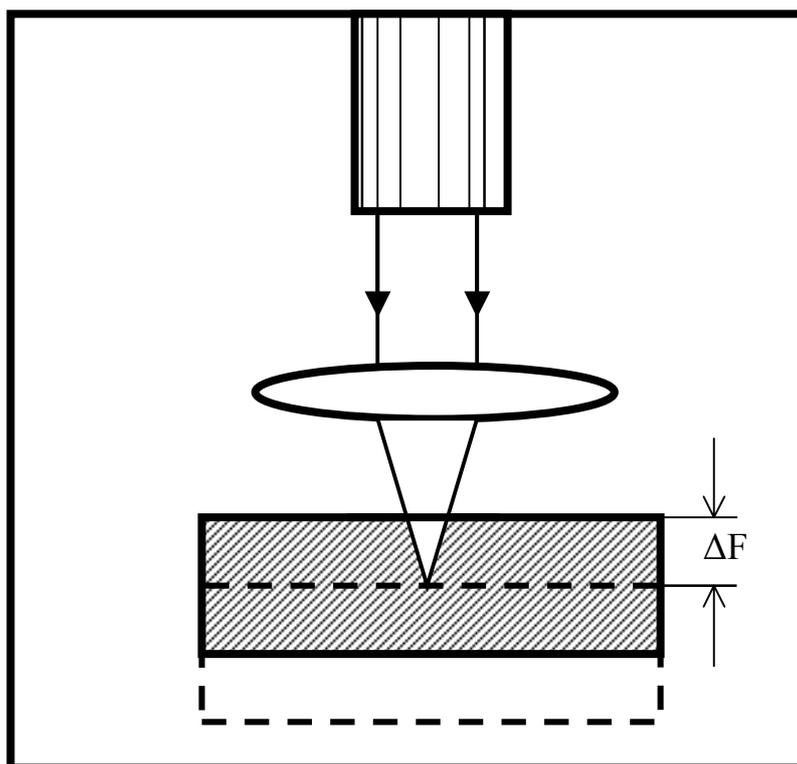


Владимирский государственный университет

ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Методические указания к лабораторным работам



Владимир 2001

Министерство образования Российской Федерации
Владимирский государственный университет

Кафедра технологии машиностроения

ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Методические указания к лабораторным работам

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

Лазерная технология: Метод. указания к лабораторным работам/ Владимир. гос. ун-т; Сост. Т.А.Желобова. Владимир, 2001. 44 с.

Изложена методика проведения семи лабораторных работ, посвященных изучению технологических возможностей лазерного излучения. Экспериментальным путем устанавливается степень воздействия на обрабатываемый материал лазерного излучения в зависимости от его энергетических параметров, особенности формообразования отверстий и их точность, оптимальные условия их прошивки, приобретаются навыки по техническому нормированию этой операции. Изучается влияние режима газолазерной резки на качественные показатели процесса.

Предназначены для студентов, обучающихся по специальностям 120700 – машины и технологии высокоэффективных процессов обработки материалов и 073000 – лазерная техника и лазерные технологии.

Ил. 13. Табл. 12.

УДК 621.373.826:621.7/9(075,8)

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные работы являются важной частью процесса изучения дисциплины «Лазерная технология». При выполнении работ студенты, кроме лучшего усвоения теоретического материала, приобретают навыки в разработке и исследовании технологических операций.

Проведение каждого занятия складывается из этапов:

1. Постановка преподавателем цели работы и выдача варианта задания каждой бригаде (из 2 – 3 студентов).

2. Краткий повторный инструктаж по технике безопасности в соответствии с характером выполняемой работы.

3. Самостоятельное изучение студентами содержания работы, выполнение операционных эскизов обработки заготовки, подготовка таблиц для записи наблюдений, выполнение предварительных расчетов.

4. Проверка преподавателем правильности усвоения студентами содержания и методики проведения работы.

5. Непосредственное выполнение каждой бригадой лабораторной работы на станках и приборах при участии учебного мастера и под руководством преподавателя.

6. Обработка и анализ экспериментального материала, составление графиков, выполнение окончательных расчетов.

7. Оформление студентами отчета о работе.

8. Сдача (защита) работы.

Техника безопасности

Проведение лабораторных занятий связано с работой на лазерных технологических установках и требует внимания и осмотрительности. На первом занятии преподаватель проводит инструктаж по технике безопасности, что регистрируется в картах инструктажа с личной подписью каждого студента. Перед выполнением очередной работы преподаватель повторно инструктирует студентов в соответствии с темой занятия.

Студентам не разрешается:

- приступать к выполнению работ без ознакомления с правилами техники безопасности;
- устанавливать заготовки и включать лазерную установку без разрешения и в отсутствие преподавателя;
- работать без опущенных или придвинутых защитных экранов;
- открывать распределительные электрощиты.

Студенты должны знать расположение рубильников аварийного отключения энергии и мест размещения средств огнетушения.

Отчет о лабораторной работе

Отчет о лабораторной работе оформляется каждым студентом на листах формата А4. Текст отчета пишется чернилами, эскизы и графики могут выполняться карандашом, но обозначения, цифры и надписи на них делаются чернилами. Графики результатов экспериментов строятся в масштабах. На первую страницу отчета сверху наносится стандартный заголовок:

ВлГУ, кафедра ТМС	Отчет о лабораторной работе № _____ (наименование работы)	Фамилия, инициалы студента
		Группа
		Количество страниц

Отчет должен содержать:

- цель и краткое содержание работы;
- характеристику оборудования, инструмента и заготовок;
- схему проведения опыта (эскиз технологической операции);
- схему измерения поверхностей с указанием измерительного инструмента, прибора и точности измерений;
- расчетные формулы с числовым решением;
- графики зависимостей, построенные по результатам опытов;
- краткие выводы по работе.

В конце отчета ставится личная подпись студента и дата проведения работы. Законченные и аккуратно оформленные отчеты студенты предъявляют преподавателю, как правило, до начала выполнения следующей работы. При сдаче (защите) работы и хорошем освоении материала студенты получают зачет. Отчет хранится на кафедре.

Лабораторная работа №1. ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель работы – установить степень воздействия на обрабатываемый материал лазерного излучения в зависимости от его энергетических параметров.

Теоретические положения

Такие физические характеристики лазерного излучения, как когерентность, монохроматичность и интенсивность, обусловили его применение в различных технологических процессах тепловой обработки материалов.

С помощью оптических управляющих систем лазерное излучение может быть сфокусировано в луч до ширины в 0,3–1 мрад. С малой шириной лазерного луча связана возможность получения чрезвычайно высокой плотности мощности в нем. От уровня интенсивности лазерного излучения и длительности его воздействия зависит вид технологической операции, в которой оно может быть использовано: термообработка, сварка, резка, пробивка отверстий и др.

Характер и интенсивность воздействия в первую очередь зависят от плотности мощности лазерного излучения E (Вт/м²) в зоне обработки $E=P/F_{\text{пятн}}$, где P – мощность лазерного излучения, Вт; $F_{\text{пятн}}$ – площадь пятна лазерного излучения, сфокусированного на поверхности, м².

При уровнях до пороговой плотности мощности излучения (E^*) имеет место активный разогрев металла без разрушения, при котором не наблюдается заметного испарения или разрушения материала. Такие источники нагрева используются для термообработки, наплавки, легирования. Величина пороговой плотности мощности излучения у разных металлов различна и зависит от теплоты испарения, теплопроводности и длительности нагрева. Для большинства металлов она находится в пределах $10^9 \dots 10^{11}$ Вт/м².

Превышение пороговой плотности мощности излучения вызывает нагрев металла до первой температуры разрушения – плавления. При дальнейшем поглощении излучения металл расплавляется и от участка воздействия излучения в объем материала начинает перемещаться фазовая граница плавления. Энергетическое воздействие лазерного излучения приводит к последующему повышению температуры – второй температуры разрушения – кипения, когда имеет место активное испарение. При

значительном превышении плотности мощности излучения над пороговой основная доля энергии лазерного излучения расходуется на интенсивное испарение материала и увеличение внутренней энергии разлетающихся паров, капель и твердых частиц, а энергия, затрачиваемая на плавление металла, относительно мала. Соответственно жидкая фаза в зоне обработки практически отсутствует.

В зависимости от плотности мощности лазерного излучения количество расплавленного металла, стационарная температура, скорость плавления и испарения будут различными. Изменяя плотность мощности и время воздействия лазерного излучения на металлы, можно управлять этим процессом. Жесткий режим при практическом отсутствии жидкой фазы в зоне обработки используется при пробивке отверстий. Снижение плотности мощности приводит к увеличению жидкой фазы, происходит интенсивное проплавление. Такой режим используется при резке и сварке металлов.

Содержание работы

Установление влияния энергетических параметров лазерного излучения на форму и интенсивность протекания процессов в материале обрабатываемой заготовки, выделение зон плотности мощности лазерного излучения, обеспечивающей различные виды технологических процессов тепловой обработки материалов.

Оборудование, заготовки

Оборудование: лазерная технологическая установка (ЛТУ) модели ЛТИ, основанная на твердотельном лазере с оптической накачкой мощностью 6 кВт.

Заготовки: призматические или цилиндрические образцы из сталей 1Х18Н9Т, 30ХГСА; твердого сплава Т15К6; латуни Л62; дуралюминия Д16Т, керамики марки ЦМ332.

Порядок выполнения работы

1. Составить схему обработки образца (см. рисунок).
2. Подготовить таблицу для записи исходных данных и результатов опытов.

3. На столе ЛТУ установить образец и задать соответствующий очередному опыту режим обработки. Выполнить обработку.

4. Изучить результаты воздействия лазерного излучения на образец. Описать их в таблице результатов и определить процесс лазерной обработки, который возможен при таком режиме лазерного излучения.

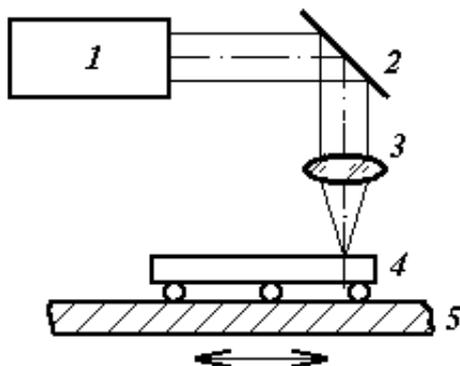


Схема передачи лазерного излучения в зону обработки: 1 – излучатель; 2 – зеркала; 3 – объектив; 4 – обрабатываемая заготовка; 5 – рабочий стол

Исходные данные и результаты экспериментов

Номер опыта	Режим обработки		Результат воздействия лазерного излучения	Возможный процесс обработки
	при интенсивности излучения на поверхности обрабатываемого изделия, Вт/см ²	при длительности воздействия излучения, с		
1	$0,5 \cdot 10^4 \dots 2,0 \cdot 10^5$	$10^{-2} \dots 1$		
2	$2,0 \cdot 10^5 \dots 2,0 \cdot 10^6$	$10^{-3} \dots 1$		
3	$2,0 \cdot 10^6 \dots 2,0 \cdot 10^7$	$10^{-3} \dots 1$		
4	$10^7 \dots 10^8$	$10^{-5} \dots 10^{-3}$		

Отчет о работе

Отчет о работе должен содержать:

1. Наименование, цель и содержание работы.
2. Оборудование, характеристику опытных образцов.
3. Схему обработки.
4. Таблицу с режимами и результатами обработки.

5. Выводы о степени воздействия на обрабатываемый материал лазерного излучения в зависимости от его энергетических параметров и выделении интервалов режима обработки, обеспечивающих возможные виды процессов лазерной обработки.

Библиография

Лазерная техника и технология: Учеб. пособие для вузов: В 7 кн./ Под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Высш. шк., 1988.

Лабораторная работа №2. ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ГЛУХИХ ОТВЕРСТИЙ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ

Цель работы – экспериментальное изучение зависимости формы отверстия от положения фокуса фокусирующей линзы относительно поверхности заготовки.

Теоретические положения

Процесс формообразования глухих отверстий определяется тремя факторами: положением фокуса фокусирующей линзы относительно наружной поверхности заготовки, энергетическими параметрами лазерного излучения и теплофизическими и оптическими характеристиками обрабатываемого материала.

Положение фокуса фокусирующей линзы определяет место наибольшей концентрации энергии. От того, где это происходит: на поверхности заготовки, внутри металла или над поверхностью – зависит соотношение процессов, связанных с условиями нагрева, плавления и кипения металла в области воздействия лазерного излучения, т.е. характер протекания квазистатической и динамической фаз.

При положении фокуса на поверхности заготовки в период квазистатической фазы, при которой происходит постепенный нагрев материала и изменение прочностных связей некоторого объема облучаемого материала с основной его массой, зона прогретого материала с определенного момента начинает перемещаться в глубь заготовки. Этот период является основным по формированию канала отверстия. По мере углубления луча в толщину материала происходит постепенное плавление последнего. Посте-

пенность этого процесса по длине действия луча является основной причиной образования конусности обрабатываемого отверстия. Поскольку величина гидростатического и капиллярного давлений, имеющих место в зоне обработки, является функцией плотности жидкого металла, высоты его столба и температуры в зоне обработки, то при определенных условиях может иметь место образование цилиндрических отверстий.

При переходе процесса обработки в динамическую фазу перегретый материал взрывообразно удаляется из полости отверстия. Однако ввиду высокой плотности энергии светового луча удаление материала из зоны обработки осуществляется путем его истечения по стенкам обрабатываемого отверстия. Обладая высокой температурой и кинетической энергией, поток расплавленного металла в процессе движения дополнительно размывает и уплотняет стенки образующегося отверстия. При достижении наружной поверхности заготовки расплавленный металл либо выбрасывается из зоны обработки, либо застывает в виде наплыва на наружной поверхности детали.

Динамические силы, действующие в период выброса расплавленного металла из зоны обработки, разбивают и размывают входную часть отверстия, образуя входной конус.

При смещении фокуса фокусирующей линзы в толщу материала имеет место отличных от выше рассмотренного механизма обработки. В этом случае место наибольшей концентрации энергии находится на некоторой глубине от поверхности. Наличие в толще материала теплового источника формирует изолированно от поверхности заготовки ядро расплавленного материала. Рост данного ядра заканчивается образованием канала проводимости, через который расплавленный материал под действием сильного термодинамического взрыва выбрасывается наружу. Такой механизм обработки не может обеспечить геометрически правильной формы обработанного отверстия, и оно имеет входной конус, далее основной цилиндрический или конический участок и в конце отверстия элемент бочкообразной формы.

При расположении фокуса фокусирующей линзы над поверхностью материала в фокальной плоскости линзы возникает высокотемпературная плазма, которая со значительной скоростью движется к поверхности заготовки и обрушивается на нее. При высоких плотностях энергии имеет место пробой воздуха, фронт которого распространяется к линзе. За счет этого поглощается значительная часть энергии излучения. Оставшаяся часть

энергии взаимодействует с верхними слоями заготовки, вследствие чего возникает квазистатическая фаза, которая при определенных условиях переходит в динамическую. Образовавшееся отверстие при этом имеет коническую форму.

Содержание работы

Пробивка глухих отверстий в заготовке при разных величинах фокусного расстояния фокусирующей линзы от ее поверхности; изучение геометрических параметров полученных отверстий и их измерение на большом инструментальном микроскопе БМИ-1, оборудованном индикаторами часового типа с ценой деления 1 мкм.

Оборудование, инструмент, заготовки

Оборудование: лазерная технологическая установка (ЛТУ) модели ЛТИ, основанная на твердотельном лазере с оптической накачкой мощностью 6 кВт.

Инструмент: большой инструментальный микроскоп БМИ.

Заготовки: призматические заготовки с трехступенчатой верхней поверхностью. Подъем ступеней $\Delta f = 1 - 2$ мм.

Материал заготовок: стали 1Х18Н9Т, 3ОХГСА; твердый сплав Т15К6; латунь Л62; дуралюминий Д16Т; керамика марки ЦМ 332.

Порядок выполнения работы

1. Составить схему обработки заготовки.
2. Выполнить настройку оптической системы ЛТУ, выставив положение фокуса фокусирующей линзы на поверхности средней ступени заготовки. При настройке использовать вспомогательные оптические средства как наиболее удобные в работе и обеспечивающие достаточно высокую точность (рис. 1).
3. Выполнить на одной осевой линии пробивку по три отверстия на каждой ступени заготовки. Высота ступени Δf определяет смещение фокуса линзы относительно плоскости настройки: на верхней ступени в глубь материала – на Δf , на первой ступени над поверхностью заготовки – на Δf .
4. Разрезать заготовку вдоль осевой линии обработанных отверстий до их диаметральной плоскости на фрезерном станке (рис. 2). Вскрытую поверхность довести на шлифовальном и полировальном оборудовании.

5. На микроскопе БМИ изучить форму полученных отверстий, измерить их геометрические параметры. Сделать эскизы трех отверстий, полученных при различном положении фокуса линзы относительно поверхностей заготовки, с указанием размеров их характерных элементов. Размеры элементов каждого отверстия принять по усредненным результатам измерения трех отверстий на одной ступени заготовки.

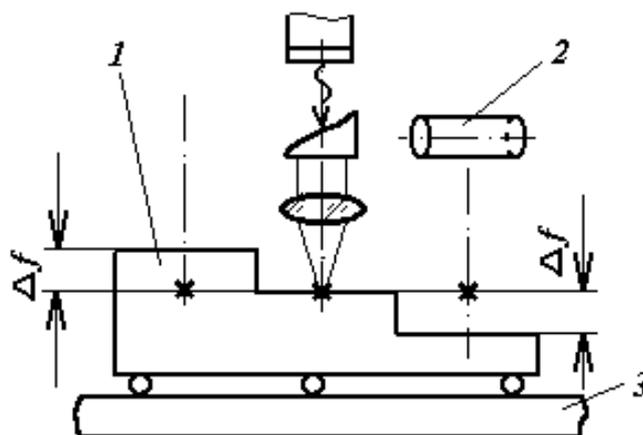


Рис. 1. Схема настройки ЛТУ с помощью дополнительной оптики:
1 – заготовка; 2 – дополнительная оптика; 3 – рабочий стол

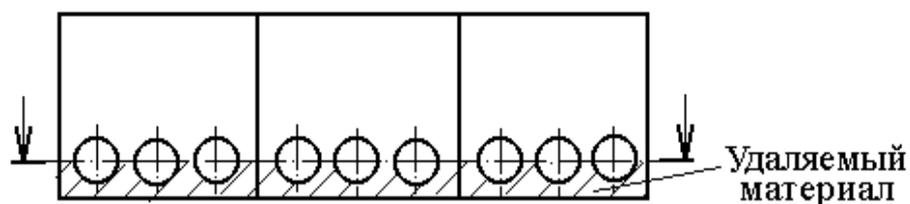


Рис. 2. Схема препарирования заготовки после пробивки отверстий

6. По результатам эксперимента сделать заключение о связи геометрических параметров прошитых отверстий с положением фокуса фокусирующей линзы относительно поверхности заготовки.

Измерение линейных размеров на большом инструментальном микроскопе БМИ

Измерительный микроскоп – бесконтактный оптический прибор, на котором, наблюдая в увеличенном виде контуры детали, измеряют линейные

и угловые размеры элементов этих контуров в прямоугольных или полярных координатах. Процесс их измерения осуществляется непосредственно по линейным и угловым шкалам прибора (абсолютный метод измерения).

Ход лучей и работа оптической схемы БМИ представлена на рис. 3.

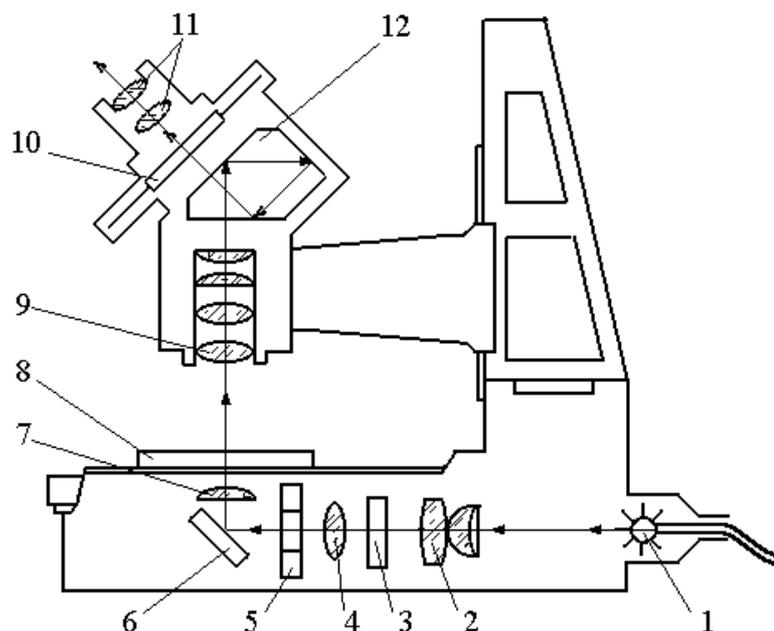


Рис. 3. Оптическая схема большого инструментального микроскопа

Лучи от лампы 1 через конденсоры 2 и 4 и светофильтр 3 проходят через ирисовую диаграмму 5, размер которой устанавливается в зависимости от размера измеряемой детали. Затем пучок лучей падает на поворотное зеркало 6 и через конденсор 7 освещает снизу контур предмета, лежащего на предметном столе 8. После этого поток лучей, несущий в себе контур предмета, попадает в объектив 9, который увеличивает изображение контура в $1,5^x$, а также превращает его в обратное. Это неудобное для оператора обстоятельство устраняется оборотной призмой 12, с помощью которой обратное изображение становится прямым. После призмы 12 лучи попадают в наблюдательную часть окулярной головки на пластину 10 со штриховой сеткой, которая расположена в фокусной плоскости объектива 9. Линзы окуляра 11 увеличивают изображение предмета еще в 20^x , и оператор наблюдает прямое изображение предмета увеличенным в 30 раз и наложенным на штриховую сетку. Линейные размеры измеряются на БМИ в двух прямоугольных координатах непосредственно по отсчетным уст-

ройствам кареток стола. Стол микроскопа состоит из поперечной каретки с микропарой, имеющей также отсчет 0,005 мм.

Диапазон измерений БМИ в продольном направлении по координате X составляет 0 – 150 мм, а в поперечном направлении по координате Y – 0 – 50 мм. Цена деления отсчета кареток – 5 мкм. Погрешность измерения линейных размеров ± 3 мкм.

Отчет о работе

Отчет о работе должен содержать:

1. Наименование, цель и содержание работы.
2. Оборудование, инструмент, эскиз и характеристику заготовок.
3. Схему обработки и настройки оптической системы ЛТУ.
4. Эскизы формы прошитых отверстий при положении фокуса фокусирующей линзы относительно поверхности заготовки:
 - а) на поверхности, б) внутри материала, в) над поверхностью с указанием размеров характерных элементов этих отверстий.
5. Выводы с объяснением особенностей протекания процесса лазерной пробивки глухих отверстий при разном положении фокуса фокусирующей линзы относительно поверхности заготовки и их влияния на геометрические параметры пробитых отверстий.

Библиография

Суминов В.М. Обработка деталей лучом лазера. – М.: Машиностроение, 1969. – 196 с.

Лабораторная работа №3. ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПРОЦЕССА ЛАЗЕРНОЙ ПРОШИВКИ ОТВЕРСТИЙ

Цель работы – установить, используя статический метод исследования, точность диаметральных размеров отверстий, полученных лазерной прошивкой.

Теоретические положения

Статистический метод исследования точности используется при обработке партии деталей на предварительно настроенном оборудовании и ба-

зируется на построении кривых распределения размеров, точность достижения которых устанавливается.

Для партии заготовок, обрабатываемых при одной настройке ЛТУ на размер, погрешности обработки можно разделить на:

- систематические постоянные, возникающие из-за неточности настройки элементов оптической системы на размер;
- систематические изменяющиеся, связанные с тепловым воздействием со стороны ламп накачки на активный элемент лазерного излучателя, протекающим во времени;
- случайные, вызываемые нестандартностью режима излучения и неточностью установки обрабатываемой заготовки.

Кривые распределения строятся следующим образом. Измеряется величина интересующего нас параметра у партии деталей, обработанных при определенных условиях. Поле его рассеяния $\omega = A^{НБ} - A^{НМ}$ разбивается на несколько равных по величине интервалов. Количество интервалов выбирается в зависимости от общего количества измеренных деталей так, чтобы в каждый из интервалов попало достаточное количество измеренных величин. Результаты измерений представляются в таблице и графически. Для этого по оси абсцисс откладываются интервалы, а по оси ординат – количество значений величин (размеров), попавших в каждый из интервалов (частота).

Если количество величин измеренного параметра, попавших в каждый интервал, изобразить в виде прямых линий, расположенных посередине каждого из интервалов, и соединить их верхние точки ломаной линией, получим полигон рассеяния, или практическую кривую рассеяния. При увеличении количества деталей в партии, сужении интервалов и увеличении их числа ломаная линия превращается в плавную кривую, называемую теоретической кривой рассеяния.

Из теории вероятности известно, что если рассеяние какой-либо величины (размера, шероховатости, твердости и т.д.) зависит от совокупного действия многих факторов одного порядка, являющихся случайными, не зависящими или слабо зависящими один от другого, то рассеяние следует закону нормального рассеяния, или закону Гаусса (рис. 1), который описы-

вается выражением: $y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$, где σ – среднеквадратичное отклонение, представляющее собой абсциссу точки перегиба кривой.

Численными характеристиками рассеяния случайной величины служат: 1) положение центра ее группирования (рассеяния) \bar{x} ; 2) мера ее рассеяния σ относительно центра группирования.

$$\bar{x} = \frac{x_1 n_1 + x_2 n_2 + \dots + x_k n_k}{n} = \frac{\sum x_i n_i}{n}, \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 n_1 + (x_2 - \bar{x})^2 n_2 + \dots + (x_k - \bar{x})^2 n_k}{n}} = \sqrt{\sum \frac{(x_i - \bar{x})^2 n_i}{n}}, \quad (2)$$

где x_1, x_2, \dots, x_k – размеры отдельных деталей; n_1, n_2, \dots, n_k – количество деталей данного размера; n – общее количество деталей в выборке.

Около центра группирования исследуемого параметра располагаются в основном все ее остальные значения, при этом теоретическая кривая нормального распределения простирается в обе стороны от \bar{x} вдоль оси абсцисс беспредельно, асимптотически приближаясь к этой оси. Предельные отклонения, выраженные в долях среднеквадратического отклонения σ , ограничивают обычно величинами $\pm 3\sigma$. В эту область попадает 99,73% значений этой величины.

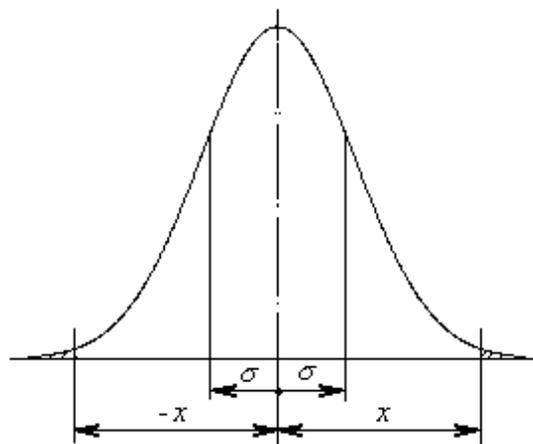


Рис. 1. Теоретическая кривая, характеризующая нормальный закон распределения

Условием обработки без брака является $T > \pm 3\sigma$. Оно показывает, что фактическое рассеяние действительных размеров меньше установленного допуска. В противном случае действительные размеры выходят за пределы допуска и весьма вероятно появление брачных деталей. В этом случае процент годных деталей определяют по выражению:

$$P_{\text{годн}} = [\Phi(I_1) + \Phi(I_2)] 100\%, \quad (3)$$

а процент брака

$$P_{\text{бр}} = 100 - P_{\text{годн}}.$$

$\Phi_{(I)}$ – функция Лапласа, значения которой приведены в табл. 1:

$$I_1 = (T/2 + c)/\sigma; \quad I_2 = (T/2 - c)/\sigma, \quad (4)$$

где $c = \bar{x} - x_0$, а x_0 – размер середины поля допуска исследуемого параметра по чертежу.

По виду и расположению кривой распределения действительных размеров исследуемого параметра относительно середины поля его допуска

можно судить о преобладающих погрешностях, возникающих в процессе обработки. Смещение центра группирования относительно середины поля допуска вызывается постоянными погрешностями. Случайные погрешности определяют величину рассеяния размеров исследуемого параметра. Закономерно изменяющиеся погрешности искажают форму кривой распределения.

Т а б л и ц а 1

Значения функции Лапласа

И	$\Phi_{(И)}$	И	$\Phi_{(И)}$	И	$\Phi_{(И)}$
0,00	0,0000	1,05	0,3531	2,10	0,4821
0,05	0199	1,10	3643	2,15	4842
0,10	0398	1,15	3749	2,20	4861
0,15	0596	1,20	3849	2,25	4878
0,20	0793	1,25	3944	2,30	4893
0,25	0987	1,30	4032	2,35	4906
0,30	1179	1,35	4115	2,40	4918
0,35	1368	1,40	4192	2,45	4929
0,40	1554	1,45	4265	2,50	4938
0,45	1736	1,50	4332	2,55	4945
0,50	1915	1,55	4394	2,60	4953
0,55	2088	1,60	4452	2,65	4960
0,60	2257	1,65	4505	2,70	4965
0,65	2422	1,70	4554	2,75	4970
0,70	2580	1,75	4599	2,80	4974
0,75	2734	1,80	4641	2,85	4978
0,80	2881	1,85	4678	2,90	4981
0,85	3023	1,90	4713	2,95	4984
0,90	3159	1,95	4744	3,00	4986
0,95	3289	2,00	4772	3,10	4990
1,00	3413	2,05	4798	3,20	4993

Содержание работы

Прошивка 50 отверстий в образце на ЛТУ, измерение диаметров этих отверстий, вычисление статистических характеристик рассеяния величин диаметров этих отверстий, построение практической и теоретической кривых распределения диаметров отверстий и анализ точности операции.

Оборудование, инструмент, заготовки

Оборудование: лазерная технологическая установка модели ЛТИ, основанная на твердотельном лазере с оптической накачкой мощностью 6 кВт.

Инструмент: большой инструментальный микроскоп БМИ.

Заготовки: призматические пластины размерами 100x50x1 мм из стали 1Х18Н9Т, 30ХГСА; латуни Л62; дуралюминия Д16Т.

Порядок выполнения работы

1. Разработать геометрический план прошивки 50 отверстий диаметром 1 мм в пластине, составить эскиз операции, схему расположения заготовки на столе ЛТУ. На схеме показать базирование заготовки, ее движение относительно лазерного луча, режим обработки. Подготовить расчетную таблицу (табл. 2).

2. Подобрать режим прошивки отверстий и прошить 50 отверстий диаметром 1 мм в пластине при постоянной настройке ЛТУ.

3. Измерить обработанные отверстия на большом инструментальном микроскопе БМИ. Измерения делать 2 – 3 раза, среднее арифметическое значение записать.

4. Определить поле рассеяния размеров диаметров $\omega = A^{НБ} - A^{НМ}$.

5. Разбить полученные размеры на интервалы, сгруппировать их по интервалам. Установить средние значения интервалов. Заполнить табл.2.

Т а б л и ц а 2

Расчетная таблица

Интервалы размеров	Среднее значение x_i	Кол-во n_i	$x_i n_i$	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(x_i - \bar{x})^2 n_i$

6. Вычислить статические характеристики \bar{x} и σ по формулам (1) и (2). Определить величину смещения середины распределения относительно середины поля допуска $c = \bar{x} - x_0$. Оценить точность операции, сравнив σ с допуском T_ϕ .

7. Найти вероятный процент годных и бракованных отверстий по формулам (3) и (4).

8. Построить практическую кривую распределения размеров отверстия. Для этого по оси абсцисс откладываются размеры середины интервалов, а по оси ординат – количество отверстий, попадающих в данный интервал, наносятся точки, которые затем соединяются прямыми (рис. 2).

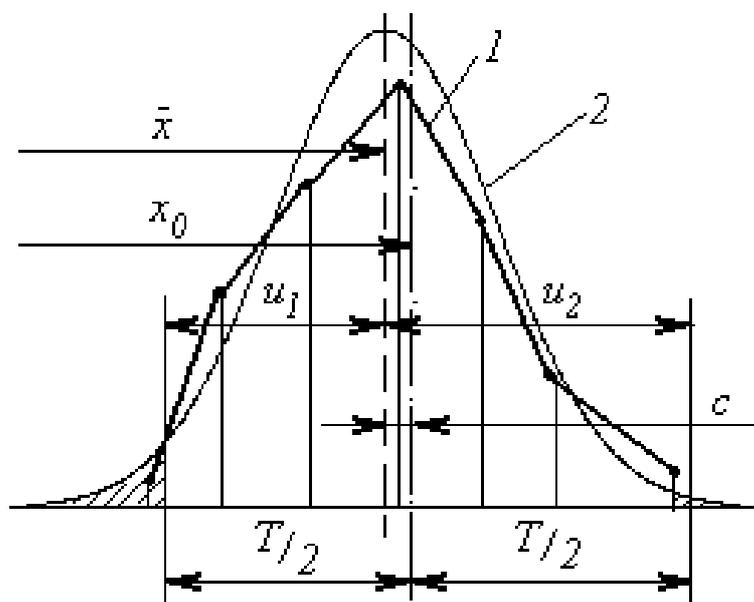


Рис. 2. Практическая 1 и теоретическая 2 кривые распределения

9. На графике в том же масштабе строится кривая нормального распределения (симметрично относительно \bar{x}). Для построения наносится несколько точек, которые соединяются плавной кривой. Приняв за начало координат середину распределения \bar{x} , координаты точек будут:

x	0	$0,5\sigma$	1σ	$1,5\sigma$	2σ	$2,5\sigma$	3σ
y	$0,40b$	$0,35b$	$0,24b$	$0,13b$	$0,05b$	$0,02b$	$0,004b$

где $b = \Delta x n/\sigma$; где Δx – величина интервала размеров; n – количество отверстий в выработке; σ – среднее квадратическое отклонение.

10. Сделать заключение о причинах, вызывающих снижение точности отверстий на исследуемой операции и предложить мероприятия для устранения причин, снижающих точность процесса их прошивки.

Отчет о работе

Отчет должен содержать:

1. Наименование, цель и содержание работы.
2. Оборудование, инструмент, эскиз и характеристику заготовки.
3. Геометрический план обрабатываемой поверхности заготовки, эскиз операции, схему расположения заготовки на столе ЛТУ. На схеме показать базирование заготовки, движение лазерного луча, режим обработки.
4. Таблицу с результатами измерений и расчетов.
5. Расчеты статистических характеристик.
6. Вероятный процент выхода годных деталей и брака.
7. Графики практического и теоретического распределения размеров.
8. Краткие выводы о возможных причинах, вызывающих систематические, закономерно изменяющиеся и случайные погрешности обработки на исследуемой операции, и предложить меры по их уменьшению.

Библиография

Основы технологии машиностроения: Учеб. для вузов/Под ред. В.С. Корсакова. Изд. 3-е, доп. и перераб.– М.: Машиностроение, 1977. – 416 с.

Лабораторная работа №4. НАЗНАЧЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПРОШИВКИ ОТВЕРСТИЙ

Цель работы: установить эмпирическую зависимость линейных размеров отверстий, полученных лазерной прошивкой, от технологических факторов и определить оптимальные условия их обработки.

Теоретические положения

В процессе формообразования отверстия необходимо обеспечить точность его двух параметров: диаметра D и глубины L . В силу сложных термодинамических процессов, имеющих место при взаимодействии лазерного луча с обрабатываемым материалом, геометрические размеры отверстий

являются функцией целого ряда конструктивно-технологических элементов лазерного излучателя, режимов обработки и т.п. Основными элементами, влияющими на результат прошивки отверстия, являются:

V – напряжение на зажимах конденсатора (энергия накачки);

τ_2 – коэффициент пропускания выходного зеркала;

d_∂ – диаметр диафрагмы;

F – фокусное расстояние фокусирующей линзы относительно поверхности заготовки.

Поскольку перечисленные факторы не зависят друг от друга, то для установления зависимости размеров получаемого отверстия от них и определения оптимальных условий протекания процесса может быть использовано многофакторное планирование эксперимента:

1. Выявленные факторы влияния и интервалы их варьирования в натуральном значении представляются в табл. 1. В ней же дается их кодированный вид: +1 – верхний уровень, -1 – нижний, 0 – основной.

Т а б л и ц а 1

Уровни и интервалы варьирования факторов влияния

Факторы	Кодовое обозначение	Интервал варьирования	Уровни факторов		
			верхний +1	основной 0	нижний -1
V	X_1	0,5	5,0	4,5	4,0
d_∂	X_2	14,5	30,0	15,5	1,0
F	X_3	15,0	50,0	35,0	20,0

П р и м е ч а н и е: п.1. Для сокращения времени и затрат на эксперимент коэффициент пропускания выходного зеркала τ_2 принят постоянным и равным 0,4;

п.2. Численные значения уровней и интервалов факторов при проведении опытов должны быть спроектированы в зависимости от возможностей лабораторной лазерной установки.

Кодированные значения факторов, которые выполняются из соображения, чтобы верхний уровень каждого фактора соответствовал +1, а нижний -1, имеет следующий вид: $X_1 = \frac{V - V_0}{\Delta V}$, $X_2 = \frac{d_\partial - d_{\partial 0}}{\Delta d_\partial}$, $F = \frac{F - F_0}{\Delta F}$,

где V_0 , $d_{\partial 0}$, F_0 – натуральные значения факторов на основных уровнях; ΔV , Δd_∂ , ΔF – значения интервалов варьирования. В проводимом эксперименте

$V_0 = 4,5$ кВт, $d_{\partial 0} = 15,5$ мм, $F_0 = 35,0$ мм, а ΔV , Δd_{∂} , ΔF равны 0,5 кВт, 30 мм, 15,0 мм соответственно.

2. Постулируется математическая модель процесса.

Под моделью понимают вид функции отклика (зависимости изучаемого параметра от факторов влияния) $y = f(x_1, x_2, x_3, \dots)$. В нашем случае – это $D = f(V, d_{\partial}, F)$ или $L = f(V, d_{\partial}, F)$.

Предварительные пристрелочные однофакторные испытания, когда поочередно определяется зависимость изучаемого параметра от каждого фактора влияния при фиксированных значениях остальных, показали, что графики частных зависимостей $L(D) = f(V)$; $L(D) = f(d_{\partial})$; $L(D) = f(F)$ в пределах принятых величин факторов влияния с достаточной точностью могут быть аппроксимированы прямыми линиями. Поэтому, ограничиваясь линейным приближением, в качестве математической модели процесса может быть принят алгебраический полином первой степени:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3.$$

3. Составляется матрица планирования экспериментов в виде табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Матрица планирования

Номер опыта	X_0	X_1	X_2	X_3	Результаты опытов			
					y^I	y^{II}	y^{III}	$y_{ср}$
1	+1	-1	-1	+1				
2	+1	+1	-1	+1				
3	+1	-1	+1	+1				
4	+1	+1	+1	+1				
5	+1	-1	-1	-1				
6	+1	+1	-1	-1				
7	+1	-1	+1	-1				
8	+1	+1	+1	-1				
9	+1	0	0	0				
10	+1	0	0	0				
11	+1	0	0	0				

Опыты дублируются три раза и по их результатам находится среднее значение $y_{ср}$.

4. Определяется дисперсия S_y^2 исследуемого параметра.

Дисперсия – это среднее значение квадрата отклонений случайной величины от ее среднего значения. Знание ее необходимо для оценки адекватности (соответствия, тождества) изучаемого процесса принятой модели.

$$S_y^2 = \frac{\sum (y_{и} - \bar{y})^2}{n-1} = \frac{(y_{ср}^9 - \bar{y})^2 + (y_{ср}^{10} - \bar{y})^2 + (y_{ср}^{11} - \bar{y})^2}{n-1},$$

где $y_{и}, y_{ср}^9, y_{ср}^{10}, y_{ср}^{11}$ – полученные значения исследуемого параметра в последних трех опытах; $\bar{y} = (y_{ср}^9 + y_{ср}^{10} + y_{ср}^{11})/3$ – его среднее значение по результатам трех опытов; n – число опытов с $X_1 = X_2 = X_3 = 0$.

Для облегчения расчета S_y^2 целесообразно воспользоваться вспомогательной табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Вспомогательная таблица для расчета S_y^2

Номер опыта	Номер опыта по матрице планирования.	\bar{y}	$y_{и}$	$(y_{и} - \bar{y})$	$(y_{и} - \bar{y})^2$
1	(9)		$\sum y_{и}$ $\bar{y} = \frac{\sum y_{и}}{3}$		
2	(10)				
3	(11)				
					$\sum (y_{и} - \bar{y})^2$

5. Определяются коэффициенты регрессии математической модели

$$b_0 = \sum_{j=1}^N y_j / N; \quad b_i = (\sum_{j=1}^N x_{ij} y_j) / N,$$

где N – число опытов.

В выполняемой работе свободный член равен

$$b_0 = \frac{y_{ср}^1 + y_{ср}^2 + y_{ср}^3 + y_{ср}^4 + y_{ср}^5 + y_{ср}^6 + y_{ср}^7 + y_{ср}^8}{8};$$

коэффициенты регрессии, характеризующие линейные эффекты, определяются как

$$b_1 = \frac{-y_{ср}^1 + y_{ср}^2 - y_{ср}^3 + y_{ср}^4 - y_{ср}^5 + y_{ср}^6 - y_{ср}^7 + y_{ср}^8}{8};$$

$$b_2 = \frac{-y_{\text{ср}}^1 - y_{\text{ср}}^2 + y_{\text{ср}}^3 + y_{\text{ср}}^4 - y_{\text{ср}}^5 - y_{\text{ср}}^6 + y_{\text{ср}}^7 + y_{\text{ср}}^8}{8},$$

$$b_3 = \frac{y_{\text{ср}}^1 + y_{\text{ср}}^2 + y_{\text{ср}}^3 + y_{\text{ср}}^4 - y_{\text{ср}}^5 - y_{\text{ср}}^6 - y_{\text{ср}}^7 - y_{\text{ср}}^8}{8}.$$

6. Проверяется значимость вычисленных коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента.

Доверительный интервал коэффициентов регрессии $\Delta b_i = \pm t S_{b_i}$, где t – критерий Стьюдента, S_{b_i} – средняя квадратичная ошибка в определении коэффициентов регрессии: $S_{b_i} = +\sqrt{S_y^2/N}$, где N – число проведенных опытов.

Критерий Стьюдента t при 5%-м уровне значимости определяется по табл. 4 в зависимости от числа степеней свободы $f = n-1$, где n – число параллельных опытов при $x_1 = x_2 = x_3 = 0$. В выполняемой работе таких опытов запланировано три. Следовательно, $f=3 - 1=2$ и табличное значение $t = 4,3$, а доверительный интервал коэффициентов регрессии $\Delta b_i = \pm 4,3 S_{b_i}$. Те коэффициенты регрессии, которые по абсолютной величине окажутся больше доверительного интервала Δb_i , признаются статистически значимыми и наоборот. Незначимость коэффициентов может быть вызвана следующими причинами:

Т а б л и ц а 4

Значения t при 5%-ном уровне значимости

Число степеней свободы	1	2	3	4	5	6
Значения t	12,71	4,30	3,18	2,78	2,57	2,45
Число степеней свободы	7	8	9	10	11	12
Значения t	2,37	2,30	2,26	2,23	2,20	2,18
Число степеней свободы	13	14	15	16	17	18
Значения t	2,16	2,14	2,13	2,12	2,11	2,10

- а) включением в исследование факторов, оказывающих несущественное влияние на параметр оптимизации;
- б) малой точностью эксперимента;
- в) неудачным выбором интервалов варьирования.

При такой ситуации необходимо расширить интервалы варьирования факторов, повысить точность эксперимента путем увеличения числа параллельных (дублирующих) опытов или улучшить методику проведения опытов.

7. Выявляется выражение, определяющее зависимость исследуемого параметра отверстия (D, L) от факторов влияния, подставив в принятую математическую модель (п. 2) значения вычисленных коэффициентов регрессии (п. 6), заменив кодированные значения x_1, x_2, x_3 их натуральными значениями (п. 1) и упростив ее.

8. Проверяется гипотеза адекватности модели реальному процессу по критерию Фишера $F_p = S_{ад}^2 / S_y^2$, где S_y^2 – дисперсия параметра оптимизации (определена в п. 4); $S_{ад}^2$ – дисперсия адекватности. Она определяется как $S_{ад}^2 = \left(\sum_{j=1}^N (y_j - \hat{y}_j)^2 \right) / f$, где y_j – экстремальное значение функции отклика; \hat{y}_j – значение функции отклика, вычисленное по полученному в п.7 выражению, устанавливающему зависимость исследуемого параметра от факторов влияния; f – число степеней свободы, $f = N - (k + 1)$, где N – число опытов в матрице планирования ($N = 8$), k – число факторов влияния ($k = 3$).

Расчетный коэффициент Фишера F_p сопоставляется с табличным (табл. 5). При $F_p < F_{табл}$ модель адекватна.

Т а б л и ц а 5

Значения F критерия Фишера при 5%-ном уровне значимости

Число степеней свободы для S_y^2	Значения критерия при числе степеней свободы для $S_{ад}^2$							
	1	2	3	4	5	6	12	24
1	164,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	244,9	249,0
2	18,5	19,2	19,2	19,3	19,3	19,3	19,4	19,4
3	10,1	9,6	9,3	9,1	9,0	8,9	8,7	8,6
4	7,7	6,9	6,6	6,4	6,3	6,2	5,9	5,8
5	6,6	5,8	5,4	5,2	5,1	5,0	4,7	4,5

Если $F_p > F_{\text{табл}}$, модель неадекватна. Адекватную модель можно получить:

- изменив интервалы варьирования факторов;
- сместив центр плана;
- достройкой плана – переходом к центральному композиционному планированию второго порядка и аппроксимации отклика полиномом вида: $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{31}x_1x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2$.

Восемь опытов полного факторного эксперимента дополняются шестью опытами в точках лежащих на осях координат $\pm 0, 0, X$; $\pm 0, 0, Y$; $\pm 0, 0, Z$, и в центре эксперимента число опытов доводится до шести.

9. Устанавливаются оптимальные режимы при прошивке отверстий, пользуясь методом крутого восхождения.

Полученное уравнение можно использовать для расчета условий крутого восхождения по поверхности отклика. Крутое восхождение (табл. 6) начинают с нулевой точки (основной уровень): $X_1 = 4,5$; $X_2 = 15,5$; $X_3 = 35,0$. Для одного из факторов выбирается шаг движения в размере примерно 0,1 от интервала его варьирования. Для остальных факторов он рассчитывается по выражению

$$\Delta_i = (\Delta l b_i \varepsilon_i) / (b_j \varepsilon_j),$$

где Δl – выбранный шаг движения по градиенту для фактора l ; Δ_i – шаг движения по градиенту для i -го фактора; b_i, b_j – коэффициенты регрессии i -го и j -го факторов; $\varepsilon_i, \varepsilon_j$ – интервалы варьирования i -го и j -го факторов.

Т а б л и ц а 6

Расчет крутого восхождения

Характеристики	X_1	X_2	X_3	Y_9
Основной уровень	4,5	15,5	35,0	
Коэффициент b_i				
Интервал варьирования ε_i	0,5	14,5	15,0	
$b_i \times \varepsilon_i$				
Шаг Δ_i				
Округленный шаг				
Опыт № 9				
Опыт № 10				
.....				
.....				

Крутое восхождение прекращается, когда найдены условия оптимизации или если ограничения на факторы делают дальнейшее движение по градиенту бесперспективным.

Содержание работы

Разработать многофакторное планирование эксперимента по установлению оптимальных условий лазерной прошивки отверстий с заданными параметрами, выполнить этот эксперимент, обработать его результаты, получить эмпирическую зависимость между параметром оптимизации и условиями обработки и, пользуясь методом крутого восхождения, установить оптимальные условия для получения отверстия с заданными параметрами.

Оборудование, инструмент, заготовки

Оборудование: лазерная технологическая установка модели ЛТИ, основанная на твердотельном лазере с оптической накачкой мощностью 6 кВт.

Инструмент: большой инструментальный микроскоп БМИ.

Заготовки: призматические пластины размерами 100x30x5 мм из стали 1Х18Н9Т; 30ХГСА; латуни Л62; дуралюминия Д16Т.

Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретические положения (ТП) к работе.
2. Составить эскиз операции, наметить обработку по три отверстия в ряд поперек заготовки на одних режимах.
3. Подготовить таблицу (см. ТП, п.1, табл. 1) с уровнями и интервалами варьирования факторов влияния.
Постулировать математическую модель процесса (см. ТП, п. 2).
Составить матрицу планирования экспериментов (см. ТП, п. 3, табл. 2).
4. Выполнить обработку отверстий на запланированных условиях, трижды повторив каждый опыт. Измерить параметр оптимизации (диаметр, длину отверстия) на БМИ. Результаты трехкратной обработки на одних режимах усреднить и принять за действительный размер.
Результаты экспериментов представить в матрице планирования (см. табл. 2).

5. Обработать результаты эксперимента:
- рассчитать дисперсию исследуемого параметра S_y^2 (ТП, п. 4);
 - рассчитать коэффициенты регрессии (ТП, п. 5);
 - проверить значимость вычисленных коэффициентов регрессии (ТП, п. 6);
 - вывести выражение, определяющее зависимость исследуемого параметра от факторов влияния (ТП, п. 7);
 - выполнить проверку адекватности модели реальному процессу (ТП, п. 8).
6. Установить оптимальные условия проведения операции лазерной прошивки отверстий, пользуясь методом крутого восхождения (ТП, п. 9): для каждого из факторов влияния устанавливается шаг движения по градиенту; условия выполнения каждого последующего опыта определяют последовательным прибавлением шага движения к предыдущему значению фактора. Начальный уровень восхождения - основной уровень факторов. Часть опытов в движении по градиенту может быть пропущена. Крутое восхождение прекращается, если найдены условия оптимизации или если ограничения на факторы делают движение по градиенту неразумным.
7. Представить выводы с рекомендациями оптимальных условий выполнения операции лазерной прошивки отверстий с заданными геометрическими параметрами.

Отчет о работе

Отчет о работе должен содержать:

1. Наименование, цель и содержание работы.
2. Оборудование, инструмент, эскиз и характеристику заготовки, эскиз обработки.
3. Таблицу с уровнями и интервалами варьирования факторов влияния.
4. Математическую модель процесса.
5. Матрицу планирования опытов и их результаты.
6. Обработку результатов эксперимента.
7. Эмпирическую зависимость исследуемого параметра от факторов влияния.
8. Разработку плана поиска оптимальных условий проведения операции лазерной прошивки отверстий и его результаты.
9. Выводы по результатам эксперимента.

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. Обработка деталей лучом лазера. – М.: Машиностроение, 1969. – 196 с.

Лабораторная работа №5. ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИИ ЛАЗЕРНОЙ ПРОШИВКИ ОТВЕРСТИЙ

Цель работы – приобретение навыков по техническому нормированию операций лазерной обработки.

Теоретические положения

Технически обоснованная норма времени является важным производственно-технологическим показателем. На ее основе осуществляются календарное планирование, оплата труда рабочих, выявляется возможность организации многостаночного обслуживания и др.

Норма штучного времени при лазерной обработке складывается:

– из основного (машинного) времени на операцию $t_o = \sum t_{oi}$, которое затрачивается на изменение состояния продукта производства, имеющее место в процессе обработки, мин; t_{oi} – основное время на выполнение i -го перехода обработки элементарной поверхности;

– вспомогательного времени $t_{всп} = t_{ву} + t_{мв}$, включающего время $t_{ву}$ на установку и снятие заготовок и время $t_{мв}$, связанное с выполнением вспомогательных ходов и перемещений при обработке поверхностей детали, мин;

– времени на обслуживание рабочего места $t_{обс}$, мин;

– времени на перерывы в работе $t_{п}$, мин.

Таким образом, $T_{шт} = t_o + t_{всп} + t_{обс} + t_{п}$.

Время лазерной работы технологической установки по программе управления (время цикла обработки) $t_{п.у}$ равно неполному оперативному времени ее работы: $t_{оп.н} = t_{п.у} = t_o + t_{мв}$.

В практике используются два метода нормирования: метод технического расчета норм времени по нормативам и метод расчета норм на основе

изучения затрат рабочего времени наблюдением – посредством хронометража.

При первом методе нормирования основное время при лазерной прошивке отверстий определяется как частное от деления объема удаляемого материала Q в миллиметрах кубических или граммах на производительность метода $Q_{\text{пр}}$ – объем материала, удаляемого с поверхности детали за один импульс или серию импульсов в единицу времени (в $\text{мм}^3/\text{мин}$ или $\text{г}/\text{мин}$).

$$t_0 = Q/Q_{\text{пр}} \text{ мин.}$$

Вспомогательное время, затрачиваемое на установку-снятие обрабатываемой заготовки, ее измерение и управление механизмами оборудования определяется по нормативам.

Время на техническое и организационное обслуживание рабочего места и перерывы в работе на отдых рабочего определяются в процентах от оперативного $t_{\text{оп}} = (t_0 + t_{\text{всп}})$; $t_{\text{обс}} = (3-5)\% t_{\text{оп}}$; $t_{\text{п}} = (2-3)\% t_{\text{оп}}$.

При обработке заготовок партиями в норму времени учитывается время на переналадку оборудования – $t_{\text{п/з}}$ – подготовительно-заключительное время на одну деталь

$$T_{\text{шт.}} = t_0 + t_{\text{всп}} + t_{\text{обс}} + t_{\text{п}} + t_{\text{п/з}}.$$

Производительность обработки во многом зависит от типа используемого лазера.

При определении нормы времени с помощью хронометража изучают затраты времени на выполнение циклически повторяющихся ручных и машинно-ручных элементов операции для установления их нормальной продолжительности.

Содержание работы

Составление плана и эскиза операций лазерной прошивки 10 – 50 отверстий в заданной детали, расчет длин вспомогательных относительных перемещений обрабатываемой детали и лазерной головки; обработка детали на лазерной технологической установке с одновременным наблюдением и фиксированием времени, затрачиваемого на выполнение отдельных приемов и переходов: $t_{\text{вУ}}$, $t_{\text{оп.н}}$; определение $t_{\text{мв}}$, t_0 и производительности обработки.

Оборудование, инструмент, заготовки

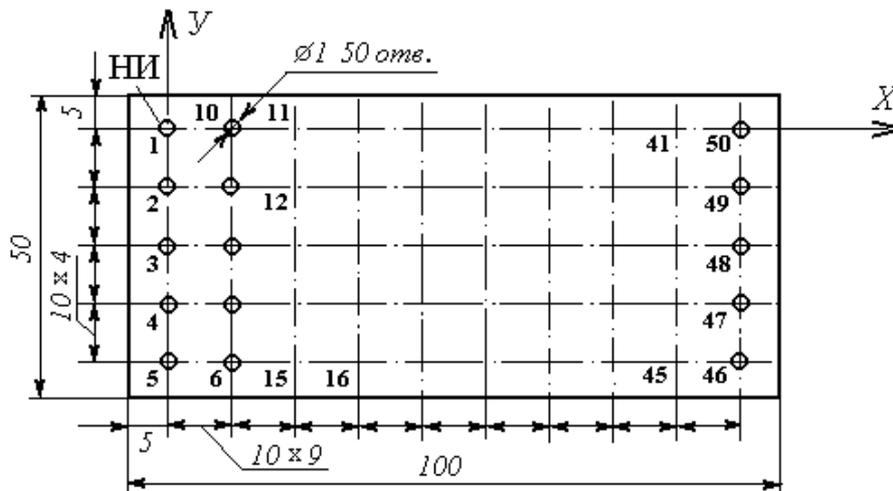
Оборудование: лазерная технологическая установка (ЛТУ) модели ЛТИ, основанная на твердотельном лазере с оптической накачкой мощностью 6 кВт.

Инструмент: секундомеры, весы физические.

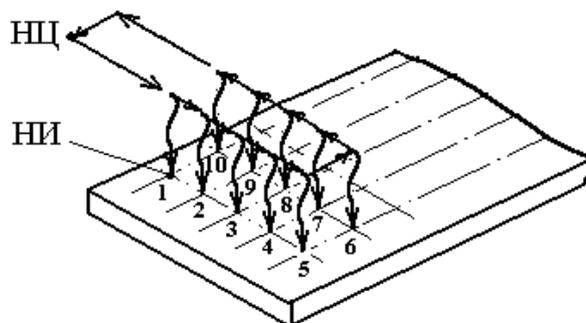
Заготовки: призматические образцы размерами 100x50x1мм из стали 1Х18Н9Т, 30ХГСА; латуни Л62; дуралюминия Д16Т.

Порядок выполнения работы

1. Разработать геометрический план обработки заготовки, составить эскиз операции с циклограммой ее обработки, схему расположения заготовки на столе ЛТУ (рис. 1, 2). На схеме показать базирование заготовки, ее движение относительно лазерной головки, режим обработки.



а)



б)

Рис. 1. Геометрический план обработки заготовки: а – циклограмма; б– прошивка отверстий

2. Подобрать режим прошивки отверстий.
3. Рассчитать длину холостых перемещений l_{xx} заготовки относительно лазерной головки в течение операции, необходимых для перехода от одного отверстия к другому. Рассчитать время $t_{MB} = l_{xx}/S_{xx}$, где S_{xx} – скорость холостых перемещений рабочих органов ЛТУ. По нормативам скорость установочного перемещения (позиционирования) принята равной 50 мм/мин.
4. Подготовить хронометражную карту – карту наблюдений. Наметить и записать в карте содержание отдельных приемов и переходов, в последовательность их выполнения и затраты времени.
5. Взвесить заготовку на физических весах: $Q_{заг}$.
6. Выполнить обработку заготовки по программе, фиксируя с помощью секундомера время выполнения каждого намеченного приема и перехода. Наблюдение делать одновременно несколькими студентами, например, первый студент замечает текущее (накапливающееся) время по приемам в течение всего процесса обработки заготовки. Второй и третий студенты наблюдают продолжительность выполнения отдельных приемов и переходов. Хронометрирование операции повторить несколько раз. Данные наблюдений записать в хронометражную карту (см. таблицу).

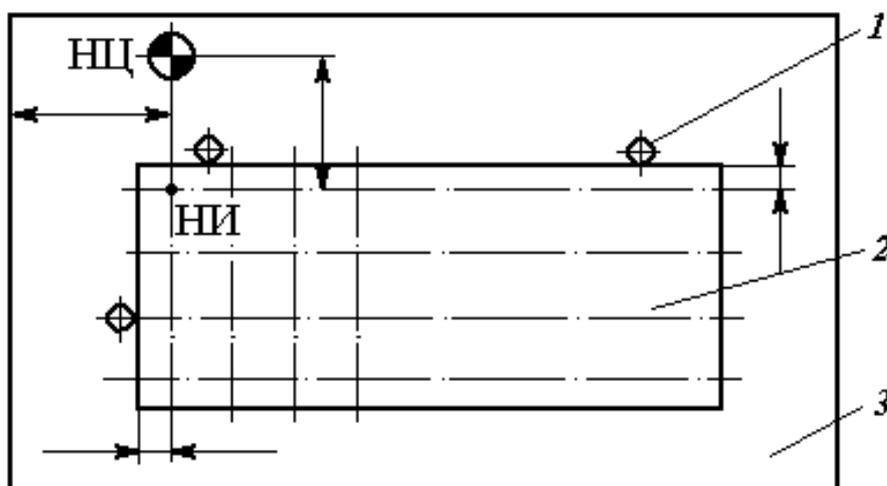


Рис.2. Схема расположения заготовки на столе ЛТУ:
1 – опора; 2 – заготовка; 3 – рабочий стол

7. Взвесить обработанную деталь Q_d . Определить вес удаленного металла: $q = Q_{заг} - Q_d$.

8. Обработать результаты наблюдений:

– найти продолжительность каждого приема и перехода путем вычитания времени предыдущего и последующего переходов; найти среднюю продолжительность их выполнения;

– по содержанию приемов выделить времена $t_{\text{ВУ}}$ и $t_{\text{ОП.Н}}$ и определить их продолжительность в операции;

– определить вспомогательное время $t_{\text{ВСП}} = t_{\text{ВУ}} + t_{\text{МВ}}$;

– определить основное время прошивки всех n отверстий детали

$$\sum_{i=1}^n t_{oi} = t_{\text{ОП.Н}} - t_{\text{МВ}} ;$$

– найти штучное время операции $T_{\text{шт.}}$.

9. Рассчитать производительность лазерной прошивки отверстий на

данной ЛТУ $Q_{\text{пр}} = q / \sum_{i=1}^n t_{oi}$.

Хронометражная карта

№ п/п	Наименование приемов и переходов	Номер наблюдений					Сумма времен, с	Количество наблюдений	Среднее время приемов, с	Примечание
		1	2	3	4	5				
1	Установить деталь на столе ЛТУ									
2	Прошить n отверстий в заготовке по программе									
3	Снять деталь со стола ЛТУ. Уложить в тару									

Отчет о работе

Отчет о работе должен содержать:

1. Наименование, цель, содержание работы.
2. Данные об оборудовании, инструменте и заготовках.
3. Эскиз обрабатываемой детали и план прошивки отверстий.

4. Результаты взвешивания детали до и после обработки.
5. Расчет длины необходимых холостых перемещений рабочих органов ЛТУ – l_{xx} и время t_{mb} , необходимое на эти перемещения.
6. Хронометражную карту с результатами наблюдений.
7. Расчет основного и штучного времени прошивки n отверстий.
8. Расчет производительности лазерной прошивки отверстий на ЛТУ.
9. Краткие выводы о возможных путях уменьшения основного и вспомогательного времени на рассмотренной операции.

Библиография

Суминов В.М. Обработка деталей лучом лазера. – М.: Машиностроение, 1969. – 196 с.

Лабораторная работа №6. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА ГАЗОЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА

Цель работы – установить зависимость глубины, ширины и шероховатости реза в углеродистых сталях при газолазерной резке (ГЛР) от скорости резки при различных условиях фокусировки лазерного излучения.

Теоретические положения

Основными факторами, определяющими производительность и качественные показатели процесса газолазерной резки металлов, являются плотность мощности, скорость резки, давление и состав продуваемого газа, размеры и конфигурация сопла для подачи газа, расстояние от среза сопла до поверхности материала, вид, состав и свойства разрезаемых материалов.

Качество при газолазерной резке металлов характеризуют точностью резки, шероховатостью Rz и перпендикулярностью j реза, протяженностью зоны термического влияния $v_{зтв}$ шириной реза v , отставанием линии реза, количеством грата (наплывов на нижней кромке разрезанного металла), радиусом оплавления верхней кромки R (рис.1).

Точность резки характеризуется совпадением размеров вырезанной детали с заданными размерами и зависит от точности работы исполнительных координатных устройств и от энергетических параметров излучения;

$V_0 = 4,5$ кВт, $d_{\partial 0} = 15,5$ мм, $F_0 = 35,0$ мм, а ΔV , Δd_{∂} , ΔF равны 0,5 кВт, 30 мм, 15,0 мм соответственно.

2. Постулируется математическая модель процесса.

Под моделью понимают вид функции отклика (зависимости изучаемого параметра от факторов влияния) $y = f(x_1, x_2, x_3, \dots)$. В нашем случае – это $D = f(V, d_{\partial}, F)$ или $L = f(V, d_{\partial}, F)$.

Предварительные пристрелочные однофакторные испытания, когда поочередно определяется зависимость изучаемого параметра от каждого фактора влияния при фиксированных значениях остальных, показали, что графики частных зависимостей $L(D) = f(V)$; $L(D) = f(d_{\partial})$; $L(D) = f(F)$ в пределах принятых величин факторов влияния с достаточной точностью могут быть аппроксимированы прямыми линиями. Поэтому, ограничиваясь линейным приближением, в качестве математической модели процесса может быть принят алгебраический полином первой степени:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3.$$

3. Составляется матрица планирования экспериментов в виде табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Матрица планирования

Номер опыта	X_0	X_1	X_2	X_3	Результаты опытов			
					y^I	y^{II}	y^{III}	$y_{ср}$
1	+1	-1	-1	+1				
2	+1	+1	-1	+1				
3	+1	-1	+1	+1				
4	+1	+1	+1	+1				
5	+1	-1	-1	-1				
6	+1	+1	-1	-1				
7	+1	-1	+1	-1				
8	+1	+1	+1	-1				
9	+1	0	0	0				
10	+1	0	0	0				
11	+1	0	0	0				

Опыты дублируются три раза и по их результатам находится среднее значение $y_{ср}$.

4. Определяется дисперсия S_y^2 исследуемого параметра.

Дисперсия – это среднее значение квадрата отклонений случайной величины от ее среднего значения. Знание ее необходимо для оценки адекватности (соответствия, тождества) изучаемого процесса принятой модели.

$$S_y^2 = \frac{\sum (y_{и} - \bar{y})^2}{n-1} = \frac{(y_{ср}^9 - \bar{y})^2 + (y_{ср}^{10} - \bar{y})^2 + (y_{ср}^{11} - \bar{y})^2}{n-1},$$

где $y_{и}, y_{ср}^9, y_{ср}^{10}, y_{ср}^{11}$ – полученные значения исследуемого параметра в последних трех опытах; $\bar{y} = (y_{ср}^9 + y_{ср}^{10} + y_{ср}^{11})/3$ – его среднее значение по результатам трех опытов; n – число опытов с $X_1 = X_2 = X_3 = 0$.

Для облегчения расчета S_y^2 целесообразно воспользоваться вспомогательной табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Вспомогательная таблица для расчета S_y^2

Номер опыта	Номер опыта по матрице планирования.	\bar{y}	$y_{и}$	$(y_{и} - \bar{y})$	$(y_{и} - \bar{y})^2$
1	(9)		$\sum y_{и}$ $\bar{y} = \frac{\sum y_{и}}{3}$		
2	(10)				
3	(11)				
					$\sum (y_{и} - \bar{y})^2$

5. Определяются коэффициенты регрессии математической модели

$$b_0 = \frac{\sum_{j=1}^N y_j}{N}; \quad b_i = \frac{(\sum_{j=1}^N x_{ij} y_j)}{N},$$

где N – число опытов.

В выполняемой работе свободный член равен

$$b_0 = \frac{y_{ср}^1 + y_{ср}^2 + y_{ср}^3 + y_{ср}^4 + y_{ср}^5 + y_{ср}^6 + y_{ср}^7 + y_{ср}^8}{8};$$

коэффициенты регрессии, характеризующие линейные эффекты, определяются как

$$b_1 = \frac{-y_{ср}^1 + y_{ср}^2 - y_{ср}^3 + y_{ср}^4 - y_{ср}^5 + y_{ср}^6 - y_{ср}^7 + y_{ср}^8}{8};$$

$$b_2 = \frac{-y_{\text{ср}}^1 - y_{\text{ср}}^2 + y_{\text{ср}}^3 + y_{\text{ср}}^4 - y_{\text{ср}}^5 - y_{\text{ср}}^6 + y_{\text{ср}}^7 + y_{\text{ср}}^8}{8},$$

$$b_3 = \frac{y_{\text{ср}}^1 + y_{\text{ср}}^2 + y_{\text{ср}}^3 + y_{\text{ср}}^4 - y_{\text{ср}}^5 - y_{\text{ср}}^6 - y_{\text{ср}}^7 - y_{\text{ср}}^8}{8}.$$

6. Проверяется значимость вычисленных коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента.

Доверительный интервал коэффициентов регрессии $\Delta b_i = \pm t S_{b_i}$, где t – критерий Стьюдента, S_{b_i} – средняя квадратичная ошибка в определении коэффициентов регрессии: $S_{b_i} = +\sqrt{S_y^2/N}$, где N – число проведенных опытов.

Критерий Стьюдента t при 5%-м уровне значимости определяется по табл. 4 в зависимости от числа степеней свободы $f = n-1$, где n – число параллельных опытов при $x_1 = x_2 = x_3 = 0$. В выполняемой работе таких опытов запланировано три. Следовательно, $f=3 - 1=2$ и табличное значение $t = 4,3$, а доверительный интервал коэффициентов регрессии $\Delta b_i = \pm 4,3 S_{b_i}$. Те коэффициенты регрессии, которые по абсолютной величине окажутся больше доверительного интервала Δb_i , признаются статистически значимыми и наоборот. Незначимость коэффициентов может быть вызвана следующими причинами:

Т а б л и ц а 4

Значения t при 5%-ном уровне значимости

Число степеней свободы	1	2	3	4	5	6
Значения t	12,71	4,30	3,18	2,78	2,57	2,45
Число степеней свободы	7	8	9	10	11	12
Значения t	2,37	2,30	2,26	2,23	2,20	2,18
Число степеней свободы	13	14	15	16	17	18
Значения t	2,16	2,14	2,13	2,12	2,11	2,10

- а) включением в исследование факторов, оказывающих несущественное влияние на параметр оптимизации;
- б) малой точностью эксперимента;
- в) неудачным выбором интервалов варьирования.

При такой ситуации необходимо расширить интервалы варьирования факторов, повысить точность эксперимента путем увеличения числа параллельных (дублирующих) опытов или улучшить методику проведения опытов.

7. Выявляется выражение, определяющее зависимость исследуемого параметра отверстия (D, L) от факторов влияния, подставив в принятую математическую модель (п. 2) значения вычисленных коэффициентов регрессии (п. 6), заменив кодированные значения x_1, x_2, x_3 их натуральными значениями (п. 1) и упростив ее.

8. Проверяется гипотеза адекватности модели реальному процессу по критерию Фишера $F_p = S_{ад}^2 / S_y^2$, где S_y^2 – дисперсия параметра оптимизации (определена в п. 4); $S_{ад}^2$ – дисперсия адекватности. Она определяется

как $S_{ад}^2 = \left(\sum_{j=1}^N (y_j - \hat{y}_j)^2 \right) / f$, где y_j – экстремальное значение функции

отклика; \hat{y}_j – значение функции отклика, вычисленное по полученному в п.7 выражению, устанавливающему зависимость исследуемого параметра от факторов влияния; f – число степеней свободы, $f = N - (k + 1)$, где N – число опытов в матрице планирования ($N = 8$), k – число факторов влияния ($k = 3$).

Расчетный коэффициент Фишера F_p сопоставляется с табличным (табл. 5). При $F_p < F_{табл}$ модель адекватна.

Т а б л и ц а 5

Значения F критерия Фишера при 5%-ном уровне значимости

Число степеней свободы для S_y^2	Значения критерия при числе степеней свободы для $S_{ад}^2$							
	1	2	3	4	5	6	12	24
1	164,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	244,9	249,0
2	18,5	19,2	19,2	19,3	19,3	19,3	19,4	19,4
3	10,1	9,6	9,3	9,1	9,0	8,9	8,7	8,6
4	7,7	6,9	6,6	6,4	6,3	6,2	5,9	5,8
5	6,6	5,8	5,4	5,2	5,1	5,0	4,7	4,5

Если $F_p > F_{\text{табл}}$, модель неадекватна. Адекватную модель можно получить:

- изменив интервалы варьирования факторов;
- сместив центр плана;
- достройкой плана – переходом к центральному композиционному планированию второго порядка и аппроксимации отклика полиномом вида: $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{31}x_1x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2$.

Восемь опытов полного факторного эксперимента дополняются шестью опытами в точках лежащих на осях координат $\pm 0, 0, X$; $\pm 0, 0, Y$; $\pm 0, 0, Z$, и в центре эксперимента число опытов доводится до шести.

9. Устанавливаются оптимальные режимы при прошивке отверстий, пользуясь методом крутого восхождения.

Полученное уравнение можно использовать для расчета условий крутого восхождения по поверхности отклика. Крутое восхождение (табл. 6) начинают с нулевой точки (основной уровень): $X_1 = 4,5$; $X_2 = 15,5$; $X_3 = 35,0$. Для одного из факторов выбирается шаг движения в размере примерно 0,1 от интервала его варьирования. Для остальных факторов он рассчитывается по выражению

$$\Delta_i = (\Delta l b_i \varepsilon_i) / (b_j \varepsilon_j),$$

где Δl – выбранный шаг движения по градиенту для фактора l ; Δ_i – шаг движения по градиенту для i -го фактора; b_i, b_j – коэффициенты регрессии i -го и j -го факторов; $\varepsilon_i, \varepsilon_j$ – интервалы варьирования i -го и j -го факторов.

Т а б л и ц а 6

Расчет крутого восхождения

Характеристики	X_1	X_2	X_3	Y_9
Основной уровень	4,5	15,5	35,0	
Коэффициент b_i				
Интервал варьирования ε_i	0,5	14,5	15,0	
$b_i \times \varepsilon_i$				
Шаг Δ_i				
Округленный шаг				
Опыт № 9				
Опыт № 10				
.....				
.....				

Крутое восхождение прекращается, когда найдены условия оптимизации или если ограничения на факторы делают дальнейшее движение по градиенту бесперспективным.

Содержание работы

Разработать многофакторное планирование эксперимента по установлению оптимальных условий лазерной прошивки отверстий с заданными параметрами, выполнить этот эксперимент, обработать его результаты, получить эмпирическую зависимость между параметром оптимизации и условиями обработки и, пользуясь методом крутого восхождения, установить оптимальные условия для получения отверстия с заданными параметрами.

Оборудование, инструмент, заготовки

Оборудование: лазерная технологическая установка модели ЛТИ, основанная на твердотельном лазере с оптической накачкой мощностью 6 кВт.

Инструмент: большой инструментальный микроскоп БМИ.

Заготовки: призматические пластины размерами 100x30x5 мм из стали 1Х18Н9Т; 30ХГСА; латуни Л62; дуралюминия Д16Т.

Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретические положения (ТП) к работе.
2. Составить эскиз операции, наметить обработку по три отверстия в ряд поперек заготовки на одних режимах.
3. Подготовить таблицу (см. ТП, п.1, табл. 1) с уровнями и интервалами варьирования факторов влияния.
Постулировать математическую модель процесса (см. ТП, п. 2).
Составить матрицу планирования экспериментов (см. ТП, п. 3, табл. 2).
4. Выполнить обработку отверстий на запланированных условиях, трижды повторив каждый опыт. Измерить параметр оптимизации (диаметр, длину отверстия) на БМИ. Результаты трехкратной обработки на одних режимах усреднить и принять за действительный размер.
Результаты экспериментов представить в матрице планирования (см. табл. 2).

5. Обработать результаты эксперимента:
- рассчитать дисперсию исследуемого параметра S_y^2 (ТП, п. 4);
 - рассчитать коэффициенты регрессии (ТП, п. 5);
 - проверить значимость вычисленных коэффициентов регрессии (ТП, п. 6);
 - вывести выражение, определяющее зависимость исследуемого параметра от факторов влияния (ТП, п. 7);
 - выполнить проверку адекватности модели реальному процессу (ТП, п. 8).
6. Установить оптимальные условия проведения операции лазерной прошивки отверстий, пользуясь методом крутого восхождения (ТП, п. 9): для каждого из факторов влияния устанавливается шаг движения по градиенту; условия выполнения каждого последующего опыта определяют последовательным прибавлением шага движения к предыдущему значению фактора. Начальный уровень восхождения - основной уровень факторов. Часть опытов в движении по градиенту может быть пропущена. Крутое восхождение прекращается, если найдены условия оптимизации или если ограничения на факторы делают движение по градиенту неразумным.
7. Представить выводы с рекомендациями оптимальных условий выполнения операции лазерной прошивки отверстий с заданными геометрическими параметрами.

Отчет о работе

Отчет о работе должен содержать:

1. Наименование, цель и содержание работы.
2. Оборудование, инструмент, эскиз и характеристику заготовки, эскиз обработки.
3. Таблицу с уровнями и интервалами варьирования факторов влияния.
4. Математическую модель процесса.
5. Матрицу планирования опытов и их результаты.
6. Обработку результатов эксперимента.
7. Эмпирическую зависимость исследуемого параметра от факторов влияния.
8. Разработку плана поиска оптимальных условий проведения операции лазерной прошивки отверстий и его результаты.
9. Выводы по результатам эксперимента.

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. Обработка деталей лучом лазера. – М.: Машиностроение, 1969. – 196 с.

Лабораторная работа №5. ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИИ ЛАЗЕРНОЙ ПРОШИВКИ ОТВЕРСТИЙ

Цель работы – приобретение навыков по техническому нормированию операций лазерной обработки.

Теоретические положения

Технически обоснованная норма времени является важным производственно-технологическим показателем. На ее основе осуществляются календарное планирование, оплата труда рабочих, выявляется возможность организации многостаночного обслуживания и др.

Норма штучного времени при лазерной обработке складывается:

– из основного (машинного) времени на операцию $t_o = \sum t_{oi}$, которое затрачивается на изменение состояния продукта производства, имеющее место в процессе обработки, мин; t_{oi} – основное время на выполнение i -го перехода обработки элементарной поверхности;

– вспомогательного времени $t_{всп} = t_{в\у} + t_{мв}$, включающего время $t_{в\у}$ на установку и снятие заготовок и время $t_{мв}$, связанное с выполнением вспомогательных ходов и перемещений при обработке поверхностей детали, мин;

– времени на обслуживание рабочего места $t_{обс}$, мин;

– времени на перерывы в работе $t_{п}$, мин.

Таким образом, $T_{шт} = t_o + t_{всп} + t_{обс} + t_{п}$.

Время лазерной работы технологической установки по программе управления (время цикла обработки) $t_{п.у}$ равно неполному оперативному времени ее работы: $t_{оп.н} = t_{п.у} = t_o + t_{мв}$.

В практике используются два метода нормирования: метод технического расчета норм времени по нормативам и метод расчета норм на основе

изучения затрат рабочего времени наблюдением – посредством хронометража.

При первом методе нормирования основное время при лазерной прошивке отверстий определяется как частное от деления объема удаляемого материала Q в миллиметрах кубических или граммах на производительность метода $Q_{\text{пр}}$ – объем материала, удаляемого с поверхности детали за один импульс или серию импульсов в единицу времени (в $\text{мм}^3/\text{мин}$ или $\text{г}/\text{мин}$).

$$t_0 = Q/Q_{\text{пр}} \text{ мин.}$$

Вспомогательное время, затрачиваемое на установку-снятие обрабатываемой заготовки, ее измерение и управление механизмами оборудования определяется по нормативам.

Время на техническое и организационное обслуживание рабочего места и перерывы в работе на отдых рабочего определяются в процентах от оперативного $t_{\text{оп}} = (t_0 + t_{\text{всп}})$; $t_{\text{обс}} = (3-5)\% t_{\text{оп}}$; $t_{\text{п}} = (2-3)\% t_{\text{оп}}$.

При обработке заготовок партиями в норму времени учитывается время на переналадку оборудования – $t_{\text{п/з}}$ – подготовительно-заключительное время на одну деталь

$$T_{\text{шт.}} = t_0 + t_{\text{всп}} + t_{\text{обс}} + t_{\text{п}} + t_{\text{п/з}}.$$

Производительность обработки во многом зависит от типа используемого лазера.

При определении нормы времени с помощью хронометража изучают затраты времени на выполнение циклически повторяющихся ручных и машинно-ручных элементов операции для установления их нормальной продолжительности.

Содержание работы

Составление плана и эскиза операций лазерной прошивки 10 – 50 отверстий в заданной детали, расчет длин вспомогательных относительных перемещений обрабатываемой детали и лазерной головки; обработка детали на лазерной технологической установке с одновременным наблюдением и фиксированием времени, затрачиваемого на выполнение отдельных приемов и переходов: $t_{\text{вУ}}$, $t_{\text{оп.н}}$; определение $t_{\text{мв}}$, t_0 и производительности обработки.

Оборудование, инструмент, заготовки

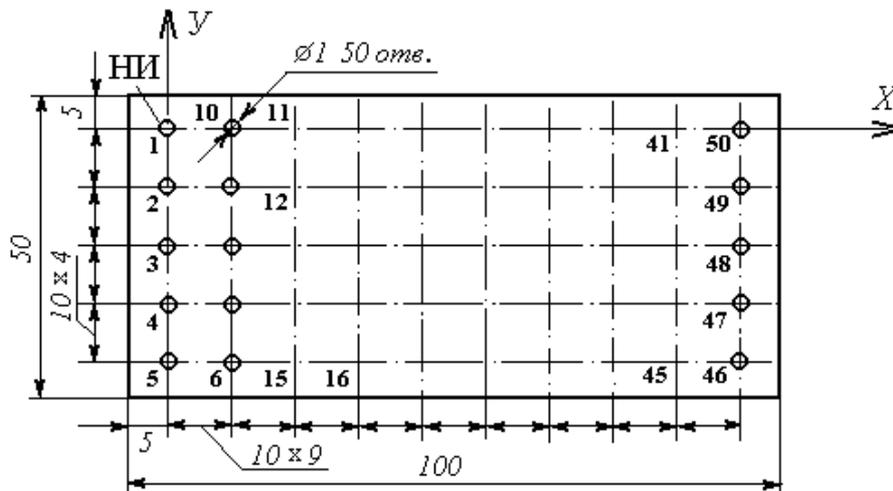
Оборудование: лазерная технологическая установка (ЛТУ) модели ЛТИ, основанная на твердотельном лазере с оптической накачкой мощностью 6 кВт.

Инструмент: секундомеры, весы физические.

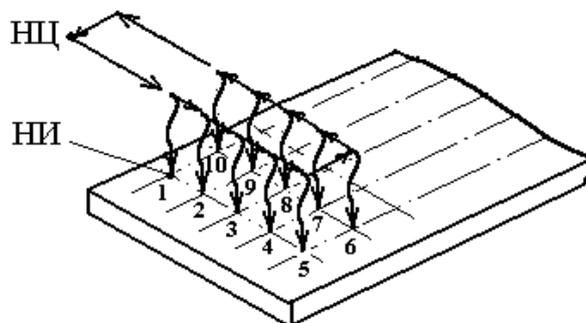
Заготовки: призматические образцы размерами 100x50x1мм из стали 1Х18Н9Т, 30ХГСА; латуни Л62; дуралюминия Д16Т.

Порядок выполнения работы

1. Разработать геометрический план обработки заготовки, составить эскиз операции с циклограммой ее обработки, схему расположения заготовки на столе ЛТУ (рис. 1, 2). На схеме показать базирование заготовки, ее движение относительно лазерной головки, режим обработки.



а)



б)

Рис. 1. Геометрический план обработки заготовки: а – циклограмма; б– прошивка отверстий

2. Подобрать режим прошивки отверстий.
3. Рассчитать длину холостых перемещений l_{xx} заготовки относительно лазерной головки в течение операции, необходимых для перехода от одного отверстия к другому. Рассчитать время $t_{MB} = l_{xx}/S_{xx}$, где S_{xx} – скорость холостых перемещений рабочих органов ЛТУ. По нормативам скорость установочного перемещения (позиционирования) принята равной 50 мм/мин.
4. Подготовить хронометражную карту – карту наблюдений. Наметьте и запишите в карте содержание отдельных приемов и переходов, в последовательность их выполнения и затраты времени.
5. Взвесить заготовку на физических весах: $Q_{заг}$.
6. Выполнить обработку заготовки по программе, фиксируя с помощью секундомера время выполнения каждого намеченного приема и перехода. Наблюдение делать одновременно несколькими студентами, например, первый студент замечает текущее (накапливающееся) время по приемам в течение всего процесса обработки заготовки. Второй и третий студенты наблюдают продолжительность выполнения отдельных приемов и переходов. Хронометрирование операции повторить несколько раз. Данные наблюдений записать в хронометражную карту (см. таблицу).

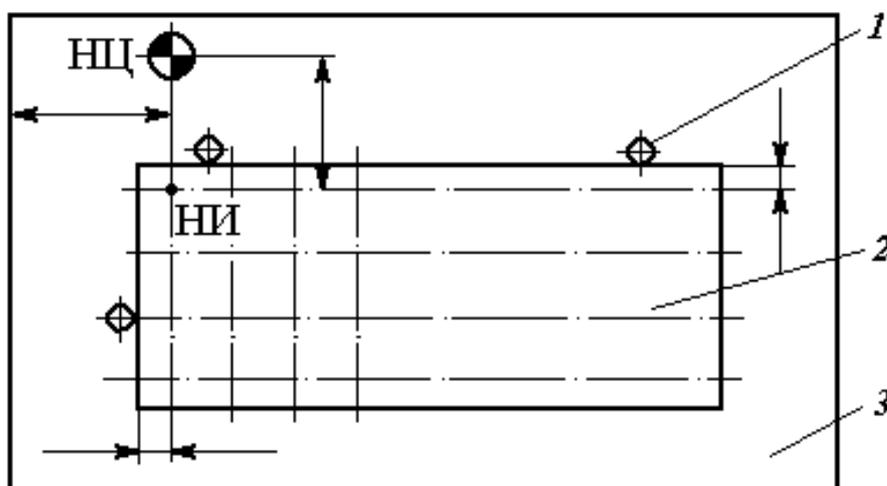


Рис.2. Схема расположения заготовки на столе ЛТУ:
1 – опора; 2 – заготовка; 3 – рабочий стол

7. Взвесить обработанную деталь Q_d . Определить вес удаленного металла: $q = Q_{заг} - Q_d$.

8. Обработать результаты наблюдений:

– найти продолжительность каждого приема и перехода путем вычитания времени предыдущего и последующего переходов; найти среднюю продолжительность их выполнения;

– по содержанию приемов выделить времена $t_{\text{ВУ}}$ и $t_{\text{ОП.Н}}$ и определить их продолжительность в операции;

– определить вспомогательное время $t_{\text{ВСП}} = t_{\text{ВУ}} + t_{\text{МВ}}$;

– определить основное время прошивки всех n отверстий детали

$$\sum_{i=1}^n t_{oi} = t_{\text{ОП.Н}} - t_{\text{МВ}} ;$$

– найти штучное время операции $T_{\text{шт.}}$.

9. Рассчитать производительность лазерной прошивки отверстий на

данной ЛТУ $Q_{\text{пр}} = q / \sum_{i=1}^n t_{oi}$.

Хронометражная карта

№ п/п	Наименование приемов и переходов	Номер наблюдений					Сумма времен, с	Количество наблюдений	Среднее время приемов, с	Примечание
		1	2	3	4	5				
1	Установить деталь на столе ЛТУ									
2	Прошить n отверстий в заготовке по программе									
3	Снять деталь со стола ЛТУ. Уложить в тару									

Отчет о работе

Отчет о работе должен содержать:

1. Наименование, цель, содержание работы.
2. Данные об оборудовании, инструменте и заготовках.
3. Эскиз обрабатываемой детали и план прошивки отверстий.

4. Результаты взвешивания детали до и после обработки.
5. Расчет длины необходимых холостых перемещений рабочих органов ЛТУ – l_{xx} и время t_{mb} , необходимое на эти перемещения.
6. Хронометражную карту с результатами наблюдений.
7. Расчет основного и штучного времени прошивки n отверстий.
8. Расчет производительности лазерной прошивки отверстий на ЛТУ.
9. Краткие выводы о возможных путях уменьшения основного и вспомогательного времени на рассмотренной операции.

Библиография

Суминов В.М. Обработка деталей лучом лазера. – М.: Машиностроение, 1969. – 196 с.

Лабораторная работа №6. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА ГАЗОЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА

Цель работы – установить зависимость глубины, ширины и шероховатости реза в углеродистых сталях при газолазерной резке (ГЛР) от скорости резки при различных условиях фокусировки лазерного излучения.

Теоретические положения

Основными факторами, определяющими производительность и качественные показатели процесса газолазерной резки металлов, являются плотность мощности, скорость резки, давление и состав продуваемого газа, размеры и конфигурация сопла для подачи газа, расстояние от среза сопла до поверхности материала, вид, состав и свойства разрезаемых материалов.

Качество при газолазерной резке металлов характеризуют точностью резки, шероховатостью Rz и перпендикулярностью j реза, протяженностью зоны термического влияния $v_{зтв}$ шириной реза v , отставанием линии реза, количеством грата (наплывов на нижней кромке разрезанного металла), радиусом оплавления верхней кромки R (рис.1).

Точность резки характеризуется совпадением размеров вырезанной детали с заданными размерами и зависит от точности работы исполнительных координатных устройств и от энергетических параметров излучения;

состояния разрезаемого металла (наличие внутренних напряжений); теплового воздействия на него процесса резки (возникновение тепловых деформаций); технологии резки (режимов резки, порядка выполнения резов и т.п.).

Шероховатость поверхности реза определяется наличием на ней бороздок, их глубиной, частотой и формой. Она зависит от режима резки, параметров струи продуваемого газа, свойств разрезаемого материала и от погрешности координатного устройства. Образование бороздок на поверхности реза является следствием нестационарного процесса разрушения материала, характеризующегося периодическим выносом расплавленного металла из зоны обработки.

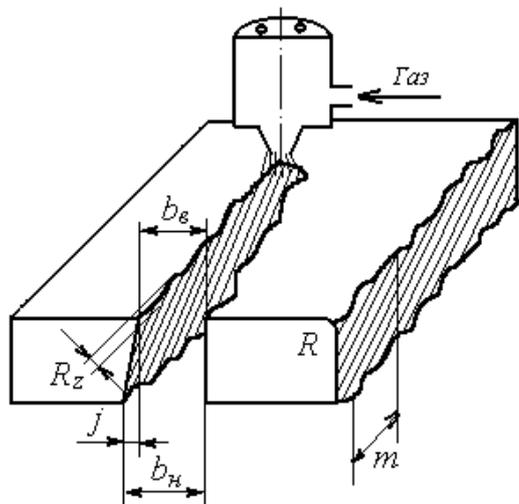


Рис. 1. Параметры реза

Топографии поверхности реза характерно наличие трех зон, отличающихся друг от друга различным

наклоном борозд по отношению к направлению обработки и различной шероховатостью (рис. 2).

Зона I характеризует периодически протекающее разрушение от верхней кромки поверхности заготовки в глубь металла. Некоторый наклон борозд в направлении обработки зависит от соотношения скорости резки V_p и распространения разрушения в глубь металла V_o .

Расположенная ниже зона II хоть и формируется непрерывно, но также имеет бороздчатую структуру, однако, менее выраженную вследствие периодического удаления продуктов разрушения под действием струи газа из зоны I. Наклон борозд зоны II в направлении, противоположном направлению резки, определяется наклоном поверхности непрерывно протекающего разрушения.

Наличие зоны III на поверхности реза указывает на продолжение процесса резки, но без участия лазерной энергии, а лишь за счет струи газа и выдуваемого из зоны обработки перегретого расплавленного металла и его сплавов. При этом скорость прорезания металла резко снижается (о чем свидетельствует значительный наклон борозд к кромке металла) и соответственно понижается качество кромки реза.

Важным фактором, определяющим как характер протекания процесса резки металлов, так и размерные характеристики резов, является плотность мощности E_j в зоне воздействия лазерного излучения на материал. При конкретной мощности лазерного излучения ЛТУ повысить плотность мощности в зоне обработки можно, уменьшив диаметр d_f фокального пятна, что позволит увеличить глубину и уменьшить ширину реза.

Величина шероховатости поверхности реза зависит от скорости резки. Малым скоростям обработки (меньшим 0,5 м/мин) соответствует режим самопроизвольной автогенной резки. Рез при этом получается значительной ширины, определяемой диаметром струи кислорода, а не диаметром сфокусированного лазерного луча. Шероховатость поверхности реза, имеющей также бороздчатую структуру, высока.

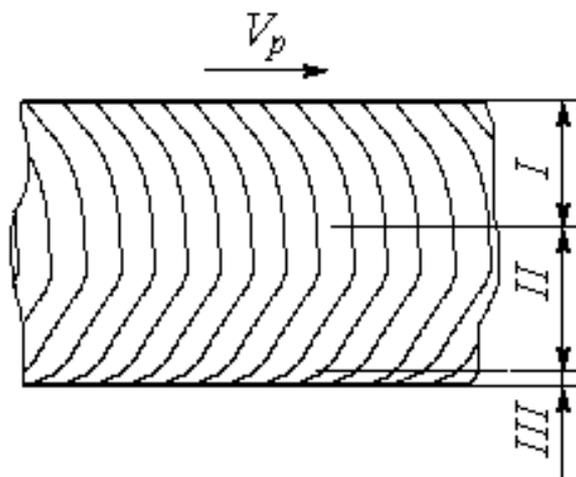


Рис.2. Схема расположения борозд на поверхности реза в углеродистой стали

Ширина реза на углеродистой стали у верхней кромки больше, чем в его средней части. Наличие на поверхности реза зоны III, характеризующейся резким снижением скорости прорезания, обуславливает значительное расширение реза на этом участке, у нижней кромки реза.

При низких скоростях обработки на поверхности реза в пластинах определенной толщины характерно наличие только зоны I и II. С повышением скорости резки на поверхности реза появляется зона III с наивысшей шероховатостью. Следовательно, при необходимости получения качественных резов, когда шероховатость поверхности не превышает $R_z = 40 - 50$ мкм, необходимо ограничивать скорость резки во избежание образования на поверхности реза зоны III.

Содержание работы

Газолазерная разрезка заготовок из углеродистых сталей при разных диаметрах фокального пятна и разных скоростях резки; установление соответствующих им глубины и ширины реза, топографии и шероховатости

поверхности реза и построение графиков зависимости глубины, ширины реза и шероховатости поверхности реза от скорости резки.

Оборудование, инструмент, заготовки

Оборудование: лазерная технологическая установка «ГЕММП-3Т», лазер газовый ЛГН-207Б с техническими характеристиками: длина волны – 10,6 мкм; номинальная мощность излучения – 1,5 кВт; модовый состав излучения – TEM₀₀; режим работы – непрерывный; состав смеси – CO₂: He: O₂ (1,5:23:13); полная потребляемая мощность в режиме номинальной генерации – 40 кВт.

Инструмент: микроскоп МИС-11; большой инструментальный микроскоп БМИ.

Заготовки: призматические образцы размерами 100x20x4 мм из углеродистых сталей – сталь 20, 30, 45.

Порядок выполнения работы

1. Составить схему выполнения операции резки образцов. Подготовить табл. 1 и 2 для записи результатов опытов.

2. Установить образец на ЛТУ. Установить диаметр фокального пятна 0,65 мм. Выполнить на образце четыре реза, меняя скорость перемещения лазерного луча при каждом последующем резе согласно табл. 1.

Повторить опыт при диаметре фокального пятна 0,4 мм и 0,2 мм.

3. Измерить глубину и ширину реза при разных условиях фокусировки на инструментальном микроскопе БМИ-1.

Результаты измерения занести в табл. 1. Построить графики зависимости глубины и ширины реза от скорости резки при разных условиях фокусировки (рис. 3).

4. Изучить топографию поверхности резов, полученных при условиях резки согласно табл. 1.

Сделать схемы расположения борозд на поверхности резов с указанием, при каких условиях обработки они получены.

5. Измерить высоту шероховатости на каждой из трех зон поверхности реза у образцов. Результаты измерения занести в табл. 2.

Построить графики $Rz = f(V_p)$ для каждой зоны.

6. Сделать анализ полученных результатов.

Т а б л и ц а 1

Зависимость h и b от V_p и d_f

№ п/п	d_f , мм	V_p , м/мин	h , мм	b , мм	№ п/п	d_f , мм	V_p , м/мин	h , мм	b , мм
1	0,65	1			7	0,4	3		
2	0,65	2			8	0,4	4		
3	0,65	3			9	0,2	1		
4	0,65	4			10	0,2	2		
5	0,4	1			11	0,2	3		
6	0,4	2			12	0,2	4		

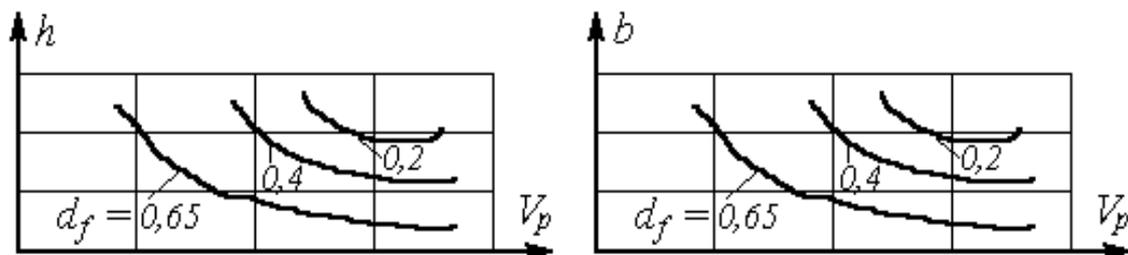


Рис. 3. Графики зависимости глубины и ширины реза в углеродистых сталях от скорости резки при различных условиях фокусировки

Т а б л и ц а 2

Зависимость шероховатости R_z (мкм) поверхности реза в углеродистой стали от скорости резки

d_f , мм	V_p , м/мин	Зоны			Графики $R_z = f(V_p)$
		I	II	III	
0,65	1				
	2				
	3				
	4				

d_f , мм	V_p , м/мин	Зоны			Графики $R_z = f(V_p)$
		I	II	III	
0,4	1				
	2				
	3				
	4				
0,2	1				
	2				
	3				
	4				

Измерение шероховатости поверхности
на микроскопе МИС-11

Измерение основано на определении величин неровностей, видимых в окуляре микроскопа, как результата отражения от вершин и впадин узкого светового луча, падающего под углом 45° к поверхности. Принципиальная схема измерения показана на рис. 4. Из схемы видно, что $b = cN = h\sqrt{2}N$, откуда $h = b/N\sqrt{2}$, где h – высота неровностей; N – увеличение объектива микроскопа.

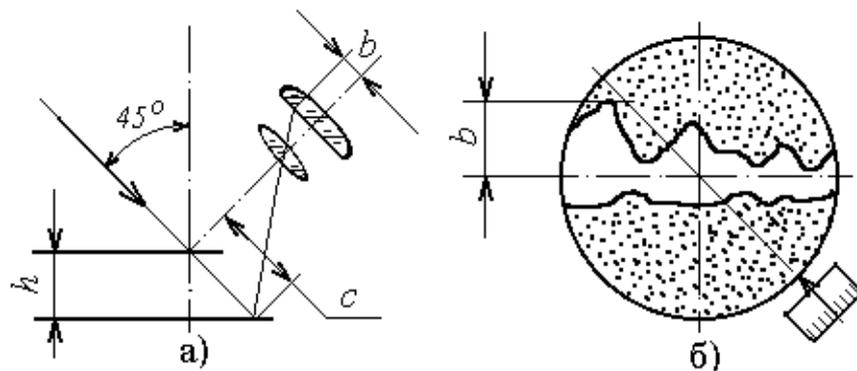


Рис. 4. Схема измерения шероховатости поверхности на микроскопе МИС– 11:
а – принципиальная схема; б – вид в окуляре

Величина b определяется с помощью микрометрического барабанчика окуляра, для этого горизонтальная нить окуляра совмещается сначала с гребнем, а затем со впадиной наиболее резкой стороны контура неровностей (см. рис. 4, б). При таком передвижении нити показания барабанчика (разность отсчетов делений) будут равны некоторой величине d . С учетом того, что направление перемещения нити относительно измеряемой высоты составляют угол 45° : $b = d/\sqrt{2}$.

Подставив значение b в выражение для определения h , получим $h = d/(2N)$ или в микрометрах $h = 10d/(2N) = d \frac{5}{N}$, где d – количество делений по барабанчику (цена деления 0,01 мм).

Для измерения шероховатости различной высоты на микроскоп должен быть установлен соответствующий сменный объектив (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Сменные объективы микроскопа МИС-11

Параметры	Классы шероховатости поверхности			
	4-6	5-8	7-8	8-9
Фокусное расстояние объектива, мм	25,0	13,9	8,2	4,3
Увеличение	5,8	10,5	18,0	34,5
Значение ($5/N$)	0,86	0,48	0,28	0,15

Для определения Rz выбирают в поле зрения микроскопа пять наибольших неровностей, измеряют высоту каждой и вычисляют по формуле, мкм,

$$Rz = (h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5)/5.$$

Измерение делается 2 – 3 раза на разных участках поверхности. Погрешность измерения на микроскопе МИС-11 составляет $\pm 15\%$.

Отчет о работе

Отчет о работе должен содержать:

1. Наименование, цель, содержание работы.
2. Схему выполнения операции газолазерной резки образцов.
3. Таблицы с результатами опытов.
4. Графики зависимости глубины, ширины реза и шероховатости поверхности реза в зависимости от V_p и d_f .

5. Выводы на основе анализа полученных зависимостей.

Библиография

Григорьянц А.Г., Соколов А.А. Лазерная техника и технология: В 7 кн. Кн. 7. Лазерная резка металлов: Учеб. пособие для вузов/ Под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Высш. шк., 1988. – 127с.

Лабораторная работа №7. ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПРОЦЕССА ГАЗОЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ

Цель работы – установить, используя статистический метод исследования, точность поверхностей деталей, полученных лазерной вырезкой¹.

Содержание работы

Вырезка пазов в заготовке по чертежу, измерение размеров вырезанных деталей и отверстий, оставшихся в заготовке после вырезки; вычисление статистических характеристик распределения величин измеренных параметров, построение практических кривых их распределения и оценка точности операции вырезки.

Оборудование, инструмент, заготовки

Оборудование: лазерная технологическая установка «ГЕММА-3Т» с лазером газовым ЛГН-207Б.

Инструмент: большой инструментальный микроскоп БМИ.

Заготовки: пять призматических заготовок размерами 100x50x3 мм (см. рисунок) из углеродистых сталей – сталь 20, 30, 45.

Порядок выполнения работы

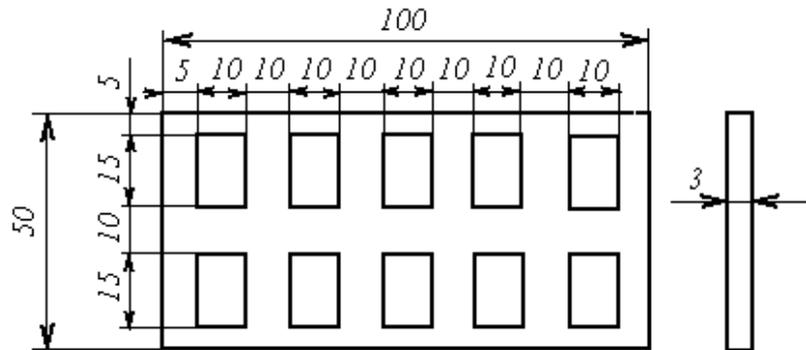
1. Разработать геометрический план вырезки пазов в заготовке, составить эскиз операции, схему расположения заготовки на столе ЛТУ (см. лаб. работу № 5). На схеме показать базирование заготовки, ее движение

¹Теоретические положения о содержании и методике статистического метода исследования точности обработки партии деталей на предварительно настроенном оборудовании см. в лаб. работе №3.

относительно лазерного луча, режим резки. Подготовить две таблицы для записи результатов измерений и расчетов (см. лаб. работу № 3).

2. Подобрать режим резки.

3. Вырезать по десять пазов в каждой из пяти заготовок при постоянной настройке ЛТУ.



Объект опытов

4. Измерить 50 вырезанных деталей по одному из размеров на большом инструментальном микроскопе БМИ. Измерения повторить 2 – 3 раза. Среднее значение замеров принять за действительное и записать его.

Определить поле рассеяния измеренных размеров $\omega = A^{НБ} - A^{НМ}$.

Разбить полученные размеры на интервалы, сгруппировать их по интервалам. Установить средние значения интервалов. Заполнить расчетную таблицу.

Вычислить статистические характеристики

$$\bar{x} = \frac{\sum(x_i n_i)}{n} \quad \text{и} \quad \sigma = \sqrt{\sum \frac{(x_i - \bar{x})^2 n_i}{n}}$$

Определить величину смещения середины распределения размеров относительно середины поля допуска $c = \bar{x} - x_0$. Оценить точность операции, сравнив 6σ с допуском на измеренный размер детали.

Построить практическую кривую распределения размеров вырезанных деталей.

Сделать заключение о причинах, вызывающих погрешность обработки.

5. Повторить исследование точности одного из размеров отверстий, оставшихся после вырезки в порядке, изложенном в п. 4.

6. Сопоставить точность вырезанных деталей и отверстий, оставшихся после вырезки.

7. Дать предложения по устранению причин, снижающих точность процесса резки.

Отчет о работе

Отчет должен содержать:

1. Название, цель и содержание работы.
2. Оборудование, инструмент, эскиз и характеристику заготовки.
3. Геометрический план обрабатываемой поверхности заготовки, эскиз операции, схему расположения заготовки на столе ЛТУ. На схеме показать базирование заготовки, движение лазерного луча, режим резки.
4. Таблицы с результатами измерений и расчетов.
5. Расчеты статистических характеристик распределения размеров.
6. Графики практического распределения размеров.
7. Выводы с сопоставлением точности вырезанных деталей и оставшихся после вырезки отверстий. Заключение о причинах, вызывающих погрешности резки и предложение мероприятий по повышению точности операции резки.

Библиографический список

1. Григорьянц А.Г., Соколов А.А. Лазерная техника и технология: В 7 кн. Кн. 7. Лазерная резка металлов: Учеб. пособие для вузов/ Под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Высш. шк. – 127 с.
2. Основы технологии машиностроения: Учеб. для вузов/ Под ред. В.С. Корсакова. Изд. 3-е доп. и перераб.– М.: Машиностроение. 1977. – 416 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Лабораторная работа №1 Изучение технологических возможностей лазерного излучения	5
Лабораторная работа №2 Формообразование глухих отверстий при лазерной обработке	8
Лабораторная работа №3 Исследование точности про- цесса лазерной прошивки отверстий	13
Лабораторная работа №4 Назначение оптимальных условий прошивки отверстий	19
Лабораторная работа №5 Техническое нормирование операции лазерной прошивки отверстий	28
Лабораторная работа №6 Изучение влияния режима газозлазерной резки металлов на качественные показатели процесса	33
Лабораторная работа №7 Исследование точности про- цесса газозлазерной резки металлов	40

ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ
Методические указания к лабораторным работам

Составитель
ЖЕЛОБОВА Татьяна Александровна

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

Редактор А.П.Володина
Корректор В.В.Гурова

ЛР № 020275 от 13.11.96. Подписано в печать 23.01.01.
Формат 60x84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,56. Уч.-изд. л.2,72. Тираж 50 экз.

Заказ

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