

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»



Н. Н. Попок
В. И. Абрамов
Р. С. Хмельницкий

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Методические указания

к курсовому (по дисциплине «Технология машиностроения»)
и дипломному проектированию для студентов специальности
1-36 01 01 «Технология машиностроения»

Новополоцк
2017

УДК 621.9(075.8)
ББК 34.5я73

Одобрено и рекомендовано к изданию методической комиссией факультета машиностроения и автомобильного транспорта в качестве методических указаний (выписка из протокола № 12 от 20.12.2016)

Кафедра «Технология и оборудование машиностроительного производства»

Рецензенты:

канд. техн. наук, проф. А. И. ГОЛЕМБИЕВСКИЙ;
канд. техн. наук, доц. А. М. ДОЛГИХ

© Попок Н. Н., Абрамов В. И., Хмельницкий Р. С., 2017
© Полоцкий государственный университет, 2017

1 ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ И ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

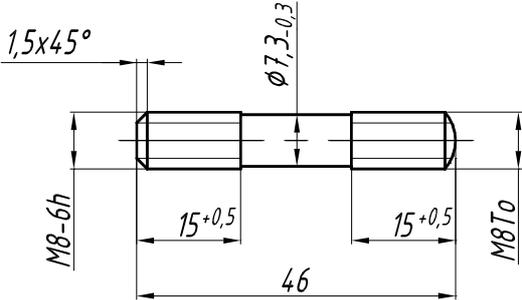
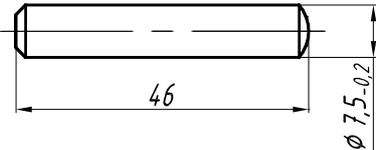
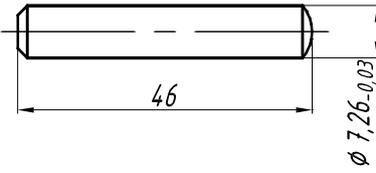
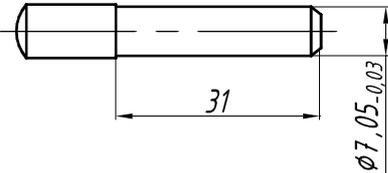
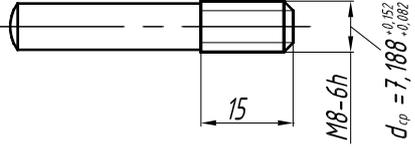
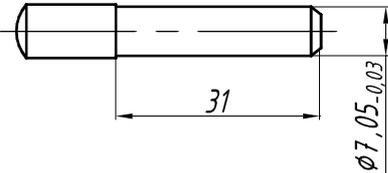
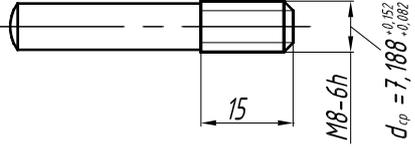
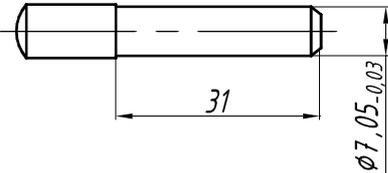
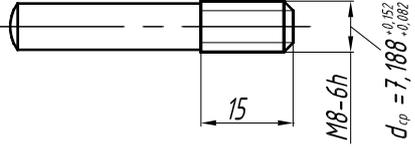
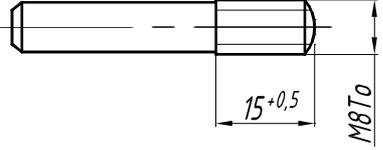
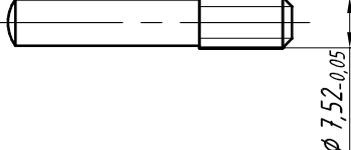
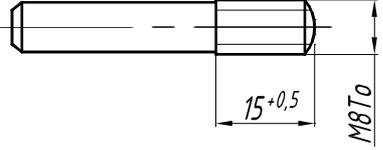
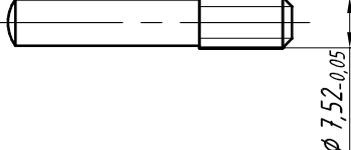
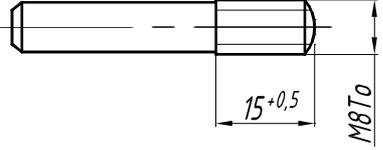
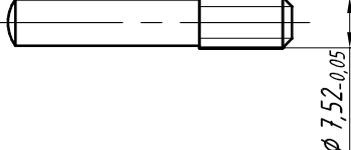
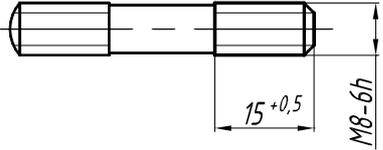
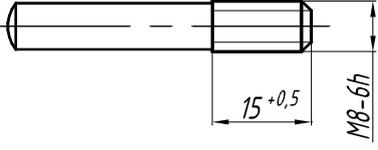
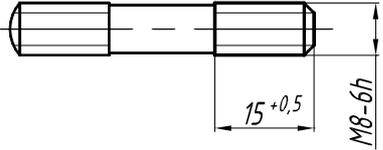
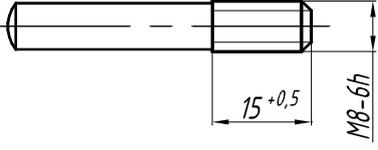
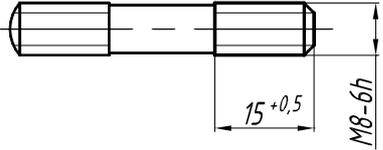
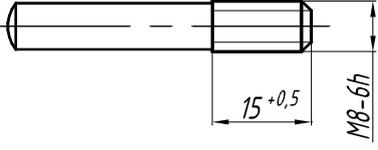
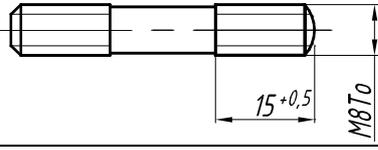
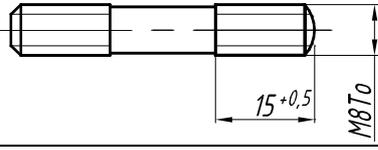
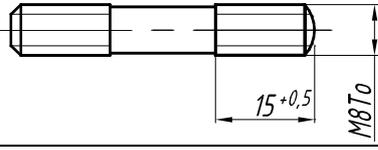
Технологическое проектирование представляет собой комплекс проектно-расчетных работ, в который входит проектирование собственно технологического процесса, приспособлений, режущего, измерительного и вспомогательного инструментов, иногда нестандартного оборудования, различных стендов и т.д. При проектировании технологических процессов изготовления деталей ставятся как общие, так и частные задачи. Общей задачей является создание оптимального технологического процесса по одному из критериев, чаще всего экономическому.

Но ни один из вариантов технологического процесса не может быть признан абсолютно оптимальным, так как всегда существует некоторая вероятность его совершенствования по принятому критерию оптимальности. Опытным проектировщикам удается за счет творческих решений видоизменить рассматриваемый вариант технологического процесса в сторону его улучшения. При этом решения могут не иметь аналогов в данном производстве или вообще в технологии производства подобных деталей. Определить возможность совершенствования данного процесса непросто, так как она зависит не только от вида детали и процесса, но главным образом и от индивидуальных способностей и квалификации проектировщика. Проиллюстрировать сказанное можно таким примером.

На одном из предприятий длительное время изготавливали крепежные шпильки (табл. 1). Особенностью детали являлось то, что на концах шпильки накатывали резьбы с разными средними диаметрами, допусками и предельными отклонениями. Как известно, размер стержня под резьбонакатывание должен быть примерно равен среднему диаметру резьбы, что вынуждало выполнять деталь с уступом. Это исключало возможность применения производительного метода шлифования с осевой подачей напроход. В технологическом процессе осуществлялось бесцентровое шлифование с радиальной подачей (табл. 1, вариант I, операция 30). Несмотря на то, что станок был снабжен автоматическим загрузочным устройством, производительность операции все равно была невысокой по сравнению с бесцентровым шлифованием напроход.

По заданной предприятию программе на участке, в соответствии с технологическим процессом (табл. 1, вариант I), использовалось 7 станков: 1 прутковый автомат, 5 бесцентрово-шлифовальных и 1 резьбонакатной. На операции 30 обработка уступа выполнялась на четырех станках. Надежность этой операции была невысокой. Часто возникал брак по размеру $\varnothing 7,05_{-0,03}$.

Таблица 1 – Варианты технологического процесса обработки шпильки

<p style="text-align: center;">Эскиз шпильки</p> 			
Номер операции	Вариант		
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">I</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">II</td> </tr> </table>	I	II
I	II		
10	<p style="text-align: center;">Автоматная (обтачивание фасок)</p> 		
20	<p style="text-align: center;">Бесцентрово-шлифовальная с осевой подачей</p> 		
30	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p>Бесцентрово-шлифовальная с радиальной подачей</p>  </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p>Предварительное накатывание резьбы</p>  </td> </tr> </table>	<p>Бесцентрово-шлифовальная с радиальной подачей</p> 	<p>Предварительное накатывание резьбы</p> 
<p>Бесцентрово-шлифовальная с радиальной подачей</p> 	<p>Предварительное накатывание резьбы</p> 		
40	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p>Накатывание резьбы</p>  </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p>Бесцентрово-шлифовальная с осевой подачей</p>  </td> </tr> </table>	<p>Накатывание резьбы</p> 	<p>Бесцентрово-шлифовальная с осевой подачей</p> 
<p>Накатывание резьбы</p> 	<p>Бесцентрово-шлифовальная с осевой подачей</p> 		
50	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p>Накатывание резьбы</p>  </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p>Накатывание резьбы</p>  </td> </tr> </table>	<p>Накатывание резьбы</p> 	<p>Накатывание резьбы</p> 
<p>Накатывание резьбы</p> 	<p>Накатывание резьбы</p> 		
60	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p>Накатывание резьбы</p>  </td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> </table>	<p>Накатывание резьбы</p> 	
<p>Накатывание резьбы</p> 			

Впоследствии технологи-проектировщики предложили оригинальный вариант технологического процесса, состоящий не из пяти, а из шести операций (табл. 1, вариант II). По этому варианту бесцентрово-шлифовальные операции с радиальной подачей были устранены. У деталей после предварительного бесцентрового шлифования напроход на одном конце предварительно накатывали неглубокую резьбу. После этого деталь повторно шлифовали напроход, в результате чего вершины выдавленного профиля сошлифовывались. За счет того, что объемы металла, подлежащего выдавливанию при окончательном резьбонакатывании, оказывались различными, на концах шпильки получали резьбы с различными параметрами. При этом варианте технологического процесса требуемое число станков снизилось с семи до пяти, трудоемкость изготовления детали уменьшилась с 1,2 до 0,7 минуты, надежность процесса значительно увеличилась, наладка оборудования упростилась.

Как видно из этого примера, второй вариант технологического процесса изготовления крепежной шпильки оказывается более рациональным как по экономичности, так и по надежности. Поверхностное сравнение вариантов приводит к мысли о том, что второй вариант несколько хуже, чем первый, так как требует выполнения шести операций вместо пяти. Чтобы прийти к заключению о том, что второй вариант ближе к оптимальному, необходимо сравнить их по экономичности. При этом могут быть предложены другие варианты, которые по экономичности превзойдут второй. Следовательно, главной задачей при проектировании технологических процессов является создание оптимального технологического процесса, однако чаще всего она сводится к локальной оптимизации, а не общей.

2 ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Все виды проектно-расчетных работ по проектированию технологических процессов условно могут быть разделены на 7 этапов. Эти этапы отличаются как по содержанию, так и по способам выполнения. Содержание каждого этапа проектирования зависит от того, для какого вида производства проектируется данный технологический процесс (массового, серийного или единичного). Для массового и серийного производств степень проработки всех логических и расчетных элементов более детализирована, для единичного – укрупнена. Но не следует думать, что технологический процесс для единичного производства проще, это имеет место только в случае изготовления типовых и простых деталей.

Проектирование технологических процессов изготовления деталей средней и значительной сложности при единичном производстве столь же трудоемко, как для серийного или массового.

Удобнее всего этапы проектирования продемонстрировать на структурной схеме, с помощью которой возможен показ как последовательности выполнения этапов, так и всех взаимосвязей действий по этапам (рис. 1), где приняты следующие обозначения:

- 1 – чертеж машины или узла;
- 2 – габаритные размеры и масса;
- 3 – конструктивные формы детали;
- 4 – допуски размеров;
- 5 – допустимые пространственные отклонения;
- 6 – шероховатость поверхностей;
- 7 – материал и твердость детали;
- 8 – виды насыщения поверхностей;
- 9 – наличие покрытий (химическое, гальваническое);
- 10 – качество поверхностных слоев (внутренние напряжения и т.п.);
- 11 – способ получения заготовки;
- 12 – степень соответствия конфигурации заготовки детали;
- 13 – наличие приливов, прибылей, заусенцев;
- 14 – штамповочные и литейные уклоны и радиусы;
- 15 – поверхностные дефекты и их величина;
- 16 – допуски на размеры заготовки;
- 17 – допустимые пространственные отклонения;
- 18 – твердость заготовки;
- 19 – качество поверхностного слоя (корка, отбел и т.д.);
- 20 – программа выпуска изделий;
- 21 – срок ввода объекта в производство;

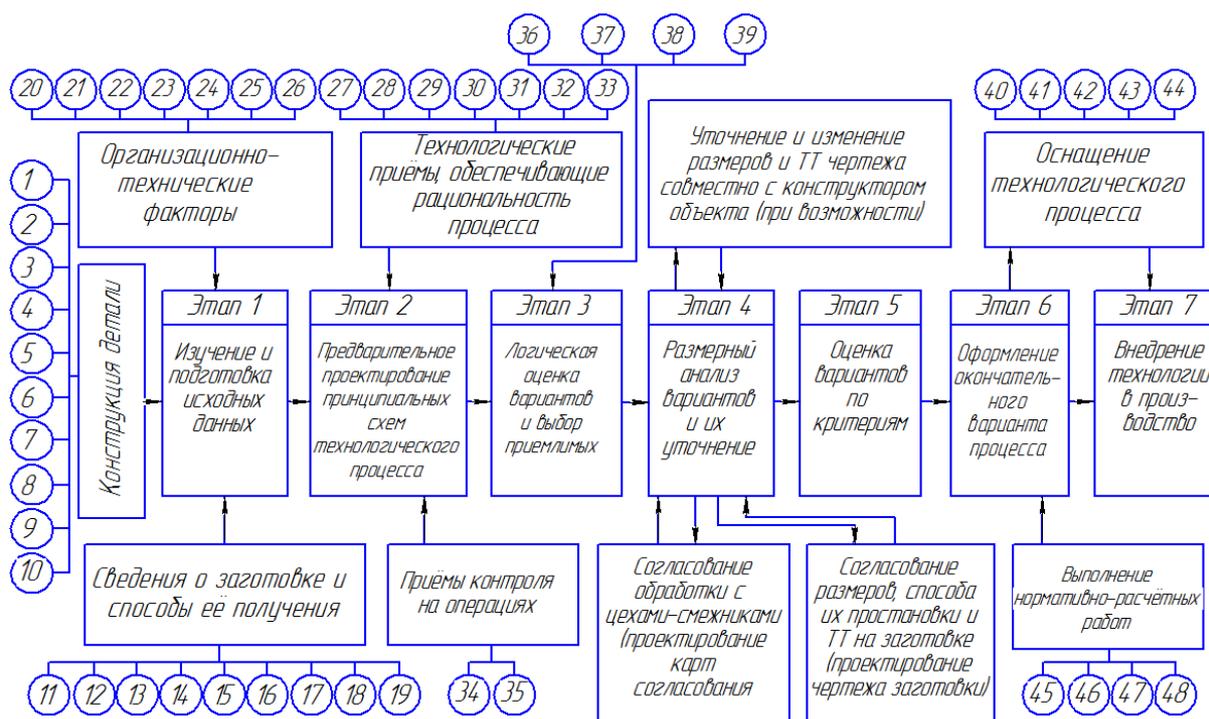


Рисунок 1. – Структурная схема этапов проектирования технологических процессов

- 22 – возможность заказов спецоборудования;
- 23 – возможность заказа спецоснастки и инструмента;
- 24 – наличный парк оборудования;
- 25 – возможность технологической кооперации;
- 26 – прочие директивные факторы;
- 27 – рациональная последовательность операций;
- 28 – оптимальное количество обработок поверхностей;
- 29 – рациональное расположение термических операций;
- 30 – совмещение обработки разных поверхностей;
- 31 – кратность операционных циклов;
- 32 – рациональное базирование заготовок на операциях;
- 33 – обоснованные допуски и точностные требования на операциях;
- 34 – способ организации контроля;
- 35 – типы контрольных средств;
- 36 – возможность практического осуществления;
- 37 – удобство размещения оборудования для многостаночного обслуживания;
- 38 – наличие опыта выполнения подобных операций;
- 39 – выдерживание заданных сроков подготовки производства;
- 40 – заказ спецоборудования;

- 41 – заказ спецодежды;
- 42 – заказ специального режущего инструмента;
- 43 – заказ специального измерительного инструмента;
- 44 – заказ нормального режущего, измерительного и вспомогательного инструмента;
- 45 – режимы резания и нормы времени;
- 46 – нормы расхода материалов;
- 47 – графики загрузки оборудования и т.д.;
- 48 – нормализованный контроль технологического процесса.

На этапе 1 ведется подготовка и изучение исходных данных. Наиболее сложной является подготовка исходных данных, касающихся чертежа готовой детали. Грамотно оформленный чертеж детали должен иметь исчерпывающую информацию о геометрических и точностных параметрах детали, о свойствах и характеристиках материала, о качестве поверхностных слоев и т.д. Суть рассматриваемого круга вопросов на данном этапе сводится к анализу конструкции детали на соответствие ее служебному назначению и анализу конструкции детали на технологичность.

Этап 2 – предварительное проектирование принципиальных схем технологического процесса предусматривает разработку общего маршрута (чаще нескольких маршрутов) с предварительным оформлением эскизов операций, которые выполняются не в операционных картах, а на больших листах, чтобы удобнее было оценить процесс в целом. Многообразие способов обработки, станков и средств технологического оснащения приводит к тому, что при проектировании принципиальной схемы технологического процесса изготовления детали почти всегда может быть предложено несколько вариантов как всего маршрута обработки, так и отдельных операций. При проектировании технологическому всегда приходится сталкиваться с необходимостью выполнения основных точностных характеристик детали, к которым относятся точность размеров отдельных поверхностей или расстояний между поверхностями, формы и относительного положения поверхностей и других конструктивных элементов, волнистость и шероховатость поверхностей, качество поверхностного слоя и др.

Деталь на любой стадии ее изготовления претерпевает изменения всех или некоторых точностных характеристик, и они становятся иными по сравнению с теми, что имелись до выполнения данной операции. Точностные характеристики детали изменяются даже во времени, если деталь и не обрабатывают, например, из-за релаксации напряжений, перестройки кристаллической структуры. Эти явления учитываются при изготовлении сверхпрочных деталей.

При выполнении многих технологических операций улучшение одних характеристик может сопровождаться ухудшением других. Операции термической и гальванической обработки, обеспечивая улучшение свойств материала детали или ее поверхностных слоев, приводят одновременно к ухудшению точностных характеристик по размерам, форме и взаимному расположению за счет коробления, угаров, пескоочистки, распределения напряжений и т.д.

В связи с указанными обстоятельствами при промышленном проектировании не удается строго следовать принципам, предписывающим обязательное последовательное приближение размеров, шероховатостей и технических требований к готовой детали при последовательном выполнении операций. В большинстве случаев организовать проектирование технологических процессов и по типовому принципу не получается, так как большинство деталей имеют характеристики, не совпадающие с характеристиками типовой детали.

Использование типовых процессов в качестве прототипа можно считать целесообразным при разработке технологического процесса изготовления детали, предназначенного к внедрению в серийном производстве и ориентированного на преимущественное применение универсального и специализированного оборудования. В отношении массового и крупносерийного производства процессы прорабатываются более глубоко и тщательно, так как качество проектирования значительно влияет на экономические показатели производства. Здесь ставится задача проектирования технологических процессов, ориентированных на преимущественное использование специализированного, специального оборудования и средств технологического оснащения. Глубину и качество проработки технологического процесса, предназначенного к применению в условиях серийного и массового производства, в значительной мере определяют годовая программа выпуска, величина серий изделий и их соотношения.

При разработке процессов на оригинальные детали в массовом и серийном производстве представляется целесообразным, чтобы технолог располагал многовариантными таблицами технологических маршрутов обработки типовых поверхностей деталей, к числу которых в первую очередь относятся плоские, наружные и внутренние поверхности вращения (табл. 2–4). В каждой клетке таблиц дан набор разных маршрутов, причем любая клетка соответствует определенному качеству. Стрелки указывают, что данный набор маршрутов может быть смещен в колонки других качеств.

Таблица 2 – Примерные маршруты обработки наружных цилиндрических поверхностей

Последовательность операций при обработке до качества						Шерохова- тость, мкм
JT14-JT12	JT11-JT10	JT9-JT7	JT6	JT5	JT4-JT3	
1,2,3 O 4 O ,ТО 1 Ш 4 ТО, Ш						Rz 80÷20
←	1,2,3 Op , Oч 1,2 O , Ш 4 Op , Oч ,ТО 4 Op ,ТО, Ш					Rz 80÷ Ra 2,5
←		1,2,3 Op , Oч , Oт 1,2 O , Ш 1 Шп , Шч 4 O ,ТО, Ш 4 Шп ,ТО, Ш				Ra 1,25÷0,63
←		3 Op , Oч ,ПО 3 O ,ПО п ,ПО ч 3 O , Oч , Oт	1,2,3 Op , Oч , Oт ,ПО 1 O , Шп , Шт , ПО 1 O , Ш ,С 4 O , Шп ,ТО, Шт 4 O , Шп ,ТО, Шт ,С 4 O ,ТО, Шч ,С	4 Op , Oч ,ТО, Шч ,С 4 O , Шп ,ТО, Шч , Шт ,С 4 O , Шп ,ТО, Шч ,Д 3 O , Oч , Oт		Ra 0,32÷0,16
		3 Op , Oч , ПО п ,ПО ч 3 Op , Oч , Oт , ПО ч ,ПО т 4 Op ,ТО т , Шп , Шт ,ПО	←	1 Op , Oч , Шп , Шч ,С п ,С ч 4 Op , Oч ,ТО, Шч ,С ч 4 Op , Oч ,ТО, Шч , Шт ,Д 4 Op , Oч ,ТО, Шч ,Д п ,Д ч 4 Ш ,ТО, Ш , С п ,С ч		Ra 0,08÷0,04
			←		4 Op , Oч ,ТО, Шч , Шт ,Д п , Д ч ,Д т , 4 Ш ,ТО, Шп , Шт ,Д п ,Д ч ,Д т	Rz 0,1÷0,025

Обозначения: O – обтачивание, Ш – шлифование, С – суперфиниширование, ПО – полирование, Д – доводка, ТО – термическая обработка, п – предварительное, ч – чистовое, т – тонкое, 1 – незакаленные стали, 2 – чугуны, 3 – цветные металлы и сплавы, 4 – закаленные стали.

Примечание. Жирным шрифтом и заливкой выделены операции, формирующие погрешности расположения поверхностей.

Таблица 3 – Примерные маршруты обработки внутренних цилиндрических поверхностей

Последовательность операций при обработке до качества						Шероховатость, мкм
JT14-JT12	JT11-JT10	JT9-JT7	JT6	JT5	JT4-JT3	
1	2	3	4	5	6	7
1,2,3 C 1,2,3 З 1,2,3 PT 4 C ,TO 4 З ,TO 4 PT ,TO						Rz 80÷20
←	1,2,3 C , З ,P 1,2,3 C , З , PT 1,2,3 C , PT ,P 4 C , З ,TO, III 4 C , PT ,TO 4 З п, З ч,TO, III					Rz 80÷ Ra 2.5
←		1,2,3 PY ,P 1,2,3 C , З ,Pп, Pч 1,2,3 C ,Pп, PT ч 1,2,3 C , З , AP 1,2,3 C ,П 4 C ,Pп,TO, III 4 Pп,Pч,TO, III 4 C , З ,TO, III 4 PY ,TO,X				Ra 1,25÷0,63
	←		1,2,3 PY ,Pп,Pч 1,2,3 C , З ,Pп,Pч 1,2,3 C , З ,APп, AP ч 1,2,3 PT ,APп, AP ч 1,2,3 C , З ,П 4 PT ,TO, III ,X 4 C , З ,TO, III ,X 4 C , П ,TO,X 4 PY ,P,TO, X	4 PT ,TO, III ,X,Д 4 C , З ,TO, III ,X,Д 4 C , П ,TO,Xп,Xч 4 PY ,TO,X,Д 4 C ,Pп, AP ,TO,X,Д		Ra 0,32÷0,16
			←	2 PY ,X,Дп,Дч 2 З ,P,X,Дп,Дч 4 PY ,P,TO,X, Дп,Дч 4 З ,P,TO,Дп,Дч 4 C ,П,TO,X,Д 4 PT , AP ,TO,Дп,Дч 4 C ,P,TO,Дп,Дч 4 C ,П,TO,X,Д 4 PT , AP ,TO,Дп,Дч 4 C ,P,TO,X,Д	4 PY ,P,TO,X, Дп,Дч,Дг 4 З ,P,TO,Дп,Дч 4 C ,П,TO,X, Дп,Дч 4 PT , AP ,TO, Дп,Дч,Дг 4 C ,P,TO,X, Дч,Дг	Ra 0,08÷0,04

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7
					4РУ,Р,ТО,Х, Дп,Дч,Дт 4СЗ,Р,ТО,Дп, Дч,Дт 4С,П,ТО, Х,Дп,Дч,Дт 4СР,А,Р, ТО,Х,Дч,Дт	Rz 0,1÷0,025

Обозначения: С – сверление (рассверливание), З – зенкерование, РУ – ружейное сверление, Р – развертывание, РТ – растачивание, АР – алмазное растачивание, П – протягивание, Ш – шлифование, Х – хонингование, Д – доводка, ТО – термообработка, п – предварительное, ч – чистовое, т – тонкое, 1 – незакаленные стали, 2 – чугуны, 3 – цветные металлы и сплавы, 4 – закаленные стали.

Примечание. Жирным шрифтом и заливкой выделены операции, формирующие погрешности расположения поверхностей.

Таблица 4 – Примерные маршруты обработки плоских поверхностей

Последовательность операций при обработке до качества						Шерохова- тость, мкм
ЖТ14-ЖТ12	ЖТ11-ЖТ10	ЖТ9-ЖТ7	ЖТ6	ЖТ5	ЖТ4-ЖТ3	
1	2	3	4	5	6	7
1,2,3С 1,2,3Ф 1,2,3О 4С,ТО 4Ф,ТО 4О,ТО						Rz 80÷20
←	1,2,4ТО,Шп 1,2,3Фп,Фч 1,2Ф,Шп 4Ф,ТО,Шп 4С,ТО,Шп 4О,ТО,Шп					Rz 80÷ Ra 2.5
←		1,2,3С,П 1,2,3Ф,П 1,2Ф,Шч 4Ф,ТО,Шч 4О,ТО,Шч 4С,ТО,Шч	1,2Фп,Фч,Шч 3Фп,Фч,ПО 4Фп,Фч,ТО,Шч 4Оп,Оч,ТО,Шч			Ra 1,25÷0,63
←		3Фп,Фч,ПОч 3Оп,Оч,ПОч	1,2,3С,Фт,ШБ 1,2,3Фп,Фт,ШБ 1,2,3Фп,Фч,Шч, ПО 4Фп,Фч,ТО,Шч,Д 4С,Фт,ТО,Шч,Д 4Ф,ТО,Шп,Шч,Д 4О,Шп,ТО,Шч,Д	4С,ТО,Шч, Шт 4Ф,ТО,Шч, Шт,Д 4Ф,Шп,ТО, Шч,Шт,Д 4О,Шп,ТО, Шч,Шт,Д		Ra 0,32÷0,16

Окончание таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7
		3 Фп, Фч , ПОч, ПОг 3 Оп, Оч , ПОч, ПОг	←	1,2 Ф,Шп, Шч, Шт , ПО 4 С,ТО,Шп, Шч, Шт 4 Ф,ТО,Шп, Шч, Шт 4 Ф,ТО,Шп, Шч, Шт , Д 4 О,ТО,Шп, Шч, Шт , Д	4 С,ТО,Шп,Шч, Шт , Дп, Дч 4 Ф,ТО,Шп, Шч, Шт , Дп, Дч 4 О,ТО,Шп, Шч, Шт , Дп, Дч 4 Ф,ТО,Шп, Шч , Дп, Дч	Ra 0,08÷0,04
			←		4 С,ТО,Шп,Шч, Шт , Дп, Дч, Дт 4 Ф,ТО,Шп,Шч, Шт , Дп, Дч, Дт 4 О,ТО,Шп, Шч , Дп, Дч, Дт	Rz 0,1÷0,025

Обозначения: С – строгание, Ф – фрезерование, П – протягивание, О – обтачивание торцев, Ш – шлифование, ШБ – шабрение, ПО – полирование, Д – доводка, ТО – термообработка, п – предварительное, ч – чистовое, т – тонкое, 1 – незакаленные стали, 2 – чугуны, 3 – цветные металлы и сплавы, 4 – закаленные стали.

Примечание. Жирным шрифтом и заливкой выделены операции, формирующие погрешности расположения поверхностей.

Численные значения средних статистических погрешностей механической обработки, точности геометрической формы и расположения поверхностей, а также ряд других сведений, необходимых при разработке технологических процессов, приведены в приложениях А–Г.

Используя таблицы 2–4 и сведения из приложений А–Г, технолог может назначить маршрут обработки для различных поверхностей детали в соответствии с теми точностными требованиями, которые предписаны чертежом. Естественно, что приведенные здесь таблицы не охватывают всего многообразия встречающихся в практике случаев, а дают только представление о возможных маршрутах. В них не учтены многие факторы, разбивка по видам материалов дана укрупненно (материалы разбиты всего на четыре группы). Однако даже в таком виде они могут оказать значительную помощь начинающим проектировщикам.

Представив себе, каким образом может быть обработана каждая из элементарных поверхностей, технолог продумывает и готовит предварительный вариант схемы технологического процесса. При проработке варианта стремятся выполнить требования, из которых отметим главные:

- минимальное число переходов при обработке каждой из поверхностей;

- рациональная последовательность операций обработки резанием и термообработки (закалка, цементация и проч.);
- рациональный выбор черновой базы на первой стадии, баз по всему технологическому процессу;
- совмещение обработок разных поверхностей с учетом возможностей выбираемого универсального и специального оборудования;
- соблюдение допусков и технических требований на каждой операции и т.д.

После построения предварительных вариантов схемы технологического процесса приступают к этапу 3 – логической оценке и выбору наиболее приемлемого варианта. Этот этап труднее всего поддается формализации, так как критерии оценки очень многосторонни и зачастую не могут быть представлены средствами формальной логики.

Наиболее часто логическую оценку вариантов принято вести по таким направлениям:

- оценка целесообразности принятого метода изготовления заготовки;
- оценка надежности обеспечения точности на каждой из операций;
- оценка возможности автоматизации операций и процесса в целом;
- оценка надежности и работоспособности предлагаемых систем ЗИПС по всему технологическому процессу;
- возможность использования стандартного режущего, измерительного инструмента и приспособлений;
- возможность создания и приобретения специальных станков, приспособлений, инструментов и другой технологической оснастки в заданные сроки подготовки производства;
- удобство размещения оборудования на производственных площадях с оценкой возможности автоматизации транспортирования деталей, удаления стружки, многостаночного обслуживания и т.д.;
- комплексная оценка всего маршрута технологического процесса с анализом целесообразности выбранной последовательности механических, термических, гальванических, контрольных и других операций.

Оставшиеся в результате логической оценки варианты подлежат дальнейшей корректировке и доработке. Фактически при этом возникает необходимость возврата ко второму этапу проектирования, но уже на более обоснованной логической базе. Варианты техпроцесса рекомендуется оформлять на листах со всеми подробностями. На каждом операционном

эскизе указывают базы, размерные линии, допуски размеров и технические требования расположения поверхностей, их шероховатость, типы применяемого оборудования.

Этап 4 – размерный анализ технологического процесса. По результатам размерного анализа может быть выяснено, что вариант технологического процесса, полученный в результате выполнения первых трех этапов, может вновь потребовать корректировок с обязательной новой логической оценкой вводимых изменений.

Этап 5 – оценка вариантов по экономическим критериям выполняется в том случае, если после полного размерного анализа остаются два или несколько конкурирующих варианта. Для окончательной углубленной проработки принимается вариант, имеющий наименьшую технологическую себестоимость изготовления детали.

На этапе 6 осуществляют оформление окончательного варианта технологического процесса на специальных технологических картах, чему предшествует обычно выполнение расчетов следующих параметров: режимов резания, норм времени на выполнение операций, норм расхода материалов и т.д.

Принципиально на этом проектные работы, связанные с разработкой процесса, заканчиваются, и технологический процесс после оснащения, которое в свою очередь требует выполнения большого числа проектно-расчетных работ, поступает в производство для внедрения.

3 СТРАТЕГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Под стратегией проектирования будем понимать последовательность действий технолога-проектировщика при разработке технологических процессов. Рациональная последовательность движения по этапам при проектировании технологических процессов абсолютно необходима, так как только в этом случае удастся качественно и с наименьшими затратами труда выполнить весь проектный комплекс.

Стратегии проектирования могут быть подразделены на несколько видов:

1. Линейная стратегия. Проектировщик, выполнив первый этап проектирования и получив тот или иной результат, переходит с учетом полученных данных ко второму этапу, далее к третьему этапу и т.д.

2. Циклическая стратегия. При этом виде стратегии на каком-либо одном или нескольких этапах выясняется, что необходим возврат к предыдущим этапам и повторное их выполнение с учетом дополнительных данных, которые не удалось предусмотреть ранее.

3. Разветвленная стратегия. При такой стратегии могут иметь место параллельные этапы, очень выгодные в том отношении, что позволяют увеличить число людей, одновременно работающих над задачей, и альтернативные этапы, которые позволяют в определенной степени видоизменить стратегию в соответствии с исходом предыдущих этапов.

4. Адаптивная стратегия. Этот вид стратегии отличается тем, что в ней с самого начала определяется только первое действие. В дальнейшем выбор каждого действия зависит от результатов предшествующего действия. В принципе, это самая разумная стратегия, поскольку схема поиска всегда определяется на основе наиболее полной информации. Ее недостаток состоит в невозможности предвидеть и контролировать затраты и сроки выполнения проекта. Попробуем на коротком примере проследить, какой стратегии следует придерживаться при проектировании процесса.

На рисунке 2 представлен вал-шестерня. После изучения исходных данных (этап 1 на рис. 1) видим, что заготовка может быть получена либо штамповкой в разъемных штампах, либо на горизонтально-ковочной машине, либо одним из методов точного литья. Наметим схемы обработки в первых двух операциях (этап 2 на рис. 1).

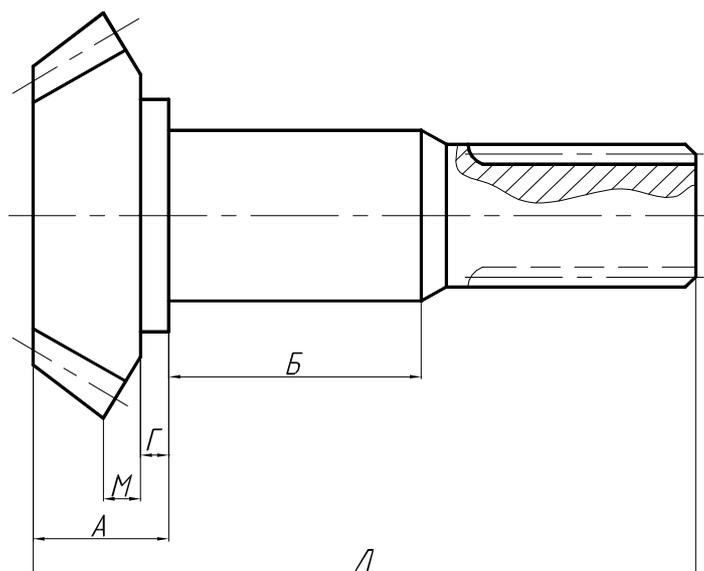


Рисунок 2 – Вал-шестерня

Так как деталь имеет незначительную длину и развитый по диаметру венец, вполне логично предполагать, что она с успехом может быть обработана как на токарно-револьверных, так и на токарных многорезцовых станках с предварительным фрезерованием торцов. Первую операцию обработки резанием можно выполнить разными способами. Возможно обработать хвостовик и торцы, а также центровое отверстие на хвостовике на станке типа токарно-револьверного, зажимая деталь за головку, а можно предварительно обработать головку, торец и центровое отверстие, зажимая заготовку в патроне за хвостовик. Наконец, возможен третий вариант – обработка торцов и центровых отверстий на фрезерно-центровальном станке с дальнейшей обработкой на многорезцовом станке. Каждый вариант начала процесса имеет свои преимущества и недостатки.

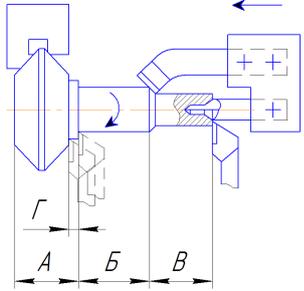
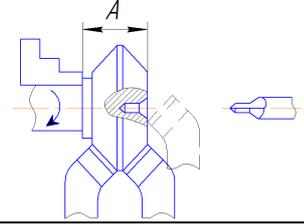
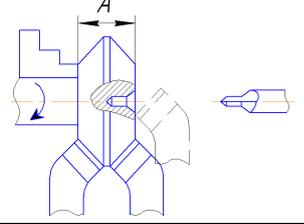
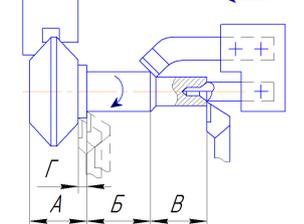
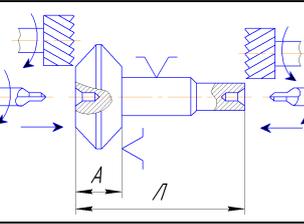
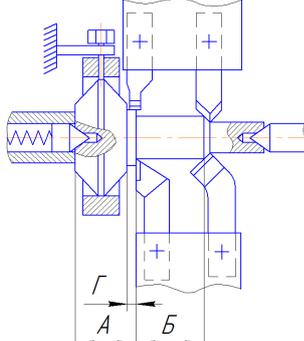
На этапе 3 (см. рис. 1) какой-либо из вариантов может быть отвергнут.

Попытаемся выполнить логическую оценку предложенных вариантов.

В таблице 5 приведено сравнение предлагаемых вариантов обработки вала-шестерни на первых двух операциях. Анализируя и сопоставляя между собой варианты, нелегко отдать предпочтение какому-либо из них.

По большинству показателей лучшим является вариант III (табл. 5), но он уступает первым вариантам по одному очень важному элементу: поверхности переднего и заднего конусов в этом варианте не были предварительно обточены, что, очевидно, требует дополнительной многорезцовой или револьверной обработки. Окупятся ли эти потери теми преимуществами, которые дает этот вариант процесса, можно будет выяснить только впоследствии при полном экономическом расчете всего технологического процесса.

Таблица 5 – Оценка вариантов технологического процесса

Вариант	Операция	Эскиз	Характеристика операции	
			Преимущества	Недостатки
I	1		1. Зажим детали надежный, удобный, быстродействующий	1. Операция трудоемка, так как рабочие ходы не совмещены. 2. Припуск на диаметр хвостовика увеличен из-за значительных поворотов в результате погрешностей геометрии головки и возможных заусенцев
	2		1. Зажим детали надежный, удобный, быстродействующий. 2. Инструмент работает надежно. 3. Операция надежна	1. Операция трудоемка, так как рабочие ходы инструментов совмещены частично
II	1		1. Зажим детали надежный, удобный, быстродействующий. 2. Инструмент работает надежно. 3. Операция надежна	1. Видимых недостатков нет
	2		1. Зажим детали надежный, удобный, быстродействующий. 2. Инструмент работает надежно. 3. Операция надежна	1. Точность размера будет невысокой ввиду несоответствия измерительной и установочной баз
III	1		1. Зажим детали надежный, удобный, быстродействующий. 2. Инструмент работает надежно. 3. Операция надежна	1. Видимых недостатков нет
	2		1. Зажим детали надежный, удобный, быстродействующий. 2. Инструмент работает надежно. 3. Операция надежна. 4. Рабочие ходы инструментов совмещены, операция не трудоемка. 5. Возможно многостаночное обслуживание	1. Конус предварительно не обработан, что потребует дополнительных операций в дальнейшем

Только составив весь маршрут того или иного варианта процесса, можно дать его полную оценку. Действительно, в варианте I основным недостатком является необходимость предусматривать увеличенный диаметральный припуск, что повышает расход металла, а также может потребовать введения в технологический процесс дополнительного перехода. В варианте II один из недостатков – малая точность размера A, в варианте III – отсутствие предварительной обработки конусов в обоих случаях требует введения дополнительной операции.

Таким образом, только после размерного анализа и экономического сопоставления вариантов можно будет указать, какой из них является более экономичным. Пока же по результатам предварительной логической оценки все они могут быть признаны приемлемыми для дальнейшей проработки.

При переходе от качественных оценок технологического процесса на этапе 3 к количественным – этап 4 (рис. 1) может оказаться необходимой корректировка предложенного варианта с повторной логической оценкой этих корректировок.

На этапе 5 выполняется оценка вариантов по критериям. Наиболее важными являются критерии надежности процесса и его экономичности. Обычно после оценки по этим критериям принимается какой-либо один вариант процесса, который и подлежит окончательной проработке, оформлению и оснащению (этап 6).

Очевидно, что выбранный вариант процесса может оказаться неудачным и его внедрение приведет к необходимости корректировок (возврат от этапа 7 к этапу 4). Обычно при проектировании технологических процессов с выполнением полного объема размерного анализа и экспертных оценок (этапы 3, 4) эти корректировки оказываются необходимыми значительно реже, чем при традиционном проектировании. Как видно из рассмотренного примера, этапы 1–7 выполняют последовательно, однако возможны возвраты от этапов 3 и 4 к этапу 2 и от этапа 7 к этапу 4.

Возможен возврат от этапа 4 даже к исходному заданию (чертежу). После выполнения размерного анализа различных вариантов иногда выясняется, что деталь не может быть выполнена в соответствии с чертежом ни при каких условиях или процесс оказывается чрезвычайно дорогим. Это часто бывает при некачественной отработке конструкции детали на технологичность. В этом случае повторное рассмотрение и согласование чертежа детали совместно с конструктором и технологом приводит к необходимости корректировки чертежа.

Резюмируя изложенное, можно отметить, что для проектирования качественных и экономичных процессов необходимо использовать циклическую стратегию, которая позволяет из нескольких предполагаемых вариантов выбрать лучший. Стратегия проектирования качественных технологических процессов приведена на рисунке 3. Процесс может быть спроектирован и по самой простой линейной стратегии, но при этом все «петли», не выполненные проектировщиком, будут доделывать на производстве при внедрении процесса, что обходится в сотни раз дороже.

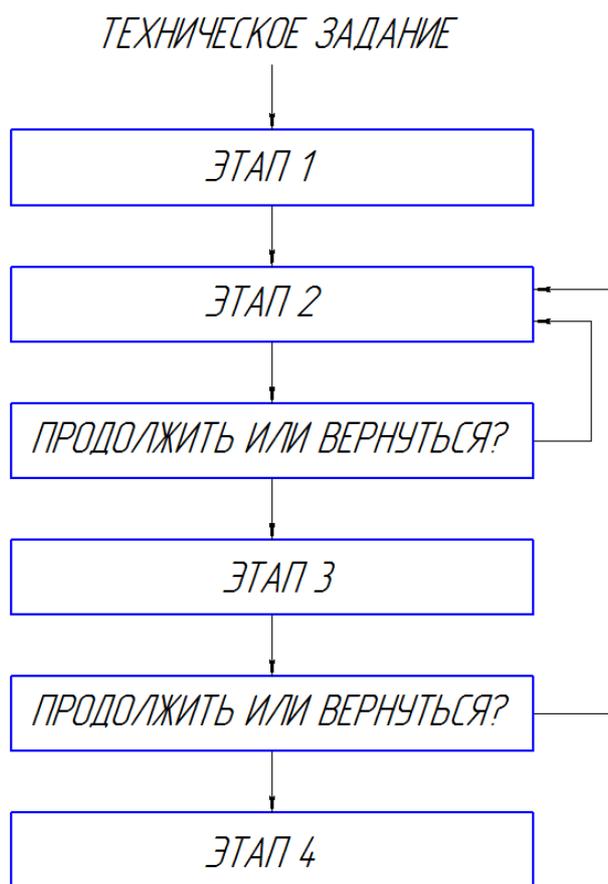


Рисунок 3 – Циклическая стратегия

Весь комплекс технологического проектирования, включающий проектирование и расчеты оснастки, режущих и измерительных инструментов и прочих работ, выполняется по смешанной стратегии, в которой есть элементы линейной, циклической, разветвленной, а иногда и адаптивной стратегии.

Средние статистические погрешности механической обработки (без учета погрешностей от несовпадения баз ϵ_s и пространственных отклонений измерительных поверхностей ρ_n)

Вид обработки	Оборудование и методы обработки	Способ обеспечения точности	Проходы	Шероховатость, мкм		Точность				
				Rz	Ra	диаметральных размеров JT	до 80	80- 260	260-500	свыше 500
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Токарная обработка	Токарно-винторезные станки	По предварительно настроенному лимбу с использованием поворотного резцедержателя	I	80	–	12-13	0,30	0,40	0,50	0,70
			II	–	2,5	10	0,12	0,20	0,5	0,30
	Токарные станки с ЧПУ	По программе	I	80	–	11	0,20	0,25	0,30	0,40
			II	–	2,5	10	0,12	0,17	0,20	0,25
	Малые карусельные станки	По предварительно настроенному лимбу	I	80	–	12-13	0,25	0,30	0,35	0,45
			II	–	2,5	8-9	0,07	0,10	0,12	0,18
	Операционные токарные станки	По упорам	I	80	–	11	0,15	0,20	0,25	0,30
			II	–	2,5	8-9	0,06	0,08	0,10	0,12
	Токарно-револьверные станки	По упорам от установочных баз	I	80	–	12-13	0,25	0,30	0,35	0,40
			II	–	2,5	10	0,15	0,17	0,20	0,25
		От настроечной базы между позициями	I	80	–	12-13	0,30	0,35	0,40	0,45
			II	–	2,5	11	0,20	0,25	0,30	0,35
Между резцами в многорезцовой державке		I	80	–	12-13	0,12	0,17	0,20	0,25	
		II	–	2,5	10	0,08	0,10	0,12	0,15	
Токарная обработка	Многорезцовые токарные полуавтоматы	По упорам от установочных баз	I	80	–	12-13	0,25	0,30	0,35	0,40
			II	–	2,5	11	0,17	0,20	0,25	–
		Между резцами в одном блоке	I	80	–	12-13	0,15	0,20	0,25	0,30
			II	–	2,5	10	0,08	0,10	0,12	0,15
		Между резцами с различных суппортов	I	80	–	12-13	0,20	0,25	0,30	0,35
			II	–	2,5	11	0,12	0,17	0,20	0,25

Продолжение приложения А

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Токарная обработка	Гидрокопировальные токарные полуавтоматы	По копиру от установочной базы	I	80	–	12-13	0,25	0,30	0,35	0,40
			II	–	2,5	10	0,15	0,17	0,20	0,25
		Между резцами в одном блоке	I	80	–	11	0,17	0,20	0,25	0,30
			II	–	2,5	8-9	0,12	0,17	0,20	0,25
		Между резцами с различных суппортов	I	80	–	12-13	0,20	0,25	0,30	0,35
			II	–	2,5	10	0,17	0,20	0,25	0,30
	Вертикальные многошпиндельные полуавтоматы	По копирам и упорам от установочных баз	I	80	–	12-13	0,20	0,25	0,30	–
			II	–	2,5	10	0,2	0,5	0,0	–
		Между резцами в одном блоке	I	80	–	11	0,17	0,20	0,25	–
			II	–	2,5	8-9	0,08	0,10	0,12	–
		Между резцами с различных суппортов и позиций	I	80	–	12-13	0,20	0,25	0,30	–
			II	–	2,5	10	0,15	0,20	0,25	–
	Автоматы фасонно-продольного точения	По копирам от настроечной базы	I	40	–	10	0,12	0,17	–	–
			II	–	2,5	7-8	0,08	0,10	–	–
		Между резцами с различных суппортов	I	40	–	10	0,10	0,12	–	–
			II	–	2,5	7-8	0,06	0,08	–	–
	Токарно-револьверные полуавтоматы	По копирам от настроечной базы (с револьверными головками)	I	40	–	11	0,12	0,17	–	–
			II	–	2,5	8-9	0,08	0,10	–	–
Фасонным резцом		I	20	–	10	0,02	0,04	–	–	
Многорезцовой державкой		I	20	–	10	0,06	0,08	–	–	
Токарная обработка	Многорезцовые токарные полуавтоматы	По копирам от установочной или настроечной базы с продольного суппорта	I	40	–	11	0,12	0,17	–	–
			II	–	2,5	8-9	0,08	0,10	–	–
		То же, с независимых инструментальных суппортов	I	40	–	11	0,15	0,20	–	–
			II	–	2,5	8-9	0,10	0,12	–	–
	По упорам с поперечных суппортов	I	40	–	11	0,12	0,17	–	–	
		II	–	2,5	8-9	0,08	0,10	–	–	
	Многорезцовые токарные полуавтоматы	Между резцами в многорезцовой державке	I	40	–	11	0,10	0,12	–	–
			II	–	2,5	8-9	0,06	0,08	–	–

Продолжение приложения А

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Токарная обработка	Многорезцовые токарные полуавтоматы	Фасонным резцом	I	20	–	10	0,02	0,04	–	–
		По лимбу	–	80	–	12-13	0,15	0,20	0,30	–
	То же ружейными сверлами	По упорам	–	80	–	12-13	0,10	0,15	0,20	–
		По лимбу	–	40	–	8-10	0,15	0,20	0,30	–
	То же зенкерование черновых отверстий	По упорам	–	40	–	8-10	0,10	0,15	0,20	–
		По лимбу	–	80	–	12-13	–	–	–	–
	То же зенкерование после сверления		–	40	–	10-11	–	–	–	–
	То же развертывание	-	–	-	2,5	6-7	–	–	–	–
	То же зенкерование	По упорам	–	40	–	12-13	0,15	0,20	0,30	–
	То же цекование	По упорам	–	40	–	12-13	0,15	0,20	0,30	–
То же обработка ступенчатых отверстий комбинированным инструментом		–	80	–	11-13	0,15	0,20	0,30	–	
Растачивание	Растачивание ступенчатых отверстий на горизонтально-расточных станках	По лимбу	I	80	–	11	0,20	0,25	0,30	–
			II	–	2,5	8-9	0,12	0,15	0,20	–
		Между резцами в одной борштанге	I	80	–	11	0,10	0,12	0,15	–
			II	–	2,5	8-9	0,05	0,08	0,10	–
		Между резцами в одной головке	I	20	–	8-9	0,05	0,06	0,08	–
			II	–	1,25	6-7	0,02	0,04	0,06	–
Между инструментами разных головок	I	20	–	8-9	0,08	0,10	0,12	–		
	II	–	1,25	6-7	0,04	0,05	0,06	–		
Фрезерование	Фрезерование цилиндрическими фрезами на горизонтальных и универсальных станках	По установам и упорам	I	80	–	12-13	0,20	0,25	0,30	0,40
			II	–	2,5	11	0,12	0,17	0,20	0,25
			III	–	1,25	8-9	0,06	0,08	0,12	0,15
	Фрезерование торцевыми фрезами на вертикальных и универсальных станках	По установам и упорам	I	80	–	12-13	0,20	0,25	0,30	0,40
			II	–	2,5	10	0,12	0,17	0,20	0,25
			III	–	1,25	7-8	0,04	0,06	0,10	0,12

Окончание приложения А

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Фрезерование	Фрезерование на двухсторонних карусельных и барабанных станках	От базы по установам	I	80	–	12-13	0,20	0,25	0,30	0,40
			II	–	2,5	11	0,12	0,17	0,20	0,25
		Между фрезами	I	80	–	12-13	0,10	0,15	0,17	0,20
			II	–	2,5	10	0,08	0,10	0,12	0,15
Строгание	Долбежные станки	По лимбу	I	80	–	–	0,40	0,45	0,50	0,60
			II	20	–	–	0,20	0,25	0,30	0,40
	Поперечно-строгальные станки	По лимбу и установам	I	80	–	–	0,40	0,45	0,50	0,60
			II	–	–	–	0,12	0,17	0,20	0,25
	Продольно-строгальные станки	По лимбу и установам	I	80	–	–	0,20	0,25	0,30	0,40
			II	–	2,5	–	0,12	0,17	0,20	0,25
Протягивание внутреннее	–	I	–	2,5	6-7	–	–	–	–	
Протягивание наружное	–	I	–	2,5	–	0,12	–	0,20	0,25	
Шлифование	Круглошлифовальные станки	По лимбу и пробным проходам	II	–	2,5	10	–	–	–	–
			Ч	–	0,63	6-7	–	–	–	–
			T	–	0,16	5-6	–	–	–	–
	Торцекруглошлифовальные станки	По упорам	II	–	2,5	10	0,15	–	0,20	0,25
			Ч	–	0,63	6-7	0,08	–	0,12	0,15
		С позиционированием	II	–	2,5	10	0,10	0,17	0,15	0,17
Ч	–	0,63	6-7	0,06	0,17	0,10	0,12			
Шлифование	Внутришлифовальные станки	По лимбу, пробным проходам и упорам	II	–	2,5	10	0,20	0,25	0,30	–
			Ч	–	0,63	6-7	0,12	0,17	0,20	–
			T	–	0,16	5-6	0,06	0,08	0,12	–
	Бесцентрошлифовальные станки	По упорам	II	–	2,5	8-9	–	–	–	–
			Ч	–	1,25	6-7	–	–	–	–
Доводка	Хонингование	–	II	–	0,32	–	Точность обработки примерно соответствует точности предварительно выполненных размеров			
			Ч	–	0,32	5-6				
	Суперфиниширование	–	II	–	0,32	–				
			Ч	–	0,08	–				
	Доводка (притирка)	–	II	–	0,32	–				
			T	–	0,08	–				
Многопроходная размерная притирка	–	–	–	0,08	–					

Обозначения: II – предварительное; Ч – чистовое; T – тонкое

Точность геометрической формы ρ_ϕ и расположения поверхностей ρ_p при механической обработке

Вид обработки	Метод обработки и оборудование	Рабочий ход	Вид погрешности	Величина погрешности (мкм) в зависимости от номинального размера, мм					
				до 10	10-50	50-160	160-300	300-500	более 500
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Токарная	Токарные, револьверные, карусельные, многошпиндельные и прочие токарные станки	Первый	$\rho_{\phi\Pi}$	6-16	10-30	25-50	40-80	60-120	100-250
			$\rho_{\phiЦ}$	10-24	20-40	30-60	50-100	80-150	150-300
			$\rho_{p\Pi}$	25-60	40-120	100-200	150-360	300-450	400-1000
			$\rho_{pЦ}$	40-80	50-100	80-120	100-200	150-250	200-400
		Второй	$\rho_{\phi\Pi}$	2,5-6	4-16	10-25	16-35	25-50	40-100
			$\rho_{\phiЦ}$	2-10	6-16	8-20	10-25	12-30	16-50
			$\rho_{p\Pi}$	6-16	10-40	16-50	25-80	40-100	80-300
			$\rho_{pЦ}$	20-30	30-60	40-80	60-100	80-160	100-500
		Третий	$\rho_{\phi\Pi}$	0,6-1	1-2,5	1,6-6	4-10	8-16	10-40
			$\rho_{\phiЦ}$	1,2-3	2,5-4	3-8	5-10	7-12	10-25
			$\rho_{p\Pi}$	1,6-4	4-10	6-16	8-20	10-30	16-100
			$\rho_{pЦ}$	5-16	8-20	10-25	12-30	16-40	20-80
Сверление	Сверление спиральными сверлами	Один	$\rho_{\phiЦ}$	12-25	16-40	20-50			
			$\rho_{p\Pi}$	25-60	40-120	80-250	160-400		
	Сверление ружейными сверлами	Один	$\rho_{\phiЦ}$	2-5	4-10	8-16	12-20		
			$\rho_{p\Pi}$	2,5-6	4-16	10-25	20-50		

Продолжение приложения Б

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сверление	Зенкерование	Один	$\rho_{\PhiЦ}$	2-8	6-12	8-20			
			$\rho_{РП}$	4-10	8-16	10-25	16-40		
	Развертывание	Один	$\rho_{\PhiЦ}$	1,5-2	2,5-8	5-10	8-16		
			$\rho_{РП}$	Может увеличиваться на 10% по сравнению с исходным					
	Алмазное растачивание	Один	$\rho_{\PhiП}$	0,4-1	0,8-2	1,2-4	2,5-8	6-10	
			$\rho_{\PhiЦ}$	0,5-1,2	1-2,8	2-5	4-10	6-16	10-20
			$\rho_{РП}$	0,6-1,6	1,2-4	2,5-6	4-8	6-10	8-16
$\rho_{РЦ}$			2,5-6	3-8	5-10	6-12	8-16	10-20	
Фрезерование	Вертикальные, горизонтальные и продольно-фрезерные станки	Первый	$\rho_{\PhiП}$	6-16	10-20	16-40	28-80	50-120	100-600
			$\rho_{РП}$	25-60	40-120	100-250	200-360	250-450	400-1200
		Второй	$\rho_{\PhiП}$	1-4	2,5-10	6-16	10-20	16-30	20-100
			$\rho_{РП}$	4-10	6-30	20-60	40-80	60-120	100-400
	Протягивание и прошивание	Один	$\rho_{\PhiП}$	1,6-4	2,5-8	6-16	8-20	10-25	
			$\rho_{\PhiЦ}$	2-5	4-8	5-12	8-16	10-20	16-30
$\rho_{РП}$			Может увеличиваться на 30% по сравнению с исходным.						
$\rho_{РЦ}$			Перпендикулярность торцов к оси отверстий 0,15:100						
Шлифование	Круглошлифовальные и плоскошлифовальные станки	Предварительный	$\rho_{\PhiП}$	2,5-6	4-10	6-16	10-25	20-40	20-100
			$\rho_{\PhiЦ}$	1,6-4	2,5-8	5-12	8-16	10-20	16-40
			$\rho_{РП}$	4-10	8-20	16-30	20-50	30-60	50-160
			$\rho_{РЦ}$	20-30	25-50	40-60	50-80	60-100	80-200

Окончание приложения Б

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Шлифование	Круглошлифовальные и плоскошлифовальные станки	Чистовой	$\rho_{\Phi\Pi}$	1-4	2,5-8	6-12	10-20	16-25	20-60
			$\rho_{\PhiЦ}$	0,8-2,5	1,6-4	2,5-5	4-6	5-8	6-16
			$\rho_{P\Pi}$	1,6-4	2,5-6	4-10	8-16	10-25	20-100
			$\rho_{PЦ}$	8-12	6-16	12-20	16-30	20-40	30-120
	Бесцентрово-шлифовальные станки	Один	$\rho_{\PhiЦ}$	2,5-6	4-10	6-12	10-20	16-40	30-50
			$\rho_{P\Pi}$	Может увеличиваться на 10% по сравнению с исходным					
Отделка	Хонингование	Один	$\rho_{\Phi\Pi}$	0,6-1,6	1,2-4	2,6-6	4-8	6-10	8-30
			$\rho_{\PhiЦ}$	0,5-1,2	1-2,5	1,6-3	2,5-5	3-6	
			$\rho_{PЦ}$	Может увеличиваться на 10% по сравнению с исходным					
Отделка	Суперфиниширование	Один	$\rho_{\Phi\Pi}$	0,4-1	0,6-1,6	1-2,5	1,6-4	2,5-8	4-20
			$\rho_{\PhiЦ}$	0,3-0,8	0,5-1,2	0,8-2	1,2-3	2-5	3-10
	Притирка (доводка)	Один	$\rho_{\Phi\Pi}$	0,2-0,6	0,4-1,2	1-2,5	1,6-4	2,5-6	4-16
			$\rho_{\PhiЦ}$	0,3-0,8	0,5-1,6	0,8-2	1,6-2,5	2-3	
			$\rho_{PЦ}$	Может увеличиваться на 10% по сравнению с исходным					

Обозначения: $\rho_{\Phi\Pi}$ – отклонения от плоскостности и прямолинейности; $\rho_{\PhiЦ}$ – отклонение от цилиндричности (конусообразность, бочкообразность, овальность, огранка); $\rho_{P\Pi}$ – отклонение от перпендикулярности, торцевое биение; $\rho_{PЦ}$ – радиальное биение.

Точность расположения цилиндрических отверстий ρ_{PC}

Вид обработки и оборудования	Метод координации инструмента	Расстояние до отверстия, мм				Удельный перекося (мкм) на 1 мм длины отверстия			
		до 50	50-120	120-260	260- 500	до 10	10-30	30-50	свыше 50
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Литье в земляные формы		±1,0	±1,5	±2,0	±2,5	–	20-10	15-5	10-0
Литье в кокиль		±0,3	±0,5	±0,75	±1,0	–	–	–	–
Литье точное (под давлением, корковое литье по выплавляемым моделям)		±0,15	±0,2	±0,25	±0,35	4,0-2,0	3,0-1,5	2,0-1,0	1,5-0
Свободная ковка		±1,5	±2,0	±2,5	±3,0	–	–	–	–
Штамповка обычной точности		±0,5	±0,7	±1,0	±1,5	–	–	–	–
Штамповка повышенной точности		±0,3	±0,5	±0,75	±1,0	–	–	–	–
Сверление на сверлильном станке	По разметке	±0,5	±0,7	±0,8	±1,0	4,0-2,0	3,0-1,5	2,0-1,0	1,5-0
	По кондуктору со сменными втулками нормальной точности	±0,1	±0,15	±0,2	±0,25	2,0-1,5	1,8-1,6	1,5-0,7	1,0-0
	По кондуктору со сменными втулками повышенной точности	±0,035	±0,04	±0,05	±0,06	1,0-0,7	0,8-0,5	0,6-0,4	0,5-0
	Ружейными сверлами	±0,035	±0,04	±0,05	±0,06	0,8-0,5	0,6-0,3	0,4-0,2	0,3-0
Растачивание отверстий на горизонтально-расточных станках	По разметке	±0,4	±0,6	±0,7	±0,8	3,0-2,0	2,0-1,0	1,0-0,8	0,5-0
	По шкале с нониусом	±0,15	±0,2	±0,3	±0,4	–	–	–	–
	По штихмасу	±0,05	±0,07	±0,1	±0,12	–	–	–	–

Окончание приложения В

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Растачивание отверстий на горизонтально-расточных станках	По концевым мерам	$\pm 0,03$	$\pm 0,04$	$\pm 0,05$	0,06	–	–	–	–
Растачивание на алмазно-расточных станках	По нониусу	$\pm 0,02$	$\pm 0,025$	$\pm 0,03$	$\pm 0,04$	–	–	–	–
Растачивание на координатно-расточных станках	По шкале с нониусом	$\pm 0,02$	$\pm 0,03$	$\pm 0,04$	$\pm 0,05$	–	–	–	–
	По оптическим приборам	$\pm 0,005$	$\pm 0,01$	$\pm 0,015$	$\pm 0,02$	–	–	–	1

Примечание. Приведенные в таблице величины погрешностей расположения отверстий действительны для интервала диаметров отверстий 18–30. При обработке отверстий других размеров табличные величины необходимо умножить на коэффициент K :

Диаметр, мм	10-18	18-30	30-50	Св. 50
K	0,8	1,0	1,2	1,6

**Шероховатость и величина дефектного слоя
поверхностей, полученных различными методами**

Метод обработки	Шероховатость Rz, мкм	Дефектный слой, мкм
Литье в песчано-глинистую форму при ручной формовке	100-500	200-600
Литье в песчано-глинистую форму при машинной формовке	80-300	150-400
Литье в металлические формы	100-200	100-300
Центробежное литье	40-100	100-200
Литье в оболочковые формы	20-80	150-250
Литье по выплавляемым моделям	10-40	80-150
Литье под давлением	10-40	80-150
Ковка	300-500	400-600
Штамповка обычной точности	100-250	200-400
Штамповка повышенной точности	80-200	150-300
Прокат горячекатаный обычной точности	80-150	100-150
Прокат повышенной точности	50-100	80-150
Прокат холодноотянутый калиброванный	40-80	50-100
Рубка на прессах и ножницах	100-300	100-150
Разрезание пилами на станках	80-160	100-150
Точение черновое	80-150	50-100
Точение получистовое	30-50	40-60
Точение чистовое	15-25	20-30
Точение тонкое	6-10	10-20
Строгание предварительное	80-150	100-150
Строгание окончательное	15-25	20-30
Сверление	80-150	50-100
Сверление глубокое	15-30	25-50
Зенкерование черновое	30-50	40-50
Зенкерование чистовое	20-30	30-40
Развертывание предварительное	10-20	15-25
Развертывание чистовое	6-10	5-10
Растачивание алмазное	3,2-6,3	4-10
Фрезерование обдирочное	80-150	80-100
Фрезерование чистовое	20-50	40-60
Фрезерование тонкое	3,2-6,3	10-30
Протягивание черновое	6-10	10-20
Протягивание чистовое	3,2-6,3	5-10
Растачивание черновое	40-80	50-100
Растачивание чистовое	10-20	15-30
Шлифование черновое	20-40	30-50
Шлифование чистовое	5-10	15-25
Шлифование тонкое	1,5-3,5	5-10
Хонингование	1-3	3-6
Суперфиниш	0,2-0,8	3-5
Притирка предварительная	0,8-3,2	3-5
Притирка окончательная	0,05-0,4	3-5
Полирование	0,05-0,4	2-3