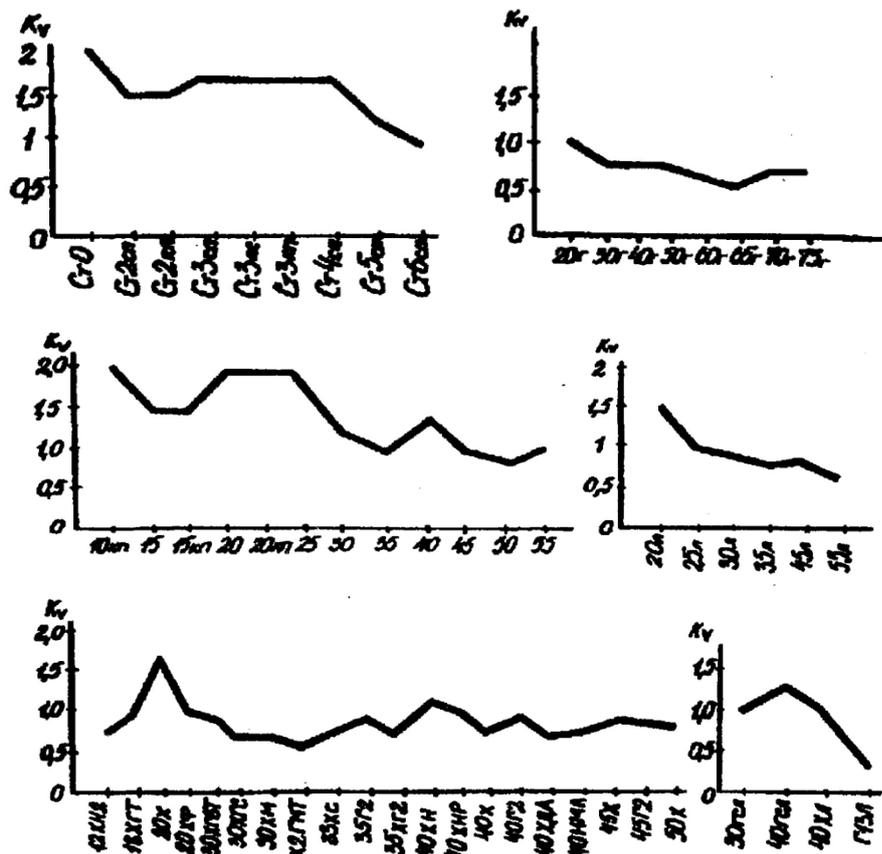


Рис. 1. Значение коэффициентов относительной обрабатываемости для сталей различных марок

Таблица 3.

Классификация трудно обрабатываемых сталей и сплавов по обрабатываемости резанием

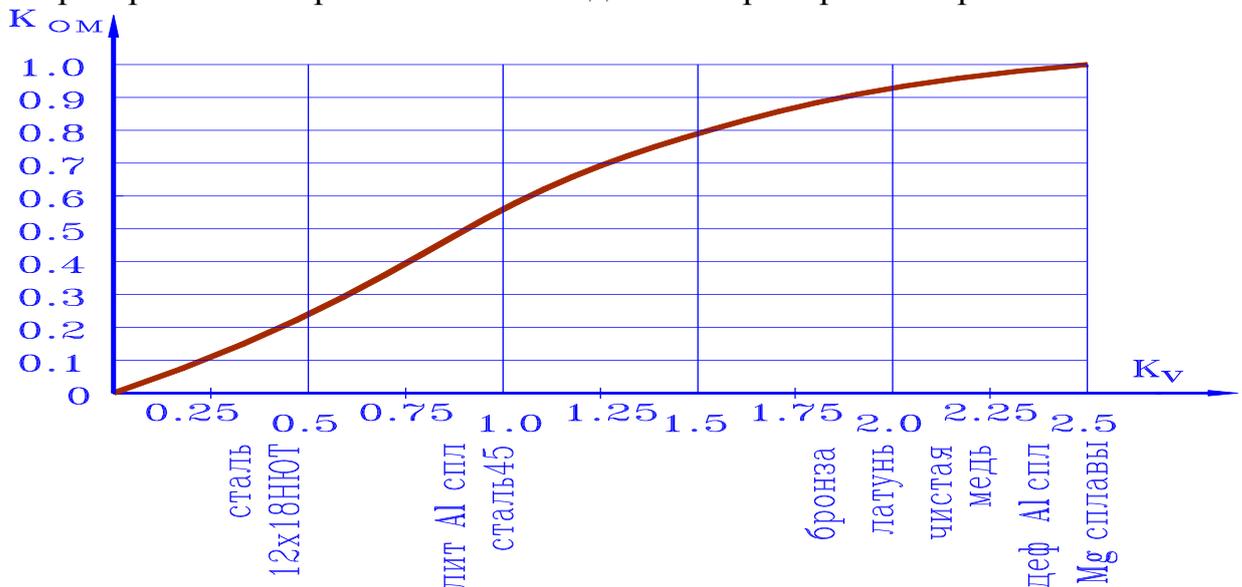
Марки	Термическая	Скорость резания [м/мин]	Коэффициент
-------	-------------	--------------------------	-------------

сталей и сплавов	обработка	при обработке инструментом:		K_V
		из твердого сплава	из быстрорежущей стали	
1	2	3	4	5
1. Теплостойкие хромистые, хромоникелевые и хромомолибденовые стали перлитного, мартенсито-перлитного и мартенситного классов.				
34ХН3М	Отжиг	250 - 300	50 - 70	1
34ХНМ3Ф	Закалка и отпуск	120 - 150	20 - 30	0.5
20Х3МВФ				
15ХМ5	Отжиг	200 - 250	45 - 60	0.9
15Х6СЮ				
2. Коррозионно-стойкие хромистые и сложнoleгированные стали ферритного, мартенсито-ферритного и мартенситного классов				
12Х13	Закалка и отпуск	180 - 220	35 - 40	0.7
25Х13Н2	Отжиг	200 - 250	45 - 60	0.9
11Х11Н2ВМФ	Закалка и отпуск	170 - 200	30 - 40	0.65
1Х12Н2ВМФ				
20Х13	Закалка и отпуск	80 - 100	15 - 20	0.3
30Х13				
40Х13	Отжиг	120 - 150	25 - 30	0.5
09Х16Н46	Закалка и отпуск	130 - 160	28 - 38	0.55
МХ17Н2	Закалка и отпуск	120 - 150	25 - 35	0.5
20Х17Н2				
95Х18	Закалка и отпуск		_____	0.12
3. Коррозионно-стойкие, кислотостойкие, жаростойкие хромоникелевые стали аустенитно-ферритного и мартенситного классов.				
12Х18Н10Т	Аустенизация	120 - 150	25 - 35	0.5
10Х23Н18		140 - 180	30 - 40	0.6
20Х23Н18		110 - 130	20 - 30	0.45
12Х21Н5Т	Нормализация и отпуск	120 - 150	25 - 35	0.5
09Х15Н9Ю				
07Х16Н6				
4. Жаропрочные, жаростойкие, кислотостойкие хромоникелевые, хромоникелемарганцовистые сложнoleгированные стали аустенитного				

и аустенитно-ферритного классов.				
10X11H23T3 MP	Аустениза- ция и старе- ние	50 - 60	122 - 20	0.23
45X14H14B2 M	Аустениза- ция и старе- ние	100 - 120	20 - 28	0.40
08X15H24B4T P	Старение			0.30
15X18H21C4T ЮP	Аустениза- ция	50 - 60	12 - 20	0.23
12X25H16T7A P	Аустениза- ция и старе- ние	80 - 100	15 - 25	0.30
5. Жаропрочные деформируемые сплавы на железоникелевой и никелевой основах				
30НХТЮ ХН38ВТ ХН38ТЮP ХН35ВТЮ	Аустениза- ция и старе- ние	40 - 50	8 - 12	0.16
ХН56МТЮ	Аустениза- ция	22 - 28	8 - 12	0.12
ХН70ВМТЮ	Аустениза- ция	20 - 25	6 - 10	0.1
ХН62МКВЮ ХН60МТВЮ ХН82ТЮМВ	Аустениза- ция и старе- ние	20 - 25	6 - 10	0.1
	Аустениза- ция и старе- ние	18 - 20	5 - 10	0.08
6. Окалиностойкие и жаропрочные литейные сплавы на никелевой и хромовой основах				
ВЖ36-12 АНВ-300 ЖС6-К	Аустениза- ция и старе- ние	18 - 20	—	0.05
ЖС3-ДК ХН67ВМТЮЛ ВХ4-Л	Отжиг	20 - 25	6 - 10	0.1
7. Сплавы на титановой основе				
BT1	Отжиг	100 - 150	30 - 40	0.50
BT3		50 - 70	18 - 25	0.28
BT4, BT5		70 - 100	25 - 35	0.40

BT6		60 - 80	20 - 30	0.32
BT14, BT22		50 - 75	20 - 28	0.30
BT15				
8. Высокопрочные стали				
<i>А. Легированные стали</i>				
28X3CHBЧ	Закалка и отпуск	40 - 65	5 - 10	0.22
30X2ГСН2В М				
33X3СНМВ	Закалка и отпуск	40 - 50	4 - 5	0.18
ΦА				
38X3СНМВ	Закалка	28 - 38	2 - 3	0.14
ΦА				
42Ч2ГСНМ	Закалка	25 - 35	1 - 2	0.13
38Н5МСΦА				
43X3СНМВ	Закалка	10 - 30	-	0.12
ΦА				
<i>Б. Дисперсионно - твердеющие стали</i>				
Н18К9М5Т	Закалка	100 - 120	20 - 30	0.5

Коэффициент обрабатываемости материала K_{om} определяется по диаграмме, приведенной на рис.2, где по оси абсцисс отложен коэффициент K_v . Для удобства пользования диаграммой на оси абсцисс приведены значения коэффициентов для наиболее характерных, широко распространенных при изготовлении деталей приборов материалов.



Со слоистым наполните лем	С волокни- стым наполни- телем	С газовоздуш ным наполни- телем	С наполни телем	Без наполни- теля
------------------------------------	--	---	-----------------------	-------------------------

Реактопласты	Термопласты
Пластмассы [8]	

Рис.2 Зависимость показателя обрабатываемости материала $K_{ом}$ от коэффициента относительной обрабатываемости K_v

2.2. Показатель сложности конструкции детали $K_{сл}$

Увеличение себестоимости получаемой методами обработки резанием детали вследствие удлинения технологического процесса ее изготовления учитывается показателем сложности конструкции детали, определенным в виде:

$$K_{сл} = 0.25(K_k + K_p + K_v + K_c) \quad (3)$$

где: K_k, K_p, K_v, K_c - коэффициенты, определяемые, как:

$$K_i = 1 - A_i \quad (4)$$

Причем A_i - поправки, численные значения которых приведены в табл.4.

Таблица 4.

Факторы, определяющие сложность конструкции детали

Обозначение коэффициентов	Факторы, влияющие на величины коэффициентов	Диапазоны факторов	Величина поправки A_i
K_k	Количество поверхностей детали, обрабатываемых резанием	≤ 20 > 20	0 0.2
K_p	Количество повышенных требований по точностям формы и взаимного расположения поверхностей	0 ≤ 2 > 2	0 0.2 0.4
K_v	Количество видов механической обработки	≤ 2 > 2	0 0.1

Коэффициент K_k (коэффициент количества поверхностей) зависит от количества поверхностей на исходной заготовке, с которых удаляется стружка при изготовлении детали. Комбинированные поверхности, образуемые за один рабочий ход одним инструментом, могут быть учтены в качестве одной поверхности.

Составляется таблица, содержащая следующие графы: номер поверхности, характерный размер, точность, шероховатость, виды механической обработки при получении данной детали, наличие и количество сложно

выполнимых требований по точности формы и взаимного расположения для данной поверхности. И примечание, в котором указывается, является ли данная поверхность унифицированной или нет.

Коэффициент K_p (коэффициент расположения поверхностей) учитывает общее количество заданных на чертеже детали исходных данных по обеспечению требуемых точности формы и взаимного расположения поверхностей (отклонений от параллельности, отклонений от перпендикулярности, отклонений от плоскостности и т.д.) в пределах 0.05 мм.

Коэффициент K_v (коэффициент видов обработки) учитывает количество различных видов обработки резанием (технологических операторов) - таких, например, как: точение, сверление, шлифование, строгание, фрезерование и т. д. - применяемых при изготовлении детали.

Коэффициент K_s учитывает соответствие размера, точности и шероховатости поверхностей деталей, обрабатываемых по 10-му качеству и точнее, некоторым оптимальным величинам, под которыми подразумеваются рекомендуемые в качестве экономичности и конструктивно обоснованных.

Величина A , входящая в выражение (4), для этого коэффициента определяется по формуле:

$$A = 0.1 \sum_{j=1}^N m_j \quad (5)$$

где: N - общее количество поверхностей детали, обрабатываемых резанием не грубее 10-го качества

m_j - количество зон, на которое параметр Ra для j -ой поверхности отстоит оптимального сочетания на диаграмме, показанной в табл. 5.

Таблица 5.

Оптимальные соотношения параметров поверхности

Квалитет	Поля допусков		Параметры шероховатости Ra для поверхностей с номинальными размерами, мм						
			До 18	18-30	30-50	50-80	80-120	120-180	180-250
6	h6	H6	$Ra=0.8$ мкм	$Ra=1.6$ мкм					
7	f7	H7 Js7 K7 N7 P7							
			Зона 5	Зона 4					

3. Если параметры поверхности не попадают в одну из выделенных клеток, то такая поверхность должна быть учтена как нестандартный (неунифицированный) элемент на соответствующей стадии расчета (см. п.4).

4. Если полученное значение $K_{пов} < 0.5$, то рассматриваемая деталь считается прецизионной (см. табл. 2).

В качестве значения $K_{пов}$ принимается наименьшее из полученных для всех поверхностей.

2.4. Показатель унификации конструктивных элементов $K_{уэ}$

Показатель унификации конструктивных элементов определяется по следующей формуле:

$$K_{уэ} = \frac{N_{уэ}}{N_{э}} - 0.1n \quad (6)$$

где: $N_{э}$ - общее количество конструктивных элементов в детали, шт;
 $N_{уэ}$ - количество унифицированных конструктивных элементов детали, шт;
 n - количество нетехнологичных элементов детали, шт;

Для расчета этого показателя необходимо конструкцию детали представить в виде совокупности элементарных конструктивных элементов (плоскость, цилиндр, отверстие и др.)

Комбинированные конструктивные элементы, которые могут быть сформированы одним режущим инструментом, за один рабочий ход, могут быть приняты за один элемент.

К унифицированным элементам относятся такие элементы, которые изготавливаются стандартным режущим инструментом и не требуют применения специальной оснастки (оправок, планшайб, кондукторов и др.). Для такого классифицирования должен быть выбран инструмент и технологическая оснастка, применяемые в предполагаемом технологическом процессе изготовления детали.

Размеры стандартного инструмента определяются стандартами на конкретные виды инструмента и размерными рядами нормальных чисел, регламентирующих размеры всех видов инструментов (табл. 7). [9]

Таблица 7.

Некоторые стандартные величины

Ряды нормальных чисел	
Основной ряд:	1.0, 1.6, 2.5, 4.0, 6.3, 10.0, 16.0, 25.0, 40.0, 63.0, 100, 160, 250, 400, 630.
Дополнительный ряд:	1.25, 2.00, 3.15, 5.00, 8.00, 12.5, 20.0, 31.5, 50.0, 80.0, 125, 200, 315, 500, 800
Стандартный ряд размеров свёрл СТ СЭР 235 (1-1935)	

0.25, 0.28, 0.30, 0.38, 0.40, 0.42, 0.45, 0.48, 0.50, 0.52, 0.55, 0.58, 0.60, 0.62, 0.65, 0.68, 0.70, 0.72, 0.75, 0.78, 0.80, 0.85, 0.88, 0.90, 0.92, 0.98, 1.00	
далее с шагом	0.05 до 3.00 (1.05, 1.10, 1.15 и т.д.)
далее с шагом	0.10 до 14.00 (3.1, 3.2, 3.3 и т.д.)
далее с шагом	0.25 до 32.00 (14.25, 14.50, 14.75 и т.д.)
далее с шагом	0.50 до 51.00 (32.50, 33.00, 33.50 и т.д.)
далее с шагом	1.00 до 80.00 (52.00, 53.00, 54.00 и т.д.)
Стандартный ряд размеров наружных диаметров фрез СТ СЭВ 1-75	
Основной ряд:	- до 3.0, 6.0, 12.0, 32.0
Дополнительный ряд:	- до 2.2, 3.5, 5.5, 7.0, 11.0, 22.0, 36.0

На следующем этапе из общего числа конструктивных элементов должны быть выделены нетехнологичные элементы, то есть такие элементы, изготовление которых, из общих соображений, вызывает дополнительные технологические проблемы. Нетехнологичные элементы могут быть унифицированными и неунифицированными.

2.5. Показатель использования материала. *К_{им}* [9]

Технолог выбирает тот сортамент заготовки (см. *табл. 8*), который максимально приближен к охватываемому размеру детали (толщина плоско- параллельной детали или наибольший диаметр детали в виде тела вращения). Размеры заготовки должны быть больше размеров детали с учетом максимального припуска на обработку.

Если в качестве заготовок при обработке резанием применяют отливки, штампованные заготовки, заготовки, получаемые методом порошковой металлургии и т.д., то показатель использования материала повышается.

Если размеры поверхностей малы, то габариты заготовки увеличивают для закрепления заготовки в зажимном приспособлении, если при выбранном технологическом процессе эту часть заготовки невозможно обработать.

Показатель использования материала определяется соотношением:

$$K_{им} = \frac{V_{д}}{V_{з}} \quad (7)$$

где: $V_{з}$ и $V_{д}$ объём заготовки и обработанной детали (без покрытий), рассчитываемые по формулам стереометрии.

Возможные размеры заготовок

Диаметры прутков, мм:
5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5, 9.0, 9.5, 10.0, 11.0, 12.0, 13.0, 14.0, 15.0, 16.0, 17.0, 18.0, 19.0, 20.0, 21.0, 22.0, 24.0, 25.0, 27.0, 28.0, 30.0, 35.0, 36.0, 38.0, 40.0, 42.0, 44.0, 45.0, 48.0, 50.0, 52.0, 53.0, 54.0, 55.0, 56.0, 58.0, 60.0, 62.0, 63.0, 65.0, 68.0, 70.0, 72.0, 75.0, 78.0, 80.0, 82.0, 85.0, 90.0, 95.0, 100.0, 105.0, 110.0, 115.0, 120.0, 125.0, 130.0, 135.0 от 160 до 200 через 10 мм. от 210 до 250 через 10 мм.
Толщины листов и полос, мм.:
4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 10.0, 11.0, 12.0, 13.0, 14.0, 15.0, 16.0, 17.0, 18.0, 19.0, 20.0, 21.0, 22.0, 25.0, 28.0, 32.0, 36.0, 40.0, 45.0, 50.0, 56.0, 60.0

2.6. Пример расчета комплексного показателя технологичности

Последовательность и содержание расчета комплексного показателя технологичности KT поясним на основе рассмотрения показанной на рис. 3 детали “маховик”, изготавливаемой из стали 40. Комплексный показатель технологичности KT определяется по формуле (1), причем значения весовых коэффициентов приведены в табл. 1. Следовательно, задача сводится к определению входящих в формулу (1) частных показателей технологичности K_i .

27.	-“-	-“-	-“-	36	точение	-“-	
-----	-----	-----	-----	----	---------	-----	--

2.6.2. Показатель сложности конструкции детали $K_{сл}$

Для определения этого показателя по формулам (4) и (5) необходимо заполнить таблицу конструктивных параметров детали (табл. 9). Составление таблицы следует начать с нумерации всех поверхностей детали, как это показано на рис. 4. Номера поверхностей детали составляют первую графу табл. П. 2.

Далее в табл. 9 приводятся сведения о форме и характерных размерах каждой поверхности, способе её получения (вид обработки резанием), требуемой шероховатости и требуемом качестве обработки. Кроме того, для каждой поверхности указывается наличие требований по точностям формы и взаимного расположения (дополнительные требования), а также (в примечаниях) её технологичность и не унифицированность.

Расчет по формуле (3) показателя сложности конструкции детали $K_{сл}$ сводится к определению входящих в формулу (4) уточнений A_i . Уточнение A_i определяется по табл. 4 в зависимости от количества поверхностей детали, подвергаемых обработке резанием.

Для рассматриваемого случая следует отметить, что поверхности №7, №8 и №9 образуются одновременно одним инструментом - канавочным резцом, поверхности №11, №12 и №13 образуются одновременно одним долбежным резцом, поверхности №18, №19, №20 №25, №26 - одновременно одной концевой фрезой, поверхности №21 и №22 - одновременно одним сверлом.

Получаем $A_K = 0$. Поскольку здесь за одну поверхность принимается каждая указанная совокупность поверхностей, обрабатываемая резанием, то видно, что количество поверхностей, обрабатываемых таким образом, есть число, меньшее 20.

$A_P = 0.2$ т.к. к нашей детали предъявлено два требования по точности расположения поверхностей в пределах до 0.05 мм. Это требования по соосности пов. (№18, №19, №20) и (№11, №12, №13) (группа учитывается как одна поверхность, т.к. их обработка происходит за один рабочий ход инструмента соответственно) с поверхностью №9.

$A_B = 0.1$ т.к. для получения данной детали необходимы: точение, фрезерование, сверление, шлифование - четыре вида обработки резанием

Уточнение A_i , входящее в коэффициент K_c , определяется по формуле (5), причем общее количество обрабатываемых резанием точнее 10-ого качества поверхностей составляет $N = 27$.

$m_1 = 0$ - Поле допуска поверхности №1 принадлежит 9-ому качеству точности, и номинальный размер поверхности лежит в интервале от 30 до 50 мм. Следовательно, оптимальная зона из табл. 5 для этой поверхности - зона 3. К пов. №1 предъявлено требование по шероховатости: $Ra = 2.5 \text{ мкм}$.

Следовательно, по параметру шероховатости эта поверхность должна попасть в зону 3. В результате имеем, что пов. № 5 отстоит от оптимальной зоны на одну зону. Поэтому $m_{5и}$ равен 1.

Аналогичные рассуждения для пов. № 6, № 7, № 8, № 9, № 10, № 16, № 21, № 22, № 24, № 25, № 26. Поскольку поверхности 7, 8, 9, а также 25, 26 считаются за одну, то на одну зону от оптимальной отстоят всего 9 поверхностей.

Для пов. № № 11,12,13 рассуждения аналогичные рассуждениям для пов. № 1, только их номинальный размер лежит в интервале св. 18 до 30 мм. Для них также m_{11} равен 0.

Итак:

$$A_C = 0.1 \cdot (0 \cdot 12 + 1 \cdot 9 + 0 \cdot 3) = 0.9$$

В формулу (5) для K_C нужно подставить $A_C = 0.9$

Имеем:

$$K_K = 1.0 - A_K = 1.0 - 0.0 = 1.0 ;$$

$$K_O = 1.0 - A_P = 1.0 - 0.2 = 0.8 ;$$

$$K_B = 1.0 - A_B = 1.0 - 0.1 = 0.9 ;$$

$$K_C = 1.0 - A_C = 1.0 - 0.9 = 0.1 ;$$

Тогда:

$$K_{сл} = 0.25 \cdot (K_K + K_O + K_B + K_C) = 0.25 \cdot (1.0 + 0.8 + 0.9 + 0.1) = 0.7$$

2.6.3. Показатель точности и шероховатости поверхностей детали $K_{пов}$

Для определения этого коэффициента воспользуемся табл. 6. пов. № 6, № 7, № 8, № 9, № 10, № 16, № 21, № 22, № 24, № 25, № 26 в табл. 5. по номинальному размеру и качеству попадают в зону 4, а их заданная шероховатость: $Ra=2.5$ мкм. Поэтому в табл.5 они попадут в зачеркнутую клетку. Следовательно, такое сочетание параметров является ошибочным. Должно быть рекомендовано изменение шероховатости с $Ra= 2.5$ мкм на $Ra= 1.25$ мкм для внесения на чертеж детали.

Все остальные поверхности попадают в зону 3 и их $Ra= 2.5$ мкм. В табл. 6 они попадают в заштрихованную клетку. Поэтому $K_{пов}= 0.8$.

2.6.4. Показатель унификации конструктивных элементов $K_{уэ}$

При расчете показателя $K_{пов}$ ни одна поверхность не попадала в диапазон, не учитываемый в табл. 5. Следовательно, определение того, является ли поверхность унифицированной или нет, теперь заключается в рассмотрении вопроса, какими инструментами обрабатывается наша деталь. Все поверхности данной детали обрабатываются стандартными режущими инструментами (см. приложение 1), за исключением поверхностей № 11, № 12, № 13, № 18, № 19, № 20, которые получают с помощью специального долбежного резца, который изготавливают специально для этой детали.

Поэтому пов. № II, № 12, № 13, № 18, № 19, № 20 являются неунифицированными. Полученные выводы заносим в графу «Примечания» таблицы, составленной на первом этапе расчетов. Имеем:

$N_{\text{э}} = 27 \text{ шт.}$ - общее количество конструктивных элементов в детали.

$N_{\text{уэ}} = 21 \text{ шт.}$ - количество унифицированных конструктивных элементов в детали.

$n = 2 \text{ шт.}$ - количество нетехнологичных элементов в детали, обоснование не технологичности которых дается после таблицы, составленной на первом этапе расчетов.

Воспользуемся формулой (6):

$$K_{\text{уэ}} = \frac{N_{\text{уэ}}}{N_{\text{э}}} - 0.1n$$

Таким образом: $K_{\text{уэ}} = 0.58$

2.6.5. Показатель использования материала $K_{\text{им}}$

Заготовкой для данной детали служит прутки диаметром 45 мм и длиной 42 мм.

Из рабочего чертежа детали имеем, что масса получаемой детали: $M_{\text{д}} = 200 \text{ г}$
Тогда объем детали равен

$$V_{\text{д}} = \frac{M_{\text{д}}}{\rho},$$

где $\rho = 7.8 \text{ г/см}^3$ - плотность материала

Объем заготовки рассчитаем по формуле:

$$V_{\text{з}} = (\pi D^2 / 4) L$$

где: D - диаметр прутка ($D = 4.5 \text{ см}$); L - длина прутка ($L = 4.2 \text{ см}$);

Тогда коэффициент использования материала определяется по соотношению (8):

$$K_{\text{им}} = M_{\text{д}} / M_{\text{з}} = \frac{4}{M_{\text{д}} \pi \cdot D^2 \cdot L \cdot \rho} = \frac{200 \cdot 4}{3.14 \cdot 4.5^2 \cdot 4.2 \cdot 7.8} = 0.38$$

Для повышения этого показателя, как правило, рекомендуется выбирать заготовку, получаемую другими способами, например, литьем, штамповкой и др. Однако, в таком случае, стоимость заготовки становится выше, что является экономически эффективным в условиях крупносерийного производства данной детали.

Если при подсчете коэффициента технологичности KT детали, он оказывается меньше $[K]$, то следует выбрать способ получения заготовки, обеспечивающий повышение коэффициента использования материала.

2.6.6. Комплексный показатель технологичности.

На последнем этапе комплексный показатель технологичности детали рассчитывается по формуле (1):

$$K_T = \frac{K_{им} \cdot \varphi_{ом} + K_{сл} \cdot \varphi_{сл} + K_{нов} \cdot \varphi_{нов} + K_{уэ} \cdot \varphi_{уэ} + K_{им} \cdot \varphi_{им}}{\varphi_{ом} + \varphi_{сл} + \varphi_{нов} + \varphi_{уэ} + \varphi_{им}}$$

где φ_i выбирают из табл. 1, тогда:

$$K_T = \frac{0.67 \cdot 0.8 + 0.7 \cdot 0.7 + 0.8 \cdot 0.6 + 0.58 \cdot 0.7 + 0.38 \cdot 1.0}{0.8 + 0.7 + 0.6 + 0.7 + 1.0} = 0.6$$

В результате имеем, что комплексный показатель технологичности детали меньше нормативного значения показателя технологичности, который для данной детали $[K]= 0.75$ (непрецизионная деталь в табл. 2). Для повышения технологичности рекомендуется повысить коэффициенты использования материала и его обрабатываемости за счет применения в качестве материала детали деформируемого алюминиевого сплава, а заготовку получать, к примеру, способами объемной штамповки.

2.6.7. Учет способа получения заготовки.

Если заготовка получена методами литья, штамповки, прессования, изготовления из порошковых материалов, то комплексный показатель технологичности детали K_T рассчитывается следующим образом:

$$K_T = \frac{K_{заг} + K_{рез}}{2} \quad (8)$$

где $K_{заг}$ - комплексный показатель технологичности заготовки, рассчитываемый по методикам, относящимся к соответствующим видам производства.

$K_{рез}$ - комплексный показатель технологичности обработки заготовки резанием, определяемый по формуле (1)

ЛИТЕРАТУРА

1. Вейцман Э.В., Венбрин В.Д. Технологическая подготовка производства радиоэлектронной аппаратуры. -М.: Радио и связь. 1989. - 128 с.
2. Методика обработки конструкций на технологичность и оценки уровня технологичности изделий машиностроения и приборостроения. -М.:Изд-во стандартов. 1975. - 56 с.
3. Технологичность конструкции изделия: Справочник/ Ю.Д. Амиров, Т.К. Алферова, П.Н. Волков и др. Под общ. ред. Ю.Д.Амирова.- М.: Машиностроение. 1990. - 768 с.
4. ОСТ 4Г 0.091.37-84. Отраслевая система обеспечения

технологичности изделий(ОСОТИ). Детали, получаемые методом резания. Номенклатура и нормативные значения показателей технологичности.

5. РТД 253-87. Руководящий документ по технологии. Правила обеспечения технологичности конструкций и изделий. Основные положения. ВИНТИ - Прибор.
6. Краткий справочник металлиста. М.: Машиностроение. 1986.
7. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: Справочник. Я.Л.Гуревич, М.В. Горохов, В.И. Захаров и др. -М.: Машиностроение. 1986. - 240 с.
8. Штучный Б. П. Механическая обработка пластмасс: Справочник. -М.:Машиностроение.1987. - 152 с.
9. Сагателян Г. Р., Н. Р. Руденко, Назаров Н. Г. Анализ технологичности конструкций деталей приборов, изготавливаемых методами обработки материалов резанием. - М.: МГТУ. 1995. -32с.