

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учрежде-
ние высшего образования
«Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова»**

Разработка высокоэффективных технологических процессов

Утверждено учебно-методическим советом БГТУ им. В.Г.Шухова в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки магистров 15.04.05 “Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств”

Белгород 2016

УДК 621. 01(075)
ББК 34.5я7
ШЗ8

Р е ц е н з е н т ы:

Доктор технических наук, профессор Белгородского государственного сельскохозяйственного университета им. В. Я. Горина *А. Г. Пастухов*

Доктор технических наук, профессор БГТУ им. В.Г.Шухова *В. А. Уваров*

А в т о р ы: И. В. Шрубченко, А. В. Хуртасенко, М. Н. Воронкова

ШЗ8 *Шрубченко, И. В.* Разработка высокоэффективных технологических процессов: учеб. пособие/ *И. В. Шрубченко, А. В. Хуртасенко, М. Н. Воронкова.* - Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. - 84 с.

В учебном пособии приведена методика проектирования высокоэффективных технологических процессов. Излагаются рекомендации по объему, структуре и содержанию расчетно-пояснительной записки и графической части курсовой работы по дисциплине «Разработка высокоэффективных технологических процессов». Отдельные пункты проектирования сопровождаются примерами выполнения.

Учебное пособие предназначено для студентов направления 15.04.05 – Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств.

Издание публикуется в авторской редакции.

Табл. 13. Ил. 17. Библиогр.: 39 назв.

УДК 621. 01(075)
ББК 34.5я7

© Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2016

Оглавление

Введение.....	3
Введение (к курсовому проекту).....	6
1. Назначение и конструкция деталей	6
2. Технологическая часть	7
2.1. Исходные данные.....	9
2.2. Определение типа производства.....	9
2.3. Анализ чертежа, технических требований и технологично-	
сти конструкции изделия.....	11
2.3.1. Анализ чертежа и технических требований.....	11
2.3.2. Анализ технологичности конструкции изделия.....	11
2.3.3. Анализ конструкции детали методом конечных элемен-	
тов.....	12
2.4. Анализ существующего технологического процесса.....	13
2.5. Выбор заготовки.....	13
2.5.1. Выбор способа получения заготовки.....	17
2.5.1. Выбор и расчет необходимых припусков на обработку....	18
2.5.3. Проектирование чертежа заготовки.....	19
2.6. Назначение технологических баз и их анализ.....	19
2.7. Выбор способов обработки отдельных поверхностей и их	
анализ.....	20
2.8. Разработка технологического маршрута.....	21
2.9. Выбор оборудования.....	22
2.10. Выбор режущего и вспомогательного инструмента.....	24
2.11. Выбор приспособлений.....	24
2.12. Проектирование механических операций.....	27
2.13. Установление режимов резания.....	27
2.13.1. Нормирование режимов резания.....	27
2.13.2. Оптимизация режимов резания.....	29
2.14. Прогнозирование точности выполнения операции.....	29
2.15. Прогнозирование ожидаемой шероховатости обработки	
функциональных поверхностей.....	30
2.16. Разработка схем контроля и требований к контрольно-	
измерительной оснастке.....	31
2.17. Нормирование времени на выполнение операций.....	32
2.18. Экономическая оценка вариантов выполнения операций....	34
Заключение	35
Библиографический список	36

ВВЕДЕНИЕ

Технический прогресс современного производства во всех отраслях промышленности, во многом определяется уровнем развития машиностроения, его оснащением современным оборудованием и средствами технологического оснащения. Важнейшим фактором повышения технического уровня машиностроения является применение высокоэффективных технологических процессов для производства современных машин. Умение выполнять детальный анализ существующих технологических процессов, выявлять факторы, которые могут оказать влияние на их эффективность, одна из задач проектировщиков технологических процессов. Поэтому, вопросы детального анализа конструкции изделий, их технологичности, выявление на различных этапах технологического проектирования факторов и целенаправленное воздействие на них для повышения эффективности технологии, являются основной целью при проектировании технологии. Безусловно, что все эти вопросы должны уметь самостоятельно решать студенты – будущие магистры направления 15.04.05 - Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств.

Учебным планом данного направления предусмотрено выполнение студентами курсовой работы по дисциплине «Разработка высокоэффективных технологических процессов». Целью курсовой работы является подготовка студента к самостоятельной работе при решении сложного комплекса технических вопросов в условиях производства, систематизация и углубление знаний по дисциплинам, изучаемым в ходе учебы. В ходе проектирования студент должен проявить творческие способности при решении конкретных задач, вытекающих из задания на курсовую работу: показать умение логически мыслить и правильно применять полученные им теоретические и практические знания в области проектирования технологии. Вся работа должна базироваться на новейших достижениях отечественной и зарубежной науки и техники.

Задание на выполнение курсовой работы предусматривает разработку комплекса технологических вопросов, связанных с механической обработкой одной или двух деталей средней сложности, в условиях, соответствующих серийному или массовому производству. Его получают студенты на бланках установленного образца за подписью руководителя проекта, как правило, перед началом проектирования. В нем представлен перечень разделов пояснительной записки, подлежащих разработке, и указаны сроки выполнения отдельных этапов проекта.

Курсовая работа включает:

Расчетно-пояснительную записку (ПЗ): с изложением всего комплекса вопросов, связанных с технологическим проектированием; с кратким, ясным и технически грамотным обоснованием всех принятых в проекте решений. Материалы к каждому разделу ПЗ должны быть четкими, лаконичными, касающимися конкретных вопросов проектирования. Расположение материала по главам соответствует последовательности проектирования. Запрещается заполнять ПЗ переписыванием общих фраз, рассуждений и известных положений из учебников и научно-технической литературы. Объем ПЗ – 35...40 страниц текста (вместе со схемами - рисунками) и приложения.

В качестве обязательного приложения формируется графическая часть, которая должна содержать основные элементы расчетов, направленные на повышение эффективности проектируемой технологии: лист 1 – анализ чертежа и технологичности конструкции изделия; лист 2 – конечно-элементный анализ конструкции изделия; лист 3 – оптимизация режимов обработки. В приложения могут быть вынесены некоторые рисунки, схемы и таблицы, если, например, объем ПЗ выходит за рекомендуемые пределы.

В качестве объекта для анализа и последующего проектирования студенты могут использовать технологический процесс, который был ранее спроектирован в их выпускных квалификационных работах, по направлению подготовки бакалавров 15.03.05. В качестве существующего варианта технологического процесса студенты могут использовать и процессы, выполняемые в условиях реальных машиностроительных производств. Полученные таким образом сведения, принимают в дальнейшем в качестве исходных данных для проектирования и с их учетом прорабатывают следующие основные разделы:

Введение (1-2 с.);

1. Назначение и конструкция детали (1 - 2 с);
2. Технологическая часть (20-30 с);

Заключение и общие выводы (до 1 с).

ПЗ студенты последовательно формируют, начиная с первого дня проектирования. Все расчёты и пояснения производят аккуратно, даже в черновике их представляют полно, с учетом (по потребности) последующего редактирования, дополнения или сокращения излагаемого материала. Для иллюстраций текста в необходимых случаях приводят схемы, графики, рисунки и таблицы.

В записке должны найти отражение проделанная студентом работа, обоснование принятых решений, необходимые расчеты и логическая последовательность их выполнения. Каждый отдельный пункт проектирования должен начинаться с постановки задачи и перечисления

соответствующих исходных данных, и заканчиваться конкретными выводами, сформулированными в результате анализа полученных результатов. Задача студентов, в ходе проектирования – выбор факторов, которые могут повысить эффективность технологии и целенаправленное воздействие на них. Вся работа должна заканчиваться заключением и общими выводами, сформулированными на основании анализа и обобщения выводов, представленных в каждом отдельном пункте курсовой работы.

ПЗ должна содержать титульный лист, задание на проектирование и содержание, а после заключения и общих выводов приводят список литературы и приложения.

ВВЕДЕНИЕ

(к курсовой работе)

В этом разделе излагают актуальность производства таких изделий для региона или страны в целом. Дается краткая характеристика существующего технологического процесса и условия его осуществления. Приводится оценка его оснащенности, критический обзор состояния и дают обоснование целесообразности разработки предложенной темы курсовой работы. Формулируется и обосновывается цель работы. Формируется перечень основных задач, на решение которых будет направлен ход технологического проектирования.

1. НАЗНАЧЕНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ ДЕТАЛИ

Чертеж детали с указанием изделия или сборочной единицы (узла), к которым они относятся, студенты получают в соответствии с заданием. Чтобы качественно выполнить последующий анализ чертежа, технических условий и технологичность конструкции, необходимо досконально изучить конструкцию, назначение и условия работы самой сборочной единицы и отдельных ее деталей, а также функциональное назначение, требования к взаимному расположению, точности размеров и шероховатости отдельных поверхностей заданной детали. При формировании описания, необходимо указывать какую конкретную функцию выполняют отдельные поверхности и деталь в целом. Акцентируют внимание на основных функциональных поверхностях и указывают, какие поверхности выполняют функцию основных и вспомогательных баз. При формировании данного раздела, можно рекомендовать следующую логическую последовательность:

- наименование изделия или узла, составной частью которого является деталь; его назначение и общая характеристика;
- назначение детали в изделии (узле), способ и требования к ее базированию (установке), взаимодействие с другими деталями изделия;

- описания форм и назначения основных функциональных и прочих поверхностей: плоскостей, пазов, шеек, отверстий и так далее; изложение прочих специфических особенностей конструкции;

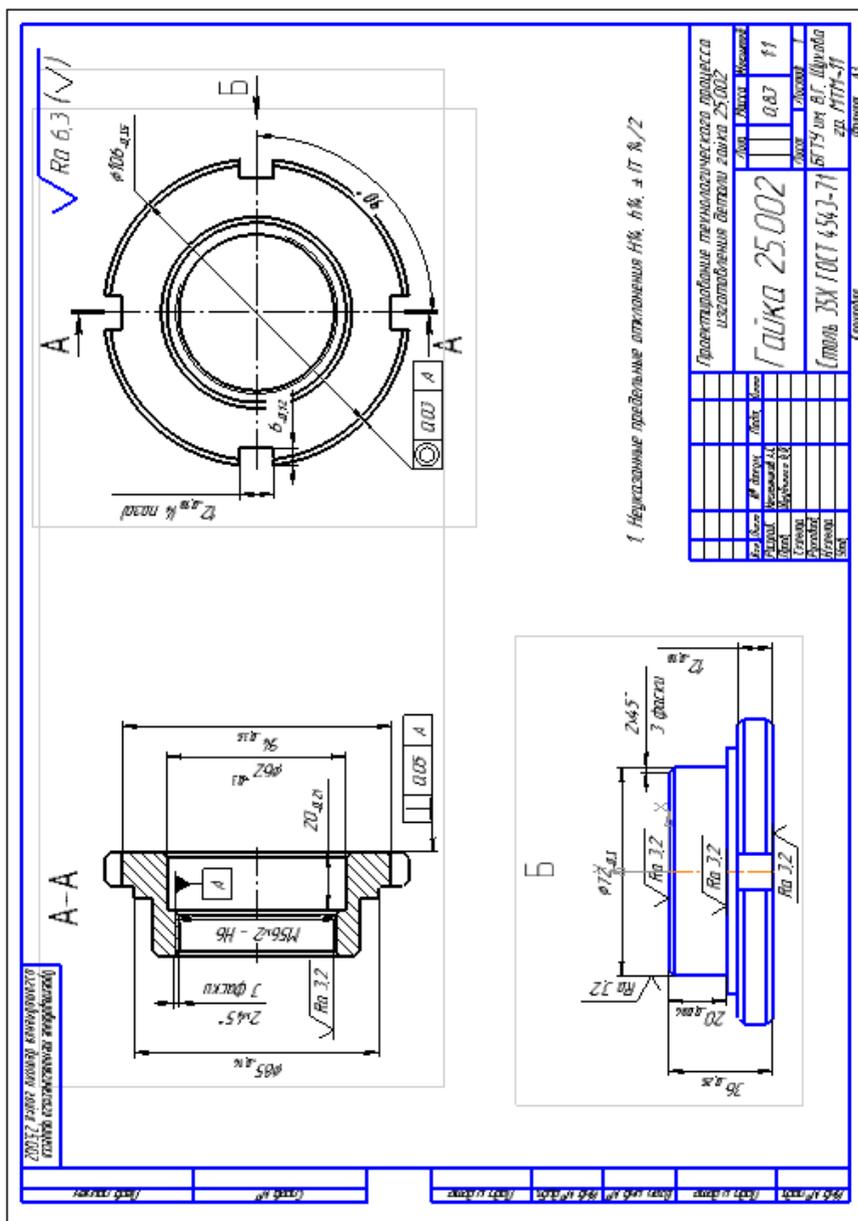
- характеристику материала, сведения о нагрузках (силах и моментах сил), воспринимаемых деталью в процессе рабочего цикла, результаты анализа соответствия материала назначению детали, ее масса.

Пример: Гайка 25.002 является деталью муфты фрикционной (рис. 1.1). Она устанавливается на полумуфту и служит для регулирования крутящего момента самой муфты. Гайка (рис. 1.2) имеет резьбовое отверстие $M56 \times 2-H6$, с помощью которого она устанавливается на полумуфту. В совокупности с торцом ступени $\varnothing 85_{-0,14}$ мм и ступицей диаметром $72_{-0,3}$ мм отверстие образует комплект основных баз. Для свободной свинчиваемости гайки с полумуфтой, с обоих торцов отверстия снимают фаски $2 \times 45^\circ$. Гайка имеет фланец, который является вспомогательной базой. На фланце профрезеровано 4 паза под ключ, с шириной $b = 12_{-0,18}$ мм и глубиной $t = 6_{-0,12}$ мм. Ширина фланца составляет $12_{-0,18}$ мм. Наружный диаметр фланца равен $106_{-0,35}$ мм. Фланец соединяется со ступице посредством, выступающей на 4 мм ступени, торец которой служит для установки защитного кожуха.

Материалом для изготовления гайки служит сталь 5 ГОСТ 380–94, углеродистая обыкновенного качества, с твердостью $HB 170$, обладающей следующими характеристиками, МПа: предел прочности $\sigma_B = 470$, предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации) $\sigma_T = 450$, относительное удлинение после разрыва $\delta = 19\%$. Как материал-заменитель можно использовать сталь 4сп, которая обладает схожими свойствами: $HB 156 - 170$, $\sigma_T = 270$ МПа, $\sigma_B = 500$ МПа. Расчетная масса гайки составляет $M = 0,83$ кг.

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В технологической части выполняют подробный анализ отдельных этапов технологического проектирования, в результате чего должен быть разработан более эффективный технологический процесс изготовления детали. На практике проектирование процессов механосборочного производства требует больших затрат труда времени, а также высокой ответственности добросовестности и квалификации исполнителей. При этом достижение рациональных решений, как правило, бывает затруднено, а в большинстве случаев вообще невозможно ввиду сжатых сроков освоения новых образцов машин.



Студенты в ходе проектирования не ограничены областью применения оборудования, станочных приспособлений, режущих инструментов и прочих средств технологического оснащения, поэтому могут предлагать и применять эффективные методы и приемы, которые позволят ускорить и улучшить технологическую подготовку производства, а так же повысить эффективность технологии. Основными задачами при этом могут быть:

- а) использование тщательного технологического анализа чертежа изделия;
- б) всесторонний анализ технологичности конструкции изделия и предложение мер по ее улучшению;
- в) широкое внедрение стандартизации на всех этапах подготовки производства;
- г) обеспечение требуемого качества изделий путем применения прогрессивных технологических методов обработки, с использованием высокопроизводительного оборудования, прогрессивных типовых и групповых технологических процессов;
- д) достижение минимальной трудоемкости изготовления изделий и максимальной производительности труда;
- е) достижение минимальной себестоимости производства изделий;
- ж) сокращение длительности цикла подготовки производства.

Технологическая часть должна включать следующие отдельные этапы проектирования (подразделы в ПЗ), которые рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

- 2.1. Исходные данные;
- 2.2. Определение типа производства;
- 2.3. Анализ чертежа, технических требований и технологичности конструкции изделия;
 - 2.3.1. Анализ чертежа и технических требований;
 - 2.3.2. Анализ технологичности конструкции изделия;
 - 2.3.3. Анализ конструкции детали методом конечных элементов;
- 2.4. Анализ существующего технологического процесса;
- 2.5. Выбор заготовки;
 - 2.5.1. Выбор и анализ способов получения заготовки;
 - 2.5.2. Анализ конструкции заготовки методом конечных элементов;
 - 2.5.3. Проектирование чертежа заготовки;
- 2.6. Назначение технологических баз и их анализ;
- 2.7. Выбор способов обработки отдельных поверхностей и их анализ;

- 2.8. Разработка технологического маршрута;
- 2.9. Выбор оборудования;
- 2.10. Выбор режущего и вспомогательного инструмента;
- 2.11. Выбор приспособлений;
- 2.12. Проверка правильности назначения припусков на обработку расчетным методом;
- 2.13. Проектирование механических операций;
- 2.14. Установление режимов резания;
 - 2.14.1. Нормирование режимов резания;
 - 2.14.2. Оптимизация режимов резания;
- 2.15. Прогнозирование точности выполнения операции;
- 2.16. Прогнозирование ожидаемой шероховатости обработки функциональных поверхностей;
- 2.17. Разработка схем контроля и требований к контрольно-измерительной оснастке;
- 2.18. Нормирование времени на выполнение операций;
- 2.19. Экономическая оценка вариантов выполнения операций.

В процессе разработки технологических процессов для конкретных деталей, объем всего комплекса проектных работ, и содержание отдельных этапов могут уточняться и изменяться.

Ниже приводятся общие описания, краткие методики и основные требования к выполнению этапов технологического проектирования.

2.1. Исходные данные для проектирования

Исходными данными для разработки технологического процесса изготовления детали являются: рабочий чертеж детали, технические требования и условия (приводятся в чертеже детали или прилагаются отдельно к ПЗ), программа выпуска, оборудование, литературные данные о достижениях в отечественной и зарубежной науке и технике по данному вопросу. В этом разделе пояснительной записки студент приводит конкретные исходные данные, имеющиеся на этапе получения задания и, в ходе проектирования, может их дополнять, если таковые были использованы на том или ином этапе проектирования.

2.2. Определение типа производства

Тип производства – единичное, серийное или массовое и соответствующие ему формы организации труда определяют характер технологического процесса и его построение. Тип производства устанавливается в зависимости от номенклатуры и объема выпуска изделий в год (производственной программы), их массы и габаритных размеров, а также других характерных признаков. При курсовом проектировании его следует определять, пользуясь данными таблиц [37].

Далее для условий массового производства определяют такт выпуска, мин:

$$t_e = \frac{60 \cdot F_\partial}{N} \quad (1)$$

Суточный выпуск изделий при работе с двумя выходными днями в неделю, шт:

$$N_c = \frac{N}{252} \quad (2)$$

Суточная производительность поточной линии, шт:

$$Q = \frac{F_c \cdot \eta_{зн}}{t_{ш.ср.}} \quad (3)$$

а для условий серийного производство рассчитывают размер партии деталей, шт:

$$n = \frac{a \cdot N}{252} \quad (4)$$

где N – годовая программа выпуска изделий; F_∂ – действительный годовой фонд производственного времени оборудования (линии) и рабочих мест, ч; F_c – суточный фонд времени работы оборудования, мин; $\eta_{зн}$ – нормативный коэффициент загрузки оборудования; a – периодичность запуска (необходимость запаса деталей на складах), дни; $t_{ш.ср.}$ – среднее штучное время по основным операциям, мин

$$t_{ш.ср.} = \frac{\sum_i^K t_{ш.i}}{K} \quad (5)$$

При выполнении K операций со штучным временем каждой i равным, $t_{ш.i}$, мин.

В расчётах рекомендуется принимать:

- при изготовлении крупных деталей $a = 3-6$, средних $a = 6-12$ и для мелких деталей $a=12-14$ дня;
- при работе в одну смену – $F_\partial = 2008$ ч, в две смены – $F_\partial = 4015$ ч и при трехсменной работе – $F_\partial = 6022$ ч. Более точные сведения по выбору F_∂ приводятся в [3, 5, 15].

При проектировании все расчеты чаще производят при двухсменном режиме работы.

Потребное количество станков для каждой операции

$$S = \frac{t_{ш.и}}{t_g} \quad (6)$$

Полученное число станков округляют до целого числа в сторону увеличения S_n и принимают для последующих расчетов. Штучное время на операцию можно определить только после разработки технологического процесса, организационные формы которого непосредственно зависят от типа производства. Поэтому в формулу для определения количества станков можно подставлять штучное время на операцию из технологического процесса-аналога, если величина программы выпуска в проектируемом процессе совпадает с программой аналога или с данными технической литературы по изготовлению заданного изделия.

При отсутствии данных по штучному времени необходимо составить технологический маршрут по изготовлению данной детали и укрупненно пронормировать [18-21]. При составлении маршрута необходимо принимать во внимание технологический процесс-аналог, корректируя его в зависимости от производственной программы, и использовать рекомендации технической литературы по изготовлению подобных деталей. Корректировка технологического процесса-аналога в зависимости от производственной программы производится с учетом фактического коэффициента загрузки оборудования, который определяется по формуле

$$\eta_{эф} = \frac{S}{S_n} \quad (7)$$

Значения нормативного коэффициента загрузки оборудования $\eta_{эф}$ установлены:

для единичного и мелкосерийного производства	0,8 – 0,85;
для серийного	0,75 – 0,85;
для массового и крупносерийного	0,65 – 0,75.

В случаях, когда коэффициент $\eta_{эф}$ совпадает с вышеприведенными величинами, можно оставлять оборудование технологического процесса-аналога. При большей загрузке рекомендуется принимать более высокопроизводительное оборудование или применять многоместную, многоинструментальную или многопозиционную обработку.

Количественные значения S_n и $\eta_{эф}$ оказываются необходимы при проектировании цеха или участка и при экономической оценке эффективности технологического процесса.

Пример: Требуется определить тип производства для изготовления гайки 25.002 с годовой программой выпуска $N_r = 12400$ шт.

Масса изделия составляет $m = 0,83$ кг. По табл. 2.1[1] находим, что для мелких по массе изделий с годовой программой выпуска 12400 штук, производство будет являться серийным.

Рассчитаем размер партии. Для бесперебойной работы сборочного цеха, запас готовых изделий должен быть обеспечен на 8 дней, тогда размер партии:

$$n = \frac{aN}{254} = \frac{8 \cdot 12400}{254} = 391 \text{ шт,}$$

где a – периодичность запуска в днях; N – годовая программа выпуска в штуках. Сопоставив полученный размер партии n с данными табл. 2.2[1], будем считать производство среднесерийным.

2.3. Анализ чертежа, технических требований и технологичности конструкции изделия

В этом разделе приводят результаты анализа чертежа детали; технических требований и условий; достаточности проекций, разрезов и сечений; правильности простановки размеров; правильности назначения допусков и их соответствия служебному назначению поверхностей детали; соответствия шероховатости поверхностей и согласованности её с заданной точностью; соответствия технических условий служебному назначению деталей; анализа технологичности конструкции детали; анализа конструкции методом конечных элементов.

2.3.1. Анализ чертежа и технических требований

При анализе чертежа необходимо убедиться в достаточности и правильности оформления видов, сечений и разрезов. Проверить достаточность и правильность простановки размеров, назначения допусков и требований к шероховатости поверхностей. В ПЗ подробно привести: последовательность анализа правильности назначения допуска на размер одной из поверхностей; правильности назначения допуска на точности формы одной из поверхностей; правильности назначения точности взаимного расположения поверхностей; требований к шероховатости поверхностей. Элементы такого анализа должны касаться основных функциональных поверхностей. В выводах должны найти отражение действия по изменениям, которые требуется внести на чертеж.

Пример: Чертеж гайки (рис 1.2) имеет достаточно видов, разрезов и сечений, дающих полное представление о конструкции изделия. Чертеж выполнен в соответствии с требованиями ЕСКД. Проверим

достаточность, правильность простановки размеров, назначения технических требований и определим технологичность изделия.

Отверстие М56×2 – 6Н резьбовое, выполнено по 6 степени точности. Согласно ГОСТ 16093–2004 поле допуска резьбы гайки должно быть 6Н. По ГОСТ 16093–2004 для номинального наружного диаметра резьбы равного 56 мм, шага резьбы равного 2 мм и поля допуска 6Н предельные отклонения для номинального наружного диаметра внутренней резьбы составляют $ES = 0$ мкм и $EI = 236$ мкм. Метрическая резьба с мелким шагом ($P = 2$ мм) рекомендуется для резьбовых соединений, подвергающихся переменной нагрузке, толчкам, сотрясениям и вибрациям, что бы детали самопроизвольно не развинчивались под действием внешних сил, что соответствует условиям использования данного изделия. Отклонения остальных размеров детали соответствуют 14 качеству, но согласно техническим требованиям ГОСТ 11871–88 поле допуска на наружный диаметр гайки должно быть по $h12$ и составлять $Td = 350$ мкм. Аналогично проверяем правильность назначения допусков на остальные функциональные поверхности и вносим изменения на чертеж.

В соответствии с чертежом отклонение от соосности поверхности отверстия гайки относительно наружной поверхности фланца составляет 0,03 мм. По табл.6 ГОСТ 24643–81 для номинального размера равного $\varnothing 56$ мм для 11 качества (ГОСТ 11871–88 табл.2) допуск симметричности составляет 120 мкм, т.е. 0,12 мм. Таким образом, получаем, что назначенный допуск находится в пределах допустимого. Отклонения от перпендикулярности поверхности отверстия гайки $\varnothing 56$ мм относительно базового торца составляет 0,05 мм. По таб.4 ГОСТ 24643–81 для номинального размера $\varnothing 56$ мм для 9 качества (ГОСТ 11871–88) допуск перпендикулярности составляет 0,05 мм. Допуск равен рекомендуемому. Используя справочные данные по таблице 2.68 [2] для 6 степени точности резьбы назначим $Ra = 3,2$ мкм. Для остальных размеров $Ra = 3,2$ –6,3 мкм. По таблице 2.68 [2] для гаек данный параметр должен лежать в пределах 3,2 – 12,5 мкм, что соответствует указанному на чертеже. Аналогично проверяем остальные технические требования по качеству поверхностей и при необходимости вносим изменения.

2.3.2. Анализ технологичности конструкции изделия

Основной задачей здесь является оценка технологической конструкции (ТКИ) детали, анализ и разработка системы мероприятий по улучшению технологичности. В ПЗ приводится, вначале, количественная оценка ТКИ и дополняется качественной оценкой. При количественной оценке требуется определить значение комплексного показателя

теля технологичности КТ. Этот показатель включает в себя ряд показателей: обрабатываемости материала $K_{ом}$; сложности конструкции детали $K_{сл}$; точности и шероховатости поверхностей детали $K_{пов}$; унификации конструктивных элементов $K_{уз}$; использования материала $K_{им}$. Методика их определения представлена в [1]. После определения значения комплексного показателя ТКИ, его сравнивают с нормативным для заданных условий производства. Если полученное значение оказывается меньше нормативного, то должны быть предложены ряд мероприятий, позволяющих повысить значение составляющих и комплексного показателя технологичности.

В целом, улучшение ТКИ может предполагать: упрощение геометрических форм; удобство и надежность базы; сокращение объема механической обработки; простота получения заготовки; удобство подвода и выхода инструмента; замена глухих отверстий сквозными; стандартизация и унификация отдельных поверхностей; упрощение конструкции, например, замена цельной сложной конструкции, более простой сварной или сборной; возможность применения высокопроизводительных методов обработки; возможность обработки на проход; достаточность жесткости детали и др.

Все подобные мероприятия, которые не могут найти отражение в количественной оценке ТКИ, дополняются в качественной оценке.

В выводах должны быть приведены предлагаемые мероприятия по повышению ТКИ.

Пример: Обеспечение технологичности конструкции изделия является одной из основных функций единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП). Анализ технологичности производится как для изделия в целом, так и для отдельных деталей. Различают качественную и количественную оценки технологичности.

Количественно технологичность конструкции оценивается по комплексному показателю, определяемому как совокупность частных показателей технологичности с учетом их весовых коэффициентов:

$$K_T = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^n \varphi_i},$$

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

Определение частных показателей технологичности деталей производится на основе поэлементного анализа конструкции деталей с учетом принятого способа их изготовления и вида материала. Коэффициенты весомости частных показателей приведены в табл.2 [3].

Показатель обрабатываемости материала K_{OM}

Под обрабатываемостью материалов будем понимать их способность поддаваться обработке режущими инструментами при оптимальных режимах и условиях резания. Принято считать, что материал обладает хорошей обрабатываемостью, если при резании этого материала износ инструмента, силы резания и шероховатость обработанной поверхности малы. Резание материалов, обладающих хорошей обрабатываемостью, характеризуется легким отделением стружки.

В соответствии с рис. 2.1 определяем, что для стали 5 коэффициент относительной обрабатываемости $K_V = 1$. Откладываем это значение по оси абсцисс диаграммы, показанной на рис. 2.6. Находим, что показатель обрабатываемости материала составляет $K_{OM} = 0,56$. Но, мы видим, что коэффициент относительной обрабатываемости $K_V = 1$, так же соответствует стали марки стали 35 и стали 45. Следовательно, они обладают такой же обрабатываемостью, но стали марок 35 и 45 обладают более высокой прочностью, а так же намного лучше противостоят коррозии. Это значит, что в дальнейшем мы можем рассматривать вариант получения заготовки гайки из стали 35 или 45.

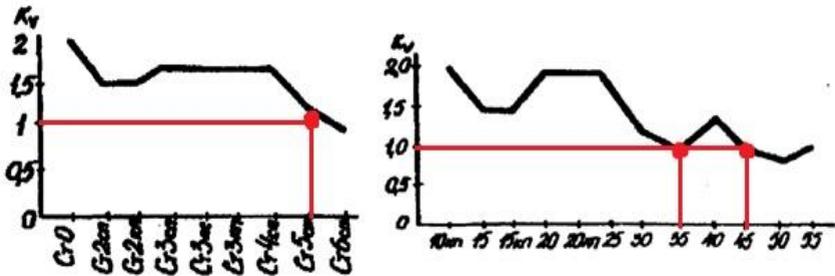


Рис. 2.1. Значения коэффициентов относительной обрабатываемости для сталей различных марок

Так как $K_{OM} = 0,56$ (рис. 2.2), то можно сказать, что материал обладает не достаточной обрабатываемостью, потому что показатель обрабатываемости должен быть близок к 1.

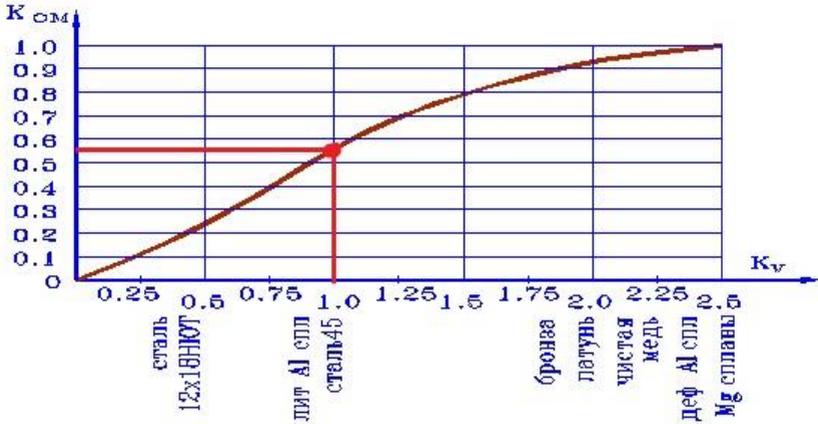


Рис. 2.2. Зависимость показателя обрабатываемости материала K_{OM} от коэффициента относительной обрабатываемости K_V

Для повышения коэффициента обрабатываемости, целесообразно увеличить работоспособность режущего инструмента, путем применения высокопроизводительных инструментальных материалов: твердых сплавов повышенной износостойкости марок ВК60М, ВК100М, а так же сплавов титановольфрамовой группы ТТ10К8, ТТ20К6; быстрорежущих сталей повышенной теплостойкости марок Р6М5К5, Р9М4К8, а так же полученных методом порошковой металлургии марок Р6М5Ф3-МП и Р6М5К5-МП и др.

Показатель сложности конструкции детали $K_{СЛ}$

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

$$K_{СЛ} = 0,25 \cdot (K_K + K_P + K_B + K_C),$$

где K_K, K_P, K_B, K_C – коэффициенты определяемые как:

$$K_i = 1 - A_i$$

причем A_i - поправки, численные значения которых приведены в табл.

2.1. Для определения коэффициента K_K необходимо разбить деталь

на элементарные поверхности и пронумеровать их, как показано на рис.2.3.

Таблица 2.1

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_r	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

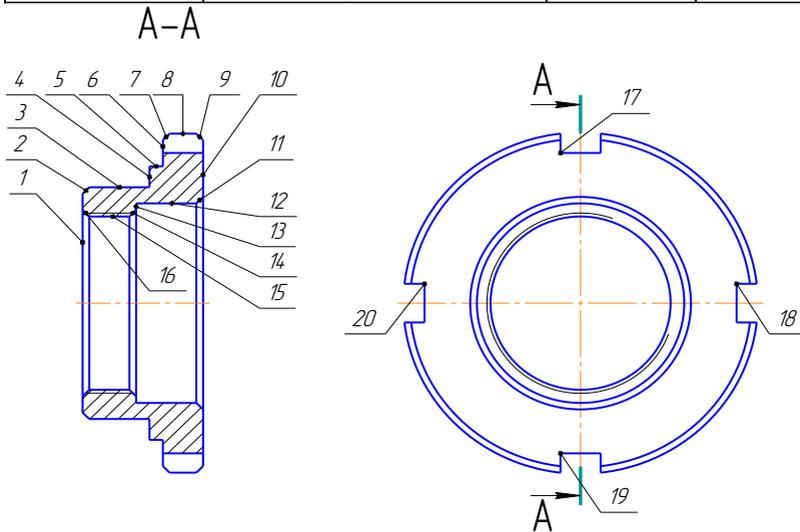


Рис. 2.3. Элементарные поверхности на рассматриваемой детали «гайка»

Затем заполняем таблицу 2.2. Номера поверхностей детали записываем в первую графу. Далее приводим 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 указываем наличие требований по точностям формы и взаимном расположении (дополнительные требования), а также (в примечаниях) её не технологичность и не унифицированность. Коэффициент K_K 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.

Таблица 2.2

Конструктивные параметры детали "гайка"

№. По в.	Форма	Ra мк м	IT	Раз-мер, мм	Вид обработки	Доп. требования	Примечание
1.	Плоскость	3,2	12	36	точение	нет	Т., У.
2.	Конус	-"	-"	2	-"	-"	-"
3.	Цилиндр	-"	-"	72	-"	-"	-"
4.	Плоскость	-"	10	20	-"	есть	Т., НУ.
5.	Цилиндр	-"	12	85	-"	нет	Т., У.
6.	Плоскость	-"	-"	12	-"	-"	-"
7.	Конус	-"	-"	2	-"	-"	-"
8.	Цилиндр	-"	-"	106	-"	есть	-"
9.	Конус	-"	-"	2	-"	нет	-"
10.	Плоскость	-"	-"	36	-"	-"	-"
11.	Конус	6,3	-"	2	-"	-"	-"
12.	Цилиндр	-"	-"	20	-"	-"	-"
13.	Плоскость	-"	-"	62	-"	-"	-"
14.	Конус	3,2	-"	2	-"	-"	-"
15.	Фасонная	-"	6	56	-"	-"	-"
16.	Конус	-"	12	2	-"	-"	-"
17.	Фасонная	-"	-"	12	фрезерование	-"	Т., НУ.
18.	Фасонная	-"	-"	-"	-"	-"	-"
19.	Фасонная	-"	-"	-"	-"	-"	-"
20.	Фасонная	-"	-"	-"	-"	-"	-"

Поверхности 2-5,7 образованы одновременно одним инструментом – резцом; поверхности 8-10 образованы одновременно одним инструментом – резцом; поверхности 11-13 образованы одновременно одним инструментом – резцом; поверхности 14,16 образованы одновременно одним инструментом –резцом; поверхности 17-20 образованы одновременно одним инструментом –фрезой. Тогда количество учитываемых поверхностей равно 8, оно меньше 20, и следовательно $A_K = 0$. Коэффициент K_p учитывает общее количество заданных на чертеже данных по обеспечению требуемых точностей формы и взаимного расположения поверхностей в пределах 0,05 мм. К данной детали предъявлено 2 требования. Эти требования к поверхностям №10 и 15. Значит, $A_p = 0, 2$.

Коэффициент K_B учитывает количество различных видов обработки резанием (технологических операций). Так как для получения данной

детали необходимы точение и фрезерование - два вида обработки резанием, то есть ≤ 2 видов. Отсюда, $A_B = 0$.

Коэффициент K_C учитывает соответствия точности и шероховатости поверхностей детали некоторым оптимальным величинам, под которыми подразумеваются рекомендуемые в качестве экономичности и конструктивно обоснованные величины. Величина A , входящая в выражение, для этого коэффициента, определяется по формуле:

$$A = 0,1 \cdot \sum_{j=1}^N m_j,$$

где N - общее количество поверхностей детали, обрабатываемых резанием не грубее 10-го качества; m_j - количество зон, на которое параметр R_a для j -ой поверхности отстоит от оптимального сочетания на диаграмме, приведенной в табл. 2.3. Поверхность 4 согласно номинальному размеру (18-30 мм) и 10 качеству, должна попадать в зону 2 ($R_a=6,2$ мкм). К ней приложено требование по шероховатости $R_a=3,2$ мкм, то есть она попадает в 3 зону. Разница между зонами равна 1, значит $m_j = 1$ для $j=4$.

Поверхность 15 согласно номинальному размеру (50-80 мм) и 6 качеству должна попадать в зону 4 ($R_a=1,6$ мкм). К ней приложено требование по шероховатости $R_a=3,2$ мкм, то есть она попадают в 3 зону. Разница между зонами равна 1, значит $m_j = 1$ для $j=15$.

Итак:

$$A = 0,1 \cdot \sum_{j=1}^N m_j = 0,1 \cdot (1 \cdot 1 + 1 \cdot 1) = 0,1 \cdot 2 = 0,2$$

$$K_K = 1 - A_K = 1 - 0 = 1$$

$$K_P = 1 - A_P = 1 - 0,2 = 0,8$$

Следовательно:

$$K_B = 1 - A_B = 1 - 0 = 1$$

$$K_C = 1 - A_C = 1 - 0,2 = 0,8$$

Все необходимые коэффициенты известны. Найдем показатель сложности:

$$K_{СЛ} = 0,25 \cdot (K_K + K_P + K_B + K_C) = 0,25 \cdot (1 + 0,8 + 1 + 0,8) = 0,9$$

Данный показатель говорит о том, что деталь не сложная, так как коэффициент близок к 1.

Таблица 2.3

Оптимальные соотношения параметров поверхности

Квалитет	Поля допусков		Параметры шероховатости Ra для поверхностей с номинальными размерами, мм							
	Вал	Отв	До 18	18-30	30-50	50-80	80-120	120-180	180-250	
6	h6	H6	Ra=0.8 мкм	Ra=1.6мкм						
7	f7 h7	H7 Js7 K7 N7 P7		Зона 5	Зона 4			Ra=3.2мкм		
8	e8 h8	F8 H8			Зона 3					
9	d9 h9	E9 H9								
10	d10 h10	H10	Ra=6.2мкм Зона 2					Ra=12.5мкм Зона 1		

Увеличить данный коэффициент считаю нецелесообразным, так как для его увеличения придется: снижать количество повышенных требований, что приведет к неточности формы и взаимному расположению поверхностей; изменять величину шероховатости поверхностей, что приведет к несоответствию техническим условиям, предъявляемым к детали.

Коэффициент точности и шероховатости поверхности детали

$$K_{ПОВ}$$

Необходимо определить показатель точности и шероховатости поверхностей детали. Этот показатель определяется по табл. 2.4.

Численные значения коэффициента точности и шероховатости поверхностей детали

№ зоны в табл. 2.3	Шероховатость поверхности Ra, мкм.								
	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05
1	1.0	0.95	0.9	0.85	0.80	0.75	0.7	0.65	0.6
2	X	0.9	0.85	0.80	0.75	0.7	0.65	0.6	0.55
3	X	X	0.8	0.75	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5
4	X	X	X	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5	0.45
5	X	X	X	X	0.6	0.55	0.5	0.45	0.4

Поверхности 4 по номинальному размеру и качеству попадает в зону 2, а её шероховатость задана как Ra=3,2 мкм. При таком сочетании параметров она попадает в невыделенную клетку (табл. 2.4). Следовательно, поверхность 4 является нестандартной (неунифицированной), $K_{ПОВ} = 0,85$. Поверхность 15 по номинальному размеру и качеству попадает в зону 4, а её шероховатость задана как Ra=3,2 мкм. Такое сочетание параметров является ошибочным, соответствующее уменьшение технологичности учитывается коэффициентом Kс. Так как поверхность 10 является последней, имеющей наивысшую точность, то поиск показателя $K_{ПОВ}$ заканчивается. Согласно данным, приведенным в методическом указании [3] в качестве показателя $K_{ПОВ}$ принимается наименьшее значение из полученных для всех поверхностей. Следовательно, $K_{ПОВ} = 0,85$.

Показатель унификации элементов $K_{уэ}$

Требуется определить показатель унификации элементов детали. К унифицированным элементам относятся такие элементы, которые изготавливаются стандартным режущим инструментом и не требуют применения специальной оснастки (оправок, планшайб, кондукторов и д.р.). Информацию об унификации элементов можно посмотреть в табл. 2.2. Расчет показателя производится по формуле:

$$K_{уэ} = \frac{N_{уэ}}{N_э} - 0,1 \cdot n,$$

где $N_{уэ} = 15$ - количество унифицированных конструктивных элементов; $N_э = 20$ - общее количество конструктивных элементов в детали; $n = 5$ - количество неунифицированных элементов.

$$K_{v\text{э}} = \frac{N_{v\text{э}}}{N_{\text{э}}} - 0,1 \cdot n = \frac{15}{20} - 0,1 \cdot 5 = 0,25$$

Показатель унификации элементов низок. Необходимо предложить мероприятия по его повышению. В данной детали к неунифицированным относятся поверхности 4, 17, 18, 19 и 20, так как для их обработки требуется специальная оснастка, изготовление которой требует значительных затрат. Получим и обработаем эти поверхности на универсальном оборудовании с применением стандартной оснастки, что нам даст увеличение показателя унификации. Тогда количество унифицированных поверхностей $N_{v\text{э}} = 20$, а количество неунифицированных элементов $n = 0$. Рассчитаем показатель унификации:

$$K_{v\text{э}} = \frac{N_{v\text{э}}}{N_{\text{э}}} - 0,1 \cdot n = \frac{20}{20} - 0,1 \cdot 0 = 1$$

Показатель $K_{v\text{э}} = 1$, что свидетельствует о полной унификации данного изделия.

Показатель использования материала $K_{\text{ИМ}}$

Необходимо определить коэффициент использования материала $K_{\text{ИМ}}$. Этот коэффициент определяется по соотношению:

$$K_{\text{ИМ}} = \frac{M_{\text{д}}}{M_{\text{з}}},$$

где $M_{\text{д}}$ – масса детали; $M_{\text{з}}$ – масса заготовки;

Заготовкой для данной детали является штучная штампованная заготовка. Масса заготовки и масса готовой детали были вычислены в программе КОМПАС – 3D V15.1 - $M_{\text{д}} = 0,83$, $M_{\text{з}} = 1,23$. Тогда коэффициент использования материала равен:

$$K_{\text{ИМ}} = \frac{M_{\text{д}}}{M_{\text{з}}} = \frac{0,83}{1,23} = 0,67$$

Для повышения величины коэффициента, можно предложить изменение материала заготовки или новый способ её получения.

Комплексный показатель технологичности

После того, как были рассчитаны все частные показатели технологичности конструкции изделия, мы можем определить комплексный показатель технологичности K_T :

$$K_T = \frac{K_{ом} \cdot \varphi_{ом} + K_{сл} \cdot \varphi_{сл} + K_{пов} \cdot \varphi_{пов} + K_{уз} \cdot \varphi_{уз} + K_{им} \cdot \varphi_{им}}{\varphi_{ом} + \varphi_{сл} + \varphi_{пов} + \varphi_{уз} + \varphi_{им}} =$$

$$= \frac{0,56 \cdot 0,8 + 0,9 \cdot 0,7 + 0,85 \cdot 0,6 + 0,25 \cdot 0,7 + 0,67 \cdot 1}{0,8 + 0,7 + 0,6 + 0,7 + 1} = 0,64$$

Вычисленный показатель не соответствует нормативному значению комплексного показателя технологичности приведенного в приложении 4. Необходимо его повысить. После проведения мероприятий по повышению коэффициентов унификации необходимо пересчитать комплексный показатель технологичности:

$$K_T = \frac{K_{ом} \cdot \varphi_{ом} + K_{сл} \cdot \varphi_{сл} + K_{пов} \cdot \varphi_{пов} + K_{уз} \cdot \varphi_{уз} + K_{им} \cdot \varphi_{им}}{\varphi_{ом} + \varphi_{сл} + \varphi_{пов} + \varphi_{уз} + \varphi_{им}} =$$

$$= \frac{0,56 \cdot 0,8 + 0,9 \cdot 0,7 + 0,85 \cdot 0,6 + 1 \cdot 0,7 + 0,67 \cdot 1}{0,8 + 0,7 + 0,6 + 0,7 + 1} = 0,77$$

Из расчета видно, что показатель соответствует нормативному значению комплексного показателя технологичности (табл. 2.5).

Таблица 2.5

Нормативные значения комплексных показателей технологичности $[K]$

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

2.3.3. Анализ конструкции детали методом конечных элементов

Для улучшения ТКИ возможно изменение конструкции детали. Поэтому в данном разделе требуется оценить напряженно-деформированное состояние, как для исходной конструкции детали, так и измененной по результатам анализа ТКИ.

При этом необходимо выполнение следующих основных этапов:

- разработка расчетной схемы;
- наложение сетки конечных элементов;
- назначение граничных условий и действующей рабочей нагрузки;
- анализ полученных напряжений и деформаций в узлах детали;

-выводы по возможному изменению конструкции детали.

В данном разделе может быть также оценена возможность замены материала для изготовления детали.

В выводах должны найти отражения по допустимости получаемых напряжений и деформаций и необходимости внесения изменений в конструкцию детали.

Раздел 2.3 завершается общими выводами, сформированными с учетом выводом по подпунктам 2.3.1 – 2.3.3.

Пример: Необходимо провести анализ конструкции изделия на предмет деформаций и перемещений, проверить способность детали выдержать условия ее эксплуатации, предложить варианты по ее улучшению. Выполним расчет в САЕ модуле NX-7,5. На изделие была наложена 3D тетраэдральная сетка типа SETRA 10 с размерами элементов 5 мм. (рис. 2.4). После чего к детали были применены: нагрузка по торцу ступени в виде силы равной 100 Н. Резьбовое отверстие было использовано для закрепления детали (рис.1.2).

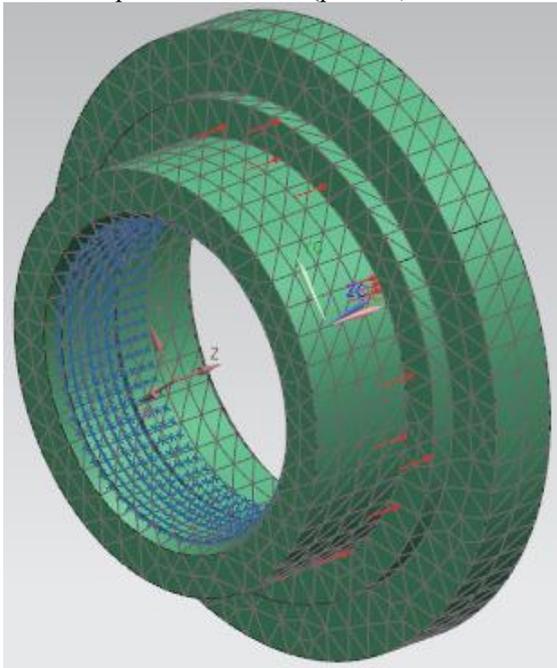


Рис. 2.4. Наложение нагрузки и ограничений

Результатами расчетов являются узловые перемещения и напряжения по элементам:

а)

б)

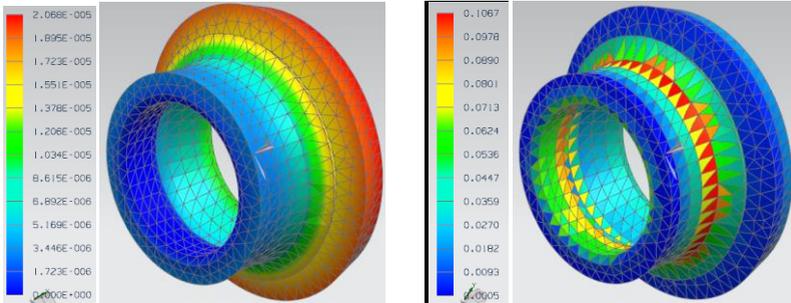
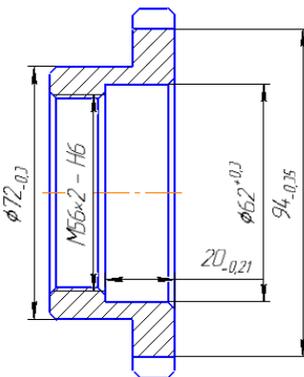


Рис. 2.5. Результаты расчета: а - узловые перемещения; б - напряжения по элементам;

На рис. 2.5 видно, что базовая конструкция выдерживает предъявленные к ней требования, т.к. величина напряжений и перемещений не велика. Предложим варианты по улучшению базовой конструкции (рис. 2.6).

а)



б)

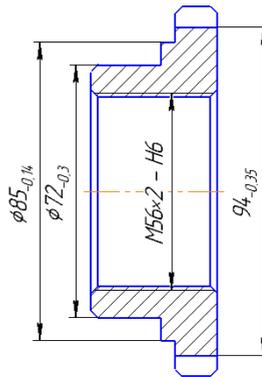


Рис. 2.6. Проектные варианты улучшения конструкции.

а) конструкция без ступени для установки кожуха;

б) конструкция с увеличенной длиной резьбы;

Проверку осуществляем как и в предыдущем случае и, далее, оцениваем полученные результаты.

Анализируя полученные результаты расчета (рис. 2.7), можно сделать вывод о том, что все варианты конструкции изделия обеспечивают допустимые напряжения и перемещения, однако, конструкция проектных вариантов более подвержены напряжениям по углам и перемещениям по элементам, что не может не сказаться на надежности работы, как детали так и всего механизма в целом. Исходя из анализа, для дальнейшего проектирования оставляем базовый вариант конструкции изделия.

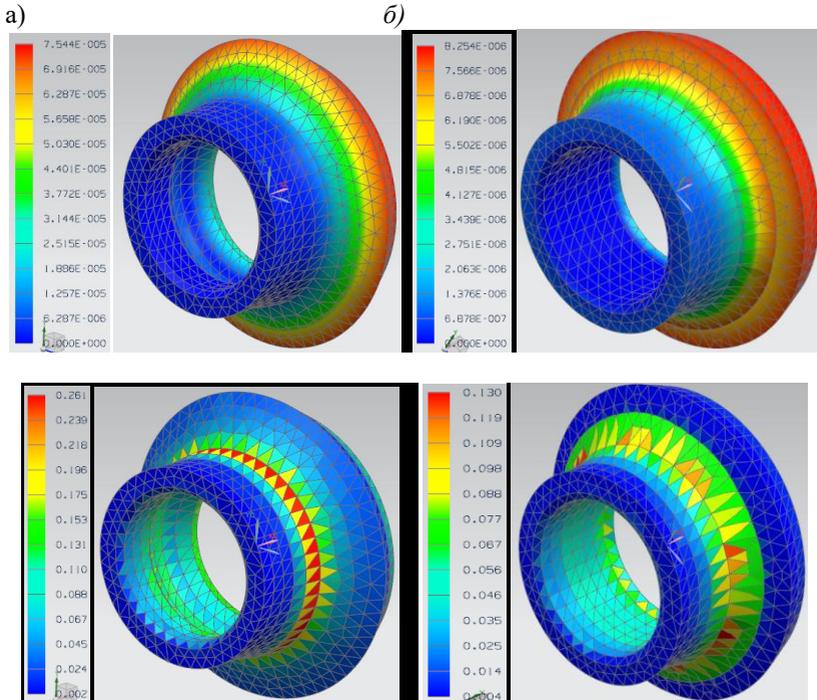


Рис. 2.7. Результаты проверки проектных вариантов конструкции изделия: а - конструкция без ступени; б - конструкция с увеличенной длиной резьбы.

2.4. Анализ существующего технологического процесса

Существующий технологический процесс-аналог должен подвергаться глубокому анализу с целью выяснения недостатков, выявления системы мероприятий которые позволят повысить эффективность технологического процесса и постановки задач на последующее проектирование. При проведении анализа должны найти отражение следующие элементы:

а) анализ метода получения заготовки. Он должен предполагать проверку на соответствие метода получения заготовки данному масштабу производства, её соответствие чертежу по размерам, припусков на обработку и технических условий;

б) анализ базирования. Он должен предполагать проверку правильности назначения технологических баз на всех операциях, соблюдение принципа единства и постоянства баз;

в) анализ последовательности операций для достижения заданной точности. Он должен предполагать проверку на обеспечение выбранными способами обработки поверхностей заданной точности размеров,

формы, взаимного расположения и шероховатости поверхностей;

г) анализ применяемого оборудования. Он должен предполагать проверку на соответствие оборудования требованиям данной операции по точности, габаритным размерам рабочей зоны, производительности (прогрессивным режимам резания) и т.п.;

д) анализ применяемых приспособлений, режущего и измерительного инструмента. Он должен предполагать проверку на соответствие приспособлений применяемым станкам, габаритным размерам и конфигурации устанавливаемых заготовок. Проверка правильности выбора режущего инструмента должна предполагать оценку соответствия материала режущей части данным условиям обработки, соответствие типоразмера доступности для обработки задаваемых поверхностей, соответствие присоединительным размерам станка или вспомогательного инструмента. Проверка правильности выбора измерительного инструмента должна предполагать возможность измерения указанных размеров и оценку точности измерительного средства с допуском контролируемого параметра.

Выводы по разделу должны содержать перечень задач, которые были сформированы на основании анализа существующего технологического процесса с целью повышения его эффективности.

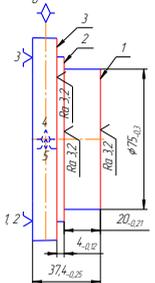
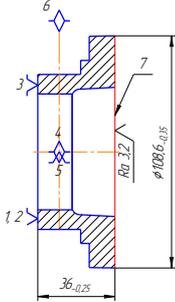
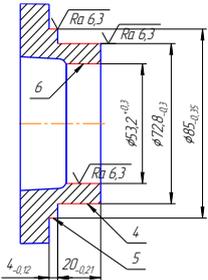
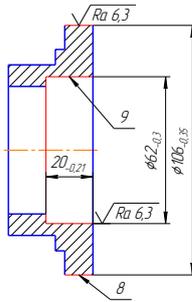
Пример: Базовый технологический процесс изготовления гайки 25.002 (табл. 2.6) разработан для условий среднесерийного производства и требуется выполнить его анализ.

Анализ метода получения заготовки. Базовым вариантом получения заготовки гайки является штучная штампованная заготовка, выполненная на кривошипном горячештамповочном прессе (КГШП) с точностью Т3-М1-С2 ГОСТ 7505–89. По табл. 22 [5] для условий серийных и массовых производств, при получении заготовок массой до 100 кг рекомендуются методы пластической деформации. При классе точности Т3 рекомендуется штамповка в закрытых штампах с использованием КГШП, что соответствует условиям проектируемого технологического процесса. Для тех же условий производства также допускается получение заготовок штамповкой на КГШП в открытом штампе.

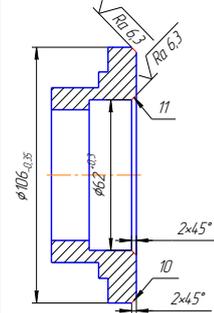
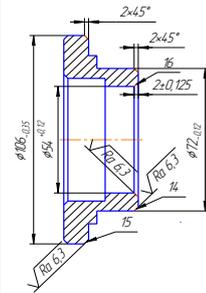
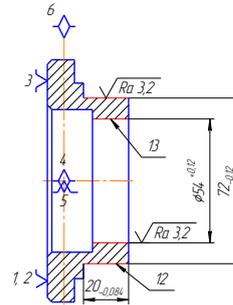
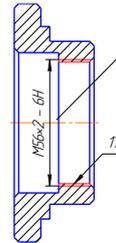
Размеры заготовки соответствуют размерам детали. Чтобы проверить правильность назначения припусков и допусков, вначале необходимо проверить указанную точность заготовки. Согласно с.96-97 [4] сталь 5, имея среднюю массовую долю углерода до 0,35% и суммарную массовую долю легирующих элементов до 2,0%, должна относиться к группе сталей М1, что соответствует указанной на чертеже заготовки.

Таблица 2.6

Базовый технологический процесс изготовления гайки 25.002

№ опер	Наименование и содержание операции	Эскиз, базирование	Оборудование, инструмент, приспособления
1	2	3	4
005	<p>Токарная. <i>Установ I.</i> Установить заготовку, закрепить. <i>Переход 1.</i> Подрезать торец 1. <i>Переход 2.</i> Подрезать торец 2. <i>Переход 3.</i> Подрезать торец 3. <i>Переход 4.</i> Точить поверхность 4. <i>Переход 5.</i> Точить поверхность 5. <i>Переход 6.</i> Расточить отверстие 6. <i>Установ II.</i> Переустановить заготовку, закрепить. <i>Переход 7.</i> Подрезать торец 7. <i>Переход 8.</i> Точить поверхность 8. <i>Переход 9.</i> Расточить отверстие 9. <i>Переход 10.</i> Точить фаску 10. <i>Переход 11.</i> Точить фаску 11. <i>Установ III.</i></p>	<p><i>Установ I. Переход 1 - 3.</i></p>  <p><i>Установ II. Переход 7.</i></p>  <p><i>Переход 4-6.</i></p>  <p><i>Переход 8-9.</i></p> 	<p>Полуавтомат токарно-револьверный одношпиндельный патронный, модели 1П140П. <i>Установ I.</i> Патрон 7102-0060 ГОСТ 24351-80. <i>Переход 1 - 3.</i> Резец 2103-0007 Т30К4 ГОСТ 18880-73. <i>Переход 4-6.</i> Резец 2101-0567 Р6М5 ГОСТ 18870-73. Резец 2101-0025 Р6М5 ГОСТ 18870-73. <i>Установ II.</i> Патрон 7102-0060 ГОСТ 24351-80. <i>Переход 7.</i> Резец 2103-0007 Т30К4 ГОСТ 18880-73. <i>Переход 8-9.</i> Резец 2101-0567 Р6М5 ГОСТ 18870-73. Резец 2101-0025 Р6М5 ГОСТ 18870-73. <i>Переход 10-11.</i> Резец 2141-0058 Т30К4 ГОСТ 18883-73. Резец 2101-0567 Р6М5 ГОСТ</p>

Переустановить заготовку,
закрепить.
Переход 12.
Точить поверхность 12.
Переход 13.
Расточить отверстие 13.
Переход 14.
Точить фаску 14.
Переход 15.
Точить фаску 15.
Переход 16.
Точить фаску 16.
Переход 17.
Нарезать резьбу М56 2-6Н.

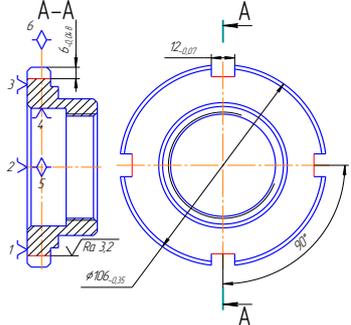
Переход 10-11.*Переход 15-16.**Установ III. Переход 12-13.**Переход 17.*

18870-73.

Установ III.

Патрон 7102-0060 ГОСТ 24351-80.

*Переход 12-13.*Резец 2101-0567 P6M5 ГОСТ
18870-73.Резец 2101-0025 P6M5 ГОСТ
18870-73.*Переход 14-16.*Резец 2141-0058 T30K4 ГОСТ
18883-73.Резец 2101-0567 P6M5 ГОСТ
18870-73.*Переход 17.*Резец 2662-0005 T15K6
ГОСТ 18883-73.

010	<p>Фрезерная: <i>Установ 1.</i> Установить заготовку, закрепить. <i>Позиция 1-4.</i> Фрезеровать 4 паза согласно эскизу.</p>	<p><i>Установ 1 Позиция 1-4</i></p> 	<p>Фрезерная: Горизонтально-фрезерный станок мод. 6Р82Г. <i>Установ 1.</i> Оправка специальная. Делительное устройство. <i>Позиция 1-4.</i> Фреза 2250-0004 ГОСТ 3964-69. Оправка 6224-029 ГОСТ 15070-75.</p>
-----	--	---	--

Степень сложности заготовки определяется по формуле: G_n/G_ϕ , где G_n – масса поковки; G_ϕ – масса геометрической фигуры, в которую вписывается форма поковки. В данном случае фигурой, описывающей форму поковки, является цилиндр. Его размеры определяются путем умножения соответствующих размеров детали на коэффициент 1,05. С учетом этого масса цилиндра составит:

$$G_\phi = V_\phi \cdot \rho = (\pi(1,05 \cdot r)^2 \cdot 1,05 \cdot l) \cdot \rho = (3,14(1,05 \cdot 5,43)^2 \cdot 1,05 \cdot 3,88) \cdot 7,8 \cdot 10^{-3} = 3,24 \text{ кг.}$$

Таким образом, соотношение, определяющее степень сложности поковок будет равно:

$$\frac{G_n}{G_\phi} = \frac{1,23}{3,24} = 0,37.$$

В соответствии со с.97 [4] степень сложности поковки должна быть С2, что соответствует условиям чертежа.

По табл. 3.19 [4] для закрытой штамповки на КГШП класс точности составит Т3, что указано на чертеже заготовки.

По табл. 3.20 [4] для заготовки Т3-М1-С2 исходный индекс составляет 8, что не верно указано на чертеже и в дальнейшем будет исправлено.

Из-за ошибки величины исходного индекса, все размеры, отклонения и припуски, указанные на чертеже, являются не верными, в дальнейшем они требуют исправления и формирования нового чертежа заготовки.

В соответствии с [6] на чертеже должны быть указаны следующие технические требования: твердость материала заготовки, степень точности, исходный индекс, штамповочные уклоны, радиусы закруглений, возможные отклонения свойств материала. Проверим правильность их назначения. Штамповочные уклоны по табл. 18 ГОСТ 7505–89 для прессов с выталкивателями должны составлять 5° для наружных поверхностей и 7° – для внутренних, что не соответствует условиям на чертеже. По табл. 7 ГОСТ 7505–89 радиусы закруглений при массе заготовки от 1 до 6,3 кг и глубине ручья от 25 до 50 мм должны составлять не менее 2,5 мм, что отражено в технических требованиях чертежа заготовки. Аналогично проверим остальные технические требования. Все они назначены верно.

Анализ базирования. На операции 005 на первом установе в качестве технологических баз выбраны: наружная поверхность фланца (двойная направляющая база) и базовый торец (опорная технологическая база), на втором установе: наружная поверхность ступицы (двойная направляющая база) и противобазовый торец (опорная технологическая база), на третьем установе базирование происходит, как и на первом. Проверим правильность выбора технологических баз. На данной операции обработке подлежат все поверхности детали, кроме пазов под ключ.

Составим схему связей в явном и неявном виде между элементарными поверхностями для рассматриваемой операции (см. рис. 2.8):

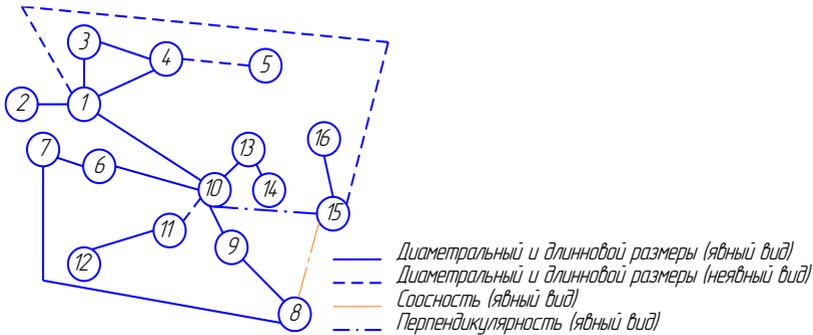


Рис. 2.8. Граф размерных связей детали «гайка»

Исходя из составленной схемы видно: у поверхностей 1 и 10 – наибольшее количество связей, они и будут являться основными технологическими базами, а 4 и 8 – вспомогательными. Таким образом данная операция требует переназначения технологических баз.

Анализ последовательности операций для достижения заданной точности. В технологическом процессе поверхность ступицы подвергается черновому, а за тем чистовому точению с целью достижения 12 качества и шероховатости $R_a=3,2$ мкм. Проверим правильность последовательности обработки. Согласно табл. 2.66 [2] черновое а за тем чистовое точение позволяет обеспечить 10 качество и шероховатость поверхности до $R_a=3,2$ мкм, таким образом, достигается требуемая точность и качество поверхности. Следовательно, дальнейшая обработка поверхности ступицы не требуется. Аналогично проверяем последовательность операций с целью достижения заданной точности для остальных поверхностей – все они выбраны верно.

Анализ применяемого оборудования. Для операции 005 в качестве оборудования выбран одношпиндельный токарно-револьверный полуавтомат модели 1П140П. На данной операции обработке подлежат все поверхности детали, кроме пазов под ключ. В соответствии с характеристикой станка, он позволяет выполнить работы, предусмотренные операцией 005. Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки для станка 1П140П – 125 мм, что позволяет установить для обработки заготовку гайки диаметром 108,6 мм. Класс точности станка – П, при этом достижимая точность лежит до 3 качества, что так же позволяет обеспечить заданную точность размеров. Однако данное оборудование предназначено для массового и серийного типов производства. Поэтому для условий проектируемого технологического процесса, для опе-

рации 005 необходимо выбрать другое оборудование. Аналогично проверяем правильность назначения оборудования на остальных операциях. Для остальных операций оборудование выбрано верно.

Анализ применяемых приспособлений, режущего и измерительного инструмента. В качестве приспособления на данном переходе используется токарный самоцентрирующийся трёхкулачковый патрон 7102–0060 ГОСТ 24351–80. Проверим правильность выбора приспособления. По табл.2 [7] трёхкулачковый патрон 7102–0060 предназначен для установки заготовок с базированием по наружной поверхности и торцу при наибольшем диаметре 125 мм. Таким образом, указанный типоразмер приспособления позволяет устанавливать и закреплять заготовку гайки диаметром 108,6 мм. Данный патрон относится к типу 1 и его можно установить на шпиндель станка 1П140П через переходный фланец. Однако, с учетом того, что операция 005 будет выполняться на другом оборудовании, в проектируемом технологическом процессе приспособление для операции 005 потребуется выбрать другое приспособление. Для остальных операций приспособления также выбрано верно.

В базовом технологическом процессе для операции 005 в качестве инструмента для нарезания резьбы в отверстии используется резец 2662–0005 Т15К6 ГОСТ 18883–73. Проверим правильность выбора режущего инструмента для данной операции. По табл. 12 [7] данный резец действительно является токарным резьбовым резцом для нарезания резьбы в отверстиях. В соответствии с табл. 3 [5] при точном точении при прерывистом резании углеродистых и легированных сталей в качестве материала режущего инструмента используются следующие марки твердых сплавов – Т30К7 и Т15К6. Материал используемого резца соответствует возможному. Резец имеет следующие параметры: сечение резца 16х16, длина державки 170 мм, шаг резьбы $P = 1,5\text{--}4$ мм и $D_{\text{наим}} = 30$ мм. Данные характеристики позволяют произвести назначенный способ обработки – нарезание резьбы $M56 \times 2\text{--}6H$. Однако, с учетом того, что операция 005 будет выполняться на другом оборудовании, в проектируемом технологическом процессе приспособление для операции 005 потребуется выбрать другой режущий инструмент.

В базовом технологическом процессе не указан измерительное инструмент, по этому, в ходе выполнения проекта, он будет выбран.

2.6. Выбор заготовки

2.6.1. Выбор способа получения заготовки

Заготовка – предмет производства, из которого изменением формы, размеров, точности и шероховатости поверхностей, физико-

механических свойств материала, изготавливают деталь. Выбрать заготовку – это значит установить рациональную форму и размеры, способ получения, допуски на изготовление, припуски на обрабатываемые поверхности, а также дополнительные технические требования и условия. Заготовку выбирают исходя из минимальной себестоимости готовой детали для заданного годового выпуска. Чем больше форма и размеры заготовки приближаются к форме и размерам готовой детали, тем дороже она в изготовлении, но тем проще и дешевле ее последующая механическая обработка и меньше расход материала. Задача решается минимизацией суммарных затрат средств на изготовление заготовки и ее последующую обработку. В поточно-массовом и серийном производстве стремятся приблизить конфигурацию заготовки к готовой детали, повысить точность размеров и качество поверхностей. При этом резко сокращается объем механической обработки, а коэффициент использования металла достигает величины 0,7–0,8 и более. В условиях мелкосерийного и единичного производства требования к конфигурации заготовки менее жесткие, а желательная величина коэффициента использования металла не менее 0,6. Следует учитывать, что руководящим положениям об экономии материалов, о создании безотходной и малоотходной технологии и интенсификации технологических процессов в машиностроении отвечает тенденция использования более точной и сложной заготовки. Для таких заготовок требуется более дорогая технологическая оснастка в заготовительном цехе, затраты на которую могут оправдать себя лишь при достаточно большом объеме годового выпуска заготовок. Для того чтобы применить точные горячештампованные заготовки в серийном производстве, предусматривают применение одной групповой (комплексной) заготовки для нескольких близких по конфигурации и размерам деталей. Применение прогрессивных заготовок со стабильными характеристиками качества является важным условием организации гибкого автоматизированного производства, требующего быстрой переналадки оборудования и оснастки. Способ получения заготовки устанавливают на основании чертежа детали в зависимости от материала, формы, размеров; требований к точности и шероховатости; результатов анализа технических условий и программы выпуска. От правильности выбора заготовки зависят затраты материалов на изделие, возможность построения наиболее рационального технологического процесса изготовления деталей и, в конечном счете, их себестоимость. Применение прогрессивных методов изготовления заготовки: литья по выплавляемым моделям, литья под давлением, точной штамповки, периодического проката, сварки заготовок из штампованных частей и других,

приводит к уменьшению расхода и стоимости материала, к сокращению расходов на механическую обработку, но одновременно к удорожанию самой заготовки.

При низкой точности размеров заготовок, увеличенных припусках, больших колебаниях твердости материала, плохом состоянии необработанных баз нарушается безотказность работы приспособлений, ухудшаются условия работы инструментов, снижается точность обработки, возрастают простои оборудования. В машиностроении в качестве заготовок наиболее часто употребляют отливки, поковки, заготовки, получаемые непосредственно из проката и с применением сварки, а также сварные комбинированные, металлокерамические и пр. Способ получения заготовки определяется следующими факторами:

- технологической характеристикой материала, его физико-механическими и физико-химическими свойствами, способностью термообработываться, пластически деформироваться, его литейными свойствами и др.;

- ее конструктивными формами и размерами;

- требованиями к точности выполнения размеров заготовки и качеству поверхностных слоев;

- величиной программы выпуска и сроками выполнения программы;

- техническими возможностями заготовительных цехов, в том числе сроками изготовления технологической оснастки: штампов, моделей, пресс-форм и пр.;

- наличием оборудования и желаемой степенью механизации и автоматизации процессов механической обработки;

- соображениями экономического характера и прочими факторами.

Каждому способу присущи определенные технические возможности по обеспечению точности форм и расположению поверхностей, по точности выполняемых размеров, по шероховатости и глубине дефектного слоя поверхностей; требования к допустимой толщине стенок, к величине литейных (штамповочных) радиусов и уклонов, к размерам и расположению получаемых отверстий и пр.

В [37] представлены основные способы изготовления отливок, их особенности и области применения; приведены так же основные способы горячей штамповки, характеристика получаемых заготовок, рекомендуемые припуски и допуски на заготовки.

Пример: С учетом недостатков, выявленных при анализе существующего способа получения заготовки, необходимо выбрать другой вариант ее получения. В соответствии требованиям по ГОСТ 11873-88, рекомендуется выполнять заготовку детали из стали 35Х ГОСТ 4543-71.

2.5.2. Выбор и расчет необходимых припусков на обработку

Припуски на обработку поверхностей устанавливают двумя методами: опытно-статистическим и расчетно-аналитическим [30, 37 и др.]. При опытно-статистическом методе общие и промежуточные припуски выбирают по таблицам, которые составлены на основании производственных данных передовых заводов. Недостаток этого метода заключается в том, что припуски назначаются без учета конкретных условий построения технологического процесса. Общие припуски назначаются без учета маршрута обработки данной поверхности, а промежуточные – без учета схемы установки заготовки и погрешностей предшествующей обработки. Величины припусков, выбранных по этому методу, во многих случаях оказываются завышенными. Расчетно-аналитический метод определения припусков на обработку промежуточных и исходных размеров заготовки разработан профессором В.М. Кованом. Величина промежуточного припуска по этому методу должна быть такой, чтобы при его снятии устранялись погрешности обработки и дефекты поверхностного слоя, которые возникли на предшествующих технологических переходах, а также погрешности установки обрабатываемой заготовки, возникающие на выполняемом переходе. Данный метод основан на учете конкретных условий обработки заготовки. При его использовании экономится материал и снижается трудоемкость механической обработки. Расчет величины припусков по такой методике студенты производят для одной из поверхностей детали. Для удобства расчет следует выполнять с оформлением соответствующей таблицы. Данные таблицы используют для построения графической схемы расположения общих и межоперационных припусков и допусков. Полученные значения припусков сравнивают с припусками, назначенными опытно-статистическим методом, и делают соответствующие выводы об их уменьшении или увеличении. Снижение необходимых припусков оказывает влияние на эффективность технологии.

Пример: Так как для фрезерной операции 010 нет необходимости в расчете припуска (припуск равен высоте фрезеруемого паза), то рассчитаем припуск для растачивания отверстия $\varnothing 62$ мм. Шероховатость поверхности составляет $Ra = 6,3$ мкм. На остальные обрабатываемые поверхности припуски назначены согласно таблицам ГОСТ 7505–74. Технологический маршрут обработки поверхности $\varnothing 62$ состоит из растачивания черногого. Записываем технологический маршрут обработки в расчетную табл. 2.7. В таблицу также записываем соответствующие заготовке и каждому технологическому переходу значения элементов припуска.

Таблица 2.7

Карта расчета припусков на обработку отверстия Ø62 мм.

Маршрут обработки	Элементы допуска, мкм				Расчетные размеры		Допуск на промежуточный размер, мкм	Предельные (округленные)			
	R _z	h	ρ	ε _z	2Z _{min} , мкм.	D _{min} , мм.		размеры заготовки, мм		значения припусков, мкм	
								D _{max} , мм.	D _{min} , мм.	2Z _{min} , мкм.	2Z _{max} , мкм.
Заготовка	150	200	500	-	-	59,136	1600	60,8	59,2	-	-
Растачивание черновое	40	50	1.2	110	1723,9	61,26	740	62	61,26	1724	2584
Общий припуск - 2Z _{общ}										1724	2584

Суммарное отклонение:

$$\rho = \sqrt{\rho_{см.}^2 + \rho_{кор.}^2},$$

где $\rho_{см.}$ – допускаемая величина смещения по поверхности разреза штампа, $\rho_{см.} = 0,5$ мм [5] табл.29; $\rho_{кор.}$ – величина коробления, которая рассчитывается по формуле:

$$\rho_{кор.} = \Delta_k \times L,$$

где Δ_k – удельная кривизна заготовки, для штампованных заготовок $\Delta_k = 0,7$ мкм. [13] табл. 4.8; L – длина обрабатываемой поверхности заготовки, L = 20 мм.

$$\rho_{кор.} = 0,7 \times 20 = 14 \text{ мкм.} \approx 0,014 \text{ мм.}$$

$$\rho = \sqrt{0,5^2 + 0,014^2} = 0,5 \text{ мм.} = 500 \text{ мкм.}$$

Остаточное пространственное отклонение:

– после чернового растачивания: $\rho = 0,06 \times 20 = 1,2$ мкм.

Значение R_z и T, характеризующие качество поверхности штампованных заготовок, составляет 150 мкм и 200 мкм [5] табл. 52. Для чернового растачивания R_z и T находим по [5] табл. 4.5 и записываем их в расчетную таблицу 2.5.

Погрешность установки ε_z определим по [5] табл. 4.11 и также запишем её в расчетную таблицу.

Расчет минимальных значений припусков производим, пользуясь формулой:

$$2Z_{i_{min}} = 2 \times \left(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right);$$

Минимальный припуск:

$$\text{– под черновое растачивание: } 2Z_{min.} = 2 \times (160 + 200 + \sqrt{500^2 + 110^2}) = 1723,9 \text{ мкм.}$$

Проведем проверку правильности выполненных расчетов:

$$2Z_{общ.маx.} = 2Z_{общ.мин.} + (T_{заг.} - T_{дет.}) = 1724 + (1600 - 740) = 2584 \text{ мкм.}$$

$$2Z_{общ.маx.} - 2Z_{общ.мин.} = 2584 - 1724 = 860 \text{ мкм.}$$

$$\Delta_{заг.} - \Delta_{дет.} = 1600 - 740 = 860 \text{ мкм.}$$

Составим схему расположения припусков и допусков (рис. 2.9).

Определим общий номинальный припуск:

$$2Z_{общ.} = 2Z_{общ.мин.} + (Es_{заг.} - Es_{дет.}) = 1724 + 120 = 1844 \text{ мкм.}$$

Номинальный диаметр отверстия в заготовке:

$$\Delta_{заг.} = \Delta_{дет.} - 2Z_{общ.} = 62 - 1,9 = 60,1 \text{ мм.}$$

Следовательно, на чертеже заготовки будет указан размер диаметра $60,1^{+0,5}_{-1,0}$.

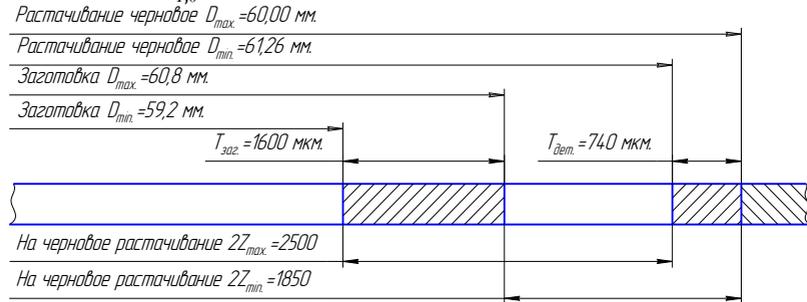


Рис. 2.9. Схема графического расположения припусков и допусков на обработку отверстия $\Phi 62$ мм.

Полученное значение припуска можно сравнить с табличным значением и на чертеж заготовки внести определенные изменения.

2.5.3. Проектирование чертежа заготовки

Чертеж исходной заготовки связывает работу заготовительного и механического цехов, являясь для первого чертежом готового изделия, а для второго – исходным документом для построения технологического процесса изготовления детали. Заготовки вычерчивают с необходимым количеством проекций, разрезов и сечений, обычно в том же масштабе, в котором был выполнен чертеж соответствующей детали. На каждую обрабатываемую поверхность устанавливают припуск, который принимают по таблицам Государственных стандартов или справочникам. При необходимости на ответственные и функциональные поверхности величину припуска определяют расчетно-аналитическим способом. Номинальные размеры заготовок получают суммированием (для отверстий вычитанием) номинальных размеров деталей с величиной принятого припуска. Предельные отклонения размеров устанавли-

вают исходя из достигаемой (экономической) точности получения заготовки принятым способом.

На чертежах заготовок обычно указывают основные технические требования, среди которых: твердость материала, состояние поверхностного слоя и способы устранения дефектов поверхностей, методы и степень очистки, допустимые погрешности формы и расположения поверхностей, номинальные значения и предельные отклонения технологических уклонов, радиусов и переходов, методы и качество предварительной обработки (обдирка, обрезка, правка, зацентровка) поверхности, принимаемые за черновые технологические базы, способы контроля и др. При изготовлении заготовок деталей из проката устанавливают его профиль, габаритные размеры и массу. Так как проектирование чертежа заготовки начинают с чертежа детали, то на его видах остаются контуры детали. Чертеж и технические требования должны содержать достаточно информации для разработки рабочей документации по изготовлению заготовок в заготовительных цехах. В реальных производственных условиях чертеж исходной заготовки может представлять собой результат совместной работы технологов заготовительного и механического цехов (иногда в этой работе принимают участие и конструктора, проектировавшие эти изделия).

На основании анализа существующего технологического процесса, студенты выбирают другой, более подходящий для условий проектируемого производства. Последовательность проектирования в данном разделе следующая:

- выбор и обоснование способа получения заготовки;
- установление необходимой точности для выбранной заготовки;
- выбор припусков и допусков на размеры поверхностей;
- формирование чертежа заготовки.

Анализ существующего и проектного вариантов должны предполагать ориентировочную оценку себестоимости получения заготовок. Для удобства и наглядности результаты расчетов обоих вариантов сводят в табл. 2.8. Безусловно, что кроме количественной оценки по определению себестоимости, студенты могут использовать и качественную оценку этих вариантов. В выводах должны найти отражение: принимаемый для последующего проектирования способ получения заготовки; результаты выбора и уточнения припусков; результаты сравнения вариантов по себестоимости.

Пример: Спроектируем чертеж заготовки. Для этого определим степень точности поковки и её исходный индекс. Средняя массовая доля углерода в стали 35Х составляет 0,35%, суммарная массовая доля легирующих элементов около 2%.

Результаты сравнения способов получения заготовки

Показатель	Вариант		Экономия (+) или перерасход(-)	
	существ	проект	на единицу	на программу
Вид заготовки				
Масса заготовки, кг				
Масса готовой детали, кг				
Коэффициент использования материала				
Стоимость мех. обработки, руб.				
Стоимость заготовки, руб.				
Технологическая себестоимость детали, руб.				

Согласно с.96-97 [4] эта сталь относится к группе М1. Степень сложности заготовки определяется по формуле: G_n/G_ϕ , где G_n – масса поковки; G_ϕ – масса геометрической фигуры, в которую вписывается форма поковки.

Расчетная масса поковки:

$$M_{п.р} = M_d \cdot K_p,$$

где M_d – масса детали, K_p – расчетный коэффициент.

По табл. 3.18 [4] принимаем $K_p = 1,5$, получаем:

$$M_{п.р} = 0,83 \cdot 1,3 = 1,1 \text{ кг.}$$

Фигурой, описывающей форму поковки, является цилиндр. Его размеры определяются путем умножения соответствующих размеров детали на коэффициент 1,05. С учетом этого масса цилиндра составит:

$$G_\phi = 3,24 \text{ кг.}$$

Соотношение, определяющее степень сложности поковки будет равно:

$$\frac{G_n}{G_\phi} = \frac{1,1}{3,24} = 0,33.$$

Следовательно, степень сложности поковки С2. Конфигурация поверхности разреза штампа плоская. Класс точности поковки принимаем по табл. 3.19 [4] в соответствии с выбранным методом получения заготовки – закрытая штамповка на КГПП – Т3. Согласно табл. 3.20 [4], исходный индекс – 8.

В соответствии с принятым классом точности поковки, определим припуск, допуск и допускаемые отклонения на размер $\phi 106$. По табл. 3.21 [4] припуск на размер в пределах 100–160 мм при исходном индексе 8 и требуемой шероховатости от 1,6 до 10 мкм будет равен 1,4 мм на сторону. Таким образом, номинальный размер с учетом припуска составит:

$$A = 106 + 2 \cdot 1,4 = 108,8 \text{ мм.}$$

Округляем полученное значение до 109 мм.

Допускаемые отклонения по табл. 3.25 [4] для диаметра 109 мм при исходном индексе 8 составят $\begin{matrix} +0,9 \\ -0,5 \end{matrix}$, а допуск, соответственно 1,4 мм.

Наносим на чертеж заготовки размер $\varnothing 109_{-0,5}^{+0,9}$.

Аналогично назначаем припуски, допуски и допускаемые отклонения на остальные размеры и вносим их на чертеж заготовки. Для этого составим табл. 2.9, по форме табл. 3.28 [4].

Таблица 2.9

Размеры поверхностей заготовки

Деталь		Заготовка				
Номинальный размер $A_{ид}$, мм	Качество R_a , мкм	Точность $TA_{из}$, мм	Припуск, мм		Номинальный размер	
			$\pm KZ_{oi}$	$\pm KZ_{ди}$	Расчетный	Проектный
$\varnothing 106$	6,3	$1,4 \begin{pmatrix} +0,9 \\ -0,5 \end{pmatrix}$	+2·1,4	–	$\varnothing 108,8$	$\varnothing 108,8$
$\varnothing 85$	6,3	$1,2 \begin{pmatrix} +0,8 \\ -0,4 \end{pmatrix}$	+2·1,3	–	$\varnothing 87,6$	$\varnothing 87,6$
$\varnothing 72$	3,2	$1,2 \begin{pmatrix} +0,8 \\ -0,4 \end{pmatrix}$	+2·1,3	–	$\varnothing 74,6$	$\varnothing 74,6$
$\varnothing 62$	6,3	$1,2 \begin{pmatrix} +0,8 \\ -0,4 \end{pmatrix}$	-2·1,3	–	$\varnothing 64,6$	$\varnothing 64,6$
$\varnothing 53,83$	3,2	$1,2 \begin{pmatrix} +0,8 \\ -0,4 \end{pmatrix}$	-2·1,3	–	$\varnothing 51,23$	$\varnothing 51,3$
36	3,2	$1,0 \begin{pmatrix} +0,7 \\ -0,3 \end{pmatrix}$	+2·1,1	+2·0,2	38,6	38,6
20	3,2	$1,0 \begin{pmatrix} +0,7 \\ -0,3 \end{pmatrix}$	+1,1	+0,2	21,3	21,3
16	3,2	$1,0 \begin{pmatrix} +0,7 \\ -0,3 \end{pmatrix}$	+2·1,1	+0,2	18,4	18,4
12	3,2	$1,0 \begin{pmatrix} +0,7 \\ -0,3 \end{pmatrix}$	+2·1,1	+0,2	14,4	14,4

По торцам поковки предусматривается отклонение от перпендикулярности, поэтому на них принимается дополнительный припуск по табл. 3.23 [4] – $Z_d = 0,2$ мм, что учитывается при расчете размера поковки по длине детали – 36 мм.

Дополнительный припуск – $Z_d = 0,2$ мм, учитывается при расчете размеров поковки на размеры – 20 мм, 16 мм и 12 мм, так как их положение определяется от правого торца.

С учетом размеров припусков, наносим на чертеж детали контуры поверхностей заготовки и наносим размеры с допустимыми отклонениями. С учетом того, где будет проходить линия разреза штампа, необходимо выбрать и нанести на чертеж штамповочные уклоны, а так же радиусы закруглений в местах перехода поверхностей. Для проектируемого варианта используем закрытый штамп, поверхность штампа – П (плоская) (табл. 3.17 [4]). Плоскость разреза штампа проходит по правому торцу поковки. Штампочные уклоны принимаем по табл. 18 ГОСТ 7505–89 для прессов с выталкивателями должны составлять 5°

для наружных поверхностей и 7° – для внутренних. Радиусы закруглений принимаем по табл. 7 ГОСТ 7505–89 2,5 мм. С учетом всех припусков масса заготовки составит 1 кг.

Рассчитаем себестоимость проектного варианта поковки по пункту 4.2 [4]:

$$S = (C_i / 1000 \cdot Q_1 \cdot k_T \cdot k_C \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_{\Pi}) - (Q - q) \cdot S_{\text{отх}} / 1000 \text{ руб.},$$

где C_i – базовая стоимость 1 тонны заготовок, руб., $C_i = 168$ руб.; k_T – коэффициент, зависящий от класса точности, $k_T = 1,03$; k_C – коэффициент, зависящий от группы сложности заготовок, $k_C = 0,87$; k_B – коэффициент, зависящий от массы заготовок, $k_B = 1,29$; k_M – коэффициент, зависящий от марки материала, $k_M = 1,18$; k_{Π} – коэффициент, зависящий от объема производства заготовок, $k_{\Pi} = 1,0$; $S_{\text{отх}}$ – цена 1 тонны отходов, руб., $S_{\text{отх}} = 27$ руб.; Q – масса заготовки на КГШП, $Q = 1$ кг; q – масса готовой детали, $q = 0,83$ кг.

$$S = \left(\frac{168}{1000} \cdot 1,03 \cdot 0,87 \cdot 1,29 \cdot 1,18 \cdot 1 \right) - (1 - 0,83) \cdot \frac{27}{1000} = 0,22 \text{ руб.}$$

Рассчитаем коэффициент использования материала для проектной заготовки:

$$\eta_M = q / Q = 0,83 / 1 = 0,83.$$

Для сравнения базового и проектного вариантов получения заготовок, сведем все основные показатели в табл. 2.10.

Таблица 2.10

Сравнение вариантов получения заготовки

Показатель	Вариант		Экономия (+), перерасход (-)	
	базовый	проектный	на единицу	на программу
Вид заготовки	Заготовка из стали 5	Заготовка из стали 35X	–	–
Масса заготовки, кг	1,23	1	+0,23	+2852
Масса готовой детали, кг	0,83	0,83	–	–
Коэффициент использования металла	0,674	0,83	–	–
Стоимость заготовки, руб.	0,53	0,22	+0,31	+3844

Значения для базового метода берем из базового проекта. Из табл. 2.10 видно, что у проектного варианта получения заготовки выше коэффициент использования материала и ниже себестоимость, чем у базового. Следовательно, для дальнейшего проектирования принимаем проектный вариант получения заготовки. Окончательно формируем чертеж заготовки (рис. 2.10)

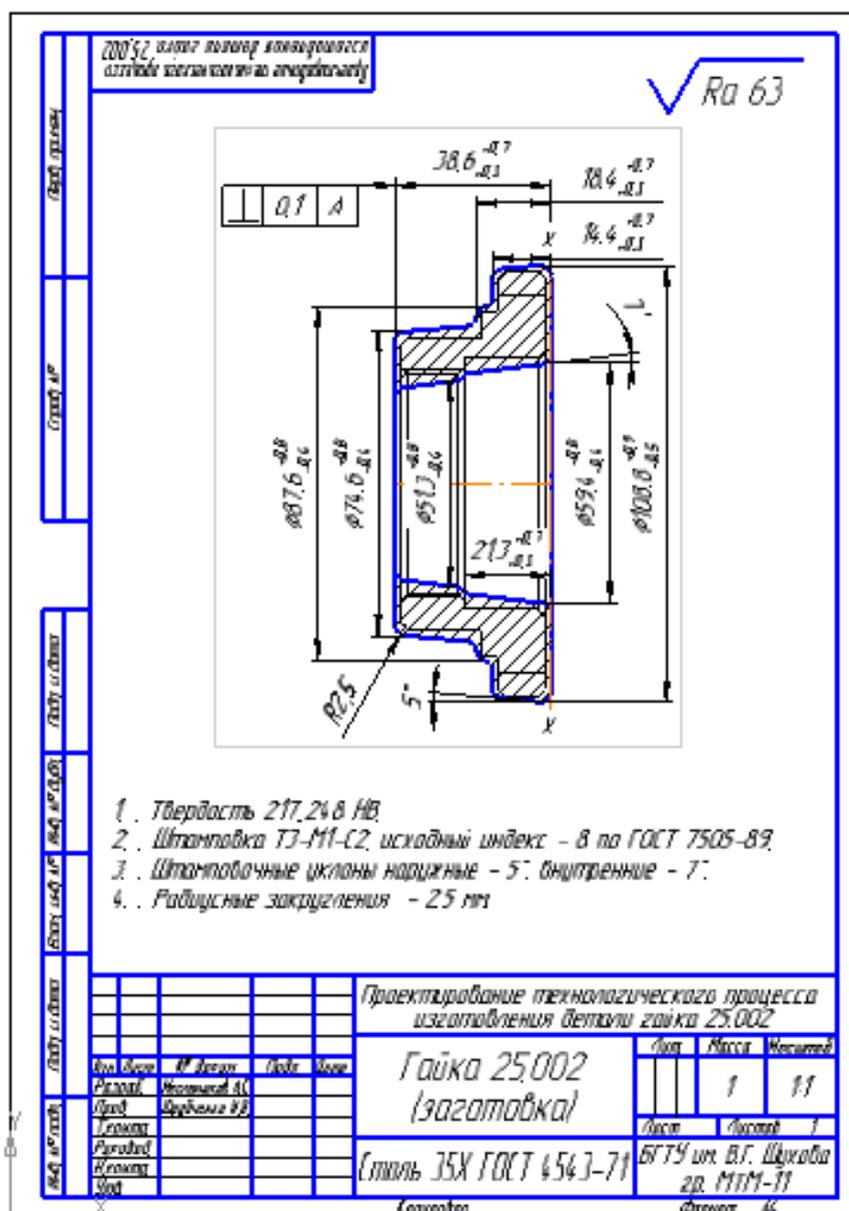


Рис. 2.10. Чертеж заготовки

2.6. Назначение технологических баз и их анализ

Одним из наиболее важных вопросов при разработке технологического процесса является вопрос о правильном базировании заготовки на станке для её обработки. От способа базирования во многом зависит точность и трудоемкость ее обработки. Данный вопрос рассматривается обычно одновременно с выбором методов обработки отдельных поверхностей и разработкой маршрута. Для первой операции при обработке заготовок на станке и в приспособлениях выбирают черновые базы, учитывая следующие требования:

- для деталей, у которых обрабатываются не все поверхности, в качестве черновой базы следуют принимать поверхности, остающиеся в черновом виде, т.е. не подлежащие обработке. В этом случае необработанные поверхности будут иметь наименьшие смещения относительно обработанных;
- при обработке всех поверхностей в качестве базующих следует принимать такие поверхности, которые имеют наименьшие припуски. В этом случае будет наибольшая гарантия, что не получится из-за недостатка припуска, на какой-либо обрабатываемой поверхности, так как поверхности с наименьшими припусками будут эквидистантами поверхностям, принятыми в качестве баз при дальнейшей обработке;
- черновые базы должны быть по возможности ровными и чистыми, без заусениц (при поковках) или литников и выпоров (при отливках);
- поверхности, принимаемые в качестве черновой базы, должны иметь минимальные смещения относительно других поверхностей, подлежащих обработке.

Для соблюдения этого условия полезно ознакомиться с процессом изготовления заготовки.

При выборе чистовых баз необходимо учитывать следующие требования:

- при точной обработке в качестве баз следует, по возможности, выбирать основные, т.е. поверхности, которыми определяется положение данной детали при работе её в машине. Базирование по основным базам обеспечивает минимальную погрешность обработки, потому что её положение будет одинаковым как при обработке, так и при работе в машине;
- в качестве баз при точной обработке следует выбирать те поверхности, от которых заданы размеры, определяющие положение данной обрабатываемой поверхности. В этом случае погрешность установки будет равна нулю. Если же по конфигурации детали или

другим причинам это невозможно, то может быть принята в качестве установочной базы другая поверхность, но с обязательным условием, чтобы получающаяся при этом погрешность базирования была значительно меньше величины допуска на размер, определяющего положение данной обрабатываемой поверхности.

- базы необходимо выбирать так, чтобы обеспечивалась наименьшая деформация детали от усилий резания и зажима, которым подвергаются детали при обработке. Для этого базирующие поверхности должны иметь достаточную протяженность и располагаться, возможно, ближе к обрабатываемым поверхностям.

- при выборе баз необходимо учитывать также условия возможно большей простоты и дешевизны изготовления приспособления, а также удобство установки детали и её закрепления.

При изготовлении точных деталей важное значение имеет соблюдение условия постоянства баз, заключающееся в том, что все операции по обработке точных поверхностей должны производиться при установке на одни и те же базирующие поверхности.

Выбор технологических баз осуществляют на основании анализа существующего технологического процесса. При этом рекомендуется следующая последовательность:

- определить, какая поверхность (поверхности) подлежат обработке на данном станове;
- выявить размерные связи (линейные размеры, параллельность, перпендикулярность и т. п.), которые должна иметь обрабатываемая поверхность (поверхности) с другими поверхностями заготовки;
- установить, какие поверхности, линии или точки, являются измерительными базами для выявленных размерных связей;
- используя принцип совмещения баз эти поверхности, линии или точки и следует назначить как технологические базы. При этом следует учитывать размеры и конфигурацию поверхностей, избираемых для базирования, а также возможность обеспечения при этом соответствующих размерных связей;
- если совместить технологические базы с измерительными оказывается невозможным, то избирают в качестве технологических баз другие поверхности. При этом возникает погрешность базирования, эту величину следует вычислить и оценить ее допустимость для данной схемы обработки.

Одним из принципов базирования, оказывающих влияние на эффективность технологии, является принцип единства (совмещения технологических баз с конструкторскими и измерительными). Поэтому,

чтобы детально проанализировать размерные связи и установить положение измерительных и конструкторских баз, можно рекомендовать построение графа размерных связей.

В выводах должны найти отражения по изменению схем базирования и получаемым результатам.

Пример: В соответствии с п. 2.5 для операции 005 необходимо выбрать технологические базы.

На втором установе данной операции, обработке подлежит поверхность отверстия гайки $\varnothing 54^{+0,12}$. Эта поверхность имеет следующие размерные связи с другими поверхностями:

- концентричность с наружной поверхностью фланца;
- перпендикулярность базовому торцу.

На чертеже эти связи заданы в явном виде.

Измерительными базами для этих размерных связей соответственно являются: ось наружной поверхности фланца и поверхность базового торца. Следовательно, их и необходимо назначить в качестве технологических баз. Учитывая конфигурацию поверхностей и их размеры, назначаем базовый торец в качестве опорной технологической базы, а наружную поверхность фланца в качестве двойной направляющей технологической базы (рис. 2.11).

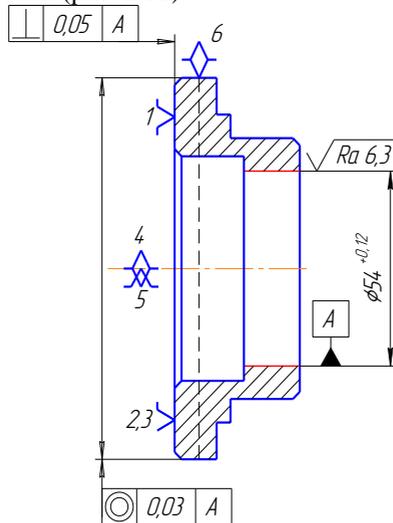


Рис. 2.11. Технологические базы для обработки отверстия $\varnothing 54^{+0,12}$.

При такой схеме базирования для заготовки определено положение относительно всех трех осей координат x , y и z , а так же поворот относительно оси y . Неопределенность положения по повороту относи-

тельно осей x и z существенного значения на обеспечение ранее выявленных размерных связей при обработке не оказывает. Кроме того, заготовка будет лишаться оставшейся степени свободы при закреплении.

Аналогично назначаем технологические базы на другие установки операции 005.

2.7. Выбор способов обработки поверхностей и их анализ

Так как получить заданную точность поверхностей деталей только заготовительными операциями в большинстве случаев не удастся, то назначенный припуск последовательно срезают с поверхностью заготовок, тем самым последовательно повышая их точность и уменьшая шероховатость, доводят до заданных значений. Таким образом, требуемая точность и шероховатость отдельных поверхностей формируют в результате последовательного применения нескольких методов обработки.

Каждая деталь может быть представлена в виде сочетания элементарных поверхностей, таких, как плоскости, цилиндры, конусы, торы, а также более сложных фигурных поверхностей, например винтовых, шлицевых, зубчатых и пр. В результате многолетней практики установлены наиболее рациональные типовые способы механической обработки для каждой элементарной поверхности. Выбор того или иного способа определяется комплексом факторов, среди которых учитывают: конфигурацию, габаритные размеры, материал и массу деталей, объем выпуска, принятый тип и форму организации производства; оборудование и оснастку, имеющиеся в распоряжении и др. К главным факторам также относят точность, производительность и рентабельность каждого способа. Например, получить плоскую поверхность небольшой площади с примерно одинаковым качеством на детали из чугуна можно: цилиндрическим и торцовым фрезерованием; строганием, точением и протягиванием; плоским и ленточным шлифованием; шабрением и т.д. Выбор способа тесно связан еще и со стадией процесса обработки. Обдирочная, черновая, предварительная (промежуточная), чистовая и окончательная (отделочная, тонкая) обработки одной и той же поверхности чаще выполняются разными способами, например черновое и чистовое зенкерование отверстия, а затем его развертывание или шлифование.

Исходными данными для составления последовательности обработки отдельных поверхностей служат чертежи и технические требования к деталям и заготовкам, а также существующие технические возможности и организационные условия. Выбор методов обработки

для определенной поверхности можно разделить на три основных этапа:

- в соответствии с требованиями к точности размеров и качеству поверхностей, указанным на чертеже детали, с учетом размера, массы и формы детали назначают окончательный, последний метод обработки, обеспечивающий заданные требования;
- в соответствии с точностью размеров и качеством поверхностей, указанным на чертеже заготовки, назначают первый метод обработки;
- в соответствии с назначенными первым и последним методами обработки при необходимости назначают промежуточные. При этом придерживаются следующего правила: каждый последующий способ обработки должен быть точнее предыдущего. Это значит, что каждая очередная операция, переход или рабочий ход должны выполняться с меньшим технологическим допуском, обеспечивать повышение качества и снижение шероховатости обрабатываемой поверхности.

При определении количества промежуточных операций исходят из технологических возможностей выбираемых методов обработки с точки зрения, достигаемых экономической точности и шероховатости. Технологический допуск на промежуточный размер и качество поверхности, полученные на предшествующем этапе обработки, должны находиться в пределах, которые позволяют использовать намеченный последующий метод обработки. На последующую операцию рекомендуется принимать технологический допуск в 2–4 раза меньше предыдущего. Кроме обеспечения точности размеров и формы поверхностей, очень важно обеспечить также точность взаимного расположения поверхностей. Нельзя, например, после сверления производить чистовое развертывание, т.к. в результате сверления не удастся получить необходимую точность положения оси отверстия, а последующее развертывание не позволит устранить эту погрешность. Поэтому, сначала нужно после сверления выполнить зенкерование или растачивание, что позволит исправить положение оси формируемого отверстия, а затем уже выполнить его развертывание, что позволит достичь заданной точности размера, формы и шероховатости поверхности. Число возможных вариантов маршрута обработки какой-либо поверхности может быть значительным. Некоторые ограничения на их выбор могут оказывать такие факты, как необходимость обработки данной поверхности совместно с другой; низкая жесткость заготовки, препятствующая применению высокопроизводительных методов и др.

На практике при выборе методов обработки руководствуются рекомендациями таблиц средней экономической точности различных способов обработки, публикуемых в справочной и технической литературе по машиностроению.

В выводах по разделу должны найти отражение факторы, которые позволили выбрать рациональные способы обработки.

Пример: В соответствии с пунктом 2.5 необходимо выбрать методы обработки поверхностей гайки, с целью достижения 12 квалитета и шероховатости поверхности $R_a = 3,2$ мкм.

Для получения поверхности гайки по табл. 2.66 [2] выберем черновое а за тем чистовое точение как наиболее производительный способ. При этом достигается 10 квалитет и шероховатость поверхности до $R_a = 3,2$ мкм. Аналогично выбираем методы обработки остальных поверхностей и с их учетом разрабатываем технологический маршрут.

2.8. Разработка технологического маршрута

Цель разработки технологического маршрута – обеспечение наиболее рационального процесса обработки детали заданной точности и качества. В маршруте обработки указывают содержание и последовательность выполнения операций.

Современные способы механической обработки, большое разнообразие станков, получение заготовок точными методами, позволяют создавать различные варианты технологии, обеспечивающие выполнение всех требований чертежа, но при этом из всех вариантов необходимо выбирать наиболее эффективный и рентабельный. В курсовой работе сравнение вариантов производят по технологической себестоимости. Намечая технологический маршрут, обычно придерживаются следующих правил:

а) с целью ускорения технологической подготовки производства используют типовые и групповые технологические процессы обработки деталей;

б) не проектируют по возможности обработку на уникальных станках;

в) используют по возможности стандартный режущий и измерительный инструмент и приспособления;

г) стремятся применять наиболее современные формы организации производства: непрерывные и групповые поточные линии, групповые наладки на отдельных станках;

д) проектируют обработку наибольшего количества поверхностей данной детали с одного установка (единичное и мелкосерийное производство) и т. п.

Маршрут обработки разрабатывают, руководствуясь известными

ранее данными, а именно: методом получения заготовки, объемом производственной программы, тактом выпуска, намеченным оборудованием, требованиями к точности и шероховатости поверхностей, принципом единства баз. При этом рекомендуется следующая последовательность:

- на первых (одной – двух) операциях при базировании по черновым базам обрабатывают поверхности, служащие в дальнейшем технологическими базами;
- затем обрабатывают те поверхности, с которых снимается наибольший слой металла, что позволяет своевременно обнаружить и устранить внутренние дефекты, не допуская дальнейшей обработки бракованных заготовок;
- выполняют операции формообразования детали в последовательности, обратной степени их точности;
- осуществляют операции местной обработки на ранее обработанных поверхностях: фрезеруют канавки и лыски, нарезают резьбу и зубья, сверлят отверстия и т.д.;
- заканчивают обработку теми поверхностями, которые являются наиболее точными и наиболее важными для нормального функционирования детали;
- обработку легкоповреждаемых поверхностей (например, наружных резьб) рекомендуется выносить в конец маршрута;
- вспомогательные операции, такие как сверление мелких отверстий, прорезка канавок и галтелей, снятие фасок, зачистка заусенцев и тому подобное выполняют на стадии чистовой обработки;
- отделочные операции, такие, как шлифование, хонингование, притирка и прочие, делают в последнюю очередь, обычно после термической, химико-термической и других немеханических операций, разделяющих весь технологический процесс на отдельные части;
- технический контроль проводят после тех операций, на которых выше вероятность брака, после сложных дорогостоящих операций, после законченного цикла, а также в конце изготовления детали.

Такая последовательность обработки в общем случае объясняется следующими соображениями:

- выполнение черновых операций, в начале обработки позволяет своевременно выявить брак (раковины и другие дефекты материала);
- вынесение отделочной обработки в конец обеспечивает заданную точность и исключает повреждения окончательно обработанных поверхностей, устраняет погрешности, вызываемые деформациями

технологической системы от сил резания, сил закрепления, нагрева, перераспределения остаточных напряжений.

Указанная последовательность соблюдается не всегда и зависит от многих частных условий, например, отсутствует термообработка детали, требуется низкая точность, принимается принцип концентрации операций и т.п.

Разрабатывая маршрут (план) обработки, одновременно производят предварительную наметку операций технологического процесса без подробной проработки их содержания (эскизный вариант маршрута). Рекомендуется при разработке операций на данном этапе ограничиться эскизами, выполненными от руки, на которых указать поверхности, подлежащие обработке, выделяя их красными (или жирными) линиями, без нанесения размеров. Кроме того, указывают установочные базы, по возможности совмещающие их с конструкторскими и измерительными, и требующееся оборудование.

При выборе станков учитывают следующие соображения:

а) возможность обеспечения точности, чистоты обработки и всех прочих технических требований: необходимо ориентироваться по экономической точности и шероховатости, характерной для данного вида обработки;

б) соответствие размеров рабочей зоны станка габаритным размерам обрабатываемой детали; использование станков больших размеров, чем это необходимо, нецелесообразно;

в) соответствие мощности, жесткости и кинематических возможностей станка наивыгоднейшим режимам обработки. Для черновых операций необходимо подбирать станки большей мощности, для чистовых – наиболее важным факторам является быстроходность;

г) соответствие производительности станка заданной программе.

При оценке эффективности вариантов технологических маршрутов следует учитывать, что при малой производительности для выполнения операции может потребоваться несколько станков, что повлечет за собой соответственно увеличение количества рабочих, приспособлений, инструментов, транспортных средств. С другой стороны, чрезмерно производительный станок не будет полностью загружен по времени. В выводах должны найти отражение факторы, подтверждающие эффективность варианта технологического маршрута.

Пример: Для дальнейшего проектирования необходимо разработать технологический маршрут механической обработки гайки 25.002 для условий среднесерийного производства.

С учетом результатов анализа базового технологического процесса и пунктов 2.5, 2.7 и 2.8 составим укрупненный технологический маршрут обработки гайки (табл. 2.11).

Для снятия наибольшего припуска, выявления дефектов, получения комплекта технологических баз и получения заданных параметров по точности размеров и качеству поверхностей, на первой операции назначим черновое, а за тем чистовое точение.

После первой операции нам остается получить пазы под ключ, по этому на второй операции будет производиться фрезерование.

Завершающей операцией назначим гальваническую, в ходе которой на деталь наносится защитное фосфатное покрытие.

Таким образом, технологический маршрут будет включать в себя 2 основные механические операции.

2.9. Выбор оборудования

Тип оборудования (станка) должен обеспечивать: точность обработки, заданное качество поверхностей и выполнение других технических требований к изготавливаемой детали; производительность обработки, обеспечивающую заданную программу выпуска в условиях принятого типа производства (в поточном производстве с учетом такта выпуска); наименьшую технологическую себестоимость детали, т.е. максимальную экономичность и эффективность. При выборе варианта станка учитывают:

- соответствие основных размеров рабочей зоны станка размерам обрабатываемых заготовок или нескольких одновременно обрабатываемых заготовок;

- соответствие производительности станка количеству деталей, подлежащих изготовлению в заданный период времени;

- возможность работы на оптимальных режимах резания, при которых загрузка станка по мощности должна быть не менее 80%, а по времени работы – 60–90%;

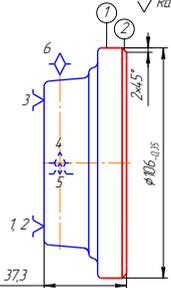
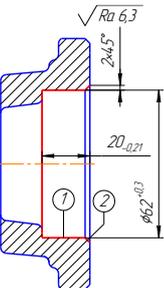
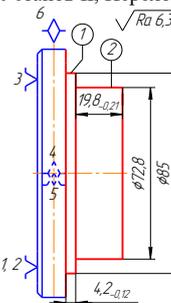
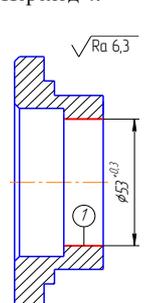
- возможность обработки детали или партии деталей за минимальное время с минимальной себестоимостью;

- наличие станка в цехе или реальную возможность его приобретения по минимальной отпускной цене.

При высокой степени концентрации операции выбирают многосуппортные или многшпindelные станки. Решающим фактором при выборе того или другого станка является экономичность процесса обработки. Результаты экономичности должны быть представлены в виде отношений основных времен, штучных времен и приведенных затрат на выполнение работ различными методами. Лучшим вариантом считают тот, значения показателей которого минимальны.

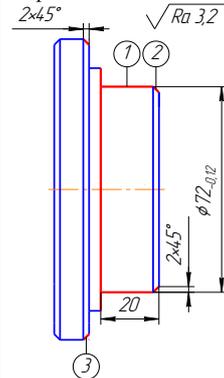
Таблица 2.11

Технологический маршрут изготовления гайки

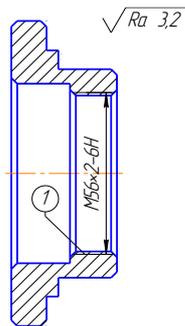
№ опер.	Наименование и содержание операции	Технологический эскиз обработки	Оборудование и оснастка	Режимы обработки
1	2	3	4	5
005	<p>Токарная</p> <p><i>Установ I.</i> Установить заготовку, закрепить.</p> <p><i>Переход 1.</i> Точить поверхность 1 и фаску 2 с подрезкой торца.</p> <p><i>Переход 2.</i> Расточить отверстие 1 и фаску 2.</p> <p><i>Установ II.</i> Переустановить заготовку, закрепить.</p> <p><i>Переход 3.</i> Точить поверхность 1 и 2 с подрезкой торцов.</p> <p><i>Переход 4.</i> Расточить отверстие 1, согласно чертежу.</p>	<p><i>Установ I, Переход 1.</i> $\sqrt{Ra\ 6,3}$</p>  <p><i>Переход 2.</i> $\sqrt{Ra\ 6,3}$</p>  <p><i>Установ II, Переход 3.</i> $\sqrt{Ra\ 6,3}$</p>  <p><i>Переход 4.</i> $\sqrt{Ra\ 6,3}$</p> 	<p>Токарный станок с ЧПУ модели 16А20Ф3</p> <p><i>Установ I.</i> Патрон 7102-0070 ГОСТ 24351-80</p> <p><i>Переход 1</i> Резец 2103-0672 ГОСТ 20872-80.</p> <p><i>Переход 2</i> Резец 2140-0651 Т15К6 ГОСТ 20874-75.</p> <p><i>Установ II.</i> Патрон 7102-0070 ГОСТ 24351-80</p> <p><i>Переход 3</i> Резец 2103-0672 ГОСТ 20872-80.</p>	<p><i>Переход 1:</i> S=0,5 мм/об. n=475 об/мин. V=107 м/мин.</p> <p><i>Переход 2:</i> S=0,34 мм/об. n=340 об/мин. V=64 м/мин.</p> <p><i>Переход 3:</i> S=0,5 мм/об. n=475 об/мин. V=107 м/мин.</p>

Переход 5.
Точить поверхность 1,
фаску 2 и 3 с подрезкой
торца.
Переход 6.
Расточить отверстие 1,
фаску 2 и 3.
Переход 7.
Нарезать резьбу 1, со-
гласно чертежу.

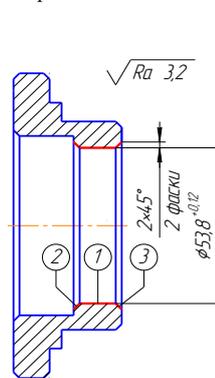
Переход 5.



Переход 7.



Переход 6.



Переход 4.
Резец 2140-0651 Т15К6
ГОСТ 20874-75.

Переход 5.
Резец 2103-0672 ГОСТ
20872-80.

Переход 6.
Резец 2140-0651 Т15К6
ГОСТ 20874-75.

Переход 7.
Резец 2662-0005 Т15К6
ГОСТ 18883-73. Штан-
гельциркуль ШЦ-1258-
0,01 ГОСТ 166-89.

Угломеры с нониусом
ГОСТ 5378-88.

Образцы шероховатости
ГОСТ 9378-93
Колибр-пробка ГОСТ
2016-86

Переход 4:
S=0,34 мм/об.
n=340 об/мин.
V=64 м/мин.

Переход 5:
S=0,2 мм/об.
n=100 об/мин.
V=40 м/мин.

Переход 6:
S=0,2 мм/об.
n=100 об/мин.
V=50 м/мин.

Переход 7:
S=0,35 мм/об.
n=400 об/мин.
V=140 м/мин.

010	<p>Фрезерная. Установить заготовку, закрепить. Позиция 1-4 Фрезеровать пазы 1, 2, 3 и 4.</p>		<p>Горизонтально- фрезерный станок модели 6P82Г. Оправка 6224-029 ГОСТ 15070-75. Фреза 2250-0004 ГОСТ 3964-69. Штангельциркуль ШЦ- 1258-0,01 ГОСТ 166-89. Угломеры с нониусом ГОСТ 5378-88. Образцы шероховатости ГОСТ 9378-93.</p>	<p>Позиция 1-4: $t=6$ мм. $S=0,042$ мм/об. $n=100$ об/мин. $V=30,1$ м/мин.</p>
-----	--	--	---	--

При выборе варианта оборудования учитывают также максимальное сокращение срока окупаемости затрат на механизацию и автоматизацию. По сведениям проф. А. А. Маталина, размер экономически целесообразной партии заготовок, при которой следует переводить их обработку с токарного станка на револьверный, составляет 5–25 шт., с револьверного станка на одношпиндельный автомат – 150–700 шт. и на многошпиндельный автомат с одношпиндельного – от 150 шт. заготовок и выше. Имеет значение также масса и конфигурация заготовки, степень концентрации операции и другие факторы.

Более сложным является вопрос об экономичности применения станков с ЧПУ. При обработке специальных заготовок особо сложной конфигурации целесообразность применения таких станков не вызывает сомнений, несмотря на их высокую стоимость. При обработке обычных деталей машиностроения использование станков с ЧПУ взамен токарных, револьверных, фрезерных, расточных и других в каждом отдельном случае должно быть обосновано тщательным экономическим анализом. В условиях крупносерийного и массового производства часто представляется целесообразным выполнение операции на специальном станке. В таких случаях должно быть разработано задание на его проектирование. Одновременно должны учитываться возможности изготовления такого станка на самом предприятии или размещение заказа на специализированном заводе (например, на заводе агрегатных станков и т.п.). При выборе станков необходимо указать критерии для их выбора и дать сравнительную оценку вариантов. Выбор станка приводится в записке эскиз его рабочей зоны и техническая характеристика.

Пример: В соответствии с пунктом 2.5 для операции 005 необходимо выбрать другое оборудование. На этой операции производится токарная обработка всех поверхностей заготовки. При этом должны обеспечиваться линейные размеры: $20_{-0,21}$, $36_{-0,25}$, $20_{-0,084}$, $12_{-0,18}$ и диаметральные: $\varnothing 106_{-0,35}$, $\varnothing 85_{-0,14}$, $\varnothing 72_{-0,3}$, $\varnothing 62^{+0,3}$, $M56 \times 2-N6$. Точность получаемых размеров не превышает 10-го качества. Наибольший диаметр заготовки – 108,8 мм. Этим требованиям наиболее полно соответствует токарный станок с ЧПУ 16A20Ф3, так как это оборудование характерно для серийных производств и является универсальным. Эскиз рабочей зоны приведен на рис. 2.12. В соответствии с характеристикой, он предназначен для обработки наружных и внутренних поверхностей деталей типа тел вращения со ступенчатым и криволинейным профилем различной сложности в полуавтоматическом режиме. Станок способен производить подрезку, продольное и поперечное точение, сверление, зенкерование, развертывание, растачивание,

т.е. имеет возможность осуществить переходы операции 005. Наибольший диаметр устанавливаемого над суппортом изделия – 200 мм, что позволяет обрабатывать заготовку на данном станке.

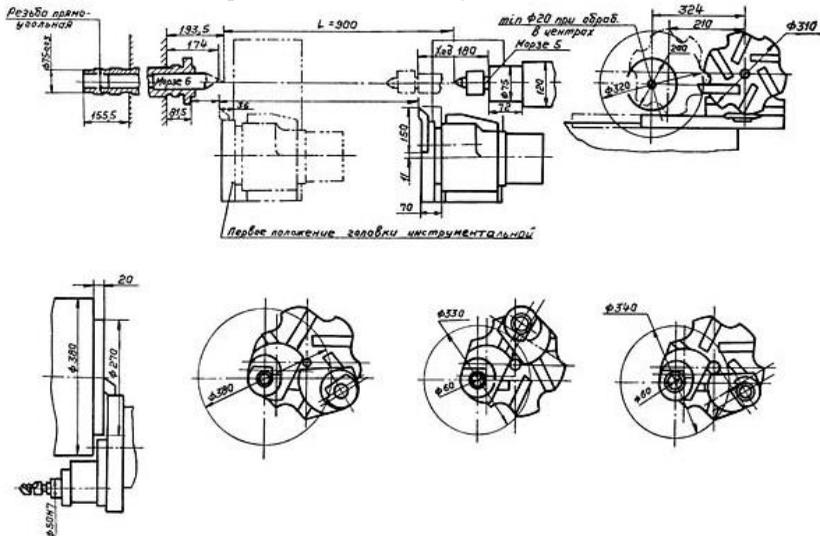


Рис. 2.12. Рабочей зоны станка 16A20Ф3 с шестипозиционной головкой. Станок относится к нормальным по классу точности, следовательно, пригоден для черновой и чистовой обработки заготовок с достижением точности размеров по 10-му качеству.

В табл. 2.12 приведены основные технические характеристики выбранного станка.

Таблица 2.12

Основные технические характеристики токарного станка с ЧПУ мод. 16A20Ф3

Наибольший диаметр изделия, устанавливаемого над станиной	500 мм	
Наибольший диаметр обрабатываемого изделия	над станиной	320 мм
	над суппортом	200 мм
Наибольшая длина обрабатываемого изделия при 6-позиционной головке	900 мм	
Диаметр цилиндрического отверстия в шпинделе	55 мм	
Наибольший ход суппорта	поперечный	210 мм
	продольный	905 мм
Максимальная рекомендуемая скорость рабочей подачи	продольной	2000 мм/мин
	поперечной	1000 мм/мин
Дискретность задания перемещения	0,001 мм	
Пределы частот вращения шпинделя	20–2500 мин ⁻¹	
Количество позиций инструментальной головки	8 (6; 12)	
Мощность главного привода	11 кВт	

Для остальных операций оборудование может быть использовано таким же, как и в базовом технологическом процессе.

2.10. Выбор режущего и вспомогательного инструмента

Режущий и вспомогательный инструмент выбирают по каталогам и сборникам стандартов [17, 28, 37]. Он должен позволить реализацию принятого метода обработки на выбранном типе оборудования, обеспечивая при этом требуемую точность и шероховатость поверхностей детали при наиболее рациональных и производительных режимах обработки. На финишных операциях широко применяют алмазный металлокерамический инструмент; для предварительной и промежуточной обработки лучше подходит твердосплавный; при заниженных режимах резания, для обработки фасонных поверхностей и выполнения ручных работ инструмент изготавливают из инструментальных и углеродистых сталей. В условиях крупносерийного и массового производства бывает целесообразно использование комбинированного или специального высокопроизводительного инструмента.

Выбор режущего инструмента осуществляют в следующей последовательности:

- в зависимости от материала и состояния обрабатываемой поверхности, выбирают материал режущей части;
- в зависимости от выбранных способов обработки и конфигурации обрабатываемых поверхностей, выбирают тип инструмента;
- в зависимости от присоединительных размеров станка или вспомогательного инструмента выбирают типоразмер инструмента;
- записывают код и ГОСТ выбранного инструмента и дают его основную характеристику.

При выборе рационального режущего инструмента следует учитывать факторы, которые могут существенно повлиять на эффективность технологического процесса: период стойкости, удельный износ и геометрия инструмента. Значения этих параметров и должны найти отражения в выводах к разделу. Например, выбирая проходной упорный резец с углом $\varphi=90^\circ$, вместо проходного резца с другим значением угла, можно существенно снизить величину радиальной составляющей силы резания, а, следовательно, снизить величину отжатий в технологической системе и, тем самым, повысить точность обработки.

В зависимости от конструкции станка и самого режущего инструмента иногда возникает необходимость в применении вспомогательного инструмента. Сравнивая присоединительные размеры станка и режущего инструмента, выбирают необходимые типы и размеры вспомогательного инструмента.

Пример: В составе операции 005 производится токарная обработка наружных поверхностей, резьбовых и центровых отверстий, кольцевой канавки на станке с ЧПУ. Необходимо выбрать режущий, вспомогательный и измерительный инструменты для оснащения этой операции. По табл. 3, с.116 [7] для полустачного точения по необработанной поверхности заготовки из конструкционной углеродистой качественной стали, без корки, в качестве материала режущей части инструмента рекомендуются твердые сплавы Т5К10, Т5К12, ВК8В и ВК8. Выбираем Т5К10, т.к. он наиболее соответствует указанным условиям и имеет наименьшую стоимость.

На оборудовании с ЧПУ возможна обработка поверхности по контуру, следовательно, в качестве режущего инструмента для подрезки торцов и точения наружной поверхности необходимо выбрать резец для контурного точения. По табл. 22, с.264 [8] выбираем правый резец 2103-0672 ГОСТ 20872-80 с режущей пластиной 01114-1600312 – для обработки наружных поверхностей, торцов. Этот резец имеет сечение 20 × 20 и длину 125 мм, следовательно, он может быть установлен в резцедержателе станка.

Так как револьверная головка станка 16А20Ф30 предусматривает непосредственную установку токарных резцов, то вспомогательный инструмент для них не требуется.

В соответствии с пунктом 2.5 для операции 005 необходимо выбрать измерительный инструмент для контроля линейных, диаметральных размеров и резьбы М56х2-6Н.

В качестве измерительного инструмента используются штангенциркуль ШЦ-1258-0,01 ГОСТ 166-89 и резьбовой калибр ГОСТ 2016-86.

Аналогично назначаем режущий, вспомогательный и измерительный инструмент на остальные операции.

2.11. Выбор приспособлений

Для расширения технологических возможностей станка технологические операции могут оснащаться станочными приспособлениями. Использование приспособлений способствует повышению производительности и точности обработки, строгой регламентации длительности выполняемых операций, повышению безопасности работы и снижению аварийности.

В условиях крупносерийного и массового производства чаще применяют механизированные, высокопроизводительные не переналаживаемые специальные приспособления (НСП). При серийном выпуске изделий экономически целесообразнее применять универсальную стандартизированную оснастку многократного применения (такую как системы универсально-сборных (УСП) и сборно-разборных (СПП)

приспособлений) или быстропереналаживаемую оснастку (например, универсально-наладочные (УНП) и универсально-сборные переналаживаемые (УСПО) приспособления), в том числе для групповой обработки. Для выбора станочного приспособления в качестве исходных данных необходимо иметь: присоединительные размеры и габариты рабочей зоны станка, схему базирования заготовки и структуру технологической операции.

Факторами для выбора эффективного приспособления могут быть: простота конструкции, его стандартное исполнение, быстродействие, обеспечение стабильности силы закрепления и др.

В выводах по разделу необходимо указать факторы, по которым был выполнен выбор приспособления.

Пример: В соответствии с пунктом 2.5 для оснащения операции 005 необходимо выбрать станочное приспособление. На этой операции производится черновое, черновое точение и растачивание и нарезание резьбы. Учитывая схемы базирования, в качестве приспособления следует выбрать токарный самоцентрирующий патрон с механизированным зажимом. Кулачки должны иметь специальную расточку, чтобы обеспечить базирование по торцу (установочная технологическая база).

Конец шпинделя станка 16А20Ф3 позволяет непосредственно устанавливать на него патроны диаметром до 400 мм. Исходя из этих характеристик по табл.2 с.183 [9] выбираем самоцентрирующий трехкулачковый патрон 7102-0070У ГОСТ 24351-80 с механизированным зажимом (рис. 2.13). Его размеры: $D = 120$ мм, H – не более 50 мм.

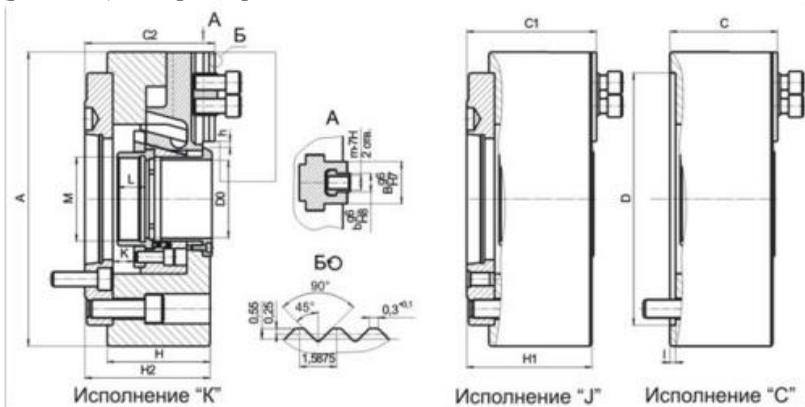


Рис. 2.13. Самоцентрирующий трехкулачковый патрон 7102-0070У ГОСТ 24351-80

Аналогично выбираем приспособления для оснащения остальных операций технологического процесса и сведения о них вносим в табл. 2.11.

2.12. Проектирование механических операций

Разработав маршрут, подобрав оборудование и оснастку, приступают к детальному проектированию основных технологических операций. При этом обращают особое внимание на сомнительные места, проверяя правильность принятых решений с помощью предварительных расчетов. Например, при анализе ранее намеченной в эскизном варианте операции, решают, не слишком ли сложна наладка станка или, наоборот, не слишком ли проста операция (мало переходов) и нельзя ли объединить её с другой малозагруженной операцией, с целью синхронизации операций по времени. В общем случае содержание операций устанавливают наличием необходимых установов и технологических переходов, которые могут быть выполнены на выбранном типе станка. В массовом производстве на содержание операции влияет длительность ее выполнения, которая должна быть равна или кратна такту. Многоместные, многоинструментальные операции с параллельной или параллельно-последовательной обработкой поверхностей, с непрерывной или раздельной загрузкой заготовок, значительно производительнее одностных, одно- и многоинструментальных с последовательной обработкой поверхностей. В то же время чрезмерная концентрация операций с использованием большого количества инструментов в наладке может привести к снижению общей производительности за счет простоев, связанных с частой заменой и подналадкой инструментов. Прорабатывая возможные варианты построения операций, стремятся добиться наибольшей производительности и экономичности. Это достигается путем сокращения основного и вспомогательного времени; совмещения технологических и вспомогательных переходов и рабочих ходов во времени и др. Только убедившись, что в плане правильно намечены поверхности, подлежащие обработке, правильно выбраны установочные базы и станок, приступают к подробной разработке операции и оформлению операционной карты. Проектируя технологическую операцию, назначают режимы резания, рассчитывают точность выполнения размеров и проверяют качество обработки функциональных поверхностей, наконец, проверяют правильность подбора оборудования и оснастки.

Пример: Разработав маршрут, подобрав оборудование и оснастку, приступаем к детальной проработке технологических операций. В общем случае содержание операций устанавливают наличием переходов, которые могут быть выполнены на выбранном типе станка. Рас-

смотрим подробно проектирование одной операции – фрезерной. Для этого используем ГОСТ 3.1702– 79 «Правила записи операций и переходов. Обработка резанием».

Название операции: фрезерная. Содержание операции: фрезеровать (последовательно) 4 паза, выдерживая ширину $B = 12$ мм, длину $l = 12$ мм и высоту $h = 6$ мм. Операция выполняется в один установ на горизонтально - фрезерном станке мод. 6Р82 (рис. 2.14).

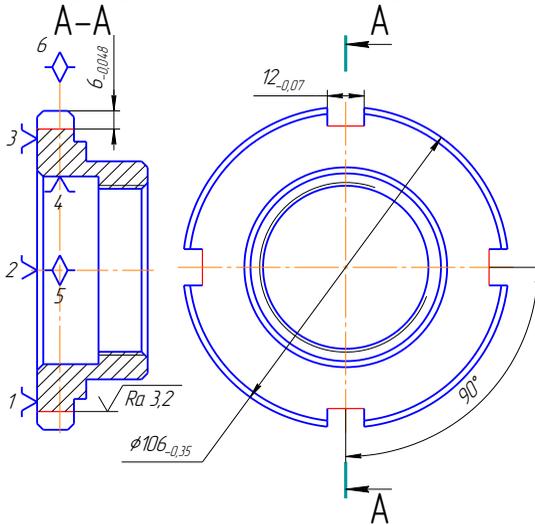


Рис. 2.14. Технологический эскиз обработки для фрезерной операции 010.

2.13. Установление режимов резания

2.13.1. Нормирование режимов резания

Расчет режимов резания для проектируемых операций начинают с изложения исходных данных, к которым относят форму и размеры обрабатываемой поверхности, марку и механические свойства материала, оборудование, инструмент, требования к точности размеров и шероховатости поверхности, способ базирования и закрепления заготовки и пр. Часть из перечисленных сведений представляют в ПЗ эскизом обработки. Далее устанавливают глубину, подачу и скорость резания, по которой определяют частоту вращения шпинделя или число двойных ходов в минуту стола или ползуна.

Режим обработки основных операций можно определить по общемашиностроительным норматива режимов или рассчитать по формулам теории резания. В [19, 20] приведена методика и примеры нормирования режимов резания для различных видов оборудования.

Первоначально устанавливают глубину резания t . Величину t принимают максимальной при черновой и обдирочной обработке и близкой к минимальной для выполнения чистовых и отделочных операций.

Следующий этап – по нормативам выбирают подачу S . Принятые значения S корректируют по паспортным данным станка. Принимают ближайшее меньшее значение S .

С учетом принятых значений t и S по соответствующим картам выбирают рекомендуемую скорость резания V . С учетом поправочных коэффициентов, значение скорости резания корректируют, а затем вычисляют частоту вращения шпинделя n , мин⁻¹

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad (8)$$

или число двойных ходов в минуту ползуна (стола)

$$n = \frac{1000 \cdot V}{2 \cdot L} \quad (9)$$

где D и L – диаметр и длина обрабатываемой поверхности, мм.

Расчетные значения n корректирует по паспортным данным станка. Принимают ближайшее меньшее, по которым обязательно пересчитывают величину V . Если в справочниках и каталогах металлорежущих станков не указаны все значения частот вращения, величин подач и чисел двойных ходов, то по приведенным данным n_{\max} и n_{\min} оборотов шпинделей, двойных ходов и подач можно определить по знаменателю ряда φ , значения которого стандартизированы:

$$n_{\max} = n_{\min} \cdot \varphi^{m-1} \quad (10)$$

где m – общее количество ступеней скорости вращательного движения шпинделя токарного и фрезерного станков или скорости поступательного движения стола продольно-строгального станка и т.д.

Частота вращения шпинделя металлорежущих станков стандартизирована, поэтому полученные расчетом значения округляются до ближайших величин, имеющихся в нормальных рядах. Эти ряды распространяются на число двойных ходов и на величины подач.

Расчеты режимов резания при многоинструментальной обработке с использованием одновременно нескольких инструментальных блоков имеют свои специфические особенности, изложенные в учебной, научно-технической и справочной литературе [28-31, 37 и др.] Изложенными в ней правилами и рекомендациями следует непременно пользоваться. В тексте ПЗ следует делать ссылки на номера страниц и таблиц, использованных первоисточников.

В заключение для операций определяют по таблицам составляю-

щие силы резания P_x , P_y и P_z , момент сил резания M и эффективную мощность N_e . Здесь же следует по величине P_x проверить прочность механизма подачи, по величине M – момент на шпинделе, а по величине N_e и мощности станка N рассчитать коэффициент использования станка по мощности η_N . По результатам составить заключение или выводы.

Пример: Рассчитаем режимы резания для чернового точения операции 005 II перехода. Операция выполняется на токарном станке с ЧПУ 16A20Ф3. Выполняется токарная обработка внутренней поверхности. Материал заготовки – сталь 35Х, токарная обработка выполняется контурным резцом, режущая часть которых изготовлена из твердого сплава Т5К10. На операции должна обеспечиваться точность размера по 12 качеству и качество поверхности Ra 6,3.

Устанавливаем глубину резания: $t = 1,3$ мм. Назначаем подачу: $S = 0,5$ мм/об.

Рассчитываем скорость резания:

$$V_P = \frac{C_V}{T^{m_x} t^x S^y} K_{nv} K_{mv} K_{uv},$$

где C_V – коэффициент; T – период стойкости инструмента; m_x, x, y – показатели степени; K_{nv} – коэффициент отражающий состояние поверхности заготовки; K_{mv} – коэффициент учитывающий качество обрабатываемого материала; K_{uv} – коэффициент учитывающий качество материала инструмента.

$$V_P = \frac{290}{60^{0,2} \cdot 1,3^{0,15} \cdot 0,5^{0,35}} \cdot 0,8 \cdot 1,82 \cdot 0,65 = 150 \text{ м / мин}$$

Определяем необходимую частоту оборотов шпинделя станка:

$$n_P = \frac{1000 \cdot V_P}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 150}{3,14 \cdot 59,4} = 804,2 \text{ мин}^{-1}$$

Расчетное значение частоты вращения сравнивают с имеющимися на станке и принимают ближайшее меньшее значение.

С учетом скорректированной частоты вращения шпинделя окончательно устанавливают действительную скорость резания:

$$V = \pi \cdot D \cdot \frac{n_c}{1000} = 3,14 \cdot 59,4 \cdot \frac{800}{1000} = 149,2 \text{ м / мин}$$

При внутреннем продольном и поперечном точении для определения

мощности резания рассчитывают тангенциальную составляющую по формуле:

$$P_Z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_{mp}$$

где C_p – коэффициент; n, x, y – показатели степени, зависящие от конкретных условий обработки; K_{mp} – поправочный коэффициент, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала на силовые зависимости.

$P_Z = 10 \cdot 300 \cdot 0,6^{1,0} \cdot 1,4^{0,75} \cdot 149,2^{-0,15} \cdot 0,64 = 693H$ Далее рассчитывают мощность резания по формуле:

$$N = \frac{P_Z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{693 \cdot 149,2}{61200} = 1,69 \text{ кВт}$$

Аналогично рассчитываем режимы резания на остальные операции.

2.13.2. Оптимизация режимов резания

Так как режимы резания для операций устанавливаются по общемашиностроительным нормативам режимов, то их значения могут не учитывать реальные условия обработки. Что бы максимально приблизить их к условиям обработки для реальной операции на реальном оборудовании, выполняют их оптимизацию. Приступая к оптимизации, необходимо четко и обоснованно выбрать целевую функцию. Методом ранжирования отобрать факторы, которые будут оказывать существенное влияние на целевую функцию, определить необходимые уровни и шаги варьирования этих факторов. Кроме этого, необходимо ввести необходимые для данной схемы обработки технические ограничения. Далее необходимо разработать математические модели и выполнить оптимизацию режимов. С учетом полученных значений, ранее полученные режимы следует откорректировать и сформулировать необходимые выводы.

Пример: Полученные значения режимов резания необходимо оптимизировать, построив математическую модель.

Для расчета оптимальных значений режимов резания с использованием методов линейного программирования вводим технические ограничения и оценочную функцию приводим к линейному виду логарифмированием, воспользовавшись методическими указаниями [9].

В качестве оценочной функции при оптимизации по двум параметрам n и S необходимо использовать минимальную себестоимость

$$F_{\min} = \frac{c}{n \cdot S}$$

Из выражения видно, что функция F_{\min} будет наименьшей, когда произведение (nS) будет максимальным.

Технические ограничения строятся на основе известных зависимостей. Ограничение по стойкости инструмента будет получено из следующих выражений:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v, \quad v = \frac{\pi D n}{1000},$$

где T - период стойкости инструмента, мин.; m - показатель относительной стойкости; t - глубина резания, мм; D - диаметр заготовки, мм; C_v , x , y - коэффициенты, характеризующие условия обработки; K_v - общий поправочный коэффициент.

После преобразований получим техническое ограничение в следующем виде:

$$nS^y \leq \frac{318 \cdot C_v}{D \cdot T^m \cdot t^x} \cdot K_v.$$

Аналогично определяются и другие технические ограничения.

После логарифмирования получим

$$\ln n + y \ln S = \ln \frac{318 \cdot C_v}{D \cdot T^m \cdot t^x} \cdot K_v$$

Введем обозначения

$$x_1 = \ln(n), \quad x_2 = \ln(100s), \quad b_1 = \ln \frac{318 \cdot C_v}{D \cdot T^m \cdot t^x} \cdot K_v \cdot 100^y$$

Выделим наиболее важные ограничения:

– Ограничение 1. Ограничение по стойкости инструмента

Согласно зависимости находим по табл. 17 с. 367 [5] значения коэффициентов, входящих в уравнение для V :

$C_v=290$; $m=0,20$; $t=1,3$; $x_v=0,15$; $y_v=0,35$; $T=60$ мин.

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \cdot K_r = 0,95$$

$$\text{Тогда } nS^{0,35} \leq \frac{318 \cdot 290}{59,4 \cdot 60^{0,2} \cdot 1,3^{0,15}} \cdot 0,95 \text{ или } nS^{0,35} \leq 231,19.$$

Приведем полученное неравенство к линейному виду логарифмированием и после обозначения получим

$$x_1 + 0,35x_2 \leq b_1, \text{ где } b_1 = \ln(231,19 \cdot 100^{0,35}) = 7,05.$$

– Ограничение 2. Мощность электродвигателя привода главного движения станка.

Это ограничение выражается условием $N_{\text{эф}} \leq N_{\eta}$, где N – мощность электродвигателя привода главного привода станка, кВт, η – КПД кинематической цепи от электродвигателя к инструменту. Эффективная мощность, затрачиваемая на процесс резания:

$$N_{\text{эф}} = \frac{P_z \cdot V}{102 \cdot 60},$$

где P_z – сила резания, определяется как $P_z = C_p \cdot f^{x_{Pz}} \cdot S^{y_{Pz}} \cdot v^{n_{Pz}} \cdot K_p$.

Подставляя в выражение значение составляющей силы резания P_z , получим для второго технического ограничения:

$$n^{\eta+1} S^y \leq \frac{6120 \cdot (10^3)^{\eta+1} \cdot N \cdot \eta}{C_p \cdot f^{x_{Pz}} \cdot D^{n_{Pz}+1} \cdot \pi^{n_{Pz}+1} \cdot K_p}$$

Значения коэффициентов определяем по табл. 22 с. 372 [5]:

$C_p=300$, $x=1,0$, $y=0,75$, $n=-0,15$. И по табл. 23 с. 274 [5]:

$$K_{mp} = 0,64, K_{\varphi p} = 0,89, K_{\gamma p} = 1, K_{\lambda p} = 1, K_{rp} = 0,87$$

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{rp} = 0,5$$

Мощность электродвигателя для станка 16A20Ф3 $N=11$ кВт, $\eta=0,75$. Тогда

$$n^{0,85} S^{0,75} \leq \frac{6120 \cdot (10^3)^{0,85} \cdot 11 \cdot 0,75}{300 \cdot 1,4^1 \cdot 59,4^{0,85} \cdot \pi^{0,85} \cdot 0,5} \leq 2007,53$$

После приведения к линейному виду и введения обозначений получим

$$0,85x_1 + 0,75x_2 \leq b_2, \text{ где } b_2 = \ln(2007,53 \cdot 100^{0,75}) = 11,05.$$

– Ограничение 3. Ограничение по минимальной частоте вращения шпинделя

Для частоты вращения шпинделя n это ограничение имеет вид

$$n \geq n_{cm.min}. \text{ Для станка 16A20Ф3 } n_{cm.min} = 6,3 \text{ мин}^{-1}. \text{ Тогда } x_1 \geq b_3,$$

где $b_3 = \ln(6,3) = 1,84$.

– Ограничение 4. Ограничение по максимальной частоте вращения шпинделя.

Для частоты вращения шпинделя n это ограничение имеет вид

$$n \leq n_{cm.max}. \text{ Для станка 16A20Ф3 } n_{cm.max} = 1250 \text{ мин}^{-1}. \text{ Тогда } x_1 \leq b_4$$

, где $b_4 = \ln(1250) = 7,13$.

При аналогичных преобразованиях были получены в линейном виде последующие ограничения: ограничение 5 – по наибольшей подаче, ограничение 6 – по наименьшей подаче, ограничение 7 – по прочности режущего инструмента, ограничение 8 – по жесткости режущего инструмента, ограничение 9 – по требуемой шероховатости поверхности. полученные ограничения образуют математическую модель процесса резания в аналитическом виде. Кроме технических ограничений, представляемых в виде системы неравенств, в состав модели входит оценочная функция f :

$$\begin{cases} x_1 + 0,35x_2 \leq 7,05 \\ 0,85x_1 + 0,75x_2 \leq 11,05 \\ x_1 \geq 1,84 \\ x_1 \leq 7,13 \\ x_2 \geq 2,30 \\ x_2 \leq 5,29 \\ -0,15x_1 + 0,75x_2 \leq 1,78 \\ -0,15x_1 + 0,75x_2 \leq 7,52 \\ x_1 \leq 7,04 \end{cases}$$

$$f_0 = (x_1 + x_2)_{\max}$$

Представленная математическая модель, решается графическим методом. Получим график (рис. 2.15) математической модели, на котором область оптимальных значений представлена многоугольником $ABDC$. Максимальное значение оценочной функции f находится в точке C . Координаты этой точки являются оптимальными значениями: $x_1 = 5,81$ $x_2 = 3,54$.

Численные значения оптимального режима резания вычисляются по следующим зависимостям:

$$n_{opt} = e^{x_{1opt}} = e^{5,81} = 340 \text{ мин}^{-1}$$

$$S_{opt} = \frac{1}{100} \cdot e^{x_{2opt}} = \frac{1}{100} \cdot e^{3,54} = 0,34 \text{ мм / об}$$

2.14. Прогнозирование точности выполнения операции

Требуемая точность обработки в серийном и массовом производстве обеспечивается автоматически на заранее построенных станках. Для настройки станков используют эталоны, установки, копиры, упоры и пр. Особое значение требования к точности приобретают при выполнении финишных операций.

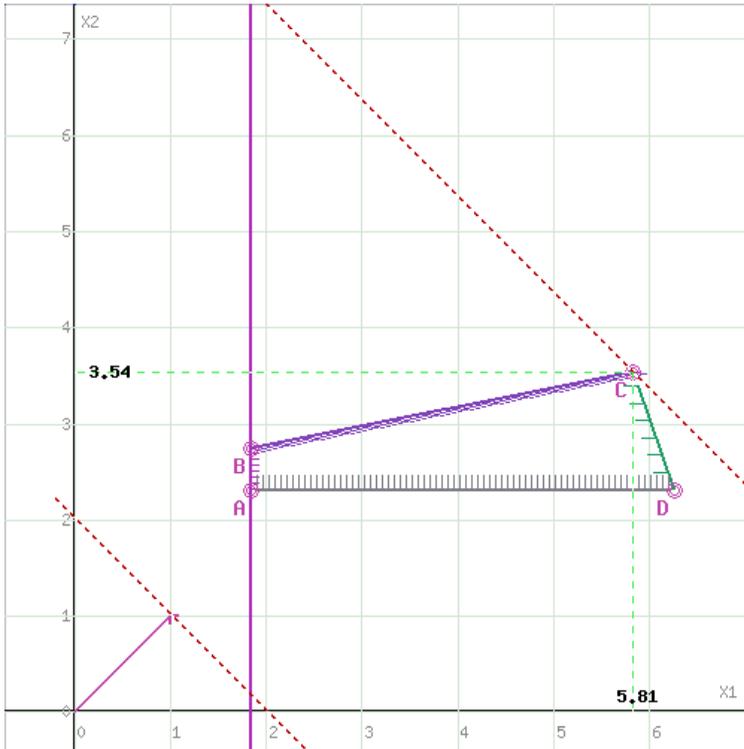


Рис.2.15. Графическое построение математической модели определения оптимальных режимов резания

На точность обработки в общем случае оказывает влияние комплекс различных факторов, главными среди которых считают:

- несовпадение установочных (технологических) баз с конструкторскими и измерительными;
- несоблюдение принципа постоянства баз (смена баз);
- недостаточность припуска на обработку и брак, предшествующих операций;
- погрешности, связанные с упругими отжатыми в технологической системе (под действием сил резания) Δu ;
- погрешности, связанные с неточностью изготовления и износом режущего инструмента Δi ;
- погрешности настройки станка Δn (в серийном производстве, как правило, не учитывают);
- погрешности установки заготовки в приспособление или на станке ε ;

- погрешности, связанные с температурными деформациями технологической системы СПИД Δ_T ;
- погрешности формы, связанные с геометрическими неточностями оборудования $\Delta\phi$;
- рассеивание размеров, связанное с методом обработки (мгновенное рассеивание Δ_M) и другие.

При выборе соответствующих режимов обработки, соответствующим режущим инструментом, на определенном оборудовании, возникает риск получения брака, когда размер обрабатываемой поверхности окажется за пределами допуска. Для этого можно выполнить предварительный расчет и спрогнозировать ожидаемую точность. При этом суммарная погрешность механической обработки Δ не превышает технологического допуска на выполняемый размер T_d , т.е. ($\Delta < T_a$).

Ожидаемую величину Δ можно вычислить по формуле:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_H^2 + \varepsilon^2 + 3 \cdot \Delta_n^2 + \Delta_\phi} \quad (11)$$

Если ожидаемая погрешность превышает допуск на выполняемый размер, то необходимо предложить систему мероприятий, позволяющих снизить величину отдельных составляющих суммарной погрешности. Например, изменяя геометрию режущего инструмента, можно существенно снизить величину радиальной составляющей силы резания. Следовательно, при той же жесткости технологической системы, можно существенно уменьшить и отжатия. Изменяя размер партии обрабатываемых заготовок одним инструментом, можно сократить путь резания, и существенно уменьшить величину размерного износа и т.д. В выводах по разделу необходимо дать сравнения по ожидаемой погрешности с допуском и, при необходимости, предложить ряд конкретных мероприятий.

Пример:

2.15. Прогнозирование ожидаемой шероховатости обработки функциональных поверхностей

Важнейшим показателем, определяющим надежность и долговечность изделий, является шероховатость поверхностей деталей машин, волнистость, твердость, а также структура и физико-механические свойства. При использовании установленных режимов обработки и геометрии инструмента, особенно на завершающих операциях технологического процесса, возникает необходимость в прогнозировании ожидаемой шероховатости поверхностей. В справочной литературе [12] приводится ряд эмпирических зависимостей, по которым можно вычислить ожидаемую шероховатость поверхностей. Если ожидаемая шероховатость окажется больше требуемой, то должен быть предло-

жен ряд мероприятий, которые позволят снизить ее. Например, уменьшить величину подачи, изменить значения некоторых углов реза и т.п.

Так же, как и в предыдущем разделе, здесь необходимо так же указать в выводах параметры, с которыми мы можем обеспечить требуемую шероховатость.

Пример: Произведем проверку ожидаемой шероховатости поверхности отверстия гайки Ø62 мм на 005 операции.

В качестве исходных данных будем использовать следующее:

– обработка ведется растачиванием на станке модели 16A20ф3;

– инструмент – резец расточной сборный с пластиной T15K6;

– материал заготовки – сталь 35X;

– требуемая шероховатость на данном переходе $R_a = 6,3$ мкм [5];

– приняты следующие режимы резания: $S=0,34$ мм; $V=64$ м/мин; $t=0,9$ мм.

Для расчета качества поверхности при черновом растачивании используется формула [5]:

$$R_a = 76,2 \frac{S^{0,57} \times V^{0,03} \times j_{cm}^{0,04}}{10^{0,04} \times t^{0,08} \times \rho^{0,2} \times \alpha^{0,34} \times (50 + \gamma)^{0,35}}.$$

При обработке стали 35X рекомендуется использовать следующие значения: $\rho=5$ мм, $\gamma=5^\circ$, $\alpha=8^\circ$, $j_{cm}=34312,5$ Н/мм.

Тогда шероховатость:

$$R_a = 76,2 \frac{0,34^{0,57} \times 64^{0,03} \times 34312,5^{0,04}}{10^{0,04} \times 0,8^{0,08} \times 5^{0,2} \times 8^{0,34} \times (50+5)^{0,35}} = 5,834$$

Так как расчетное значение параметра шероховатости R_a меньше допустимого ($5,837 < 6,3$) то можно считать, что при принятых режимах обработки, выбранном оборудовании и инструменте будет обеспечено необходимое качество поверхности отверстия.

Аналогично производится проверка качества для остальных операций технологического процесса

2.16. Схема контроля и требования к контрольно-измерительной оснастке

Для оснащения технологических процессов средствами контроля, возникает необходимость в их выборе. Для этого необходимо, в начале, привести в работе параметры изделия, которые должны подлежать контролю. Это диапазон и точность размеров, точность формы, точность взаимного расположения поверхностей и их шероховатость. Для контроля размеров могут быть использованы стандартные измерительные инструменты, такие как штангенциркули, микрометры и т.п. Для контроля же таких параметров, как точность формы, точность вза-

имного расположения поверхностей требуется обычно контрольная оснастка. Перед тем как приступить к её проектированию необходимо выбрать или разработать схемы контроля.

Схему контроля составляют, пользуясь методиками и рекомендациями [38, 39 и др.]. Первоначально в произвольном масштабе вычерчивают контуры контролируемой детали. На поверхностях, принятых за установочные базы, символами ЕСТД обозначают установочные детали (призмы, опоры, оправки и пр.) и зажимные устройства. К измеряемым (контролируемым) поверхностям, обозначенным жирными линиями (или красным цветом), подводят изображения контактных элементов-измерителей (наконечников, щупов, рычагов и др.). Наконеч, стрелками указывают направления и траектории относительных движений (перемещений) в процессе контроля. Схему сопровождают пояснениями или описанием (иногда надписями). За описанием следует технические требования к контрольно-измерительному устройству, реализующему принятую схему контроля, в которых, обычно указывают:

- желаемую степень точности измерений (в машиностроении ограничиваются $\frac{1}{6} - \frac{1}{10}$ допуска на контролируемый размер);
- требуемую производительность или время выполнения контрольной операции;
- влияние на технологический процесс обработки (активное или пассивное);
- степень механизации или автоматизации процесса контроля;
- степень подвижности (стационарное, поворотное или переносное);
- типы измерений: отсчетные (шкальные), предельные (бесшкальные) или работают по принципу нормальных калибров;
- вид потребляемой энергии (механические, электрические, пневматические) и другие.

Таким образом, в этом подразделе приводят перечень контролируемых для данной детали параметров, выбирают для них измерительные средства или схемы контроля и устанавливают их необходимую точность.

2.17. Нормирование времени на выполнение операций

С помощью технического нормирования определяют все затраты, связанные с изготовлением изделия. Оно служит основой для оплаты работ, калькуляций себестоимости, расчета длительности цикла обработки, а также для расчета потребного количества рабочих, единиц оборудования, инструмента и планирования производства.

В пояснительной записке приводят подробный расчет норм для одной из технологических операций. Этот расчет производят по нормативным материалам с подробным наименованием всех действий и указанием справочников, страниц, таблиц, по которым определяют нормы на операцию. Нормы времени для остальных операций технологического процесса не отражают в пояснительной записке, а вносят непосредственно в соответствующую таблицу. Для неразрабатываемых операций нормы времени можно определять по приближенным формулам [5, 14, 23, 29].

Техническое нормирование в массовом и серийном производстве ведут расчетно-аналитическим методом. При неавтоматизированном производстве норма штучного времени

$$t_{ш} = t_o + t_g + t_{м.об.} + t_{о.об.} + t_n \quad (12)$$

Для серийного производства определяют ещё штучно-калькуляционное время

$$t_{шк} = t_{ш} + \frac{T_{нз}}{n} \quad (13)$$

Расчёт выполняют в следующей последовательности:

- на основании принятых режимов резания по каждому переходу вычисляют основное время t_o , которое затрачивается на осуществление работ, связанных с изменением формы, размеров и качества обрабатываемой поверхности детали. Расчет основного времени производят по формулам, установленным на основании кинематики данного метода обработки и выбранных режимов резания, или по нормативам для определенных методов обработки, например, для закругления и притирки зубьев зубчатых колес, для суперфиниша и другие [9];
- устанавливают последовательность и содержание всех вспомогательных переходов и рабочих ходов операции. Для каждого из них по нормативам [18, 19, 20, 21] или другим определяют вспомогательное время t_{ei} ;
- Общее вспомогательное время операции

$$t_g = \sum t_{ei} \quad (14)$$

- При его расчете учитывают возможность и целесообразность совмещения вспомогательных переходов и возможность их взаимного перекрытия во времени;
- Время на техническое ($T_{м. об.}$) и организационное ($t_{о.об.}$) обслуживание рабочего места и время перерывов (t_n) определяют в зависимости от условий работы и оборудования по нормативам,

- что и t_{ei} , но в процентах от оперативного или основного времени;
- По формуле (13) рассчитывают норму $t_{и}$;
 - Для серийного и единичного производств по нормативам устанавливают подготовительно-заключительное время ($t_{пз}$) и затем по формуле (14) рассчитывают норму $t_{шк}$. Величина $t_{пз}$ задается общая на партию деталей n штук и часть его, приходящаяся на одну деталь в $t_{шк}$.

В массовом производстве соответствующей корректировкой содержания технологических операций добиваются, чтобы штучное время равнялось или было бы кратно такту ($t_{и} \leq t_{в}$).

Разряд работ устанавливают по тарифно-квалификационным справочникам соответствующих отраслей машиностроения в зависимости от характера выполняемых работ.

В заключение определяют зарплату рабочего-станочника за выполнение одной технологической операции, руб.

$$c = t_{и} \cdot K$$

где K – минутная ставка станочника (со всеми начислениями) [29].

В выводах по разделу необходимо указать полученные нормы времени, результаты их анализа и предложения по возможному изменению их структуры. Например, для определения равномерности загрузки рабочих мест.

Пример: Подробно нормирование проведем для одной операции 010 – фрезерной. Операция 010 выполняется на станке мод. 6P82Г за один у станов.

Основное время при фрезеровании паза дисковой фрезой определим по формуле [10]:

$$T_o = \frac{L+L_{BP}}{S_M} \times i ,$$

где $L = 12$ мм – длина паза;

$S_M = S_z - z - n = 0,042 \times 14 \times 100 = 58,8$ мм/мин – минутная подача при врезании фрезы;

$L_{BP} = 2$ мм – величина врезания;

$i = 4$ – число фрезеруемых пазов.

$$T_o = \frac{12 + 2}{58,8} \times 4 = 0,95 \text{ мин.}$$

В серийном производстве определяется норма штучно-калькуляционного времени $T_{ш-к}$:

$$T_{ш-к} = \frac{T_{пз}}{n} + T_{шт}, \quad T_{шт} = T_o + T_b + T_{об} + T_{от},$$

где $T_{п-з}$ – подготовительно – заключительное время, мин, n – количество деталей в настроечной партии, шт.; T_o – основное время, мин.; T_v – вспомогательное время, мин.

Вспомогательное время состоит из затрат времени на отдельные приемы:

$$T_v = T_{у.с.} + T_{з.о.} + T_{уп.} + T_{из.},$$

где $T_{у.с.}$ – время на установку и снятие детали, мин; $T_{з.о.}$ – время на закрепление и открепление детали, мин; $T_{уп.}$ – время на приемы управления, мин; $T_{из.}$ – время на измерение детали, мин; $T_{об}$ – время на обслуживание рабочего места, мин; $T_{от}$ – время перерывов на отдых и личные надобности, мин.

Нормативы вспомогательного времени, приведенные в [10] прил.5, можно в учебных целях использовать и для нормирования вспомогательного времени в серийном производстве, применяя коэффициент $k=1,85$, т.к. производство среднесерийное: $T_{у.с.} = 0,23$ мин, $T_{з.о.} = 0,24$ мин, $T_{уп.} = 0,13$ мин.

$$T_v = 1,85 \times (0,23 + 0,24 + 0,13) = 0,6 \times 1,85 = 1,11 \text{ мин.}$$

Оперативное время:

$$T_{оп} = T_o + T_v = 0,95 + 1,11 = 2,06 \text{ мин.}$$

$$T_{об} = 1,6\% \times T_{оп} = 0,016 \times 2,06 = 0,0329 \text{ мин.}$$

$$T_{от} = 9\% \times T_{оп} = 0,09 \times 2,06 = 0,1854 \text{ мин.}$$

$$T_{шт} = 0,95 + 1,11 + 0,0329 + 0,1854 = 2,2783 \text{ мин.}$$

Подготовительно–заключительное время:

$$T_{п-з} = 19 + 2 + 7 = 28 \text{ мин.}$$

Т.о. штучно–калькуляционное время составляет:

$$T_{шт-к} = 28/600 + 2,2783 = 2,3243 \text{ мин.}$$

Зарплата фрезеровщика III разряда за обработку одной детали

$$Z_c = T_{шт-к} \times K = 2,3273 \times 2,68 = 6,23 \text{ коп.}$$

где K – минутная ставка станочника (со всеми начислениями), $K = 2,96$ коп/мин.

Для остальных операций нормирование производится по аналогичной методике.

2.18. Экономическая оценка вариантов выполнения операций

При разработке технологического процесса можно спроектировать выполнение операций в нескольких вариантах. При этом, структура операции может быть последовательной, параллельно-последовательной или параллельной и продолжительность ее выполнения может так же оказаться различной. Выбирая вариант выполнения операции, необходимо стремиться, что бы элементы времени перекрывались и суммарное время сокращалось. Например: используя резец для контурного точения и станок с ЧПУ, можно получить после-

довательную схему обработки поверхностей, используя для этого только один инструмент, вместо нескольких (подрезной, проходной упорный, канавочный и др. резцы при выполнении обработки на токарно-револьверном станке). Таким образом, основное время уменьшится незначительно, только за счет величин врезания и перебегов, необходимых для каждого резца при выполнении соответствующего перехода. А вот величина вспомогательного времени может существенно сократиться, так как время, связанное с переходом будет необходимо только для одного перехода, вместо нескольких.

Другой пример: выполняя обработку поверхностей сразу несколькими резцами на многолезцовом станке, можно существенно сократить основное время, которое в данном случае будет отнесено только к одному из инструментов – лимитирующему. Здесь может быть уменьшено и вспомогательное время, так как вместо нескольких технологических переходов, здесь так же получается всего один.

Студенты при проектировании выбирают вариант, который позволит изменить структуру операции и изменить также время ее выполнения. Для подтверждения эффективности варианта, необходимо выполнить так же нормирование времени для него, и далее, сравнение вариантов рекомендуется провести по технологической себестоимости. Технологическая себестоимость – часть себестоимости изделия, определяемая суммой затрат на осуществление технологических процессов изготовления изделия (ГОСТ 14.205-83). Для детали она складывается из стоимости материала (заготовки) и себестоимости механической обработки (без учета накладных расходов). На основании сравнения выбирают вариант, обеспечивающий наименьшую себестоимость изготовления детали.

Расчет себестоимости по ряду затрат производят приближенным методом, поэтому варианты, отличающиеся по себестоимости не более, чем на 10%, на данном этапе следует считать практически равноценными. В этом случае необходимо рассмотреть оба варианта с других точек зрения, например, по коэффициенту использования металла, по производительности, размеру площади, занимаемой станками и т.п. Все расчеты по сравнению вариантов оформляют в виде табл. 2. 13.

(Пример расчета приводится в [37].) Из анализа показателей табл. 2.13 должен следовать вывод о эффективности одного из вариантов выполнения операции.

Таблица 2.13

Сравнение вариантов операций по технологической себестоимости механической обработки

Элементы технологической себестоимости и другие показатели	Вариант		Экономия (+) или перерасход (-)	
	первый	второй	на единицу	на программу
1. Модель станка				
2. Коэффициент машино-часа				
3. Трудоемкость операции, нормо-минут				
4. Станкоемкость операции, станко-минут				
5. Разряд станочника				
6. Зарплата станочника, руб.				
7. Сменность работ				
8. Затраты на содержание и эксплуатацию, руб.				
9. Стоимость заготовки, руб.				
10. Основное время, мин				
Технологическая себестоимость, руб.				

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

В этом разделе студенты делают заключение и приводят краткие выводы по курсовой работе в целом. Вначале излагают перечень основных реализованных мероприятий, направленных на повышение производительности и эффективности изготовления деталей. Приводят ряд показателей, подтверждающих эффективность и целесообразность проведенных мероприятий, например: сокращение объема и стоимости механической обработки уменьшения металлоемкости изделия, рост уровня механизации и автоматизации процессов и пр.

Рекомендуется отметить результаты сравнения полученных показателей с существующим вариантом техпроцесса (вариантом-аналогом).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Анурьев, В.И.* Справочник конструктора: в 3 т. / В.И.Анурьев. – М.: Машиностроение, 1979.
2. *Балабанов, А.Н.* Краткий справочник технолога-машиностроителя / А.Н. Балабанов. – М.: Изд-во стандартов, 1992.
3. *Горбачевич, А.Ф.* Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учеб. пособие для вузов / А.Ф. Горбачевич, В.А. Шкред. – Минск: Вышэйшая школа, 1983.
4. *Детали машин: атлас конструкций /* Под ред. Н.Р. Решетова. – М.: Машиностроение, 1970.
5. *Дипломное проектирование по технологии машиностроения: учеб. пособие для вузов /* Под ред. В.В. Бабука. – Минск: Вышэйшая школа, 1979.
6. *Допуски и посадки: справочник. Ч.1 и Ч.2 /* В.Д. Мягков, М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский. – М.: Машиностроение, 1982.
7. *Дунаев, П.Ф.* Расчет допусков размеров / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. – М.: Машиностроение, 1981.
8. *Егоров, М.Е.* Технология машиностроения: учебник для вузов/ М.Е. Егоров, В.И. Дементьев, В.Л. Дмитриев. – М.: Высшая школа, 1979.
9. *Егоров, М.Е.* Основы проектирования машиностроительных заводов / М.Е. Егоров. – М.: Высшая школа, 1969.
10. *Иванов, А.Г.* Измерительные приборы в машиностроении: учеб. для студентов приборостроительных спец. вузов. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 496 с.
11. *Картавов, С. А.* Технология машиностроения / С.А. Картавов. – Киев: Вища школа, 1984.
12. *Качество машин: справочник: в 2 т. Т.1 /* А. Г. Суслов, Э.Д. Браун, Н.А. Виткевич и др. – М.: Машиностроение, 1995.
13. *Косилова, А. Г.* Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении: справочник / А.Г. Косилова, Р.Л. Мещеряков, М.А. Калинин. – М.: Машиностроение, 1976.
14. *Кузнецов, Ю.И.* Оснастка для станков с ЧПУ: Справочник /Ю.И.Кузнецов, А.Р.Маслов, А.Н.Байков. – М.: Машиностроение, 1990.
15. *Лебедев, Л.В.* Разработка технологических процессов в машиностроении: Учеб. пособие / Л.В.Лебедев, И.В.Шрубченко, А.А.Погонин и др. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2004.
16. *Маталин, А.А.* Технология машиностроения / А.А. Маталин. – Л.: Машиностроение, 1985.

17. Обработка металлов резанием: справочник технолога/ Под общ. ред. А.А. Панова. – М.: Машиностроение, 1988.

18. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного, на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного на работы, выполняемые на металлорежущих станках. Среднесерийное и крупносерийное производство. – М.: Изд-во НИИ труда, 1984.

19. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания на токарно-автоматные работы. – М.: Машиностроение, 1970.

20. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ. Часть 1. Нормативы времени. – М.: Экономика, 1990.

21. Общемашиностроительные нормативы вспомогательного времени и времени на обслуживание рабочего места на работы, выполняемые на металлорежущих станках. Массовое производство. – М.: Экономика, 1988.

22. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Ч. I. Токарные, карусельные, токарно-револьверные, алмазно-расточные, сверлильные, строгальные, долбежные и фрезерные станки. – М.: Машиностроение, 1974.

23. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Ч. II. Зуборезные, горизонтально-расточные, резьбонакатные и отрезные станки. – М.: Машиностроение, 1974.

24. Основы технологии машиностроения: учебник для вузов / Под ред. В.С. Корсакова. – М.: Машиностроение, 1977.

25. Проектирование технологических процессов механической обработки в машиностроении: учеб. пособие для вузов / Под ред. В.В. Бабука. – Минск: Вышэйшая школа, 1987.

26. Режимы резания металлов: справочник / Под ред. Ю.В. Барановского. – М.: Машиностроение, 1972.

27. Сборник задач и упражнений по технологии машиностроения: учеб. пособие для вузов / Под общ. ред. О.А. Горленко. – М.: Машиностроение, 1988.

28. Справочник технолога-машиностроителя. Т.1 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985.

29. Справочник технолога-машиностроителя. Т.2 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985.

30. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т.1 / Под ред. А.М. Дальского, А.Т. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. –5-е изд., перераб. и доп. –М.: Машиностроение, 2001.
31. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т.2 / Под ред. А.М. Дальского, А.Т. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. –5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001.
32. Технология машиностроения: в 2 т. Т.1. Основы технологии машиностроения: учебник для вузов / Под ред. А.М. Дальского. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана , 1999.
33. Технология машиностроения: учебник для вузов / А. А. Гусев, Е.Р. Ковальчук, И.М. Колесов и др. – М.: Машиностроение, 1986.
34. Технология машиностроения: учебник для вузов / Л. В. Лебедев, В.У. Мнацаканян, А.А. Погонин и др. – М.: Академия, 2006.
35. Технология машиностроения. Ч. 1. Основы технологии сборки в машиностроении: учеб. пособие/ И.В. Шрубченко, Л.В.Лебедев, А.А.Погонин и др. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2005.
36. Технология машиностроения. Ч. 2. Технология изготовления типовых деталей машин: учеб. пособие/ И.В. Шрубченко, Л.В.Лебедев, А.А.Погонин и др. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2006.
37. Технология машиностроения: в 2 ч. Часть 2. Технология изготовления типовых деталей машин: учеб. пособие/ И.В. Шрубченко, Т.А. Дуюн, А.А. Погонин и др. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. - 358 с.
38. Станочные приспособления: Справочник, В 2-х т. / Под ред. Б.Н. Вардашкина и А. А. Шатилова. – М.: Машиностроение, 1984.
39. Универсально-сборная и переналаживаемая оснастка/ А.И. Жабин, Г.П. Холод, Д.А. Здор и др. – Киев: Техника, 1982.

Учебное издание

**Разработка высокоэффективных технологических
процессов**

**Шрубченко Иван Васильевич
Хуртасенко Андрей Владимирович
Воронкова Марина Николаевна**

Подписано в печать Формат 60×84/16. Усл. печ. л. Уч.-изд. л.
Тираж экз. Заказ Цена
Отпечатано в Белгородском государственном технологическом
университете им. В.Г., Шухова
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46