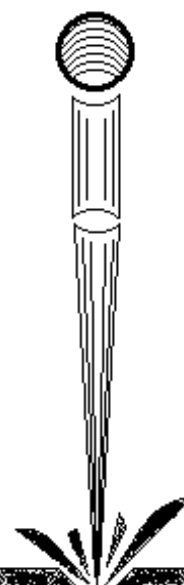


Владимирский государственный университет

ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Методические указания к выполнению
курсового проекта



Владимир 2001

Министерство образования Российской Федерации
Владимирский государственный университет

Кафедра технологии машиностроения

Методические указания
к выполнению курсового проекта
по дисциплине «Лазерная технология»

Составитель
Т.А. ЖЕЛОБОВА

Владимир 2001

УДК 621.373.826:621.7/9 (075.8)

Рецензент
Кандидат технических наук, доцент
Владимирского государственного университета
А.В. Белевич

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Лазерная технология» / Владим. гос. ун-т; Сост. Т.А. Желобова. Владимир, 2001. 26 с.

Методические указания включают в себя перечень задач, подлежащих рассмотрению в курсовом проекте по дисциплине «Лазерная технология», и методику их решения. Указаны состав, объем и структурное построение расчетно-пояснительной записки и графических материалов, иллюстрирующих принятые в проекте технические решения.

Предназначены для студентов, обучающихся по специальностям 120700 – машины и технология высокоэффективных процессов обработки материалов и 072300 – лазерная техника и лазерная технология.

Табл. 4. Библиогр.: 7 назв.

УДК 621.373.826:621.7/9 (075.8)

1. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

1.1. Цель и задачи курсового проектирования

Выполнение курсового проекта по курсу «Лазерная технология» является самостоятельной работой студента по разработке технологии обработки деталей лазерным лучом.

Цель курсового проектирования - подготовка студентов к производственной деятельности как инженера-технолога в области лазерной технологии.

Задача проектирования – расширение, систематизация и закрепление теоретических знаний студентов, применение их при решении конкретных технических и научных задач, развитие и закрепление навыков ведения самостоятельной работы.

1.2. Тематика проектов

Тематика курсовых проектов должна базироваться на производственных задачах местных предприятий, быть актуальной, соответствовать уровню развития технологии обработки деталей лазерным лучом, позволять собрать и проанализировать материалы к дипломному проектированию. Предлагаемые студентам темы курсовых проектов должны включать разработку технологии обработки детали лазерным лучом при решении разнообразных технологических задач, доступных данному методу обработки, таких как: разработка технологии формообразования отверстий малого диаметра в металлических и неметаллических материалах; отверстий цилиндрических и фасонных, сквозных и глухих; резки и прорезки пазов на плоских и цилиндрических заготовках; обработки фасонных пазов; упрочнения поверхностей, гравирования, сварки и т.п.

1.3. Содержание проекта

Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки и графических материалов на четырех листах формата А1, иллюстрирующих принятые в проекте технические решения. Состав, объем и структурное построение расчетно-пояснительной записки зависят от специфики темы, но в основном должны соответствовать следующему типовому содержанию:

Титульный лист

Задание на курсовое проектирование

1. Задача проекта.
2. Характеристика обрабатываемой детали.
 - 2.1. Служебное назначение, условия работы заданной детали и ее техническая характеристика.
 - 2.2. Анализ технологичности детали.
3. Расчеты по программе выпуска.
4. Разработка операции лазерной обработки детали.
 - 4.1. Физические особенности протекания процесса лазерной обработки.
 - 4.2. Описание заготовки и способа ее получения.
 - 4.3. Выбор лазерного технологического оборудования.
 - 4.4. Выбор схемы установки и закрепления обрабатываемой детали.
 - 4.5. Составление плана операции.
 - 4.6. Назначение оптимальных условий обработки.
 - 4.7. Нормирование операции.
 - 4.8. Техничко-экономическое обоснование операции.
 - 4.9. Оформление технологической документации.
5. Проектирование и расчет технологической оснастки к лазерной установке.

2. СОДЕРЖАНИЕ ЭТАПОВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

2.1. Задача проекта

При формулировке задач, которые должны быть решены при выполнении курсового проекта, необходимо исходить из типового содержания проекта (п.1.3) с учетом специфики темы и конкретизировать решаемые вопросы применительно к предложенной заданием детали.

2.2. Характеристика обрабатываемой детали

При характеристике обрабатываемой детали указывается изделие, в которое она входит, ее роль в нем и связанные с этим условия ее работы и технические требования к ней. Приводится химический состав и механические свойства ее материала. На основании чертежа детали и технических требований к ней определяются технологические операции, при выполнении которых потребуется лазер.

При оценке технологичности обрабатываемой детали необходимо, ссылаясь на рекомендации технической литературы, показать, что конструкция детали, ее материал, размеры и требуемая точность их достижения, уровень качества обрабатываемых поверхностей позволяют на выделенных операциях использовать лазерную обработку.

2.3. Расчеты по программе выпуска

Целью расчетов по программе выпуска являются выбор целесообразной при данном годовом выпуске изделия формы организации производства и его краткая характеристика.

Для этого рассчитывается темп выпуска ($\tau = 60P/N$) и приблизительно по укрупненным нормам (на базе заводского опыта) штучное время выполнения лазерной операции $T_{шт}$. Сопоставление τ и времени выполнения лазерной операции $T_{шт}$ позволит выбрать метод ее организации. При $\tau \gg T_{шт}$ целесообразно использовать организационные формы, принятые в единичном и мелкосерийном производствах, при $\tau \approx T_{шт}$ - в крупносерийном и массовом производствах, при $\tau < T_{шт}$ - в автоматизированных условиях.

2.4. Разработка операции лазерной обработки детали

2.4.1. Физические особенности протекания процесса лазерной обработки

При описании физических особенностей протекания процесса лазерной обработки и формообразования элементарной поверхности детали надо привести схему процесса выполнения операции (табл. 1) и выделить факторы, определяющие качество этого процесса, например, положение фокуса фокусирующей линзы относительно наружной поверхности заготовки, энергетические параметры лазерного излучения, теплофизические и оптические характеристики обрабатываемого материала и другие, показать их влияние на процесс обработки и геометрические и качественные параметры обработанных поверхностей.

2.4.2. Описание заготовки и способа ее получения

Для разработки операции необходимо знать вид поступающей на нее заготовки, точность ее размеров, формы и взаимное расположение поверхностей и их качество. В расчетно-пояснительной записке должны быть приведены краткое описание способа и эскиз операции получения заготовки, эскиз заготовки с размерами и техническими требованиями к ней. Если

до лазерной операции заготовка подвергалась какой-либо механической обработке, необходимо дать еще эскиз детали-полуфабриката, поступающей на лазерную операцию, с указанием вида, точности и качества ее поверхностей, имеющих место непосредственно перед лазерной обработкой.

2.4.3. Выбор лазерного технологического оборудования

Выбор лазерной технологической установки (ЛТУ) выполняется исходя из требований к параметрам лазерного излучения, необходимых для осуществления конкретного процесса лазерной обработки. Их величины при различных видах лазерной термической обработки приведены в табл. П1 прил.1. Прежде всего учитываются необходимые для осуществления требуемого вида обработки уровень интенсивности излучения на поверхности обрабатываемой детали и длительности воздействия излучения, уровень мощности излучения, оптические качества лазерного пучка (диаметр луча на выходе, расходимость излучения, углового положения оси пучка и др.), а также длины транспортировки излучения, габаритных размеров рабочей зоны и др.

Основные технические характеристики технологических лазеров (ТЛ), на основе которых создаются ЛТУ, приведены в прил. 1: в табл. П2 – твердотельных, в табл. П3 – газоразрядных с диффузионным охлаждением рабочей смеси (ЛДО), в табл. П4 – быстропроточных газоразрядных (БПЛ).

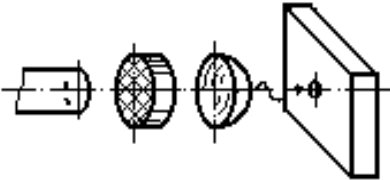
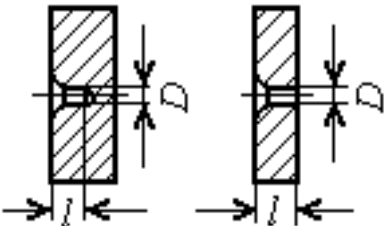
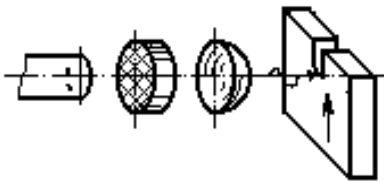
В расчетно-пояснительной записке должно быть показано соответствие параметров принятой лазерной установки требованиям операции обработки детали, описан принцип ее работы и конструктивные особенности, указаны основные параметры лазерного излучения и способы его формирования. Данные сведения выносятся на лист 1 графической части проекта в виде схемы работы квантового генератора и таблицы с указанием типа лазера, активного элемента или среды, режима работы, параметров лазерного излучения.

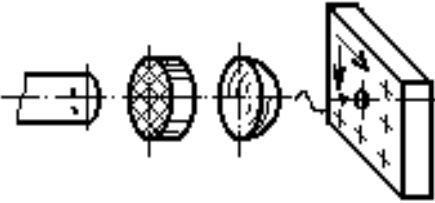
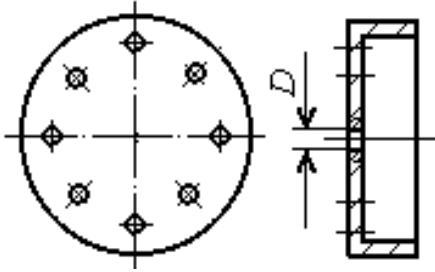
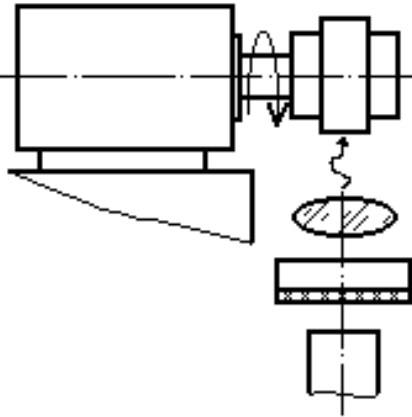
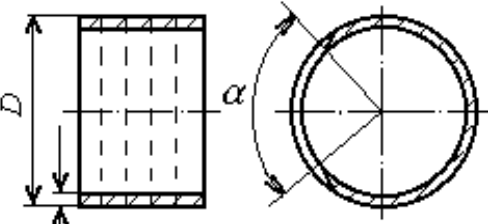
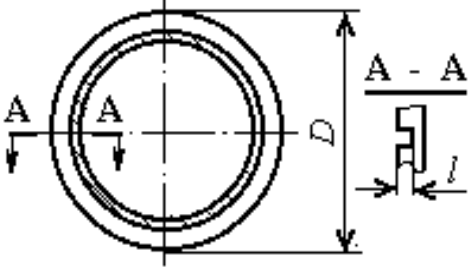
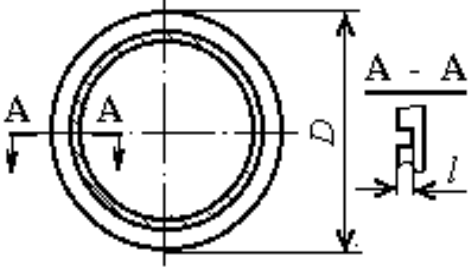
2.4.4. Выбор схемы установки и закрепления обрабатываемой детали

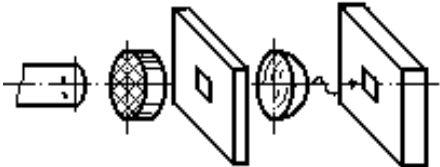
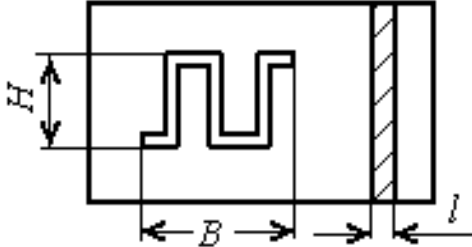
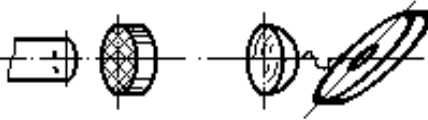
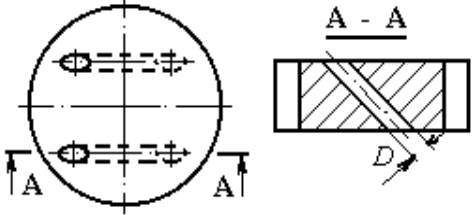
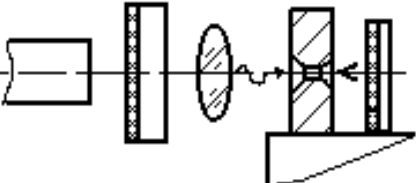
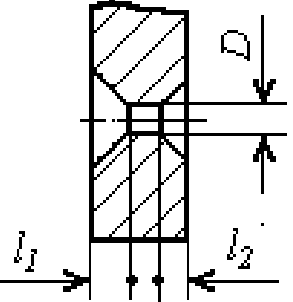
При выборе технологических баз и мест крепления заготовки необходимо обеспечить условие доступности подвода лазерного луча к подлежащим обработке ее поверхностям, устойчивость ее положения, определенность расположения устанавливаемых заготовок всей обрабатываемой партии относительно нулевой точки положения исполнительных органов ТЛ. При выборе схемы установки следует руководствоваться типовыми схемами базирования, рекомендованными для деталей соответствующих классов (прил. 2).

Т а б л и ц а 1

Технологические возможности обработки деталей лазерным лучом

Операции	Схема обработки	Типовые детали	Примечание
Обработка глухих отверстий			<p>Размеры D и l обуславливаются конструктивными и энергетическими параметрами квантовых генераторов</p>
Обработка сквозных отверстий			
Резка плоских заготовок			
Обработка пазов			

∞ Операции	Схема обработки	Типовые детали	Примечание
Обработка системы отверстий			-
Разрезка цилиндрических заготовок			<p>Размеры D, l и α обуславливаются длительностью светового импульса и частотой вращения обрабатываемой заготовки</p>
Прорезание пазов			
Обработка цилиндрических выточек			

Операции	Схема обработки	Типовые детали	Примечание
Фасонная обработка			Размеры B , H и l измеряются площадью светового потока квантового генератора
Обработка отверстий под углом к наружной поверхности заготовки			—
Обработка обратного выходного конуса			Размеры D , l_1 и l_2 определяются конструктивными и энергетическими параметрами квантовых генераторов

Обоснование схемы установки должно включать проверку соблюдения «правила шести точек», расчет и оценку погрешности базирования для размеров, получаемых на этой операции: $\varepsilon_b \leq 0,5 T_A$. Схема установки и ее обоснование должны быть представлены на листе 1 графической части проекта.

2.4.5. Составление плана операции

Поскольку обработка деталей на ТЛ выполняется автоматически по управляющей программе, то составление плана операции начинается с построения геометрического плана обрабатываемой поверхности. На плане выбирается начало координат. Его совмещают с осью симметрии или располагают таким образом, чтобы все координаты были положительными. Относительно начала координат пересчитываются размеры, координирующие положение отдельных, обрабатываемых на этой поверхности элементов.

При назначении последовательности обработки отдельных элементов необходимо стремиться к сокращению машинно-вспомогательного времени $t_{м.в.}$, связанного с выполнением вспомогательных ходов и перемещений при обработке поверхности (ускоренное перемещение рабочих органов ТЛ, позиционирование и т.п.). Для этого последовательность выполнения переходов обработки должна обеспечить минимальную длину перемещений рабочих органов ТЛ, должны использоваться возможности ТЛ для совмещения перемещений по нескольким координатным осям, для отвода рабочих органов на необходимое минимальное расстояние и т.п.

В управляющей работой ЛТУ программе указывается выбранная последовательность обработки отдельных элементов детали и даются циклограммы перемещения его рабочих органов для каждого перехода обработки. Общий цикл обработки детали составляется из единичных циклов обработки ее отдельных элементов. В единичных циклах при типовой последовательности выполнения рабочих и вспомогательных ходов уточняется их содержание под конкретные условия обработки.

Операционный эскиз лазерной обработки детали с циклограммой перемещения его рабочих органов должен быть представлен на листе 1 графической части проекта.

2.4.6. Назначение оптимальных условий обработки

Назначение оптимальных условий обработки выполняется на основе экспериментальных исследований, результаты которых представляются на листах 2-м и 3-м графической части проекта.

Например, цель эксперимента - установить оптимальные условия обработки, обеспечивающие получение требуемой точности конкретных размеров детали, требуемого качества ее поверхностей, производительности и т.п. должна быть четко сформулирована и иметь количественную оценку.

Решение этой задачи включает в себя установление математической зависимости исследуемого параметра процесса от технологических факторов и на ее основе выявление оптимальных условий выполнения процесса лазерной обработки.

Для установления математической зависимости исследуемого параметра процесса выявляются факторы, влияющие на результаты процесса. Уровни и интервалы их варьирования должны быть обоснованы и представлены в табл. 2 с их кодовым обозначением [1].

Т а б л и ц а 2

Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Кодовое обозначение	Интервал варьирования	Уровни факторов		
			верхний	основной	нижний
			+1	0	-1

Постулируется математическая модель процесса. Она может быть представлена линейной зависимостью вида

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots$$

либо в виде алгебраического полинома

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + \dots,$$

либо степенной зависимостью

$$y = cx_1^x x_2^y x_3^n, \text{ и т.п.},$$

где y – исследуемая характеристика процесса; x_1, x_2, x_3, \dots – факторы, влияющие на величину y ; b_0, b_1, b_2, \dots – коэффициенты, указывающие степень влияния данного фактора на y .

Матрица планирования (план проведения опытов с варьированным уровнем факторов) и результаты опытов представляются в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Матрица планирования и результаты опытов

Номер опыта	Факторы				Результаты опытов			
	x_0	x_1	x_2	\dots	y_1	y_2	\dots	y_{cp}

По результатам опытов определяются коэффициенты b_0, b_1, \dots, b_i математической модели, по доверительному фактору оценивается их статистическая значимость и окончательно через факторы влияния представляется математическая модель исследуемой зависимости. Проверка соответствия полученной математической модели реальному процессу выполняется по критерию Фишера.

П р и м е ч а н и е . При известной из технической литературы математической зависимости исследуемого параметра процесса от факторов влияния значения y могут быть получены алгебраически. В противном случае необходимо выполнять натурные эксперименты при прохождении производственной практики либо в лабораторных условиях.

Поиск оптимальных условий выполнения процесса лазерной обработки ведется на базе полученной зависимости одним из методов оптимизации технологических процессов, например методом крутого восхождения либо методом неопределенных множителей Лагранжа, симплексным методом и т.п. [1]. Наиболее простым из них является метод крутого восхождения. Крутое восхождение начинают из центра плана, т.е. из точки с координатами $x_1 = x_2 = x_3 = \dots = x_i = 0$ (основной уровень факторов). Вычислив шаг движения по градиенту для каждого фактора, приступают к расчету y в направлении градиента, на каждом следующем опыте увеличивая на шаг значение каждого из факторов. Исследование заканчивают после определения условий, обеспечивающих получение значения параметра оптимизации (y), устраивающего исследователя. Результаты исследования сводятся в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Расчет крутого восхождения

Характеристика	Факторы				Результат y
	x_1	x_2	...	x_i	
Основной уровень					
Коэффициент b_i					
Интервал варьирования ε_i					
Коэффициент $b_i \cdot \varepsilon_i$					
Шаг движения по градиенту Δ_i					
Опыт 1-й					
Опыт 2 -й					
...					
...					

На листах 2 – 3 графической части проекта должны быть представлены цель исследования, принятая математическая модель исследуемого

процесса, таблицы с выявленными факторами влияния, уровнями и интервалами их варьирования, с матрицей планирования и результатами опытов, результаты обработки экспериментальных данных с представлением математической зависимости исследуемого параметра от факторов влияния и ее графическую интерпретацию, таблицы с расчетом крутого восхождения и оптимальные условия ведения операции для достижения заданной цели.

2.4.7. Нормирование операции

При нормировании должны быть установлены технически обоснованная норма времени выполнения операции (штучное время $T_{шт.}$) и норма выработки изделий H .

Штучное время выполнения операции $T_{шт.} = t_0 + t_{всп} + t_{орг} + t_{п}$, где $t_0 = \sum t_{0i}$ – основное время на операцию, мин; t_{0i} – основное время на обработку i -го обрабатываемого элемента детали; $t_{всп} = t_{в.у} + t_{м.в}$ – вспомогательное время, включающее время $t_{в.у}$ на установку и снятие заготовки и вспомогательное время $t_{м.в}$, связанное с выполнением вспомогательных ходов и перемещений при обработке детали, мин; $t_{орг}$ – время технического и организационного обслуживания рабочего места, мин; $t_{п}$ – время на личные потребности, мин.

Основное время при резании материалов лазерным лучом может быть определено через производительность обработки $Q_{пр}$ — $t_0 = Q/Q_{пр}$, где Q – объем удаляемого материала мм^3 или г, $Q_{пр}$ – производительность метода, т. е. объем материала, удаляемый с поверхности детали за один световой импульс или серию импульсов в единицу времени в $\text{мм}^3/\text{мин}$ или г/мин [2]

$$Q_{пр} = \eta_{пр} \frac{W_{\Sigma} K_{\text{мат}} \eta_{\text{имп}}}{\rho [c(T_{\text{пл}} - T_0) L_{\text{пл}}]}$$

где $\eta_{пр}$ – коэффициент пропорциональности, определяемый физическими константами среды, длительностью импульса и характеристиками управляющей оптики; $W_{\Sigma} = W_R + W_n + W_r$ – суммарная (выходная) энергия излучения квантового генератора, Дж, состоящая из энергии отражения W_R , энергии поглощения W_n и энергии, проходящей через материал W_r ; ρ – плотность обрабатываемого материала; c – удельная теплоемкость материала; $T_{\text{пл}}$ – температура плавления; T_0 – начальная температура материала; $L_{\text{пл}}$ – площадь лазерного пятна. Производительность обработки во многом зависит от типа используемого лазера. Например, лазерные технологические установки серии «Квант» обеспечивают производительность: «Квант-16» – $100 \text{ мм}^3/\text{мин}$; «Квант-18» – $800\text{-}900 \text{ мм}^3/\text{мин}$ [3].

При методах поверхностной лазерной обработки (термообработка, оплавление, легирование, наплавка и т.п.) и сварки t_0 может быть определено как через их производительность, так и скорость обработки [3, 4] (в прил. 3 приведены некоторые сведения по рекомендуемым режимам непрерывной лазерной сварки материалов разных марок).

Вспомогательное время, затрачиваемое на установку-снятие заготовки, ее измерение и управление механизмами оборудования определяется по нормативам. Время на техническое и организационное обслуживание рабочего места и перерывы на отдых рабочего определяются в процентах от оперативного $t_{обс} = (3 - 5) \% t_{оп}$; $t_{п} = (2 - 3)t_{оп}$.

При обработке заготовок партиями в норме времени учитывается время на переналадку оборудования – $t_{п/з}$ – подготовительно-заключительное время на одну деталь: $T_{шт.} = t_0 + t_{всп} + t_{обс} + t_{п} + t_{п/з}$.

Установить техническую норму времени можно также путем хронометрирования операции во время производственной практики с приложением к расчетно-пояснительной записке хронометражных карт и обработки его результатов.

Техническую норму выработки определяют как $N_{ч} = 60/T_{шт.}$ шт./ч и $N_{см} = (8 \cdot 60 \cdot K_{и})/T_{шт.}$ шт./смену, где $K_{и} = 0,9$ – коэффициент использования оборудования.

2.4.8. Технико-экономическое обоснование операции

Основным показателем, определяющим экономическую целесообразность затрат на операцию, является годовой экономический эффект Э. Он представляет собой суммарную экономию всех производственных затрат, которую можно получить в результате использования лазерной обработки по сравнению с другими способами выполнения этой операции и определяется как [5] $\Delta = (C_{N_1} + E_n K_1) - (C_{N_2} + E_n K_2)$, где $C_{N_i} = C_{д_i} N$ – себестоимость годовой продукции по сравниваемым вариантам выполнения операции; E_n – коэффициент сравнительной экономической эффективности, $E_n = 0,12$ [5]; K_i – капитальные вложения по сравниваемым вариантам выполнения операции. При сравнении операций, выполняемых в одном цехе, под K принимается только стоимость технологического оборудования; $C_{д_i}$ – себестоимость обработки одной детали по сравниваемым вариантам. Ее расчет можно осуществить, опираясь на методику, изложенную в [5] с учетом того, что размер амортизационных отчислений от лазерного оборудования составляет около половины стоимости 1 кВт·ч, а в эксплуатационных расходах автоматических ЛТК доля затрат на амортизационные отчисления и на расходуемые материалы составляют около 70 % [6]. Пол-

ный ресурс работы ТЛ должен быть не менее 104 ч с высоким процентом (не менее 90 %) времени работы оборудования с генерацией и использованием лазерного излучения. Сведения о межремонтном ресурсе некоторых видов ТЛ приведены в табл. ПЗ и П4 прил. 1. Время простоев на ремонт и наладку занимает 2 – 5 % времени [6].

При отсутствии альтернативного лазерному способу обработки детали технико-экономический расчет может быть ограничен расчетом только себестоимости обработки одной детали и годовой программы.

2.4.9. Оформление технологической документации

Государственные стандарты ЕСКД, ГОСТ 3.1122-84 оговаривают необходимый комплект документов на технологические процессы. В курсовом проекте должны быть оформлены маршрутная карта (МК), операционная карта (ОК) и операционная карта технического контроля (ОКК) в соответствии с рекомендациями к оформлению технологических документов на электрофизические методы обработки Р-50-54-33-87.

МК содержит адресную информацию: номер цеха, участка, рабочего места, операции, перечень документов, применяемых для выполнения операции, технологическое оборудование, трудозатраты. В ОК описывается операция с применением операционного описания. Кроме её названия и сведений о технологическом оборудовании и оснастке в карте дается операционный эскиз и указываются режим, на котором должна вестись обработка, и технически обоснованные нормы времени выполнения операции t_0 и $T_{шт.}$.

Если операция роботизированная, то в МК должны быть отражены функции робота, связанные с установкой и снятием заготовки, и согласования этого с работой ТЛ. В ОК описание содержания операции начинается с требования: «Установить заготовку по программе № XXX» и заканчивается «Снять деталь с ЛТК по программе № XXX».

2.5. Проектирование и расчет технологической оснастки к лазерной установке [7]

Проектирование приспособления, необходимого для обеспечения правильной ориентации обрабатываемой заготовки в системе координат ЛТУ, выполняется исходя из принятой схемы ее установки при разработке лазерной операции (п. 2.4.4.).

При разработке конструкции приспособления задачами студента в границах курсового проектирования являются:

1. Конкретизация принятой схемы установки заготовки.

2. Выбор конструкции и размеров установочных элементов и необходимых вспомогательных элементов.
3. Общая компоновка приспособления с назначением технических условий (ТУ) на его изготовление.

На общем виде приспособления указываются его габаритные, присоединительные и эксплуатационные размеры, ТУ на изготовление. В технических условиях указываются точность взаимного расположения установочных и ориентирующих элементов приспособления, допустимые величины отклонений, которые устанавливаются при расчете приспособления на точность.

Расчет на точность включает в себя:

1. Определение допустимой величины погрешности установки заготовки $\varepsilon_{\text{доп}A} = T_A - \omega$, где T_A – технологический допуск на размер A детали, ω – экономически достижимая точность конкретного вида лазерной обработки.

2. Приравнивание (ограничение) погрешности установки, создаваемой спроектированным приспособлением, к ε_y допустимой погрешности установки заготовки на этой операции $\varepsilon_y = \varepsilon_{\text{доп}}$.

3. Определение ε_y как $\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_{\text{ст}}^2 + 3\varepsilon_{\text{изн.у.э}}^2 + \varepsilon_{\text{изг.п}}^2}$, где величина погрешности базирования ε_6 известна (п. 2.4.4.); $\varepsilon_{\text{ст}}$ – погрешность положения приспособления на столе ЛТУ, величина её зависит от способа ориентации приспособления на столе ЛТУ; $\varepsilon_{\text{изн.у.э}}$ – допустимый износ установочных элементов, рассчитывается по эмпирическому выражению $\varepsilon_{\text{изн.у.э}} = \beta_1 N$ при плоских опорах или $\varepsilon_{\text{изн.у.э}} = \beta_2 \sqrt{N}$ при точечных опорах; $\varepsilon_{\text{изг.п}}$ – погрешность изготовления приспособления.

4. Определение $\varepsilon_{\text{изг.п}}$ как $\varepsilon_{\text{изг.п}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{доп}}^2 - \varepsilon_6^2 - \varepsilon_{\text{ст}}^2 - 3\varepsilon_{\text{изн.у.э}}^2}$.

5. Назначение технических требований к точности взаимного расположения установочных и ориентирующих элементов приспособления исходя из величины $\varepsilon_{\text{изг.п}}$, распределяя её между отдельными позициями ТУ.

Сборочный чертеж приспособления дается на листе 4 графической части проекта.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Основные параметры процессов лазерной обработки и лазерных установок

Таблица П 1

Параметры лазерного излучения при лазерных технологических процессах

Параметр лазерного излучения	Процесс лазерной обработки			
	Поверхностная термообработка	Сварка	Резка	Пробивка отверстий
Интенсивность излучения на поверхности обрабатываемого изделия, Вт/см ²	0,5·10 ⁴ ... 2,0·10 ⁵	2·10 ⁵ ... 2·10 ⁶	2·10 ⁶ ... 2·10 ⁷	10 ⁷ ... 10 ⁸
Длительность воздействия излучения, с	10 ⁻² ... 1	10 ⁻³ ... 1	10 ⁻³ ... 1	10 ⁻⁵ ...10 ⁻³
Диапазон средней мощности излучения, кВт	1 ... 5	2 ... 5	0,5 ... 5	0,5 ... 2
Угловая расходимость по уровню 0,86 полной мощности, мрад	2 ...5	1 ... 2	0,3 ... 1	0,5 ... 1
Апертура пучка, мм	20 ... 80	20 ... 30	10 ... 30	20 ...40
Длина транспортировки излучения, м	3 ... 10	3 ... 10	1 ... 15	1 .. 5
Допустимая нестабильность полной мощности, %	±3	±3	±2	±2
Допустимая нестабильность угловой расходимости, %	±2	±3	±2	±2
Допустимая угловая нестабильность оси пучка, мрад	0,2	0,25	0,03	0,05
Поляризация излучения	линейная	круговая	круговая	круговая

Таблица П 2

Основные технические характеристики твердотельных ТЛ

Тип ТЛ	Длина волны излучения, мкм	Средняя мощность излучения, Вт	Частота повторения импульсов, кГц	Диаметр луча на выходе, мм	Расходимость излучения, рад	Масса установки, кг
Лазеры непрерывного действия						
ЛТН – 101	1,064	63	–	4	$1 \cdot 10^{-2}$	190
ЛТН – 102А	1,064	125	–	4	$1 \cdot 10^{-2}$	220
ЛТН – 102Б	1,32	31	–	4	$1 \cdot 10^{-2}$	220
ЛТН – 103	1,064	250	–	4	$1,2 \cdot 10^{-2}$	340
ЛТН – 401А	0,532	1	–	4	$1 \cdot 10^{-2}$	210
ЛТН – 401Б	0,532	2	–	4	$1 \cdot 10^{-2}$	210
Импульсные лазеры						
ЛТИ – 501	1,064	8	5 ... 50	1,5	$1,0 \cdot 10^{-3}$	225
ЛТИ – 502	1,064	16	8 ... 50	1	$2,0 \cdot 10^{-3}$	225
ЛТИ – 504	1,064	4	5 ... 25	2	$2,0 \cdot 10^{-3}$	280
ЛТИ – 701	0,532	4	1 ... 25	0,8 ... 1	$1,5 \cdot 10^{-3}$	225
ЛТИ – 702	0,532	2	1 ... 25	0,8 ... 1	$1,5 \cdot 10^{-3}$	225

Т а б л и ц а П 3

Основные технические и эксплуатационные характеристики
газоразрядных лазеров
с диффузионным охлаждением рабочей смеси (ЛДО)

Характеристики ЛДО / Модель ЛДО		«Кохерент» E-775	«Фотон»	ЛГН-702	«Юпитер»	«ИГ-ЛАН-3»	МТЛ-2
Технические параметры	Р _н , кВт	0,8	1,0	0,8	0,3	3,0	2,0
	Нестабильность ΔР/Р, %	±2	±2	±5	±5	±3	±5
	Апертура пучка, мм	18	10	40	80	94	94
	Мода генерации (или К _θ)	90 % TEM ₀₀	95 % TEM ₀₀	К _θ =0,08	К _θ =0,04	К _θ =0,04	К _θ =0,08
	Угловая расходимость, мрад	1,5	1,55	3	3	5	2,5
	Габаритные размеры, м	4,6·0,94·0,66	3,85·1,05·1,8	6,47·0,72·1,26	1,5·0,27·0,17	5,6·0,8·1,8	1,9·0,8·1,7
Эксплуатационные характеристики	Состав смеси СО ₂ : N ₂ : He и давление, торр	4,6:13,5:82; 25	1:2:22; 20	1:2:10; 7,5	1:2:7; 15	1:1,8:5,6; 20	
	Газопотребление, м ³ /ч	0,08	0,9	0,24	0,16	0,9	0,3
	Водопотребление, м ³ /ч	2,2	0,9	1,2	0,3	10	3,5
	Межпрофилактическое время, ч	500	500	40	600		
	Наличие ИПР, t _и – мс; F _и – кГц	t _и ≥ 0,1 F _и ≤ 2,5	+	–	F _и ≤ 0,2 P _и = 10P _{ср}	–	+
	Наличие МП САУ	+	+	–	–	–	+

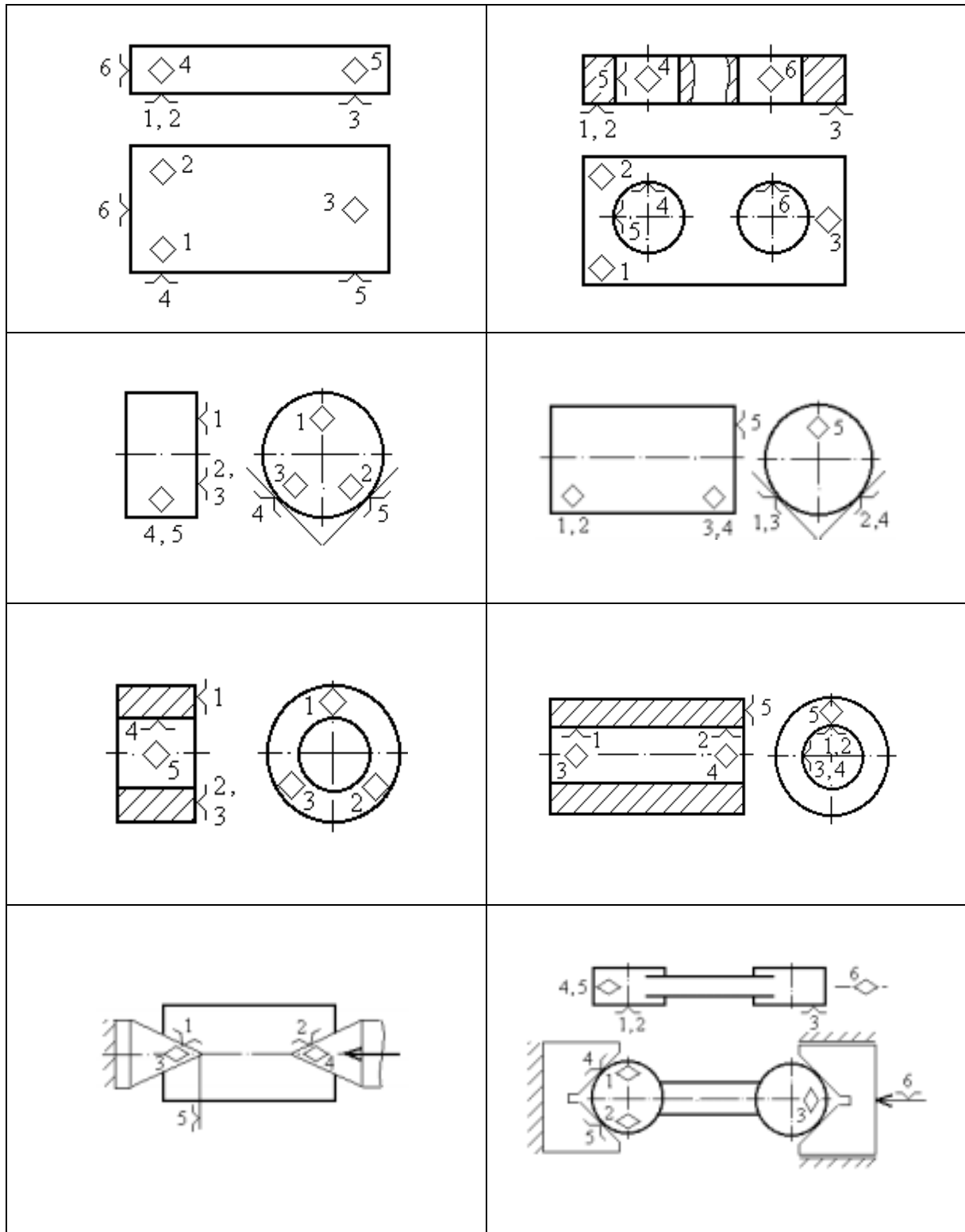
Примечание: $K_{\theta} = \theta_d / \theta$, где θ_d – дифракционная расходимость на апертуре пучка на входе; θ – фактически наблюдаемая расходимость пучка; ИПР – импульсно-периодический режим; МП САУ – микропроцессорная система автоматического управления.

Т а б л и ц а П 4

Основные технические и эксплуатационные характеристики
быстропроточных газоразрядных лазеров (БПЛ)

Характеристики БПЛ		Модель БПЛ	Модель 820 («Спектра-Физикс»)	«ЛАТУС-31»	ЛОК-2	ТЛ-5
Технические параметры	Р _н , кВт		1,5	1,5	1,2	5
	Нестабильность излучения, %		±2	5	±5	±3
	Апертура пучка, мм		24	40	60	54
	Мода генерации		TEM ₀₀	TEM ₀₀	Кольцо	Кольцо
	Угловая нестабильность оси пучка, мрад		0,15	–	0,2	0,2
	Угловая расходимость, мрад		1,4	4,9	0,2	0,2
	Габаритные размеры, м		2,1·1,2·1,9	1,2·0,67·0,56	23·0,9·0,8	2,5·2·2
Эксплуатационные характеристики	Состав смеси CO ₂ : N ₂ : He и давление, торр		4:17:79; 30	(2...30): (4...90): (0...70)	1:3:2; 1,5	0,05:95:0; 25
	Газопотребление, м ³ /ч		0,056	0,005	0,15	3,0 (N ₂)
	Водопотребление, м ³ /ч		2,3	–	4,0	7,0
	Межпрофилактическое время, ч		500	300	100	250
	Наличие МП САУ		+	–	–	+

Схемы базирования заготовок



**Рекомендации по назначению режимов резания
для лазерной сварки**

Материал	Толщина материала, мм	Мощность луча, кВт	Скорость сварки, м/ч	Фокусное расстояние, мм	Заглубление фокуса, мм
Группа сталей					
Низкоуглеродистые, низколегированные стали (Ст 3, 17ГС)	3,0	3,1	110	120	1,5
Среднеуглеродистые, легированные стали (35, 30ХГА)	2,0	2,8	100	120	1,5
	3,0	3,2	100	120	1,5
Высоколегированные, аустенитные (12Х18Н10Т)	3,0	3,3	100	160	1,0
	5,0	5,0	75	150	1,0
Высоколегированные, мартенситно-старяющие (0,8Х15Н5Д2Т)	3,0	3,5	80	500	1,5
Алюминиевые сплавы					
АМг 6	2,0	2,1	90	120	-
	2,0	2,3	120	120	
	3,0	2,3	90	140	
	3,0	2,8	120	140	
	4,0	2,8	90	140	
	4,0	3,1	120	140	
АМг 61	2,0	2,3	100	120	-
	4,0	2,8	90	120	
АМг6НП	4,0	3,1	120	120	
Магниевые сплавы					
МА2-1	1,8	2,0	100	112	-
	1,2	2,3	130	112	
ИМВ-2	4,0	2,0	60	112	-
МА18	1,2	2,0	130	112	-

Окончание табл. П 1

Материал	Толщина материала, мм	Мощность луча, кВт	Скорость сварки, м/ч	Фокусное расстояние, мм	Заглубление фокуса, мм
Титановые сплавы					
BT 6	3,0	3,0	80	300	±1,0
	5,0	4,0	80	300	±1,5
BT 28	2,0	4,0	160	230	-1,0
	3,0	3,3	100	149	-1,0
ПТЗВ	5,0	4,0	95	149	-1,5
	4,0	4,0	160	500	±1,0
Жаростойкие сплавы					
Нихромы	-	-	70...150	-	-

Таблица П 2

Рекомендации по режимам лазерной резки металлов

Материал	Толщина листа, мм	Мощность лазера, кВт	Скорость резки, м/мин	Давление газа, МПа	Параметры реза		
					ширина, мм	глубина ЗТВ, мм	шероховатость, Rz, мкм
Непрерывный CO₂ – лазер (d_f = 0,2 мм)							
Углеродистая сталь	1**	0,5	2,23	0,15	0,64	0,12	14,5
	1	1	6,0	0,15	0,41	0,081	–
	1	1	8,0*	0,15	0,37	0,06	–
	3,3	1	2,0	0,15	0,51	0,26	–
	5,2	1	1,0	0,15	0,51	0,26	–
	5,2	1	2,5*	0,15	0,46	0,165	–
	10**	1	0,37*	0,15	0,82	0,40	80
Нержавеющая сталь	2,0	1	3,5	0,25	0,39	0,098	–
	2,0	1	3,0*	0,15	0,40	0,088	–
	5,0**	1	0,91	0,15	0,64	0,27	–
Титан	2,0	1	2,0	0,15	0,344	–	–
	1,0**	1	2,27	0,15	0,34	0,24	16,4
Алюминий	2,0	1	0,2	0,15	0,377	–	–
	2,0	1	0,5*	0,15	0,344	–	–
	8,0***	3	0,6	–	0,5	–	–

Окончание табл. П2

Материал	Толщина листа, мм	Мощность лазера, кВт	Скорость резки, м/мин	Давление газа, МПа	Параметры реза		
					ширина, мм	глубина ЗТВ, мм	шероховатость, Rz, мкм
Никель	1,0 ^{***}	2,0	7,9	–	–	–	–
Молибден	4,0 ^{***}	4,0	0,5	–	–	–	–
Вольфрам	3,0 ^{***}	4,0	0,3	–	–	–	–
Непрерывный ИАГ - лазер							
Нержавеющая сталь	0,5	0,07	1,5	–	0,1	–	–
	1,0	0,07	0,7	–	0,12	–	–
	1,5	0,07	0,5	–	0,15	–	–
	0,5	0,12	4,0	–	0,1	–	–
	1,0	0,12	2,0	–	0,14	–	–
	2,0	0,12	0,8	–	0,18	–	–
	3,0	0,40	1,5	–	0,20	–	–

Примечание: * – режимы высокопроизводительной обработки; ** – диаметр пятна фокусировки $d_f = 0,4$ мм; *** – диаметр пятна фокусировки неизвестен. ЗТВ – зона термического влияния.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Спиридонов А.А., Васильев Н.Г. Планирование эксперимента: Учеб. пособие. – Свердловск: Изд-во УПИ им. С.М.Кирова, 1975. – 152 с.
2. Суминов В.М., Промыслов Е.В. Обработка деталей лучом лазера. – М: Машиностроение, 1969. – 196 с.
3. Григорьянц А.Г., Соколов А.А. Лазерная техника и технология: В 7 кн. Кн. 3. Методы поверхностной лазерной обработки: Учеб. пособие для вузов/ Под ред. А.Г. Григорьянца. – М: Высш. шк., 1988. – 127 с.
4. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н. Лазерная техника и технология: В 7 кн. Кн. 5. Лазерная сварка металлов: Учеб. пособие для вузов/ Под ред. А.Г. Григорьянца. – М: Высш. шк., 1988. – 207 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К. Мещерякова: В 2 т. Т. 2., – М: Машиностроение, 1985. – 656 с.
6. Голубев В.С., Лебедев Ф.В. Лазерная техника и технология: В 7 кн. Кн. 2. Инженерные основы создания технологических лазеров: Учеб. пособие для вузов/ Под ред. А.Г. Григорьянца. – М: Высш. шк., 1988. – 176 с.
7. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений: Учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. – М: Машиностроение, 1983. – 277 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
1. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	3
1.1. Цель и задачи курсового проектирования	3
1.2. Тематика проектов	3
1.3. Содержание проекта	3
2. СОДЕРЖАНИЕ ЭТАПОВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	4
2.1. Задача проекта	4
2.2. Характеристика обрабатываемой детали	4
2.3. Расчеты по программе выпуска	5
2.4. Разработка операции лазерной обработки детали	5
2.4.1. Физические особенности протекания процесса лазерной обработки	5
2.4.2. Описание заготовки и способа ее получения	5
2.4.3. Выбор лазерного технологического оборудования ..	6
2.4.4. Выбор схемы установки и закрепления обрабатываемой детали	6
2.4.5. Составление плана операции	10
2.4.6. Назначение оптимальных условий обработки	10
2.4.7. Нормирование операции	13
2.4.8. Технико-экономическое обоснование операции ...	14
2.4.9. Оформление технологической документации	15
2.5. Проектирование и расчёт технологической оснастки к лазерной установке [7].	15
Приложение 1. Основные параметры процессов лазерной обработки и лазерных установок	17
Приложение 2. Схемы базирования заготовок	21
Приложение 3. Рекомендации по назначению режимов резания для лазерной сварки	23
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	25

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ»

Составитель
Желобова Татьяна Александровна

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой профессор В.В. Морозов

Редактор А.П. Володина
Корректор О.В. Чезганова

ЛР № 020275 от 13.11.96. Подписано в печать 19.01.01.
Формат 60x84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,63 .Уч.-изд.л.1,78. Тираж 50 экз. Заказ

Владимирский государственный университет
Подразделение оперативной полиграфии
Владимирского государственного университета.
Адрес университета и подразделения оперативной полиграфии:
600000, Владимир, ул. Горького, 87.