

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ, ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ  
И ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ РФ  
ТОЛЬЯТТИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

**ВВЕДЕНИЕ  
В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ  
ИНЖЕНЕРА-СВАРЩИКА**

**Учебное пособие**

Тольятти 1992

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ, ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ РФ

ТОЛЬЯТТИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ ИНЖЕНЕРА-СВАРЩИКА

Учебное пособие



Тольятти 1992

Сидоров В.П.: Введение в специальность инженера-сварщика: Учебное пособие. - Тольятти: ТольПИ, 1992. С. 59.

Излагаются содержание и сущность инженерной деятельности, роль сварочного производства в современной технике, сущность основных способов сварки плавлением и давлением. Даны рекомендации по ведению конспектов в кузе, пример теста для опроса на лекциях, словарь терминов по сварке.

Для студентов спец.1205.

Ил. 30. Таб. 1. Библиогр.: 11 назв.

Рецензенты: кафедра "Оборудование и технология пайки" ТольПИ (зав.кафедрой д.т.н., проф. В.Н.Керезевицев); к.т.н. Д.И.Шильченко, главный сварщик ПО "Волгоцельмаш".

Научный редактор д.т.н., проф. В.И.Столбов

Утверждено редакционно-издательской секцией методического совета института.

© Тольяттинский политехнический институт, 1992.

## 1. РОЛЬ ИНЖЕНЕРОВ В СОВРЕМЕННОМ ОБЩЕСТВЕ

Инженерная деятельность занимает одно из центральных мест в современной культуре. Все, что окружает нас, было бы невозможно без ее достижений. Инженерная деятельность постоянно сопряжена с техническими, то есть искусственно созданными для удовлетворения человеческих потребностей, структурами.

Слово "техника" имеет несколько значений. Например, оно может быть истолковано как мастерство, умение, сноровка, т.е. система определенных навыков, выработанных для любого использования. В более узком смысле техникой называются средства, с помощью которых человек воздействует на природу, т.е. это изготовление предметов, искусственное воспроизведение процессов и явлений.

Под техникой часто понимают набор различных технических средств: инструментов, машин и т.д., используемых в производстве или в повседневной жизни. Посредством технической деятельности человек выходит за пределы ограничений, налагаемых его природой.

Техника — это также система технических знаний, включающих в себя не только научные, но и различные конструктивные, технологические и другие знания и приемы, выработанные в ходе технической практики.

Слово "техника" восходит к древности и переводится как искусство, мастерство, сноровка. Родственным словом "техника" считается слово "инженер". Оно произошло от латинского корня *ingenios* что означает "творить", "создавать". Слово *ingeniare* было впервые применено к некоторым военным машинам во II веке. Человек, создавший такие хитроумные устройства, стал называться *ingeniator* (изобретатель).

Инженерная деятельность сначала носила в основном военный характер. Впервые стал называться гражданским инженером известный английский инженер Джон Смитон (1724-1792 гг.).

В XIX веке с развитием машинного производства появились многочисленные инженеры-механики. Это событие ключевое для формирования понятия "инженер" в современном смысле. Инженеры стали представ-

лять профессию со специальной научно-методической подготовкой и техническими навыками.

В XX веке инженерия разделилась на множество отраслей и подотраслей. Но для всех них характерно то, что инженер — это тот, кто управляет процессом создания, планирует или проектирует сложную техническую систему.

Следует различать инженерную и техническую деятельность в плане разделения труда в современном обществе. Техническая деятельность несет на себе исполнительную функцию, направлена на непосредственную реализацию в производственной практике инженерных идей, проектов. Инженерная деятельность выделилась на определенном этапе развития общества из технической деятельности. Техническая деятельность присуща обществу на самых ранних его стадиях и связана с изготовлением орудий.

С развитием массового машинного производства в науке формируются и особые сферы технических наук. Они ориентированы на решение инженерных задач в различных областях инженерной практики.

## II. ВИДЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И СВЯЗЬ МЕЖДУ НИМИ

Для современной инженерной деятельности характерно разделение по различным отраслям и функциям. Это привело к развитию целого ряда видов инженерной деятельности, взаимосвязанных между собой. Различные виды деятельности инженеров возникали постепенно. На первых этапах своего развития инженерная деятельность была ориентирована на применение знаний естественных наук и математики и включала в себя изобретательство, конструирование опытного образца и разработку технологии изготовления нового инженерного объекта.

### 2.1. Изобретательство

На основе научных знаний и технических достижений изобретателями создаются новые принципы действия, способы реализации этих принципов или конструкции инженерных объектов. Сложности в изготовлении, конструировании и техническом обслуживании существующих технических систем, а также потребность в принципиально новых инженерных объектах стимулирует производство особого продукта —

изобретений. Они имеют, как правило, широкую сферу применения и используются в качестве исходного материала при конструировании и изготовлении многих инженерных объектов.

В условиях развитой науки всякое изобретение основывается на тщательных научных и инженерных исследованиях и сопровождается ими. Например, известный русский изобретатель электрической дуговой сварки металлов Николай Гаврилович Славянов в 1891г. запатентовал свое изобретение только после разработки в течение нескольких лет предлагаемого им способа, что позволило внести улучшения в процесс сварки. Работая на Пермских заводах, он провел специальное исследование электрической дуги. О глубоких теоретических исследованиях, сопровождавших изобретение, свидетельствуют его научные труды, например, статья "Электрическая отливка металлов горного инженера Николая Славянова", опубликованная в 1892 г.

Французский историк науки Ж.-Ж. Саломон показал на примере американского изобретателя Эдисона, что миф о неотесаном, но гениальном изобретателе и об изобретательстве как о божественном даре для современного инженера-изобретателя не имеет под собой оснований. Эдисон был руководителем первой лаборатории, созданной для промышленных исследований. В основе деятельности этой лаборатории лежала как теория, так и практика. Эдисон подготовил путь для систематических исследований в век техники. В его лаборатории работали квалифицированные ученые, она была оснащена передовым научным оборудованием.

Необходимость научных исследований, сопровождающих серьезное инженерное изобретение, особенно видна в наше время. Глубокое теоретическое исследование предшествовало, например, изобретению ультразвуковой дефектоскопии Сергеем Яковлевичем Соколовым. В 1927 году, изучая распределение ультразвука в твердых телах, он обнаружил его способность легко проходить через металл. В 1928 году Соколовым было предложено практическое применение ультразвука для дефектоскопии металлов. Даже сама идея получения видимых изображений предметов с помощью ультразвука до этого никем не высказывалась. Ученый проявил себя и как изобретатель, и как физик-исследователь.

## 2.2. Конструирование

Недостаточно только сформулировать новую идею, принцип инженерного объекта. Необходимо сделать новую машину работоспособной,

при этом встречаются большие затруднения. За изобретателями следуют конструкторы, разрабатывающие многочисленные типы машин. Конструирование представляет собой разработку конструкции инженерного объекта. После разработки конструкции она материализуется в процессе изготовления на производстве. Конструкция состоит из определенным образом связанных стандартных элементов, выпускаемых промышленностью или изобретаемых заново.

Конструирование, как правило, начинается после того, как изобретатель продемонстрировал опытный образец машины. Однако производству нужен не единственный опытный экземпляр, а его варианты с другими характеристиками. Для целей массового производства необходимы дополнительные инженерные расчеты и учет ряда новых требований (простота и экономичность изготовления, удобство использования, соблюдение определенных габаритов и т.д.). На основе опытного образца конструктор рассчитывает конкретные конструктивно-технические характеристики. Они должны учитывать специфику условий изготовления машины в данном производстве. Конструкторская деятельность становится необходимой именно с развитием серийного и массового производства технических изделий. Она заключается в создании, испытании и отработке опытных образцов различных вариантов будущего инженерного объекта, выборе из них наиболее оптимального. Кроме того, конструкторы разрабатывают техническую документацию — руководство к изготовлению изделия на производстве.

Конструкторскую деятельность выполнял, например, один из основоположников теории сварочных источников питания и организатор их производства, член-корреспондент АН СССР инженер Валентин Петрович Вологдин. В.П.Вологдин вносил изменения в конструкцию генератора, совмещал в одном корпусе генератор и двигатель машины, разрабатывал и изготавливал образцы сварочных трансформаторов с дополнительным подмагничиванием сердечника постоянным током и т.д. Владелец завода, убедившись в конструкторских способностях своего сотрудника, заключил с ним договор на расчет, конструирование, изготовление и испытание генераторов тока повышенной частоты. Вологдин сделал и испытал более сотни вариантов. Наконец был создан опытный образец, и испытания дали хорошие результаты.

За конструктором остается расчет конструктивно-технических и технологических параметров инженерного объекта. В дальнейшем разработка технологии изготовления переходит к особым специалистам — инженерам-технологам. Однако это не снимает с конструктора ответ-

ственности за технологичность созданной им конструкции. Конструктор должен быть хорошо знаком со всеми процессами изготовления и обработки проектируемых машин, сооружений и других изделий. Без таких знаний он может сконструировать детали, которые будет невозможно изготовить, или же их обработка окажется неудобной, неэкономичной.

### 2.3. Технология и организация производства

После разработки конструкции чертежи передаются исполнителям, прежде всего инженеру-технологу, организатору производства. Он руководит изготовлением отдельных деталей и их сборкой. Продуктом инженерной деятельности как изготовителя продукции является готовый инженерный объект и руководство по его эксплуатации. Функция инженера в данном случае заключается в организации производства конкретного типа изделий и разработке технологии изготовления определенной конструкции инженерного объекта.

### 2.4. Инженерные исследования

Развитие инженерной деятельности привело к необходимости выделения в ней особой сферы — собственно инженерных исследований. В них на основе опыта инженерной работы формируются особые практико-методические знания. Эти знания находят применение в разнообразной инженерной практике: изобретательстве, проектировании, конструировании, организации изготовления и даже становятся необходимыми в процессе эксплуатации инженерных объектов. Чаще всего инженерные исследования проводятся специальными подразделениями, состоящими из инженеров-исследователей.

Большую роль в развитии технических наук в нашей стране и в организации научно-инженерных исследований сыграло Отделение технических наук АН СССР, созданное в 1935 году. К 1940 году в СССР сформировались крупные научно-инженерные школы в различных областях техники.

Большой интерес представляет деятельность выдающегося советского механика академика И.И.Артоболевского. Его деятельность наглядно показывает повышение роли теоретических исследований, ориентированных на решение инженерных задач.



Теория механизмов до работ Артоболевского не давала общих средств синтеза механизмов. Он поставил проблему создания теории механизмов, помогающей решать задачи машиностроения. Разработанные им методы анализа и синтеза механизмов с применением математических методов давали возможность обнаружить громадное число новых механизмов, не применявшихся ранее в технике. Разработанная И.И. Артоболевским теоретическая модель оказалась действенным инструментом в руках конструкторов.

## 2.5. Эксплуатация технических систем

В сферу инженерной деятельности попадает и эксплуатация инженерного объекта. Для ее осуществления требуется достаточно высокая инженерная квалификация.

Эксплуатация включает в себя управление и контроль за функционированием технической системы, ее использование, а также ремонт и техническое обслуживание. Анализ работы системы служит для ее возможной модернизации и подготовки технического задания для разработки новой системы. Здесь фактически продолжается разработка. Проектировщик должен постоянно получать сведения по результатам своей деятельности благодаря опыту эксплуатации системы.

## III. ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В современной культуре инженерная деятельность играет все более существенную и важную роль. Нормы и методы инженерного мышления проникают в научную, социальную и даже гуманитарную сферы. Инженерная деятельность оказывает огромное воздействие на окружающую природную среду. Во второй половине XX века воздействие технического прогресса на общество и природу стало глобальным, что поставило целый ряд сложнейших экологических проблем. Все это означает, что инженер не просто технический специалист. Он имеет дело с природой — основой жизни общества и с другими людьми. Современная инженерная деятельность выдвигает проблему ответственности инженера перед обществом.

Изначальная цель техники и технической деятельности — принести пользу человеку. Этот принцип должен соблюдаться в большом и малом. Сегодня особенно актуальными становятся проблемы социальной ответственности инженеров и проектировщиков не только перед

заказчиком, но и перед обществом в целом. Никакие ссылки на государственную, экономическую или техническую целесообразность не могут оправдать морального и материального ущерба, который может быть нанесен человеку.

В последнее время происходила известная девальвация профессии инженера, зачастую принижались его функции, низко оплачивался его труд. Поэтому значительная часть способной молодежи неохотно поступала в технические вузы. Это связано и с тем, что сегодня инженерами называют многие виды труда, которые таковыми по сути не являются. Инженер с первых дней профессиональной деятельности должен иметь возможность реализовать свой творческий потенциал в самостоятельной работе, заниматься подлинной инженерной деятельностью. Для достижения этого необходимы решительные и кардинальные меры, в том числе резкое сокращение численности инженеров за счет роста их профессионализма.

#### IV. МЕСТО СВАРКИ В СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКЕ

Определение пути изготовления любой достаточно сложной машины или прибора в современной технике - непростая задача. Существует множество различных решений, но необходимо выбрать одно - более выгодное по затратам труда, материалов, времени.

Современная техника требует высокой точности изготовления деталей и узлов, их взаимозаменяемости, что достигается широким применением автоматических станков и целых поточных линий.

Технология машиностроения (ТМ) - наука, изучающая процесс изготовления машин. В ней рассматриваются и способы заготовки отдельных деталей и сборка машины в целом. ТМ включает ряд отдельных направлений: технологию судостроения, авиационную и т.д., так как в каждой области техники к изготовленным машинам и конструкциям предъявляют частные, специальные требования.

Общая технология машиностроения разделяется на отдельные дисциплины уже по типу процессов обработки материалов: механическая обработка, обработка материалов давлением, технология литейного производства, технология сварки и пайки металлов и других материалов и т.д. Эти технологические процессы применяют во всех областях машиностроения и приборостроения. Каждый технологический процесс требует своего оборудования, которое разрабатывают в соответствии с требованиями к изготовленным машинам.

Очень часто при изготовлении машин или конструкций любого назначения требуется из двух или нескольких частей сделать единое целое — изделие, которое в дальнейшей эксплуатации не должно подвергаться разбору на отдельные части.

Такое соединение называется неразъемным в отличие от болтовых или винтовых соединений.

В настоящее время неразъемные соединения получают методами сварки или пайки.

При сварке получается монолитное соединение двух частей, изготовленных из одного и того же или разных материалов. При пайке между поверхностями двух твердых тел необходима прослойка припоя. Припой после своего плавления, растекания и кристаллизации соединяет между собой две отдельные части.

Создание неразъемного соединения, сохраняющего исходную прочность металла или близкую к ней, представляет собой очень сложную физическую и технологическую задачу.

Разработано много видов сварки и пайки металлов в зависимости от их физико-химических свойств, типа соединений и общей конструкции изделия.

Для расплавления металла и образования сварного шва используют различные источники энергии, электрический дуговой разряд, ацетилено-кислородное пламя, электронный луч, поток плазмы, лазер, ультразвук, трение, Джоулеву теплоту в месте контакта двух металлов.

Процесс сварки может происходить в различных условиях: в защитной газовой среде, под слоем флюса, в вакууме; сваривают изделия электродами со специальными покрытиями, защищающими место плавления металла от окисления воздухом.

Сварка металлов и других материалов — быстро развивающийся технологический процесс, при котором используют автоматическое или полуавтоматическое оборудование. Как правило, на любом предприятии сварщики считаются весьма квалифицированными специалистами.

Подготовка инженеров-сварщиков ведется во многих вузах нашей страны. Они подразделяются на специалистов по технологии сварочного производства, по оборудованию и автоматизации сварочных процессов, по прочности и расчету сварных конструкций. Во всех случаях требуется большая общетеоретическая и общеинженерная подготовка.

В стране, помимо инженеров-сварщиков, подготавливается большое число техников-сварщиков, которые решают конкретные вопросы сварочной технологии, следят за оборудованием и непосредственно руководят бригадами сварщиков или работой участка и цеха.

Высококвалифицированных рабочих-сварщиков готовят многочисленные ПТУ. Обучение производится по отдельным специальностям, т.к. подготовить сварщиков-универсалов в короткий срок сложно.

Квалифицированный сварщик должен знать электротехнику, промышленную электронику, т.к. современное сварочное оборудование очень часто сложное. Его продолжают совершенствовать и усложнять в связи с новыми запросами техники.

Высокие требования к качеству сварных соединений, сложность оборудования для сварки и разнообразие сварочных работ определяют серьезную теоретическую и практическую подготовку сварщиков. После прохождения теоретической подготовки они должны выполнить целый ряд практических работ и сдать экзамен. Только после этого они получают диплом сварщика, без которого не могут быть допущены к сварочным работам.

Специальность сварщика универсальная, он всегда может найти себе интересную работу практически на любом предприятии.

К области сварочной техники относятся различные процессы, иногда даже противоположные по своему характеру, например, резка металлов и других материалов, наплавка, напыление и металлизация, упрочнение поверхности. Однако основная задача — получение неразъемных соединений между одинаковыми или различными металлами и неметаллическими материалами в самых разнообразных изделиях.

Форма и размеры таких соединений меняются в широких пределах: от сварной точки в несколько микрометров в схемах радиоэлектроники до нескольких километров сварных швов при строительстве кораблей. Материалы для изготовления сварных конструкций весьма разнообразны: алюминий и его сплавы, стали всех типов и назначений, титан и его сплавы и даже такой тугоплавкий материал как вольфрам (температура плавления  $T_{пл} = 3400^{\circ}\text{C}$ ). Также различны по своим свойствам неметаллические материалы, подвергавшиеся сварке: полиэтилен, графит, керамика и другие.

Академиком АН СССР Г.А.Николаевым и его учениками в конце 60-х годов совместно с учеными-медиками была разработана и внедрена в хирургию сварка биологических (костных) тканей.

Используя в несколько измененном варианте сварочное оборудование, вместо сварки можно вести разделительную резку металлов (например, для получения заготовок, применяемых впоследствии при сварке конструкций).

Резку металлов можно производить струей кислорода, неметаллических материалов (бетона, плака) - струей кислорода, несущего порошок железа. Для резки можно также применять электрический дуговой разряд или поток плазмы из плазмотрона.

Пайка, хотя и отличается по своей природе от сварки, также относится к области сварочной техники и находит очень широкое применение в приборостроении, машиностроении, ее начинают применять даже в строительных конструкциях.

Сварка по механизму образования сварного соединения может быть разделена на два вида: а) сварка давлением; б) сварка плавлением.

#### У. СВАРКА ПЛАВЛЕНИЕМ

Это сварка, осуществляемая расплавлением соединяемых частей без приложения давления. Нагреть кромки изделия выше температуры плавления для образования сварочной ванны можно, если источник тепла достаточно мощный, а ввод мощности сосредоточен на малой площади. Это требование вызвано тем, что основная часть теплоты уходит на нагрев холодного изделия вследствие высокой теплопроводности металлов. Распределение мощности сварочного источника по пятну нагрева имеет вид, показанный на графике рис. I. Одной из характеристик такого распределения является средний тепловой поток, значения которого для различных источников приведены в табл. I.

Таблица I

Энергетические характеристики основных источников энергии для сварки

Источник энергии	Температура, °C	Площадь нагрева, см <sup>2</sup>	Средняя плотность энергии, Вт/см <sup>2</sup>
Газовое пламя	3000-3500	$1 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^4$
Дуга в порках металла	4500-6000	$1 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^5$
Дуга в газах	5000-10000	$1 \cdot 10^{-4}$	$0,3 \cdot 10^5$
Электронный луч	-	$1 \cdot 10^{-7}$	$0,3 \cdot 10^8$
Лазерный луч	-	$1 \cdot 10^{-8}$	$0,3 \cdot 10^9$

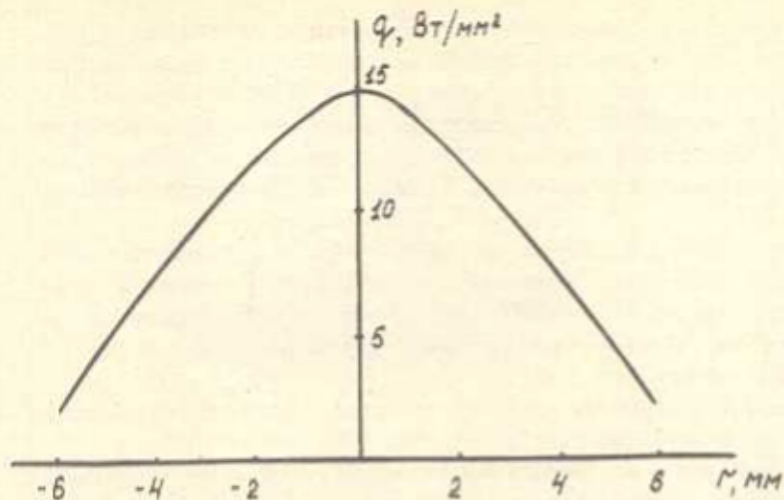


Рис. 1. Распределение мощности по пятну нагрева в аргонной дуге с вольфрамовым электродом  $I = 180 \text{ А}$ ,  $U_d = 13 \text{ В}$



Рис. 2. Схема сварки плавлением

При сварке плавлением источник тепла движется вдоль свариваемых кромок (рис.2). При неподвижном источнике тепла форма сварочной ванны симметрична, а ее сечение круглое (сварка точками). При движении источника тепла сварочная ванна имеет форму вытянутого овала. Размеры и форма сварочной ванны зависят от мощности источника и скорости его движения, а также теплофизических свойств металла.

Из-за введения в свариваемые детали большого количества тепла зона сварки существенно отличается по структуре и свойствам от основного металла. Неравномерность распределения температур в изделии вызывает также внутренние усилия и деформацию в нем без приложения внешних сил.

В сварном соединении выделяют три зоны с существенно различными свойствами металлов (рис.3).

а) сварной шов – его металл представляет собой литую структуру. Кристаллизация сварочной ванны начинается от границы нерасплавленного металла, где расположены его оплавленные кристаллы, которые прорастают в еще гладкую ванну, как только ее температура снизится до температуры плавления. Кристаллизация идет с двух поверхностей сплавления навстречу друг другу, что приводит к переносу примесей в центр сварочной ванны. Сварной шов получается неоднородным с неблагоприятной структурой. Однако, регулируя скорость охлаждения металла и направление отвода тепла, можно значительно улучшить литую структуру металла шва;

б) зона термического влияния (ЗТВ) – это участок основного металла, не подвергшийся расплавлению, структура и свойства которого изменились в результате нагрева при сварке. По ширине ЗТВ также неоднородна из-за неравномерности нагрева;

в) основной металл, имеющий в результате прокатки и термической обработки однородную мелкозернистую кристаллическую структуру.

Нагрев металла при сварке до температур, достигающих в центре сварочной ванны иногда температуры кипения, вызывает окисление металла шва и изменение его химического состава. Существует два основных способа защиты металла от взаимодействия с воздухом и обеспечения требуемого качества металла шва:

1) защита сварочной ванны шлаками и введение в нее легирующих веществ, повышающих качество металла шва и предохраняющих его от окисления;

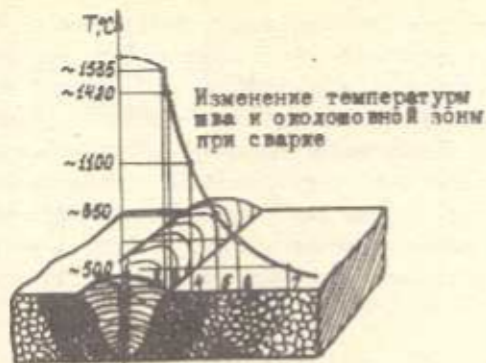


Рис. 3. Структура металла шва и околошовной зоны после сварки плавлением

2) защита зоны сварки путем создания атмосферы из инертных (аргон, гелий) или активных газов, например  $\text{CO}_2$ , а также путем создания вакуума.

Неоднородности в структуре сварного соединения и по химическому составу можно в значительной мере устранить термообработкой после сварки. Одновременно снимаются остаточные напряжения в металле.

Качество сварных соединений оценивают по их прочности и надежности работы в условиях будущей эксплуатации (статические или динамические нагрузки, высокие и низкие температуры, агрессивные среды и т.д.).

При оптимальных условиях технологического процесса сварки прочность сварных соединений составляет не менее 85–90% прочности основного металла, а в результате ряда специальных приемов может приближаться к 100%.

Создание прочных и работоспособных сварных конструкций, выполненных из различных материалов, требует комплексных работ по созданию рациональных методов сварки, разработке соответствующего оборудования и оптимальных технологических процессов.

При расчетах на прочность сварных конструкций нужно учитывать физико-механические свойства свариваемых металлов и сварного соединения. При создании ответственных сварных конструкций (мостов, кранов, судов, трубопроводов, аппаратов, работающих под дав-



лением) расчеты проверяют опытным исследованием свойств сварных образцов и даже отдельных узлов конструкции. При расчетах на прочность и работоспособность сварных конструкций предполагается качественное выполнение сварных соединений. Вопросам контроля качества сварки в производстве уделяется много внимания.

Сварка плавлением по ряду отдельных признаков подразделяется на отдельные виды. Каждый вид сварочного процесса имеет свои особенности и находит применение в той или иной сфере производства, где он дает необходимое качество изделий и экономически целесообразен.

### 5.1. Газовая сварка и газопламенная обработка металлов

При этом виде сварки в качестве источника тепла используют пламя специальной горелки, имеющее высокую температуру (до  $3000^{\circ}\text{C}$ ) и значительную мощность. Пламя получают в результате сгорания горючего газа в кислороде. В качестве горючего газа используют ацетилен  $\text{C}_2\text{H}_2$ , пропан, природный газ, пары бензина. Наиболее высокую температуру имеет ацетиленокислородное пламя. Мощность пламени зависит от качества  $\text{C}_2\text{H}_2$ , сгорающего в секунду.  $\text{O}_2$  и  $\text{C}_2\text{H}_2$  подаются в газовую горелку по резиновым шлангам, где смешиваются, а на выходе из сопла горелки возникает пламя. Мощность и характер пламени можно регулировать, изменяя расход  $\text{C}_2\text{H}_2$  и  $\text{O}_2$ . Схема ацетиленокислородной горелки приведена на рис.4.

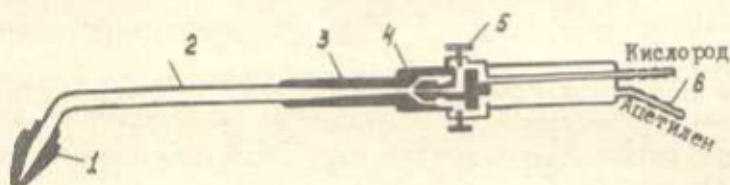


Рис. 4. Схема инжекторной горелки

Ацетилен получают из карбида  $\text{CaC}_2$  при действии на него воды. В настоящее время ацетилен поставляют к месту сварки в баллонах. Он находится в растворенном состоянии в жидком ацетоне, наполняющем баллон под давлением 1,5-1,8 МПа. Сварочное пламя горелки неоднородно. Различные его зоны имеют неодинаковую температуру (рис.5).

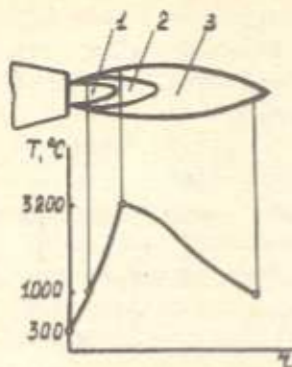


Рис.5. Строение ацетиленокислородного пламени и распределение в нем температур: 1 - ядро; 2- средняя зона; 3 - факел

Если объем поступающего в горелку кислорода будет равен объему поступающего ацетилена, то в этом случае металл сварочной ванны не подвергается окислению и, наоборот, окисленный металл может восстанавливаться из окислов. Такое пламя называется нормальным. Оно сохраняет свои свойства при отношении объемов  $O_2/C_2H_2 = 1,1-1,2$ .

При недостатке  $O_2$  пламя будет науглераживать металл, т.е. повышать содержание углерода в стали. Такое явление ухудшает механические свойства сварного соединения. При избытке  $O_2$  пламя сильно окисляет металл. Это используют для резки стали: в начале процесса создают пламя для подогрева металла до температуры плавления, а затем дают большой избыток  $O_2$ . Металл начинает гореть, образуя сквозной канал - рез. Из-за реза металл удаляется в виде окислов дополнительной струей чистого кислорода.

Кроме сварки и резки, ацетиленокислородное пламя горелки можно использовать для наплавки одного металла на другой с целью изменения свойств поверхности. Наплавляя на углеродистую сталь твердые сплавы, можно повышать твердость стальной поверхности. Наплавляя на сталь медные сплавы, сообщают поверхности антифрикционные свойства (низкое трение).

Ацетиленокислородное пламя применяют также и для напыления или металлизации. В этом случае на твердую поверхность (подложку) направляют поток мелких капель и паров металла, полученных при расплавлении металла проволоки в газовом металлизаторе. Таким способом наращивают изношенные поверхности деталей.

Газовая сварка и другие виды газопламенной обработки универсальны, ими могут выполняться разнообразные работы. Однако процессы с использованием газового пламени малопроизводительны.

## 5.2. Дуговая сварка

Наиболее распространенный вид сварки плавлением – дуговая сварка. В качестве источника энергии служит устойчивый электрический дуговой разряд.

В 1802 г. профессор Петербургской медико-хирургической академии В.В.Петров построил батарею из 4200 пар медных и цинковых кружков. На ней впервые была получена электрическая дуга. Спустя некоторое время после смерти Петрова (1834г.) его авторство было забыто. Честь открытия дуги начали приписывать Г.Дэви – крупному английскому физика и химика. Петрова вспомнили, когда электрическая дуга стала уже использоваться в промышленности, а один петербургский студент случайно нашел книгу Петрова, изданную в 1803 г. В 1900 году на Всемирной выставке в Париже в числе выдающихся электриков была указана и фамилия русского первооткрывателя. Портрет В.В.Петрова неизвестен до сих пор.

Работу над созданием способа сварки с помощью электрической дуги русский изобретатель Н.Н.Бенардос (1842–1906гг.) начал в 70-х годах. На пути к своему главному изобретению Бенардос встретил множество трудностей. В период с 1860 по 1884 год он, в частности, работал над созданием такого аккумулятора, который выдерживал бы длительные большие нагрузки и кратковременные перегрузки тока короткого замыкания в момент возбуждения дуги. В то же время он совершенствовал технологию сварки, разработал несколько видов держателей, специальную схему питания сварочной дуги, конструкции сварных соединений, изучал их прочность. К лету 1885 года ему удалось полностью разработать технологию сварки стали и чугуна и аппаратуру для сварки. 6 июля 1885 года он обратился в патентное ведомство с прошением о выдаче ему привилегии (патента) на "Способ прочного скрепления металлических частей и их разъединение непосредственным воздействием электрического тока". В 1885 году Бенардосу и С.А.Ольшевскому (Петербургскому купцу, финансировавшему зарубежное патентование) были выданы патенты во Франции, Бельгии, Великобритании, Германии, Швеции. Русскую привилегию изобретатель получил 31 октября 1886 года.

Новым в разработанной технологии было непосредственное получение электрической дуги между обрабатываемым металлом и угольным электродом. Способ распространялся на любую полярность дуги и форму электрода. Кроме сварки патенты защищали дуговую резку, прожигание отверстий, разделку дефектов. Бенардос указав также на возможность подводной сварки и резки металлов и впоследствии первым продемонстрировал подводную сварку. С 1886 г. электросварка начала быстрыми темпами применяться в промышленности, в том числе и за рубежом. В ряде промышленных центров западноевропейских стран появились исследовательские лаборатории и показательные участки. Без сварки металлов трудно уже было представить завершающий этап промышленной революции в развитых странах. Триумфальное шествие первого способа Бенардоса - сварки угольной дугой - еще продолжалось, а на подходе были новые направления электросварки: металлическим плавящимся электродом, контактная сварка, неплавящимся электродом в среде защитного газа.

Н.Н.Бенардос в конце жизни испытывал значительные материальные трудности. Более 200 изобретений, сделанных им, не обеспечили ему материального благополучия. Он умер в Фастове близ Киева. Не обнаружено ни одной газеты или журнала с сообщением о его смерти.

Создателем нового направления в технологии металлов стал русский инженер Н.Г.Славянов (1854-1897гг.). Он начал свои опыты с электрической дугой в тот момент, когда изобретение Н.Н.Бенардоса нашло широкое признание.

Славянов заменил неплавящийся угольный электрод металлическим плавящимся электродом-стержнем, сходным по химическому составу со свариваемым изделием. Электрод стал служить одновременно и присадочным материалом. Сварочная ванна защищалась от воздуха слоем шлака - расплавленного металлического флюса.

Славянов разработал специальный сварочный генератор на 1000 А, заменивший аккумуляторную батарею Бенардоса.

В октябре 1888 года на Мотовилихинском заводе в Перми, где Славянов занимал важный административный пост, началось применение нового способа для исправления дефектов литья, ремонта деталей паровозов, паровых машин, зубчатых колес, артиллерийских орудий. В 1890 году Н.Г.Славянов подал заявку на привилегию и 13 августа 1891 года получил ее на метод электрической отливки металлов. За три с половиной года на заводе в Перми было выполнено более 1600 работ по сварке и наплавке ответственных изделий.

В 1891 году Н.Г.Славянов запатентовал свое изобретение во Франции, Германии, Великобритании, Австро-Венгрии, Бельгии, а в 1897 г. в США. Другая российская привилегия, выданная в 1891г. Н.Г.Славянову, закрепила за ним приоритет в способе борьбы с усадочными раковинами в застывающих отливках путем использования электрической дуги.

Способ сварки Славянова и устройство для его осуществления были сложнее способа Н.Н.Бенардоса (названного "электрогефестом"), но зато технические возможности расширились и качество соединения улучшалось. На Всемирной выставке в Чикаго в 1893 году демонстрировался металлический двенадцатигранный стакан высотой 210 мм. Н.Г.Славянов наварил на сталь один за другим электроды из бронзы, никеля, стали, чугуна, меди, особой колокольной бронзы, томпака, нейзильберга - все гамму технических металлов того времени. Почетный диплом и золотая медаль Всемирной выставки были достойной оценкой изобретения.

Работы Бенардоса и Славянова привлекли внимание многих изобретателей в различных странах и открыли дорогу созданию новых аппаратов и способов сварки.

### 5.3. Свойства сварочной дуги

При дуговой сварке плавящимся электродом дуга возбуждается кратковременным замыканием электрода на изделии. Затем электрод отводится на расстояние 3...5 мм. При замыкании электрода на изделие ток в сварочной цепи в 1,5...2,0 раза больше, чем при горении дуги, и составляет 200...300 А. Ток короткого замыкания, проходя по участку электрод - изделие с большим сопротивлением, расплавляет металл в зоне контакта (джоулева теплота). В момент отведения электрода от изделия мостик из расплавленного металла разрывается и возникает дуговой разряд, горящий в парах металла. Часть атомов атмосферы дуги отдаёт электроны и переходят в ионизированное состояние. Доля атомов в дуге, отдавших электроны, не превышает 1%. Такое состояние газа называется низкотемпературной плазмой. Так как между электродами приложено напряжение, подведенное от источника питания, то в плазме возникает электрическое поле. Под действием этого поля электроны и положительные ионы разгоняются, приобретая кинетическую энергию. Поскольку масса электронов в десят-

ки тысяч раз меньше, чем масса ионов, они приобретают гораздо большую скорость и энергию, чем ионы. Время, в течение которого заряженные частицы приобретают кинетическую энергию, ограничена их столкновениями с нейтральными атомами. При столкновении с атомами электроны и ионы передают им свою энергию, в результате чего температура плазмы растет. В свою очередь атомы атмосферы дуги теряют энергию в окружающую среду за счет теплопроводности и излучения. При устойчивом состоянии разряда устанавливается равновесие между процессами выделения энергии в дуге электрическим полем и потерями энергии, а температура газа достигает некоторого предельного значения. В зависимости от вида дуги температура в ней достигает  $(5 \dots 10) \cdot 10^3$  градусов.

Дуговой сварочный разряд неоднороден. Проводящая его часть, расположенная по оси, обладает наиболее высокой температурой, а в периферийной части температура и проводимость резко снижаются.

В дуговом промежутке выделяют катодную, анодную области падения напряжения и столб дуги (рис.6).

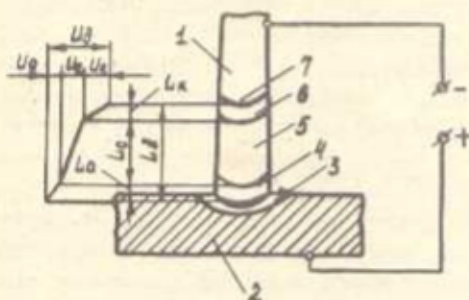


Рис.6. Схема сварочной дуги и падения напряжения в ней:  
 1 - электрод; 2- изделие; 3 - анодное пятно; 4 - анодная область дуги; 5 - столб дуги; 6 - катодная область дуги; 7 - катодное пятно

Длина катодной области  $l_k$  составляет примерно  $10^{-5}$  см, а анодной  $l_a$  -  $10^{-4}$  см. Несмотря на такую малую длину, в этих областях наблюдается значительное падение напряжения, вызванное образованием около электродов пространственных зарядов (скоплением заряженных частиц). На поверхности анода и катода образуются

электродные пятна, через которые проходит весь сварочный ток. Пятна выделяются яркостью свечения. Общую длину дуги можно приближенно принять равной длине столба дуги:

$$L_d = l_k + l_{CT} + l_A \approx l_{CT}.$$

Общее напряжение сварочной дуги, соответственно, складывается из падений напряжений в областях дуги:

$$U_d = U_k + U_{CT} + U_a.$$

Зависимость напряжения в сварочной дуге от ее длины описывается выражением

$$U_d \approx a + E \cdot l_{CT},$$

где  $a$  — сумма падений напряжения в прикатодной и прианодной областях, В;

$l_{CT}$  — длина столба дуги, мм.

Плавление материала изделия и электрода в дуге происходит главным образом благодаря огромной концентрации энергии, выделяемой в приэлектродных областях. Основной характеристикой сварочной дуги как источника тепла является эффективная мощность  $q_u$ . Это мощность, затрачиваемая на нагрев металла изделия. Часть мощности дуги непроизводительно расходуется на излучение, нагрев капель при разбрызгивании и т.п. Эффективным КПД процесса нагрева изделия дугой называется отношение

$$\eta_u = \frac{q_u}{P_d},$$

где  $P_d$  — полная электрическая мощность дуги, Вт. Значение  $\eta_u$  может меняться от 0,3 до 0,95 в зависимости от вида сварки.

Количество тепла, вводимое в металл источником нагрева и отнесенное к единице длины шва, называется погонной энергией сварки, Дж/см:

$$q_{\text{пог}} = \frac{q_u}{V_{CB}},$$

где  $V_{CB}$  — скорость сварки, см/с.

При образовании сварного шва эффективная тепловая мощность расходуется на расплавление и нагрев основного и электродного металлов. В зависимости от числа электродов и способов включения электродов и свариваемой детали в электрическую цепь различают следующие виды сварочных дуг (рис.7): прямого действия, косвенного, трехфазная дуга. По роду тока различают дуги, питаемые постоянным и переменным током. При применении постоянного тока различают сварку на прямой и обратной полярности.

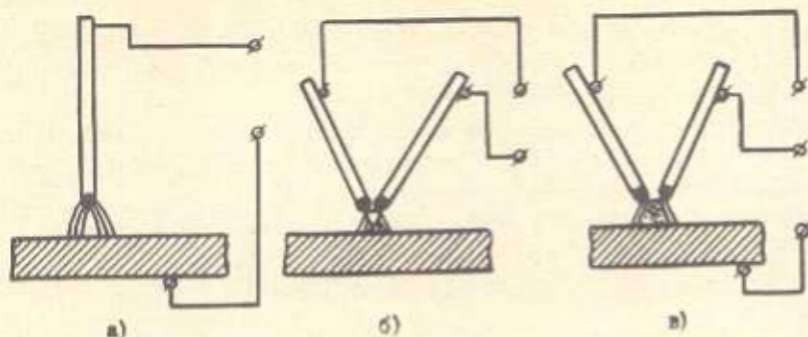


Рис.7. Виды сварочных дуг: а) прямого; б) косвенного; в) комбинированного действия (трехфазная)

Полярность тока при сварке играет важную роль, так как от нее зависит соотношение между скоростью расплавления электродного металла и глубиной проплавления изделия.

При отключении тока в дуге в ней очень быстро происходит деионизация и растет сопротивление столба дуги, а также способность катода поставлять в дугу электроны.

Распад дуги занимает всего  $10^{-4}$  с. Вследствие такого свойства дуги поддержание ее на переменном токе связано со значительными трудностями, т.к. при смене полярности тока дуга гаснет. Для поддержания дугового промежутка в этот период применяют различные приемы. Так, при сварке покрытыми электродами в обмазку добавляют специальные вещества, сохраняющие ионизацию столба дуги. В трехфазной дуге горит в каждый момент времени хотя бы одна дуга. Поэтому дуговой промежуток все время ионизирован и устойчивость повторных зажигания трехфазной дуги переменного тока выше, чем однофазной.

В процессе сварки на перемещающуюся по металлу дугу действуют факторы, нарушающие ее стабильное горение. К ним можно отнести изменение длины дуги, которое зависит от квалификации сварщика, качество сборки, перенос капель жидкого металла в сварочную ванну, изменение тока сварки вследствие колебаний напряжения сети и др. Для обеспечения устойчивости горения дуги и нормального процесса сварки источники питания для дуговой сварки должны удовлетворять специальным требованиям:



а) иметь напряжение холостого хода достаточное для легкого возбуждения дуги и устойчивого ее горения, но не превышающее норм техники безопасности, т.е. не более 80-90 В;

б) обладать достаточной мощностью для выполнения сварочных работ;

в) иметь устройства для плавного регулирования силы сварочного тока;

г) обладать заданной внешней характеристикой (ВХ).

Внешней характеристикой источника питания называется зависимость между напряжением на его выходных клеммах и током в сварочной цепи. ВХ могут быть трех основных видов (рис.8).

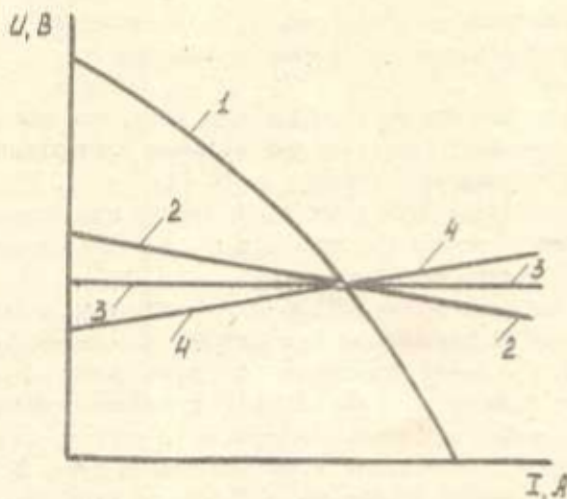


Рис.8. Основные типы внешних характеристик источников питания для дуговой сварки: 1 — крутопадающая; 2 — пологопадающая; 3 — жесткая; 4 — возрастающая

Источник тока с соответствующей внешней характеристикой выбирает в зависимости от вольт-амперной характеристики дуги (ВАХ).

ВАХ дуги называется зависимость напряжения дуги от сварочного тока (рис.9). ВАХ имеет три области — падающую I, жесткую II и возрастающую III. Это связано с тем, что для дуги сопротивление не является постоянным, а зависит от тока. Сварке покрытым электродом обычно соответствует второй участок ВАХ дуги. Для такой ВАХ дуги при ручной сварке целесообразно использовать крутопадающую

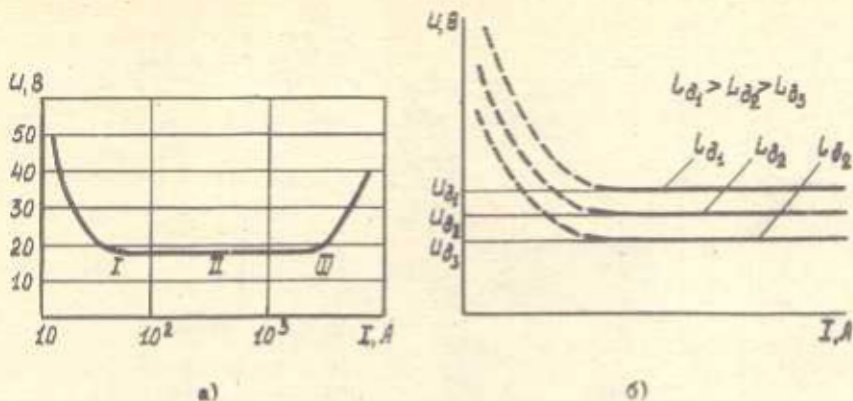


Рис. 9. Вольт-амперная характеристика дуги

ВХ источника питания. Отклонение длины дуги будет незначительно влиять на плавление основного и электродного металла. При механизированных способах сварки лучшие результаты достигаются при использовании источников с жесткими характеристиками.

Для питания сварочной дуги применяют источники переменного тока - сварочные трансформаторы и источники постоянного тока - сварочные генераторы с приводом от электродвигателя (сварочные преобразователи), с приводом от двигателя внутреннего сгорания (сварочные агрегаты) и полупроводниковые сварочные выпрямители.

## У1. ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ

### 6.1. Ручная дуговая сварка покрытым электродом (РДСЮ)

Наибольший объем среди дуговых способов сварки занимает РДСЮ. Сварку выполняют электродами, которые вручную подают в зону горения дуги и перемещают вдоль свариваемого изделия (рис.10). Под действием тепла дуги электрод и основной металл плавятся, образуя металлическую сварочную ванну. Капли жидкого металла с расплавленного электродного стержня переносятся в ванну через дуговой промежуток. Вместе со стержнем плавится покрытие электрода, образуя газовую защиту вокруг дуги и жидкую шлаковую ванну на поверхности расплавленного металла. Металлическая и шлаковая ванны вместе об-

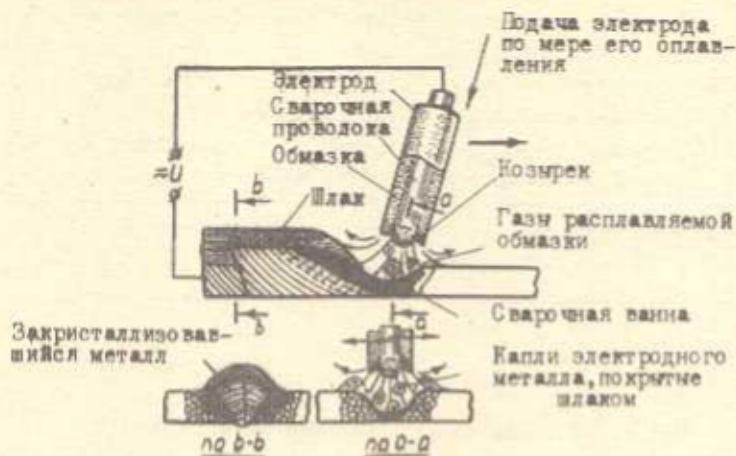


Рис.10. Схема процесса электродуговой сварки покрытым электродом

разуют сварочную ванну. По мере движения дуги сварочная ванна затвердевает и образуется сварной шов. Жидкий шлак по мере остывания образует на поверхности шва твердую шлаковую корку 5, которая удаляется после остывания шва. Для обеспечения заданного состава и свойств шва сварку выполняют покрытыми электродами, к которым предъявляют специальные требования. Для получения качественного сварного соединения необходимо правильно выбрать режим сварки. Под режимом сварки понимают совокупность контролируемых параметров, определяющих условия сварки. Параметры режима ручной сварки: диаметр электрода, величина, род и полярность тока, длина дуги, скорость сварки, число проходов и некоторые другие. Диаметр электрода выбирают в зависимости от толщины металла, положения шва в пространстве. Величина тока определяется по диаметру электрода. Чем больше ток, тем выше производительность сварки. Однако при чрезмерном токе для данного диаметра электрода он быстро перегревается, что приводит к снижению качества шва.

Ручная сварка покрытыми электродами может производиться в труднодоступных местах, при монтаже и ремонте оборудования, при изготовлении разнообразного оборудования мелкими сериями.

## 6.2. Сварка под флюсом

При этом способе сварки дуга горит под слоем сварочного флюса, который обеспечивает защиту сварочной ванны от воздуха.

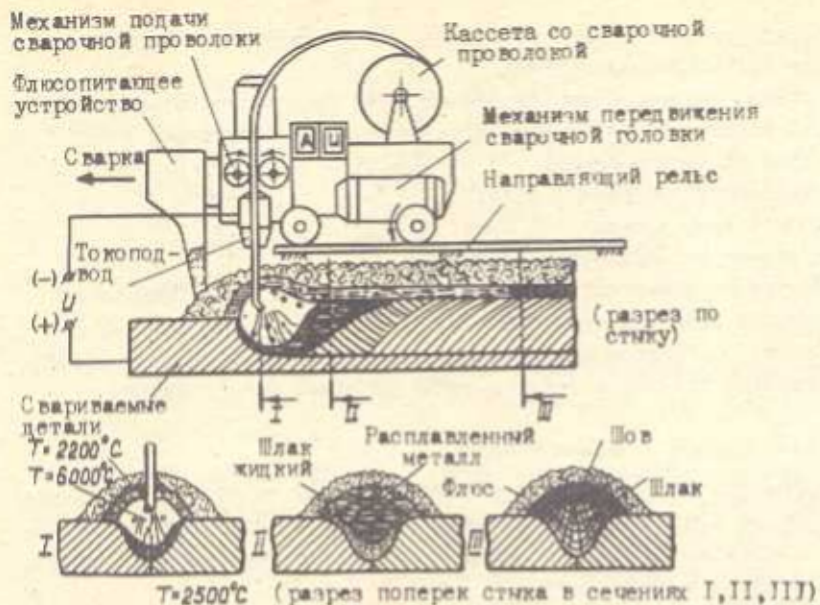


Рис. II. Схема процесса автоматической сварки под флюсом

Схема автоматической сварки приведена на рис. II. Электродная проволока автоматически подается в зону сварки. Дуга горит под слоем сварочного флюса, подаваемого на изделие из бункера. Под действием тепла дуги плавятся электродная проволока и основной металл, а также часть флюса, находящегося в зоне дуги. Флюс защищает дугу и сварочную ванну от вредного воздействия окружающей среды, оказывает металлургическое воздействие на металл сварочной ванны и, кроме того, препятствует разбрызгиванию жидкого металла. Расплавленный флюс замедляет процесс охлаждения шва, что облегчает шлаковым включениям и растворенным в металле газам подняться на поверхность ванны. Избыточный флюс отсасывают пневматическим устройством со шва и используют при последующей сварке. Расплавленная и затвердевшая часть флюса образует на шве толстую шлаковую корку. После охлаждения металла она легко отделяется от металла шва. Во избежание вытекания металла из ванны сварку проводят на подкладке или флюсовой подушке.

Преимуществами сварки под флюсом по сравнению со сваркой открытыми электродами являются:

высокая производительность вследствие применения больших токов, большой глубины проплавления, а также полного отсутствия потерь на угар и разбрызгивание;

механизация процесса сварки;

высокое качество сварных швов;

улучшение условий труда сварщиков.

Недостатками сварки под флюсом являются трудности ее применения в монтажных условиях, на коротких швах.

Сварку под флюсом применяют для углеродистых, низко- и высоколегированных сталей, а также цветных металлов и их сплавов.

### 6.3. Сварка в защитных газах

Сущностью дуговой сварки в защитных газах является защита расплавленного и нагретого до высокой температуры основного и электродного металла от вредного влияния воздуха и обеспечение требуемой атмосферы в зоне сварки.

Разновидности сварки в защитных газах можно характеризовать по следующим признакам:

типу электрода - неплавящимся и плавящимся электродом;

типу защитного газа - инертные, активные и их смеси;

способу защиты - струйная, в контролируемой атмосфере;

характеру горения дуги - стационарная, пульсирующая;

механизации - ручная, механизированная, автоматическая.

Основным способом местной защиты является струйная защита шва. Защитная среда создается газовым потоком с центральной, боковой или комбинированной подачей газа (рис.12). При центральной подаче дуга, горящая между электродом и основным металлом, со всех сторон окружена газом. Газ подается под небольшим избыточным давлением из сопла горелки, расположенного concentрично оси электрода. Этот способ защиты является наиболее распространенным.

При использовании неплавящегося вольфрамового электрода в качестве защитных газов используют инертные аргон и гелий. Сварка возможна без подачи и с подачей присадочной проволоки. Большинство металлов сваривают на постоянном токе прямой полярности. Сварку алюминия, магния, бериллия ведут на переменном токе.

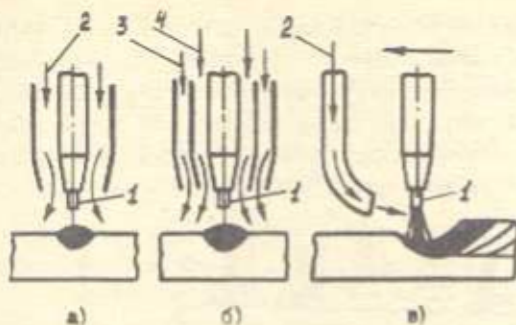


Рис. 12. Подача защитных газов в зону сварки: а) центральная одним concentрическим потоком; б) центральная двумя concentрическими потоками; в) боковая

На прямой полярности выше стойкость вольфрамового электрода. Напряжение на дуге 10–15 В. При обратной полярности возрастает напряжение дуги, уменьшается устойчивость ее горения, резко уменьшается стойкость электрода. Поэтому дугу обратной полярности почти не применяют при неплавящемся электроде. Однако такая дуга обладает важными технологическими свойствами: при ее действии с поверхности свариваемого металла удаляются окислы и загрязнения. Этот процесс удаления окислов называется катодным распылением. Он используется при сварке алюминия, магния, бериллия, имеющих прочные окисные пленки. Чтобы избежать разрушения электрода, используют дугу переменного тока. Катодное распыление происходит в полупериоды, когда изделие является катодом.

При сварке плавящимся электродом для защиты используют инертные и активные газы, а также их смеси ( $Ar$ ,  $He$ ,  $CO_2$ ,  $Ar + CO_2$ ,  $CO_2 + O_2$ ,  $Ar + O_2$  и др.). Основными разновидностями сварки плавящимся электродом в защитных газах являются сварки в  $Ar$  и в  $CO_2$ . Подача электрода механизирована, сварку выполняют полуавтоматами и автоматами.

Процесс имеет ряд особенностей. Устойчивое горение дуги обеспечивается при высокой плотности постоянного тока ( $100 \text{ A/mm}^2$  и выше). Вольт-амперная характеристика дуги в этом случае возрастает. Стабильность размеров газа зависит от постоянства длины дуги, которая обеспечивается при жесткой внешней характеристике источника питания и подаче электродной проволоки с постоянной скоростью. Для сварки применяют электродную проволоку малого диаметра (обычно  $d_3 = 0,8\text{--}2,5 \text{ мм}$ ), что требует высоких скоростей ее подачи.

Сварку обычно ведут на обратной полярности при непрерывной подаче электродной проволоки. Область применения аргонодуговой сварки – цветные металлы и легированные стали. Электродный металл может переноситься в сварочную ванну каплями или струйно (рис.13). Смена характера переноса с капельного на струйный происходит с увеличением тока дуги до некоторого критического значения.

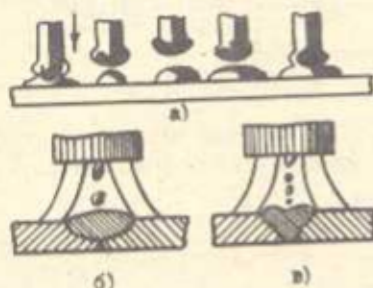


Рис.13. Схемы расплавления и переноса электродного металла: а) короткими замыканиями; б) капельный; в) струйный

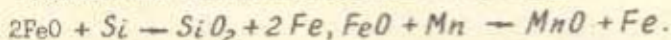
Наиболее распространенным процессом сварки в защитных газах является сварка  $CO_2$  плавящимся электродом. Процесс характеризуется высокой производительностью и низкой стоимостью. К недостаткам его относятся повышенное разбрызгивание и не всегда удовлетворительный внешний вид шва.

Основной особенностью сварки в углекислом газе является применение электродных проволок с повышенным содержанием активных окислителей – кремния и марганца. Эти элементы предотвращают дополнительное окисление металла при сварке и образование пор. При сварке углекислый газ диссоциирует в зоне дуги по реакции  $CO_2 \rightarrow CO + O$ ,  $CO \rightarrow C + O$ . Атомарный кислород окисляет железо и легирующие присадки, содержащиеся в свариваемой стали  $Fe + O \rightarrow FeO$ . В результате этого металл сварочной ванны насыщается кислородом, а его свойства ухудшаются. При охлаждении расплавленного металла углерод, содержащийся в стали, окисляясь, будет способствовать образованию окиси углерода по реакции  $C + O \rightarrow CO$ ,  $FeO + C \rightarrow CO + Fe$ .

Образующийся при кристаллизации металла шва  $CO$  выделяется в виде пузырьков, часть из которых задерживается в металле шва, образуя поры. При легировании сварочной проволоки кремнием и марган-

цем окислы железа раскисляются не за счет углерода, а в основном за счет кремния и марганца проволоки. Вследствие этого предотвращается образование окиси углерода при кристаллизации и образовании пор.

Раскисление окислов железа идет по реакции



Преимуществами сварки в защитных газах являются:  
высокая производительность (приблизительно в 2,5 раза выше, чем при ручной дуговой сварке покрытыми электродами);  
простота автоматизации и механизации;  
возможность сварки в различных пространственных положениях;  
высокое качество защиты, отсутствие необходимости зачистки швов при многослойной сварке;  
доступность наблюдения за процессами сварки;  
широкий диапазон свариваемых толщин.

#### 6.4. Дуговая сварка порошковой проволокой

Рассмотренные ранее способы ручной и автоматической дуговой сварки имеют ряд недостатков. Покрытие электрода может отколоться или отсыреть при хранении, флюс для автоматической сварки необходимо прокалывать перед употреблением. Газовая защита также требует дополнительных устройств и аппаратуры. Поэтому проводились исследования возможности вести сварку прямо на воздухе, получая удовлетворительное качество сварных соединений. Эта задача в настоящее время решается путем применения порошковой проволоки. Компоненты покрытия заворачиваются в стальную ленту (рис.14).

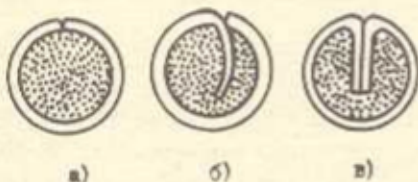


Рис.14. Поперечные сечения порошковых проволок: а) простая трубчатая; б) с одним загибом оболочки; в) с двумя загибами оболочки



Изготовление порошковой проволоки довольно сложное, но образующиеся при ее плавлении шлаки и газы защищают сварочную ванну от воздуха. Созданы порошковые проволоки для сварки различных сталей, а также для наплавки поверхностей с целью повышения их твердости.

#### УП. ЭЛЕКТРОШЛАКОВАЯ СВАРКА

Процесс разработан в Институте электросварки имени Е.О.Патона для автоматической сварки вертикальных швов из металла большой толщины. При ЭШС дуговой разряд используют в самом начале процесса для создания жидкой шлаковой ванны, а затем плавление непрерывно подаваемого электродного металла и оплавление кромок изделия происходит за счет Джоулевой теплоты, выделяемой при прохождении тока через расплавленный флюс или шлак:

$$Q = I \cdot U \cdot R \cdot t,$$

где  $I$  - ток сварки;  $R$  - сопротивление;  $U$  - напряжение;  
 $t$  - время.

Схема ЭШС показана на рис.15. Свариваемые детали устанавливаются вертикально и собирают под сварку с зазором между кромками. Автомат с помощью специального направляющего устройства перемещается сбоку от свариваемого стыка. Электродные проволоки (их может быть несколько) подаются через изогнутые токопроводящие мундштуки в зазор между деталями. В процессе сварки автомат движется вверх по направляющим, а мундштуки совершают колебательные движения, подавая проволоки в жидкую шлаковую ванну, в которой они расплавляются и образуют сварочную ванну вместе с металлом оплавливающихся кромок. Жидкие шлаковая и металлическая ванны удерживаются в зазоре медными ползунами, охлаждаемыми изнутри водой. Ползуны поднимаются вместе с автоматом.

Сварочная ванна движется медленно, газы и шлаки, содержащиеся в металле, хорошо удаляются в процессе сварки. Швы, выполненные ЭШС, имеют крупнокристаллическую структуру, но пластическими свойствами металл шва уступает швам, сваренным электродуговой сваркой. Однако прочностные свойства сварных соединений удовлетворяют требованиям большинства конструкций.

Несмотря на относительно небольшую скорость сварки (6-7 м/ч), ЭШС экономически эффективна, особенно при сварке металла большой толщины.

Электрошлаковый процесс обеспечивает более благоприятные условия труда по сравнению со способами дуговой сварки.

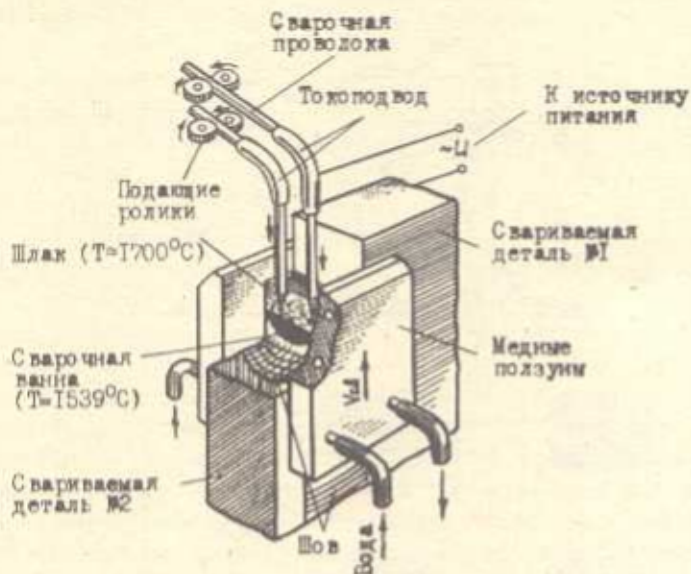


Рис.15. Схема процесса электрошлаковой сварки

### УШ. ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ И ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА

Электронный луч – поток электронов, испускаемых одним источником и движущихся по близким траекториям в определенном направлении. Сущность процесса сварки электронным лучом в вакууме состоит в использовании кинетической энергии электронов. При бомбардировке электронами поверхности металла подавляющая часть их кинетической энергии превращается в теплоту, которую и используют для расплавления металла.

Электронный луч создается в специальной установке – электронной пушке. В ней получают узкие электронные пучки с большой плотностью энергии (рис.16). Пушка имеет катод, нагреваемый до высоких температур. Катод размещен внутри прикатодного электрода.

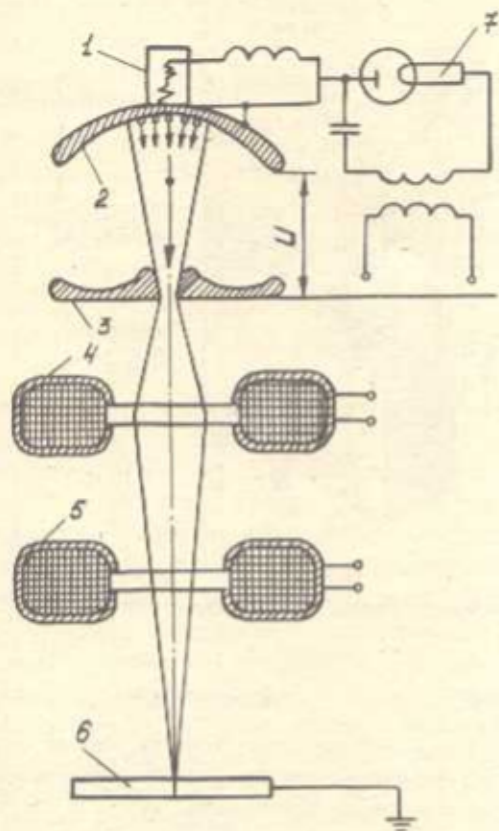


Рис.16. Схема установки для сварки электронным лучом:  
 1-катод; 2-прикатодный электрод; 3-ускоряющий анод;  
 4-магнитная линза; 5-магнитная отклоняющая система;  
 6-изделие; 7-высоковольтный источник

На некотором расстоянии от катода находится ускоряющий электрод (анод) с отверстием. Электроны, выходящие с катода, фокусируются с помощью электрического поля между катодным и ускоряющим электродами в пучок с диаметром, равным диаметру отверстия в аноде. Положительный потенциал ускоряющего электрода может достигать нескольких десятков тысяч вольт. Поэтому электроны, испускаемые катодом, на пути к аноду приобретают значительную скорость и энергию. Питание пучки электрической энергией осуществляется от высоковольтного источника постоянного тока.

Для увеличения плотности энергии в луче после выхода электронов из первого анода электроны фокусируются магнитным полем в специальной магнитной линзе. Сфокусированные электроны ударяются с большой скоростью о малую площадку на изделии. При этом кинетическая энергия электронов превращается в теплоту, нагревая металл до очень высоких температур. Для перемещения луча по свариваемому изделию на пути электронов помещают магнитную отклоняющую систему, позволяющую направлять луч точно по линии стыка. Электронный луч действует в глубоком вакууме. Вакуум обеспечивает свободное движение электронов от катода к изделию, изолируя катод и изделие от химического воздействия, предотвращает возникновение дугового разряда между электродами.

Мощность электронного луча и высокая сосредоточенность энергии в пятне нагрева позволяют сваривать металл большой толщины узкими швами.

При лазерной сварке для местного расплавления соединяемых частей используют энергию светового луча, полученного от оптического квантового генератора — лазера. Сущность получения лазерного луча заключается в следующем. За счет накачки внешней энергии (электрической, тепловой, химической) атомы активного вещества излучателя переходят в возбужденное состояние. Через некоторое время возбужденный атом может излучить полученную энергию в виде фотона и возвратиться в исходное состояние. Фотон представляет собой элементарную частицу, обладающую нулевой массой покоя и движущуюся со скоростью света в вакууме. Фотоны излучаются в процессах перехода атомов, молекул, ионов и атомных ядер из возбужденных состояний в более стабильные состояния с меньшей энергией. При определенной степени возбуждения происходит лавинообразный переход возбужденных атомов активного вещества-излучателя

в более стабильное состояние. Это создает когерентное световое монохроматическое излучение, т.е. излучение одной определенной частоты. Это излучение усиливается в излучателе многократным отражением от его стенок и выпускается в виде узкого направленного пучка - лазерного луча. В настоящее время используют твердотельные и газовые лазеры. Схема общей компоновки твердотельной лазерной установки представлена на рис.17.

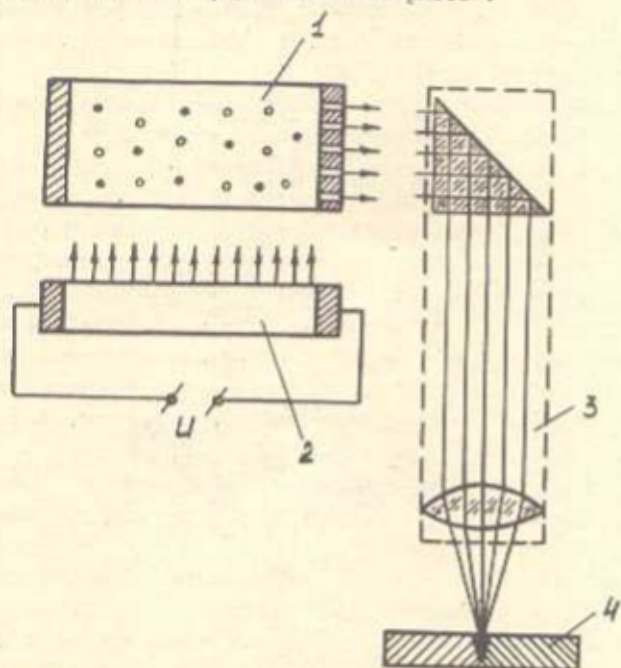


Рис. 17. Схема установки для лазерной сварки

Мощность твердотельных лазеров невелика - 0,015 - 2 кВт. Газовые лазеры обладают более высокой мощностью, работают в непрерывном и импульсном режимах. По своим технологическим возможностям газовые лазеры сопоставимы с электронно-лучевой сваркой.

Преимуществами лазерного луча являются: возможность передачи энергии на большие расстояния неконтактным способом, сварка через

прозрачные оболочки. Основные недостатки лазерной сварки – низкое значение КПД установок, высокая стоимость оборудования, недостаточная мощность серийного оборудования.

## IX. СВАРКА ДАВЛЕНИЕМ

Получение сварных соединений в твердом состоянии известно с древнейших времен – кузнечная сварка – и необходимо во многих отраслях техники.

Процесс образования сварного соединения между твердыми телами интересен с физической точки зрения. Твердыми считаются тела, сохраняющие свою форму и обладающие кристаллической структурой. Элементарные частицы, из которых построены такие тела, расположены в пространстве по определенному геометрическому закону. Между частицами, которыми могут быть атомы, молекулы, ионы, сохраняются постоянные расстояния.

В кристаллической решетке все частицы прочно связаны между собой одной из трех видов связей: химической (алмаз, гранит, германий, кремний), электростатической ионной ( $NaCl$ ,  $MnO$  и т.д.), металлической за счет электронов проводимости (металлы).

Поверхностный слой любого твердого тела всегда обладает избытком энергии, так как частицы, его образующие, имеют свободные связи. Это приводит к явлению адсорбции газов на поверхности, к повышению химической активности (катализ, образование слоев окислов и других соединений), а также к созданию значительного поверхностного натяжения. Схема неуравновешенности частиц на поверхности показана на рис. 18.

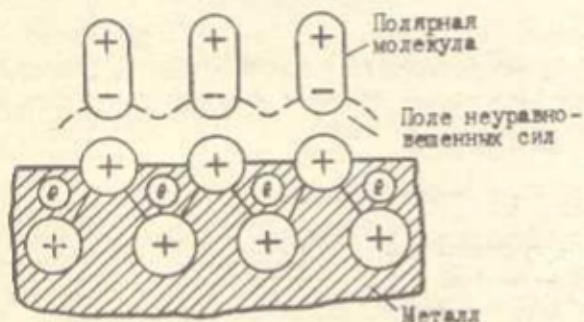


Рис. 18. Возникновение поля неуравновешенных сил

Может показаться, что процесс сварки давлением должен происходить с выделением энергии, так как сближение двух поверхностей твердых тел должно привести к установлению новых прочных связей между частицами и, кроме того, к исчезновению свободной энергии двух соприкасающихся поверхностей.

Сложность состоит в том, что поверхность можно обработать до чистоты, измеряемой микрометрами ( $10^{-4}$  см), а расстояние между частицами в кристалле, когда начинают действовать силы притяжения, измеряется ангстремами ( $10^{-8}$  см). Кроме того, поверхности, как правило, закрыты слоем окислов или адсорбированных газов. Поэтому физический контакт может быть создан только в результате смятия или течения микровыступов на сближаемых поверхностях.

Течению металла способствуют сдвиговые деформации, которые всегда развиваются при смятии выступов, как это показано на рис. 19.



Рис. 19. Смятие выступа и течение металла

Смятию и течению металла способствует повышение температуры. При нагреве металл становится более пластичным, и можно снизить прилагаемые усилия. При деформации поверхностных слоев зарождаются центры схватывания, количество которых возрастает. Через эти центры схватывания начинается активная диффузия частиц. Постепенно происходит полное исчезновение границы раздела и прорастание через нее кристаллов.

Таким образом, определяющие параметры режима сварки — это давление, температура и время, необходимые для развития диффузионных процессов. В современном машиностроении и приборостроении сварку давлением осуществляют несколькими путями в зависимости от типа изделий и предъявляемых к ним требований.

### 9.1. Диффузионная сварка в вакууме

Предложена профессором Н.Ф.Казаковым, также представляет процесс сварки давлением (рис. 20). Основные детали, подготовленные под сварку, помещают в вакуумную камеру. В камере создается разрежение  $10^{-3}$ – $10^{-4}$  мм.рт.ст.

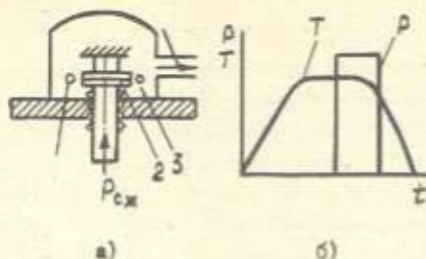


Рис.20. Диффузионная сварка: а) схема сварки; 1 - нагреватель; 2 - заготовки; 3 - камера; б) циклограмма сварки; P - усилие сжатия; T - температура;  $t$  - время

Затем включается нагрев до температуры, зависящей от физических свойств пары металлов, и создается давление прижима. Через некоторое время образуется соединение, в котором поверхность первоначального контакта практически отсутствует. Этот метод применим и для соединения разнородных материалов: металл-керамика, металл-кварцевое стекло. Вакуум активизирует соединяемые поверхности, освобождая их от адсорбированных слоев и частично от слоев окислов. Давление создает условия физического контакта при повышенной температуре. Таким образом, появляются условия для диффузии свариваемых материалов через границу раздела.

### 9.2. Сварка трением

Может применяться для деталей, имеющих форму тел вращения. Детали в месте соединения нагреваются за счет трения при вращении одной детали относительно другой, неподвижной. Давление осадки, приложенное к деталям, вызывает пластическую деформацию и образование неразъемного соединения (рис.21).

### 9.3. Холодная сварка

Это сварка, при которой соединение образуется при значительной пластической деформации без внешнего нагрева соединяемых поверхностей. Физическая сущность процесса заключается в сближении за счет пластической деформации свариваемых поверхностей до образования металлических связей между ними и получения таким образом прочного сварного соединения. При сварке происходит значительная



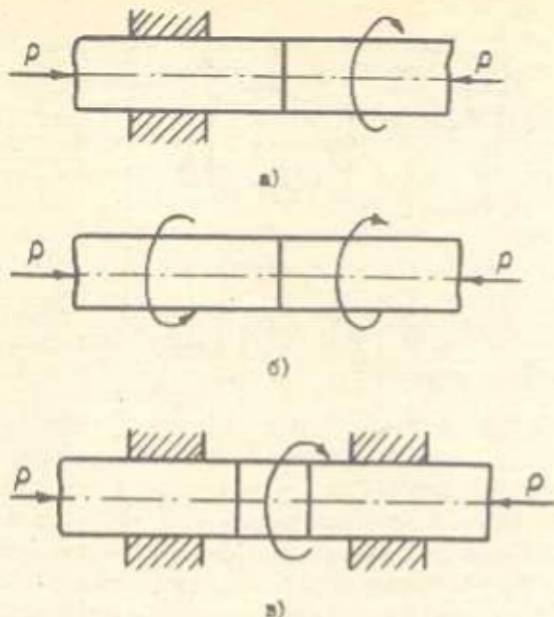


Рис.21. Схема сварки трением: а) при вращении одной детали; б) при вращении обеих деталей; в) при неподвижных деталях с вращающейся вставкой

объемная пластическая деформация в зоне контакта соединяемых материалов. За счет этого происходит разрушение и удаление окисных пленок из зоны контакта и образование чистых поверхностей, способных к схватыванию. Свариваемость металлов при холодной сварке зависит от их пластичности и качества подготовки поверхности. Чем пластичнее металлы, тем качественнее они свариваются.

Наиболее широкое применение холодная сварка нашла в производстве изделий домашнего обихода из алюминия и его сплавов, в электротехнической промышленности для соединения медных и алюминиевых проводов. Холодной сваркой соединяют металлы и сплавы толщиной 0,2...15 мм. Главными характеристиками процесса является давление и величина деформации. В зависимости от состава и толщины свариваемого металла давление составляет 150...1000 мПа, степень относительной деформации 50...90 %.

#### 9.4. Сварка взрывом

Сварное соединение образуется за счет совместной пластической деформации в результате вызванного взрывом соударения быстро движущихся деталей. Кинетическая энергия соударения соединяемых частей затрачивается на работу совместной пластической деформации контактирующих слоев металла. При этом часть работы пластической деформации переходит в тепло, которое может разогреть металл в зоне соединения до высоких температур, вплоть до оплавления локальных объемов.

Большинство видов сварки взрывом основано на использовании направленного взрыва (рис.22). Соединяемые поверхности заготовок 3 и 4, одна из которых (4) неподвижна, располагают под углом  $\alpha$  друг к другу на расстоянии  $H_0$ . На подвижную (метаемую) заготовку 3 кладут взрывное вещество 2 толщиной  $H$ , а со стороны, находящейся над вершиной угла, устанавливают детонатор 1.

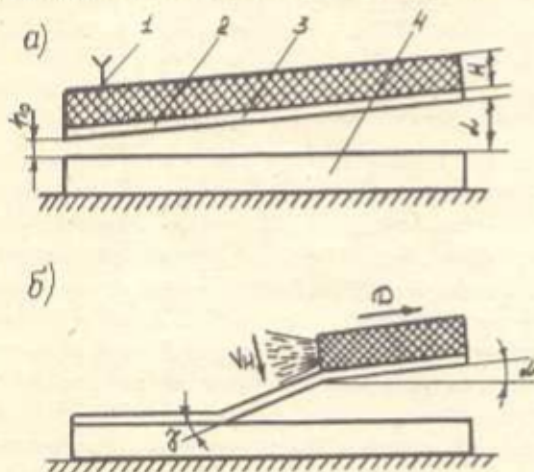


Рис.22. Принципиальная схема сварки взрывом: а) перед сваркой; б) во время сварки

При возбуждении с помощью детонатора заряда взрывчатого вещества по нему распространяется фронт детонационной волны со скоростью 2000...8000 м/с (детонация - процесс разложения взрывного веществ-

ва с выделением газов и тепла). Образующиеся позади фронта детонации газообразные продукты взрыва в начальный период создают давление 100...200 гПа, а затем сообщают находящемуся под ними участку металла импульс движения. Под действием этого импульса объемы заготовки последовательно вовлекаются в ускоренные движения к поверхности неподвижной части металла и с большой скоростью соударяются с ней. Соударение вызывает течение металла в поверхностных слоях пластин. Поверхности сближаются до расстояния действия межатомных сил сцепления, и происходит схватывание по всей площади соединения. Продолжительность сварки не превышает нескольких микросекунд. Прочность соединений, выполненных сваркой взрывом, выше прочности соединяемых материалов.

Сварку взрывом используют при изготовлении заготовок биметалла, для плакирования поверхностей конструкционных сталей металлами и сплавами с обычными физическими и химическими свойствами, при сварке заготовок из разнородных металлов.

#### 9.5. Ультразвуковая сварка

Неразъемное соединение образуется при совместном воздействии на свариваемые детали механических колебаний высокой частоты и относительно небольших сдавливающих усилий. Сварка осуществляется в результате взаимного трения свариваемых поверхностей, нагрева и давления. Силы трения возникают при действии на заготовки, сжатые осевой силой, механических колебаний частотой 20...30 кГц. Для получения такой частоты используют магнитострикционный эффект, заключающийся в изменении размеров некоторых материалов под действием переменного магнитного поля.

Свариваемые заготовки 5 помещают на опоре (рис.23). Наконечник 3 соединен с магнитострикционным преобразователем 1 через трансформатор упругих колебаний 2, представляющий вместе с рабочим инструментом 4 волновод (на рисунке показано изменение амплитуды колебаний по длине волновода). Ультразвук излучается непрерывно в процессе сварки преобразователем 1. Переменное напряжение создает в обмотке преобразователя намагничивающий ток, который возбуждает переменное магнитное поле в материале преобразователя. При изменении величины напряженности магнитного поля в материале возникает периодическое изменение размеров, при этом частота упругих колебаний равна двойной частоте тока. Амплитуда колебаний на конце волновода составляет на холостом ходу 20...40 мм.

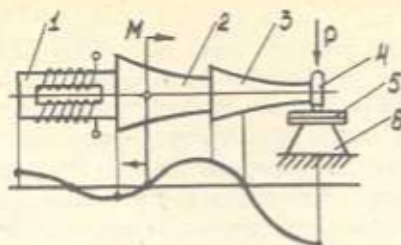


Рис.23. Схема ультразвуковой сварки

В результате ультразвуковых колебаний в тонких слоях контактирующих поверхностей создаются сдвигающие деформации, разрушающие окисные пленки. По мере разрушения окисных пленок образуются узлы схватывания, приповерхностные слои металла нагреваются и под давлением сжимающего усилия пластически деформируются. Свариваемые поверхности сближаются до расстояния действия межатомных сил, возникает сварное соединение. Сравнительно небольшое тепловое воздействие на свариваемые детали обеспечивает минимальное изменение структуры металла и его свойств.

#### 9.6. Электрическая контактная сварка

Контактная сварка – основной вид сварки давлением с использованием электрического нагрева поверхностей тел.

Контактная сварка возникла почти одновременно с "электрогефестом" – способом Н.Н.Бенардоса. Известный закон Джоуля-Ленца был установлен в 1856 году, но только через девять лет джоулева теплота была специально применена для сварки брусков небольшого сечения англичанином Ф.Уальдом. Он получил патент на способ соединения с помощью электричества и сплавления, однако не разработал его для промышленного применения.

Слава изобретателя стыковой контактной сварки закрепилась за выдающимся американским изобретателем Эльхью Томсоном, автором 692 изобретений. В феврале 1877 года во время демонстрации на лекции зарядки конденсатора ему пришла идея проверить, что произойдет, если заряд пойдет обратно при разрядке конденсатора на катушку. Разряд тока через тонкую обмотку вызвал ток большой силы в первичной обмотке, и ее толстые скрученные концы сплывались.

В 1884 году Томсон сконструировал мощный трансформатор и специальные клещи-тиски для зажима брусков, которые должны быть сварены, а в 1886 году на его имя было выдано два первых патента на стыковую контактную сварку (сопротивлением).

В течение короткого времени Томсон и его сотрудники получили около 150 патентов, относящихся к контактной сварке (гибкий токопровод, износостойкие токопроводящие зажимы, минимальные переходные электрические сопротивления и др.).

В 1892 году Томсон основал собственную фирму и начал выпускать оборудование для стыковой контактной сварки. В этом же году способом Томсона впервые в мире были сварены железнодорожные рельсы.

Одновременно со способом Томсона другой способ контактной сварки - точечную - изобрел Н.Н.Бенардос. Пока неизвестна история создания этого изобретения, но германский патент № 46776 неопровержимо свидетельствует о том, что еще до 1887 года изобретатель "электрогефеста" сделал еще одно очень важное изобретение. Ток к деталям проводился через угольные электроды. В конце 19 века немецкий изобретатель О.Кляйншмидт заменил угольные электроды медными, а также сделал ряд других усовершенствований.

Место соединения КС разогревается проходящим по металлу электрическим током (рис.24). Количество выделяемой теплоты  $Q$  определяется законом Джоуля-Ленца  $Q = I^2 \cdot R \cdot t$ , где  $I$  - сварочный ток, А;  $R$  - полное сопротивление между электродами сварочной машины, Ом;  $t$  - время протекания тока, с.

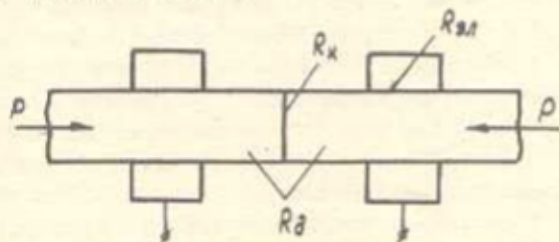


Рис.24. Принципиальная схема контактной сварки

Полное сопротивление  $R$  состоит из сопротивления деталей  $R_d$  сопротивления между электродами и деталью  $R_{эд}$  и сопротивления сварочного контакта  $R_k$  между деталями, т.е.  $R = 2R_d + 2R_{эд} + R_k$ .

Сопротивление сварочного контакта является небольшим, т.к. поверхности стыка заготовок даже после тщательной обработки имеют микронеровности и соприкасаются только в отдельных точках. Кроме того, на поверхности свариваемого металла имеются пленки окислов и загрязнения с малой электропроводностью  $\rho$ . Рост температуры в зоне контакта, увеличивая  $\rho$ , дополнительно способствует повышению  $R_K$  в процессе сварки.

В результате высокой плотности тока в точках контакта металл нагревается до термопластического состояния или до оплавления. При непрерывном сдавливании нагретых деталей образуются новые точки соприкосновения и так до тех пор, пока не произойдет полное сближение межатомных расстояний, т.е. сварка.

Стыковая КС - вид сварки, при которой соединение свариваемых частей происходит по всей площади стыкуемых поверхностей (рис.25).

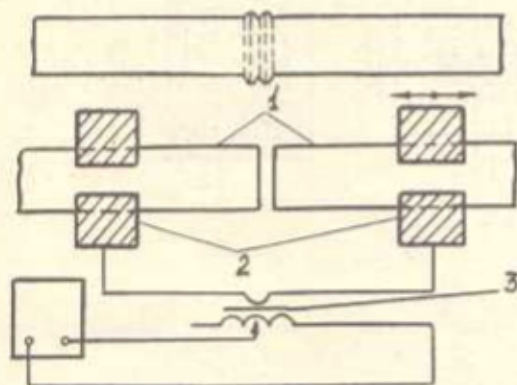


Рис.25. Контактная стыковая сварка: 1-детали; 2-зажимы; 3- сварочный трансформатор

Свариваемые заготовки I закрепляют в зажимах стыковой машины. Один из зажимов 2 подвижный, другой неподвижный. Питание электрическим током производят от сварочного трансформатора 3, вторичная обмотка которого соединена с пластинами гибкими шинами, а первичная питается от сети переменного тока через включающее устройство. При помощи механизма осадки подвижная плита перемещается, свариваемые детали сжимаются под усилием  $P$ .

Стыковой сваркой сваривают сечения, достигающие  $100000 \text{ мм}^2$ . Наиболее типичными изделиями, свариваемыми стыковой сваркой, являются элементы трубчатых конструкций, колеса, кольца, рельсы, железобетонная арматура и др.

Для защиты химически активных металлов от взаимодействия с газами при стыковой сварке используют защитные среды (инертные газы). Серьезной проблемой стыковой сварки является необходимость удаления граты - металла, выдавленного осадкой.

Точечная сварка - вид КС, при которой детали соединяют по отдельным участкам касания (рис.26). По количеству одновременно свариваемых точек точечная сварка может быть одно-, двух- и многоточечной.

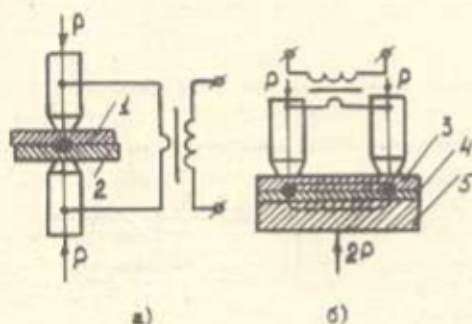


Рис.26. Схема контактной точечной сварки: а) двусторонней ; б) односторонней

При точечной сварке детали собирают внахлестку, зажимают между электродами, связанными со сварочным трансформатором. При включении трансформатора детали нагреваются импульсом тока в течение  $0,01 \dots 0,5$  с до появления расплавленной зоны в месте контакта деталей. Усилие после выключения тока некоторое время сохраняется для того, чтобы кристаллизация расплавленного металла точки проходила под давлением, что предотвращает появление дефектов. Точечная сварка в зависимости от расположения электродов по отношению к свариваемым деталям может быть двусторонней и односторонней (рис.26). При двусторонней сварке (рис.26а) заготовки 1 и 2 сжи-

мают между электродами точечной машины. При односторонней сварке (рис.26) ток распределяется между верхними листами 3 и 4, причем нагрев осуществляется током, протекающим через нижний лист. Для увеличения этого тока предусматривается токопроводящая медная подкладка 5. Односторонней сваркой можно соединять детали одновременно двумя точками.

Параметрами режима точечной сварки являются: усилия сжатия, сила тока, время его протекания. Зависимость этих величин от времени протекания процесса представлена на рис.27.

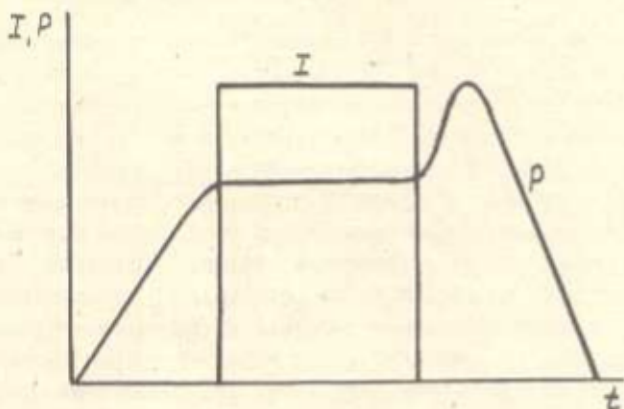


Рис.27. Циклограмма точечной сварки: I - сварочный ток; P - усилие сжатия;  $t$  - время

Весь цикл сварки состоит из следующих стадий:

- 1) сжатие свариваемых деталей между электродами;
- 2) включение тока и разогрев места контакта до температуры плавления с образованием литого ядра точки;
- 3) выключение тока и увеличение усилия сжатия для улучшения структуры сварной точки;
- 4) снятие усилия с электродов.

Разновидностью точечной сварки является рельефная сварка (рис.28), когда первоначальный контакт деталей происходит по заранее подготовленным выступам (рельефам).



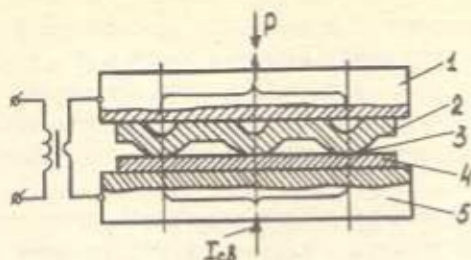


Рис.28. Схема рельефной сварки

При рельефной сварке заготовки 2 и 4 зажимают между плоскими электродами 5 и 1. В начальный период сварки наличие рельефа 3 дает возможность обеспечить концентрированный нагрев в месте контакта. В дальнейшем рельефы постепенно деформируются, и на определенной стадии происходит плавление и образование ядра точки.

Шовная сварка – вид КС, при которой происходит образование непрерывного соединения (шва) последовательным перекрытием точками друг друга. При этом образуется прочное и плотное соединение. При шовной сварке электроды выполняют в виде вращающихся дисковых роликов. С помощью роликов происходит передача усилия деталям, подвод тока и перемещение деталей. Как и при точечной сварке детали обычно собирают внахлестку и нагревают током без применения специальных средств защиты нагреваемого металла от взаимодействия с атмосферой (рис.29).

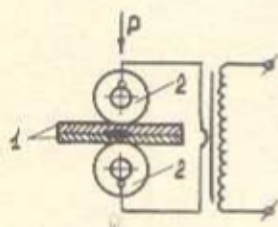


Рис.29. Схема шовной сварки:  
1-заготовки; 2-электроды

Одной из распространенных разновидностей шовной сварки является прерывистая с непрерывным вращением роликов, цикл сварки для которой представлен на рис.30. Сварку выполняют при постоянном усилии сжатия роликов, а сварочный ток подает периодически, при этом шов формируется в виде сварных точек, перекрывающих друг друга.

Шовную сварку применяют в массовом производстве при изготовлении емкостей с толщиной стенки 0,3...3 мм, где требуются герметические швы.

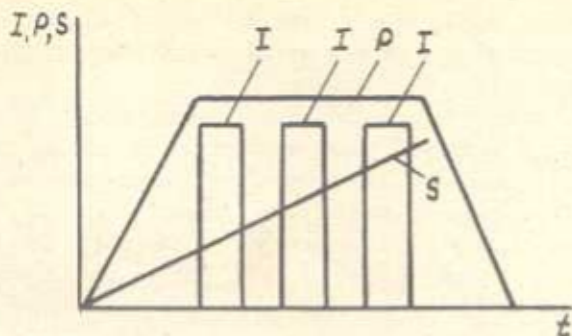


Рис.30. Циклограмма шовной сварки с прерывистой подачей тока:  
 I-сварочный ток; P-давление; — перемещение роликов;  
 t - время

Оборудование для контактной сварки, КС выполняется на специальных машинах, электрическая часть которых состоит из сварочного трансформатора, прерывателя сварочного тока, регулятора тока первичной цепи трансформатора и токопроводящих устройств, а механическая часть — из механизмов и узлов, создающих необходимое усилие для сжатия свариваемых деталей.

Машины КС работают на переменном токе от трансформаторов. Первичную обмотку трансформатора подключают к сети с напряжением 220 или 380 В, ее изготовляют секционной для изменения числа рабочих витков при переключении ступеней мощности. Вторичная обмотка трансформатора состоит из одного или двух витков (вторичное напряжение 1-12 В). Сила вторичного тока 100000 А.

При изменении числа витков первичной обмотки изменяется коэффициент трансформации

$$K = \frac{W_1}{W_2} = \frac{U_1}{U_2},$$

где  $W_1$  и  $W_2$  — число витков первичной и вторичной обмоток,  $U_1$  и  $U_2$  соответственно, первичное и вторичное напряжение трансформатора. Вторичное напряжение

$$U_2 = \frac{U_1 W_1}{W_2},$$

где  $W_2 = I$ ;  $U_1$  — величина постоянная.

Таким образом, для изменения  $U_2$  необходимо изменять число включенных витков первичной обмотки  $W_1$ . Т.к. сопротивление свароч-

ной цепи включая свариваемые детали примерно одинаково, соответственно будет изменяться и вторичный сварочный ток. Для увеличения вторичного тока необходимо уменьшить  $W_1$ .

Машины КС включают и выключают со стороны первичной обмотки трансформатора. В процессе сварки необходимо периодически включать и выключать ток. Для этого применяют прерыватели нескольких типов: простые механические контакторы, электромагнитные, электронные. Механизмы давления служат для сжатия заготовок между электродами машины. В зависимости от типа привода механизмы сжатия могут иметь пружинный, механический, пневмогидравлический, гидравлический приводы, а также ручной.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Фролов В.В., Парахин В.А. Молодежи о сварке. - М.: Машиностроение, 1975, III с.
2. Стеклов О.И. Основы сварочного производства. - М.: Высш.школа, 1981, 160с.
3. Крыжановская О.В. Инженеры: Становление и развитие профессиональной группы. - М.: Наука, 1989, 144 с.
4. Горохов В.Г. Знать, чтобы делать: История инженерной профессии и ее роль в современной культуре. - М.: Знание, 1987, 176с.
5. Патон Б.Е., Корниенко А.Н. Огонь оживает металл. - М.: Педагогика, 1980, 128с.
6. Акулов А.И., Бельчук Г.А., Демидович В.П. Технология и оборудование сварки плавлением. - М.: Машиностроение, 1977, 432с.
7. Орловский Б. Шеринга великих инженеров. - Варшава: Наша ксенгарния, 1980, 175с.
8. Боголюбов А.Н. Творение рук человеческих: Естественная история машин. - М.: Знание, 1988, 176с.
9. Тихий Д. Эстафета без финиша: Открытие электрической дуги и история ее развития. - Л.: Лениздат, 1984, 125с.
10. Лугин В.П. Введение в сварочную специальность. - Брянск: БИТМ, 1987, 64с.
11. Штернберг Л.Ф. Скоростное конспектирование. - М.: Высш.школа, 1988, 31с.

## КОНСПЕКТ И ЕГО ОСОБЕННОСТИ

1. Конспекты обычно относятся к одному-двум разделам науки, поэтому в них можно ввести элементы записи, характерные для этих наук.
2. Конспект надо писать быстро, для чего следует применять удобный Вам способ записи.
3. Конспект должен легко читаться, поэтому нужны формы записи, ориентированные на быстрое чтение.
4. Конспект должен облегчить запоминание текста, т.е. приемы записи должны быть mnemonic (способствовать запоминанию).
5. Конспект - записка себе, и в нем можно использовать формы записи, понятные только автору.
6. По конспекту не требуется однозначно восстанавливать исходный текст, т.е. конспект - запись смысла, а не текста. Следует помнить, что человек думает примерно в 10 раз быстрее, чем пишет, поэтому материал при конспектировании (на лекции) целесообразней осмыслить, а затем записать с помощью определенных приемов и символов.

## ЗАПИСЬ СЛОВ, СЛОВСОЧЕТАНИЙ, ТЕРМИНОВ

Георг Кантор, немецкий математик, придумал кванторы (математические знаки):

$\forall$  - каждый, всякий, для каждого;  $\exists$  - существует.

Эти знаки - перевернутые первые буквы соответствующих слов. Можно самостоятельно ввести аналогичные кванторы, например, "рассмотрим  $d$ ", "получим  $ll$ " и т.д.

Существует буквенная система обозначений соответствующих разделов науки. Например:  $v$  - скорость,  $a$  - ускорение,  $L$  - индуктивность и т.д. Следует не забывать ей пользоваться.

Применение иероглифов при конспектировании возможно при условии, что вы помните смысл этих иероглифов. Например  $\cap$  - точка зрения,  $\neg$  - противоречие,  $\leftrightarrow$  - взаимосвязаны и т.д.

Еще одна упрощенная запись - пиктограммы, т.е. упрощенные стилизованные рисунки, например, дорожные знаки.

В лекциях могут быть использованы и общепринятые пиктограммы, например,  $f(x) \uparrow$  - функция  $f(x)$  возрастает. Хорошая пиктограмма

т.е. рисунок, не только сокращает время записи конспекта, но и улучшает запоминание и восприятие записанного. Например:  $\Rightarrow$  - самолет с треугольным крылом и двумя двигателями,  $\odot$  - сварка по всему сложному контуру.

Выше были изложены технические приемы сокращенной записи. Правильный выбор обозначений и освоение этих приемов дает примерно двукратное ускорение записи.

Конкретную систему сокращений каждый должен придумать сам и вводить ее постепенно. Опыт показывает, что на все изучаемые в вузе предметы достаточно 50 сокращений, они могут быть у каждого свои и освоить их можно за год.

### КОНСПЕКТИРОВАНИЕ ФРАЗ

Приемы конспектирования фраз более сложные, т.к. требуют полного осмысления и творческой переработки текста, но и здесь можно применить определенные технические приемы. Один из таких приемов - пространственная запись, при этом порядок записи не всегда совпадает с порядком восприятия. Пространственная запись может включать в себя "вилку", "скобку", "равенства" и т.д. Например, фразу "Электромашин бывают двух типов: двигатели и генераторы" можно записать:

Электромашины  $\left\{ \begin{array}{l} \text{двигатели} \\ \text{генераторы,} \end{array} \right.$

или "Самолет состоит из следующих основных частей: фюзеляж, крылья, оперение; оперение в свою очередь состоит из стабилизатора и киля".

Пространственная запись будет выглядеть так:

Самолет =  $\left\{ \begin{array}{l} \text{фюзеляж} \\ \text{крылья} \\ \text{оперение} = \left\{ \begin{array}{l} \text{стабилизатор} \\ \text{киль.} \end{array} \right. \end{array} \right.$

При конспектировании фраз можно сокращать запись за счет простого выбрасывания слов, т.е. использование конспекта; выбрасываются те слова, которые можно без труда восстановить по конспекту. Например, если речь идет о резьбовых соединениях, совсем не обязательно повторять "Резьбовые соединения применяются...", "Достоинством резьбового соединения являются...", будет понятно, если запись будет такой "Применения..." и "Достоинства...", о чем идет речь ясно из конспекта лекции.

Однако сокращение записи за счет контекста предусматривает полное понимание смысла лекции. В этом случае можно использовать еще один метод скоростного конспектирования - преобразование фразы. Для этого нужно подбирать слова - синонимы (приземлился - сел и т.д.) и формулировать смысл фразы другими словами или символами. Например, "Сумма двух целых чисел всегда будет целым числом", и иначе "целое + целое = целое".

Облегчить чтение и восприятие конспекта может использование цвета при конспектировании. В конспекте можно выделять цветом разделы, пункты, подпункты. Это сосредоточит внимание при чтении конспекта.

В конспекте цветом можно выделять основные понятия и определения, которые буквально "красной нитью" пройдут по материалу предмета и сформируют "скелет курса". И последнее, работа цветом по соответствию - это когда одинаковым цветом записываются как-то связанные между собой части записи. Наиболее часто этот прием используют: 1) при описании сложных конструкций, состоящих из нескольких частей; 2) при записи динамики чего-либо; 3) при описании вариантов какого-либо объекта или решения. Итак, используя описанные выше приемы, можно значительно сократить время конспектирования.


## ТЕСТ № 1

1. Как Вы понимаете слово "техника" ?
2. Происхождение слова "техника".
3. Происхождение и значение слова "инженер".
4. Этапы создания технических структур.
5. Функции инженера в процессе производства.
6. Сущность инженерной деятельности.
7. Что такое инновация ?
8. Всякое ли изобретение является инновацией ?
9. В чем заключаются трудности сварки в твердом состоянии ?
10. Какие факторы обеспечивают сварку в твердом состоянии ?
11. На каком расстоянии между атомами заметно начинают действовать силы притяжения ?
12. За счет чего выделяется энергия при контактной сварке ?  
Формула.
13. В каком году и кем открыта электрическая дуга ?
14. Ток дуги  $I = 300$  А. Напряжение дуги  $U_d = 25$  В. Чему равна тепловая мощность дуги ?
15. Чем отличается научная и инженерная деятельность ?
16. Что такое сварка ?
17. Назовите классы сварки.
18. Что такое наплавка ?
19. Что такое сварное соединение ?
20. Назовите типы соединений.
21. Назовите типы сварных швов.
22. Начертите эскиз стыкового сварного соединения.
23. Начертите эскиз углового сварного соединения.
24. Начертите эскиз нахлесточного сварного соединения.
25. Начертите эскиз таврового сварного соединения.
26. Что такое стыковый сварной шов ?
27. Какие соединения свариваются угловыми швами ?
28. Назовите виды сварочных дуг.
29. Начертите схему трехфазной дуги.
30. Начертите схему дуги косвенного действия.
31. Начертите схему дуги прямой полярности.
32. Начертите схему дуги обратной полярности.

33. Что такое дуга переменного тока ?
34. Каковы температура и плотность тока в дуге ?
35. График распределения потенциала по длине дуги.
36. Укажите длину катодной области дуги.
37. Длина анодной области дуги.
38. Из каких зон состоит дуга ?
39. В каких пределах изменяется напряжение дуги ?
40. В каких пределах изменяется катодное падение напряжения ?
41. Как подразделяются сварные швы по их выполнению в пространстве?
42. Что такое горизонтальный шов ?
43. Что такое вертикальный шов ?
44. Для чего нужна разделка кромок под сварку ?
45. Схема подготовки кромок под сварку и обозначения.
46. Для чего при сборке нужен зазор ?
47. Для чего при сборке нужно притупление кромки ?
48. Как рассчитать массу наплавленного металла ?
49. Как определить требуемую форму подготовки кромок ?
50. Что такое электродные пятна ?
51. Нарисуйте зависимость  $U_d$  от длины дуги.
52. Как определить приближенную сумму  $U_k + U_a$  в дуге ?
53. Почему электрическая дуга имеет такое название ?
54. Начертите схему дуги прямого действия ?

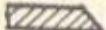
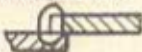


СЛОВАРЬ ОПРЕДЕЛЕНИЙ И ТЕРМИНОВ ПО СВАРКЕ ГОСТ 2601-84

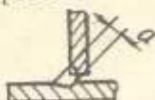
- |                                |  |
|--------------------------------|--|
| 1. Агрегат сварочный           | - агрегат, состоящий из сварочного генератора и приводного двигателя                       |
| 2. Брызги металла              | - дефект в виде затвердевших капель по поверхности сварного соединения                     |
| 3. Валик                       | - металл сварного шва, наплавленный или переплавленный за один проход                      |
| 4. Ванна сварочная             | - часть металла свариваемого шва, находящаяся при сварке плавлением в жидком состоянии     |
| 5. Включение шлаковое          | - дефект в виде вкрапления шлака в сварном шве   |
| 6. Глубина проплавления        | - наибольшая глубина расплавления основного металла в сечении шва или наплавленного валика |
| 7. Грат при сварке             | металл, выдавленный за счет осадки при сварке  |
| 8. Дуга косвенного действия    | - дуга, при которой объект сварки не включен в цепь сварочного тока                        |
| 9. Дуга прямого действия       | - дуга, при которой объект сварки включен в цепь сварочного тока                           |
| 10. Зона сплавления при сварке | - зона частично оплавившихся зерен на границе основного металла и металла шва              |
| 11. Корень шва                 | - часть сварного шва, наиболее удаленная от лицевой поверхности                            |
- 

Корень шва
- |                                 |  |
|---------------------------------|--|
| 12. Кратер                      | - углубление, образующееся в конце валика под действием давления дуги и объемной усадки металла шва  |
| 13. Присадочный металл          | - металл для введения в сварочную ванну в дополнение к расплавленному основному металлу  |
| 14. Налавка                     | - нанесение посредством сварки плавлением слоя металла на поверхность изделия  |
| 15. Налыв на сварном соединении | - дефект в виде натекания металла шва на поверхность основного металла или ранее выполненного валика без сплавления с ним                          |
| 16. Непровар                    | - дефект в виде несплавления в сварном соединении вследствие неполного расплавления кромок или поверхностей ранее выполненных валиков сварного шва |
| 17. Подрез зоны сплавления      | - дефект в виде углубления по линии сплавления сварного шва с основным металлом  |

18. Полярность обратная - полярность, при которой электрод присоединяется к положительному полюсу источника питания дуги, а объект сварки - к отрицательному
19. Полярность прямая - полярность, при которой электрод присоединяется к отрицательному полюсу источника питания дуги, а объект сварки - к положительному
20. Пóра в сварном шве - дефект сварного шва в виде полости округлой формы, заполненной газом
21. Пост сварочный - специально оборудованное рабочее место для сварки
22. Преобразователь сварочный - сварочный агрегат, в котором приводным двигателем является электрический двигатель
23. Притупление кромки - несхоженная часть торца кромки, подлежащей сварке
24. Прихватка - короткий сварной шов для фиксации взаимного расположения подлежащих сварке деталей
25. Проволока присадочная - сварочная проволока, используемая как присадочный металл и не являющаяся электродом
26. Проволока сварочная - проволока для использования в качестве плавящегося электрода либо присадочного металла при сварке плавлением
27. Проволока электродная - сварочная проволока для использования в качестве плавящегося электрода
28. Прожог сварного шва - дефект в виде сквозного отверстия в сварном шве, образовавшийся в результате вытекания части металла сварочной ванны
29. Проход при сварке - однократное перемещение в одном направлении источника тепла при сварке и (или) наплавке
30. Разделка кромок - придание кромкам, подлежащим сварке, необходимой формы
31. Свариваемость - свойство металла или сочетания металлов образовывать при установленной технологии сварки соединения, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия
32. Сварка - получение неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями при их нагревании и (или) пластическом деформировании
33. Сварка дуговая - сварка плавлением, при которой нагрев осуществляется электрической дугой

34. Сварка дуговая ручная - дуговая сварка, при которой возбуждение дуги, подача электрода и его перемещение проводятся вручную
35. Сварка контактная - сварка с применением давления, при которой используется тепло, выделяющееся в контакте свариваемых частей при прохождении электрического тока
36. Сварка контактная стыковая - контактная сварка, при которой соединение свариваемых частей происходит по поверхности стыкуемых торцов
37. Сварка контактная точечная - контактная сварка, при которой сварное соединение получается между торцами электродов, передающих усилие сжатия
38. Сварка контактная шовная - контактная сварка, при которой соединение свариваемых частей происходит между вращающимися дисковыми электродами, передающими усилие сжатия
39. Сварка на весу - односторонняя сварка со сквозным проплавлением кромок без использования подкладок
40. Сварка напроход - сварка, при которой направление сварки неизменно
41. Сварка плавлением - сварка, осуществляемая местным сплавлением соединяемых частей без приложения давления
42. Свищ в сварном шве - дефект в виде воронкообразного углубления в сварном шве
43. Скос кромки -  - прямолинейный наклонный срез кромки, подлежащей сварке
44. Слой сварного шва - часть металла сварного шва, которая состоит из одного или нескольких валиков, расположенных на уровне поперечного сечения шва
45. Смещение сваренных кромок - неправильное положение сваренных кромок друг относительно друга
46. Соединение нахлесточное -  - сварное соединение, в котором сваренные элементы расположены параллельно и частично перекрывают друг друга
47. Соединение сварное - неразъемное соединение, выполненное сваркой
48. Соединение стыковое - сварное соединение двух элементов, примыкающих друг к другу торцовыми поверхностями
49. Соединение угловое - сварное соединение двух элементов, расположенных под углом и сваренных в месте примыкания их краев

50. Соединение тавровое - сварное соединение, в котором торец одного элемента прижимает под углом и приварен к боковой поверхности другого элемента



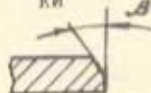
51. Трещина сварного соединения - дефект сварного соединения в виде разрыва в сварном шве и (или) прилегающих к нему зонах

52. Угар при сварке - потери металла на испарение и окисление при сварке

53. Угол разделки кромок - угол между скошенными кромками свариваемых частей



54. Угол скоса кромки - острый угол между плоскостью скоса кромки и плоскостью торца

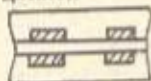


55. Шов монтажный - сварной шов, выполняемый при монтаже конструкции

56. Шов непрерывный - сварной шов без промежутков по длине

57. Шов подварочный - меньшая часть двустороннего шва, выполняемая предварительно для предотвращения прокогов при последующей сварке или накладываемая в последнюю очередь в корень шва

58. Шов прерывистый цепной - двусторонний прерывистый шов, у которого промежутки расположены по обеим сторонам стенки один против другого



59. Шов стыковой - сварной шов стыкового соединения

60. Шов точечный - сварной шов, в котором связь между сваренными частями осуществляется сварными точками

61. Шов угловой - сварной шов углового, нахлесточного или таврового соединения

62. Электрод для дуговой сварки плавящийся - металлический электрод, включаемый в цепь сварочного тока для подвода его к сварочной дуге, расплавляющийся при сварке и служащий присадочным металлом

63. Электрод покрытый - плавящийся электрод для дуговой сварки, имеющий на поверхности покрытие, адгезионно связанное с металлом электрода

64. Энергия погонная - энергия, затраченная на единицу длины сварного шва при сварке плавлением

## СОДЕРЖАНИЕ

I. Роль инженеров в современном обществе.....	3
II. Виды инженерной деятельности и связь между ними.....	4
2.1. Изобретательство.....	4
2.2. Конструирование.....	5
2.3. Технология и организация производства.....	7
2.4. Инженерные исследования.....	7
2.5. Эксплуатация технических систем.....	8
III. Проблемы современной инженерной деятельности.....	8
IV. Место сварки в современной технике.....	9
V. Сварка плавлением.....	12
5.1. Газовая сварка и газопламенная обработка металлов.....	16
5.2. Дуговая сварка.....	18
5.3. Свойства сварочной дуги.....	20
VI. Основные способы сварки плавлением.....	25
6.1. Ручная дуговая сварка пектытым электродом (РДСП).....	25
6.2. Сварка под флюсом.....	26
6.3. Сварка в защитных газах.....	28
6.4. Дуговая сварка порошковой проволокой.....	31
VII. Электродуговая сварка.....	32
VIII. Электронно-лучевая и лазерная сварка.....	33
IX. Сварка давлением.....	37
9.1. Диффузионная сварка в вакууме.....	38
9.2. Сварка трением.....	39
9.3. Холодная сварка.....	39
9.4. Сварка взрывом.....	41
9.5. Ультразвуковая сварка.....	42
9.6. Электрическая контактная сварка.....	43
Литература.....	50
Приложения.....	51

Св. план 1992 г., поз. 675.

**Владимир Петрович Сидоров**

**ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ  
ИНЖЕНЕРА-СВАРЩИКА**

Учебное пособие

Редактор *Н. Г. Балырева*  
Корректор *Л. Г. Садовская*

Подписано в печать 15.01.93. Формат 60x84 1/16.  
Печать оперативная. Усл. п. л. 3,7. Уч.-изд. л. 3,4.  
Тираж 400 экз. Заказ N 1528.  
ПО "СамВен", ул. Вейцека, 60.

Тольяттинский политехнический институт.  
Тольятти, Белорусская, 14.