

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра строительных конструкций

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к лабораторным работам по дисциплине

# **«МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И СВАРКА»**

для студентов специальностей

**70 02 01** «Промышленное и гражданское строительство»,  
**70 01 01** «Производство строительных изделий и конструкций»  
дневной формы обучения

Брест 2004

Методические указания составлены в соответствии с учебными программами дисциплин «Металловедение и сварка» для специальностей 70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство», 70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций» и действующими нормативными документами на проектирование стальных и железобетонных конструкций.

Они могут быть использованы студентами дневного обучения для выполнения лабораторных работ.

Указания содержат: основные понятия теории сплавов, краткое описание фаз и структурных составляющих системы железо-углерод, техники микроскопического анализа; характеристики источников питания для ручной электродуговой сварки с подробным анализом применения сварочного трансформатора; описание устройства и области применения сварочных автоматов; полный обзор оборудования и основных способов газовой сварки; краткую характеристику основных способов термической резки, описание техники и области применения кислородной резки, обзор способов плазменно-дуговой резки; основные сведения о сварочных деформациях и перемещениях, один из вариантов вычисления общих деформаций в сварном тавровом элементе и развёрнутую классификацию методов уменьшения деформаций и перемещений от сварки.

Методические указания рассчитаны на студентов, знакомых с основными терминами и постулатами физики, химии и электротехники, а также с некоторыми положениями расчёта стальных и железобетонных конструкций.

Составители: Драган В.И., профессор, к.т.н.  
Мухин А.В., профессор, к.т.н.  
Черноиван Н.В., доцент, к.т.н.  
Ляликов С.М., доцент, к.т.н.

Рецензент: директор Республиканского унитарного научно-исследовательского и опытного-конструкторского предприятия «Научно-технический центр» к.т.н. Найчук А.Я.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. МИКРОСТРУКТУРЫ УГЛЕРОДИСТЫХ И ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ.....	4
2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ РУЧНОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ .....	11
3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. УСТРОЙСТВО СВАРОЧНОГО ТРАКТОРА И НАСТРОЙКА ЕГО НА ЗАДАННЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ.....	17
4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОВОЙ СВАРКИ .....	20
5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5. ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КИСЛОРОДНОЙ И ПЛАЗМЕННО-ДУГОВОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ.....	26
6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6. СВАРОЧНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ .....	31

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

## МИКРОСТРУКТУРЫ УГЛЕРОДИСТЫХ И ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ

Цель работы: изучить разновидности структур различных сталей и сплавов.

Оборудование и материалы: Металлографический микроскоп МКИ-2М-1, образцы различных сталей и сплавов, травильный раствор, компьютерный комплекс для металлографии.

### 1. Сведения из теории

#### 1.1. Основные понятия теории сплавов

Ввиду разнообразных специфических свойств в технике обычно применяют сплавы различных химических элементов. Сплавами называют вещества, полученные преимущественно сплавлением нескольких металлов или металлов с неметаллами. Для сплавов характерен в основном металлический тип связи.

Компонентами называются вещества, образующие систему. Компонентами могут быть металлы и неметаллы, а также устойчивые, т.е. не диссоциирующие на составные части в рассматриваемом интервале температур, вещества – химические соединения. Так, для цветных сплавов часто компонентами являются металлы (например, медь с цинком образует латунь), а для железоуглеродистых – металлы с неметаллами (железо с углеродом образуют чугун, сталь). Компонент, преобладающий в сплаве, называется основным. Компоненты, введенные в сплав для придания нужных ему свойств, называются легирующими.

Компоненты в сплавах могут образовывать следующие фазы: 1) жидкие растворы; 2) твердые чистые металлы; 3) твердые растворы; 4) химические соединения.

Фазой называют однородную часть системы, имеющую одинаковый состав, одно и то же агрегатное состояние, и отделенную от остальных частей системы поверхностью раздела, при переходе через которую структура и свойства вещества меняются скачкообразно. Совокупность фаз, находящихся в равновесии при определенных внешних условиях (давлении, температуре), называют системой.

Для нас представляют интерес твердые растворы замещения и внедрения. Твердый раствор замещения образуется замещением части атомов растворителя в его кристаллической решетке атомами растворенного компонента. Если оба компонента имеют однотипные кристаллические решетки, а атомные диаметры отличаются не более чем на 18%, то возможна неограниченная растворимость, например, для сплавов железо - хром, золото - серебро и др.

Твердый раствор внедрения образуется путем внедрения атома растворенного компонента в междоузлие (пустоты) кристаллической решетки. В гранецентрированной кубической (ГЦК) решетке (рис. 1) такая пустота находится в центре куба. В объемноцентрированной кубической (ОЦК) решетке (рис. 2) центр пустоты находится на грани. Твердые растворы внедрения характерны для составов металлов с элементами 1-го и 2-го периодов, имеющих малые атомные диаметры (C, B, N). Концентрация элементов в твердом растворе обычно невелика.

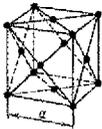


Рисунок 1.  
Гранецентриро-  
ванная кубическая  
(ГЦК) решетка.

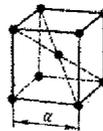


Рисунок 2.  
Объемно центриро-  
ванная кубическая  
(ОЦК) решетка.

Образование твердых растворов сопровождается искажением кристаллической решетки растворителя. Это искажение тем больше, чем больше разница в размерах

атомов и строении их кристаллических решеток, чем выше концентрация растворенного компонента. При чрезмерном искажении решетки дальнейшая растворимость становится невозможной. Наступает предельная растворимость, при которой дополнительно вводимые атомы не могут войти в решетки и образуют самостоятельную фазу с кристаллической решеткой, отличной от решетки растворителя.

Химические соединения образуются при сплавлении различных металлов или металлов с неметаллами, а также при выделении из твердых растворов из-за понижения растворимости второго компонента. Химическое соединение - это кристаллическое тело, имеющее кристаллическую решетку с упорядоченным расположением атомов, которая отлична от решеток элементов, образующих это соединение. Химические соединения, как и чистые металлы, имеют постоянную температуру плавления и, как правило, обладают большой твердостью и хрупкостью.

Механическая смесь - это гетерофазная структура, образующаяся из нескольких компонентов, когда при кристаллизации компоненты не способны к взаимному растворению в твердом состоянии и не вступают в химическое взаимодействие с образованием соединения. Механические смеси могут состоять из кристаллов (зерен) чистых компонентов, насыщенных твердых растворов и химических соединений. При образовании механической смеси кристаллические решетки фаз не изменяются.

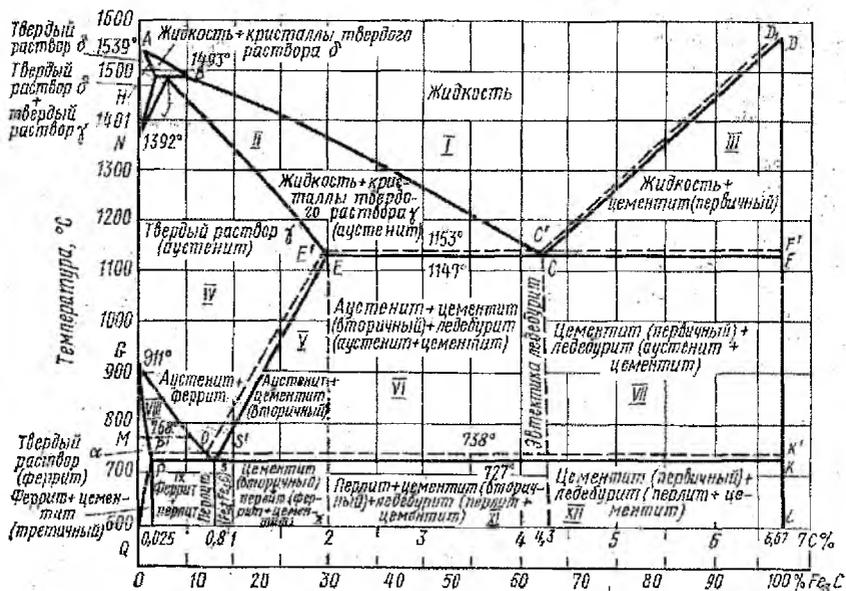


Рисунок 3. Диаграмма состояния системы железо – углерод

Механическая смесь двух видов кристаллов, одновременно кристаллизующихся из жидкости, называется эвтектикой. Механическая смесь двух видов кристаллов, одновременно кристаллизующихся из твердого раствора, называется эвтектоидом.

Структура – взаимное расположение фаз в сплаве, их форма и размеры.

Структурные составляющие сплава – обособленные части сплава, имеющие одинаковое строение и характерные свойства.

## 1.2. Фазы и структурные составляющие системы железо – углерод

В зависимости от содержания углерода и температуры в системе железо - углерод наблюдаются однофазные структуры образования - жидкий сплав углерода и железа, твердые растворы углерода в железе - феррит и аустенит, химическое соединение железа и углерода - цементит, структурно свободный углерод - графит, а также двухфазные структурные составляющие - перлит и ледебурит.

**Феррит (Ф)** - твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -железе, имеет ОЦК решетку (рис. 2). Максимальная растворимость углерода в  $\alpha$ -железе при температуре 727°C составляет 0,02%. Феррит магнитен, на диаграмме состояния Fe-C (рис.3) занимает область GPQ. Он характеризуется низкой прочностью ( $\sigma_n=250$  МПа,  $\sigma_{0,2}=120$  МПа) и твердостью (80...100 НВ), высокой пластичностью ( $\delta=50\%$ ,  $\psi=80\%$ ).

**Аустенит (А)** - твердый раствор внедрения углерода в  $\gamma$ -железе, имеет ГЦК решетку (рис. 1). Предельная растворимость углерода в  $\gamma$ -железе при температуре 1147°C составляет 2,14%. Аустенит немагнитен, на диаграмме состояния Fe-C занимает область AESG. Он имеет твердость 160 НВ при высокой пластичности ( $\delta=40...50\%$ ), низкий предел текучести.

**Цементит (Ц)** - химическое соединение железа с углеродом (карбид железа Fe<sub>3</sub>C) содержит 6,67% С. Цементит имеет сложную ромбическую решетку с плотной упаковкой атомов. Температура плавления цементита не установлена и принимается равной 1252 °С. Цементит характеризуется высокой твердостью (>800НВ) и очень низкой пластичностью. Он является метастабильной фазой и при нагреве распадается с выделением свободного графита. В зависимости от условий образования различают цементит первичный (Ц<sub>1</sub>), который образуется из жидкости при затвердевании расплава, вторичный (Ц<sub>2</sub>) - образуется при распаде аустенита и третичный (Ц<sub>3</sub>) - образуется при выделении углерода из феррита.

**Перлит (П)** - двухфазная (эвтектоидная) механическая смесь феррита и цементита, содержащая 0,83% С, образуется при 727 °С в результате распада аустенита в процессе его охлаждения. Перлит может быть пластинчатым (состоящим из чередующихся пластинок цементита и феррита) и зернистым, что определяет механические свойства перлита. При комнатной температуре зернистый перлит имеет прочность  $\sigma_n=800$  МПа, пластичность  $\delta=15\%$ , твердость 160...200 НВ.

**Ледебурит (Л)** - двухфазная (эвктическая) механическая смесь аустенита и цементита. Образуется в результате кристаллизации жидкого расплава, содержащего 4,3% С при температуре 1147 °С. Твердость ледебурита 600...700 НВ. Он очень хрупок. Так как при температуре ниже эвтектоидной (727 °С) аустенит превращается в перлит, то ледебурит ниже эвтектоидной прямой РК состоит из цементита и перлита.

В зависимости от содержания углерода железоуглеродистые сплавы делят на техническое железо (содержание углерода от 0 до 0,02%), стали (от 0,02 до 2,14%) и чугуны (от 2,14 до 6,67%). Стали, в свою очередь, делят на доэвтектоидные (С<0,8%), эвтектоидные (С=0,8%) и заэвтектоидные (С>0,8%). Доэвтектоидные стали используются преимущественно в качестве конструкционных, эвтектоидные и заэвтектоидные – в качестве инструментальных материалов. Структура доэвтектоидных сталей (рис. 4) состоит из феррита (белые включения) и перлита (темные включения). С увеличением содержания углерода количество перлита увеличивается, а феррита - уменьшается. Структура эвтектоидной стали (рис. 5) на 100% состоит из перлита, а заэвтектоидной (рис. 6) - из перлита (темные участки) и цементита (светлые участки в виде сетки по границам зерен).

На диаграмме состояния представлены так называемые белые чугуны, в которых весь углерод находится в связанном состоянии в составе цементита. Эти чугуны в зависимости от содержания углерода и структуры классифицируют на доэвтектиче-

ские (массовая доля углерода меньше 4,3%), эвтектические (массовая доля углерода равна 4,3%) и заэвтектические (массовая доля углерода 4,3...6,67%).

Они практически не поддаются обработке резанием и используются для последующего передела в сталь или ковкий чугун.

Специальным легированием и (или) замедленным охлаждением можно создать условия, при которых кристаллизация чугунов будет сопровождаться выделением из железоуглеродистого расплава углерода в свободном состоянии в виде графита, или (и) получают развитие процессы распада цементита с выделением структурно свободного графита по реакциям  $C \rightarrow A + G$ ;  $C \rightarrow F + G$ .

Такие чугуны, в которых весь углерод либо его значительная часть находятся в свободном состоянии - в виде графита, называются серыми.

По структуре серые чугуны отличаются от стали только тем, что в них имеются графитовые включения, предопределяющие специфические свойства чугунов.

Графит в чугунах может быть в четырех основных формах:

- в виде лепестков, пластинок - пластинчатый графит;
- в виде червеобразных прожилок - вермикулярный графит;
- в виде округлых включений - шаровидный графит;
- в виде равноосных компактных, но не округлых форм - хлопьевидный графит.

Свойства чугунов зависят от свойств металлической основы (по этому признаку серые чугуны разделяют на перлитные, ферритоперлитные и ферритные), количества и характера графитовых включений.

По форме графита различают чугун с пластинчатым графитом - обычный серый чугун (СЧ), с червеобразным графитом - серый вермикулярный (ЧВГ), чугун с шаровидным графитом - высокопрочный (ВЧ) и чугун с хлопьевидным графитом - ковкий чугун (КЧ).

### 1.3. Техника микроскопического анализа.

К числу методов, используемых для исследования структуры металлов и сплавов, относятся:

- макроскопический анализ;
- микроскопический анализ;
- микрорентгеноспектральный анализ.

Макроскопический анализ (макроанализ) заключается в определении строения металла невооруженным глазом или через лупу при небольших увеличениях (до 30 раз). Макроструктуру можно изучать непосредственно на поверхности металла, в изломе заготовки, а также после предварительной подготовки исследуемой поверхности, заключающейся в ее шлифовании и травлении специальными реактивами. Поверхность образца (темплета), подготовленная для исследования макроструктуры, называется макрошлифом.

Микроскопический анализ (микроанализ) применяют для изучения микроструктуры металлов. Микроструктурой называют внутреннее строение металла, наблюдаемое с помощью микроскопа: оптического (оптическая микроскопия) или электронного (электронная микроскопия).

Для микроанализа металлов и сплавов применяются отечественные оптические микроскопы типа МИМ-6, МИМ-7, МИМ-8, МИМ-9 и МКИ-2М-1.

Изучение структуры металлов в микроскопе возможно лишь при достаточно интенсивном отражении световых лучей от исследуемой поверхности. Поэтому поверхность образца должна быть специально подготовлена. Образец, поверхность которого подготовлена для микроанализа, называется микрошлифом.

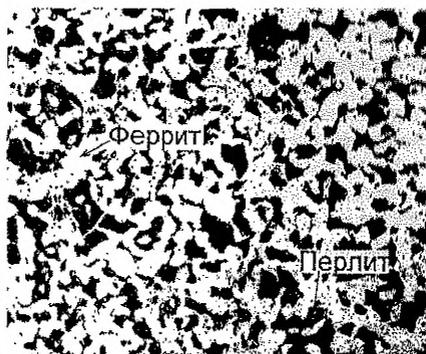


Рисунок 4. Структура доэвтектоидной стали (0,3%С) (x200)

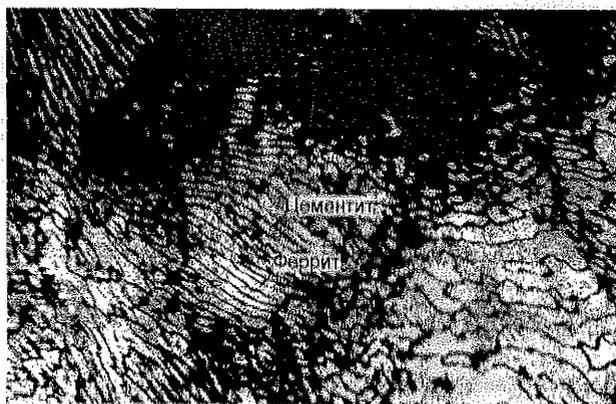


Рисунок 5. Структура эвтектоидной стали с пластинчатым перлитом (x2000)

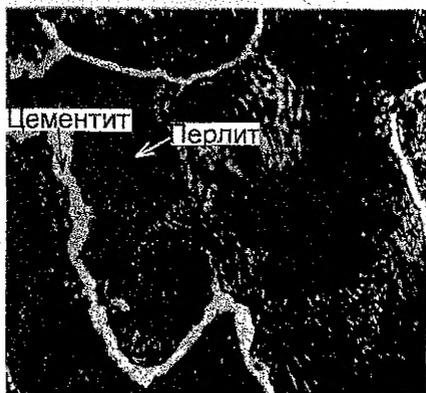


Рисунок 6. Структура заэвтектоидной стали (1,2%С) (x200)

Образец вырезают из испытуемого материала, затем с помощью напильника или шлифовального круга выравнивают поверхность, предназначенную для микроанализа. Полученную плоскую поверхность образца для удаления грубых рисков шлифуют на шлифовальной бумаге различных размеров, при этом постепенно переходят от бумаги с более крупным к бумаге с более мелким шлифовальным зерном. После шлифования на самой мелкозернистой шлифовальной бумаге поверхности образца остаются мелкие риски, которые удаляют последующим полированием. Получающаяся после полирования зеркальная поверхность под микроскопом имеет вид светлого круга и не позволяет судить о строении металла или сплава. Только неметаллические включения (например, сульфиды в стали, графит в сером чугуне) вследствие их окрашенности в различные цвета выделяются на светлом фоне полированного микрошлифа. Для выявления микроструктуры подготовленную поверхность образца травят. Под действием химически активной среды (растворов кислот, солей, щелочей и т.д.) отдельные части зерна, различные структурные составляющие травятся неодинаково. Те составляющие, которые протравятся сильнее, образуют на поверхности шлифа впадины. При попадании светового луча в такую впадину, он отразится в сторону и не попадет в объектив микроскопа. Этот участок будет казаться темным. А те участки, которые протравятся слабо, отразят свет в поле зрения микроскопа, поэтому они будут казаться светлыми. Для травления углеродистых и легированных сталей наиболее часто используют 5%-ный раствор пикриновой кислоты (тринитрофенол) в этиловом спирте и 2%-ный раствор азотной кислоты в этиловом спирте.

## 2. Устройство и работа микроскопа МКИ-2М-1

В основе работы микроскопа лежит принцип проецирования увеличенного изображения объекта в отраженном свете по методу "светлого" или "темного" поля.

Микроскоп позволяет увеличивать наблюдаемые объекты от 63 до 1250 раз. При наибольшем увеличении разрешающая способность микроскопа составляет не менее 2800 лин/мм.

Общий вид микроскопа показан на рис. 6. Несущей частью конструкции микроскопа является корпус **21** с основанием **1**. Сверху на корпусе **21** закреплена насадка бинокулярная **20**, через окуляры **18** которой оператор наблюдает изображение объекта. Для удобства оператора имеется возможность изменения угла наклона тубусной части насадки бинокулярной **20** в пределах от 0° до 45° а также изменения межосевого расстояния между окулярами **18** в диапазоне от 54 до 74 мм, осуществляемого перемещением их за выступы корпуса. Предусмотрена диоптрийная подвижка окуляров **18** вращением оправ **19**. Насадка бинокулярная **20** имеет дополнительный выход для установки телевизионной камеры **24**. Камера **24** устанавливаются через переходные тубусы.

Вывод изображения на камеру **24** осуществляется поворотом ручки **8**. Изображение, полученное телевизионной камерой **24**, передается на монитор компьютера. Это изображение посредством имеющегося программного обеспечения может быть:

- 1) записано на имеющийся носитель информации (диск, дискету и т.д.);
- 2) распечатано на принтере;
- 3) обработано и преобразовано для дальнейшего использования в электронных документах.

На левой от оператора стороне корпуса **21** расположена рукоятка **15** смены светофильтров. Рукоятка **15** имеет 4 фиксируемых положения: 1 – светофильтр ОС 12; 2 – ЗС8; 3 – СС5; 0 – без светофильтра.

Рукоятка **16**, управления полевой диафрагмой, предназначена для согласования диаметра поля осветителя и объектива.

На правой от оператора стороне корпуса **21** находится рукоятка **23** управления апертурной диафрагмой. Апертурная диафрагма служит для изменения степени заполнения светом выходного зрачка объектива, что определяет разрешающую способность микроскопа, а также освещенность контролируемого объекта.

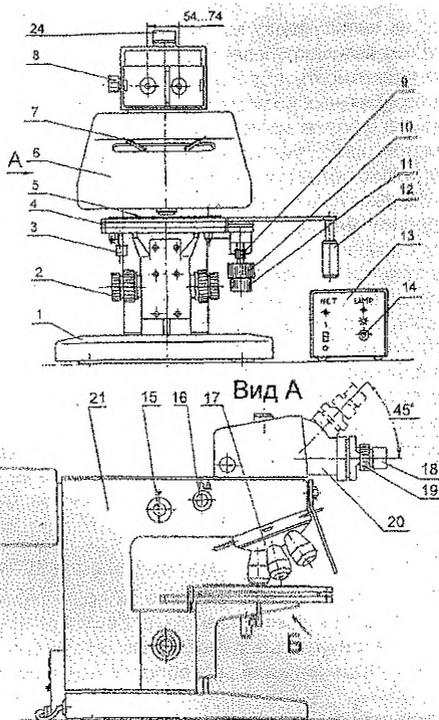


Рисунок 6. Устройство микроскопа МКИ-2М-1:

1—основание; 2—рукоятки вертикального перемещения стола; 3—ручка фиксации положения стола по координатной оси Y; 4—стол для объектов наблюдения; 5—съемная пластина; 6—прозрачный щиток; 7—ручка установки объектива; 8—ручка вывода изображения на камеру; 9—ручка отключения механической передачи; 10, 11—маховички перемещения стола в горизонтальной плоскости; 12—ручка ускоренного перемещения стола в горизонтальной плоскости; 13—источник электропитания; 14—ручка регулятора яркости освещения объекта; 15—рукоятка смены светофильтров; 16—рукоятка управления полевой диафрагмой; 17—головка револьверная с объективами; 18—окуляры; 19—оправы окуляров; 20—насадка бинокулярная; 21—корпус; 22—ручка переключения режимов освещения объекта; 23—рукоятка управления апертурной диафрагмой; 24—цифровая телекамера.

На этой же стороне корпуса 21 расположена ручка 22, при помощи которой осуществляется переключение режимов освещения объекта "темное" или "светлое" поле. Переключение режимов освещения производится перемещением ручки 22 соответственно влево или вправо от оператора до упора.

Сзади микроскопа на корпусе 21 закреплен фонарь с лампой.

Спереди на корпусе **21** находится головка револьверная **17** с закрепленными на ней пятью объективами. Предусмотрена оперативная установка любого из пяти объективов в рабочую позицию поворотом револьверной головки **17** вручную за ручки **7**.

На передней стенке корпуса закреплен прозрачный щиток **6**, защищающий рабочую зону микроскопа от оператора. Снизу на основании **1** закреплены амортизаторы. Стол **4** служит для размещения объектов наблюдения. Перемещение стола **4** в двух направлениях в горизонтальной плоскости возможно при помощи механической передачи - вращением маховичков **10** и **11**, или ускоренно, т.е. вручную, за ручку **12**. Для этого необходимо поворотом ручки **9** отключить механическую передачу. Предусмотрена также возможность фиксации положения стола **4** по координатной оси Y поворотом ручки **3** по часовой стрелке. Сверху на столе установлена съемная пластина **5** из ситалла.

Наводка микроскопа на резкое изображение объекта производится вертикальным перемещением стола **4** вращением рукояток **2**. Каждая рукоятка имеет два соосных барабана для грубого и тонкого перемещения стола **4**.

Электропитание микроскопа осуществляется от источника электропитания **13**. На передней панели источника электропитания **13** расположена ручка **14** регулятора яркости освещения объекта.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ РУЧНОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ

**Цель работы:** ознакомиться с источниками питания и изучить структурную и электромагнитную схемы трансформатора, научиться снимать внешнюю характеристику и уметь настраивать сварочный трансформатор на заданные ток и напряжение.

#### Сведения из теории

##### Назначение и классификация источников

Электрическая энергия подается в сварочную дугу от специального устройства — источника питания. Первый регулируемый сварочный источник питания был создан в 1905г. австрийским профессором Розенбергом в виде генератора поперечного поля, у которого существовала связь между изменениями сварочного тока и напряжения на дуге. Первый в мире комбинированный однокорпусный трансформатор-регулятор для ручной дуговой сварки был изобретен в 1927г. русским ученым Никитиным. В 50-х годах прошлого столетия появились сварочные выпрямители на основе селеновых диодов, а затем, в 70-е годы на основе силовых кремниевых тиристоров. Конструкция и параметры источника зависят от его технологического назначения. Источник может быть предназначен для одного из следующих способов: ручной сварки покрытым электродом, механизированной (полуавтоматической) сварки плавящимся электродом в защитном газе или механизированной (автоматической) сварки под флюсом. Если на одном рабочем месте возникает необходимость сварки различными способами, применяют более сложные универсальные источники. Перечисленные источники объединяют в группу источников общепромышленного назначения. Существенно отличаются от них конструкции так называемые специализированные источники, предназначенные для сварки неплавящимся электродом в защитном газе, для плазменной сварки и резки. Источники питания можно классифицировать в зависимости от рода тока и принципа действия. В качестве источников переменного тока используют сварочные трансформаторы и специализированные установки на их основе, в качестве источников постоянного тока — сварочные выпрямители, преобразователи и агрегаты, а также специализированные источники на базе выпрямителей.

Сварочные трансформаторы преобразуют переменное сетевое напряжение в пониженное, необходимое для сварки. Это наиболее простые и дешевые источники,

широко используемые при ручной сварке покрытыми электродами и автоматической сварке под флюсом. Специализированные установки на основе трансформаторов применяют для сварки алюминиевых сплавов неплавящимся электродом в защитном газе. Постоянный ток имеет некоторые преимущества, в частности более высокую устойчивость дуги по сравнению с дугой переменного тока. В тех случаях, когда устойчивость оказывает заметное влияние на качество сварки или на возможность сварки (сварка на малых токах, сварка электродами с фтористо-кальциевыми покрытиями, сварка в углекислом газе, наплавка под флюсом), рекомендуется использовать источники постоянного тока. Из них наиболее совершенны сварочные выпрямители, которые имеют более высокий коэффициент полезного действия, меньшую массу, более удобны в изготовлении и эксплуатации, обладают лучшими технологическими свойствами. Их применяют для ручной, полуавтоматической и автоматической сварки, а также в качестве универсальных источников. В сварочном выпрямителе переменное напряжение сети сначала преобразуется в пониженное, а затем выпрямляется и подается на дугу. Сварочный преобразователь представляет собой комбинацию электродвигателя переменного тока и сварочного генератора постоянного тока. В этом случае электрическая энергия сети переменного тока преобразуется в механическую энергию электродвигателя, вращает вал генератора и преобразуется в электрическую энергию постоянного сварочного тока. Поэтому коэффициент полезного действия преобразователей невелик; из-за наличия вращающихся частей они менее надежны и удобны в эксплуатации по сравнению с выпрямителями. В настоящее время преобразователи выпускают только для ручной и полуавтоматической сварки. Сварочный агрегат состоит из двигателя внутреннего сгорания и генератора постоянного тока. Следовательно, в нем химическая энергия сгорания топлива преобразуется в механическую, а затем в электрическую энергию. Агрегаты используют в основном для ручной сварки в монтажных и полевых условиях, где отсутствуют электрические сети. Специализированные источники постоянного тока представляют собой выпрямители, дополненные различными вспомогательными устройствами, расширяющими их технологические возможности. Так, источник постоянного тока для сварки неплавящимся электродом в защитном газе имеет устройство для возбуждения дуги, а также устройство для заварки кратера. Обычно отдельный источник предназначен для питания током одной дуги, это однополюстный источник. В цехах с большим числом постов сварки экономично использование многополюстных источников. Их применение позволило плавно регулировать величину сварочного тока и менять выходные вольтамперные характеристики сварочных аппаратов не за счет трансформатора, а на основе обратных связей и фазовой регулировки угла включения тиристоров. Однако, несмотря на применение новой элементной базы, сварочные источники питания оставались по-прежнему достаточно тяжелыми и громоздкими, т.к. их основной вес был сосредоточен в трансформаторе. Сечение сердечника трансформатора можно определить по формуле:

$$S = \frac{U_{20} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot w_2 \cdot B}$$

где  $U_{20}$  — напряжение холостого хода трансформатора;

$w_2$  — количество витков вторичной обмотки;

$B$  — индукция в сердечнике;

$f$  — частота.

Уменьшить сечение сердечника, и вес трансформатора, можно за счет снижения  $U_{20}$  или увеличения  $w_2$ ,  $B$ ,  $f$ . По пути уменьшения  $U_{20}$  шли разработчики трансформаторов. Однако, при  $U_{20} < 50\text{В}$  зажигание дуги становится проблематичным, поэтому уменьшение  $U_{20}$  позволяет незначительно уменьшить вес при неустойчивости зажигания дуги. Увеличение  $w_2$  также практически ничего не дает, т.к. одновременно увеличивается число витков первичной обмотки и, в общем увеличивается вес обмоток. Резко увеличить индукцию « $B$ » невозможно из-за характеристик современных

трансформаторных сталей. Поэтому единственным путем уменьшения веса источников питания явилось увеличение частоты. На основе использования этой идеи были созданы инверторные источники питания.

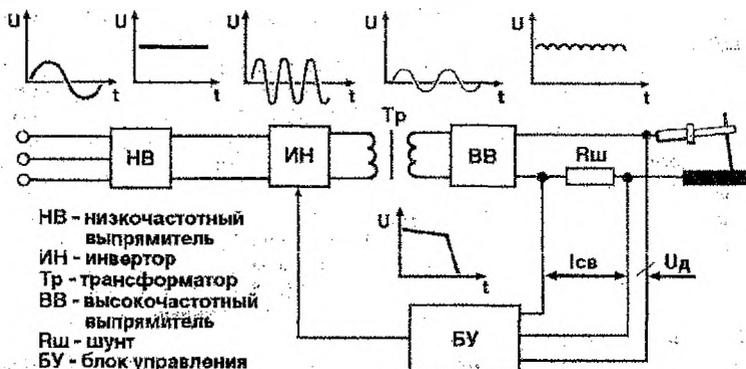


Рисунок 1. Блок-схема инверторного источника питания

В инверторных источниках питания напряжение от силовой линии преобразуется в постоянное входным выпрямителем (рис. 1). Инвертор преобразует его в переменное, частотой до 100000 Гц. Далее напряжение подается на понижающий высокочастотный трансформатор. Через диодный выпрямитель и сглаживающий дроссель подключается электрод.

В Беларуси инверторные источники питания предлагаются шведской фирмой «ESAB» которые имеют диапазон изменения сварочного тока 5-250 А при массе источников 5,5-11 кг. Лучшие характеристики имеет сварочный аппарат «Грин Мастер» МК 500А российского производства.

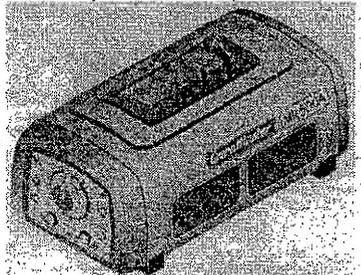


Рисунок 2. «Грин Мастер» МК 500А

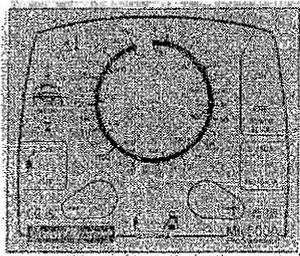


Рисунок 3. Лицевая панель «Грин Мастер» МК 500А

Характеристики «Грин Мастер» МК 500А: Сварочный ток – постоянный; пульсирующий, импульсный 5-650 А; масса – 7,5 кг; температура среды –  $-55 + 125^{\circ}\text{C}$ ; возможна работа от аккумуляторов.

### Сварочные трансформаторы

Трансформатор – это аппарат, преобразующий переменный ток одного напряжения в переменный ток другого напряжения. Трансформатор представляет собой сердечник из магнитомягкой стали с двумя обмотками. Обмотка, к которой подводится напряжение, называется первичной, а обмотка, к которой подключается потребитель – вторичной. Между числом витков в обмотках и напряжением на входе и выходе

де трансформатора существует строгая зависимость. Напряжение на входе во столько раз отличается от напряжения на выходе, во сколько раз число витков в первичной обмотке больше числа витков во вторичной обмотке. Число, показывающее во сколько раз количество витков одной обмотки, а соответственно, во сколько раз первичное напряжение отличается от вторичного, называется коэффициентом трансформации.

Трансформаторы, у которых вторичное напряжение меньше первичного, называются понижающими. Именно таким является сварочный трансформатор. Изменение величины сварочного тока в трансформаторах может осуществляться путём изменения числа витков в первичной и вторичной обмотках (применяется только для диапазонов регулирования) или путём изменения индуктивного сопротивления сварочной цепи. Индуктивное сопротивление может изменяться за счёт изменения величины воздушного зазора в магнитопроводе, за счёт изменения расстояния между первичной и вторичной обмотками, за счёт введения магнитного шунта и др.

Сварочные трансформаторы подразделяются на четыре основные группы: сварочные трансформаторы с отдельным дросселем, сварочные трансформаторы с подвижным шунтом, сварочные трансформаторы с увеличенным магнитным рассеянием и подвижной обмоткой.

Сварочные аппараты с отдельным дросселем (рис.4) состоят из понижающего трансформатора и дросселя (регулятора тока). Трансформатор имеет сердечник (магнитопровод) 2 из пластин, отштампованных из тонкой трансформаторной стали, толщиной 0,5 мм. На сердечнике расположены первичная 1 и вторичная 3 обмотки. Первичная обмотка из изолированной проволоки подключается к сети переменного тока напряжением 220 или 380 В.

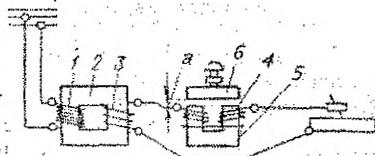


Рисунок 4. Конструктивная схема и внешний вид трансформатора с отдельным дросселем

В вторичной обмотке, изготовленной из медной шины, индуцируется напряжением 60...70 В. Последовательно с вторичной обмоткой в сварочную цепь включена обмотка 4 (из голый медной шины) дросселя. Обмотка имеет асбестовые прокладки, пропитанные термостойким лаком. Сердечник дросселя также набран из пластин тонкой трансформаторной стали и состоит из двух частей: неподвижной 5, на которой расположена обмотка дросселя и подвижной 6. Изменяя зазор "а" между неподвижным и подвижным магнитопроводами изменяют индуктивное сопротивление дросселя и, тем самым, ток в сварочной цепи. При увеличении зазора магнитное сопротивление магнитопровода дросселя увеличивается, магнитный поток ослабевает, уменьшается ЭДС самоиндукции катушки и её индуктивное сопротивление. Это приводит к возрастанию сварочного тока. При уменьшении зазора сварочный ток уменьшается. По такой схеме изготовлены сварочные трансформаторы типа СТЭ.

Сварочные трансформаторы со встроенным дросселем имеют электромагнитную схему, представленную на рис. 5

Магнитопровод трансформатора состоит из основного сердечника 1, на котором расположена первичная 2 и вторичная 5 обмотки собственно трансформатора и добавочного сердечника 3 с обмоткой 4 дросселя. Добавочный магнитопровод расположен над основным и состоит из неподвижной и подвижной частей, между которыми устанавливается необходимый воздушный зазор "а". Сварочный ток регулируют изменяя зазор "а": чем больше зазор "а", тем больше сварочный ток. Конструктивную схему со встроенным дросселем имеют трансформаторы типа СТН и ТСД.

Преимущества трансформаторов этого типа больше по сравнению с трансформатором типа СТЭ, кроме однокорпусного исполнения, - меньшие габариты и масса.

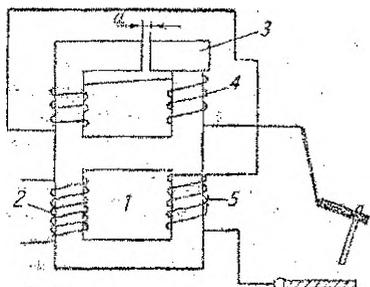


Рисунок 5. Конструктивная схема и внешний вид трансформатора со встроенным дросселем

6б. Такую схему имеют трансформаторы типа ТС и ТД. Трансформатор имеет магнитопровод, на обоих стержнях которого расположены по две катушки: одна с первичной обмоткой 1, а вторая – со вторичной 2. Катушки первичной обмотки закреплены неподвижно в нижней части сердечника, а катушки вторичной обмотки перемещаются по стержню с помощью винтовой пары. Сварочный ток регулируют изменением расстояния между первичной и вторичной обмотками. При увеличении этого расстояния магнитный поток рассеяния возрастает, а сварочный ток уменьшается.

К трансформаторам с повышенным магнитным рассеянием относятся трансформаторы типа ОТАН и СТШ, принципиальная конструктивная схема которых показана на рис. 6а. В этих трансформаторах магнитное рассеяние создается за счёт подвижного магнитного шунта 3, помещённого между стержнями трансформатора. При выдвигении магнитного шунта за пределы магнитопровода рассеяние уменьшается, что приводит к увеличению сварочного тока.

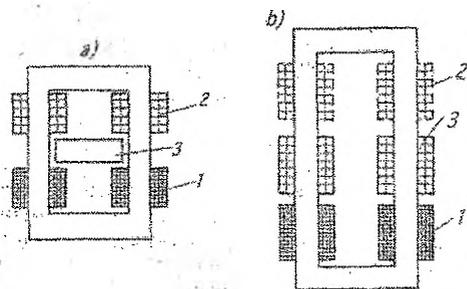


Рисунок 6. Конструктивные схемы трансформаторов: а - с подвижным магнитным шунтом; б - с подвижной обмоткой.

мым источником. Характеристика источников питания сварочной дуги может быть крутопадающей 1, пологопадающей 2 и жёсткой 3 (рис. 8).

График статической вольт-амперной характеристики (ВАХ) дуги характеризуется тремя участками (рис. 7): I – малореализуемый на практике, II – применяемый для ручной дуговой сварки, III – применяемый для сварки в среде углекислого газа; 3, I – статические вольтамперные характеристики дуги (соответственно большей и меньшей длины дуги).

Для построения характеристики источника питания необходимо изменять длину дуги от холостого хода до короткого замыкания и для каждой длины дуги измерять

Однако они не лишены недостатков, присущих трансформаторам с отдельным дросселем. Недостатком этих источников является неустойчивая работа при сварке на малых токах из-за вибрации подвижного пакета дросселя, вызываемая значительными электродинамическими усилиями.

Эти усилия возникают при замыкании дугового промежутка в момент перехода капли расплавленного металла с электрода в сварочную ванну.

Конструктивная схема сварочного аппарата с увеличенным магнитным рассеянием и подвижной обмоткой показана на рис.

При электродуговой сварке имеют дело с системой, состоящей из источника питания и сварочной дуги. Установившийся режим работы этой системы определяется точкой А пересечения внешней характеристики источника питания 2 и статической вольт-амперной характеристики дуги 1 (рис. 7). Внешняя характеристика источника питания – это график зависимости между напряжением на зажимах источника питания и током, отдаваемым

по приборам напряжения дуги и сварочный ток. Полученные данные свести в таблицу и построить график  $U_d = i(I_{св})$ . Трансформатор сварочный с нормальным магнитным рассеянием и дросселем на общем магнитопроводе работает в следующих режимах: холостой ход (ХХ), режим нагрузки (РН), режим короткого замыкания (КЗ).

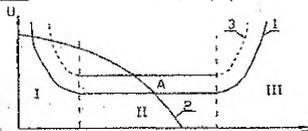


Рисунок 7. Статическая вольт-амперная характеристика дуги (1, 3) и внешняя характеристика источника питания (2)

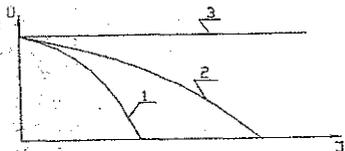


Рисунок 8. Характеристики источников питания сварочной дуги

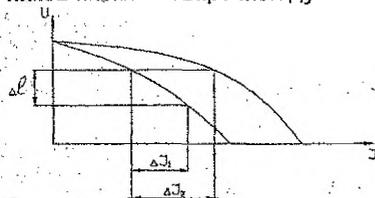


Рисунок 9. Изменение сварочного тока:

$\Delta I_1$  — при колебаниях длины дуги;  $\Delta I_2$  — при изменении зазора дросселя.

форматора составляют 10...15 В. Изменение тока КЗ достигается за счёт изменения зазора в магнитопроводе дросселя; с увеличением зазора индуктивное сопротивление дросселя уменьшается и поэтому ток КЗ возрастает; с уменьшением зазора индуктивное сопротивление дросселя возрастает и поэтому ток КЗ уменьшается.

В режиме нагрузки горит сварочная дуга и проходит ток по обмотке дросселя.

Поэтому в режиме нагрузки в магнитопроводе дросселя действуют те же магнитные потоки, что и в режиме короткого замыкания:

$$U_d = U_2 - E_{с.др.}$$

### Способы настройки сварочного трансформатора на режим ручной дуговой сварки по току и напряжению

Сварочный ток влияет на глубину провара основного металла. Сварочный ток можно изменить за счёт длины дуги и за счёт регулировки источника питания.

При ручной дуговой сварке неизбежны колебания длины дуги. Поэтому применяют источники питания с крутопадающими внешними характеристиками, что обеспечивает незначительные изменения тока (глубины провара) при колебаниях длины дуги

В режиме холостого хода трансформатора в магнитопроводе действует только магнитный поток собственно трансформатора, который индуцирует во вторичных обмотках трансформатора ЭДС самоиндукции. Так как собственно трансформатор имеет нормальное рассеяние, то ЭДС самоиндукции  $U_2$  - величина постоянная. Напряжение на выходе вторичных обмоток собственно трансформатора и на выходе сварочного трансформатора  $U_2$  приблизительно равны 65 В:

$$U_2 = U_d = U_x = 65 \text{ В}$$

В режиме КЗ замкнута цепь сварочного тока и поэтому в магнитопроводе сварочного трансформатора действуют два магнитных потока: трансформатора и дросселя. Магнитный поток трансформатора индуцирует во вторичных обмотках трансформатора напряжение, а магнитный поток дросселя индуцирует в обмотке дросселя ЭДС самоиндукции дросселя  $E_{с.др.}$ , поэтому:

$$U_d = U_x = U_2 - E_{с.др.}$$

Режим КЗ сварочного трансформатора является рабочим и поэтому токи короткого замыкания ограничены по значению, причем ограничение в сварочном трансформаторе токов короткого замыкания достигается за счёт ЭДС самоиндукции дросселя, которая направлена встречно вторичному напряжению. В момент короткого замыкания на дуге напряжение на выходе сварочного трансформатора

(рис. 9). Сварочный ток можно существенно изменить при постоянной длине дуги за счёт регулировки источника. В сварочном трансформаторе с дросселем на общем магнитопроводе регулируют зазор в магнитопроводе дросселя (каждая внешняя характеристика источника соответствует определённому положению его регулирующего устройства, рис. 9).

Длина дуги (напряжения дуги) при ручной дуговой сварке поддерживается вручную.

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

#### УСТРОЙСТВО СВАРОЧНОГО ТРАКТОРА И НАСТРОЙКА ЕГО НА ЗАДАННЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ

Цель работы: изучить назначение и устройство сварочного трактора, а также его настройку по току, напряжению и скорости сварки; установить влияние параметров режима сварки на возможные результаты.

Сварка под флюсом - дуговая сварка, осуществляемая с использованием плавящегося электрода и введением в зону дуги для создания защиты от воздействия окружающей среды гранулированного (зернистого) флюса, слой которого полностью закрывает дугу и, частично расплавляясь, создает вокруг нее подвижную защитную оболочку, перемещающуюся вместе с дугой.

#### Оборудование для сварки под флюсом

В практике нашли широкое применение два вида автоматического оборудования: подвесные (неподвижные и самоходные) головки и сварочные трактора. Автомат производит следующие операции: возбуждение дуги, непрерывную подачу в зону дуги электродной проволоки и флюса, перемещение сварочной дуги вдоль свариваемого шва, гашение дуги в конце сварки.

Автоматические подвесные головки неподвижные и самоходные разработаны Институтом электросварки им. Е. О. Патона. Автоматическая головка АБС (рис.1) состоит из трех отдельных компонентов. **А** - подвесной сварочной головки с пультом управления; **Б** - подъемного механизма с флюсоаппаратом и кассеты для проволоки; **С** - самоходной тележки.

В комплектах **А** или **А** и **Б**, используемых отдельно, головка является подвесной, в комбинации комплектов **А**, **Б** и **С** самоходной.

Комплект **А** имеет асинхронный трёхфазный двигатель **5** и редуктор, ведущий и прижимной ролик **4**, ролики правильного механизма **3**, токоподводящий мундштук с контактными колодками **2** и указатель направления дуги по шву **7**. Скорость подачи проволоки регулируется в пределах 12...40 мм/с при помощи сменных шестерен. Мощность двигателя около 0,1 кВт.

Комплект **Б** состоит из подъемного механизма **6**, флюсоаппарата **8** и кассеты для проволоки **7**. Флюсоаппарат обеспечивает подачу флюса в зону дуги и удаление (пневматический отсос) оставшейся на шве сыпучей фракции флюса.

Комплект **С** состоит из самоходного устройства **9**, представляющего собой двухбегунковую тележку велосипедного типа. Ходовые бегунки **14** механизма тележки приводятся в движение от асинхронного электродвигателя **13**. Устойчивое положение головки обеспечивается кронштейном **12** с верхним опорным роликом **11**. Рельсовый путь тележки выполняется из двух швеллеров **10**, расположенных в вертикальной плоскости. По кромке одной полки нижнего швеллера катятся ведущие бегунки тележки. Верхний опорный ролик, связанный кронштейном с корпусом тележки, перемещается между полками верхнего швеллера.

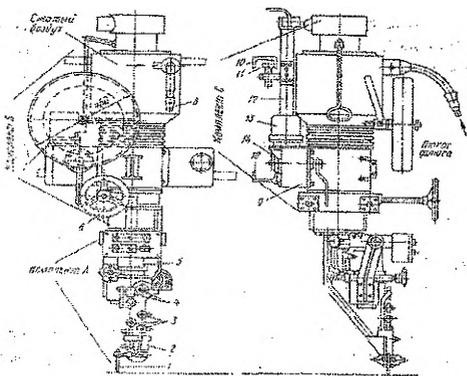


Рисунок 1. Автоматическая подвесная головка

головки улучшенного конструктивного исполнения выпускаются для однодуговой сварки типа А-1215 на номинальный ток 1000 А со скоростью передвижения от 3,3 до 33 мм/с и для двухдуговой сварки – типа А-1185 на номинальный ток 1600 А для каждой дуги со скоростью передвижения от 6,6 до 66 мм/с.

Самоходные сварочные автоматы «трактор» относятся к числу обеспечивающих перемещение автомата вдоль свариваемых кромок непосредственно по изделию или по специальному лёгкому рельсовому пути.

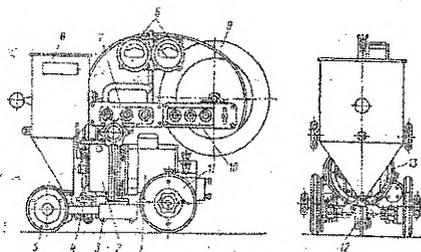


Рисунок 2. Сварочный трактор ТС-17МУ

2, корректировочного механизма 13, мундштука 12, ходового механизма 11, переднего шасси 3, бункера для флюса 6, кассеты для проволоки 9, основного пульта 7, вспомогательного пульта управления 10 и электроизмерительных приборов 8.

Ходовой механизм включает в себя замедляющий редуктор и пару ведущих обрешеченных бегунков. Бегунки имеют фрикционную связь с ведущим валом, что даёт возможность отключать их при необходимости свободного маршевого перемещения трактора. Переднее шасси имеет траверсу и две выдвигные штанги, на которых закрепляются ходовые ролики 5.

Универсальность трактора обеспечивается сменными комплектами опорных бегунков, закрепляемых на переднем шасси или с боку тележки, и большим углом поперечного наклона головки.

Скорость движения головки регулируется по средствам сменных шестерён и может изменяться в пределах 6..20 мм/с. Нерабочее передвижение головки осуществляется при помощи электродвигателя 13 или вручную. В последнем случае, пользуясь имеющимся на тележке фрикционным устройством, производят отключение бегунков от привода.

Головки типа АБС выпускаются как с постоянной, так и с регулируемой скоростью подачи проволоки диаметром от 3 до 6 мм и рассчитаны на работу при силе тока до 1000 А.

В настоящее время действующие по этому принципу го-

Трактор ТС17М (ТС17-МУ) – лёгкий переносной автомат для дуговой сварки под флюсом в нижнем положении стыковых и угловых швов. Механизмы подачи электродной проволоки и перемещение вдоль шва приводятся в движение от одного электродвигателя. Скорость сварки и подача электродной проволоки в процессе работы постоянная, но может изменяться на заданный режим при помощи сменных шестерёнок.

Трактор состоит из электродвигателя 1 мощностью 0,2 кВт, головки

Управление работы трактора производится кнопками с основного пульта. Для включения привода станка (роликового стенда и др.), служащего для манипуляции изделия во время сварки, пользуются вспомогательным пультом управления. Питательные цепи управления трактора в целях обеспечения безопасной работы предусмотрено от понижающего трансформатора, напряжение 36 В.

Для сварки под флюсом углеродистых сталей выпускаются тракторы ТС различного назначения, в том числе универсальные (ТС-17МУ, ТС-42 и др.), специализированные, например ТС-32, предназначенный для сварки стыковых соединений с принудительным формированием обратного валика шва, и др. Отдельные марки тракторов предназначаются для выполнения нескольких видов сварки: под флюсом и в защитных газах (ТС-35) или, кроме того, порошковой проволокой (А-1181).

Сварочные тракторы АБС по конструкции существенно отличаются от тракторов ТС.

### **Принцип работы универсального сварочного трактора АДФ-1002 УЗ**

Автоматы для дуговой сварки плавящимся электродом в процессе работы зажигают дугу, подают электродную проволоку, флюс в зону дуги, поддерживают заданный режим сварки, перемещают сварочный аппарат и прекращают процесс сварки. Источник питания универсального сварочного автомата - трансформатор ТДФЖ-1002 УЗ. Подача электродной проволоки не зависит от напряжения на дуге, способ регулирования скорости подачи электродной проволоки - ступенчатый (сменными шестернями).

В состав сварочного автомата АДФ - 1002 УЗ входят: сварочный трактор со встроенным блоком управления; источник питания сварочной дуги - трансформатор ТДФЖ-1002 УЗ; комплект сменных узлов и деталей, позволяющих производить сварку наклонным электродом "в лодочку" с разделкой и без разделки кромок; комплект проводов, необходимых для подключения автомата и трансформатора.

Схема управления автомата обеспечивает:

- подъем и опускание электродной проволоки при вспомогательных операциях (закачивание сварочной проволоки перед сваркой, подъем проволоки из шлака и др.);
- передвижение трактора при отключенной сварочной цепи;
- дистанционное включение сварочного тока и возбуждение дуги в начале сварки;
- подачу проволоки и передвижение трактора в процессе сварки;
- заварку кратера и отключение сварочного тока в конце сварки.

Управление работой трактора осуществляется с помощью кнопочного пульта. Перед началом сварки включается фрикционная муфта ходового механизма. Кнопками "Вверх" и "Вниз" закачивается электрод на свариваемое изделие. Включение сварочной цепи и двигателя трактора производится кнопкой "Пуск". При нажатии кнопки "Пуск" включается цепь питания электродвигателя и двигатель начинает вращаться в направлении, соответствующем подъему электродной проволоки. Между изделием и электродной проволокой возбуждается сварочная дуга, начинается подача проволоки в зону сварки и движение автомата по свариваемому шву. Для окончания сварки необходимо нажать кнопку "Стоп". Автомат останавливается. Сварочная дуга в течение 1...2 с, в зависимости от настройки реле времени, продолжает гореть. По истечении этого времени автоматически отключается сварочный ток.

Трактор снабжен одним асинхронным двигателем, который приводит в движение оба рабочих механизма трактора: механизм подачи электродной проволоки (сварочную головку) и механизм перемещения сварочной установки (ходовой механизм).

Общий вид сварочного трактора показан на рис. 2. Вал электродвигателя с одной стороны соединен с механизмом подачи, а с другой — с механизмом перемещения. Оба механизма смонтированы с двигателем в один блок, который служит корпусом трактора. Механизм подачи электродной проволоки состоит из редуктора с червячными

и цилиндрическими зубчатыми передачами и двух роликов, подающих зажатую между ними проволоку. Один из роликов (приводной) снабжен поперечной насечкой для надежного сцепления его с проволокой, а другой - прижимной (холостой) находится под действием пружины. Натяжение этой пружины, а, следовательно, и тяговое усилие можно регулировать с помощью винта в довольно широких пределах.

Для настройки редуктора на нужную скорость подачи он снабжен парой сменных шестерен выведенных наружу и закрытых крышкой.

Механизм движения трактора (ходовой механизм) состоит из редуктора со сменными шестернями для изменения скорости сварки и пары ведущих бегунков с резиновыми шинами. Для возможности свободного (маршевого) перемещения трактора вручную на валу бегунков предусмотрена фрикционная муфта с маховичками, с помощью которых вал можно отключить от электродвигателя.

Таблица 1. Возможные результаты сварки

Режим сварки	Результаты автоматической сварки
Толщина детали $\delta=8$ мм Диаметр сварочной проволоки 4 мм, $I=550$ А, $U=34$ В, $V_{св}=40,5$ м/час.	
Толщина детали $\delta=10$ мм Диаметр сварочной проволоки 5 мм, $I=720$ А, $U=38$ В, $V_{св}=69,7$ м/час.	
Толщина детали $\delta=6$ мм, Диаметр сварочной проволоки 3 мм, $I=1000$ А, $U=38$ В, $V_{св}=40,5$ м/час.	
Толщина детали $\delta=10$ мм, Диаметр сварочной проволоки 4 мм, $I=720$ А, $U=36$ В, $V_{св}=69,7$ м/час, Сварка выполняется без флюса (шиберная заслонка закрыта).	

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

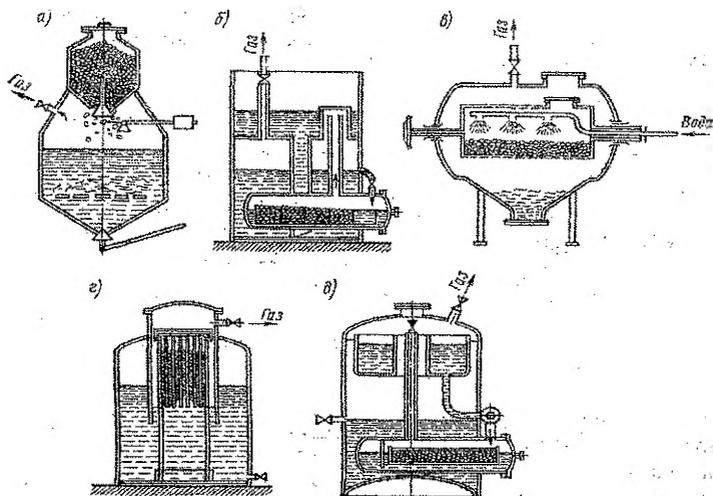
### ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОВОЙ СВАРКИ

**Цель работы:** ознакомиться с оборудованием для газовой сварки; изучить влияние режима на результаты газовой сварки.

#### Сведения из теории

**Газовая сварка** – это сварка плавлением, при которой источником тепла является высокотемпературное пламя, образующееся в результате сгорания горючего газа в смеси с техническим кислородом.

Для производства работ по газовой сварке сварочные посты должны иметь следующее **оборудование** и инвентарь: ацетиленовый генератор или баллон с горючим газом; кислородный баллон; редукторы (кислородный и для горючего газа); сварочную горелку с набором сменных наконечников; шланги для подачи горючего газа и кислорода в горелку; комплект инструментов; очки с защитными стеклами, спецодежда для сварщика.



**Рисунок 1. Принципиальные схемы ацетиленовых генераторов:** типов «карбид в воду» (а), «вода на карбид» (б), «сухое разложение» (в), «вытеснение» (г), «вода на карбид – вытеснение» (д).

Ацетиленовые генераторы предназначены для получения ацетилена при взаимодействии карбида кальция с водой. Согласно ГОСТ 5190-78\* ацетиленовые генераторы подразделяются:

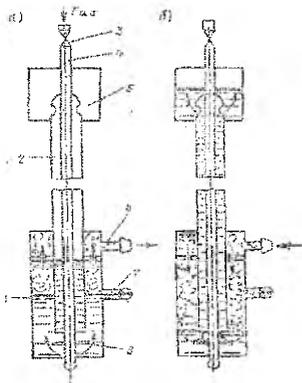
- по давлению вырабатываемого ацетилена – на два типа: генераторы низкого давления (до 0,01 МПа); генераторы среднего давления (0,15 МПа);
- по способу применения – на передвижные и стационарные;
- по способу взаимодействия карбида кальция с водой – на системы: КВ – «карбид в воду»; ВК – «вода на карбид»; К – «контактный».

Схемы систем ацетиленовых генераторов приведены на рис. 1.

**Водяные предохранительные затворы.** Обязательной принадлежностью ацетиленовых генераторов являются водяные затворы, которые служат для предохранения аппарата от обратного удара, а также от проникновения кислорода из горелки и атмосферного воздуха. Обратным ударом называют воспламенение ацетиленокислородной смеси в каналах горелки с распространением пламени внутри ацетиленового шланга в направлении, противоположном нормальному движению ацетилена. В этом случае, если на своем пути пламя не встретит препятствия, оно может проникнуть в газообразователь генератора и вызвать взрыв. Не менее опасным является проникновение в газообразователь кислорода и воздуха.

По максимальному давлению поступающего в них ацетилена ацетиленовые водяные предохранительные затворы разделяются на затворы низкого давления и среднего давления.

На рис. 2 а, б изображена схема действия водяного затвора открытого типа, применяемого в генераторах низкого давления. При нормальной работе (а) ацетилен поступает в затвор по трубе 4. На нижнем конце газопроводящей трубки имеются отверстия, над которыми расположен рассекатель 8. Газ проходит через слой воды в верхнюю часть корпуса затвора 1 и через ниппель 6 может поступать к горелке или резаку. Вода в затворе наливается до уровня контрольного крана 7.

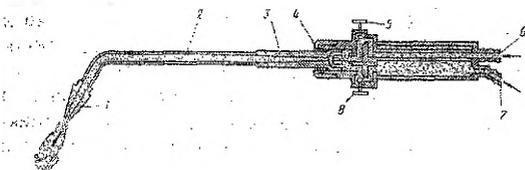


**Рисунок 2. Схемы водяных предохранительных затворов, низкого давления:**

*а* – нормальная работа; *б* – обратный удар;

1 – корпус, 2 – предохранительная трубка, 3 – запорный вентиль, 4 – газоподводящая трубка, 5 – воронка, 6 – отборный ниппель, 7 – контрольный кран, 8 – рассекатель

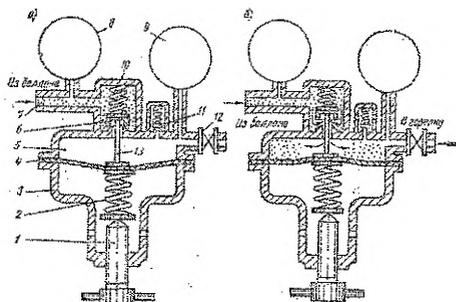
существующие конструкции горелок можно классифицировать следующим образом: 1) по способу подачи газа в смесительную камеру – на инжекторные и безинжекторные; 2) по мощности пламени – микро мощности, малой мощности, средней мощности, большой мощности; 3) по назначению – на универсальные и специализированные.



**Рисунок 3. Ацетилено-кислородная инжекторная горелка**

Инжекторные горелки (рис. 3) работают на ацетилене низкого и среднего давления. По шлангу и трубке 6 к вентилю 5 и через него в инжектор 4 поступает кислород. Вытекая с большой скоростью из инжектора в смесительную камеру 3, струя кислорода создает разрежение, вызывает подсос ацетилена по трубке 7 при открытом вентиле 8. Полученная смесь по трубке наконечника 2 поступает в мундштук 1 и, выходя в атмосферу, при сгорании образует сварочное пламя.

Безыжекторными являются горелки, в которых оба газа – кислород и ацетилен – поступает под одинаковым давлением (0,05...0,1 МПа) и обеспечивают постоянный состав горючей смеси даже при очень сильном нагревании наконечника.



**Рисунок 4. Схема устройства и работы редуктора:**

*а* – в нерабочем состоянии;  
*б* – в рабочем состоянии;

В комплект горелок входят ствол и сменные наконечники. Наконечники от №1 до №7 позволяют устанавливать соответствующую мощность пламени для сварки металла толщиной 0,5...30 мм.

Редукторы (рис. 4) служат для понижения давления газа, поступающего из баллона, до рабочего и поддержания этого давления постоянным в процессе сварки.

Редукторы для сжатых газов позволяют устанавливать рабочее давление для кислорода — от 0,1 до 1,5 МПа и для ацетилена — от 0,02 до 0,15 МПа.

На рис. 4 показана схема устройства и работы кислородного редуктора наиболее распространенного типа. Газ из баллона входит в камеру высокого давления редуктора через штуцер 7. При нерабочем положении клапан 6 запирается эбонитовым уплотнителем, который прижимается к седлу клапана запорной пружиной 10. Внутренняя часть корпуса редуктора 3 разделена резиновой мембраной 4, которой ограничивается камера низкого давления 5 редуктора.

Чтобы открыть редуктор, т. е. пропустить газ из камеры высокого давления, пользуются регулирующим винтом 1. При ввинчивании в корпус редуктора винт 1 нажимает через главную пружину 2 и мембрану на штифт 13, которым и открывается клапан 6. Как только давление газа в рабочей камере преодолевает усилие главной пружины 2, штифт 13 переместится вниз и запорная пружина 10 вновь закроет клапан 6. При отборе газа из редуктора через вентиль 12 давление в рабочей камере снизится, штифт 13 под действием главной пружины 2 преодолеет сопротивление запорной пружины 10 и, переместившись вверх, откроет клапан 6. Таким устройством обеспечивается саморегулирующее действие редуктора в течение всего времени работы.

Изменение величины давления газа в рабочей камере регулируется винтом 1. Редукторы снабжаются манометрами высокого 8 и низкого 9 давлений, а также предохранительным клапаном 11. Кислородный редуктор имеет накидную гайку для присоединения к баллону.

Шланги служат для подвода к резаку (горелке) газообразного или жидкого горючего. Изготавливаются они из вулканизированной резины с одним или несколькими слоями прокладок из хлопчатобумажной ткани. Шланги для кислорода рассчитаны на рабочее давление до 1 МПа, для горючих газов — до 0,3 МПа.

Для сварки применяются шланги с внутренним диаметром 9,5 мм и наружным — 17,5...22 мм. Длина шлангов должна быть не менее 5 м.

При использовании в качестве горючего керосина или бензина применяют шланги из специальной бензостойкой резины.

1 – регулирующий винт, 2 – главная пружина, 3 – внутренняя часть корпуса редуктора, 4 – резиновая мембрана, 5 – камера низкого давления, 6 – клапан, 7 – штуцер, 8 – манометр высокого давления, 9 – манометр низкого давления, 10 – запорная пружина, 11 – предохранительный клапан, 12 – вентиль, 13 – штифт.

Закрепление шлангов на ниппелях горелки, резака, редуктора или газогенератора производится при помощи металлических хомутиков.

Ацетилено-кислородное пламя обладает наиболее высокой температурой по сравнению с пламенем любого другого газа. Поэтому оно нашло самое широкое распространение. Структура ацетилено-кислородного пламени схематично представлена на рис. 5. В пламени можно различать три зоны: ядро, среднюю восстановительную зону и факел-окислительную зону.

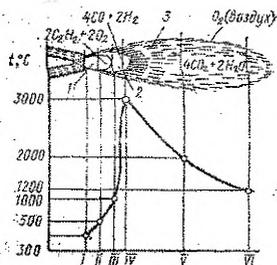


Рисунок 5. Схема строения нормального ацетилено-кислородного пламени и график распределения температуры по его длине

Ядро представляет собой механическую смесь сильно нагретого кислорода и диссоциированного (разложенного) ацетилена. Ядро выделяется резкими очертаниями и ярким свечением. Горение начинается на внешней оболочке ядра и продолжается во второй зоне по реакции, углерод сгорает не полностью. Водород в этой зоне не окисляется. Полностью сгорает углерод и горит водород в третьей зоне пламени за счет кислорода воздуха.

Для полного сгорания одного объема ацетилена требуется 2,5 объема кислорода; один объем поступает из кислородного баллона и 1,5 – из воздуха.

Распределение температуры по оси ацетилено-кислородного пламени показано на рис. 5. Максимальная температура пламени, достигающая 3000 градусов, находится на расстоянии 2...6 мм от конца ядра.

Для сварки различных металлов требуется определенное вид сварочного пламени в зависимости от объемного соотношения подаваемых в горелку газов – нормальное, окислительное, науглероживающее. Газосварщик регулирует и устанавливает вид сварочного пламени на глаз. Для сварки низкоуглеродистой стали применяют нормальное пламя, при сварке чугунов – науглероживающее, при сварке алюминия – нормальное или с небольшим избытком ацетилена.

При ручной сварке сварщик держит в правой руке сварочную горелку, а в левой – присадочную проволоку. Пламя горелки сварщик направляет на свариваемый металл так, чтобы свариваемые кромки находились в восстановительной зоне на расстоянии 2...6 мм от конца ядра, конец присадочной проволоки должен находиться в восстановительной зоне или в сварочной ванне.

Скорость нагрева регулируется изменением угла наклона (α) мунштука к поверхности свариваемого материала (рис. 6). Величина угла выбирается в зависимости от толщины и рода свариваемого материала. Чем толще металл и больше его теплопроводность, тем больше угол наклона мунштука горелки к поверхности свариваемого материала.

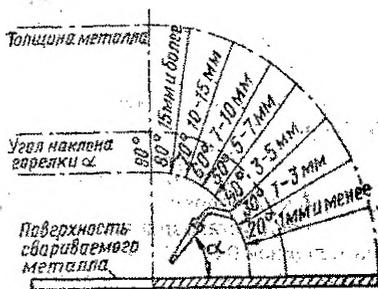


Рисунок 6. Наклон горелки при сварке металла различной толщины

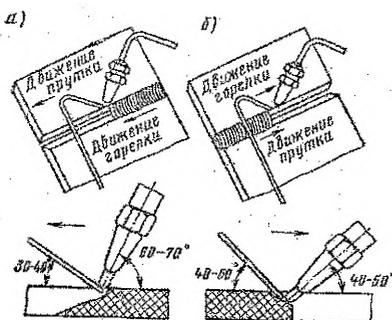


Рисунок 7. Схемы способов газовой сварки: а – левый, б – правый.

При левом способе (рис. 7, а) горелку перемещают слева направо, а присадочная проволока движется вслед за горелкой. Пламя сварочной горелки направлено на шов, что обеспечивает лучшую защиту шва от окружающего воздуха и его замедленное охлаждение. При этом способе сварки улучшается эффективность использования тепла пламени. Правый способ применяется для сварки металла толщиной более 5 мм.

Диаметр присадочной проволоки при сварке металла толщиной до 15 мм левым способом определяют по формуле  $d=s/2+1$ , где  $s$  – толщина свариваемой стали, мм. При правом способе диаметр проволоки берут равным половине толщины свариваемого металла. При сварке металла толщиной более 15 мм применяют проволоку диаметром 6...8 мм.

Для получения сварочного шва с высокими механическими свойствами необходимо хорошо подготовить свариваемые кромки, правильно подобрать мощность горелки, отрегулировать сварочное пламя, выбрать присадочный материал, установить положение горелки и направление перемещения её по свариваемому шву.

Подготовка кромок заключается в очистке их от масла, окалины и других загрязнений, разделке под сварку и прихватку короткими швами.

Стыковые соединения являются для газовой сварки наиболее распространённым видом соединений. Металлы толщиной до 2 мм сваривают встык с отбортовкой кромок без присадочного материала или встык без разделки кромок и без зазора, но с присадочным материалом. Металл толщиной 2...3 мм сваривают встык без разделки кромок, но с зазором между ними. При сварке металла толщиной более 5 мм применяют V- или X-образную разделку кромок.

Нахлесточные и тавровые соединения допустимы только при сварке металла толщиной менее 3 мм, т.к. при больших толщинах металла неравномерный местный нагрев вызывает большие внутренние напряжения и деформации и даже трещины в шве и основном металле.

Швы накладывают одно – и многослойные. При толщине металла до 6...8 мм применяют одностойные швы, до 10 мм – швы выполняют в два слоя, а при толщине металла более 10 мм – швы свариваются в три слоя и более. Перед наложением очередного слоя, поверхность предыдущего слоя должна быть хорошо очищена металлической щёткой. Сварку производят короткими участками. При многослойной сварке зона нагрева меньше, чем при одностойной.

Низкоуглеродистые стали сваривают газовой сваркой без особых затруднений. Сварка выполняется нормальным пламенем. Присадочным материалом служит сварочная проволока марок Св – 08ГА, Св – 10Г2, Св – 08ГС, Св – 08Г2С.

Способы газовой сварки. Ручная газовая сварка может выполняться левым или правым способом.

Левый способ (рис. 7, а) заключается в том, что горелку перемещают справа налево, а присадочную проволоку размещают впереди горелки. Пламя сварочной горелки направлено от шва на несваренные кромки металла и не препятствует наблюдению сварщика за формой и размерами шва; однако при этом способе снижается эффективность использования тепла пламени. Способ применяется для сварки металла толщиной до 5 мм.

При правом способе (рис. 7, б) горелку перемещают слева направо, а присадочная проволока движется вслед за горелкой.

Среднеуглеродистые стали свариваются удовлетворительно, однако при сварке возможно образование в сварном шве и зоне термического влияния закалочных структур и трещин. Сварку выполняют слегка науглероживающим пламенем, так как даже при небольшом избытке в пламени кислорода происходит существенное выгорание углерода. Присадочным материалом служат марки сварочной проволоки, указанные для малоуглеродистой стали, и проволока марки Са – 12ГС.

После сварки можно рекомендовать проковку металла шва в горячем состоянии, а затем нормализацию с температурой 800 – 900 градусов С. при этом металл приобретает достаточную пластичность и мелкозернистую структуру.

**Таблица 1. Возможные результаты газовой сварки**

Исходные данные	Возможные результаты
1	2
Толщина металла – 6 мм Номер наконечника – 4 Вид пламени – нормальный Способ сварки – правый Материал – сталь	
Толщина металла – 2 мм Номер наконечника – 3 Вид пламени – нормальный Способ сварки – правый Материал – алюминий Сварка с применением флюса	
Толщина металла – 2 мм Номер наконечника – 3 Вид пламени – нормальный Материал – алюминий Сварка без флюса	
Толщина металла – 6 мм Номер наконечника – 6 Вид пламени – науглероживающий Способ сварки – правый Материал – сталь	
Толщина металла – 0,6 мм Вид пламени – нормальный Способ сварки – левый Материал – сталь	
Толщина металла – 7 мм Номер наконечника – 3 Вид пламени – нормальный Способ сварки – левый Материал – сталь	

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

### ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КИСЛОРОДНОЙ И ПЛАЗМЕННО-ДУГОВОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ

Цель работы: ознакомиться с термической резкой строительных материалов; изучить режимы кислородной резки; изучить плазменно-дуговую резку и её возможные результаты.

## Сведения из теории

Термическая резка в строительстве используется как для резки металлов, так и бетона и железобетона. В частности её применяют для раскроя листов металлов, разделения фасонного проката поверхностной обработки металлических изделий, подготовки кромок изделий под сварку, удаления корней сварочных швов и дефектных участков сварных соединений, разделки трещин в металле, очистке или ремонта стальных отливок, пробивки отверстий, срезки заклёпок и болтов. Основные виды термической резки и области их применения приведены в таблице 1.

**Таблица 1. Виды и области применения термической резки**

Виды резки	Область применения
1	2
1. Кислородная резка (кислород, ацетилен, пропан-бутан, природный газ, коксовый газ, пары керосина)	Сталь с небольшим содержанием углерода.
2. Кислородно-флюсовая резка (кислород + подогревающие газы п. 1 + флюс)	Сталь хромистые хромоникелевые, чугуны, медь и её сплавы.
3. Электрическая дуговая резка (электроды стальные с качественным покрытием МО-3, АНО-4, угольные и графитовые электроды – ВНК, ВДГ)	Низкоуглеродистые и нержавеющие стали, чугуны.
4. Воздушно-дуговая резка (стальные электроды с качественным покрытием, угольные и графитовые электроды, сжатый воздух)	Стали легированные, коррозионно-стойкие, чугуны, цветные металлы.
5. Кислородно-дуговая резка (стальные электроды ЦМ7, ОММ-5, угольные электроды, кислород)	Углеродистые и легированные стали на строительно-монтажных работах при резке в любых пространственных положениях.
6. Плазменно-дуговая резка (плазмотрон; газы или смеси газов, аргона, водорода, гелия, азота, воздуха, пары воды)	Все виды металлов и материалов, включая железобетон с температурой плавления до 15000°С.
7. Резка кислородным копьём (стальная труба диам. 6-25 мм)	Пробивка отверстий в бетоне и железобетоне глубиной до 4м с диам. 40-120мм.
8. Резка порошково-кислородным копьём сварка (стальная труба, порошок железа, кислород, пропан бутановая смесь или ацетилен)	Бетон и железобетон толщиной до 400 мм.
9. Резка термобуром (сверхзвуковая струя продуктов горения углеводородов в кислороде)	Отверстия диаметром 40 - 120 мм в бетоне, железобетоне, граните и других каменных материалах.

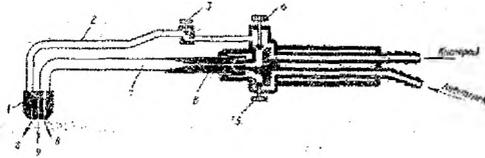
### Кислородная резка

Принцип кислородной резки заключается в способности металлов, с температурой воспламенения меньше, чем температура плавления, гореть в кислороде с выделением большого количества тепла, которое должно быть достаточно для нагрева и последующего воспламенения окружающих холодных слоёв металла.

Этим условиям отвечает малоуглеродистая сталь, у которой температура воспламенения 1350°С, что на 200°С меньше температуры плавления, и теплота её сгорания на 70% обеспечивает нагрев холодных слоёв, окружающих зону резки, ос-

тальные 30% обеспечивает теплота, выделяющаяся при сгорании ацетилена, пропан – бутан, природного газа или паров предварительно подогретого керосина.

Металлы, имеющие большую теплопроводность, а также образующие тугоплавкие окислы, резать практически невозможно. Особо тугоплавкими являются окислы хрома, кремния. Наличие молибдена, вольфрама способствует закалке прилегающих к зоне резки нагретых слоёв металла, что затрудняет последующую механическую обработку. Наличие большого количества углерода способствует повышению температуры воспламенения металла, что в ряде случаев не позволяет выполнять кислородную резку.



**Рисунок 1. Устройство инжекционного резака:**

1 – головка, 2 – дополнительный кислородный привод, 3 – вентиль режущего кислорода, 4 – кислородный вентиль, 5 – ацетиленовый вентиль, 6 – инжектор, 7 – камера, 8 – отверстие, 9 – центральное отверстие внутреннего мундштука.

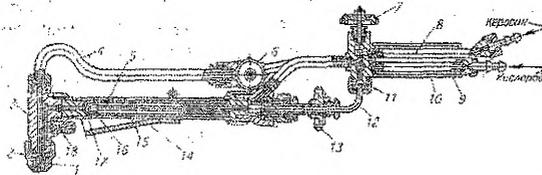
Возможность кислородной резки и её технологию можно оценивать по эквивалентному содержанию углерода, которое определяется по формуле:

$$C_e = C + 0,16 \times Mn + 0,3 \times (Si + Mo) + 0,4 \times Cr + 0,2 \times V + 0,04 \times (Ni + Cu) \quad (1)$$

Стали с  $C_e < 0,8\%$  режутся хорошо, но зимой требуют подогрева до  $150^\circ\text{C}$ .

Стали с  $0,8 < C_e < 1,1\%$  требуют предварительного подогрева до  $200\text{--}300^\circ\text{C}$  и склонны к закалке и трещинообразованию.

Стали с  $C_e < 1,1\%$  требуют предварительного подогрева до  $300\text{--}400^\circ\text{C}$ , медленного последующего охлаждения и склонны к образованию трещин.



**Рисунок 2. Устройство керосино–кислородного резака:**

1 – внутренний мундштук, 2 – наружный мундштук, 3 – головка, 4 – трубка режущего кислорода, 5 – трубка для подачи кислорода в инжектор, 6 – вентиль режущего кислорода, 7 – вентиль для керосина, 8 – трубка для керосина, 9 – рукоятка, 10 – трубка для кислорода, 11 – корпус резака, 12 – трубка для подачи керосина в испаритель, 13 – маховик для регулирования подачи горючего, 14 – щиток, 15 – испаритель, 16 – инжектор, 17 – смешительная камера, 18 – подогревающее сопло.

Для резки с применением ацетилена используется комплект, изученный в лабораторной работе №4 «Изучение технологии газовой сварки», только горелки заменяют резаками.

Вместо ацетилена можно использовать природный газ, коксовый, городской газ, пропан-бутан.

Наибольшее распространение получили инжекторные резаки (рис. 1), которые выпускаются типов Р1, Р2, Р3 со сменными мундштуками для резки стали различной

Процесс резки происходит в следующей последовательности:

- нагрев участка до температуры воспламенения;
- воспламенение металла в кислороде;
- сгорание металла в струе кислорода;
- расплавление окислов металла и их выдувание;
- нагрев смежных слоёв металла теплом от сгорания металла и прогревающихся газов.

толщины. Для резки труб, вырезки отверстий применяют специальные вставные головки резаков. В промышленности используются машины и механизмы различных типов, механизмирующие процесс резки. В строительстве и промышленности для резки стали используются керосинорезы, в которых подогревающее пламя создаётся сгоранием паров керосина. Пары керосина образуются подогревом непосредственно в резаке РК-1 (рис. 2) жидкого осветительного керосина, поступающего по шлангам из специального бачка.

Режим кислородной резки определяется мощностью обогревательного пламени, давлением и расходом режущего кислорода, расходом горючего, шириной резания, толщиной стали. Значения ряда этих параметров приведены в табл. 2.

Таблица 2. Параметры кислородной резки

Толщина стального листа $t$ , мм	3	25	50	100
Расход ацетилена $\text{м}^3/\text{час}$	0,3	0,55	0,75	1
Расход керосина $\text{г}/\text{час}$ .	600	800	900	1100
Расход кислорода $\text{м}^3/\text{час}$ .	3	6	9	20
Ширина резки, мм	2	4	5	6

Скорость резки может быть определена по формуле:

$$V=4000/(50+t) \text{ (мм/мин)} \quad (2)$$

На скорость резки большое влияние оказывает чистота кислорода. Снижение её на 1% уменьшает скорость на 15%, а его расход увеличивается на 35%. Для резки больших толщин эффективно низкое давление кислорода в 5-20 атм., которое резко снижает его расход.

### Плазменно-дуговая резка

При плазменно-дуговой резке на материал воздействует струя дуговой плазмы, имеющая температуру около  $20000^\circ\text{C}$ , в последствии возникает ионизация газа, протекающего через зону электрической дуги. Через дуговой разряд пропускается аргон, водород, азот или их смеси, которые инертны к разрезаемому материалу, или кислород в смеси с азотом, сжатым воздухом, углекислым газом, пары воды, которые являются химически активными по отношению к разрезаемому материалу. Для материалов, проводящих электрический ток, можно использовать схему плазмообразования с дугой прямого действия, горячей между вольфрамовым электродом и разрезаемым материалом (рис. 3а).

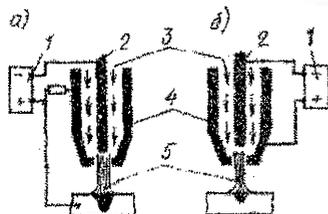


Рисунок 3. Схема плазмообразования дуги прямого (а) и косвенного (б) действия:

1 — источник тока, 2 — электрод, 3 — газ, 4 — сопло плазмотрона, 5 — плазменная струя.

Для материалов, не проводящих электрический ток, используется схема плазмообразования с косвенной дугой, горячей между вольфрамовым электродом и медной, охлаждаемой водой, головкой плазмотрона (рис 3б).

Для ручной резки применяют установки типа ПЛР — 50/250 (Киев 4, УГР — 201УЗ). Для такой резки используются источники питания постоянного тока с падающими характеристиками с напряжением холостого хода до 180 В. такие характеристики можно получить объединяя обычные источники постоянного тока для сварки, со-

единая их последовательно или используя специальные источники питания. Дуга прямого действия при ручной резке работает по схеме с прямой полярностью.

Таблица 3. Определение режима кислородной резки

№	Материалы	Химический состав, %	Размеры листа	Требуется разрезать на две равные части
1	БСтЗГпс ГОСТ 380-71*	C=0,14...0,22; Si≤0,15; Mn=0,8...1,1	2000×2000×20	В данной ячейке определяется возможность кислородной резки (формула 1) и дается её технология; записываются размеры полученных деталей с учётом ширины резки (табл. 2) и удельные расходы используемых газов (табл. 2); вычисляются скорость резки (формула 2) и её продолжительность, а затем расходы газов на разрезание листа на две части.
2	09Г2С ГОСТ 19281-73*	C≤0,12; Si=0,5...0,8; Mn=1,3...1,7; Cr≤0,3; Ni≤0,3; Cu≤0,3	1500×1500×50	
3	10Г2С1 ГОСТ 19281-73*	C≤0,12; Si=0,8...1,1; Mn=1,3...1,65; Cr≤0,3; Ni≤0,3; Cu≤0,3	1200×600×40	
4	60 ГОСТ 1050-88	C=0,57...0,65; Si=0,17...0,37; Mn=0,5...0,8; Cr≤0,23	1000×500×40	

Таблица 4. Возможные результаты плазменно-дуговой резки

Алюминий		Сталь	
Режим	Результат	Режим	Результат
Ток – 510 А Напряжение – 70 В Скорость – 410 м/мин Газ – аргон		Ток – 330...510 А Напряжение – 70...75 В Скорость – 130 м/мин Газ – аргон + водород	
Ток – 330 А Напряжение – 70 В Скорость – 410 м/мин Газ – аргон		Ток – 320...330 А Напряжение – 75 В Скорость – 100 м/мин Газ – аргон + водород	
Ток – 330А Напряжение – 70 В Скорость – 100...300 м/мин Газ – аргон		Ток – 330 А Напряжение – 75 В Скорость – 500 м/мин Газ – аргон + водород	
Ток – 330 А Напряжение – 70 В Скорость – 500 м/мин Газ – аргон		Короткое замыкание Напряжение – 93 В Скорость – 130 м/мин Газ – аргон + водород	
Ток – 340...360 А Напряжение – 68...70 В Скорость – 408...432 м/мин Газ – аргон		Ток – 320...330 А Напряжение – 73...75 В Скорость – 126...132 м/мин Газ – аргон + водород	

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

### СВАРОЧНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

**Цель работы:** изучить механизм появления сварочных деформаций и перемещений, их виды, метод расчёта сварочных деформаций, способы уменьшения и устранения сварочных деформаций.

**Оборудование и материалы:** тавровые балки с односторонним и двусторонним поперечными швами; измерительный инструмент для измерения и регистрации прогиба и угловых деформаций.

#### Основные сведения о сварочных деформациях и перемещениях

В процессе сварки металл сварного соединения и электрода плавится под действием концентрированного источника тепла – дуги, газового пламени и т.д. При дуговой сварке объем расплавленного металла относительно невелик и составляет 4...60 см<sup>3</sup>. Расплавленный металл до начала кристаллизации существует всего несколько секунд. Длину сварной ванны можно определить по формуле:

$$L = P \times U_d \times I, \quad (1)$$

где  $U_d$  – напряжение дуги (В);

$I$  – ток (А);

$$P = (1,7 \dots 2,3) \times 10^{-3} \text{ мм/Вт.}$$

Ширина сварочной ванны составляет 2...4 диаметра электрода, а глубина проплавления свариваемых элементов 2...4 мм.

Рассмотрим условия возникновения напряжений и деформаций.

Все металлы при нагревании расширяются, а при охлаждении сжимаются. Равномерно нагретый незакрепленный стержень после постепенного охлаждения примет свои первоначальные размеры (длину) и в нем не возникнут напряжения или деформации.

Если же изменению размеров стержня при нагреве или охлаждении будут препятствовать какие-либо силы или связи, то в нем возникнут напряжения, которые вызовут пластические деформации, т. е. изменения формы и размеров стержня.

При сварочных процессах изменение линейных и объемных размеров металла в большинстве случаев происходит при наличии многих связей. На процессы возникновения и развития напряжений и деформаций в значительной степени влияют механические свойства металла при высоких температурах.

Предел прочности  $\sigma_B$  стали в интервале температур от 200 до 350°C достигает максимума, а относительное удлинение  $\delta$  снижается; при дальнейшем повышении температуры  $\sigma_B$  падает, а  $\delta$  возрастает. Модуль упругости стали  $E$  и предел текучести  $\sigma_T$  с повышением температуры падают, и примерно при 650° С сталь теряет свои упругие свойства. Из этого следует, что при указанной температуре нагрева достаточно небольшого усилия для создания пластической деформации металла.

Для уяснения механизма возникновения напряжений и деформаций при сварке рассмотрим случай нагрева до высокой температуры средней полосы стальной пластины. Условно расчленим эту пластину (рис. 1, б) на три стержня — I, II и III. До нагрева длина всех стержней одинакова и равна  $l_0$ .

При равномерном нагреве (с изменением температуры по линейному закону) длина незакрепленного стального стержня I изменится аналогично кривой *abc* (рис. 1, а). Допустим, что при этом стержень I удлинится на величину  $\Delta l_1$ . После охлаждения до начальной температуры приращение длины стержня стало бы равным 0, т. е. он принял свой первоначальный размер (кривая *ce*).

В нашем случае стержень / не является свободным. При нагреве связанные с ним стержни II и III, обладающие более низкой температурой, будут препятствовать удлинению его на величину  $\Delta l_1$ . Приращение длины стержня / ограничится условно кривой *аб* и при последующем повышении температуры прекратится (кривая *бд*). В нем возникнут напряжения сжатия (—), которые вызовут соответствующую пластическую деформацию укорочения. В стержнях II и III при этом возникнут напряжения растяжения (+). Удлинение стержня в этих условиях составит  $\Delta l_2 < \Delta l_1$ .

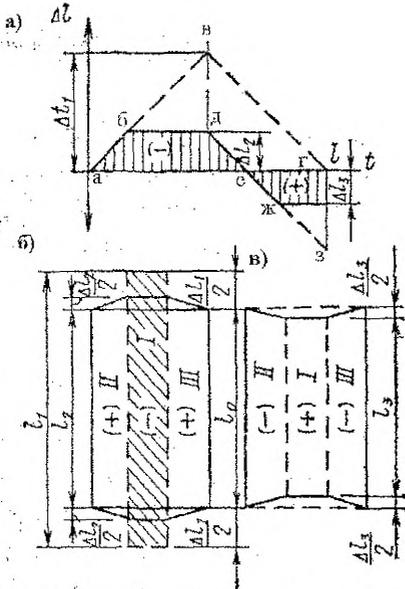


Рисунок 1. Схема возникновения напряжений и деформаций при нагреве средней зоны пластины: а — диаграмма приращений длины стержня I; б — размеры пластины после нагрева; в — то же, после охлаждения.

Напряжения, которые остаются в металле от местного неравномерного нагрева или сварки, называются *остаточными*, или *собственными*, так как существуют в изделии без воздействия внешних сил.

При сварке, кроме неравномерного местного нагрева, возникновению остаточных напряжений способствуют литейная усадка расплавленного металла шва и структурные изменения металла в зоне термического влияния.

*Литейной усадкой* называют уменьшение объема металла в результате остывания и твердения жидкою расплава. Усадка измеряется в процентах от первоначального линейного размера и составляет: для низкоуглеродистой стали — 2%; алюминия — 1,8%.

В результате литейной усадки металла шва возникают сжимающие силы как в продольном, так и в поперечном направлениях к оси шва.

*Структурные изменения* в зоне термического влияния представляют собой изменение размеров и взаимного расположения кристаллов металла, которые сопровождаются изменением объема металла, подверженного термическому воздействию. Такое местное изменение объема металла приводит к возникновению внутренних напряжений. При сварке легированных и высокоуглеродистых сталей, склонных к закалке, эти напряжения могут достигать больших значений.

При последующем охлаждении стержень / будет стремиться (соответственно достигнутой температуре нагрева) к укорочению на длину, равную примерно  $\Delta l_1$  (кривая *дэ*), однако этому вновь будут препятствовать связанные с ним стержни II и III.

В начальный период охлаждения напряжения сжатия в стержне / будут уменьшаться до 0 (кривая *де*), а при дальнейшем понижении температуры изменят знак. Теперь в стержне / возникнут и останутся напряжения растяжения (кривая *еж*), а в стержнях II и III — напряжения сжатия как результат противодействия их дальнейшему укорочению стержня /. После охлаждения до начальной температуры стержень / будет иметь размер  $l_3$ , который меньше первоначальной его длины  $l_0$  на величину  $\Delta l_3$ , следовательно, неравномерный нагрев вызвал напряженное состояние и пластическую деформацию пластины.

Напряжения, которые остаются в металле от местного неравномерного нагрева или сварки, называются *остаточными*, или *собственными*, так как существуют в изделии без воздействия внешних сил.

При сварке, кроме неравномерного местного нагрева, возникновению остаточных напряжений способствуют литейная усадка расплавленного металла шва и структурные изменения металла в зоне термического влияния.

*Литейной усадкой* называют уменьшение объема металла в результате остывания и твердения жидкою расплава. Усадка измеряется в процентах от первоначального линейного размера и составляет: для низкоуглеродистой стали — 2%; алюминия — 1,8%.

В результате литейной усадки металла шва возникают сжимающие силы как в продольном, так и в поперечном направлениях к оси шва.

*Структурные изменения* в зоне термического влияния представляют собой изменение размеров и взаимного расположения кристаллов металла, которые сопровождаются изменением объема металла, подверженного термическому воздействию. Такое местное изменение объема металла приводит к возникновению внутренних напряжений. При сварке легированных и высокоуглеродистых сталей, склонных к закалке, эти напряжения могут достигать больших значений.

Напряжения от структурных изменений при сварке низкоуглеродистой стали весьма незначительны и ими можно пренебречь.

Величина и распределение напряжений и деформаций зависят от жесткости свариваемых конструкций и изделий; при этом большое значение имеет толщина металла. При сварке металла толщиной до 3 мм проявляются преимущественно большие деформации, а напряжения ничтожны. Сварка металла толщиной от 4 до 16...18 мм сопровождается значительными деформациями; при этом с увеличением толщины в большей степени начинают проявляться остаточные напряжения. При сварке металла толщиной от 18 до 50...60 мм основным фактором является возникновение значительных остаточных напряжений; деформации при этом невелики.

Остаточные напряжения действуют в непосредственной близости к шву и резко затухают на расстоянии 50...80 мм от шва.

Деформации и перемещения в зоне сварного соединения классифицируются следующим образом (рис. 2):

1. Продольные остаточные пластические деформации вдоль сварного шва, создающие условную усадочную силу (усадка составляет от 0,05 до 0,3 мм на 1 пог. м шва при толщине металла от 5 до 16 мм).

2. Равномерные по толщине поперечные остаточные пластические деформации, дающие поперечную усадку (для металла толщиной 6...8 мм поперечные перемещения при ручной, автоматической и полуавтоматической сварке практически одинаковы и составляют около 1 мм на один стык, для металла толщиной 12...20 мм перемещения при автоматической сварке увеличиваются незначительно, а при ручной — возрастают до 2...3 мм на один стык).

3. Неравномерные по толщине пластические деформации, образующие угловые перемещения (при сварке стыковых соединений с V-образной разделкой кромок угловые деформации могут достигать  $3^\circ$  при толщине металла 6...12 мм и  $7^\circ$  при толщине металла 13...20 мм).

4. Перемещения в зоне шва в направлении перпендикуляра к поверхности свариваемых листов.

5. Сдвиговые деформации, которые образуют в сварном соединении смещения вдоль шва.

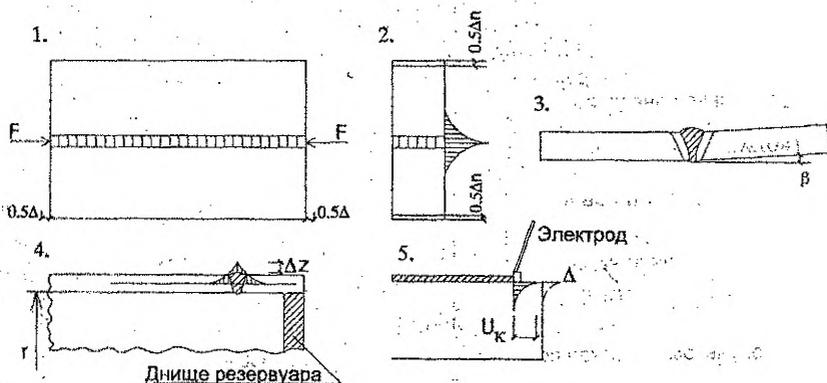


Рисунок 2. Виды перемещений и деформаций при сварке

### Определение общих деформаций в сварном тавровом элементе

После сварки продольного поясного шва или швов в тавровом элементе возникает условная усадочная сила  $F$ , которая создает его укорочение  $\Delta$ . Усадочная сила приложена в центре тяжести сечения наплавленного металла. Так как усадочная сила приложена с эксцентриситетом относительно центра тяжести сечения тавра, то возникает изгибающий момент  $M$ , который изгибает тавровую балку (рис. 3).

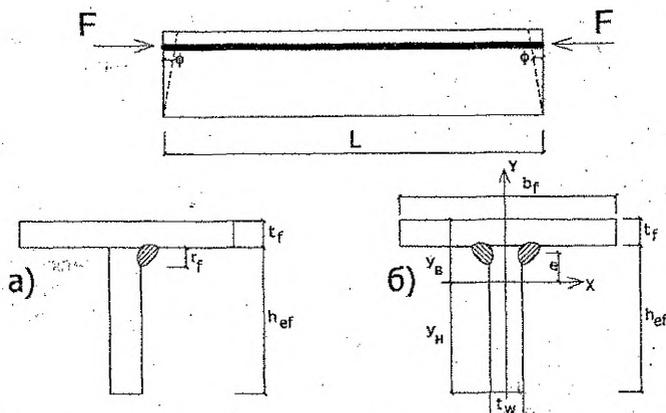


Рисунок 3. Образцы тавровых соединений: а - №1, б - №2.

Основные обозначения и формулы:

$L$  - длина тавровой балки;  $b_f$  - ширина полки;  $t_f$  - толщина полки;  $h_{ef}$  - высота стенки тавра;  $k_f$  - высота катета сварного шва;  $t_w$  - толщина стенки тавра;  $A_w$  - площадь наплавленного металла шва;  $F_1$  - усадочная сила при односторонней сварке одного поясного шва;  $A$  - площадь сечения тавра;  $e$  - эксцентриситет приложения силы;  $F_2$  - усадочная сила при односторонней сварке двух поясных швов;  $q$  - тепловая мощность дуги;  $q_n$  - погонная энергия сварки;  $\eta$  - к.п.д. процесса нагрева;  $I$  - ток сварки (А);  $U_d$  - напряжение дуги;  $V$  - скорость сварки;  $B=170$  - коэффициент для определения погонной энергии для сварки сталей.

Таблица 1. Значения коэффициента  $Q_v$

Виды сварки	Сварочные материалы	$Q_v$ , Дж/мм <sup>3</sup>
Ручная электродуговая	Электрод УОНИИ 13/45	65
	Электрод 48Н-1	46
Полуавтоматическая в $CO_2$	Проволока Св-08ГС	38
Автоматическая и полуавтоматическая под флюсом	Проволока Св-08А; Флюс ОСЦ-45	65

Усадочные силы:  $F_1 = q_n \times B$  (Н);  $F_2 = (1,3 \dots 1,44) \times F_1$  (Н); (2, 3)

Погонная энергия сварки:  $q_n = Q_v \times A_w$ ;  $q_n = q/V$ ; (4, 5)

Тепловая мощность дуги:  $q = \eta \times I \times U_d$  (6)

Продольное укорочение балки:  $\Delta = \frac{F \times l}{E \times A}$ ; (7)

$$\text{Прогиб балки: } f = \frac{F \times e \times l^2}{8 \times E \times I}; \quad (8)$$

$$\text{Угловой поворот концов балки: } \varphi = \frac{F \times e \times l}{E \times I}; \quad (9)$$

$$\text{Положение центра тяжести тавра: } y_c = \frac{b_f \times t_f \times (h_{ef} + 0,5 \times t_f) + 0,5 \times h_{ef}^2 \times t_w}{A}; \quad (10)$$

$$\text{Эксцентриситет приложения усадочной силы: } e = h_{ef} - y_c - 0,5 \times k_f; \quad (11)$$

$$\text{Изгибающий момент в тавре: } M = F \times e; \quad (12)$$

Момент инерции тавра:

$$I = \frac{h_{ef}^3 \times t_w}{12} + (y_c - 0,5 \times h_{ef})^2 \times h_{ef} \times t_w + (0,5 \times t_f + h_{ef} - y_c)^2 \times t_f \times b_f; \quad (13)$$

При сварке продольных швов в балке таврового сечения, кроме продольного укорочения балки и её прогиба, возникают угловые деформации, которые складываются из деформаций изгиба полки  $\beta$  вследствие неравномерного поперечного сокращения металла по толщине полки и поворота полки тавра  $\omega$  как жёсткого целого в результате усадки шва в направлении гипотенузы.

### Методы уменьшения деформаций и перемещений от сварки

а) На стадии проектирования:

- проектируют минимальные объёмы наплавляемого металла;
- используют способы сварки с минимальным тепловложением (многопроходная сварка вместо однопроходной);
- конструкцию проектируют с поперечным сечением и швами так, чтобы моменты от усадочных сил были уравновешены;

б) На стадии разработки технологии:

- используют приспособления для сборки и закрепления свариваемых элементов; однако исследованиями Н. О. Ожерблома установлено, что если ширина зоны максимального разогрева меньше 0,15 общей ширины элемента, то при сварке в закреплённом состоянии деформации будут меньше, чем при сварке в свободном состоянии. При зоне максимального нагрева более 0,15 общей ширины элемента деформации закреплённых элементов будут больше, чем при сварке в незакреплённом состоянии.

- назначают размеры заготовок с учётом усадки от сварки;
- создают перемещения в заготовках, противоположные перемещениям при сварке;

- применяют искусственное охлаждение в зоне сварки с целью уменьшения зоны пластических деформаций;

- создают с помощью специальных установок напряжения растяжения для уменьшения усадочной силы;

в) Осуществляют правку сваренных элементов:

- используют механическую правку, создавая пластические деформации удлинения: гибку, растяжение, проковку, вибрацию, прокатку, статическое осаживание металла по толщине под прессом;

применяют термические способы, основанные на создании пластических деформаций необходимого знака: местные нагревы вне зон пластических деформаций от сварки, создавая деформации укорочения. Общий нагрев деталей при отпуске с закреплёнием элементов, создавая выпрямление в печи.

Учебное издание

Составители: Драган Вячеслав Игнатьевич  
Мухин Анатолий Викторович  
Черноиван Николай Вячеславович  
Ляликов Сергей Михайлович

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
к лабораторным работам по дисциплине  
**«МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И СВАРКА»**  
для студентов специальностей

70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»,  
70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций»  
дневной формы обучения

Ответственный за выпуск: Черноиван Н.В.  
Редактор: Строкач Т.В.  
Корректор: Никитчик Е.В.

---

Подписано к печати 10.02.2004 г. Формат 60x84<sup>1/16</sup>. Усл. печ. л. 2,4. Уч. изд. л. 2,5. Заказ № 185. Тираж 150 экз. Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный технический университет». 224017, Брест, ул. Московская, 267.