

Министерство образования и науки
Российской Федерации
Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова

Разработка высокоэффективных технологических процессов

Методические указания к выполнению
курсовой работы для студентов направления
15.04.05 – Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств

Белгород
2017

Министерство образования и науки
Российской Федерации
Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова

Кафедра технологии машиностроения

Утверждено
научно-методическим советом
университета

Разработка высокоэффективных технологических процессов

Методические указания к выполнению
курсовой работы для студентов направления
15.04.05 – Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств

Белгород
2017

УДК 621.7(07)

ББК 34.68

Р 17

Составители: д-р техн. наук, проф. И.В. Шрубченко
канд. техн. наук, доц. М.Н. Воронкова
канд. техн. наук, доц. А.В. Хуртасенко

Рецензент канд. техн. наук, доц. А.А. Стативко

Разработка высокоэффективных технологических процессов:
Р 17 методические указания к выполнению курсовой работы для
студентов направления 15.04.05 – Конструкторско-
технологическое обеспечение машиностроительных
производств / сост.: И. В. Шрубченко, М. Н. Воронкова, А. В.
Хуртасенко/ – Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. – 40 с.

В данном издании излагаются рекомендации по объему, структуре и содержанию расчетно-пояснительной записки и графической части курсовой работы по дисциплине «Разработка высокоэффективных технологических процессов».

Методические указания предназначены для студентов направления 15.04.05 – Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств.

Издание публикуется в авторской редакции.

УДК 621.7(07)

ББК 34.68

© Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В. Г. Шухова, 2017

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.

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 и отсутствия высокопроизводительного оборудования на момент запуска изделий в производство. 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:

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

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

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

Суточная производительность поточной линии, шт:

$$Q = \frac{F_c \cdot \eta_{zn}}{t_{u.c.p.}} \quad (3)$$

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; η_{zn} – нормативный коэффициент загрузки оборудования; a – периодичность запуска (необходимость запаса деталей на складах), дни; $t_{c. up}$ – среднее штучное время по основным операциям, мин

$$t_{u.c.p.} = \frac{\sum_i^K t_{u.i}}{K} \quad (5)$$

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

$$S = \frac{t_{u.i}}{t_g} \quad (6)$$

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.

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 точность 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.

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 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 $K_{юз}$; 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:

- а) упрощение геометрических форм;
- б) удобство и надежность базы;
- в) сокращение объема механической обработки;
- г) простота получения заготовки;
- д) удобство подвода и выхода инструмента;
- е) замена глухих отверстий сквозными;
- ж) стандартизация и унификация отдельных поверхностей;
- з) упрощение конструкции, например, замена цельной сложной конструкции, более простой сварной или сборной;
- и) возможность применения высокопроизводительных методов обработки;
- к) возможность обработки на проход;
- л) 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.

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.

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.

2.5. Выбор заготовки

2.5.1. 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 устанавливается 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 [] 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.

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.

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 устанавливают 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. 1. Безусловно, что кроме количественной оценки по определению себестоимости, студенты могут использовать и качественную оценку этих вариантов.

Таблица 1

Результаты сравнения способов получения заготовки

Показатель	Вариант		Экономия (+) или перерасход(-)	
	существ	проект	на единицу	на программу
1. Вид заготовки				
2. Масса заготовки, кг				
3. Масса готовой детали, кг				
4. Коэффициент использования материала				
5. Стоимость механической обработки, руб.				
6. Стоимость заготовки, руб.				
7. Технологическая себестоимость детали, руб.				

В выводах должны найти отражение: принимаемый для последующего проектирования способ получения заготовки; результаты выбора и уточнения припусков; результаты сравнения вариантов по себестоимости.

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, оставляемые 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 эквидистанты 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 заготовок.

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 станке;

- 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.

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 поверхностей 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.

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 станка (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 чистой 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 совмещая 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.

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 многошпиндельные 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. 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. Выбрав станок приводится в записке эскиз его рабочей зоны и техническая характеристика.

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 производств 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.

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 стандартизованную оснастку многократного применения (такую как системы универсально-сборных (УСП) и сборно-разборных (СРП) 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.

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 одноместных, 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.

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 стандартизованы:

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

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 стандартизована, поэтому полученные расчетом значения округляются до ближайших величин, имеющих 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 составляющие 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.

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.

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, установочные, копиры, упоры и пр. Особое значение требования к точности приобретают при выполнении финишных операций. 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 Δu_i ;
- 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 ΔT ;
- 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. ($\Delta < T_d$).

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.

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 предложен ряд мероприятий, которые позволят снизить ее. Например, уменьшить величину подачи, изменить значения некоторых углов резца 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.

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 взаимного 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.). Наконец, 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 неразработываемых 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

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

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

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

- при его расчете учитывают возможность и целесообразность совмещения вспомогательных переходов и возможность их взаимного перекрытия во времени;

– время на техническое ($m_{т. об}$) 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 ($t_{ш} \leq t_e$).

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.

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 последовательную 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 режцами 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.

Таблица 2

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.				

(Пример расчета приводится в [37].) Из анализа показателей табл.2 должен следовать вывод о эффективности одного из вариантов выполнения операции.

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.

Оглавление

Введение.....	3
Введение (к курсовому проекту).....	5
1. Назначение и конструкция деталей	5
2. Технологическая часть	6
2.1. Исходные данные для проектирования	8
2.2. Определение типа производства.....	8
2.3. Анализ чертежа, технических требований и технологичности конструкции изделия.....	10
2.3.1. Анализ чертежа и технических требований.....	10
2.3.2. Анализ технологичности конструкции изделия.....	11
2.3.3. Анализ конструкции детали методом конечных элементов	11
2.4. Анализ существующего технологического процесса.....	13
2.5. Выбор заготовки.....	13
2.5.1. Выбор способа получения заготовки.....	13
2.5.2. Выбор и расчет необходимых припусков на обработку....	15
2.5.3. Проектирование чертежа заготовки.....	16
2.6. Назначение технологических баз и их анализ.....	18
2.7. Выбор способов обработки отдельных поверхностей и анализ.....	20
2.8. Разработка технологического маршрута.....	22
2.9. Выбор оборудования.....	24
2.10. Выбор режущего и вспомогательного инструмента.....	25
2.11. Выбор приспособлений.....	26
2.12. Проектирование механических операций.....	27
2.13. Установление режимов резания.....	28
2.13.1. Нормирование режимов резания.....	28
2.13.2. Оптимизация режимов резания.....	29
2.14. Прогнозирование точности выполнения операции.....	30
2.15. Прогнозирование ожидаемой шероховатости обработки функциональных поверхностей.....	31
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 и общие выводы.....	36
Библиографический список	37

Учебное издание

Разработка высокоэффективных технологических процессов

Методические указания к выполнению
Курсовой работы для студентов направления
15.04.05 – Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств

Составители: **Шрубченко** Иван Васильевич
Воронкова Марина Николаевна
Хургасенко Андрей Владимирович

Подписано в печать 26.06.17. Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 2,6. Уч.–изд. л.

Тираж 115 экз. Заказ Цена

Отпечатано в Белгородском государственном технологическом университете
им. В. Г. Шухова

308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46