

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

**М. Б. Лещинский**

## **СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ И ПАЙКИ**

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов,  
обучающихся в магистратуре по направлению подготовки  
15.04.01 Машиностроение

Калининград  
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»  
2023

УДК 621.791(075.32)

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры инжиниринга технологического оборудования ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» И. А. Соколова

Лещинский, М. Б.

Специальные технологии сварки и пайки: учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов, обучающихся в магистратуре по направлению подготовки 15.04.01 Машиностроение / М. Б. Лещинский. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 35 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Специальные технологии сварки и пайки» представлены учебно-методические материалы по освоению тем лекционного курса и материалы по подготовке к практическим занятиям для направления подготовки 15.04.01 Машиностроение.

Табл. 3, список лит. 7 – наименований

Учебное пособие рассмотрено и рекомендовано к опубликованию кафедрой инжиниринга технологического оборудования 18 января 2023 г., протокол № 4

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала для использования в учебном процессе методической комиссией института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» «27» февраля 2023 г., протокол № 2

УДК 621.791(075.32)

© Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный  
технический университет», 2023 г.  
© Лещинский М. Б., 2023 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |    |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....  | 4  |
| 1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ<br>ДИСЦИПЛИНЫ.....                | 9  |
| 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К<br>ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ..... | 24 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....  | 34 |

## ВВЕДЕНИЕ

Сварка – один из ведущих технологических процессов современной промышленности. До двух третей стального проката в мире идет на производство сварных конструкций. В настоящее время достигнуты значительные успехи в разработке прогрессивных методов сварки, создании высокоэкономичных сварных конструкций, освоении сварки многих специальных сталей, цветных металлов и их сплавов и других материалов.

Значительные трудности, возникающие при соединении разнородных материалов с помощью сварки плавлением, связаны с невозможностью ограничения процессов взаимной диффузии, приводящих к развитию химической неоднородности, появлению хрупких интерметаллидных фаз.

Созданные в последние годы жаропрочные материалы (литейные, никелевые, дисперсно-упрочненные, композиционные) практически не поддаются сварке плавлением.

Традиционные методы сварки не позволяют создавать крупногабаритные тонкостенные многослойные конструкции, необходимые для уменьшения массы летательных аппаратов, охлаждения или обогрева их узлов, снижения шума и т. д.

Современное состояние техники характеризуется возросшим спросом на редкие металлы, сплавы и неметаллические материалы. В перспективных конструкциях находят широкое применение металлы, обладающие высокими жаростойкостью, жаропрочностью, коррозионной стойкостью и некоторыми особенными свойствами. Дальнейшее развитие авиационной и космической техники связано с созданием прецизионных тонкостенных слоистых конструкций с элементами большой протяженности и малой толщины, с высокой удельной прочностью.

При реализации дисциплины «Специальные технологии сварки и пайки» организуется практическая подготовка путем проведения практических занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Целью освоения дисциплины «Специальные технологии сварки и пайки» является формирование представлений об области, объектах, видах и задачах профессиональной деятельности студента, его образовательной программе (ОП) в университете, условиях и результатах ее освоения.

Задачи дисциплины:

- это система знаний и умений для обеспечения высокого качества сварных и паяных соединений металлов и сплавов в машиностроении;
- это знания по физико-химическим свойствам специальных материалов для сварки и припоев;

- это знания, умения и навыки по специальным технологиям сварки и пайки при производстве изделий машиностроения.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

знать:

- сущность основных способов сварки плавлением и давлением, области их применения;

- основы проектирования технологического процесса сборки и сварки конструкций;

- физические принципы получения сварного соединения при различных способах сварки, классификацию сварочных процессов;

- сущность, достоинства, недостатки и области рационального применения основных современных способов сварки и родственных технологий;

- металлургические особенности процесса сварки сталей специального назначения;

уметь:

- выбирать рациональные в технико-экономическом отношении способы сварки специальных сталей и сплавов;

- рассчитывать режимы сварки и термической обработки сварных соединений;

- выполнять расчетную и экспериментальную оценку свариваемости металлов и сплавов, прогнозировать состав, структуру и свойства металла шва и околошовной зоны;

- обеспечивать технологичность изделий и процессов их изготовления, контролировать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий;

владеть:

- методами определения оптимального выбора вида сварки, сварочных материалов, вида пайки и припоя для определенного конструкционного материала;

- методиками определения параметров режимов сварки и пайки;

- навыками реализации основных технологических процессов сварки, наплавки, напыления и пайки.

Для успешного освоения дисциплины «Специальные технологии сварки и пайки» студент должен активно работать на лекционных и практических занятиях, а также организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность.

Для оценивания поэтапного формирования результатов освоения дисциплины (текущий контроль) предусмотрены тестовые задания. Тестирование и решение практических задач, обучающихся проводится на

практических занятиях после изучения соответствующих тем. Тестовое задание предусматривает выбор правильного ответа на поставленный вопрос из предлагаемых вариантов ответа. Перед проведением тестирования преподаватель знакомит студентов с вопросами теста, а после проведения тестирования проводит анализ его работы. Перечень примерных тестовых заданий представлен в фонде оценочных средств по данной дисциплине.

К оценочным средствам для промежуточной аттестации по дисциплине, проводимой в форме экзамена, соответственно относятся:

- тестовые задания открытого и закрытого типов.

К экзамену допускаются студенты:

- положительно аттестованные по результатам освоения дисциплины;

Универсальная система оценивания результатов обучения включает в себя системы оценок: 1) «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»; 2) «зачтено», «не зачтено»; 3) 100-балльную (процентную) систему и правило перевода оценок в пятибалльную систему (таблица 1).

Таблица 1 – Система оценок и критерии выставления оценки

| Система оценок  | 2   | 3   | 4   | 5   |
|---|---|---|---|---|
|   | 0–40 %  | 41–60 %   | 61–80 %   | 81–100 %  |
|   | «неудовлетворительно»   | «удовлетворительно»   | «хорошо»  | «отлично»   |
|   | «не зачтено»  | «зачтено»   |   |   |
| <b>Критерий</b>   |   |   |   |   |
| <b>1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов</b> | Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой) | Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект | Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект | Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект |
| <b>2. Работа с информацией</b>  | Не в состоянии находить необходимую   | Может найти необходимую информацию  | Может найти, интерпретировать и   | Может найти, систематизировать                                    |

| Система оценок<br><br>Критерий   | 2  | 3  | 4  | 5   |
|--|--|--|--|---|
|  | 0–40 %   | 41–60 %  | 61–80 %  | 81–100 %  |
|  | «неудовлетворительно»  | «удовлетворительно»  | «хорошо»   | «отлично»   |
|  | «не зачтено»   | «зачтено»  |  |   |
|  | информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи  | в рамках поставленной задачи   | систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи  | необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи   |
| <b>3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта</b>       | Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений | В состоянии осуществлять научно корректный анализ предоставленной информации | В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задаче данные | В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи |
| <b>4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач</b> | В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным  | В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом  | В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом,   | Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения   |

| Система оценок<br><br>Критерий | 2   | 3                   | 4                                       | 5                            |
|--------------------------------|---|---------------------|---|------------------------------|
|                                | 0–40 %  | 41–60 %             | 61–80 %                                 | 81–100 %                     |
|                                | «неудовлетворительно»   | «удовлетворительно» | «хорошо»                                | «отлично»                    |
|                                | «не зачтено»  | «зачтено»           |   |                              |
|                                | алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки |                     | понимает основы предложенного алгоритма | в рамках поставленной задачи |

При необходимости для обучающихся-инвалидов или обучающихся с ОВЗ предоставляется дополнительное время для подготовки ответа с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

Для успешного освоения дисциплины «Специальные технологии сварки и пайки» в учебно-методическом пособии по изучению дисциплины приводится краткое содержание каждой лекционной и практической темы занятия.



# 1 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Осваивая курс «Специальные технологии сварки и пайки», студент должен научиться работать на лекциях, практических занятиях и организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность. В начале лекции необходимо уяснить цель, которую лектор ставит перед собой и студентами. Важно внимательно слушать, отмечать наиболее существенную информацию и кратко ее конспектировать; сравнивать то, что услышано на лекции с прочитанным и усвоенным ранее материалом в области применения различных материалов, укладывать новую информацию в собственную, уже имеющуюся, систему знаний. По ходу лекции необходимо подчеркивать новые термины, определения, устанавливать их взаимосвязь с изученными ранее понятиями.

Основными видами учебной деятельности в ходе изучения курса являются лекции и практические занятия.

При разработке образовательной технологии организации учебного процесса основной упор сделан на соединение активной и интерактивной форм обучения. Интерактивная форма позволяет студентам проявить самостоятельность в освоении теоретического материала и овладении практическими навыками, формирует интерес и позитивную мотивацию к учебе.

При чтении лекций преподаватель имеет право самостоятельно выбирать формы и методы изложения материала, которые будут способствовать качественному его усвоению. При этом преподаватель в установленном порядке может использовать технические средства обучения, имеющиеся на кафедре и в университете.

Вместе с тем всякий лекционный курс является в определенной мере авторским, представляет собой творческую переработку материала и неизбежно отражает личную точку зрения лектора на предмет и методы его преподавания. В этой связи представляется целесообразным привести некоторые общие методические рекомендации по построению лекционного курса и формам его преподавания.

Лекции составляют основу теоретической подготовки и посвящены наиболее важным моментам при изучении курса «Специальные технологии сварки и пайки». При проведении лекций необходимо использовать технические средства обучения, ЭИОС, применять методы, способствующие активизации познавательной деятельности слушателей. На лекциях целесообразно теоретический материал иллюстрировать рассмотрением различных примеров и конкретных задач. Имеет смысл привлекать студентов к обсуждению как рассматриваемого вопроса в целом, так и отдельных моментов рассуждений и

доказательств. Необходимо также использовать возможности проблемного изложения, дискуссии с целью активизации деятельности студентов.

Практические занятия проводятся для закрепления основных теоретических положений курса и реализации их в практических расчетах, формирования и развития у студентов мышления в рамках будущей профессии.

На практических занятиях следует добиваться точного и адекватного владения теоретическим материалом и его применения для решения задач.

Важным звеном во всей системе обучения является самостоятельная работа обучающихся. В широком смысле под ней следует понимать совокупность всей самостоятельной деятельности студентов как в отсутствие преподавателя, так и в контакте с ним. Она является одним из основных методов поиска и приобретения новых знаний, работы с литературой, а также выполнения предложенных заданий. Преподаватель призван оказывать в этом методическую помощь студентам и осуществлять руководство их самостоятельной работой.

Необходимо контролировать степень усвоения студентами текущего материала, а также уровень остаточных знаний по уже изученным темам.

При изучении курса предусмотрены следующие формы текущего контроля:

- опросы по теоретическому материалу;
- контроль на практических занятиях.

Промежуточный контроль осуществляется в форме сдачи экзамена и имеет целью определить степень достижения учебных целей по дисциплине.

С целью формирования мотивации и повышения интереса к предмету особое внимание при чтении курса необходимо обратить на темы, которые можно проиллюстрировать примерами из практической сферы, связывая теоретические положения с будущей профессиональной деятельностью студентов. Тематический план лекционных занятий представлен в таблице 2.

Таблица 2 - Объем (трудоемкость освоения) и структура ЛЗ

| Номер темы | Содержание лекционного занятия                                |
|------------|---|
| 1          | Введение в дисциплину «Специальные технологии сварки и пайки» |
| 2          | Плазменная сварка   |
| 3          | Электронно-лучевая сварка                                     |
| 4          | Лазерная сварка   |

| Номер темы | Содержание лекционного занятия  |
|------------|---|
| 5          | Сварка световым лучом   |
| 6          | Специальные способы сварки давлением  |
| 7          | Сварка давлением с нагревом   |
| 8          | Сварка давлением без нагрева  |
| 9          | Пайка, ее физико-химические особенности, технология и технологический процесс |
| Итого      |   |

Если на лекции студент не получил ответа на возникшие у него вопросы, он может в конце лекции задать эти вопросы лектору курса дисциплины.

## Тема № 1 Введение в дисциплину «Специальные технологии сварки и пайки»

### *Ключевые вопросы темы*

1. Традиционные способы сварки плавлением.
2. Специальные способы сварки плавлением
3. Контактная сварка.
4. Специальные способы сварки давлением.

*Ключевые понятия:* газопламенная сварка, ручная дуговая сварка покрытыми электродами, автоматическая дуговая сварка под слоем флюса, дуговая сварка в среде защитных газов, дуговая сварка порошковой проволоки, электрошлаковая сварка, специальные способы сварки плавлением, контактная сварка, специальные способы сварки давлением.

*Литература:* [1, с. 1–62].

### *Методические рекомендации*

Первая тема курса дисциплины «Специальные технологии сварки и пайки» направлена на получение у обучающихся представления о базовых понятиях дисциплины, определении места дисциплины в структуре образовательной программы, планируемых результаты освоения дисциплины, возможных рисках

освоения дисциплины, знакомит обучающихся с формами текущего и промежуточного контроля.

Современное состояние техники характеризуется возросшим спросом на редкие металлы, сплавы и неметаллические материалы. В перспективных конструкциях находят широкое применение металлы, обладающие высокими жаростойкостью, жаропрочностью, коррозионной стойкостью и некоторыми особенными свойствами. Дальнейшее развитие авиационной и космической техники связано с созданием прецизионных тонкостенных слоистых конструкций с элементами большой протяженности и малой толщины, с высокой удельной прочностью.

Создание экономичных, надежных и долговечных сварных конструкций из новых конструкционных материалов, работающих в широком диапазоне температур в агрессивных средах, представляет собой важную научно-техническую задачу ближайшего будущего. Решение этой задачи неразрывно связано с развитием и совершенствованием традиционных и созданием и внедрением специальных способов сварки.

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Что такое газопламенная обработка?
2. Почему для газопламенной сварки не рекомендуется применять газоздушное пламя?
3. Почему при газопламенной сварке свариваемые кромки нагреваются медленнее, чем при дуговой?
4. Какие недостатки газопламенной сварки связаны с медленным нагревом свариваемых кромок?
5. В чем заключаются преимущества сварки под слоем флюса по сравнению со сваркой открытой дугой?
6. Для чего при ручной дуговой сварке служит флюс?
7. Как подразделяются флюсы по назначению и способу изготовления?
8. Как выбрать сварочный флюс и электродную проволоку для получения металла шва заданного состава?
9. Перечислите параметры режима дуговой сварки под слоем флюса.
10. Как влияют сила тока, напряжение дуги и скорость сварки на форму шва?
11. Что такое самозащитная проволока?
12. В чем заключаются преимущества порошковых проволок по сравнению со сплошными?
13. Перечислите основные параметры режима сварки в среде защитных газов.

14. Какие приемы колебаний горелки применяются при ручной дуговой сварке в среде защитных газов?
15. Какие приемы применяются при сварке вертикальных и горизонтальных швов?

## Тема № 2 Плазменная сварка

### *Ключевые вопросы темы*

1. Технологические возможности сжатой дуги.
2. Схема процесса.
3. Достоинства и недостатки способа.
4. Технология сварки.

*Ключевые понятия:* сжатая дуга, плазма, плазматроны прямого и косвенного действия, недостаток дуги переменного тока, конструкция катода плазматрона.

*Литература:* [1, с. 73–89].

### *Методические рекомендации*

Технологические возможности сжатой дуги. Плазменная сварка является одним из видов дуговой сварки. В качестве источника нагрева свариваемых заготовок используется сжатая дуга.

При традиционной дуговой сварке дуга горит свободно между электродом и свариваемой деталью. Однако, если с помощью каких-либо приемов не дать дуге занять весь этот объем, принудительно сжав ее, то температура дуги значительно повысится. В частности, можно сжать дугу, пропустив ее через сопло малого диаметра. При этом плазмообразующий газ, вытекая через сопло горелки, сжимает дугу. Часть газа, проходя через столб дуги, нагревается, ионизируется и выходит из сопла в виде плазменной струи. Наружный слой газа, омывающий столб дуги, остается относительно холодным и создает электрическую и тепловую изоляцию между дугой и соплом плазматрона, предохраняя его от разрушения.

### *Вопросы для самоконтроля*

1. В чем заключаются преимущества сжатой дуги по сравнению со свободной дугой?
2. Чем отличается сжатая дуга прямого действия от сжатой дуги косвенного действия?
3. Как происходит возбуждение сжатой дуги прямого действия?

4. Почему напряжение сжатой дуги выше напряжения свободной дуги?
5. Почему при сварке сжатой дугой получаются более узкие швы, чем при сварке свободной дугой?
6. Как протекает процесс сварки «в замочную скважину»?
7. Какое явление ограничивает возможности сжатой дуги?
8. Какие требования к стыку деталей предъявляются при плазменной сварке?

### Тема № 3 Электронно-лучевая сварка

#### *Ключевые вопросы темы*

1. Особенности способа.
2. Технология сварки.
3. Электронно-лучевая сварка обладает серьезными преимуществами по сравнению с другими способами сварки.
4. Недостатки способа ЭЛС.

*Ключевые понятия:* нагрев осуществляется управляемым электронным лучом, с использованием кинетической энергии электронов, металлический катод, эмитирующий (испускающий) электроны, на пути электронов помещается магнитная отклоняющая система, позволяющая направлять электронный луч точно по сварочному стыку.

*Литература:* [1, с. 89–99].

#### *Методические рекомендации*

Особенности способа. Электронно-лучевая сварка (ЭЛС) основана на том, что нагрев осуществляется управляемым электронным лучом с использованием кинетической энергии электронов, движущихся в высоком вакууме с высокой скоростью. При бомбардировке электронами поверхности металла подавляющая часть их кинетической энергии превращается в теплоту, которая плавит металл.

Для сварки необходимо получить свободные электроны, сконцентрировать их и сообщить им большую скорость для увеличения их энергии, которая должна превратиться в теплоту при торможении в свариваемом металле.

Источником свободных электронов служит раскаленный металлический катод, эмитирующий (испускающий) электроны, которые ускоряются электрическим полем с высокой разностью потенциалов между катодом и анодом. Фокусировка (концентрация электронов) достигается с помощью кольцевых магнитных полей. Резкое торможение электронного потока

происходит автоматически при внедрении электронов в металл. Электронный луч создается в специальном приборе — электронной пушке, представляющей собой устройство, испускающее узкие электронные лучи с большой плотностью энергии.

*Вопросы для самоконтроля*

1. Что такое электронно-лучевая сварка?
2. В чем заключаются особенности и преимущества ЭЛС по сравнению с другими способами сварки?
3. Как возникают свободные электроны в электронно-лучевых пушках и от чего зависит плотность тока эмиссии?
4. Какова скорость движения электронов и от чего она зависит?
5. На какую глубину электрон проникает в обрабатываемый материал и от чего эта глубина зависит?
6. Куда расходуется энергия электронного луча при сварке?
7. Какие требования предъявляются к подготовке кромок и сборке соединений для ЭЛС?
8. Перечислите основные типы соединений, применяемых при ЭЛС.

**Тема № 4 Лазерная сварка**

*Ключевые вопросы темы*

1. Особенности способа.
2. Технология сварки.
3. Расширение области применения лазерной сварки.

*Ключевые понятия:* энергия квантов (порций) света поглощается поверхностью, световую энергию сконцентрировать на малом участке поверхности, оптический квантовый генератор, генератор накачки, импульсный режим и непрерывный режим.

*Литература:* [1, с. 99–109].

*Методические рекомендации*

Особенности способа. При облучении поверхности тела светом энергия квантов (порций) света поглощается этой поверхностью. Образуется теплота, и температура поверхности повышается. Если световую энергию сконцентрировать на малом участке поверхности, то можно получить высокую

температуру. На этом основана сварка световым лучом оптического квантового генератора – лазера.

Термин «лазер» происходит от первых букв английской фразы «Light amplification by the stimulated emission of radiation», что в переводе означает «Усиление света посредством индуцирования эмиссии излучения».

Основные элементы лазера: генератор накачки и активная среда. По активным средам лазеры подразделяются на твердотельные, газовые и полупроводниковые.

Лазерная сварка производится на воздухе или в среде защитных газов: аргона, CO<sub>2</sub>. Вакуум, как при электронно-лучевой сварке, здесь не нужен, поэтому лазерным лучом можно сваривать крупногабаритные конструкции. Лазерный луч удобно управляется и регулируется. С помощью зеркальной оптической системы он легко транспортируется и направляется в труднодоступные места, где сварка другими способами затруднена или невозможна.

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Каковы особенности лазерного луча как источника энергии?
2. В чем заключаются преимущества лазерной сварки по сравнению с другими способами сварки плавлением?
3. Какие лазеры используются для сварки металлов?
4. Каковы основные энергетические характеристики лазерной сварки?
5. За счет чего обеспечивается высокая точность конструкций, изготовленных с применением лазерной сварки?
6. Почему выгодны малые размеры швов, получаемых при лазерной сварке?
7. Какие виды проплавления возникают при лазерной сварке?
8. В каких случаях выполняется лазерная сварка с глубоким проплавлением?
9. В каких случаях применяется лазерная сварка с небольшим проплавлением?
10. В чем состоит характерная особенность сварного соединения при лазерной сварке?
11. Где применяется лазерная сварка в импульсном режиме?
12. Как легируется сварной шов при лазерной сварке?

#### **Тема № 5 Сварка световым лучом**

##### *Ключевые вопросы темы*

1. Для сварки световым лучом можно использовать такие источники излучения, как угольная дуга, дуговые газоразрядные лампы и лампы накаливания.



2. Применяют дуговые ксеноновые лампы сверхвысокого давления и кварцевые галогенные лампы накаливания (трубчатые галогенные лампы накаливания).

*Ключевые понятия:* ксеноновые лампы сверхвысокого давления, сравнительно низкая интенсивность излучения, спектральный состав ограничивают применение кварцевых галогенных ламп для термической обработки сварных соединений.

*Литература:* [1, с. 109–116].

### *Методические рекомендации*

В установках для сварки световым лучом можно использовать такие источники излучения, как угольная дуга, дуговые газоразрядные лампы и лампы накаливания. Наиболее перспективны и удобны для технологического использования дуговые ксеноновые лампы сверхвысокого давления и кварцевые галогенные лампы накаливания (трубчатые галогенные лампы накаливания).

Дуговые ксеноновые лампы сверхвысокого давления – это мощные высокоинтенсивные источники излучения, создающие световой луч с наиболее высокими энергетическими параметрами. Лампы выполнены в виде шарового баллона из прозрачного кварца, в котором расположены два вольфрамовых электрода. Баллоны ламп заполнены ксеноном под давлением 4–10 атм (или 0,4–1 МН/м<sup>2</sup>). При работе лампы давление в ней возрастает до 10–30 атм (или 1–3 МН/м<sup>2</sup>), дуговой разряд сильно сжимается, образуя высококонцентрированный источник лучистой энергии. Температура разряда у катода достигает 12 000 °С.

### *Вопросы для самоконтроля*

1. В чем состоит принципиальное отличие лазерной сварки с глубоким проплавлением от сварки деталей малой толщины?
2. Как влияет фокусировка лазерного луча на качество соединений?
3. Когда достигается максимальная глубина проплавления при лазерной сварке?
4. Какие процессы проплавления происходят при лазерной сварке? Какие специфические особенности лазерной сварки влияют на склонность сварных соединений к образованию трещин?
5. Как можно защитить металл шва от окисления при лазерной сварке?
6. Какие дефекты характерны для сварных соединений, полученных лазерной сваркой?

## Тема № 6 Специальные способы сварки давлением

### *Ключевые вопросы темы*

1. Сварка давлением без нагрева.
2. Сварка давлением с нагревом.

*Ключевые понятия:* сварка взрывом, магнитно-импульсная, холодная, кузнечная, ультразвуковая, высокочастотная, газопрессовая сварка трением, диффузионная.

*Литература:* [1, с. 135–137].

### *Методические рекомендации*

Сварка давлением – это способ получения неразъемного соединения деталей путем их совместного пластического деформирования.

Известны две разновидности сварки давлением: без нагрева (сварка взрывом, магнитно-импульсная, холодная) и с нагревом (кузнечная, ультразвуковая, высокочастотная, газопрессовая сварка трением, диффузионная).

Природа образования соединения во всех случаях сварки давлением – с нагревом или без него – одна: это результат взаимодействия активированных атомов соединяемых поверхностей. Различают три стадии процесса образования соединения при сварке давлением.

На первой стадии происходит физический контакт и активация поверхностей, которые сближаются до расстояния, соизмеримого с параметром кристаллической решетки. В этот момент атомы металла соединяемых деталей преодолевают энергетический барьер, но сохраняют устойчивое состояние и не сливаются – соединение еще не произошло.

На второй стадии за счет образования химического соединения активированных поверхностей и сближения атомов металла соединяемых деталей до расстояния межатомарного взаимодействия происходит сварка. Ширина границы раздела между деталями становится соизмеримой с шириной межзеренной границы, а прочность соединения – с прочностью основного металла.

На третьей стадии активизируется диффузионный обмен через объединенную поверхность соединения. При этом вновь полученная поверхность раздела размывается или расчленяется продуктами взаимодействия.

### *Вопросы для самоконтроля*

1. Что такое сварка давлением?

2. Перечислите основные разновидности сварки давлением.
3. Какова природа образования соединения при сварке давлением?
4. За счет чего образуются активные центры при сварке давлением?
5. Каковы стадии образования соединения при сварке давлением?
6. Какие процессы могут протекать на стадии образования сварного соединения?

## Тема № 7 Сварка давлением с нагревом

### *Ключевые вопросы темы*

1. Кузнечная (кузнечно-горновая) сварка.
2. Ультразвуковая сварка (УЗС).
3. Высокочастотная сварка (индукционная, радиочастотная).
4. Газопрессовая сварка.
5. Сварка трением.
6. Диффузионная сварка.

*Ключевые понятия:* (УЗС) основана на использовании энергии ультразвуковых колебаний, сварка при которой кромки деталей нагреваются токами высокой частоты (ТВЧ), место сварки нагревается многопламенной горелкой, нагревается тонкий поверхностный слой детали в результате трения сопрягаемых поверхностей, результат пластической деформации и последующей диффузии материалов.

*Литература:* [1, с. 137–177].

### *Методические рекомендации*

**Кузнечная сварка.** Кузнечная (кузнечно-горновая) сварка – родоначальница всех современных способов сварки давлением.

В наше время кузнечная сварка применяется главным образом для ремонта изделий в сельской местности. Кузнечной сваркой хорошо сваривается мягкая сталь, содержащая 0,15–0,25 % углерода.

**Ультразвуковая сварка.** Ультразвуковая сварка (УЗС) основана на использовании энергии ультразвуковых колебаний. Свариваемые детали зажимают между опорой и сварочным наконечником, который колеблется с частотой 20–30 кГц при амплитуде 0,5–50 мкм и сдвигается усилием 0,1–1 предела текучести металла свариваемой детали в течение 0,1–3 с.

**Высокочастотная сварка.** Высокочастотная сварка (индукционная, радиочастотная) – это способ сварки давлением, при котором кромки деталей

нагреваются токами высокой частоты (ТВЧ) до температуры оплавления. Плотность тока высокой частоты, протекающего по металлу детали, максимальна на ее поверхности, резко уменьшается по мере удаления вглубь детали. Это явление называется поверхностным эффектом. Кроме того, токи высокой частоты, протекающие в двух параллельных проводниках в противоположных фазах, стремятся сблизиться. Это явление называется эффектом близости.

Газопрессовая сварка. Газопрессовая сварка представляет собой процесс соединения деталей из металлов в пластичном состоянии. Место сварки нагревается много пламенной горелкой до температуры перехода металла в пластичное состояние, а затем свариваемые элементы сжимаются внешним усилием, действующим по их оси в процессе нагрева либо по его завершении.

Сварка трением. Сварка трением – это способ сварки давлением, при котором нагревается тонкий поверхностный слой детали в результате трения сопрягаемых поверхностей и одновременно происходит очистка от пленок, загрязнений и оксидов.

Орбитальная сварка позволяет соединять детали некруглого сечения, а также заранее ориентированные между собой детали. Обе свариваемые детали во время сварки вращаются синхронно и синфазно, а трение между ними возникает в результате взаимного смещения осей вращения, которые при этом остаются взаимно параллельными. Оси заготовок смещены относительно друг друга на величину орбитального радиуса, обеспечивающего относительное движение.

Наварка используется для восстановления изношенных деталей. В отличие от наплавки при наварке не происходит расплавления металла. Наварка выполняется с использованием вращения или вибрации.

Диффузионная сварка. Суть способа состоит в том, что свариваемые детали стыкуются, прижимаются друг к другу, сдавливаются, нагреваются в вакууме и выдерживаются в течение заданного времени. При этом в результате локальной пластической деформации и последующей диффузии материалов соединяемых деталей друг в друга образуется монолитное сварное соединение.

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Перечислите способы сварки давлением с нагревом.
2. В чем состоит суть кузнечной сварки?
3. В чем состоит суть УЗС?
4. Каковы основные свойства ультразвука, используемые при УЗС?
5. В чем состоят достоинства УЗС?
6. Каковы основные параметры режима УЗС?
7. Каковы области применения УЗС?
8. В чем состоит суть классической сварки трением и инерционной сварки?

9. В чем состоят преимущества сварки трением по сравнению с другими способами?
10. В чем заключается подготовка деталей к сварке трением?
11. Где применяется сварка трением?
12. Что такое газопрессовая сварка?
13. Какой процесс называется высокочастотной сваркой?

## Тема № 8 Сварка давлением без нагрева

### *Ключевые вопросы темы*

1. Холодная сварка.
2. Сварка взрывом.
3. Магнитно-импульсная сварка.

*Ключевые понятия:* способ соединения деталей при комнатной и даже отрицательной температуре, позволяющий получать биметаллические конструкции, электрическая энергия непосредственно преобразуется в механическую.

*Литература:* [1, с. 177–198].

### *Методические рекомендации*

**Холодная сварка.** Холодная сварка – это способ соединения деталей при комнатной и даже отрицательной температуре без нагрева внешними источниками. Сварка осуществляется специальными устройствами, вызывающими одновременную направленную деформацию предварительно очищенных поверхностей и нарастающее (до определенной степени) напряженное состояние, при котором образуется монолитное высокопрочное соединение.

Холодной сваркой можно соединять детали из алюминия, меди, свинца, цинка, никеля, серебра, кадмия, железа и других металлов. Особенно велико преимущество холодной сварки по сравнению с прочими способами сварки при соединении деталей из разнородных металлов, чувствительных к нагреву или образующих интерметаллиды.

**Сварка взрывом.** Сварка взрывом – это сравнительно новый и перспективный технологический процесс, позволяющий получать биметаллические конструкции практически неограниченных размеров из разнообразных металлов

и сплавов, в том числе из тех, сварка которых другими способами затруднительна.

Магнитно-импульсная сварка. Магнитно-импульсная сварка металлов основана на использовании сил электромеханического взаимодействия между вихревыми токами, наведенными в стенках свариваемой детали при пересечении их силовыми магнитными линиями импульсного магнитного поля, и самим магнитным потоком. При этом электрическая энергия непосредственно преобразуется в механическую, и импульс давления магнитного поля действует на деталь без участия какой-либо передающей среды.

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Каковы основные способы сварки давлением без нагрева?
2. Что такое холодная сварка?
3. В чем заключаются достоинства и недостатки холодной сварки?
4. Каковы основные области применения холодной сварки?
5. В чем состоят особенности подготовки деталей к холодной сварке?
6. Каковы основные параметры режима холодной сварки?
7. Перечислите разновидности способов холодной сварки.
8. В чем состоит суть сварки взрывом?
9. В чем состоят достоинства сварки взрывом?
10. В чем состоит суть магнитно-импульсной сварки?
11. В чем заключается суть диффузионной сварки?
12. В чем состоят достоинства диффузионной сварки?
13. В чем заключаются недостатки диффузионной сварки?

### **Тема № 9 Пайка, ее физико-химические особенности, технология и технологический процесс**

#### *Ключевые вопросы темы*

1. Технология пайки мягкими и твердыми припоями.
2. Разновидности припоев и паяных швов.
3. Изучить приемы выполнения паянных швов.

*Ключевые понятия:* соединение деталей в твердом нагретом состоянии, мягкими припоями, твердыми припоями, удаления оксидов с поверхности под пайку, условия смачивания поверхности паяемого металла, снижением поверхностного натяжения, улучшения растекания жидкого припоя.

*Литература: [4, с. 163–210].*

### *Методические рекомендации*

Пайкой называется образование соединения с межатомными связями путем нагрева соединяемых материалов ниже температуры их плавления, смачивания их припоем, затекания припоя в зазор и последующей его кристаллизации

Способы пайки объединяют в группы по классификационным признакам: формированию паяного шва, удалению оксидной пленки, по источнику нагрева, осуществлению давления на детали и по одновременности выполнения паяемых соединений изделия с соответствующим оснащением, состоящим из нагревательного оборудования и инструмента, оснастки, средств механизации, автоматизации и роботизации. К приемам операции пайки относятся: температурный режим пайки, термический цикл пайки, способ введения припоя и контактных прослоек, флюсовых и газовых средств, приложения давления и др.

### *Вопросы для самоконтроля*

1. Что такое пайка? Отличие пайки от сварки.
2. Как подготовить изделие для пайки мягкими припоями?
3. Какие мягкие припои и флюсы применяют для пайки стальных деталей?
4. Как и чем выполняется пайка мягкими припоями?
5. Как выполняется пайка твердыми припоями?
6. Что такое лужение и какими способами его выполняют?
7. Какие требования безопасности труда надо соблюдать при пайке мягкими и твердыми припоями?
8. Что такое припой? Отличие твердых припоев от мягких.
9. Назначение флюсов?
10. Какова последовательность операций при пайке?

## 2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Практические занятия. Посещаемость занятий и отмечается в учетной карточке, которую ведет преподаватель. Отчет о проработке каждой темы оформляется студентом индивидуально, включает в себя краткий конспект изучаемой проблемы и предъявляется преподавателю в конце занятия. Преподаватель, по завершению занятия, подводит итоги по изучаемой теме.

Самостоятельная работа студентов. В период обучения студенты должны самостоятельно контролировать усвоение материала лекций, разделов программы, выносимых на самостоятельную проработку, а также предполагает подготовку к экзамену.

В ходе самостоятельной подготовки студентов к занятию необходимо не только воспользоваться литературой, рекомендованной преподавателем, но и проявить самостоятельность в отыскании новых источников, интересных фактов, статистических данных, связанных с изучаемой проблематикой семинарского занятия.

Тематический план практических (ПЗ) занятий представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Объем (трудоемкость освоения) и структура ПЗ

| Номер темы | Содержание практического занятия    |
|------------|-------------------------------------|
| 1          | Визуальный и измерительный контроль |
| 2          | Радиографическая дефектоскопия      |
| 3          | Ультразвуковая дефектоскопия        |
| 4          | Магнитная дефектоскопия             |
| 5          | Вихретоковая дефектоскопия          |
| 6          | Капиллярная дефектоскопия           |
| 7          | Контроль течеисканием               |



## Практическое занятие № 1 **Визуальный и измерительный контроль**

*Цель:* получить знания, навыки и умения по визуальному и измерительному контролю материалов, предназначенных для изготовления деталей и элементов сварных узлов для выявления поверхностных трещин, расслоений, закатов, забоин, рисок, раковин и других дефектов.

*Задание по практической работе:*

Проанализируйте и изучите операции визуального и измерительного контроля на следующих стадиях изготовления сварных конструкций:

1. Входной контроль деталей.
2. Изготовление деталей и элементов сварных узлов.
3. Подготовка деталей и элементов сварных узлов к сборке и сварке.
4. Сборка деталей и элементов сварных узлов под сварку.
5. Сварка.
6. Контроль швов и готовых сварных соединений.
7. Исправление дефектных сварных соединений.

*Методические рекомендации:*

Визуальный и измерительный контроль деталей и элементов сварных узлов выполняют в целях установления соответствия качества их изготовления требованиям производственно-технологической и нормативной технической документации, а также техническим условиям.

Визуальный и измерительный контроль материалов, предназначенных для изготовления деталей и элементов сварных узлов, производят в целях выявления поверхностных трещин, расслоений, закатов, забоин, рисок, раковин и других дефектов.

*Контрольные вопросы:*

1. Какие структурные зоны формируются в сварном соединении стали при сварке плавлением?
2. Какой фактор определяет ширину структурных зон в сварном соединении?
3. Что такое участок неполного расплавления сварного соединения?
4. Каковы температурные границы участка рекристаллизации сварного соединения стали при сварке плавлением?
5. Назовите наиболее распространенные виды наружных и внутренних дефектов сварных соединений.
6. Каковы причины возникновения напряжений и деформаций при сварке?

7. Какие способы уменьшения сварочных деформаций вы знаете?
8. Каковы основные причины образования наружных и внутренних дефектов сварных соединений?
9. Как дефекты влияют на работоспособность сварных конструкций?

## Практическое занятие № 2 Радиографическая дефектоскопия

*Цель:* получить знания, навыки и умения по выявлению внутренних дефектов изделий основано на способности рентгеновских лучей проникать через различные материалы и поглощаться в них в разной степени в зависимости от толщины и вида материала, а также энергии излучения.

*Задание по практической работе:*

1. Установите зависимость толщина материала. Рассмотрим влияние толщины контролируемого материала на чувствительность радиографического метода. При контроле материалов толщиной до 3 мм «мягкие» составляющие излучения ослабляются незначительно, что способствует снижению четкости изображения дефекта и чувствительности метода.
2. Изучите форму дефектов и их ориентацию в шве. Дефекты (непровары), имеющие прямолинейные грани, ориентированные параллельно направлению распространения излучения, выявляются более четко вследствие высокой резкости изображения их границ в отличие от дефектов шаровой формы, таких как поры цилиндрической (шлаковые включения) или какой-либо другой формы (рис. 3.12, в).
3. Исследуйте фокусное расстояние. При уменьшении фокусного расстояния рентгеновской трубки излучение, как и при уменьшении энергии, ставится более «мягким», вследствие чего повышается чувствительность данного метода контроля дефектов.
4. Установите зависимость от типа рентгеновской пленки. В зависимости от типа пленки, определяемого размером зерен ее структуры, чувствительность радиографического метода контроля при прочих равных условиях (энергия излучения, вид и толщина материала) может изменяться. Пленки, обеспечивающие повышенную чувствительность этого метода, имеют мелкозернистую структуру и требуют более продолжительного экспонирования.

### *Методические рекомендации:*

Для обнаружения внутренних дефектов в сварных швах по одну сторону контролируемого сварного соединения устанавливают источник излучения – рентгеновскую трубку или радиоактивный изотоп, а по другую – детектор, регистрирующий излучение, прошедшее через дефект. В качестве детектора могут использоваться рентгеновская пленка, электроннооптический преобразователь, ксерорадиографическая пластина, фотобумага и т.д. Излучение от источника, проходя через сварное соединение, на дефектном и бездефектном его участках будет поглощаться по-разному и поступать в детектор с неодинаковой интенсивностью.

Излучение от источника, проходя через сварное соединение, на дефектном и бездефектном его участках будет поглощаться по-разному и поступать в детектор с неодинаковой интенсивностью. При прохождении через дефектные участки, содержащие газ или неметаллические включения, излучение ослабляется меньше, чем в сплошном металле. Разность интенсивностей излучения регистрируется детектором.

### *Контрольные вопросы:*

1. Каковы причины рассеяния ионизирующего излучения?
2. На каком физическом эффекте основано выявление дефектов радиографическим методом?
3. Какие факторы влияют на чувствительность радиографического метода контроля?
4. Назовите основные типы рентгеновских пленок.
5. Какие эталоны используются при просвечивании?

## **Практическое занятие № 3 Ультразвуковая дефектоскопия**

*Цель:* получить знания, навыки и умения по физическим основам и технологией проведения замеров толщин стальных изделий с использованием ультразвукового толщиномера.

### *Задание по практической работе:*

1. Проведите предварительную подготовку поверхности контролируемого изделия в местах установки преобразователя для чего очистите с помощью металлической щетки контактирующую с преобразователем поверхность изделия от отслаивающейся окалины, защитных покрытий и других грубых микронеровностей поверхности;

2. Нанесите слой контактной смазки на поверхность контролируемого изделия в местах установки преобразователя.
3. Установите преобразователь на поверхность изделия, хорошо притерев и прижав контактные поверхности, добейтесь засветки точки на индикаторе справа после значащих цифр и устойчивых минимально возможных показаний цифрового индикатора, считайте показания.
4. Производите проверку юстировки толщиномера не реже, чем через 8 часов работы, а также при замене преобразователей.
5. Засветка точек после двух старших разрядов цифрового индикатора при нажатой кнопке указывает на разряд батареи, при этом, если кнопка отжата, толщиномер автоматически выключается. В этом случае батарею необходимо заменить.

#### *Методические рекомендации:*

Ультразвуковая дефектоскопия основана на свойстве ультразвуковых волн направленно распространяться в средах и отражаться от их границ или нарушений сплошности (дефектов), обладающих другим акустическим сопротивлением. Для ультразвукового контроля применяют колебания частотой 0,5–25 МГц.

В практике контроля качества сварных соединений используют в основном эхо-импульсный метод (или метод эхо-локации), который заключается в «прозвучивании» сварного соединения короткими импульсами ультразвука и регистрации эхо-сигналов и, отраженных соответственно от нижней поверхности детали и дефекта к приемнику. Признаком наличия дефекта в сварном соединении служит появление эхо-сигнала на экране дефектоскопа.

#### *Контрольные вопросы:*

1. На каких свойствах основана ультразвуковая толщинометрия.
2. Что такое импульсный эхо-метод?
3. Поясните назначение промежуточной, жидкой среды между преобразователем (искателем) и изделием.
4. Поясните конструкцию раздельно-совмещенного искателя.
5. Назовите основные узлы эхо-импульсного толщиномера.

#### **Практическое занятие № 4 Магнитная дефектоскопия**

*Цель:* получить знания, навыки и умения по физическим основам и практическим применением магнитопорошковой дефектоскопии.

*Задание по практической работе:*

1. Осмотреть детали (образцы) подлежащие контролю визуально и с использованием лупы.
2. Провести намагничивание изделия способом остаточной намагниченности (СОН) путем помещения его в соленоид.
3. Обработать намагниченное изделие, поливая его слабой струей магнитной суспензии.
4. Сразу после обработки изделия магнитной суспензией провести его визуальный осмотр и если есть необходимость с использованием лупы.
5. Описать выявленные дефекты.
6. Провести размагничивание проконтролированных деталей.

#### *Методические рекомендации:*

Магнитные методы контроля основаны на обнаружении магнитных потоков рассеяния, возникающих при наличии дефектов в намагниченных сварных соединениях из ферромагнитных материалов.

Магнитный поток, распространяясь по сварному соединению и встречая на своем пути дефект, огибает его, так как магнитная проницаемость дефекта значительно ниже магнитной проницаемости основного металла. Вследствие этого часть силовых линий магнитного поля вытесняется дефектом на поверхность, и образуется местный магнитный поток рассеяния. Дефекты, которые вызывают возмущение в распределении силовых линий магнитного поля без образования местного потока рассеяния, невозможно обнаружить методами магнитной дефектоскопии. Возмущение магнитного потока тем сильнее, чем большее препятствие представляет собой дефект.

#### *Контрольные вопросы:*

1. За счет чего при магнитопорошковой дефектоскопии выявляются дефекты?
2. Можно ли методом магнитопорошковой дефектоскопии обнаруживать подповерхностные дефекты?
3. Что такое способ приложенного поля?
4. Что такое способ остаточной намагниченности?
5. Что такое циркуляционное и полюсное намагничивание?

### **Практическое занятие № 5 Вихретоковая дефектоскопия**

*Цель:* получить знания, навыки и умения по использованию электромагнитного метода для измерения толщины покрытий на стали.

### *Задание по практической работе:*

1. Провести процедуру калибровки на материалах без покрытия:
  - при включении прибора дисплей показывает CAL 1;
  - примерно через три секунды показание дисплея измениться на 0.В правом верхнем углу окошка дисплея светится указатель " $\mu\text{m}$ ":
  - теперь приложите зонд к материалу без покрытия;
  - величина CAL 1 считается введенной, как только появляется звуковой сигнал;
  - затем на дисплее появляется CAL 2;
  - примерно через три секунды Лептоскоп предлагает следующий вид калибровочной пленки – 60 мкм для наложения на базовый материал.В правом верхнем углу окошка дисплея снова светится указатель " $\mu\text{m}$ ":
  - положите соответствующую калибровочную пленку на материал без покрытия и приложите зонд. Величина калибровки введена, как только раздается звуковой сигнал.
2. Теперь прибор работает автоматически в режиме постоянного измерения.

Вывод измеренных значений производится примерно один раз в секунду, когда зонд приложен. При производстве измерения указатель " $\mu\text{m}$ " мигает.

При отведении зонда мигание указателя прекращается и последнее измеренное значение появится на дисплее.
3. После завершения процедуры калибровки провести измерения толщин покрытий (пленок) на контрольных образцах

### *Методические рекомендации:*

Физические основы метода вихретоковой дефектоскопии можно пояснить следующим образом. Если установить рядом две катушки индуктивности L1 и L2 и по катушке L1 пропустить ток, то при изменении силы тока в ней или взаимного расположения катушек в катушке L2 будет наводиться электродвижущая сила.

Этот метод позволяет обнаруживать поверхностные и подповерхностные трещины высотой 0,1–0,2 мм и протяженностью более 1 мм, расположенные на глубине до 1 мм.

Вихретоковая дефектоскопия может использоваться для измерения толщины гальванических, лакокрасочных и теплоизоляционных покрытий, стенок труб, пустотелых деталей и тонколистовых конструкций при одностороннем доступе к ним, а также диаметров прутков и проволоки.

*Контрольные вопросы:*

1. Что лежит в основе токовихревого метода неразрушающего контроля?
2. Какие параметры объекта контроля влияют на результаты измерений при токовихревом методе?
3. Какие особенности метода приводят к ограничениям его применения?
4. Для каких целей можно применять метод в дефектоскопии?
5. Обоснуйте применимость метода в структуроскопии.

**Практическое занятие № 6 Капиллярная дефектоскопия**

*Цель:* получить знания, навыки и умения по методическим подходам и технологическим приемам при проведении цветной и люминесцентной дефектоскопии.

*Задание по практической работе:*

1. На очищенную поверхность из аэрозольного баллона № 1 периодически наносят пенетрант с расстояния примерно 300 мм в несколько слоев с перерывами не менее 2 мин.
2. Изделие промывают теплой водой или протирают мокрой ветошью. Окончательно его обильно обмывают содержимым аэрозольного баллона № 2, выдерживают 30–60 с, после этого очищающий состав быстро удаляют теплой водой.
3. Контролируемый участок поверхности протирают марлевым тампоном, слегка смоченным очищающим составом, после чего тампон рассматривают (в случае применения цветных материалов – при дневном свете, люминесцентных – при ультрафиолетовом облучении).
4. Изделие протирают сухой ветошью или сушат в потоке чистого воздуха, причем для удаления влаги время сушки должно быть минимальным (обычно 3–5 мин).
5. После сушки на поверхность изделия из аэрозольного баллона № 3 наносят проявляющий лак, тщательно взбалтывая его перед этим. Во избежание образования крупных капель лака, ухудшающих качество проявления, струю аэрозоля включают и выключают в стороне от изделия. Проявитель наносят тонким, однородным, блестящим слоем, после чего сушат в течение 15–30 мин. Для получения наивысшей чувствительности контроля через 15 мин после начала сушки изделие подогревают.
6. Осматривают изделие при дневном свете или ультрафиолетовом облучении.

### *Методические рекомендации:*

Капиллярные методы контроля предназначены для обнаружения нарушений сплошности в поверхностных слоях сварных соединений. В большинстве случаев согласно техническим требованиям выявлению подлежат настолько малые дефекты сварных соединений, которые заметить при визуальном осмотре почти невозможно.

Методы капиллярной дефектоскопии позволяют выявлять разного рода трещины, свищи, микропоры и другие дефекты, выходящие на поверхность, за счет повышения контрастности индикаторного рисунка, образующегося на дефектах на фоне поверхности контролируемого объекта.

### *Контрольные вопросы:*

1. Каково влияние основных видов загрязнений на технологические характеристики методов капиллярной дефектоскопии?
2. Какие способы подготовки изделий к капиллярной дефектоскопии вы знаете?
3. Назовите основные методы заполнения полостей трещин пенетрантами.
4. Какие способы нанесения проявителей обеспечивают наивысшую чувствительность капиллярной дефектоскопии?
5. Каковы основные характеристические признаки индикаторных следов дефектов?

## **Практическое занятие № 7 Контроль течением**

*Цель:* получить знания, навыки и умения по теоретическим основам и практическим подходам к применению акустических ультразвуковых течееискателей для поиска протечек.

### *Задание по практической работе:*

1. Расположить устройство на расстоянии 0,1–1,0 м и направить на испытываемый конструкцию (трубопровод), находящийся под давлением воздуха не менее 0,01 МПа.
2. Перемещать устройство вдоль испытываемой конструкции выдерживая расстояние 0,1–1,0 м.
3. При появлении характерного шума (шипения, свиста) в наушниках, изменяя направление оси датчика (преобразователя), добиться максимальной громкости и максимальных показаний индикатора. В случае чрезмерной громкости сигнала уменьшить его уровень вращением диска регулятора.



4. Повторить п. 6 режиме локального поиска.
5. Точка пересечения оси датчике (преобразователя) с наружной поверхностью конструкции укажет место утечки воздуха из системы.
6. Отметить мелом место утечки и продолжить поиск других подобных мест аналогичным образом.
7. По окончании работы отсоединить головные телефоны и датчик (преобразователь) от устройства.

*Методические рекомендации:*

Основным эксплуатационным требованием к конструкциям замкнутого типа (сосудам, трубопроводам) является герметичность (непроницаемость) их стенок и сварных соединений.

Испытание конструкций на герметичность, или контроль течеисканием, выполняют с использованием пробных веществ (жидкостей или газов), которые легко проходят через сквозные дефекты и хорошо различаются визуально или с помощью приборов – течеискателей и других средств регистрации.

Контроль течеисканием позволяет обнаруживать в сварных соединениях и основном металле сварных узлов и конструкций следующие виды сквозных дефектов: трещины, непровары, поры, свищи, прожоги и др. Размеры сквозных дефектов ввиду невозможности измерения их линейных размеров условно оцениваются потоком пробного вещества, протекающего через дефект в единицу времени.

*Контрольные вопросы:*

1. Какие изделия подвергаются контролю на герметичность?
2. Причины, по которым контроль герметичности может не показать реального состояния конструкции.
3. Что такое манометрический метод контроля герметичности?
4. Что такое акустический метод контроля герметичности?
5. Какова методика поиска дефектов акустическими течеискателями.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черепяхин, А. А. Технология конструкционных материалов. Сварочное производство: учебник / А. А. Черепяхин, В. М. Виноградов, Н. Ф. Шпунькин. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 269 с.
2. Дедюх, Р. И. Технология сварочных работ: сварка плавлением: учеб. пособие / Р. И. Дедюх. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 169 с.
3. Технология сварочных работ: теория и технология контактной сварки: учеб. пособие / Р. Ф. Катаев, В. С. Милютин, М. Г. Близник; под науч. ред. М. П. Шалимова. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 146 с.
4. Фетисов, Г. И. Сварка и пайка в авиационной промышленности: учеб. пособие / Г. П. Фетисов. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 229 с.
5. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, А. В. Ковалев [и др.]; под ред. В. В. Клюева. – Москва: Машиностроение, 2005. – 656 с.
6. Овчинников, В. В. Контроль качества сварных соединений: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В. В. Овчинников. – 2-е изд., стер. – Москва: Изд. центр «Академия», 2012. – 208 с.
7. Овчинников, В. В. Дефектация сварных швов и контроль качества сварных соединений: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В. В. Овчинников. – 3-е изд., стер. – Москва: Издательский центр «Академия», 2017. – 224 с.

Локальный электронный методический материал

Марк Борисович Лещинский

## СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ И ПАЙКИ

Редактор Е. Билко

Уч.-изд. л. 2,3. Печ. л. 2,2

Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет»,  
236022, Калининград, Советский проспект, 1