

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

О.Г. Крупенников, Д.В. Кравченко

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМ
И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ
МЕТОДАМ ОБРАБОТКИ**

Учебное пособие

Под редакцией профессора, доктора технических наук
Л. В. Худобина

Ульяновск,
УлГТУ
2012

УДК 621.9 (075.8)
ББК 34.5я7
К 84

Рецензенты:

канд. техн. наук, технический директор ООО «БАУ Мотор Корпорейшн»
С. Е. Ведров;
кафедра «Математическое моделирование технических систем»
Ульяновского государственного университета.

Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия

Крупенников, О. Г.

К 84 Лабораторный практикум по электрофизическим и электрохимическим методам обработки : учебное пособие / О. Г. Крупенников, Д. В. Кравченко ; под ред. Л. В. Худобина. – Ульяновск : УлГТУ, 2012. – 83 с.

ISBN 978-5-9795-1058-3

Содержит основные теоретические положения, методические рекомендации и указания по выполнению шести лабораторных работ по дисциплине «Электрофизические и электрохимические методы размерной обработки».

Содержание учебного пособия соответствует требованиям государственного образовательного стандарта и рабочим программам дисциплины «Электрофизические и электрохимические методы размерной обработки» для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 151900.62 – Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств всех форм обучения. Пособие будет полезно студентам других машиностроительных и приборостроительных специальностей технологического направления.

УДК 621.9 (075.8)
ББК 34.5я7

ISBN 978-5-9795-1058-3

© Крупенников О. Г., Кравченко Д. В., 2012
© Оформление. УлГТУ, 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	4
ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.....	5
ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	10
РАБОТА № 1. Исследование влияния условий выполнения электроэрозионной обработки на ее производительность и каче- ство отрезанных пластин	12
РАБОТА № 2. Исследование влияния условий выполнения опе- рации электроконтактного гравирования на глубину лунки	23
РАБОТА № 3. Исследование влияния элементов режима на- плавки на ее производительность и толщину наплавленного слоя материала	33
РАБОТА № 4. Исследование влияния элементов режима на- плавки на качество наплавленного слоя материала	44
РАБОТА № 5. Исследование влияния условий выполнения маг- нитно-абразивной обработки на шероховатость поверхностей обработанных заготовок.....	56
РАБОТА № 6. Исследование влияния элементов режима ультра- звуковой очистки на чистоту поверхностей деталей	67
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	80
ОСНОВНЫЕ ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ПОНЯТИЯ	82
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	83

ПРЕДИСЛОВИЕ

Пособие предназначено для методического обеспечения выполнения государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по дисциплине «Электрофизические и электрохимические методы размерной обработки» (ЭФХМО) при подготовке бакалавров техники и технологии по направлению 151900.62 – Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств.

Целью освоения дисциплины является формирование у студентов знаний теоретических основ и принципов практической реализации электроэрозионной, электрохимической, магнитно-абразивной, электроконтактной, электроннолучевой, светолучевой, плазменной и ультразвуковой обработки на основе современных научных и технических достижений отечественного и зарубежного машиностроения.

В учебном пособии изложены методические рекомендации и указания по выполнению шести лабораторных работ по дисциплине ЭФХМО, содержание которых обобщает многолетний опыт проведения технологического лабораторного практикума на кафедре «Технология машиностроения» УлГТУ по электроэрозионной, магнитно-абразивной, электроконтактной и ультразвуковой обработке.

В 2000 г. О. Г. Крупенниковым, на основе разработок разных лет сотрудников кафедры С. Е. Ведрова, М. А. Жулиной, а также его новых разработок было издано учебное пособие «Лабораторные работы по технологии машиностроения. Часть 3. Технология электрофизических и электрохимических методов обработки» (г. Ульяновск, типография УлГТУ). В настоящее учебное пособие включены существенно переработанные О. Г. Крупенниковым лабораторные работы № 3 – 6 и № 8 из указанного сборника и вновь подготовленная Д. В. Кравченко лабораторная работа № 1 в настоящем сборнике.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Общие положения и правила поведения студентов в лаборатории электрофизических и электрохимических методов обработки

На первом лабораторном занятии каждого семестра со студентами проводится инструктаж по технике безопасности в лаборатории электрофизических и электрохимических методов обработки с последующей регистрацией и личной подписью каждого студента в специальном журнале по технике безопасности.

Перед выполнением лабораторной работы, в целях исключения травматизма, а также поломки оборудования, технологической оснастки и приборов, каждый студент знакомится с правилами техники безопасности при работе на соответствующем оборудовании.

Запрещается:

- приступать к выполнению лабораторных работ без ознакомления с правилами техники безопасности;
- включать станок или установку без разрешения учебного мастера или преподавателя;
- касаться движущихся частей механизмов, инструмента и заготовки;
- убирать продукты обработки без применения специальных средств;
- подходить к станкам и установкам в расстегнутых халатах, с расстегнутыми рукавами, с незаправленными под головной убор волосами;
- заходить за станок или установку в зону выброса продуктов обработки;
- применять излишние усилия при работе с приборами;
- курить и загрязнять помещение лаборатории, портить имущество.

Студент обязан:

- выполнять только ту работу, которая поручена ему преподавателем;
- сдавать свое рабочее место учебному мастеру или преподавателю чистым и в полном порядке;
- сообщать учебному мастеру или преподавателю о всех неполадках во время выполнения работы;
- знать места расположения и размещения средств пожаротушения и правила пользования ими;
- не вмешиваться в работу студентов, выполняющих другую лабораторную работу, если это не поручено преподавателем.

Общие правила техники безопасности при работе на металлорежущих станках и установках

- Перед началом работы заправить одежду, застегнуть рукава, убрать волосы под головной убор;
- подготовить рабочее место для безопасной работы, убрать все лишнее с рабочей площади и со станка или установки;
- проверить и подготовить к работе необходимые технологическую оснастку и приборы;
- проверить целостность заземляющего провода и надежность его контактов;
- проверить исправность светильника местного освещения;
- проверить работу станка или установки на холостом ходу под наблюдением учебного мастера;
- проверить исправность действия систем смазки и охлаждения;
- надежно закрепить заготовку и инструмент;
- перед включением станка или установки убедиться, что пуск оборудования никому не угрожает;

- применять указанный преподавателем режим обработки и всякое изменение его согласовывать с преподавателем;
- для защиты глаз от разлетающихся продуктов обработки пользоваться защитными очками, экраном;
- не производить чистку и смазку станка, а также установку и подналадку инструмента во время их работы;
- не облокачиваться на станок или установку, не класть на них инструмент, заготовки и другие предметы.

Правила техники безопасности при работе на электроэрозионных станках

- Перед установкой заготовки и заправкой проволоки необходимо убедиться в отсутствии напряжения между столом и скобой;
- работу на станке производить при опущенном защитном экране;
- не погружать руки в ванну с рабочей средой в процессе обработки;
- не использовать в качестве рабочих сред углеводородные жидкости (керосин, масло и др.);
- снятие заготовки следует производить после обесточивания станка и вывода проволоки из зоны обработки;
- вблизи станка необходимо иметь углекислый огнетушитель.

Правила техники безопасности при работе на установке для электроконтактного гравирования

- Режим гравирования устанавливать при выключенном трансформаторе;
- при работе на установке студент должен стоять на резиновом коврикe или деревянной решетке;
- в процессе гравирования не касаться заготовки или электрода-инструмента руками, не защищенными диэлектрическими перчатками;

- при включенном трансформаторе запрещается замыкать контакт между электродом-инструментом и установочной пластиной без заготовки.

Правила техники безопасности при работе на установке для наплавки

- Не проверять размеры обрабатываемой заготовки на ходу установки;
- регулирование установки осуществлять при выключенном общем рубильнике;
- работу на установке проводить, стоя на резиновом коврике или деревянной решетке;
- не производить наплавку без закрытия дуги защитным кожухом со светофильтром;
- не работать на установке при выключенной приточно-вытяжной вентиляции.

Правила техники безопасности при работе на установке для магнитно-абразивной обработки

- Съем и установку заготовки производить при выключенном станке и обесточенном магнитном индукторе;
- не переключать скорости шпинделя и подач на ходу;
- в процессе обработки не наклонять голову к вращающемуся магнитному индуктору;
- магнитно-абразивную суспензию наносить на поверхность заготовки на безопасном расстоянии от магнитного индуктора или при выключенном станке;
- рабочий зазор между торцом индуктора и поверхностью заготовки выставлять при неработающих станке и индукторе.

Правила техники безопасности при работе на установке для ультразвуковой обработки

- Установку и съём заготовки производить при выключенном генераторе и слитой из ванны рабочей среде;
- не погружать руки в ванну с «озвученной» рабочей средой;
- не прикасаться к ультразвуковому преобразователю при включенном генераторе;
- не допускать работы преобразователя без нагрузки;
- не использовать при очистке рабочую среду с температурой свыше +90 °С.

Правила электробезопасности

- Не производить ремонт электрооборудования, о всех неисправностях сообщать учебному мастеру или преподавателю;
- не снимать ограждения с электрооборудования, не открывать двери электрошкафов;
- не касаться изолированных токоведущих частей оборудования;
- знать места расположения автоматов общего отключения и при необходимости отключать напряжение автоматом.

Правила техники безопасности после окончания работы на станках и установках

- По окончании работы или при длительных перерывах выключить станок или установку;
- сдавать рабочее место чистым и в полном порядке;
- не мыть руки рабочей средой и не вытирать их обтирочным материалом, загрязненным продуктами обработки.

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Все лабораторные работы, методики выполнения которых приводятся ниже, хорошо апробированы и проводятся в течение многих лет (при постоянной модернизации) в лаборатории электрофизических и электрохимических методов обработки кафедры «Технология машиностроения» УлГТУ.

Допуск студента к выполнению лабораторной работы осуществляется только после проверки знания им соответствующих разделов теоретической части курса. Студенты, имеющие неудовлетворительные теоретические знания по разделам курса, относящимся к теме работы, к ее выполнению не допускаются.

Студенты, приступающие непосредственно к выполнению лабораторной работы, должны:

- ознакомиться с содержанием работы;
- изучить правила техники безопасности, которые необходимо соблюдать при выполнении работы;
- ознакомиться со средствами технологического оснащения;
- изучить технику проведения экспериментов и порядок обработки их результатов.

Результаты лабораторной работы оформляют в виде отчета на нескольких листах формата А4, заранее подготовленных студентами к занятию в форме бланков.

Первую страницу (титульный лист) отчета оформляют по образцу, приведенному ниже. Содержание последующих страниц отчета дано в методических указаниях к каждой лабораторной работе.

Лабораторная работа считается выполненной после просмотра и подписи преподавателем отчета.

Обработку результатов экспериментов и выполнение необходимых расчетов следует производить на ПЭВМ, используя соответствующие программы.

Первая страница (титульный лист) отчета

Ульяновский государственный технический университет
Кафедра «Технология машиностроения»

Лаборатория «Электрофизические и электрохимические
методы обработки»

ОТЧЕТ
по лабораторной работе №

(название лабораторной работы)

Студент

Группа

Дата

Работу выполнил:
(подпись студента)

Работу принял:
(подпись преподавателя)

РАБОТА № 1. Исследование влияния условий выполнения электроэрозионной обработки на ее производительность и качество отрезанных пластин

Цель работы: выявление зависимости выходных параметров электроэрозионной обработки проволочным электродом-инструментом от условий ее проведения.

Основные понятия электроэрозионной обработки

Электроэрозионная обработка (ЭЭО) заключается в изменении формы, размеров, шероховатости и свойств поверхностного слоя заготовки под воздействием электрических разрядов в результате электрической эрозии.

Электрический разряд – это высококонцентрированный в пространстве и во времени импульс электрической энергии, преобразуемой между электродом-инструментом (ЭИ) и электродом-заготовкой (ЭЗ) в тепловую. При этом в начале разряда происходят нагрев, расплавление и испарение материала с локальных поверхностей электродов, ионизация и распад (пиролиз) диэлектрической рабочей жидкости [3, 4, 6].

Взаимодействие основных физико-химических процессов при ЭЭО показано на рис.1.1.

Различают электроискровой и электроимпульсный режимы ЭЭО.

При обработке на электроискровом режиме применяют короткие искровые разряды, отличающиеся малой мощностью и используемые на переходах окончательной ЭЭО.

Для электроимпульсного режима характерно использование длинных искро-дуговых и дуговых разрядов, передающих в межэлектродный промежуток (МЭП) энергию большой мощности. Этот режим применяют на черновых переходах ЭЭО.

ЭЭО проводят при прямой или обратной полярности.

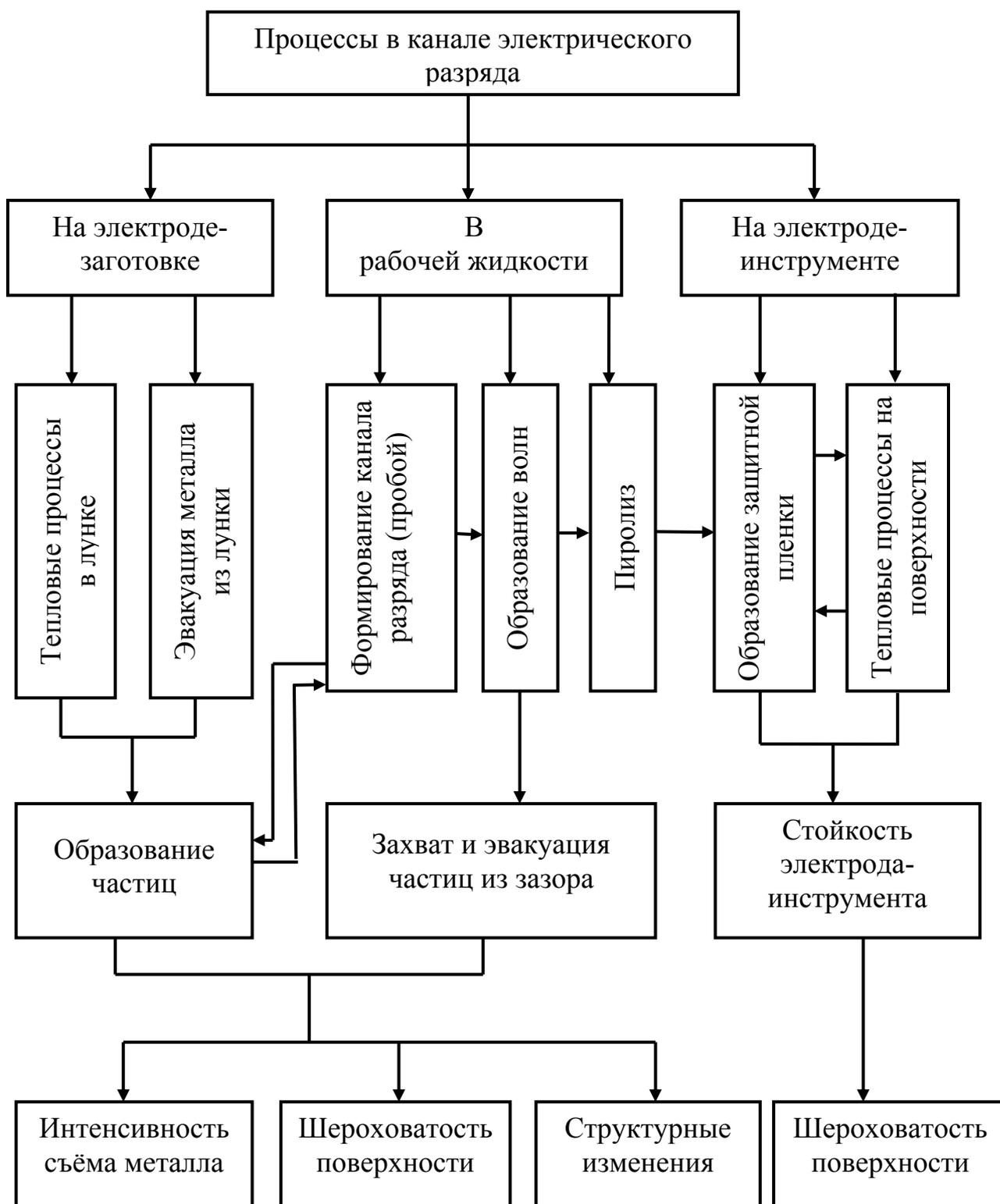


Рис. 1.1. Схема взаимодействия процессов, происходящих в межэлектродном промежутке [3]

Полярность – это более интенсивное разрушение одного из электродов, обусловленное принципиальным различием приэлектродных процессов у их поверхности.

Полярность, при которой заготовка является анодом (+), называется прямой. ЭЭО, при которой используют электроискровой режим, обычно осуществляется при прямой полярности включения электродов.

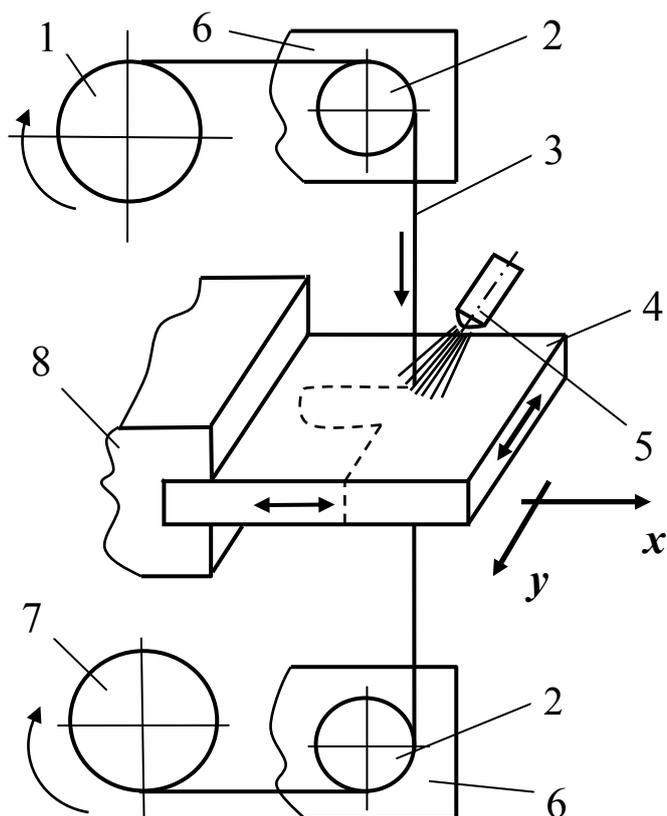
Полярность, при которой анодом является электрод-инструмент, называется обратной. Обработку металлов на электроимпульсном режиме осуществляют при обратной полярности.

В соответствии с технологическими признаками различают следующие виды ЭЭО (ГОСТ 25331):

1. Электроэрозионное отрезание (ЭЭОт).
2. Электроэрозионное объемное копирование (ЭЭОК).
3. Электроэрозионное вырезание (ЭЭВ).
4. Электроэрозионное прошивание (ЭЭПр).
5. Электроэрозионное шлифование (ЭЭШ).
6. Электроэрозионная доводка (ЭЭД).
7. Электроэрозионное маркирование (ЭЭМ).
8. Комбинированная ЭЭО.

Электроэрозионное вырезание (рис. 1.2) является одним из наиболее распространенных в производственных условиях видом ЭЭО: обработка заготовки 4, закрепленной прихватами на столе 8 станка, осуществляется непрофилированным электродом-инструментом, в качестве которого используется калиброванная проволока 3, перематываемая с передающей катушки 1 на приемную катушку 7 с заданной скоростью по направляющим роликам 2 инструментальной скобы 6. Стол 8 и инструментальная скоба 6 перемещаются друг относительно друга по управляющей программе с заданной скоростью подачи. В процессе ЭЭВ должно быть обеспечено натяжение электрода-инструмента 3. Как правило, ЭЭВ проводится при полном погружении заготовки 4 в ванну с диэлектрической рабочей жидкостью, либо жидкость в зону обработки подают под давлением через сопло 5.

Рис. 1.2. Схема ЭЭВ непрофилированным ЭИ: 1 – передающая катушка; 2 – направляющие ролики; 3 – проволочный ЭИ; 4 – обрабатываемая заготовка; 5 – сопло для подачи диэлектрической рабочей жидкости; 6 – инструментальная скоба; 7 – приёмная катушка; 8 – стол станка



Точность размеров и формы, качество поверхностного слоя и производительность ЭЭО зависят от количества выплавляемого за один импульс металла из электроэрозионной лунки, определяемого энергией импульса A_u [3]:

$$A_u = I_{cp} \cdot U_{np} \cdot \tau_u, \quad (1.1)$$

где I_{cp} – средняя сила тока, А; U_{np} – среднее напряжение пробоя, В;

τ_u – длительность импульса, с.

В свою очередь, среднюю силу тока можно выразить через I_k – силу тока при коротком замыкании электродов:

$$I_{cp} = 0,5 \dots 0,75 I_k, \quad (1.2)$$

а среднее напряжение пробоя – через напряжение холостого хода при разомкнутых электродах $U_{x.x}$:

$$U_{np} = 0,5 \dots 0,75 U_{x.x}. \quad (1.3)$$

Длительность импульсов τ_u обратно пропорциональна частоте их следования f . Поскольку между импульсами имеются паузы τ_n , то при расчете τ_u необходимо учитывать скважность q – отношение периода повторения импульсов τ_o к их длительности τ_u :

$$q = \frac{\tau_o}{\tau_u} = \frac{\tau_u + \tau_n}{\tau_u}. \quad (1.4)$$

Тогда формула для определения τ_u примет следующий вид:

$$\tau_u = \frac{1}{q \cdot f}. \quad (1.5)$$

При ЭЭО используют импульсы различной формы, но одной полярности (униполярные импульсы). Форму импульсов подбирают такой, чтобы при заданных параметрах импульса получить наибольшее углубление в заготовке, т. е. обеспечить наиболее эффективное использование подводимой энергии.

Под производительностью обработки Q непрофилированным электродом понимают отношение площади боковой поверхности паза к времени обработки. Площадь боковой поверхности определяется произведением длины пути ℓ , пройденного проволочным ЭИ в направлении подачи за время обработки t , на толщину заготовки b :

$$Q = \frac{\ell \cdot b}{t}. \quad (1.6)$$

Площадь обрабатываемой поверхности существенно влияет на производительность: при средних и больших площадях это объясняется ролью процесса удаления из межэлектродного промежутка продуктов эрозии, а на малых площадях – невозможностью введения в этот промежуток энергии оптимальной мощности.

Производительность ЭЭО зависит и от материала ЭИ, от свойств которого зависят напряжение в канале разряда и, следовательно, энергия импульсов, характер теплообмена в межэлектродном промежутке и другие факторы [6]. Для каждого материала ЭИ существует

предельная мощность генератора импульсов, которая при заданном напряжении может быть эффективно использована. Чем больше теплопроводность материала ЭИ, тем выше указанная предельная мощность, поскольку теплопроводность определяет скорость отвода теплоты с поверхности ЭИ.

В зависимости от свойств рабочей жидкости изменяются доля полезно использованной энергии импульса и его предельная мощность. Каждому виду ЭЭО соответствуют оптимальные диэлектрические среды. Так, при ЭЭО с малой энергией импульса высокую производительность обеспечивают дистиллированная и техническая вода. При работе на электроимпульсном режиме применяют тяжелые фракции нефти (масла, дизельное топливо и др.) с температурой вспышки до 450 К.

Зависимость производительности ЭЭО от вязкости рабочей среды имеет оптимум: увеличение вязкости замедляет выведение из межэлектродного промежутка продуктов эрозии и снижает производительность; такой же результат наблюдается и при уменьшении вязкости, ухудшающем захват жидкостью твердых частиц.

В процессе ЭЭО жидкость загрязняется, из-за чего снижается производительность обработки. Загрязненность оценивают процентным отношением массы продуктов обработки, содержащихся в жидкости, к ее массе.

При загрязненности до 4 ... 5 % для черновых и 2 ... 3 % для чистовых режимов ЭЭО производительность остается практически одинаковой по сравнению с чистой рабочей средой. Дальнейшее возрастание содержания в жидкости продуктов обработки, особенно на чистовых режимах, приводит к снижению числа рабочих импульсов и производительности.

Обрабатываемая поверхность в процессе ЭЭО формируется из перекрывающихся друг друга электроэрозионных лунок (рис. 1.3).

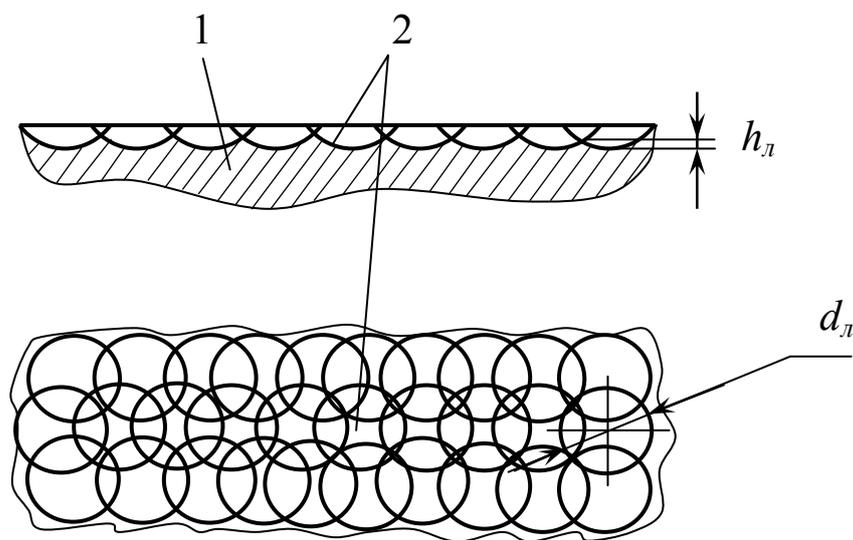


Рис. 1.3. Поверхность заготовки после ЭЭО: 1 – заготовка; 2 – электроэрозионная лунка; $h_{л}$, $d_{л}$ – соответственно глубина и диаметр лунки

Высоту микронеровностей поверхности после ЭЭО можно рассчитать по формуле [6]:

$$Rz = K_n \sqrt[3]{\frac{Q}{f}}, \quad (1.7)$$

где K_n – коэффициент, зависящий от условий проведения ЭЭО: для чистовых режимов $K_n = 1 \dots 12$; для черновых режимов $K_n = 10 \dots 50$.

Поверхностный слой материала заготовки (рис. 1.4) формируется за счет части расплавленного металла, оставшегося на поверхности лунки, и прилегающего к ней слоя металла, подвергнутого структурным изменениям при быстром нагреве и охлаждении. Этот слой состоит из так называемого белого слоя 1, в котором происходят химико-термические превращения, и переходного слоя 2, который подвергается только термическому знакопеременному воздействию. Под слоем 2 находится неизменный материал 3 заготовки.

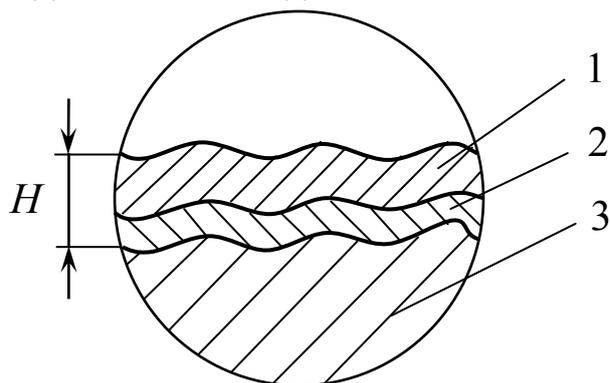


Рис. 1.4. Структура поверхностного слоя заготовки после ЭЭО: 1 – белый слой; 2 – переходный слой; 3 – неизменный металл

Измененная зона, образуемая слоем 1, содержит продукты пиролиза диэлектрической среды, в частности углерод, и элементы, входящие в состав ЭИ [6].

Толщину измененного слоя H можно определить по формуле [6]

$$H = K_m \cdot A_u^p, \quad (1.8)$$

где $K_m = 1,8 \dots 4 K_H$; p – показатель степени, учитывающий форму лунок после их наложения ($p = 0,3 \dots 0,4$).

Содержание работы

Студент выполняет лабораторную работу согласно варианту задания по табл. 1.1, выданному преподавателем.

1.1. Варианты заданий

№ задания	Материал заготовки	U_{zu} , В	I_{zu} , А	$U_{x.x}$, В	I_{cp} , А	U_{np} , В	f , кГц	V_{zu} , мм/с	F_{zu} , Н	V_s , мм/с
1	Сталь 45, алюминий АЛ6, титан ОТ 4-1	1,25	0,05	8	0,04	6	12	6	4	3
2	АЛ6	1,25; 1,50; 1,75	0,05; 0,06; 0,07	8; 12; 16	0,04; 0,05; 0,06	6; 10; 14	12	6	4	3
3	АЛ6	1,50	0,06	12	0,05	10	8; 12; 18	6	4	3

Примечание. U_{zu} – напряжение генератора импульсов станка (устанавливается вручную по вольтметру); I_{zu} – сила тока генератора импульсов станка (устанавливается вручную по амперметру); $U_{x.x}$ – напряжение холостого хода генератора импульсов станка (контролируется визуально по вольтметру на стойке ЧПУ станка, при необходимости регулируется).

При выполнении задания № 1 студент экспериментально исследует, как изменятся производительность Q и шероховатость заготовки по параметру Ra в зависимости от материала обрабатываемой заготовки.

В ходе проведения экспериментов по заданию № 2 студент исследует влияние на Q и Ra силы тока I_{cp} и напряжения U_{np} .

По заданию № 3 студент исследует влияние на Q и Ra частоты следования импульсов f .

Средства технологического оснащения

- Станок – электроискровой 04ИВ200-2 с ЧПУ 2М43 и генератором тиратронным биполярных импульсов.
- Электрод-инструмент – калиброванная проволока $\varnothing 0,3$ мм, материал – латунь Л63.
- Рабочая жидкость – вода водопроводная.
- Заготовки – пластины $100 \times 20 \times 4$ мм; материалы – сталь 45, алюминий АЛ6, титан ОТ 4-1.
- Профилометр мод. 296.
- Линейка.
- Секундомер.

Порядок выполнения работы

- Изучают устройство и правила эксплуатации станка 04ИВ200-2, системы ЧПУ 2М43 и генератора импульсов.
- Закрепляют на столе станка заготовку.
- В соответствии с заданием преподавателя устанавливают режим ЭЭО.
- Включают перемотку ЭИ со скоростью $V_{эи}$ и силой натяжения $F_{эи}$.
- Устанавливают ЭИ в начальное положение относительно заготовки.

- Включают: подъем ванны с рабочей жидкостью для погружения в нее заготовки, генератор импульсов, подачу V_s от ЧПУ, секундомер, и отрезают от заготовки пластину, проводя не менее трех параллельных опытов.
- После отрезания от заготовки пластины выключают секундомер, подачу и генератор импульсов.
- Обесточивают станок.
- Вынимают отрезанную пластину из бака с рабочей жидкостью и вытирают ее насухо.
- Замеряют на профилемере среднее арифметическое отклонение профиля Ra обработанной поверхности.
- Рассчитывают площадь отрезанной пластины S и производительность обработки Q .
- Заносят экспериментальные и расчетные данные в таблицу, выполненную по форме приложения 1.
- Строят зависимости производительности Q и Ra от изменяемого в соответствии с заданием параметра ЭЭО. При выполнении задания № 1 строят столбчатые диаграммы.
- Систематизируют полученные результаты. Выводы по работе заносят в отчет (см. приложение 1).

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе выполняют по форме приложения 1. В выводах необходимо проанализировать результаты экспериментов и объяснить физическую природу полученных зависимостей.

Отчет сохраняют до заключительного занятия, на котором студенты, выполнявшие различные варианты заданий, обмениваются друг с другом полученной информацией для выявления взаимосвязей входных и выходных параметров исследуемой технологической операции.

Вопросы для самопроверки

1. В чем заключается электроэрозионной обработки?
2. Что такое электрический разряд?
3. Чем электроискровой режим обработки отличается от электроимпульсного режима ЭЭО?
4. Что такое полярность электродов?
5. Чем прямая полярность отличается от обратной?
6. Какие процессы протекают в канале электрического разряда?
7. От каких параметров зависит энергия импульса?
8. Что такое скважность импульса?
9. Как определить производительность ЭЭО непрофилированным электродом-инструментом?
10. Что представляет собой поверхность заготовки после ЭЭО?
11. Какова структура поверхностного слоя материала заготовки после ЭЭО?

Приложение 1

Вторая и последующая страницы отчета
по лабораторной работе № 1

Результаты экспериментов

№ опыта	Материал заготовки	I_{cp} , А	U_{np} , В	f , кГц	t , мин	S , мм ²	Q , мм ² /мин	Ra , мкм
1								
2								
...								
N								

Графики зависимости производительности Q и шероховатости Ra
от изменяемого параметра ЭЭО

Выводы:

РАБОТА № 2. Исследование влияния условий выполнения операции электроконтактного гравирования на глубину лунки

Цель работы: выявление зависимости глубины лунки от условий выполнения операции электроконтактного гравирования.

Основные понятия и технологические показатели гравирования

Электроконтактная обработка (ЭКО) является разновидностью ЭЭО и относится к числу перспективных методов, позволяющих достичь высокой производительности обработки заготовок из высокопрочных токопроводящих материалов при использовании относительно несложного оборудования и средств технологического оснащения [1].

ЭКО основана на электроэрозионном разрушении электрода-заготовки (ЭЗ) 1 под воздействием электродуговых разрядов между заготовкой и вращающимся или перемещающимся электродом-инструментом (ЭИ) 4 (рис. 2.1). При этом разряды возникают в результате пробоя межэлектродного промежутка.

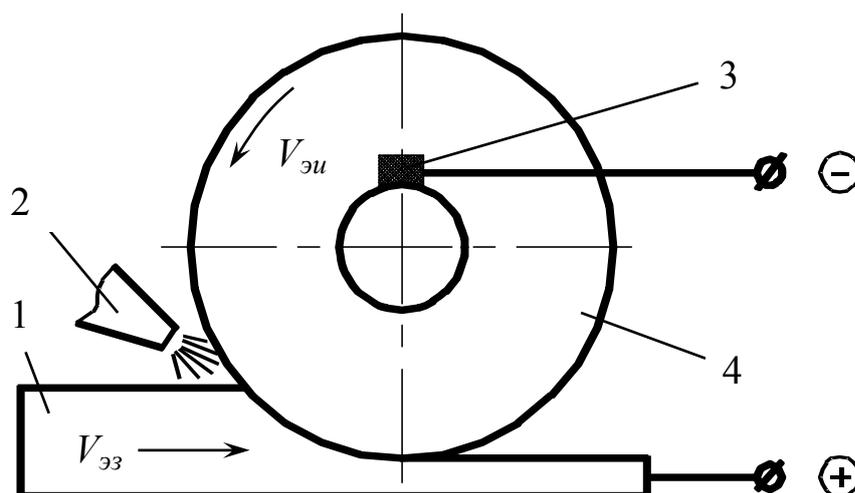


Рис. 2.1. Схема электроконтактной обработки: 1 – электрод-заготовка; 2 – сопло для подачи рабочей среды; 3 – токосъемник; 4 – электрод-инструмент; $V_{эз}$ – скорость подачи электрода-заготовки; $V_{эи}$ – окружная скорость электрода-инструмента

При ЭКО выделяется большое количество теплоты, что приводит к нагреву, мгновенному расплавлению металла заготовки в зоне действия дуги и выбросу расплавленных частиц. Продукты эрозии удаляются из межэлектродного промежутка за счет разряда, потока рабочей среды и центробежных сил ЭИ. Теплообразование в межэлектродном промежутке объясняется механическим трением электродов и электрическим сопротивлением в месте контакта ЭИ и ЭЗ и дугового разряда. При этом, с повышением напряжения уменьшается значение первого источника теплообразования и увеличивается доля теплообразования вследствие электрических воздействий (контактного сопротивления электродов и дугового разряда). Чем выше частота вращения или поступательного перемещения ЭИ, тем чаще происходят дуговые разряды и меньше их длительность.

В процессе ЭКО плазменный канал может быть создан не только пробоем межэлектродного промежутка. Так как на поверхностях электродов имеются неровности, то при перемещении электродов возможны кратковременные контакты между неровностями ЭИ и ЭЗ. Когда эти участки (после контакта) удаляются друг от друга на определенное расстояние, то между ними возникают электрические разряды, переходящие в дуговые и вызывающие расплавление металла. При продолжении движения электродов контактирующие участки все больше удаляются, и разряд в среде диэлектрика затухает. Следовательно, длительность и частота импульсов тока зависят от формы и количества выступов на наружной поверхности ЭИ и от скорости вращательного и поступательного перемещения.

Таким образом, вращающийся и перемещающийся ЭИ сам регулирует параметры импульсов, поэтому для осуществления процесса ЭКО не требуется специальных генераторов импульсов.

Обычно электроконтактную обработку ведут при постоянном или переменном токе низкого напряжения (до 60 В). В последнем случае разряды возникают на обеих полуволнах напряжения, причем ЭИ и ЭЗ попеременно являются анодом или катодом. При использовании

источника постоянного тока ЭКО проводят при прямой полярности (см. рис. 2.1). По мере съема металла с заготовки ЭИ, в зависимости от схемы обработки, может перемещаться или вдоль обрабатываемой поверхности, или по нормали к ней. При этом ЭИ, так же, как и ЭЗ, может быть неподвижным или вращающимся.

Основные разновидности ЭКО представлены на рис. 2.2.



Рис. 2.2. Классификация видов электроконтактной обработки

В качестве ЭИ применяют диски, трубки, стержни, ленты, выполненные из токопроводящего материала и имеющие гладкую или фасонную рабочую поверхность [2]. Материалом для ЭИ служат углеродистые стали, чугун, медь, графит и сложные сплавы на вольфрамоникелевой основе.

Рабочая среда в процессе ЭКО оказывает на заготовку и инструмент следующие воздействия:

1. Физическое, способствуя локализации разряда, изменяя потенциал ионизации и регулируя параметры дугового разряда.
2. Химическое, создавая сорбционные пленки, повышающие термостойкость ЭИ, или пассивирующие пленки на продуктах эрозии, сопутствующих анодному растворению.
3. Охлаждающее, локализирующее тепловое воздействие на ЭИ и ЭЗ.
4. Механическое, удаляя продукты эрозии.
5. Смазывающее.

В качестве рабочих сред для ЭКО используют воздух, воду, минеральные масла, керосин, суспензии, эмульсии и электролиты.

Мощность энергии, подводимой в зону электроконтактной обработки, определяют по следующей зависимости [3]:

$$P = U_{\text{э}} \cdot I_{\text{э}} \cdot \cos \varphi + \mu \cdot F_n \cdot V_{\text{э}}, \quad (2.1)$$

где $U_{\text{э}}$, $I_{\text{э}}$ – соответственно напряжение (В) и сила тока (А) на электроде-инструменте; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности ($\cos \varphi = 0,4 \dots 0,8$); μ – коэффициент трения ЭИ по заготовке; F_n – сила давления на электрод-инструмент, Н; $V_{\text{э}}$ – скорость подачи ЭИ, м/с.

При незначительных скоростях перемещения ЭИ (например, в процессе ЭК-гравирования) вторым слагаемым в зависимости (2.1) можно пренебречь. Тогда энергия, подводимая к заготовке за один импульс:

$$A_{13} = P \cdot \tau_u = U_{\text{э}} \cdot I_{\text{э}} \cdot \cos \varphi \cdot \tau_u, \quad (2.2)$$

где τ_u – длительность импульса, с.

При использовании для ЭКО источника переменного тока τ_u примерно равна половине периода напряжения:

$$\tau_u \approx 0,5 T = 0,5 f^{-1}, \quad (2.3)$$

где f – частота тока в промышленной сети, Гц.

С учетом (2.3), формула (2.2) примет следующий вид:

$$A_{13} = U_{\text{э}} \cdot I_{\text{э}} \cdot \cos \varphi \cdot f^{-1}. \quad (2.4)$$

В процессе маркировки или гравирования заготовки ЭИ оставляет на ее поверхности след, представляющий собой цепочку из одиночных лунок, каждая из которых образовалась под действием единичного разряда.

Согласно [3], глубину одиночной лунки $h_{1л}$ можно определить по зависимости:

$$h_{1л} \approx \frac{0,5q_3}{f \cdot \rho_3 \cdot (\Delta H_p - \Delta H_0)}, \quad (2.5)$$

где q_3 – удельный тепловой поток, подводимый к заготовке, Дж/(м² · с); ρ_3 – плотность материала заготовки, кг/м³; ΔH_p и ΔH_0 – удельные энтальпии соответственно расплава и предварительно нагретой заготовки, Дж/кг. Если заготовка не подогревается, то $\Delta H_0 = 0$.

Удельный тепловой поток q_3 рассчитывают по зависимости [4]:

$$q_3 = \frac{A_{13}}{\pi \cdot r_k^2 \cdot \tau_u}, \quad (2.6)$$

где r_k – средний радиус канала разряда ($r_k \approx 0,0025$ м).

После подстановки выражения (2.4) в (2.6) получим

$$q_3 = \frac{0,5 \cdot U_{\text{Э}} \cdot I_{\text{Э}} \cdot \cos \varphi}{\pi r_k^2}. \quad (2.7)$$

Удельная энтальпия расплава [4]:

$$\Delta H_p = C_m (\theta_{пл} - \theta_0) + q_{пл}, \quad (2.8)$$

где C_m – теплоемкость материала заготовки (для стали $C_m = 465$ Дж/(кг · °С)); $\theta_{пл}$ – температура плавления материала заготовки, (для стали $\theta_{пл} = 1500$ °С); θ_0 – начальная температура заготовки, °С; $q_{пл}$ – теплота плавления материала заготовки (для стали $q_{пл} = 277$ кДж/кг).

Подставив (2.8) и (2.7) в формулу (2.5), окончательно получим зависимость для определения глубины одиночной лунки $h_{1л}$:

$$h_{1л} \approx \frac{U_{\text{э}} \cdot I_{\text{э}} \cos \varphi}{4\pi \cdot r_{\text{к}}^2 \cdot f \cdot \rho_{\text{э}} [C_m (\theta_{\text{нл}} - \theta_0) + q_{\text{нл}}]} \quad (2.9)$$

На практике глубину одиночной лунки оценивают по зависимости [9]

$$h_{1л} \approx K_H \cdot A_{13}^p, \quad (2.10)$$

где K_H – коэффициент, зависящий от режима ЭКО, материала электродов, их размеров, вида и состояния рабочей среды; p – показатель степени, характеризующий форму лунки (для гравирования $p = 1$).

Содержание работы

Студент выполняет лабораторную работу согласно варианту задания, выданному преподавателем по табл. 2.1.

2.1. Варианты заданий

№ задания	Материал заготовки	Рабочая среда	Режимы обработки		Формула для расчета
			$I_{\text{э}}, \text{А}$	$U_{\text{э}}, \text{В}$	$h_{1л}$
1	Сталь 45, сталь Р6М5, титан ОТ4-1, алюминий АЛ6	Воздух	150	1,8	(2.9)
2	То же	Воздух	150	1,8	(2.10)
3	Сталь 45	Воздух, вода, 3 %-ная эмульсия Аквол-6, 10 %-ный раствор NaCl	150	1,8	(2.10)
4	То же	Воздух	150	1,2; 1,8; 2,4; 3,0	(2.10)

При выполнении задания № 1 студент определяет глубину лунки при электроконтактном гравировании различных материалов экспериментально и расчетом по формуле (2.9).

В ходе проведения экспериментов по заданиям № 2 – 4 студент, используя найденные значения $h_{1л}^э$, находит из зависимости (2.10) поправочные коэффициенты K_H для различных материалов, рабочих сред и напряжения $U_э$.

Средства технологического оснащения

- Заготовки – пластины $10 \times 20 \times 100$ мм, материал – сталь 45, сталь Р6М5, титановый сплав ОТ4-1, алюминий АЛ6.
- Рабочая среда – воздух, вода, 3 %-ная эмульсия Аквол-6, 10 %-ный водный раствор NaCl.
- Профилограф – профилометр мод. 252.
- Установка для электроконтактного гравирования.

Установка, используемая при выполнении лабораторной работы, показана на рис. 2.3. Она состоит из понижающего трансформатора 1, установленного на латунной пластине 2, и электрода-инструмента 5 («карандаша»). Трансформатор 1 соединен одним выводом с пластиной 2, а другим с ЭИ 5, который изолирован от рук пользователя изоляцией 4.

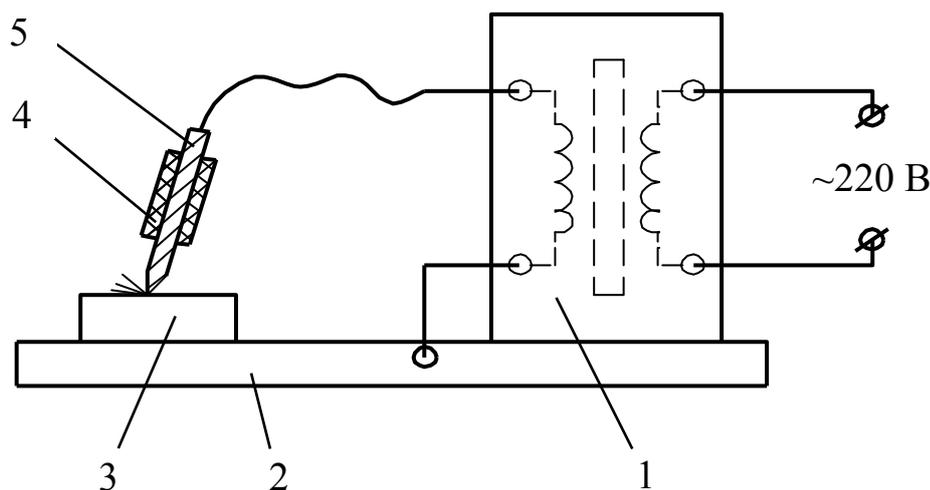
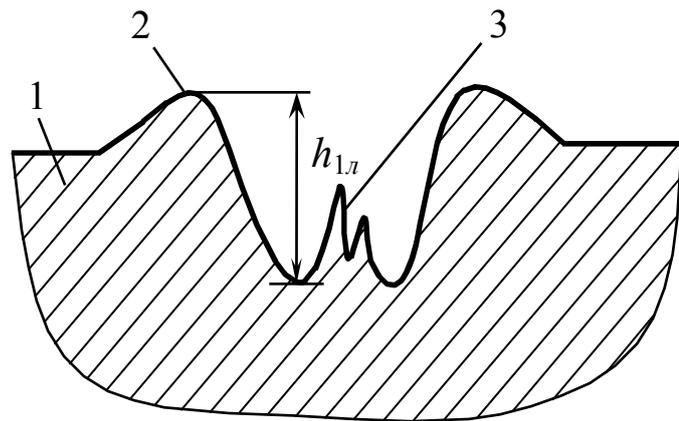


Рис. 2.3. Схема лабораторной установки для электроконтактного гравирования:

- 1 – понижающий трансформатор; 2 – латунная пластина; 3 – заготовка;
4 – изоляция; 5 – электрод-инструмент

Перед гравированием заготовку 3 устанавливают на пластине 2, соединяя ее, тем самым, с трансформатором 1. В процессе гравирования на трансформатор 1 подают напряжение и вводят ЭИ 5 в контакт с заготовкой 3. Электрическая цепь замыкается, возникает дуговой разряд, который нагревает и расплавляет металл заготовки, образуя единичную лунку глубиной $h_{1л}$ (рис. 2.4). Перемещая ЭИ по заготовке, наносят на ее поверхность требуемую маркировку.

Рис. 2.4. Вид единичной лунки в поперечном сечении: 1 – поверхность заготовки; 2 – навал; 3 – застывший выброс металла



Порядок выполнения работы

- Изучают конструкцию и порядок работы на устройстве для электроконтактного гравирования.
- Устанавливают заготовку на пластине устройства и производят гравирование согласно выданному преподавателем заданию, проведя не менее трех параллельных опытов.
- Записывают на профилографе-профилометре профилограмму единичной лунки на поверхности заготовки и определяют по ней $h_{1л}^э$, усреднив показания параллельных опытов.
- При выполнении задания № 1 рассчитывают по зависимости (2.9) глубину лунки $h_{1л}^э$.

– Определяют величину расхождения между расчетным и экспериментальным значением $h_{1л}$ и оценивают возможные причины его возникновения.

– При выполнении заданий № 2 – 4, используя определенные по профилограммам значения $h_{1л}^э$, находят из зависимости (2.10) поправочные коэффициенты K_H для различных материалов, рабочих сред и напряжения.

– Заносят экспериментальные и расчетные данные в таблицу, выполненную по форме приложения 2.

– Строят зависимость глубины лунки от изменяемого параметра. При выполнении заданий № 1 – 3 строят столбчатые диаграммы.

– Систематизируют полученные результаты. Выводы по работе заносят в отчет (см. приложение 2).

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе выполняют по форме приложения 2. В выводах по работе, выполненной по заданию № 1, сравнивают глубины лунок, найденные расчетным и экспериментальным путем, оценивают расхождение и анализируют его причины.

Выводы по заданиям № 2 – 4 должны содержать результаты анализа причин, повлиявших на величину коэффициента K_H в зависимости от условий электроконтактного гравирования.

Отчет сохраняют до заключительного занятия, на котором студенты, выполнявшие различные варианты заданий, обмениваются друг с другом полученной информацией для выявления взаимосвязей входных и выходных параметров исследуемой технологической операции.

Вопросы для самопроверки

1. На каком физическом принципе основана ЭКО?
2. Каковы источники теплообразования в межэлектродном промежутке?
3. От каких параметров ЭКО зависят длительность и частота импульсов?
4. В чем заключается саморегуляция процесса ЭКО?
5. Какой из электродов является анодом и катодом при реализации ЭКО на переменном токе?
6. Как влияет на процесс ЭКО рабочая среда?
7. Что используют в качестве рабочих сред на операциях ЭКО?
8. Как определить энергию, подводимую к заготовке за один импульс?
9. По какой формуле можно рассчитать глубину одиночной лунки?

Приложение 2

Вторая и последующая страницы отчета
по лабораторной работе № 2

Результаты экспериментов

№ опыта	Материал заготовки	Рабочая среда	$I_{\text{Э}}$, А	$U_{\text{Э}}$, В	$h_{1л}^p$, мкм	$h_{1л}^{\text{э}}$, мкм	$\frac{h_{1л}^p - h_{1л}^{\text{э}}}{h_{1л}^p}, \%$	K_H
1								
2								
...								
N								

График зависимости глубины лунки от изменяемого параметра

Выводы:

РАБОТА № 3. Исследование влияния элементов режима наплавки на ее производительность и толщину наплавленного слоя материала

Цель работы: выявление зависимостей выходных параметров наплавки от условий ее проведения.

Основные понятия и технологические показатели наплавки

Под наплавкой понимают нанесение посредством сварки плавлением слоя металла на поверхность детали.

Наплавка применяется для восстановления изношенных деталей (когда наплавляется слой из того же или аналогичного основному металлу материала), а также для изготовления новых деталей, имеющих рабочие поверхности с повышенными износостойкими, коррозионно-стойкими, антифрикционными и другими свойствами.

Сварка – это процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном нагреве или пластическом деформировании, или совместном действии того и другого [4].

При наплавке, реализуемой при помощи сварки плавлением, местный нагрев происходит электрической дугой прямого действия между основным материалом (основой) и плавящимся электродом.

В качестве плавящегося электрода используют сварочную проволоку, наплавочную проволоку, порошки и прутки для наплавки, порошковую проволоку и наплавочные ленты.

Наплавка осуществляется под слоем флюса, в среде защитных газов (углекислого или инертного), с наложением вибраций, с охлаждением рабочей зоны или основного материала заготовки, а также при различных комбинациях из вышеперечисленных условий [4].

Поступающая от источника нагрева (электрической дуги 1) теплота расходуется на нагрев и плавление основного материала 2 и сварочной (наплавочной) проволоки 3, реакции между расплавом металла и газообразной и шлаковой фазами (рис. 3.1). По мере продвижения дуги осуществляется непрерывное остывание жидкого металла, кристаллизация и формирование сварного шва в виде валика 4 на поверхности основы.

Распространение теплоты существенно зависит от формы и размеров наплавляемой детали, а также от количества энергии, вводимой сварочным источником, т. е. от расчетной схемы нагрева.

При наплавке за расчетную схему принимают полубесконечное тело. Этой схеме соответствует массивная деталь с одной ограничивающей плоскостью $z = 0$ (см. рис. 3.1). Остальные поверхности детали удалены и не влияют на распространение теплоты. Источник нагрева при этом представляют в виде быстродвижущегося точечного источника.

Эффективная тепловая мощность сварочного источника теплоты, т. е. количество теплоты q (Дж/с), вводимой при сварке (наплавке) источником в деталь в единицу времени, если известны параметры режима сварки, определяют по формуле

$$q = \eta \cdot I \cdot U, \quad (3.1)$$

где η – эффективный КПД процесса нагрева ($\eta = 0,7 \dots 0,95$); I – сила сварочного тока, А; U – напряжение на дуге, В.

Погонную энергию сварки q_n (Дж/мм), представляющую собой количество теплоты, вводимой на единицу длины шва, можно найти из выражения

$$q_n = q/V_c, \quad (3.2)$$

где V_c – скорость сварки, мм/с.

Если режим сварки неизвестен, но задано поперечное сечение наплавляемого за проход металла шва $F_{ш}$ (мм²), погонную энергию рассчитывают по уравнению

$$q_n = Q_v \cdot F_{ш}, \quad (3.3)$$

где Q_v – эмпирический коэффициент: $Q_v = 38 \dots 71$ Дж/мм².

Геометрические размеры наплавленного валика характеризуются следующими параметрами (см. рис. 3.1): B – ширина валика, мм; H – глубина проплавления, мм; h – величина усиления шва (толщина наплаваемого слоя); F_{np} – площадь проплавления, мм²; F_H – площадь наплавки, мм².

Форму зоны проплавления оценивают относительной глубиной проплавления H/B или коэффициентом формы провара $\psi_{np} = B/H$, а также коэффициентом полноты проплавления $\mu_{np} = F_{np} / H \cdot B$. Величина μ_{np} изменяется в пределах 0,6 ... 0,8. Максимальные значения относительной глубины проплавления H/B при дуговой сварке под флюсом достигают значений порядка 3.

Очертания зоны наплавки характеризуют коэффициентом формы валика $\psi_B = B/h$ и коэффициентом полноты валика $\mu_B = F_H / h \cdot B$.

Тепловую эффективность процесса проплавления оценивают термическим η_t или полным тепловым η_{np} КПД процесса проплавления основного металла:

$$\eta_t = \frac{V_c \cdot F_{np} \cdot \rho \cdot S_{nl}}{q} ; \quad (3.4)$$

$$\eta_{np} = \frac{V_c \cdot F_{np} \cdot \rho \cdot S_{nl}}{U \cdot I} , \quad (3.5)$$

где ρ – плотность основного металла, г/мм³ (для стали $\rho = 0,0078$ г/мм³); S_{nl} – теплосодержание единицы массы расплавленного металла, включающее скрытую теплоту плавления, Дж.

Тепловую эффективность процесса наплавления характеризуют полным тепловым КПД η_H процесса наплавки:

$$\eta_H = \frac{V_c \cdot F_H \cdot \rho \cdot S_{nl}}{U \cdot I} . \quad (3.6)$$

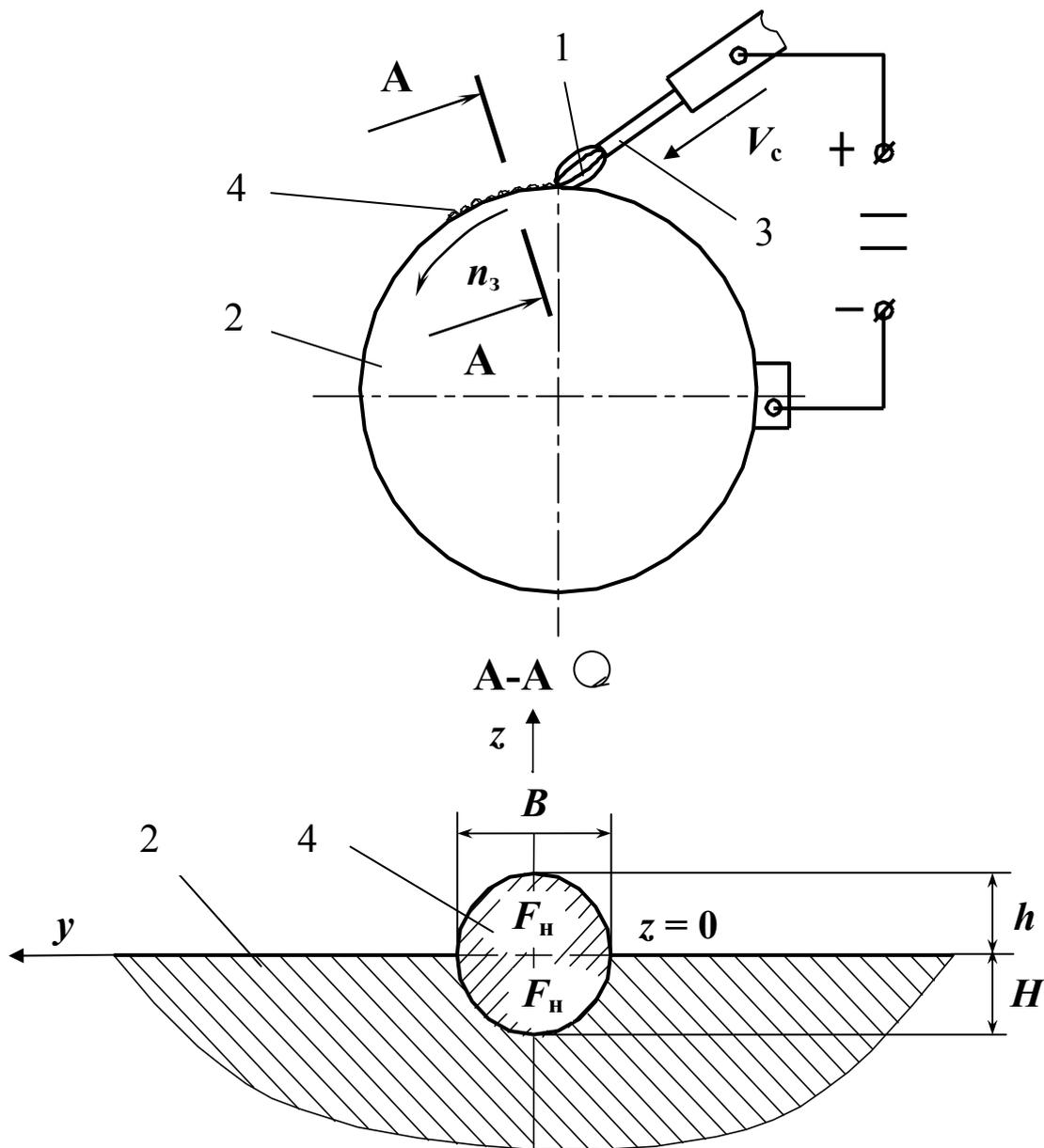


Рис. 3.1. Схема процесса наплавки:

1 – электрическая дуга; 2 – основной материал (заготовка);
3 – наплавочная проволока (электрод); 4 – наплавочный слой

Производительность процесса сварки Q_c оценивают суммой масс проплавленного в единицу времени основного металла Q_{np} и наплавленного металла Q_n :

$$Q_{np} = \rho \cdot V_c \cdot F_{np} ; \quad (3.7)$$

$$Q_n = \rho \cdot V_c \cdot F_n . \quad (3.8)$$

Производительность наплавки Q_n зависит от производительности расплавления электродной проволоки Q_p :

$$Q_n = Q_p (1 - K_n), \quad (3.9)$$

где K_n – коэффициент потери металла электрода и расплавленной зоны нагрева (при сварке открытой дугой $K_n = 0,05 \dots 0,2$; при сварке под флюсом $K_n = 0,01 - 0,02$).

Электрическая дуга прогревает металл наплавочной проволоки, предварительно подогретой током до температуры T_{max} , расплавляет и перегревает его до средней температуры T_k капель, отрывающихся от торца электрода и попадающих на поверхность детали.

Тогда производительность расплавления электрода Q_p (кг/с)

$$Q_p = \frac{\eta_n \cdot U \cdot I}{C(T_k - T_{max})}, \quad (3.10)$$

где C – удельная теплоемкость материала наплавочной проволоки (для стали $C = 0,481$ кДж/(кг · К)).

Температура капель T_k изменяется от 2830 до 3460 К.

Максимальную температуру предварительного подогрева электродной проволоки T_{max} можно определить по формуле

$$T_{max} = (T_0 + K_1) \cdot e^{\left(\frac{3600 \cdot \rho \cdot K_2}{\alpha_p \cdot K_1} j \cdot \ell_{np} \right)} - K_1. \quad (3.11)$$

где T_0 – начальная температура проволоки, °С; K_1, K_2 – эмпирические коэффициенты; для низкоуглеродистой проволоки при наплавке постоянным током $K_1 = 200$ °С, $K_2 = 0,24$ мм⁴ · °С/(А² · с); α_p – коэффициент расплавления; для различных марок проволоки $\alpha_p = 7 \dots 14$ г/(А · ч); j – плотность тока электрода, А/мм²:

$$j = \frac{4I}{\pi d_{np}^2};$$

d_{np} – диаметр электродной проволоки, мм; ℓ_{np} – вылет проволоки, мм.

Толщину наплавленного слоя h (см. рис. 3.1) можно определить, предварительно вычислив площадь наплавки F_H из уравнения (3.8):

$$F_H = \frac{Q_H}{\rho \cdot V_c} \quad (3.12)$$

Из работы [5] известно, что изотермическая поверхность кристаллизации сварного шва, полученная в результате воздействия на поверхность полубесконечного тела точечного источника теплоты, представляет собой эллипсоид вращения с двумя равными полуосями в поперечной плоскости шва. Следовательно, наплавочный валик в сечении есть круг площадью F :

$$F = 2F_H = \frac{\pi(2h)^2}{4} \quad (3.13)$$

Отсюда, с учетом зависимости (3.12), получим

$$h = \sqrt{\frac{2Q_H}{\pi \cdot \rho \cdot V_c}} \quad (3.14)$$

Содержание работы

Студент выполняет лабораторную работу согласно варианту задания, выданному преподавателем по табл. 3.1.

3.1. Варианты заданий

№ задания	I , А	V_c , м/мин	A , мм	ℓ_{np} , мм
1	200; 250; 300; 350	1,5	1,2	10
2	250	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5	1,2	10
3	250	1,5	0; 0,6; 1,2; 1,8; 2,4	10
4	250	1,5	1, 2	5; 10; 15; 20

При выполнении задания студент экспериментально исследует, как влияет на производительность наплавки $Q_H^э$ и толщину наплавленного слоя $h_э$ изменение одного из элементов режима наплавки (I , V_c , A или l_{np}) и сравнивает их с расчетными значениями Q_H^p и h_p .

Средства технологического оснащения

- Заготовки – валики, материал – сталь 45, НВ 180 ... 190.
- Проволока сварочная Св.15 ГСТЮЦА ГОСТ 2246, \varnothing 1,6 мм.
- Флюс АП-20П ГОСТ 9087.
- Штангенциркуль ШЦ-I ГОСТ 166, 0 – 125 мм.
- Микрометр МК 25-50 ГОСТ 6507.
- Головка наплавочная вибродуговая универсальная ОКС-6569М. Головка смонтирована на суппорте 1 токарно-винторезного станка мод. 1К62 (рис. 3.2).

Она состоит из привода перемещения наплавочной проволоки 7, мундштука 6 для ориентации конца проволоки по отношению к обрабатываемой заготовке 2, вибратора 9 для придания мундштуку 6 и проволоке 10 колебательного движения относительно заготовки, бункера 5 для хранения флюса 4, флюсопровода 3 для подачи флюса в зону наплавки и катушки 8 для размещения на ней бухты наплавочной проволоки.

Перед наплавкой заготовку 2 закрепляют в штатном патроне токарного станка (длинную заготовку дополнительно поджимают задним центром).

В процессе наплавки нагрев и плавление основного металла и электродной проволоки обеспечиваются за счет тепловой энергии дуги, возникающей между проволокой 10 и заготовкой 9, подсоединенными к полюсам источника питания.

По мере плавления электродной проволоки 10 привод перемещения 7 захватывает ее, разматывая бухту проволоки на катушке 8, и

подает в мундштук 6, который направляет проволоку в зону наплавки. Для повышения качества наплавки из бункера 5 по флюсопроводу 3 рабочая зона посыпается флюсом 4, а вибратором 9 создаются колебания мундштука 6.

Плавящаяся электродная проволока 10 создает на поверхности заготовки 2 наплавленный слой определенной толщины h .

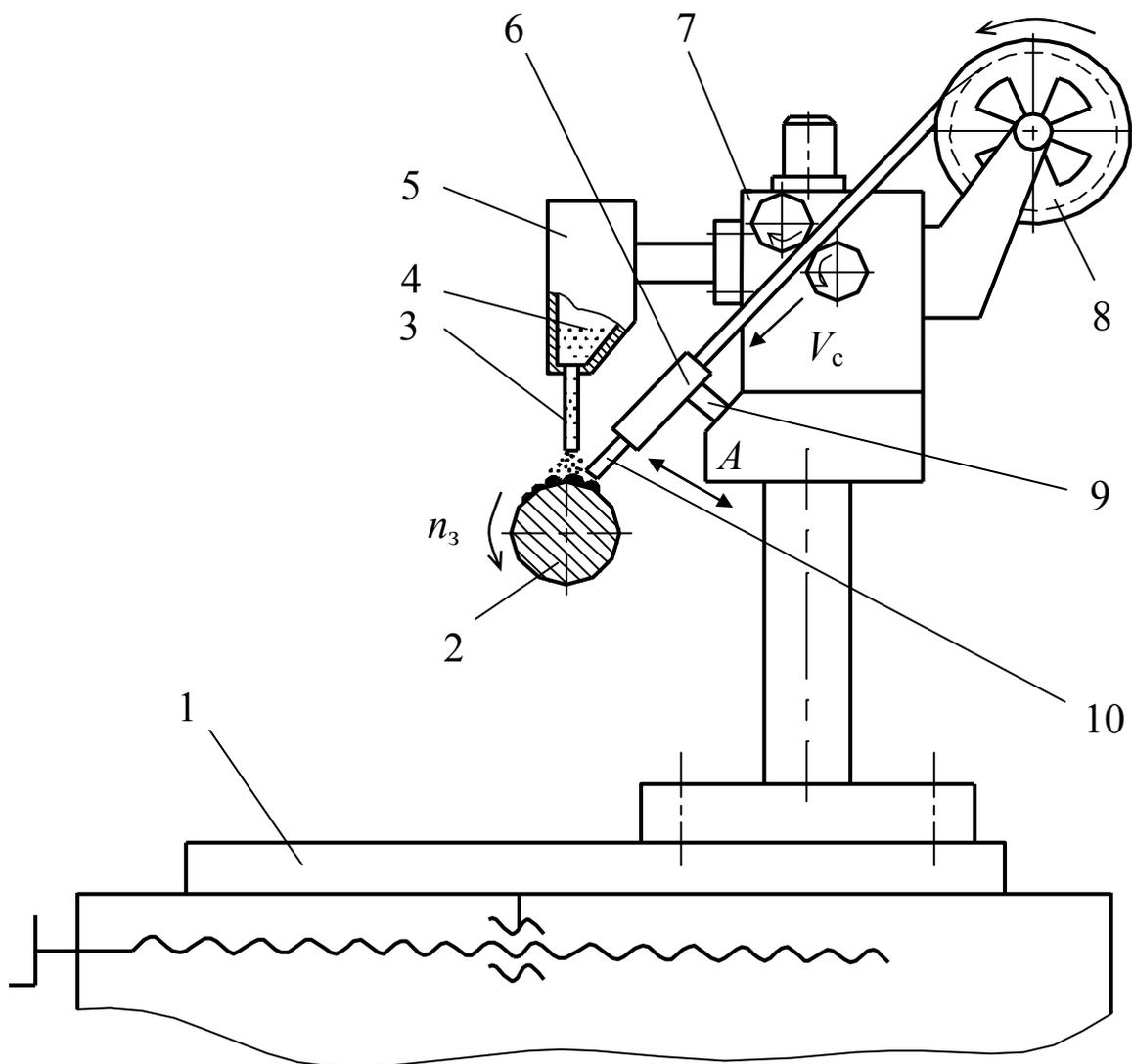


Рис. 3.2. Схема установки для наплавки: 1 – суппорт токарного станка 1К62; 2 – заготовка; 3 – флюсопровод; 4 – флюс; 5 – бункер; 6 – мундштук; 7 – привод перемещения проволоки; 8 – катушка; 9 – вибратор; 10 – проволока

Порядок выполнения работы

- Изучают конструкцию и порядок работы на установке для наплавки.
- Устанавливают заготовку на токарном станке, измеряют ее диаметр и производят наплавку согласно выданному преподавателем заданию, проведя не менее трех параллельных опытов.
- Измеряют диаметр наплавленной заготовки и вычисляют толщину наплавленного слоя $h_{\text{э}}$ как полуразность диаметров заготовки после и до наплавки, усреднив значения параллельных опытов.
- Определяют по формуле (3.8) фактическую производительность наплавки $Q_{\text{н}}^{\text{э}}$, подставив в нее $h_{\text{э}}$.
- Рассчитывают по зависимости (3.9) расчетную производительность наплавки $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ с учетом зависимостей (3.10) и (3.11).
- Находят расчетное значение толщины наплавленного слоя $h_{\text{р}}$ по формуле (3.14), подставив в нее $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$.
- Определяют величину расхождения между расчетными и экспериментальными значениями $Q_{\text{н}}$ и h и оценивают возможные причины его возникновения.
- Заносят полученные результаты в таблицу, выполненную по форме приложения 3.
- Строят зависимости $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$, $Q_{\text{н}}^{\text{э}}$ и $h_{\text{р}}$, $h_{\text{э}}$ от варьируемых в соответствии с заданием параметров наплавки.
- Систематизируют полученные результаты.
- Выводы по работе заносят в отчет (см. приложение 3).

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе выполняют по форме прил. 3.

В выводах по работе сравнивают значения производительности $Q_{\text{н}}$ и толщины наплавленного слоя h , найденные расчетным и экспе-

риментальным путями, оценивают расхождение и анализируют его причины, а также обсуждают полученные зависимости Q_H и h от элементов режима наплавки.

Отчет сохраняют до заключительного занятия, на котором студенты, выполнявшие различные варианты заданий, обмениваются друг с другом полученной информацией для выявления взаимосвязей входных и выходных параметров исследуемой технологической операции.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое наплавка?
2. Для каких целей применяют наплавку?
3. Какой процесс называется сваркой?
4. Что можно использовать в качестве плавящегося электрода?
5. В каких технологических условиях осуществляют наплавку?
6. Для каких целей расходуется теплота, поступающая от источника нагрева?
7. Что представляет собой расчетная схема при наплавке?
8. Как определить эффективную тепловую мощность сварочного источника?
9. Какими геометрическими параметрами характеризуют наплавленный валик?
10. Как оценивают форму зоны проплавления и зоны наплавки?
11. Как определить полный тепловой КПД процессов наплавки и проплавления?
12. По каким зависимостям рассчитывают производительность сварки?
13. Как определить максимальную температуру предварительного нагрева электродной проволоки?
14. Что представляет собой изотермическая поверхность кристаллизации сварного шва?
15. По какой зависимости рассчитывают толщину наплавленного слоя?

Вторая и последующая страницы отчета

Результаты экспериментов

№ опы- та	I, A	$V_c,$ м/мин	$A, мм$	$\ell_{np},$ мм	$Q_H^p,$ кг/с	$Q_H^э,$ кг/с	$h_p,$ мм	$h_э,$ мм
1								
2								
...								
N								

Графики зависимости производительности $Q_H^p, Q_H^э$ и толщины наплавленного слоя $h_p, h_э$ от варьируемых, в соответствии с заданием, параметров наплавки

Выводы:

РАБОТА № 4. Исследование влияния элементов режима наплавки на качество наплавленного слоя материала

Цель работы: получение практических навыков оценки влияния режима наплавки на качество наплавленного на поверхность заготовки слоя материала.

Определение размеров наплавленного слоя

В процессе наплавки электрическая дуга, перемещаясь по поверхности обрабатываемой заготовки, образует подвижную сварочную ванну (рис. 4.1), в передней части которой происходит плавление основного металла 1 и наплавочной проволоки 2, а в хвостовой части – кристаллизация металла [5]. По мере передвижения дуги и сопутствующей ей ванны осуществляется непрерывное формирование наплавочного валика 3.

Геометрические размеры сварочной ванны характеризуются следующими параметрами, мм (см. рис. 4.1): L – длина ванны; B – ширина ванны; H – глубина проплавления; h – толщина наплавленного слоя.

Рост кристаллитов в сварном шве происходит по нормали к фронту кристаллизации, т. е. к изотермической поверхности кристаллизации (ИПК) (рис. 4.2), соответствующей температуре плавления $T_{пл}$. Поскольку при наплавке сварочная ванна перемещается, то ось растущего кристаллита X_0 является ортогональной траекторией к семейству ИПК, смещенных по оси шва X .

Математическое описание ИПК основано на использовании теории тепловых процессов. Однако для инженерных расчетов ИПК аппроксимируют уравнением эллипсоида с полуосями L_k , P , H , которые соответствуют длине затвердевающей задней части сварочной ванны, половине ее ширины и глубине проплавления.

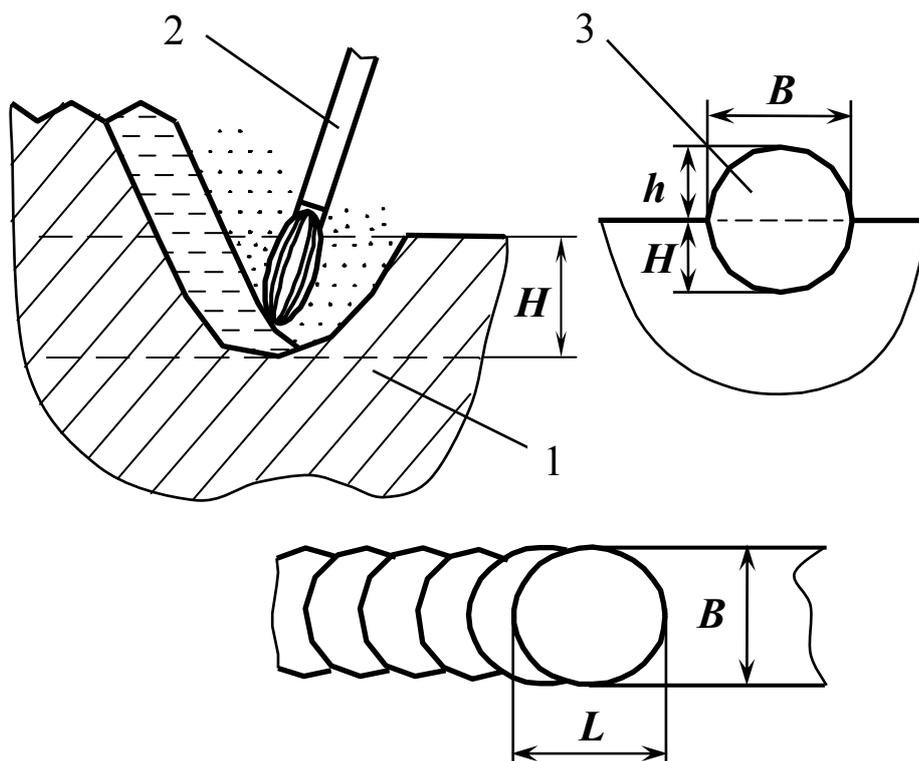


Рис. 4.1. Форма сварочной ванны и наплавленного слоя: 1 – материал заготовки; 2 – наплавочная проволока; 3 – наплавочный валик

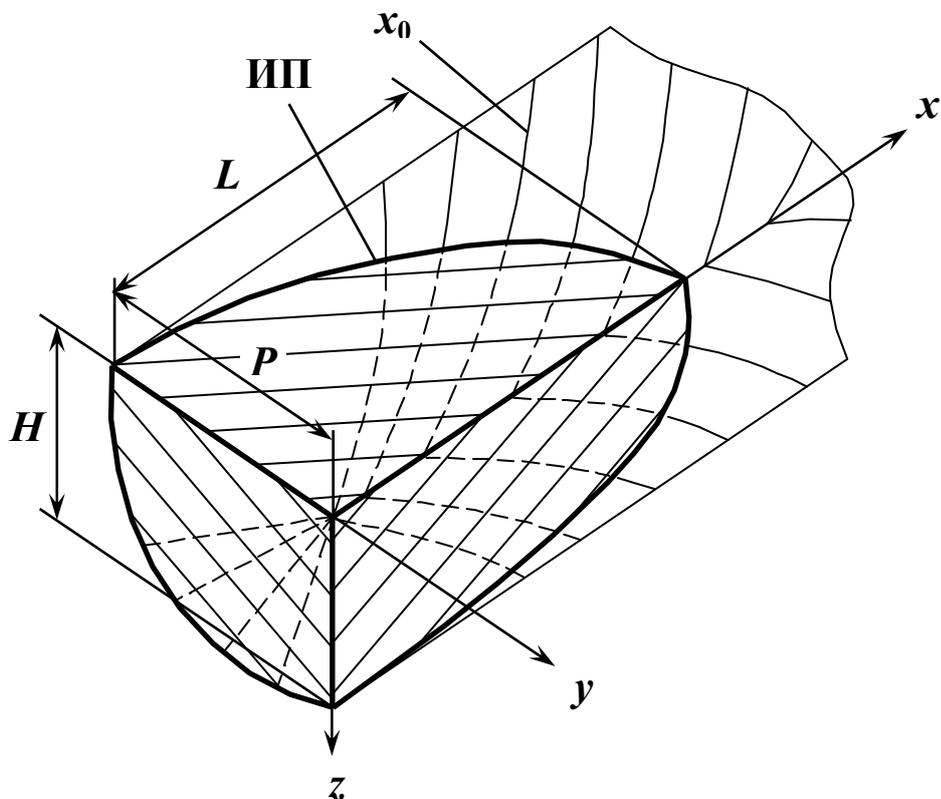


Рис. 4.2. Форма осей кристаллитов в сварочной ванне эллипсоидного типа ($P = H$):

ИПК – изотермическая поверхность кристаллизации; x_0 – ось кристаллита

Так как процесс наплавки представляется в виде расчетной схемы, содержащей быстро движущийся по поверхности полубесконечного тела точечный источник ($z = 0$), то ИПК описывают эллипсоидом с двумя равными полуосями ($P = H$). Поэтому поперечное сечение сварочной ванны является кругом, а оси кристаллитов – пространственными кривыми.

Тогда геометрические размеры сварочной ванны можно определить следующим образом:

$$L = 2L_{\kappa} = -\frac{q}{\pi \cdot \lambda \cdot T_{пл}} \left(\frac{e-1}{e} \right), \quad (4.1)$$

где q – эффективная тепловая мощность сварочного источника, Дж/с:

$$q = \eta \cdot I \cdot U, \quad (4.2)$$

где η – эффективный КПД нагрева ($\eta = 0,7 \dots 0,95$); I – сила сварочного тока, А; U – напряжение на дуге, В; λ – коэффициент теплопроводности (для стали $\lambda = 47$ Вт/(м · К)); $T_{пл} = 1500$ °С – температура плавления стали.

$$H = h = \frac{B}{2} = \sqrt{\frac{2q}{\pi \cdot e \cdot C \cdot \rho \cdot V_c \cdot T_{пл}}}, \quad (4.3)$$

где C – удельная теплоемкость, кДж/(кг · К) (для стали $C = 0,481$ кДж/(кг · К)); $\rho = 7,8$ кг/дм³ – плотность стали; V_c – скорость сварки, м/с.

Расчет погрешности наплавки

Колебания толщины наплавляемого слоя материала, возникающие из-за нестабильности процесса наплавки и неправильной подготовки к ней заготовки, сказываются на работоспособности деталей, вызывают перерасход наплавочных материалов и т. д.

Согласно работе [5], закон изменения толщины наплавляемого слоя от угла поворота α цилиндрической заготовки $h(\alpha)$ определяется выражением

$$h(\alpha) = h_0 + \omega_y(1 - \cos \alpha) + \sqrt{\frac{D^2}{4} - \omega_y \cdot \sin^2 \alpha} - \frac{D}{2}, \quad (4.4)$$

где h_0 – толщина наплавленного слоя при $\alpha = 0$ (определяется по формуле (4.3)), мм; ω_y – погрешность установки заготовки в центрах, мм; D – диаметр наплавленной заготовки, мм (рис. 4.3).

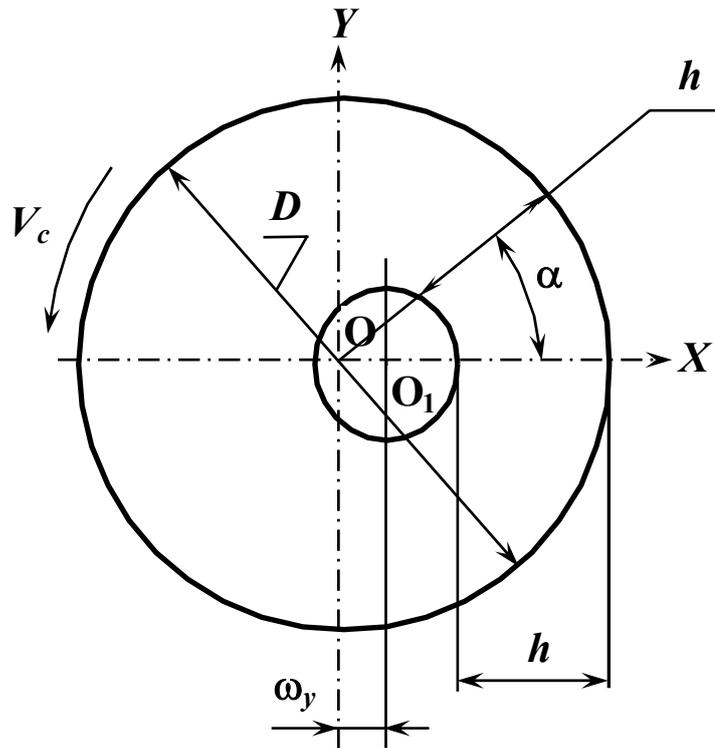


Рис. 4.3. Схема изменения высоты наплавленного слоя h от угла поворота заготовки α

С учетом погрешности по длине наплаваемого участка зависимость (4.4) примет следующий вид

$$h(\alpha, \theta) = h(\alpha) + L_H \cdot \operatorname{tg} \theta, \quad (4.5)$$

где L_H – длина наплавки, мм; θ – угол между осями направляющих наплавочного автомата и осью центров, град.

Тогда погрешность наплавки ω_H будет равна

$$\omega_H = h(\alpha, \theta) - h_0. \quad (4.6)$$

С увеличением количества наплаваемых слоев погрешность наплавки уменьшается.

Определение параметров термического цикла сварки

Термический цикл сварки характеризуется следующими показателями [5]: максимальная температура T_M , скорость охлаждения V_0 и длительность t_n пребывания металла выше заданной температуры T (рис. 4.4).

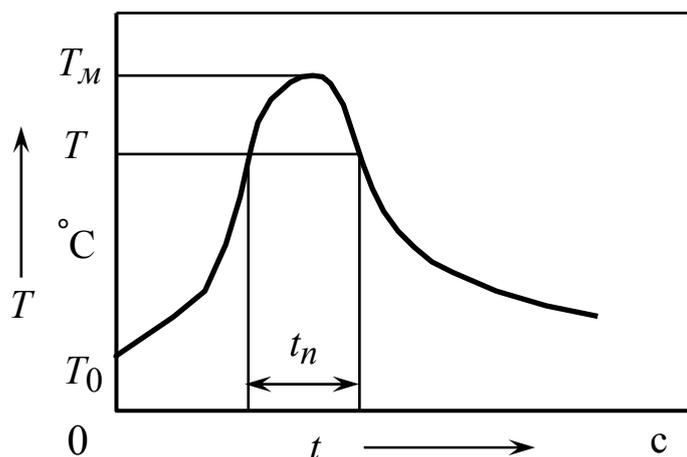


Рис. 4.4. Типовой термический цикл сварки

Для процесса наплавки:

$$T_M - T_0 = \frac{2q}{\pi \cdot e \cdot V_c \cdot C \cdot \rho \cdot r_0^2}, \quad (4.7)$$

где T_0 – начальная температура заготовки перед наплавкой, °C; r_0 – радиус-вектор точечного источника нагрева, на котором измеряется температура шва, мм.

$$V_0 = -2\pi\lambda(T - T_0) \cdot V_c \cdot q^{-1}. \quad (4.8)$$

$$t_n = \frac{2K_n q}{V_c \lambda (T_M - T_n)}, \quad (4.9)$$

где K_n – коэффициент, определяемый по номограммам (рис. 4.5, а, б).

Максимальную температуру нагрева T_M обычно принимают близкой к температуре солидуса материала заготовки (для сталей $T_M = 1325$ °C), а заданную температуру T выбирают из диапазона 500 – 600 °C.

При превышении в процессе наплавки температуры T_M может произойти рост зерен аустенита, что при фазовых превращениях увеличит окончательный размер перлитных зерен, следствием которого будет ухудшение механических свойств структуры металла.

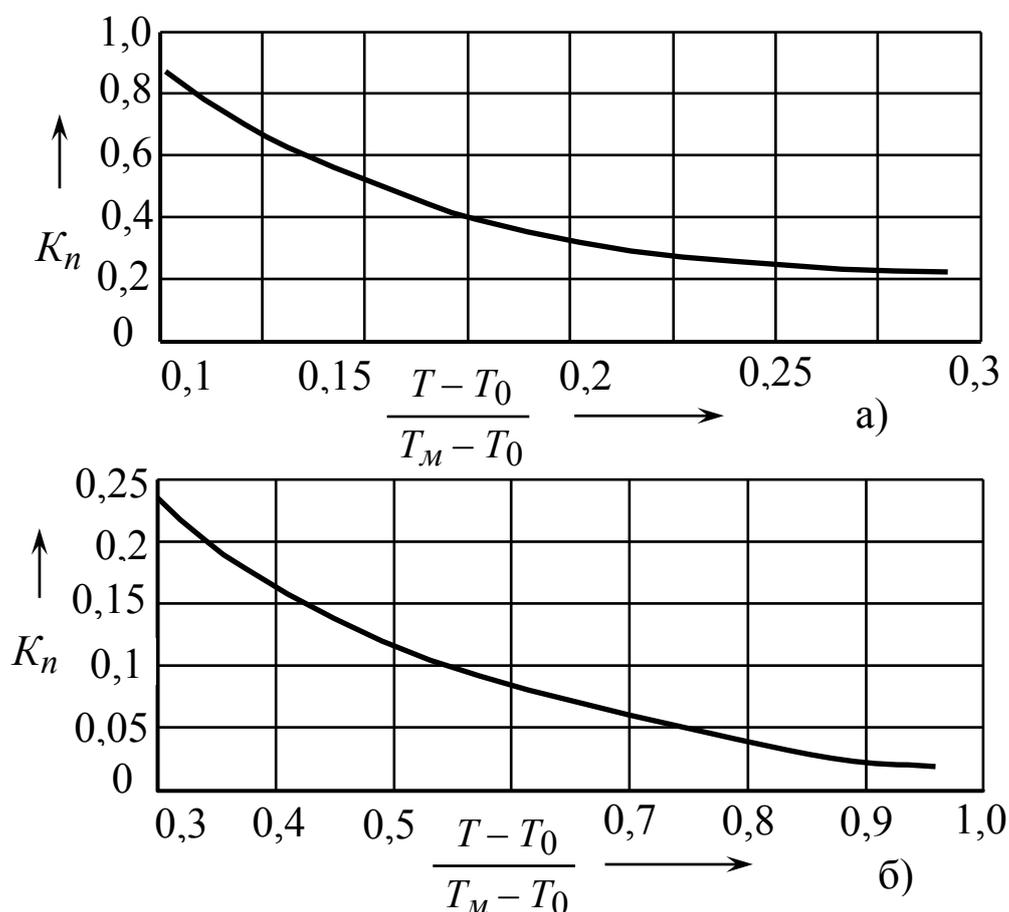


Рис. 4.5. Номограммы для определения коэффициента K_n в формуле (4.9):

а – $K_n > 0,2$; б – $K_n < 0,2$

Повышение же скорости охлаждения выше V_0 (для низкоуглеродистых сталей $V_0^{don} = 10$ °C/c) приведет к повышению твердости наплавленного слоя вследствие закалки, а значит, к уменьшению его пластических свойств, снижению несущей способности соединения при ударной нагрузке, при наличии концентраторов напряжения и при низких температурах эксплуатации.

Дефекты наплавленного слоя

Наиболее распространенным дефектом всех разновидностей наплавов, существенно снижающим эксплуатационные характеристики наплавленного слоя, являются трещины, возникающие в наплавленном или основном материале. Часто трещины возникают при наплавке на основной материал с неудовлетворительной свариваемостью или при очень высокой твердости наплавленного слоя, что связано с малой пластичностью металла в температурном интервале хрупкости (горячие трещины), с чрезмерно большими напряжениями в основном металле и в наплавке, вызванными фазовыми превращениями при остывании (холодные трещины).

Вероятность возникновения трещин при наплавке определяется химическим составом основного и наплавочного материала, жесткостью наплавливаемой конструкции, режимом наплавки и тесно связана с формированием первичной структуры и скоростью охлаждения. Кроме того, следует иметь в виду, что различные коэффициенты термического расширения основного металла и наплавливаемого слоя существенно повышают вероятность появления дефектов.

Для определения склонности металла к появлению горячих трещин при наплавке используют специальные методики [5].

Для расчета склонности к образованию холодных трещин применяют углеродный эквивалент C_9 :

$$C_9 = C + 1/6 \text{ Mn} + 1/24 \text{ Si} + 1/40 \text{ Ni} + 1/5 \text{ Cr} + 1/4 \text{ Mo} + 1/14 \text{ Nb}, \quad (4.10)$$

где C, Mn, Si, Ni, Cr, Mo, Nb – содержание химических элементов в %.

Если $C_9 \geq 0,45 \%$, становится возможным образование при наплавке закалочных структур, что при условии насыщения металла водородом и высоких сварочных напряжений может привести к образованию холодных трещин.

Зная C_9 , можно определить максимальную твердость наплавленного слоя HV :

$$HV = (660 C_9 + 40) \pm 40. \quad (4.11)$$

Используя HV , находят требуемую температуру подогрева металла T_0 (табл. 4.1).

4.1. Требуемая температура подогрева металла

HV	< 200	200 – 250	250 – 325	> 325
$T_0, ^\circ\text{C}$	Без подогрева	По необходимости	150 - 250	250

В наплавленном слое нередко появляются поры, вызванные загрязнением наплавочных материалов, их влажностью, применением чрезмерно больших токов, длины дуги или нарушением защиты. Дефекты типа подрезов, шлаковых включений, излишней деформации изделия, несплавлений вызываются в основном неправильно назначенным режимом наплавки или его несоблюдением.

Содержание работы

Студент выполняет лабораторную работу согласно варианту задания, выданному преподавателем по табл. 4.2.

4.2. Варианты заданий

№ задания	I, A	$V_c, \text{м/мин}$
1	200; 250; 300; 350	1,5
2	250	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5

При выполнении задания студент экспериментально исследует, как влияет на параметры сварочной ванны и наплавленного слоя L, B, h (α, θ), h_0 изменение одного из элементов режима наплавки (I или V_c), и сравнивает их с расчетными значениями.

Средства технологического оснащения

- Токарно-винторезный станок мод. 1К62.
- Головка наплавочная вибродуговая ОКС-6569М.
- Штангенциркуль ШЦ-1 ГОСТ 166, 0 – 125 мм.
- Микрометр МК-25-50 ГОСТ 6507.
- Заготовки – валики, материал сталь 45, НВ 180 ... 190.
- Проволока сварочная Св.15 ГСТЮЦА 2246, \varnothing 1,6 мм.
- Флюс АН-20П ГОСТ 9087.

Порядок выполнения работы

– Изучают конструкцию и порядок работы на наплавочной установке (см. работу № 3).

– В соответствии с выданным преподавателем заданием, по зависимостям (4.7) – (4.9) определяют параметры термического цикла сварки T_m , V_0 и t_n . Необходимость подогрева заготовки выясняют, используя табл. 4.1 и результаты расчета C_9 по зависимостям (4.10) и (4.11). При завышенной скорости охлаждения V_0 корректируют режимы наплавки.

– По зависимостям (4.1), (4.3) – (4.6) рассчитывают геометрические размеры сварочной ванны и наплавленного слоя L , B , H , h_0 , h (α , θ).

– Определяют по зависимости (4.6) погрешность наплавки ω_H^P .

– Обрабатывают заготовку согласно откорректированным режимам наплавки, проведя не менее трех параллельных опытов.

- Определяют экспериментальную погрешность наплавки $\omega_H^{\text{э}}$ как максимальное радиальное биение наплавленного слоя, усреднив значения параллельных опытов.
- Определяют $h^{\text{э}}(\alpha, \theta)$ как полуразность диаметров валика после и до наплавки, усреднив значения параллельных опытов.
- Заносят полученные результаты в таблицу, выполненную по форме приложения 4.
- Строят зависимости $h^{\text{э}}(\alpha, \theta) = f(I \text{ или } V_c)$ и $h^{\text{р}}(\alpha, \theta) = f(I \text{ или } V_c)$.
- Рассчитывают сходимость расчетных и практических значений толщин наплавленного слоя.
- Систематизируют полученные результаты. Выводы по работе заносят в отчет (см. приложение 4).

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе выполняют по форме приложения 4.

В выводах по работе сравнивают значения толщины наплавленного слоя h и погрешности наплавки ω_H , найденные расчетным и экспериментальным путем, оценивают расхождение и анализируют его причины, а также обсуждают полученные зависимости $h^{\text{э}}(\alpha, \theta)$ и $h^{\text{р}}(\alpha, \theta)$ от элементов режима наплавки.

Отчет сохраняют до заключительного занятия, на котором студенты, выполнявшие различные варианты заданий, обмениваются друг с другом полученной информацией для выявления взаимосвязей входных и выходных параметров исследуемой технологической операции.

Вопросы для самопроверки

1. Как образуется сварочная ванна?
2. Какими параметрами характеризуют геометрические размеры сварочной ванны?
3. Что такое изотермическая поверхность кристаллизации?
4. Какой геометрической фигурой описывают изотермическую поверхность кристаллизации?
5. По каким зависимостям можно определить размеры сварочной ванны?
6. По каким причинам возникают колебания толщины наплавляемого слоя материала?
7. По какой зависимости рассчитывают изменение толщины наплавляемого слоя материала?
8. Какими показателями характеризуют термический цикл сварки?
9. Как определить скорость охлаждения металла при наплавке?
10. Как выбирают максимальную температуру нагрева металла при наплавке?
11. Какие структурные изменения могут произойти в металле при превышении максимальной температуры его нагрева?
12. К каким негативным последствиям может привести ускоренное охлаждение металла после наплавки?
13. Какие дефекты могут образовываться в наплавленном слое металла?

Приложение 4

Вторая и последующая страницы отчета
по лабораторной работе № 4

Результаты экспериментов

№ опы- та	I, A	U, B	$V_c, м/мин$	$h^э, мм$	$h^p, мм$	$\omega_H^p, мм$	$\omega_H^э, мм$
1							
2							
...							
N							

Графики $h^э(\alpha, \theta) = f(I \text{ или } V_c)$ и $h^p(\alpha, \theta) = f(I \text{ или } V_c)$

Выводы:

РАБОТА № 5. Исследование влияния условий выполнения магнитно-абразивной обработки на шероховатость поверхности обработанных заготовок

Цель работы: исследование зависимости шероховатости поверхностей заготовок от условий выполнения магнитно-абразивной обработки.

Основные понятия и технологические возможности магнитно-абразивной обработки

Магнитно-абразивная обработка (МАО) осуществляется при движении заготовки и абразивных зерен относительно друг друга в магнитном поле.

Сущность МАО состоит в удалении припуска преимущественно абразивным способом с созданием магнитного поля непосредственно в зоне резания [2, 6].

В зависимости от схемы МАО роль магнитного поля заключается в формировании из магнитно-абразивного порошка абразивного инструмента (АИ) и удержании этого порошка в зоне резания, в создании сил резания и в придании АИ или заготовке рабочих движений.

В качестве АИ используют магнитно-абразивные порошки, магнитно-реологические жидкости с абразивным наполнителем, шлифовальные круги, абразивные бруски, шлифовальные шкурки. На практике получила распространение МАО с применением порошка, размещенного на активной поверхности магнитного индуктора (МИ), в рабочем зазоре или рабочей зоне (рис. 5.1, а, б, в соответственно).

Сформированный из магнитно-абразивного порошка инструмент позволяет производить обработку поверхностей сложной формы без фасонных полюсов МИ при простой кинематике процесса.

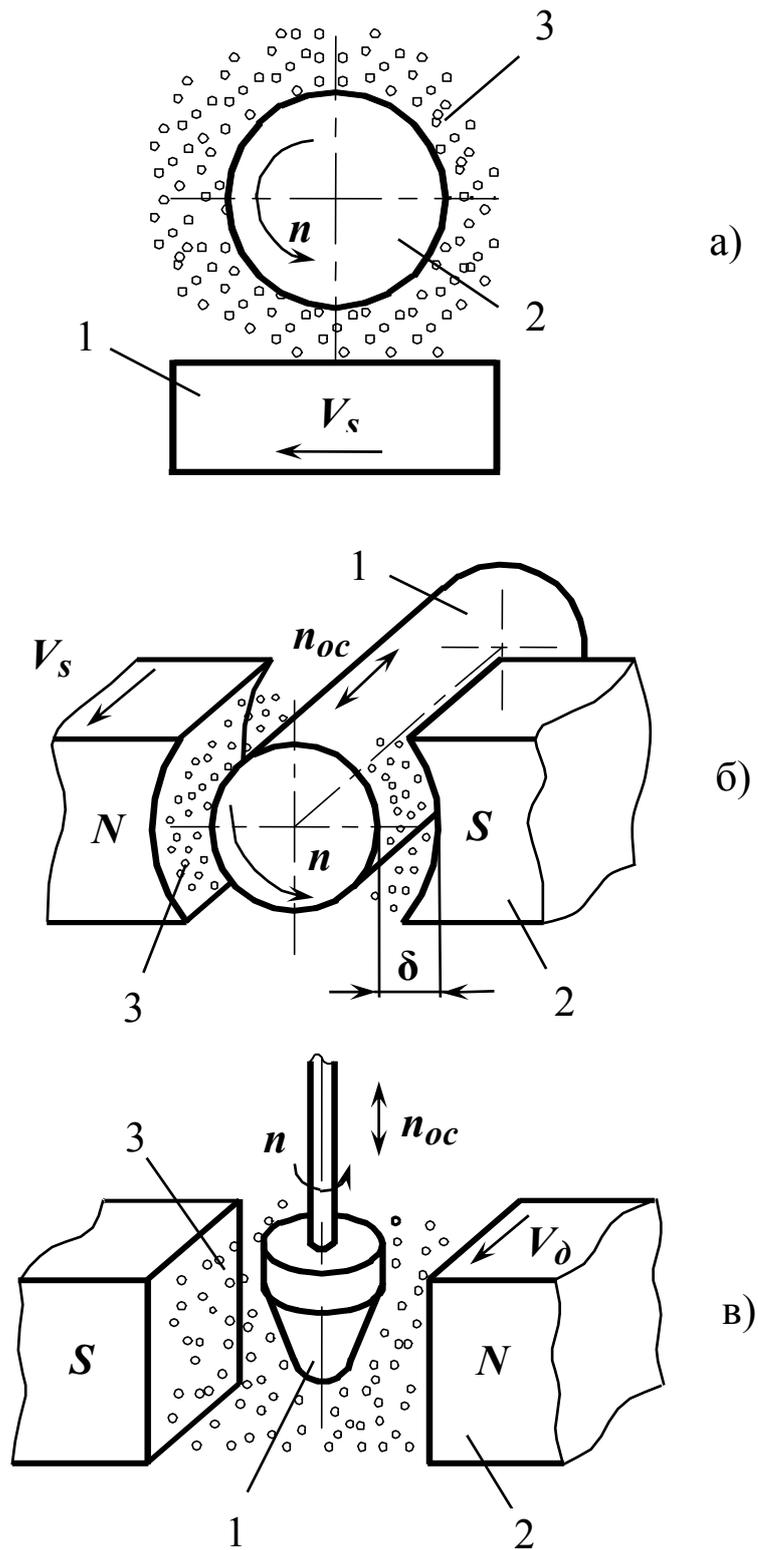


Рис. 5.1. Схемы МАО с размещением магнитно-абразивного порошка на активной поверхности МИ (а), в рабочих зазорах δ (б), в рабочей зоне (в):
 1 – заготовка; 2 – магнитный индуктор; 3 – магнитно-абразивный порошок

Заготовке, МИ или порошку сообщают следующие рабочие движения: главное движение n (об/мин), определяющее скорость резания V_p (м/мин); движение со скоростью подачи V_s (м/мин), которое используется для распространения обработки на всю поверхность заготовки или для обеспечения равномерного съема материала на всех ее участках; движение осцилляции n_{oc} (ход/мин), позволяющее получить пересекающиеся траектории зерен порошка на обрабатываемой поверхности и способствующее их самозатачиваемости в рабочем зазоре; дополнительное движение со скоростью V_d (м/мин), сообщаемое заготовке в рабочей зоне (или рабочей зоне относительно заготовки) и позволяющее повысить давление порошка на обрабатываемую поверхность.

Независимо от характера магнитного поля, созданного МИ в рабочей зоне, это поле по отношению к каждому элементу объема движущейся заготовки носит переменный характер. Воздействие переменного магнитного поля на заготовки из закаленной стали придает обработанным поверхностям повышенные эксплуатационные свойства: износостойкость, коррозионную стойкость, контактную долговечность.

Основная зависимость процесса МАО (рис. 5.2, кривая 1) имеет вид

$$q = q_1 \cdot \tau^m, \quad (5.1)$$

где q – удельный съем материала, мг/см²; q_1 – удельный съем за первую минуту (начальная производительность), мг/(см² · мин); τ – длительность обработки, мин; m – показатель степени, характеризующий затухание процесса ($m < 1$).

Причинами затухания МАО являются снижение режущих свойств порции порошка, частичное выбрасывание зерен порошка из рабочего зазора, изменение свойств поверхности заготовки по мере удаления исходного дефектного слоя.

Зависимость высоты неровностей обработанной поверхности от длительности МАО характеризуется двумя этапами. На этапе 1 (см. кривую 2 на рис. 5.2) высота неровностей определяется высотой не-

удаленных следов исходной шероховатости, а в конце этапа достигается шероховатость, обеспечиваемая МАО. На этапе 2 высота неровностей замедленно снижается или увеличивается. Уменьшение высоты микронеровностей (Ra) происходит при условии хороших моющих свойств СОЖ и объясняется постепенным затуплением, измельчением и уменьшением числа «работающих» зерен.

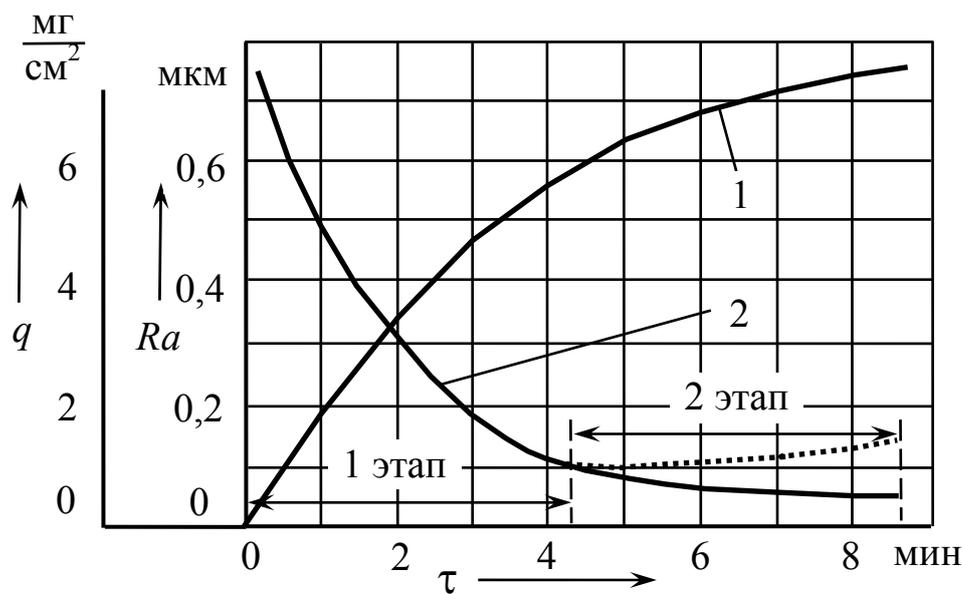


Рис. 5.2. Зависимости удельного съема q (1) и параметра шероховатости Ra (2) от длительности обработки τ

Если же СОЖ имеет плохие моющие свойства, то ухудшается подвижность зерен, на обрабатываемой поверхности адсорбируются продукты обработки и увеличивается вероятность появления задиров на поверхности заготовки, что приводит к росту высоты микронеровностей.

Увеличение скорости главного движения V_p сопровождается нелинейным возрастанием начальной производительности q_1 и снижением показателя степени m (рис. 5.3).

Движение осцилляции n_{oc} позволяет повысить q_1 в 1,5 – 5 раз, улучшить качество обработанной поверхности и повысить стойкость порции порошка.

Увеличение значения V_{∂} сопровождается ростом сил резания, увеличением объема порошка, проходящего через рабочий зазор, что приводит к увеличению съема.

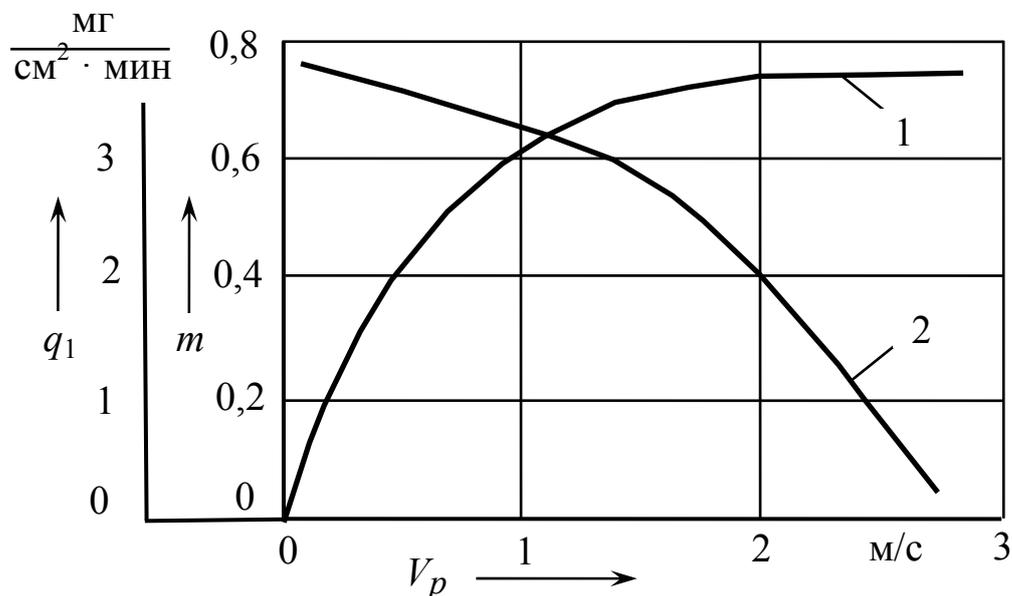


Рис. 5.3. Влияние скорости главного движения V_p на начальную производительность q_1 (1) и показатель степени m (2)

Увеличение рабочего зазора δ (см. рис. 5.1., б) приводит к увеличению необходимой магнитно-движущей силы и эластичности АИ из порошка, ухудшению условий удержания порошка в рабочем зазоре (рабочей зоне).

Уменьшение значений δ влечет за собой уменьшение объема и стойкости разовой порции порошка, затруднения при заполнении рабочего зазора, уменьшение подвижности зерен порошка и ухудшение условий самозатачиваемости. Поэтому зависимость $q_1 = f(\delta)$ носит экстремальный характер со своими оптимальными значениями δ для разных видов МАО.

На производительность и качество МАО также влияют форма рабочего зазора или рабочей зоны, наличие на полюсе индуктора или на заготовке концентраторов магнитного потока в виде ребер, пазов, отверстий; вид порошка, размеры и геометрические параметры его зерен, химический состав СОЖ.

Для большинства операций МАО при исходном значении $Ra = 0,3 \dots 0,6$ мкм в результате обработки достигается $Ra = 0,02 \dots 0,08$ мкм. Получение еще меньших значений Ra требует обработки за несколько переходов с изменением режима, вида и зернистости порошка. Обработанные поверхности не шаржируются зернами абразива.

В результате механических и магнитных воздействий поверхностный слой заготовки после МАО отличается от исходного измененной структурой, фазовым и химическим составом, кристаллическим строением. Эти изменения благоприятно отражаются на эксплуатационных свойствах деталей, прошедших МАО: повышается твердость их поверхностей, в тонком (до 5 мкм) поверхностном слое формируются остаточные напряжения сжатия. Эти поверхности отличаются повышенными износостойкостью, коррозионной стойкостью, контактной долговечностью, а деталь и ее материал – повышенными циклической долговечностью и ударной вязкостью.

МАО осуществляется нежестким АИ, удаляемые припуски меньше или соизмеримы с допуском на размер обрабатываемой поверхности. Поэтому точность размеров и заданная форма обрабатываемой поверхности должны быть обеспечены на предыдущей операции.

Во многих случаях для МАО нет необходимости оставлять специальные припуски.

Содержание работы

Студент выполняет лабораторную работу согласно варианту задания, выданному преподавателем по таблице 5.1.

При выполнении задания студент экспериментально исследует, как влияет на высоту микронеровностей поверхности заготовки (параметр Ra) изменение одного из условий МАО: материала заготовки, зернистости абразивного порошка N , частоты вращения индуктора n , скорости подачи V_s , величины рабочего зазора δ или времени обработки τ .

5.1. Варианты заданий

№ задания	Материал заготовки	Марка абразивного порошка	Частота вращения индуктора n , об/мин	Скорость подачи V_s , мм/мин	Рабочий зазор δ , мм	Время обработки τ , мин	Зернистость абразива N , мкм
1	Сталь 45, титан ОТ 4-1, алюминий АЛ6	Электрокорунд белый 24А	560	100	0,4	5	80
2	сталь 45	То же	200; 400; 560; 800	100	0,4	5	80
3	То же	-“-	560	50; 100; 140; 200	0,4	5	80
4	-“-	-“-	560	100	0,2; 0,4; 0,8; 1,0	5	80
5	-“-	-“-	560	100	0,4	5; 10; 15; 20	80
6	-“-	-“-	560	100	0,4	5	40; 80; 120; 160

Средства технологического оснащения

- Заготовки – пластины $10 \times 20 \times 100$ мм, материалы – сталь 45, титановый сплав ОТ 4-1, алюминий АЛ6.
- Абразивный порошок – электрокорунд белый 24А.
- СОЖ – магнитно-реологическая жидкость.
- Секундомер.
- Профилометр-профилограф мод. 252.
- Станок – вертикально-фрезерный мод. 6Р10.
- Магнитный индуктор.

Магнитный индуктор, используемый в наладке на вертикально-фрезерном станке мод. 6Р10, показан на рис. 5.4. Он представляет собой магнитопроводный корпус 1, в расточке которого размещена обмотка 2. Для питания обмотки в верхней части корпуса установлены

токоподводящие кольца 5. Снизу обмотка закрыта крышками 3 и 4 из немагнитного материала. В отверстии шпинделя индуктор крепится с помощью немагнитной конической оправки 6.

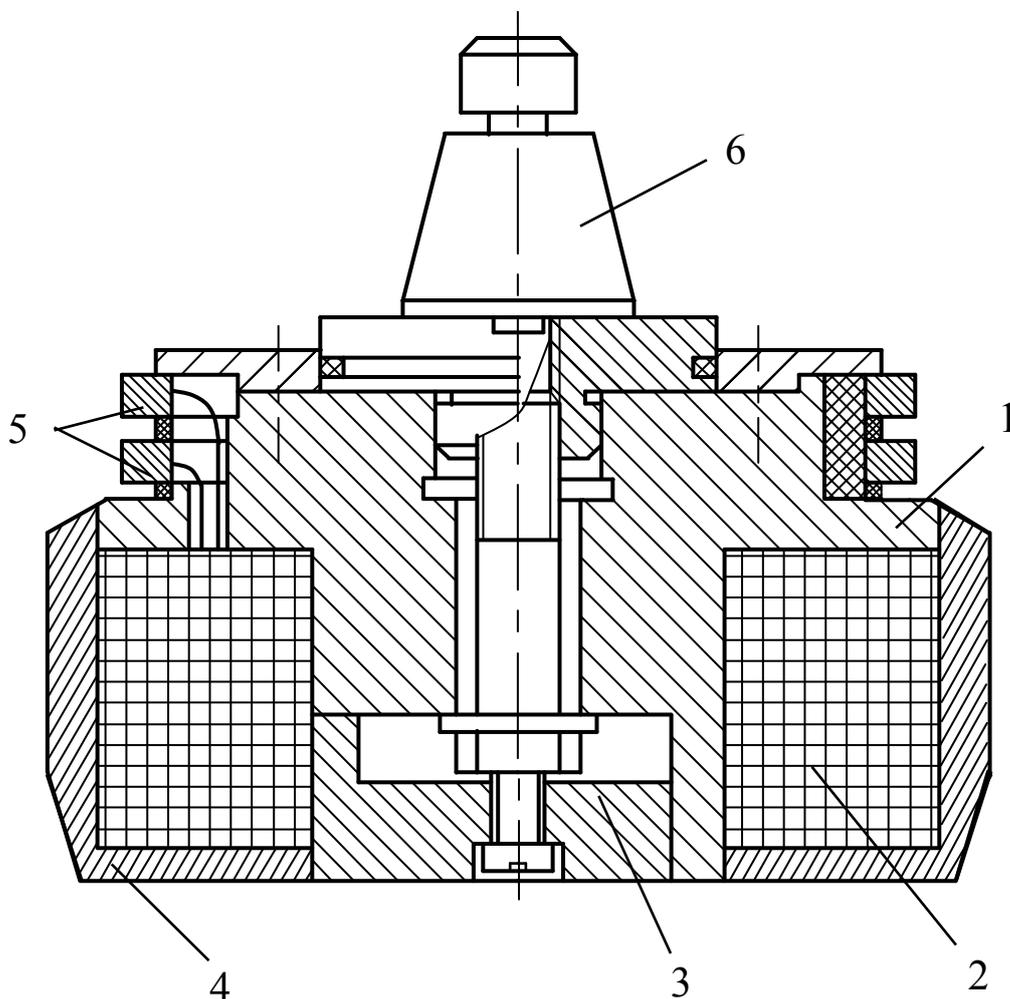


Рис. 5.4. Схема магнитного индуктора: 1 – корпус; 2 – обмотка; 3, 4 – немагнитные крышки; 5 – токоподводящие кольца; 6 – оправка

При подаче напряжения на токоподводящие кольца 5 обмотка 2 создает магнитный поток, а кольцевые торцы корпуса становятся разноименными магнитными полюсами, отделенными друг от друга немагнитными крышками 3 и 4.

В процессе МАО на полюсах формируется АИ, состоящий из абразивного порошка, взвешенного в магнитной жидкости и удерживаемого от выбрасывания центробежными силами магнитным потоком. АИ воздействует на поверхность заготовки, уменьшая высоту

микронеровностей и повышая эксплуатационные характеристики поверхностного слоя детали.

Порядок выполнения работы

- Изучают конструкцию и порядок работы на установке для магнитно-абразивной обработки.
- Закрепляют заготовку на столе станка.
- Выставляют рабочий зазор между активной поверхностью индуктора и заготовкой.
- В соответствии с заданием преподавателя, готовят магнитно-абразивную суспензию и наносят ее на поверхность заготовки.
- Включают вращение магнитного индуктора, источник его питания, подачу стола, секундомер и осуществляют обработку заготовки, проведя не менее трех параллельных опытов.
- После окончания МАО выключают станок и секундомер, обесточивают индуктор и очищают заготовку от остатков суспензии.
- Измеряют шероховатость обработанной поверхности заготовки по параметру Ra и, усреднив значения параллельных опытов, заносят в таблицу, выполненную по форме приложения 5.
- Строят зависимость Ra от изменяемого в соответствии с заданием параметра МАО. При выполнении заданий № 1 и 2 строят столбчатые диаграммы.
- Систематизируют полученные результаты. Выводы по работе заносят в отчет (см. приложение 5).

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе выполняют по форме приложения 5.

В выводах необходимо проанализировать результаты экспериментов и указать причины, повлиявшие на характер полученной зависимости.

Отчет сохраняют до заключительного занятия, на котором студенты, выполнявшие различные варианты заданий, обмениваются друг с другом полученной информацией для выявления взаимосвязей входных и выходных параметров исследуемой технологической операции.

Вопросы для самопроверки

1. Что называется магнитно-абразивной обработкой?
2. В чем заключается сущность процесса МАО?
3. Какую роль играет магнитное поле при реализации различных схем МАО?
4. Что используют в качестве абразивного инструмента в процессе МАО?
5. Какие поверхности можно обрабатывать на операции МАО?
6. Какие рабочие движения необходимы для реализации МАО?
7. Какую роль в процессе МАО играет движение подачи?
8. Для каких целей на операции МАО используют движение осцилляции?
9. К каким изменениям поверхностного слоя заготовки приводит воздействие на него переменного магнитного поля?
10. Что собой представляет основная зависимость процесса МАО?
11. Каковы причины затухания МАО?
12. Какими этапами характеризуется зависимость высоты неровностей обработанной поверхности от длительности МАО?
13. До каких значений параметра Ra можно уменьшить шероховатость исходной заготовки за один технологический переход МАО?
14. В каких пределах изменяется размерная точность и форма обработанной поверхности на операции МАО?
15. Какова величина припуска, удаляемого с заготовки в процессе МАО?

Приложение 5

Вторая и последующая страницы отчета
по лабораторной работе № 5

Результаты экспериментов

№ опы-та	Мате-риал заго-товки	Марка абра-зивного по-рошка	n , об/мин	V_s , мм/мин	δ , мм	τ , мин	N , мкм	Ra , мкм
1								
2								
...								
N								

График зависимости Ra
от изменяемого, в соответствии с заданием, параметра МАО

Выводы:

РАБОТА № 6. Исследование влияния элементов режима ультразвуковой очистки на чистоту поверхностей деталей

Цель работы: исследование влияния режима ультразвуковой очистки на чистоту поверхностей деталей.

Процессы ультразвуковой очистки

Ультразвуковой очисткой (УЗ-очисткой) называется способ очистки поверхностей твердых тел, при котором в моющий раствор вводят ультразвуковые колебания (УЗК). Введение УЗК позволяет не только ускорить процесс очистки, но и получить высокую степень чистоты очищаемой поверхности, а также заменить ручной труд и исключить использование пожароопасных и токсичных растворителей. УЗ-очистка применяется в машино- и приборостроении, электронной и металлургической промышленности для очистки прецизионных деталей точных механизмов и приборов, интегральных схем, инструментов, проката и др. [1, 2].

При УЗ-очистке происходит ряд процессов (рис. 6.1):

1. Отслоение пленок загрязнений от очищаемой поверхности.
2. Кавитационная эрозия (разрушение) пленок загрязнений и поверхности заготовки.
3. Эмульгирование – образование эмульсий (дисперсных систем), состоящих из частиц пластичных загрязнений (дисперсной фазы), взвешенных в моющем растворе (дисперсной среде).
4. Растворение загрязнений в химически активном моющем растворе.

Кроме того, на эффективность УЗ-очистки оказывают влияние кавитация, акустические потоки, радиационное давление и звукокапиллярный эффект.



Рис. 6.1. Схема взаимосвязи процессов, происходящих при УЗ-очистке, с элементами режима ее проведения

Кавитацией называется образование в жидкости пульсирующих пузырьков (полостей), заполненных паром, газом или их смесью. Различают акустическую кавитацию, возникающую при прохождении звуковой волны большой интенсивности (что имеет место при УЗ-очистке), и гидродинамическую кавитацию, обусловленную сильным локальным понижением давления в жидкости вследствие больших скоростей течения.

В интенсивной звуковой волне во время полупериодов разрежения возникают кавитационные пузырьки, которые резко захлопыва-

ются после перехода в область повышенного давления, порождая сильные гидродинамические возмущения в жидкости, интенсивное излучение акустических волн и вызывая разрушение поверхностей твердых тел, граничащих с кавитирующей жидкостью.

Кавитационные пузырьки образуются в тех местах, где давление жидкости становится ниже некоторого критического значения, соответствующего порогу кавитации. В реальных жидкостях снижение давления наблюдается там, где присутствуют «зародыши» кавитации – микроскопические газовые пузырьки, твердые частицы с трещинами, заполненными газом, и т. д. Кавитация возникает в результате потери устойчивости «зародышей», попадающих в область пониженного давления в звуковой волне, и их быстрого роста. При этом процесс расширения пузырьков – «зародышей» обусловлен рядом эффектов: давлением газа и пара в пузырьке, превышающим давление в окружающей жидкости; диффузией газа в пузырек из жидкости; испарением жидкости и увеличением массы пара в пузырьке; коагуляцией «зародышей».

Возникшие в звуковом поле кавитационные пузырьки (полости) интенсивно пульсируют. Изменение размеров пузырька определяется соотношением периода изменения давления в жидкости T_D и периода собственных колебаний пузырька τ , растущего с увеличением радиуса пузырька и зависящего от амплитуды избыточного давления (рис. 6.2). Мелкие пузырьки, у которых $\tau < T_D$, совершают вынужденные пульсации, следуя изменению звукового давления в волне до тех пор, пока его амплитуда невелика. При увеличении амплитуды пузырек не успевает следовать изменению давления: быстро расширяясь в течение полупериода растяжения, он, в силу инерции жидкости, не успевает захлопнуться, а лишь несколько уменьшает свой радиус в течение следующего полупериода сжатия, и захлопывание полости приходится на начало следующего полупериода растяжения.

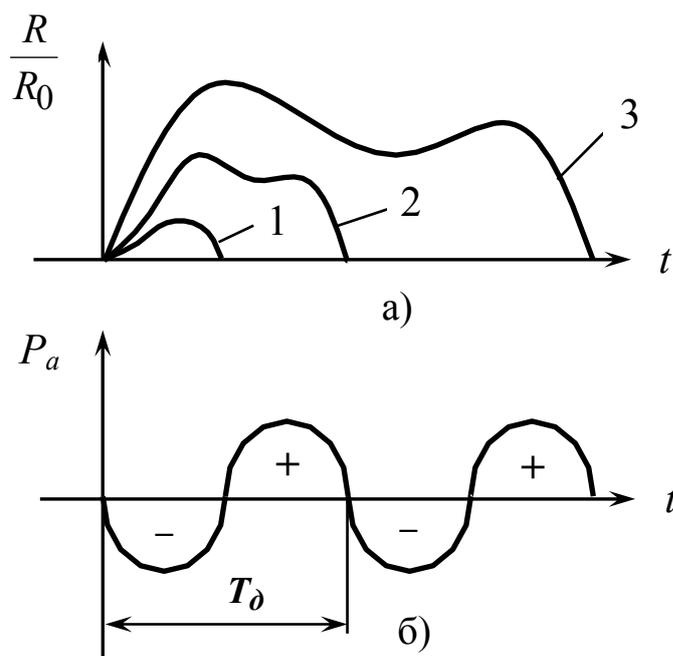


Рис.6.2. Зависимость относительного радиуса $\frac{R}{R_0}$ пульсующего пузырька (а) и давления в жидкости P_a (б) от времени t : 1 – пузырек с низким содержанием газа при $P_a = 0,4$ МПа; 2 – газонаполненный пузырек при $P_a = 1$ МПа; 3 – газонаполненный пузырек при $P_a = 4$ МПа

Таким образом, захлопывание пузырька может происходить с пропуском одного или нескольких полупериодов сжатия при достаточно большой амплитуде звукового давления. Степень сжатия пузырька при захлопывании, характеризуемая отношением максимального радиуса R пузырька к минимальному R_0 , тем больше, чем больше давление в жидкости и меньше газосодержание в нем. Если пузырек содержит много газа, то после достижения им минимального радиуса он восстанавливается и совершает несколько циклов затухающих колебаний, а если газа мало, то он захлопывается полностью в первом периоде жизни. Максимальная скорость захлопывания наблюдается при минимальном радиусе пузырька и может достигать скорости звука в жидкости.

Акустические потоки, генерируемые УЗ-полем, представляют собой микротечения жидкости, которые ускоряют смыв (удаление) загрязнений с очищаемой поверхности.

При захлопывании пузырьков происходит сильный локальный разогрев вещества, а также выделение газа, содержащего атомарную и ионизированную компоненты и оказывающего дополнительное ра-

диационное давление на жидкость. *Радиационное давление* и *звукокапиллярный эффект* способствуют проникновению моющего раствора в микропоры, неровности и глухие каналы заготовки.

Избыточное статическое давление P_0 , создаваемое в герметически закрытой ванне путем нагнетания сжатого воздуха, так же, как и звуковое давление P_α , вызывает сдвиг по времени стадии захлопывания кавитационного пузырька, существенно увеличивая скорость захлопывания и интенсивность образовавшейся ударной волны. При $P_0 = P_\alpha$ пузырек совершает сложные негармонические колебания и кавитационное воздействие незначительно. Оптимальным является соотношение $P_0 = 0,4 \dots 0,5 P_\alpha$. В этом случае на кавитационный пузырек в стадии захлопывания действуют в одном направлении статическое давление, поверхностное натяжение жидкости и звуковое давление, близкое к амплитудному значению. Кавитационный пузырек стремительно захлопывается, и уровень кавитационной эрозии возрастает на 2 – 3 порядка.

На эффективность УЗ-очистки влияют такие характеристики звукового поля, как частота и интенсивность УЗК. С повышением частоты кавитационный пузырек не достигает конечной стадии захлопывания, что снижает микроударное действие кавитации. Кроме того, увеличивается поглощение акустической энергии. Чрезмерное понижение частоты нежелательно из-за резкого возрастания акустического шума и увеличения резонансных размеров излучателя колебаний. Поэтому большинство установок для УЗ-очистки работает в диапазоне от 18 до 44 кГц. Повышение интенсивности УЗК сверх определенного предела приводит к увеличению амплитуды давления, и кавитационный пузырек вырождается в пульсирующий. При малых интенсивностях слабо выражена кавитация и все вторичные эффекты, возникающие в жидкости при введении УЗК. Поэтому на практике для УЗ-очистки используют интенсивность звука от 0,5 до 10 Вт/см².

Существенно влияют на качество УЗ-очистки такие физико-химические свойства жидкости, как упругость пара, газосодержание, вязкость и поверхностное натяжение.

Повышение упругости пара внутри пузырька резко снижает интенсивность кавитации, поэтому, например, применение для очистки водных растворов более эффективно, чем использование органических растворителей, упругость пара в которых значительно выше.

Сложным образом на процесс УЗ-очистки влияет газосодержание жидкости: увеличение содержания газа в пузырьке снижает эрозионную активность жидкости; с другой стороны, усиленная дегазация жидкости под действием акустических потоков и радиационного давления приводит к сокращению числа центров кавитации, что также снижает эффективность очистки. Регулируя, с одной стороны, процесс дегазации, а с другой – специально вводя газ в жидкость, можно достигнуть оптимального газосодержания.

В УЗ-полях малой интенсивности вязкость жидкости снижает эрозионную активность, так как с ростом вязкости увеличиваются потери акустической энергии. Однако при большой интенсивности УЗК в очень вязких жидкостях (при коэффициенте вязкости $50 \dots 100 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$) создаются благоприятные условия для кавитационных процессов: силы вязкого трения, аналогично избыточному давлению, препятствуют расширению кавитационного пузырька после того как наступила стадия сжатия в звуковой волне. Благодаря этому начальная стадия сжатия пузырька наступает раньше, совпадая с началом сжатия волны, повышается скорость и сокращается время его захлопывания, возрастает микроударное воздействие.

В конечной стадии сжатия пузырька под влиянием возрастающей силы поверхностного натяжения увеличивается скорость его захлопывания и повышается микроударное действие кавитации. Однако с ростом поверхностного натяжения повышается порог кавитации и сокращается число кавитационных пузырьков. Кроме того, большое по-

верхностное натяжение ухудшает процесс смачивания поверхностей очищаемых деталей, препятствуя проникновению моющего раствора в узкие щели, отверстия и зазоры. Поэтому в большинстве случаев рекомендуется уменьшать его величину. Для этой цели в жидкость добавляют поверхностно-активные вещества, улучшающие смачиваемость поверхности, создающие тонкие адсорбиционные слои на поверхности частиц загрязнений и способствующие более легкому их отрыву.

При проведении УЗ-очистки температура 40 ... 50 °С является для водных растворов оптимальной. При более низкой температуре снижается химическая активность раствора, а при более высокой – повышается упругость пара. Если характер загрязнений требует использования органических растворителей, то для снижения упругости пара растворители охлаждают до 15 ... 20 °С.

В зависимости от того, насколько прочно загрязнение связано с очищаемой поверхностью, преобладающую роль в УЗ-очистке играют те или иные процессы. Так, разрушение слабо связанных загрязнений происходит в основном под действием пульсирующих (незахлопывающихся) пузырьков (рис. 6.3).

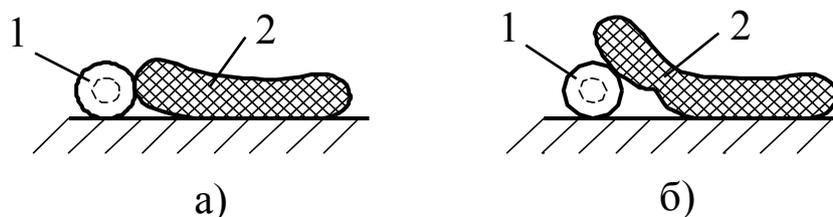


Рис. 6.3. Схема разрушения пленки загрязнения пульсирующими кавитационными пузырьками:

а – проникновение пузырька под пленку; б – момент разрушения пленки;
1 – кавитационный пузырек; 2 – пленка

На краях пленки загрязнений пульсирующие пузырьки, совершая интенсивные колебания, преодолевают силы сцепления пленки с поверхностью, проникают под пленку, разрывают и отслаивают ее. Если же загрязнения прочно связаны с поверхностью, то для их разруше-

ния необходимо наличие захлопывающихся кавитационных пузырьков, создающих микроударное воздействие на поверхность.

С точки зрения УЗ-очистки поверхностные загрязнения классифицируют по следующим признакам [2]:

1. Кавитационная стойкость загрязнений, их способность противостоять микроударным нагрузкам.

2. Прочность связи пленки загрязнений с очищаемой поверхностью.

3. Степень химического взаимодействия загрязнений с моющей жидкостью, способность последней растворять или эмульгировать поверхностные загрязнения.

Наиболее часто встречаются следующие виды загрязнений:

1. Жировые пленки, слабо связанные с очищаемой поверхностью и химически взаимодействующие с водными растворами, но устойчивые по отношению к кавитации.

2. Лаковые пленки и краски, также являющиеся кавитационно стойкими и отличающиеся прочной связью с поверхностью.

3. Окалина и окисные пленки, обладающие кавитационной стойкостью и прочной связью с поверхностью, взаимодействующие лишь с агрессивными жидкостями.

4. Продукты коррозии, также прочно связанные с поверхностью и взаимодействующие с агрессивными средами, но кавитационно нестойкие.

5. Металлическая пыль и шлам после травления, слабо связанные с очищаемой поверхностью и кавитационно нестойкие.

Для УЗ-очистки деталей от смазок, полировальных паст, металлической пыли, абразивного порошка и т. п. применяют водные щелочные растворы, обладающие по сравнению с органическими такими преимуществами, как дешевизна, нетоксичность и пожаробезопасность.

В качестве органических растворителей используют бензин, четыреххлористый углерод, ацетон, фреон и другие. Из них наибольший интерес для УЗ-очистки представляют фреоновые композиции,

отличающиеся высокой растворяющей способностью, малой токсичностью, взрывобезопасностью и возможностью регенерации.

Для снятия окалины и нагара пользуются травильными растворами серной, соляной, азотной и других кислот различной концентрации в зависимости от марки материала очищаемой заготовки.

Содержание работы

Студент выполняет лабораторную работу согласно варианту задания, выданному преподавателем по таблице 6.1.

6.1. Варианты заданий

№ задания	Состав моющего раствора	Температура раствора T , °С	Время очистки t , мин	Диаметр отверстий d , мм	Длина отверстий l , мм	Расстояние до УЗ-преобразователя S , мм
1	3–5%-ные водные растворы соды, мыла, стирального порошка, СОЖ	50	10	2	2	20
2	3–5%-ный водный раствор соды	20; 40; 60; 80	10	2	2	20
3	То же	50	5; 10; 15; 20	2	2	20
4	-“-	50	10	1; 2; 3; 4	2	20
5	-“-	50	10	2	2; 4; 6; 8; 10	20
6	-“-	50	10	2	2	0; 20; 40; 60

При выполнении задания № 1 студент экспериментально исследует, как изменяется степень УЗ-очистки поверхности деталей от загрязнений в зависимости от состава моющего раствора.

В ходе проведения экспериментов по заданиям № 2 – 6 студент исследует влияние на количество очищенных отверстий температуры раствора T , времени очистки t , диаметра отверстий d , их длины l или расстояния до УЗ-преобразователя S .

Средства технологического оснащения

- Заготовки – прямоугольные пластины из оргстекла $40 \times 60 \times l$ мм с двадцатью отверстиями.
- Загрязнитель – солидол жировой УС-2 ГОСТ 1033.
- Моющий раствор – 3 – 5 %-ные водные растворы кальцинированной соды, хозяйственного мыла, стирального порошка и эмульсола Аквол-6.
- Водонагреватель.
- Термометр.
- Секундомер.
- Ультразвуковая установка УЗУ-0,25.

Установка (рис. 6.4) состоит из генератора 1 и ванны 2.

Генератор УЗГ-0,25 вырабатывает электрические сигналы частотой 18,7 кГц и мощностью 0,25 Вт, которые поступают на три пьезоэлектрических преобразователя 8, вмонтированных в дно ванны 2. Преобразователи преобразуют полученные сигналы в ультразвуковые колебания, которые «озвучивают» моющий раствор 6 и интенсифицируют процесс очистки заготовки 7.

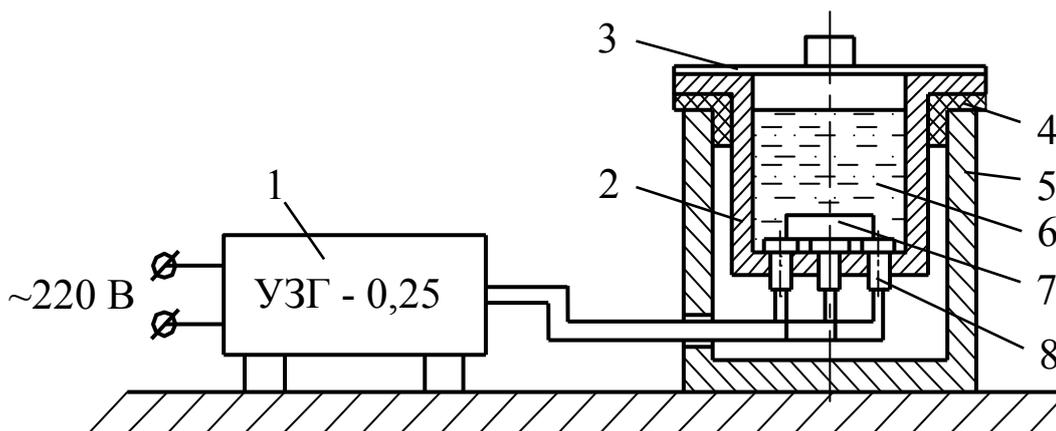


Рис. 6.4. Схема установки для УЗ-очистки: 1 – генератор УЗГ – 0,25;
 2 – ванна; 3 – крышка; 4 – виброизолирующая прокладка; 5 – корпус;
 6 – моющий раствор; 7 – заготовка; 8 – пьезоэлектрические преобразователи

Порядок выполнения работы

- Изучают конструкцию и порядок работы на ультразвуковой установке УЗУ-0,25.
- Заполняют отверстия в заготовке солидолом.
- В соответствии с заданием преподавателя готовят моющий раствор и заливают его в ванну.
- Погружают заготовку в моющий раствор и устанавливают ее над одним из преобразователей.
- Включают генератор, секундомер и очищают заготовку, проводя не менее трех параллельных опытов.
- После окончания очистки выключают генератор и секундомер, сливают использованный моющий раствор и вынимают из ванны заготовку.
- Визуально определяют количество очищенных отверстий и, усреднив значения параллельных опытов, заносят в таблицу, выполненную по форме приложения 6.
- Строят зависимость степени очистки от изменяемого параметра. При выполнении задания № 1 строят столбчатую диаграмму.

– Систематизируют полученные результаты. Выводы по работе заносят в отчет (см. приложение 6).

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе выполняют по форме приложения 6.

В выводах по работе необходимо проанализировать результаты экспериментов и указать причины, повлиявшие на форму полученной зависимости.

Отчет сохраняют до заключительного занятия, на котором студенты, выполнявшие различные варианты заданий, обмениваются друг с другом полученной информацией для выявления взаимосвязей входных и выходных параметров исследуемой технологической операции.

Вопросы для самопроверки

1. Что называется ультразвуковой очисткой?
2. Для чего в процесс очистки вводят УЗК?
3. Какие процессы происходят при УЗ-очистке?
4. Что такое кавитационная эрозия?
5. Что называется эмульгированием?
6. В чем заключается сущность кавитации?
7. Как образуются кавитационные пузырьки?
8. Что представляют собой акустические потоки?
9. Что такое звукокапиллярный эффект?
10. Для чего необходимо создавать избыточное статическое давление?
11. Как влияет на эффективность УЗ-очистки частота и интенсивность УЗК?
12. Какие физико-химические свойства жидкости влияют на степень очистки?
13. По каким признакам классифицируют поверхностные загрязнения?

Приложение 6

Вторая и последующие страницы отчета
по лабораторной работе № 6

Результаты экспериментов

№ опы- та	Состав моющего раствора	$T, ^\circ\text{C}$	$t, \text{мин}$	$d, \text{мм}$	$\ell, \text{мм}$	$S, \text{мм}$	Степень очистки (кол-во очищенных отверстий)	
							шт.	%
1								
2								
...								
n								

График зависимости степени очистки отверстий в заготовке
от изменяемого параметра

Выводы:

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- | | |
|---|--|
| В | М |
| Ванна сварочная 44 – 46 | Мощность энергии при ЭКО 26 |
| Г | Н |
| Глубина одиночной лунки после ЭКО 27, 28 | Наплавка 33 |
| Д | Напряжение пробоя 15 |
| Давление избыточное статическое 71 | О |
| Дефекты наплавленного слоя 50, 51 | Обработка |
| Длительность импульсов 16 | - магнитно-абразивная 56 |
| З | - электроконтактная 23 |
| Зависимость основная процесса MAO 58 | - электроэрозионная 12 |
| И | Очистка ультразвуковая 67 |
| Импульсы униполярные 16 | П |
| Источники теплообразования при ЭКО 24 | Пиролиз 12 |
| К | Погрешности наплавки 46, 47 |
| Кавитация 68 | Полярность |
| Кинематика процесса MAO 56 – 58 | - обратная 14 |
| Классификация | - прямая 14 |
| - видов ЭКО 25 | Потоки акустические 70 |
| - видов ЭЭО 14 | Причины затухания MAO 58 |
| - поверхностных загрязнений 74 | Производительность |
| Л | - наплавки 37 |
| Лунка электроэрозионная 17, 18 | - сварки 36 |
| | - ЭЭО 16 |
| | Процессы в межэлектродном промежутке при ЭЭО 13 |
| | Процессы при УЗО 67, 68 |

Р	Т
Размеры наплавленного валика 35	Толщина наплавленного слоя 38
Разряд электрический 12	
Режим ЭЭО	Ц
- электроимпульсный 12	Цикл термический сварки 48
- электроискровой 12	
С	Ш
Саморегуляция процесса ЭКО 24	Шероховатость поверхности
Сварка 33	после
Свойства рабочей жидкости 17	- МАО 61
Скважность импульсов 16	- ЭЭО 18
Сила тока средняя 15	
Структура поверхностного слоя	Э
заготовки после	Эмульгирование 67
- МАО 61	Энергия импульса при
- ЭЭО 18, 19	- ЭКО 26
Схемы МАО 57	- ЭЭО 15
	Эрозия кавитационная 67

ОСНОВНЫЕ ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ПОНЯТИЯ

Акустические потоки – микротечения жидкости, генерируемые ультразвуковыми колебаниями и ускоряющие смыв (удаление) загрязнений с очищаемой поверхности.

Кавитация – образование в жидкости пульсирующих пузырьков (полостей), заполненных паром, газом или их смесью.

Кавитационная эрозия – разрушение пленок загрязнений и поверхности заготовки под действием кавитации.

Магнитно-абразивная обработка – абразивная обработка, осуществляемая при движении заготовки и абразивных зерен относительно друг друга в магнитном поле.

Наплавка – нанесение посредством сварки плавлением слоя металла на поверхность детали.

Полярность – более интенсивное разрушение одного из электродов, обусловленное принципиальным различием приэлектродных процессов у их поверхности.

Сварка – процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном нагреве или пластическом деформировании, или совместном действии того и другого.

Скважность импульсов – отношение периода повторения импульсов к их длительности.

Ультразвуковая очистка – способ очистки поверхности твердых тел, при котором в моющий раствор вводят ультразвуковые колебания.

Электрический разряд – высококонцентрированный в пространстве и во времени импульс электрической энергии, преобразуемой между электродом-инструментом и электродом-заготовкой в тепловую.

Электроэрозионная обработка – изменение формы, размеров, шероховатости и свойств поверхности заготовки под воздействием электрических разрядов в результате электрической эрозии.

Эмульгирование – образование эмульсий, состоящих из частиц пластичных загрязнений, взвешенных в моющем растворе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Машиностроение: в 40 т.: Разд. 3: Технология производства машин / А. Г. Суслов; Ред. - сост. А. Г. Суслов; Отв. ред. П. Н. Белянин. – М. : Машиностроение, 2002. – Т. 3-3: Технология изготовления деталей машин. – 840 с.

2. Нерубай, М. С. Физико-технологические методы обработки и сборки: учеб. пособие / М. С. Нерубай, В. В. Калашников, Б. Л. Штриков, С. И. Ярьско. – М. : Машиностроение – 1, 2005. – 396 с.

3. Свифт, К. Г. Выбор процесса от разработки до производства / К. Г. Свифт, Дж. Д. Букер. – М. : Издательский дом «Технологии», 2006. – 400 с.

4. Схиртладзе, А. Г. Технологические процессы в машиностроении: учебник для машиностроит. спец. вузов / А. Г. Схиртладзе. – М. : Высшая школа, 2007. – 927 с.

5. Технологические процессы в машиностроении : учебник / С. И. Богодухов, А. Г. Схиртладзе, Р. М. Сулейманов, А. Д. Проскурин; под общ. ред. проф., д-ра техн. наук С. И. Богодухова. – Старый Оскол : ТНТ, 2011. – 624 с.

6. Схиртладзе, А. Г. Технологические процессы в машиностроении : учебник / А. Г. Схиртладзе, С. Г. Ярушин. – Старый Оскол : ООО «ТНТ», 2007. – 524 с.

Учебное издание

КРУПЕННИКОВ Олег Геннадьевич

КРАВЧЕНКО Дмитрий Валерьевич

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ
МЕТОДАМ ОБРАБОТКИ**

Учебное пособие

Редактор Н.А.Евдокимова

ЛР № 020640 от 22.10.97.

Подписано в печать 28.12.2012. Формат 60×84/16.

Усл. печ. л. 4,88. Тираж 100 экз. Заказ 126. ЭИ № 398.

Ульяновский государственный технический университет,

432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32.

Типография УлГТУ, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32.